

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7259**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR PAPACHACRA

Departamento Arequipa  
Provincia Condesuyos  
Distrito Chuquibamba



MAYO  
2022

**EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN  
EL SECTOR PAPACHACRA**

*Distrito Chuquibamba, provincia Condesuyos, departamento Arequipa.*

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

*Equipo de investigación:*

*David Valdivia Humerez  
Yhon Soncco Calsina*

**Referencia bibliográfica**

*Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Papachacra, distrito Chuquibamba, provincia Condesuyos, departamento Arequipa., Lima: INGEMMET, Informe Técnico **A7259**, 29p.*

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b> .....	<b>2</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
1.1    Objetivos del estudio .....	4
1.2    Antecedentes y trabajos anteriores .....	4
1.3    Aspectos generales.....	5
<b>2 GLOSARIO</b> .....	<b>6</b>
<b>3 ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	<b>7</b>
3.1    Unidades litoestratigráficas.....	7
3.2.1    Ignimbrita Chuquibamba (Ig-Chu) .....	7
3.1.2    Depósitos Avalancha de escombros (Av-ig) .....	8
<b>4 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b> .....	<b>8</b>
4.1    Pendientes del terreno .....	8
4.2    Unidades geomorfológicas.....	8
4.2.1    Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional ....	9
4.2.2    Geoformas de carácter tectónico deposicional y agradacional.....	9
<b>5 PELIGROS GEOLÓGICOS</b> .....	<b>10</b>
5.1    Peligros geológicos por movimientos en masa .....	10
5.1.1    Deslizamiento antiguo (Da) .....	11
5.1.2    Zona de derrumbes .....	13
5.1.3    Flujo de detritos.....	15
5.2    Factores condicionantes .....	20
5.3    Factores desencadenantes.....	20
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>22</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>23</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>24</b>
<b>ANEXO 1: MAPAS</b> .....	<b>26</b>
<b>ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN</b> .....	<b>29</b>

## RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizados en el sector Papachacra, distrito Chuquibamba, provincia Condesuyos, departamento Arequipa. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualización, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

En la zona evaluada se tiene una secuencia de ignimbritas de color blanquecino con presencia de cuarzo y ferromagnesianos (Ignimbrita Chuquibamba) que se encuentra fracturada y moderadamente meteorizada; así como depósitos avalanchas de escombros, conformado por bloques con un tamaño máximo de 1.5 m de diámetro, gravas de composición heterolitológica (Ignimbrita, ortogneis y andesitas), englobados en una matriz areno – limo – arcillosa; poco consolidados y susceptibles a procesos de movimientos en masa.

Morfológicamente el área se ubica en la subunidad de altiplanicie volcánica compuesta por la ignimbrita Chuquibamba y una vertiente con depósitos de deslizamientos antiguos, producto del colapso de zonas de debilidad de la altiplanicie volcánica, formando colinas subredondeadas denominados Hummocks; siendo esta la unidad con mayor susceptibilidad a generar movimientos en masa.

En las condiciones actuales en la quebrada Papachacra podría generarse un flujo de detritos por la disponibilidad de material suelto en dicha quebrada y detonada por precipitaciones pluviales intensas y prolongadas como la del 25 de febrero del 2017, registrada en la estación Chuquibamba (SENAMHI) que alcanzó los 40.4 mm. Según la simulación realizada con estas características se formaría un flujo de 1000 m<sup>3</sup> de volumen, que afectarían viviendas del poblado de Papachacra y tramos de las carreteras Chuquibamba-Cotahuasi y Chuquibamba-Papachacra.

Los factores detonantes son las precipitaciones pluviales intensas y/o prolongadas, la modificación del talud del cerro Ahirampuyo en la zona de la cantera km 121 (Papachacra) y movimientos sísmicos.

Los eventos identificados en el sector de Papachacra corresponden a movimientos en masa, tipo deslizamientos, derrumbes y flujos de detritos, caracterizando a la zona con **Peligro Muy Alto** que pueden ser reactivados por lluvias estacionales (diciembre a marzo), movimientos sísmicos y/o actividad antrópica por la modificación del talud en el cerro Ahirampuyo.

En el presente, se brindan recomendaciones para que las autoridades competentes pongan en práctica en las zonas de estudio, las cuales tienen la finalidad de minimizar las ocurrencias de daños que pueden ocasionar los procesos identificados; así como también evitar la generación de nuevas ocurrencias o eventos futuros que causen daños.

## **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, según Carta N° 77/2022, emitido por la asociación de pobladores y residentes del centro poblado Papachacra – Chuquibamba – Condesuyos – departamento Arequipa, es en el marco de nuestras competencias, que se realiza una evaluación de los peligros geológicos en el sector de Papachacra los días 11 y 13 de marzo del 2022.

La evaluación técnica se basa 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 y fotografías terrestres y aéreas), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone a consideración del centro poblado de Papachacra, Municipalidad Provincial de Condesuyos, Gobierno Regional de Arequipa, INDECI y COER - Arequipa, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, 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) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se presentan en el sector de Papachacra, los cuales pueden comprometer la seguridad física de las poblaciones, medios de vida (cultivos agrícolas) e infraestructura.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de los diferentes peligros identificados.
- c) Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

### **1.2 Antecedentes y trabajos anteriores**

- a) Benavente, C.; Delgado, G.; García, B.; Aguirre, E.; Audin, L. (2017). Neotectónica, Evolución del Relieve y Peligro Sísmico en la Región Arequipa, INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 64, 370 p., 1 mapa: Describe la zona de fallas Chuquibamba que se caracterizan por presentar dirección NO-SE con extensiones que varían de 10 a 50 km afectando la superficie de ignimbrita Chuquibamba. Siendo el rasgo morfológico más resaltante del sector el deslizamiento de Chuquibamba que tiene una longitud de 25 km por 7 km de ancho; y varía entre las altitudes de 850 y 3750 msnm. Estas fallas han tenido una reactivación menor a los 10000 años clasificándose como

activas.

- b) Luque, G.; Pari, W.; Dueñas, K. (2021). Peligro Geológico en la región Arequipa, INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 81, 286 p., 13 mapas: Describe que muchos de los deslizamientos hoy activos son procesos antiguos, reactivados o acelerados en su actividad en los últimos años. Estos empiezan afectando una pequeña área hasta formar vertientes de depósitos de megadeslizamientos como el que se encuentra asentado el distrito de Chuquibamba.
- c) Zavala, B.; Vilchez, M.; Rosado, M.; Pari, W. & Peña, F. (2014). Estudio Geoambiental en la Cuenca del Río Colca, Ingemmet, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 57, 222 p., 11 mapas: Describe, en las laderas de las vertientes al río Grande (Chuquibamba), una susceptibilidad muy alta a los movimientos en masa, condicionado por factores favorables del terreno para generar movimientos en masa ocurren cuando se modifican sus taludes.

### 1.3 Aspectos generales

#### 1.3.1. Ubicación

El sector de Papachacra, está ubicado en el distrito de Chuquibamba, provincia de Condesuyos, departamento Arequipa (Figura 1), entre las coordenadas:

**Cuadro 1.** Sector Papachacra.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	748290.00 m E	8251129.00 m S	15° 48' 22.45" S	72° 40' 55.60" W
2	750988.00 m E	8251129.00 m S	15° 48' 21.477" S	72° 39' 24.98" W
3	748290.00 m E	8249894.00 m S	15° 49' 2.611" S	72° 40' 55.15" W
4	750988.00 m E	8249894.00 m S	15° 49' 1.638" S	72° 39' 24.52" W
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</b>				
Zona Cantera Papachacra	749945.00 m E	8250761.00 m S	15° 48' 33.822" S	72° 39' 59.88" W

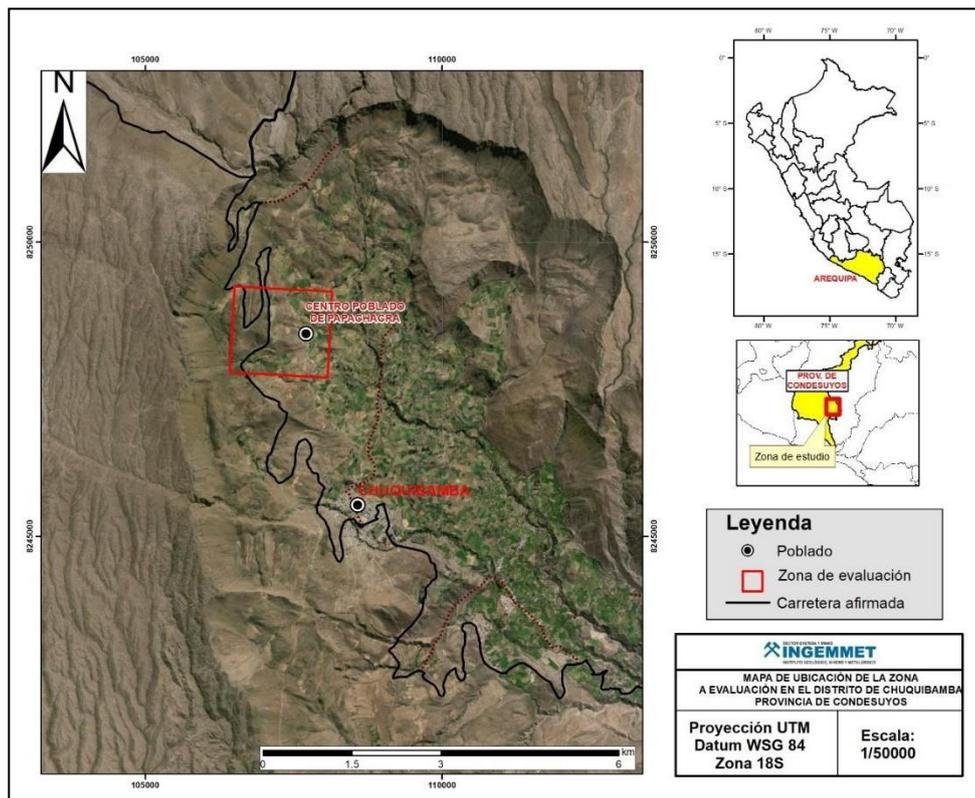


Figura 1. Mapa de ubicación del sector Papachacra

### 1.3.2. Accesibilidad

El acceso a la zona de Chuquibamba se realizó por vía terrestre partiendo desde Arequipa, mediante la siguiente ruta:

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Arequipa - Aplao	Asfaltada	177	3 h 7 min
Aplao – Chuquibamba	Asfaltada	49.5	1 h 15 min
Chuquibamba – Papachacra	Asfaltada	6.2	20 min

## 2 GLOSARIO

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

**Caídas de rocas.** - 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 x 10<sup>1</sup> 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.

