

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7403**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA QUEBRADA AÑASHUAYCO SECTOR RUTA DEL SILLAR

Departamento Arequipa  
Provincia Arequipa  
Distrito Cerro Colorado



JULIO  
2023

## **EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA QUEBRADA AÑASHUAYCO SECTOR RUTA DEL SILLAR**

Distrito Cerro Colorado, provincia Arequipa, departamento Arequipa

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

*Equipo de investigación:*

*Yhon Hidelver Soncco Calsina*

### **Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación de peligros geológicos en la quebrada Añashuayco – sector Ruta del Sillar. Distrito Cerro Colorado, provincia Arequipa, departamento Arequipa: Ingemmet, Informe Técnico A7403, 45 p.*

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1.1. Objetivos del estudio</b>	1
<b>1.2. Antecedentes y trabajos anteriores</b>	1
1.2.1. Ubicación	2
1.2.2. Accesibilidad	4
1.2.3. Precipitación pluvial	5
1.2.4. Población	5
<b>2. DEFINICIONES</b>	7
<b>3. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b>	9
<b>3.1 Unidades litoestratigráficas</b>	9
3.1.1 Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa (Qp-IAA)	9
3.1.2 Depósitos de flujo de detritos (lahares) antiguos (Qh-la)	11
3.1.3 Depósitos de flujo de detritos (lahares) recientes	13
3.1.4 Depósitos volcanoclásticos	14
3.1.5 Depósitos antropogénicos	15
<b>4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b>	16
<b>4.1 Pendientes del terreno</b>	16
<b>4.2 Unidades Geomorfológicas</b>	17
4.2.1 Geformas de carácter tectónico degradacional y denudacional	17
4.2.2 Geformas de carácter depositacional o agradacional	18
<b>5. PELIGROS GEOLÓGICOS</b>	18
<b>5.1 Movimientos en masa</b>	18
5.1.1 Caída de rocas	19
5.1.2 Zona de derrumbes	22
<b>5.2 Peligro volcánico</b>	23
5.2.1 Flujo de detritos (lahares)	23
5.2.2 Mapas de Peligros volcánicos	28
<b>5.3 Factores condicionantes</b>	31
<b>5.4 Factores desencadenantes</b>	31
<b>CONCLUSIONES</b>	32
<b>RECOMENDACIONES</b>	34
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	35
<b>ANEXO 1 MAPAS</b>	36
<b>ANEXO 2 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN</b>	43

## RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos en el sector Ruta del Sillar, ubicado en el distrito Cerro Colorado, provincia y departamento de Arequipa. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

En el área aflora la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, el cual ha sido datada en 1.65 M.a (Paquereau Lebti et al., 2006), conformada por dos unidades, una inferior de color blanquecina, ligeramente meteorizada y medianamente fracturada y una superior de color rosada, altamente meteorizada y muy fracturada y depósito consolidado de flujo de detritos (lahares) antiguos. Asimismo, se aprecian depósitos no consolidados pertenecientes a: flujos de detritos (lahares) recientes; volcanoclásticos y antropogénicos. Estos últimos tres tipos de depósitos alimentan las quebradas, lo que contribuye con la generación de flujos de detritos (lahares).

Las subunidades geomorfológicas corresponden a: Superficie de flujo piroclástico degradada; desmonte de cantera de sillar y botadero de desmonte. Las dos últimas subunidades presentan la mayor susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.

Los peligros geológicos identificados corresponden a movimientos en masa (de tipo: caída de rocas y derrumbes); así como peligros volcánicos (de tipo: flujos de detritos (lahares) y caída de ceniza volcánica).

Factores que condicionan la ocurrencia de peligros por movimientos en masa son:

- Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, conformada por unidades altamente meteorizadas y muy fracturadas, Asimismo, depósitos no consolidados como: flujos de detritos (lahares) recientes; volcanoclásticos y antropogénicos.
- Para caída de rocas y derrumbes, pendientes abruptos del terreno, muy fuerte (25° - 45°) a escarpados (> 45°) en las paredes de ignimbrita.
- La geomorfología del área evaluada, representada por superficie de flujo piroclástico degradada; cantera de sillar y botadero de desmonte, susceptibles para ser removidos por efectos de la gravedad y pendiente

Factores que condicionan la ocurrencia de peligros volcánicos son:

- Para los flujos de detritos (lahares), pendientes variables desde inclinados suavemente (1° - 5°) a moderados (5° - 15°), en la zona urbana.
- Proximidad a los volcanes Misti y al complejo volcánico Chachani, situados a 23 km y 19 km. El sector La Ruta del Sillar, se ubica en el cauce de una de las principales quebradas que desciende del complejo volcánico Chachani.

En base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el área evaluada se considera de **Peligro Moderado por Movimientos en Masa**. En el área podrían ocurrir derrumbes y caída de rocas, desencadenados por movimientos sísmicos y precipitaciones. Asimismo, desde el punto de vista de **Peligros Volcánicos se consideran de Peligro Alto**, por el cauce de las quebradas pueden descender flujo de detritos (lahares), en temporadas de lluvias, afectando la integridad física de las personas e infraestructura ubicadas en el cauce de la quebrada.

Finalmente, se brinda recomendaciones que se consideran importantes que las autoridades competentes pongan en práctica.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud del Gobierno Regional de Arequipa según el oficio N°23-2022-GRA-GGR, el INGEMMET en el marco de sus competencias realiza una evaluación de peligros geológicos en las quebradas Añashuayco y Phaqcha, sector Ruta del Sillar.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, designó al ingeniero Yhon Soncco Calsina, para realizar la evaluación geológica, geomorfológica, geodinámica y de los peligros por movimientos en masa que afectan a las quebradas Añashuayco y Phaqcha en el sector Ruta del Sillar. Asimismo, en temas de peligros volcánicos colaboró la ingeniera Nelida Manrique. Los trabajos de campo se realizaron en julio del 2022.

La evaluación técnica se basó en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS, fotografías terrestres y aéreas), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de las entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

### 1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos que se presentan en las quebradas Añashuayco y Phaqcha sector La Ruta del Sillar; eventos que pueden comprometer la seguridad física de la población vías de comunicación.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa.
- c) Emitir las recomendaciones generales para la reducción o mitigación de los daños.

### 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional se tienen:

- a) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022) – Creación del parque temático del sillar y circuito turístico de las canteras de Añashuayco, del distrito de Cerro Colorado, provincia Arequipa, departamento Arequipa. Lima: Ingemmet, Opinión Técnica 05-2022, 19 p. En cuyo informe concluyen que por ocurrencia de lahares en épocas de lluvia la quebrada Añashuayco se encuentra en una zona de alto, moderado y bajo peligro, mientras que la quebrada Paccha se encuentra en una zona de bajo peligro por lo cual gran parte de las obras de infraestructura contempladas en el proyecto podrían ser afectadas.

- b) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022) - Evaluación de peligro geológico por lahares (huaycos) en el distrito de Cerro Colorado, provincia Arequipa, departamento Arequipa. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7343, 57 p. En cuyo informe muestran el mapa de peligros por lahares del complejo volcánico Chachani.
- c) Vilchez, M. & Sosa, N. (2021) - Peligro geológico por movimientos en masa en la ciudad de Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 85, 236 p., 5 mapas. En el estudio realizan una caracterización de los peligros geológicos en la ciudad de Arequipa.
- d) Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K. (2021) - Peligro geológico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 81, 300 p., 9 mapas. En cuyo estudio identifican los peligros geológicos en el departamento de Arequipa.
- e) Alavi, H., 2020. Evaluación de peligro por ocurrencia de lahares (flujos de lodo) en el complejo volcánico Chachani-Arequipa. Realizó una descripción de los depósitos de lahares en la quebrada Añashuayco, quebradas que desciende desde el volcán Chachani
- f) Fernet., N. 2020. "Rutas del sillar" Geosite for geohazard resilience in local communities of Arequipa, Peru. En el estudio se hace una caracterización de las unidades de la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, así como de los depósitos de los flujos de detritos (lahares)
- g) Para el análisis geológico se tomó como referencia el mapa geológico del cuadrángulo Arequipa (33S2). a escala 1: 50 000, elaboradas por el Ingemmet, en convenio con la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa; el trabajo describe detalla mente la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa.
- h) Luque, G. & Rosado, M. (2014) - Zonas críticas por peligros geológicos en la región Arequipa. Primer reporte informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 110 p. En el estudio autentican las zonas críticas frente a peligros geológicos en el departamento de Arequipa
- i) Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa generado por el Ingemmet (<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>), muestra que la zona evaluada se encuentra en zona de susceptibilidad medio.

### 1.2.1. Ubicación

El área evaluada está ubicada en el distrito de Cerro Colorado, Provincia y Departamento de Arequipa (figuras 1 y 2), dentro de las coordenadas siguientes:

**Tabla 1.** Coordenadas del sector evaluado

N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	8189852.89	221028.30	16°21'22.94"S	71°36'40.79"O
2	8189802.40	220990.89	16°21'24.57"S	71°36'42.08"O
3	8189698.44	220993.58	16°21'27.95"S	71°36'42.03"O
4	8189667.20	220972.49	16°21'28.95"S	71°36'42.75"O

5	8189645.34	220967.85	16°21'29.66"S	71°36'42.92"O
6	8189583.71	221048.00	16°21'31.70"S	71°36'40.25"O
7	8189527.95	221129.31	16°21'33.55"S	71°36'37.53"O
8	8189561.50	221278.98	16°21'32.52"S	71°36'32.48"O
9	8189576.07	221325.93	16°21'32.06"S	71°36'30.89"O
10	8189608.87	221355.85	16°21'31.01"S	71°36'29.87"O
11	8189608.59	221384.78	16°21'31.03"S	71°36'28.90"O
12	8189502.69	221527.30	16°21'34.53"S	71°36'24.14"O
13	8189702.17	221678.31	16°21'28.11"S	71°36'18.97"O
14	8189911.31	220936.80	16°21'21.00"S	71°36'43.85"O
15	8189544.95	221836.14	16°21'33.29"S	71°36'13.72"O
16	8189505.47	221768.30	16°21'34.54"S	71°36'16.03"O
17	8189492.29	221741.71	16°21'34.96"S	71°36'16.93"O
18	8189461.79	221651.53	16°21'35.91"S	71°36'19.98"O
19	8189440.14	221616.57	16°21'36.60"S	71°36'21.16"O
20	8189426.08	221588.31	16°21'37.05"S	71°36'22.12"O
21	8189417.39	221553.75	16°21'37.32"S	71°36'23.29"O
22	8189411.81	221504.14	16°21'37.48"S	71°36'24.96"O
23	8189412.68	221440.72	16°21'37.42"S	71°36'27.10"O
24	8189406.36	221411.91	16°21'37.62"S	71°36'28.07"O
25	8189395.18	221364.95	16°21'37.96"S	71°36'29.66"O
26	8189394.18	221324.79	16°21'37.98"S	71°36'31.01"O
27	8189397.46	221282.15	16°21'37.85"S	71°36'32.44"O
28	8189389.83	221239.49	16°21'38.08"S	71°36'33.88"O
29	8189373.01	221197.21	16°21'38.61"S	71°36'35.31"O
30	8189352.31	221176.18	16°21'39.28"S	71°36'36.03"O
31	8189290.91	221137.81	16°21'41.26"S	71°36'37.35"O
32	8189236.64	221113.64	16°21'43.01"S	71°36'38.19"O
33	8189180.88	221071.30	16°21'44.81"S	71°36'39.64"O
34	8189146.99	221035.01	16°21'45.89"S	71°36'40.87"O
35	8189060.54	220944.00	16°21'48.66"S	71°36'43.98"O
36	8188933.56	220803.64	16°21'52.73"S	71°36'48.76"O
37	8189702.17	221678.31	16°21'28.11"S	71°36'18.97"O
38	8188933.56	220803.64	16°21'52.73"S	71°36'48.76"O
39	8189099.38	220597.59	16°21'47.26"S	71°36'55.62"O
40	8189144.55	220607.42	16°21'45.79"S	71°36'55.27"O
41	8189206.14	220609.90	16°21'43.79"S	71°36'55.16"O
42	8189225.83	220577.50	16°21'43.14"S	71°36'56.24"O
43	8189283.06	220593.40	16°21'41.28"S	71°36'55.68"O
44	8189243.08	220751.91	16°21'42.65"S	71°36'50.36"O
45	8189288.77	220765.16	16°21'41.17"S	71°36'49.90"O
46	8189342.22	220782.39	16°21'39.44"S	71°36'49.30"O
47	8189438.69	220808.53	16°21'36.31"S	71°36'48.37"O
48	8189564.04	220848.74	16°21'32.26"S	71°36'46.97"O
49	8189607.25	220860.18	16°21'30.86"S	71°36'46.56"O
50	8189637.31	220860.89	16°21'29.88"S	71°36'46.52"O
51	8189659.15	220857.93	16°21'29.17"S	71°36'46.61"O
52	8189666.85	220843.34	16°21'28.91"S	71°36'47.10"O
53	8189784.28	220888.50	16°21'25.11"S	71°36'45.53"O
54	8189806.37	220897.60	16°21'24.40"S	71°36'45.21"O
55	8189911.31	220936.80	16°21'21.00"S	71°36'43.85"O
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</b>				
<i>Punto Central</i>	8189268.00	220949.00	16°21'41.91"S	71°36'43.70"O

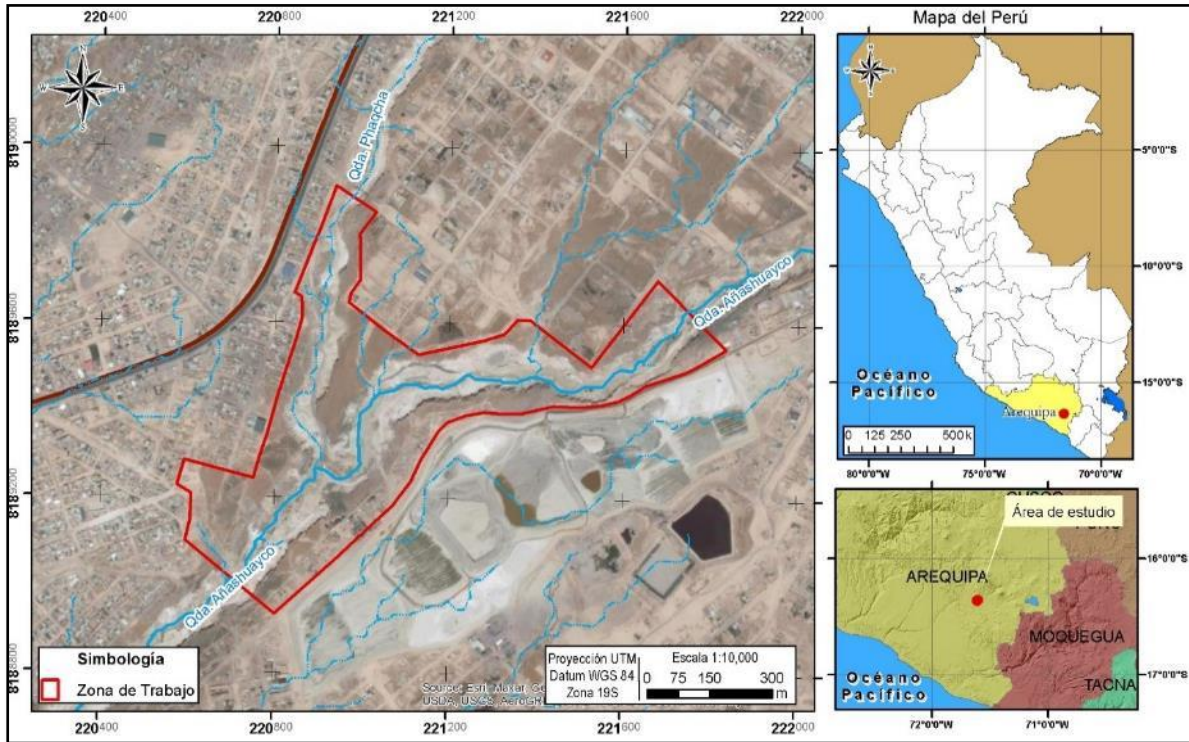


Figura 1. Ubicación del área de evaluación



Figura 2. Quebrada Añashuayco, sector La Ruta del Sillar.

