

Informe Técnico N° A6782

**EVALUACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS EN LOS
TERRENOS DESTINADOS A LOS PROGRAMAS MUNICIPALES
“LA FRONTERA”, “EL MIRADOR DE AREQUIPA”,
“VILLA MAGISTERIAL”, “LA ESCALERILLA” Y
“SAN ANTONIO”**

Región y Provincia Arequipa



POR:

NÉLIDA MANRIQUE

JESSICA VELA

MARCO RIVERA

RAFAEL MIRANDA

**ENERO
2018**

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.3	UBICACIÓN	2
II.	GEOMORFOLOGÍA	2
III.	GEOLOGÍA	9
IV.	PELIGROS VOLCÁNICOS	23
V.	REPLANTEO DEL ÁREA DEL PROGRAMA MUNICIPAL LA FRONTERA- MARIANO MELGAR	28
	CONCLUSIONES	31
	RECOMENDACIONES	32
	BIBLIOGRAFÍA.....	33

I. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) es el servicio geológico de nuestro país. Según el Reglamento de Organizaciones y Funciones del INGEMMET (Decreto Supremo Nro. 035-2007-EM), en el ámbito de competencia y funciones a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico órgano de línea que realiza investigaciones, programas y proyectos Geoambientales, Geotécnicos y de Evaluación y Monitoreo de Peligros Geológicos del territorio nacional, a fin de contribuir con los organismos competentes en materia de ordenamiento territorial, planificación y desarrollo nacional; así como, la seguridad física dentro del país y la conservación del patrimonio natural y cultural.

El INGEMMET a través del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI), viene elaborando los mapas de peligros volcánicos. El OVI es un centro de estudio y vigilancia permanente de volcanes activos en el sur de Perú, de carácter interdisciplinario, cuyo fin es determinar la naturaleza y probabilidad de ocurrencia de una erupción volcánica. Así mismo realiza la evaluación de los tipos de peligros volcánicos en base a estudios geológicos; proporciona alertas oportunas a la sociedad sobre peligro de actividad volcánica inminente, a fin de reducir el riesgo de desastre en el área de influencia de los volcanes activos o con crisis volcánica. La elaboración de los mapas de peligros volcánicos es responsabilidad de profesionales geólogos-vulcanólogos de INGEMMET, con amplia experiencia técnico-científica.

El OVI elaboró el mapa de peligros volcánicos del Misti, el cual la Municipalidad Provincial de Arequipa, a través de la Ordenanza Municipal N.º 658-MPA, estableció, como “documento oficial de gestión de la Municipalidad Provincial de Arequipa”, y que dicho mapa “sea un documento cartográfico de consulta obligada en la implementación del ordenamiento territorial y planificación del desarrollo de la ciudad de Arequipa”.

1.1 ANTECEDENTES

El Gerente Municipal de la Municipalidad Provincial de Arequipa, CPC. Oscar Carillo Muñoz, mediante oficio N° 185-2017-MPA-GM, de fecha 15 de mayo, dirigida al Presidente del Consejo Directivo del INGEMMET, solicitó recomendaciones sobre Riesgo Volcánico con inspecciones técnicas de los terrenos destinados a los Programas Municipales de Vivienda (PROMUVI) El Mirador, La Frontera (distrito Mariano Melgar), San Antonio (distrito Yarabamba), Villa Magisterial, La Escalerilla (distrito Cerro Colorado), con la finalidad de verificar si dichas zonas están localizadas en zonas de peligros volcánicos. El Programa Municipal de Vivienda (PROMUVI) es promovido por la Municipalidad Provincial de Arequipa, en coordinación con la comunidad beneficiaria, como parte del Plan Integral de Desarrollo Concertado y en concordancia con el Plan Nacional de Vivienda. Las actividades comprenden el saneamiento físico-legal de terrenos, la dotación de los servicios básicos de agua y desagüe, la construcción o mejoramiento de viviendas y la dotación de servicios urbanos complementarios, dirigido a los sectores de niveles económicos bajos.

Es importante mencionar que el INGEMMET realiza evaluación de peligros geológico a nivel nacional, más no evaluación de riesgos. En esta oportunidad, se designó a los ingenieros Néliida

Manrique, Jessica Vela, Marco Rivera y Rafael Miranda, para la evaluación de peligros volcánicos de dichas zonas.

1.2 OBJETIVOS

- Realizar una evaluación de peligros volcánicos de áreas consideradas parte de los Programas Municipales El Mirador y La Frontera, localizados dentro del distrito de Mariano Melgar; así como, San Antonio localizado en el distrito de Yarabamba; y Villa Magisterial, y La Escalerilla localizados en el distrito de Cerro Colorado. Además, de establecer ¿en qué zonas de peligrosidad se encuentran los mencionados centros poblados, respecto al mapa de peligros del volcán Misti?

- Replantear las coordenadas del Programa Municipal “La Frontera” en el distrito Mariano Melgar.

1.3 UBICACIÓN

Las áreas que hacen parte de los programas Municipales El Mirador y La Frontera (distrito Mariano Melgar), San Antonio (distrito Yarabamba), Villa Magisterial, La Escalerilla (distrito Cerro Colorado) se encuentran ubicadas dentro de la provincia Arequipa, región Arequipa. En la figura 1 se muestra el mapa de ubicación de las cinco zonas de estudio.

II. GEOMORFOLOGÍA

Para poder realizar una descripción detallada de cada zona de estudio se ha separado cada distrito en un ítem diferente.

2.1 PROGRAMA MUNICIPAL LA FRONTERA Y EL MIRADOR DE AREQUIPA, DISTRITO MARIANO MELGAR

Los terrenos destinados para los Programas Municipales “La Frontera” y “El Mirador de Arequipa” se encuentran entre 10 y 13 km del volcán Misti, y entre 6 y 7 km del centro de la ciudad de Arequipa. Dichos terrenos se hallan localizados sobre dos unidades geomorfológicas principales: Planicie de acumulación (Pla-a) y Colinas (Col).

Unidades Geomorfológicas

a) Planicie de acumulación (Pla-a)

Los sectores destinados al Programa Municipal La Frontera se encuentra localizado en una extensa explanada (*figuras 2 y 3*) que corresponde a una planicie de acumulación (**Pla-a**), el cual se extiende entre los 2850 y 2860 msnm. Esta explanada de muy poca pendiente (~5°) está surcada por la quebrada El Chical, San Lázaro y dos quebradas sin nombre.

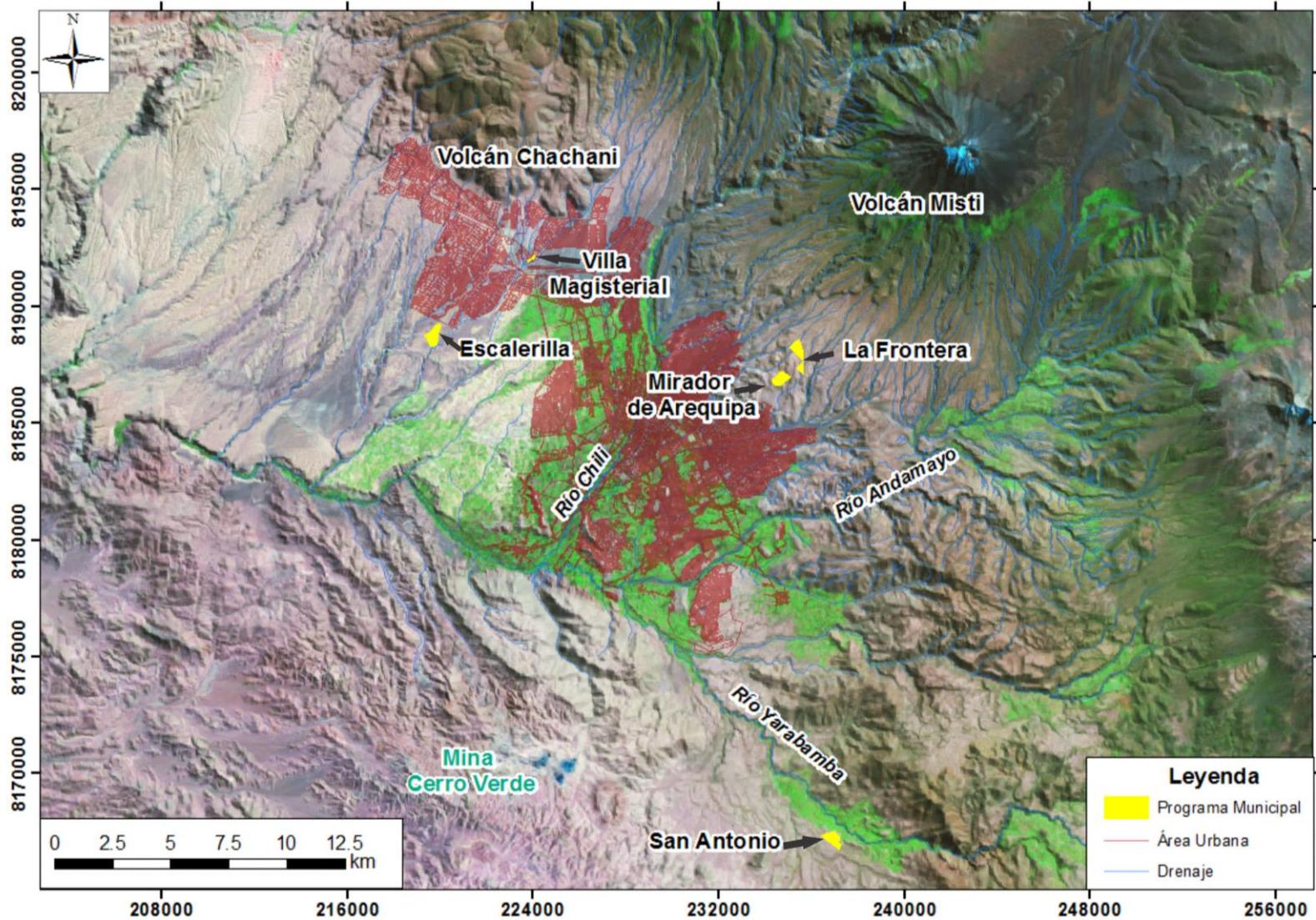


Fig. 1 Mapa de ubicación donde se muestra la zona de inspección geológica.

