

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7205**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS POR CAÍDA DE CENIZA EN EL DISTRITO DE LLUTA

Departamento Arequipa  
Provincia Caylloma  
Distrito Lluta



DICIEMBRE  
2021

## Informe Técnico N° A7205

### EVALUACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS POR CAÍDA DE CENIZA EN EL DISTRITO DE LLUTA

Distrito de Lluta, Provincia de Caylloma, Departamento de Arequipa

Elaborado por la Dirección de  
Geología Ambiental y Riesgo  
Geológico del INGEMMET

#### **Equipo Investigador:**

*David Valdivia*  
*Rigoberto Aguilar*  
*Luis Cruz*  
*Edu Taipe*

#### **Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros volcánicos por caída de ceniza en el Distrito de Lluta, Distrito de Lluta, Provincia de Caylloma, Departamento Arequipa: Ingemmet, Informe Técnico N° AA7205-2021.



## Contenido

RESUMEN .....	6
I. INTRODUCCIÓN .....	7
II. GLOSARIO .....	7
III. ANTECEDENTES .....	9
3.1. Objetivo .....	9
3.2. Ubicación y acceso .....	9
3.3. Aspectos Socioeconómicos .....	9
IV. CARACTERÍSTICAS DE LAS COLUMNAS ERUPTIVAS.....	10
V. MONITOREO DE CENIZAS .....	13
5.1 Muestreo y medición de ceniza volcánica .....	14
5.2 Granulometría de las cenizas .....	15
5.3 Conteo litológico .....	22
5.4 Reinstalación e instalación de cenizómetros en el distrito de Lluta .....	26
VI. MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN SABANCAYA .....	27
6.1 MAPA DE PELIGROS POR CAÍDA POR CENIZA Y LAPILLI .....	27
6.2 MAPA DE PELIGROS POR LAHARES .....	31
VII. EFECTOS DE LA CENIZA VOLCÁNICA.....	33
7.1 Problemas respiratorios .....	33
7.2 Efectos a los ojos.....	34
7.3 Efectos de la caída de ceniza en la agricultura y ganadería .....	34
7.4 Efecto de la caída de ceniza en la infraestructura .....	36
VIII. CONCLUSIONES .....	37
VIII. RECOMENDACIONES .....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	40

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Ubicación de los centros poblados en el distrito de Lluta, ubicados entre 5 y 40 km del volcán Sabancaya.....	10
Figura 2: Grafico de evolución temporal de las alturas de las columnas ceniza (expresados en metros) emitidas por el volcán Sabancaya durante el año 2021.....	11
Figura 3: A: Explosión del día 10/01/2021, a las 06:43 Hrs., altura de la columna: 2400 msc, dispersión hacia el SO, B: Explosión del día 31/10/2021, a las 09:40 Hrs., altura de la columna: 2700 msc, dispersión hacia el SO.....	12
Figura 4: Diagrama de las direcciones de dispersión de las emisiones de ceniza del volcán Sabancaya entre los meses de enero-octubre del año 2021.....	13
Figura 5: Mapa de ubicación de cenizómetros instalados alrededor del volcán Sabancaya. ....	14
Figura 6: A) Cenizómetro SC-12, poblado de Taya; B) Espesor de caída de ceniza <0.1mm en el poblado de Taya; C) Muestreo de ceniza en el cenizómetro SC-28; D) Muestreo de ceniza cenizómetro SC-06; E) Cenizómetro SC-06. ....	15
Figura 7: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-11.....	18
Figura 8: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-13.....	18
Figura 9: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-14.....	19
Figura 10: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-17.....	19
Figura 11: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-18.....	20
Figura 12: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-19.....	20
Figura 13: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-20.....	21
Figura 14: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-21.....	21
Figura 15 : A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-25.....	22
Figura 16: Muestras de ceniza emitida por el volcán Sabancaya entre 4 y 10 km de distancia A) Muestra Sab-21-13; B) Muestra Sab-21-13; C) Muestra Sab-21-20; D) Muestra Sab-21-27.....	23
Figura 17: Porcentajes de componentes litológicos de las muestras de ceniza entre 4 y 10 km del volcán Sabancaya.....	24
Figura 18: Muestras de ceniza emitida por el volcán Sabancaya a 27 km de distancia A) Muestra Sab-21-17; B) Muestra Sab-21-18.....	24
Figura 19: Porcentajes de componentes litológicos de las muestras de ceniza a 27 km del volcán Sabancaya. ....	24
Figura 20: Muestras de ceniza encontradas en las fuentes de agua cercanas al distrito de Lluta A) Muestra Huanca-21-01; B) Muestra Huanca-21-02; C) Muestra Huanca-21-03; D) Muestra Huanca-21-04.....	25
Figura 21: Porcentajes de componentes litológicos de las muestras en las fuentes de agua cercanas al distrito de Lluta. ....	26
Figura 22: A) Reinstalación del cenizómetro en el poblado de Lluta (SC-10); B) Reinstalación del cenizómetro en el anexo de Mocca (SC-11); C) Instalación del cenizómetro SC-44 a 18 km del volcán Sabancaya.....	27
Figura 23: Canales abiertos de agua para consumo de la población del distrito de LLuta, captados en las cercanías de los volcanes Ampato y Sabancaya.....	28
Figura 24: Espesores de ceniza medidos en el distrito de Lluta en el periodo 2021.....	29
Figura 25: Mapa de peligros por caída de ceniza del volcán Sabancaya (Mariño et. al., 2012). ....	30
Figura 26: A) Material que colmata los canales de agua; B) Desarenadores en los canales de agua en el distrito de Lluta.....	31
Figura 27: Flujo de lahar quebrada Cabana Pujio, afectando la vía Taya-Patapampa-Chivay.....	31
Figura 28: Mapa por peligros de flujos de lahares en el distrito de Lluta (Rivera et. Al., 2016). ....	32
Figura 29: Efectos de la ceniza en la salud modificado de Howell and Baxter (2006). ....	33
Figura 30: Poblado de Lluta dedicado a la agricultura. ....	35
Figura 31: Pastoreo de bovinos en el distrito de Lluta. ....	35
Figura 32: Colmatación de los canales de la Planta Hidroeléctrica Lluta y Llucta reportado en el 2020. ....	36

## RESUMEN

El Sabancaya forma parte del complejo volcánico Ampato-Sabancaya, y es el segundo volcán más activo del Perú. Este estratovolcán fue edificado durante los últimos 10 mil años, y su actividad estuvo caracterizada por erupciones efusivas y explosivas moderadas. Las últimas erupciones han sido de tipo vulcanianas, como la ocurrida entre los años 1986 y 1998 (Gerbe y Thouret, 2004).

El día 6 de noviembre de 2016 a las 20:40 horas, ocurrió una explosión seguida de emisiones continuas de ceniza, con columnas eruptivas que tuvieron alturas entre 1000 y 3000 m sobre la cima del cráter. Este evento marcó el comienzo de una nueva fase de actividad eruptiva del Sabancaya, la cual continúa hasta la actualidad.

Como parte del monitoreo multidisciplinario, el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI) tiene una red de 43 cenizómetros ubicados alrededor del volcán. Estos instrumentos permiten medir espesores, densidad de área y recolectar muestras sin alteraciones. Los resultados obtenidos han permitido evaluar la afectación de la ceniza volcánica en el distrito de Lluta, esto a partir del análisis granulométrico de 9 muestras que nos indican que los depósitos de ceniza se clasifican como mal sorteados en las cercanías del volcán y moderadamente sorteadas hasta 27 km del volcán, generando una sedimentación homogénea. Las muestras de ceniza a 10km del volcán están compuestas por material juvenil (94 -84 %), líticos oxidados, hidrotermalizados y accidentales; mientras que, a 27 km del cráter, la ceniza está compuesta por material juvenil (44-48%), cristales libres (34-35%), líticos oxidados e hidrotermalizados (9-14%) y accidentales (3-10%) de forma redondeada sugiriendo que el sector es afectado por la caída removilización de la ceniza. Así mismo, se ha encontrado espesores de 0.3 a 2.9 mm entre 5 y 10 km del volcán y a 27 km del volcán en los poblados de Taya y Huanca espesores de 0.1 mm. Por otro lado, las cenizas depositadas en los alrededores del Sabancaya vienen generando lahares en épocas de lluvia y por el deshielo del glaciar del volcán Ampato, que afectan los canales de agua de consumo de la población y la vía afirmada Taya-Patapampa-Chivay.

En el análisis de las fuentes agua cercanas al distrito de Lluta se han encontrado un máximo de 600 mg/L de ceniza que sobrepasa ligeramente el nivel permitido de componentes sólidos en el agua para el consumo humano; también el estudio litológico de esta ceniza nos sugiere que corresponden a una mezcla de ceniza de la erupción actual del volcán Sabancaya y erupciones anteriores.

## EVALUACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS POR CAÍDA DE CENIZA EN EL DISTRITO DE LLUTA

(Distrito Lluta, Provincia de Caylloma y Departamento de Arequipa)

### I. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) es la entidad rectora de la geología en el país. y entre otras funciones esta encargada de “**Identificar, estudiar y monitorear los peligros asociados a movimientos en masa, actividad volcánica, aluviones, tsunamis y otros**”. en tal sentido, a través de su Observatorio Vulcanológico (OVI), elabora de mapas de peligros volcánicos y desarrolla actividades de monitoreo multidisciplinario en tiempo real en los volcanes activos.

Debido a la erupción del volcán Sabancaya desde noviembre del 2016 hasta la actualidad, el INGEMMET viene realizando el monitoreo multidisciplinario y permanente de la actividad volcánica informando a las autoridades sobre el estado del volcán y los peligros volcánicos asociados a esta erupción.

En este contexto, la Municipalidad Distrital de Lluta solicitó al INGEMMET la instalación de cenizómetros y un informe técnico de peligros por caída de ceniza volcánica en los centros poblados de Mocca, Cuñirca y Toroy, según oficio N°135– 2021-A/MDLL, motivo por el cual se prepara el presente informe para atender dicha solicitud.

### II. GLOSARIO

**Ceniza volcánica:** Partículas menores a 2 mm de tamaño producto de la fragmentación del magma y expulsada durante las erupciones volcánicas.

**Cenizómetro:** Instrumento utilizado para la estimación de espesores de caída de ceniza volcánica.

**Desviación Estándar:** Es la medida que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media.

**Erupciones efusivas:** Son aquellas que ocurren cuando el magma es fluido y contiene pocos gases, por lo que sale al exterior en forma de lava y se puede desplazar rápida o lentamente dependiendo principalmente de su viscosidad.

**Erupciones explosivas:** Se caracteriza por la liberación violenta de gas, bloques y cenizas. Estas erupciones se producen cuando la viscosidad y el contenido de sílice es muy elevado, este tipo de magma retiene una gran cantidad de gases, lo cual provoca un aumento de la presión interna, que da lugar a fuertes explosiones.

**IEV:** Siglas de índice de explosividad volcánica, es un indicador general del carácter explosivo de una erupción volcánica para dar una medida o estimación de su magnitud, densidad, destructividad, poder dispersivo y violencia.

**Proyectiles balísticos:** Partículas de roca de un diámetro generalmente mayor a 64 mm que son expulsadas en las erupciones volcánicas.

**m.s.n.c.:** Altura en metros sobre el nivel del cráter del volcán.

**Mediana:** Es el valor que ocupa el lugar central de todos los datos cuando éstos están ordenados de menor a mayor.

**Media:** También conocida como promedio, es el valor que se obtiene al dividir la suma de un conglomerado de números entre la cantidad de ellos.

**Refus:** Son las proporciones de muestra retenidas en cada malla cuando se realiza el ensayo granulométrico.

**Removilización de ceniza volcánica:** Es la ceniza que, ya estando depositada en el suelo es retransportada por acción del viento.

**Tamiz:** Instrumento compuesto por una malla de filamentos que se entrecruzan dejando unos huecos cuadrados, utilizado para separar materiales de diferentes diámetros.



### III. ANTECEDENTES

Lo estudios efectuados por Gerbe y Thouret (2004); Mariño, (2012); Samaniego et al., (2016); Rivera et al., (2016), entre otros, describen el comportamiento eruptivo pasado del volcán Sabancaya, en los últimos 10 000 años. De acuerdo a su actividad recurrente en el pasado histórico, este volcán ha presentado erupciones efusivas lávicas y actividad explosiva moderada con considerables emisiones de ceniza. La actividad eruptiva del Sabancaya ocurrida durante los últimos 400 años consistió en erupciones explosivas de leves a moderadas (IEV =1-2), durante este periodo presentó tres erupciones explosivas de leves a moderadas ocurridas en los años 1750, 1784 y entre 1990 - 1998, caracterizados por una intensa actividad fumarólica y emisiones de ceniza (Rodríguez y Uribe, 1994; Gerbe y Thouret, 2004). Durante la erupción 1990-1998, se midió depósitos de ceniza volcánica hasta 3 cm de espesor a 8 km al este del volcán.

A raíz de la última erupción del volcán Sabancaya iniciado el 2016, el OVI implementó una red de 43 cenizómetros en los alrededores y en el mismo edificio volcánico. Los cenizómetros son dispositivos que se utilizan para recolectar ceniza y medir espesores, densidad de área y densidad total de ceniza (>20 mm) utilizando la técnica descrita por Bernard (2013).

#### 3.1. Objetivo

- Analizar y evaluar el peligro volcánico por caída de ceniza en el distrito de Lluta.

#### 3.2. Ubicación y acceso

El distrito de Lluta (16° 0'56.28"S, 72° 0'52.51"O) está ubicado a 62 km al noroeste de la ciudad de Arequipa, Provincia Caylloma, Región de Arequipa; comprende 40 centros poblados-caseríos, las cuales se ubican hacia el sur y suroeste entre 5 y 40 km con respecto al volcán Sabancaya (Figura 1).