### 1.2.2. Accesibilidad

El acceso a la quebrada Añashuayco sector Ruta del Sillar, se realizó por vía terrestre, desde el Observatorio Vulcanológico del Ingemmet OVI-Arequipa, mediante la siguiente ruta:

Tabla 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

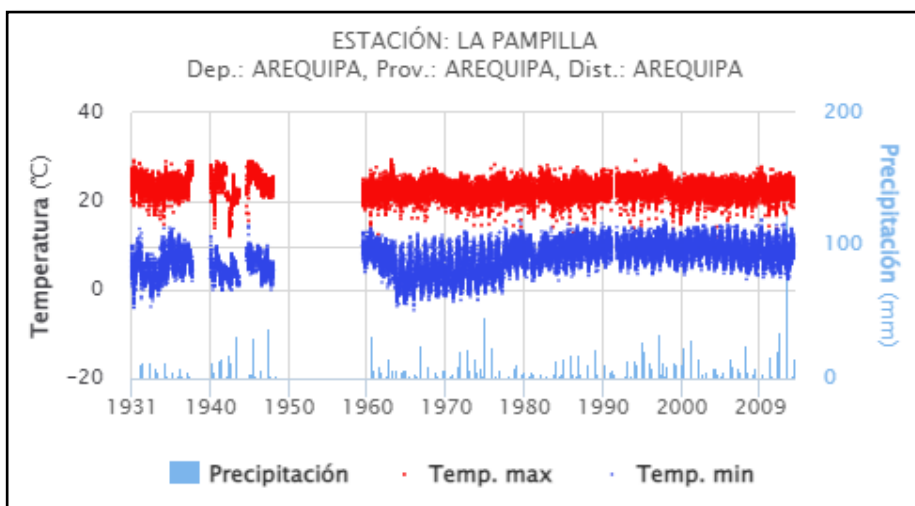
<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (m)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Toma Urb. Magisterial II hacia Av. José Abelardo Quiñones.	Asfaltada	130	4 min



Continúa por Av. José Abelardo Quiñones. Toma Grande hacia Av. Chachani.	Asfaltada	1000	5 min
Gira a la derecha con dirección a Av. Chachani	Asfaltada	850	5 min
Sigue por Av. Pumacahua, Av. Aviación y Av. Primavera.	Asfaltada	2700	10 min
Gira a la derecha en Av. Puno	Asfaltada	850	5 min
Toma Vía de Evitamiento/Carretera 34A hacia Industrial.	Asfaltada	2400	5 min
Continúa por Industrial hacia la Ruta del Sillar	Trocha	3700	10 min

### 1.2.3. Precipitación pluvial

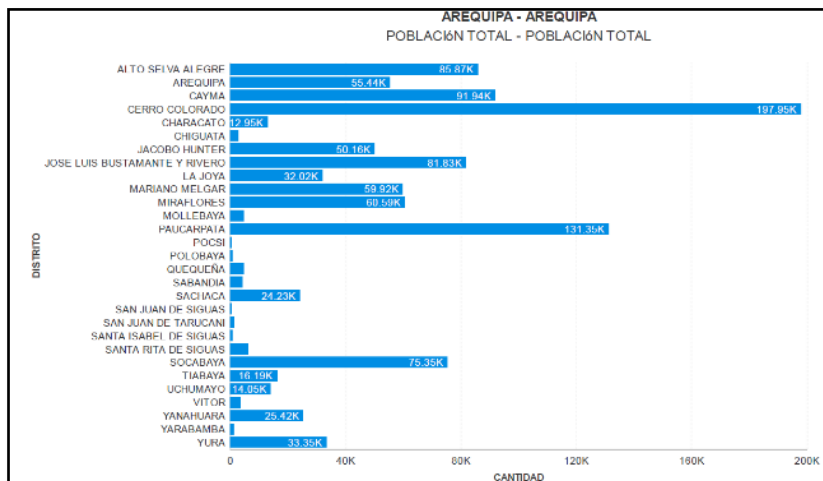
En base a la información disponible de la estación meteorológica Pampilla, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi). Donde se tiene una data de una ventana de tiempo que va desde 1931 al 2009, con datos de precipitación diaria. La precipitación máxima de 125 mm, precipitación intermedia de 50 mm y la precipitación mínima de 20 mm. La estación Pampilla es la más próxima que cuenta con información de una ventana de tiempo de mayor a 25 años, (grafico 1).



**Gráfico 1.** Precipitación diaria según la estación Pampilla (Senamhi).

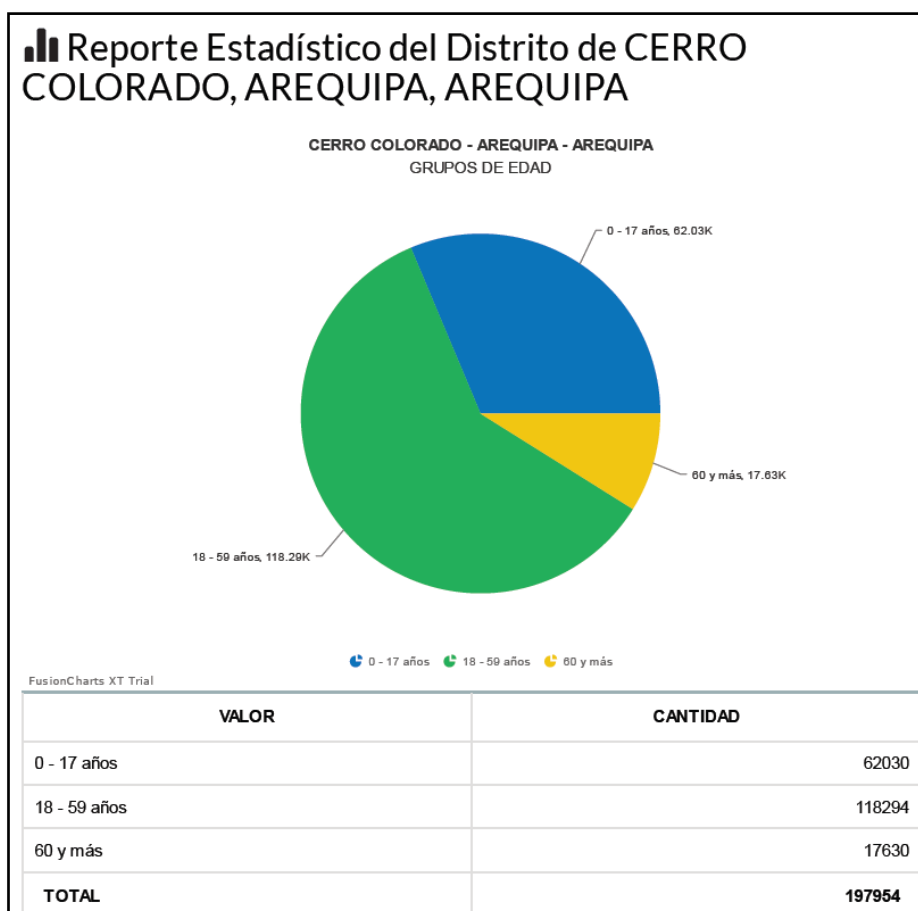
### 1.2.4. Población

El distrito de Cerro Colorado tiene un territorio moderado en área, es el distrito más poblado de la provincia de Arequipa, de acuerdo con el XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda (CPV, 2017); suman 197954 personas (gráfico 2).



**Gráfico 2.** Población por distritos de la provincia de Arequipa.  
<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/reporte-estadistico>

Según el Censo Nacional 2017, en el distrito de Cerro Colorado las personas están distribuidas según el grupo etario siguiente: (0-17 años) 62030 personas; (18-59 años) 118294 personas y (60 años a más) 17630 personas, (gráfico 3).



**Gráfico 3.** Población según grupo etario de Cerro Colorado "Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas." Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI (<https://cenepred.gob.pe/web/>)

## **2. DEFINICIONES**

A continuación, se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino - Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA:

**AGRIETAMIENTO (cracking)** Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

**CORONA (crown)** Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento, ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

**DESLIZAMIENTO (slide)** Son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” (Cruden, 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Harrod, 1989). Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc.

**ESCARPE (scarp).** Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

**FRACTURA (crack)** Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

**METEORIZACIÓN (weathering)** Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

**CAÍDAS.** La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material, cae desplazándose principalmente por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido, se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a  $5 \times 10^1$  mm/s.

En función al mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como del material involucrado, las caídas se subdividen en tres tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

**DERRUMBE:** Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros (Se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados.

**EROSIÓN DE LADERAS:** Se considera dentro de esta clasificación a este tipo de eventos, porque se les considera predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material

superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo, en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Duque et ál, 2016).

Los procesos de erosión de laderas también pueden tener como desencadenante la escorrentía formada por el uso excesivo de agua de regadío.

**LAHAR:** Se les denomina así porque durante su desplazamiento presentan un comportamiento semejante al de un fluido. Pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos. Son capaces de transportar grandes volúmenes de fragmentos rocosos de diferentes tamaños y alcanzar grandes extensiones de recorrido, más aún si la pendiente es mayor. Los flujos se pueden clasificar de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral (canalizado o no canalizado)

**CÁRCAVAS:** La erosión en cárcavas es un fenómeno que se da bajo diversas condiciones climáticas (Gómez et al., 2011), aunque más comúnmente en climas semiáridos y sobre suelos estériles y con vegetación abierta, con un uso inadecuado del terreno o inapropiado diseño del drenaje de las vías de comunicación. Las incisiones que constituyen las cárcavas se ven potenciadas por avenidas violentas y discontinuas típicas del clima mediterráneo, lluvias intensas o continuas sobre terrenos desnudos o por la concentración de flujos superficiales fomentados por obras de drenaje de caminos o carreteras.

**AVALANCHA DE ESCOMBROS:** Las avalanchas de escombros son deslizamientos súbitos de una parte 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/o explosiones volcánicas. Las avalanchas de escombros ocurren con poca frecuencia y pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia, se desplazan a gran velocidad, así por ejemplo en el caso del monte St. Helens, se estimaron velocidades del orden de 240 km/h Glicken, (1996). Los mecanismos del colapso, transporte y emplazamiento han sido mejor entendidos a partir de la erupción del volcán St. Helens en los EE. UU. (18 de mayo de 1980), donde se produjo el colapso sucesivo de tres bloques ubicados en el flanco norte.

**ERUPCIÓN VOLCÁNICA:** Las erupciones volcánicas son el producto del ascenso del magma a través de un conducto desde el interior de la tierra. El magma está conformado por roca fundida, gases volcánicos y fragmentos de roca. Estos materiales pueden ser arrojados con grados de violencia. Dependiendo de la composición química del magma, la cantidad de gases y en algunos casos por la interacción del magma con el agua.

Cuando el magma se aproxima a la superficie, pierde todo o parte de los gases contenidos en solución, formando burbujas en su interior; bajo estas condiciones, se pueden presentar dos escenarios principales:

- Si los gases del magma se liberan sin alterar la presión del medio, el magma puede salir a la superficie sin explotar. en este caso se produce una erupción efusiva.
- Si el magma acumula más presión de la que puede liberar, las burbujas en su interior crecen y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una erupción explosiva.

**ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA (IEV):** Representa la magnitud de una erupción volcánica y es una escala que va de 0 a 8 grados.

**IGNIMBRITA:** En la geología, se usa el término Ignimbrita, para describir un depósito de corriente de densidad piroclástica (flujo piroclástico) que contiene abundantes fragmentos de pómez de distintos tamaños, ceniza, cristales, fragmentos de roca arrancada del conducto y

del suelo que son expulsada a altas temperaturas durante erupciones volcánicas muy explosivas.

**ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI):** El GSI estima la reducción de la resistencia del macizo para diferentes condiciones geológicas. La caracterización del macizo rocoso es simple y está basada en la impresión visual de la estructura rocosa, en términos de bloques y de la condición superficial de las discontinuidades indicadas por la rugosidad y alteración de las juntas. La combinación de estos dos parámetros proporciona una base práctica para describir un rango amplio de tipos de macizos rocosos.

### 3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Para el análisis geológico inicial se toma como referencia el mapa geológico del cuadrángulo Arequipa (33s2). a escala 1: 50 000, elaboradas por el Ingemmet, en convenio con la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Asimismo, el Observatorio Vulcanológico del Ingemmet (OVI), mediante el proyecto GA17D “Estudio de peligros del Complejo Volcánico Chachani” (2018 - 2022) y GA17F “Estudiar y Evaluar los peligros asociados a los volcanes Chachani y Casiri” viene desarrollando estudios a detalle. Boletín y mapas en elaboración.

#### 3.1 Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área de estudio corresponde a la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, depósitos de flujos de detritos (lahares), volcanoclásticos y antropogénicos, mapa N°1 (Anexo 1).

##### 3.1.1 Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa (Qp-IAA).

Aflora en las quebradas Añashuayco y Phaqcha, ha sido datada en 1.65 M.a (Paquereau Lebti et al., 2006), Está conformada por una unidad inferior de color blanquecina y una superior de color rosada.

**Unidad Blanca:** Se caracteriza por su color blanco a grisáceo que corresponde a una matriz de 80 a 90% de ceniza. Compuesto por pómez fibrosas de color beige de hasta 7 cm, fragmentos volcánicos como andesita y obsidiana, que pueden alcanzar un tamaño de hasta 6 cm en algunas muestras. Los fragmentos volcánicos representan alrededor del 5-6% del total de la roca. Varían en color de marrón a negro pasando por rojo dependiendo de la tasa de oxidación. Los minerales observados como biotita y plagioclasa tienen menos de 1 mm y no superan el 1% de la composición total de la roca. Los cristales de biotita son negros y laminados, mientras que la plagioclasa es tabular y de color lechoso (Fermet., 2020; Paquereau Lebti et al., 2006).

En el área evaluado esta unidad presenta hasta 25 metros de alto, y se encuentra ligeramente meteorizada y medianamente fracturada. Es el que más se extrae para la elaboración de material de construcción, denominado localmente “Sillar”.



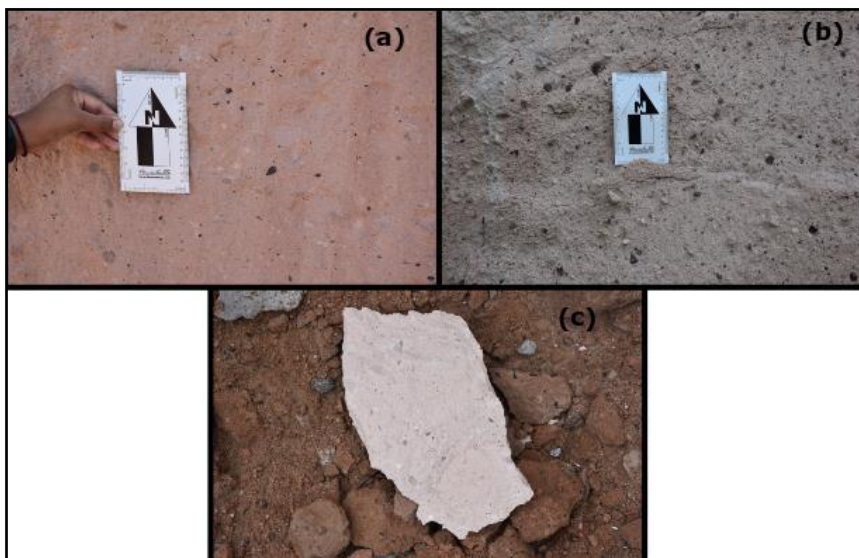
**Figura 3.** Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, (coordenadas UTM WGS84: 221316E, 8189450N)

**Unidad Rosa:** Se caracteriza por su color rosado. Contiene entre un 4-5% de fragmento volcánico como la unidad blanca. Estos fragmentos son angulosos a redondos y a menudo vesiculares. También está compuesto por biotita y plagioclasa del mineral, aunque la plagioclasa es mucho menos observable en comparación con la otra unidad blanquecina, Fernet., N. 2020.

En el área evaluado esta unidad posee entre 2 – 5 m de potencia, a pesar de su densidad, se presenta altamente meteorizada y muy fracturada, en algunos sectores se presenta no consolidado. Es de fácil erosión.