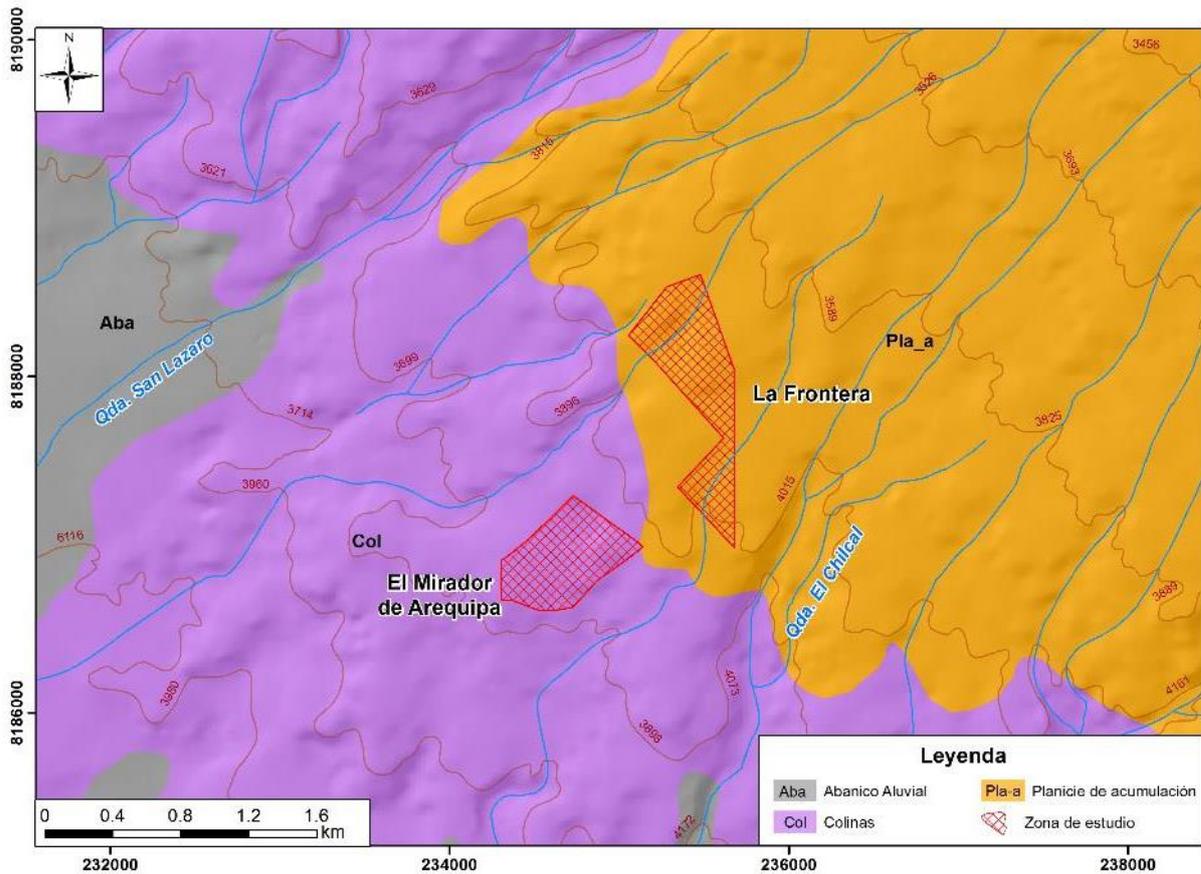


Fig. 2 Mapa Geomorfológico de los terrenos del Programa Municipal La Frontera y El Mirador de Arequipa del distrito Mariano Melgar.

La quebrada El Chical está localizada al extremo derecho, a 300 m del área propuesta para el Programa Municipal La Frontera, la cual tiene un ancho de 12 m y proviene de las faldas del volcán Misti. La quebrada San Lázaro se localiza al extremo izquierdo a 1 km de los terrenos del programa La Frontera, con un ancho de 20 m. Las dos quebradas sin nombre son de corto recorrido, de 10 a 15 m de ancho y tienen entre 10 y 15 m de profundidad.

La planicie de acumulación se extiende al pie del flanco sur del volcán Misti, y está conformada por potentes secuencias de depósitos volcanoclásticos y sedimentos epiclásticos provenientes del Misti.

b) Colinas (Col):

El Programa Municipal el Mirador se encuentra localizado sobre colinas (*figuras 2 y 4*) que se extienden entre los 2760 y 2800 msnm. Las colinas presentan pendientes moderadas (~20°) y están surcadas por las quebradas El Chical, San Lázaro y dos quebradas sin nombre. Hacia el extremo derecho, a 500 m del predio se ha identificado una quebrada sin nombre de 15 m de ancho y de corto recorrido. Hacia el extremo izquierdo del predio, a 100 m se localiza una quebrada sin nombre, cuyo ancho es alrededor de 20 m, y a 1800 m del sector izquierdo se localiza la quebrada San Lázaro.

Las colinas alcanzan entre 20 y 100 m de altura; están conformadas por gruesas secuencias de flujos de lavas andesíticas, depósitos volcanoclásticos y sedimentos epiclásticos provenientes del volcán Misti.



Fig. 3: Vista del terreno destinado al Programa La Frontera el cual se encuentra localizado sobre una extensa explanada de poca pendiente ($\sim 5^\circ$), constituido de depósitos volcanoclásticos y sedimentos epiclásticos provenientes del volcán Misti.



Fig. 4: Terreno destinado al Programa El Mirador el cual se encuentra localizado sobre colinas, que se formaron debido a la acumulación de depósitos volcanoclásticos provenientes del volcán Misti.

2.2. PROGRAMA MUNICIPAL VILLA MAGISTERIAL Y LA ESCALERILLA - DISTRITO CERRO COLORADO

Los terrenos destinados para el Programa Municipal Villa Magisterial y La Escalerilla se encuentran al pie del volcán Chachani, a 10 km del centro de la ciudad de Arequipa y 20 km del volcán Misti. Dichos terrenos se hallan localizados sobre dos unidades geomorfológicas principales: Flujos de lavas y domos (Flu-1d) y Planicie de acumulación (Pla-a), ver Fig 5.

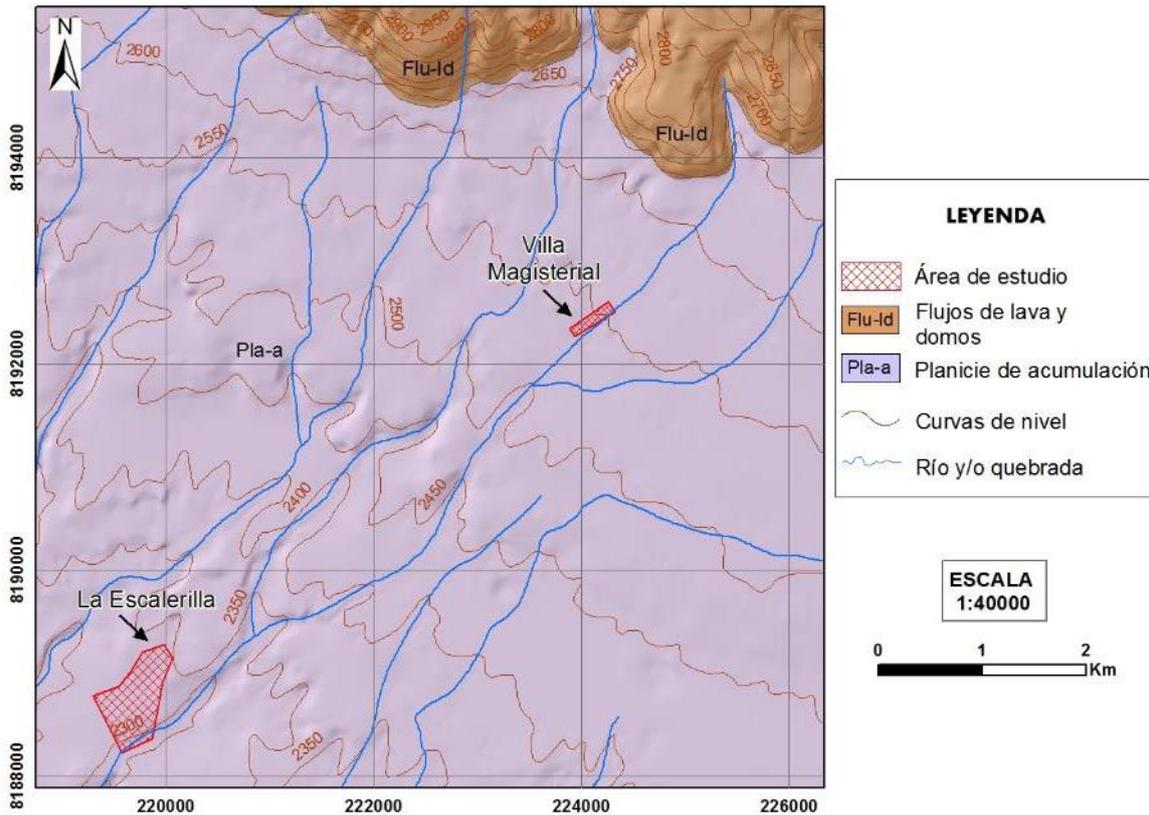


Fig.5: Mapa Geomorfológico de las áreas destinadas a los Programas Municipales “Villa Magisterial” y “La Escalerilla”, localizados al sur del volcán Chachani.

Unidades Geomorfológicas

a) Flujos de lavas y domos (Flu-ld)

Corresponde a una acumulación de flujos de lava, domos y domos-colada del volcán Chachani, ubicados en el sector noroeste de Arequipa, cerca al aeropuerto Rodríguez Ballón (figura 6). Dicha acumulación de lavas y domos forman cerros de 50 a 300 m de altura, con pendientes moderadas (15-30°) a fuertes (40-60°), y cortados por quebradas que forman un drenaje dendrítico.

b) Planicie de acumulación (Pla-a):

Esta conformada por una intercalación de depósitos de flujos piroclásticos provenientes del volcán Chachani y flujos de barro o lahares que igualmente descienden de dicho volcán (figura 7). La planicie posee poca pendiente, entre 5° y 15° de inclinación y está surcada por quebradas que tienen entre 5 a 10 m de profundidad y de 10 a 20 m de ancho.



Fig.6: Vista de los flujos de lavas y domos (Flu-ld) del volcán Chachani y la Planicie de acumulación (Pla-a) sobre el cual se asientan los terrenos del Programa Municipal Villa Magisterial. Al fondo se aprecian los volcanes Misti y Chachani.



Fig.7: Vista del terreno destinado al Programa Municipal La Escalerilla localizados sobre una planicie de acumulacion (Pla-a) .

2.3 PROGRAMA MUNICIPAL SEGUNDA ETAPA DE SAN ANTONIO DE YARABAMBA

Los terrenos destinados para el Programa Municipal “Segunda Etapa de San Antonio de Yarabamba” se encuentran, a 19 km del centro de la ciudad de Arequipa y 29 km del volcán Misti. Dichos terrenos se hallan localizados sobre dos unidades geomorfológicas: Abanico Aluvial (Aba) y Batolito de la Costa (Bat); *figura 8*.

Unidades Geomorfológicas

a) Abanico Aluvial (Aba)

Corresponde a una zona con relieve plano y ligeramente ondulado (*figuras 8 y 9*), de baja ($\sim 5^\circ$) a moderada ($\sim 10^\circ$) pendiente, la cual se extiende entre los 2530 y 2570 msnm. Está constituida por sucesivas acumulaciones de ignimbritas y depósitos de caídas de cenizas, sobre el cual se asientan los terrenos destinados al Programa Municipal Segunda Etapa de San Antonio de Yarabamba. Hacia el norte el área de estudio limita con terrazas agrícolas, y a 400 m se localiza el río Yarabamba, el cual tiene 30 m de ancho.

