

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7310**

# EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR CAÍDA DE ROCAS EN EL SECTOR PUMAUSHCO-HUAYRAPONGO

Departamento Cajamarca  
Provincia Cajamarca  
Distrito LLacanora



OCTUBRE  
2022

## **EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR CAÍDA DE ROCAS EN EL SECTOR PUMAUSHCO-HUAYRAPONGO**

(Distrito Llacanora, provincia y departamento Cajamarca)

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

*Equipo de investigación:*

*Cristhian Chiroque Herrera*

*Luis León Ordaz*

### **Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). *Evaluación de peligro geológico por caída de rocas en el sector Pumaushco-Huayrapongo*. (Distrito Llacanora, provincia y departamento Cajamarca). Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7310, 37p.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	1
<b>1.</b>	1
<b>1.1.</b>	2
<b>1.2.</b>	2
<b>1.3.</b>	5
1.3.1.	5
1.3.2.	5
<b>2.</b>	7
<b>3.</b>	8
<b>3.1.</b>	8
3.1.1.	8
3.1.2.	9
3.1.3.	9
3.1.4.	10
<b>4.</b>	11
<b>4.1.</b>	11
<b>4.2.</b>	12
<b>4.3.</b>	13
4.3.1.	13
<b>4.3.1.1.</b>	14
4.3.2.	15
<b>4.3.2.1.</b>	15
<b>5.</b>	17
<b>5.1.</b>	17
5.1.1.	17
5.1.2.	18
<b>6.</b>	20
<b>6.1.</b>	20
Litológico-estructural	20

Geomorfológico	21
<b>6.2.</b>	21
6.2.1.	21
6.2.2.	23
<b>7.</b>	23
<b>7.1.</b>	23
7.1.1.	24
<b>8.</b>	27
<b>9.</b>	28
<b>10.</b>	29
<b>ANEXO 1: MAPAS</b>	30
<b>ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN</b>	34

## RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos en el sector Pumaushco-Huayrapongo; perteneciente a la jurisdicción del distrito de Llacanora, provincia y departamento de Cajamarca.

Con este trabajo, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – Ingemmet cumple con la función de brindar asistencia técnica sobre peligros geológicos a los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

El sector presenta movimientos en masa de tipo caída de rocas activos o recientes, los depósitos llegaron hasta el interior del perímetro del reservorio de agua potable y otros cerca de las viviendas del sector. Las caídas se extienden hasta 210 m de largo y 45 m de alto; sin embargo, existen áreas con potencial a ser afectadas que pueden alcanzar hasta 750m. Se tiene, además, una avalancha de rocas antigua, evidenciadas por bloques de arenisca con diámetro de hasta 1 m, distribuidos de forma dispersa sobre la ladera alta y baja del cerro Pumaushco.

La caída de rocas está condicionada por el factor geológico-geomecánico donde se tienen afloramientos de areniscas cuarzosas blanquecinas muy fracturados (Formación Farrat), que se intercalan con lutitas y areniscas grises (Formación Santa), ambos con buzamientos subverticales inclinados a favor de la pendiente. Estas rocas se encuentran muy meteorizadas e intensamente fracturadas, condicionando las caídas de rocas.

En el área predominan las montañas y colinas estructurales en rocas sedimentarias (RMCE-rs) con pendientes fuertes a muy escarpadas ( $15^\circ$  a  $>45^\circ$ ) donde se ubican las zonas de caídas ZC-1, ZC-2 y ZC-3, que representan los principales desprendimientos de cantos y bloques. Las zonas de transición, transporte y depositación, configuran relieves con pendientes moderadas a fuertes denominadas como vertiente o piedemonte coluvio deluvial (V-cd), sobre esta unidad se ubica el área urbana del sector Pumaushco-Huayrapongo.

El análisis cinemático del talud muestra que, en la parte alta de la ladera donde se ubican las zonas de caída de rocas (ZC-1 y ZC-2), muestran fallas de tipo cuña, condicionada por un conjunto de discontinuidades que se intersectan formando bloques angulosos de arenisca. Las caídas de rocas (ZC-3), muestran fallas de tipo planar, condicionada al buzamiento subvertical a favor de la pendiente y al intenso fracturamiento de las areniscas y lutitas.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta la ladera sur del sector Pumaushco-Huayrapongo, se considera que, el reservorio de agua potable y las viviendas tienen un **Peligro Muy Alto** ante caída de rocas.

Por lo tanto, se recomienda evacuar las viviendas ubicadas cerca de la zona de caída 03, además de las infraestructuras ubicadas en el área de evaluación, considerándola como una **Zona Crítica** por los elementos expuestos. Además de, implementar programas de monitoreo de los afloramientos de rocas inestables identificados en los trabajos de campo.

## INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, institución 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 (ACT. 11)”, contribuye con las entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas con presencia de elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud del Gobierno Regional de Cajamarca, según Oficio N° D000765-2021-GRC-ODN, es en el marco de nuestras competencias se realizó la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa de tipo “caídas de rocas”, que afectaron el reservorio de agua potable y viviendas ubicadas en la ladera media y baja de cerro Pumaushco.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los ingenieros Cristhian Chiroque y Luis León, para realizar la evaluación de peligros geológicos, durante el 7 y 8 de abril del 2022, los mismos que estuvieron acompañados y guiados por los pobladores y usuarios de la Junta Administradora de Servicio de Saneamiento (JASS).

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: gabinete (se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet), cartografía de campo (análisis geológico-geomecánica de los afloramientos y estabilidad de laderas, cartografía geomorfológica y geodinámica, fotogrametría con drones, registro fotográfico georreferenciado), gabinete post campo (se realizó el procesamiento e interpretación de los datos para la redacción del informe técnico).

Este informe se pone en consideración del Gobierno Regional de Cajamarca y las instituciones encargadas de la gestión de riesgos de desastres, 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 desarrollan en el sector Pumaushco-Huayrapongo, procesos geodinámicos que afectaron el reservorio de agua potable y viviendas.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante los peligros geológicos evaluados en la zona.

### 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del INGEMMET relacionados a temas de geología y geodinámica externa de los cuales destacan los siguientes:

- A. Boletín N° 44, serie C: “Riesgo Geológico en la Región Cajamarca”. Realizado por Zavala, B. et al 2011, muestra el inventario de peligros geológicos en la región Cajamarca; además de la elaboración del mapa de susceptibilidad a movimientos en masa a escala 1:250 000, mediante la superposición de capas o mapas de factores condicionantes como la litología y las pendientes, mediante un geoprocésamiento en GIS (Cuadro 1 y figura 1). En el mapa se muestra que, el sector Pumaushco-Huayrapongo tiene una susceptibilidad alta a muy alta ante la ocurrencia de movimientos en masa, teniéndose afloramientos de areniscas cuarzosas gris blanquecinas intercaladas con lutitas y areniscas muy fracturadas afectadas por pliegues y fallas regionales que condicionan la ocurrencia de caídas de rocas y derrumbes.

**Cuadro 1.** Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa.

LEYENDA		
CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	RECOMENDACIONES
<b>SUSCEPTIBILIDAD MUY ALTA: Condiciones del terreno muy favorables para generar movimientos en masa. Se concentra donde ocurrieron deslizamientos en el pasado o recientes reactivaciones de los antiguos, al modificar sus taludes.</b>		
<b>Substrato rocoso</b> de mala calidad, sedimentaria (caliza, lutita y marga; arenisca y cuarcita), depósito coluvial. <b>Relieve</b> montañoso o colinado estructural-erosional y vertientes coluviodeluvial y detritos indiferenciados. <b>Pendientes</b> de laderas alta (entre 25° y 45°). Incluye zonas de depósito de deslizamiento antiguos. Laderas deforestadas o con poca cobertura vegetal.	Se encuentran distribuidos en sectores: Sur en el distrito de Llacanora entre Baños del Inca y Namora, río Cajamarca, sectores Huayrapongo y Llacanora.	Prohibir el desarrollo de infraestructuras, sin el conocimiento geológico detallado previo. Son necesarios los estudios geológicos-geotécnicos al detalle para el desarrollo y construcción probable de infraestructura de cualquier tipo (carretera, puente, presa, hidroeléctrica), o habilitación urbana
<b>SUSCEPTIBILIDAD ALTA: Confluyen la mayoría de condiciones del terreno favorables a generar movimientos en masa, cuando se modifican sus taludes. Colindan con zonas de muy alta susceptibilidad</b>		
<b>Substrato.</b> Arenisca, cuarcita, conglomerado, limolita y arcillita roja; rocas intrusivas alteradas. <b>Relieves</b> de montaña o colina en rocas metamórficas y estructural-erosionales en rocas sedimentarias-volcánicas. <b>Pendiente</b> suave-moderada a alta (15° a 25°, y mayores a 45°). <b>Acuitardos</b> intrusivos, sedimentarios y volcánicos-sedimentarios. <b>Cobertura vegetal:</b> Terrenos desprovistos de vegetación y áreas con intensa deforestación.	Distribución importante en la región, destacan: Al este de Cajamarca, entre Baños del Inca, Llacanora, Jesús, San Marcos, Ichocán, Chancay, Namora, Encañada, Sorochuco.	Restringir el desarrollo de Infraestructura urbana, o de instalaciones para una alta concentración de población. En el caso de infraestructura vial, líneas de energía, actividad minera, etc., se deberán realizar estudios geotécnicos al detalle

- B. Boletín N° 31, serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba”. Hojas: 15-f, 15-g, 16-g (1980).

El área de evaluación se ubica al extremo noroeste de la hoja 15-f a escala 1:100000 que abarca gran parte de los distritos de la provincia de Cajamarca hacia el sur del departamento Cajamarca. En la parte alta del cerro Pumaushco afloran secuencias de areniscas cuarzosas gris blanquecinas correspondientes a la Formación Farrat; por las características litológicas estos afloramientos forman escarpas y cumbres agudas y alargadas con buzamientos subverticales, desde donde se originaron grandes caídas de rocas y derrumbes.

