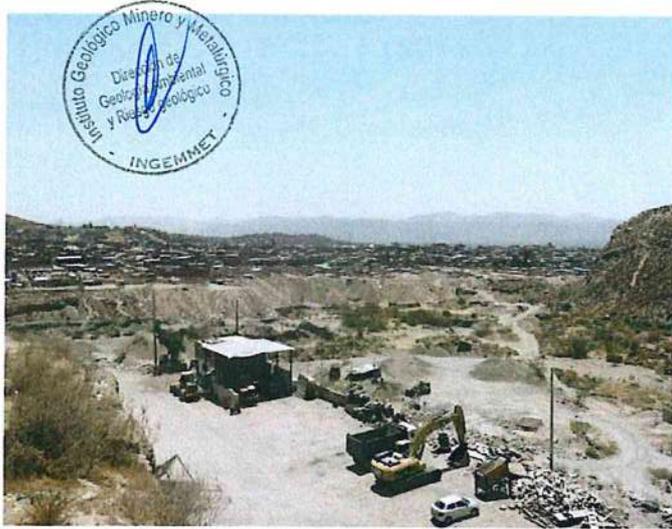


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7012

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL DISTRITO DE PAUCARPATA

Región Arequipa
Provincia Arequipa
Distrito Paucarpata



FEBRERO
2020

INDICE

RESUMEN	1
1. ANTECEDENTES	2
2. ASPECTOS GENERALES	2
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	2
4. ASPECTO GEOMORFOLÓGICO	10
5. ANÁLISIS DE PELIGROS VOLCÁNICOS	11
6. ANÁLISIS DEL MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN MISTI	14
7. MONITOREO VOLCÁNICO	18
a) Vigilancia Sísmica	18
b) Vigilancia Geoquímica	18
c) Vigilancia geodésica	19
d) Vigilancia Visual	19
8. ACTIVIDAD ACTUAL DEL VOLCÁN MISTI	19
9. PELIGROS IDENTIFICADOS EN QUEBRADAS	20
CONCLUSIONES	22
RECOMENDACIONES	23
BIBLIOGRAFÍA	24

RESUMEN

El informe técnico contiene información acerca de los peligros volcánicos en el distrito de Paucarpata, provincia y departamento de Arequipa.

En el área de estudio afloran secuencias metamórficas conformadas por ignimbritas del Plioceno, hasta rocas Holocénicas más recientes representadas por depósitos de caídas piroclásticas de lapilli pómez del volcán Misti, depósitos de lahares y depósitos aluviales.

El volcán Misti durante una erupción es capaz emitir diversos productos. De acuerdo al mapa de peligros múltiples del Volcán Misti, las viviendas del distrito de Paucarpata, se encuentran en **zona de alto, moderado y bajo peligro**. Estas viviendas pueden ser afectadas por caída de ceniza y piedra pómez, flujos y oleadas piroclásticas, flujos de barro (lahares), avalanchas de escombros y/o flujos de lava.

El Observatorio Vulcanológico del INGEMMET realiza el monitoreo del volcán Misti mediante cuatro técnicas especializadas: monitoreo geoquímico, sísmico, geodésico, y visual, cuyo seguimiento se realiza de forma continua y permanente para detectar oportunamente condiciones anómalas precursoras de algún proceso eruptivo. Así mismo, los reportes de monitoreo del volcán Misti indican que dicho volcán presenta síntomas de actividad en niveles bajos, típicos de un volcán activo.

De acuerdo a la recurrencia eruptiva del volcán Misti, es latente que este volcán presente erupciones de tipo subpliniana (cada 2000 a 4000 años) o vulcaniana (cada 500 a 1500 años). En tal sentido, se recomienda no realizar infraestructura alguna dentro de los polígonos de **zona de alto peligro**.

1. ANTECEDENTES

Mediante el oficio N° 042-2019/SGDC-GRD/MDP de fecha 05 de setiembre del 2019, el alcalde del Distrito de Paucarpata, solicita al presidente ejecutivo del INGEMMET, información acerca de los peligros volcánicos del distrito de Paucarpata, provincia y departamento de Arequipa. El INGEMMET mediante la Dirección de Geología Ambiental y de Riesgos Geológicos, dispuso se realice el informe técnico correspondiente, para lo cual se delega a los ingenieros, Yhon Soncco, David Prudencio y Jessica Vela; atender dicha solicitud.

El presente documento ha sido elaborado con los datos recopilados del boletín serie C - N° 60 Geología y Mapa de Peligros del Volcán Misti (Mariño et al., 2016). También se revisó información geológica existente en la bibliografía, así como en trabajos de gabinete mediante la interpretación de imágenes satelitales disponibles.

El informe contiene un extracto de todos los peligros que puedan generarse en el sector indicado, por ocurrencia de eventos volcánicos.

2. ASPECTOS GENERALES

2.1 Ubicación y accesibilidad

La zona de estudio está ubicada en el distrito de Paucarpata, provincia y departamento de Arequipa, para ser más exactos la municipalidad distrital de Paucarpata se localiza aproximadamente entre 14 y 15 km en línea recta al suroeste del volcán Misti, en la coordenada geográfica: latitud 16°25'57.96"S y longitud 71°30'16.68"O (figura 1).

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Existen estudios sobre la evolución geológica del volcán Misti realizados por Thouret *et al.* (2001), Legros (2001) y Suni (1999). Thouret *et al.* (2001), diferenció en el volcán Misti cuatro edificios principales, denominados Misti 1, Misti 2, Misti 3, Misti 4 (figura 2). Las edades de las construcciones de sus edificios están datadas entre 833 mil años BP (antes del presente) hasta la actualidad. El Misti es un volcán joven, el edificio más reciente Misti 4 se construyó en los últimos 11 mil años. Las rocas de los depósitos de estos edificios tienen composiciones andesíticas, dacíticas y riolíticas.

El edificio Misti 1 emplazada entre ~833-112 ka (miles años), está compuesto por depósitos volcano-clásticos y flujos de lava que recorrieron hasta 9 km de distancia respecto al cráter del volcán Misti.

El edificio Misti 2 emplazada entre ~112-40 ka (miles años), está constituido por una intercalación de flujos de lava, flujos piroclásticos de bloques y ceniza, flujos de escoria, flujos de pómez y ceniza, y caídas piroclásticas. Los depósitos del edificio poseen composición andesítica a dacítica (Rivera et al., 2017).

El edificio Misti 3 emplazada entre 40-11 ka (miles de años), está construido por flujos de lava, flujos de ceniza, flujos de pómez y ceniza, también por depósitos de caídas piroclásticas (Legros, 2001; Thouret et al., 2001; Mariño et al., 2016; Harpel et al., 2018). Dichos depósitos poseen composiciones desde andesita hasta dacítica y ocasionalmente riolítica.

El edificio Misti 4 emplaza hace <11 ka (miles de años) cuya construcción estuvo asociada a erupciones históricas y pre-históricas producidas por el volcán Misti. Los

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

depósitos que lo edifican son flujos de pómez y ceniza, flujos de escoria, caídas de pómez, caída de ceniza, así como oleadas piroclásticas; estos depósitos poseen composición andesítica a dacítica. Actualmente, en la cima del cono de la cumbre existen dos cráteres; el de mayor diámetro posee 935 m y posiblemente este asociado a la erupción pliniana ocurrida hace 2060 años (Harpel et al., 2011); el segundo cráter está en el interior y es concéntrico al primer cráter y posee 530 m de diámetro y su origen se asocia las erupciones históricas y pre-históricas.