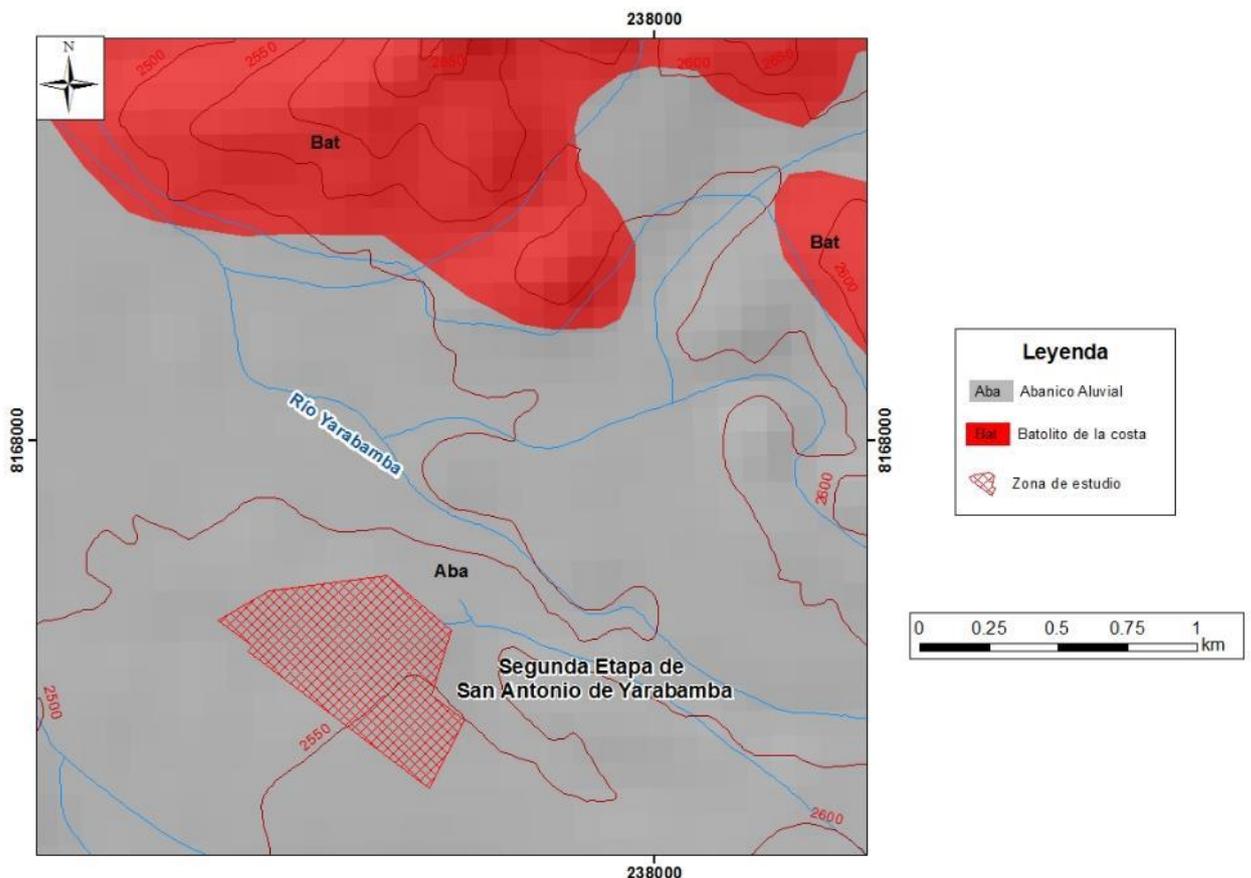


Fig.8 : Mapa Geomorfológico de las áreas de terrenos destinadas al Programa Municipal de la Segunda Etapa de San Antonio de Yarabamba.



Fig. 9: Vista de los terrenos del Programa Municipal de la Segunda Etapa de San Antonio de Yarabamba que muestra un relieve ligeramente ondulado.

b) Montaña Intrusiva (Bat)

Esta unidad está localizada hacia el norte de los terrenos del Programa Municipal San Antonio, y se caracteriza por presentar cerros con una topografía redondeada que se elevan entre 2000 y 3500 msnm, con pendientes moderadas (20° a 35°) y con drenaje dendrítico. Estos cerros están constituidos por rocas intrusivas, de ahí el nombre de batolito, que se extienden en dirección NO-SE (Mariño *et al.*, 2016).

III. GEOLOGÍA

El substrato rocoso sobre el cual está asentada Arequipa está conformado por rocas metamórficas de edad Pre-Cámbrica (gneis), rocas intrusivas (Batolito de La Caldera), rocas ignimbríticas (denominadas como “Río Chili”, “La Joya”, “Aeropuerto” y “Yura”) y depósitos emitidos por el volcán Chachani, los cuales son descritos a continuación:

a) Gneis del Meso-proterozoico y Neo-proterozoico

Los gneises son rocas metamórficas que afloran en algunos sectores de Arequipa, como Tiabaya, Cerro Verde y en áreas aledañas al volcán Misti. Estas rocas son densas, de coloración rosada a verdosa y contienen cristales gruesos, con un alto porcentaje de anfíbol y biotita, formados a altas temperaturas y presiones (Martignole *et al.* 2003). El gneis de Charcani ha sido datado entre 1012-991 millones de años antes del presente, mientras que el gneis localizado en Cerro Verde fue datado en 1090-1034 millones de años (Torres *et al.*, 2008).

b) Volcánico Chocolate

Hacia el oeste del volcán Misti, en el sector Yura, se ha identificado rocas sedimentarias estratificadas como calizas grises y también rocas volcánicas como brechas y flujos piroclásticos asignados a la Formación Chocolate (Vargas, 1970).

La Formación Chocolate sobreyace a los gneises descritos anteriormente e infrayace a la formación sedimentaria Socosani (Vargas, 1970). Esta formación ha sido datada entre 190 y 199 millones de años, correspondiente a la edad Sinemuriana, la cual fue obtenida mediante el análisis de fósiles (Jenks, 1948).

c) Formación Socosani

Secuencias de niveles de calizas y lutitas con intercalaciones de areniscas y rocas volcanoclásticas asignadas a la Formación Socosani están localizados hacia el oeste del volcán Misti, en la localidad del mismo nombre. Las rocas de la Formación Socosani sobreyacen a rocas de la Formación Chocolate y se le han asignado una edad del Jurásico inferior y medio (Benavides, 1962).

d) Grupo Yura

En la margen derecha del río Yura a 15 km al oeste del volcán Misti, afloran secuencias de areniscas, lutitas, cuarcitas y niveles de calizas, que conforman el Grupo Yura. Según Benavides (1962) el Grupo Yura está constituido por una secuencia de rocas de más de 2900m de espesor (Guevara et al., 1969) denominadas como formaciones Puente, Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani, y se les ha asignado una edad del Cretáceo superior a Paleógeno (Benavides, 1962; Jenks, 1948).

e) Batolito de la Caldera

Aflora al SO del volcán Misti en la zona de Tiabaya, Yarabamba y Cerro Verde. El batolito de la Caldera está constituido por rocas intrusivas, la cuales han sido datadas entre 83 y 81 millones de años (Moore, 1984). Estas rocas se encuentran intruyendo a rocas del gneis Charcani. El batolito está constituido por granodioritas y gabrodioritas de color gris claro rosáceo con fenocristales de plagioclasa, cuarzo, ortosa y micas.

f) Ignimbritas

Según Paquereau-Lebti *et al.*, (2006), se han identificado cuatro secuencias ignimbríticas emplazadas en la depresión de Arequipa entre el Mioceno y Pleistoceno, la cuales son denominadas como “Ignimbrita Río Chili”, “Ignimbrita La Joya”, “Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa” e ”Ignimbritas Yura”, las cuales serán descritas a continuación:

- *Ignimbrita Río Chili*: Aflora en toda la depresión tectónica de Arequipa y en el cañón del río Chili donde mide entre 50 a 200 m de espesor. Posee alto contenido de fenocristales de plagioclasa, anfíbol, biotita, sanidina, cuarzo y óxidos de Fe-Ti (Paquereau-Lebti *et al.*, 2006). Se caracterizan por estar soldadas y presentar fiames (pómez aplastadas). La ignimbrita ha sido datada en 13 Ma (Paquereau *et al.*, 2006).
- *Ignimbrita La Joya*: Aflora en el sector oeste y suroeste de la ciudad de Arequipa, específicamente en los valles de la Joya, Yarabamba, río Chili, Yura, Sumbay y Vitor. Cerca a La Joya la ignimbrita sobreyace al batolito

de la Caldera. Los depósitos poseen espesores de 5 a 80 m, poseen alto contenido de plagioclasa, sanidina, cuarzo, biotita, óxidos de Fe-Ti y anfíbol, presentan fiames y son de composición riolítica (Paquereau-Lebti *et al.*, 2006); la ignimbrita ha sido datado en 4.86 ± 0.07 Ma (Paquereau-Lebti *et al.*, 2008).

- *Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa*: Aflora en toda la depresión tectónica de Arequipa. Posee espesores que varían entre 5 a más de 100 m. Se observan dos tipos de facies, una inferior de color blanco grisáceo, bien consolidada y una superior de color rosado no consolidada. Presenta una composición dacítica a rólítica y ha sido datada en 1.63 ± 0.07 Ma (Paquereau-Lebti *et al.*, 2006).
- *Ignimbrita Yura*: Aflora al Oeste y noroeste del volcán Misti, en el sector Yura. Estas ignimbritas se emplazan en forma de capas que miden entre 8 a 30 cm de espesor y provienen del volcán Baquetane, localizado al norte del masivo Chachani (Mariño *et al.*, 2016). Estos depósitos de flujos piroclásticos se encuentran endurecidos y han sido datados en 1.02 Ma (Paquereau-Lebti *et al.*, 2006).

g) Complejo Volcánico Chachani

El Complejo Volcánico Chachani (CVC) es un sistema volcánico que estuvo en actividad durante el último millón de años, y es considerado como uno de los complejos más voluminosos ($\sim 248-289$ km³) de la Zona Volcánica Central de los Andes. El CVC comprende conos compuestos, domos y domos de lava, que mineralógicamente corresponden a andesitas basálticas, andesitas y dacitas. Según Aguilar (2015) se distinguen cinco estratovolcanes (Chingana, Estribo, El Angel, Nocarane y Chachani), dos domos (El Rodado y la Horqueta), un voluminoso complejo de domos (Domos Aeropuerto) una unidad de flujos de lava (Uyupampa) y dos domos de lava (El Colorado y Volcancillo).

h) Volcán Misti

El Misti es un volcán activo, que según *Thouret et al.* (2001) se construyó durante cuatro etapas: Misti 1” (833000 a 112000 años), “Misti 2” (120000 a 40000 años), “Misti 3” (40000 a 11000 años) y “Misti 4” (menos de 11000 años).

- *Misti 1*: Forma parte de la base del edificio volcánico y está constituido por flujos de lava y depósitos volcanoclásticos y flujos de escoria. Los flujos de lava recorrieron hasta 9 km de distancia respecto al cráter del volcán, y poseen composición andesítica y dacítica (Thouret *et al.*, 2001).
- *Misti 2*: Durante esta etapa se emplazaron flujos de lava, flujos piroclásticos de bloques y ceniza, flujos de escoria, flujos piroclásticos de pómez y ceniza, así como caídas piroclásticas, que afloran en los sectores del cerro Pacheco, Púlpito y en las quebradas Pastores, San Lázaro y Huarangal. La composición geoquímica corresponde a rocas andesíticas y dacíticas (Thouret *et al.*, 2001).

- *Misti 3*: Conformado por flujos de lavas en bloques, domos, flujos piroclásticos de bloques y ceniza, flujos piroclásticos de escoria, caídas y oleadas piroclásticas, localizados en los sectores de Mariano Melgar, Paucarpata, Chiguata, cerro Pacheco, Cayma, Alto Cayma, Aeropuerto, Villa Ecológica, río Chili, río Andamayo y en las quebradas Pastores, Huarangal, Honda Grande, Agua Salada, Carabaya y San Lázaro. Los depósitos de este grupo poseen composición andesítica, dacítica y riolítica (Thouret *et al.*, 2001).
- *Misti 4*: Última etapa desarrollada los últimos 11 mil años, durante el cual ocurrieron principalmente erupciones explosivas que emplazaron depósitos piroclásticos como flujos de pómez y ceniza, flujos de ceniza, flujos de escoria, caídas de ceniza, caídas de pómez, así como oleadas piroclásticas. Estos depósitos poseen composición andesítica a dacítica (Thouret *et al.*, 2001). Durante esta etapa, hace 2000 años antes del presente, el volcán Misti produjo una gran erupción explosiva, la cual emplazó cerca de 1.4 km³ de cenizas y pómez (depósitos de caída) y cerca de 0.01 km³ de depósitos de flujos piroclásticos (Harpel *et al.*, 2011). Los depósitos de caída de ceniza y pómez alcanzaron hasta 12 cm de espesor en áreas cercanas al centro de la ciudad de Arequipa. Estos se hallan ampliamente distribuidos al pie del volcán Misti, sobre el cual se han asentado algunas viviendas de la ciudad de Arequipa. Por su parte, los depósitos de flujos piroclásticos alcanzan hasta 10 m de espesor, mientras que los depósitos de lahares tienen 3 m de espesor, visibles en quebradas que descienden del volcán, como San Lázaro y Huarangal.

