

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7157**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA HUAYHUARA

Región Huancavelica  
Provincia Churcampa  
Distrito Paucarbamba



## **EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA HUAYHUARA**

*(Distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa, departamento Huancavelica)*

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

*Equipo de investigación:*

*Angel Gonzalo Luna Guillen*

### **Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en la quebrada Huayhuara. Distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa, departamento Huancavelica. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7157, 44 p.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>1.1. Objetivos del estudio</b> .....	3
<b>1.2. Antecedentes y trabajos anteriores</b> .....	3
<b>1.3. Aspectos generales</b> .....	5
1.3.1. Ubicación .....	5
1.3.2. Accesibilidad.....	7
1.3.3. Clima .....	7
<b>2. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	8
<b>2.1. Unidades litoestratigráficas</b> .....	8
2.1.1. Grupo Tarma (Cs-t) .....	9
2.1.2. Grupo Mitu (PsT-mi).....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.3. Formación Huanta – Miembro Tigrayoc (Nm-ti).....	11
2.1.4. Depósito proluvial (Q-pl).....	12
2.1.5. Depósito coluvio-deluvial (Q-cd) .....	13
<b>3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b> .....	14
<b>3.1. Pendientes del terreno</b> .....	14
<b>3.2. Unidades geomorfológicas</b> .....	14
3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	14
3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional.....	15
<b>4. PELIGROS GEOLÓGICOS</b> .....	19
<b>4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa</b> .....	19
4.1.1. Deslizamiento Huayhuara .....	19
4.1.3. Análisis de perfiles transversales.....	24
4.1.4. Flujo de detritos en la quebrada Huayhuara. ....	27
4.1.5. Reptación de suelos en la quebrada Huayhuara. ....	30
4.1.6. Factores condicionantes.....	33
4.1.7. Factores desencadenantes.....	33
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	36
<b>6. RECOMENDACIONES</b> .....	38
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	39
<b>ANEXO 1: GLOSARIO</b> .....	40
<b>ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN</b> .....	41
<b>A. Medidas de mitigación para huaicos</b> .....	41
<b>B. Medidas de mitigación para deslizamientos</b> .....	42

## RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizado en la quebrada Huayhuara, perteneciente a la jurisdicción del distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa, departamento Huancavelica; lugar donde se asienta parte de la población del anexo Huayhuara. 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 actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología, en los tres niveles de gobierno (distrital, municipal y nacional).

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona evaluada, corresponden a rocas de origen sedimentario de la Formación Huanta y grupos Mitu y Tarma, conformado por conglomerados con clastos volcánicos subredondeados y areniscas feldespáticas, este último se encuentra muy fracturado y meteorizado. Estas unidades se encuentran cubiertas por depósitos coluvio-deluviales, compuestos por materiales inconsolidados de cantos y bloques de formas angulosas a subangulosas, con diámetros que varían de 0.5 a 1 m, inmersos en una matriz limo-arcillosa, plástica, cohesiva y saturada.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional (montañas modeladas en rocas sedimentarias) y geoformas de carácter depositacional y agradacional, principalmente originada por la ocurrencia de movimientos en masa antiguos, que configuran geoformas de piedemonte (vertiente con depósitos de deslizamiento y vertiente coluvio – deluvial).

La quebrada Huayhuara, geodinámicamente se encuentra activa; se identificó deslizamientos antiguos y activos, depósitos de flujo de detritos antiguos y ocurrencias de reptación de suelos.

Uno de los deslizamientos activos, al que se denominó Huayhuara; se encuentra ubicado a 1.50 km del poblado de Paucarbamba, específicamente en la cabecera de la quebrada Huayhuara, es de tipo rotacional y se desarrolla sobre depósitos coluvio-deluviales y rocas de la Formación Huanta con dirección NE-SO; la escarpa principal tiene una longitud de 300 m y un salto vertical de 11 m, la longitud de la masa deslizada es de 495 m, con una altura de 160 m, entre la corona y pie del deslizamiento. Según los pobladores, el deslizamiento se reactivó el 2007.

Asimismo, el 2007 a causa de las intensas precipitaciones pluviales, el agua de escorrentía superficial erosionó parte del material deslizado y generó flujo de detritos que se canalizó por la quebrada Huayhuara hasta llegar a los poblados de Paucarbamba y Chinchihuasi; durante el recorrido el flujo de detritos cambió a flujo de lodo. Además, el flujo erosionó la base de las laderas y surgieron la reactivación de deslizamientos que podría generar represamiento en el cauce; cuyo desembalse violento podría generar flujos de detritos y afectar al poblado de Paucarbamba.

Además, en la masa deslizada del deslizamiento Huayhuara, se evidencia reptación de suelos que han formado relieves ondulados y grietas en la cobertura vegetal; también, se observa árboles inclinados.

El factor desencadenante que originó el deslizamiento Huayhuara y posterior ocurrencia de flujo de detritos, fueron las lluvias intensas (35 mm de precipitación diaria acumulada) registradas durante el mes de marzo del 2007. Además, se considera como los principales factores condicionantes, al substrato rocoso muy fracturado y meteorizado, ello permite mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno; suelos inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales) de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales intensas; laderas con pendientes fuertes a muy escarpadas (25°-83°), lo que permite que el material suelto

disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.

El área evaluada en la quebrada Huayhuara, se considera de **peligro muy alto** y **zona crítica** por la ocurrencia y reactivación de deslizamientos, reptación de suelos y flujos de detritos que pueden ser desencadenados por lluvias periódicas y excepcionales; así mismo, los deslizamientos también pueden ser desencadenados por sismos, como efectos cosísmicos.

Se recomienda reubicar las viviendas del anexo Huayhuara que se encuentran asentadas en la quebrada del mismo nombre, por estar expuestos a procesos de reactivación de deslizamientos, reptación de suelos y flujo de detritos.

Para el poblado de Paucarbamba, se debe encauzar el cauce de la quebrada Huayhuara, desde la desembocadura hasta la salida del poblado, un tramo aproximado de 200 m. Para ello se debe realizar estudios hidrológicos que determinen el dimensionamiento del canal y de ser necesario reubicar las viviendas (aproximadamente 5) y puesto de salud, que se encuentran próximas al cauce de la quebrada.

La municipalidad de Paucarbamba, estará encargada de la reubicación, el terreno asignado debe contar con un estudio de "Evaluación de riesgos originado por fenómenos naturales (EVAR).

## 1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico 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 de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de Paucarbamba, según Oficio N° 026-2021-A/MDP , es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en la quebrada de Huayhuara.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al geólogo Angel Gonzalo Luna Guillen, para realizar la evaluación de peligros geológicos, el 14 y 15 de abril de 2021.

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, fotografías terrestres, levantamiento fotogramétrico con dron con el fin de observar mejor el alcance del evento), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

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

### 1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se presentan en la quebrada Huayhuara, eventos que pueden comprometer la seguridad física de personas, medios de vida y vías de comunicación en la zona de influencia de los eventos.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

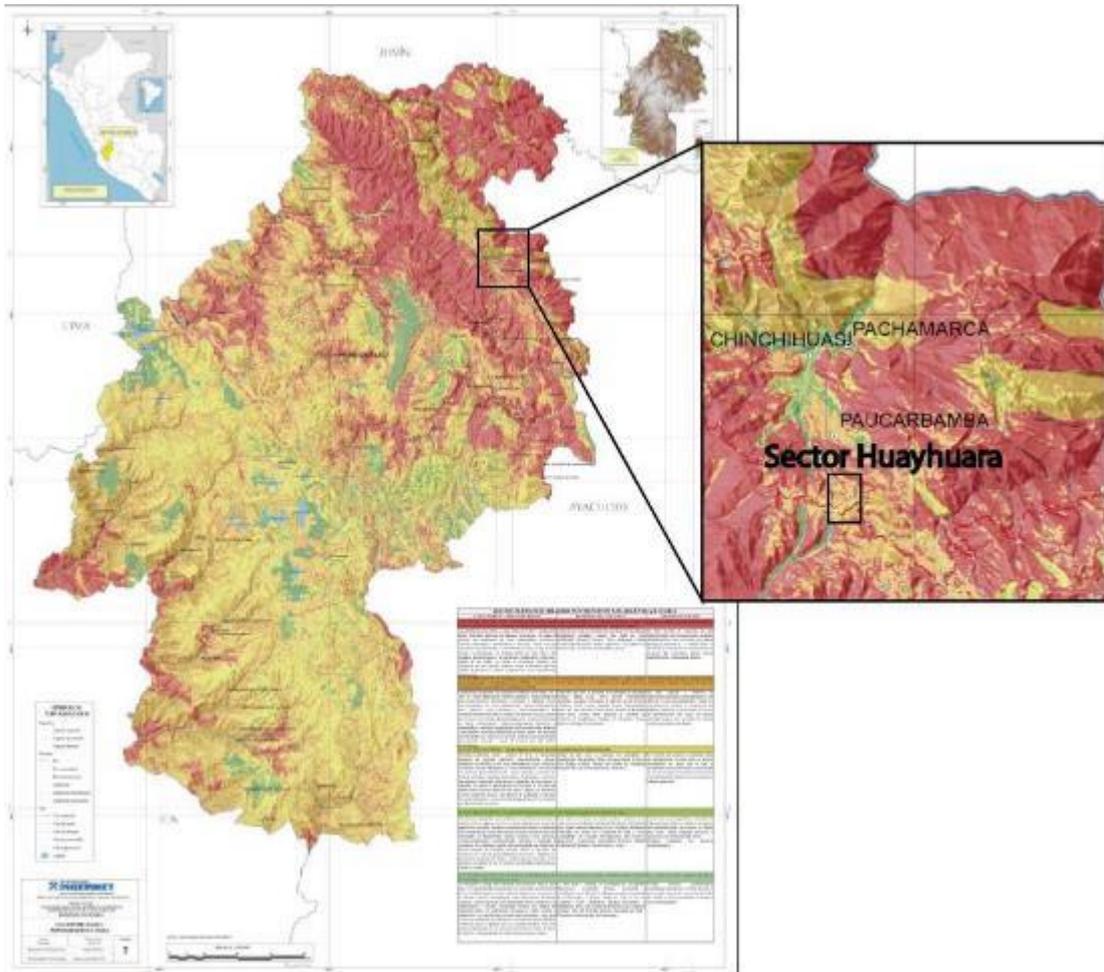
### 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos publicados por Ingemmet y otras instituciones que incluyen sectores aledaños a la zona de evaluación, desarrollados a escala local (informes técnicos) y regional (boletines):

- A) Boletín N°69, Serie C: Geodinámica e ingeniería Geológica, “Peligro Geológico en la Región Huancavelica” desarrollado por Vilchez et al. (2019); donde incluye el inventario de los peligros geológicos por movimientos en masa, las zona críticas y caracteriza la susceptibilidad a los movimientos en masa, entre otros; en la región Huancavelica; para las localidades donde se encuentra asentada la población de

Paucarbamba y Churcampa se considera de alta y muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (figura 1).

- B) En la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Huancavelica 26-n (Romero & Torres, 2003); describe la geología a escala 1: 50 000, información relacionada a los cambios más resaltantes sobre la litología de la Formación Huanta, y los Grupos Mitu y Tarma (aflorantes en la quebrada Huayhuara). Además, describe de manera regional las unidades geomorfológicas (montañas modeladas en rocas sedimentarias y vertientes) en el distrito de Paucarbamba. Localmente en la quebrada Huayhuara afloran areniscas feldespáticas y conglomerados con clastos volcánicos pertenecientes a los miembros inferior y superior de la Formación Huanta.



**Figura 1.** Susceptibilidad a los procesos de movimientos de la zona de evaluación. (Fuente: Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de la región Huancavelica. Escala 1:250 000 elaborado por Vílchez, 2019).

