

Informe Técnico Nº A6846

**PELIGROS GEOLÓGICOS EN ZONAS  
DE EXPLOTACIÓN DE LADERAS  
EN LA CUENCA DEL VALLE DEL RIO CHILI,  
SECTOR ALTO CAYMA AREQUIPA**

**Región y provincia Arequipa  
Distrito Cayma**



JESSICA VELA  
YHON SONCCO

NOVIEMBRE  
2018

## CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS .....	3
III. ASPECTOS GEOLÓGICOS .....	4
IV. PELIGROS GEOLÓGICOS IDENTIFICADOS .....	6
V. INFRAESTRUCTURA COMPROMETIDA .....	14
VI. PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS .....	15
VII. CONCLUSIONES .....	17
VIII. RECOMENDACIONES .....	17
IX. BIBLIOGRAFÍA .....	18
X. GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	19

## I. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-INGEMMET, dentro del ámbito de sus competencias y funciones está “*Identificar, estudiar y monitorear los peligros asociados a movimientos en masa, actividad volcánica, aluviones, tsunamis y otros*”. Asimismo, establece que la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) “*es el órgano de línea del INGEMMET que realiza investigaciones, programas y proyectos Geoambientales, Geotécnicos y de Evaluación y Monitoreo de Peligros Geológicos del territorio nacional*”. Además, indica dentro de sus funciones realizar la evaluación monitoreo y elaboración de los mapas de peligros geológicos (deslizamientos, aluviones, aludes, volcanes, fallas activas y tsunamis”.

Es a partir de ello, que el INGEMMET a través de la ACTIVIDAD1 que realiza la DGAR, con el objetivo de reducir el riesgo de desastres en nuestro país, brinda asistencia técnica en materia de peligros geológicos a los gobiernos local, regional y nacional.

El Gerente de Desarrollo Urbano de la Municipalidad Distrital de Cayma, región Arequipa, mediante Oficio N° 0874-2017-MDC/GDU, dirigida al presidente del Consejo Directivo del INGEMMET, solicita se realice un estudio de peligrosidad en zonas de explotación de laderas en la cuenca del valle del río Chili, sector Alto Cayma, en mérito al volumen de material que viene siendo extraído por concesiones de minería no metálica. El Director de Geología Ambiental y Riesgo Geológico designó al Ing. Jessica Vela y Yhon Soncco, para realizar la inspección geológica del lugar en mención.

Dicho informe técnico que se pone a consideración de los interesados, realiza un análisis de los peligros volcánicos relacionados al volcán Misti como de procesos de movimientos en masa que puedan resultar de la ocurrencia de lluvias o sismos en la región.

### 1.1 UBICACIÓN

La zona de estudio se localiza en el distrito Cayma, provincia y región Arequipa. Se encuentra a 13 km suroeste del cráter del volcán Misti y a 14 km al sureste del volcán Chachani (foto 1 y figura 1). La zona es accesible desde el centro de la ciudad por la carretera Arequipa - Charcani, en un tiempo aproximado de 40 minutos. Las coordenadas geográficas de la zona de estudio son:

Latitud: - 16°19'24"S

Longitud: - 71°31'39"O



Foto 1. En primer plano la zona de estudio. Al fondo el volcán Misti.

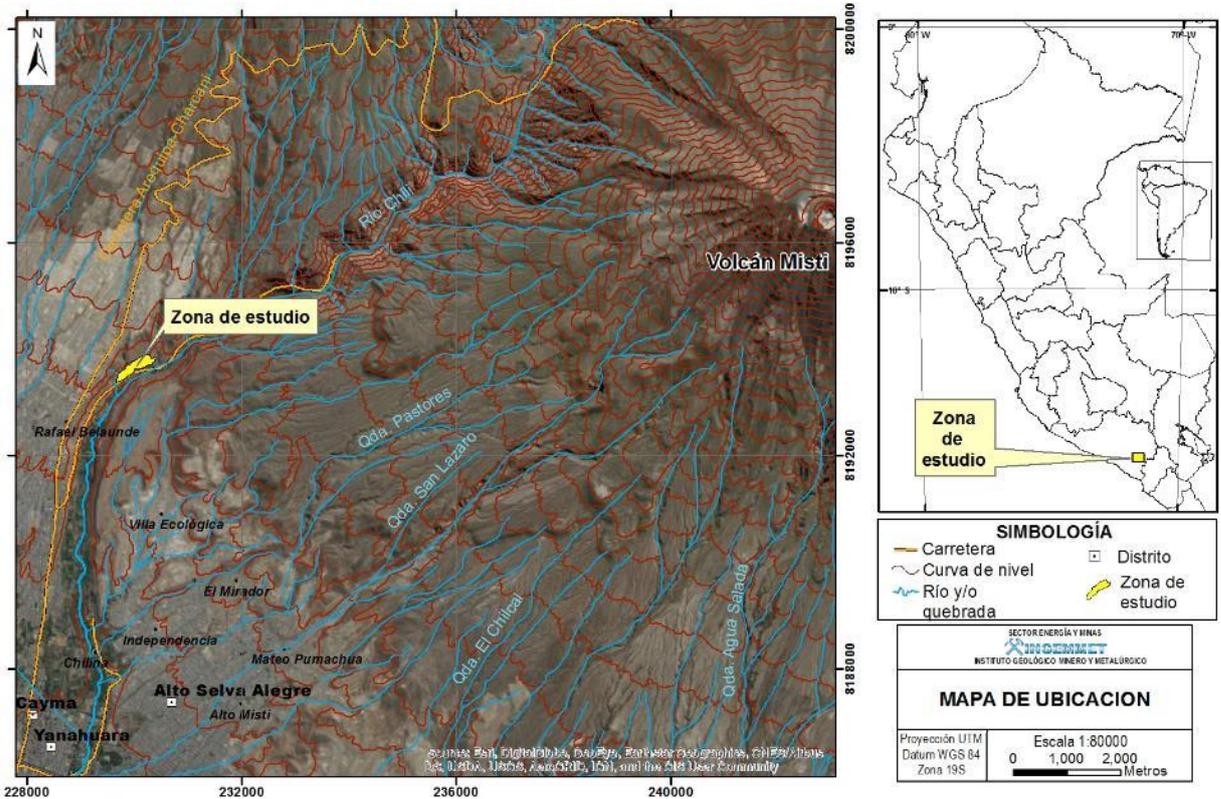


Figura 1. Ubicación de la zona evaluada.

## II. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

En la zona de estudio y alrededores se distinguen las siguientes unidades geomorfológicas:

### 2.1 Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Son geformas resultantes del efecto progresivo de procesos de morfología dinámica y degradacional, originados por la actividad tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales (acumulación de depósitos); estos procesos conducen a la modificación parcial o total del relieve a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005), figura 2.

- a) Estratovolcán (Es-v): El estrato-cono inferior del Misti, se ubica entre los 3000 y 4400 msnm. Se caracteriza por presentar pendientes moderadas (entre 15° y 40°), y un sistema de drenaje radial, con quebradas de 10 a 50 m de profundidad. Está conformado por flujos de lava del volcán Misti, emplazados entre 50 y 120 mil años (Thouret *et al.*, 2001). Superficialmente está cubierto por depósitos volcanoclásticos. Los flujos de lava poseen entre 10 y 50 m de espesor. En el estrato-cono inferior se distinguen algunas estructuras tipo levée que se hallan distribuidas de manera radial.
- b) Colinas (Col): Se extiende al norte, este y sureste de la ciudad de Arequipa. 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.
- c) Superficie de flujo piroclástico (Sfp): Es un área relativamente plana y extensa que se ubica hacia el oeste de la ciudad de Arequipa y limita al norte con los flujos de lava del volcán Chachani. Esta zona tiene pendientes menores a 15°, y está cortada por quebradas que tienen menos de 20 m de profundidad. Está conformada por una secuencia de ignimbritas cubiertas por una delgada capa de depósitos volcanoclásticos provenientes de los volcanes Misti y Chachani.

### 2.2 Geformas de carácter deposicional y agradacional

Son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía de ríos o quebradas, los glaciares, y los vientos (figura 2).

- a) Vertiente fluvio-glaciar (V-gfl): Corresponde a la vertiente que se inicia cerca de la represa Aguada Blanca, a 3700 msnm. Dicha vertiente está ubicada entre los volcanes Misti y Chachani. Las márgenes o paredes de la vertiente se caracterizan por presentar pendientes muy fuertes que van de 35° a 75°. La vertiente posee una longitud cercana a 20 km; en sus primeros 5 km está orientado en dirección E-O y los restantes en dirección NE-SO. Posee una profundidad que va de 150 a 400 m en sus tramos iniciales y finales, y más de 2600 m en su parte media.