La ruta de acceso a este distrito desde Arequipa es saliendo por Yura pasando por Huanca y se llega a Lluta, en un trayecto de 176 Km.

#### 3.3. Aspectos Socioeconómicos

Los datos de población y vivienda del área de influencia del volcán Sabancaya han sido tomados del censo sobre población y vivienda, a nivel de distrito y provincia, efectuado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018). Según los Resultado del censo del INEI, censo XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, el distrito de Lluta tiene 40 centros poblados y habitan 970 personas.

La población de Lluta se dedica principalmente a la actividad ganadera relacionadas a la crianza de camélidos sudamericanos, y a la agricultura, las cuales se realizan entre los 3000 y 4000 m s.n.m.

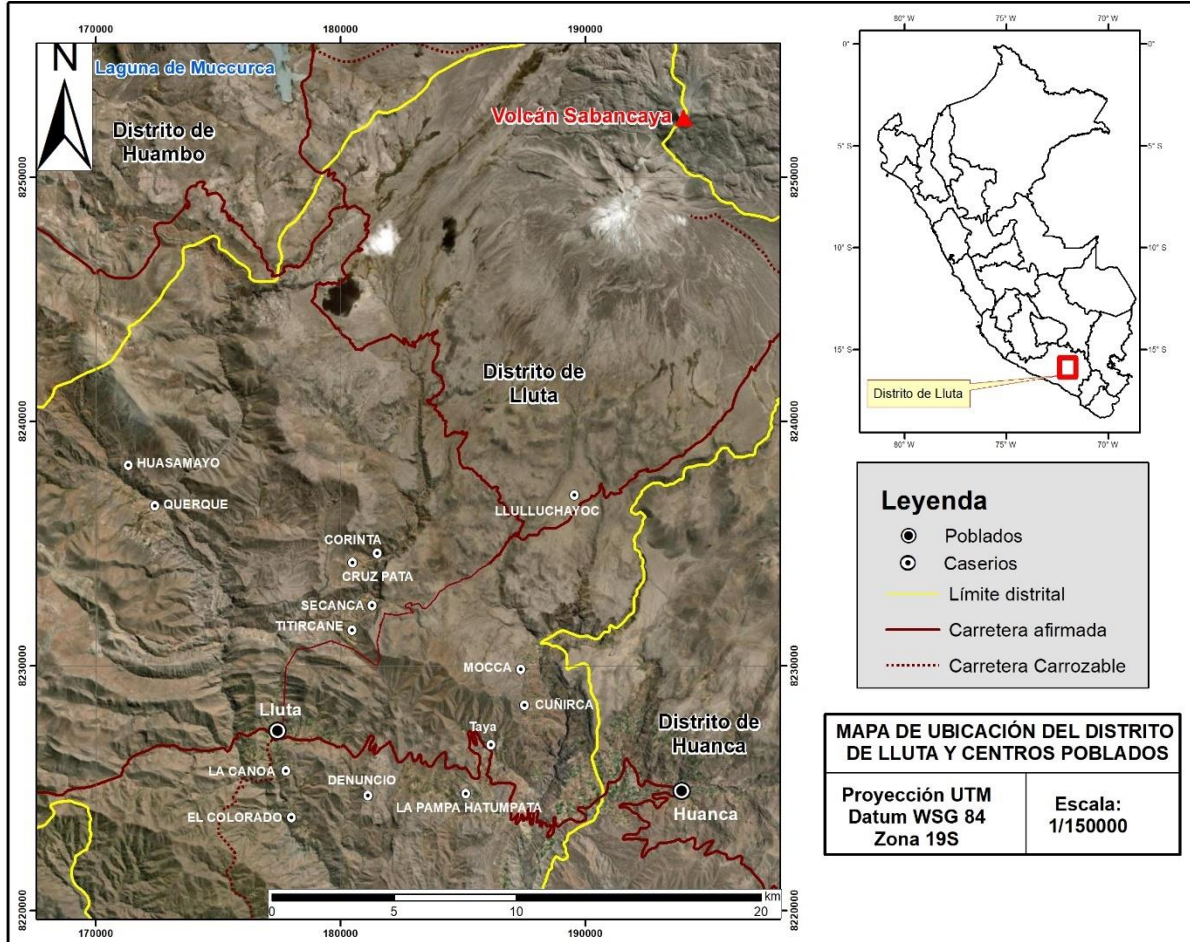
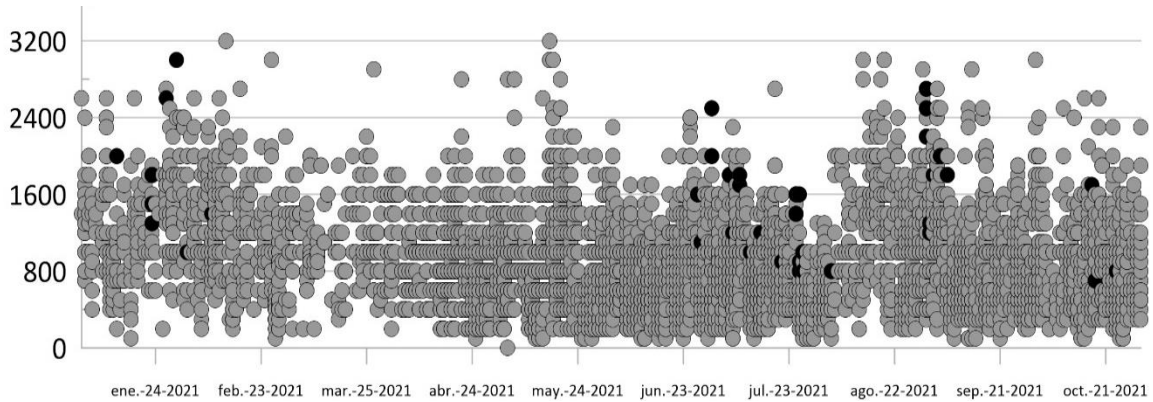


Figura 1: Mapa de Ubicación de los centros poblados en el distrito de Lluta, ubicados entre 5 y 40 km del volcán Sabancaya

#### IV. CARACTERÍSTICAS DE LAS COLUMNAS ERUPTIVAS

Durante el año 2021 la actividad se mantiene en niveles moderados. Las emisiones generalmente se encuentran entre los 1500 y los 2000 m.s.n.c (Figura 2) y están compuestas de ceniza y proyectiles balísticos. Asimismo, se observa durante el año 2021, pequeños periodos de incremento y disminución en la altura de las emisiones, que denotan la ocurrencia de periodos de intrusión magmática y despresurización.



*Figura 2: Grafico de evolución temporal de las alturas de las columnas ceniza (expresados en metros) emitidas por el volcán Sabancaya durante el año 2021.*

De enero a octubre de 2021 la actividad explosiva fue moderada. Durante estos meses, las emisiones de gases y ceniza alcanzaron una altura promedio de 900 m.s.n.c. y se dispersaron en dirección al distrito de Lluta. El 10 de enero (Figura 3A) y 23 febrero del año 2021 se registraron explosiones importantes que alcanzaron alturas de 2400 y 2200 m.s.n.c. respectivamente. El 31 de agosto del mismo año se identificó una emisión compuesta por ceniza que alcanzó los 2700 m.s.n.c. (Figura 3B).

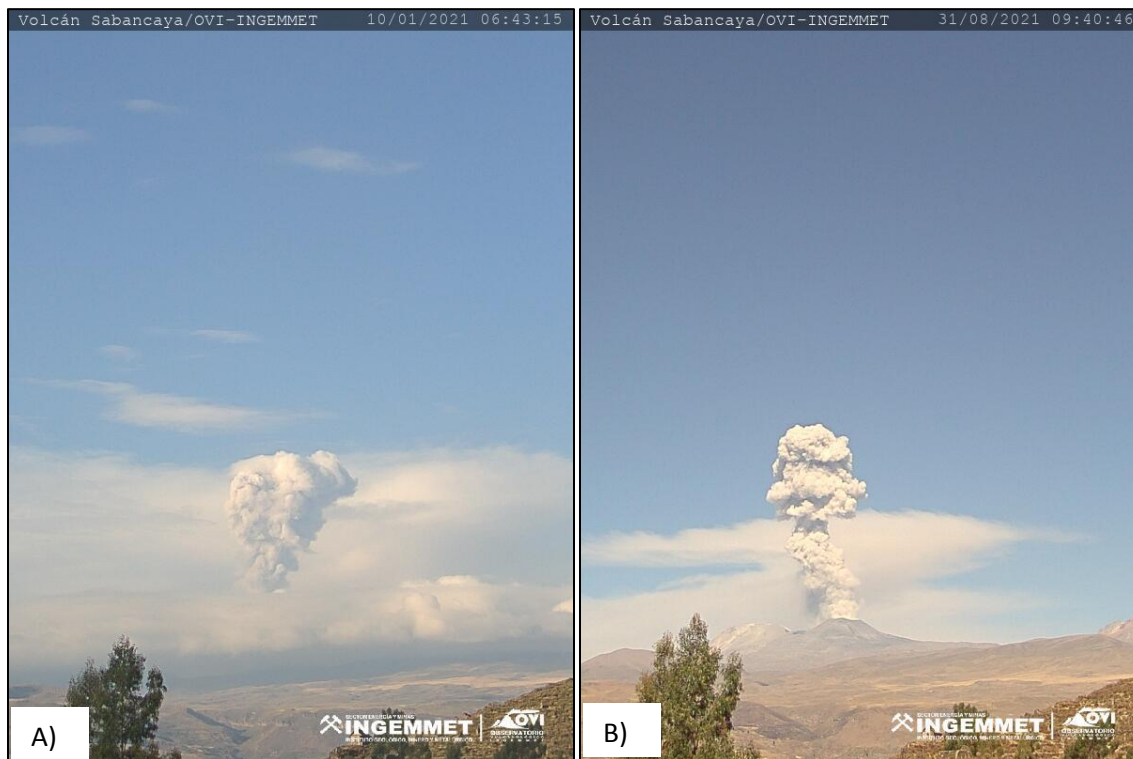


Figura 3: A: Explosión del día 10/01/2021, a las 06:43 Hrs., altura de la columna: 2400 msc, dispersión hacia el SO, B: Explosión del día 31/10/2021, a las 09:40 Hrs., altura de la columna: 2700 msc, dispersión hacia el SO.

La dirección y alcance de la dispersión de las emisiones están controladas por su altura y factores meteorológicos, como la dirección y velocidad del viento. El seguimiento de la dispersión de cenizas se realiza mediante las imágenes de la red de cámaras de videovigilancia de monitoreo del volcán Sabancaya. La dirección de desplazamiento de las emisiones volcánicas durante el año 2021 entre los meses de enero y octubre, se caracterizó así: sureste (SE) 39%, este (E) 18%, noreste (NE) 13%, noroeste (NO) 10%, oeste (O) 7%, suroeste (SO) 7%, sur (S) 3%, y norte (N) 3% (Figura 4).

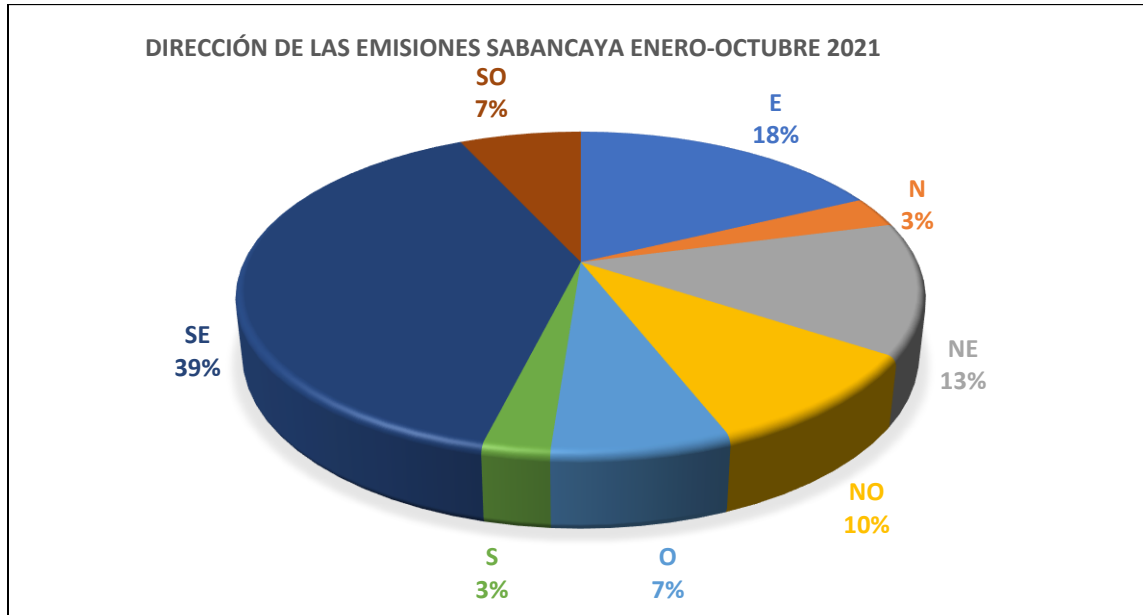


Figura 4: Diagrama de las direcciones de dispersión de las emisiones de ceniza del volcán Sabancaya entre los meses de enero-octubre del año 2021.

## V. MONITOREO DE CENIZAS

El monitoreo de cenizas se realiza mediante una red de 43 cenizómetros distribuidos entre un radio de 2.7 y 34 km de distancia desde el cráter (Figura 5). Estos instrumentos, permiten medir espesores, densidad de área y densidad total de pequeños depósitos de cenizas (partículas < 20 mm). Su fabricación está basada en el modelo de cenizómetros elaborados por Bernard (2013). Las muestras recolectadas permiten realizar análisis mineralógicos, granulométricos, petrográficos y geoquímicos, con el fin de hacer el seguimiento de las características del magma involucrado en este proceso eruptivo.