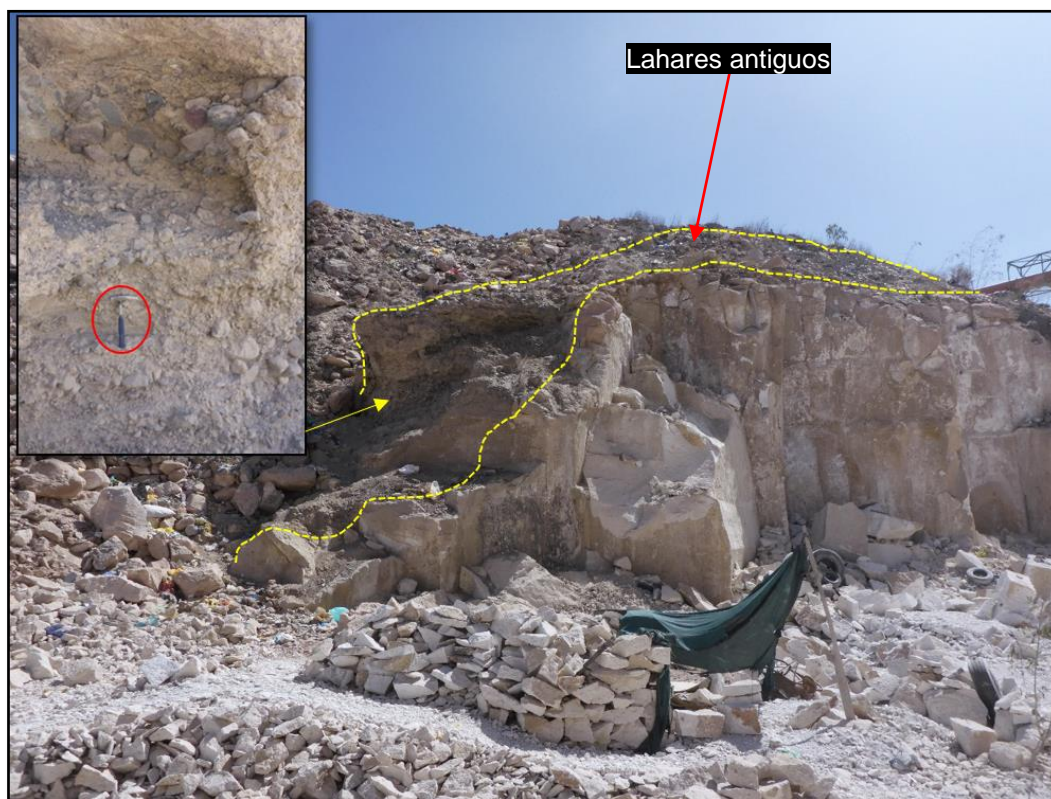
**Figura 4.** Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, (coordenadas UTM WGS84: 221418E, 8189568N)



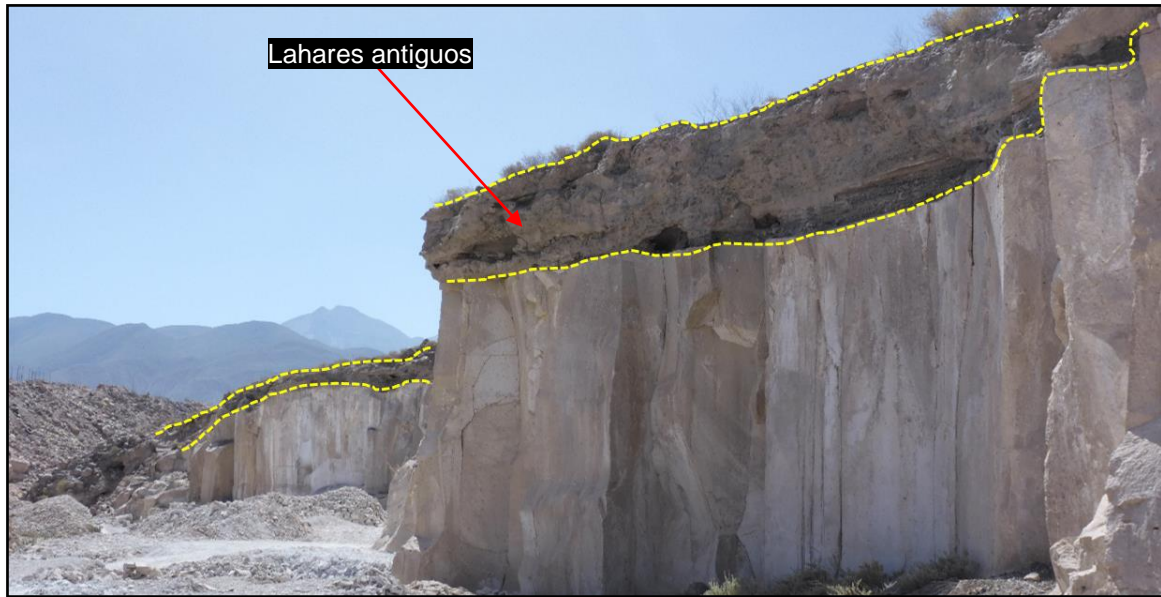
**Figura 5.** Ignimbrita rosa observada en la quebrada a) Uchumayo, b) Culebrillas y c) Anashuayco, Fermet., N. 2020.

### 3.1.2 Depósitos de flujo de detritos (lahares) antiguos (Qh-la)

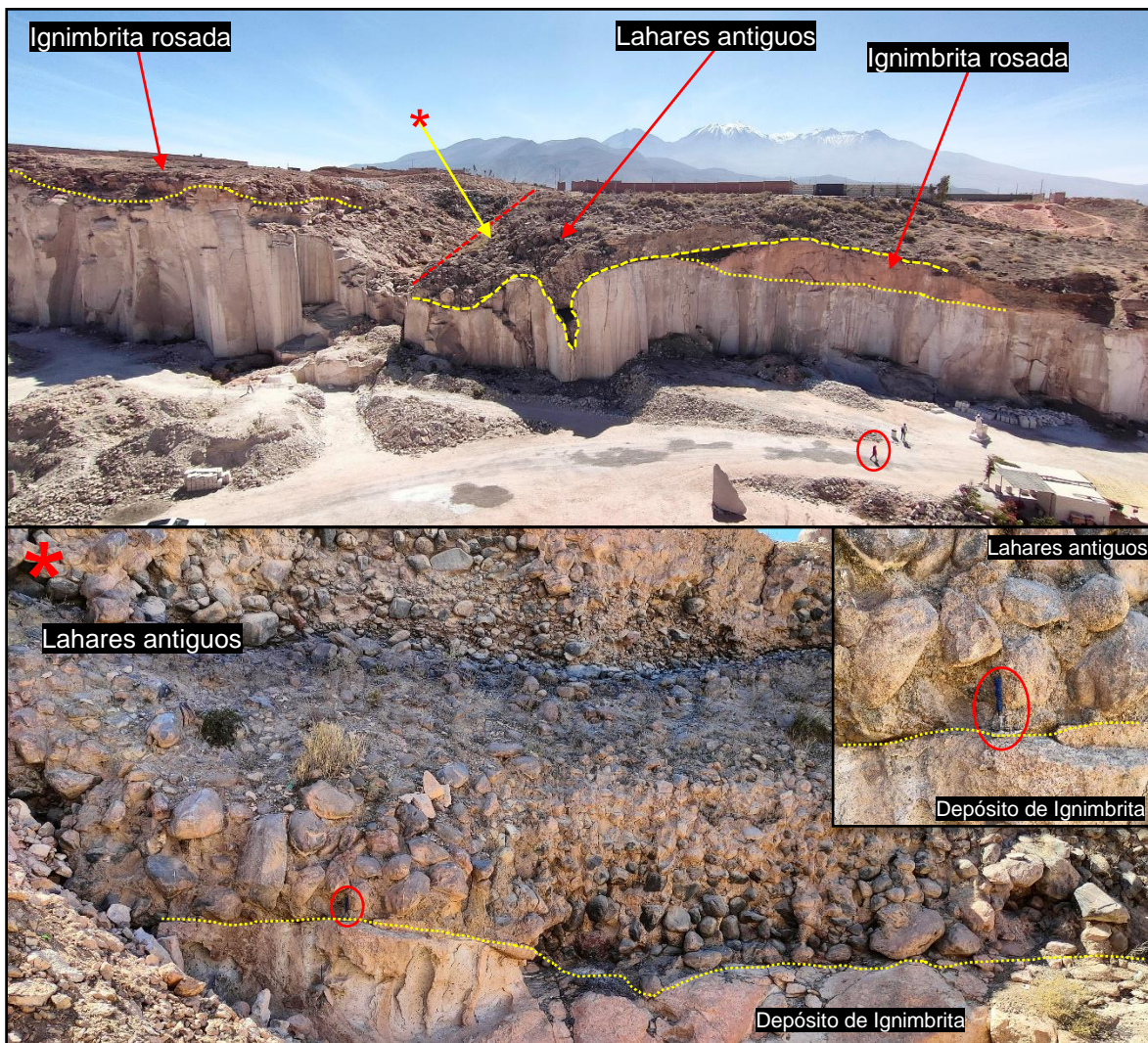
En las quebradas Añashuayco y Phaqcha, se aprecian suprayaciendo a la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, (figuras 6, 7 y 8). Está conformado por bloques que varían entre (30% - 35%), gravas (45% - 40%), dentro de una matriz arenolimoso (15%), los bloques más grandes llegan a medir hasta 1 m. El depósito presenta una potencia que varía de 1 a 2 m, se encuentra consolidado.



**Figura 6.** Depósito de lahares en la quebrada Phaqcha. (coordenadas UTM WGS84: 220900E, 8189693N)



**Figura 7.** Depósito de lahares suprayaciendo a la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa.



**Figura 8.** Contacto entre la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa y los depósitos de lahares antiguos.  
(coordenadas UTM WGS84: 221416E, 8189575N)



### 3.1.3 Depósitos de flujo de detritos (lahares) recientes

Estos depósitos de lahares se ubican en el fondo de la quebrada Añashuayco, poseen espesores de 0.14 a 0.8 m, forman secuencias que en total pueden alcanzar hasta 4 m de espesor. Están conformados por bloques (25%), gravas (45%), dentro de una matriz arenolimoso (30%). Son secuencias poco consolidados.

Fermet., N. 2020, hace una descripción sobre los depósitos recientes en la quebrada Añashuayco, (figura 9).

Dentro de los depósitos de lahares recientes se han identificado material de origen antrópico, desde bloques de sillar hasta escombros.

El cauce actual de la quebrada Añashuayco posee entre 4 – 5 m mientras que el cauce antiguo, tiene dimensiones que varían entre 70 – 100 m de ancho; en cambio en la quebrada Phaqcha el cauce no está definido (figuras 10 y 11).

Es importante aclarar que el continuo trabajo artesanal (tallado de sillar) efectuados por los canteros, viene ampliando cada vez más el ancho de las quebradas.



**Figura 9.** Secuencias de depósitos de lahares recientes dentro de la quebrada Añashuayco. Fermet., N. 2020



**Figura 10.** Cauce actual de la quebrada Añashuayco. (coordenadas UTM WGS84: 221289E, 8189477N)



**Figura 11.** Quebrada Phaqcha (coordenadas UTM WGS84: 220950E, 8189858N)

#### 3.1.4 Depósitos volcanoclásticos

Las secuencias volcanoclásticas, emplazadas en el sector sur del Complejo Volcánico Chachani, está compuesta por depósitos de lahares y depósitos de caída de lapilli de pómez y ceniza del volcán Misti. Afloran en las quebradas Estanquillo, Añashuayco (distrito de Cerro Colorado). Fermet., N. 2020.

Este tipo de depósitos se identificaron en la confluencia de las quebradas Añashuayco y Phaqcha, formando depósitos de hasta 4 m de espesor. Está conformado por niveles ricos en bloques, gravas y nivel de ceniza volcánica de color gris. El depósito es no consolidado, (figura 12).



**Figura 12.** Quebrada Phaqcha, (coordenadas UTM WGS84: 220918E, 8189338N)

### 3.1.5 Depósitos antropogénicos

Son acumulaciones de materiales provenientes de la actividad humana. Se trata de materiales muy heterogéneos en cuanto a su origen y tamaños.

El más representativo es la acumulación de escombros en la margen derecha de la quebrada Phaqcha (figura 13). Asimismo, en el cauce antiguo de las quebradas Añashuayco y Phaqcha, se observa abundante material suelto, provienen de los restos del trabajo del tallado de sillar (figura 14). Los depósitos están conformados por residuos sólidos y bloques de sillar, se encuentran no consolidados.



**Figura 13.** Acumulación de escombros en la margen derecha de la quebrada Phaqcha, (coordenadas UTM WGS84: 220910E, 8189868N)



**Figura 14.** Acumulación de escombros en la quebrada Añashuayco

#### 4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

##### 4.1 Pendientes del terreno

Las pendientes en el área evaluada, varía desde inclinados suavemente ( $1^\circ - 5^\circ$ ) a moderados ( $5^\circ - 15^\circ$ ), en la zona urbana; el área presenta un cambio abrupto de terrenos con pendiente muy fuerte ( $25^\circ - 45^\circ$ ) a escarpados ( $> 45^\circ$ ), en las paredes de ignimbrita, en el sector Ruta del Sillar. (figuras 15).



**Figura 15.** Tipo de pendientes del área de estudio en el sector Ruta del Sillar

## 4.2 Unidades Geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector, se ha empleado la propuesta de Villota (2005) y la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del Ingemmet; cuyas concepciones se basan en considerar el efecto de los procesos morfodinámicos siguientes:

- Geformas de carácter tectónico degradacional o denudativos
- Geformas de carácter depositacional o agradacional

La evolución del relieve en el área evaluada, se presenta en el mapa geomorfológico (mapa 3); donde se definen cuatro geformas o subunidades.

### 4.2.1 Geformas de carácter tectónico degradacional y denudacional

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes, Villota, (2005). Así en el área evaluada se tienen las siguientes unidades y subunidades:

#### 4.2.1.1 Unidad de volcánicos

En esta unidad se agrupan a los paisajes generados por la actividad volcánica y por sus productos, los cuales han sufrido en diversos grados los efectos de la denudación pero que todavía conservan rasgos definidos de sus formas iniciales.

Superficie de flujo piroclástico degradada (Sfp-d): También, se puede reconocer con el término de superficie con flujo piroclástico disectado; esta subunidad presenta el mismo origen que la superficie con flujos piroclásticos. Ha sufrido los efectos de la denudación y se ha encontrado con un alto grado de disección, cortado por cursos de quebradas y torrenteras que configuran un drenaje paralelo a subparalelo. Esta subunidad se encuentra distribuida principalmente en el sector Ruta del Sillar.

#### 4.2.2 Geoformas de carácter depositacional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales; se tienen las siguientes unidades y subunidades.

##### 4.2.2.1 Formas antropogénicas

Incluyen aquellos fenómenos que modifican o alteran de forma importante el desarrollo o manifestación de algunos de los procesos naturales (movimientos de ladera, erosión, inundaciones, procesos de sedimentación asociada, etc.) (Martín-Serrano et al., 2004), así como también aquellos que modifican el paisaje de forma drástica.

Desmante de cantera de sillar (Dc-s): Dentro de esta subunidad se han considerado los montículos de material de desmante que resulta de la explotación de bloques para construcción de viviendas en las canteras de sillar; en algunos casos, esta acumulación de material de desmante es de gran volumen, lo depositan dentro de cauces de quebradas, rellenan y cierran los mismos; ejemplo de estos depósitos podemos encontrar en la quebrada Añashuayco, sector Ruta del Sillar, distrito Cerro Colorado.

Botadero de desmante (Bot-d): Esta subunidad está conformada por los montículos resultantes de la acumulación de material de la demolición de viviendas y de residuos sólidos de actividades de construcción. Estos materiales son acumulados y no son compactados, se aprecian en la margen derecha de la quebrada Phaqcha.