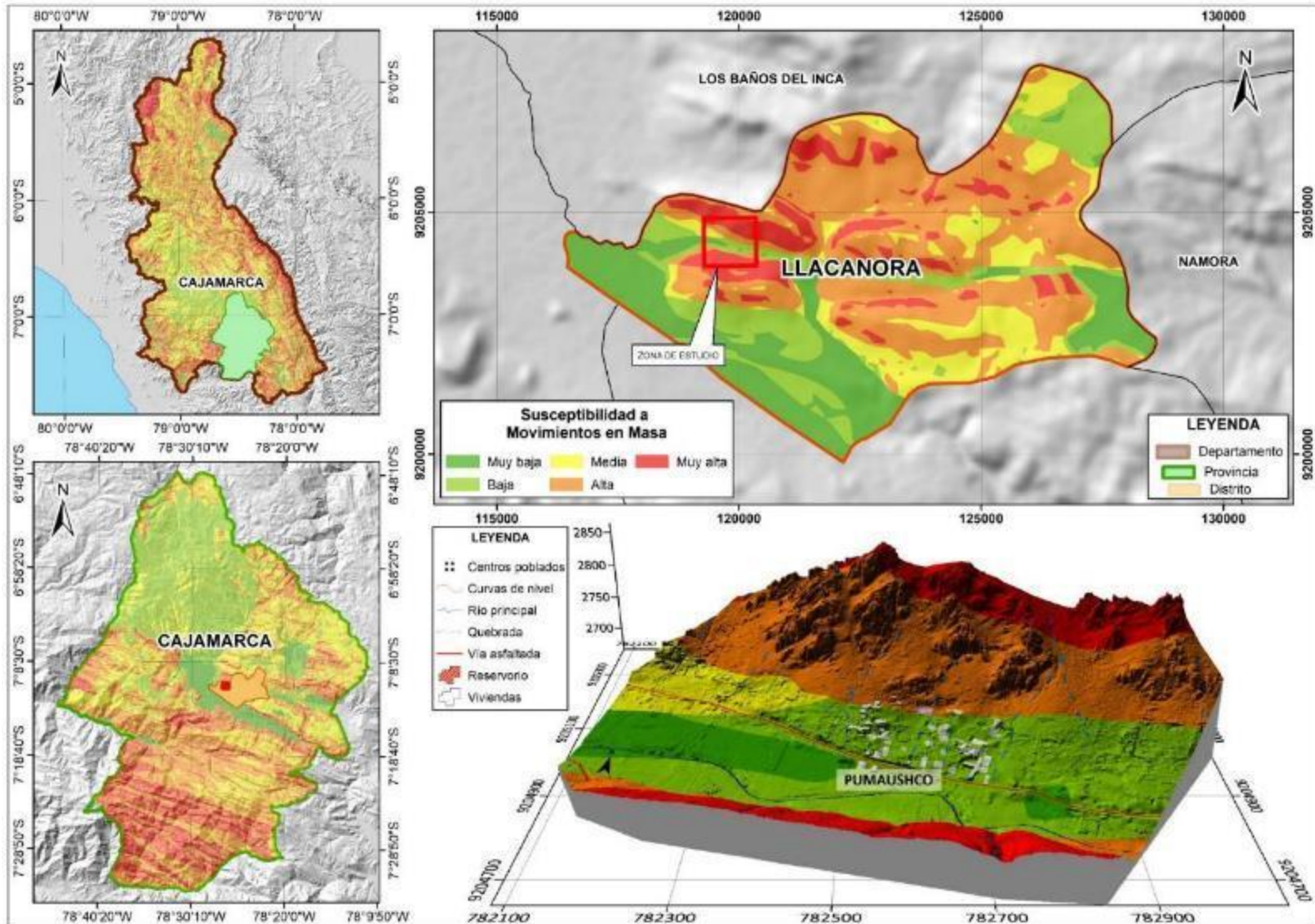


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa a escala 1:100 000 de la zona de evaluación (Zavala et al., 2011).



### 1.3. Aspectos generales

#### 1.3.1. Ubicación

El área de evaluación abarca el sector Pumaushco, en el caserío Huayrapongo, donde se ubica el reservorio de agua potable y el área urbana. Políticamente, pertenece al distrito de Llacanora, provincia y departamento de Cajamarca (figura 2); ubicado en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 17S) (cuadro 2):

**Cuadro 2.** Coordenadas del área de evaluación

N°	UTM - WGS84 - Zona 17L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	782092	9205406	-7.1814	-78.4458
2	783061	9205393	-7.1815	-78.4370
3	783051	9204649	-7.1882	-78.4371
4	782082	9204662	-7.1881	-78.4458
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</b>				
C-3	782622	9205062	-7.1601	-78.4410

#### 1.3.2. Accesibilidad

Se accede por vía terrestre, desde la ciudad de Cajamarca, mediante la siguiente ruta (cuadro 3):

**Cuadro 3.** Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cajamarca – Baños del Inca	Asfaltada	7	20 min
Baños del Inca - Llacanora	Vía asfaltada	7.5	20 min

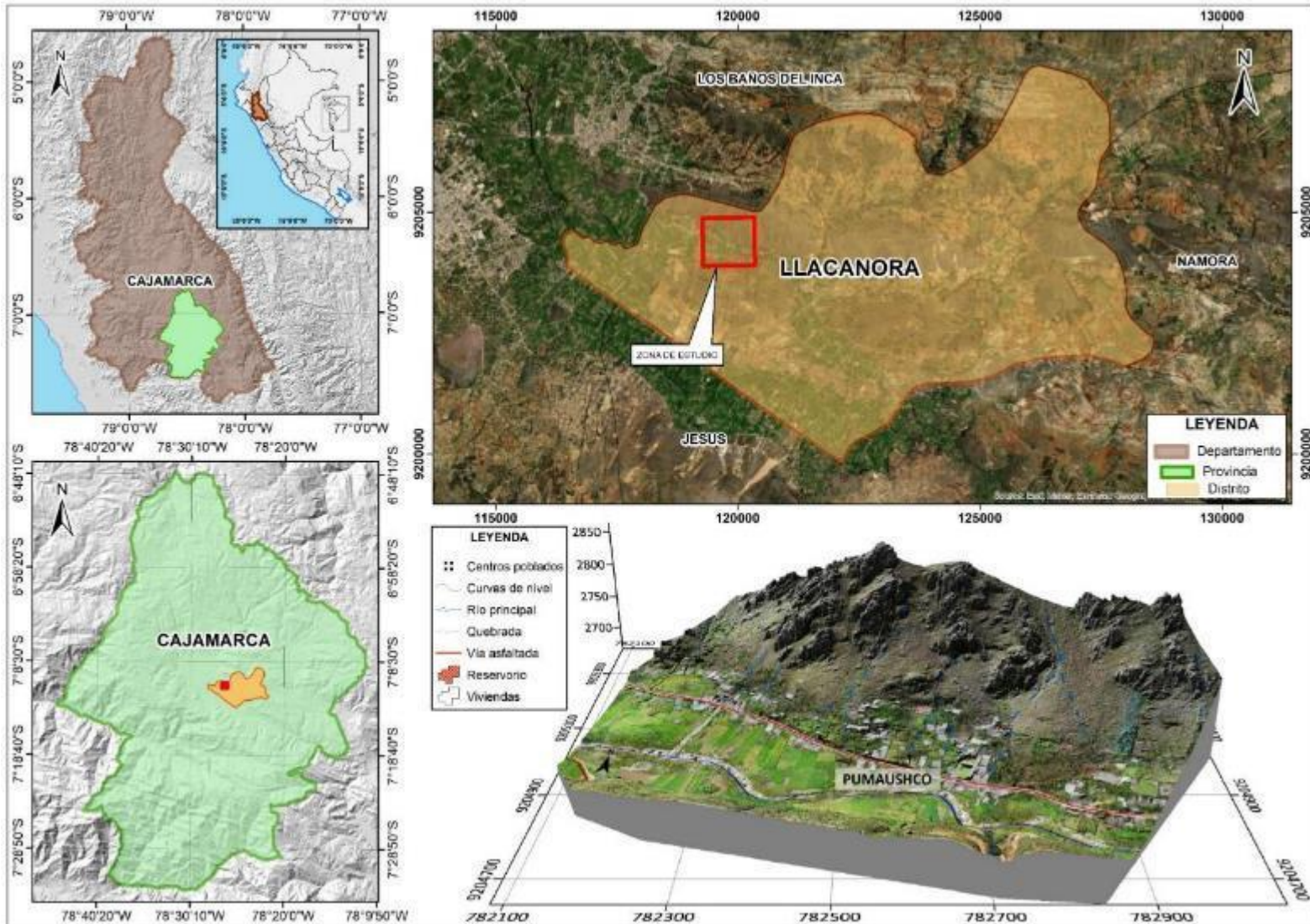


Figura 2. Ubicación del sector Pumaushco-Huayrapongo.

## 2. DEFINICIONES

En el presente glosario se describen los términos establecidos en la “Guía para la evaluación de amenazas” elaborada como parte del Proyecto Multinacional Andino – Movimientos en masa en la Región Andina GEMA, del PMA:

**AVALANCHA DE ROCA (rock avalanche) sin.:** sturzstrom. Movimiento tipo flujo, extremadamente rápido y masivo de roca fragmentada proveniente de un gran deslizamiento de roca, o de una caída de roca (Hungr et al., 2001).

**BLOQUE (block)** Con relación a la granulometría de un suelo para propósitos de clasificación se refiere a las partículas de suelo con diámetro medio mayor a 300 mm. Sin embargo, en mecánica de rocas se refiere a la porción de una masa rocosa limitado por discontinuidades, caso en el cual se tienen en cuenta el tamaño y forma de los bloques para describir un macizo rocoso en términos como: masivo, cúbico, tabular, columnar, irregular y triturado (ISRM, 1981).

**BUZAMIENTO (dip)** Angulo que forma la recta de máxima pendiente de un plano con respecto a la horizontal y puede variar entre 0° y 90°.

**CAÍDA (fall) sin.: desprendimiento.** Tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de la superficie de un talud, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire, pero con algunos golpes, rebotes y rodamiento. Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. Algunos autores, como Corominas y Yague (1997) denominan colapso a los casos en que el material cae de manera eminentemente vertical.

**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.

**MOVIMIENTO EN MASA (mass movement, landslide).** sin.: Fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladero abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

**ZONAS CRÍTICAS:** Son zonas o áreas con peligros potenciales de acuerdo a la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados), que muestran una recurrencia, en algunos casos, entre periódica y excepcional. Algunas pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y puede ser necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres.