**Avalanchas de escombros.** - Las avalanchas de escombros son deslizamientos súbitos de una parte voluminosa de una zona inestable de terreno. Se originan debido a factores de inestabilidad, tales como la presencia de fallas, movimientos sísmicos fuertes, etc. Las avalanchas de escombros pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia destruyendo todo a su paso.

**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 (Vilchez et., al., 2020).

**Flujo de detritos (Huaicos).** - Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos. Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de “u”, trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Tiene un alto potencial destructivo. La mayoría de los flujos de detritos alcanzan velocidades en el rango de movimiento extremadamente rápido, y por naturaleza son capaces de producir la muerte de personas (Hung, 2005).

### 3 ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio, se elabora teniendo como base la geología de los trabajos elaborados por Olchanski & Dávila (1994); Quispensivana & Navarro (2003); Thouret et al. (2007) y Ccallo et. al. (2021).

#### 3.1 Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas aflorantes son de origen volcánico, como la ignimbrita Chuquibamba y depósitos de edad holocena como avalanchas de escombros. (Mapa 1).

##### 3.2.1 Ignimbrita Chuquibamba (Ig-Chu)

Olchanski & Dávila (1994), lo definen como Huaylillas a tobas dacíticas. Posteriormente, Quispensivana & Navarro (2003) consideran esta unidad como parte de la Formación

Alpabamba. Finalmente, Thouret et al. (2007), describe como ignimbrita Chuquibamba, a una capa de ignimbritas que tiene un rango de edad entre 13 a 14 Ma, al igual que Ccallo et. al. (2021), las rocas de esta unidad se encuentran meteorizadas y fracturadas moderadamente.

### 3.1.2 Depósitos Avalancha de escombros (Av-ig).

Son acumulaciones de material de avalanchas de escombros antiguas producto del colapso y megadeslizamiento que rellenan el valle de Chuquibamba (Thouret. J-C., 2018). Se encuentran después de una cicatriz de colapso con longitud de aproximadamente 20 a 30 km, formando colinas volcánicas (Figura 2). Están compuestos mayormente por fragmentos de ignimbrita Chuquibamba, ortogneis y lavas andesíticas de tamaños heterométricos (bloques, gravas y arenas), englobadas en una matriz limo-arcillosa (Anexo 1, Figura 1 y 2).



**Figura 2.** Depósitos de coluvio-deluviales el valle de Chuquibamba.  
(coordenadas UTM E: 749961, N: 8250725)

## 4 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

### 4.1 Pendientes del terreno

Las pendientes de los terrenos en el sector Papachacra, varían desde llanos a inclinados suavemente ( $1^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ) en la parte alta, en zona media, con cambio abrupto a terrenos con pendientes muy fuertes ( $25^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ), a escarpadas ( $>45^{\circ}$ ). Se elaboró un mapa de pendientes con modelo de elevación digital (DEM), de 3 m, a partir de imágenes satelitales Pléiades, realizado por el laboratorio de teledetección del INGEMMET en el 2016. (Mapa 2).

### 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:

- Degradacionales o denudativos
- Agradacionales o deposicionales

El área de estudio se encuentra por encima de los 3000 m.s.n.m. con una altiplanicie de ignimbritas, elevadas, con un drenaje dendroide asociadas a los ríos que descienden desde el Complejo volcánico Nevado Coropuna.

Las unidades geomorfológicas encontradas en la zona son: altiplanicie de ignimbritas (Sfp) y vertiente con depósitos de deslizamiento (V-dd). En Papachacra, las subunidades con mayor susceptibilidad a genera movimientos en masa son: Vertiente con depósitos de deslizamiento (Mapa 3).

#### **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 totalde estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes, Villota, (2005). Así en el área evaluada se tienen las siguientes unidades:

##### **4.2.1.1 Unidad de campo de Ignimbritas**

Es la unidad o componente resultante de la deposición de corrientes de densidad piroclástica y se define como una altiplanicie de ignimbritas, emitidas de las calderas masivas de estratovolcanes durante erupciones del tipo pliniano (Villota 2005).

**Sub Unidad de altiplanicie de ignimbritas (Sfp):** Litológicamente corresponde a rocas volcánicas, representadas por la ignimbrita Chuquibamba. El patrón de drenaje dendroide, típico de estas unidades, cortada por quebradas de poca profundidad, estas zonas muestran pendientes menores a 15°. Dentro de esta unidad geomorfológica las elevaciones varían entre los 4000 y 4900 msnm, modelada por procesos exógenos degradacionales determinados por la lluvia-escorrentía. En esta unidad se asocia la ocurrencia de movimientos en masa de tipo deslizamientos, flujos y derrumbes. Además de procesos de erosión de ladera en cárcavas.

#### **4.2.2 Geformas de carácter tectónico deposicional y agradacional**

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores; se tienen las siguientes unidades y subunidades:

##### **4.2.2.1 Unidad de Piedemonte**

Ambiente de agradación que constituye una transición entre los relieves volcánicos, y las áreas bajas circundantes; en este ambiente predominan los depósitos continentales coluviales y las acumulaciones forzadas, las cuales están relacionadas

con el repentino cambio de los perfiles longitudinales. La unidad de piedemonte identifica la siguiente:

**Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd):** Esta unidad se desarrolla sobre depósitos de deslizamientos antiguos producto del colapso de zonas de debilidad de la altiplancie de ignimbritas Chuquibamba, estas tienen la forma de colinas con cimas subredondeadas denominados Hummocks (Paguican, et al. 2012) y se encuentran rellenando la actual topografía del valle de Chuquibamba.



**Figura 3 .** Vertiente con depósitos de deslizamiento en el sector de Papachacra. (coordenadas UTM E: 750135, N: 8250660)

## 5 PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en el sector de Papachacra corresponden a movimientos en masa, tipo deslizamientos, caídas (derrumbes) y flujo (flujo de detritos). Estos son resultado de procesos de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes, 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. Estos movimientos en masa tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelos, el drenaje superficial-subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas, extraordinarias que caen en la zona y la actividad sísmica. (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

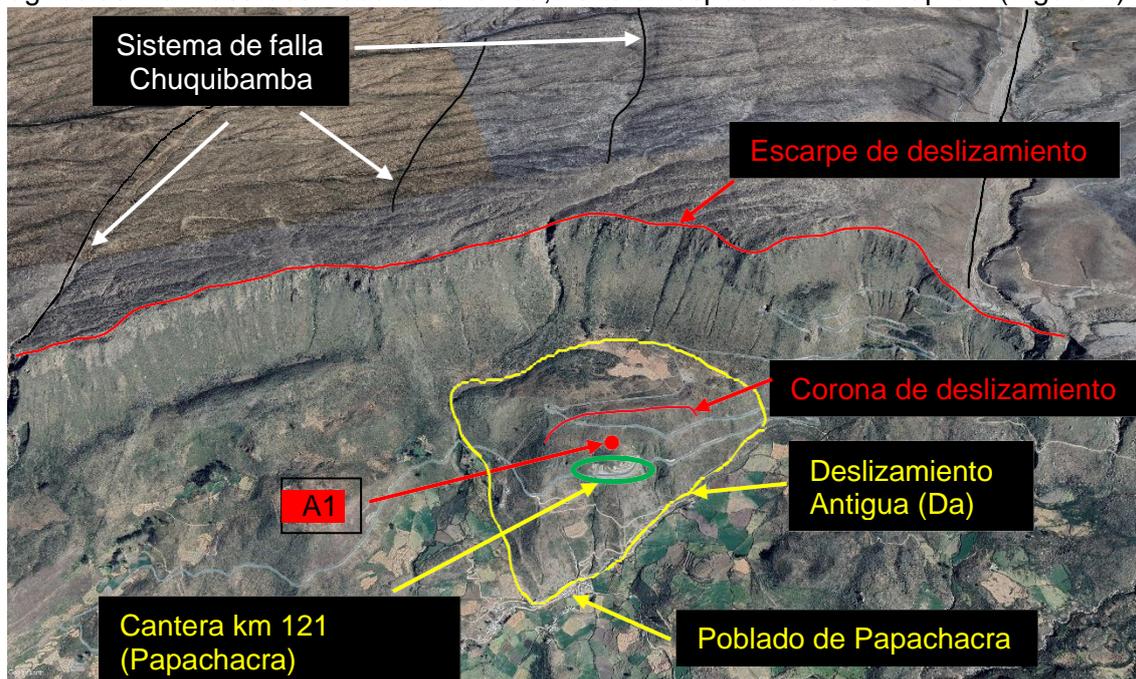
### 5.1 Peligros geológicos por movimientos en masa

La zona de estudio y alrededores son susceptibles a la ocurrencia de peligros geológicos de tipo derrumbes, flujos, caída de rocas, condicionado por las

características morfológicas, litológicas y pendiente, describiéndolos a continuación:

### 5.1.1 Deslizamiento antiguo (Da)

En la parte alta del valle de Chuquibamba se aprecia el sistema de fallas activas de Chuquibamba (Benavente et., al., 2017) que favorecieron el colapso y megadeslizamiento de la ignimbrita Chuquibamba (Figura 4), con un escarpe de aproximadamente 30 km de largo y un desnivel de 400 m generando depósitos de avalanchas de escombros que rellenaron el valle de Chuquibamba. En el sector de Papachacra (Cerro Ahirampuyo), se evidencia un escarpe de deslizamiento antiguo (Da). Mostrándose en el punto **A1** agrietamientos en el terreno los cuales podrían desencadenar nuevos deslizamientos, afectando las viviendas del centro poblado de Papachacra, la carretera “Chuquibamba – Cotahuasi” en el tramo del km 121, y zonas agrícolas. La masa deslizada o removida, tiene un espesor de 548m aprox. (Figura 4).