Posteriormente, durante la época histórica, el Misti ha presentado por lo menos tres erupciones explosivas de baja magnitud. Según Chávez (1992), la última erupción se registró a mediados del Siglo XV, la cual tuvo una magnitud baja a moderada (Índice de Explosividad Volcánica - IEV 2). Las cenizas emitidas en esta erupción alcanzaron hasta 6000000 m³ de volumen y poseen espesores de hasta 4 cm en la ciudad de Arequipa

A continuación, se hace una breve descripción de los depósitos encontrados en las cuatro diferentes áreas de estudio y en las zonas aledañas a dicha área, descritos desde los más antiguos hasta los más recientes.

3.1 PROGRAMA MUNICIPAL LA FRONTERA Y EL MIRADOR DEL DISTRITO DE MARIANO MELGAR

Los terrenos de los programas Municipales La Frontera y El Mirador están asentados sobre diversos depósitos volcánicos del volcán Misti (*figura 10*), emitidos durante sus primeras etapas (Misti 1) y también en épocas recientes entre 40 mil años y la época histórica (1470 d.C.), esto según Thouret *et al.* (2001) y Mariño *et al.* (2016). Dado al gran volumen de los depósitos ligados a erupciones violentas hace pensar que estas causaron enormes estragos en el medio ambiente. Las crónicas señalan la erupción del

Misti de 1440 y 1470 d.C. que cubrió varias áreas de la ciudad de Arequipa (Murúa, 1925); los depósitos alcanzaron entre 1 y 4 cm de espesor (Thouret *et al.* 2001).

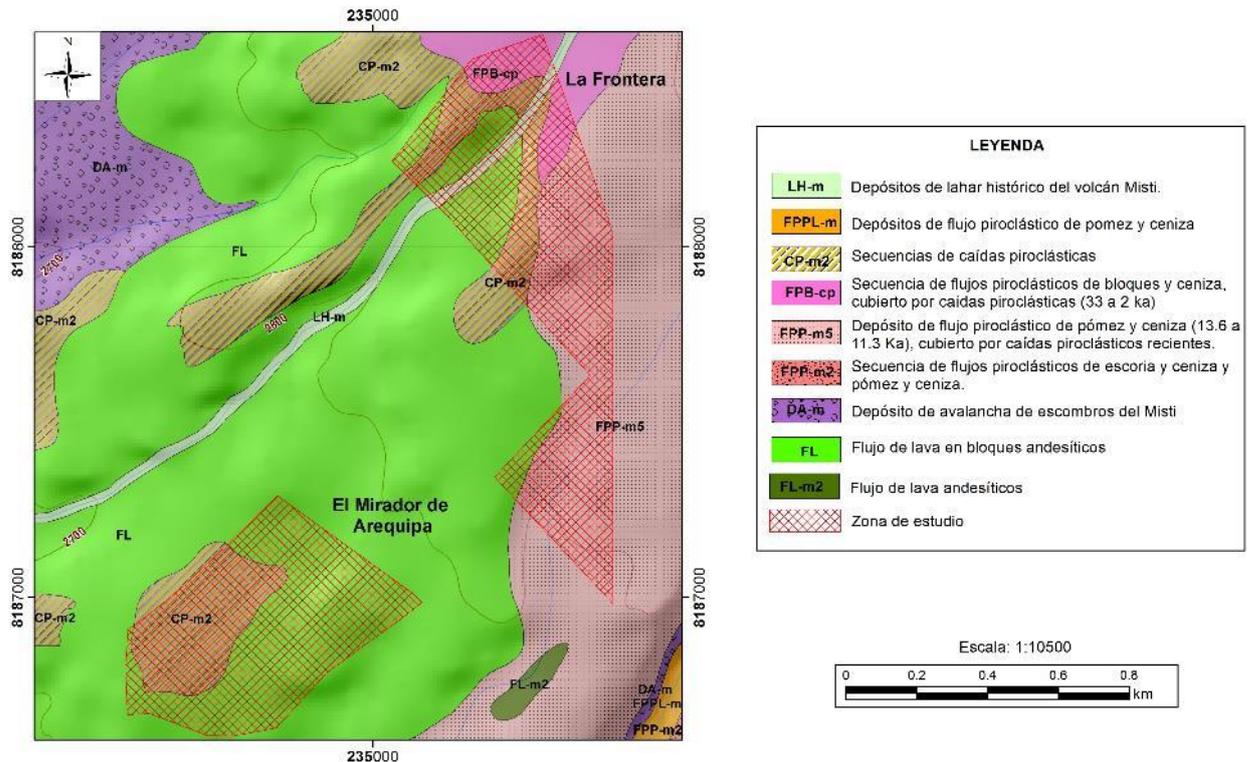


Fig 10. Mapa Geológico en la zona donde se ubican los programas municipales La Frontera y El Mirador del distrito Mariano Melgar (Tomado de Mariño *et al.*, 2016)

a) Flujos de lava

Los terrenos destinados a los programas La Frontera y el Mirador están asentados sobre secuencias de flujos de lavas en bloques (FL, *figs. 10 y 11*), asignados al edificio Misti 1. Las lavas son de composición andesítica, de color gris oscuro, ligeramente vesiculadas y de textura porfirítica, con abundantes fenocristales de plagioclasa y anfíbol. Los flujos alcanzan hasta 100 m de espesor, y se emplazaron entre 833000 y 112000 años (Thouret *et al.* 2001).

b) Avalancha de escombros (DA-m)

A 400 m el oeste del terreno destinado al Programa Municipal la Frontera se distinguen depósitos de avalancha de escombros, los cuales tienen un espesor promedio de 60 m. La morfología es típica de montículos o colinas pequeñas de hasta 70 m de alto, con un grado de compactación bajo. Los depósitos presentan facies de bloques y facies de matriz. En la facies de bloques se distinguen bloques heterométricos, angulosos a subangulosos con textura “jigsaw” o en rompecabezas, de composición dacítica y andesítica. Mientras que la facies de matriz está constituida por material hidrotermalizado de grano medio fino areno-limoso. Según los estudios realizados, esta avalancha debe su origen al colapso de uno de los flancos del volcán Misti 1.



Fig11. Frente de flujo de lava, localizado en el sur del programa El Mirador.

c) Secuencia de flujos piroclásticos (FPB-cp)

El noreste de los terrenos del programa La Frontera está asentado sobre secuencias de flujos piroclásticos de bloques y ceniza, cubiertos por caídas piroclásticas que corresponden al edificio Misti 3, estos depósitos que cubrieron gran parte de la ciudad de Arequipa fueron generados por erupciones muy explosivas.

Los depósitos identificados son masivos (*Fig. 12*), poco consolidados de color rosáceo, heterométrico, monolitológico, matriz soportado con 30% de bloques y 70% de matriz y con espesores de hasta 1 m. Los bloques son grises angulosos a subangulosos, alcanzan hasta 15 cm de diámetro y poseen una textura porfirítica, constituida por fenocristales de anfíbol y plagioclasa englobados en una matriz vítrea.

d) Secuencia de caídas piroclásticas (CP-m2)

Hacia el norte de los terrenos del programa La Frontera y hacia el sur del programa el Mirador se han identificado secuencias de caídas de lapilli de pómez y cenizas correspondientes al edificio Misti 4. Se ha identificado tres niveles de caídas (*Fig. 13*): hacia la base se observa una caída de pómez de 12 cm de espesor, de color beige, de regular sorteo con abundantes líticos grises y rojizos. En la parte media se ha identificado una caída de lapilli de pómez de 4 cm de espesor, con buen sorteo, con poca compactación. Las pómez son subredondeadas de color blanco, constituida por fenocristales de plagioclasa y biotita. Finalmente, hacia el tope se observa una caída de ceniza blanca de 3 cm de espesor, de grano fino limoso con abundantes cristales libres de biotita.



Fig.12: Secuencia de caídas de pómez y un flujo piroclástico sobre el cual se asienta el terreno del Programa Municipal La Frontera.



Fig. 13: Caída de pómez y ceniza en el Programa Municipal la Frontera.

e) Lahares históricos y recientes del volcán Misti (LH-m)

Hacia el Norte del Programa Municipal La Frontera existe una quebrada sin nombre donde se han identificado tres secuencias de lahares. La secuencia inferior tiene 2 m de espesor, y está medianamente consolidada y es rica en bloques (60%). Estos bloques son heterométricos y polimicticos, angulosos, subangulosos y subredondeados, incluidos dentro de una matriz (40%) de grano medio (figura 14). La parte media mide 3 m de espesor, y está bien consolidado, hacia la base se observa la presencia de bloques angulosos a subangulosos, polimicticos, heterométricos de hasta 15 cm de diámetro, mientras que en la parte media y el tope el lahar es rico en matriz fina limosa. La secuencia superior posee 1 m de espesor

es rica en bloques y está constituido por bloques métricos englobados en una matriz limo-arenosa.



Fig. 14: Vista de las tres secuencias de lahares sobre el cual se asienta el terreno del Programa Municipal La Frontera.

3.2 PROGRAMA MUNICIPAL VILLA MAGISTERIAL Y LA ESCALERILLA - DISTRITO CERRO COLORADO

El área destinada al Programa Municipal Villa Magisterial y La Escalerilla, se asienta sobre depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza o Ignimbritas “Aeropuerto de Arequipa” (IG-a) y lahares históricos del volcán Chachani (LH-ch), Figs. 15 y 16, los cuales son descritos a continuación.

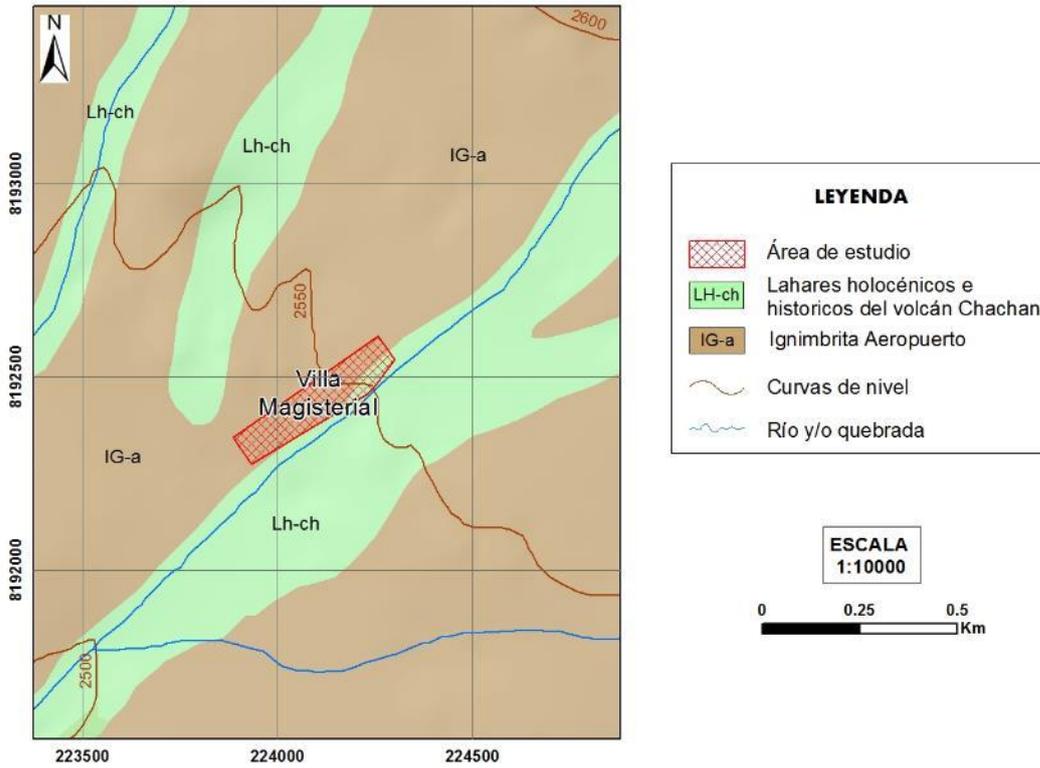


Fig. 15: Mapa geológico del terreno destinado al Programa Municipal Villa Magisterial.