### 3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis ingeniero - geológico realizado en el sector Pumaushco-Huayrapongo, se desarrolló en base a la información recolectada en campo y al análisis del cuadrángulo geológico de Cajamarca, hoja 15-g a escala 1:100000 (Reyes, L. 1980). Esta información fue actualizada en el año 2007, donde se elaboró el Mapa geológico del Cuadrángulo de Cajamarca – Hoja 15-f-IV a escala 1:50000. En ambos cuadrángulos, se describen afloramientos de las formaciones Farrat y Santa, conformados por areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas; además, de coberturas cuaternarias clasificadas como depósitos coluvio-deluviales. Para complementar el mapa geológico, se realizó la interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo, cuyos resultados se presentan en el Anexo como mapa 1.

#### 3.1. Unidades litoestratigráficas

A continuación, se describen las características litológicas locales de los afloramientos en la zona de estudio (figura 4):

##### 3.1.1. Formación Santa (Ki-sa)

Estos afloramientos se distribuyen de oeste a este en ambas márgenes del río Huayrapongo, están conformados por lutitas intercaladas con areniscas grises, los estratos presentan buzamientos subverticales favorables a la pendiente, los afloramientos se muestran muy fracturados y meteorizados (fotografía 1).

Se destaca que, estas secuencias se encuentran cubiertas por depósitos recientes de naturaleza coluvio-deluvial originada por antiguos deslizamientos, avalancha de rocas y caídas de bloques distribuidos sobre laderas con pendientes moderadas.



**Fotografía 1.** Lutitas con intercalaciones de areniscas de la Formación Santa (Ki-sa).

### 3.1.2. Formación Carhuaz (Ki-ca)

Aflora entre los sectores Rumicucho, Llacanora y Siguispampa hacia el sur del área de evaluación. La Formación Carhuaz está conformada por alternancia de areniscas gris rojizas con lutitas, la meteorización de estos afloramientos forma capas rojizas observadas en la ladera norte del cerro Rumicucho.

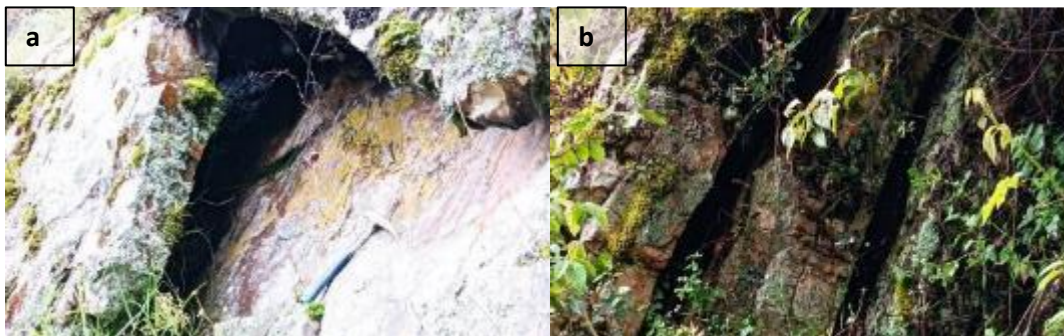
### 3.1.3. Formación Farrat (Ki-fa)

Son afloramientos conformados por areniscas cuarzosas gris blanquecinas de grano fino a grueso con intercalaciones de limoarcillitas pardo amarillentas, afloran al norte en el cerro Pumaushco en contacto con los afloramientos de la Formación Santa limitados por una falla normal con dirección este-oeste (fotografías 2 y 3).

Los afloramientos descritos se encuentran meteorizados y muy fracturados, desde donde se desprenden fragmentos de roca, con tamaños hasta de bloques que generan caída de rocas y deslizamientos como materiales que se entre mezclan con depósitos coluvio-deluviales más recientes.



**Fotografía 2.** Areniscas con buzamientos subverticales en la parte alta del cerro Pumaushco.



**Fotografía 3a.** Estratos de areniscas con aperturas mayores a 20 cm. **Fotografía 3b.** Estratos con espaciamientos

### 3.1.4. Depósitos cuaternarios

#### Depósitos aluviales (Q-al)

Están conformadas por arenas arcillosas con gravas y cantos y bloques dispersos de granulometría angulosas a subangulosas muy poco clasificados y heterogéneos. Han sido depositados por la escorrentía y flujos de corto recorrido debido a la meteorización de rocas insitu.

#### Depósitos fluviales (Q-fl)

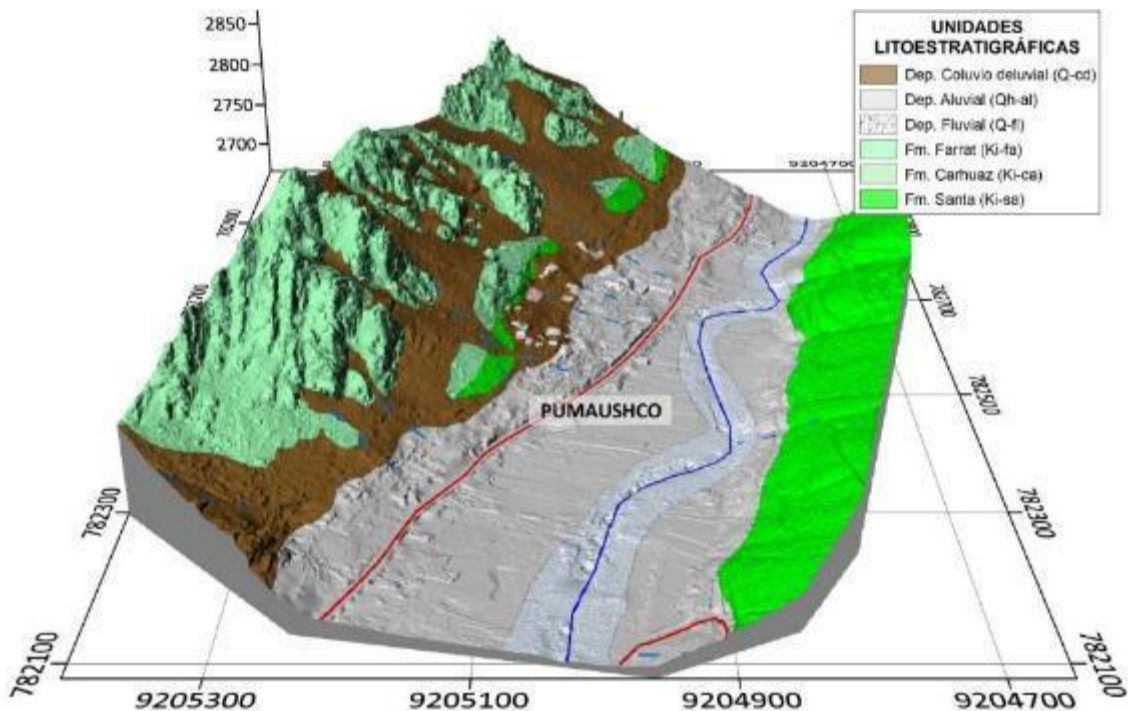
Los depósitos fluviales se encuentran distribuidos en el cauce del río Chonta ubicado a menos de 200 m del sector Pumaushco. Estos depósitos están constituidos por gravas redondeadas y arenas de grano medio a grueso.

#### Depósitos coluvio-deluvial (Q-cd)

Son aquellos depósitos que se encuentran acumulados al pie de laderas, como material de escombros constituidos por bloques, cantos y gravas, de formas subangulosos a angulosos y matriz areno-limosa que han sufrido transporte. Estos depósitos se distribuyen de norte a sur en la ladera del cerro Pumaushco, evidenciando movimientos de masa antiguos, como los deslizamientos, avalanchas y derrumbes (figura 4).



**Figura 3.** Vista aérea tomada en el mes de abril, donde se aprecian los afloramientos identificados en el área de evaluación.



**Figura 4.** Modelo 3D con los depósitos y afloramientos de rocas identificadas en la zona de evaluación.

#### 4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Para el análisis geomorfológico se hace uso del mapa base de geomorfología regional a escala 1/250000 (Zavala, 2011) complementado con información del levantamiento fotogramétrico con drones realizado en el mes de abril, el cual permite desarrollar el modelo digital de elevaciones, pendientes y ortofoto con una resolución (GSD) de 5 cm por pixel. Además, se realizó la revisión de imágenes satelitales y el análisis de la morfometría del relieve en los trabajos de campo.

##### 4.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

El área de evaluación alcanza hasta altitud de 2866 m en el cerro Pumaushco ubicado hacia el norte, mientras que, las cotas más bajas se ubican próximas al cauce del río Chonta con 2665 m de altitud. Los peligros geológicos identificados se distribuyen sobre laderas con elevaciones entre 2820 m en la zona de arranque hasta los 2720 m, zona de depositación donde también se ubican las viviendas afectadas (figura 5).

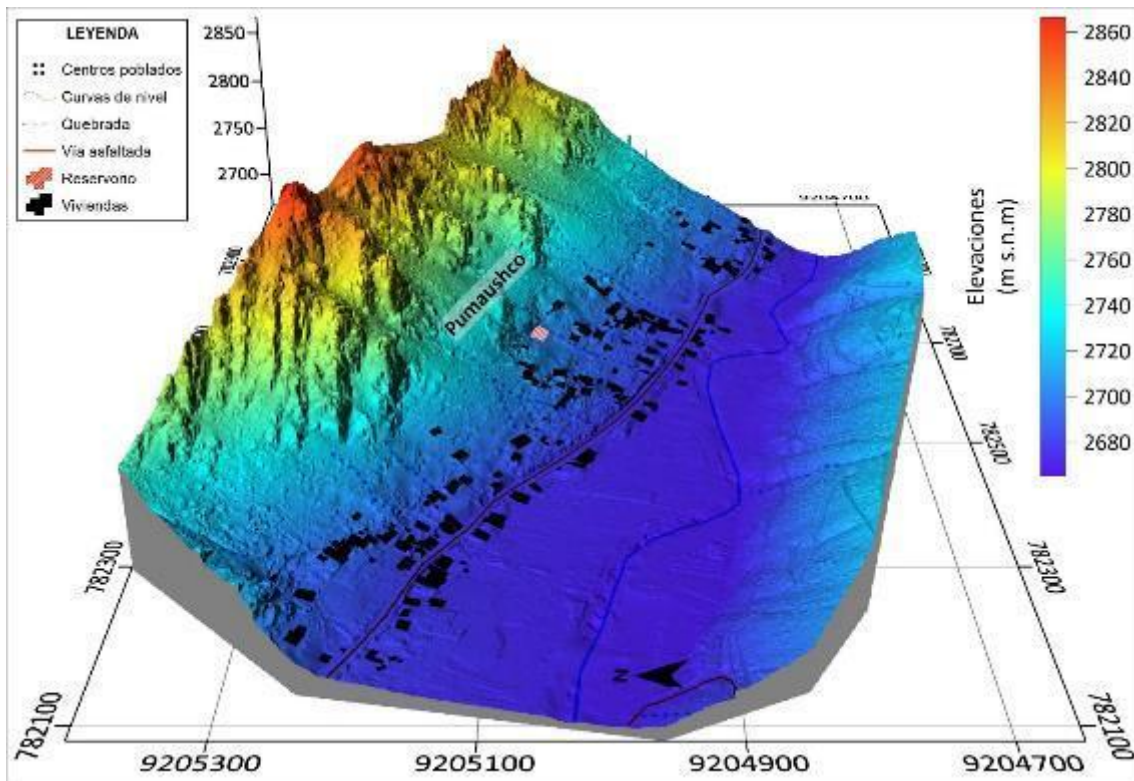


Figura 5. Mapa de elevaciones en el área de evaluación.