## 5. PELIGROS GEOLÓGICOS

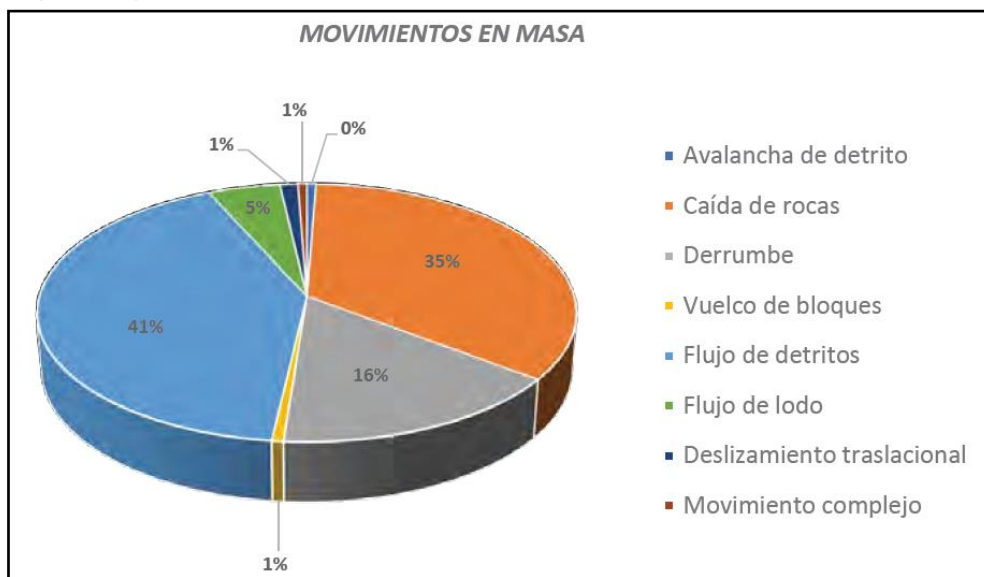
En la quebrada Añashuayco sector Ruta del Sillar se han identificado peligros geológicos por movimientos en masa y volcánicos. El primero es el resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión de los ríos, quebradas y torrenteras, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos; mientras que el segundo es consecuencia de la actividad pasada de los volcanes Misti y Chachani (cuyos depósitos volcánicos son componente principal para la generación de lahares secundarios).

### 5.1 Movimientos en masa

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos,

hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre. La meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la actividad antrópica), actúan sobre las laderas desestabilizándolas y cambian el relieve a una condición más plana (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

De acuerdo con el análisis estadístico de los peligros geológicos por movimientos en masa de la ciudad de Arequipa realizado por Vilchez, M. & Sosa, N. (2021), del total de 164 eventos inventariados (gráfico 4), se puede observar, que los flujos de detritos se encuentran, con 68 ocurrencias (41.46 %); siguen las caídas de rocas, con 57 ocurrencias (representa 34.76 % del total); los derrumbes, con 26 ocurrencias (15.85 %); flujo de lodo, con 08 ocurrencias (4.88 %); los deslizamientos traslacionales, con 02 ocurrencias (1.22 %); y finalmente están los vuelcos de bloques, avalancha de detritos y movimientos complejos, con una sola ocurrencia cada uno (0.61 %).



**Gráfico 4.** Ocurrencia de movimientos en masa en la ciudad de Arequipa. Vilchez, M. & Sosa, N. (2021),

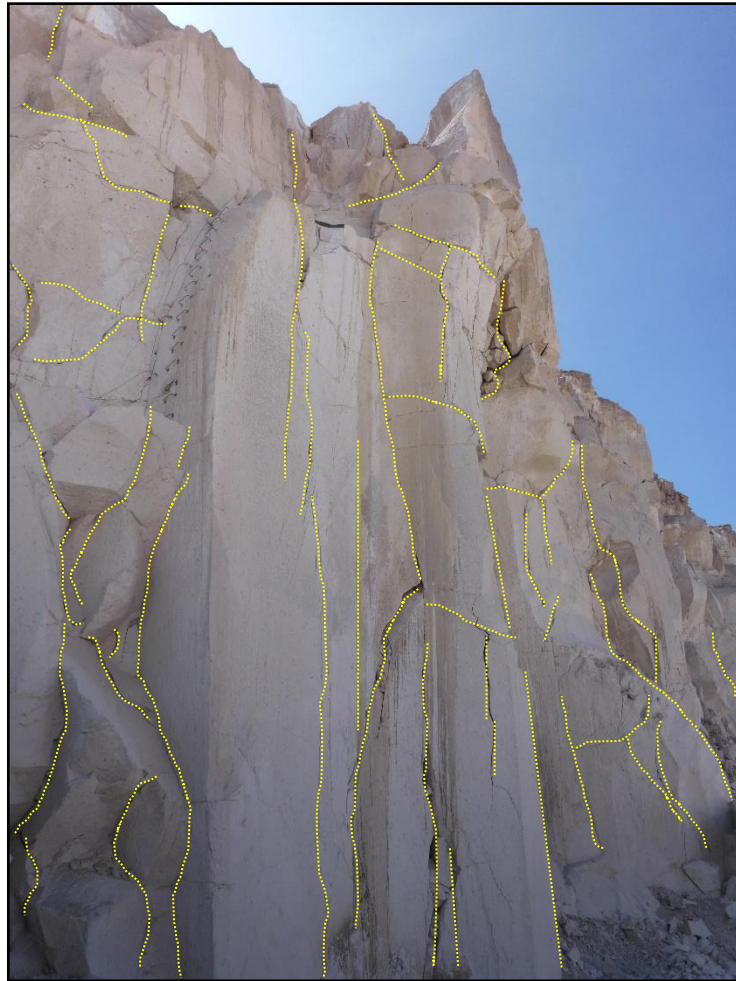
En las quebradas Añashuayco y Phaqcha sector Ruta del Sillar, se identificaron caída de rocas y derrumbes, (mapa 4) que se describen a continuación.

### 5.1.1 Caída de rocas

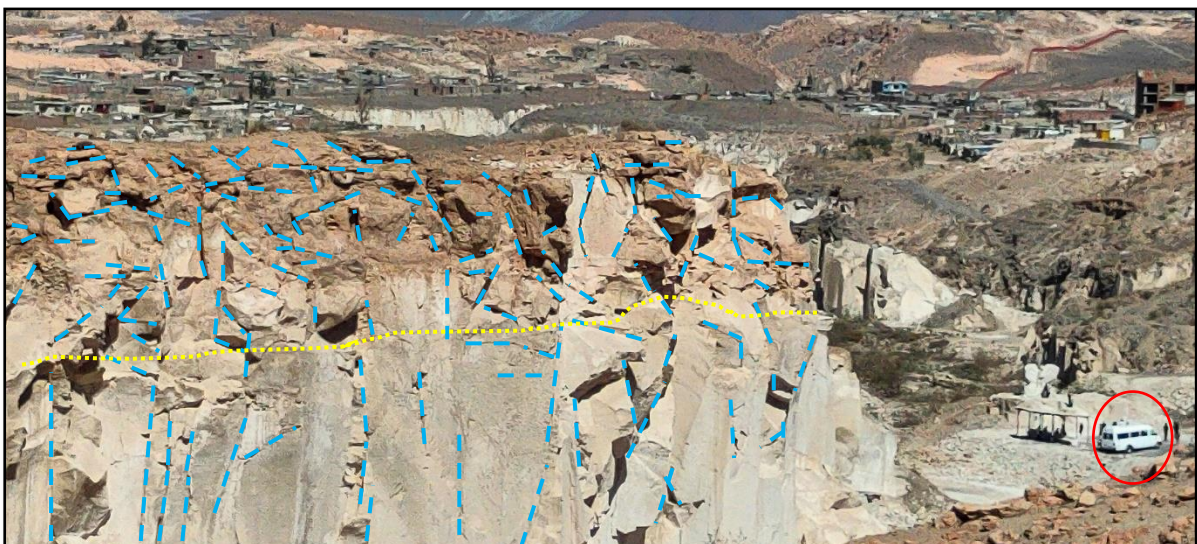
Se identificaron procesos de caída de rocas en las paredes escarpadas con inclinaciones sub verticales a verticales, formadas por la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa.

En el sector Ruta del Sillar, la unidad blanca de la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa se encuentra ligeramente meteorizada y medianamente fracturada, se observó agrietamientos y diaclasas dispuestas en su mayoría de manera vertical, en paredes con espesores de hasta 20 m (figura 16). Además, se observan bloques, cuyos tamaños varían entre 0.50 a 8 m de diámetro, mostrando un GSI entre 75 – 65 (Tabla N°3).

Asimismo, en la unidad rosada de la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, se presenta altamente meteorizada y muy fracturada, se observó agrietamientos y diaclasas dispuestas caóticamente (figura 17). Se aprecian principalmente al tope de las secuencias, expuestas a la meteorización e internismo, se observan bloques, cuyos tamaños varían entre 0.40 a 5 m de diámetro, mostrando un GSI entre 40 – 50 (tabla N°3).



**Figura 16.** Se muestra el fracturaamiento de la roca (líneas amarillas) en el sector Ruta del Sillar, Ignimbrita unidad blanca, (coordenadas UTM WGS84: 221211E, 8189503N)



**Figura 17.** Fracturas en el afloramiento de la Ignimbrita Rosada, sector Ruta del Sillar, (coordenadas UTM WGS84: 221157E, 8189418N)



**Tabla 3.** Caracterización del macizo rocoso GSI, basado en las condiciones litológicas, estructura y superficiales de las discontinuidades (fuente: modificado de Hoek, 2002)

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS					
<p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		SURFACE CONDITIONS					
		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings	
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →					
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	60	N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	60	50	40	30
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	60	50	40	30	20
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	50	40	30	20	10
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	40	30	20	10	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A				

En algunos puntos, la ignimbrita que forma las paredes del sector Ruta del Sillar, están fracturadas, estos podrían colapsar y caer frente a movimientos sísmicos, (figura 18).



**Figura 18.** Fracturas en la roca, sector Ruta del Sillar, se muestra la Ignimbrita Rosada, (coordenadas UTM WGS84: 221254E, 8189525N)

### 5.1.2 Zona de derrumbes

Se identificaron procesos de derrumbes en lugares puntuales a lo largo de la quebrada Añashuayco, en el sector Ruta del Sillar. En su gran mayoría están conformados por material de relleno y escombros, de origen antrópico.

Al pie de los derrumbes cruza una carretera carrozable, el cual es la vía principal de comunicación en el sector Ruta del Sillar, en un primer punto se calculó un tramo afectado de 70 m (figura 19) y en el segundo punto, aproximadamente 90 m del tramo viene siendo afectado, (figura 20). La zona de arranque de los derrumbes presenta forma regular, el material es de origen antrópico, se trata de material de desponte.



**Figura 19.** Se muestran los depósitos generados por los derrumbes (delimitados con líneas rojas) en el sector Ruta del Sillar, Quebrada Añashuayco, (coordenadas UTM WGS84: 220685E, 8188923N)



**Figura 20.** Derrumbes en el sector Ruta del Sillar, Quebrada Añashuayco, (coordenadas UTM WGS84: 220949E, 8189189N)

## 5.2 Peligro volcánico

El principal peligro volcánico en la quebrada Añashuayco, son los flujos de detritos (lahares secundarios). Se originan en los flancos de los volcanes, arrastrando sedimentos compuestos de depósitos piroclásticos recientes y no consolidados. Estos flujos pueden presentar muchos años después de una erupción volcánica. Típicamente se generan por infiltración de aguas de lluvia, debido a la precipitación posterior a la depositación de tefra u otros depósitos asociados a una erupción volcánica (Fuentes, D; 2015).

### 5.2.1 Flujo de detritos (lahares)

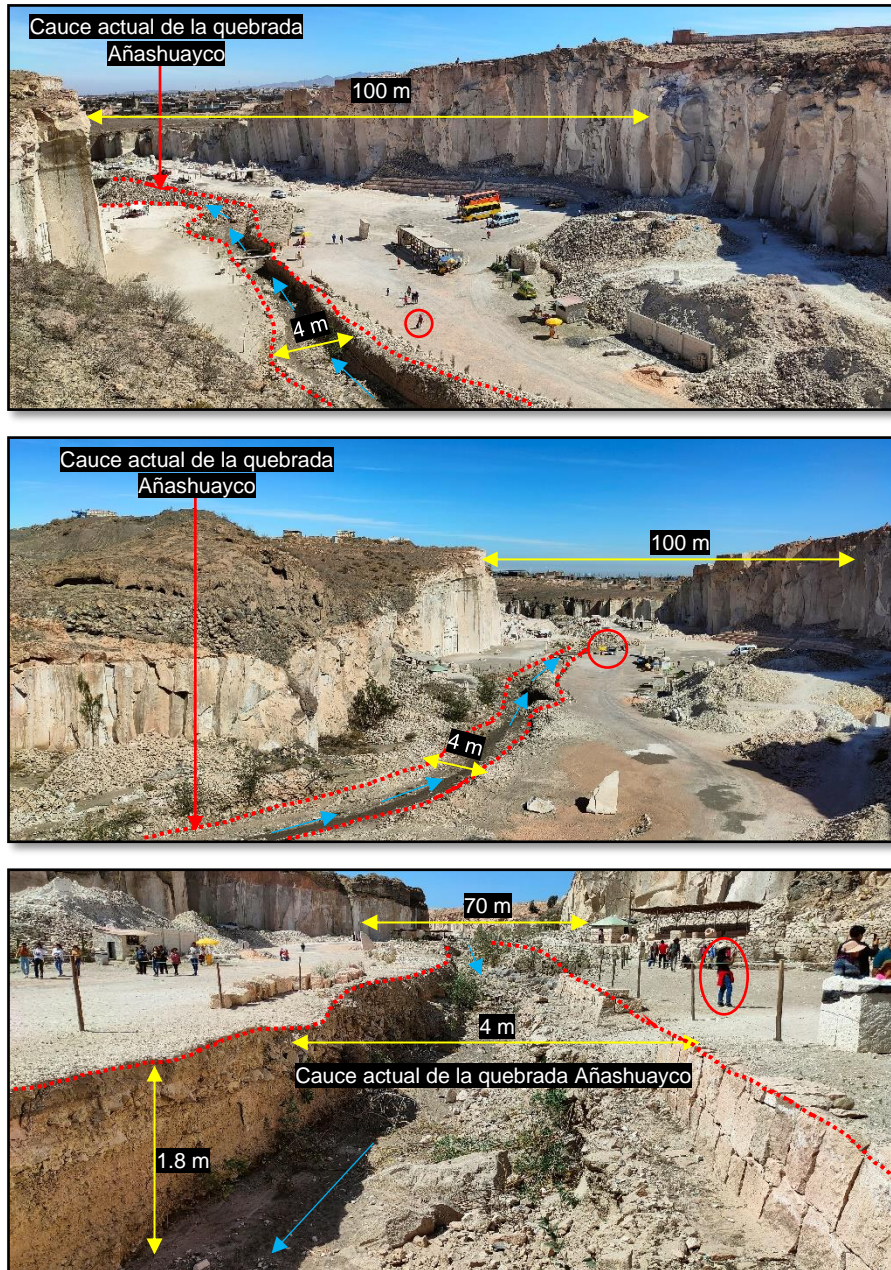
Se identificaron hasta dos depósitos de flujos de detritos, indicativo de que las quebradas en el sector Ruta del Sillar, son geodinámicamente activas frente a flujos de detritos (lahares).

Flujos de detritos (lahares) antiguos, Se aprecian suprayaciendo a la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, está conformado por bloques que varían entre (30% - 35%), gravas (45% - 40%); los bloques poseen litología heterogénea, conformado por fragmentos volcánicos hidrotermalizados, el más grandes llega a medir hasta 1 m. Todo lo mencionado se encuentra englobado en una matriz areno-limosa (15%); el depósito presenta una potencia que varía de 1 a 2 m, se encuentra consolidado.

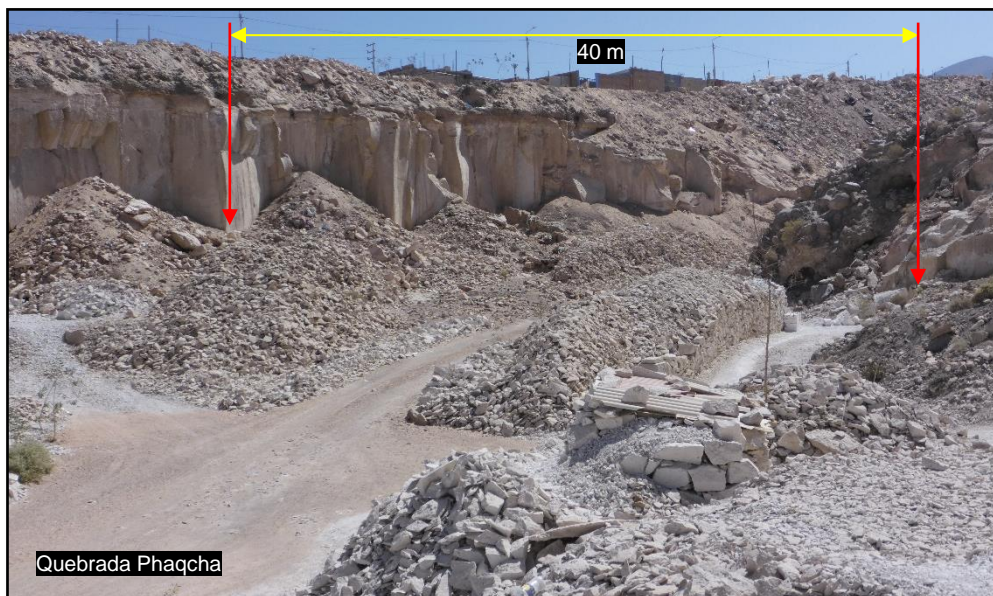
Flujos de detritos (lahares) recientes, Los depósitos se ubican en el fondo de la quebrada Añashuayco, poseen espesores de 0.14 a 0.8 m, forman secuencias que en total pueden alcanzar hasta 4 m de espesor. Están conformados por bloques (25%), gravas (45%), dentro de una matriz areno-limosa (30%). Son secuencias poco consolidados.

