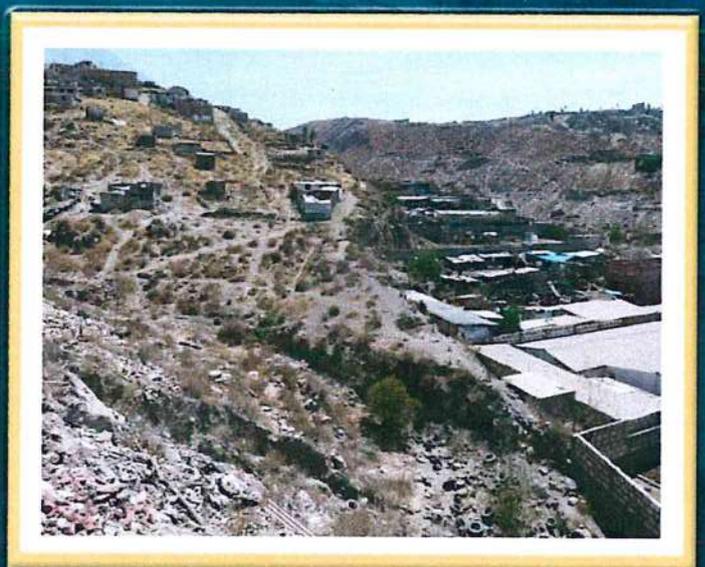
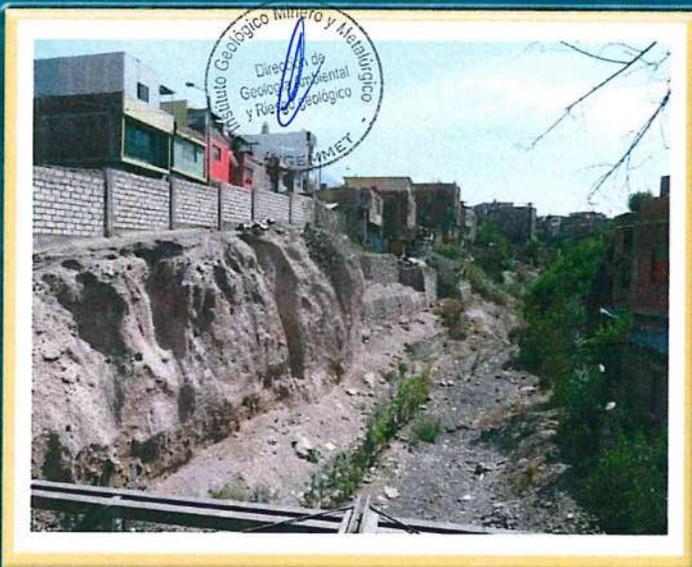


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7011**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL DISTRITO DE ALTO SELVA ALEGRE

Región Arequipa  
Provincia Arequipa  
Distrito Alto Selva Alegre





## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	2
<b>2. ASPECTOS GENERALES</b> .....	2
<b>2.1 Ubicación y accesibilidad</b> .....	2
<b>3. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	2
<b>4. ASPECTO GEOMORFOLÓGICO</b> .....	14
<b>5. ANÁLISIS DE PELIGROS VOLCÁNICOS</b> .....	15
<b>6. ANÁLISIS DEL MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN MISTI</b> .....	19
<b>7. MONITOREO VOLCÁNICO</b> .....	23
<b>8. ACTIVIDAD ACTUAL DEL VOLCÁN MISTI</b> .....	24
<b>9. PELIGROS IDENTIFICADOS EN QUEBRADAS</b> .....	25



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.



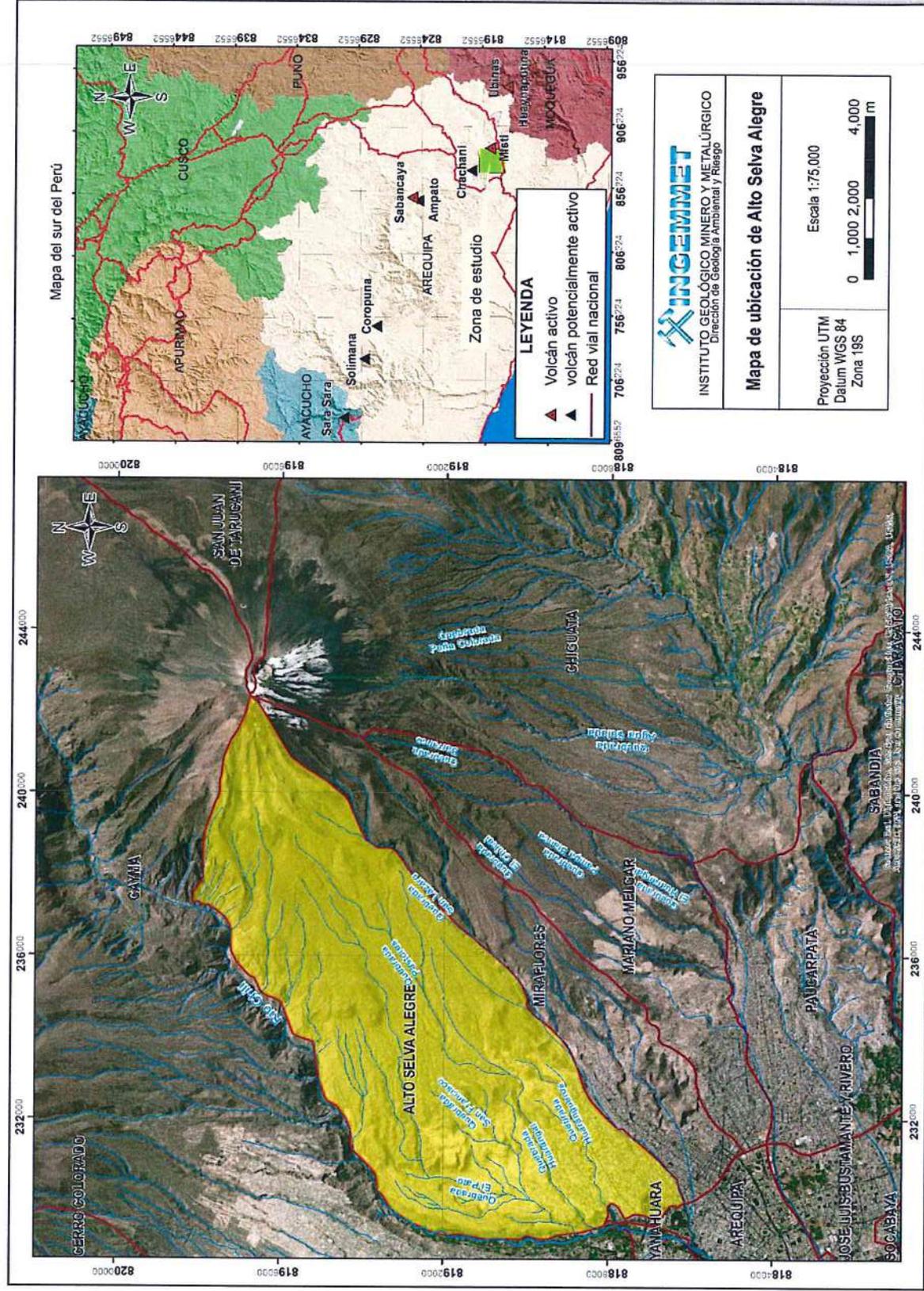
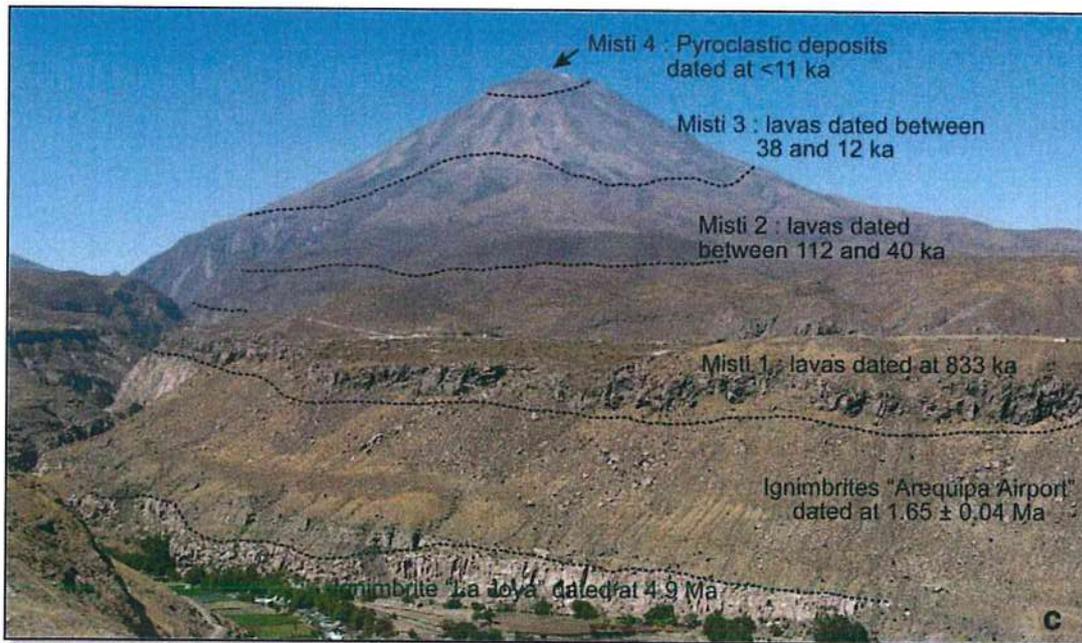


Figura 1. Mapa de ubicación del distrito de Alto Selva Alegre.