#### 4.2. Pendientes del terreno

Los relieves con pendientes escarpadas pueden condicionar la ocurrencia de movimientos en masa y controlar el modelamiento de las geoformas que conforman el relieve actual. En ese sentido, se elaboró el mapa de pendientes para identificar zonas de aporte y recepción de materiales provenientes de deslizamientos y avalanchas antiguas y que condicionan los peligros geológicos recientes.

El área de evaluación abarcó un total de 45 ha, con cuyo modelo digital de terreno, se elaboró el mapa de pendientes, que fue rasterizado y luego reclasificado para el cálculo de áreas expresado en porcentaje por cada rango.

Se determinó que, el área de evaluación presenta laderas con pendientes muy fuertes a muy escarpadas ( $25^{\circ}$  -  $90^{\circ}$ ) que abarcan el 33% (15 ha), sobre los cuales se presentan afloramientos de calizas, con intercalaciones de limoarcillitas, con condiciones geomecánicas desfavorables. Las pendientes moderadas a fuertes ( $5^{\circ}$  -  $25^{\circ}$ ) alcanzan el 46% (21 ha) relieves donde se desarrollan los procesos de caídas de clastos y bloques.

Las pendientes llanas a suavemente inclinadas solo abarcan el 20% (9 ha) de los relieves distribuidos en la parte baja formando llanuras o piedemontes, sobre la cual se asienta el área urbana del sector Pumaushco-Huayrapongo y posee pendientes moderadas ( $5^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ ) (figura 6).



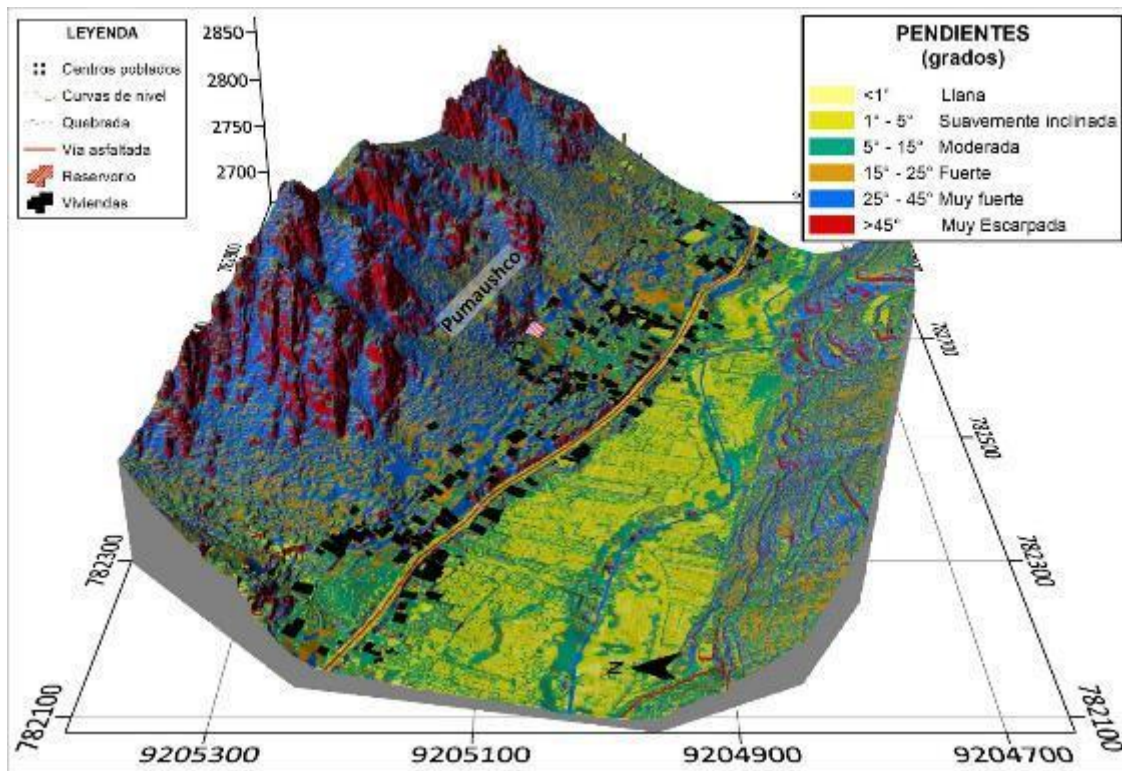


Figura 6. Mapa de pendientes del sector Pumaushco-Huayrapongo.

### 4.3. Unidades geomorfológicas

Para la determinación de las unidades geomorfológicas (Anexo 1: Mapa 2), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez *et al.*, 2020).

A continuación, se mencionan las principales unidades y subunidades geomorfológicas identificadas y que conforman el relieve en la zona de estudio. Tomando como base el mapa geomorfológico de Cajamarca, a escala 1/ 250000 (Zavala, 2011), se realizó el ajuste y definición de las unidades mediante la información obtenida en campo.

#### 4.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Las geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional 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):

#### 4.3.1.1. Unidad de montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semiredondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas y que presenta un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968, citado por Villota. 2005, p. 43).

**Subunidad de montaña en roca sedimentaria (RM-rs):** Las montañas se encuentran conformadas por lutitas con intercalaciones de areniscas grises, esta geoforma se distribuye al sur y norte del área de evaluación, hacia ambas márgenes del río Chonta con elevaciones que van desde los 2900 m s.n.m a 2400 m s.n.m, presentan pendientes fuertes a moderadas (5° a 25°) (figura 7).



**Figura 7.** Vista hacia la montaña en roca sedimentaria en el sector conocido como Rumicucho.

**Subunidad de montaña y colina estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs):** Estas geoformas se ubican al norte del sector Pumaushco-Huayrapongo y conforman relieves que alcanzan elevaciones de hasta 3095 m s.n.m, presentan pendientes muy fuertes a muy escarpadas en rocas sedimentarias conformadas por areniscas cuarzosas gris blanquecinas (figura 8).



**Figura 8.** Montaña y colina estructural en roca sedimentaria en el cerro Pumaushco.

#### 4.3.2. Geformas de carácter depositacional y agradacional

Las geformas de carácter depositacional y agradacional son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como el agua de escorrentía, los glaciares, las corrientes marinas, las mareas y los vientos. Estos tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

##### 4.3.2.1. Unidad de piedemonte

Superficie inclinada al pie de los sistemas montañosos, formada por caídas de rocas o por el acarreo de material aluvial arrastrado por corrientes de agua estacional y de carácter excepcional.

**Subunidad de vertiente o piedemonte coluvio deluvial (V-cd):** Son unidades conformadas por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial. Se encuentran interstratificados y no es posible separarlas como unidades individuales: Esta unidad se encuentra depositada al pie de las laderas de montañas o acantilados (Vílchez et al., 2019). Se formó por la acción de movimientos en masa antiguos (gravitacionales y fluvio-gravitacionales), presentan pendientes moderadas a fuertes (5°-25°). Geodinámicamente, este tipo de depósitos se pueden asociar a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo complejos, deslizamientos y flujo de detritos (figura 9).



**Figura 9.** Vista del piedemonte coluvio-deluvial con pendientes muy fuertes a muy escarpadas.

**Subunidad de vertiente o piedemonte aluvio-lacustre (P-al):** Corresponde a planicies ligeramente inclinadas que se extienden al pie de los relieves montañosos circundantes a la ciudad de Cajamarca, la cual ha sido originada por la acumulación de sedimentos aluviales sobre una depresión lagunar antigua. Destacan en esta unidad, las localidades de Cajamarca, Baños del Inca, Namora y Sucre (Celendín), en el área de evaluación se extiende a lo largo del río Chonta hacia la localidad de Llacanora (figura 10).



**Figura 10.** Vista hacia la ciudad de Cajamarca donde se observa una planicie ligeramente inclinada.

## 5. PELIGROS GEOLÓGICOS

El principal peligro geológico identificado en el sector Pumaushco-Huayrapongo, corresponde a movimientos en masa, tipo caídas de rocas y avalanchas de rocas antiguas (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). Estos procesos son resultado del modelamiento del terreno, condicionado por afloramientos de rocas incompetentes, sedimentos poco consolidados y susceptibles a la generación de movimientos en masa (Anexo 1: Mapa 3).

### 5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

#### 5.1.1. Avalancha de rocas antiguas

Las avalanchas de rocas son eventos geodinámicos rápidos, de roca fracturada, que resultan de deslizamientos de roca. Durante su desplazamiento, arrastra y adiciona agua, sedimentos y fragmentos que incrementa el volumen adquiriendo velocidad. Los depósitos de avalancha están conformados por bloques y clastos distribuidos en la superficie y otros parcialmente sumergidos en el interior de la masa, el material de granulometría fina a gruesa proviene de la roca fragmentada o de depósitos incorporados en la trayectoria (figuras 11 y 12).