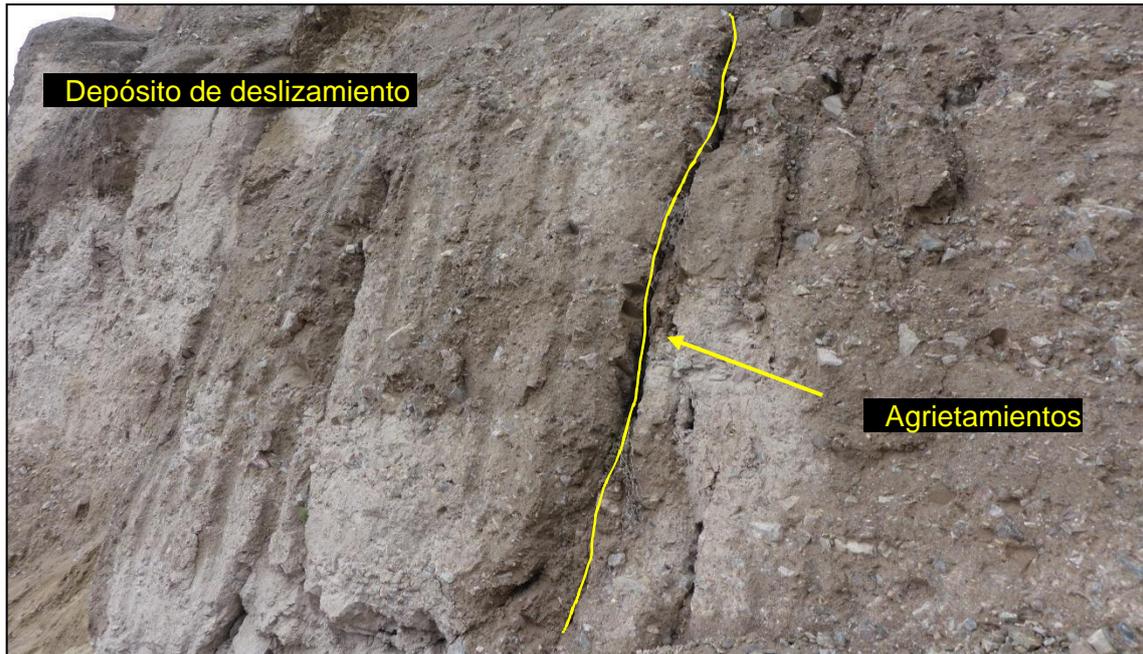


**Figura 4.** Deslizamiento en el sector Papachacra. (coordenadas UTM E: 750546, N: 8250475).

También presenta zonas agrícolas en la parte superior, con sistema de riego por gravedad que saturan al terreno; además, en el deslizamiento en la zona de la cantera se observó una zona de derrumbes a causa de la actividad antrópica (Explotación de la cantera km 121) y agrietamientos en las paredes del talud producto de la erosión de laderas (Figura 5).

A continuación, se describe las características principales del deslizamiento (Da):

- Deslizamiento de tipo complejo
- Corona principal es de forma regular, con longitud de 680 m.
- Salto del escarpe principal, está definida entre las cotas 3408 m y 3344 m, es decir posee un desnivel de 64 m,
- Desplazamiento en dirección sureste
- En el cuerpo del deslizamiento se observó bloques angulosos, gravas y arenas, englobadas en matriz limo-arcillosa. Los bloques son de forma angulosa a subangulosa y erráticos llegan a medir hasta 1.5 m de diámetro. (figuras 12 y 13).



**Figura 5.** Depósitos de deslizamiento y agrietamientos producto de la erosión de laderas (coordenadas UTM E: 749980, N: 8250747).

Los componentes encontrados en el cuerpo del deslizamiento, corresponden a bloques de ortogneis, ignimbrita Chuquibamba y lavas andesítica de color gris oscuro, se encuentran altamente meteorizadas y muy fracturadas; los mismos que generan suelo no consolidado, poco compactados, de fácil de remoción y están saturados de agua.

En el punto: N: 8250540, E: 749861; se evidencia un agrietamiento de hasta 4 - 5 m de longitud y 30 cm de ancho. Estos agrietamientos se desarrollan sobre el cuerpo del deslizamiento (Figura 6) y podrían generar futuros deslizamientos en el sector, ya que el depósito se encuentra poco consolidado.



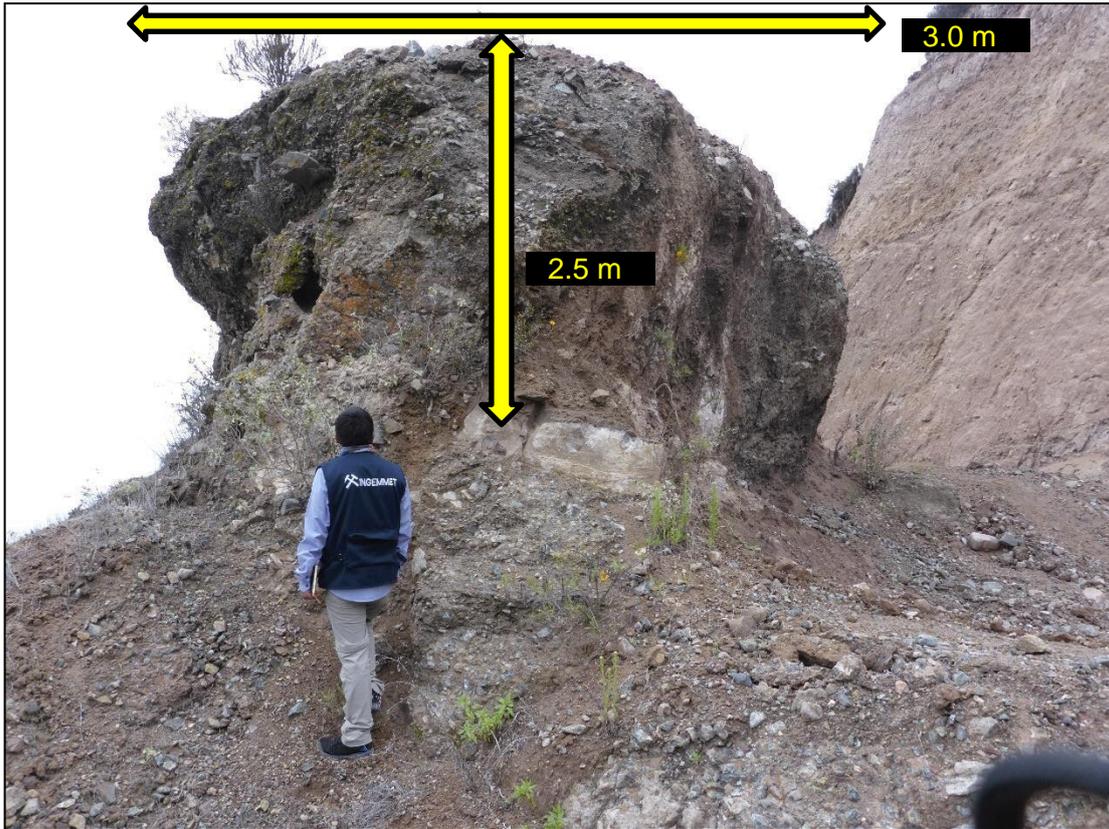
**Figura 6.** Agrietamientos sobre el cuerpo del deslizamiento antiguo (Da).  
(coordenadas UTM E: 750537, N: 8250455).