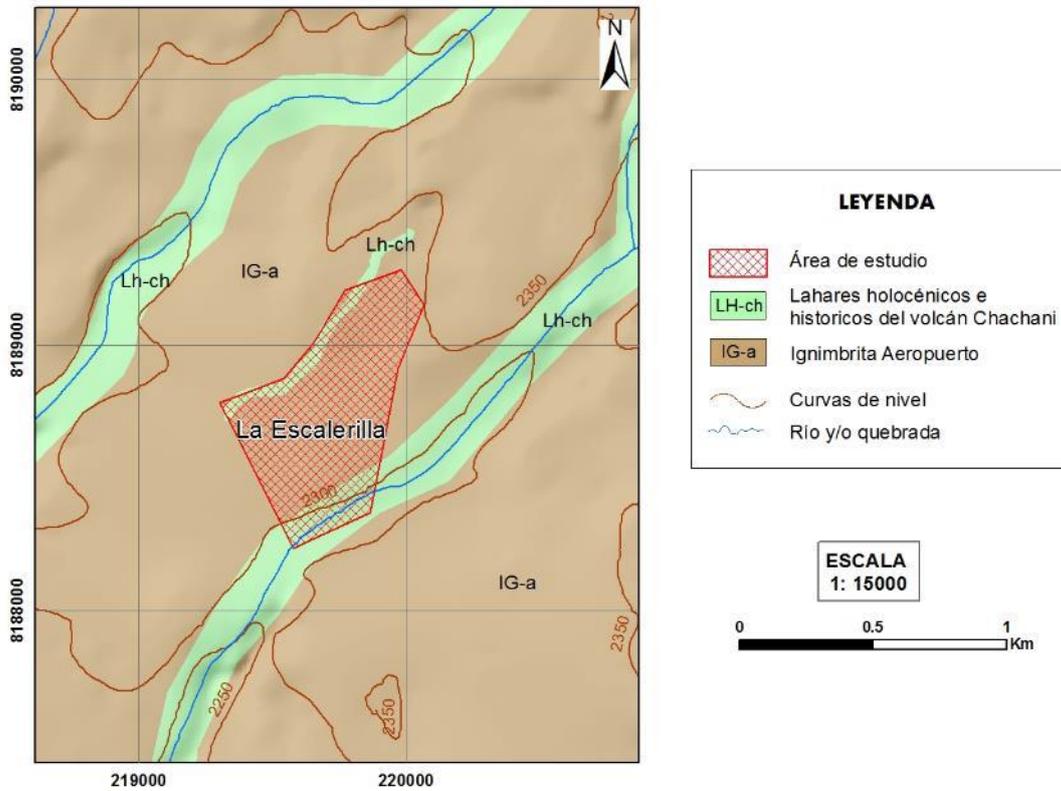


Fig. 16: Mapa geológico del terreno destinado al Programa Municipal La Escalerilla.

a) Ignimbrita “Aeropuerto de Arequipa” (IG-a)

Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza conformado por dos facies: una inferior de color blanco grisáceo, bastante consolidada y una superior de color rosada, no consolidada, que aflora en toda Arequipa, cubriendo un área de más de 600 km². Paquereau *et al.* (2006) dataron dicho depósito en 1.65 Ma. En el sector Magisterial y Escalerilla aflora la facie superior y poseen espesores que varían entre 3 a 10 m (figuras 17 y 18); la facie superior con alto contenido de cristales de plagioclasa, biotita, óxidos de Fe-Ti, cuarzo, sanidina y anfíbol, y su composición es dacítica a riolítica (Paquereau *et al.*, 2006). La facie inferior no aflora en este sector.



Fig. 17: Vista de los terrenos destinados al Programa Municipal Villa Magisterial, asentada sobre la Ignimbrita “Aeropuerto de Arequipa” (IG-a), y al fondo el volcán Misti.



Fig. 18: Ignimbrita “Aeropuerto de Arequipa” (IG-a), en el extremo Oeste del Programa Municipal La Escalerilla.

b) Lahares históricos y recientes del volcán Chachani (LH-ch)

Corresponden a una sucesión de depósitos o capas conformadas por una mezcla de bloques heterométricos y polimicticos, angulosos, subangulosos y subredondeados, incluidos dentro de una matriz fina limo-arenosa (figuras 19 y 20). Cada depósito tiene algunos decímetros a varios metros de espesor en las planicies de acumulación y quebradas que se encuentran dentro del área establecida para el Programa Municipal Villa Magisterial y La Escalerilla.



Fig. 19: Vista de una secuencia de lahares (LH-ch) que aflora en los alrededores del Programa Municipal Villa Magisterial.



Fig. 20: Secuencia de lahares (LH-ch), en el extremo oeste del Programa Municipal La Escalerilla.

3.3 PROGRAMA MUNICIPAL SEGUNDA ETAPA DE SAN ANTONIO DE YARABAMBA

Según Paquereau-Lebti *et al.* (2006) los terrenos destinados al programa Municipal Segunda Etapa de San Antonio de Yarabamba están asentados sobre la ignimbrita “La Joya” (*figuras 21 y 22*), datada en 4.86 ± 0.07 Ma.

a) Ignimbrita “La Joya (Ig-J)”

Según Paquereau-Lebti *et al.* (2006) la zona de estudio se localiza sobre la ignimbrita “La Joya”. El depósito es consolidado, de coloración beige, presenta líticos lávicos redondeados y cavidades que corresponderían a las pómez ya desaparecidas debido a la erosión. Sobre la ignimbrita se han identificado dos caídas de ceniza retrabajadas. La caída inferior corresponde a ceniza blanca retrabajada de grano medio con abundante biotita correspondiente a la erupción de 1600 del volcán Huaynaputina (*figura 23*).

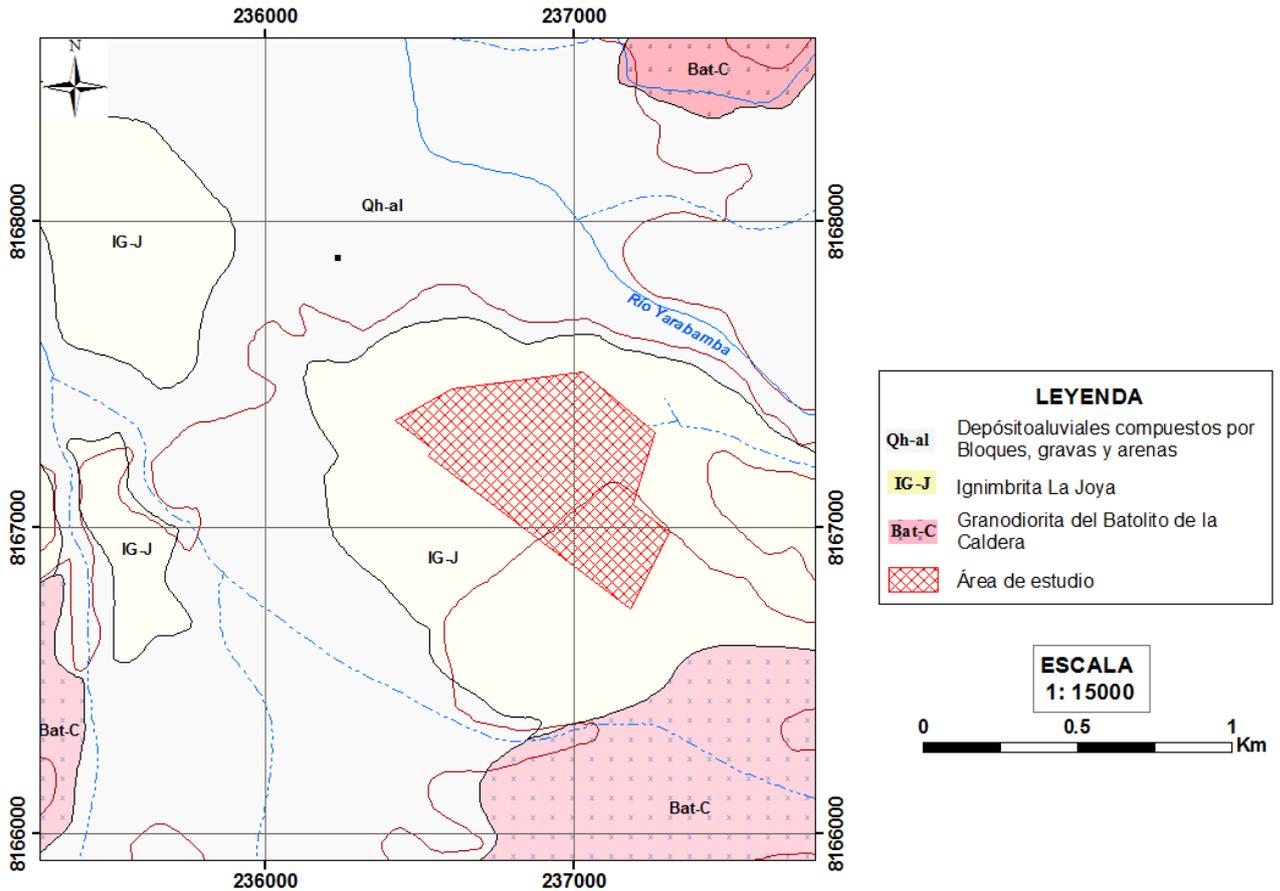


Fig.21: El terreno de la segunda etapa de San Antonio de Yarabamba se encuentra localizado sobre la ignimbrita “La Joya”.

b) Batolito de la Caldera (Bat-C)

Alrededores del terreno del Programa Segunda Etapa San Antonio de Yarabamba afloran rocas intrusivas del batolito de La Caldera, el cual está conformado por rocas de tipo granodiorita constituida por minerales de plagioclasa, cuarzo, biotita y hornblenda. Los cerros del batolito tienen elevaciones de 50 y 100 m de altura.



Fig.22: Vista de la ignimbrita “La Joya”.



Fig. 23: Depósito de caída de ceniza blanca de la erupción del año 1600 del volcán Huaynaputina que yace sobre la ignimbrita “La Joya”.

IV. PELIGROS VOLCÁNICOS

A continuación, se presenta una evaluación de peligros volcánicos a los cuales están expuestas las zonas destinadas a los programas “El Mirador, La Frontera (Mariano Melgar), San Antonio (Yarabamba), Villa Magisterial, La Escalerilla (Cerro Colorado)”.

4.1 PROGRAMA MUNICIPAL LA FRONTERA Y EL MIRADOR DEL DISTRITO MARIANO MELGAR

Los terrenos destinados a los mencionados Programas Municipales La Frontera y El Mirador se encuentran asentados sobre flujos de lava que fueron generados durante la etapa Misti 1, es decir entre 833000 a 112000 años (Thouret *et al.*, 2001), los cuales alcanzaron hasta 15 km de distancia desde el cráter del Misti. Así mismo, en la zona se han identificado la presencia de otros tipos de depósitos como flujos piroclásticos de bloques y ceniza, emplazados a más de 12 km de la cima, producto del crecimiento y destrucción de los domos que construyeron el Misti 3, entre ≤ 30000 y 25000 años antes del presente; caídas de ceniza de época reciente entre 1440 – 1470 d.C. que alcanzaron más de 30 km de distancia y lahares históricos también generados en época histórica entre 520 y 340 años antes del presente (Thouret *et al.*, 2001), los cuales recorrieron más de 20 km de distancia.