En Añashuayco el ancho de la quebrada varía entre 70 – 100 m, producto de la extracción del sillar y el cauce actual posee entre 4 – 5 m de ancho. Durante las épocas de lluvias intensas la quebrada es inundada en su totalidad evitando el libre tránsito.

En la quebrada Phaqa, el cauce actual no está definido, mientras que el cauce antiguo, posee entre 50 – 70 m de ancho, se ha observado abundantes escombros en el fondo de la quebrada (figura 22).



**Figura 21.** Cauce actual de la Quebrada Añashuayco



**Figura 22.** No hay cauce reciente en la Quebrada Phaqcha, (coordenadas UTM WGS84: 220944E, 8189760N)

**Reporte de flujos de detritos en la quebrada Añashuayco:** El 16 de febrero 2018, después de una intensa lluvia, 9.2 mm de precipitación según el SENAMHI, en la parte alta del distrito de Cerro Colorado, se desencadenó un flujo de detritos, que descendió por la quebrada Añashuayco (figura 23); dejó 01 persona muerta y 20 personas afectadas, según el reporte del Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD), (tablas 4 y 5)



**Figura 23.** Vista de la quebrada Añashuayco, en febrero 2018. a) Vista de los lahares que afectaron las vías de comunicación en la quebrada Añashuayco – distrito de Cerro Colorado, b), Vista del caudal del lahar cerca de las Canteras de Añashuayco- distrito Cerro Colorado. Alavi, H., 2020.

**Tabla 4.** Reporte del Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación – SINPAD.  
 ([sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt\\_eme\\_situacion\\_emergencia.asp?E\\_mergCode=00092196](http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt_eme_situacion_emergencia.asp?E_mergCode=00092196))

Estado Situacional de la Emergencia			
<b>EMERGENCIA</b>			
<b>PRECIPITACIONES LLUVIAS</b> (00092196)			
<b>Grupo Fenómeno</b>		METEOROLOGICOS, OCEANOGRAFICOS	<b>Fecha</b> 15/02/2018 15:00:00
<b>Fenómeno</b>		PRECIPITACIONES - LLUVIA	<b>Fuente</b> BRIGADISTAS Y PERSONAL DE SERENAZGO
<b>Latitud y Longitud</b>	-16,32293	<b>Longitud</b> -71,58812	<b>Usuario</b> CDDCCERROCOL04
<b>INFORME PRELIMINAR</b>			
<b>Hechos</b>	ANTE LAS LLUVIAS INTENSAS SE PRODUJO ACTIVACION DE LAS QUEBRADAS PROVOCANDO HUAYCO		
<b>Daños</b>	COMO RESULTADO DE LLUVIAS Y HUAYCO SE PRODUJO PERDIDA DE UNA VIDA HUMANA , PROVOCADA POR ARRASTRE DE UN AUTOMOVIL PARTICULAR QUE CRUZO IRREPOSABLEMENTE EL DABEN UBICADO EN LA VIA PRINCIPAL DE INGRESO A LA ASOCIACION VILLA LAS CANTERAS, VILLA SAN JUAN Y LOS PUEBLOS DEL AREA CENTRAL DEL CONO NORTE DE CERRO COLORADO , PROVOCANDO RELLENO Y COLMATACION DE LOS CAUCES DE QUEBRADA, DEBILITAMIENTO DE TALUDES LATERALES Y RIBERAS, COLMATACION DE ALCANTARILLAS CON REJILLA METALICA TIPO BOCA TORMETA, COLMATACION DE ALCANTARILLAS TIPO CANAL RECUBIERTO, COLMATACION DE ALCANTARILLAS TIPO OJO DE BUEY, DESPRENDIMIENTOS DE PLATAFORMAS CARROZABLES EN TIENRRA HACIA LOS CAUCES, ANIEGO EN VIVIENDAS Y VIAS PUBLICAS		
<b>Acciones</b>	LIMPIEZA Y DESCOLMATACION DE LOS CAUCES DE QUEBRADAS, REFORZAMIENTO DE TALUDES LATERALES Y PROTECCION DE RIBERAS, LIMPIEZA Y DESCOLMATACION DE ALCANTARILLAS CON REJILLA METALICA TIPO BOCATORMETA, LIMPIEZA Y DESCOLMATACION DE ALCANTARILLAS TIPO CANAL RECUBIERTO, LIMPIEZA Y DESCOLMATACION DE ALCANTARILLAS TIPO OJO DE BUEY, REFORZAMIENTO DE PLATAFORMA CARROZABLES EN TIERRA , PREVENCION CONTRA ANUEGO EN ZONAS URBANAS		
<b>ZONAS AFECTADAS</b>			
<b>Región</b>	<b>Provincia</b>	<b>Distrito</b>	<b>Localidad</b>
AREQUIPA	AREQUIPA	CERRO COLORADO	CONO NORTE
<b>EVALUACION DE DAÑOS GENERAL</b>   Mas Detalle			
<b>Grpo.Daño</b>	<b>Daño</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Und.Med.</b>
VIDA Y SALUD (PERSONAS)			
	FALLECIDOS	1.00	PERSONAS
	AFECTADOS	20.00	PERSONAS
VIVIENDAS Y LOCALES PUBLICOS			
	VIVIENDAS AFECTADAS	20.00	UNIDAD
<b>ACCIONES REALIZADAS</b>			
<b>Dpto.</b>	<b>Prov.</b>	<b>Dist.</b>	<b>Localidad</b>
AREQUIPA	AREQUIPA	CERRO COLORADO	CONO NORTE
15/02/2018 - 13:00:00 : -SE CULMINO LOS TRABAJOS DE LIMPIEZA Y DESCOLMATACION DE QUEBRADAS EL TRANSITO SE ENCUENTRA RESTABLECIDO. -SE ESTAN COORDINANDO LAS ACCIONES PARA EL RETIRO DE LAS VIVIENDAS UBICADA EN ZONAS DE RIESGO- LA EMERGENCIA NO AMERITA AYUDA HUMANITARIA			
15/02/2018 - 13:00:00 : -SE CULMINO LOS TRABAJOS DE LIMPIEZA Y DESCOLMATACION DE QUEBRADAS EL TRANSITO SE ENCUENTRA RESTABLECIDO. -SE ESTAN COORDINANDO LAS ACCIONES PARA EL RETIRO DE LAS VIVIENDAS UBICADA EN ZONAS DE RIESGO- LA EMERGENCIA NO AMERITA AYUDA HUMANITARIA			
<b>REQUERIMIENTO DE ATENCIÓN</b>			
<b>Item N°</b>	<b>Artículo / Bien</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Und.Med</b>

**Tabla 5.** Ocurrencias por lahares en quebradas que descienden del Complejo Volcánico Chachani.  
 Tomado de la Opinión técnica 05-2022- INGEMMET.

Fecha	Tipo de peligro	Zona	Descripción
02/02/2015	Lahar	Cerro colorado	* En el pueblo joven Santa Isabel se inundaron 38 viviendas. * Parte de la variante Uchumayo fue afectada Fuente: Enlace Nacional y América Noticias
13/01/2017	Lahar	Cerro Colorado	* En el pueblo joven Cono norte se produjo el colapso y daño de 150 viviendas, afectaron canales de riego, carreteras y puentes. * Dejo 225 personas afectadas y 3 heridos Fuente: INDECI
16/01 al 27/01 del 2017	Lahar	Cayma y Yanahuara	* Los lahares canalizaron la quebrada Chullo. Fuente: INDECI
16/01 al 27/01 del 2017	Lahar	Uchumayo	* Dejo 3 personas fallecidas a la altura del km 11, 12 y 13; y afectando más de 300 viviendas, puentes y vías de comunicación. Fuente: INDECI
02/02/2017	Lahar	Cerro Colorado	* Daños en la base de un puente de concreto Fuente: INDECI
27/02/2017	Lahar	Cerro Colorado	* Colapso de alcantarillas Fuente: INDECI
16/03/2017	Lahar	Planta Tomilla II	* En el camino conocido como Matagente o de los Muertos, se produjo los huaycos que alcanzaron una altura de 4m. Fuente: Diario La República
21/03/2017	Lahar	Cayma / Charcani Chico	* Se produjo el desborde de la represa de aguada blanca, afecto viviendas, áreas de cultivo, canales de riego y carreteras. Fuente: INDECI
15/02/2018	Lahar	Cerro Colorado y quebrada Añashuayco	* Dejo 1 persona fallecida y 1 herida, a lo largo de la quebrada afecto viviendas y vías de comunicación. Fuente: RPP Noticias
01/02/2019	Lahar	Cerro Colorado	* Se vio afectado el puente Añashuayco y algunas viviendas de las asoc. Amazonas, Pedro P. Diaz y Los Ángeles.
26/02/2020 y 13/03/2020	Lahar	Cerro Colorado y Yura	* Produjo el colapso y daño de 70 viviendas, además de afectar colegios y carreteras dejo un saldo de 32 familias damnificadas, también se afectó las canteras del Sillar de Añashuayco. Fuente: El Comercio
23/02/2020 al 25/02/2020	Lahar	Yanahuara – quebrada Chullo	* Los lahares afectaron la base de las viviendas en esta zon

## 5.2.2 Mapas de Peligros volcánicos

El Observatorio Vulcanológico del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) es una unidad funcional de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgos Geológicos del INGGEMMET que tiene como función estudiar e investigar las manifestaciones geológicas de los volcanes activos del país, para conocer su comportamiento geológico. El Observatorio Vulcanológico del INGGEMMET es un centro de investigación y monitoreo de los volcanes activos del sur del Perú, de carácter multidisciplinario, ubicado en la ciudad de Arequipa cuyo fin es determinar la naturaleza y probabilidad de la ocurrencia de una erupción volcánica; además tiene la labor de evaluar los tipos de riesgos que pueden afectar a la población y al territorio. <https://www.gob.pe/15241-instituto-geologico-minero-y-metalurgico-observatorio-vulcanologico-del-ingemmet-ovi>.

Uno de los principales productos del OVI, son los mapas de peligros volcánicos. Para nuestra zona de interés emplearemos el mapa de peligros por caída de ceniza del volcán Misti y el mapa de peligros por lahares del complejo volcánico Chachani.

### Mapa de peligros volcánico por lahares del complejo volcánico Chachani

En el Informe Técnico A7343 “Evaluación de peligro geológico por lahares (huaicos) en el distrito de Cerro Colorado, Provincia Arequipa, Departamento Arequipa”; INGGEMMET (2022), muestra las quebradas del distrito de Cerro Colorado que pueden verse afectadas por la generación de lahares. Por lo cual, se extrae información para nuestra área de estudio, el cual se muestra en un mapa N° 5 (Anexo 1).

La zona roja es considerada de alto peligro, y corresponde a la zona de mayor posibilidad de ser afectada por lahares poco voluminosos asociados a erupciones de baja a moderada magnitud y/o por lahares secundarios que se generan por precipitaciones intensas de lluvias en las partes altas de las quebradas, este tipo de lahares también se consideran (sin eruptivos) (figura 24). La zona naranja, denominada de moderado peligro, puede ser afectada por lahares de moderado volumen y la zona amarilla, es la zona considerada de bajo peligro o de menor posibilidad de ser afectada por lahares muy voluminosos. Los lahares voluminosos podrían estar asociados a erupciones de gran magnitud. Se debe recalcar que la posibilidad de ocurrencia de tales erupciones es baja o muy baja.



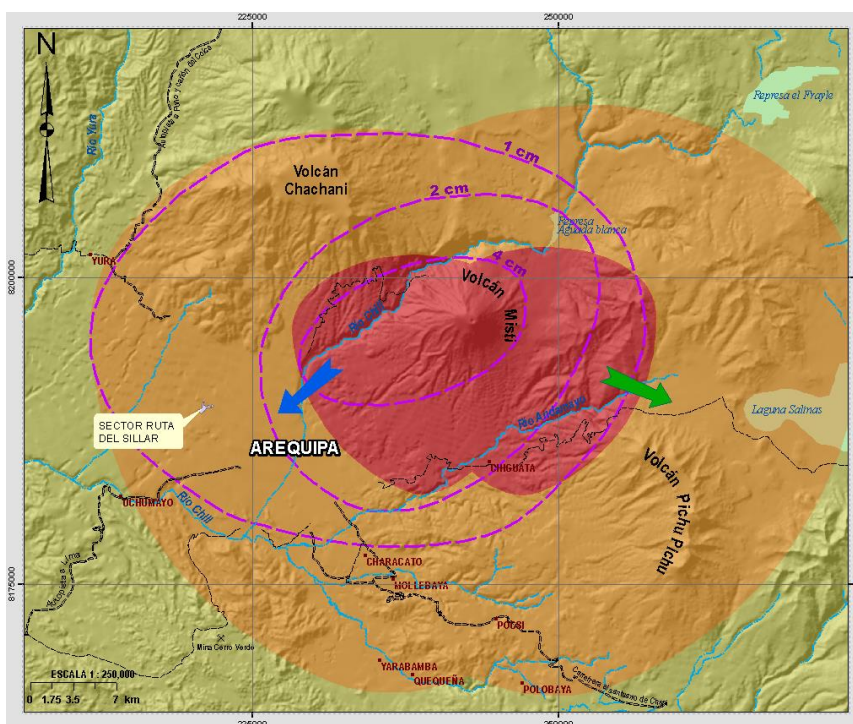
Figura 24. Zonación por afectación de lahares



## Mapa de peligros por caídas de ceniza para una erupción de magnitud baja (IEV 2), del volcán Misti

El mapa de peligros por caídas de piroclastos para una erupción de magnitud baja del volcán Misti se realizó en base a un escenario de erupción de tipo vulcaniano con IEV 2. Se estima que en el volcán Misti ocurren erupciones vulcanianas con IEV 1-2 cada 500 a 1500 años, aproximadamente, (figura 25). Publicado por Mariño et al., (2016).

Para delimitar las zonas con diferentes grados de peligrosidad, se utilizó como referencia el mapa de isópacas de ceniza de la erupción del volcán Misti del siglo XV. Para la construcción de este mapa también se consideraron las direcciones y velocidades predominantes de los vientos, quienes controlan la dirección preferente de dispersión de las cenizas. Las direcciones de vientos fueron determinadas por especialistas del Instituto Geofísico del Perú, mediante el análisis de datos NCEP/NCAR, para el período 1979-1998. Se consideraron alturas de vientos a 5865, 9690 y 10960 msnm. Durante el año se tienen dos direcciones preferentes: entre los meses de abril y octubre se dirigen preferentemente en dirección E, SE y SSE; mientras que entre noviembre y marzo se dirigen principalmente en dirección O, SO y SSO.



**Figura 25.** Mapa de peligros por caídas de ceniza para una erupción de magnitud baja, con IEV 2. Ha sido elaborado a escala 1/250000. Mariño et al., (2016).

Se describe la zonificación de peligros por caída de ceniza:

**Zona de alto peligro (rojo):** La zona de alto peligro, de color rojo en el mapa, puede ser afectada por caídas de ceniza de más de 4 cm de espesor, durante erupciones de magnitud baja con IEV 2.

Para delimitar esta zona de alto peligro, se utilizó como referencia el mapa de isópacas de ceniza de las erupciones del volcán Misti del siglo XV, Thouret et al., (2001). En el mapa en mención, la isópaca de 4 cm de espesor pasa a 15 km al SO, aproximadamente. Esta máxima distancia fue proyectada en las distintas direcciones de vientos obtenidos. Mariño et al., (2016).

**Zona de moderado peligro (naranja):** La zona de moderado peligro, de color naranja en el mapa, puede ser afectada por caídas de ceniza de más de 1 cm de espesor, durante erupciones de magnitud baja con IEV 2.

