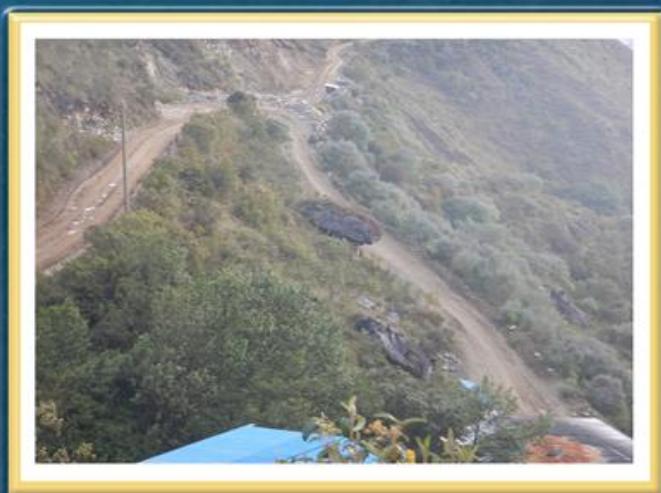


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7150**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS ALREDEDORES DE LA MINA ESTRELLA

Región La Libertad  
Provincia Pataz  
Distrito Huaylillas



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

*Equipo de investigación:*

*Julio Lara*

*Luis Araujo*

#### **Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos en los alrededores de la Mina Estrella. Distrito Huaylillas, provincia Pataz, región La Libertad. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7150, 38 p.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Objetivos del estudio .....	3
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	4
1.3. Aspectos generales .....	6
1.3.1. Ubicación.....	6
1.3.2. Accesibilidad.....	7
1.3.3. Clima .....	8
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS .....	9
2.1. Unidades litoestratigráficas.....	9
2.1.1. Complejo del Marañón (Pe-cm) .....	9
2.1.2. Grupo Ambo (Ci-a) .....	9
2.1.3. Grupo Mitu (Ps-m) .....	9
2.1.4. Grupo Pucará (Jr-pu).....	10
2.1.5. Grupo Goyllarisquizga (Ki-g).....	11
2.1.6. Formación Crisnejas (Kis-cr) .....	11
2.1.7. Intrusivos del Paleozoico superior (Pali-di/gd) .....	11
2.1.8. Depósitos aluviales (Qh-al).....	12
2.1.9. Depósitos coluviales (Qh-co).....	12
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS .....	13
3.1. Unidades geomorfológicas .....	13
3.1.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	13
3.1.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional.....	15
4. PELIGROS GEOLÓGICOS .....	17
4.1. Caída de rocas .....	18
4.1.1. Factores condicionantes.....	23
4.1.2. Factores desencadenantes.....	24
4.1.3. Factores antrópicos .....	24
4.1.4. Daños.....	24
5. CONCLUSIONES .....	26
6. RECOMENDACIONES.....	28
7. BIBLIOGRAFÍA.....	29
ANEXO 1: GLOSARIO.....	30

ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN..... 33

## RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizada los alrededores de la Mina Estrella, en el distrito de Huaylillas, provincia Pataz, región La Libertad. 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 para los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

Las unidades geológicas aflorantes en el área de evaluación corresponden a depósitos coluviales inconsolidados compuestos por bloques y cantos angulosos de tamaños variables, envueltos en una matriz areno arcillosa, de permeabilidad media a alta. Mientras que el substrato rocoso corresponde a calizas gris masivas con coloraciones superficiales beige a marrón de la Formación Chambará (Grupo Pucará), las cuales se encuentran medianamente fracturadas a muy fracturadas y moderadamente meteorizadas.

Las geoformas identificadas, según su origen: tectónico degradacional y erosional, comprenden montañas en roca intrusiva, sedimentaria, volcano-sedimentaria y metamórfica, en cuyas laderas se aprecian depósitos coluviales; y de acuerdo con su origen depositacional y agradacional, conforman valles de represamiento y vertientes coluviales de detritos.