### 1.3. Aspectos generales

#### 1.3.1. Ubicación

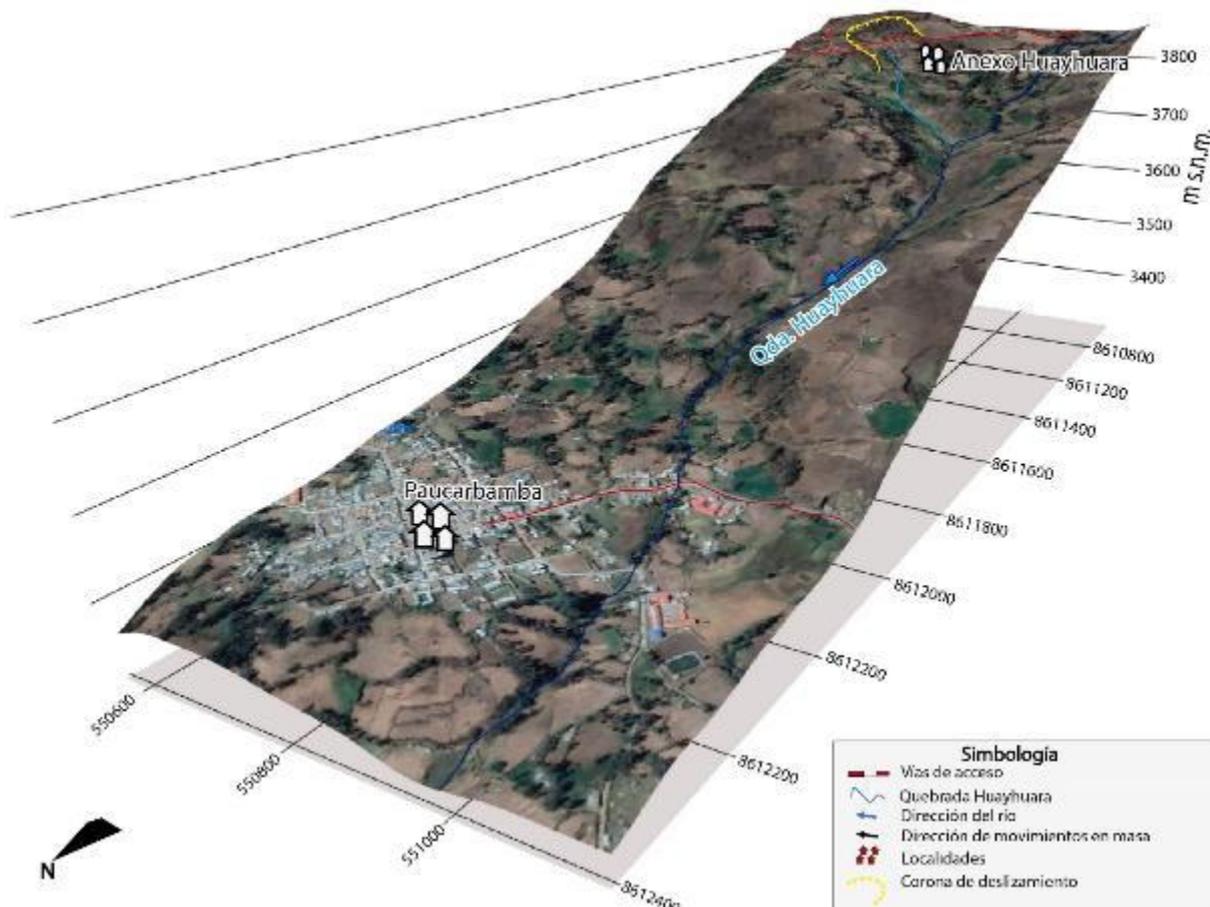
La quebrada Huayhuara, se encuentran ubicado en la margen derecha del río Mantaro; políticamente, pertenece al distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa, departamento de Huancavelica. (figura 2 y 3).

Asimismo, en la cabecera de la quebrada, a 1.5 km al sur del área poblada de Paucarbamba se ubica el anexo de Huayhuara.

El área de evaluación se localiza en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18) siguientes: (cuadro 1).

**Cuadro 1.** Coordenadas del área de estudio en el quebrada Huayhuara

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	550447	8610679	12°34'1.98" S	74°32'8.14" W
2	550984	8610660	12°34'2.56" S	74°31'50.35" W
3	550970	8611950	12°33'20.57" S	74°31'50.89" W
4	550442	8611943	12°33'20.83" S	74°32'8.38" W
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</b>				
C	550895	8610738	12°34'0.03" S	74°31'53.30" W



**Figura 2.** Esquema de ubicación de la quebrada Huayhuara

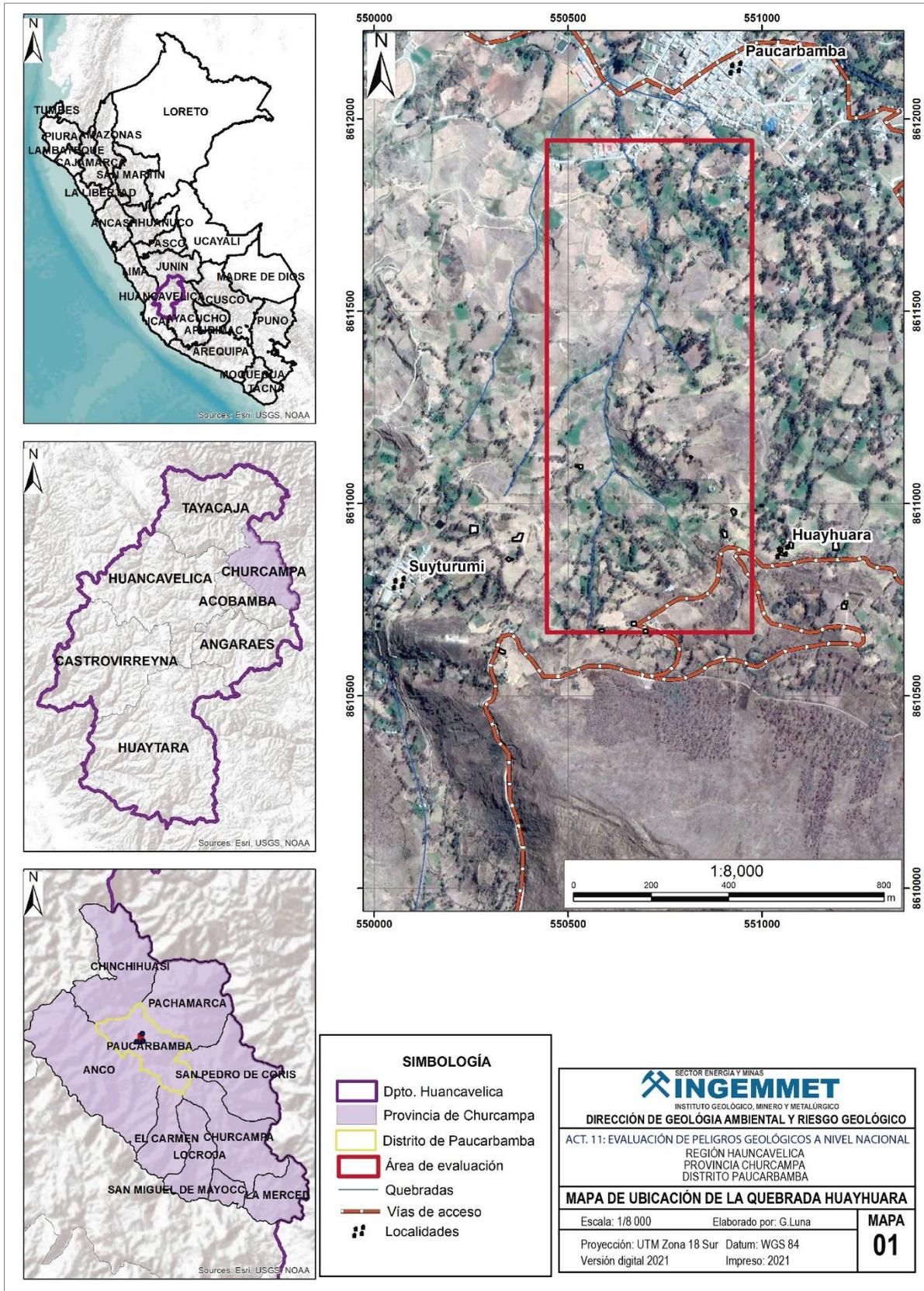


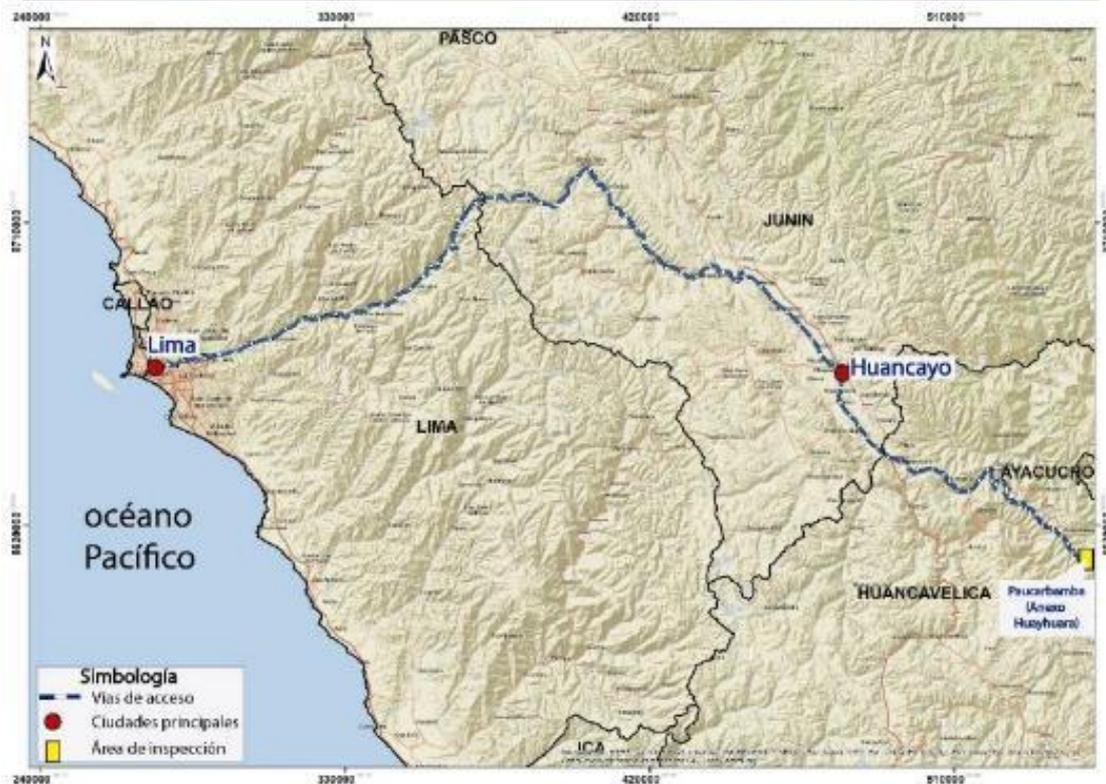
Figura 3. Mapa de ubicación de la quebrada Huayhuara.