Para delimitar esta zona de moderado peligro, se utilizó como referencia el mapa de isópacas de ceniza de las erupciones del volcán Misti del siglo XV, Thouret et al., (2001). En el mapa en mención, la isópaca de 1 cm de espesor pasa a una distancia máxima de 30 km al oeste del volcán. Mariño et al., (2016).

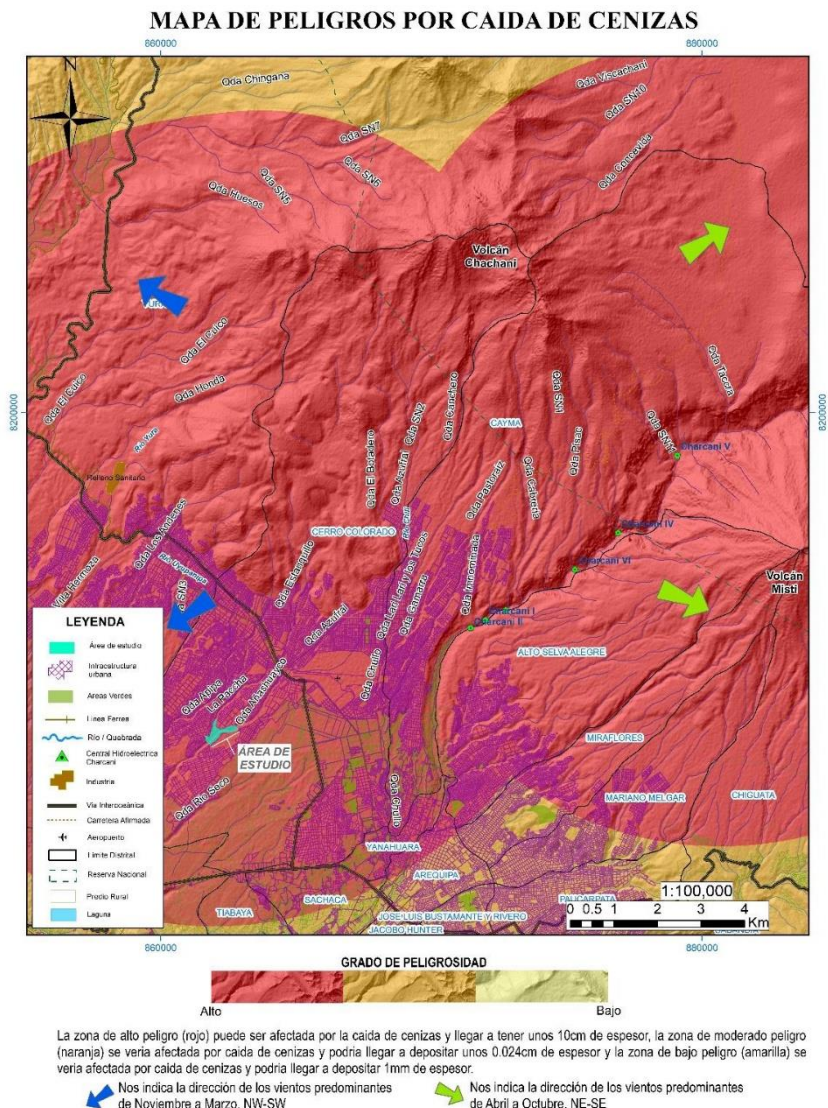
**Zona de bajo peligro (amarillo):** La zona de bajo peligro, de color amarillo en el mapa, puede ser afectada por caídas de cenizas de menos de 1 cm de espesor, durante erupciones de magnitud baja con IEV 2.

Para delimitar esta zona de bajo peligro también se utilizó como referencia el mapa de isópacas de ceniza de las erupciones del volcán Misti del siglo XV, Thouret et al., (2001), así como el procedimiento descrito en el acápite anterior. Mariño et al., (2016).

Con base al mapa de peligros por caídas de ceniza para una erupción de magnitud baja (IEV 2), del volcán Misti, El sector denominado Ruta del Sillar, se ubica en la zona de color rojo ver mapa N° 6 (Anexo 1).

A diferencia del Misti, el complejo volcánico Chachani es considerado como un volcán potencialmente activo, por lo cual, la probabilidad de una erupción es muy baja; sin embargo, no se debe descartar una reactivación. Por ello, también se ha elaborado un mapa de peligros por caída de tefras. Ambas quebradas se encuentran a 19 km hacia el suroeste del Chachani y ante una probable erupción la zona de estudio se encontraría en una zona de alto peligro. INGEMMET Opinión Técnica 05-2022. (figura 26).

**Figura 26.** El proyecto “Creación del parque temático del sillar y circuito turístico de las canteras del sillar de Añashuayco del Distrito de Cerro Colorado, Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa” se encuentra en una zona de alto peligro frente a la caída de ceniza volcánica por erupción del Chachani.



INGEMMET Opinión Técnica 05-2022.

### **5.3 Factores condicionantes**

#### **Movimientos en masa**

- Presencia de la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, conformada por una unidad inferior ligeramente meteorizada y medianamente fracturada y una superior altamente meteorizada y muy fracturada. Asimismo, los depósitos de: a) flujo de detritos (lahares) recientes, caracterizados por ser poco consolidado, b) volcanoclásticos no consolidado y c) antropogénicos no consolidados.
- Para caída de rocas y derrumbes, pendientes abruptos del terreno, muy fuerte (25° - 45°) a escarpados (> 45°) en las paredes de ignimbrita.
- La geomorfología del área evaluada, representada por superficie de flujo piroclástico degradada; cantera de sillar y botadero de desmonte, susceptibles para ser removidos por efectos de la gravedad y pendiente.

#### **Peligro volcánico**

- Proximidad a los volcanes Misti y al complejo volcánico Chachani, situados a 23 km y 19 km respectivamente. El sector La Ruta del Sillar, se ubica en el cauce de una de las principales quebradas que desciende del complejo volcánico Chachani.
- Para los flujos de detritos (lahares), pendientes variables desde inclinados suavemente (1° - 5°) a moderados (5° - 15°), en la zona urbana.

### **5.4 Factores desencadenantes**

#### **Movimientos en masa**

- Lluvias intensas, prolongadas o extraordinarias (según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, el período de lluvia en la sierra de Perú se da entre los meses de diciembre a abril), las aguas saturan los terrenos, aumentando el peso del material inestables. Los flujos de detritos (huaico) también son generados por lluvias intensas y/o prolongadas.  
La estación La Pampilla a registrado precipitaciones máximas que pueden llegar a 125 mm, precipitación intermedia de 50 mm y la precipitación mínima de 25 mm según los registros entre 1931 al 2020.
- Los movimientos sísmicos pueden generar deslizamientos y derrumbes. Según el diseño sismorresistente, del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo N°011-2006-vivienda. La zona evaluada se ubica en la zona 3, con un factor Z de 0.35. "El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

#### **Peligro volcánico**

- Actividad volcánica, el Misti es catalogado como un volcán activo, (Fuente: [http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page\\_id=58](http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page_id=58))
- En volcán Chachani es catalogado como un volcán potencialmente activo, (Fuente: <http://ovi.ingemmet.gob.pe>)

## **CONCLUSIONES**

1. En el área evaluada aflora la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, en las quebradas Añashuayco y Phaqcha, está conformada por una unidad inferior de color blanquecina, ligeramente meteorizada y medianamente fracturada y una superior de color rosada, altamente meteorizada y muy fracturada; que genera caída de rocas o derrumbes.
2. Se tienen depósitos de flujo de detritos (lahares) antiguos, caracterizados por ser consolidado. Asimismo, se aprecian depósitos no consolidados pertenecientes a flujos de detritos (lahares) recientes; volcanoclásticos conformado por niveles ricos en bloques, gravas y nivel de ceniza volcánica de color gris y antropogénicos, representado por acumulación de escombros en la margen derecha de la quebrada Phaqcha, así como en el cauce de las quebradas Añashuayco y Phaqcha. Estos últimos tres tipos de depósitos alimentan las quebradas, lo que contribuye con la generación de flujos de detritos (lahares).
3. Los peligros geológicos identificados corresponden a movimientos en masa (de tipo: caída de rocas y derrumbes); así como peligros volcánicos de tipo flujos de detritos (lahares) y caída de ceniza.
4. Se identificaron dos depósitos de flujos de detritos, indicativo de que las quebradas en el sector Ruta del Sillar, son geodinámicamente activas frente a flujos de detritos (lahares).
  - Flujos de detritos (lahares) antiguos, se aprecian suprayaciendo a la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, está conformado por bloques que varían entre (30% - 35%), gravas (45% - 40%) y matriz areno-limoso (15%). Los bloques poseen litología heterogénea, conformado por fragmentos volcánicos hidrotermalizados, el más grandes llegan a medir hasta 1 m, el depósito presenta una potencia que varía de 1 a 2 m, se encuentra consolidado.
  - Flujos de detritos (lahares) recientes, los depósitos se ubican en el fondo de la quebrada Añashuayco, poseen espesores de 0.14 a 0.8 m, forman secuencias que en total pueden alcanzar hasta 4 m de espesor. Están conformados por bloques (25%), gravas (45%), dentro de una matriz areno-limoso (30%). Son secuencias poco consolidados.
5. El ancho del cauce antiguo de la quebrada Añashuayco varía entre 70 – 100 m, esto debido a los trabajos de extracción de sillar; en la actualidad este se ha canalizado y posee entre 4 a 5 m, el cual fue definido por los flujos de detritos más recientes.
6. En la quebrada Phaqcha, el cauce actual no está definido, mientras que el ancho del cauce antiguo posee entre 50 – 70 m, se ha observado abundantes depósitos escombros en el fondo de la quebrada.
7. Las vías que cruzan la quebrada se encuentran sobre rellenos de material, ello podría embalsar temporalmente los flujos, aumentando el volumen y poder destructivo de los mismos.
8. Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros por movimientos en masa son:

- Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, conformada por una unidad inferior ligeramente meteorizada y medianamente fracturada y una superior altamente meteorizada y muy fracturada, que generan caída de rocas y derrumbes. Asimismo, depósitos no consolidados pertenecientes a flujos de detritos (lahares) recientes; volcanoclásticos y antropogénicos. Estos últimos tres tipos de depósitos alimentan las quebradas, lo que contribuye con la generación de flujos de detritos (lahares).
- Para caída de rocas y derrumbes, pendientes abruptos del terreno, muy fuerte (25° - 45°) a escarpados (> 45°) en las paredes de ignimbrita.
- La geomorfología del área evaluada, representada por superficie de flujo piroclástico degradada; cantera de sillar y botadero de desmonte, susceptibles para ser removidos por efectos de la gravedad y pendiente

9. Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros volcánicos son:

- Proximidad a los volcanes Misti y al complejo volcánico Chachani, situados a 23 km y 19 km. El sector La Ruta del Sillar, se ubica en el cauce de una de las principales quebradas que desciende del complejo volcánico Chachani.
- Para los flujos de detritos (lahares), pendientes variables desde inclinados suavemente (1° - 5°) a moderados (5° - 15°), en la zona urbana.

10. En base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el área evaluada se considera de **Peligro Moderado** por movimientos en masa. En el área podrían ocurrir derrumbes y caída de rocas, desencadenados por movimientos sísmicos y precipitaciones fluviales.

11. Desde el punto de vista de peligros volcánicos, el sector se considera de **Peligro Alto**, porque por el cauce de las quebradas pueden descender lahares, en temporadas de lluvias.

12. En caso de erupción del volcán Misti, para un escenario de una erupción de magnitud baja (IEV 2); el sector denominado Ruta del Sillar podría ser afectado por caída de cenizas.

13. A fin de emplear adecuadamente los terrenos en el sector Ruta de Sillar, para la construcción de infraestructura alguna; antes de su ocupación, se debe implementar las medidas detalladas en el Anexo N° 2, además de esperar los resultados del estudio de evaluación de riesgos prospectivo. (EVAR).

## RECOMENDACIONES

1. Canalizar y encauzar el cauce de la quebrada Añashuayco a fin de controlar y derivar los flujos de detritos (huaicos) y no causen daños. Para determinar el ancho y profundidad del canal, se debe realizar una estimación de capacidad máxima, en base al cálculo volumétrico de los flujos de detritos para lluvias extremas.
2. Construir puente y/o pase peatonal en las quebradas Añashuayco y Phaqcha, para evitar daños a la integridad física de las personas.
3. Sensibilizar a la población a través de talleres y charlas, con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos. Para evitar construcción de viviendas o infraestructura en áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.
4. Realizar limpieza del cauce de la quebrada, retirar los rellenos empleados para el cruce de vehículos.
5. Forestar los bordes del cauce de la quebrada.
6. Realizar evaluaciones de riesgos prospectivo (EVAR). Cuyos estudios deben ser ejecutados por un evaluador de riesgos acreditado.
7. Tomar en cuenta las conclusiones y recomendaciones de la opinión técnica 05-2022-INGEMMET.



Segundo A. Núñez Juárez  
Jefe de Proyecto-Act. 11



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

## BIBLIOGRAFÍA

Luque, G. & Rosado, M. (2014) - Zonas críticas por peligros geológicos en la región Arequipa. Primer reporte informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 110 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2015>

Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K. (2021) - Peligro geológico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 81, 300 p., 9 mapas <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3160>

Vilchez, M. & Sosa, N. (2021) - Peligro geológico por movimientos en masa en la ciudad de Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 85, 236 p., 5 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3186>

Alavi, H., 2020. Evaluación de peligro por ocurrencia de lahares (flujos de lodo) en el complejo volcánico chachani-arequipa. Realizo una descripción de los depósitos de lahares en la quebrada Añashuayco, quebradas que desciende desde el volcán Chachani

Fermet., N. 2020. "Rutas del sillar" Geosite for geohazard resilience in local communities of Arequipa, Peru. En el estudio se hace una caracterización de las unidades de la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, así como de los depósitos de los flujos de detritos (lahares)

Para el análisis geológico se tomó como referencia el mapa geológico del cuadrángulo Arequipa (33s2). a escala 1: 50 000, elaboradas por el Ingemmet, en convenio con la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Corominas, J. & García Y agüe A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. I V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3,1051-1072

Evans, S. G., y Hungr, O., (1993). The análisis of rock fall hazard at the base of talus slope: Canadian Geotechnical Journal, v. 30p.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. Ingeniería Geológica. 2002 (1ra. Ed); 2004 (2da. Ed); 2009 (3ra. Ed) Prentice Hall Pearson Educación, Madrid, pp 750.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en Masa en la Departamento Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ad, Landslides analisis and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 176, p. 9-33

Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa generado por el Ingemmet (<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>), demuestra un peligro medio a alto en el anexo Yalagua.

## **ANEXO 1 MAPAS**

Se presenta los siguientes mapas:

Mapa N°1. Geología de la quebrada Añashuayco, sector ruta del sillar. Modificado del mapa geológico del cuadrángulo Arequipa (33s2). a escala 1: 50 000.

Mapa N°2. Pendientes de la quebrada Añashuayco, sector ruta del sillar.