### 5.1.2 Zona de derrumbes

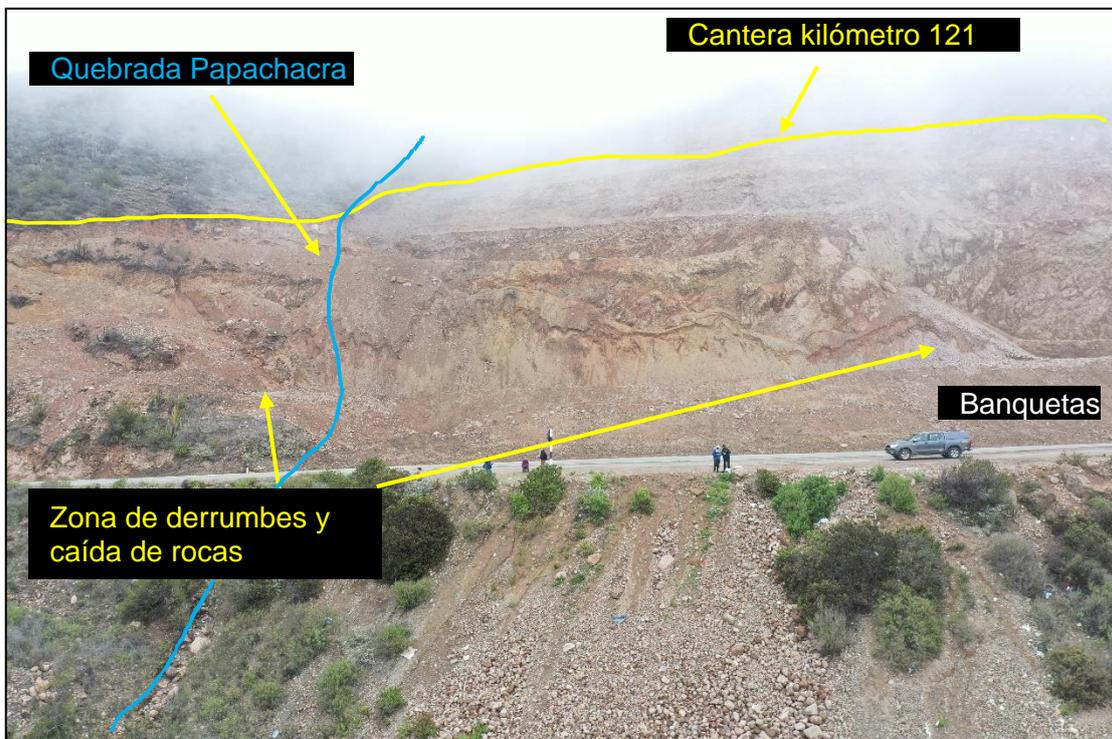
En el sector de la cantera Papachacra en el km 121 de la carretera Chuquibamba-Cotahuasi, los derrumbes abarcan aproximadamente 200 m de largo en el cerro Ahirampuyo (Figura 8), cuya ladera está conformada por depósitos coluviales-deluviales no consolidados sobre pendientes muy fuertes, cortadas por la actividad extractiva de cantera. Además, se observa un aglomerado de rocas de aproximadamente 3 m de largo x 2.5 m de alto (Figura 7) que podría caer y afectar las zonas pendientes abajo, también algunos agrietamientos en las paredes del talud (Figura 5), y obras de protección "Banquetas" inconclusas (Figura 8).

Los derrumbes podrían generar la interrupción del pase vehicular en el tramo del km 121 de la carretera Chuquibamba-Cotahuasi; estos eventos nuevamente se pueden repetir en caso de presentarse lluvias intensas y/o prolongadas

Se pueden generar flujos de detritos, que se canalizarían por la quebrada Papachacra, esto afectaría al poblado del mismo nombre.



**Figura 7.** Aglomerado de rocas volcánica e intrusiva. (coordenadas UTM E: 749956, N: 8250880).



**Figura 8.** Cantera km121 (Papachacra), zona de derrumbes y obstrucción de la quebrada Papachacra. (coordenadas UTM E: 750042, N: 8250751).

### 5.1.3 Flujo de detritos

#### QUEBRADA CHUCURCA

El km 120 de la carretera Chuquibamba-Cotahuasi, es cortado por la quebrada Chucurca, con pase de un puente S/N ubicado en las coordenadas N: 8250035, E: 749512, que tiene aproximadamente 30 m de largo (Figura 9). Por cuya estructura, se encuentra un sistema de drenajes con tubería, por donde discurren los flujos de detritos y crecida que se generan en tiempo de lluvia, controlando eventualmente la torrencera. Sin embargo, su diseño carece de estructuras que soporten eventos de gran volumen de flujos, pudiendo obstruirse el sistema de drenajes en el puente y desbordarse afectando a las zonas aledañas a esta quebrada.



**Figura 9.** A) Puente Chuquibamba-Cotahuasi kilómetro 120, B) Quebrada Chucurca. (coordenadas UTM E: 749512, N: 8250035).

#### QUEBRADA PAPACHACRA

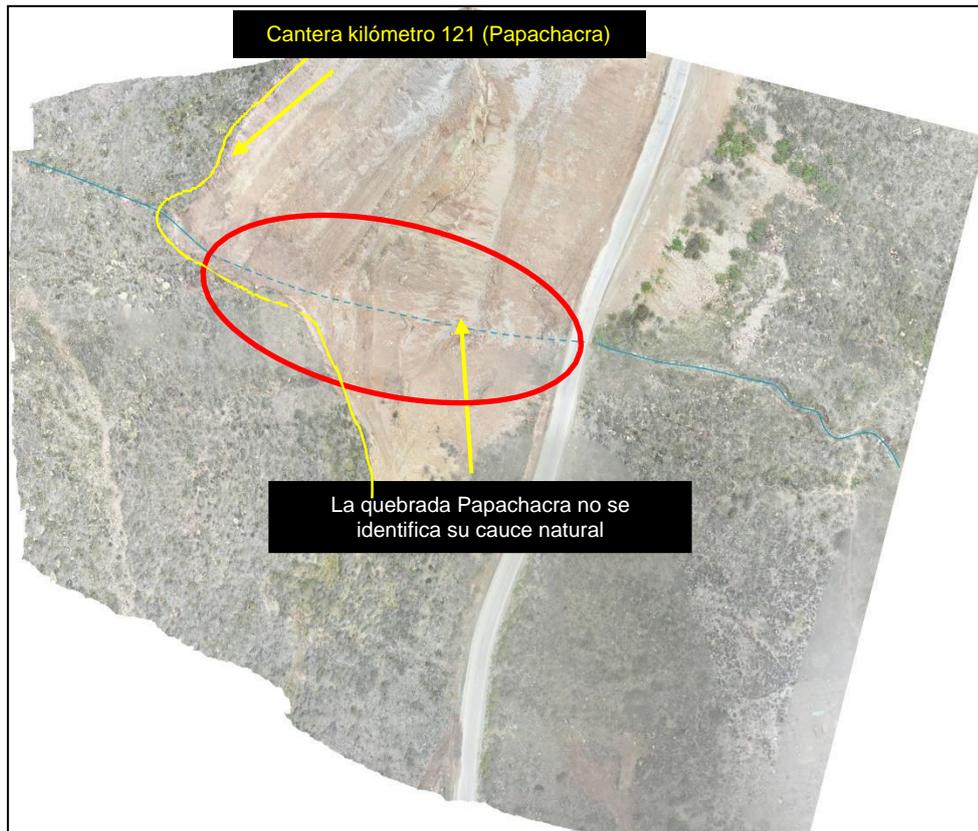
Posee una actividad estacional (diciembre-marzo), circundada por laderas con pendientes fuertes que varían entre 15° a 25°, y cortando los depósitos de avalancha de escombros llegando a tener profundidades de aproximadamente 8 m.

Se observa un ojo de agua en las coordenadas N: 82506627, E: 7501271; además en el sector de la cantera km 121 se evidencia obstrucción con relleno de desmonte de cantera, la cual se viene desarrollando desde el 2010 (Figura 10).

Según las imágenes de Google Earth, se evidencia que en el año 2020 producto de las precipitaciones fluviales la quebrada volvió a retomar su cauce natural (Figura 10); y en la inspección de campo realizada del 11 al 13 de abril de 2022, se encontró la quebrada nuevamente rellena y obstruida por material poco consolidado producto de los derrumbes y la explotación de la cantera (acción antrópica); además de los drenajes colmatados (Figura 11, 12).



**Figura 10.** Vista de imágenes temporales (Google earth) de la quebrada Papachacra de los años 2008, 2010, 2012, 2016 y 2020.



**Figura 11.** Ortofoto de la Quebrada Papachacra realizada a partir de imágenes con dron, el 12 de abril del 2022, no se identifica el cauce natural de la quebrada en la Cantera km121 (Papachacra). (coordenadas UTM E: 750038, N: 8250757).

Debido a que esta quebrada se encuentra obstruida y rellena con material poco consolidado es probable que, durante lluvias intensas o excepcionales, el agua al discurrir por el cauce de la quebrada, va adquirir velocidad, poder erosivo y capacidad de transporte de materiales, generando un flujo de detritos que descendería pendiente abajo, al paso va ir incorporando a su volumen material de antiguos movimientos en masa depositados en la quebrada, como también va erosionar los lados laterales de la quebrada e incorporará material suelto al flujo, este evento generado va afectar al poblado de Papachacra.

Por las características mencionadas se le considera de **Peligro muy Alto**, frente a ocurrencias de flujos de detritos.