### 1.3.2. Accesibilidad

El acceso a la quebrada Huayhuara, por vía terrestre desde la ciudad de Lima (Ingemmet), se realizó mediante la siguiente ruta (cuadro 2 y figura 4):

**Cuadro 2.** Rutas y accesos a la quebrada Huayhuara

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Lima-Huancayo	Carretera asfaltada	304	7 h 30 minutos
Huancayo – Paucarbamba (Huancavelica)	Carretera asfaltada/trocha carrozable	150	3 h 30 minutos
Paucarbamba – Anexo Huayhuara	Trocha carrozable	3.9	10 minutos



**Figura 4.** Mapa de accesibilidad a la quebrada Huayhuara desde la ciudad de Lima.

### 1.3.3. Clima

De acuerdo a la clasificación climática del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi, 2020), elaborado con la información meteorológica de aproximadamente veinte años (1965-1984), con la cual formularon los “índices climáticos” (Köppen, 2010) y el trazado de las zonas de acuerdo a la clasificación de climas de Thornthwaite; la zona de inspección se encuentra en una zona de clima lluvioso frío húmedo, este tipo climático es característico de la región sierra, se extiende entre los 3000 y 4000 m s.n.m.; en esta zona se presentan precipitaciones anuales promedio de 700 mm. y temperaturas medias anuales de 12°C, Presenta veranos lluviosos e inviernos secos con fuertes heladas (figura 5)



**Figura 5.** Mapa climático Nacional del Perú (Fuente: Senamhi 2020)

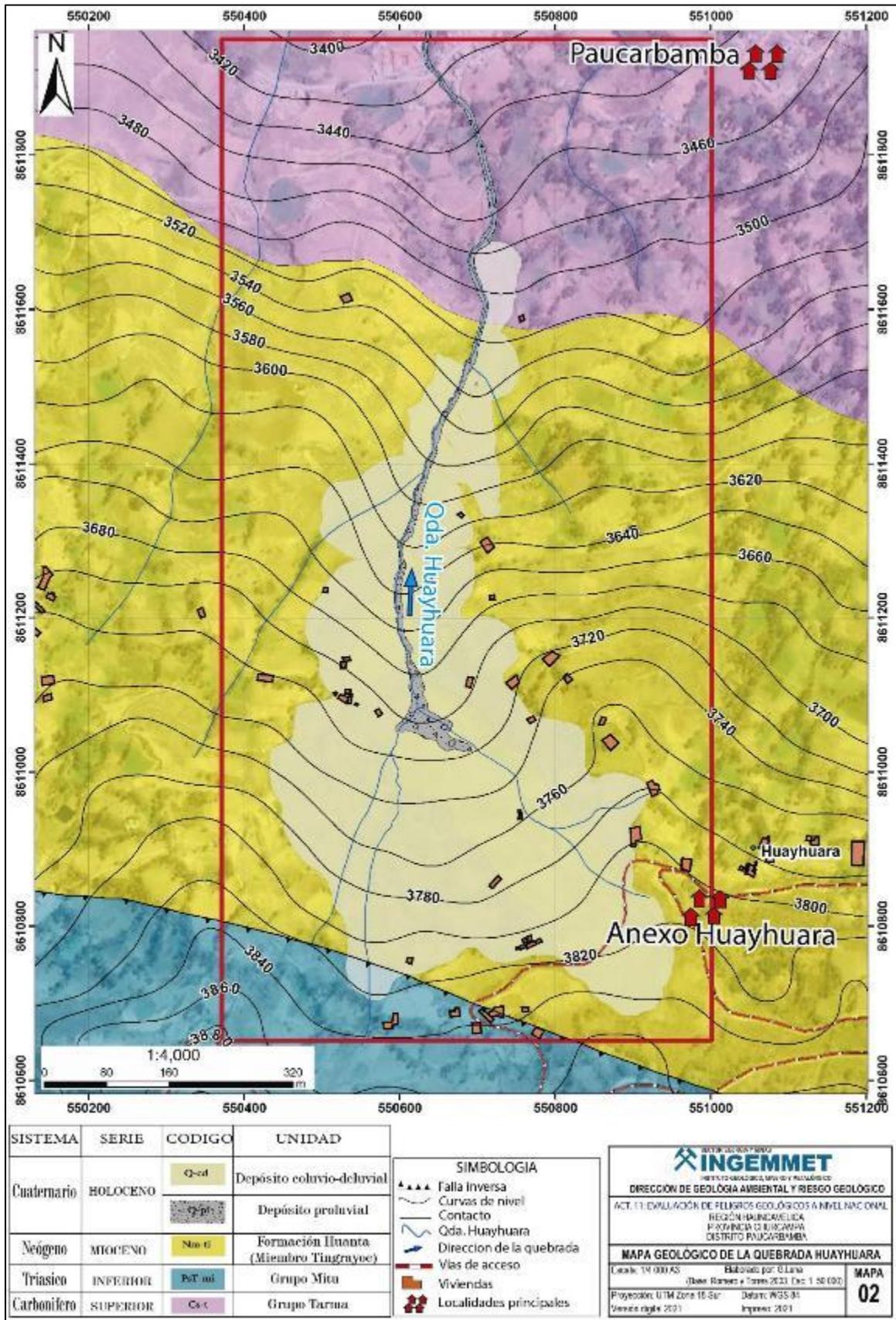
## 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico se desarrolló en base al mapa geológico del cuadrángulo de Huancavelica, cuadrante I, hoja 26n-I, actualizado por Romero & Torres (2003) a escala 1/50 000, teniendo como base geológica el mapa de Morche & Larico (1996) a escala 1:100 000 del mismo cuadrángulo; en la zona, afloran rocas sedimentarias del Paleozoico, Cenozoico y depósitos Cuaternarios, representados por las formaciones Huanta, y grupos Mitu y Tarma. La cartografía geológica, se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo.

### 2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el sector de la quebrada Huayhuara y alrededores, son de origen sedimentario correspondientes al Grupo Mitu (PsT-mi), Grupo Tarma (Cs-t) y Formación Huanta (Nm-ti), los cuales se encuentran muy fracturados y moderadamente meteorizados.

Estas unidades se encuentran cubiertos por depósitos proluviales y coluvio – deluviales (depósito de deslizamiento), que han sido acumulados desde el Holoceno hasta la actualidad (figura 6).



**Figura 6.** Mapa geológico de la quebrada Huayhuara. Fuente: Modificado de Romero & Torres, 2003. Escala 1:50000.

2.1.1. Grupo Tarma (Cs-t)

Estos afloramientos se dan cerca de los poblados de Paucarbamba y Chinchihuasi. Donde el Grupo Tarma está compuesto principalmente por lutitas grises y negras, en ocasiones conteniendo nódulos calcáreos e intercalados con calizas grises y amarillentas en estratos delgados y muy esporádicamente microconglomerados (Romero & Torres, 2003).

Localmente se han observado lutitas grises a negras deleznales, aflorantes cerca de la localidad de Paucarbamba, cubiertas por depósitos coluvio deluviales.

### 2.1.2. Grupo Mitu (PsT-mi)

El Grupo Mitu está dividido en dos miembros, el Miembro superior está conformado por secuencias volcánicas de andesitas verdes y basálticas; y el Miembro inferior está conformado por secuencias sedimentarias de areniscas rojas feldespáticas intercaladas con conglomerados y limoarcillitas (Romero & Torres, 2003)

Localmente se han observado areniscas de coloraciones pardo rojizas, moderadamente meteorizadas y fracturadas, aflorantes en los cortes de carretera ubicados detrás de la corona del deslizamiento de Huayhuara (figura 7), intercaladas con conglomerados grises compuestos por cantos de hasta 5 cm, poco fracturados y meteorizados (figura 8).



**Figura 7.** Se observan areniscas rojizas feldespáticas fracturadas del Grupo Mitu. Coordenadas UTM (WGS 84): 551185 E, 8610593 S, a 3800 m s.n.m.



**Figura 8.** Se observan areniscas de grano grueso intercalados con conglomerados del Grupo Mitu. Coordenadas UTM (WGS 84): 550957 E, 8610867 S, a 3750 m s.n.m.

### 2.1.3. Formación Huanta – Miembro Tigrayoc (Nm-ti)

Este afloramiento se presenta a manera de una franja alargada de dirección NO-SE en los sectores de Tapuyquila, Vista Alegre, Huayhuara y Cuchimachay; sobreyacen en discordancia a los grupos Tarma y Mitu.

Litológicamente se halla compuesto por conglomerados con clastos subangulosos a subredondeados de origen volcánico, así como por calizas y areniscas con diámetros de hasta 15 cm, intercalados con areniscas cuarzo feldespáticas, limolitas y limoarcillitas rojas (Romero & Torres, 2003).

Localmente la Formación, se presenta a lo largo de la quebrada Huayhuara, donde se han identificado dos miembros como son:

Miembro superior: conformado por areniscas altamente fracturadas y meteorizadas donde se encuentra la escarpa principal del deslizamiento Huayhuara; también, se observa en cortes de la carretera de acceso al anexo Huayhuara (figura 9).

El Miembro inferior está conformado por conglomerados, que afloran a lo largo de la quebrada Huayhuara y se encuentra parcialmente cubierto por depósitos coluvio-deluviales; además, el macizo está fracturado y moderadamente meteorizado (figura 10).



**Figura 9.** Se observan areniscas intercaladas con lodolitas altamente fracturadas y meteorizadas de la Formación Huanta. Coordenadas UTM (WGS 84): 550900 E, 8610800 S, a 3797 m s.n.m.



**Figura 10.** Se observan conglomerados con clastos volcánicos del Miembro Inferior de la Formación Huanta en la quebrada Huayhuara. Coordenadas UTM (WGS 84): 550587 E, 8611325 S, a 3500 m s.n.m.

#### 2.1.4. Depósito proluvial (Q-pl)

Los depósitos proluviales están formados por fragmentos rocosos heterométricos pobremente clasificados en una matriz arenolimosa, se encuentran en las quebradas de corrientes

temporales como la quebrada Huayhuara, donde se evidencian bloques de hasta 1 m de diámetro de origen sedimentario, en su mayoría areniscas y conglomerados.

#### 2.1.5. Depósito coluvio-deluvial (Q-cd)

Son depósitos formados por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte), estos se encuentran entreverados y no es posible diferenciarlos (Vílchez et al., 2019). En el área de evaluación, estos depósitos están constituidos por bloques angulosos heterométricos de areniscas de hasta 1 m de diámetro y conglomerados con un porcentaje mayor de matriz limo-arcillosa de comportamiento plástico y cohesivo (figura 11), saturada por las aguas de escorrentía superficial, aguas de lluvia y riego.

Las viviendas del anexo Huayhuara y parte de sus áreas agrícolas, se encuentran asentados sobre depósitos coluvio-deluviales que se originaron por la acumulación de material de movimientos en masa. El material está conformado por cantos y bloques de formas subangulosas, con diámetros que varían de 0.5 a 1 m, envueltos en matriz limo-arcillosa, plástica y cohesiva; además, el depósito se encuentra medianamente consolidado a suelto.



**Figura 11.** Depósitos coluvio-deluviales en cortes de talud para la edificación de viviendas del anexo Huayhuara conformado por cantos y bloques angulosos a subangulosos de areniscas y conglomerados de clastos volcánicos. Coordenadas UTM (WGS 84): 550756 E, 8610772 S.

### 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

#### 3.1. Pendientes del terreno

La pendiente, es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En la figura 12, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a la información del modelo de elevación digital (DEM) Alos Palsar de 12.5 m/px de resolución (USGS), donde se presentan con mayor predominio laderas con pendientes escarpadas (25°-45°) a muy escarpadas (>45°), en ambos márgenes de la quebrada Huayhuara. En la desembocadura de la quebrada, donde se asienta el poblado de Paucarbamba la pendiente, cambia abruptamente a moderada (5°-15°).

La Quebrada Huayhuara, está circundada por montañas modeladas en roca sedimentaria con laderas de pendientes que varían de fuerte a muy escarpada (25° a 83°), lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas (figura 13).

#### 3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (figura 13), 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., 2019).

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

Están representadas por las formas de terreno resultados del efecto progresivo de procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

##### 3.2.1.1. Unidad de montañas

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel de base local; según el tipo de roca que las conforma y los procesos que han originado su forma actual, se diferencia la siguiente subunidad:

**Subunidad de montañas en rocas sedimentaria (RM-rs):** Relieve modelado en afloramientos de los Grupos Mitu y Tarma y Formación Huanta, conformadas por areniscas feldespáticas y conglomerados de clastos volcánicos. Las montañas cubren gran parte de la zona de estudio, cuyas laderas de pendientes escarpadas a muy escarpadas de 25° a 83° (fotografía 1), poseen cimas subredondeadas. En la parte alta son disectadas por una red de drenaje dendrítica, resaltando principalmente la quebrada Huayhuara que desemboca en el poblado de Paucarbamba.

### 3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

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

#### 3.2.2.1. Subunidad de vertiente con depósito coluvio - deluvial (V-cd)

Son vertientes formadas por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial, que por su complicada interestratificación hacen muy difícil dividir uno del otro (Vílchez et al., 2019), cubren las laderas de las montañas de la quebrada Huayhuara y de Paucarbamba. Se presentan como depósitos inconsolidados, localizados a media laderas y al pie; son resultantes de la acumulación de material caído desde las partes altas por acción de la gravedad y removidos por agua de escorrentía superficial, sobre estas vertientes se realizan labores agrícolas y ganaderas (fotografía 2).

#### 3.2.2.2. Subunidad de piedemonte o vertiente de deslizamiento (V-dd)

Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes de tipo deslizamientos, está conformado por materiales heterogéneos (cantos y gravas de areniscas y conglomerados con porciones finas de arcilla y limo). Se pueden encontrar mayoritariamente en la parte superior de la quebrada Huayhuara y en sus laderas adyacentes (fotografía 3).