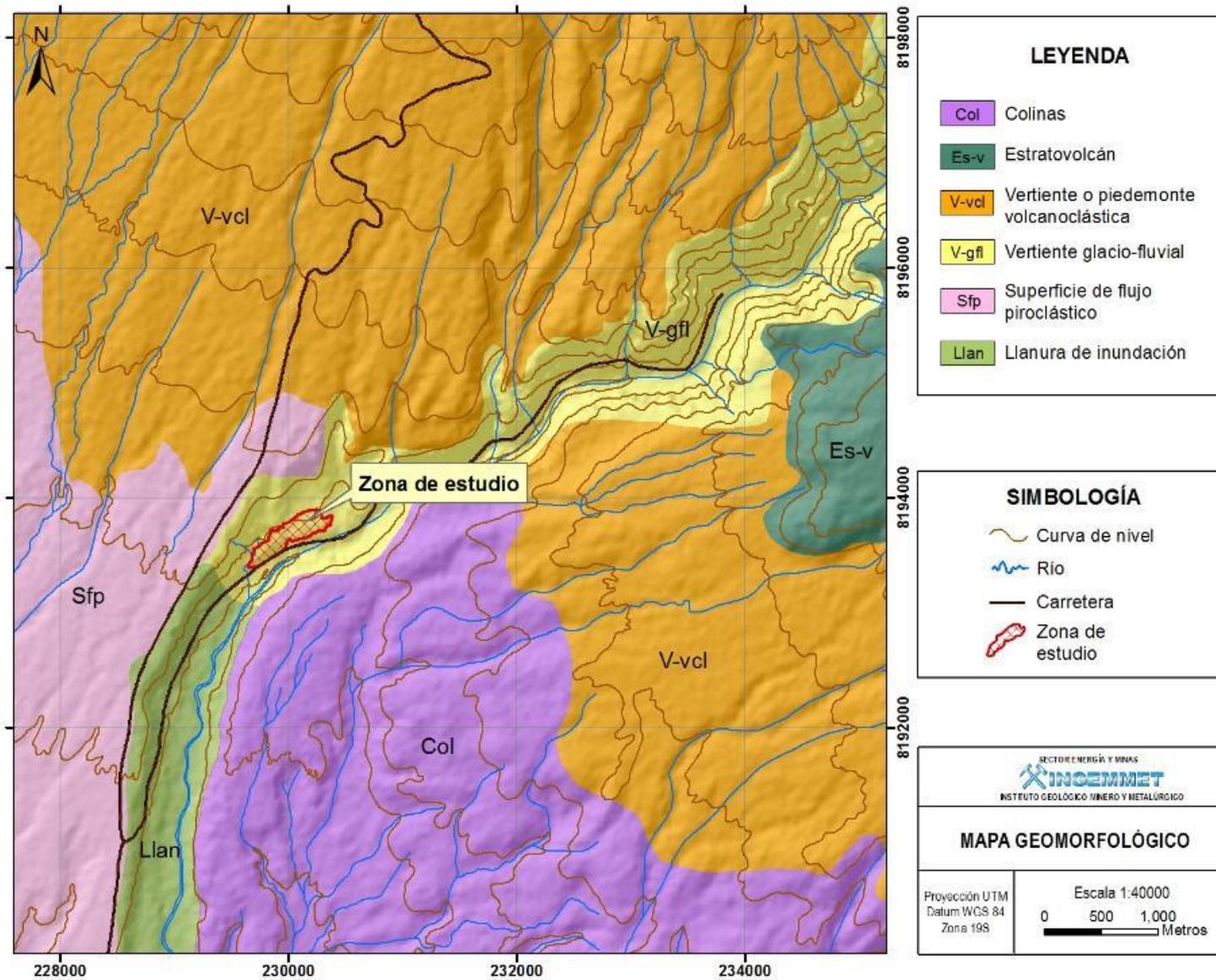
- b) Vertiente o piedemonte volcanoclástica (V-vcl): Se extiende al sur y sureste del volcán Misti. Posee una pendiente, entre 10° y 20° de inclinación y está surcada por quebradas que tienen entre 50 a 100 m de profundidad y de 10 a 100 m de ancho. Está conformada por potentes secuencias de depósitos volcanoclásticos y sedimentos epiclásticos provenientes del volcán Chachani.
- c) Llanura de inundación (Llan): Se inicia al final del cañón del río Chili y se extiende a lo largo del valle pasando por la ciudad de Arequipa. En la parte superior (sector de Chilina), es un valle angosto, orientado en dirección N-S, de 500 m de ancho y 200 m de profundidad. La llanura de inundación está formada por terrazas originadas por el emplazamiento de lahares ocurridos en el Holoceno y durante las épocas históricas, en su gran mayoría.

### III. ASPECTOS GEOLÓGICOS

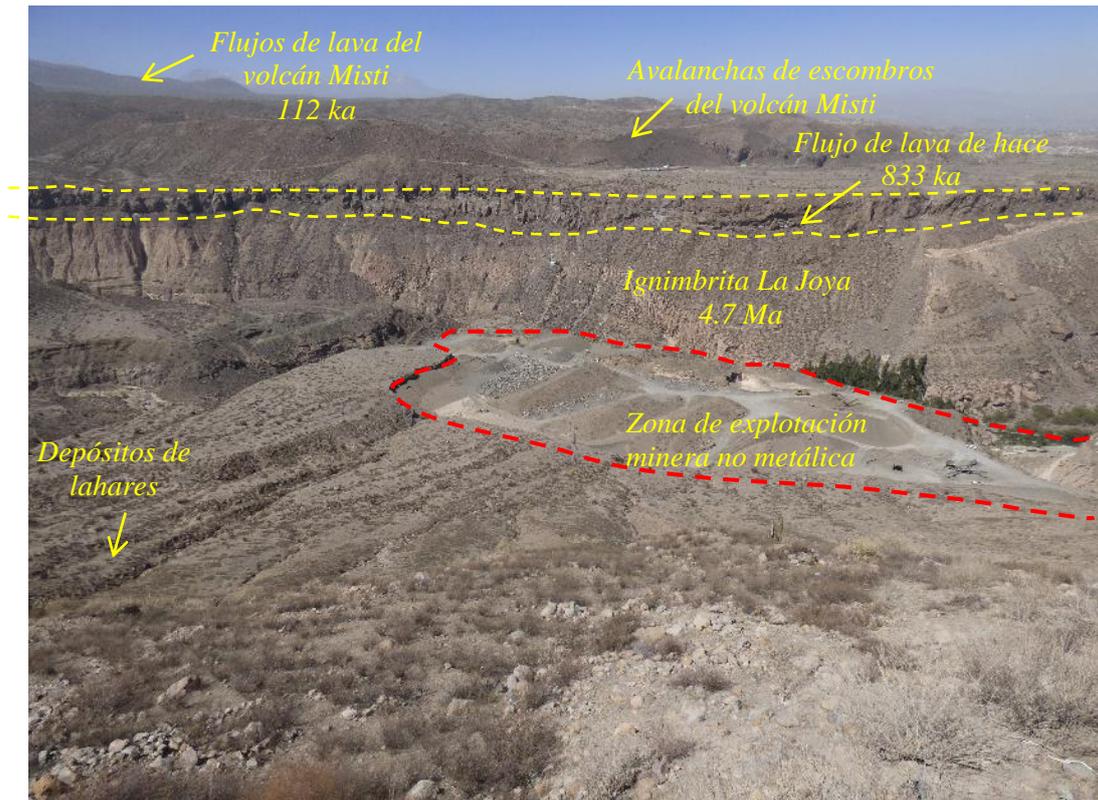
Las unidades litológicas (formaciones geológicas) más antiguas que afloran en el área de estudio y alrededores corresponden a la ignimbrita “La Joya” de hace 4.88 Ma y la ignimbrita Aeropuerto de hace 2.42 a 1.61 Ma (Paquereau et al., 2006). Así mismo, afloran depósitos de flujos piroclásticos, sedimentos volcanoclásticos, depósitos de caídas de tefras, lahares y depósitos aluviales (figura 3).

Las características de dichos depósitos y substrato rocoso son descritos a continuación:

- a) **Ignimbrita “La Joya” (IG-lj).** En la margen izquierda del río Chili (foto 2), al fondo del valle se distingue la ignimbrita “La Joya” de pómez y ceniza consolidada. Se extiende hacia el norte, suroeste y oeste de Arequipa. Dicho depósito de color gris claro posee espesores que varían entre 20 a 80 m. Ha sido datada en 4.88 a 4.78 Ma (Paquereau *et al.*, 2006).
- b) **Ignimbrita “Aeropuerto de Arequipa” (IG-a).** Aflora en ambas márgenes del río Chili (figura 3), cubre un área de más de 600 km<sup>2</sup>, extendiéndose por el oeste hacia la zona del aeropuerto de Arequipa y por el sur hacia el río Chili. Dicho depósito posee espesores que varían entre 20 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. Ha sido datada en 1.65 Ma (Paquereau *et al.*, 2006).
- c) **Sedimentos volcanoclásticos (SV-ch).** Aflora dentro y en los alrededores de la zona de estudio. Se trata de depósitos conformados por bloques de coloración pardo-oscuro y de textura escorácea, englobados por una matriz limo-arenosa y fragmentos líticos. También presenta bloques con estructuras tipo “costra de pan”. Este depósito tiene espesores entre 2 a 5 m (foto 3).



*Figura 2. Unidades Geomorfológicas identificadas en la zona de estudio y alrededores.*

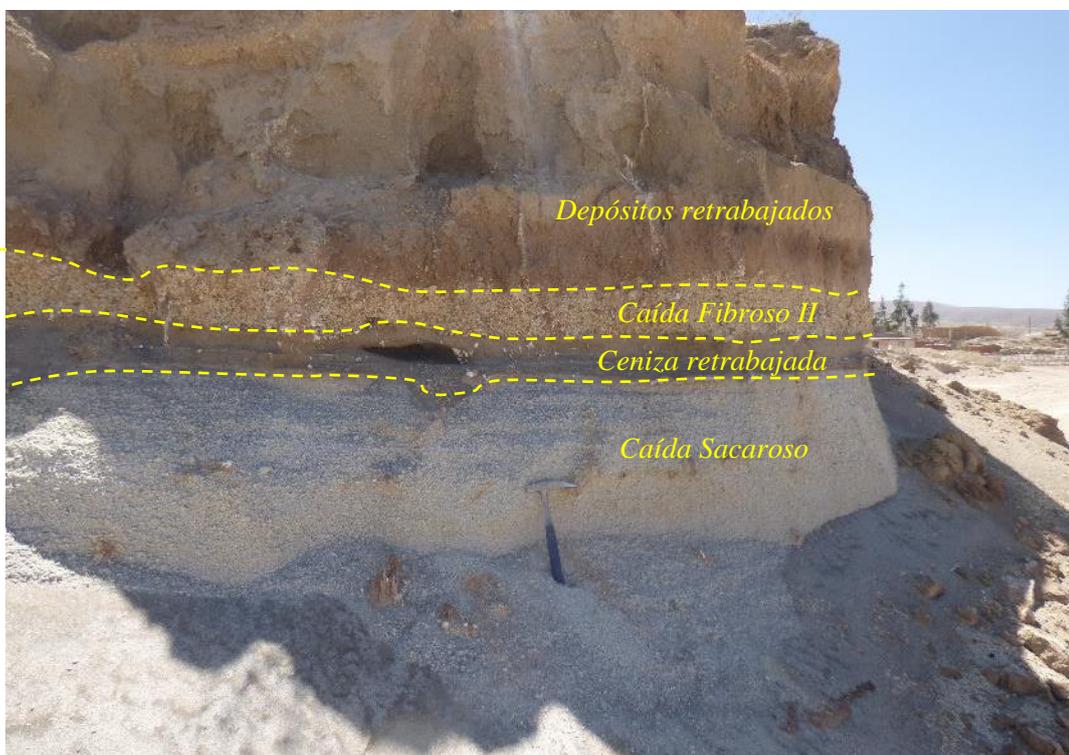


**Foto 2.** En primer plano, depósitos de lahares. Al fondo, la ignimbrita La Joya (4.7 Ma). Sobreyace las ignimbritas, el flujo de lava de hace 833 ka, depósitos de avalanchas de escombros del Misti y la secuencia de flujos de lava datadas en 112 ka en el flanco suroeste del volcán Misti.