**El edificio Misti 4** emplazada hace <11 ka (miles de años) cuya construcción estuvo asociada a erupciones históricas y pre-históricas producidas por el volcán Misti. Los 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 2.** Edificios del volcán Misti (tomado de Rivera et al., 2017).

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

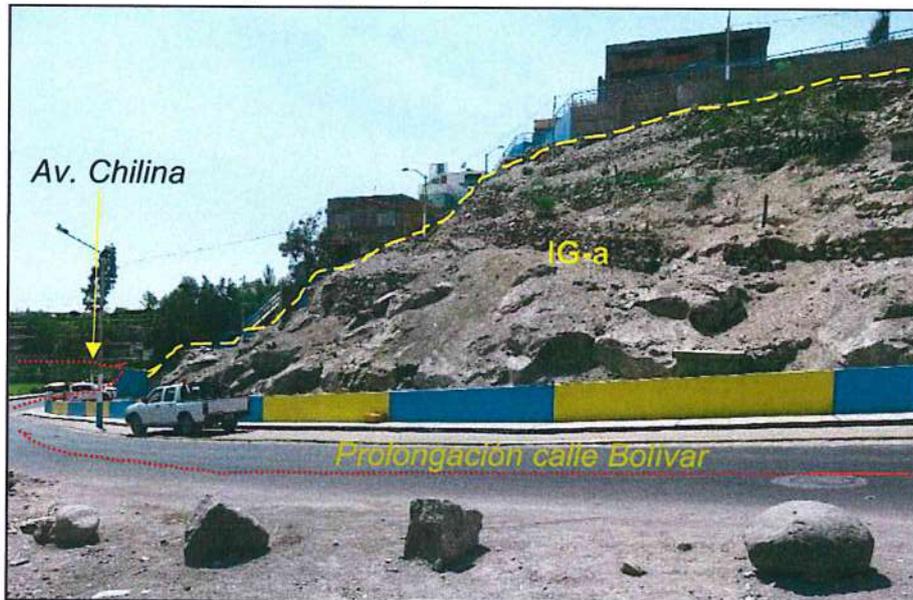
- a) **Gneis Neo-proterozoico “Gneis Charcani” (NPe-gn):** En áreas aledañas al volcán Misti, en los sectores de Tiabaya y Cerro verde, afloran rocas metamórficas, en particular el gneis Charcani. Estas rocas son de grano medio a grueso, con bandas de coloración rosada que contienen cuarzo y feldespato potásico, así como bandas de coloración verdosa que contienen un alto porcentaje de anfíbol y biotita. En algunos sectores, también dentro de esta unidad, se presentan esquistos micáceos y filitas de color marrón en láminas de unos milímetros a centímetros, con presencia de mica blanca y minerales de cuarzo recrystalizados. Según (Martignole et al., 2003), se trata de rocas de muy alta temperatura y presión.

Una muestra de este gneis, ubicado en las inmediaciones de Tiabaya dio una edad de  $679 \pm 12$  Ma, mediante el método K/Ar (Stewart et al., 1974). Por otro lado, Torres et al. (2008) propone para muestras de esta unidad provenientes de Cerro Verde, edades de metamorfismo en 1090-1034 y



679-433 Ma; y para el gneis de Charcani, entre 1012-991 Ma. Estas diferentes edades están asociadas a varios períodos de metamorfismo regional ocurridos en esta región. En la zona de estudio el Gneis Charcani aflora en el fondo del río Chili, (figura 9).

- b) La ignimbrita La Joya (IG-lj):** Aflora en las zonas de Yarabamba, río Chili, Yura y La Joya, a lo largo de casi 800 Km<sup>2</sup>. Los depósitos están ligeramente soldados y poseen espesores de 5 a 80 m y presentan "fiames". Ha sido datada en 4.89 a 4.78 Ma y posee alto contenido de plagioclasa, sanidina cuarzo, biotita, óxidos de Fe-Ti y anfíbol, y es de composición riolítica (Paquereau et al., 2006). En la zona de estudio, la ignimbrita aflora en el fondo del río Chili (figura 9).
- c) La ignimbrita Aeropuerto de Arequipa (IG-a):** Aflora en toda la depresión tectónica de Arequipa, en más de 600 km<sup>2</sup>. Posee espesores que varían entre 5 a 100 m. Tiene dos facies: una inferior de color blanco grisáceo, bastante consolidada y una superior de color rosado que se presenta no consolidada. Los depósitos no son soldados. Ha sido datada en 1.65 Ma, posee alto contenido de plagioclasas, biotita, óxidos de Fe-Ti, cuarzo, sanidina y anfíbol, y su composición es dacítica a riolítica (Paquereau et al., 2006). En la zona de estudio estos depósitos afloran en la parte baja del distrito Alto Selva Alegre, (figura 3).



**Figura 3.** Ignimbrita aeropuerto en inmediaciones de Av. Chilina y prolongación calle Bolívar.

- d) Sedimentos volcanoclásticos del volcán Chachani (SV-ch):** Un abanico de sedimentos volcanoclásticos de 10 a 40 m de espesor (SV-ch) aflora en la margen derecha, así como, en el fondo del cañón del río Chili, entre la Escuela de Policía y Chilina. Se trata de depósitos conformados por bloques de coloración pardo-oscura y de textura escorácea, englobados por una matriz limo-arenosa y fragmentos líticos. También presenta bloques con estructuras tipo (costra de Pan). Dado que el depósito yace en la base del complejo volcánico Chachani, se cree que está asociado a dicho



volcán. En la zona de estudio estos sedimentos afloran en el fondo del río Chili (figura 9).

- e) **Flujo de lava del volcán Chachani (FL-m1):** Una secuencia de flujos de lava andesítica, datada en 833 ka (Thouret et al., 2001), ha sido cartografiada al SO del volcán Misti (FL-ch/FL-m1), a lo largo de ambos márgenes del río Chili. Estos flujos poseen un espesor total que oscila entre 20 y 150 m, con unidades de flujo que miden entre 10 a 30 m de espesor.

Las lavas poseen un color gris oscuro, contiene abundantes fenocristales de plagioclasa, anfíbol y piroxeno, englobados por una matriz afanítica. Las lavas sobreyacen a depósitos volcanoclásticos del volcán Chachani e ignimbritas del Mioceno y Pleistoceno, y subyacen a depósitos de avalanchas de escombros del volcán Misti. Estos flujos de lava han sido considerados por (Thouret et al. 2001) como parte del edificio Misti 1; sin embargo, el cartografiado geológico realizado por el INGEMMET y los análisis geoquímicos indican que este flujo proviene del volcán Chachani. En la zona de estudio estas lavas afloran en el Parque de Rocas de Alto Selva Alegre, (figura 4).



**Figura 4.** Flujo de lava del volcán Chachani en inmediaciones del Parque de Rocas de Alto Selva Alegre.

- f) **Flujos de lavas en bloques con anfíbol y piroxenos (FL-m2):** Estos flujos de lava poseen cerca de 70 m de espesor. Afloran a 14 km al SO del cráter del Misti, entre las quebradas San Lázaro e inmediaciones de la quebrada San Francisco (figura 5). Son flujos de lava en bloques, de color gris claro, presentan textura porfirítica y abundantes fenocristales de plagioclasa de hasta 5 mm de tamaño, anfíbol de hasta 4 mm y dos tipos de piroxenos (orto y clinopiroxeno).



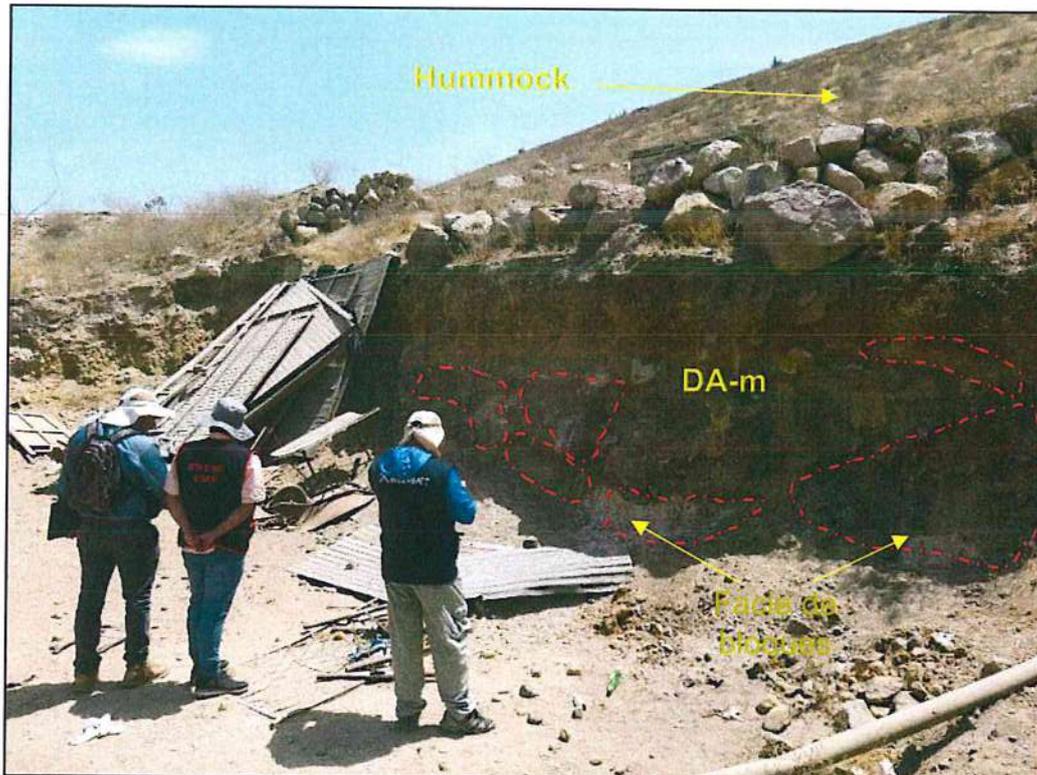


*Figura 5. Flujo de lava en quebrada San Francisco.*

- g) Depósito de avalancha 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. El depósito tiene un espesor promedio de 60 m y cubre una superficie aproximada de 40 km<sup>2</sup>. Algunos afloramientos, principalmente en el sector SO (Villa Ecológica), presentan morfología típica de montículos o colinas pequeñas (hummocks), de hasta 70 m de alto. El depósito presenta predominantemente facies de matriz y ocasionalmente facies de bloques estos últimos rodeados normalmente por facies de matriz. La facie de matriz consta de clastos de tamaño milimétrico a centimétrico, los cuales se hallan bastante hidrotermalizados. En la facies de bloques, los clastos son de tamaño métrico, con muy escasa matriz. Los clastos se hallan bastante fracturados y poseen estructuras en rompecabezas, característica de este tipo de depósitos. En ambas facies la litología es heterogénea, pues se han encontrado clastos de lava andesítica y dacítica, pómez, ceniza y material fino bastante hidrotermalizado.