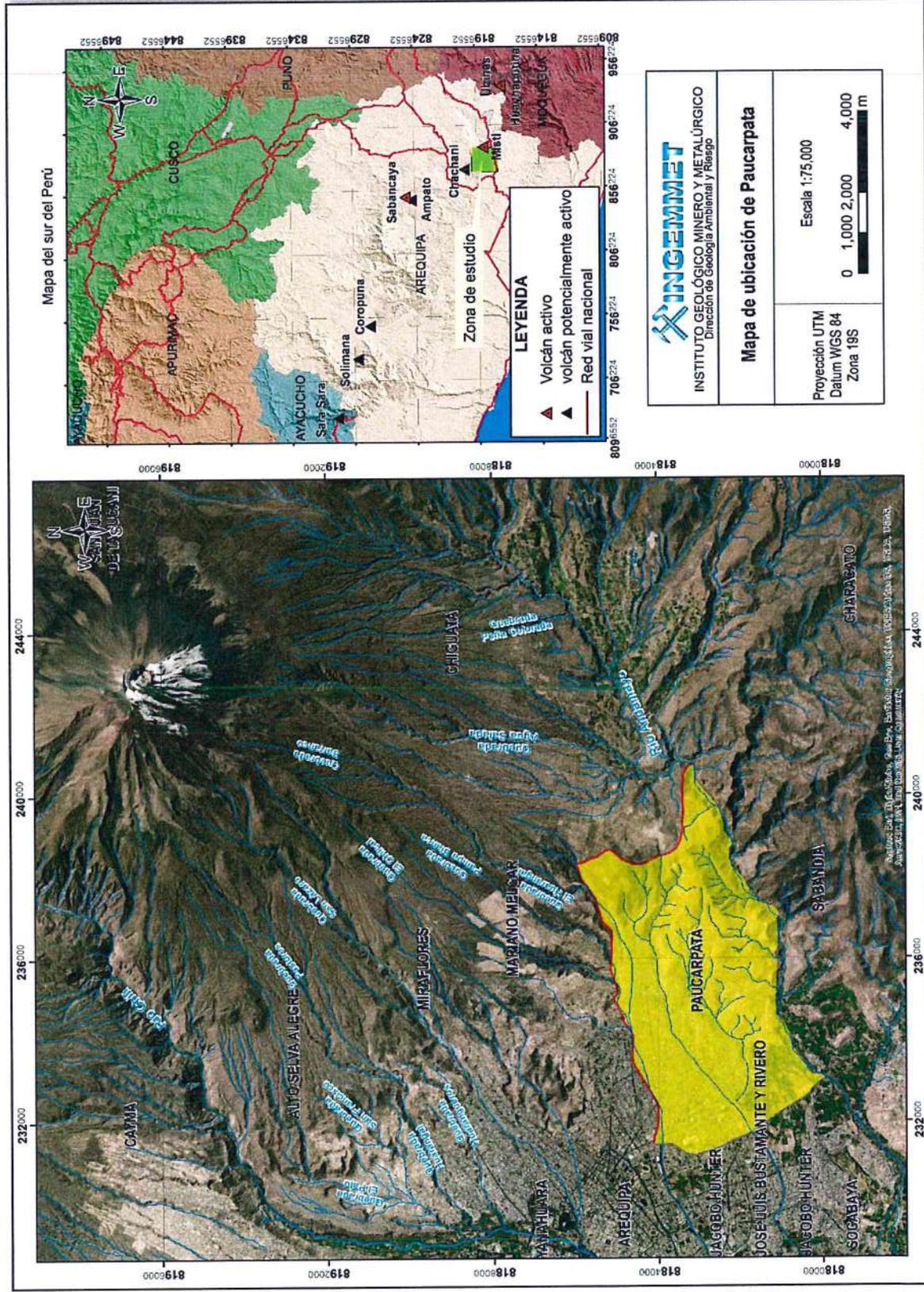


Figura 1. Mapa de ubicación del distrito de Paucarpata.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

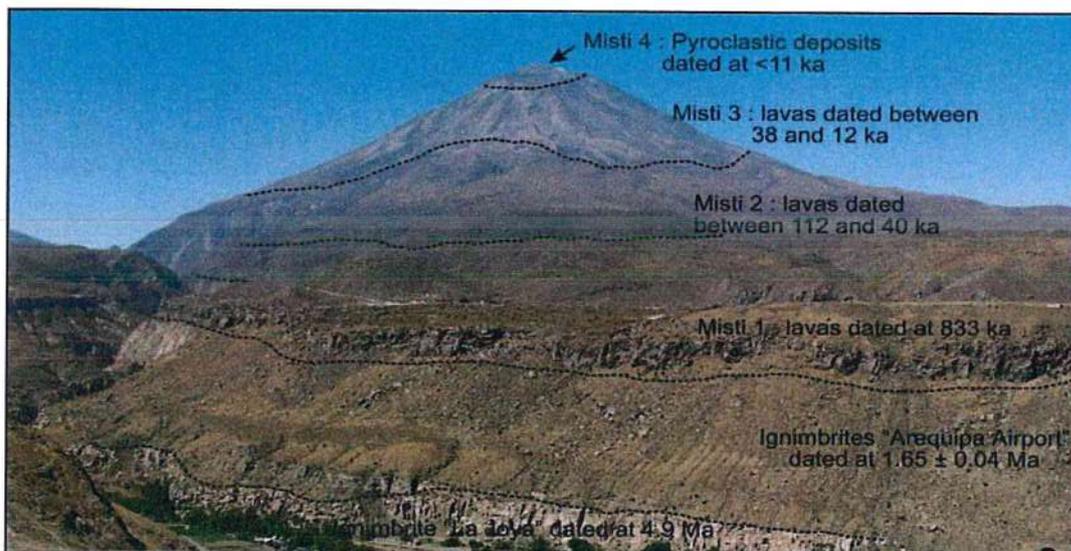


Figura 2. Edificios del volcán Misti (tomado de Rivera et al., 2017).

A continuación, se describen las unidades litoestratigráficas que afloran en el distrito de Paucarpata, desde las unidades más antiguas hasta las unidades Holocénicas.

- a) **Depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza (FPB-pi):** A más de 20 km al oeste del Pichu Pichu, en los sectores de Yumina y el río Andamayo, se distinguen depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza, consolidados, de más de 60 m de espesor. En la torrentera 4 de Paucarpata, a la altura de la intersección de la Av. Abraham Valdelomar con Av. Sansón y Dalila, se aprecia depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas (figura 3). Estos depósitos infrayacen a los depósitos de avalancha de escombros del volcán Pichu Pichu. Por su posición estratigráfica y ubicación, estos depósitos piroclásticos han sido asociados al volcán Pichu Pichu.



Figura 3. Torrentera 4 de Paucarpata, se aprecia depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas.

- b) **Depósitos de avalanchas de escombros del volcán Pichu Pichu (DA-pi):** Los depósitos de avalanchas de escombros afloran al oeste del complejo volcánico Pichu Pichu y se originaron debido a un colapso sectorial de dicho volcán, el cual ocurrió hace aproximadamente 1 Ma (Legros et al., 2000). Se encuentra sobre la ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, que tiene 1.65 Ma (Paquereau et al., 2006).

Esta avalancha recorrió más de 22 km en dirección SO, llegando hasta la zona de Jesús, Paucarpata (figura 4), Chiguata e inmediaciones del distrito de Characato.

El depósito está constituido por fragmentos heterogéneos de rocas no consolidadas o pobremente consolidadas, en su mayoría bastante hidrotermalizadas, y que están incluidos dentro de una matriz limo-arenosa. Se han encontrado facies de matriz y facies de bloques. Los clastos en los megabloques están bastante fracturados.

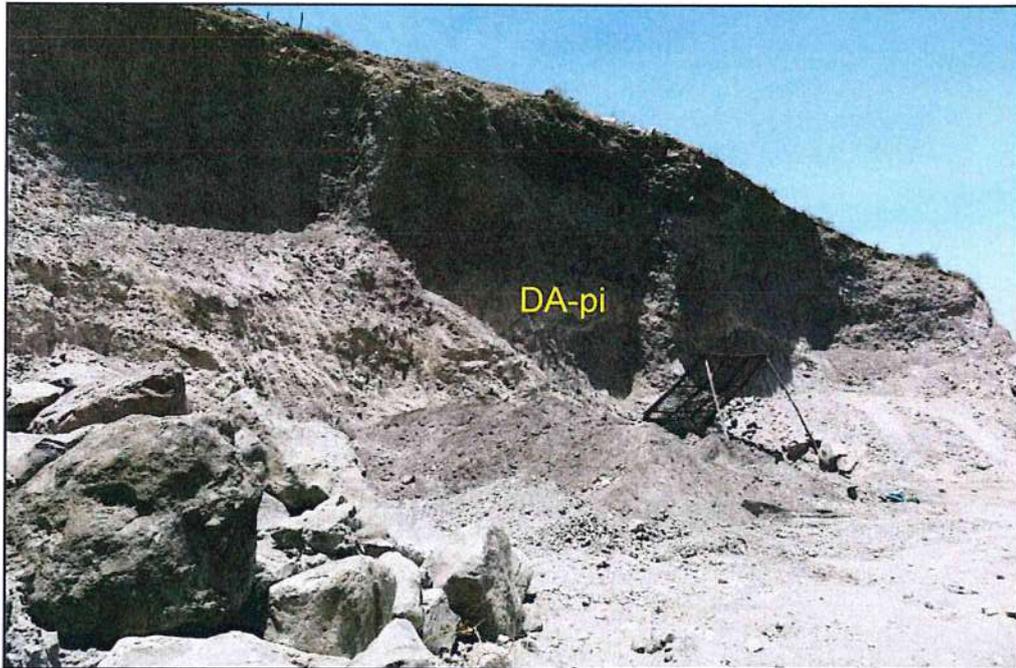


Figura 4. *Torrentera 4, entre el distrito de Chiguata y Paucarpata, se aprecia un depósito de avalancha de escombros del volcán Pichu Pichu.*

- c) **Flujos de lavas en bloques con anfíbol y piroxenos (FL-m2):** Estos flujos de lava poseen cerca de 3 km de largo, por 2 km de ancho y cerca de 70 m de espesor. Afloran a 14 km al SO del cráter del Misti, entre las quebradas Chical y San Lázaro. Son flujos de lava en bloques, de color gris claro, presentan textura porfírica y abundantes fenocristales de plagioclasa de hasta 5 mm de tamaño, anfíbol de hasta 4 mm y dos tipos de piroxenos (orto y clinopiroxeno).
- d) **Depósitos de avalanchas de escombros del volcán Misti (DA-m):** Los afloramientos se extienden hacia el sur, oeste y SO del Misti, entre 11 y 8 km del cráter. Se observan pequeños afloramientos al norte del distrito de Paucarpata (figura 7). El depósito presenta predominantemente facies de matriz y ocasionalmente facies de bloques, estos últimos rodeados normalmente por facies de matriz.
- e) **Flujos piroclásticos de pómez y ceniza (FPP-m2):** Estos flujos piroclásticos están asociados con erupciones ocurridas alrededor de 40 ka. En el río Chili, un flujo piroclástico de pómez y ceniza ha sido datado en 40.2 ka. Asimismo, en la quebrada Huarangal, un flujo piroclástico de bloques y ceniza ha sido datado en 39.6 ka (Thouret et al., 2001).
 Este flujo que aflora cerca al Santuario de Chapi (14 Km al oeste del cráter) tiene alrededor de 15 m de espesor. En el distrito de Paucarpata, se observan

afloramientos de este flujo en la margen izquierda de la torrentera 4, a la altura del puente Venezuela (figura 5). Este depósito muestra una concentración de pómez de tamaño centimétrico englobados en una matriz de ceniza.