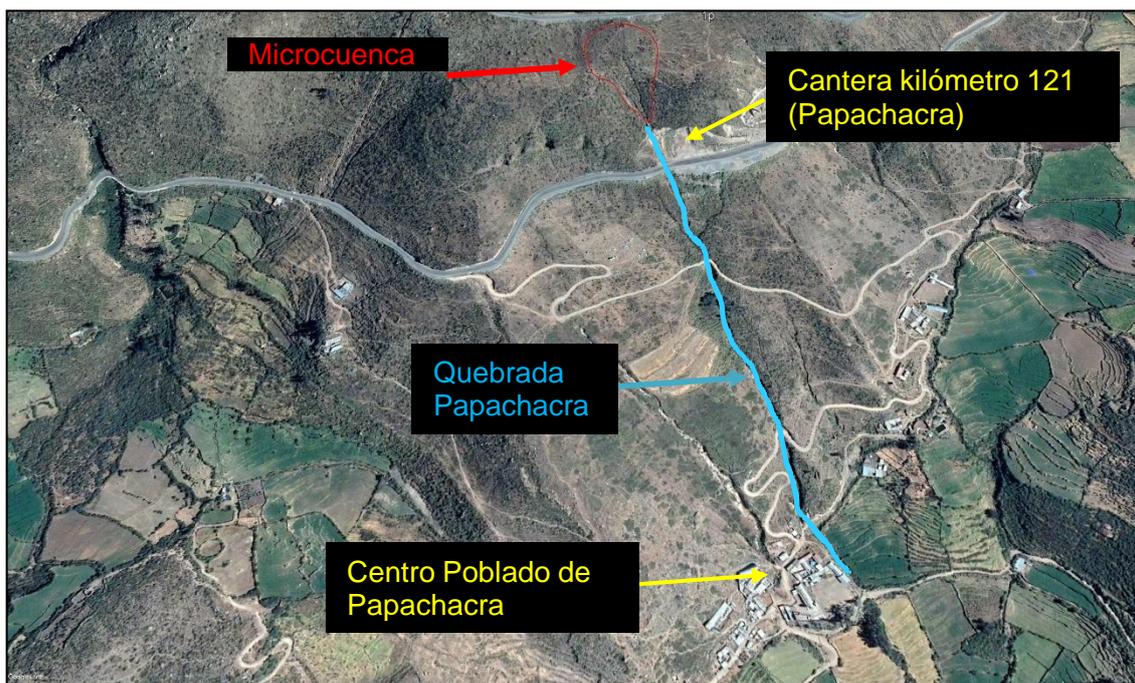
**Figura 12.** Quebrada Papachacra, erosionada y obstruida por material poco consolidado. (coordenadas UTM E: 749937, N: 8250711).

### **SIMULACIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS EN PAPACHACRA**

Adicionalmente, en el presente informe se presenta un escenario de flujos de detritos que podría generarse en temporada de lluvias, donde se utilizó como base la data obtenida de un modelo de elevación.

Para la construcción del mapa de escenario de flujos de detritos se empleó el método de simulación numérica, mediante código VolcFlow (Kelfoun, 2019). El modelo de elevación digital de 3 m de resolución elaborado por el Laboratorio de Teledetección del INGGEMMET, para ello, se determinó un escenario por flujos de detritos, en base a cálculos de volúmenes, tomando en cuenta datos de precipitaciones, área de las zonas de generación flujos en la microcuenca de la quebrada (figura 13), y el porcentaje de contenidos de agua y sólidos. Se consideró lo siguiente:

- a) La zona de generación de flujos de detritos en la microcuenca de la quebrada Papachacra, posee un área aproximada de 12530 m<sup>2</sup>.



**Figura 13.** Microcuenca de Quebrada Papachacra. (coordenadas UTM E: 750534, N: 8250473).

- b) En base al valor de precipitación de 40.4 mm, tomados del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú), se consideró un volumen de flujos de detritos para la quebrada de 1000 m<sup>3</sup>.

La simulación de flujos de 1000 m<sup>3</sup> de volumen en la quebrada Papachacra, muestran que las zonas afectadas serian: a) La Carretera Chuquibamba-Cotahuasi en el tramo del km 121, b) La Carretera Chuquibamba-Papachacra en las coordenadas UTM de referencia: E: 750130, N: 8250664; E: 750373, N: 8250588; E: 750479, N: 8250532 c) 03 viviendas y 01 colegio (Papachacra) aledañas a la quebrada Papachacra, d) 0.074 Ha de zonas agrícolas. (Figura 14)

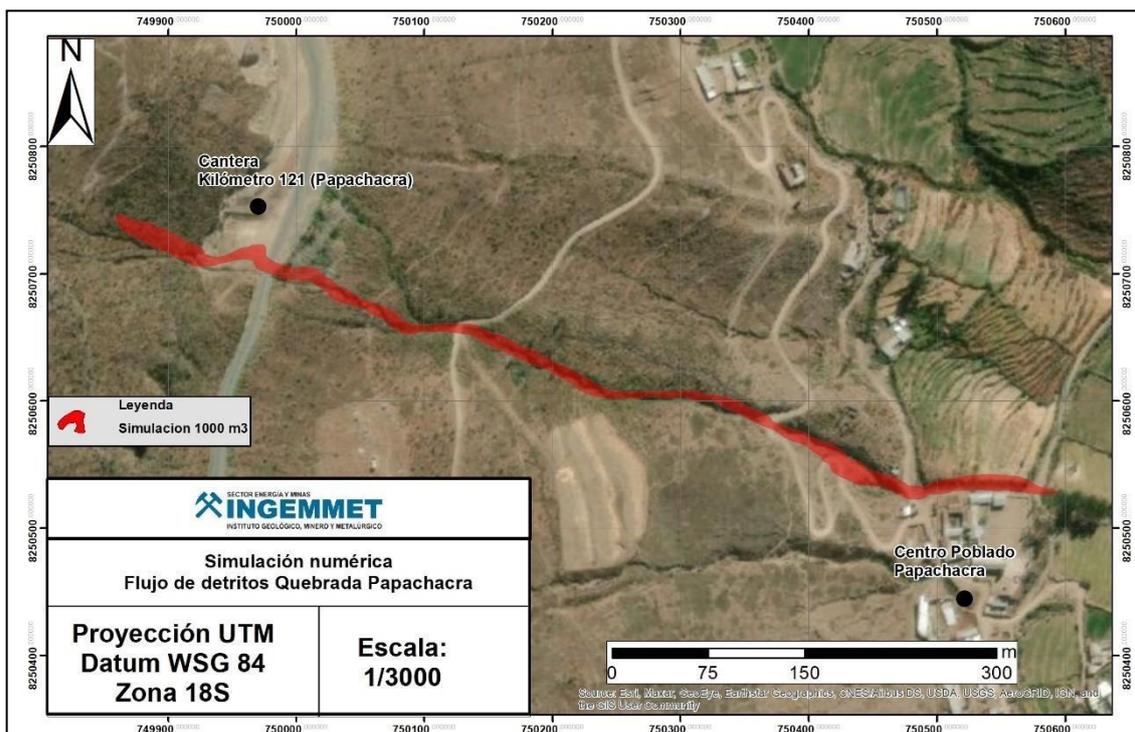


Figura 14. Mapa de Simulación de flujo de detritos en la quebrada Papachacra

## 5.2 Factores condicionantes

Presencia de depósitos de avalanchas de escombros antiguas, poco consolidados conformados por bloques, gravas y arenas de ortogneis, ignimbrita y andesitas color gris oscuro englobados en una matriz limo-arcillosa, que permite la infiltración y retención del agua, lo cual conforman terrenos fácilmente saturados y susceptibles a los movimientos en masa.

Pendiente variable de llano a inclinado suavemente ( $1^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ) en la parte alta, zona media de cambio abrupto a terrenos con pendientes muy fuertes ( $25^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ), y escarpadas ( $>45^{\circ}$ )

Además de terrenos y actividades agrícolas con riego por gravedad, ubicados en la parte alta del cerro Ahirampuyo.