**Foto 3.** Depósitos volcanoclásticos en la zona de estudio.

- d) **Flujos de lava en bloques (FL-m1).** Ocupan cerca de 3 km de largo por 2 km de ancho. En el cañón del río Chili, esta secuencia alcanza 300 m de espesor. Son flujos de lava en bloques gris claros y se hallan subyaciendo a los depósitos de avalanchas de escombros del volcán Misti (foto 2). Estas lavas fueron datadas en 833 ka.
- e) **Secuencia de flujos piroclásticos de bloques y ceniza (FPB-cp).** Al SO del volcán Misti, este flujo posee un espesor de un poco más de 8 m. Se originó 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 ligeramente vesiculares y otros masivos (figura 3).
- f) **Secuencia de caídas piroclásticas (CP-m1).** En el sector de Alto Cayma, a 400 m al noroeste de la zona de estudio se ha identificado dos depósitos de caídas piroclásticas del volcán Misti (figura 3), que se describen a continuación: 1) Caída de lapilli pómez Sacaroso: El depósito de caída de lapilli pómez denominado Sacaroso se caracteriza por tener una granulometría fina uniforme y presentar un color gris claro. No presenta gradación de tamaño de grano de pómez, lo cual le da una apariencia masiva. El espesor del depósito varía entre 0.40 a 0.75 m y posee una concentración de líticos en la parte inferior y ligeramente hacia la mitad del depósito (foto 4). Este depósito fue datado en 20 ka (Thouret et al., 2001); 2) Caída de pómez Fibroso II: Se encuentra sobre un depósito de ceniza retrabajada y posee una coloración blanquecina a amarillo rojiza. Este depósito se caracteriza por ser rico en líticos, los cuales se distribuyen en forma homogénea en todo el depósito, pero los más grandes se encuentran en la base. Los fragmentos de pómez son blanquecinos y textura fibrosa. Este depósito tiene un espesor de 20 a 30 cm (foto 4).



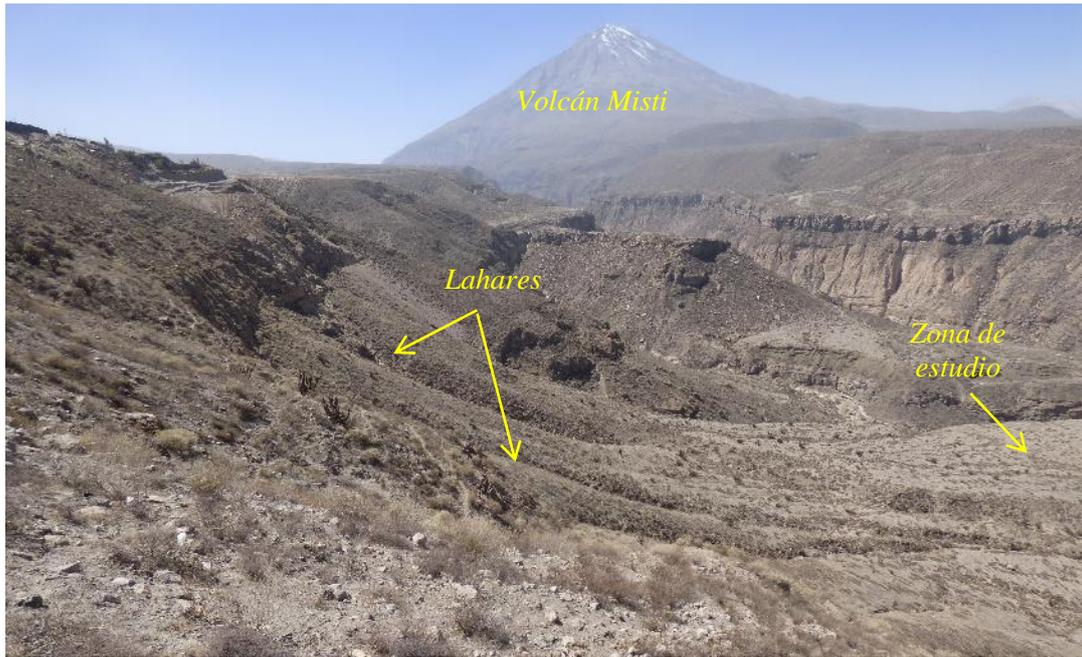
**Foto 4.** Secuencia piroclástica en el sector de Alto Cayma. En la base, aflora el depósito de caída de lapilli pómez Sacaroso, de color blanco-amarillento. En la parte media, un depósito de ceniza retrabajada y el depósito de caída de pómez Fibroso II. Sobreyaciendo se encuentran depósitos retrabajados.

- g) **Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza (FPP-m5).** Aflora dentro de la zona de estudio y tiene un espesor entre 3 a 5 m. Este depósito 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 (foto 5). Este depósito ha sido datado entre 13.6 a 11.3 ka y están cubierto por caídas piroclásticas recientes datados entre 14 a 11 ka.



*Foto 5: Flujos piroclásticos de pómez y cenizas de hace 13.6 a 11.3 ka. Afloramiento dentro de la zona de estudio*

- h) **Depósitos fluvio-glaciares del Pichu Pichu (FG-pi).** Esta unidad está conformada por una mezcla de bloques heterométricos y polilitológicos, angulosos, subangulosos y subredondeados, incluidos dentro de una matriz fina limo-arenosa. Posee una grosera estratificación y su espesor varía de 1 a 5 m. Estos depósitos afloran a 400 m al sureste de la zona de estudio (figura 3).
- i) **Lahares Holocénicos e históricos del volcán Chachani (LH-ch) y volcán Misti (LH-m).** Presentan un espesor promedio de 1.5 m, se caracterizan por ser depósitos masivos, medianamente estratificados y compactos (foto 6). Se encuentran mal clasificados y contienen fragmentos líticos heterométricos y heterogéneos. Predomina la facie de matriz compuesto por ceniza de grano fino. Los fragmentos líticos y las pómez tienen tamaños menores a 3 cm.



**Foto 6:** Depósitos de lahares al oeste de la zona de estudio

- j) **Depósitos aluviales (AL).** Se encuentran ampliamente distribuidos en la zona de estudio, principalmente en el lecho del río Chili. Presentan espesores que van de decímetros a varios metros. Conformados por bloques subredondeados a redondeados, distribuidos en una matriz de arena y limo. Presentan estructuras de estratificación cruzada y laminar.

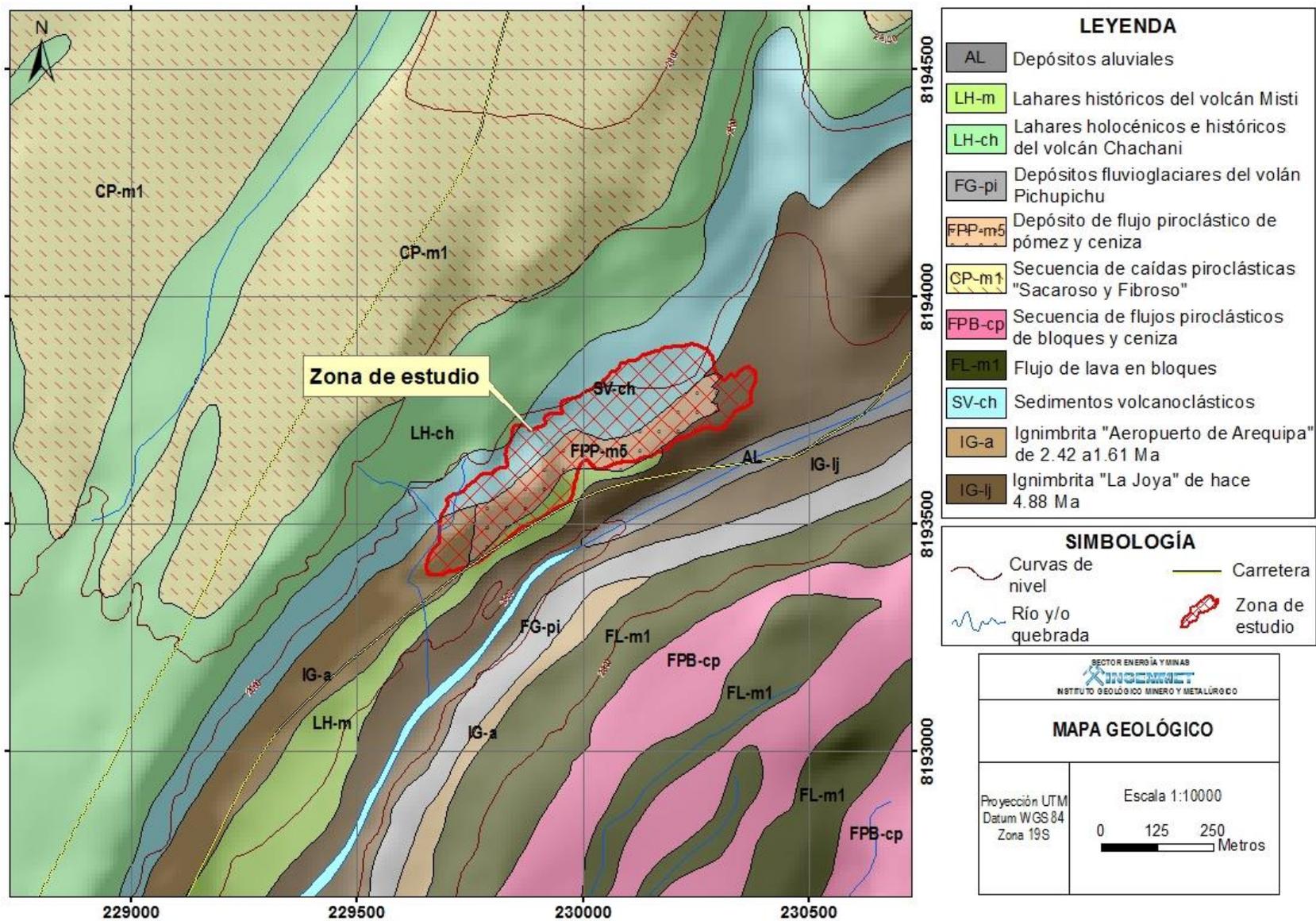


Figura 3. Mapa Geológico de la zona de estudio (Mariño, 2016).