Estos depósitos de avalanchas de escombros se encuentran infrayaciendo a flujos de lavas en bloques del Misti 2; en algunos casos están cubiertos por depósitos piroclásticos del Holoceno. No se han encontrado afloramientos en sectores proximales al edificio volcánico. Asimismo, en el edificio volcánico no se ha podido identificar la cicatriz de colapso que originó esta avalancha; posiblemente esta se encuentre cubierta por flujos de lava más recientes. En la zona de estudio estos depósitos afloran en inmediaciones del cementerio de Alto Selva Alegre (figura 6).





**Figura 6.** Depósito de avalancha de escombros del volcán Misti.

- h) Depósito de flujos piroclásticos de bloques con escasa ceniza, 70-50 ka (LM-m):** Según Thouret et al. (2001), estos depósitos se emplazaron entre 70 y 50 ka. Este depósito forma parte de un grupo que está constituido principalmente por depósitos de bloques de lava andesítica y dacítica con escasa matriz, que tienen hasta 15 m de espesor. Algunos bloques miden hasta 1.5 m de diámetro, pero en promedio entre 10 y 20 cm de diámetro, y poseen formas prismáticas. Los bloques más grandes se encuentran hacia el tope. Debido a las formas prismáticas de los bloques y la escasa matriz, se infiere que el depósito se originó por el colapso de domos muy proximales. Se han encontrado afloramientos de manera limitada en el fondo de las quebradas Pastores y Huarangal.
- i) Secuencia de flujos piroclásticos de pómez y ceniza, y de escoria y ceniza (FPP-m2):** Aflora al sur y sureste del volcán Misti. El emplazamiento de esta secuencia voluminosa de flujos piroclásticos puede estar asociado a la formación de una caldera ocurrida entre 50 y 40 ka, esta hipótesis está basado en argumentos de tipo geológico, geomorfológico y geofísico.
- j) Secuencia de flujos piroclásticos de pómez y ceniza rico en líticos (FPP-m3):** Estos flujos piroclásticos alcanzaron hasta 14 km de distancia desde el cráter. Estos depósitos podrían haber originado un incremento del diámetro de la caldera que se formó en el edificio Misti 2. En la quebrada Pastores, a 10 km de distancia del cráter, se ha identificado una secuencia bien conservada de este grupo, conformada por un depósito de caída de lapilli pómez de color blanquecino y de composición riolítica, denominado Fibroso I. Este depósito está cubierto por un depósito de oleada



piroclástica, datada en 33.8 ka, que a la vez subyace a un depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza de más de 2.5 m de espesor.

- k) **Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza de color Salmon (FPP-m4):** En las quebradas San Lázaro y Agua Salada, se encuentra un depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza de entre 2 y 10 m de espesor. 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 (figura 7).

El depósito en mención sobreyace a flujos piroclásticos de bloques y ceniza en ambas quebradas. Por otro lado, en algunos puntos sobre las secuencias descritas anteriormente afloran depósitos de caída de tefra.



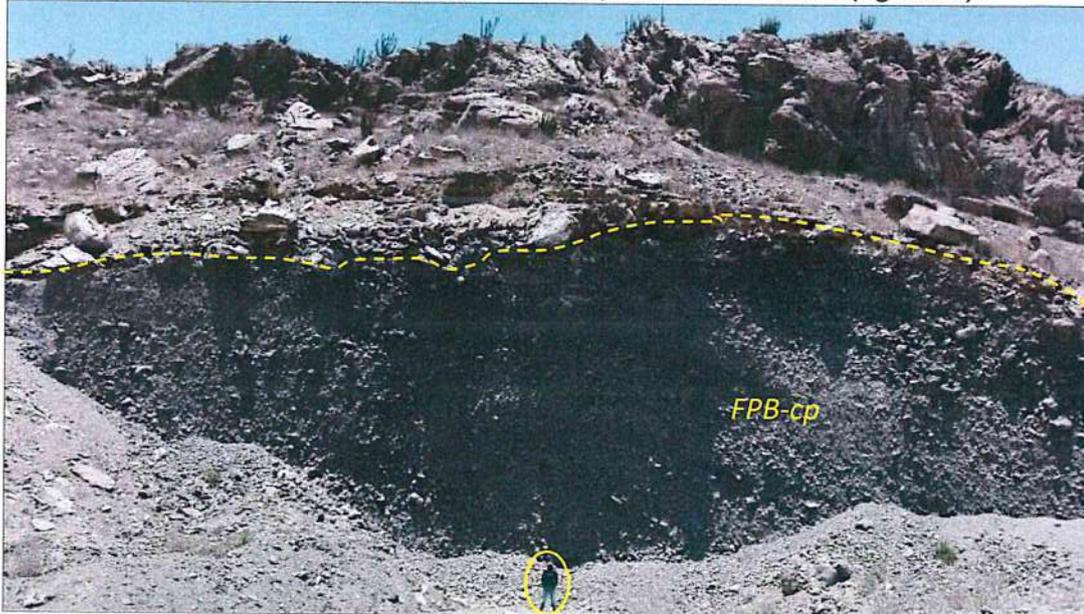
*Figura 7. Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza en la quebrada San Lázaro (puente Progreso).*

- l) **Secuencia de flujo piroclástico de bloques y ceniza, flujos de pómez y tefras (FPB-cp):** Esta secuencia está conformada por varios niveles de depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza producto del colapso de domos. Hacia el tope, se tienen depósitos volcanoclásticos intercalados con flujos de bloques y ceniza. En la quebrada Pastores (9 km al SO del cráter), esta secuencia posee un espesor de un poco más de 8 m. En efecto, en la parte superior de la secuencia, se tiene un depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza de 3 m de espesor, producto de colapso de domos, el cual fue datado en 24.8 ka por Thouret et al. (2001). 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 retrabajadas 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. En los sectores S y SE del volcán Misti, se tienen importantes afloramientos visibles en las quebradas Agua Salada, Huarangal, Honda-Grande y Carabaya. Resaltan los depósitos en la quebrada Honda Grande, donde posee casi 13 m de espesor.

La base está conformada por flujos de escoria intercalados con flujos de ceniza y hacia el tope, depósitos de flujos de bloques y ceniza retrabajados, intercalados con depósitos de lahares. Así mismo, estos depósitos se presentan adosados sobre laderas de la quebrada El Pato (figura 8).



**Figura 8.** Flujo piroclástico de bloques y ceniza en la quebrada El Pato, mide 7 m de espesor (foto tomada del Informe técnico A6912).

- m) Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza y escoria (FPB-m):** Este depósito aflora entre la quebrada San Lázaro y Huarangueros; sin embargo, fue descrita en inmediaciones del distrito de Chiguata. La presencia de voluminosos depósitos piroclásticos, emplazados entre 14 y 11 ka (Thouret et al., 2001), conformados por una secuencia de flujos piroclásticos de escoria, flujos dacíticos de pómez y ceniza, y oleadas piroclásticas. Estos depósitos poseen cerca de 1 km<sup>3</sup> de volumen, cubren un área cercana a 50 km<sup>2</sup> y en algunas zonas alcanza hasta 20 m de espesor (Thouret et al., 2001).
- n) Secuencias de caídas piroclásticas Holocénicas (CP-m2):** Son depósitos emplazados durante erupciones explosivas, donde se emplazaron depósitos piroclásticos como caída de ceniza y caída de lapilli de pómez.
- Las columnas tefroestratigráficas levantadas, principalmente en los sectores SO, O y S, muestran que el volcán Misti ha tenido por lo menos 10 erupciones durante los últimos 11 mil años. Thouret et al. (2001) realizaron 6 dataciones de material carbonizado encontrado en esta secuencia, las cuales arrojaron 8140 años para un depósito de un flujo de



ceniza en la quebrada Honda, 6390 años para un depósito de un flujo de ceniza en la quebrada Carabaya, 5200 años para un depósito de una oleada en el valle del río Chili, 4750 años para un depósito de una oleada en la zona de El Porvenir-Alto Misti, 3800 años para un depósito de caída de ceniza en el río Chili y 2050 años A.P. para los depósitos de caída de pómez ampliamente extendidos en los flancos del volcán Misti. Los depósitos piroclásticos más recientes son caídas de ceniza color gris, que poseen algunos centímetros de espesor en el área de Arequipa, asociadas posiblemente a una erupción vulcaniana ocurrida entre los años 1440 y 1470 AD (Chávez, 1992).