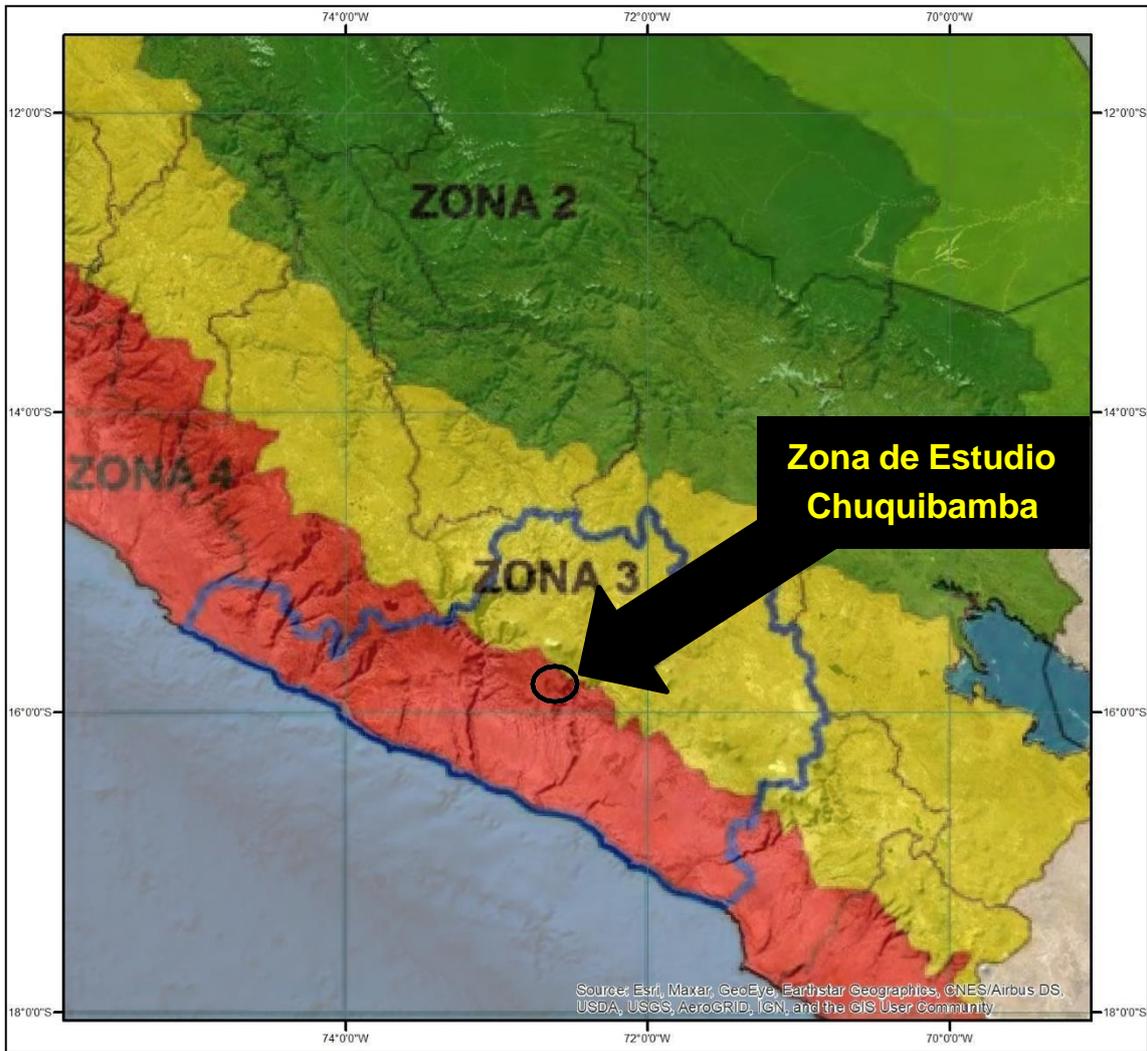
## 5.3 Factores desencadenantes

Lluvias intensas prolongadas o extraordinarias (según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú el periodo de lluvia en el Perú se da en los entre los meses de diciembre a marzo); registrando un máximo de 40.4 mm/día el 25 de febrero del 2017 en la estación Chuquibamba (SENAMHI), estas aguas pueden saturar los terrenos poco consolidados, aumentando el peso de material y las fuerzas tienden al desplazamiento, los flujos de detritos (Huaycos), también son generados por lluvias intensas.

La modificación del talud del cerro Ahirampuyo debido a la explotación de la cantera Kilometro 121 (Papachacra), que genera condiciones favorables del terreno para generar movimientos en masa.

Los movimientos sísmicos pueden generar desprendimientos de rocas desde las partes altas. Según el Alva et al. (1984) el departamento de Arequipa se ubica en las zonas de sismicidad alta a muy alta (Figura 15). El distrito de Chuquibamba se encuentra en la zona de sismicidad muy alta donde podrían generarse sismos de gran

magnitud.



**Figura 15.** Zonificación Sísmica del Perú. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

## CONCLUSIONES

1. El sector de Papachacra, se tiene una avalancha de escombros, conformado por bloques con un tamaño máximo de 1.5 m, gravas y arenas proveniente de la descomposición de ortogneis, ignimbrita y andesitas son de color gris oscuro. Este depósito se caracteriza por estar poco compacto, que permiten la infiltración y retención del agua, de esta manera los terrenos son fácilmente saturados y susceptibles a los movimientos en masa.
2. Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados comprenden un deslizamiento antiguo, derrumbes y flujos de detritos; asimismo, se observó procesos de erosión de ladera. Específicamente, en el sector Papachacra se identificó un deslizamiento antiguo (Da), cuya corona tiene una longitud de 680 m y un desnivel de 64 m, en su cuerpo se ha observado agrietamientos lo que muestra la inestabilidad del terreno. La zona de derrumbes ocupa un área de 2.34 Ha; también se podrían generar flujos de detritos en las quebradas Papachacra y Chucurca a causa de las precipitaciones intensas
3. En el cerro Ahirampuyo por donde discurre la carretera Chuquibamba –Cotahuasi km 121, se identificó una zona de derrumbes, a lo largo de 350 m. Las causas son laderas con pendientes fuertes, cortes de talud y el riego por gravedad en la parte alta del mencionado cerro. También se tiene una cantera que ha generado inestabilidad en el cerro Ahirampuyo (ladera este y sureste); además, en esta zona se tiene obras de protección que son insuficientes o no están culminadas.
4. En la quebrada Papachacra parte del cauce se encuentra relleno y obstruido, debido a derrumbes y acumulación de desmontes de cantera; lo cual genera material disponible y de fácil remoción ante lluvias intensas o extraordinarias. De generarse un flujo de detritos podría afectar al poblado de Papachacra.
5. En las condiciones actuales en la quebrada Papachacra podría generarse un flujo de detritos debido a la disponibilidad de material suelto en dicha quebrada y que se dé una lluvia intensa como la registrada el 25 de febrero del 2017 registrada en la estación Chuquibamba (SENAMHI) que alcanzó los 40.4 mm. Según la simulación realizada con estas características se formaría un flujo de 1000 m<sup>3</sup> de volumen, que afectarían viviendas del poblado de Papachacra y tramos de las carreteras Chuquibamba-Cotahuasi y Chuquibamba-Papachacra.
6. Los peligros geológicos en el sector Papachacra están condicionadas por los depósitos coluvio-deluviales pertenecientes a una avalancha de escombros, pendientes variables de los terrenos con predominancia de muy fuertes (25°-45°) a escarpadas (>45°)
7. Se concluye que, el sector Papachacra, es considerada de **Peligro Muy Alto** por flujos de detritos, que pueden ocurrir en la temporada de lluvias. Además, en el sector se pueden genera nuevas reactivaciones de los deslizamientos y derrumbes. Este sector se considera como una zona crítica por peligros geológicos de movimientos en masa.

## RECOMENDACIONES

1. Se debe efectuar un estudio de análisis de taludes a detalle y monitoreo del talud del cerro Ahirampuyo, teniendo en cuenta la construcción de obras de estabilización de taludes como Banquetas (Anexo 2- Figura17).
2. Inmediato desquinche de bloques sueltos que se encuentran en la ladera del cerro Ahirampuyo.
3. Se debe realizar la limpieza y descolmatación periódica del cauce de la Quebrada Papachacra; e Implementar un sistema de alerta temprana ante flujos de detritos.
4. No construir infraestructura o viviendas en las zonas definidas y delimitadas como susceptibles a la ocurrencia de peligros por movimiento en masa, estas áreas están clasificadas como zonas de muy alto peligro por ocurrencia de procesos de remoción en masa; mediante la sensibilización de población a través de talleres o charlas en el marco de la gestión de riesgos de desastres
5. Respetar el cauce natural de la quebrada Papachacra y Chucurca, así como canalizarlas
6. La población debe ser incentivada en la migración a nuevos tipos de cultivos y técnicas de riego, evitando las prácticas por inundación.
7. De continuar con la actividad extractiva en el cerro Ahirampuyo (Papachacra), las autoridades deben contar con planes de control y prevención de riesgos por caídas y derrumbes.
8. Un adecuado sistema de reforestación con especies nativas de la zona, con el fin de contribuir a la estabilización del talud.
9. Las medidas correctivas deben implementarse, con la finalidad de disminuir los efectos de los peligros geológicos puedan afectar a la población u obra de infraestructura



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



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

## BIBLIOGRAFÍA

Benavente, C.; Delgado, G.; García, B.; Aguirre, E.; Audin, L. (2017). Neotectónica, Evolución del Relieve y Peligro Sísmico en la Región Arequipa, INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 64, 370 p.

Ccallo, W., Santos, A., Torres, D., Ayala, L., (2021) - Geología del cuadrángulo de Chuquibamba (hoja 32q4), Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 16. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 37 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3135>

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

Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., *Landslide's investigation and mitigation: Washintong D. C*, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.

Jenks, W. (1948). Geologia de la hoja de Arequipa. Instituto Geológico del Perú. Boletín n°9, Lima.

Kelfoun K., Samaniego P., Palacios P. and Barba D. (2009) Testing the suitability of frictional behaviour for pyroclastic flow simulation by comparison with a wellconstrained eruption at Tungurahua volc3no (Ecuador), Bull. Volc3nol. DOI 10.1007/s00445-009-0286-6

Luque, G.; Pari, W.; Dueñas, K. (2021). Peligro Geológico en la regi3n Arequipa, INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 81, 286 p.

Olchanski, E., & D3vila, D. (1994). Geología de los cuadr3ngulos de Chuquibamba y Cotahuasi 32-q, 31-q. Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú.Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, n° 50, 52p.

Paguican EMR, Van Wyk de Vries B, Lagmay a. MF (2012) Hummocks: how they form and how they evolve in rockslide-debris avalanches. Landslides 11:67–80. doi: 10.1007/s10346-012-0368-y

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en Masa en la Regi3n Andina: Una gu3a para la evaluaci3n de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicaci3n Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Quispesivana, L. & Navarro, P. (2003) - Memoria descriptiva de la revisi3n y actualizaci3n de los cuadr3ngulos de Caravelí (32-p), Chuquibamba (32-q), Chivay (33-s), Cailloma (31-s), Velille (30-s), Livitaca (29-s) y Pacapausa (30-p), Escala 1:100 000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 42 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2052>

Thouret, J.-C.; W3rner, G.; Gunnell, Y.; Singer, B.S., Zhang, X., & Souriot, T. (2007) - Geochronologic and stratigraphic constraints on canyon incision and Miocene uplift of the Central Andes in Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, 263(3-4): 151-166.