**Fotografía 1.** Vista aérea de montañas modeladas en rocas sedimentarias (RM-rs), cuyas laderas presentan pendientes escarpadas.



**Fotografía 2.** Vista área de depósitos coluvio-deluviales, en la quebrada Huayhuara, usada como zona agrícola.



**Fotografía 3.** Vista área de vertiente con depósito de deslizamiento en la parte superior de la quebrada Huayhuara

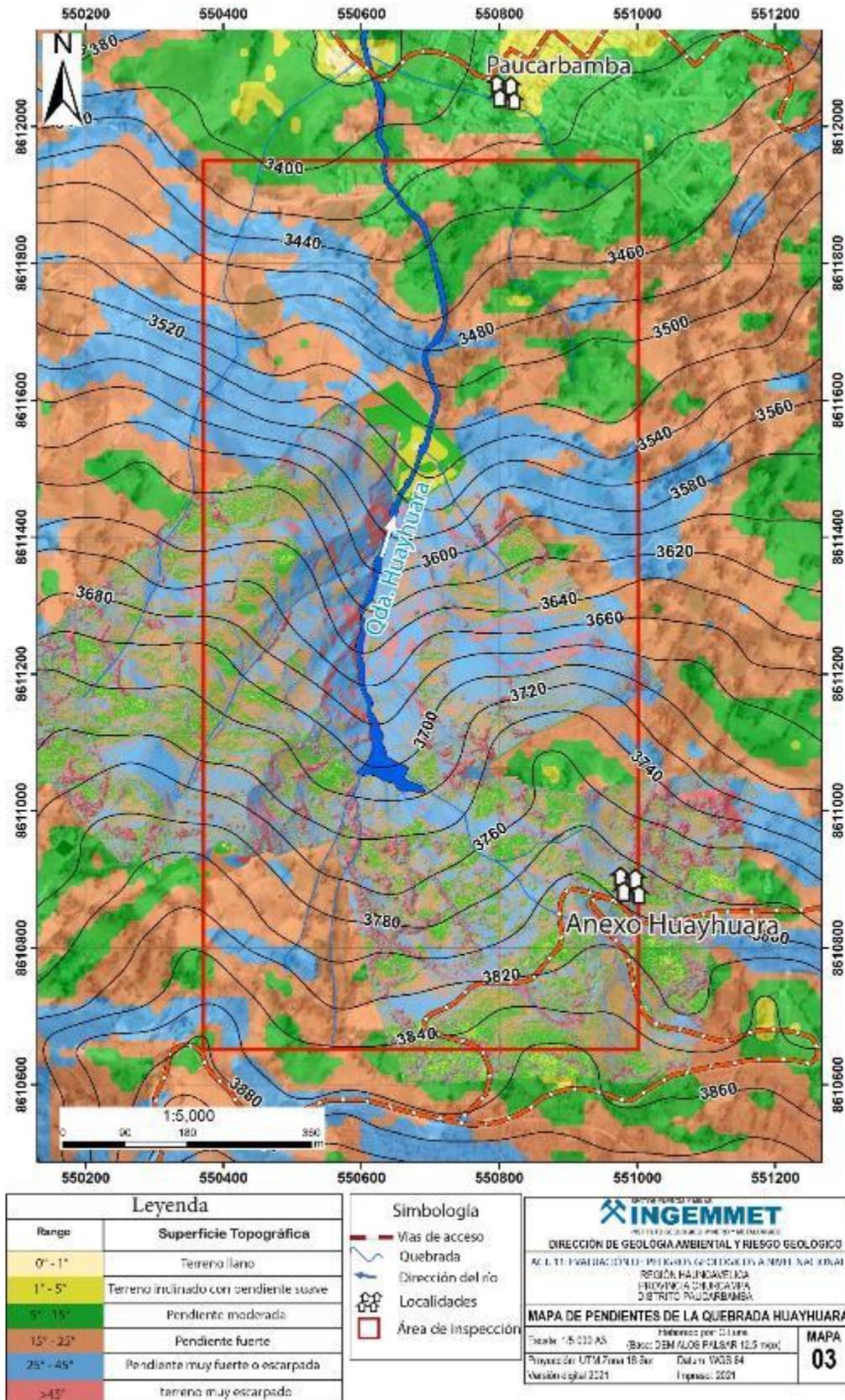


Figura 12. Mapa de pendientes de la quebrada Huayhuara.

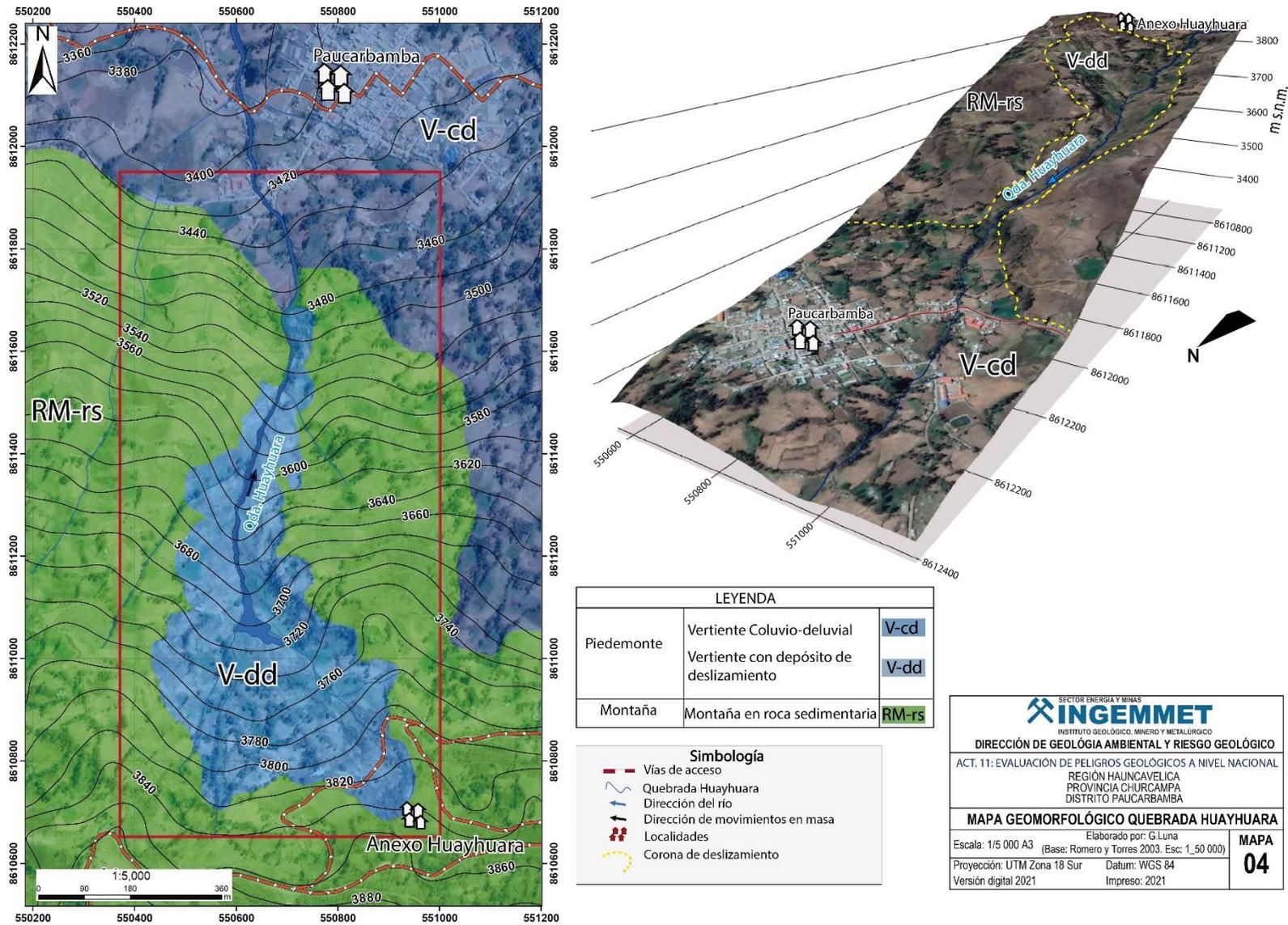


Figura 13. Mapa geomorfológico de la quebrada Huayhuara.

## 4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos, flujo de detritos, y reptación de suelos (Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de 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 y la cobertura vegetal. Se tiene como “desencadenantes” de estos eventos las precipitaciones de lluvias periódicas y extraordinarias que caen en la zona, así como la sismicidad por efectos cosísmicos.

### 4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

La quebrada Huayhuara, presenta una geodinámica muy activa, representada por deslizamientos recientes y antiguos, depósitos de flujo de detritos antiguos y áreas de reptación de suelos.

Según la versión de los pobladores el 2007, debido a las lluvias intensas registradas en el distrito de Paucarbamba, se produjo un deslizamiento rotacional en la parte superior de la quebrada Huayhuara, posteriormente las lluvias removieron parte del material detrítico de dicho deslizamiento, produciendo un flujo de detritos (huaico), que se canalizó por la quebrada y llegó hasta los poblados de Paucarbamba y Chinchihuasi como un flujo de lodo. La crecida del caudal y arrastre de material detrítico el mismo año, socavó la base de las laderas en ambos márgenes de la quebrada, desestabilizándolas y produciendo deslizamientos menores, que podrían reactivarse por lluvias periódicas y/o extraordinarias, así, como por movimientos sísmicos, pudiendo provocar el embalse de la quebrada.

Los trabajos en campo, han permitido recopilar datos para el cartografiado y caracterización de los peligros geológicos en la quebrada Huayhuara, los cuales se describen a continuación:

#### 4.1.1. Deslizamiento Huayhuara

El deslizamiento Huayhuara, es de tipo rotacional y se ubica en la parte superior de la quebrada Huayhuara, a 1.50 km de la localidad de Paucarbamba. La escarpa presenta una longitud de 300 m con dirección NE-SW con un salto promedio de 11 m (figura 14), un ancho de masa deslizada de 141 m, una longitud de 495 m y una altura de 160 m, entre la corona y pie del deslizamiento.

El evento muestra en la zona de arranque estratos de arenisca con buzamiento de 35° a favor de la pendiente, con elevado grado de fracturamiento y meteorización; lo cual es una condición que favoreció a la ocurrencia del evento (Figura 15). En la zona media, el cuerpo del deslizamiento presenta escarpas secundarias escalonadas de hasta 1 m de altura (Figura 16 y 17) y con grietas tensionales abiertas que llegan a medir hasta 50 cm de profundidad y 20 cm de espaciamiento (figura 18), estas se comportan como zonas de infiltración de aguas de lluvia hacia la masa deslizando, favoreciendo su movimiento progresivo pendiente abajo.

El movimiento de la masa deslizando ha siniestrado la infraestructura de reservorios de agua (figura 19), el colapso y abandono de viviendas y agrietamientos en áreas de cultivo. En el

cuerpo del deslizamiento, también se observa arboles enterrados que evidencian la magnitud del evento (figura 20).

El pie del deslizamiento colinda con el cauce estacionario de la quebrada Huayhuara.



**Figura 14.** Se observa la escarpa principal del deslizamiento en el sector Huayhuara, muestra una altura de 11 m y una diferencia de 24 m, con respecto a la trocha de acceso.



**Figura 15.** Se observa la escarpa principal del deslizamiento en el sector Huayhuara, donde se aprecian areniscas, altamente fracturadas y meteorizadas.



**Figura 16.** Se observa escarpes secundarios de 0.8 m, debajo del escarpe principal del deslizamiento en el sector Huayhuara.