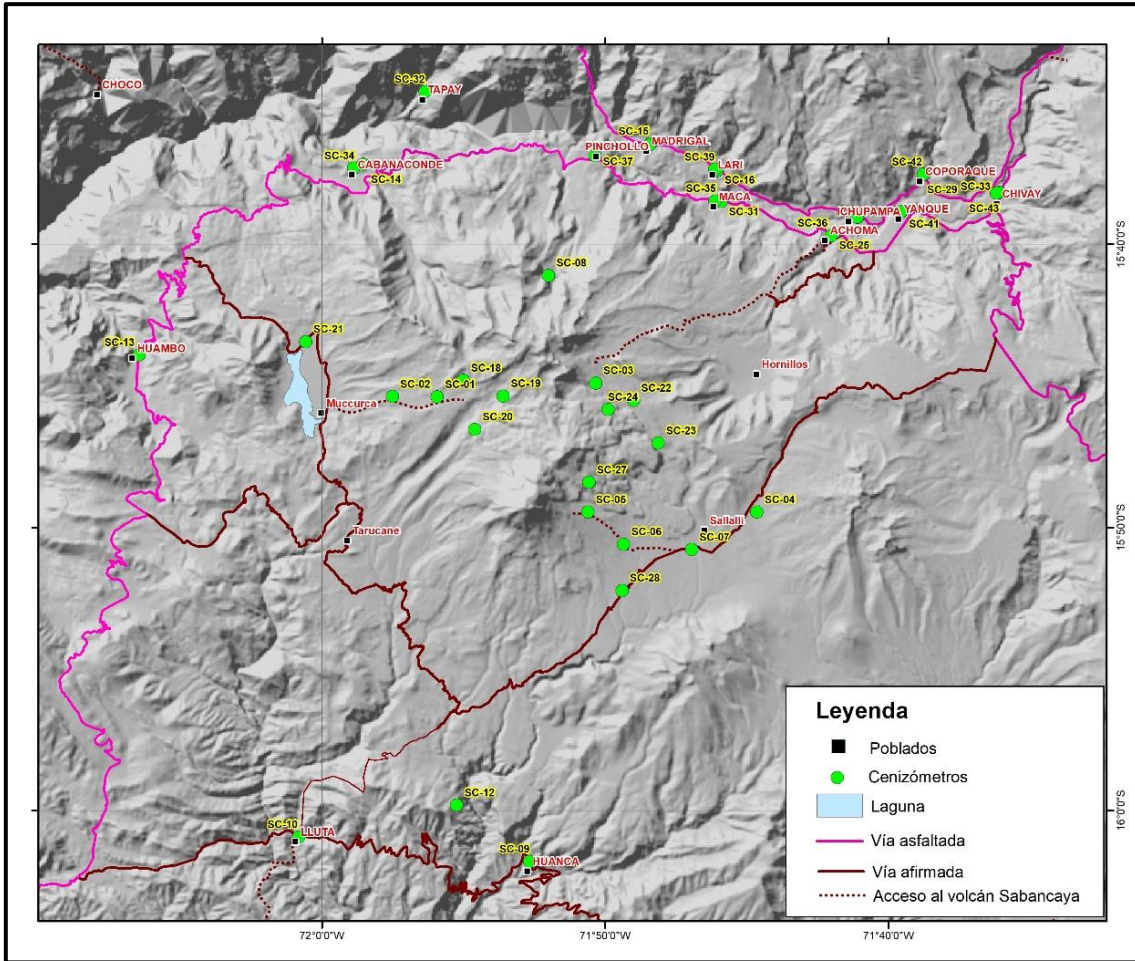


Figura 5: Mapa de ubicación de cenizómetros instalados alrededor del volcán Sabancaya.

### 5.1 Muestreo y medición de ceniza volcánica

El estudio de la ceniza se ha realizado con muestras tomadas en el distrito de Lluta entre 5 y 27 km en dirección suroeste y sur del volcán (Figura 6).

En el sector sur y suroeste del volcán Sabancaya se identificaron espesores de: 2.3 y 2.7 mm a una distancia de 4.5 km, mientras a 27 km al suroeste del volcán se identificaron espesores de 0.1 mm (Cuadro 1), específicamente en los poblados de Taya y Huanca (Figura 6).

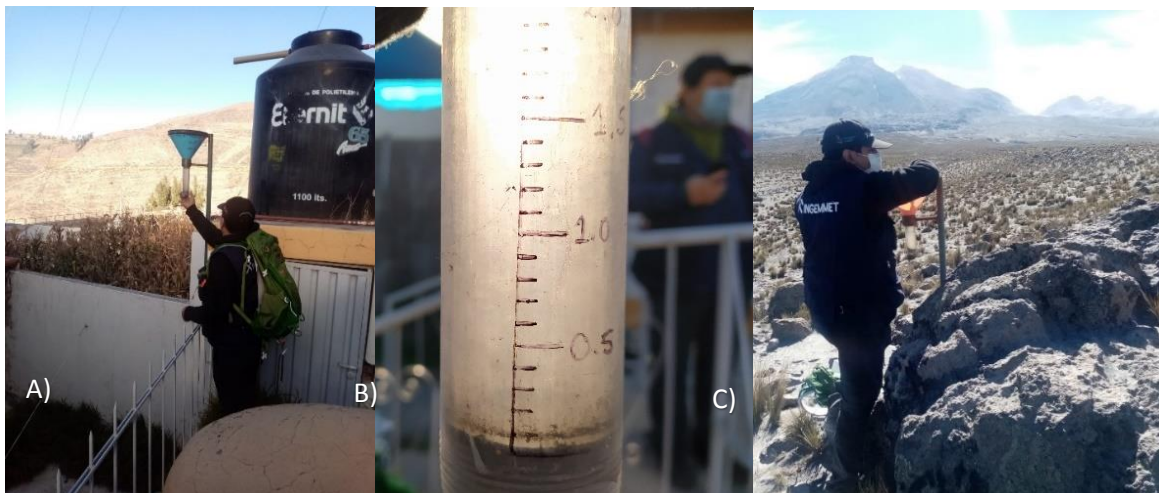


Figura 6: A) Cenizómetro SC-12, poblado de Taya; B) Espesor de caída de ceniza <0.1mm en el poblado de Taya; C) Muestreo de ceniza en el cenizómetro SC-28;

**Cuadro 1:** Muestras de ceniza recolectadas de los cenizómetros, empleadas en el presente informe.

Periodo	Muestra	Cenizómetros	Espesor (mm)	Distancia del cráter (km)
enero – octubre de 2021	sab-21-11	SC-05	0.1	4.5
	sab-21-13	SC-05	0.9	4.5
	sab-21-14	SC-28	0.3	10.0
	sab-21-17	SC-09	1.3	27
	sab-21-18	SC-12	0.1	26.9
	Sab-21-19	SC-28	0.2	10.0
	sab-21-20	SC-05	0.1	4.5
	sab-21-21	SC-06	0.7	7.2
	sab-21-24	SC-05	0.5	4.5
	sab-21-25	SC-06	0.5	7.2
	sab-21-27	SC-19	2.9	5.3
	sab-21-39	SC-05	0.7	4.5

## 5.2 Granulometría de las cenizas

El método utilizado para el análisis granulométrico, consiste en hacer pasar una muestra a través de una serie de tamices con mallas de diferentes diámetros de apertura, que van desde 1 mm hasta 0.032 mm. El tamizado se realizó de forma manual. El refus de cada malla es pesado en una balanza de precisión 0.01 g y los resultados son anotados en una libreta (Cuadro 2). Luego los tamices son limpiados cuidadosamente para evitar contaminaciones entre muestras.

Se realizó el tamizado de 09 muestras: 07 tomadas a 10 km; 02 tomadas a 27 km, de distancias del cráter del volcán (Figura 6), para luego realizar el análisis de parámetros estadísticos.

**Cuadro 2:** Ensayos granulométricos de los depósitos de ceniza.

Malla	Sab-21-19			Sab-21-20			Sab-21-21			Sab-21-25		
	Peso	Peso	Peso Acum.	Peso	Peso	Peso Acum.	Peso	Peso	Peso Acum.	Peso	Peso	Peso Acum.
um	(gr)	(%)	(%)	(gr)	(%)	(%)	(gr)	(%)	(%)	(gr)	(%)	(%)
1000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
500	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	1.0	0.1	0.3	0.3
250	1.2	0.0	0.0	5.9	34.0	34.0	0.1	1.8	2.8	4.5	10.0	10.3
180	2.1	2.7	0.0	4.4	25.4	59.4	1.7	21.3	24.1	8.5	19.0	29.3
125	2.7	1.6	7.4	3.8	22.1	81.5	2.0	25.9	50.1	11.2	25.0	54.3
90	1.6	1.3	25.0	1.5	8.9	90.4	1.2	15.7	65.8	7.3	16.2	70.5
63	1.3	1.9	61.8	0.8	4.6	95.0	1.0	12.3	78.0	5.9	13.2	83.6
32	1.9	38.2	100.0	0.9	5.0	100.0	1.7	22.0	100.0	7.3	16.4	100.0
>32	0.4	13.2		2.7	15.7		0.4	5.0		21.4	47.7	
Peso Total	11.5			17.3			7.8			44.8		

Malla	Sab-21-11			Sab - 21 - 13			Sab-21-14			Sab-21-17			Sab-21-18		
	Peso	Peso	Peso Acum.	Peso	Peso	Peso Acum.	Peso	Peso	Peso Acum.	Peso	Peso	Peso Acum.	Peso	Peso	Peso Acum.
um	(gr)	(%)	(%)	(gr)	(%)	(%)	(gr)	(%)	(%)	(gr)	(%)	(%)	(gr)	(%)	(%)
1000	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
500	1.0	3.0	3.2	22.5	11.6	11.6	0.2	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
250	13.8	43.9	47.1	78.2	40.5	52.1	1.5	7.0	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
180	5.8	18.5	65.6	31.6	16.4	68.5	2.4	11.5	19.3	0.1	8.7	8.7	0.0	0.0	0.0
125	4.0	12.8	78.5	20.7	10.7	79.2	3.6	17.5	36.8	0.1	17.4	26.1	0.1	7.4	7.4
90	2.1	6.7	85.2	10.8	5.6	84.9	2.1	10.2	47.0	0.1	14.5	40.6	0.1	17.6	25.0
63	2.0	6.3	91.5	10.9	5.6	90.5	1.9	9.4	56.4	0.2	34.8	75.4	0.3	36.8	61.8
32	2.7	8.5	100.0	18.4	9.5	100.0	2.7	12.9	69.3	0.2	24.6	100.0	0.3	38.2	100.0
>32	7.5	23.8		50.4	26.1		6.3	30.7		0.1	10.1		0.1	13.2	
Peso Total	31.5			193.1			20.6			0.7			0.7		

### 5.2.1. Análisis granulométricos y parámetros estadísticos

Para llevar a cabo el análisis estadístico, previamente se convierte los diámetros de las partículas expresadas en milímetros (mm) a unidades Phi ( $\Phi$ ). La escala phi (Krumbein, 1934), definida por como el Logaritmo negativo de base 2 del tamaño de grano en milímetros:

$$\Phi (\Phi) = -\log 2N,$$

Donde: N = tamaño de grano en mm o la apertura de cada malla en mm.



Los datos obtenidos son representados gráficamente en histogramas, donde en el eje Y van los diámetros de las partículas que están expresadas en unidades ( $\Phi$ ), mientras que en el eje X van los pesos en cada fracción retenida expresadas en porcentaje (%). Para graficar los histogramas se utilizó el software SFT Kware de acuerdo con el método de fragmentación y transporte secuencial (SFT por su sigla en inglés) (Brown, 1989).

Los parámetros estadísticos según Folk (1965) e Inman (1952), incluyen la mediana (Md), media (Mz), desviación estándar ( $\sigma$ ), asimetría (SkG) y curtosis (KG).

### 5.2.2. Resultados de los parámetros estadísticos

Mediante los resultados de los parámetros estadísticos obtenidos, se puede evaluar las características de generación y emplazamientos de 9 muestras dentro del área de estudio (Cuadro 3).

**Cuadro 3:** Cuadro resumen de los parámetros granulométricos de las muestras analizadas.

Código	Mediana (Md) Inman	Media (Mz) Folk	Desviación Estándar ( $\sigma$ ) folk	Asimetría (SkI) Folk	Kurtosis (KG) Folk
Sab-21-11	2.05	2.22	1.05	0.29	1.01
Sab-21-13	1.90	2.08	1.19	0.25	1.04
Sab-21-14	2.9	3.02	1.00	0.15	0.94
Sab-21-17	3.45	3.43	0.81	-0.02	0.93
Sab-21-18	3.75	3.78	0.68	0.06	0.90
Sab-21-19	4.35	4.33	0.35	-0.25	1.49
Sab-21-20	2.25	2.27	0.85	0.10	1.03
Sab-21-21	3.00	3.15	0.93	0.22	0.85
Sab-21-25	2.90	2.98	0.95	0.12	0.93

- La muestra Sab-21-11 tiene una distribución unimodal (Figura 7 y Cuadro 3). La mediana (Md) presentan un valor de 2.05  $\Phi$ , mientras que el tamaño de promedio de grano (Mz) es de 2.22  $\Phi$ . Estos resultados nos muestran que el depósito está mal sorteado ( $\sigma$ ), con asimetría positiva (SkI) y curva mesocúrtica.