Figura 5. Margen izquierda de la torrentera 4, distrito de Paucarpata. Se aprecian depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza.

- f) **Flujos piroclásticos de pómez y ceniza (FPP-m3):** En las quebradas San Lázaro y Agua Salada, se encuentra un depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza de entre 2 y 5 m de espesor. Además, en el distrito de Paucarpata se muestran pequeños afloramientos de este depósito (figura 7). Este depósito es de color rosado (salmón); contiene abundante matriz de ceniza, que engloba bloques de pómez, algunos de hasta 20 cm de diámetro, así como algunos fragmentos líticos que están en menor porcentaje. El depósito en mención sobreyace a flujos piroclásticos de bloques y ceniza en ambas quebradas. Por otro lado, sobre las secuencias descritas anteriormente afloran depósitos de caída de tefra.
- g) **Flujos piroclásticos de bloques y ceniza (FPB-m):** En la quebrada Pastores (9 km al SO del cráter), este depósito posee un espesor de un poco más de 8 m. Pequeños afloramientos de este flujo son visibles al norte del distrito de Paucarpata (figura 7). Los bloques miden hasta 0.4 m de diámetro, algunos son ligeramente vesiculares y otros son masivos. Estos bloques contienen fenocristales de plagioclasa, anfíbol y algunos incluso piroxenos. Sobreyacen a este depósito dos depósitos de ceniza y pómez retrabajados y un depósito de caída de lapilli de pómez de color amarillo ocre, pobre en líticos, de aproximadamente 1 m de espesor. En el tope se tiene un depósito de bloques y ceniza, que tiene un espesor máximo de 2 m.
- h) **Secuencia de caídas piroclásticas (CP-m1):** Esto es visible en la zona occidental del volcán Misti, en los sectores Cerro Pacheco, Qda. Pastores, río Chili, Cayma, Alto Cayma, carretera a Charcani V y Aeropuerto, donde se han identificado al menos 7 depósitos de caída de lapilli de pómez y ceniza. En el distrito de Paucarpata los depósitos de caídas piroclásticas afloran al norte de dicho distrito (figura 7).
- i) **Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza (FPPL-m):** Este depósito aflora en toda el área de Arequipa y ha podido ser identificado a más de 25 km al SO del cráter. También se ha identificado afloramientos de este depósito entre

el distrito de Paucarpata y Mariano melgar (figura 7). El depósito posee tres capas bien diferenciadas: una capa inferior rica en pómez, un nivel intermedio rico en líticos finos y una tercera capa superior rica en líticos. También se puede distinguir gradación inversa de pómez.

- j) **Depósitos de lahar (LEV-m, LH-m):** Se han identificado un buen número de depósitos de lahar, especialmente en los ríos Chili y Andamayo (figura 6), así como en las quebradas que descienden por el volcán Misti, en los flancos sur, SE y SO. Dichos depósitos están intercalados con depósitos de caídas y flujos piroclásticos.

Los depósitos de lahar, tiene edades que oscilan entre 1035 y 330 años B.P., datados por Delaite et al. (2005). Todos estos depósitos se originaron en los flancos suroeste y oeste del volcán Misti y el flanco sureste del volcán Chachani. Estos depósitos contienen fragmentos líticos heterométricos y heterogéneos, están mal clasificados y se encuentran englobados en una matriz arenosa.



Figura 6. Margen izquierda del río Andamayo, altura del puente Sabandia. Se aprecia depósitos de Lahares.



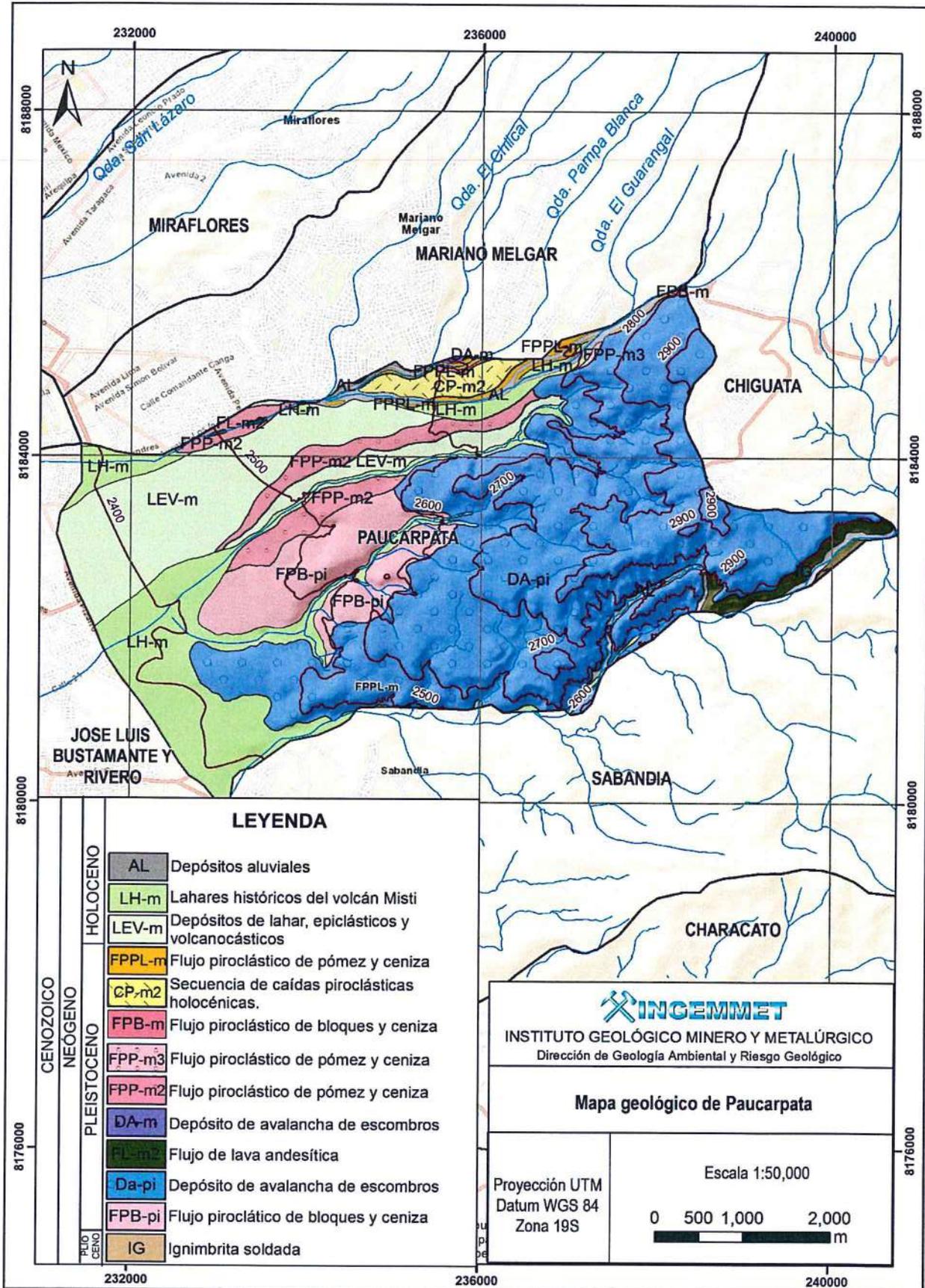


Figura 7. Mapa geológico del distrito del Alto selva Alegre, (Mariño et al., 2016).