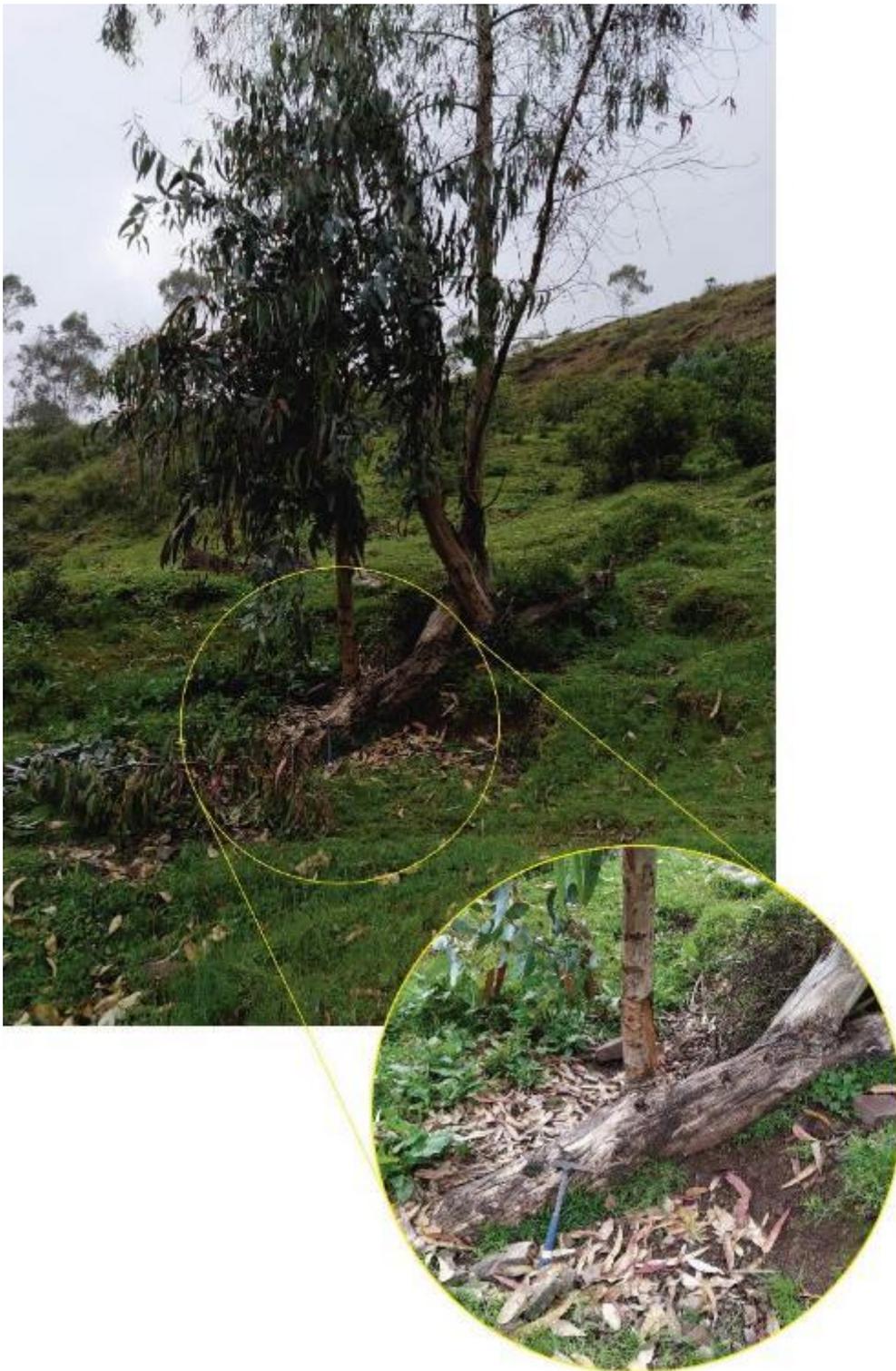
**Figura 17.** Se aprecian escarpes secundarios escalonados, en el cuerpo del deslizamiento en el sector Huayhuara.



**Figura 18.** Se observan grietas tensionales en el cuerpo del deslizamiento, en el sector Huayhuara.



**Figura 19.** Se visualiza parte de la infraestructura de un reservorio de agua, destruida y arrastrada 50 m, desde su posición original, por la dinámica del deslizamiento.



**Figura 20.** Se observan arboles arrastrados y enterrados por la dinámica del deslizamiento.

#### 4.1.2. Características visuales del evento

Utilizando imágenes satelitales Airbus/CNESS 2021, imágenes aéreas y modelos digitales obtenidos a través de trabajos fotogramétricos (figura 21), se ha cartografiado y caracterizado empíricamente las dimensiones del deslizamiento principal ocurrido el 2007, en la quebrada Huayhuara, como tal esta tiene las siguientes características:

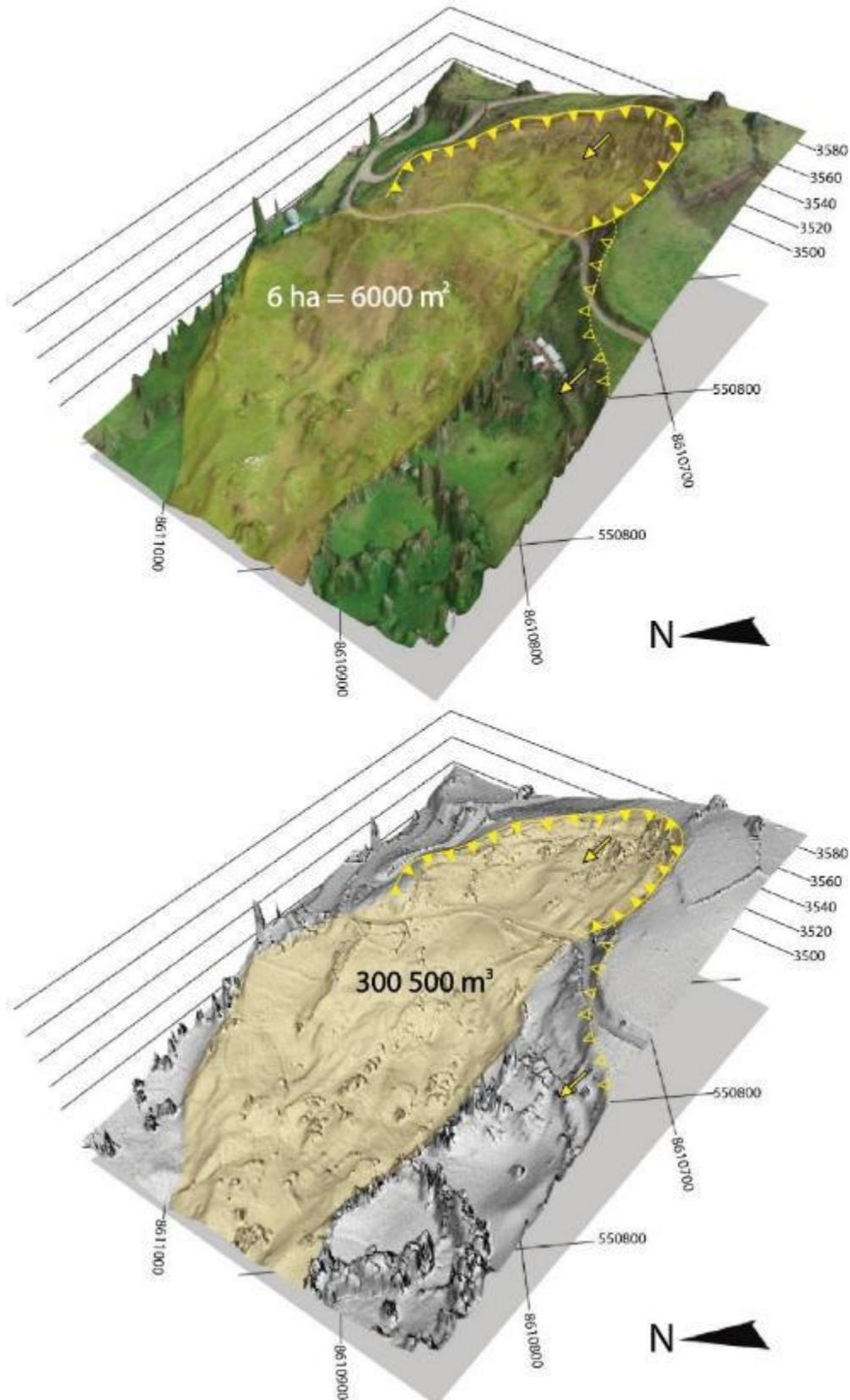
- Tipo de deslizamiento: Rotacional.
- Rumbo y Buzamiento del plano de debilidad que produjo la escarpa principal: N60°. Bz: 35°NW.
- Dirección (azimut) del movimiento: N 320°.
- Forma de la superficie de rotura: irregular alargada.
- Longitud de escarpa principal: 300 m.
- Salto de escarpa: 11 m.
- Ancho promedio de la zona de arranque: 141 m.
- Longitud de la corona al pie del deslizamiento: 495 m
- Diferencia de altura aproximada de la corona al pie del deslizamiento: 160 m
- Área del deslizamiento: 6 ha o 6000 m<sup>2</sup>.
- Volumen estimado de la masa deslizada: 300 500 m<sup>3</sup>.

#### 4.1.3. Análisis de perfiles transversales

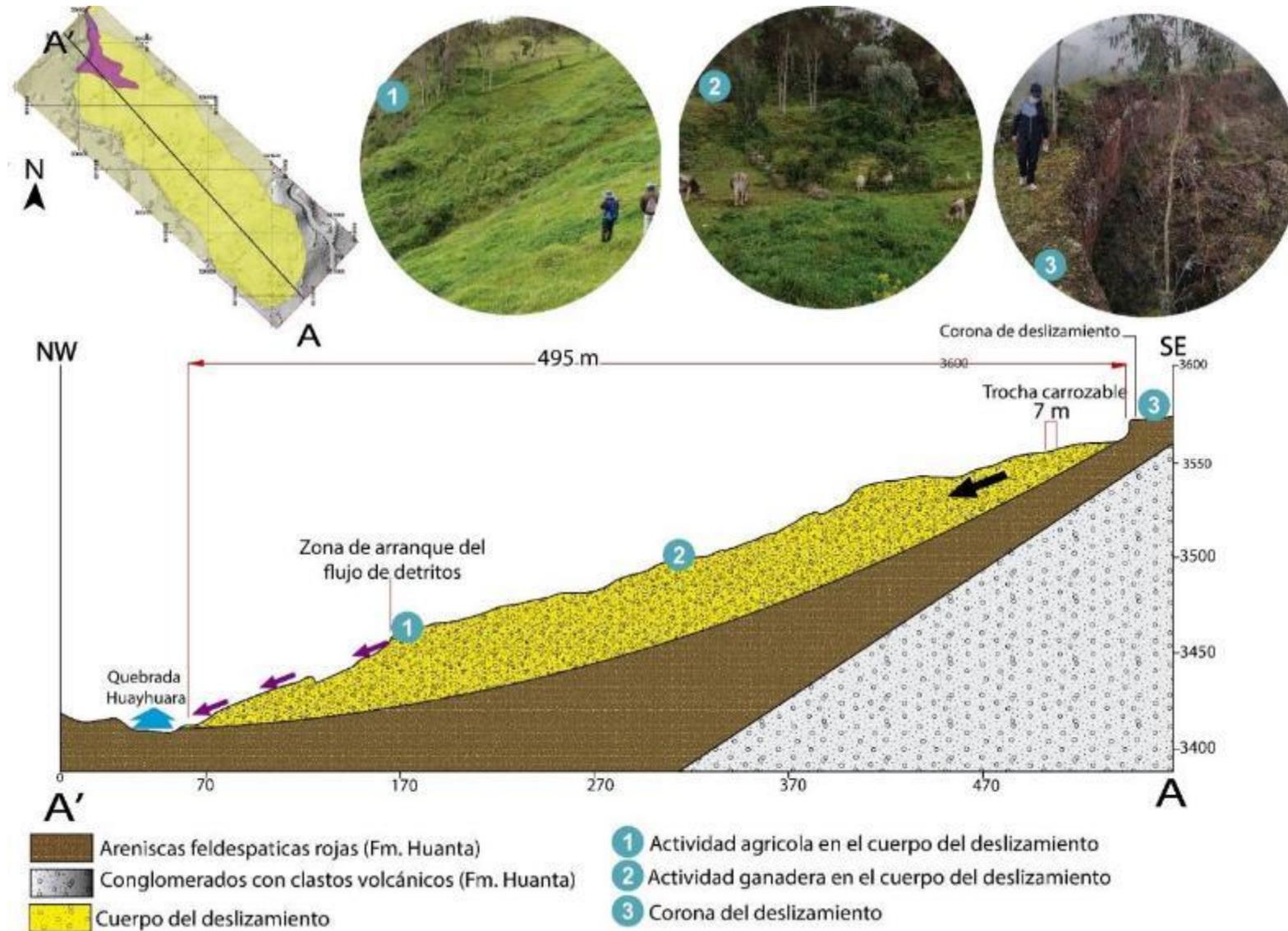
Se realizó una sección transversal al cuerpo del deslizamiento (figura 22), que nos permite inferir las medidas de este e interpretar las condicionantes que conllevaron a su formación. En el mismo podemos observar que el deslizamiento se suscita sobre la Formación Huanta conformado por dos miembros; el miembro inferior conformado por conglomerados con gravas volcánicas envueltos en una matriz arenosa de cementante silícico poco fracturada, y el miembro superior conformado por areniscas feldespáticas intercaladas con lodolitas altamente fracturadas y meteorizadas que buzcan con un ángulo de 35° a favor de la pendiente y Rb N 60°. El contacto entre ambos miembros se estima está en la cota 3550 m s.n.m.; por encima de esta cota se observan estratos de areniscas intercaladas con lodolitas (miembro superior), donde se dio la formación de la corona y escarpe principal en la cota 3580.