#### IV. PELIGROS GEOLÓGICOS IDENTIFICADOS

Los peligros geológicos identificados en la zona de estudio son:

a) Peligros asociados a fenomenología volcánica, debido a la cercanía de la zona de estudio al volcán Misti. El volcán Misti es un volcán activo, presenta actividad reciente, según el reporte semanal de monitoreo del volcán Misti emitido por el observatorio vulcanológico del Ingemmet-OVI (figura 4), la semana del 6-12 de agosto 2018, registraron 17 sismos volcánicos en promedio por día, además registraron emisiones de gases tenues menores a 100 metros de altura sobre el cráter, los cuales fueron dispersados en dirección este.

b) Peligros por movimientos en masa (figura 5). El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991 en PMA: GCA, 2007). Los movimientos en masa representan procesos geológicos superficiales, que involucran la remoción de masas rocosas con características inestables, depósitos inconsolidados de diferente origen, competencia y grado de cohesión, o la combinación de ambos, por efecto de la gravedad, Medina., (2014). En el área de estudio, están estrechamente ligados a factores detonantes como lluvias de gran intensidad o gran duración asociadas a eventos excepcionales. Los factores condicionantes o intrínsecos que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa son la litología (calidad de la roca y permeabilidad), morfología y pendiente del terreno. Los principales peligros por movimiento en masa a los cuales está expuesto la zona de estudio son deslizamientos, derrumbes, caída de rocas y erosión de laderas de tipo surcos o cárcavas.

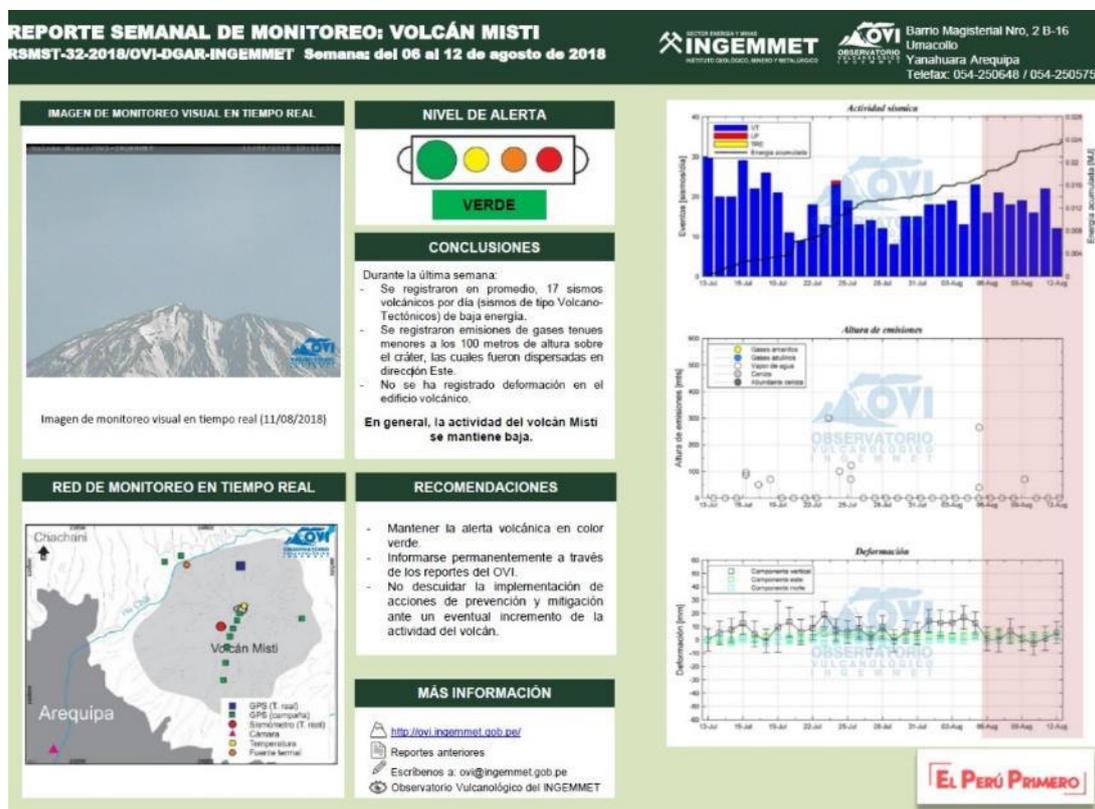
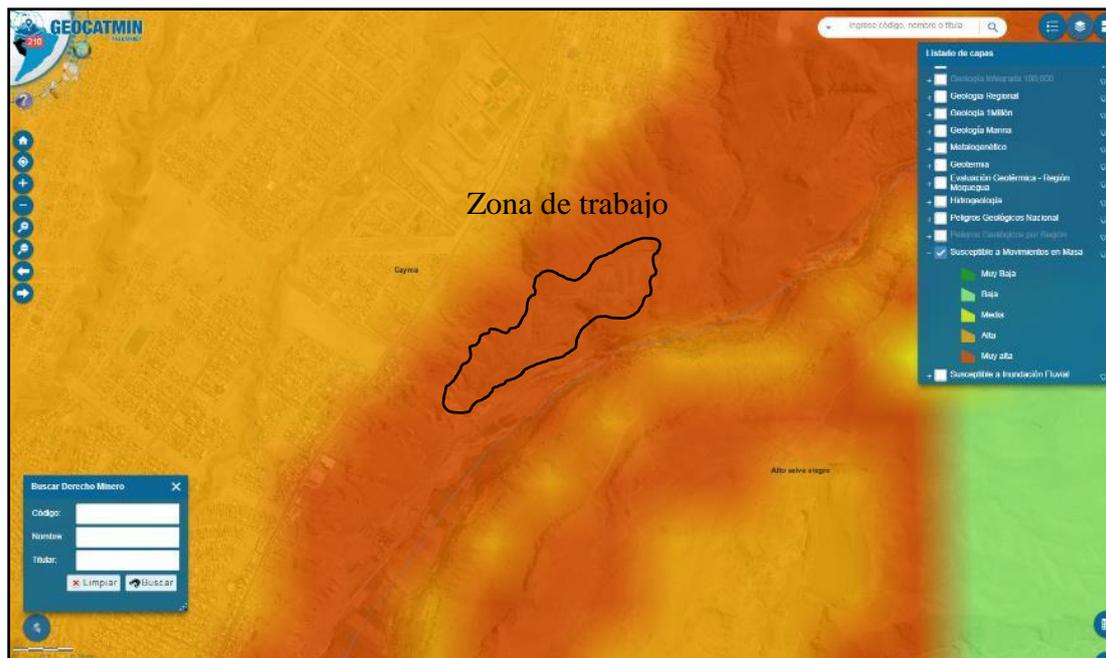


Figura 4. Muestra el Reporte RSMST-32-2018/OVI-DGAR-INGEMMET, semana del 06-12 de agosto del 2018 (<http://ovi.ingemmet.gob.pe>).



**Figura 5.** Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa que muestra las zonas de peligros muy baja, baja, media, alta y muy alta. La zona de trabajo se encuentra en la zona de peligro muy alto. Fuente (<http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>).

#### 4.1 Peligros volcánicos

En base al mapa de peligros del volcán Misti elaborado por el INGEMMET, la zona de estudio se encuentra en alto peligro (color rojo). Puede ser afectada por erupciones intensas o 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 500 a 1500 años.

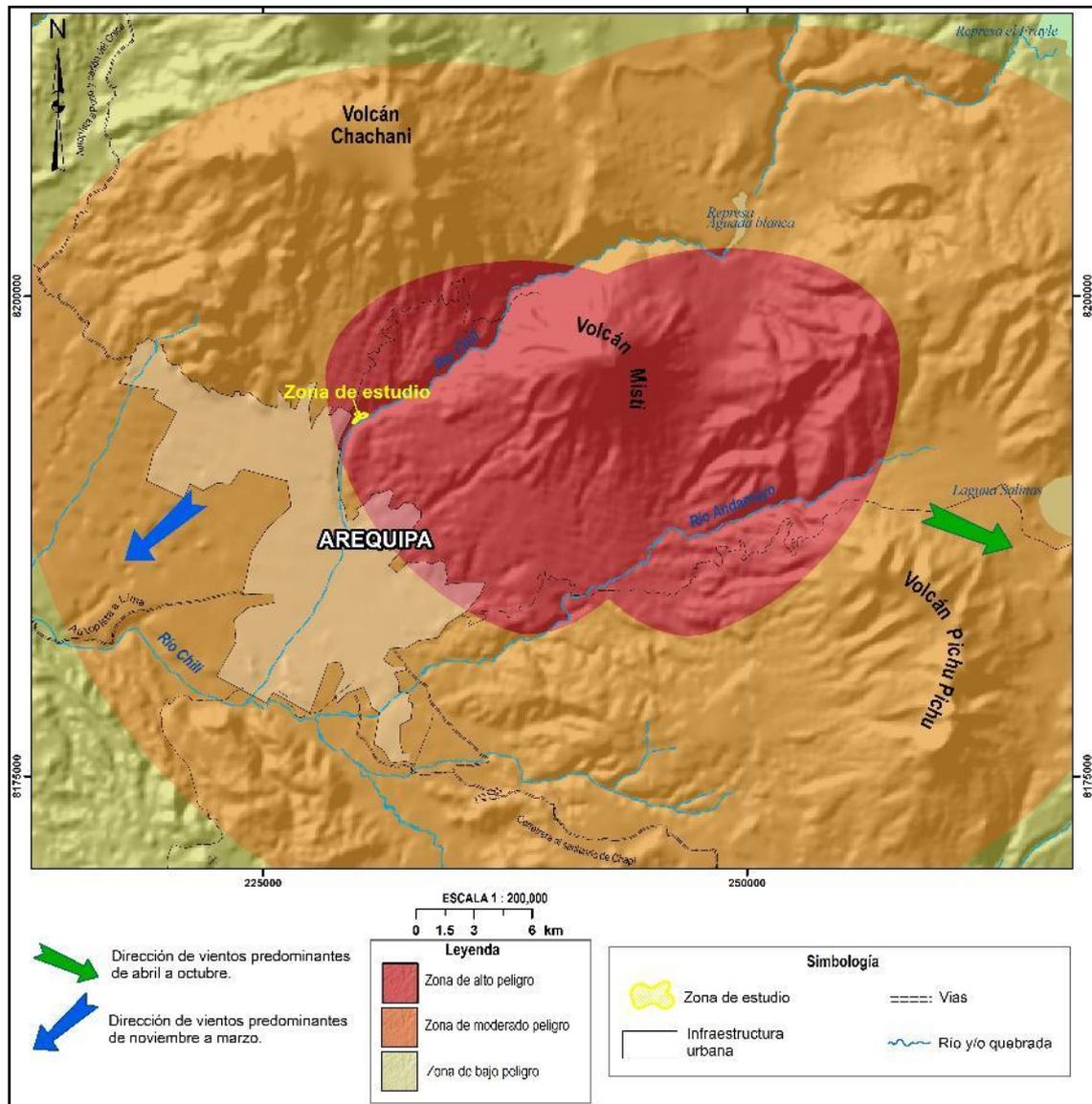
Durante una erupción del tipo vulcaniano con IEV de 1 a 2, según Mariño (2016), la zona evaluada puede ser afectada por:

- a) Por caídas de tefra (cenizas y lapilli de pómez), figura 6.
- b) Flujos piroclásticos
- c) Lahares
- d) flujos de lava

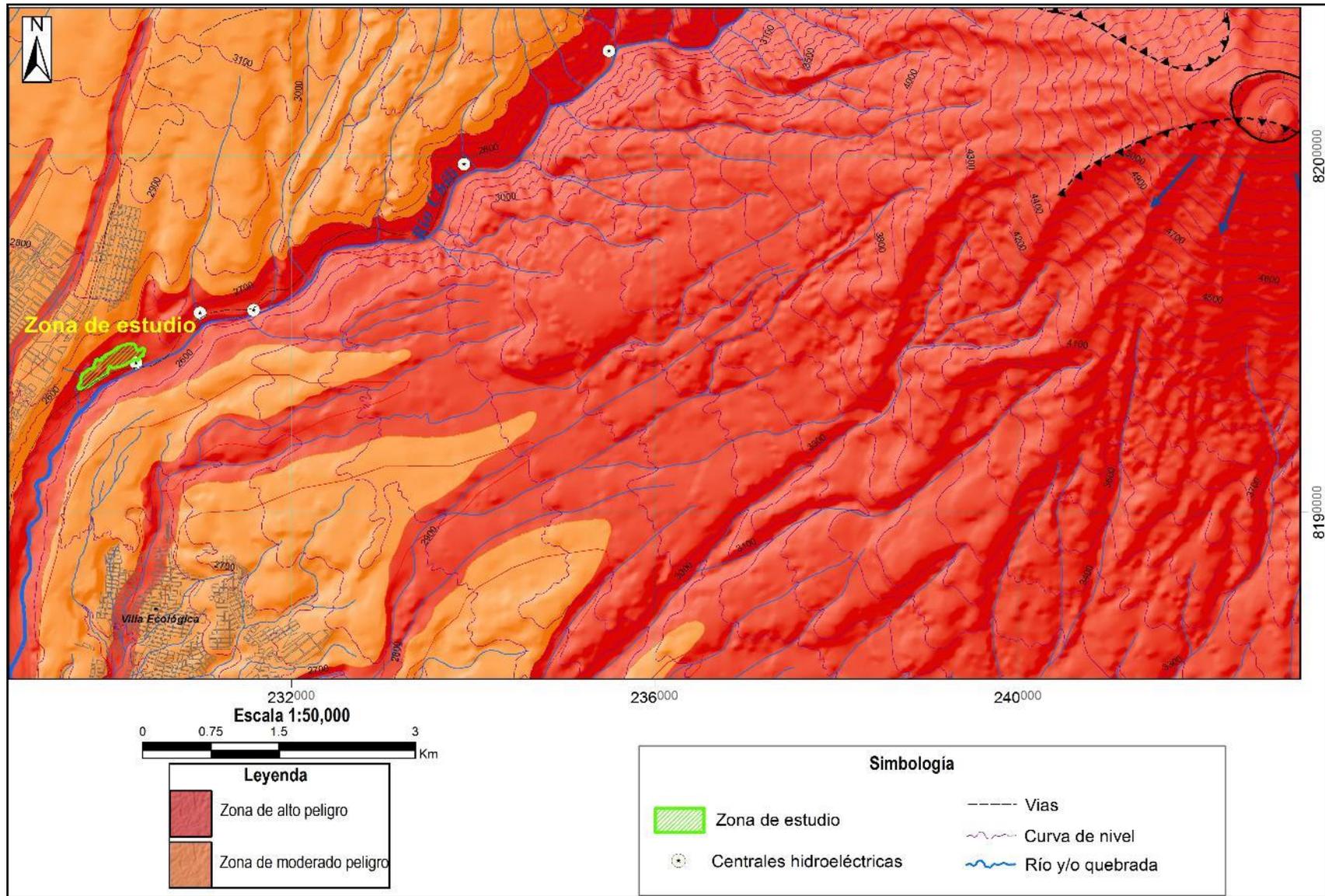
Por otro lado, durante una erupción o sismo intenso, podría generarse inestabilidad en el edificio volcánico, provocando colapso de algún flanco del volcán, esto generaría una avalancha de escombros. De colapsar el flanco noroeste, los depósitos generados represarían el río Chili, el desembalse formaría un flujo de lodo que arrasaría todo a lo largo del valle del río Chili. Se tiene evidencias pasadas similares, avalanchas de escombros ocurridos en el volcán Misti, como ejemplo tenemos los depósitos que se encuentran al sur, oeste y suroeste del volcán, entre 11 y 8 km del cráter.

La zona de alto peligro también se extiende a lo largo de las quebradas que bajan del volcán Misti y del río Chili, esto debido al posible emplazamiento de lahares o flujos de barro que han sido frecuentes durante erupciones vulcanianas con IEV 2 en el Misti. En la cuenca del río Chili, se identificaron terrazas conformadas por lahares emplazados entre

el Holoceno superior y la época histórica, cuatro de ellos datados en  $1035 \pm 45$ ,  $520 \pm 25$ ,  $340 \pm 40$  y  $330 \pm 60$  años B.P. (Delaite *et al.*, 2005).



**Figura 6.** Mapa de peligros por caída de ceniza del volcán Misti (Mariño, 2016); muestra la zona evaluada en alto peligro.



*Figura 7. Mapa de peligros del volcán Misti (Mariño, 2016); muestra la zona evaluada en alto peligro.*

## 4.2 Peligros por movimientos en masa

Los fenómenos de ladera o movimientos de ladera son desplazamientos de masas de tierra o de rocas que se encuentran en pendiente, se entiende como movimiento del terreno o desplazamientos que afectan a los materiales en laderas o escarpes. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad (Corominas y García Yagüe, 1997).

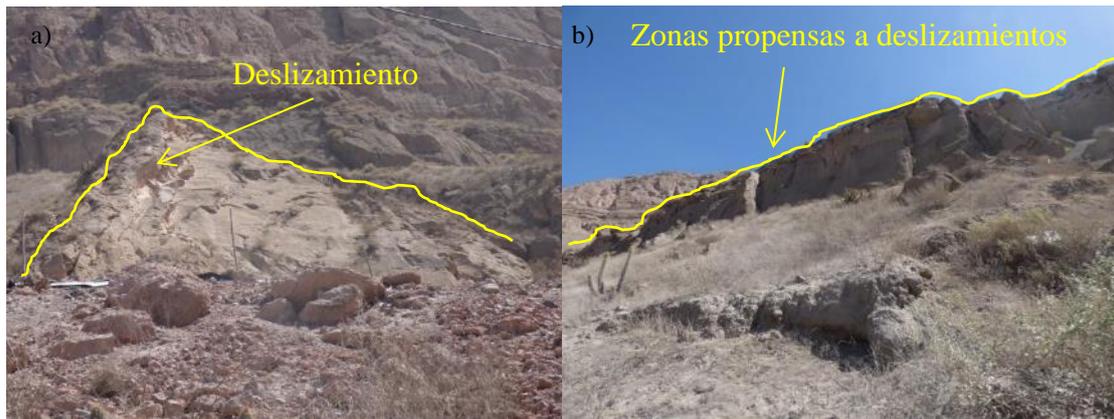
### 4.2.1 Deslizamientos y derrumbes

Durante el trabajo de campo de la inspección técnica, se logró determinar que los deslizamientos están ligados a la pendiente del terreno. El valor de la inclinación se pudo determinar con la ayuda de Google Earth, dándonos un valor aproximado entre  $40-35^\circ$  (foto 8).



**Foto 8.** Valle del río chili a la altura del santuario de Chapi-Charcani, se observa el alto grado de inclinación que presentan las laderas del valle.

Se identificaron sectores con deslizamientos, así como propensos a deslizamientos y derrumbes debido a la presencia de agrietamientos en rocas ubicadas en la parte intermedia de las laderas (foto 9).