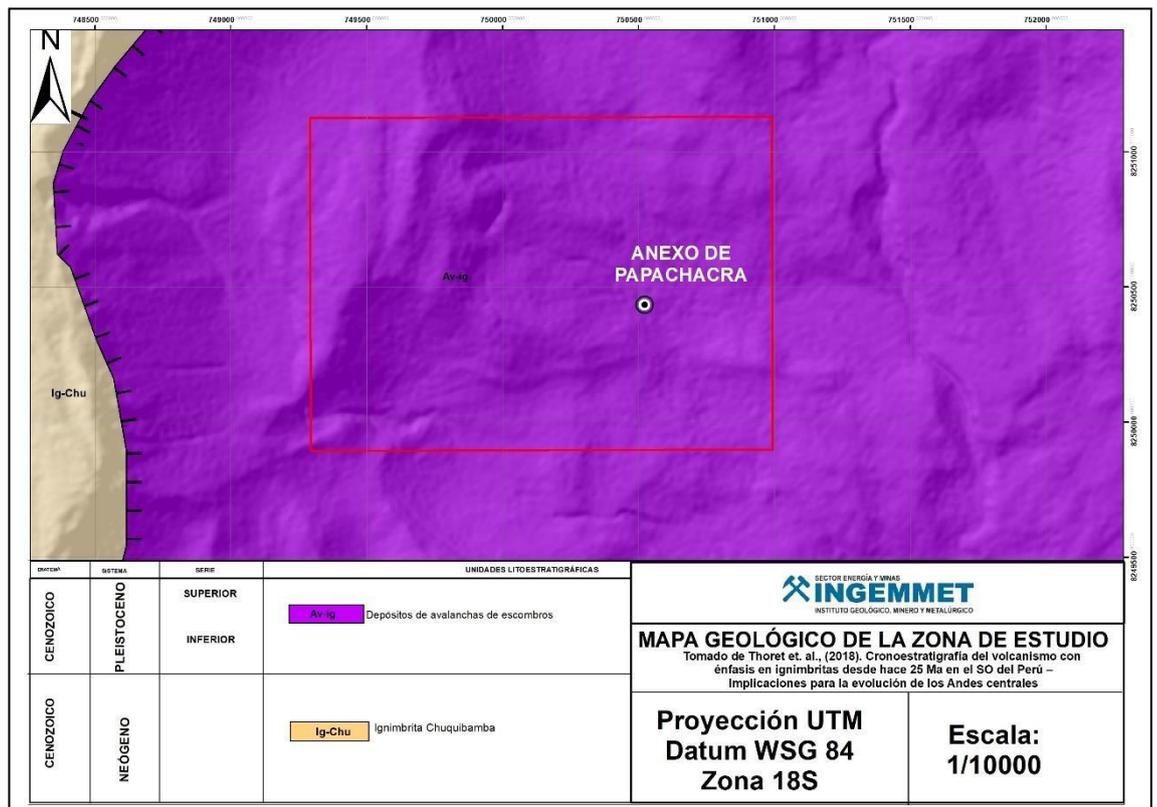
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.07.023>

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, Transportati3n researchs board Special Report 176, p. 9-33

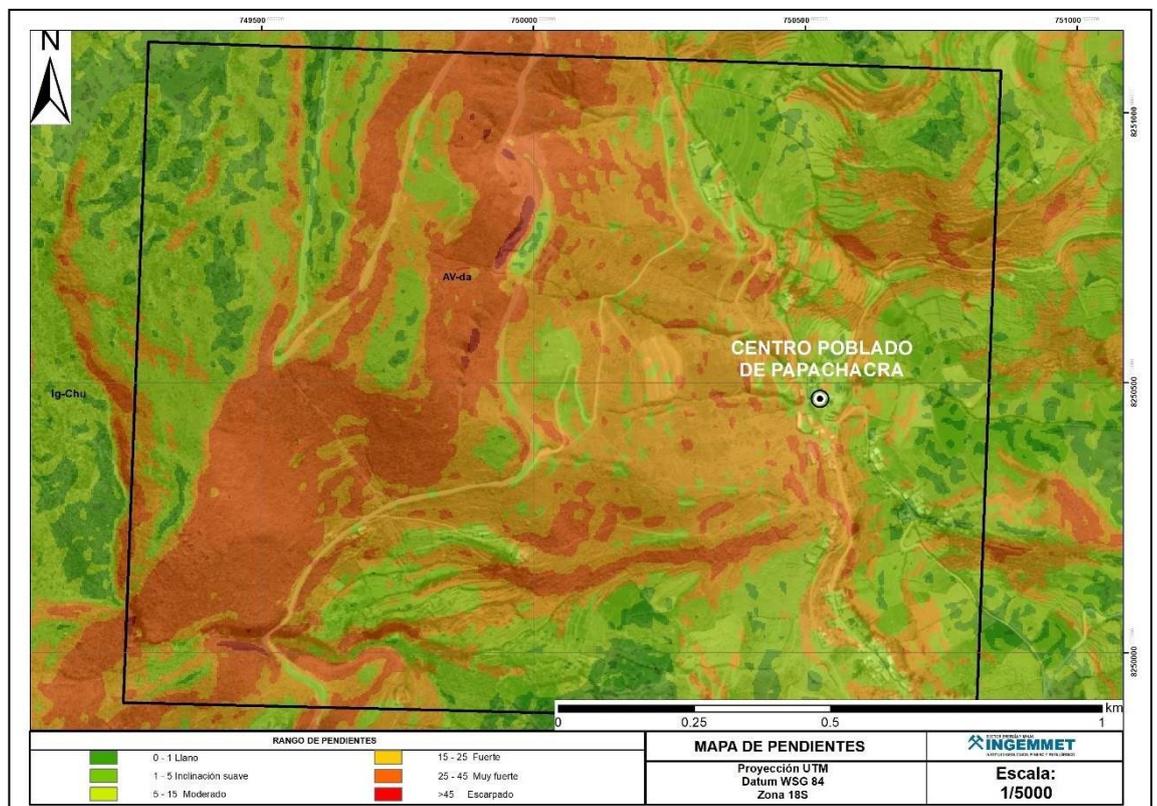
Villota, H. 2005. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y la zonificación física de tierras. Instituto Geográfico Agustín Cadazzi.

Zavala, B.; Vilchez, M.; Rosado, M.; Pari, W. & Peña, F. (2014). Estudio Geoambiental en la Cuenca del Río Colca, Ingemmet, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 57, 222 p.