En el perfil se aprecia que la corona del deslizamiento está en la cota 3580 m s.n.m. y presenta un salto vertical de 11 metros. Sobre el substrato rocoso se han depositado suelos coluvio-deluviales limo-arcillosos, altamente plásticos en estado saturado y cohesivos que tienden a saturarse aumentando su peso y favoreciendo su desplazamiento por gravedad.

En la parte inferior del perfil se puede observar, que el pie del deslizamiento llega hasta el cauce de la quebrada Huayhuara, por donde se canalizo un flujo de detritos que arrastro parte del material detrítico de la masa deslizada.



**Figura 21.** Se muestran modelos digitales del cuerpo del deslizamiento, obtenido a partir de levantamientos fotogramétricos, para la estimación volumétrica del material removido en el sector Huayhuara.



**Figura 22.** Perfil interpretativo litológico, del deslizamiento en el sector Huayhuara, en base a un Modelo Digital del Terreno (MDT), obtenido a partir de levantamiento fotogramétrico con dron.

#### 4.1.4. Flujo de detritos en la quebrada Huayhuara.

A causa de las intensas precipitaciones pluviales del 2007, las aguas de escorrentía superficial erosionaron parte del material deslizado descrito en el ítem anterior (figura 23), generando un flujo de detritos que se canalizo por la quebrada Huayhuara, llegando hasta los poblados de Paucarbamba y Chinchihuasi como un flujo de lodo.

El fuerte caudal de la quebrada Huayhuara en meses de avenidas (diciembre-abril), sumadas a la presencia de material detrítico en el 2007, que modifico el comportamiento Newtoniano (la viscosidad y velocidad) de la escorrentía superficial del cauce, erosionaron la base de las laderas en las márgenes de la quebrada, cuyas pendientes llegan hasta 83°, generando la reactivación y formación de deslizamientos.

Los trabajos de campo permitieron identificar a lo largo de la quebrada Huayhuara, la presencia de recientes y antiguos deslizamientos asociados a las lluvias del 2007 (figuras 24, 25 y 27), los cuales podrían reactivarse a consecuencia de lluvias periódicas y/o excepcionales generando represamientos en el cauce; cuyo desembalse violento, generaría flujos de detritos (huaicos) de mayor volumen a lo acontecido el año 2007, afectando al poblado de Paucarbamba, donde las aguas de la quebrada fluyen libremente sin un encauzamiento adecuado (figura 26).



**Figura 23.** Se muestra el pie del deslizamiento y la zona de arranque del flujo de detritos originados por fuertes lluvias el 2007, en la quebrada Huayhuara.



**Figura 24.** Deslizamientos activos, en la margen izquierda de la quebrada Huayhuara.



**Figura 25.** Deslizamientos activos, en la margen derecha de la quebrada Huayhuara.



**Figura 26.** Desembocadura de la quebrada Huayhuara en la localidad de Paucarbamba.



**Figura 27.** Deslizamientos recientes y reactivados a partir del flujo de detritos acontecido el año 2007, a lo largo de la quebrada Huayhuara.

#### 4.1.5. Reptación de suelos en la quebrada Huayhuara.

La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacionaria, cuando se asocia a cambios meteorológicos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

La masa removida del deslizamiento Huayhuara evidencia reptación de suelos que han formado relieves ondulados y grietas en la cobertura vegetal; también, se observa arboles inclinados.

En la quebrada Huayhuara, la reptación de suelos se produce debido a la sobresaturación de suelos por infiltración de aguas de escorrentía superficial, el uso inadecuado de métodos de riego por gravedad y zanjas de infiltración (figura 28), así como la escorrentía superficial de agua a través de canales no impermeabilizados, usados para riego de cultivos (p. ej: alfalfa) y como bebedero de animales (figura 32).



**Figura 28.** Se observan Zanjas de infiltración de uso agrícola, que favorece la saturación del terreno por el entrapamiento de aguas de lluvia, que desestabiliza el terreno y favorecen los procesos de deslizamiento y reptación de suelos.



**Figura 29.** Se observan ondulaciones en el terreno, evidencia de reptación de suelos.



**Figura 30.** Se observan arboles inclinado, evidencia de reptación de suelos, en la quebrada Huayhuara.

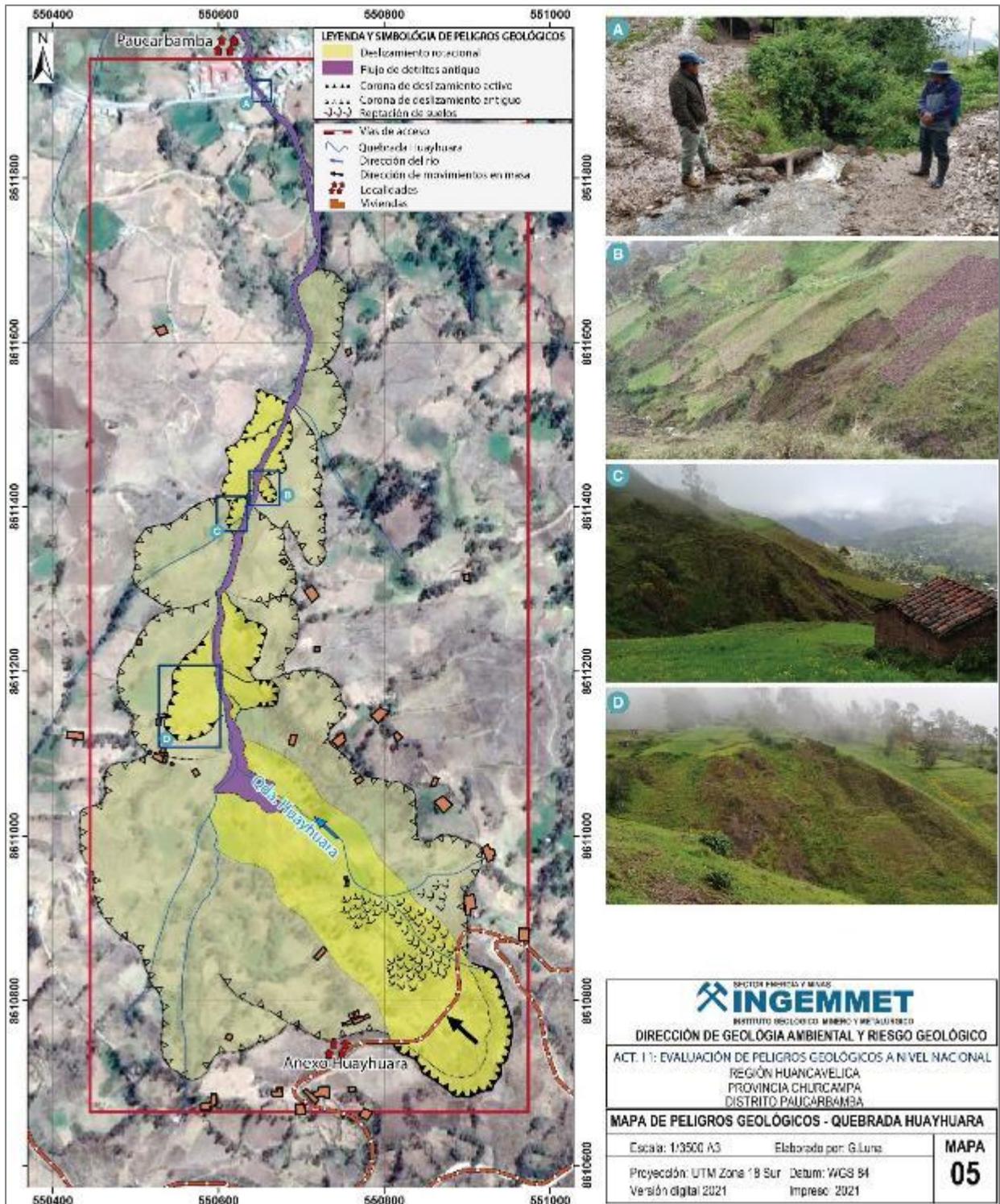


Figura 31. Cartografía de peligros geológicos en la quebrada Huayhuara.

#### 4.1.6. Factores condicionantes

##### Factor litológico

- Substrato rocoso compuesto por areniscas feldespáticas altamente fracturas y meteorizadas de fácil erosión, las cuales permiten mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno (figura 33), originando inestabilidad en las laderas de la quebrada.
- Los suelos inconsolidados (depósitos coluvio - deluviales), adosados a las laderas que delimitan la quebrada Huayhuara, compuestos principalmente por materiales inconsolidados de bloques de formas angulosas a subangulosas, con diámetros que varían de 0.5 a 1 m, inmersos en una matriz limo-arcillosa cohesiva, plástica y saturada, son de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales intensas.

##### Factor geomorfológico

- La quebrada Huayhuara, se encuentra circundada por montañas modeladas en rocas sedimentarias, cuyas laderas presentan pendientes escarpadas ( $35^{\circ}$ ) y muy escarpadas ( $83^{\circ}$ ); ello, permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.

##### Factor hidrológico

- Acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas y montañas que circunscriben la quebrada Huayhuara

##### Factor antrópico

- Las aguas de uso agrícola y ganadero, así como los métodos de riego inapropiados (riego por gravedad y zanjas de infiltración), saturan los suelos coluvio-deluviales favoreciendo su inestabilidad.