4. ASPECTO GEOMORFOLÓGICO

De acuerdo al mapa geomorfológico del volcán Misti (figura 8), elaborado por Mariño et al., 2016, el distrito de Paucarpata se encuentra en las siguientes unidades geomorfológicas:

- a) **Zona de colinas (Col):** Se extiende al norte y oeste del distrito de Paucarpata (figura 8). Las colinas tienen entre 50 y 200 m de altura, mediana pendiente (20 a 40°) y están surcadas por quebradas poco profundas. Está conformada por depósitos de avalanchas de escombros de los volcanes Misti y Pichu Pichu, así como depósitos de caídas y flujos de lava. Las colinas cónicas o *Hummocks*, son una morfología típica en depósitos de avalanchas de escombros, las cuales están asociadas a la presencia de megabloques. Algunas de estas colinas están siendo pobladas.
- b) **Zona de abanico aluvial (Aba):** La zona de abanico aluvial se extiende entre los 2200 y 2500 msnm, en los tramos finales de las quebradas que bajan del volcán Misti, tales como Pastores, San Lázaro, El Chical y Guarangal. Es una planicie de poca pendiente (~20°), surcada por quebradas que frecuentemente poseen menos de 10 m de profundidad. Se formó debido a sucesivas acumulaciones de lahares y depósitos de caídas y flujos piroclásticos del volcán Misti. En la actualidad, gran parte de las viviendas del distrito de Paucarpata se encuentran asentadas sobre dicho abanico aluvial.

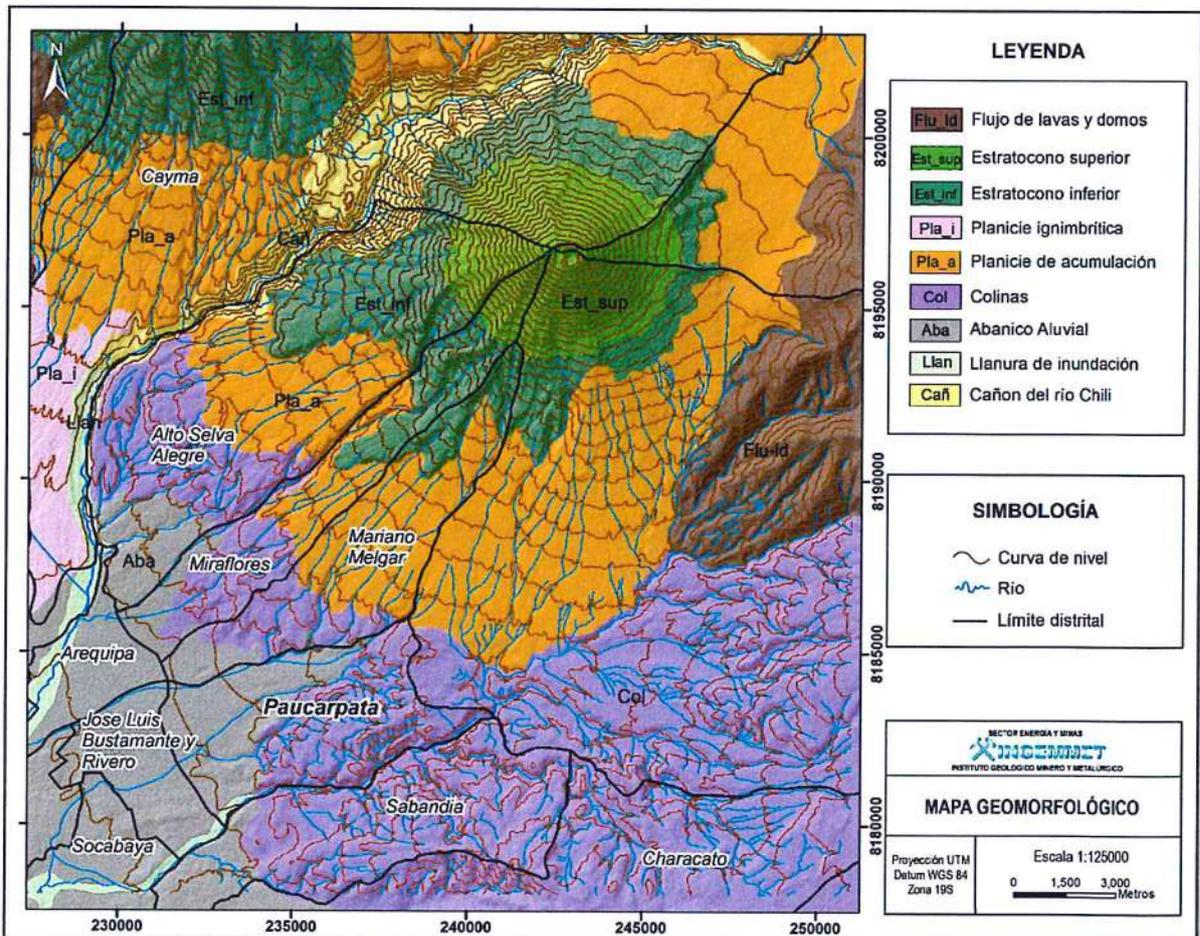


Figura 8. Mapa geomorfológico del área de estudio (Mariño et al., 2016).



5. ANÁLISIS DE PELIGROS VOLCÁNICOS

El volcán Misti durante una erupción es capaz emitir diversos productos los cuales en inmediaciones del volcán pueden desencadenar peligros, los cuales por orden de importancia se identificaron: peligros por caída de piroclastos y proyectiles balísticos, flujos y oleadas piroclásticas, flujos de escombros (lahares), flujos de lava, avalanchas de escombros y gases volcánicos.

- a) **Caída de piroclastos y proyectiles balísticos:** Son generados durante erupciones explosivas formando una columna eruptiva, pueden alcanzar decenas de kilómetros en la atmosfera y posteriormente caen sobre la superficie terrestre. De acuerdo a su tamaño, los fragmentos de caída se clasifican en: bombas o bloques (>64 mm), lapilli (2-64 mm) y ceniza (<2 mm). Los fragmentos más pequeños como la ceniza son llevadas por el viento a grandes distancias (Cas y Wright, 1987).
- b) **Flujos y oleadas piroclásticas:** Son masas con temperaturas entre 300°C y 800°C conformado por cenizas, fragmentos de roca y gases, que descienden por los flancos del volcán emplazadas por la superficie a grandes velocidades que están entre 100 y 300 m/s (Hoblitt et al., 1995). Poseen un parte inferior denso, otra superior menos densa, denominada oleada piroclástica, compuesta por una nube turbulenta de gases y ceniza que con facilidad salen del valle, sobrepasan relieves importantes y afectan una mayor área. Estos flujos y oleadas destruyen y calcinan todo lo que encuentran a su paso (Tilling & Beate, 1993).

En la parte alta de la torrentera Los Incas, margen izquierda, a la altura de la avenida Venezuela, se aprecia un depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza, de 0.5 m de espesor (figura 9). Así mismo, En la Torrentera N°3 entre los distritos de Paucarpata y Mariano Melgar se ha identificado un depósito, de flujo piroclástico de pómez y ceniza, con un espesor aproximado de 5 m (figura 10).



Figura 9. Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza en la torrentera Los Incas.



Figura 10. Flujo piroclástico de pómez y ceniza asociado a la erupción de hace 2050 años. El depósito posee 5 m de espesor y se encuentra en la Torrentera N°3, entre los distritos de Paucarpata y Mariano Melgar, a 14 km del cráter.

- c) **Flujos de escombros (Lahares):** Llamados también flujos de barro, son mezclas de partículas volcánicas de tamaños diversos movilizados por el agua, fluyen por valles y quebradas con velocidades de 5.5 y 16.6 m/s, el agua puede provenir de fuertes lluvias, fusión de hielo o nieve y ríos o lagunas cratéricas (Tilling & Beate, 1993). En la margen izquierda del río Andamayo, a la altura del puente Sabandía, se observa un depósito de lahar formando parte de terrazas junto a materiales fluviales (figura 11). Así mismo, en la Torrentera N°3 de Paucarpata, se han observado depósitos de lahares emplazados en épocas históricas y recientes, lo cual indica que la posibilidad de ocurrencia de lahares en esta zona es muy alta (figura 12).



Figura 11. Margen izquierdo del río Andamayo. Se observa un depósito de Lahar de 1.0 m de espesor.

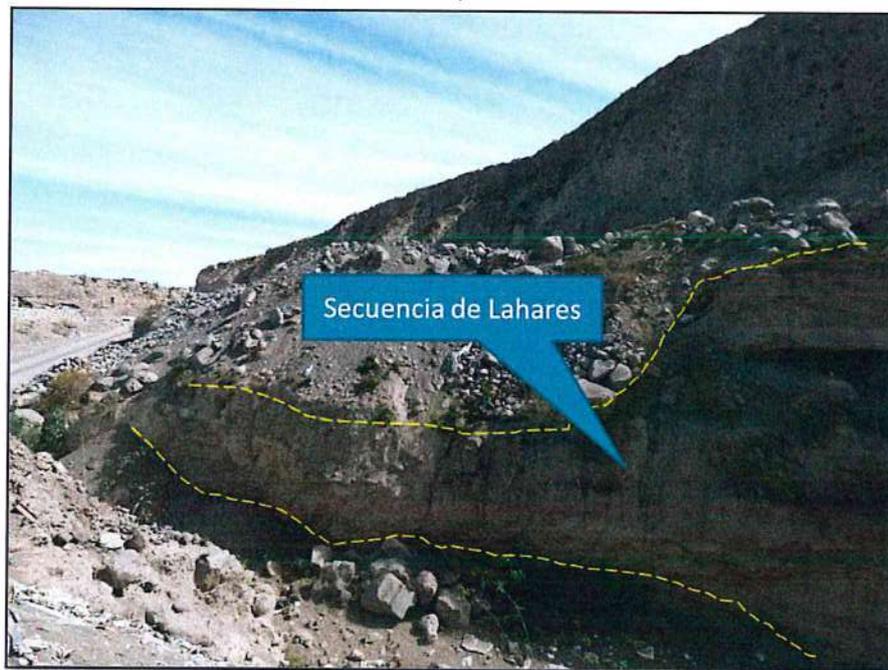


Figura 12. Depósito de lahar, posee entre 1 a 2 m de espesor y se encuentra canalizado en la Torrentera N°3, entre los distritos de Paucarpata y Mariano Melgar, a 14 km del cráter del volcán Misti.