- o) Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza de hace 2050 años:** La última erupción importante del volcán Misti fue de tipo subpliniano que generó un depósito de caída de pómez, depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza, así como lahares. Sobre estos depósitos se realizaron 4 dataciones <sup>14</sup>C, las cuales arrojaron edades entre 1920 y 2300 años B.P. (Thouret et al., 2001). El depósito de caída de pómez aflora en toda el área de Arequipa y ha podido ser identificado a más de 25 km al SO del cráter.
- p) Depósito de lahares históricos del volcán Misti:** Se han identificado un buen número de depósitos de lahar, especialmente en los ríos Chili, Andamayo, quebrada Huarangal, 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.

En la zona media de la cuenca del río Chili, entre Chilina y el centro histórico de Arequipa (SO del volcán Misti), se ha evidenciado la presencia de 3 a 4 terrazas principales y algunas más subordinadas. Dichas terrazas están conformadas por depósitos hiperconcentrados, depósitos de flujos de escombros y depósitos aluviales, emplazados entre el Holoceno superior y la época histórica. Cuatro depósitos de flujos de escombros fueron descritos y datados por Delaite et al. (2005).

- q) Depósitos aluviales:** Se encuentran bastante distribuidos en toda la zona de estudio, principalmente en el lecho de los ríos Andamayo y Chili, así como de las quebradas que drenan hacia ambos ríos. Son depósitos de algunos decímetros a varios metros de espesor; están conformados por bloques subredondeados a redondeados (cantos rodados), distribuidos en una matriz de arena y limo. Presentan estructuras de estratificación cruzada y laminar.



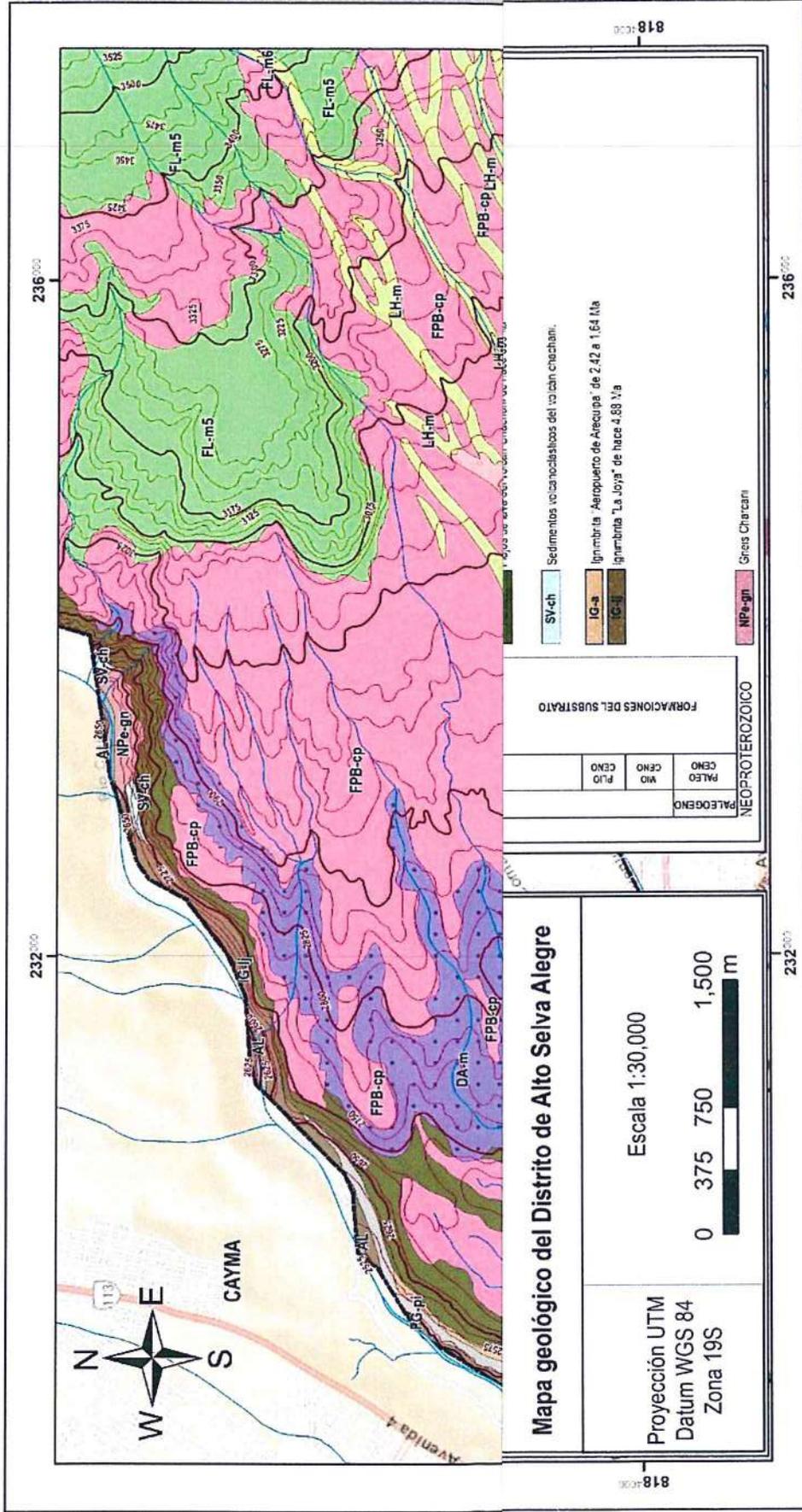


Figura 9. Mapa geológico del distrito del Alto Selva Alegre, (Mariño et al., 2016).



#### 4. ASPECTO GEOMORFOLÓGICO

De acuerdo al mapa geomorfológico del volcán Misti (figura 10), elaborado por Mariño et al., 2016, el distrito de Alto Selva Alegre se encuentra en las siguientes unidades geomorfológicas:

**Zona de colinas (Col):** Se extiende al sur del distrito de Alto Selva Alegre. 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, así como depósitos de caídas y flujos de lava. Gran parte de estas colinas están siendo pobladas.

**Planicie de acumulación (Pla\_a):** La planicie de acumulación se extiende al pie del flanco sur de los volcanes Misti y Chachani. La planicie posee poca pendiente, entre 5° y 15° de inclinación y está surcada por quebradas que tienen entre 50 a 100 m de profundidad y de 10 a 100 m de ancho. La planicie de acumulación está conformada por potentes secuencias de depósitos volcanoclásticos y sedimentos epiclásticos provenientes de los volcanes Misti y Chachani.

**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. Gran parte de los pobladores del distrito de Alto Selva Alegre se encuentran asentados sobre estos depósitos.



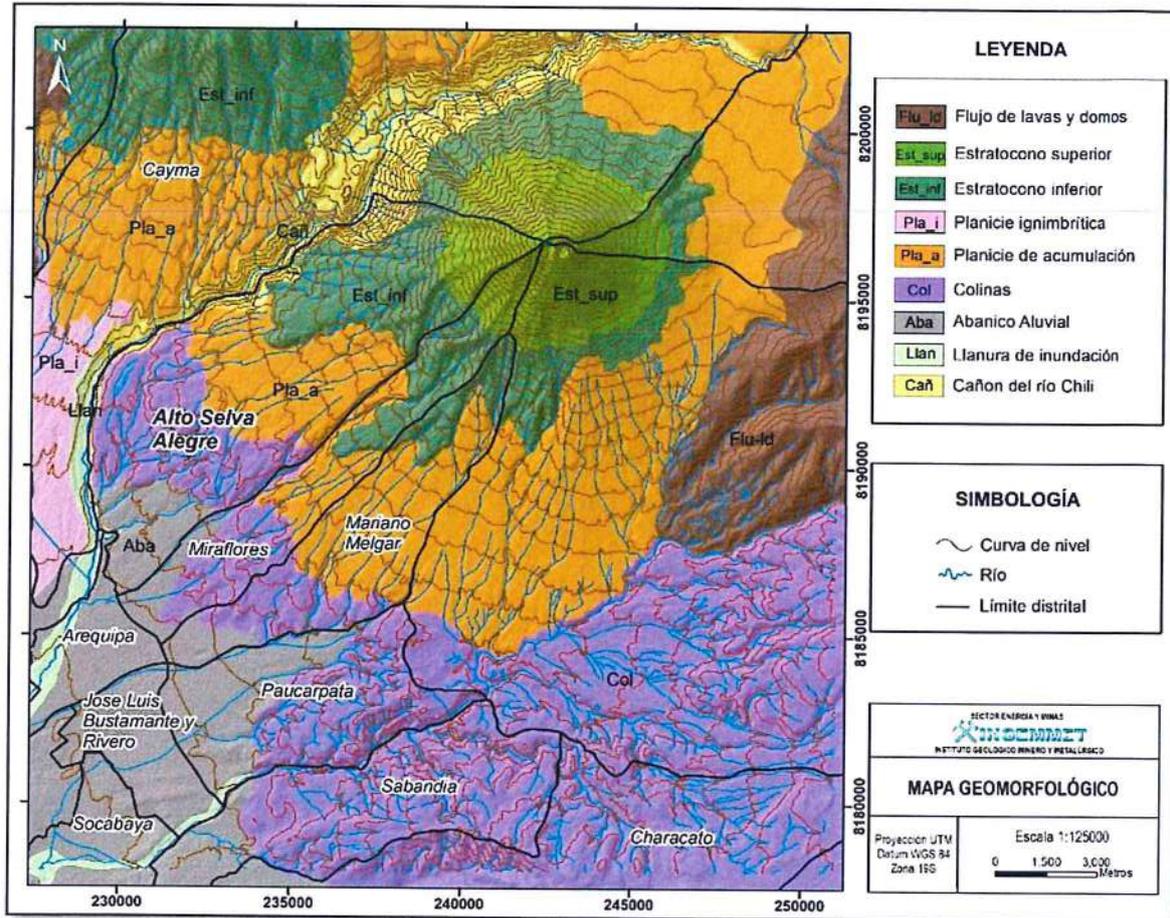


Figura 10. Mapa geomorfológico del área de estudio, (Mariño et al., 2016)

## 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). En la quebrada El Pato, se han identificado secuencias de depósitos de caída de lapilli de pómez de más de 1.5 m de espesor, emitidos por el volcán Misti, lo cual evidencia la ocurrencia de dicho fenómeno en el distrito de Alto Selva Alegre (figura 11).