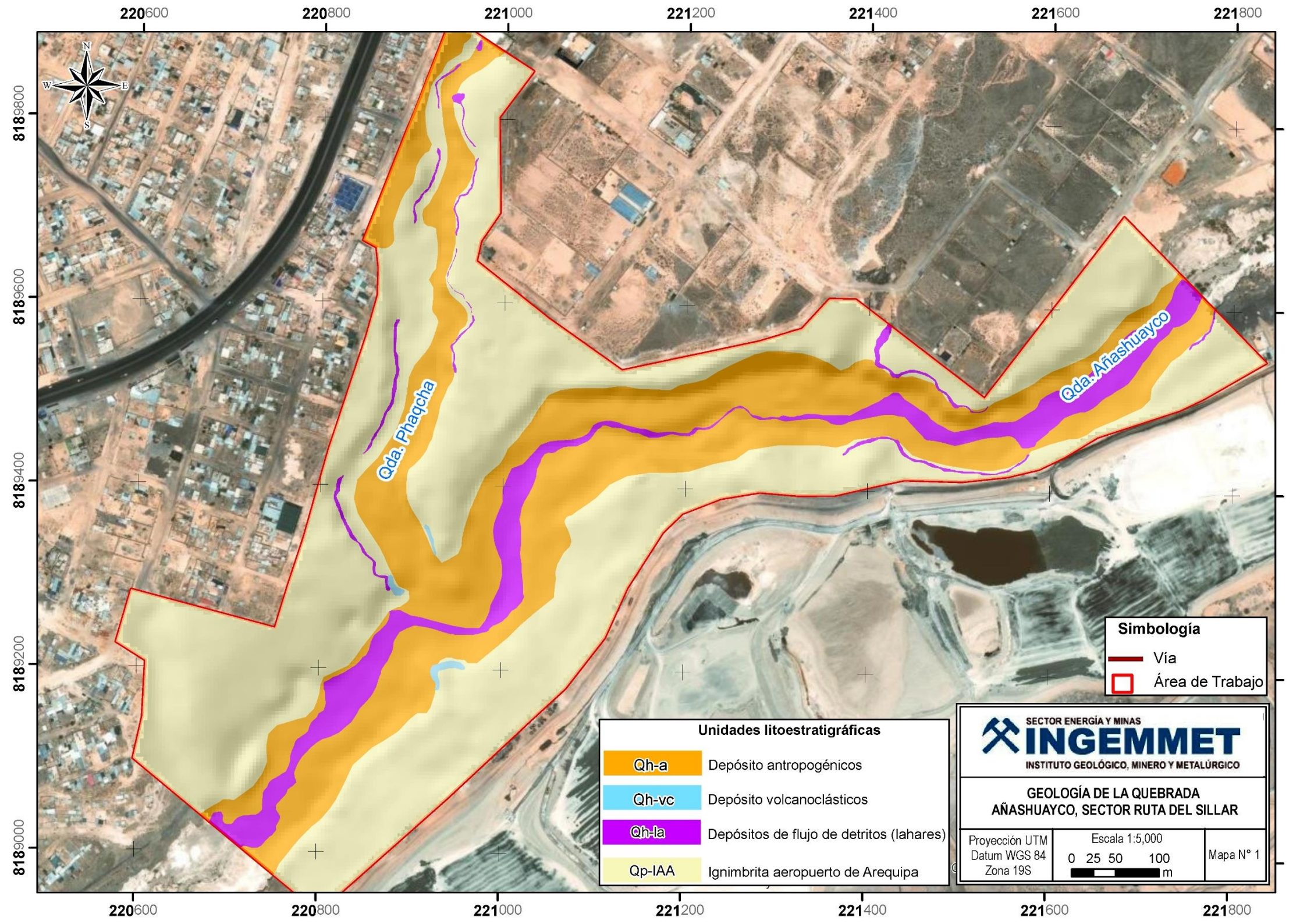
Mapa N°3. Geomorfología de la quebrada Añashuayco, sector ruta del sillar.

Mapa N°4. Cartografía de peligros de la quebrada Añashuayco, sector ruta del sillar.

Mapa N°5. Peligros volcánicos por lahares del complejo volcánico Chachani.

Mapa N°6. Peligros por caídas de ceniza para una erupción de magnitud baja (IEV 2), del volcán Misti





**Simbología**

	Via
	Área de Trabajo

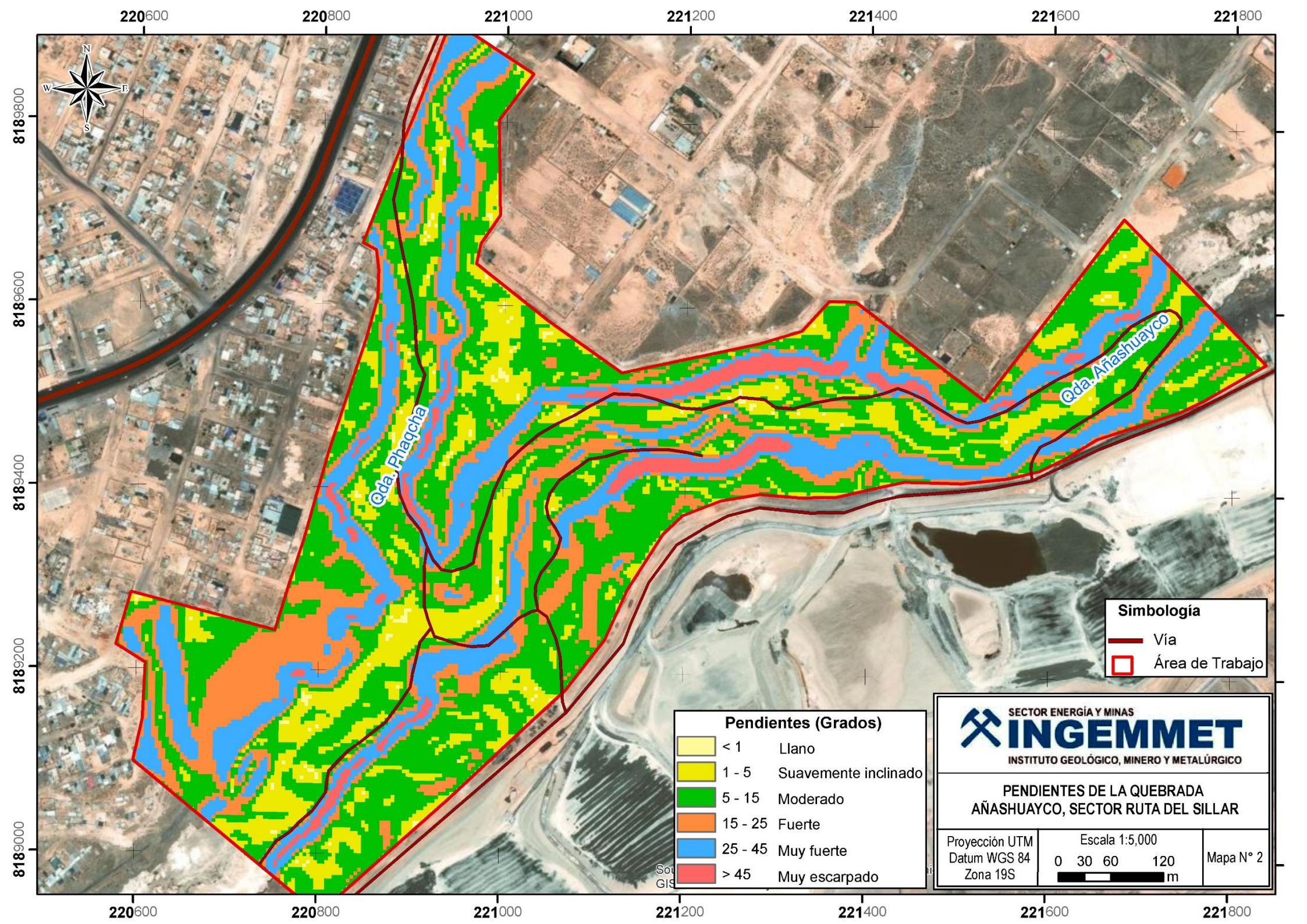
**Unidades litoestratigráficas**

	Qh-a	Depósito antropogénicos
	Qh-vc	Depósito volcanoclásticos
	Qh-la	Depósitos de flujo de detritos (lahares)
	Qp-IAA	Ignimbrita aeropuerto de Arequipa

**SECTOR ENERGÍA Y MINAS**  
  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

**GEOLOGÍA DE LA QUEBRADA  
 AÑASHUAYCO, SECTOR RUTA DEL SILLAR**

Proyección UTM	Escala 1:5,000	Mapa N° 1
Datum WGS 84	0 25 50 100	
Zona 19S	m	



**Simbología**

- Vía
- Área de Trabajo

**Pendientes (Grados)**

	< 1	Llano
	1 - 5	Suavemente inclinado
	5 - 15	Moderado
	15 - 25	Fuerte
	25 - 45	Muy fuerte
	> 45	Muy escarpado



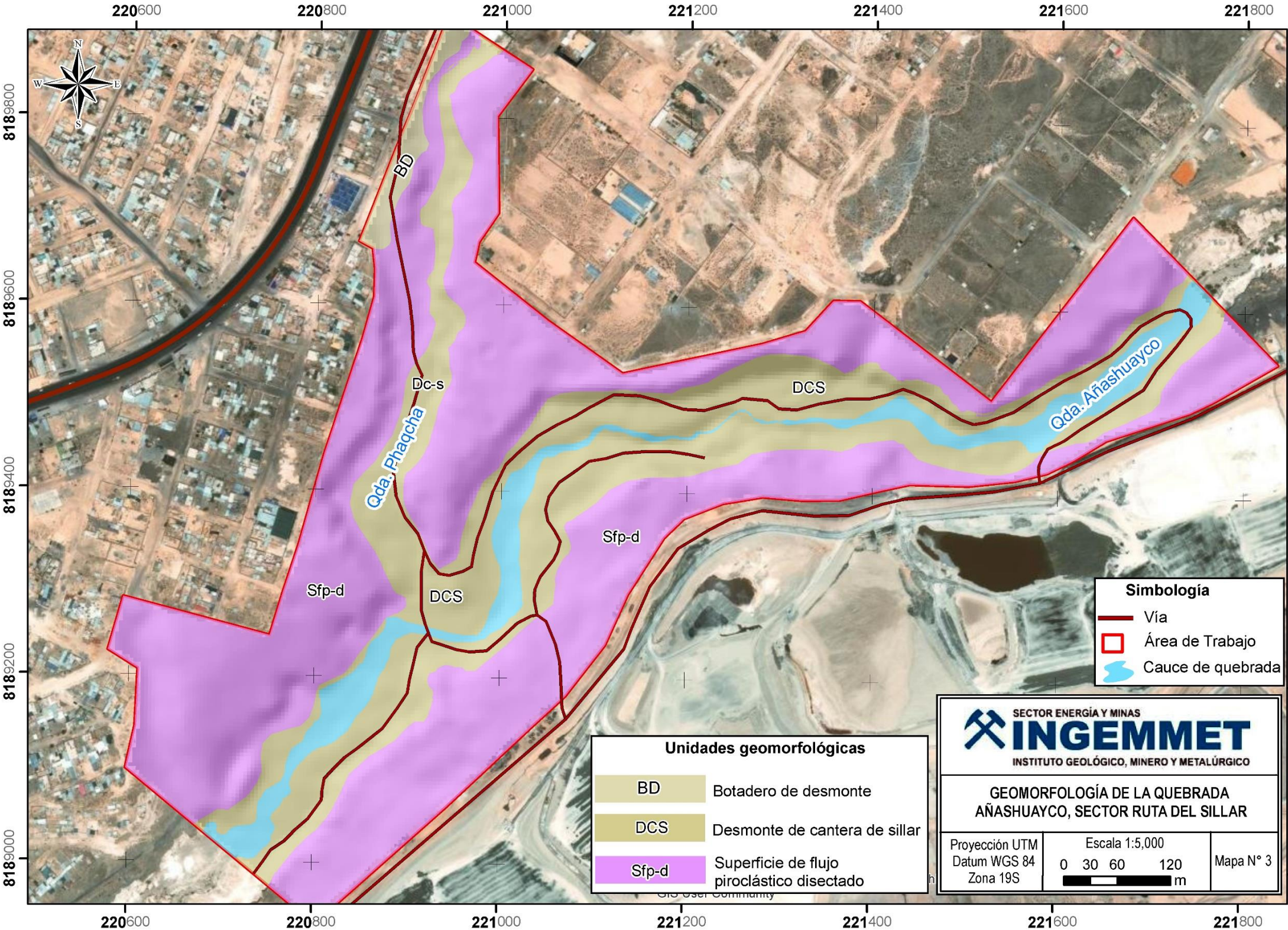
**SECTOR ENERGÍA Y MINAS**  
**INGEMMET**  
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

---

**PENDIENTES DE LA QUEBRADA  
AÑASHUAYCO, SECTOR RUTA DEL SILLAR**

Proyección UTM	Escala 1:5,000	Mapa N° 2
Datum WGS 84	0 30 60 120	
Zona 19S	 m	

Sot. GIS



220600 220800 221000 221200 221400 221600 221800

8189800  
8189600  
8189400  
8189200  
8189000



BD

Qda. Phaqcha  
Dc-s

DCS




Qda. Añashuayco



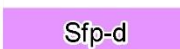
Sfp-d

Sfp-d

DCS

**Simbología**

-  Vía
-  Área de Trabajo
-  Cauce de quebrada

Unidades geomorfológicas	
	BD Botadero de desmonte
	DCS Desmonte de cantera de sillar
	Sfp-d Superficie de flujo piroclástico disectado