**Foto 9.** a y b) Muestra deslizamientos y zonas propensas a nuevos deslizamientos y derrumbes.

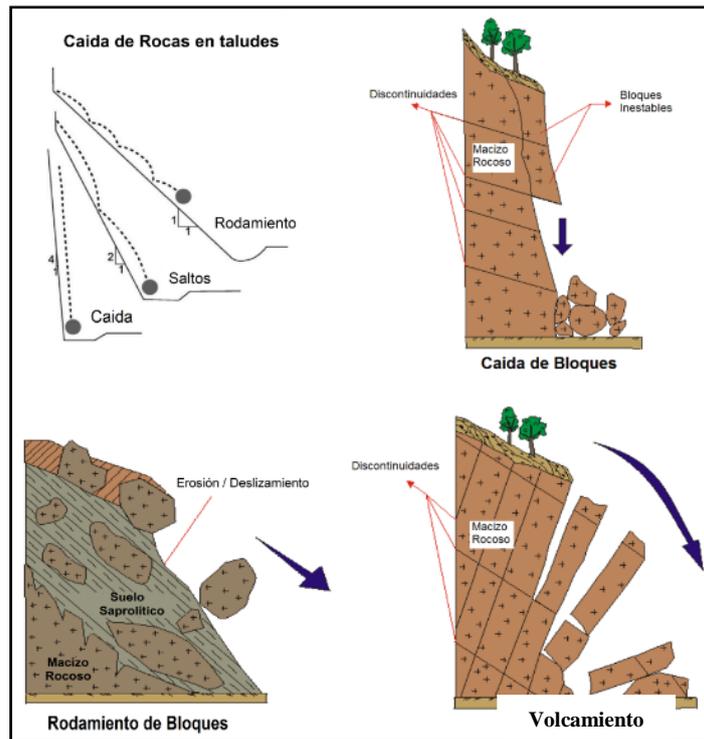
#### **Causas del deslizamiento y derrumbes:**

- Rocas de calidad intermedia a baja, conformadas por flujos piroclásticos poco consolidados, depósitos de lahares en las partes bajas del valle, además de sedimentos volcanoclásticos inestables.
- Ladera con pendiente entre 35-40°, permite que el material inestable se desplace pendiente abajo.
- La poca vegetación en la zona, esto contribuye a fácil filtración del agua al subsuelo.
- La extracción de material para construcción, el cual debilita las partes bajas de las laderas.

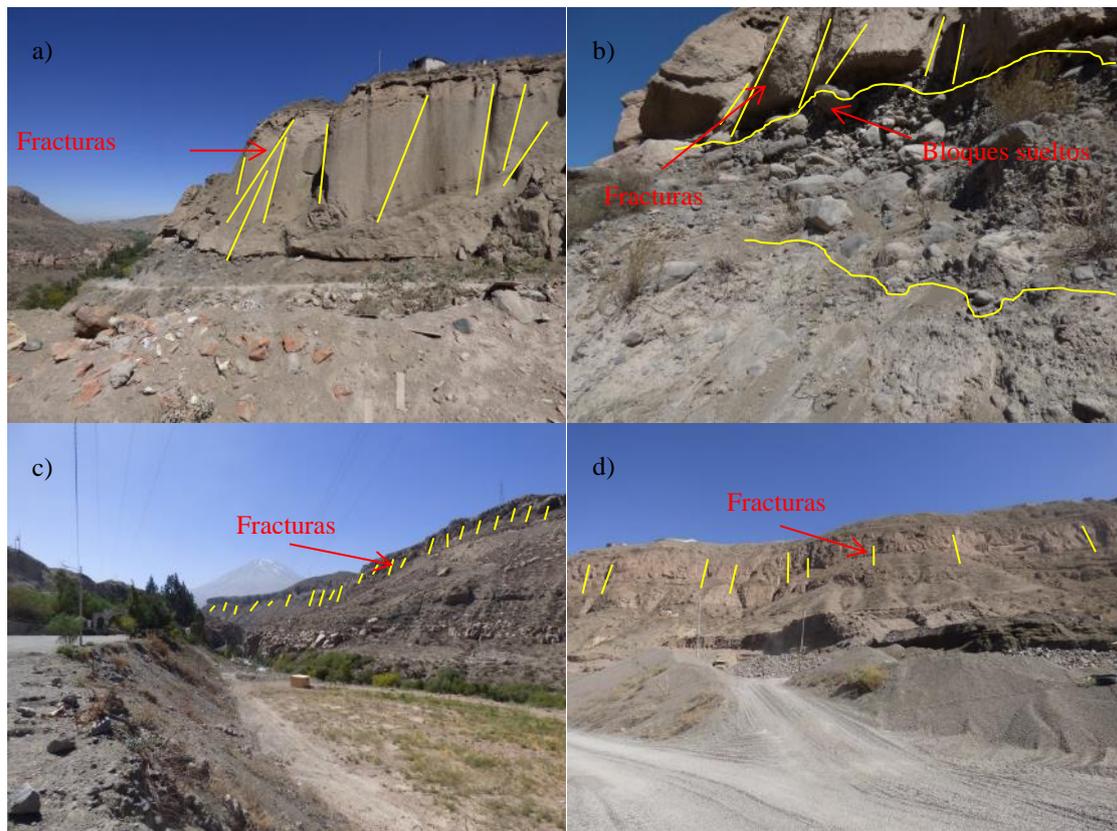
#### **4.2.2 Caída de rocas**

Son movimientos que consisten en el desplazamiento de bloques de roca por efecto de la gravedad a lo largo de pendientes empinadas, cuyos movimientos dependiendo de la pendiente del talud pueden ser del tipo caída libre, saltos, rodamiento o deslizamiento (Varnes, 1978), figura 8. Este tipo de movimiento en masa es uno de los más impredecibles en cuanto a la velocidad, trayectoria que siguen los bloques y la distancia que ellos pueden alcanzar, dependiendo estas de la morfología del terreno.

Las caídas de rocas se producen en los sectores de alta inclinación de las laderas, como las que muestra la zona de estudio (foto 10). Además, las rocas se encuentran moderadamente fracturas (Clasificación GSI), presentan de 8 a 10 fracturas por m<sup>2</sup> y espaciamiento de 15 a 25 cm entre fracturas. Actualmente sobre las superficies se tienen bloques sueltos, que podrían ser removidos ante movimientos sísmicos o lluvias.



**Figura 8.** Esquemas de los tipos de movimientos de los bloques que se presentan sobre el talud dependiendo de su pendiente y su origen (Modificado de Pimentel, 2011).



**Foto 10.** Muestra sectores afectados por caída de roca, a y b) en la parte alta del Santuario de Chapi-Charcani, c) en el margen izquierdo del valle del río Chili, d) en el margen derecho del valle del río chili.

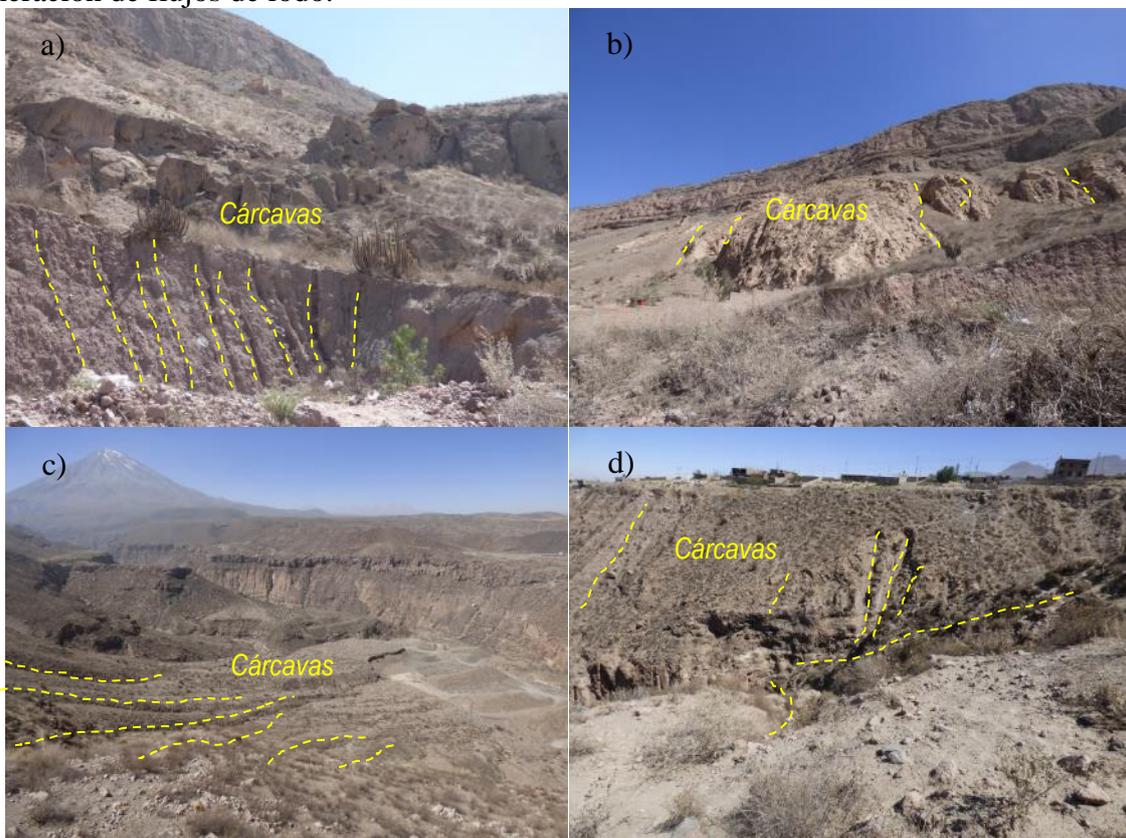
## Causas de la caída de rocas

Según Pimentel (2011), las caídas de rocas se deben principalmente a la meteorización físico-químico y biológico de las discontinuidades pre-existente de las rocas, tales como fallas, juntas, estratificación, bandeamiento y esquistosidad. Así mismo la rugosidad, persistencia, abertura y relleno son estructuras que contribuyen de manera decisiva en el origen de las caídas de rocas. Las causas para la ocurrencia de caída de rocas en la zona de estudio se relacionan con:

- Rocas de calidad intermedia, conformadas por flujos piroclásticos poco consolidados.
- Rocas poco a medianamente fracturadas. Las rocas presentan 2 familias de fracturas. El espaciamiento entre las fracturas es de 15 a 20 centímetros. Las fracturas son persistentes y/o abiertas, ello favorece la infiltración de aguas que aceleran la meteorización de la roca y ocasionan el debilitamiento del macizo rocoso. Las superficies de las fracturas son ligeramente rugosas.
- Inclinación del terreno aproximadamente 35-40°
- Las rocas presentan una ligera meteorización
- Escasa cobertura vegetal