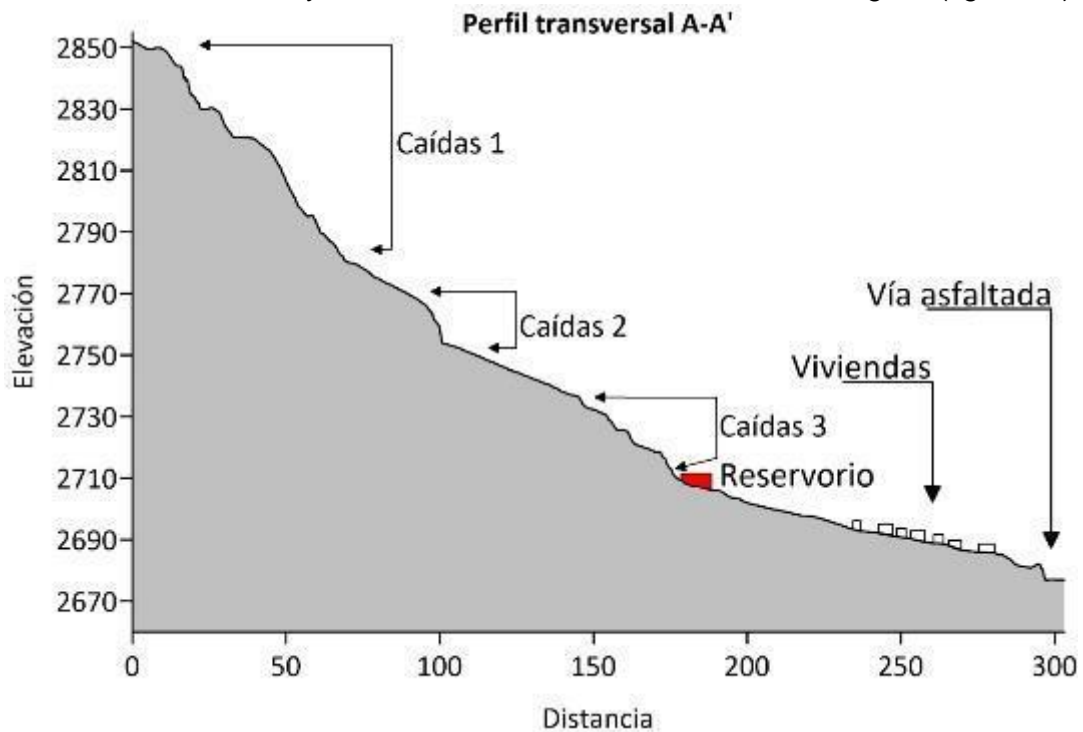
**Figura 11.** Vista aérea del campo de bloques ubicados en la ladera superior del cerro Pumaushco.



**Figura 12.** Bloques de arenisca de hasta 1.5 m de diámetro en la ladera del cerro Pumaushco.

### 5.1.2. Caída de rocas recientes

Se cartografiaron hasta 03 zonas de caídas con desprendimientos de rocas, ubicadas entre 2850 m, 2770 m y 2740 m de altitud, sobre afloramientos muy fracturados de areniscas, buzamientos subverticales y con evidencia de avalancha de rocas antiguas (figura 13).



**Figura 13.** Vista en planta y sólido 3D del área de evaluación del reservorio de Pumaushco.

### Zona de caídas 1 (ZC-1)

Se caracteriza por presentar pendientes muy escarpadas distribuidas entre 2790 y 2860 ms.n.m., está conformada por afloramientos de arenisca muy fracturada, se observan escasos bloques distribuidos de forma dispersa de hasta 1 m de diámetro abarcando 0.63 ha.

### Zona de caídas 2 (ZC-2)

Se distribuye en relieves con pendientes fuertes a muy escarpadas en afloramientos de areniscas intercaladas con limoarcillitas muy fracturadas. Se identificaron bloques angulosos con diámetros menores a 1 m y cantos angulosos, se calculó un área total de 1.9 ha.

### Zona de caídas 3 (ZC-3)

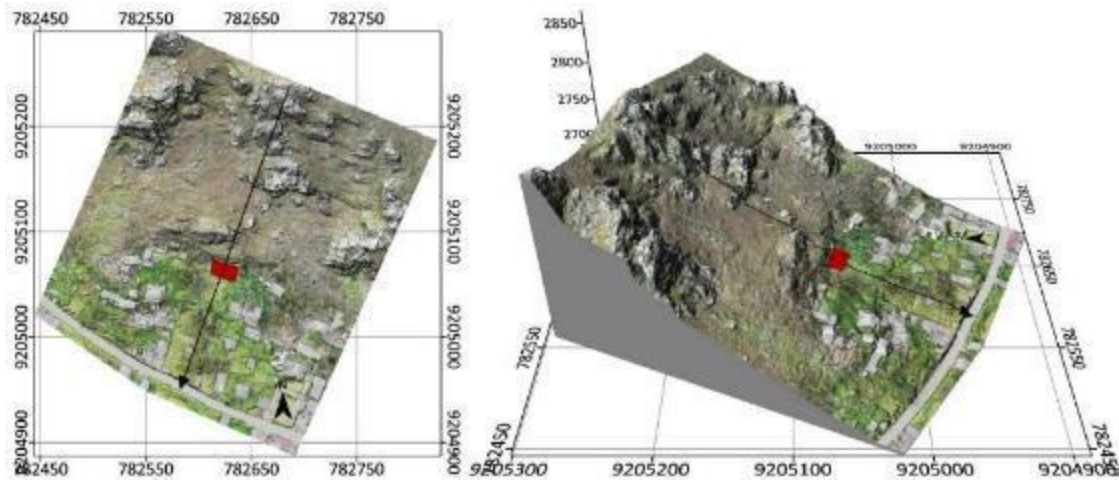
En los trabajos de campo de abril del 2022 se identificaron desprendimientos de clastos angulosos de 20 cm a 50 cm de diámetro de forma dispersa, además de bloques ubicados a media ladera.

Los afloramientos de areniscas dan forma a laderas con pendientes muy escarpadas y con condiciones geomecánicas muy desfavorables, de estratos con buzamientos subverticales, muy fracturados y meteorizados, por ello, los clastos se desprenden en caída libre con pocos rebotes hasta llegar al reservorio donde rebotan y ruedan hasta ser retenido por el cerco perimétrico del reservorio (figura 14).



**Figura 14.** Vista ladera abajo donde se ubica el reservorio de agua y las viviendas afectadas.

En base al MDT obtenido de la fotogrametría con dron, se elaboraron las vistas en planta y solido 3D con un perfil transversal de 300 m de longitud, de donde se obtuvieron las pendientes más críticas, las áreas de desprendimiento y laderas de deposición (figura 15).



**Figura 15.** Vista en planta y sólido 3D del área de evaluación del reservorio de Pumaushco.

La zona de caída (ZC-3) alcanza un área total de 0.71 ha, en donde afloran areniscas muy fracturadas, en estratos con buzamientos subverticales, esto condiciona la ocurrencia de desprendimientos de clastos angulosos que tienen poco recorrido (figura 16).



**Figura 16.** Vista en planta y sólido 3D del área de evaluación del reservorio de Pumaushco.

## 6. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DE LADERAS

### 6.1. Factores condicionantes

#### Litológico-estructural

Presencia de varias etapas de deformación que corresponden a los movimientos ocurridos durante el Ciclo Andino, expresadas en discordancias, pliegues y fallas materializadas en zonas de deformación. Teniendo una falla de tipo normal, cuyo eje corta los afloramientos de las Formaciones Farrat (Ki-fa) y Santa (Ki-sa) con una dirección este-oeste y sureste



noroeste. En la falla, el bloque piso se mueve ligeramente al suroeste con respecto al bloque techo, esta cinemática favorece la deformación de los afloramientos ubicados sobre pendientes muy escarpadas.

### Geomorfológico

Las fallas de tipo normal originan deformaciones geomorfológicas conocidas como facetas triangulares, ocurre cuando la línea de falla se orienta de forma paralela a una cadena de montaña. El plano o espejo de falla corta los espolones que se desprenden de forma perpendicular al eje de la cordillera, esta geoforma presenta planos con pendientes fuertes a muy escarpadas en montañas y colinas estructurales en rocas sedimentarias (figura 17).



**Figura 17.** Afloramientos de areniscas muy fracturadas y deformadas originadas por una falla de tipo normal.

## 6.2. Clasificación geomecánica

### 6.2.1. RMR de Bieniawski

La clasificación geomecánica de Bieniawski o clasificación RMR fue desarrollada en 1973, actualizada en 1979 y 1989, consiste en la clasificación de macizos rocosos en base a parámetros geotécnicos del afloramiento.

Para la clasificación geomecánica del macizo rocoso, mediante las características del afloramiento se evaluaron las diaclasas, discontinuidades (longitud, abertura, rugosidad, relleno y alteraciones), presencia de agua y resistencia de la roca.

Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta, fueron determinados con el método indirecto (usando el martillo de geólogo, ISRM 1981), el índice de calidad (RQD) fue determinado para cada estación, mediante el registro lineal (Ramírez Oyanguren et al, 1984), teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento.

Para estimar la calidad de roca, se realizó un conjunto de medidas en los afloramientos rocosos de las Formaciones Farrat y Santa, específicamente en las areniscas cuarzosas y lutitas, las cuales se describen en las estaciones 1, 2 y 3 (cuadros 4, 5 y 6).

**Cuadro 4. Estación geomecánica 01: Macizo rocoso de mala calidad con un RMR de 37.**

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)											
PARAMETRO	RANGO DE VALORES							VALORACION			
	VALOR ESTIMADO										
R. COMPRES. UNIAxIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	X	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4			
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	X	25-50 (8)	<25 (3)	2	8			
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	X	0,06-0,2 (8)	< 0,06 (5)	3	8			
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	X	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	4		
	ABERTURA	Cerrada (6)		<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	X	> 5 mm (0)	4B	0	
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	X	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)		Espejo de falla (0)	4C	5	
	RELLENO	Limpia (6)		Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	X	Suave < 5 mm (1)		Suave > 5 mm (0)	4D	1
	ALTERACION	Sana (6)		Lig. Alterada. (5)	X	Mod.Alterada. (3)		Muy Alterada. (2)		4E	3
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Humedo (10)		Mojado (7)	X	Goteo (4)		Flujo (0)	5	4	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = <b>37</b>											
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>											
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41		40 - 21	20 - 0			<b>IV</b>		
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR		IV MALA	V MUY MALA					

**Cuadro 5. Estación geomecánica 02: Macizo rocoso de mala calidad con un RMR de 31.**

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)												
PARAMETRO	RANGO DE VALORES							VALORACION				
	VALOR ESTIMADO											
R. COMPRES. UNIAxIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	X	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4				
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	X	25-50 (8)	<25 (3)	2	8				
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	X	0,06-0,2 (8)	< 0,06 (5)	3	8				
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)		X	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	2		
	ABERTURA	Cerrada (6)			<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	X	> 5 mm (0)	4B	0	
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	X		Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)		Espejo de falla (0)	4C	5	
	RELLENO	Limpia (6)			Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	X	Suave < 5 mm (1)		Suave > 5 mm (0)	4D	1
	ALTERACION	Sana (6)			Lig. Alterada. (5)	X	Mod.Alterada. (3)		Muy Alterada. (2)		4E	3
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Humedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)	X	Flujo (0)	5	0		
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = <b>31</b>												
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>												
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41		40 - 21	20 - 0			<b>IV</b>			
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR		IV MALA	V MUY MALA						