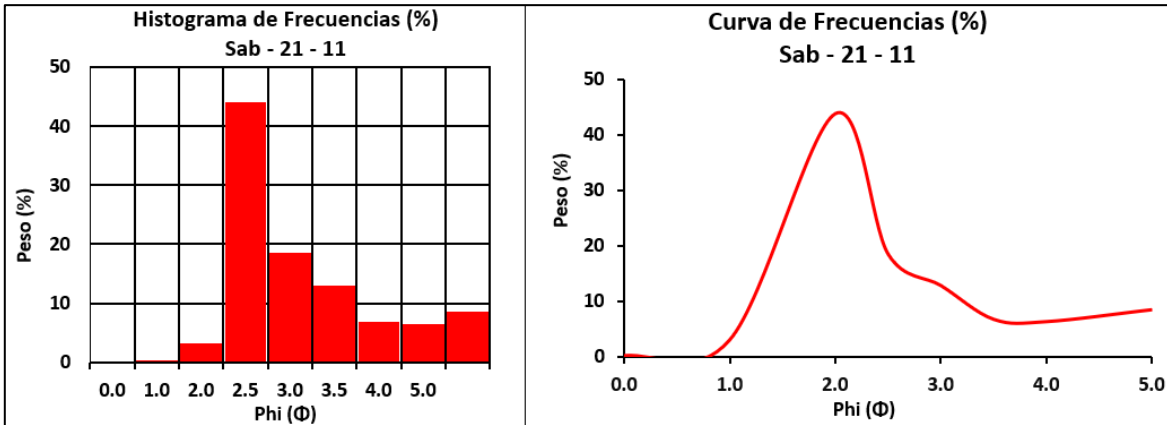


Figura 7: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-11.

- La muestra Sab-21-13 tiene una distribución unimodal (Figura 8 y Cuadro 3). La mediana (Md) presentan un valor de 1.9 Ø, mientras que el tamaño de promedio de grano (Mz) es de 2.08Ø. Estos resultados nos muestran que el depósito está mal sorteado ( $\sigma$ ), con asimetría positiva (SkI) y curva mesocúrtica.

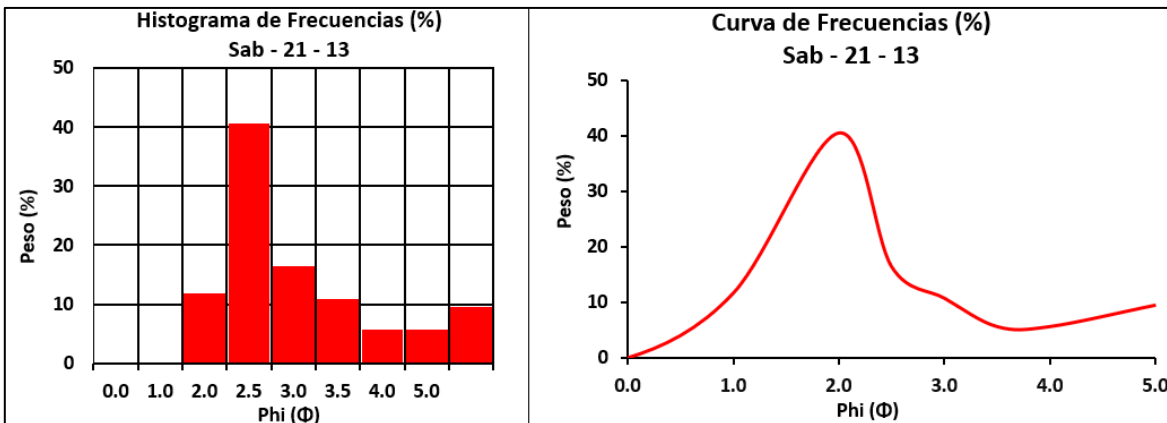


Figura 8: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-13.

- La muestra Sab-21-14 tiene una distribución unimodal (Figura 9 y Cuadro 3). La mediana (Md) presentan un valor de 2.9 Ø, mientras que el tamaño de promedio de grano (Mz) es de 3.02 Ø. Estos resultados nos muestran que el depósito está mal sorteado ( $\sigma$ ), con asimetría positiva (SkI) y curva mesocúrtica.

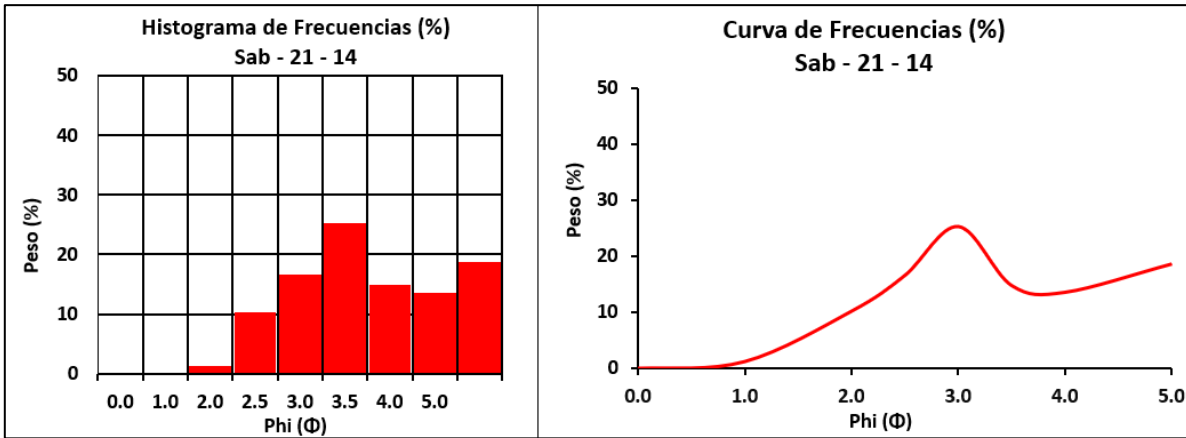


Figura 9: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-14.

- La muestra Sab-21-17 tiene una distribución multimodal (Figura 10 y Cuadro 3). La mediana (Md) presentan un valor de 3.45 Ø, mientras que el tamaño de promedio de grano (Mz) es de 3.43 Ø. Estos resultados nos muestran que el depósito está moderadamente sorteado ( $\sigma$ ), con asimetría negativa (Sk<sub>l</sub>) y curva mesocúrtica.

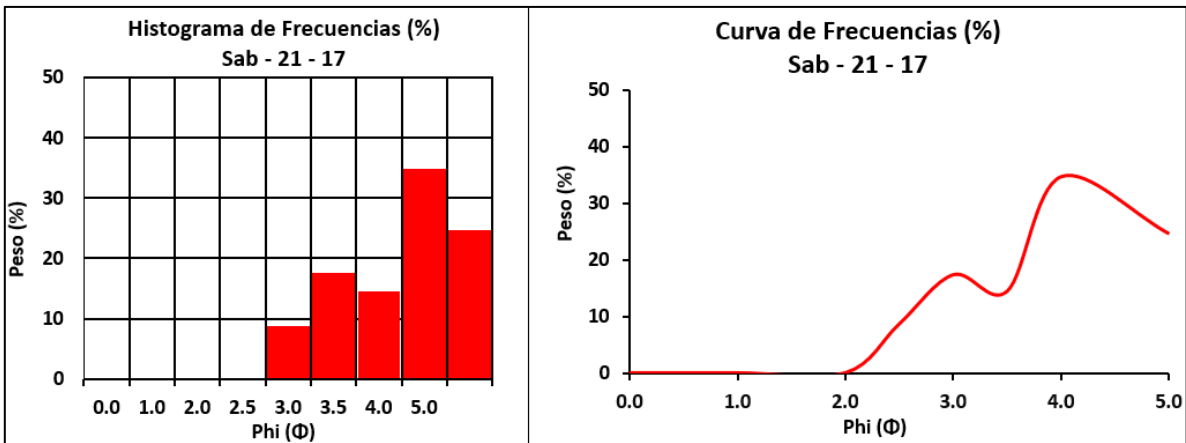


Figura 10: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-17.

- La muestra Sab-21-18 tiene una distribución unimodal (Figura 11 y Cuadro 3). La mediana (Md) presentan un valor de 3.75 Ø, mientras que el tamaño de promedio de grano (Mz) es de 3.78 Ø. Estos resultados nos muestran que el depósito está moderadamente bien sorteado ( $\sigma$ ), con asimetría negativa (Sk<sub>l</sub>) y curva mesocúrtica.

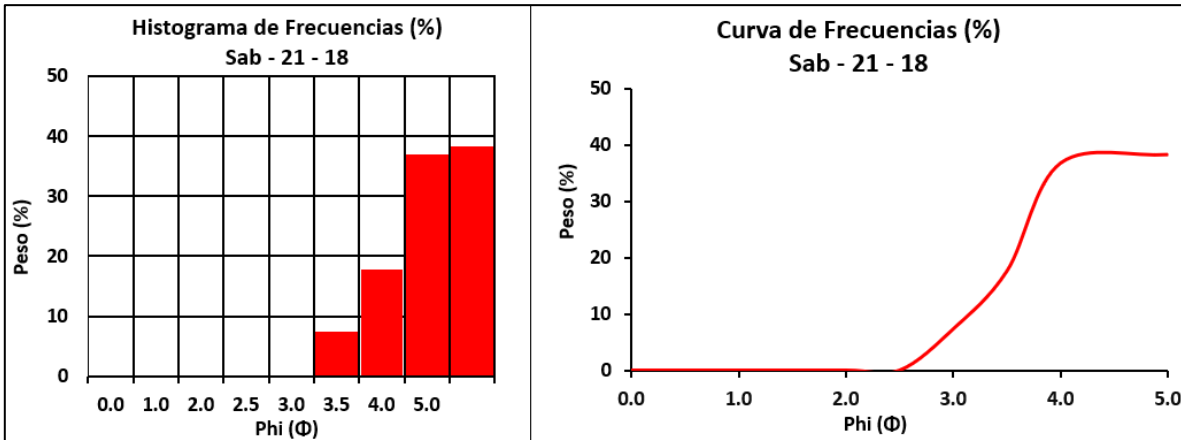


Figura 11: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-18.

- La muestra Sab-21-19 tiene una distribución bimodal (Figura 12 y Cuadro 3). La mediana (Md) presentan un valor de 4.35 Ø, mientras que el tamaño de promedio de grano (Mz) es de 4.33 Ø. Estos resultados nos muestran que el depósito está moderadamente bien sorteado ( $\sigma$ ), con asimetría negativa (Sk<sub>l</sub>) y curva leptocúrtica.

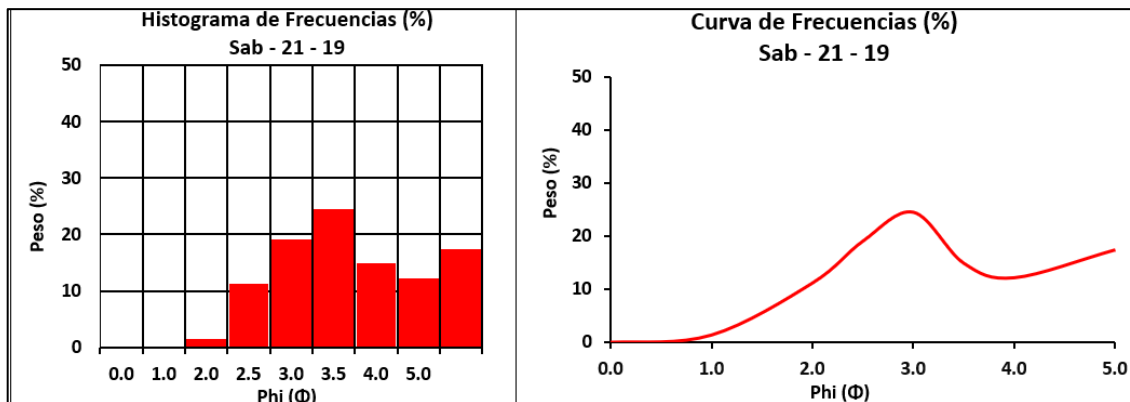


Figura 12: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-19.

- La muestra Sab-21-20 tiene una distribución bimodal (Figura 13 y Cuadro 3). La mediana (Md) presentan un valor de 2.25 Ø, mientras que el tamaño de promedio de grano (Mz) es de 2.27 Ø. Estos resultados nos muestran que el depósito está moderadamente sorteado ( $\sigma$ ), con asimetría positiva (Sk<sub>r</sub>) y curva mesocúrtica.

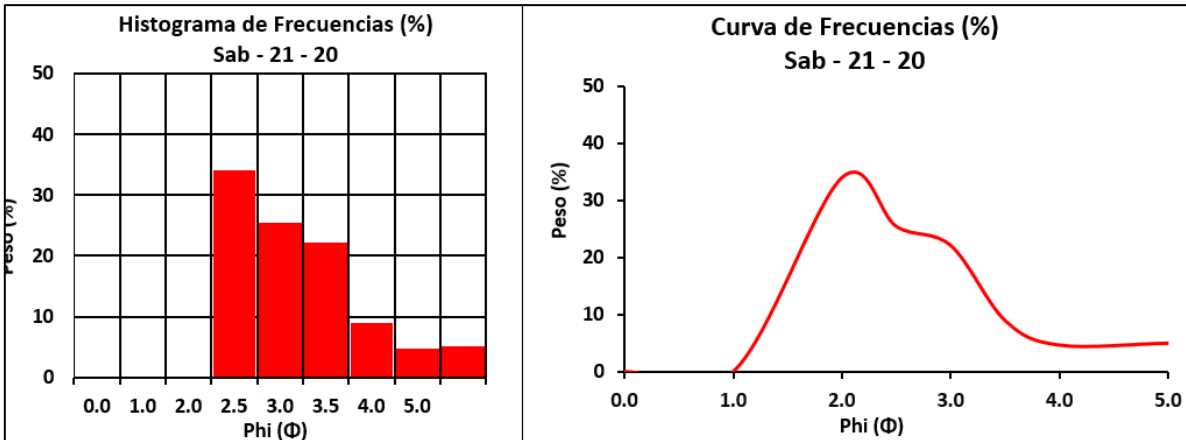


Figura 13: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-20.