- d) **Flujos de lava:** Son corrientes de roca fundida expulsadas por el cráter o fracturas en los flancos del volcán. Pueden fluir por el fondo de los valles y alcanzar varios kilómetros de distancia, en los volcanes de la Zona Volcánica Central de los Andes (ZVC) donde está incluido el Misti, las lavas son viscosas y normalmente se enfrían en la zona del cráter formando domos o recorren algunos kilómetros de distancia.
- e) **Avalanchas de escombros:** Son deslizamientos súbitos de los edificios volcánicos. Originados por factores de inestabilidad, como pendientes altas que presenta el

volcán, fallamientos, sismos fuertes o la intrusión de material volcánico en el edificio volcánico. Estos eventos son poco frecuentes, pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia y se desplazan a gran velocidad, mayor movilidad que sus similares no volcánicas dependiendo del volumen trasladado (Mariño et al., 2016). En la torrentera 4, entre el distrito de Chiguata y Paucarpata, se observa un depósito de avalancha de escombros y materiales de desmorte en toda la quebrada (figura 13).

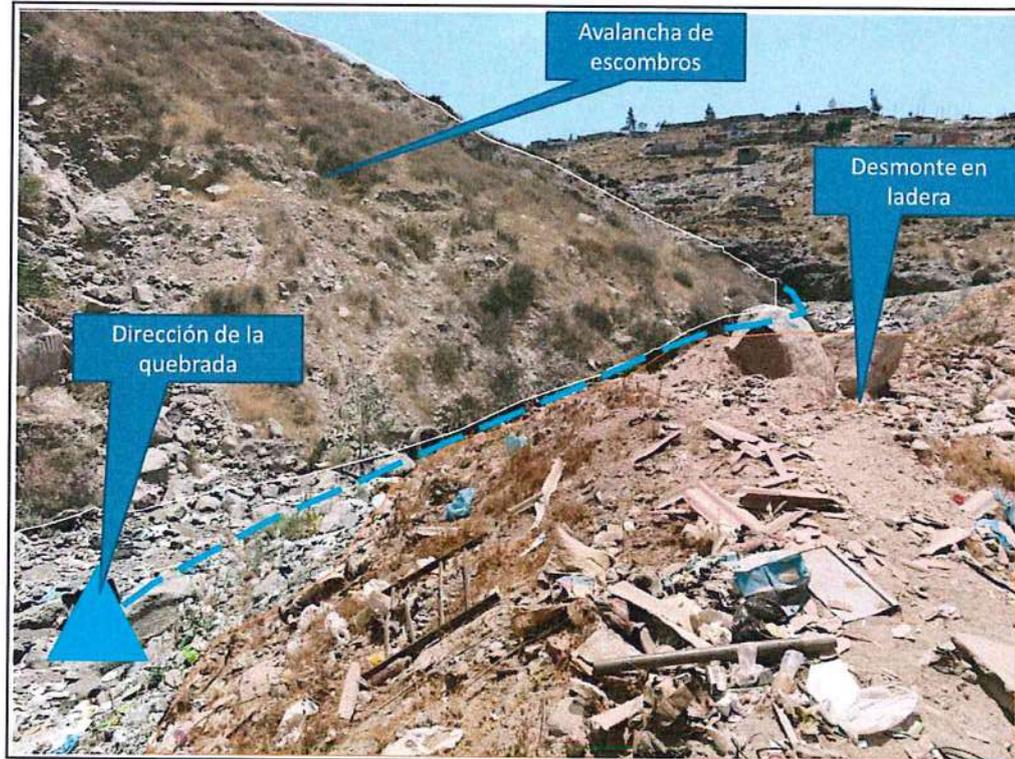


Figura 13. Depósito de avalancha de escombros y materiales de desmorte, en la Torrentera 4 entre los distritos de Chiguata y Paucarpata.

- f) **Gases volcánicos:** Es toda aquella liberación de gases que ocurre durante las erupciones volcánicas, entre ellas están el vapor de agua, dióxido de carbono, dióxido de azufre, ácido clorhídrico, monóxido de carbono, ácido fluorhídrico, azufre, nitrógeno, cloro y flúor (Hoblitt et al., 1995). Estos gases se diluyen y dispersan rápidamente, pueden alcanzar concentraciones altas en las zonas de depresiones muy cerca al volcán, generando intoxicación y muerte de seres vivos. Los gases también pueden formar compuestos químicos que se adhieren a las partículas de ceniza, así como reaccionar con las gotas de agua y provocar lluvias ácidas que generan corrosión, daños en los cultivos, así como contaminación de aguas y suelos. Frecuentemente, los efectos nocivos están restringidos a un radio menor de 10 km (Tilling& Beate, 1993).

6. ANÁLISIS DEL MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN MISTI

Para generar los mapas de peligros del volcán Misti, fue necesario realizar la reconstrucción de la historia eruptiva del volcán, en el cual se reconoció los principales dinamismos eruptivos, la magnitud y frecuencia de erupciones pasadas, utilizando modelos teóricos existentes sobre el alcance de los productos volcánicos y la comparación con otros estratovolcanes de arco, especialmente peruanos, considerados como "análogos" al Misti, debido a que han presentado erupciones similares en el

pasado (Ubinas, Huaynaputina, Sabancaya y Ticsani), realizando escenarios de acuerdo a IEV (índice de explosividad volcánica).

Para la construcción del mapa de peligros del volcán Misti, se consideraron los siguientes escenarios eruptivos:

- a) Escenario de erupción vulcaniana con IEV 1-2, similar al ocurrido en el siglo XV, donde se emplazaron caídas de ceniza de entre 2 y 4 cm de espesor en el área urbana de la ciudad de Arequipa.
- b) Escenario de erupción subpliniana a pliniana con IEV 3-4, basado principalmente en la erupción del volcán Misti de hace 2050 años BP, que tuvo un IEV 4 y una columna eruptiva de entre 22 y 24 km de altura.
- c) Escenario de erupción pliniana con IEV 5-6, basado en las erupciones que emplazaron los depósitos de caída piroclástica "Fibroso I" hace 33.8 mil años, "Sacaroso" y "Fibroso" hace 24 a 20 mil años, así como en la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600 d.C., que tuvo IEV 6.
- d) Escenario de erupción efusiva, con emplazamiento de flujos de lavas en bloques, que alcanzan en promedio entre 5 y 8 km de distancia.
- e) Escenario de erupción con colapso de domos, que fácilmente pueden alcanzar entre 10 y 14 km de distancia.
- f) Escenario con colapso de flanco y emplazamiento de avalanchas de escombros, basados en dos depósitos que afloran entre 6 y 15 km de distancia al sur, SO y NO del volcán.

El mapa de peligros múltiples del volcán Misti (Mariño *et al.*, 2016), muestra tres zonas de peligrosidad: alto (color rojo), moderado (color naranja) y bajo (color amarillo). El distrito de Paucarpata, se encuentra en la zona de peligro alto (color rojo), la zona de peligro moderado (color naranja) y la zona de peligros bajo (color amarillo).

Los lotes que interceptan con el peligro alto (figura 14), pueden ser afectados durante erupciones intensas, así como leves de baja magnitud como la ocurrida en el siglo XV, que tuvo un Índice de Explosividad Volcánica (IEV) de 1 a 2, y que se estima una recurrencia de cada 500 a 1500 años. Durante una erupción del tipo vulcaniano con IEV de 1 a 2, la zona evaluada puede ser severamente afectada por los siguientes peligros volcánicos: a) flujos piroclásticos, b) flujos de lodo llamados como lahares, c) flujos de lava y/o pequeñas avalanchas de escombros y d) caídas de tefra (cenizas y lapilli de pómez), (Mariño *et al.*, 2016).

Los lotes que interceptan con el peligro moderado (figura 14), pueden ser afectados solo durante erupciones de magnitud alta con un IEV 3 a 4 a mayor, como las erupciones producidas hace 2,050 y 11,000 años, estas erupciones se estiman que tienen una recurrencia de 2000 a 4000 años, los peligros que alcanzarían a esta zona serían todos con la excepción de flujos de lava que por su viscosidad alta no llegarían a estas áreas (Mariño *et al.*, 2016).