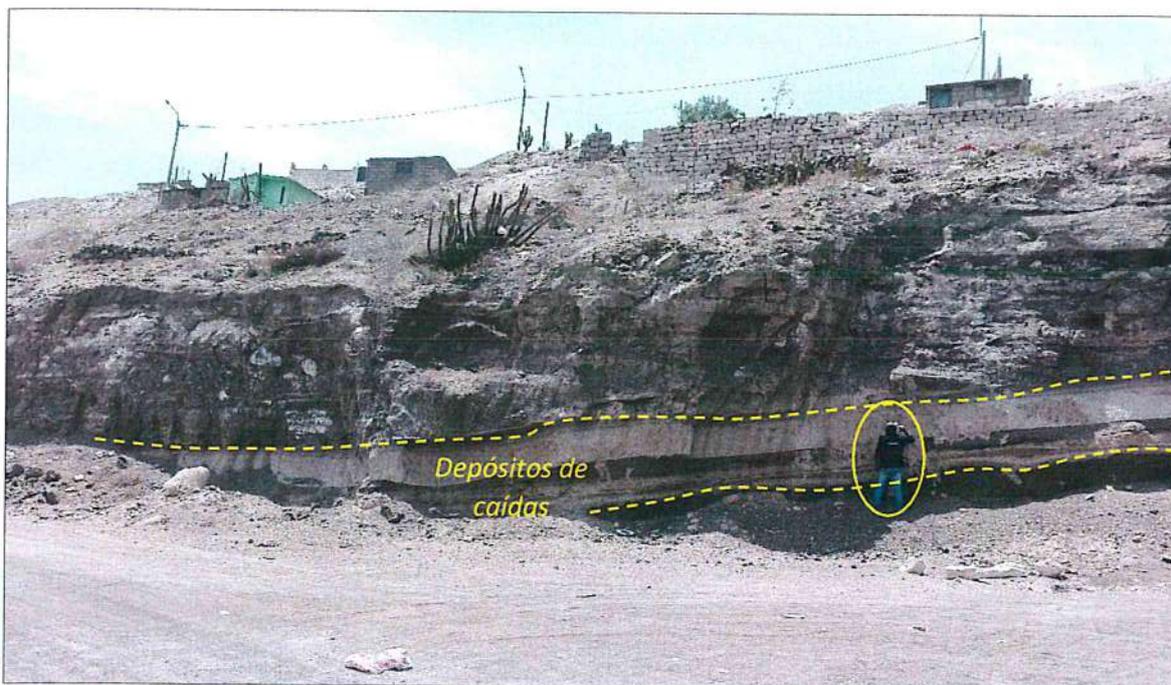


Figura 11. Potentes secuencias de caída de lapilli de pómez, margen izquierda de la quebrada El Pato (foto tomada del Informe técnico A6912).

- b) **Flujos y oleadas piroclásticas:** Son masas con temperaturas entre 300°C y 1200°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 una parte inferior densa, 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 zona de estudio, estos depósitos afloran en la quebrada San Lázaro, a la altura del puente Progreso, así mismo, actualmente existen muchas viviendas asentadas sobre estos flujos piroclásticos (figura 12).



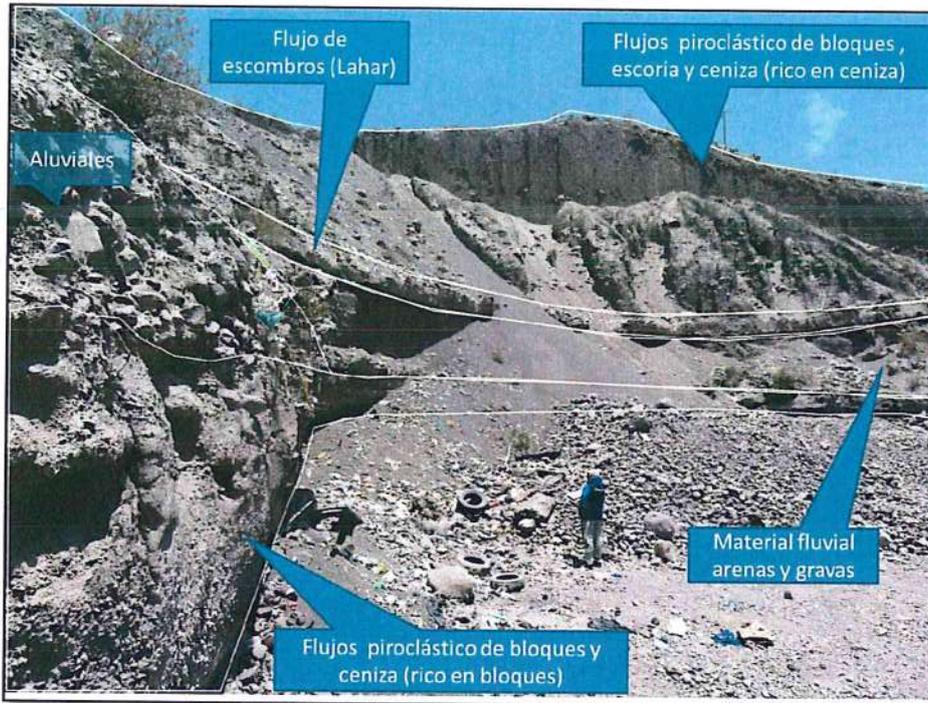


**Figura 12.** *Puente Progreso, se aprecia un depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza de 10 m de espesor que aflora en la quebrada San Lázaro.*

- c) **Flujos de escombros (Lahares):** Denominados también como flujos de barro, flujos de detritos y huaico (por su reología similar a los lahares). Son mezclas de partículas volcánicas de tamaños diversos movilizados por el agua, fluyen por valles y quebradas con velocidades de 5.5 - 16.6 m/s, el agua puede provenir de fuertes lluvias, fusión de hielo o nieve y ríos o lagunas cratéricas (Tilling & Beate, 1993).

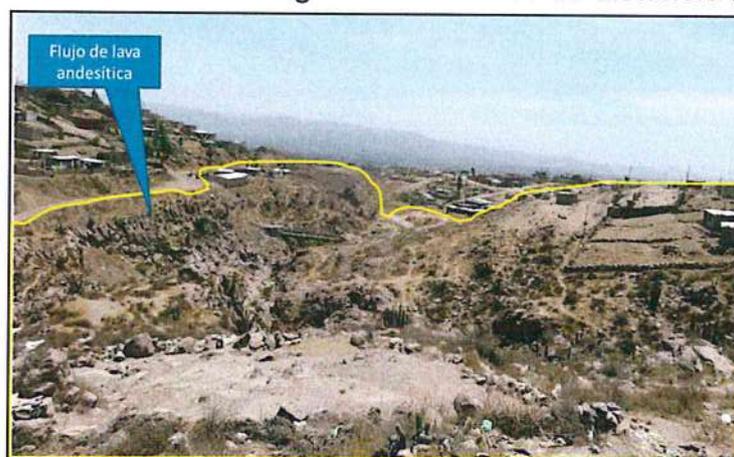
En la zona de estudio estos depósitos afloran en las quebradas: San Lázaro, Huarangal, Huarangueros, El Pato y Pastores, (figura 13).





**Figura 13.** Quebrada Huarangal, en la margen derecha se aprecia de arriba hacia abajo, un depósito de flujos piroclásticos de bloques, escoria y ceniza rico en ceniza, un flujo de escombros (Lahar), depósitos fluviales y depósito de flujos piroclásticos de bloques y cenizas rico en bloques; también se observa un depósito aluvial en las laderas de la quebrada.

- 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 (Figura 14).



**Figura 14.** Quebrada San Francisco, se aprecia un flujo de lavas de composición andesítica.

- e) **Avalanchas de escombros:** Son deslizamientos súbitos de los edificios volcánicos. Originados por factores de inestabilidad, como pendiente 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, tienen mayor movilidad que sus similares no volcánicas dependiendo del volumen trasladado (Mariño *et al.*, 2016), (figura 15).



**Figura 15.** Ampliación Nueva Esperanza, junto al cementerio Alto Selva Alegre, se aprecia una avalancha de escombros con clastos dispuestos en desorden, de diferente composición y tamaño.