- La muestra Sab-21-21 tiene una distribución bimodal (Figura 14 y Cuadro 3). La mediana (Md) presentan un valor de 3.00 Ø, mientras que el tamaño de promedio de grano (Mz) es de 3.15 Ø. Estos resultados nos muestran que el depósito está moderadamente sorteado ( $\sigma$ ), con asimetría positiva (Sk1) y curva platicúrtica.

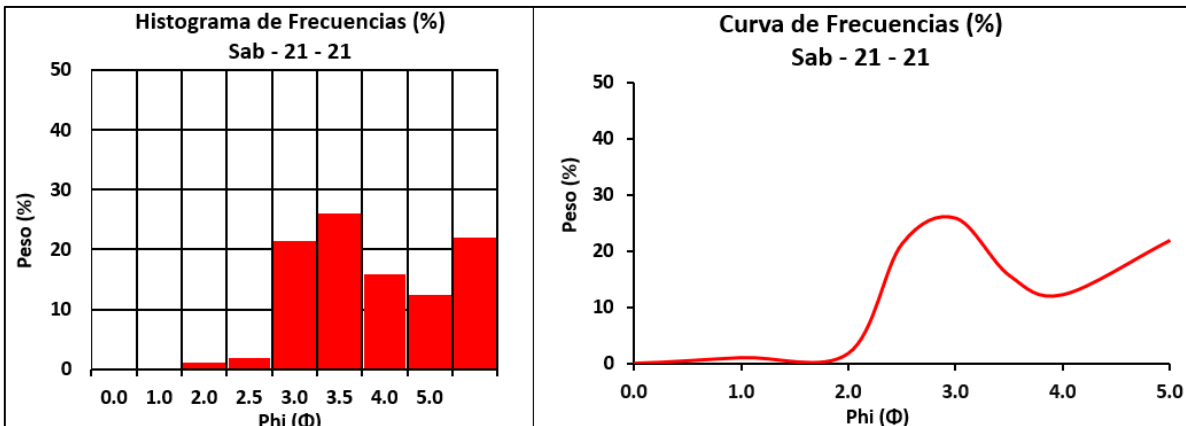


Figura 14: A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-21.

- La muestra Sab-21-25 tiene una distribución bimodal (Figura 15 y Cuadro 3). La mediana (Md) presentan un valor de 2.90 Ø, mientras que el tamaño de promedio de grano (Mz) es de 2.98 Ø. Estos resultados nos muestran que el depósito está moderadamente sorteado ( $\sigma$ ), con asimetría positiva (Sk1) y curva mesocúrtica.

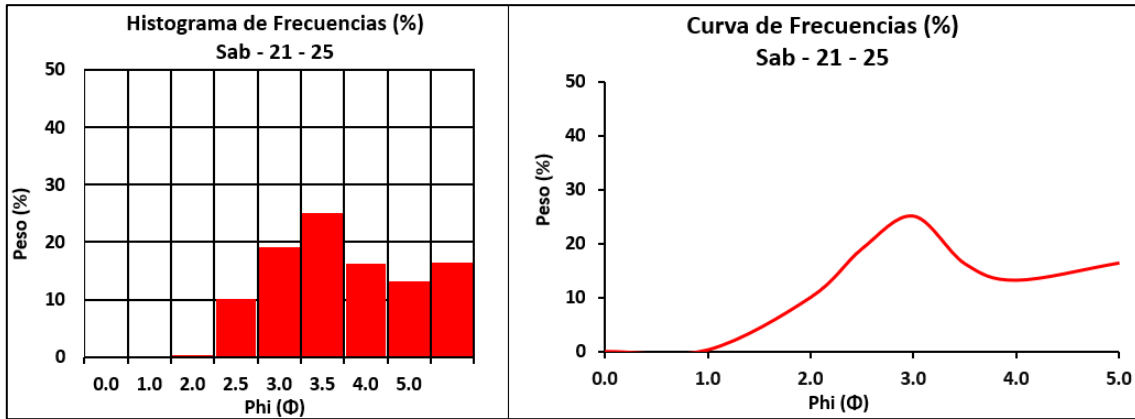


Figura 15 : A) Histogramas de frecuencia y B) curvas de frecuencia de Sab-21-25.

### 5.2.3. Interpretación de los parámetros estadísticos

Las muestras presentan curvas con tendencia multimodal cercanas al volcán y unimodal lejos del volcán. Esto indica que la sedimentación del tamaño de partículas es variable según la distancia al cráter, influenciada principalmente por la dirección del viento (Biaass and Bonadonna, 2011).

La mediana (Md) presenta valores entre en 1.9 a 4.35 Ø y la media 2.08 a 4.33 Ø. Esto indica que, mientras más alejado del cráter, la mediana y media se acercan a valores positivos (partículas finas), esto se debe a la dispersión de las partículas a causa de la dirección de viento (sotavento).

Las muestras se encuentran entre mal sorteadas a moderadamente sorteadas, lo que indica un mejor ordenamiento de las partículas por acción del viento (sotavento) generando una sedimentación de partículas de forma homogénea. Así también influenciada por el cambio de dirección del viento ocurrida en la zona distal.

La asimetría (Sk<sub>l</sub>) de las muestras cercanas al volcán presentan tendencia hacia los finos, mientras que las muestras en entre 20 y 27 km del volcán presentan equilibrio en el tamaño de las partículas. Esto estaría controlado por la fuerza e influencia seleccionadora del viento.

Las curvas presentan una variación entre platicúrtica, leptocúrtica a mesocúrtica, que indica una moderada selección del depósito.

### 5.3 Conteo litológico

El conteo litológico nos proporciona información sobre la mineralogía y dinámica eruptiva. Los componentes litológicos de los productos de la erupción del 2021, han sido

estudiados con base a 6 muestras en la fracción de 500 y 2 muestras en la fracción de 250 micrómetros; además de 5 muestras de ceniza encontrada en las fuentes de agua cercanas al distrito de Lluta. El estudio litológico se realizó mediante un microscopio binocular, que permitió caracterizar las cenizas depositadas en el distrito de Lluta y fuentes de agua cercanas.

### 5.3.1. Componentes litológicos de la ceniza entre 4 y 10 km del volcán Sabancaya

Los líticos juveniles presentan color gris oscuro y gris claro, representan el mayor porcentaje de todos los componentes de la ceniza con 84 a 94% de la muestra total (Figura 16).

Los cristales encontrados entre 3 a 10% son mayormente plagioclasas, biotita y pocos olivinos. Líticos oxidados e hidrotermalizados entre 1 y 5% presentan color blanquecino y pardo rojizo. Líticos accidentales presentan color gris y pardo oscuro. El porcentaje varia de 0.5 a 3%. y (Figura 17)

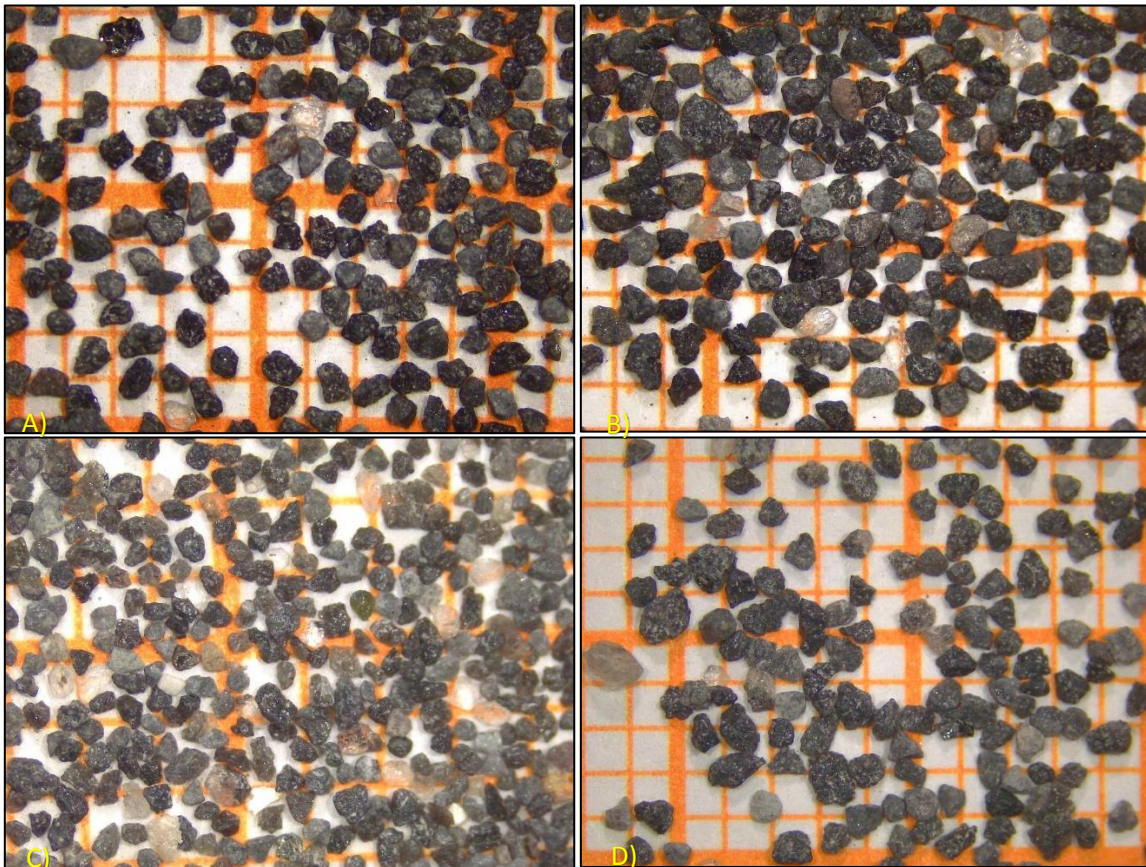


Figura 16: Muestras de ceniza emitida por el volcán Sabancaya entre 4 y 10 km de distancia A) Muestra Sab-21-13; B) Muestra Sab-21-13; C) Muestra Sab-21-20; D) Muestra Sab-21-27.

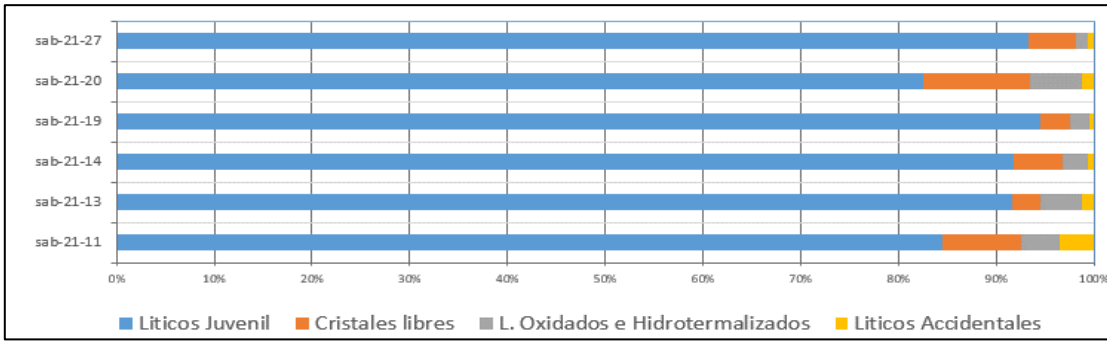


Figura 17: Porcentajes de componentes litológicos de las muestras de ceniza entre 4 y 10 km del volcán Sabancaya.

### 5.3.2. Componentes litológicos de la ceniza a 27 km del volcán Sabancaya

Los líticos juveniles presentan color gris oscuro y gris claro, son el mayor porcentaje de todos los componentes, representan de 44 a 48% (Figura 18).

Los cristales encontrados entre 34 a 35%, son mayormente plagioclasas, biotita y pocos olivinos. Líticos oxidados e hidrotermalizados, entre 9 a 14%, presentan color blanquecino y pardo rojizo. Líticos accidentales presentan color gris claro de forma redondeada. El porcentaje varia de 3 a 10% (Figura 19).

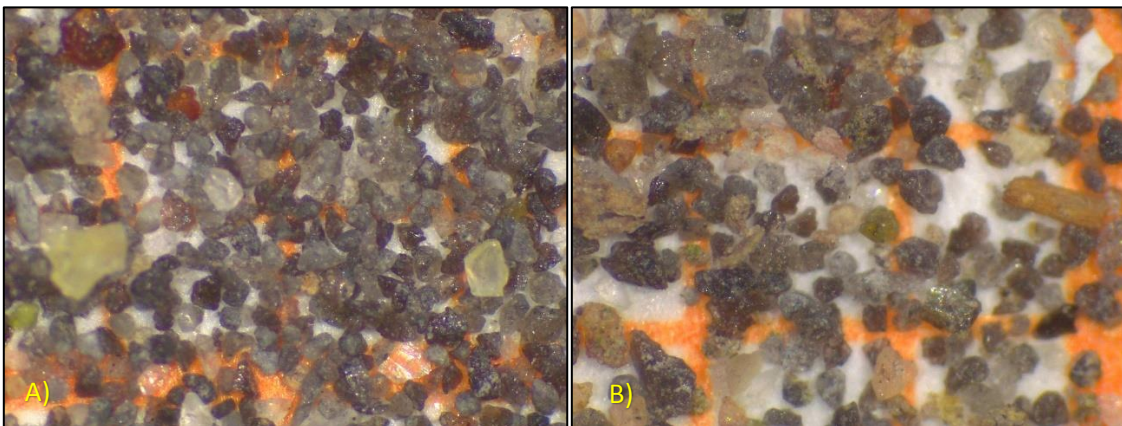


Figura 18: Muestras de ceniza emitida por el volcán Sabancaya a 27 km de distancia A) Muestra Sab-21-17; B) Muestra Sab-21-18.