#### 4.1.7. Factores desencadenantes

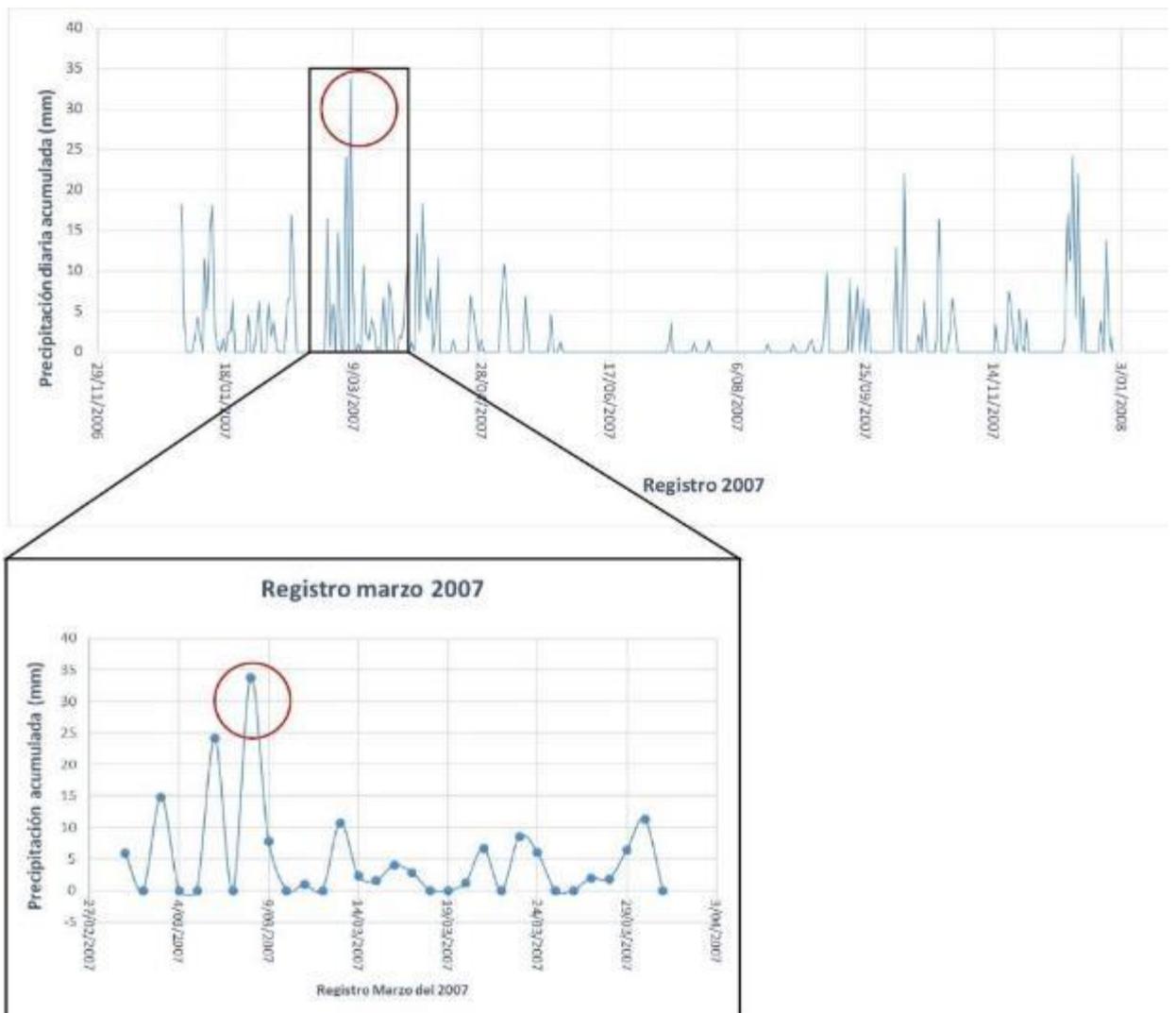
- Según el registro histórico de precipitaciones del Senamhi, en la estación meteorológica de Paucarbamba y Acobamba, en marzo del 2007, se registraron precipitaciones pluviales acumuladas de hasta 35.8 mm, coincidente con la fecha en la que se suscitó el deslizamiento y flujo de detritos en la quebrada Huayhuara; por lo cual se puede interpretar que estas precipitaciones fueron el factor desencadenante de ambos eventos (figura 34), además estas lluvias incrementaron el caudal estacionario de la quebrada Huayhuara, que erosionó parte del material detrítico deslizado, generando un flujo de detritos que socavó la base de las laderas en ambos márgenes de la quebrada, reactivando y produciendo deslizamientos menores.



**Figura 32.** Se observa la escorrentía superficial de aguas de lluvias, por la quebrada Huayhuara, que satura el terreno (1,3 y 4). También se muestra mangueras de agua abiertas para regar cultivos de alfalfa y como bebedero para ganado (2).



**Figura 33.** Se observa el substrato rocoso en el escarpe principal del deslizamiento, en el sector Huayhuara, conformado por areniscas muy fracturadas y meteorizadas de la Formación Huanta, fácilmente erosionables.



**Figura 34.** Se visualiza el registro meteorológico de la precipitación acumulada, en el 2007, según la estación meteorológica de Acobamba, (Fuente: Senamhi 2021)

## 5. CONCLUSIONES

1. La Formación Huanta está constituido por areniscas altamente fracturadas y meteorizadas, como también conglomerados de clastos volcánicos que se hallan fracturados y ligeramente meteorizados. Esta formación está cubierta por depósitos del tipo coluvio-deluvial. La escarpa principal de deslizamiento Huayhuara involucra las areniscas de la Formación Huanta, que por sus características son susceptibles a generar nuevos deslizamientos.
2. Las viviendas del anexo de Huayhuara, se encuentran asentadas sobre depósitos coluvio-deluviales de deslizamientos antiguos y recientes, estos se encuentran medianamente consolidados y saturados. El material está conformado por bloques subangulosos de areniscas y conglomerados, con diámetros que varían de 0.5 a 1 m, envueltos en una matriz limo-arcillosa cohesiva y plástica, fácilmente erosionables.
3. Geomorfológicamente, parte de las viviendas del anexo Huayhuara se ubican en la quebrada del mismo nombre, circundada por montañas modeladas en rocas sedimentarias (areniscas y conglomerados), con laderas de pendientes que varían de fuerte a muy escarpada (25°-83°).
4. En marzo del 2007, en la parte alta de la quebrada Huayhuara se suscitó un deslizamiento rotacional, que presenta un escarpe con una longitud de 300 m, salto vertical de 11 m, involucró un área de 6 ha y el terreno removido tuvo un volumen de 300 500 m<sup>3</sup>.
5. Las lluvias registradas en el mes de marzo del 2007, erosionaron parte del material deslizado, que se combinó con las aguas de escorrentía y se canalizó por la quebrada Huayhuara, generando un flujo de detritos, que llegó a las localidades de Paucarbamba y Chinchihuasi.
6. El flujo de detritos que se canalizó por la quebrada Huayhuara en el 2007, erosionó la base de las laderas de ambos márgenes del cauce, desestabilizándolas y generando deslizamientos (con escarpes menores a 5 m). Actualmente está quebrada puede reactivarse ante lluvias periódicas y/o extraordinarias y generar represamientos, en caso de un desembalse violento, puede generar un flujo de detritos (huaico) que afectaría al poblado de Paucarbamba.
7. Sobre el cuerpo coluvio-deluvial del deslizamiento Huayhuara se produce reptación de suelos, que han generado ondulamientos en el terreno, rupturas en la cobertura vegetal y la inclinación de árboles.
8. Los factores condicionantes principalmente se relacionan a las características litológicas del substrato rocoso altamente fracturados y meteorizados, poco competente, cubiertas por depositos coluvio-deluviales de matriz limo-arcillosa, a ello se suman las pendientes fuertes a muy escarpadas de las laderas de la quebrada (25°-83°), y la presencia de aguas de escorrentia superficial que saturan el terreno y que conlleva al aumento de peso de la masa inestable.

9. El factor desencadenante para la ocurrencia del deslizamiento y flujo de detritos en la quebrada Huayhuara, fue las lluvias intensas (35.8 mm de precipitación acumulada), registradas en marzo del 2007.
10. El deslizamiento Huayhuara destruyó aproximadamente 4 viviendas, zonas de cultivo y un reservorio de agua, mientras que el flujo de detritos que llegó como flujo de lodo a la localidad de Paucarbamba, inundó parte del centro de salud. La reptación de suelos actualmente produce grietas en el terreno, afecta áreas de cultivo y pequeños bosques.
11. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, la quebrada Huayhuara, se considera de **peligro muy alto** por la reactivación de deslizamientos, reptación de suelos y flujos de detritos (huaicos).

## 6. RECOMENDACIONES

1. Reubicar aproximadamente 20 viviendas del anexo Huayhuara que se encuentran dentro de la quebrada, por estar expuestos a ocurrencias de deslizamientos, reptación de suelos y flujo de detritos. Para determinar el lugar de reubicación se debe realizar el estudio de evaluación de riesgos (EVAR) por especialistas acreditados.
2. Construir zanjas de coronación revestidas e impermeabilizadas detrás de la corona del deslizamiento para evitar la infiltración de aguas de lluvia y escorrentía superficial a la masa deslizada, esta debe contar con los mantenimientos respectivos y ubicarse mínimamente a 3 m del escarpe principal.
3. En el cuerpo del deslizamiento se debe construir zanjas de drenaje tipo “espina de pez”, con canales revestidos con geotextiles y piedra con arcilla, con la finalidad de coleccionar las aguas de lluvia y drenarlas fuera de la masa deslizada.
4. Para evitar la infiltración de las aguas de escorrentía superficial, sellar con arcilla las grietas tensionales y zanjas antrópicas que se presentan en el cuerpo del deslizamiento.
5. Implementar métodos de riego tecnificado en la quebrada Huayhuara y prohibir el riego por gravedad que saturan el terreno.
6. Realizar monitoreo visual y constante en la quebrada Huayhuara, principalmente en épocas de lluvias intensas (diciembre-abril) ante el posible represamiento por la ocurrencia de deslizamientos.
7. Encauzar las aguas de la quebrada Huayhuara, desde su desembocadura en el poblado de Paucarbamba, hasta su salida en un tramo de 200 m aproximadamente; para ello se deben tener en cuenta estudios hidrológicos que permitan determinar el dimensionamiento adecuado del canal y de ser necesario reubicar las viviendas (aproximadamente 5) y el puesto de salud que se hayan próximos al cauce de la quebrada.
8. Realizar charlas de sensibilización y concientización sobre peligro y riesgo a las que se encuentran expuestos el anexo Huayhuara y el poblado de Paucarbamba.
9. Implementar planes de reforestación en el cuerpo del deslizamiento (6 ha aproximadamente) con especies nativas del lugar, bajo la supervisión de especialistas.
10. Todas las medidas correctivas estructurales, deben ser planificadas y elaboradas por especialistas.



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



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

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- Köppen, W. (2010). (Clasificación de climas según temperatura, precipitación y ciclo estacional.). Petermanns Geogr. Mitt., 64, 193-203, 243-248
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>.
- Romero & Torres (2003) – Revisión y actualización del cuadrángulo de Huancavelica – hoja 26n - 1:50 000 INGEMMET, 30p. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2118>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2021) “Servicio de Consulta de data meteorológica en línea” SENAMHI. = <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Vílchez, M.; Ochoa, M. & Pari, W. (2019). Peligro geológico en la región Huancavelica. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 69, 225 p., 9 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2016>
- Villota, H. (2005) - Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. 2. ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.

## ANEXO 1: GLOSARIO

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

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

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

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

Los desplazamientos en masa se dividen en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear (Suarez J., 2009).

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

**FLUJO DE DETRITOS:** Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (Índice de plasticidad menor al 5%), 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

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

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

**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 ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

**REPTACIÓN** (creep) Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional cuando se asocia a cambios climáticos, o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

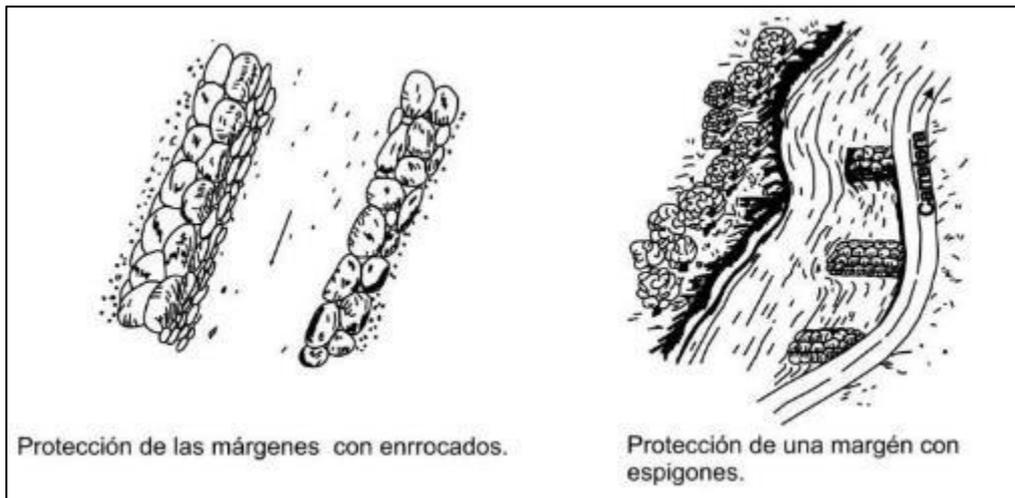
## ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