**Cuadro 6. Estación geomecánica 03: Macizo rocoso de mala calidad con un RMR de 33.**

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)												
PARAMETRO	RANGO DE VALORES							VALORACION				
	VALOR ESTIMADO											
R. COMPRES. UNIAxIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	X	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4				
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	X	25-50 (8)	<25 (3)	2	8				
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	X	0,06-0,2 (8)	< 0,06 (5)	3	8				
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	X	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	4			
	ABERTURA	Cerrada (6)		<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	X	> 5 mm (0)	4B	0		
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	X		Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)		Espejo de falla (0)	4C	5	
	RELLENO	Limpia (6)			Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	X	Suave < 5 mm (1)		Suave > 5 mm (0)	4D	1

ALTERACION	Sana (6)	Lig. Alterada. (5) X	Mod. Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	3
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4) X	Flujo (0)	5	0
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =							33
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	<b>IV</b>	
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

### 6.2.2. SMR para taludes

La clasificación SMR es un método de determinación de los factores de ajuste adecuados para aplicar la clasificación RMR de BIENIAWSKI a los taludes. Cualquier clasificación debe considerar, en primer lugar, que la rotura de un talud rocoso puede ocurrir según formas muy diferentes. En la mayoría de los casos la rotura de la masa rocosa está gobernada por las discontinuidades y se produce según superficies formadas por una o varias juntas. Las formas básicas son bien conocidas (Hoek & Bray, 1974) y se resumen a continuación: roturas planas, roturas en cuña, roturas por vuelco y roturas globales.

A continuación, se muestra el SMR realizado en las 03 estaciones evaluadas en el talud afectado (cuadro 7). Además, se muestran los ajustes en base a los datos de RMR, obtenidos para cada estación geomecánica (tabla 1).

**Cuadro 7.** SMR calculados en función de los factores de ajuste en las juntas.

N°	RMR	F1	F2	F3	F4	CORRECCIÓN	SMR
1	37	0.15	1.00	-6	0	-0.9	36
2	31	0.70	1.00	0	0	0.0	31
3	33	0.40	1.00	-6	-2	-4.4	29

**Tabla 1.** Clasificación de estabilidad de SMR.

CLASES DE ESTABILIDAD SEGÚN EL SMR (Romana, 1985)					
Clase tipo	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-40	61-80	81-100
Descripción	Muy Mala	Mala	Normal	Buena	Muy Buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Juntas y grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Re-excavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

## 7. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Se realizó el análisis cinemático del talud por falla planar o volteo en base a los datos recolectados en la etapa de campo. A continuación, se muestran los resultados obtenidos, que deben ser considerados para emplear las medidas correctivas, de esa manera evitar daños mayores a viviendas e infraestructura.

### 7.1. Análisis cinemático con DIPS

Para trabajar en el programa DIPS de Rocscience, se realizó la interpretación de los rumbos y buzamientos promediando todas las familias de discontinuidades y realizando la conversión a Dips y Dips direction.

7.1.1. Estaciones geomecánicas  
 Datos tomados en campo y convertidos a dips y dipdirection en etapa de gabinete (cuadro 8).

**Cuadro 8.** Datos convertidos a dip y dipdirection

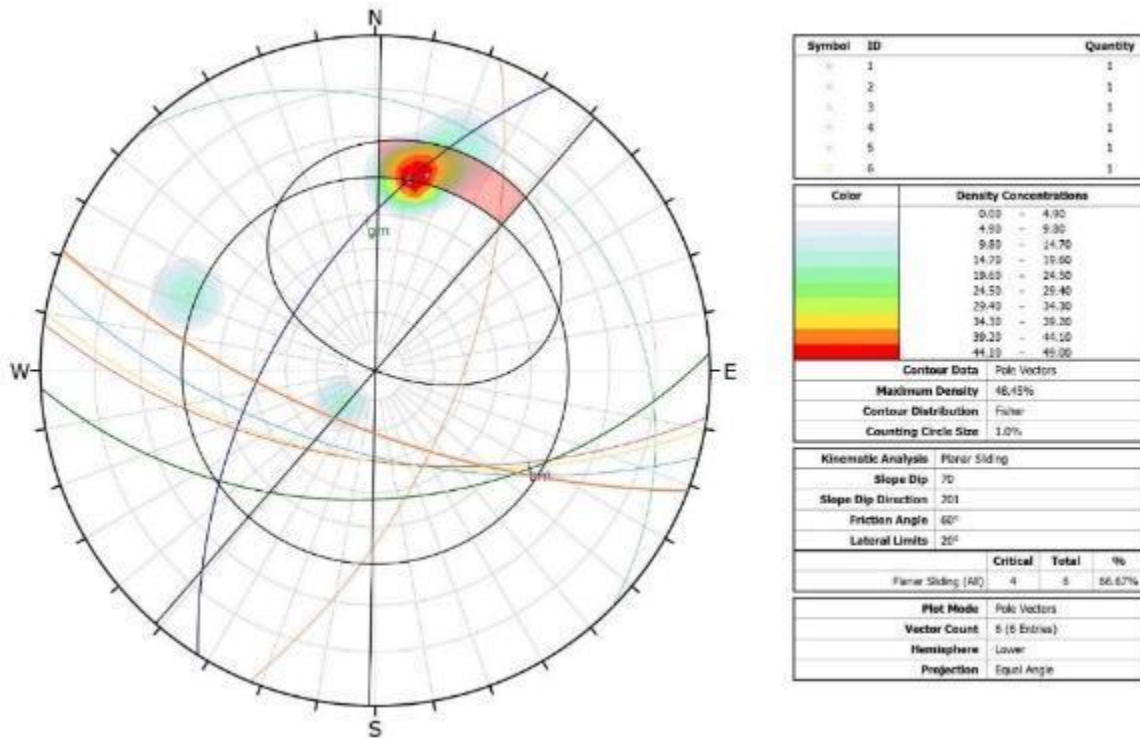
Datos para análisis	DIPS	DIP DIRECTION
Talud	70	201
Estratificación	60	188
Familia de discontinuidad 1	16	45
Familia de discontinuidad 2	62	112
Familia de discontinuidad 3	62	195
Familia de discontinuidad 4	60	190

a. Análisis por falla planar

Según el análisis cinemático realizado en el afloramiento de lutitas y areniscas ubicadas al pie del reservorio de agua, se observan fallas de tipo planar, debido a la estratificación y la junta de la familia 1, con una probabilidad de 66% (fotografía 4 y figura 18).



**Fotografía 4.** Afloramientos de lutitas y areniscas con falla de tipo planar.



**Figura 18.** Estereograma ploteado con las familias de juntas identificadas en campo.

b. Análisis por falla en cuña

Según el análisis cinemático realizado en el afloramiento de areniscas ubicadas en la parte alta de ladera, donde existe un intenso fracturamiento, se observa fallas de tipo cuña, debido a la estratificación y la junta de las familias 2, 3 y 4, con una probabilidad de 73% (fotografía 5 y figura 19).



**Fotografía 5.** Afloramientos de areniscas con falla de tipo cuña.

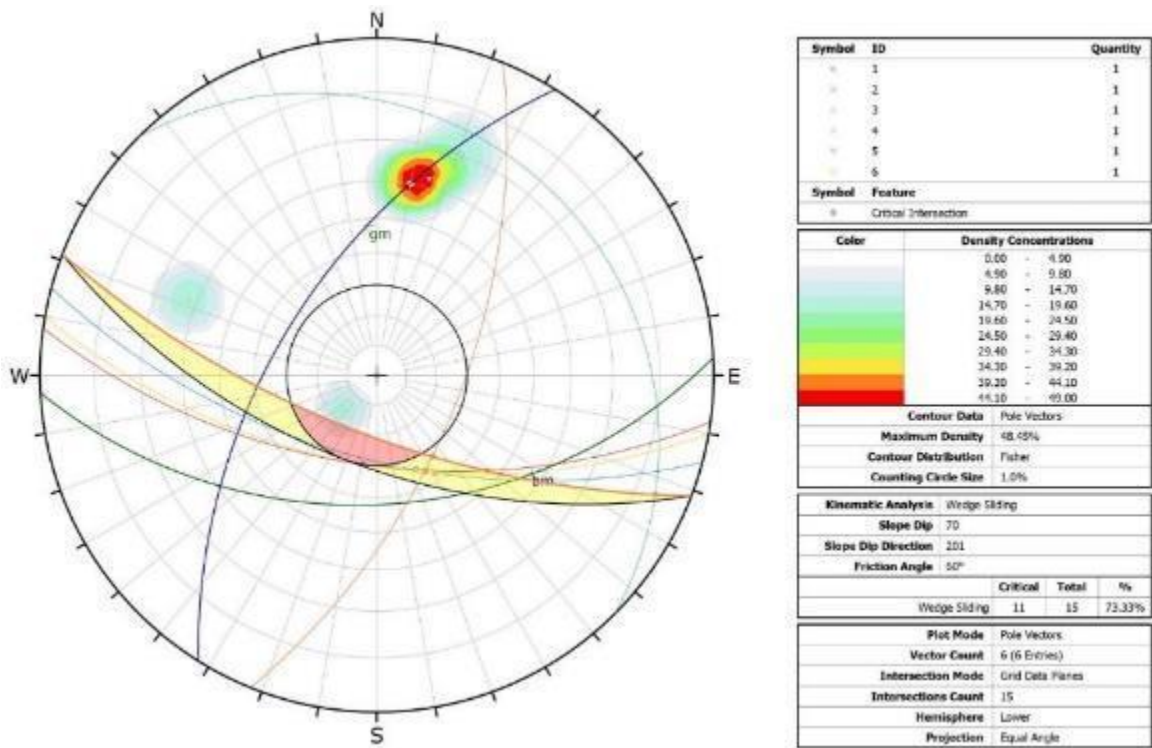


Figura 19. Estereograma plotado con las familias de juntas identificadas en campo.