Según el mapa de peligros del volcán Misti, los terrenos designados al Programa Municipal La Frontera se encuentra en la zona de **ALTO Y MODERADO PELIGRO VOLCÁNICO**, mientras que El Mirador se encuentra en la zona de **MODERADO PELIGRO VOLCÁNICO**, representada en el mapa de color rojo y naranja, respectivamente (*figura 24*). En consecuencia, en caso que ocurriese una erupción explosiva del volcán Misti, estos sectores y sus alrededores se verían afectados principalmente por los siguientes procesos:

a) Peligros por caída piroclásticas

Durante una erupción explosiva de moderada magnitud (tipo vulcaniana) o de gran magnitud (sub-pliniana y pliniana) del Misti, este puede emitir ceniza, lapilli de pómez y/o bloques de pómez que podrían afectar los terrenos destinados a los Programas Municipales La Frontera y El Mirador del distrito Mariano Melgar. Esto basado al análisis de la actividad volcánica registrada a lo largo de su historia eruptiva. Estudios geológicos sobre el grado de recurrencia de las erupciones, efectuados por Thouret *et al.* (2001) muestran que una erupción de magnitud baja (erupción vulcaniana como la erupción del volcán Ubinas 2013-2016 o Sabancaya 2016-2017) puede ocurrir entre 500 a 1500 años, y las erupciones explosivas de magnitud moderada a alta (erupción pliniana del Misti, como ocurrida hace 2000 años antes del presente) se producen cada 2 a 4 mil años.

En el futuro, cualquier tipo de erupción explosiva, que genere caídas de ceniza y/o pómez podría afectar los terrenos destinados Programas Municipales La Frontera y el Mirador del distrito de Mariano Melgar, dado a que se localizan en una zona plana entre 10 y 13 km del volcán. Las cenizas pueden provocar males respiratorios,

estomacales y afecciones a la vista de los pobladores. La caída de cenizas por más pequeña que esta sea, afectaría grandemente las actividades económicas y sociales de la población.

b) Peligros por flujos piroclásticos

En caso que el Misti presente erupciones explosivas pueden generarse flujos piroclásticos o flujos incandescentes que corresponden a una mezcla de ceniza, pómez, gases y fragmentos de roca, que descienden por los flancos del volcán a grandes velocidades (decenas a centenas de metros por segundo) y poseen temperaturas de 400°C a más de 800°C (Tilling, 1989). Estos flujos pueden ser generados por colapso de domos de lava y por colapso de columna eruptiva.

Se pueden considerar tres escenarios eruptivos para la ocurrencia de flujos piroclásticos del volcán Misti, uno en caso de erupciones de magnitud baja (IEV 1-2), en el cual los flujos pueden alcanzar hasta 10 km de distancia desde el volcán. En este tipo de escenario los terrenos destinados al PROGRAMA MUNICIPAL LA FRONTERA se verían afectados, ya que se encuentran localizados entre 10 y 12 km del cráter del volcán Misti (*figura 24*), además se han reconocido depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza que miden entre 1 y 2 m de espesor, que nos indican que está área fue afectada por flujos piroclásticos en erupciones pasadas. El segundo escenario, en caso que el Misti presente erupciones de magnitud moderada con IEV 3-4, los flujos piroclásticos pueden alcanzar distancias mayores a 12 km del volcán. El PROGRAMA MUNICIPAL EL MIRADOR DE AREQUIPA se encuentra ubicado entre 12 y 13 km del volcán Misti, en caso de una erupción moderada también se vería afectado por la ocurrencia de flujos piroclásticos. Finalmente, el tercer escenario considera una erupción explosiva mayor del Misti, con un IEV mayor de 4, es decir un escenario de gran magnitud, donde los flujos piroclásticos pueden llegar a alcanzar fácilmente hasta 16 km de distancia desde el cráter, afectando los terrenos de ambos programas municipales. Estos escenarios están basados en estudios geológicos realizados en el volcán Misti.

Cabe mencionar que el Misti presentó erupciones de magnitud moderada hace 620 años (Thouret *et al.*, 2001) generando flujos piroclásticos visibles en la quebrada Huarangal. Hace 2000 años el Misti produjo una gran erupción explosiva la cual emplazó depósitos de flujos piroclásticos de 0.01 km³, alcanzando hasta 30 m de espesor y depósitos de caída de pómez y ceniza de 1.4 km³.

c) Peligros por lahares o flujos de barro (huaicos) y desbordes

Los flujos de lodo son mezclas de fragmentos de rocas volcánicas de tamaños diversos movilizadas por el agua. En caso de la ocurrencia de lluvias intensas durante erupciones, e incluso periodos no eruptivos, pueden generarse lahares o flujos de barro que podrían descender preferentemente por las quebradas o torrenteras, como San Lázaro, Huarangal, Pastores, Agua Salada, Honda, entre otras, que drenan por el flanco sur del volcán Misti y algunos atraviesan la ciudad

de Arequipa. Es necesario mencionar que existe un importante volumen de ceniza suelta y material aluvial en los cauces de las quebradas y en los flancos del volcán Misti los cuales pueden ser fácilmente incorporados en el flujo.

Según el mapa de peligros del volcán Misti la parte norte del área destinada al programa Municipal La Frontera se encuentra en zona de ALTO PELIGRO (figura 24) debido a la ocurrencia del lahar, esto sustentado por la presencia de una quebrada sin nombre donde se distinguen depósitos de lahares.

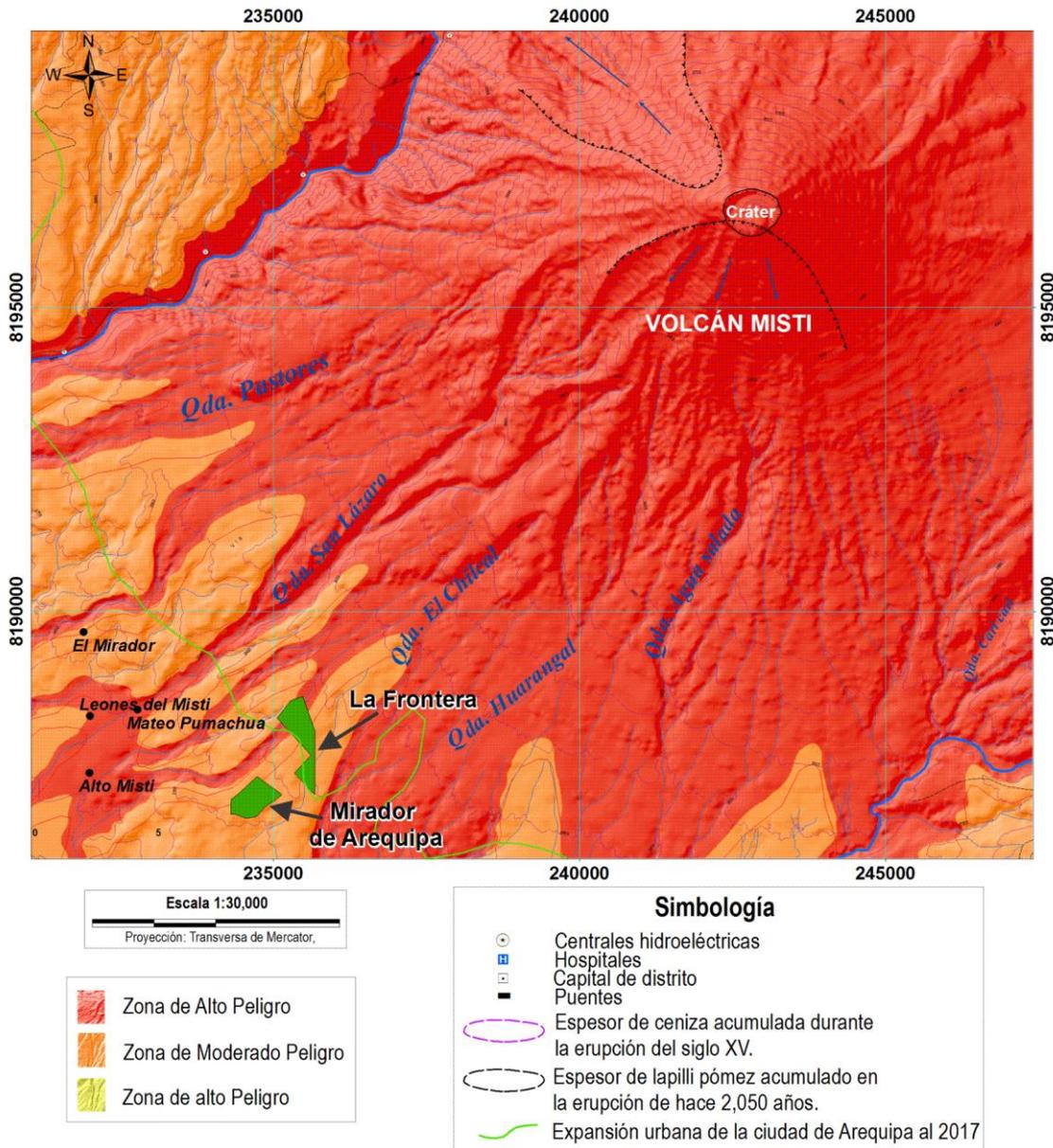


Fig. 24: Mapa de peligros del volcán Misti donde se muestra que los terrenos de los Programas Municipales La Frontera y El Mirador de Arequipa están asentados en zonas de alto y moderado peligro.

4.2 PROGRAMA MUNICIPAL VILLA MAGISTERIAL Y LA ESCALERILLA DEL DISTRITO CERRO COLORADO

El área destinada al Programa Municipal Villa Magisterial y La Escalerilla se encuentra asentada sobre depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza (ignimbrita) generadas durante erupciones explosivas pasadas muy violentas que presentó el complejo volcánico Chachani, ocurridas hace 1.65 Ma; así como por depósitos de lahares recientes e históricos del volcán Chachani.

Según el mapa de peligros del volcán Misti, el terreno del Programa Municipal Villa Magisterial y La Escalerilla se encuentra en la zona de BAJO PELIGRO VOLCÁNICO (color amarillo en el mapa (*figura 25*)). En el caso que ocurriese una erupción explosiva del volcán Misti, este sector y sus alrededores se verían afectados principalmente por los siguientes procesos:

a) Peligro por caídas de ceniza o lapilli de pómez

En una erupción explosiva de magnitud baja con IEV 2 presentada por el Misti, el área de los Programas Municipales Magisterial y La Escalerilla, podrían verse afectados por caída de ceniza que se depositarían hasta eventualmente alcanzar 2 cm de espesor. Una erupción de este tipo presentada por el volcán Misti ocurrió en el siglo XV (Thouret *et al.*, 2001). Dichas cenizas se dispersaron en el casco urbano de Arequipa cubriendo con un espesor de hasta 4 cm. En caso de ocurrir una erupción explosiva de magnitud moderada a grande (IEV 3-6), estas zonas destinadas a los programas municipales podrían ser afectadas por caídas de ceniza que alcanzarían un espesor de 7 a 10 cm.

Cabe mencionar que existen medidas para mitigar efectos de las cenizas, como utilizar mascarillas, lentes o protegerse en ambientes cerrados. Sin embargo, las cenizas pueden afectar las fuentes de agua que están desprotegidas.

b) Peligros por lahares o flujos de lodo

En las quebradas que se encuentran en ambas márgenes de los Programas Municipales Villa Magisterial y La Escalerilla, se han observado depósitos de lahares emplazadas en épocas pasadas. Estos podrían volver a generarse ante la ocurrencia de lluvias durante periodos eruptivos en caso de actividad del Misti, o incluso en periodos no eruptivos en caso de lluvias intensas, pudiendo generar voluminosos lahares o flujos de detritos que descenderían por los flancos del volcán Chachani.