- 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:

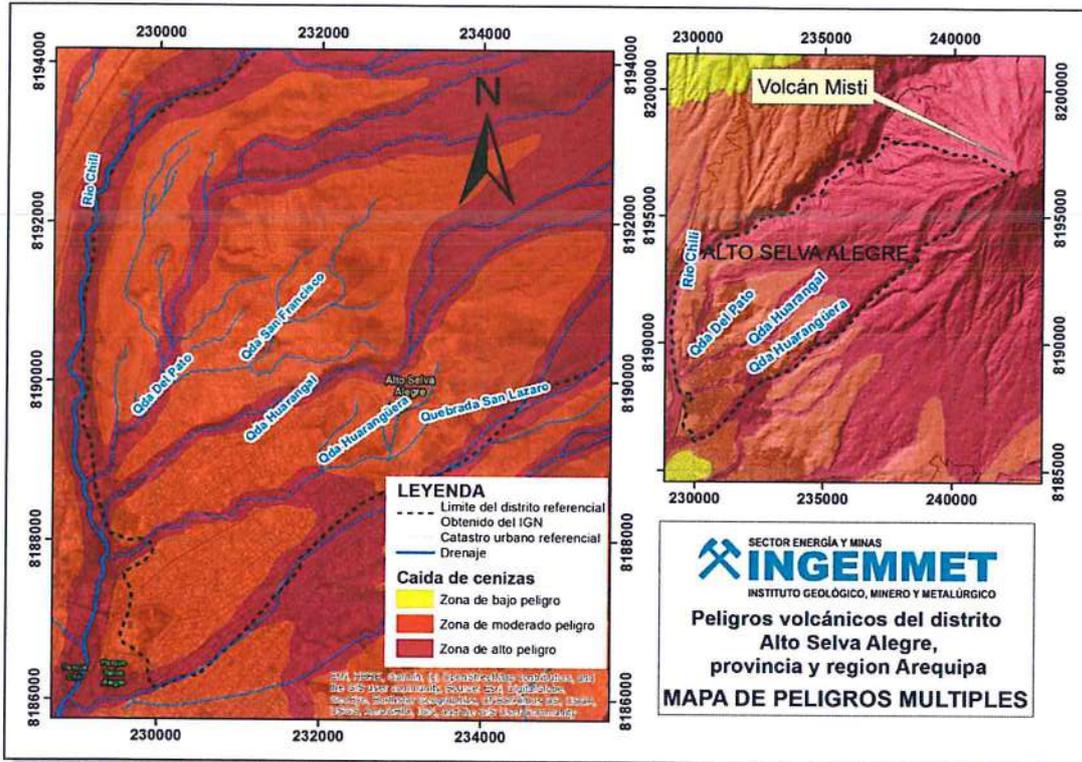
- a) Escenario de erupción vulcaniana con IEV 1-2, similar al ocurrido en el siglo XV, donde se emplazaron caídas de ceniza de entre 2 y 4 cm de espesor en el área urbana de la ciudad de Arequipa.
- b) Escenario de erupción subpliniana a pliniana con IEV 3-4, basado principalmente en la erupción del 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 Alto Selva Alegre, se encuentra en la zona de peligro alto (color rojo) y la zona de peligro moderado (color naranja).

Los lotes que interceptan con la zona de alto peligro (figura 16), 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 16), 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).





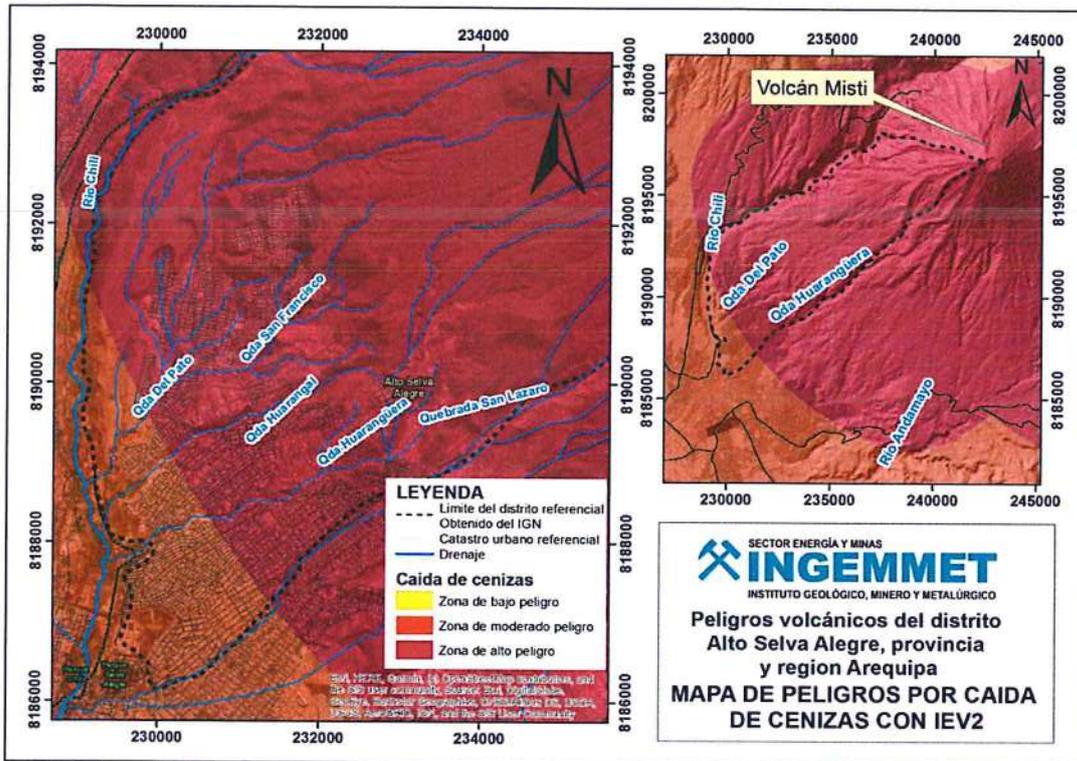
**Figura 16.** Muestra el Distrito de Alto Selva Alegre y el mapa de peligros múltiples del volcán Misti, tomado de Mariño et al., 2016.

En el mapa de peligros por caídas de ceniza, diseñada para una erupción de magnitud baja (IEV 2), muestra que gran parte del área del distrito de Alto Selva Alegre se encuentra en una zona de peligro alto (color rojo) y una menor área en peligro moderado (color naranja), (figura 17).

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 y alcanzó 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 y alcanzó una distancia de 30 km al oeste del volcán Misti.



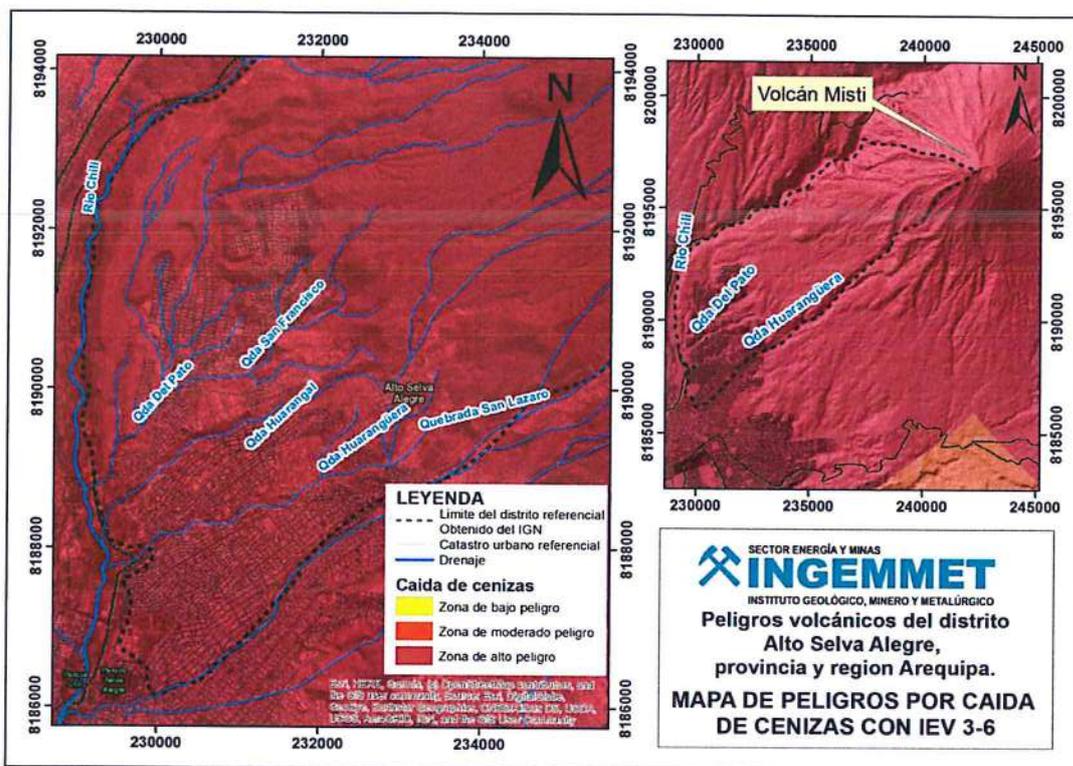


**Figura 17.** Muestra el Distrito de Alto Selva Alegre y el mapa de peligros por caída de cenizas para un IEV2 del volcán Misti, tomado de Mariño et al., 2016.

Por otro lado, para una erupción de magnitud moderada a grande (IEV 3-6), el mapa de peligros por caídas de ceniza muestra que la zona evaluada se encuentra en una zona de peligro alto (color rojo), (figura 18). Esta área puede 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).

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 18.** 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.

**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 volcánico – 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.

**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 (CO<sub>2</sub>), bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) 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.