## 8. CONCLUSIONES

1. En el contexto geológico regional, el ciclo andino ocasionó grandes deformaciones expresadas en pliegues, discordancias y fallas. En el área de evaluación, existe una falla normal que deformó y meteorizó las areniscas y lutitas que afloran en el cerro Pumaushco, evidenciadas por un intenso fracturamiento.
2. Localmente en el cerro Pumaushco (de donde se desprenden las caídas), se conforman de lutitas con intercalaciones de areniscas cuarzosas muy fracturadas y meteorizadas correspondientes a las Formaciones Santa (Ki-sa) y Farrat (Ki-fa); ambos tienen condiciones geomecánicas muy pobres, clasificadas como rocas de tipo IV (roca mala), inestable, con roturas por juntas o cuñas; sumados a la presencia de agua por goteo y flujo.
3. En el área de evaluación, se cartografiaron clastos y bloques de arenisca, con granulometría angulosa, de corto recorrido y distribuidos de forma caótica en la ladera sur del cerro Pumaushco. Estos depósitos, provienen de la ocurrencia de antiguas avalanchas de rocas que dan origen a los depósitos coluvio-deluviales (Q-cd).
4. Geomorfológicamente, el área de evaluación se divide en una zona de aporte representada por montañas y colinas estructurales en rocas sedimentarias (RMCE-rs), que limitan con montañas en rocas sedimentos (RM-rs) de pendientes fuertes a muy escarpadas (25° a 90°) y una zona de recepción, denominada como vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd), de pendientes moderadas a fuertes (5° a 25°), donde se ubica el reservorio de agua y el área urbana del sector Pumaushco-Huayrapongo.
5. La zona de caídas de rocas 3, que afecta el reservorio de agua y al área urbana del sector Pumaushco-Huayrapongo, tiene una longitud de 210 m y ancho de 45 m, se desarrolla sobre relieves con pendientes fuertes a muy escarpadas y está conformada por bloques de arenisca con diámetro de 1 m.
6. El análisis cinemático del talud, muestra dos tipos de caídas diferenciadas por la ubicación de los afloramientos. Las caídas identificadas en la parte alta de la ladera (ZC-1 y ZC-2), se originan por fallas de tipo cuña con una probabilidad de 73%, condicionada por un conjunto de discontinuidades que se intersectan formando bloques deslizantes de arenisca de la Formación Farrat.
7. Las caídas de rocas al pie del reservorio (ZC-3), muestran fallas de tipo planar con una probabilidad de 66%, relacionadas al buzamiento subvertical a favor de la pendiente y al intenso fracturamiento de las areniscas y lutitas.
8. Debido a las condiciones geológicas-geomecánicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta el cerro Pumaushco, se considera que, el reservorio Pumaushco y las viviendas del sector, tienen **Peligro Muy Alto** ante la ocurrencia de caídas de rocas considerándolos como una **Zona Crítica**.

## 9. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda evacuar las viviendas ubicadas en el sector Pumaushco-Huayrapongo y alrededores del reservorio de agua, elementos expuestos a peligros geológicos recientes y potenciales como caídas de clastos y bloques de hasta 1 m de diámetro.
2. Las autoridades locales y población deben implementar y participar de un programa de monitoreo de los taludes, con la finalidad de medir de forma periódica las aperturas identificadas de las fracturas de las areniscas, además del flujo de agua que emana de los afloramientos. Ante la ocurrencia de un sismo de regular magnitud, el monitoreo debe ser constante complementado con un sistema de alerta.
3. Realizar el desquinche de 200 m<sup>2</sup> de bloques y cantos, distribuidos en la zona de caída 3 al pie del reservorio de agua potable.
4. Colocar geomallas en los taludes críticos (ZC-02 y 03), con el objetivo de retener los fragmentos de rocas de menor tamaño, evitando largos recorridos hasta la vía de comunicación.
5. Implementar programas de reforestación en la base del piedemonte aluvial, en los relieves donde se ubican las viviendas, con la finalidad de establecer zonas de retención a través de árboles como cercos naturales.
6. Restringir la construcción de nuevas viviendas e infraestructuras, en las laderas y zonas de sector Pumaushco ya que poseen un potencial de ser impactados por las caídas de rocas.

  
LUIS MIGUEL LEON ORDAZ  
Ingeniero Geólogo  
Reg.CIP. N° 215610

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



## 10. BIBLIOGRAFÍA

BIENIAWSKI, Z.T. (1989). "Engineering Rock Mass Classifications". Wiley-Interscience Publication.

Corominas Dulcet, J., y García Yagué A., 1997, Terminología de los movimientos de laderas, en Memorias, IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Granada, España, p. 1051–1072.

ISRM (1981). Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested methods. Ed E.T. Brown. Pergamon Press.

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

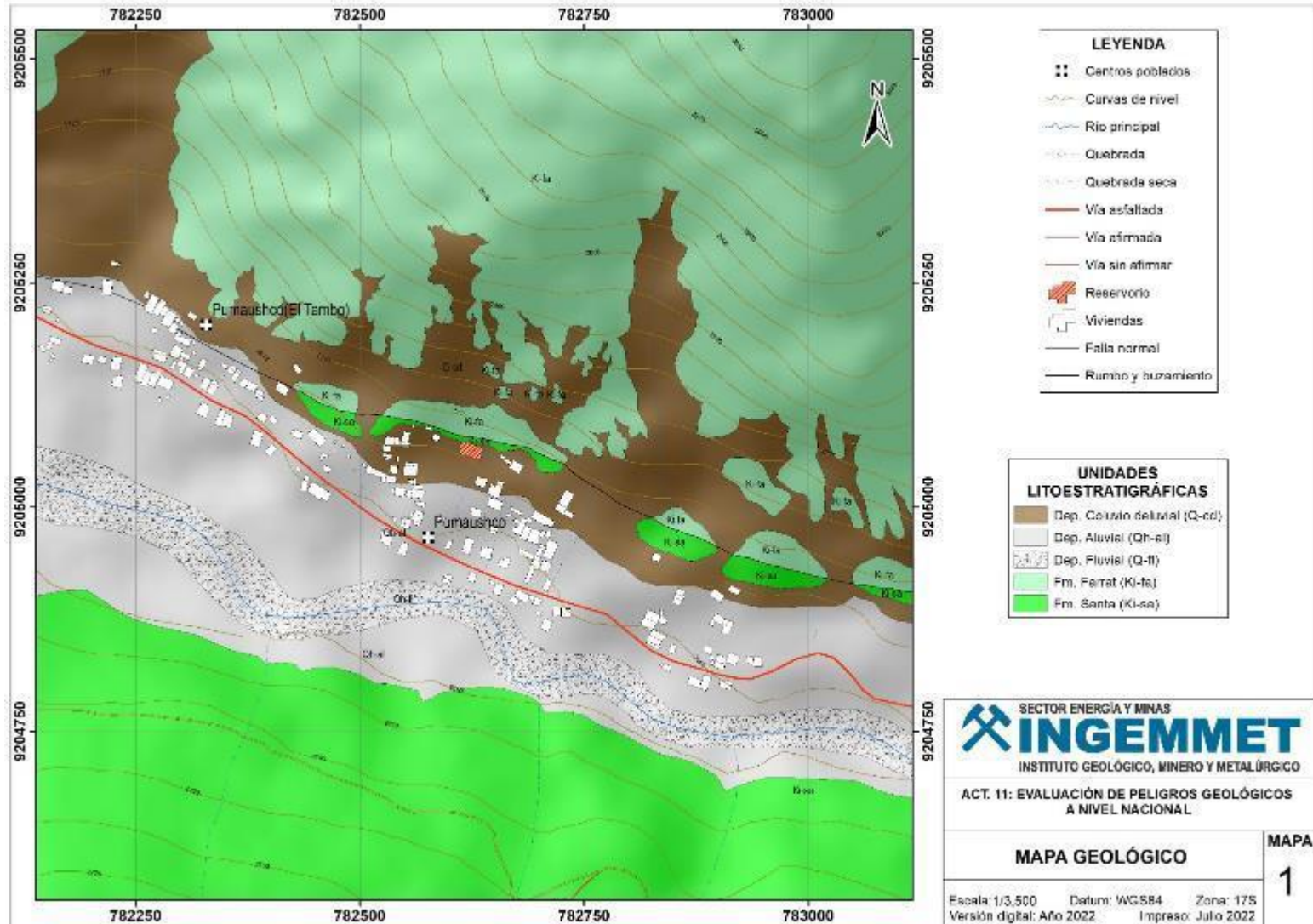
Reyes, L. (1980). Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Hojas: 15-f, 15-g, 16-g. INGEMMET Boletín N° 31, Serie A.

Suarez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN.

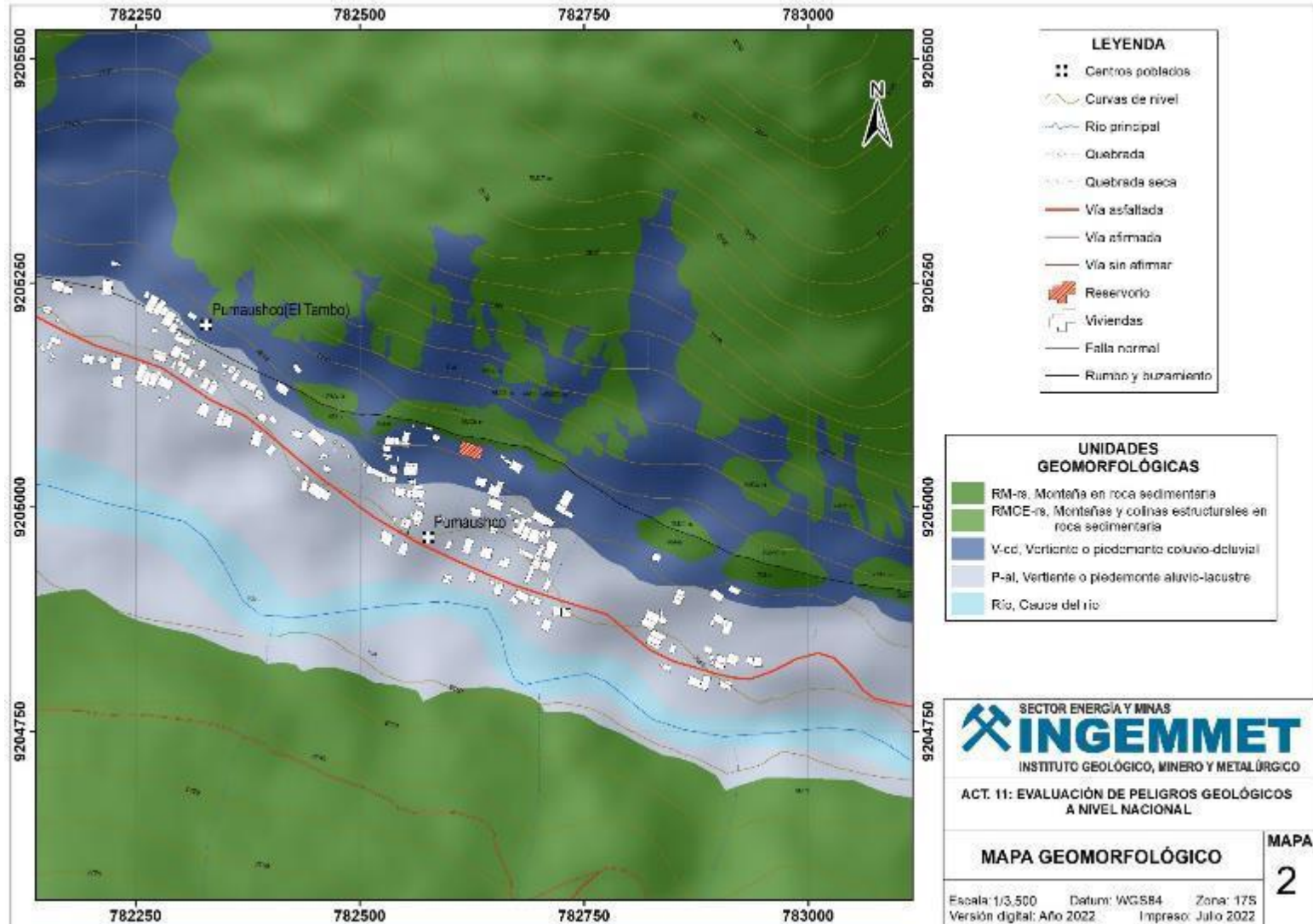
Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