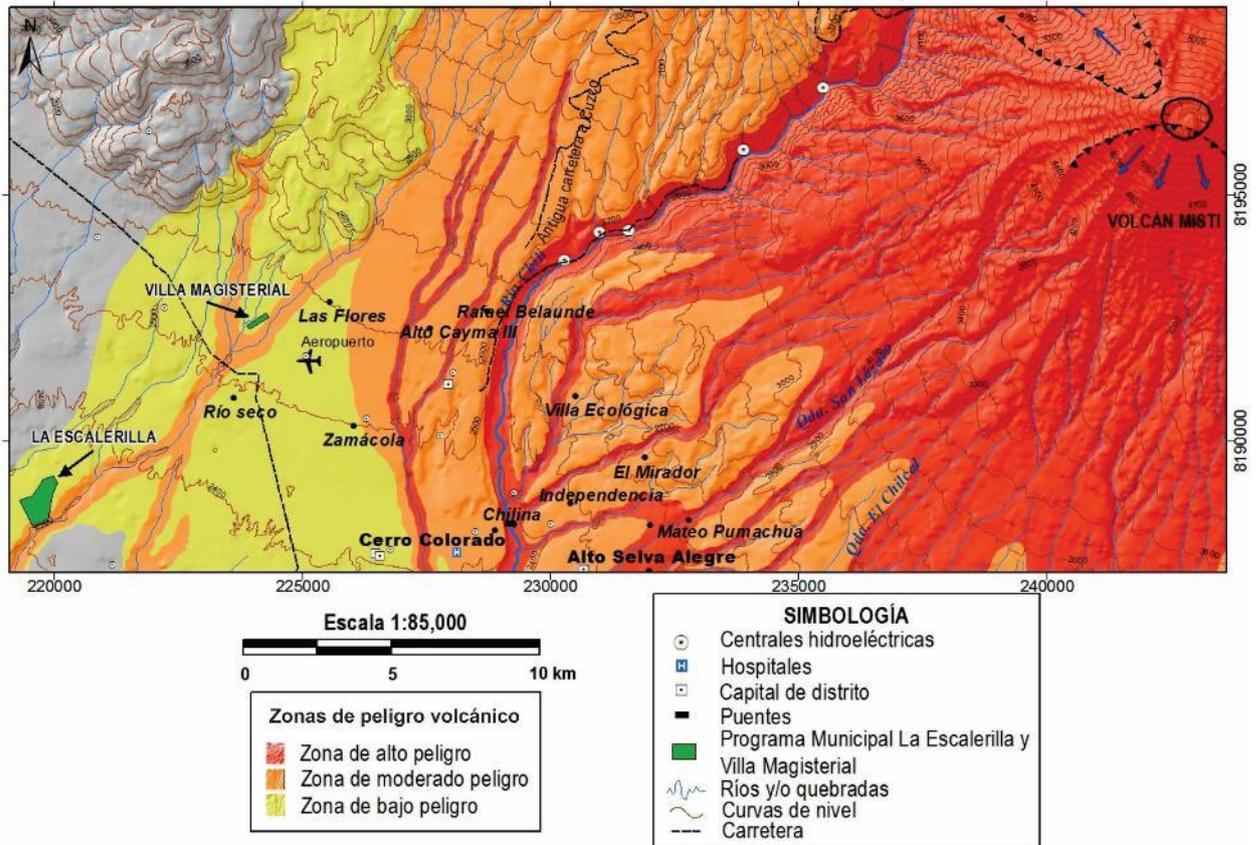


Fig. 25: Mapa de peligros del volcán Misti, donde se muestra la ubicación de las zonas destinadas a los Programas Municipales Villa Magisterial y La Escalerilla y su cercanía a quebradas que descienden del volcán Chachani.

4.3 PROGRAMA MUNICIPAL SEGUNDA ETAPA DE SAN ANTONIO DE YARABAMBA

El área del Programa Municipal “Segunda Etapa de San Antonio de Yarabamba” se encuentra asentado sobre depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas o ignimbritas generados durante erupciones explosivas pasadas que presentó el complejo volcánico Chachani. Sobre esos depósitos de flujo piroclástico yace el depósito de caídas de ceniza correspondientes a la erupción del año 1600 del volcán Huaynaputina.

Según el mapa de peligros del volcán Misti el área del terreno del Programa Municipal “Segunda Etapa de San Antonio de Yarabamba” no está localizada en zona de peligro por actividad volcánica. Ante una posible erupción del volcán Misti dicha zona de estudio podría verse afectada eventualmente por caída de ceniza como será detallado a continuación:

a) Peligros por caída piroclásticas

El terreno del Programa Municipal “Segunda Etapa de San Antonio de Yarabamba” se encuentra localizado a 29 km al sur del cráter del volcán Misti. En el futuro, si el volcán Misti iniciara un nuevo proceso eruptivo de magnitud baja a moderada (IEV 1-4), la zona de estudio podría verse afectada por caída de ceniza

provocando males respiratorios, estomacales y afecciones a la vista de los pobladores. Sin embargo, los daños serían mínimos ya que se encuentra lejos del volcán Misti y existen medios para protegerse de las cenizas.

V. REPLANTEO DEL ÁREA DEL PROGRAMA MUNICIPAL LA FRONTERA-MARIANO MELGAR

A pedido de la Municipalidad Provincial de Arequipa se realizó el replanteo en situ de los puntos que corresponden a los vértices del perímetro del área del Programa Municipal La Frontera del distrito Mariano Melgar.

Ubicación del área de Replanteo

El área motivo de replanteo se encuentra ubicada en la parte alta el ámbito de la Municipalidad Distrital Mariano Melgar (*figura 26*) que corresponde a un área aproximada de 368 Hectáreas y se encuentra por encima de los 2800 msnm (metros sobre el nivel del mar). El Programa Municipal La Frontera ha sido designada con fines de vivienda dentro del Plan Municipal de vivienda de la Municipalidad Provincial de Arequipa (MPA). Esta área cuenta con disponibilidad de información cartográfica base y coordenadas de los vértices en el sistema de coordenadas PSAD 56, las cuales fueron proporcionados por la MPA, para su posterior replanteo, ubicación y definición.

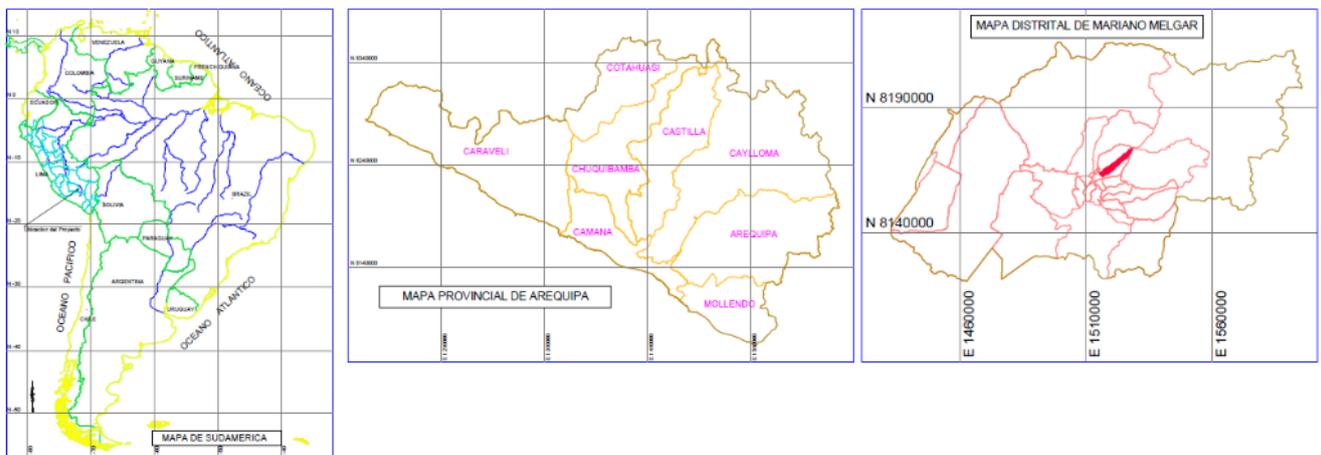


Fig. 26. Mapa de ubicación del área de replanteo

Equipos Empleados

Para el replanteo de los vértices de la zona se ha empleado un equipo GPS (*figura 27*) de última generación, de alta precisión, con precisiones por debajo del cm y doble frecuencia. Para la realización de las medidas se empleó en modo RTK (Real Time Kinematic), para el cual requiere de una estación o base fija y un receptor móvil trabajándose en el sistema de coordenadas PSAD56, que corresponden a coordenadas absolutas de los puntos a replantear. Dicho método consiste de receptor móvil y una estación base de referencia donde las coordenadas fueron

calculados con el mismo receptor base ubicado sobre una saliente natural cercana a área en cuestión. En la tabla se ilustran las características del equipo empleado.

Tabla 1. Equipos geodésicos empleados en el replanteo.

Equipo	Marca	Modelo	Modo Registro	Precisión
GPS Diferencial	Trimble	R10	Base y Rover	Horizontal: 8 mm + 1ppm Vertical: 15 mm + 1ppm



Fig. 27: Equipos geodésicos.

Replanteo de Vértices

Mediante el método RTK o GPS diferencial, empleado en el replanteo, se establecieron los ocho (08) vértices que comprende el perímetro designado. Los vértices fueron marcándose en situ con estacas y monumentos de piedra, cabe mencionar que 02 vértices se encuentran con el límite entre la propiedad privada denominada La Frontera. La lista de coordenadas de los vértices ubicados en campo se muestra en la tabla 2 y figura 28.

LA FRONTERA -MARIANO MELGAR - UTM PSAD56			
VERTICE	FECHA	ESTE	NORTE
A	20/06/2017	235538.4946	8187718.2986
B	20/06/2017	235828.5793	8187993.4736
C	20/06/2017	235249.2163	8188605.4281
D	20/06/2017	235342.9673	8188698.8059
E	20/06/2017	235497.6179	8188906.8352
F	20/06/2017	235682.0214	8188968.3992
G	20/06/2017	235878.1152	8188408.4130
H	20/06/2017	235867.0871	8187386.1357
I	20/06/2017	235864.3718	8187375.3317

Tabla 2. Coordenadas UTM en el sistema PSAD56 de los vértices del terreno.

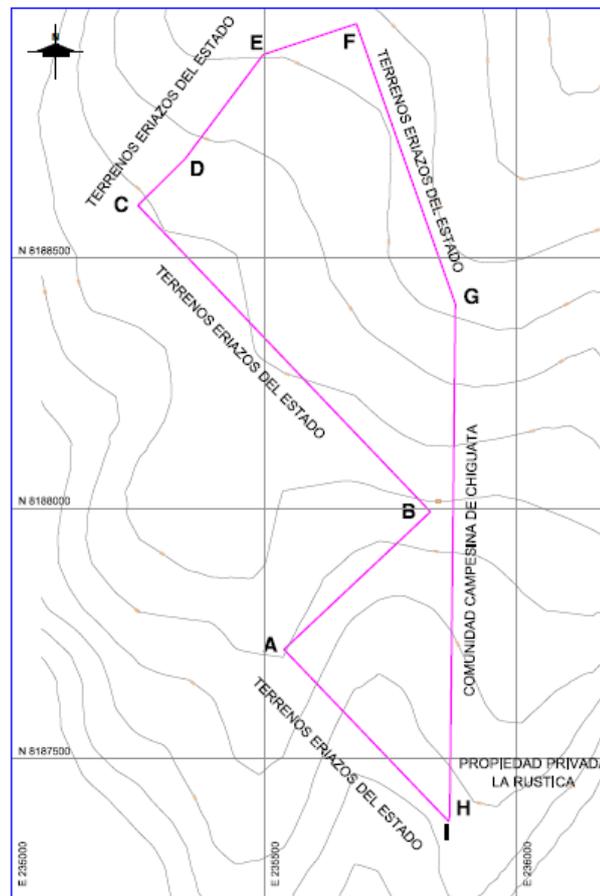


Fig. 28. Perímetro de replanteo en el sector denominado La Frontera.