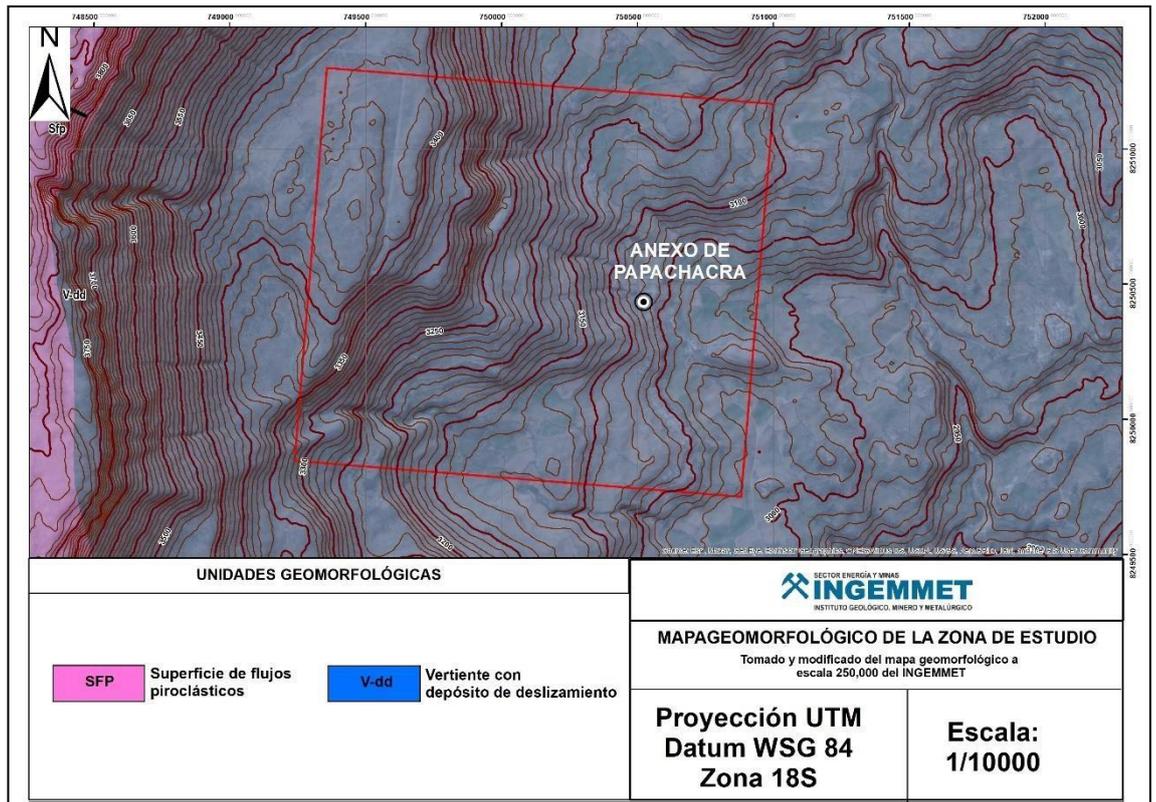
**ANEXO 1: MAPAS**



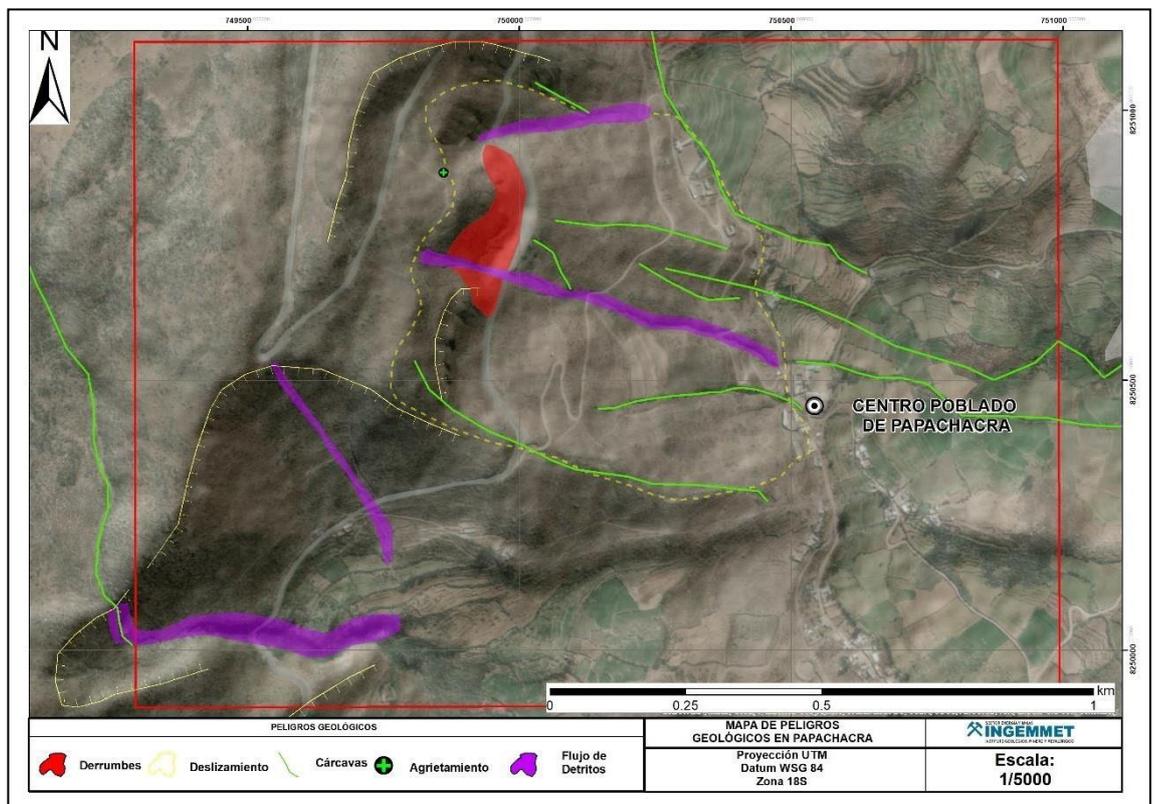
**Mapa 1.** Mapa geológico de la zona de Evaluación, distrito de Chuquibamba, provincia de Condesuyos, departamento Arequipa.



**Mapa 2.** Mapas pendientes de la zona de Evaluación, en el distrito de Chuquibamba, provincia de Condesuyos, departamento Arequipa.



**Mapa 3.** Mapa geomorfológico de la zona de Evaluación, en el distrito de Chuquibamba, provincia de Condesuyos, departamento Arequipa.



**Mapa 4.** Mapa peligros de la zona de Evaluación, en el distrito de Chuquibamba, provincia de Condesuyos, departamento Arequipa.

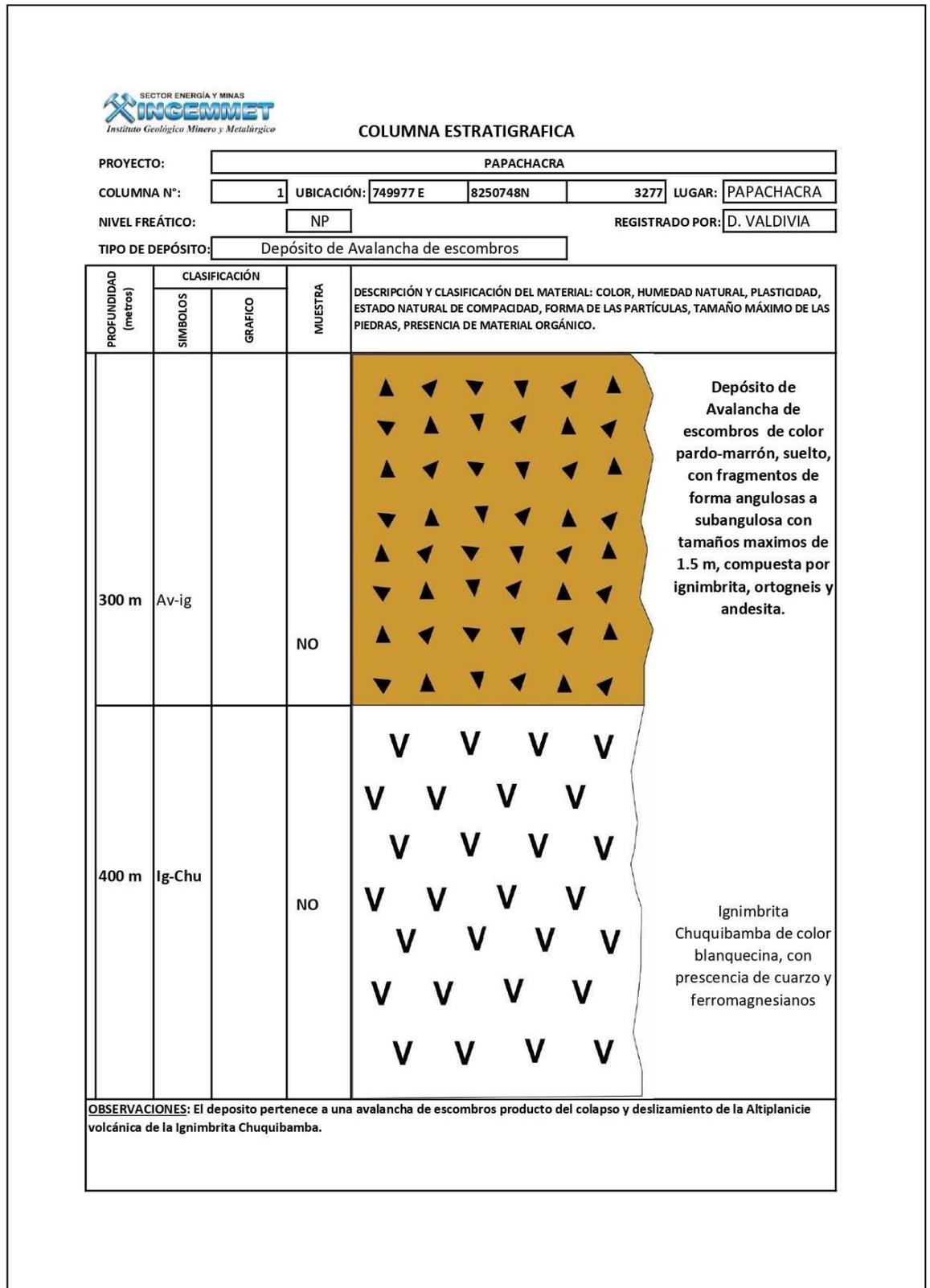


Figura 16. Columna estratigráfica del sector de Papachacra.

## ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

**Banquetas** Es una obra de estabilización de taludes consistente en la construcción de una o más terrazas sucesivas en el talud (Figura 18). Por lo tanto, las banquetas deben diseñarse tomando en cuenta la dificultad de inspeccionar y reparar, la pendiente del talud, la altura de corte, los suelos del talud, los costos y otras condiciones.

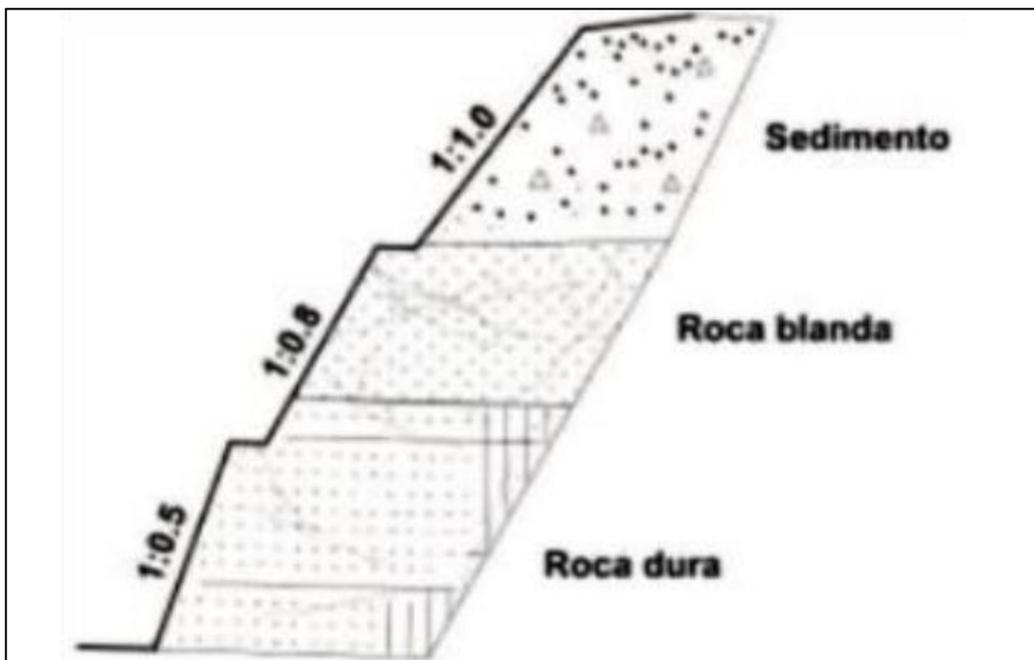


Figura 17: Ejemplo de Banqueta