Los lotes que interceptan con el peligro bajo (figura 14), por ser la zona más alejada del volcán solo puede ser afectada por flujos, oleadas y caídas piroclásticas de pómez y/o cenizas, en erupciones de magnitud muy alta con un IEV igual o mayor de 5, como las ocurridas hace 13,600 y 33,000 años, que emplazaron voluminosos flujos piroclásticos. Estas erupciones se estiman que tienen una recurrencia de 7000 a 15000 años.

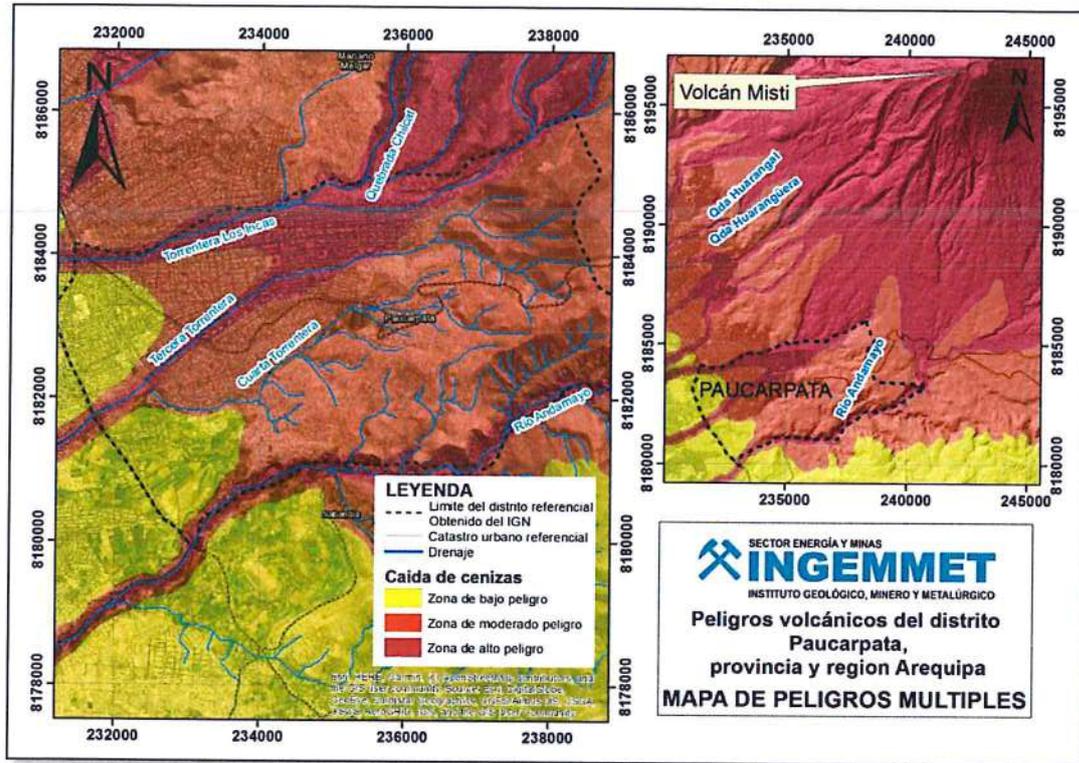


Figura 14. Muestra el Distrito de Alto Selva Alegre y el mapa de peligros múltiples del volcán Misti, tomado de Mariño et al., 2016.

En el mapa de peligros por caídas de ceniza diseñada para una erupción de magnitud baja (IEV 2) muestra que, el distrito de Paucarpata se encuentra en las zonas de peligro alto (color rojo) y peligro moderado (color naranja), (figura 15).

Los lotes que interceptan con el área de peligro alto pueden ser afectados por caída de cenizas en más de 4 cm de espesor, durante erupciones de magnitud baja como la erupción ocurrida en el siglo XV (Thouret et al., 2001), donde el depósito de ceniza tuvo un espesor de 4 cm alcanzando una distancia de 15 km al oeste del volcán Misti.

Los lotes que interceptan con el área de peligro moderado pueden ser afectados por caídas de ceniza de más de 1 cm de espesor, durante erupciones de magnitud baja como la erupción ocurrida en el siglo XV (Thouret et al., 2001), donde el depósito de ceniza tuvo un espesor de 1 cm, alcanzando una distancia de 30 km al oeste del volcán Misti.

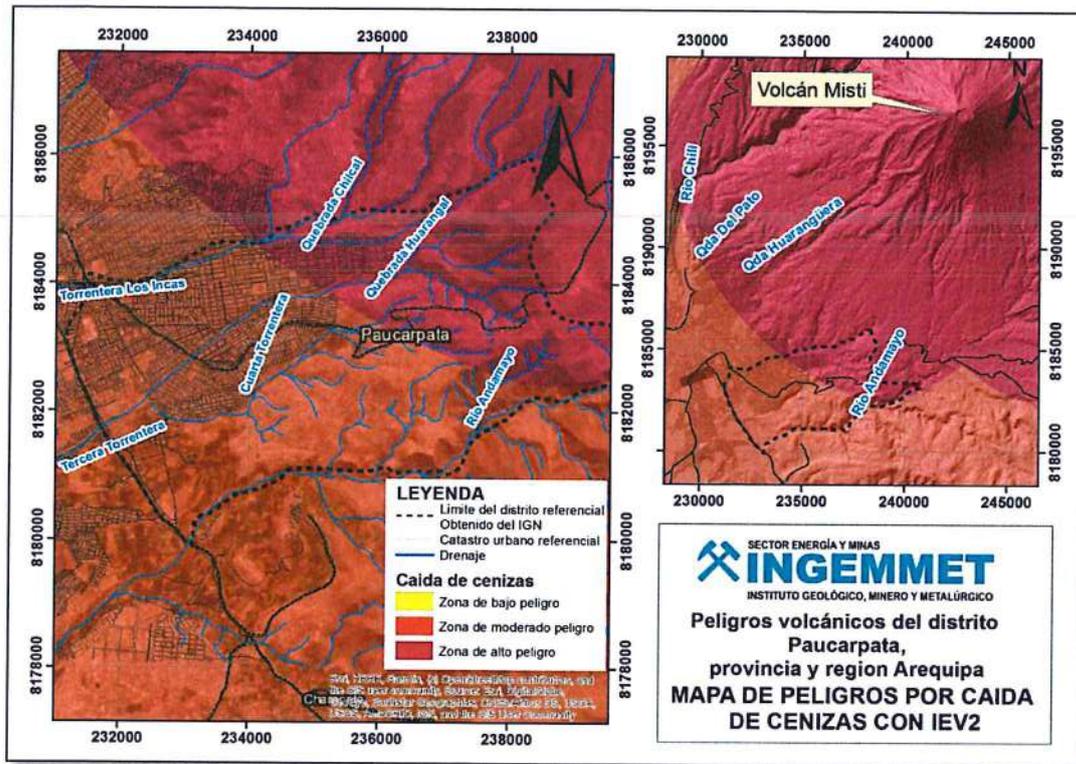


Figura 15. Muestra el Distrito de Alto Selva Alegre y el mapa de peligros por caída de cenizas para un IEV2 del volcán Misti, tomado de (Mariño et al., 2016).

Por otro lado, para una erupción de magnitud moderada a grande (IEV 3-6), el mapa de peligros por caídas de ceniza muestra que, el distrito de Paucarpata se encuentra en zona de peligro alto (color rojo) y una pequeña parte en zona de peligro moderado (color naranja), (figura 16).

Las áreas que interceptan con el peligro alto, pueden ser afectada por caídas de ceniza de más de 20 cm de espesor, durante erupciones subplinianas a plinianas, como la erupción ocurrida hace 2050 años B.P., con un IEV de 3, así como la erupción que emplazó el depósito de caída denominado "Autopista" con un IEV de 4 (Thouret et al., 2001; Cacya et al., 2007; Cobeñas., 2009).

Las áreas que interceptan con el peligro moderado, pueden ser afectados por caídas de cenizas y piedra pómez, depositando más de 10 cm de espesor, durante explosiones de magnitud grande con un IEV 6, sus límites están basados en los alcances de la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600 D.C.

Se estima que en el volcán Misti ocurren erupciones subplinianas con IEV 3-4, cada 2 a 4 mil años aproximadamente, y erupciones con IEV igual o mayor a 5, cada 10 a 20 mil años aproximadamente.