CONCLUSIONES

- 1) Los Programas Municipales La Frontera y El Mirador se encuentran asentados sobre depósitos de flujos de lava, flujos piroclásticos de bloques y ceniza, lahares históricos y caída de cenizas generados en erupciones pasadas durante la formación del edificio Misti 1 (833000 y 112000 años) y también en épocas recientes del volcán Misti, durante las etapas Misti 3 y Misti 4. Estos tipos de depósitos muestran que las erupciones explosivas son recurrentes en el volcán Misti.
- 2) Según el mapa de peligros del volcán Misti el Programa Municipal La Frontera se encuentra en la zona de **ALTO Y MODERADO PELIGRO VOLCÁNICO**, mientras que El Mirador se encuentra en la zona de **MODERADO PELIGRO**. Los programas municipales se localizan entre 10 y 13 km del cráter del volcán, ante una posible reactivación ambas zonas de estudio se verían afectadas por flujos piroclásticos, caídas de ceniza y pómez y por lahares. Debido a su cercanía con el volcán, el impacto sería mucho mayor.
- 3) El programa municipal Villa Magisterial y La Escalerilla están asentados sobre la ignimbrita “Aeropuerto de Arequipa”, y lahares históricos y recientes provenientes del Complejo Volcánico Chachani. El gran número de depósitos de lahares en estas zonas, nos indica que estos fenómenos son muy recurrentes. De acuerdo al mapa de peligros volcánicos del Misti elaborado por el INGEMMET, el Programa Municipal “Villa Magisterial y La Escalerilla”, perteneciente a la jurisdicción del Distrito de Cerro Colorado y localizado a más de a 19 km al Suroeste del volcán Misti, se encuentra asentada en una zona **BAJO PELIGRO VOLCÁNICO** (color amarillo). Sin embargo, parte de los terrenos que comprenden zonas de torrenteras, las cuales no son aptos para la instalación de viviendas por ser zonas de alto peligro por avenidas.
- 4) En una erupción del Misti, el Programa Municipal Villa Magisterial y La Escalerilla podría ser afectada por caídas de ceniza y pómez, pero los daños serían mínimos, y por lahares o flujos de lodo.
- 5) El Programa Municipal “Segunda Etapa de San Antonio de Yarabamba” está asentado sobre la ignimbrita “La Joya”, la cual infrayace a caídas de ceniza de la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina. De acuerdo al mapa de peligros del volcán Misti el área de estudio no está localizada en zona de peligro por actividad volcánica. Sin embargo, ante una posible reactivación del volcán Misti, podría verse afectado por caída de ceniza distal, pero los daños serían mínimos.

RECOMENDACIONES

- 1) Los terrenos destinados a los programas municipales La Frontera y El Mirador, por su cercanía al volcán (11 -13 km respecto al cráter) y por estar ubicados en una **ZONA DE MODERADO Y ALTO PELIGRO VOLCÁNICO**, debería ser considerado no habitable, estas zonas pueden ser alcanzado por flujos incandescentes del volcán Misti en caso de una eventual reactivación volcánica.
- 2) Es necesario un estudio de suelos para determinar el comportamiento de estos ante los movimientos sísmicos y la carga que puede resistir para el diseño de construcciones u obras de infraestructura que se proyecten a futuro.
- 3) Parte de los terrenos de los programas municipales Villa Magisterial y La Escalerilla en el distrito Cerro Colorado comprenden zonas de torrenteras, las cuales no son aptos para la instalación de viviendas por ser zonas de alto peligro por avenidas.
- 4) Se recomienda que el diseño y la construcción de edificaciones en la zona evaluada, debe contemplar un buen sistema de drenaje de aguas de precipitación pluvial, para evitar anegamiento.
- 5) La población debe mantenerse informada en base a la información proporcionada por el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI), sobre la actividad del volcán Misti, para tomar medidas de prevención y reducir los riesgos.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar R. (2015). Long-lived Magmatic System: The post-caldera Chachani Volcani Complex Case Study (Perú). Université Clermont-Auvergne. Francia

Benavides, V. (1962). Estratigrafía Pre-terciaria de la región de Arequipa. En: Congreso Nacional de Geología, 2, Lima, 1960. Boletín Sociedad Geológica del Perú, (38):5-63.

Guevara, C. (1969). Geología del cuadrángulo de Characato (hoja 33t). Servicio de Geología y Minería, Boletín 23, 53 p.

Harpel, C.J.; De Silva, S.L. & Salas, G. (2011). The 2 ka eruption of Misti volcano, southern Peru – the most recent Plinian eruption of Arequipa's iconic volcano. Boulder, CO: Geological Society of America, 72 p. Special Paper, 484.

Jenks, W.F. (1948). Geología de la hoja de Arequipa al 200,000. Geology of the Arequipa Quadrangle of the Carta Nacional del Peru. Instituto Geológico del Perú, Boletín 9, 204 p.

Mariño J.; Rivera M.; Thouret J-C.; Macedo (2016). Geología y Mapa de Peligros del volcán Misti. INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica Geológica N°60- ISSN 1560-9928

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.

Moore, N.D. (1984). Potassium-Argon ages from the Arequipa segment of the coastal batholith of Peru and their correlation with regional tectonic events. Journal of the Geological Society London, 141(3): 511-519.

Murúa, M. (2001). Historia General del Perú, Edición de Manuel Ballesteros Gaibrois. Madrid: Dastin, 573 p. Crónicas de América, 35.

Paquereau-Lebti, 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.

Thouret, J.-C., Finizola, A., Fornari, M., Suni, J., Legeley-Padovani, A., Frechen, M., (2001). Geology of El Misti volcano nearby 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

Torres, P.; Alván, A. & Acosta, H. (2008). The Proterozoic basement of the Arequipa massif, southern Peru: Lithologic domains and tectonics. En: International Symposium on Andean Geodynamics, 7. Nice, 2008. Extended abstracts. Paris: IRD Éditions, p. 549-552

Vargas, L. (1970). Geología del cuadrángulo de Arequipa. *Servicio de Geología y Minería, Boletín 24*, 64 p.

GLOSARIO

ARENISCA: Roca sedimentaria formada por pequeños granos de arena compactados, cuya dureza depende del tamaño de los granos que la componen.

AVALANCHA DE ESCOMBROS: Las avalanchas 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. Las avalanchas de escombros 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.

BATOLITO: Agrupaciones de plutones o intrusiones individuales (pudiendo éstas estar constituidas por diversos pulsos) cuya superficie de afloramiento suele ser de decenas a miles de kilómetros cuadrados.

CAÍDA DE CENIZA Y PIEDRA PÓMEZ: La 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.

CALIZAS: Roca sedimentaria compuesta en forma predominante por minerales de carbonato, principalmente carbonatos de calcio y de magnesio. Los minerales más importantes de las calizas son la calcita y la aragonita y en las calizas dolomíticas, la dolomita.

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

COLUMNA ERUPTIVA: Se forma durante las erupciones explosivas. Está constituida por grandes cantidades de gases calientes, ceniza, fragmentos líticos, pómez (o escoria), de distintos tamaños.

COMPLEJO VOLCÁNICO: Un complejo volcánico es una zona dentro de una orogenia, donde aparecen varios conos volcánicos, cráteres, fumarolas, y otras manifestaciones, todas dentro de un área determinada.

CUARCITAS: Roca metamórfica dura con alto contenido de cuarzo. En composición la mayoría de las cuarcitas llegan a tener más de 90% de cuarzo y algunas incluso 99%.

DEPÓSITOS EPICLÁSTICOS: Se forman por fragmentos derivados de rocas preexistentes por la acción del intemperismo y la erosión, por lo que están

compuestos principalmente de minerales silicatados y fragmentos de rocas sedimentarias, ígneas y/o metamórficas.

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

DOMOS: Es un término morfológico, se trata de un cuerpo extrusivo de varias decenas de metros de altura que se genera cuando haya una extrusión muy lenta de lavas muy viscosas. Domos pueden crecer dentro de cráteres, en los flancos de un volcán o simplemente ellos mismos dan a la génesis de un volcán. Si un domo sigue creciendo puede colapsar y dar lugar a una erupción muy explosiva generando flujos piroclásticos.

DOMOS DE LAVA: Una masa de lava, que se ha creado por flujos individuales de lava que se han acumulado uno encima del otro, formando una estructura de domo.

DRENAJE DENDRÍTICO: La palabra dendrítico procede del griego “dendron”, que significa árbol, debido a la semejanza que este tipo de drenaje tiene con un árbol y sus ramas, las cuales forman sus tributarios o afluentes.

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

ERUPCIÓN EXPLOSIVA: Se produce cuando el magma que asciende a la superficie acumula más presión de la que puede liberar. Las burbujas en su interior crecen, el magma se fragmenta y los productos volcánicos son expulsados violentamente. Estas erupciones son frecuentes en volcanes con alto contenido de gases, o cuando se produce una interacción del magma con agua meteórica.

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 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.

ESCORIA: Material de origen volcánico, vesiculado y de tamaño lapilli. Pueden ser de composición basáltica o andesítica.

ESTRATOVOLCANES: Tipo de volcán cónico y de gran altura. Como su nombre indica, está compuesto por múltiples estratos o capas de lava endurecida, alternando con capas de piroclastos (lapilli y cenizas surgidos por una alternancia de épocas de actividad explosiva y de corrientes de lava fluida).

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.

FÓSILES: Restos petrificados de organismos que vivieron en épocas remotas. La palabra, como tal, proviene del latín *fossilis*, que a su vez deriva del verbo *fodere*, que significa 'excavar'. Los fósiles, por lo general, se encuentran conservados en las rocas sedimentarias.

GNEIS: Roca de metamorfismo regional de muy diverso origen, de grado medio y alto. Típicamente de estructura bandeada de composición cuarzo, feldespatos, piroxenos, anfíboles, micas y opacos (similar al granito).

GRANODIORITAS: Roca plutónica compuesta principalmente por cuarzo, plagioclasa (normalmente oligoclasa o andesina), feldespato potásico en un porcentaje subordinado a la plagioclasa y como máficos más frecuentes biotita y anfíbol.

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).

LAHARES O FLUJOS DE BARRO: Mezclas de partículas volcánicas de tamaños diversos movilizados por el agua, que fluyen rápidamente (20-60 km/h). Se generan en periodos de erupción o de tranquilidad volcánica. El agua puede provenir de fuertes lluvias, fusión de hielo o nieve. Estos flujos viajan a lo largo de quebradas o ríos y eventualmente pueden salir de estos cauces. El área afectada depende del volumen de agua y de materiales sueltos disponibles, así como de la pendiente y topografía. Normalmente destruyen todo a su paso y pueden alcanzar grandes distancias, incluso mayores a 200 km.

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

LUTITAS: Roca sedimentaria detrítica, fisible, de granos finos, formada por la consolidación de partículas del tamaño de la arcilla y el limo en capas relativamente impermeables de escaso espesor.

MONOLITOLÓGICO: Se usan los términos monolitológica o monomítica para aquellos depósitos que están formadas exclusivamente de un tipo de roca.

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.

PIROCLASTOS: Fragmentos de roca volcánica fracturada emitidos durante una erupción explosiva. Incluyen piedra pómez, ceniza, escoria y otros fragmentos de roca.

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.

ROCA INTRUSIVA: Se forman a partir de magma solidificado en grandes masas en el interior de la corteza terrestre. El magma, rodeado de rocas preexistentes (conocidas como rocas caja), se enfría lentamente, lo que permite que los minerales formen cristales grandes, visibles a simple vista, por lo que son rocas de "grano grueso".

ROCA METAMÓRFICA: Resultado de la transformación de cualquier otro tipo de roca, ígnea, sedimentaria e incluso metamórfica, mediante fenómenos de metamorfismo.

ROCA SEDIMENTARIA: Se forman por acumulación de sedimentos, los cuales son partículas de diversos tamaños que son transportadas por el agua, el hielo o el viento, y son sometidas a procesos físicos y químicos (diagénesis), que dan lugar a materiales consolidados.

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.

VOLCÁN ACTIVO: Un volcán se considera activo si ha tenido por lo menos una erupción durante el tiempo histórico (últimos 500 o 600 años), o incluso durante el Holoceno (últimos 10 mil años). Debido a que los procesos volcánicos se dan en la escala del tiempo geológico, el potencial de producir nuevas erupciones es alto.