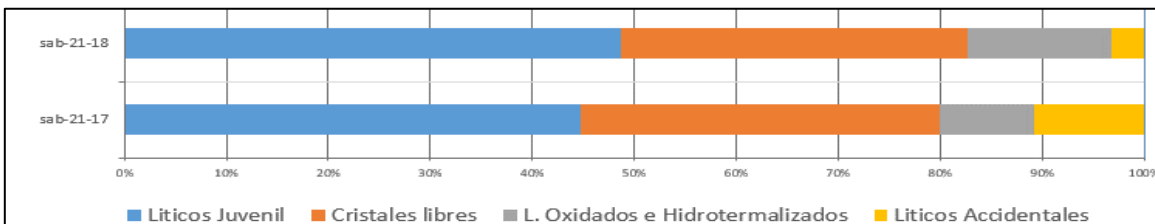


Figura 19: Porcentajes de componentes litológicos de las muestras de ceniza a 27 km del volcán Sabancaya.



### 5.3.3. Componentes litológicos de las fuentes de agua cercanas al distrito de Lluta

Para el análisis de la ceniza en las fuentes de agua se ha realizado por el filtrado y desecación de la muestra de las muestras de agua teniendo como resultado (Cuadro 4):

**Cuadro 4:** Porcentaje de ceniza encontrada en el agua

MUESTRA	Porcentaje de ceniza en el agua (%)
I	0.064
II	0.039
III	0.039
IV	0.041
V	0.049

Los líticos juveniles entre de 2 a 10%, presentan color gris oscuro de forma subangulosa. Los cristales encontrados, entre 88 a 95%.son mayormente plagioclasas, biotita y vidrio volcánico; de forma subredondeada a redondeada. Líticos oxidados e hidrotermalizados (2%) presentan color blanquecino y pardo rojizo. Líticos accidentales son pomez (3%) presentan color gris claro y blanquecinos (Figura 20 y 21).

Las muestras de ceniza en las fuentes de agua son las siguientes:

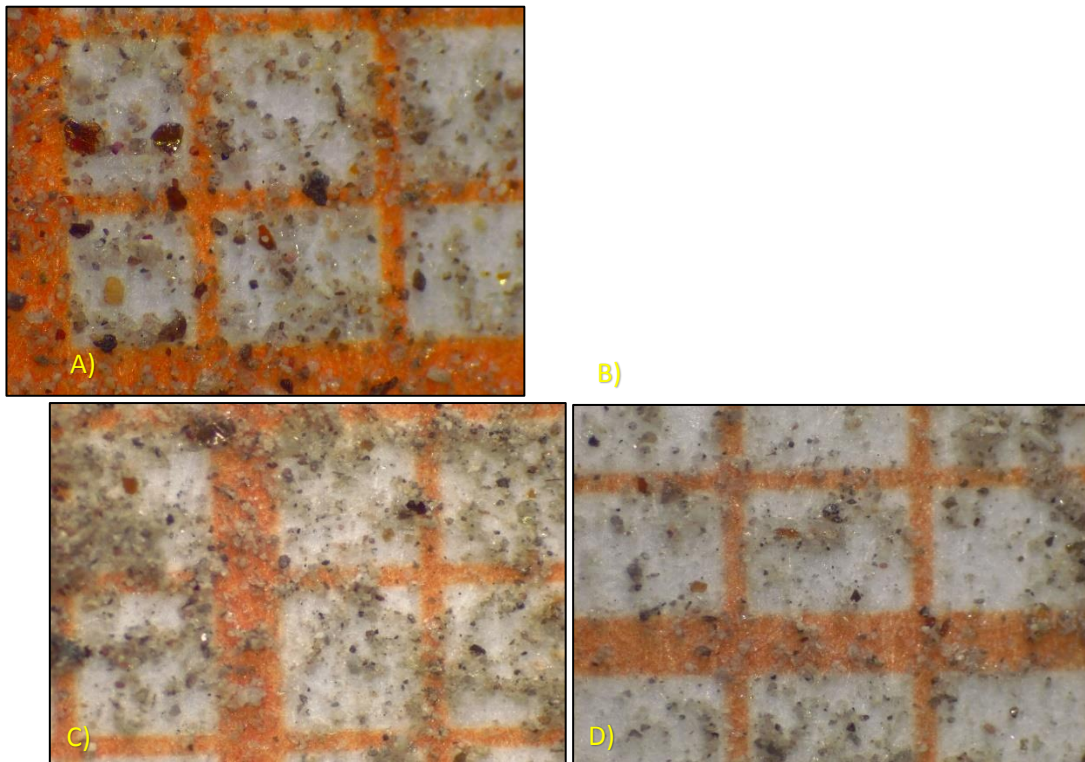


Figura 20: Muestras de ceniza encontradas en las fuentes de agua cercanas al distrito de Lluta A) Muestra Huanca-21-01; B) Muestra Huanca-21-02; C) Muestra Huanca-21-03; D) Muestra Huanca-21-04.

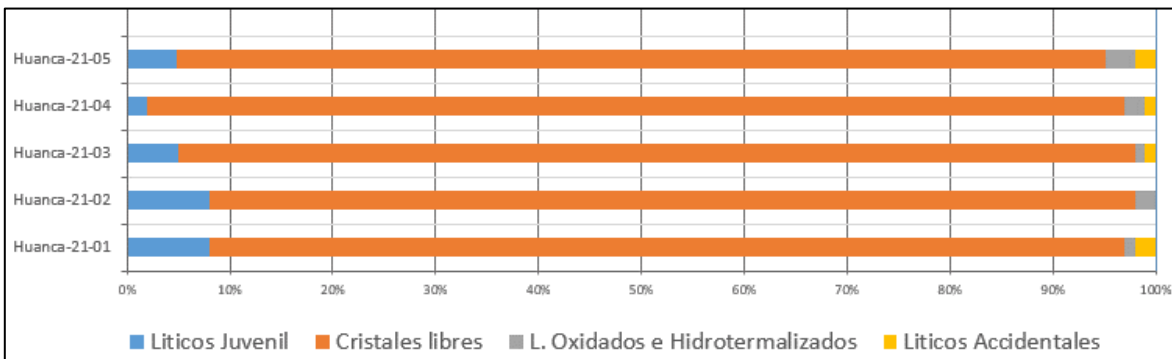
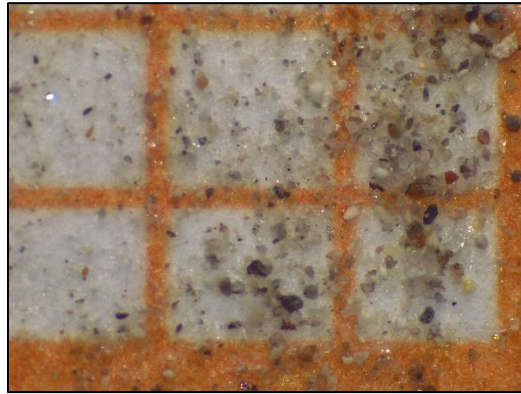


Figura 21: Porcentajes de componentes litológicos de las muestras en las fuentes de agua cercanas al distrito de Lluta.

#### 5.4 Reinstalación e instalación de cenizómetros en el distrito de Lluta

Con el fin de continuar con el monitoreo de la ceniza volcánica emitida por el volcán Sabancaya se reinstalaron 02 cenizómetros en el Poblado de Lluta (SC-10) y en el anexo de Mocca (SC-11), además se instaló 01 cenizómetro (SC-44) a 18 km al suroeste del volcán Sabancaya (Figura 22).

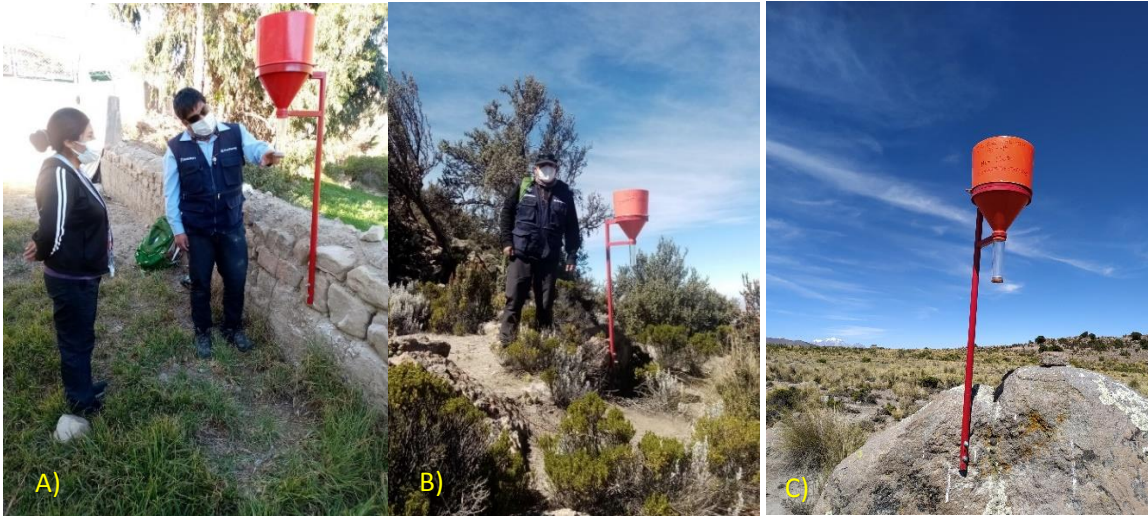


Figura 22: A) Reinstalación del cenizómetro en el poblado de Lluta (SC-10); B) Reinstalación del cenizómetro en el anexo de Mocca (SC-11); C) Instalación del cenizómetro SC-44 a 18 km del volcán Sabancaya.

## 6. MAPA DE PELIGROS VOLCANICOS

### 6.1 MAPA DE PELIGROS POR CAÍDA POR CENIZA Y LAPILLI

En el mapa principal se presentan un mapa de peligros por caídas de tefras (pómez, cenizas, escorias) del volcán Sabancaya. Este mapa corresponde a un escenario de erupciones leves a moderadas (vulcaniana) (Figura 25).

En el caso de una erupción moderada a leve (vulcaniana), se generarían principalmente columnas de cenizas y gases, que pueden viajar hacia el suroeste en época lluviosa (noviembre a marzo), y hacia este y suroeste en la época seca (abril a octubre). Existe una zona de mayor peligro (zona roja), proximal al cráter la cual sería la más afectada, e inmediatamente una zona naranja y otra amarilla que serían afectadas en caso de erupciones más explosivas o violentas (Figura 25). El área afectada está basada en la ocurrencia de erupciones de magnitud moderada (IEV 1 - 2) presentada por el Sabancaya ocurrida recientemente: 1990-1998 y el actual proceso.

Según los datos de campo tomados en el 2021 en el distrito de LLuta, los productos emitidos por el Sabancaya corresponden a fragmentos de material volcánico de ceniza (tamaño menor de 2 mm). Desde luego la ceniza ha caído en el distrito de Lluta, afectando los 40 caseríos de este distrito además del poblado de Lluta.

En inmediaciones del volcán se tomaron espesores con los cenizómetros del depósito de caídas de ceniza. Es así que a 10 km del volcán se reportó entre 2.9 y 0.3 mm de espesor y a 27 km del volcán en el anexo de Taya y poblado de Huanca se reportó caída de ceniza de 0.1 mm de espesor (Figura 24); Además se encontró ceniza en las fuentes de agua para consumo de la población (Figura 23).