Zavala, B., & Rosado, M. (2011). Riesgo Geológico en la Región Cajamarca. INGEMMET Boletín N° 44, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.

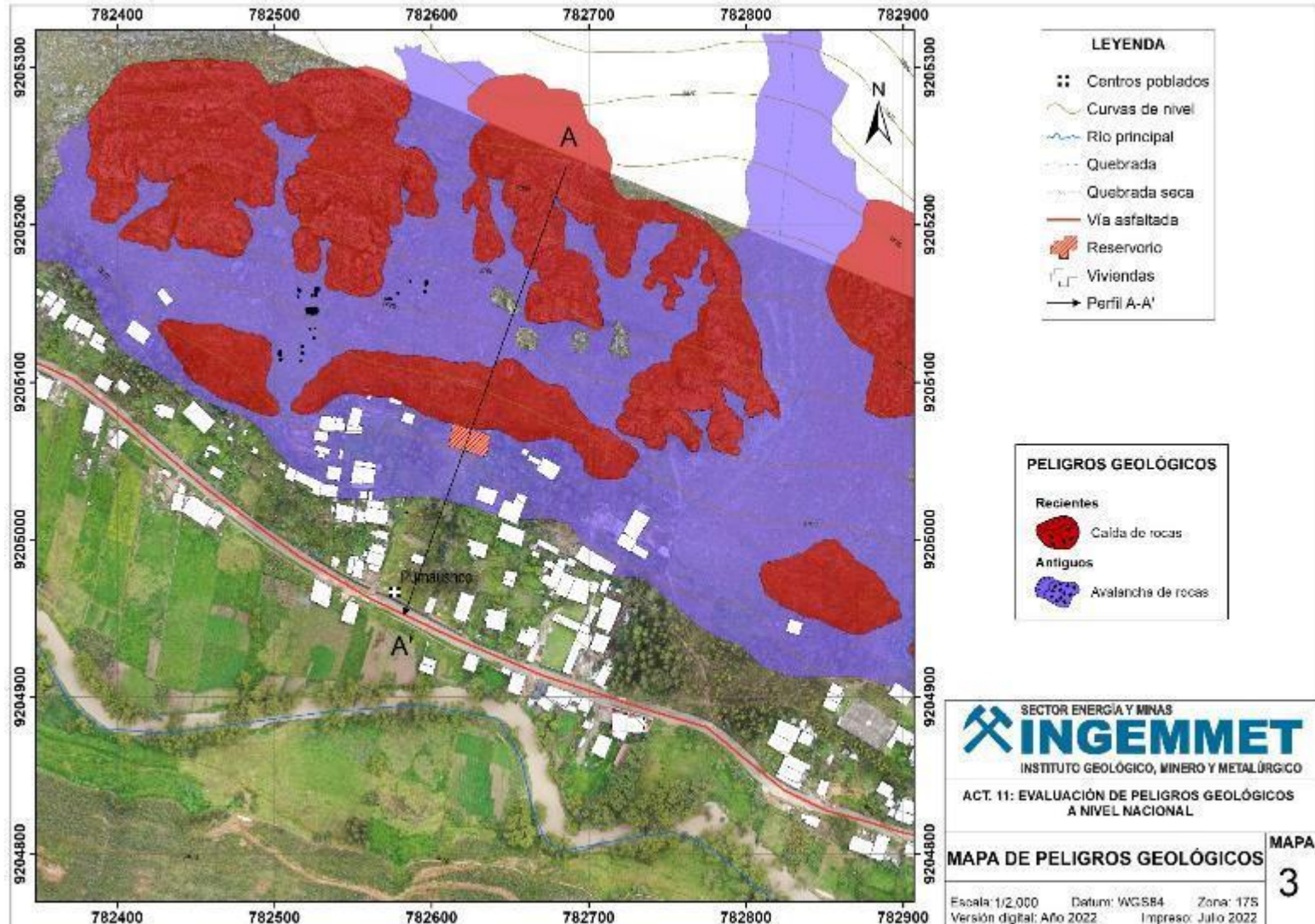
# ANEXO 1: MAPAS



Mapa 1. Mapa geológico del área evaluada.



Mapa 2. Mapa geomorfológico del área evaluada.



Mapa 3. Cartografía de peligros geológicos del área evaluada.

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

## a. Uso de barreras y mallas

### Para los bloques sueltos

#### **Pantallas metálicas**

En taludes naturales de pendiente media, bajo un acantilado de gran altura, resultan muy convenientes las pantallas metálicas para la intercepción de material que puedan caer del acantilado. De acuerdo con la forma de trabajo las pantallas se pueden denominar estáticas o dinámicas.

#### **Barreras estáticas**

Constituidas con elementos metálicos, se comportan de forma acertada ante impactos de muy baja energía, su principio de funcionamiento está basado en el empleo de soluciones potentes basado en elementos rígidos y de gran inercia que se oponen al paso de las rocas. Para energías superiores a los 50 kJ son inadecuadas y resultan literalmente arrasadas por el paso de las rocas.

#### **Barreras dinámicas**

Es una barrera que, al igual que la anterior, se coloca perpendicular al eje de la trayectoria probable del material caído, con el objeto de interceptarlo y evitar que llegue a la parte baja del talud (fotografía 6). En este caso se pone una estructura de elevada deformabilidad, gracias a la cual se puede absorber una elevada cantidad de energía sin que los esfuerzos en los diferentes elementos de la misma sean excesivamente elevados.



**Fotografía 6.** Ejemplo de barrera dinámica.

### **Mallas ancladas**

es un sistema de protección frente a desprendimientos rocosos o que cubre la superficie afectada del talud/ladera por medio de una malla de alambre de acero galvanizado de triple torsión, reforzada con anclajes cortos dispuestos en una grilla, que además se vinculan diagonal y perimetralmente por los extremos con cables de acero (fotografía 7). Debe tenerse en cuenta que los anclajes de mallas protegen de la caída de bloques superficiales, pero no representan estabilidad para el caso de fallas de bloques grandes o movimientos de grandes masas de suelo o roca. Todos estos elementos poseen recubrimiento anticorrosivo salvo los elementos de anclaje (bulones intermedios, los anclajes superiores, tuerca y placas de anclaje).



**Fotografía 7.** Control de caída de rocas utilizando mallas ancladas.

#### **b. Uso de vegetación**

El efecto de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes es muy debatido; el estado del uso actual deja muchas dudas e inquietudes y la cuantificación de los efectos de estabilización de las plantas sobre el suelo, no ha tenido una explicación universalmente aceptada. Sin embargo, la experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación, para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales (Suárez, 1998). Para poder analizar los fenómenos del efecto de la vegetación sobre el suelo se requiere investigar las características específicas de la vegetación en el ambiente natural que se esté estudiando. Entre los factores se sugiere analizar los siguientes:

- Volumen y densidad de follaje, tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la cobertura vegetal, presencia de varias capas diferentes de cobertura



vegetal, tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia del sistema de raíces.

- El tipo de vegetación, tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales: En primer lugar, tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y, además, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.

- Como controlador de infiltraciones tiene un efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo al tomar el agua que requiere para vivir.

**Factores que aumentan la estabilidad del talud:**

1. Intercepta la lluvia
2. Aumenta la capacidad de infiltración
3. Extrae la humedad del suelo
5. Las raíces refuerzan el suelo, aumentando la resistencia al esfuerzo cortante
6. Anclan el suelo superficial a mantos más profundos
7. Aumentan el peso sobre el talud
8. Trasmiten al suelo la fuerza del viento
9. Retienen las partículas del suelo disminuyendo la susceptibilidad a la erosión

Muro	Ventajas	Desventajas
Reforzado	Los muros de concreto armado pueden emplearse en alturas grandes (superiores a diez metros), previo su diseño estructural y estabilidad. Se utilizan métodos convencionales de construcción, en los cuales la mayoría de los maestros de construcción tienen experiencia.	Requieren de buen piso de cimentación. Son antieconómicos en alturas muy grandes y requieren de formaletas especiales. Su poco peso los hace inefectivos en muchos casos de estabilización de deslizamientos de masas grandes de suelo.
Concreto simple	Relativamente simples de construir y mantener, pueden construirse en curvas y en diferentes formas para propósitos arquitectónicos y pueden colocarse enchanes para su apariencia exterior.	Se requiere una muy buena fundación y no permite deformaciones importantes, se necesitan cantidades grandes de concreto y un tiempo de curado antes de que puedan trabajar.
Concreto ciclópeo	Similares a los de concreto simple. Utilizan bloques o cantos de roca como material embebido, disminuyendo los volúmenes de concreto.	El concreto ciclópeo (cantos de roca y concreto) no puede soportar esfuerzos de flexión grandes.