### 4.2.3 Erosión de laderas o cárcavas

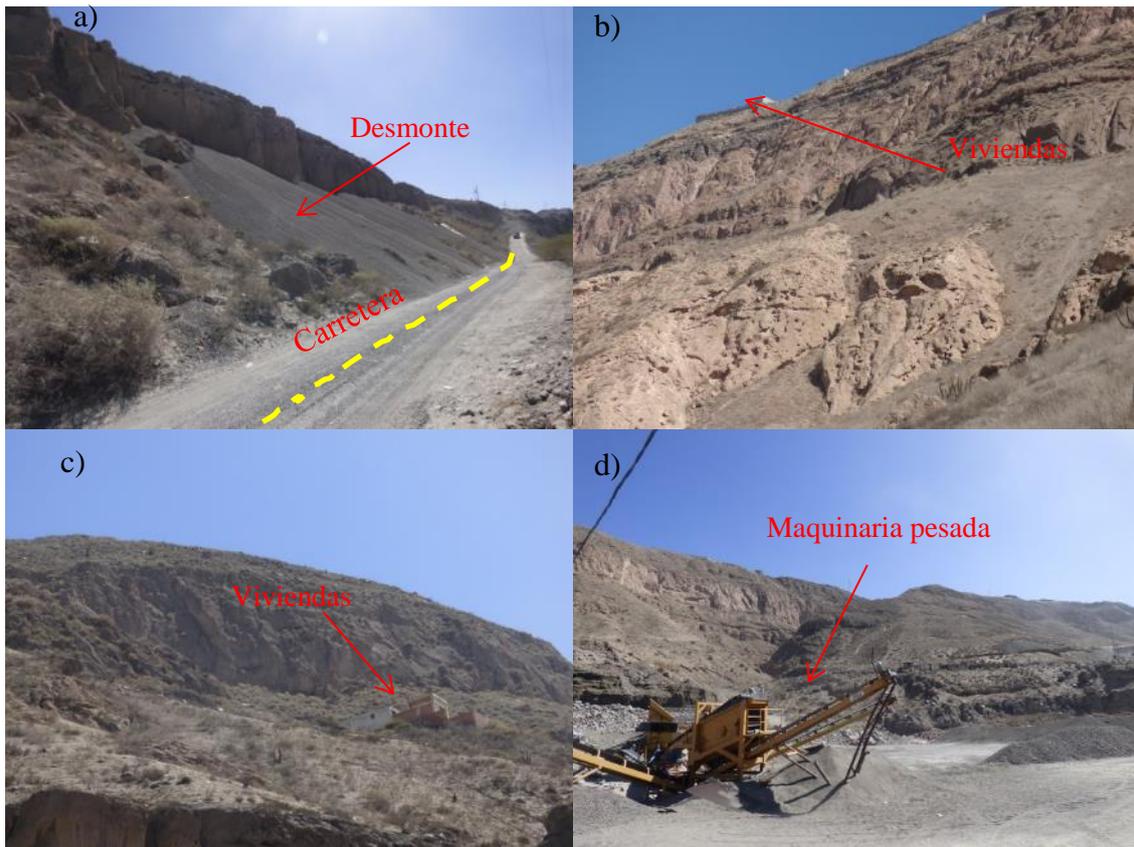
Se tienen depósitos volcanoclasticos que, en época de lluvias intensas, son afectados por erosión de ladera (foto 11). Se presentan cárcavas con anchos máximos de 3-5 m. y profundidades de 2-4 m. El material erosionado aporta material suelto, contribuyendo a la generación de flujos de lodo.



**Foto 11.** Erosión en cárcavas en la margen derecha de la zona de estudio, a y b) muestran cárcavas en la parte baja de la ladera, c y d) muestran las cárcavas en la parte alta.

## V. INFRAESTRUCTURA COMPROMETIDA

En la zona de estudio se aprecia viviendas ubicadas en el borde de la ladera, estas podrían ser afectadas ante la ocurrencia de sismos. Por otro lado, cerca al santuario de Chapi, por la ladera discurre la carretera Arequipa – Charcani, en un tramo de 110 m, se tiene un desmorte, que está siendo afectado por el de los trabajos de extracción de material (explotación realizada por concesionarios de mineras no metálicas). Así mismo en la zona de estudio se observa material suelto, constituidos por bloques y gravas con matriz limo-arenosa. Estos materiales podrían ser removidos en periodos lluviosos, generando lahares o flujos de lodo que afectarían la carretera y terrenos de cultivo (foto 12).

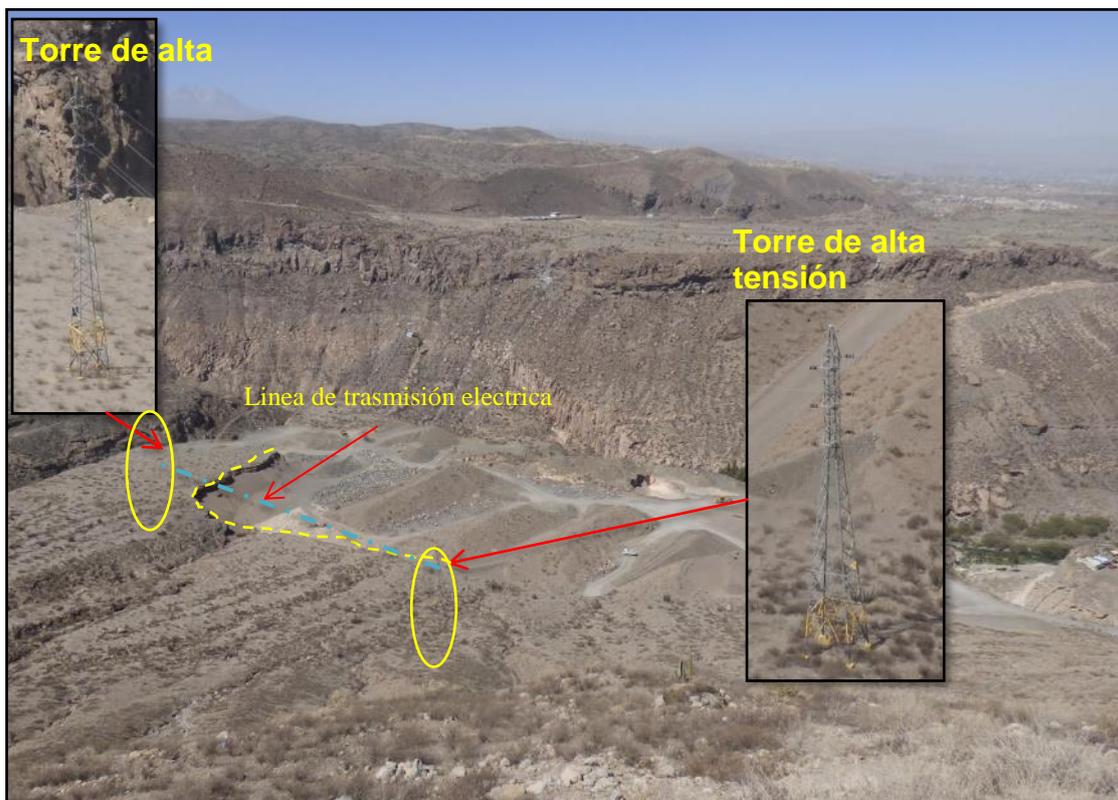


**Foto 12.** Muestra en a) material de desmorte, el cual está afectando la carretera Arequipa-Charcani en el sector santuario de Chapi, b y c) viviendas ubicados en el borde y sobre la ladera, margen derecho de la zona de estudio, d) maquinaria pesada y habitaciones de guardianía ubicada en zona de alto peligro.

En la inspección técnica se observó una red de transmisión eléctrica de alta tensión, trabajos de extracción de material pueden afectar a dos torres de alta tensión, fotos 13 y 14.



**Foto 13.** Muestra en a) trabajos de extracción de material por parte de los concesionarios, b) el avance de la zona de extracción del material hacia las torres de alta tensión.



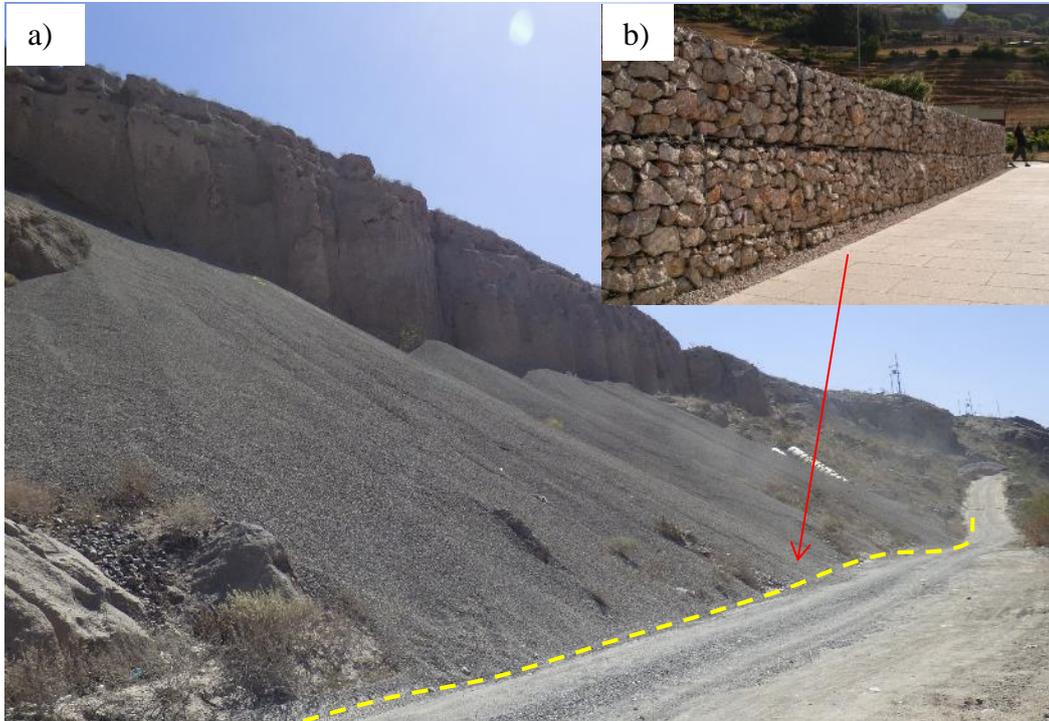
**Foto 14.** Esquema donde se muestra la ubicación de las torres de alta tensión y el frente de avance de extracción de material por parte de los concesionarios.