*Figura 23: Canales abiertos de agua para consumo de la población del distrito de LLuta, captados en las cercanías de los volcanes Ampato y Sabancaya.*

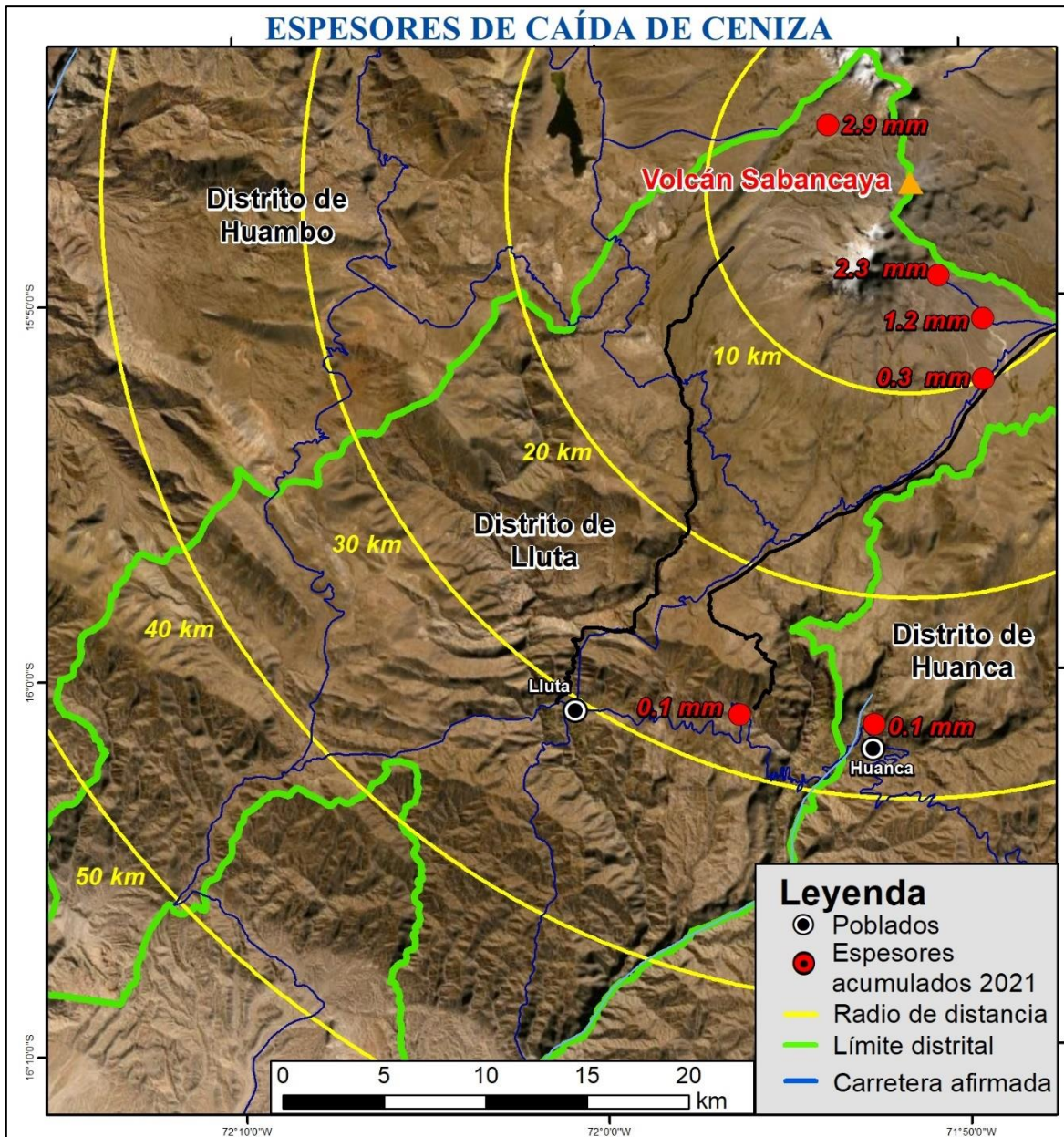


Figura 24: Espesores de ceniza medidos en el distrito de Lluta en el periodo 2021

En la actual erupción del volcán Sabancaya según el mapa de peligros por caída de ceniza volcánica para una erupción con un IEV=2 (Figura 25), las emisiones de ceniza y vientos que se desplazan en dirección sur y suroeste seguirían afectando a las 40 localidades del distrito de Lluta con caída de ceniza con algunos milímetros de espesor de ceniza volcánica (Figura 25) además de afectar los canales de agua abiertos que utiliza el distrito para proveer de agua potable a la población.

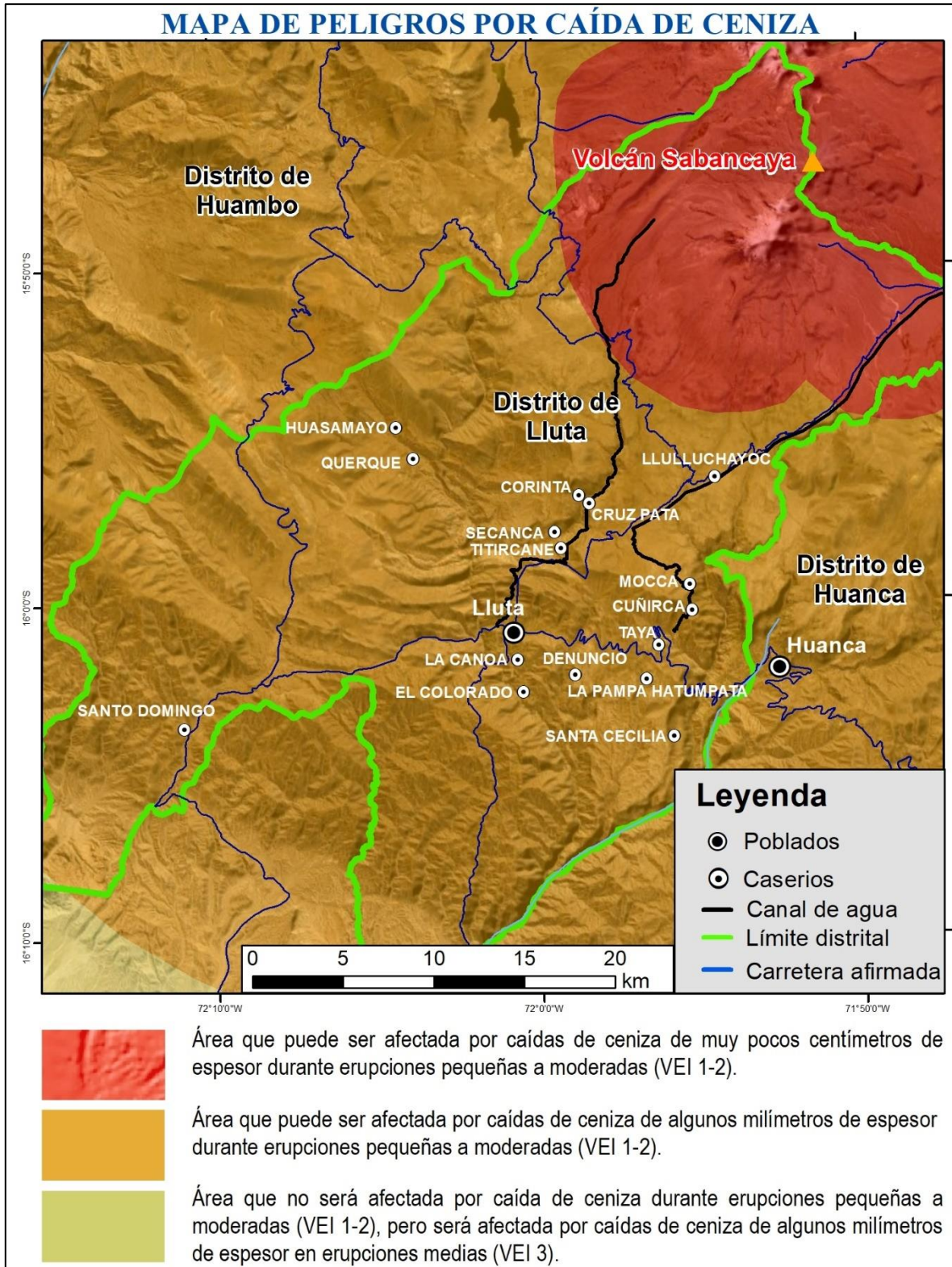


Figura 25: Mapa de peligros por caída de ceniza del volcán Sabancaya (Mariño et. al., 2012).

## 6.2 MAPA DE PELIGROS POR LAHARES

Un efecto secundario de la caída de ceniza es la formación de lahares. Los lahares consisten en una mezcla sedimentos, rocas y agua que descienden por las laderas de los volcanes a gran velocidad (Smith y Fritz, 1989) y usualmente son provocados por la movilización de la ceniza volcánica acumulada y material suelto depositado en las quebradas o laderas de los volcanes a causa de precipitaciones intensas o derretimiento precipitado de nieve. En el distrito de Lluta la afectación a causa de este fenómeno es directamente los canales abiertos de agua colmatándose (Figura 26), además con la obstrucción de la vía Taya – Patapampa – Chivay (Figura 27). Las quebradas que podrían ser afectadas por este peligro volcánico son: Cabana Pujio, Colquemarca, Quellocancha, Collo, Vizcachane y Chullune (Figura 28).

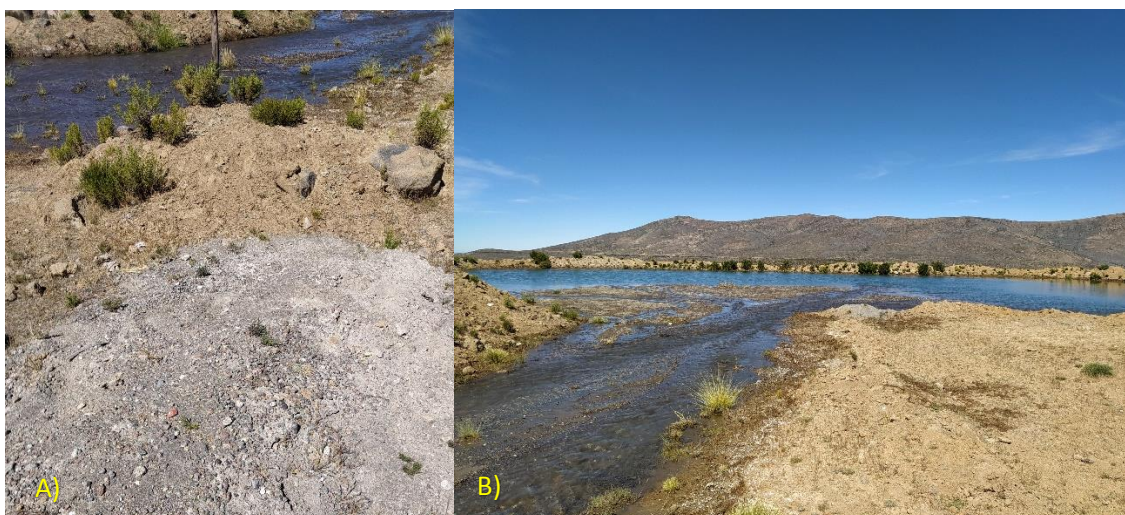


Figura 26: A) Material que colmata los canales de agua; B) Desarenadores en los canales de agua en el distrito de Lluta.



Figura 27: Flujo de lahar quebrada Cabana Pujio, afectando la vía Taya-Patapampa-Chivay.

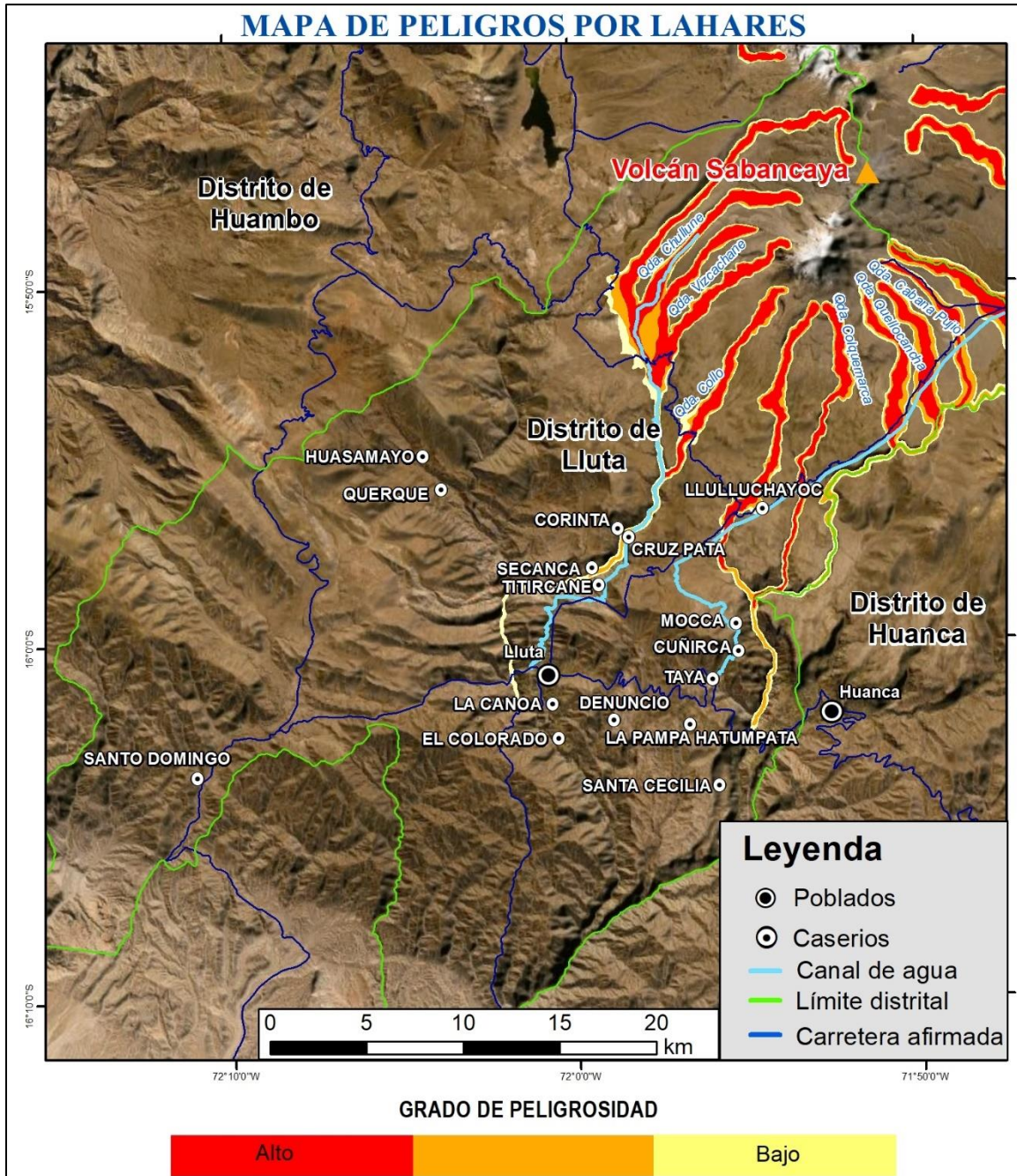


Figura 28: Mapa por peligros de flujos de lahares en el distrito de Lluta (Rivera et. Al., 2016).