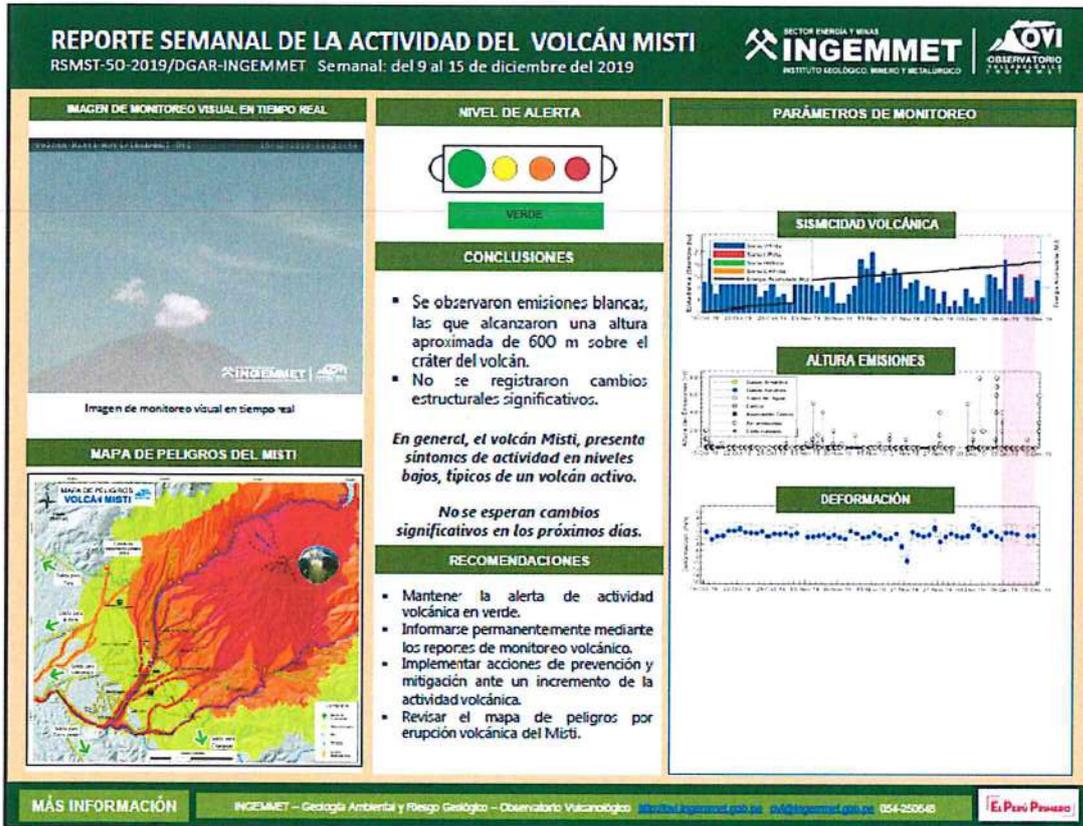
**Vigilancia geodésica:** Cuando el magma (líquido, gases, rocas fundidas, etc.) asciende a la superficie ejerce una presión en el interior del volcán causando deformación (inflación o deflación), que es imperceptible al sentido humano. Por tal motivo, se utilizan instrumentos adecuados de medición (GPS,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

**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](http://ovi.ingemmet.gob.pe)), desde el año 2015. Así también el OVI cuenta con equipos de monitoreo in situ. En la figura 19, 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 19.** 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](http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page_id=999)

## 9. PELIGROS IDENTIFICADOS EN QUEBRADAS

En las quebradas del distrito de Alto Selva Alegre, se observa un crecimiento constructivo indiscriminado de viviendas, puesto que de acuerdo al mapa de peligros múltiples estas viviendas se ubican en los polígonos de alto peligro (color rojo), los cuales serían los más perjudicados en caso ocurra cualquier evento de peligros originados por erupción volcánica como flujos y oleadas piroclásticas, flujos de escombros o lahares, flujos de lavas y avalanchas de escombros; ya que estos fenómenos normalmente avanzan por los cauces de la quebradas afectando todo lugar donde se emplace.

En las quebradas, Huarangal, Huarangueros y San Lázaro, se ve el estrechamiento en todas las quebradas a medida que avanza el cauce, por ejemplo, vemos que el ancho del puente Teodoro Núñez Ureta ubicado en la parte alta de la quebrada San Lázaro, tiene 70 m de ancho aproximadamente; mientras que en la parte baja de la quebrada San Lázaro, el puente Progreso solo tiene 15 m de ancho. Esto genera mayor susceptibilidad en las viviendas ubicadas en las cercanías de las quebradas (figura 20).





**Figura 20.** Muestra la diferencia de anchos que dejan para el cauce en los puentes Teodoro Núñez y el puente Progreso de la quebrada San Lázaro.

Por otro lado, cabe mencionar que la única quebrada que posee estudios de peligros geológicos es la quebrada El Pato, cuyo estudio se presentó mediante un informe técnico de código A6912, denominado "EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA QUEBRADA EL PATO, TRAMO VILLA CONFRATERNIDAD (ZONAS A, B, C, D)", publicado en Julio del 2019. En la sección de anexo incluimos los resultados del informe mencionado anteriormente.



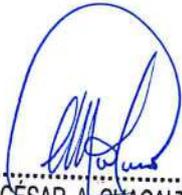
## CONCLUSIONES

- a) De acuerdo al mapa de peligros múltiples del Volcán Misti, las viviendas del distrito de Alto Selva Alegre ubicadas dentro del polígono color rojo, se encuentran en **zona de alto 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/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 Alto Selva Alegre 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 por caída de ceniza del Volcán Misti para erupciones de magnitud baja (IEV2), las viviendas del distrito de Alto Selva Alegre ubicadas dentro del polígono de color rojo, se encuentra en **zona de alto peligro**. Esta área puede ser afectada por caídas de cenizas de más de 4 cm de espesor.
- d) De acuerdo al mapa de peligros por caída de ceniza del Volcán Misti, para erupciones de magnitud baja (IEV2), las viviendas del distrito de Alto Selva Alegre ubicadas dentro del polígono de color naranja se encuentran en **zona de moderado peligro**. Esta área puede ser afectada por caídas de cenizas de más de 1 cm de espesor.
- e) De acuerdo al mapa de peligros por caída de cenizas del volcán Misti, para erupciones de magnitud moderada a alta (IEV 3 a 6), el distrito de Alto Selva Alegre 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.
- f) El volcán Misti tiene dos tipos de recurrencia eruptiva. Las erupciones subplinianas y las vulcanianas. Las erupciones subplinianas ocurren aproximadamente cada 2000 a 4000 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 a 1500 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 vulcanianas o subplinianas).

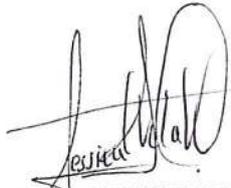


## RECOMENDACIONES

- a) No construir infraestructura alguna dentro de los polígonos de (color rojo) **zona de alto peligro**, porque es latente que el volcán Misti presente erupciones de tipo subpliniana o vulcaniana, según la recurrencia eruptiva del Misti.
- b) Tomar en cuenta las ordenanzas municipales y provinciales elaboradas hasta el momento, para disminuir el crecimiento indiscriminado y no planificado de la población hacia las faldas del volcán Misti, lo que representaría su exposición en zonas de alto peligro volcánico.



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



.....  
JESSICA CAROLINA VELA VALDEZ  
INGENIERA GEÓLOGA  
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.

Delaite, G.; Thouret, J.-C.; Sheridan, M.F.; Labazuy, P.; Stinton, A., et al. (2005) - Assessment of volcanic hazard of El Misti and in the city of Arequipa, Peru, based on GIS and simulations, with emphasis on lahars. *Zeitschrift für Geomorphology N.F., supplement*, 140: 209-231.

Finizola, A.; Lénat, J.-F.; Macedo, O.; Ramos, D.; Thouret, J.-C. & Sortino, F. (2004) - Fluid circulation and structural discontinuities inside Misti volcano (Peru) inferred from self-potential measurements. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 135(4): 343–360.

Harpel, C., de Silva, S., Salas, G., 2011. The 2-ka eruption of Misti volcano, southern Peru-The most recent Plinian eruption of Arequipa's iconic volcano. Geological Society of America Special papers.

Harpel, C.J., Cuno, J.J., Cueva, K., Japura, S., Cabrera, M., Soncco, Y., Rivera, M., 2018. Tefroestratigrafía preliminar de erupciones explosivas del volcán Misti (Arequipa, Perú) desde la Autopista y sus implicaciones para los peligros volcánicos. Foro Internacional: Los Volcanes y su Impacto, Arequipa, Perú, Este volumen.

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.

INGEMMET (2019). reporte semanal de la actividad del volcán Misti. recuperado de [http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page\\_id=999](http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page_id=999).

INGEMMET (2019). Informe técnico A6912. Evaluación de peligros geológicos en la quebrada el pato, tramo villa confraternidad (zonas a, b, c y d).

Marco Rivera, Hervé Martin, Jean-Luc Le Pennec, Jean-Claude Thouret, Alain Gourgaud, Marie-Christine Gerbe., 2017. Petro-geochemical constraints on the source and evolution of magmas at El Misti volcano (Peru), *Lithos* 268–271 (2017) 240–259.

## 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.

Delaite, G.; Thouret, J.-C.; Sheridan, M.F.; Labazuy, P.; Stinton, A., et al. (2005) - Assessment of volcanic hazard of El Misti and in the city of Arequipa, Peru, based on GIS and simulations, with emphasis on lahars. *Zeitschrift für Geomorphology N.F., supplement*, 140: 209-231.

Finizola, A.; Lénat, J.-F.; Macedo, O.; Ramos, D.; Thouret, J.-C. & Sortino, F. (2004) - Fluid circulation and structural discontinuities inside Misti volcano (Peru) inferred from self-potential measurements. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 135(4): 343–360.

Harpel, C., de Silva, S., Salas, G., 2011. The 2-ka eruption of Misti volcano, southern Peru-The most recent Plinian eruption of Arequipa's iconic volcano. Geological Society of America Special papers.

Harpel, C.J., Cuno, J.J., Cueva, K., Japura, S., Cabrera, M., Soncco, Y., Rivera, M., 2018. Tefroestratigrafía preliminar de erupciones explosivas del volcán Misti (Arequipa, Perú) desde la Autopista y sus implicaciones para los peligros volcánicos. Foro Internacional: Los Volcanes y su Impacto, Arequipa, Perú, Este volumen.

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.

INGEMMET (2019). reporte semanal de la actividad del volcán Misti. recuperado de [http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page\\_id=999](http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page_id=999).