### A. Medidas de mitigación para huaicos

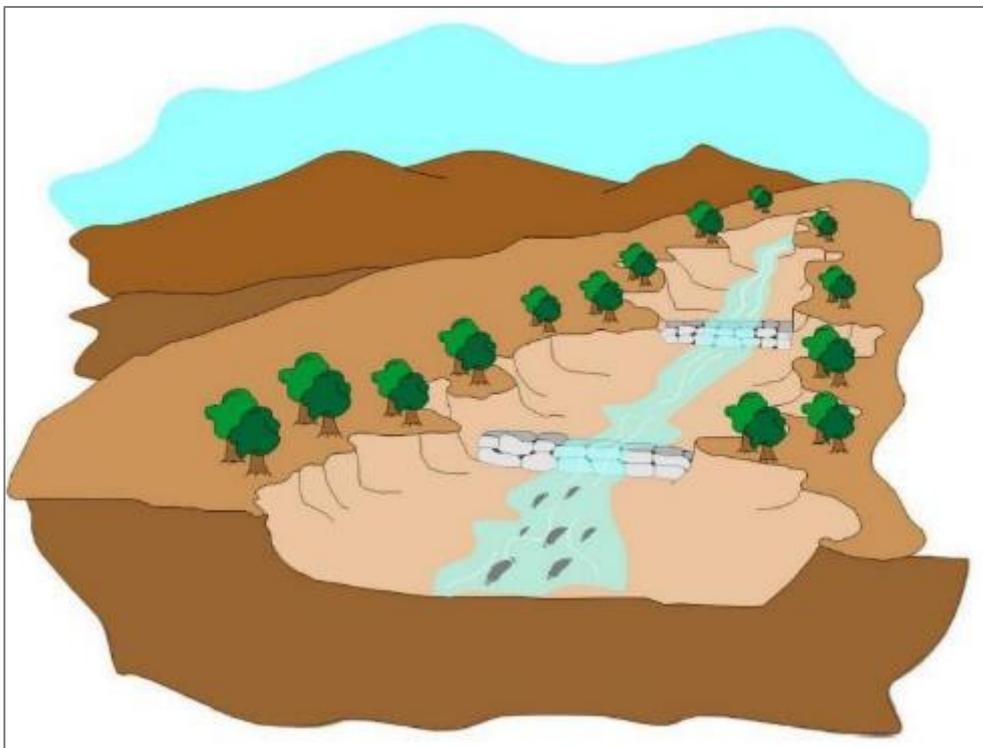
Estas medidas de mitigación deben emplearse en quebradas de régimen temporal donde se producen huaicos periódicos a excepcionales que pueden alcanzar grandes extensiones y transportar amplios volúmenes de sedimentos gruesos y finos. Con el propósito de propiciar la fijación de los sedimentos en tránsito y de minimizar el transporte fluvial, es preciso aplicar, en los casos que sean posibles, las medidas que se proponen a continuación

- Encauzamiento del canal principal de los lechos fluviales secos, con remoción selectiva de los materiales gruesos, que pueden ser utilizados en los enrocados y/o espigones para controlar las corrientes (figura 35). Considerar siempre que estos lechos fluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia excepcional, caso del fenómeno El Niño. Es decir, el encauzamiento debe considerar un diseño que pueda resistir máximas avenidas sin que se produzcan desbordes.
- Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos (figura 36).
- La construcción de obras e infraestructuras que crucen estos cauces secos deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máxima crecidas registradas, que permitan el libre paso de huaicos, evitándose obstrucciones y represamientos, con posteriores desembalses más violentos.
- Realizar la construcción de presas de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas que acarrean grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos.
- Evitar en lo posible la utilización del lecho fluvial como terreno de cultivo que permita el libre discurrir de los flujos hídricos.
- Las quebradas, torrenteras o chorreras que generan huaicos periódicos en la región pueden ser controladas en las carreteras mediante badenes de concreto o mampostería de piedra, alcantarillas, pontones o puentes, entre otros, en función de las características geodinámicas y topográficas de la quebrada. Es preciso mencionar que estas obras de infraestructuras, que atraviesen estos cauces, deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máximas crecidas registradas, que permitan el libre discurrir de crecidas violentas que provienen de la cuenca media y alta evitándose obstrucciones y represamientos violentos.

Además, estas obras deben ser acompañadas de obras de canalización y limpieza del cauce de la quebrada aguas arriba; así como obras de defensa contra erosión (enrocados, gaviones o muros de concreto) ya mencionados.



**Figura 35.** Protección de márgenes con enrocados, espigones y siembra de bosques ribereños.



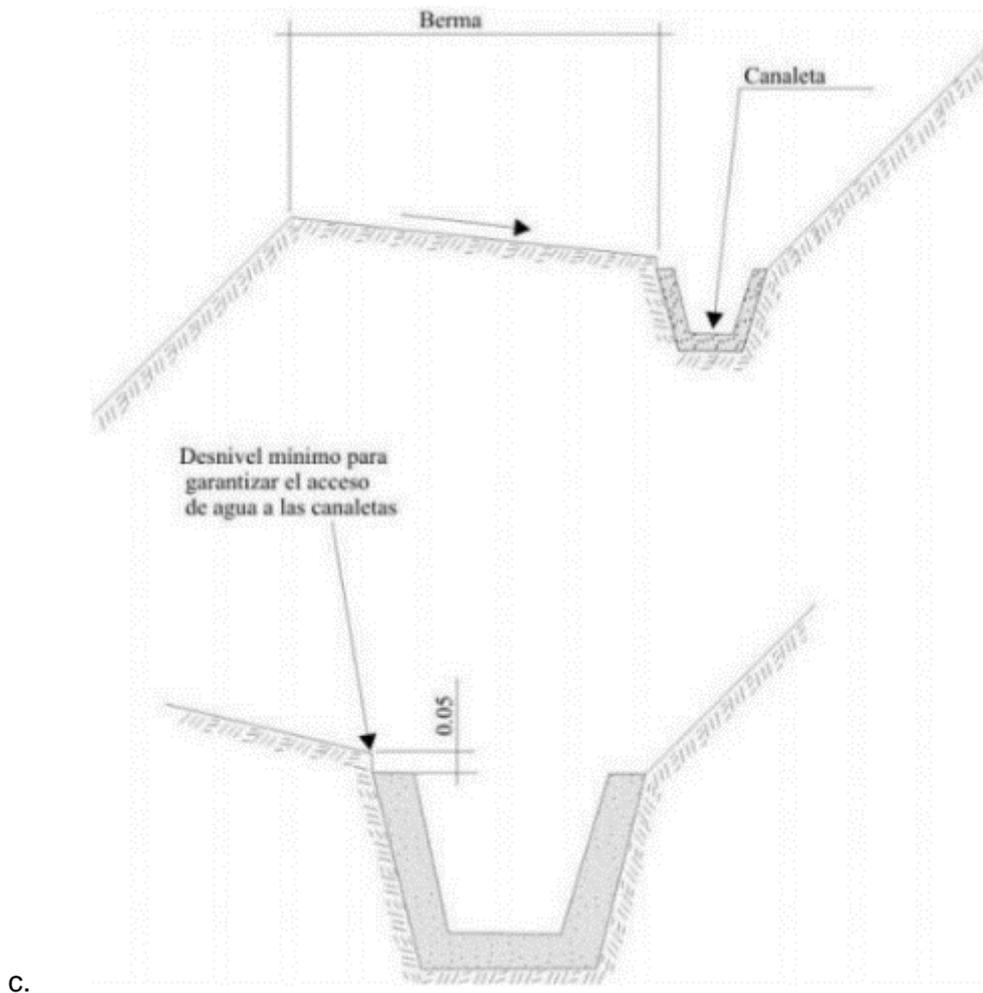
**Figura 36.** Presas transversales a cursos de quebradas.

## **B. Medidas de mitigación para deslizamientos**

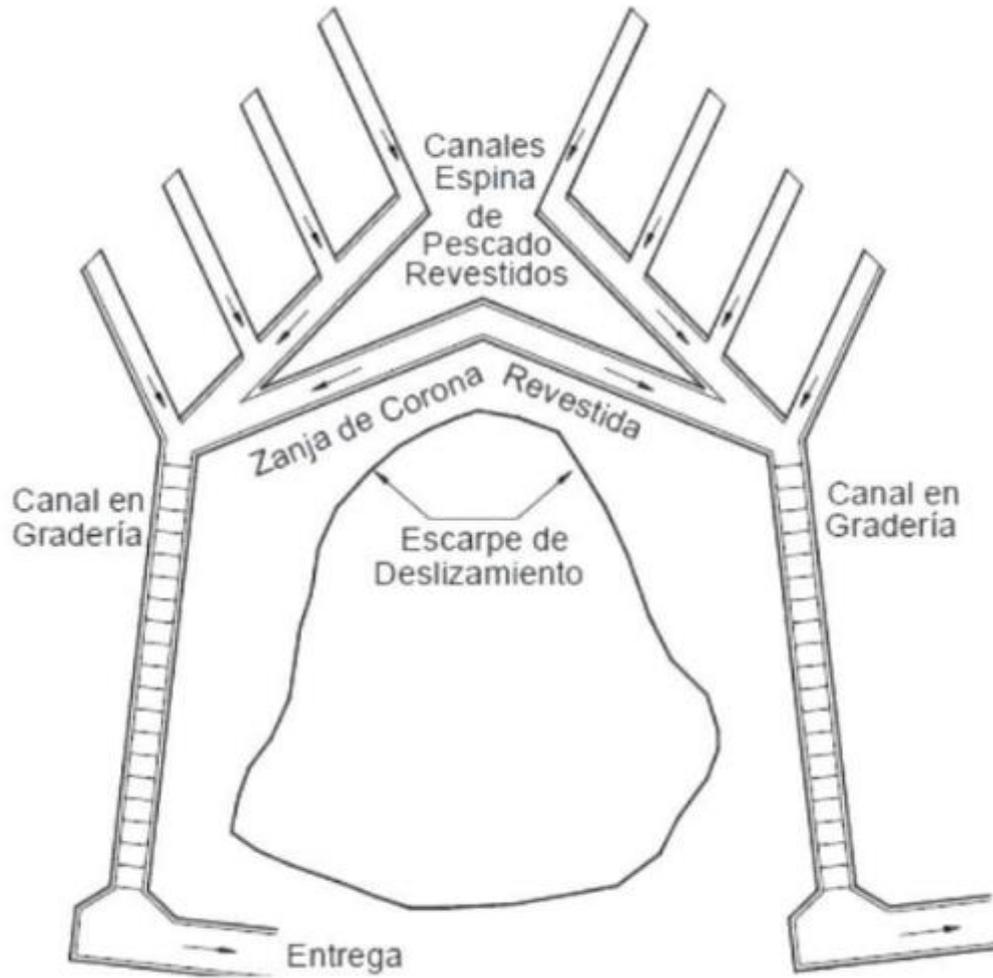
En la zona evaluada para la mitigación de los peligros geológicos, se debe controlar la infiltración del agua hacia afuera del cuerpo de deslizamiento. Los métodos de estabilización de los deslizamientos, que contemplan el control del agua, tanto superficial como subterránea, son muy efectivos y generalmente más económicos que la construcción de grandes obras de contención, desactivan y disminuyen la presión de los poros, considerada el principal elemento desestabilizante en laderas. El drenaje reduce el peso de la masa y al mismo tiempo aumenta la resistencia de la ladera (Suarez, 1998).

Las medidas de drenaje recomendadas son:

- a. Drenaje Superficial: Las zanjas construidas permiten la recolección de aguas superficiales, captan la escorrentía tanto de la ladera, como de la cuenca de drenaje arriba del talud y desvía el agua a las quebradas adyacentes al cuerpo de deslizamiento, evitando su infiltración, captando el agua de escorrentía, llevándola a un sitio lejos del deslizamiento. Éstas deben ser construidas en la parte superior al escarpe principal del deslizamiento (figura 37). En las obras construidas - zanjas de drenaje es necesario impermeabilizar la caja hidráulica captando y evitando totalmente la infiltración de las aguas de escurrimiento la ladera, según las imágenes adjuntas.
- b. Drenaje tipo Espina de Pescado: Construcción de canales colectores, los cuales conducen las aguas colectadas fuera de las áreas vulnerables del talud, entregándolas a torrenteras (figura 38). Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la infiltración del agua.



**Figura 37.** Detalle de una canaleta de drenaje superficial (zanjas de coronación). Fuente: Ingemmet (2000).



**Figura 38.** Esquema en planta de canales colectores. Espina de Pescado (Suarez, J.2010)