## VII. EFECTOS DE LA CENIZA VOLCÁNICA

### 7.1 Problemas respiratorios

Los problemas respiratorios generados por las cenizas volcánicas están condicionados por dos características principales de las cenizas volcánicas: el tamaño y la composición de las partículas:

#### a) **Tamaño**

Existen tres fracciones de polvo definidas en la norma europea EN481 y Howell and Baxter (2006): las fracciones inhalables, torácicas y respirables (Figura 29).

- La fracción inhalable donde las partículas menores a 15 micras generan fenómenos inflamatorios en la región extratorácica del sistema respiratorio, se manifiesta con síntomas como irritación en la garganta, obstrucción nasal, tos, flema.
- La fracción torácica donde las partículas menores a 10 micras afectan a la región traqueobronquial, pudiendo generar laringotraquitis.
- Las partículas de polvo respirable menor a 4 micras penetran profundamente en los pulmones, el cuerpo cuenta con mecanismos de defensa natural eliminando la mayor parte. Sin embargo, en casos de exposición prolongada a niveles excesivos de ceniza, se hace difícil su eliminación de los pulmones y su acumulación a largo plazo, puede ocasionar efectos irreversibles sobre la salud.

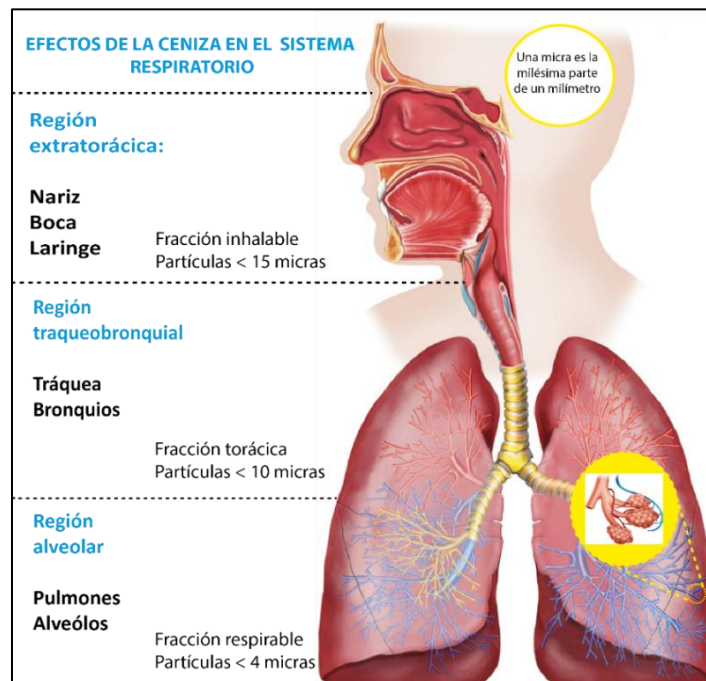


Figura 29: Efectos de la ceniza en la salud modificado de Howell and Baxter (2006).

## b) **Composición de las partículas**

El estudio de la composición mineralógica de la ceniza volcánica es un paso crucial en la evaluación de los peligros para la salud. La ceniza volcánica a menudo contiene sílice cristalina que en exposición prolongada y grandes cantidades puede ser perjudicial para la salud. La cual es bien conocida en la industria por causar silicosis una enfermedad pulmonar (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer 1997).

Según Howell and Baxter (2006) la ceniza de composición basáltica tiene una menor toxicidad que la ceniza de composición andesítica o dacítica, esto debido al contenido de sílice cristalina. En las emisiones de ceniza con partículas menores a 10 micras contiene entre 4 a 13% de sílice cristalina, mientras que en partículas de 4 micras el contenido de sílice cristalino es de 40 a 45 %.

### **7.2 Efectos a los ojos**

La irritación en los ojos es un efecto común, ya que una porción de arenilla puede provocar dolorosas erosiones (rasguños) en la parte frontal del ojo (abrasiones en la córnea) y conjuntivitis.

Los síntomas son:

- Sensación de cuerpo extraño en los ojos.
- Dolor ocular, escozor e inyección conjuntival (ojos rojos).
- Secreción pegajosa o lagrimeo
- Abrasiones en la córnea o erosiones (rasguños).

### **7.3 Efectos de la caída de ceniza en la agricultura y ganadería**

Las especies agrícolas son también gravemente perjudicadas por la emisión de ceniza volcánica. Debido a la bondad de los suelos generados por las rocas volcánicas, el entorno del volcán suele estar poblado, dedicándose la mayor parte de esta población a las prácticas agrarias y agrícolas precisamente en las proximidades del volcán. En consecuencia, todos los eventos eruptivos que interfieran a un territorio en el que se desarrollen prácticas agrícolas y ganaderas, son susceptibles a ser dañados por la caída de ceniza (Figura 30).

La agricultura puede afectarse cuando la ceniza impulsada por el viento se deposita sobre los árboles y plantas provocan abrasión y heridas sobre la superficie de las hojas. Con la humedad de lluvias leves y el rocío, las partículas se adhieren a la superficie de las hojas y dificultan las funciones de fotosíntesis y respiración.



*Figura 30: Poblado de Lluta dedicado a la agricultura.*

Al contaminar la cobertura vegetal, las cenizas afectan indirectamente al ganado cuando éste ingiere junto con el pasto grandes cantidades de ceniza provocando un desgaste prematuro de la dentadura. La ceniza que no es eliminada en las heces, dificulta la digestión del ganado, registrándose casos de diarrea; en algunos casos la ceniza puede provocar la muerte de los animales de pastoreo por intoxicación (Figura 31).



*Figura 31: Pastoreo de bovinos en el distrito de Lluta.*

#### 7.4 Efecto de la caída de ceniza en la infraestructura

La ceniza puede contaminar el agua, así como colmatar canales de riego y producir atascos o daños en el equipo de abastecimiento de agua (Figura 32). La caída de cenizas, e incluso pequeñas cantidades de ceniza pueden reducir la potabilidad del agua. Aunque el riesgo de intoxicación es bajo, el pH puede verse reducido o la clorificación inhibida.



*Figura 32: Colmatación de los canales de la Planta Hidroeléctrica Lluta y Llucta reportado en el 2020.*

## CONCLUSIONES

- La emisión de ceniza entre enero a octubre del 2021 fue moderada, con columnas eruptivas que alcanzaron una altura máxima de 2700 metros sobre el cráter en dirección suroeste.
- Según el análisis granulométrico realizado, se obtuvo que las muestras de ceniza contienen el 50 % de material fino menor a 32 micras, a 10 km del volcán Sabancaya, mientras a 27 km las muestras de ceniza contienen el 13.2% de material fino menor a 32 micras que puede afectar el sistema respiratorio y visual.
- El conteo litológico de las muestras entre 4 y 10 km del volcán mayormente está compuesto por líticos juveniles de color gris claro en un 94% - 84%, seguida por cristales libres en un 10% - 3%. También se cuenta con líticos oxidados e hidrotermalizados en un 1 % - 5%. En estas muestras se identificaron líticos accidentales en 0.5% - 3%. Mientras las muestras a 27 km del volcán, está compuesto por líticos juveniles de color gris claro en un 44% - 48%, seguida por cristales libres en un 34% - 35%. También se cuenta con líticos oxidados e hidrotermalizados en un 9 % - 14%. En estas muestras se identificaron líticos accidentales en 3% - 10%, de formas sub-redondeadas lo cual indica que este sector es afectado por la removilización de ceniza volcánica.
- Se ha identificado que las fuentes de agua cerca al distrito de Lluta tienen un máximo de 0.06% de material volcánico del peso total de la muestra equivalente a 600 mg/L, con base la cantidad de solidos permitidos en el agua potable por la Agencia de Protección Ambiental de los EU (USEPA) se sugiere un máximo de 500 mg/L en el agua potable por este motivo el agua que consumen en el distrito de Lluta podrían generar problemas en la salud de los pobladores.
- El conteo litológico de las muestras de ceniza en las fuentes de agua cercanas al distrito de Lluta, está compuesto por líticos juveniles de color gris claro en un 2% - 10%, seguida por cristales libres en un 88% - 95%. También se cuenta con líticos oxidados e hidrotermalizados en un 2%. En estas muestras se identificaron líticos accidentales en 3%% con la presencia de pómez, lo cual nos sugiere que estas fuentes de agua son afectadas por depósitos de ceniza emitida por la actual erupción y por erupciones pasadas depositadas alrededor del volcán Sabancaya.
- Según el mapa por caídas de ceniza para erupciones de magnitud baja a moderada (IEV 2), las localidades del distrito de Lluta se encuentran en la zona de moderado peligro y desde luego en cualquier tipo de erupción, dependiendo de la dirección de viento será afectada por caídas de ceniza, para lo cual se debe implementar medidas de protección a la población. En el actual proceso eruptivo 2021 se ha registrado entre 0.3 -2.9 milímetros de espesor a entre 5 – 10 km del volcán, además a 27 km se ha registrado un espesor de 0.1 mm; y de continuar la actividad el espesor podría aumentar. La presencia de fuertes vientos puede removilizar fácilmente la ceniza depositada, lo cual podría resultar dañino para población.
- Según el mapa de peligros por lahares para del volcán Sabancaya elaborado por INGEMMET, podrían ser afectados los canales de agua que consumen los poblados de Lluta, además de afectar la vía Taya-Patapampa-Chivay.



## RECOMENDACIONES

- Las cenizas pueden causar problemas respiratorios, molestias oculares, irritación de la piel y efectos indirectos, por lo cual la gerencia de salud debe brindar una atención adecuada a las personas afectadas por estos males y además debe realizar campañas de prevención y protección que se deben implementar en las zonas aledañas al volcán para preservar la salud de la población.
- Las cenizas afectan los canales de agua abiertos se deben encauzar a través de tuberías de PVC para mitigar la afectación de las fuentes de agua de consumo del distrito de Lluta.
- Se deben construir desarenadores con el fin de remover partículas de ceniza en el agua.
- La ceniza afecta el agua que consume el distrito de Lluta, por lo cual el ANA debe realizar estudios periódicos de las fuentes de agua que se encuentran alrededor del volcán Sabancaya, e informar a la población si esta es apta para el consumo humano y el de los animales.
- Las entidades encargadas deben realizar periódicamente una evaluación de los animales del distrito de Lluta, en especial los animales que se encuentran dentro de los 20 km de radio desde el volcán Sabancaya.
- Se sugiere que los organismos encargados de la gestión de la actividad agrícola (ministerio de agricultura y gerencia regional de agricultura) realicen estudios y análisis de los campos agrícolas en el distrito de Lluta dañados por la caída de ceniza, y plantear alternativas a la población.
- Mantenerse informado sobre la actividad del volcán Sabancaya a través de las alertas, pronósticos y reportes de monitoreo del INGEMMET.

  
-----  
Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL  
Director  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
INGEMMET

  
-----  
Ing. EDU LUIS TAIPE MAQUERHUA  
Especialista en Peligros  
Geológicos  
INGEMMET

## BIBLIOGRAFÍA

- Bernard, B. (2013). Homemade ashmeter: a low-cost, high-efficiency solution to improve tephra field-data collection for contemporary explosive eruptions. *Journal of Applied Volcanology* 2:1.
- Bias, S., and Bonadonna, C., 2011, A quantitative uncertainty assessment of eruptive parameters derived from tephra deposits: The example of two large eruptions of Cotopaxi volcano, Ecuador: *Bulletin of Volcanology*, v. 73, p. 73–90, doi:10.1007/s00445-010-0404-5.
- Bonadonna, C., and Houghton, B., 2005. Total, grain-size distribution and volume of tephra-fall deposits. *Bulletin of Volcanology*, 67, 441–456.
- Brown, W.K., (1989). A theory of sequential fragmentation and its astronomical applications. - *J. Astrophys. Astr.* 10: 89- 112.
- Caselli, A.; Velez, M. & Agosto, M. (2011). “Manual de procedimientos ante caída de cenizas volcánicas”. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad de Buenos Aires.
- Folk, R. L. (1966) - A review of grain size parameters. *sedimentology* 6, 73 - 93 p.
- GERBE M.-C., THOURET J.-C. (2004). Role of magma mixing in the petrogenesis of lavas erupted through the 1990-98 explosive activity of Nevado Sabancaya in south Peru. *Bulletin of Volcanology*, 66, 541-561.
- Howell, C. & Baxter, P. (2006). “The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. *Bull Volcanol DOI* 10.1007/s00445-006-0052-y.
- INEI, (2018), Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. <http://censo2017.inei.gob.pe/>
- Inman, D. L. (1952) - Measures of describing the size distribution of sediments. *Jour. Sed. Petrol*, 22, 125 – 145 p.
- Krumbein W. C. (1934) - Size frequency distribution of sediments. *Jour Sedim. Petrol.* Vol-1, 65 - 77p.
- Mariño, J. (2012). Escenarios eruptivos y mapa de peligros del complejo volcánico Ampato-Sabancaya. Tesis Maestría, Universidad de Nice, Francia, 87 p.
- Rivera, M.; Mariño, J.; Samaniego, P.; Delgado, R. & Manrique, N. (2016). Geología y evaluación de peligros del complejo volcánico Ampato - Sabancaya (Arequipa), INGEMMET. *Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 61, 122 p., 2 mapas.
- Samaniego, P., Rivera, M., Mariño, J., Guillou, H., Liorzou, C., Zerathe, S., Delgado, R., Valderrama, P. (2016). The eruptive chronology of the Ampato-Sabancaya volcanic complex (Southern Peru). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Vol. 323, p. 110-128.
- Smith, G. A.; Fritz, W. J. (1989). Volcanic influences on terrestrial sedimentation. *Geology* 17, p. 375-377
- Walker, G. (1971) - Grain-size characteristics of pyroclastic deposits. *J. Geol.*, 79, 696-714 p.