INGEMMET (2019). Informe técnico A6912. Evaluación de peligros geológicos en la quebrada el pato, tramo villa confraternidad (zonas a, b, c y d).

Marco Rivera, Hervé Martin, Jean-Luc Le Pennec, Jean-Claude Thouret, Alain Gourgaud, Marie-Christine Gerbe., 2017. Petro-geochemical constraints on the source and evolution of magmas at El Misti volcano (Peru), *Lithos* 268–271 (2017) 240–259.



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.

Martignole, J. & Martelat, J.E. (2003) - Regional-scale Grenvillianage UHT metamorphism in the Mollendo-Camana block (basement of the Peruvian Andes). *Journal of Metamorphic Geology*, 21(1): 99-120.

Paquereau, P.; Thouret, J.-C.; Wörner, G. & Fornari, M. (2006) - Neogene and Quaternary ignimbrites in the area of Arequipa, southern Peru: stratigraphical and petrological correlations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 154(3-4): 251-275.

Stewart, J.W.; Evernden, J.F. & Snelling, N.J. (1974) – Age determinations from Andean Peru: a reconnaissance survey. *Geological Society of America Bulletin*, 85(7): 1107-1116.

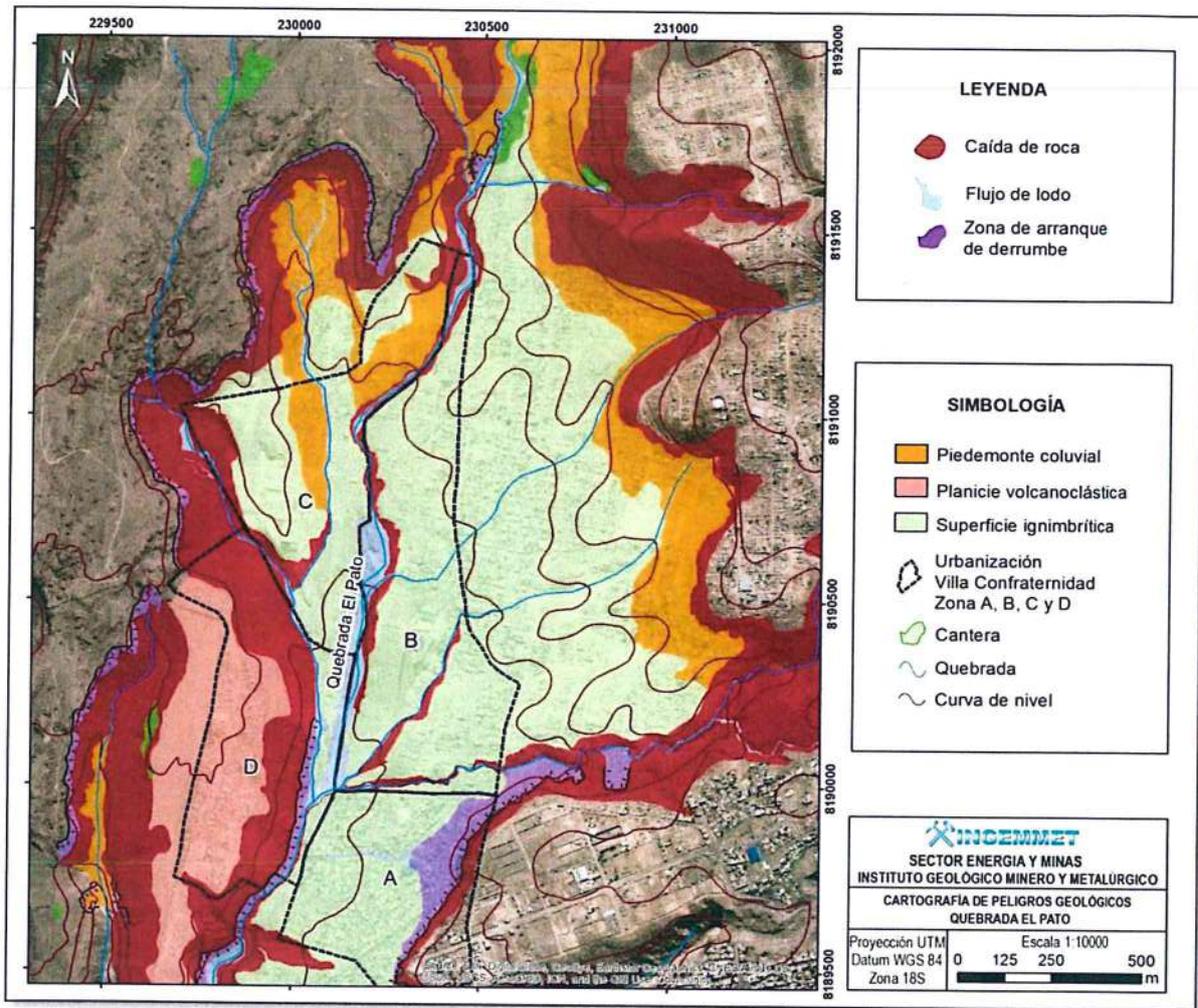
Thouret, J.C.; Finizola, A.; Fornari, M.; Legeley-Padovani, A.; Suni, J. & Frechen, M. (2001). Geology of El Misti volcano near the city of Arequipa, Peru. *Geological Society of America Bulletin*, 113(12): 1593-1610.

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.

Tort, A. & Finizola A. (2005) - The buried caldera of Misti volcano, Peru, revealed by combining a self-potential survey with elliptic Fourier function analysis of topography. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 141(3-4): 283–297.

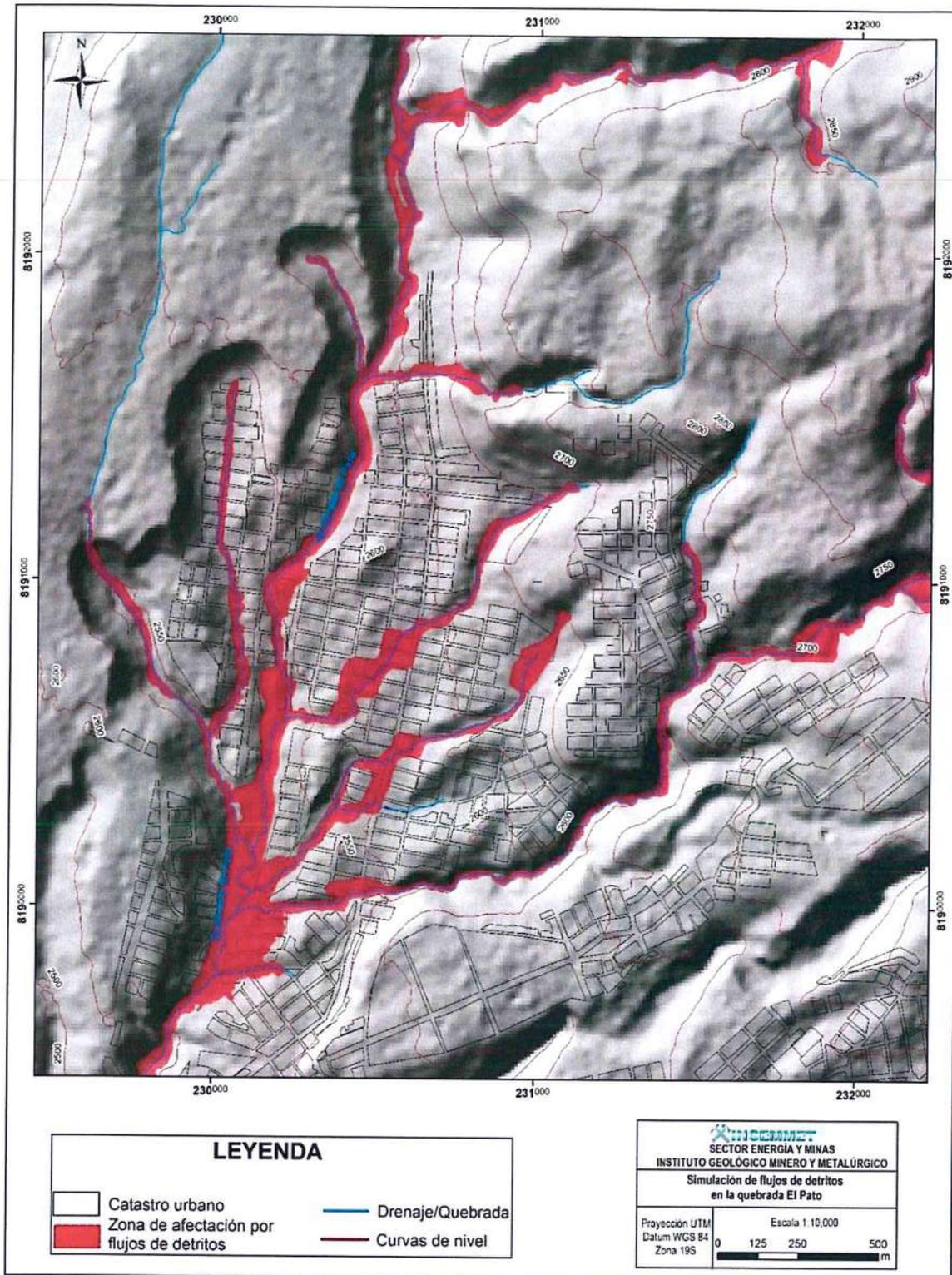


**ANEXO**



**Figura 21.** Mapa de peligros por movimientos en masa del tramo Villa Confraternidad, (informe: A6912 INGEMMET).





**Figura 22.** Quebrada El Pato tramo, Villa Confraternidad (Zona A, B, C y D); muestra un mapa de flujos de detritos, indicando las zonas de alto peligro, (informe: A6912 INGEMMET).