**SECTOR ENERGÍA Y MINAS**  
  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

**GEOMORFOLOGÍA DE LA QUEBRADA AÑASHUAYCO, SECTOR RUTA DEL SILLAR**

Proyección UTM	Escala 1:5,000	Mapa N° 3
Datum WGS 84	0 30 60 120	
Zona 19S	 m	

220600 220800 221000 221200 221400 221600 221800

220600

220800

221000

221200

221400

221600

221800



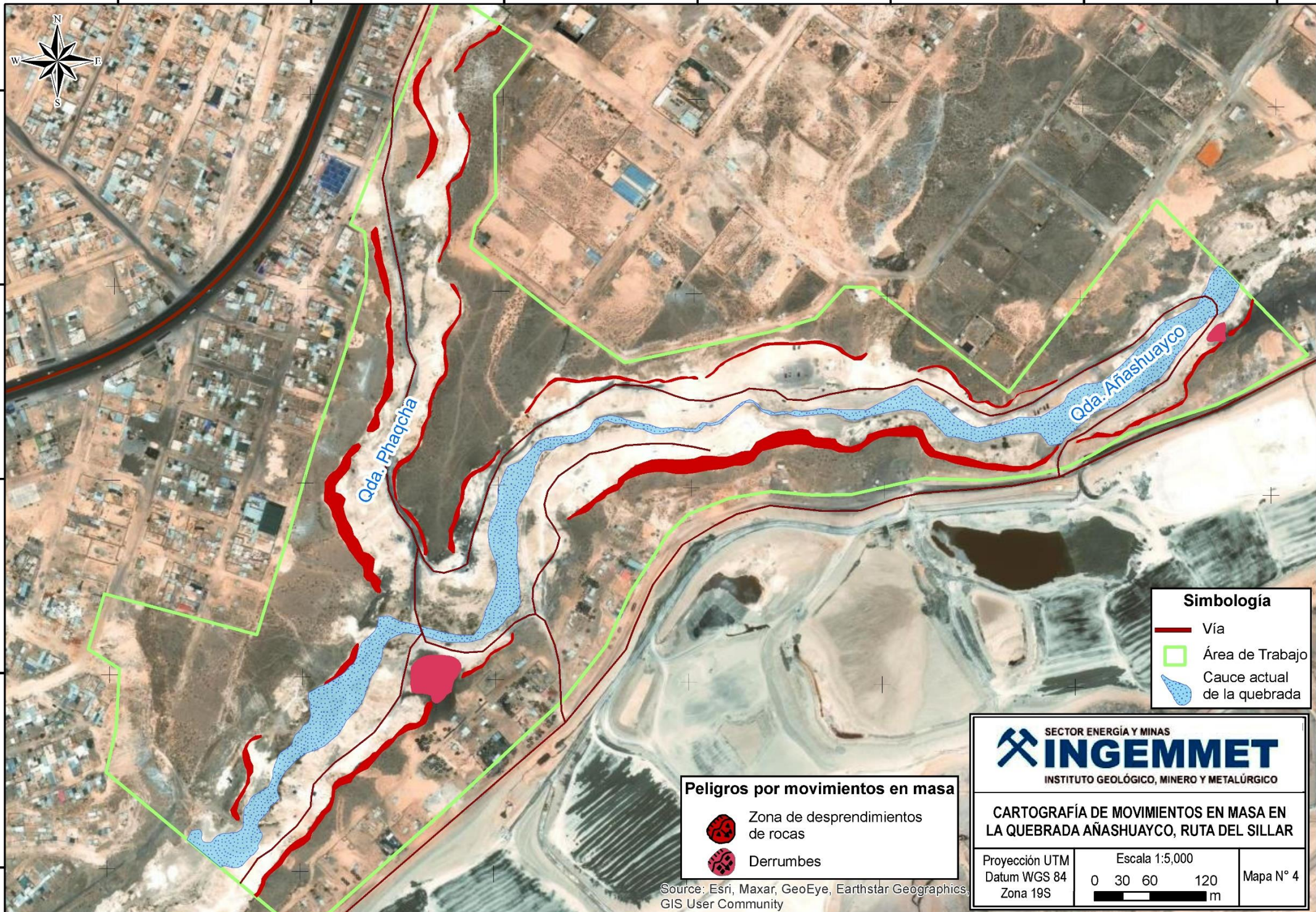
8189800

8189600

8189400

8189200

8189000



Qda. Phaqcha

Qda. Añashuayco

**Simbología**

- Vía
- Área de Trabajo
- Cauce actual de la quebrada

**Peligros por movimientos en masa**

- Zona de desprendimientos de rocas
- Derrumbes

**SECTOR ENERGÍA Y MINAS**  
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

**CARTOGRAFÍA DE MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA AÑASHUAYCO, RUTA DEL SILLAR**

Proyección UTM  
 Datum WGS 84  
 Zona 19S

Escala 1:5,000

0 30 60 120 m

Mapa N° 4

Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, GIS User Community

220600

220800

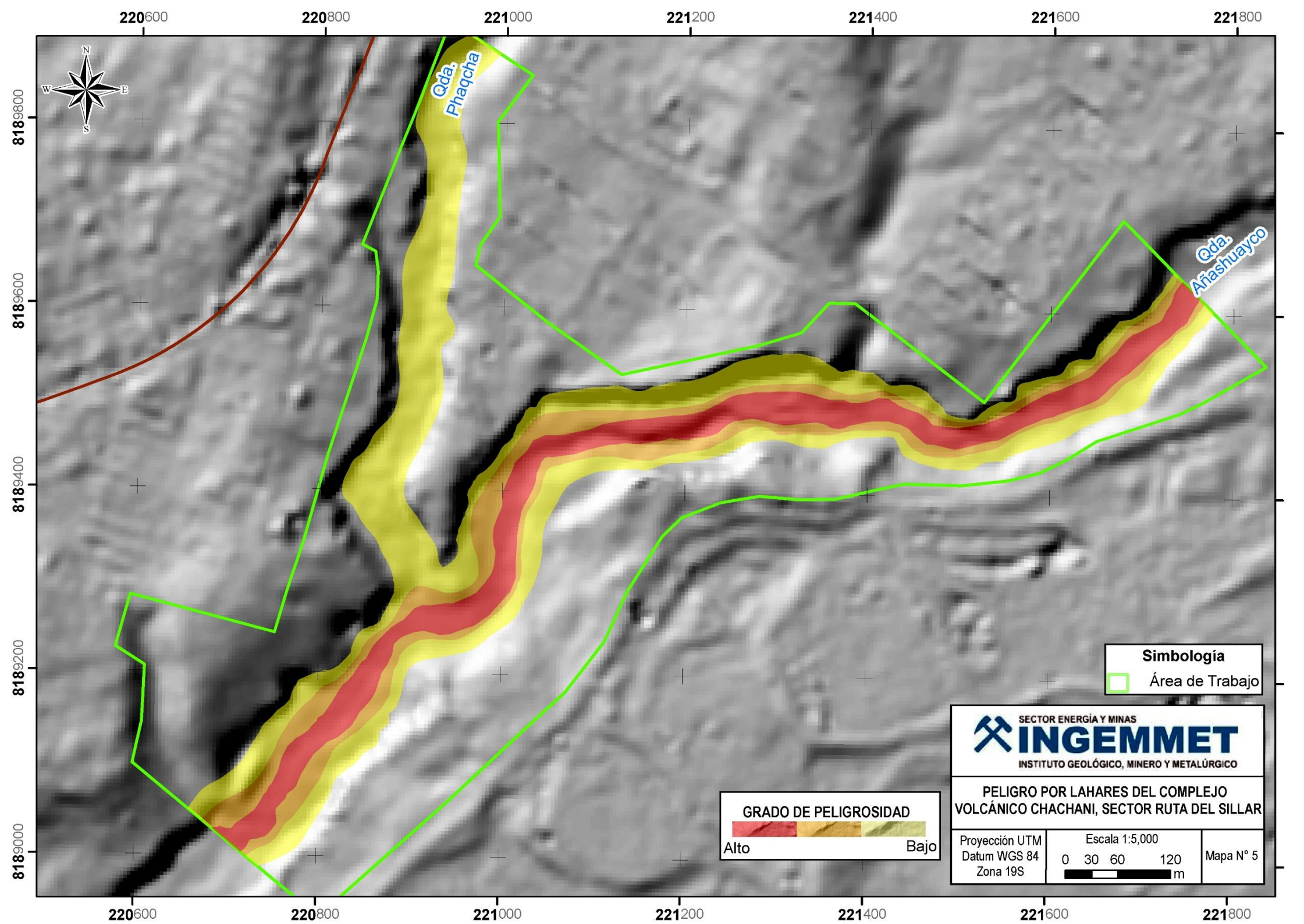
221000

221200

221400

221600

221800



220600 220800 221000 221200 221400 221600 221800

8189800  
8189600  
8189400  
8189200  
8189000



Qda.  
Phaqcha

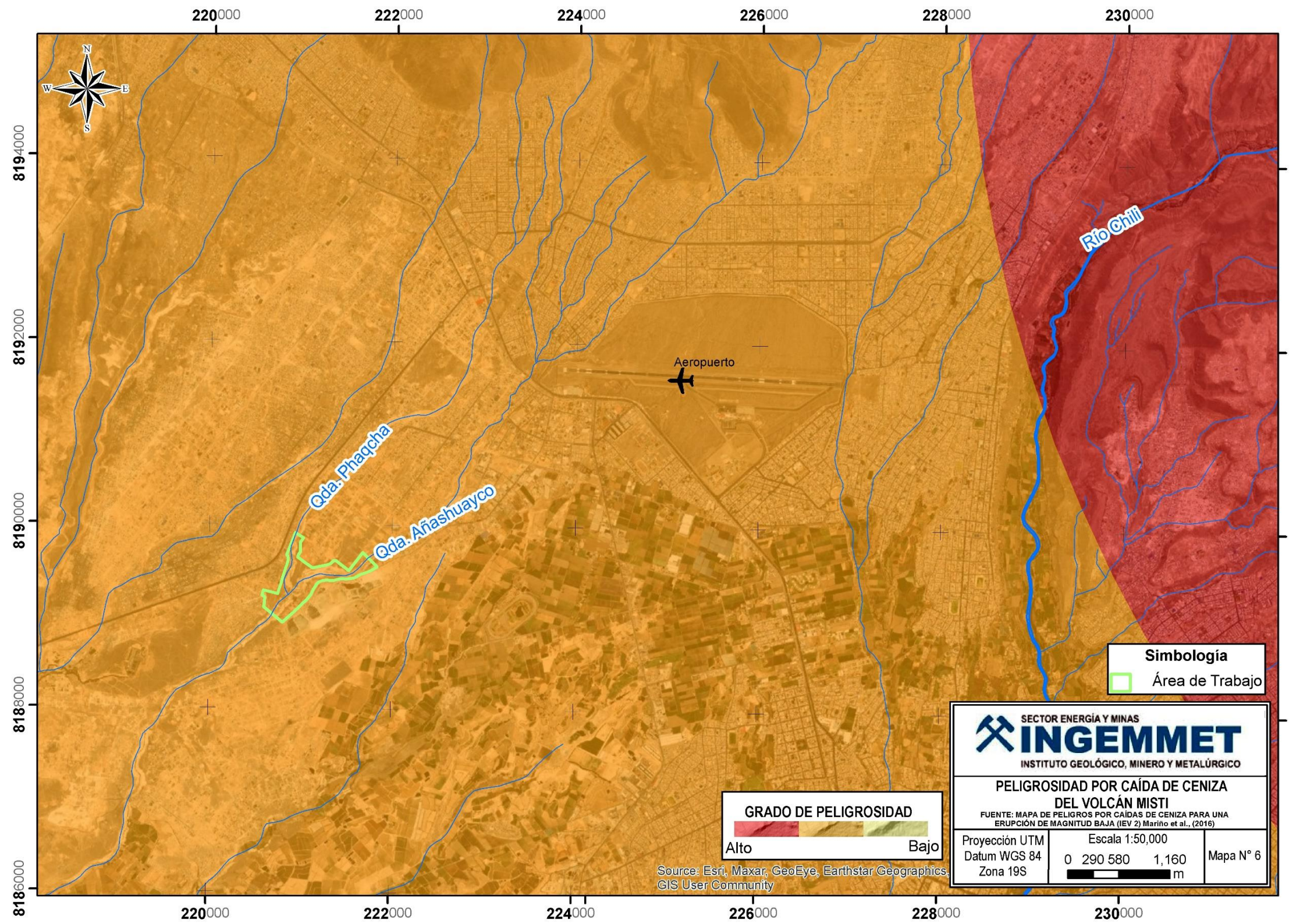
Qda.  
Añashuayco

**Simbología**  
 Área de Trabajo

**GRADO DE PELIGROSIDAD**  
    
 Alto Bajo

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS <b>INGEMMET</b> INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO		
<b>PELIGRO POR LAHARES DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CHACHANI, SECTOR RUTA DEL SILLAR</b>		
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:5,000 0 30 60 120  m	Mapa N° 5

220600 220800 221000 221200 221400 221600 221800



220000

222000

224000

226000

228000

230000

8194000

8192000

8190000

8188000

8186000



Aeropuerto

Qda. Phaqcha

Qda. Añashuayco

Río Chili

**Simbología**  
 Área de Trabajo

**GRADO DE PELIGROSIDAD**

Alto			Bajo

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO		
<b>PELIGROSIDAD POR CAÍDA DE CENIZA                  DEL VOLCÁN MISTI</b>		
FUENTE: MAPA DE PELIGROS POR CAÍDAS DE CENIZA PARA UNA ERUPCIÓN DE MAGNITUD BAJA (IEV 2) Mariño et al., (2016)		
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:50,000 0 290 580 1,160  m	Mapa N° 6

Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, GIS User Community

220000

222000

224000

226000

228000

230000

## **ANEXO 2 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN**

### **Medidas a implementar antes de la construcción de alguna infraestructura.**

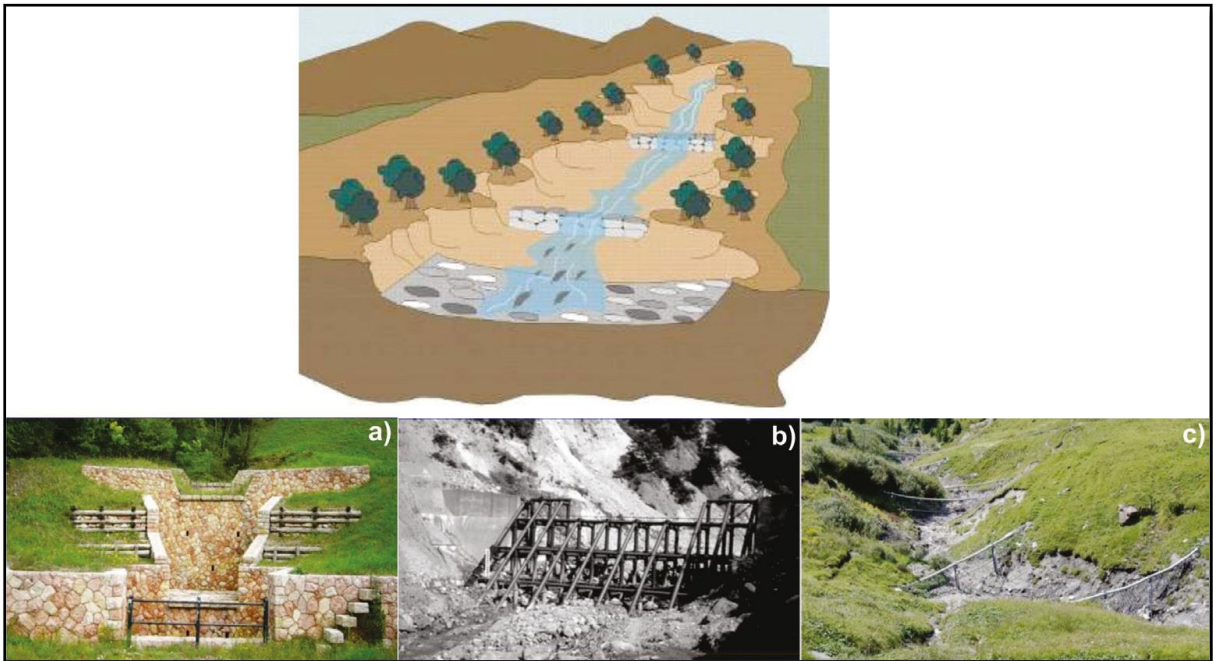
Antes de ser empleada el área, es necesario realizar lo siguiente:

- a) Estudios de suelos para determinar su capacidad portante, con la finalidad de fijar el tipo de cimentación de las obras de infraestructura.
- b) Para los trabajos de corte y/o tallado de la ignimbrita, se deberá contar con un estudio geotécnico orientado a estabilidad de taludes.
- c) Definir los cauces principales de las quebradas. Por ningún motivo los cauces deben ser ocupados por infraestructura alguna

### **Mitigación de peligros por flujo de detritos (lahares) – (huaicos)**

Para disminuir los daños por flujos, es necesario aplicar las siguientes medidas:

- a) Canalizar el cauce principal de los lechos de los ríos o quebradas y aluviales secos; al reducir los bloques rocosos en el lecho y seleccionando los que pueden ser utilizados para la construcción de enrocados, espigones o diques transversales artesanales, siempre y cuando dichos materiales sean de buenas características geotécnicas. Hay que considerar siempre que estos lechos aluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia excepcional, caso del fenómeno El Niño. Es decir, el encauzamiento debe considerar un diseño que pueda resistir máximas avenidas sin que se produzcan desbordes.
- b) Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos.
- c) Construir presas transversales de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas que acarrean grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos; tales como presas tipo SABO, aplicadas en Japón (este término se usa para describir un grupo de diferentes estructuras que utilizan para controlar un huaico). Ya sea presas de control, de rendijas, con pantalla de infiltración de fondo, tipo rejillas y las barras flexibles que debido a la permeabilidad de la red los flujos se drenan como resultado de la retención del material sólido; fosas de decantación; etc. (figura 27).
- d) Muchas de las quebradas, torrenteras o chorreras que generan huaicos periódicos en la región pueden ser controladas en las carreteras mediante badenes de concreto o mampostería de piedra, alcantarillas, pontones o puentes, entre otros, en función de las características geodinámicas y topográficas de la quebrada. Es preciso mencionar que estas obras de infraestructuras, que atraviesen estos cauces, deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máximas crecidas registradas, que permitan el libre discurrir de crecidas violentas que provienen de la cuenca media y alta evitándose obstrucciones y represamientos violentos.
- e) Además, estas obras deben ser acompañadas de obras de canalización y limpieza del cauce de la quebrada aguas arriba; así como obras de defensa contra erosión (enrocados, gaviones o muros de concreto) ya mencionados.



**Figura 27.** Presas de sedimentación escalonada para controlar la fuerza destructiva de los huaicos: a) tipo SABO, b) tipo rejilla, c) barras flexibles.

**Alternativas para reducir el impacto de los peligros geológicos por lahares, contemplados en la Opinión Técnica 05-2022 – INGEMMET.**

- a) Encauzar el lecho principal de las quebradas Añashuayco y la Paccha, retirando los bloques rocosos y seleccionando los que pueden ser utilizados para la construcción de enrocados, espigones o diques transversales artesanales siempre y cuando estos materiales sean de buenas características geotécnicas.
- b) Construcción de presas transversales de sedimentación escalonada (figura 28) para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas Añashuayco y la Paccha que acarrean grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos, tales como presas tipo SABO,; ya sea presas de control, de rendijas, con pantalla de infiltración de fondo, tipo rejillas y las barras flexibles que debido a la permeabilidad de la red, los flujos se drenan como resultado de la retención del material sólido, fosas de decantación, etc.



**Figura 28.** Presas tipo SABO de sedimentación escalonada para controlar la fuerza destructiva de los lahares.



- c) De la misma forma en estas quebradas se podrían construir badenes de concreto o mampostería de piedra, alcantarillas, pontones o puentes, entre otros (figura 29), en función de las características geodinámicas y topográficas de la quebrada. Cabe mencionar que estas obras de infraestructuras que atraviesen estos cauces deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máxima crecidas registradas, que permitan el libre discurrir de crecidas violentas provenientes de la cuenca media y alta, evitándose obstrucciones y represamientos violentos.



**Figura 29.** Obras de drenaje para redes viales (alcantarillas y pontones).

- d) Además, estas obras deben ser acompañadas de obras de encauzamiento y limpieza del cauce de la quebrada arriba (figura 30), y obras de defensa contra erosión (enrocados, gaviones o muros de concreto) ya mencionados.



**Figura 30.** Limpieza de cauce de la quebrada.