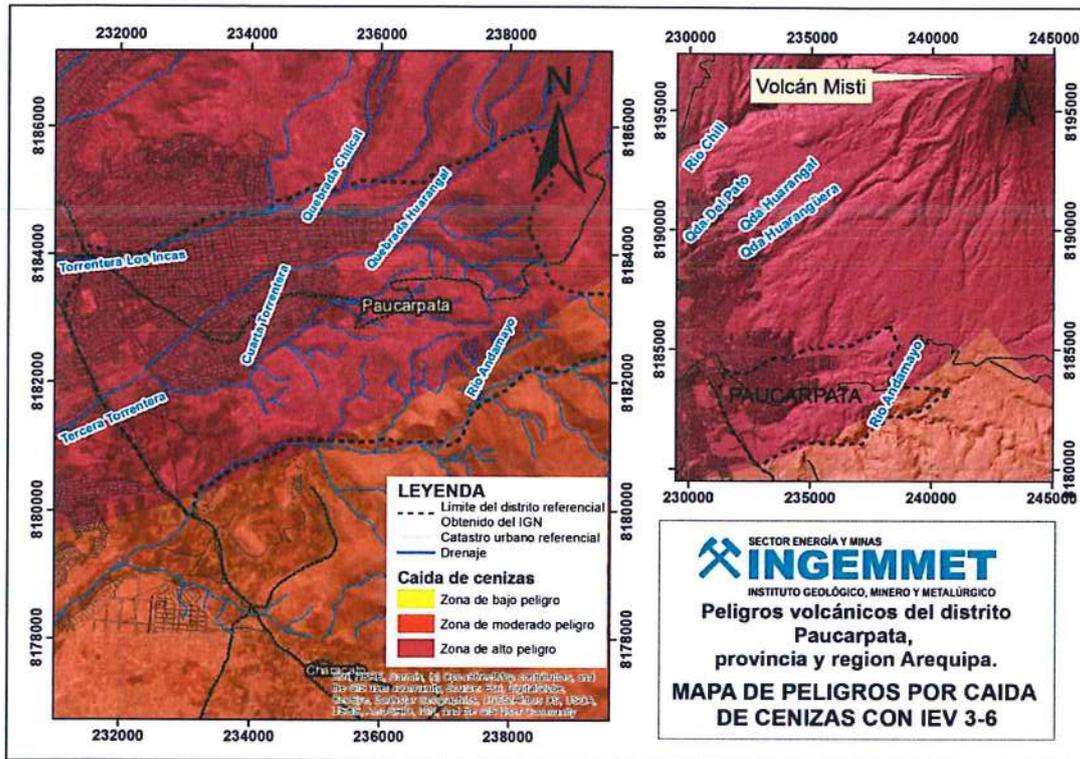


Figura 16. Muestra el Distrito de Alto Selva Alegre y el mapa de peligros por caída de cenizas para un IEV 3 a 6 del volcán Misti, tomado de (Mariño et al., 2016).

7. MONITOREO VOLCÁNICO

El INGEMMET realiza el monitoreo de los peligros geológicos (vulcanológicos) basado en su Reglamento de Organización y Funciones (ROF), aprobado mediante Decreto Supremo N° 035 – 2007 – EM. El INGEMMET inició el monitoreo de los volcanes activos del sur del Perú en el año 2005, con los métodos geoquímicos. Actualmente, a través del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET el monitoreo se realiza mediante cuatro técnicas especializadas: monitoreo geoquímico, sísmico, geodésico, y visual, cuyo seguimiento de forma continua y permanente, tiene como objetivo detectar oportunamente condiciones anómalas precursoras de algún proceso eruptivo.

a) Vigilancia Sísmica

Consiste en registrar y conocer la dinámica del volcán a partir de los diferentes tipos de sismos asociados al fracturamiento de rocas (sismo volcano – tectónicos), ascenso y acumulación de magma y gases (sismo tipo largo periodo, tremor, explosión) que ocurren en el interior de la estructura volcánica. La vigilancia sísmica se realiza mediante la instalación de sismómetros sobre y alrededores del edificio volcánico. El incremento y/o disminución de los sismos volcánicos, el tipo señal y su frecuencia, podrían indicarnos la ocurrencia de una probable erupción.

b) Vigilancia Geoquímica

Los fluidos volátiles o gases de origen magmático ascienden a la superficie por medio de fracturas y/o conductos del volcán, manifestándose en la superficie como fumarolas. Más del 80 por ciento de todo el gas emitido por los volcanes es vapor de agua, mientras que el bióxido de carbono (CO₂), bióxido de azufre (SO₂) y compuestos de cloro (Cl), flúor (F), monóxido de carbono (CO), nitrógeno (N) representan menos del 20 por ciento. La vigilancia permanente de

las concentraciones en la composición química y los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, conductividad eléctrica) de las fuentes de aguas termales y fumarolas de zonas próximas a los volcanes, podrían indicar un incremento de la actividad volcánica y podrían ser precursores de una erupción volcánica.

c) Vigilancia geodésica

Cuando el magma (líquido, gases, rocas fundidas, etc.) asciende a la superficie ejerce una presión en el interior del volcán causando deformación (inflación o deflación), que es imperceptible al sentido humano. Por tal motivo, se utilizan instrumentos adecuados de medición (GPS, EDM, estación total, etc.) que miden variaciones del orden del milímetro y que pueden alertar la ocurrencia de una probable erupción.

d) Vigilancia Visual

En un proceso de reactivación volcánica, los volcanes emiten gases y posteriormente cenizas y/o proyectiles balísticos, los cuales deben ser descritos de manera permanente y detallada para poder determinar y cuantificar un eventual incremento de actividad que indique la probable ocurrencia de una erupción. Este trabajo se realiza a través de cámaras de vídeo instaladas en inmediaciones del volcán o mediante la inspección in situ del terreno.

8. ACTIVIDAD ACTUAL DEL VOLCÁN MISTI

El Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI) realiza el monitoreo permanente y en tiempo real del volcán Misti. Además, presenta reportes semanales en su página web (ovi.ingemmet.gob.pe), desde el año 2015. Así también el OVI cuenta con equipos de monitoreo in situ. En la figura 17, se muestra el reporte de la actividad del volcán Misti de la semana del 09 al 15 de diciembre del año 2019, el cual indica que el volcán Misti sigue en actividad.

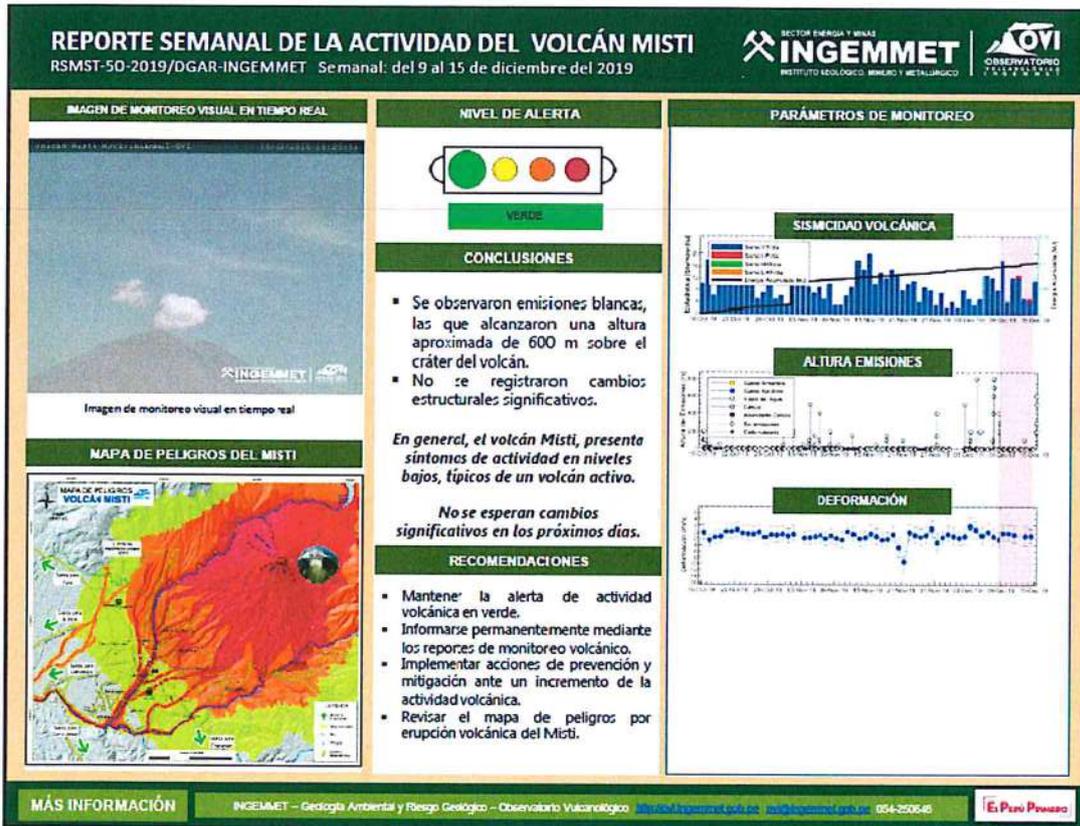


Figura 17. Muestra el reporte RSMST-50-2019/DGAR-INGEMMET, semana del 09 al 15 de diciembre 2019. Observatorio Vulcanológico Ingemmet (OVI), recuperado de http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page_id=999

9. PELIGROS IDENTIFICADOS EN QUEBRADAS

En las quebradas del distrito de Paucarpata, se observa un crecimiento constructivo indiscriminado de viviendas, construidas en las laderas cercanas a los cauces de las quebradas. De acuerdo al mapa de peligros múltiples estas viviendas se ubican en los polígonos de alto peligro (color rojo), los cuales serían los más perjudicadas en caso ocurra cualquier evento de peligros originados por erupción volcánica; ya que estos fenómenos preferentemente se canalizan por los cauces de las quebradas afectando todo lo que se encuentre a su paso. En la cuarta torrentera de Paucarpata se observan viviendas muy cercanas al cauce de la quebrada, y estas reducen el ancho de la misma (figura 18).