## VI. PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS

Con la finalidad de disminuir posibles desastres en la zona de estudio se podría realizar lo siguiente:

- Hacer un drenaje en las laderas de la zona evaluada, con la finalidad de evitar la filtración de agua en tiempo de lluvias.

- Se recomienda colocar gaviones en sector de la carretera Arequipa-Charcani para evitar que sea afectado por el desmoronamiento. Las cajas de gaviones deben ser de acero galvanizado. Para aumentar la resistencia del muro de contención, se sugiere que las cajas sean llenadas con rocas redondeadas de río, de 6 a 10 pulgadas de diámetro, por su mayor peso y resistencia (Foto 15).



**Foto 15.** Muestra en a) sector de la carretera Arequipa-Charcani donde se debería construir muros de contención, b) Ejemplo de muro de contención, tipo gaviones.

## VII. CONCLUSIONES

1. La zona de estudio se encuentra asentada sobre depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza del volcán Misti, sedimentos volcanoclásticos del Chachani, depósitos de caída de tefra del volcán Misti y depósitos de lahares del Misti y Chachani.
2. Según el mapa de peligros del volcán Misti, el área evaluada se encuentra ubicada dentro de la zona considerada de **ALTO PELIGRO**.
3. De acuerdo al mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, elaborado por el INGEMMET, la zona de estudio es de muy alta susceptibilidad. Las condiciones del terreno (litología, pendiente del terreno, geoformas, cobertura vegetal e hidrogeología) son favorables para que se generen derrumbes, deslizamientos, caída de rocas y flujos de lodos o huaicos. Además, se identificó procesos de erosión de ladera (surcos y cárcavas).
4. El material expuesto en la ladera podría ser removido durante periodos de lluvia, que generaría flujos de lodo o huaycos, podrían afectar la carretera Arequipa-Charcani y terrenos de cultivo, en el sector del santuario de Chapi.
5. En el área de estudio cruza una red de transmisión eléctrica de alta tensión, la cual podría ser severamente afectada de continuar el socavamiento y extracción de material por parte de los concesionarios.

## VIII. RECOMENDACIONES

1. Construir un cerco perimétrico alrededor de las torres de alta tensión, para evitar futuros problemas, debido al avance del frente de extracción de material por parte de los concesionarios.
2. Evitar debilitar las zonas bajas de las laderas, esto podría acelerar el desprendimiento de rocas.
3. Construir muros de contención para que los materiales de desmonte no afecten tramos a la carretera Arequipa-Charcani, de esta manera se evitaría accidentes automovilísticos.
4. Evitar construir viviendas en las laderas de los cerros donde los suelos no son favorables. En caso de sismos fuertes o de gran magnitud estas zonas serían las más vulnerables.
5. Antes de la realización cualquier tipo de obras en la zona, se debe considerar realizar estudios complementarios (estudio de suelos y geofísicos) con la finalidad de conocer mejor las características geológicas y físicas del terreno.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Corominas, J. & García Y agüe A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. I V Simposio Nacional sobre T aludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3,1051-1072
- 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.
- INGEMMET, GEOCADMIN (mapa de susceptibilidad de movimientos en masa) dirección URL. <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- Mariño J.; Rivera M.; Thouret J.-C.; Macedo (2016). Geología y Mapa de Peligros del volcán Misti. INGEM
- Medina, L. (2014). “Peligros Geológicos en la Comunidad Campesina Jarahuña”. Distrito Patambuco, Provincia Sandia, Región Puno. INGEMMET. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Informe Técnico N°A6660. 33p.
- Observatorio vulcanológico del INGEMMET, (Monitoreo del volcán Misti) dirección URL. <http://ovi.ingemmet.gob.pe>
- 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.
- Pimentel, F. (2011). Retroanálisis para la determinación de los coeficientes de restitución de gneis y depósitos de talud. Instituto de geociencias de la Universidad federal de Rio de Janeiro. 48p.
- 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.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.
- Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Subdirección de docencia e investigación – CIAP Bogotá, Colombia, 1991, 320 p.

## **X. GLOSARIO DE TÉRMINOS**

**AVALANCHA DE ESCOMBROS:** Son deslizamientos súbitos de una parte voluminosa de los edificios volcánicos. Se originan debido a factores de inestabilidad, tales como la elevada pendiente del volcán, presencia de fallas, movimientos sísmicos fuertes y explosiones volcánicas. Ocurren con poca frecuencia y pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia. Bajan a gran velocidad y destruyen todo lo que encuentran a su paso.

**CAÍDA DE CENIZA Y PIEDRA PÓMEZ:** Se genera cuando los fragmentos de roca son expulsados hacia la atmósfera violentamente, formando una columna eruptiva alta y que posteriormente caen sobre la superficie terrestre. Los fragmentos más grandes y densos caen cerca del volcán, mientras que las partículas de menor tamaño son llevadas por el viento a grandes distancias, luego caen y forman una capa de varios milímetros y centímetros de espesor. Estas partículas pueden causar problemas de salud en las personas, contaminar fuentes de agua, causar el colapso de los techos por el peso acumulado, afectar cultivos, interrumpir el tráfico aéreo, entre otros.

**CENIZA VOLCÁNICA:** Fragmentos de roca de origen volcánico de tamaño menor a 2 mm expulsados a la atmósfera durante erupciones explosivas.

**DEPÓSITOS VOLCANOCLÁSTICOS:** Se aplica a depósitos detríticos compuestos tanto por restos piroclásticos como por detritos volcánicos.

**DESLIZAMIENTOS:** Movimientos que se producen al superarse la resistencia al corte de un material (suelo, roca o ambos), a lo largo de una o más superficies de ruptura, y donde la masa original se desliza a distancias variables.

**EROSIÓN:** Desgaste y modelación de la corteza terrestre causados por la acción del viento, la lluvia, los procesos fluviales, marítimos y glaciales.

**ERUPCIÓN PLINIANA:** Una erupción muy explosiva que produce una columna eruptiva (líticos, material piroclástico, gases, vapores) que alcanza una altura de más de 20 km. Todo ese material que compone la columna sale del punto de emisión con una velocidad muy alta. Es típica la emisión de grandes volúmenes de ceniza y la existencia de flujos piroclásticos.

**ERUPCIÓN SUBPLINIANA:** Es una erupción moderada a grande y se caracteriza por la formación de una columna eruptiva menor a 20 km de altura. Este tipo de erupción posee un Índice de Explosividad Volcánica (IEV) de 3 a 4.

**ERUPCIÓN VULCANIANA:** Erupción que desprende grandes cantidades de gases de un magma poco fluido, que se consolida con rapidez; por ello las explosiones son muy fuertes y pulverizan la lava, produciendo mucha ceniza, lanzada al aire acompañadas de otros materiales fragmentarios. Se forman grandes columnas eruptivas que pueden alcanzar entre los 5 y 10 kilómetros de altura.

**FLUJOS DE LAVA:** Corrientes de roca fundida, que son expulsadas por el cráter o fracturas en los flancos del volcán. Pueden fluir por el fondo de los valles y alcanzar varios kilómetros, pero en los volcanes peruanos normalmente se enfrían en la zona del cráter (domos) o recorren escasos kilómetros. Los flujos de lava destruyen todo a su paso, sin embargo, no representan un peligro alto para las personas debido a su baja velocidad.

**FLUJOS PIROCLÁSTICOS:** Son masas calientes (300°C a 800°C), conformadas por una mezcla de ceniza, fragmentos de roca y gases. Estos flujos descienden por los flancos del volcán a ras de la superficie y a grandes velocidades, entre 200 y 300 m/s. Poseen normalmente una parte inferior densa, que se encauza y desplaza por el fondo de las quebradas o valles y 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.

**ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA (IEV):** Es una escala para describir el tamaño de las erupciones volcánicas y se basa, entre otros factores, en el volumen de material emitido y la altura de la columna eruptiva. La escala IEV varía entre 0 y 8. Una erupción con un IEV de 0 denota una erupción no explosiva, sin importar el volumen de productos emitidos. Las erupciones con un IEV de 5 o más son consideradas «muy grandes» y ocurren raramente alrededor del planeta (alrededor de una erupción cada década).

**LAPILLI:** Fragmento de roca volcánica de tamaño comprendido entre 2 y 64 mm, emitido durante una erupción explosiva.

**OLEADAS PIROCLÁSTICAS:** Flujos turbulentos de baja densidad en las que la fase continua entre partículas es gas. Las oleadas piroclásticas pueden desarrollarse en erupciones volcánicas puramente magmáticas, pero son características de las hidromagmáticas.

**PELIGRO:** Probabilidad de que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad, en un periodo de tiempo y frecuencia definidos.

**PELIGRO GEOLÓGICO:** Proceso natural que puede causar daños materiales o la pérdida de vidas, la interrupción de actividades sociales y económicas, así como también la degradación ambiental.

**PÓMEZ:** Roca volcánica de color claro, llena de cavidades que la hacen muy poco densa. Generalmente tiene una composición dacítica a riolítica. Las cavidades se forman por la expansión de los gases volcánicos durante la salida hacia la superficie.

**VOLCÁN:** Lugar situado sobre la superficie terrestre por donde se produce una expulsión de material magmático, total o parcialmente fundido, formando una acumulación que por lo general toma una forma aproximadamente cónica alrededor del punto de salida. Con el tiempo y a causa de repetidas erupciones, dichas acumulaciones rocosas pueden volverse muy grandes y formar diversos tipos de montañas, también conocidas como volcanes o edificios volcánicos. Por ejemplo, el Misti, el Ubinas y el Chachani.