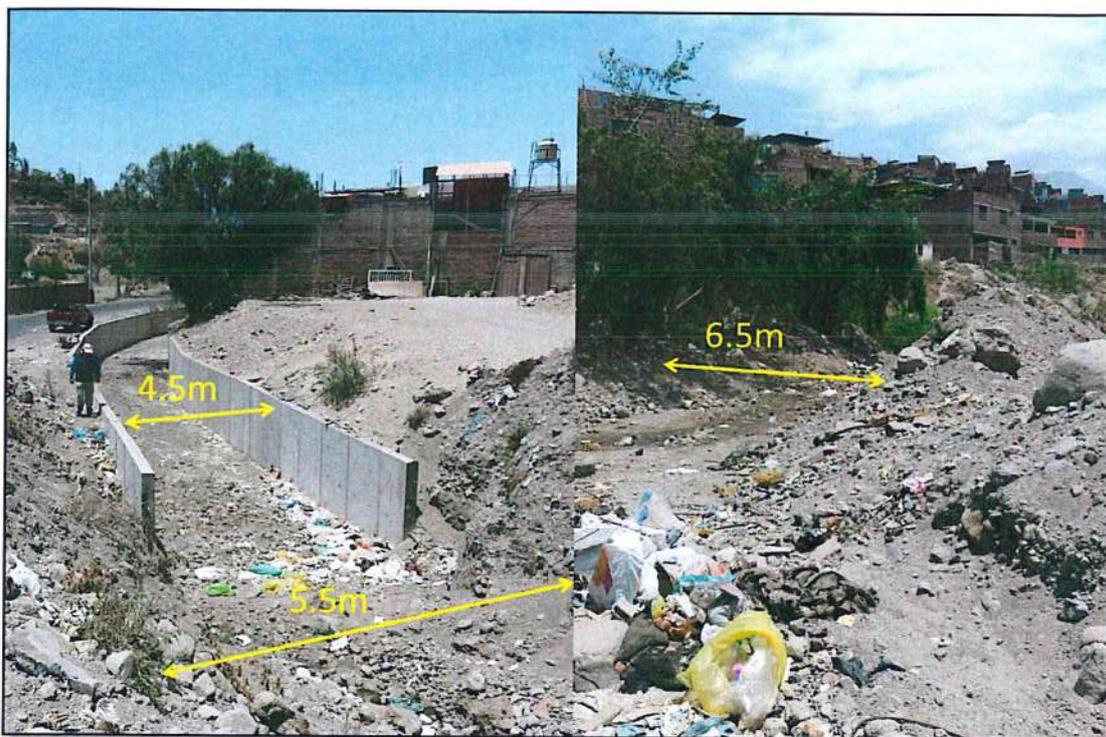


Figura 18. En el cauce de la cuarta torrentera de Paucarpata, se aprecia la reducción del ancho del cauce, de igual manera los desechos y desmorte reducen el ancho natural del cauce.

También observamos que los pobladores de Paucarpata desechan sus materiales de desmorte en las laderas y cauces de las quebradas (figura 19), generando la colmatación y la obstrucción de los cauces, los cuales en tiempos de intensas lluvias podrían generar flujos de lodos o lahares.



Figura 19. Intersección de las quebradas Chilcal y Huarangal, se observa material de desechado en medio de las quebradas, este material obstruye el cauce de las quebradas.

CONCLUSIONES

- a) De acuerdo al mapa de peligros múltiples del Volcán Misti, las viviendas del distrito de Paucarpata ubicadas dentro del polígono color rojo, se encuentran en **zona de alto peligro**. Estos lotes pueden ser severamente afectadas por caída de ceniza y piedra pómez, flujos y oleadas piroclásticas, flujos de barro, avalanchas de escombros y/o flujos de lava generados durante una erupción del volcán Misti.
- b) De acuerdo al mapa de peligros múltiples del Volcán Misti, las viviendas del distrito de Paucarpata ubicadas dentro del polígono de color naranja, se encuentran en **zona de moderado peligro**. Estas viviendas pueden ser severamente afectadas por caída de ceniza y piedra pómez, flujos y oleadas piroclásticas, flujos de barro (lahares), avalanchas de escombros y en menor probabilidad por flujos de lava.
- c) De acuerdo al mapa de peligros múltiples del Volcán Misti, las viviendas del distrito de Paucarpata ubicadas dentro del polígono de color amarillo, se encuentran en **zona de bajo peligro**. Estos lotes pueden ser afectados por flujos piroclásticos y principalmente por caídas piroclásticas de pómez y/o cenizas.
- d) De acuerdo al mapa de peligros por caída de ceniza, para una erupción de magnitud baja (IEV 2) del Volcán Misti, las viviendas del distrito de Paucarpata ubicadas en el polígono color rojo, se encuentra en **zona de alto peligro**. Esta área puede ser afectada por caídas de cenizas, dejando depósitos de más de 4 cm de espesor.
- e) De acuerdo al mapa de peligros por caída de ceniza para una erupción de magnitud baja (IEV 2) del Volcán Misti, las viviendas del distrito de Paucarpata ubicadas en el polígono color naranja se encuentran en zona de **moderado peligro**. Esta área puede ser afectada por caídas de cenizas, dejando depósitos de más de 1 cm de espesor.
- f) De acuerdo al mapa de peligros por caída de cenizas para una erupción de magnitud moderada a grande (IEV 3 a 6) del volcán Misti, las viviendas del distrito de Paucarpata que se ubican en el polígono color rojo, se encuentra en **zona de alto peligro**. Esta área puede ser afectada por caídas de cenizas y piedra pómez de más de 20 cm de espesor, durante erupciones de magnitud moderada a grande IEV 3 a 4.
- g) De acuerdo al mapa de peligros por caída de cenizas para una erupción de magnitud moderada a grande (IEV 3 a 6) del volcán Misti, las viviendas del distrito de Paucarpata que se ubican en el polígono color naranja, se encuentra en **zona de moderado peligro**. Esta área puede ser afectada por caídas de cenizas y piedra pómez de más de 10 cm de espesor, durante erupciones IEV 6.
- h) El volcán Misti tiene dos tipos de recurrencia eruptiva. Las erupciones subplinianas (moderada a grande) y las vulcanianas (bajas). Las erupciones subplinianas ocurren aproximadamente cada 2000 años. La última erupción de este tipo se presentó hace 2050 años. Sin embargo, las erupciones vulcanianas (erupción más pequeña que la subpliniana, menos agresiva pero también causa daños principalmente por la emisión de ceniza), suceden cada 500 años y el Misti reportó un evento similar entre los años 1440 y 1470. Por lo tanto, actualmente el volcán Misti podría presentar cualquiera de estos dos escenarios (erupciones subplinianas o vulcanianas).

RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda no realizar infraestructura en el área evaluada, al menos dentro de los polígonos de peligro alto (color rojo), porque es latente que el volcán Misti presente erupciones de tipo subpliniana o vulcaniana, como observamos en los mapas de peligros presentados en el informe.
- b) Se recomienda que las autoridades e instituciones competentes, eviten la ocupación clandestina o invasiones con fines de vivienda en zonas de alto peligro como laderas y cauces de quebrada. La mala planificación urbana, y el asentamiento desordenado hacen que se las viviendas se ubiquen en lugares altamente inseguros.



Ing. CÉSAR A. CHACALTANA BUDIEL
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET



JESSICA CAROLINA VELA VALDEZ
INGENIERA GEOLOGA
CIP N° 215198

BIBLIOGRAFÍA

- Cacya, L.; Mariño, J.; Rivera, M. & Thouret, J.-C. (2007) – La erupción pliniana «Autopista» del volcán Misti (21,000- 11,000 años AP). Boletín Sociedad Geológica del Perú, (102): 25-42.
- Cas, R.A.F. & Wright, J.V. (1995) - Volcanic successions: modern and ancient. London: Chapman & Hall, 528 p.
- Cobeñas, G. (2009) – Étude des produits de l'éruption plinienne du Misti, Pérou (ca. 2050 ans BP). Master 2 Recherche, Université Blaise Pascal-Clermont Ferrand I, 51 p.
- INGEMMET (2019). reporte semanal de la actividad del volcán Misti. recuperado de http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page_id=999.
- 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.
- Mariño, J.; Rivera, M.; Jean-Claude Thouret & Macedo, L.; (2016). Geología y mapa de peligros del volcán Misti, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 60, 170 p., 2 mapas.
- Thouret, J.C.; Finizola, A.; Fornari, M.; Legeley-Padovani, A.; Suni, J. & Frechen, M. (2001). Geology of El Misti volcano near the city of Arequipa, Peru. Geological Society of America Bulletin, 113(12): 1593-1610.
- Tilling, R.I., ed. (1993) - Apuntes para un curso breve sobre los peligros volcánicos, Santa Fé, Nuevo México, 2-3 julio 1989. [s.l.]: Organización Mundial de Observatorios Vulcanológicos, 125 p.