Los peligros geológicos identificados en la Mina Estrella y alrededores, en el distrito de Huaylillas, comprenden movimientos en masa de tipo caída (caída de rocas y derrumbes) y deslizamiento; así como procesos de erosión de laderas (surcos y cárcavas).

Los factores condicionantes se atribuye a la pendiente muy fuerte del terreno (25° a 45°) y la configuración de montañas modeladas en rocas metamórficas y sedimentarias; cuyas características geomecánicas del macizo rocoso (medianamente fracturadas a muy fracturadas y moderadamente meteorizadas), presentan una calidad regular a mala; coberturadas por suelos inconsolidados, de depósitos coluviales, con nula o poca consolidación. Los factores desencadenantes, son las precipitaciones pluviales (precipitación anual promedio de 185 mm) y la actividad sísmica de la zona (sismos superficiales <60km de magnitud 5).

Los factores antropogénicos corresponden a las excavaciones y/o cortes de talud en las laderas, entre otros, los cuales también influyen en la acción de los peligros identificados.

Los derrumbes recientes y procesos de erosión de laderas (surcos y cárcavas), afectan 500 m aproximadamente, de la vía de acceso (camino afirmado) a la Mina Estrella y se podrían generar nuevas ocurrencias. Mientras que las caídas de rocas podrían afectar al sector Hualhua, canales de regadío, terrenos de cultivo, la vía de acceso a la Mina Estrella; así como, el área urbana del distrito de Huaylillas ubicado al suroeste de la zona de estudio.

En temporada de lluvias extraordinarias y/o intensas, se podrían generar nuevos procesos de derrumbes y erosión de laderas (surcos y cárcavas) que aportarían material hacia la

quebrada Uchuragra, canalizándose como flujos de detritos y que podrían afectar la zona urbana del distrito de Huaylillas, ubicada en la parte baja de la quebrada. También se identificó un deslizamiento antiguo en la margen derecha de la quebrada en mención, el cual podría reactivarse en temporada de lluvias.

Dado que las condiciones actuales de inestabilidad son persistentes por las características del substrato rocoso, de los suelos inconsolidados, así como la actividad antropogénica, la zona se considera de **ALTO PELIGRO**, que puede desencadenarse frente a la presencia de lluvias extraordinarias y la ocurrencia de movimientos sísmicos.

Finalmente, se brindan recomendaciones que deben ser tomadas en cuenta por las autoridades competentes, las cuales consisten principalmente en realizar el desquinche de bloques sueltos y/o inestables, en la Mina Estrella, porque pueden caer ladera abajo y generar daño, el desarrollo de programas de control y manejo de cárcavas sobre la base de diques o trinchos transversales, la reforestación de las laderas, entre otras. Dichas medidas deben ser diseñadas y dirigidas por especialistas.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos expuestos o vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Subgerencia de Defensa Civil del Gobierno Regional de La Libertad, según oficio N° 941-2019-GRLL-GOB-GGR-GRDN/SGDC, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación geológica y de peligros geológicos de caída de rocas, derrumbes y erosión de laderas que podrían afectar a la población, viviendas y vías de acceso ubicadas en la quebrada Uchuragra del distrito de Huaylillas.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los especialistas en peligros geológicos Julio Lara y Luis Araujo para realizar la evaluación técnica respectiva.

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

Cabe mencionar que el acceso a la zona de estudio involucró la toma de medidas de seguridad de la Mina Estrella, con la finalidad de dar cumplimiento al protocolo debido a la pandemia actual por el Covid19. La evaluación geológica de la zona de estudio se llevó a cabo con autoridades locales de la Municipalidad Distrital de Huaylillas, así como personal de la Mina Estrella, los cuales acompañaron durante todos los trabajos de campo.

Este informe, se pone en consideración de la Municipalidad distrital de Huaylillas, 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:

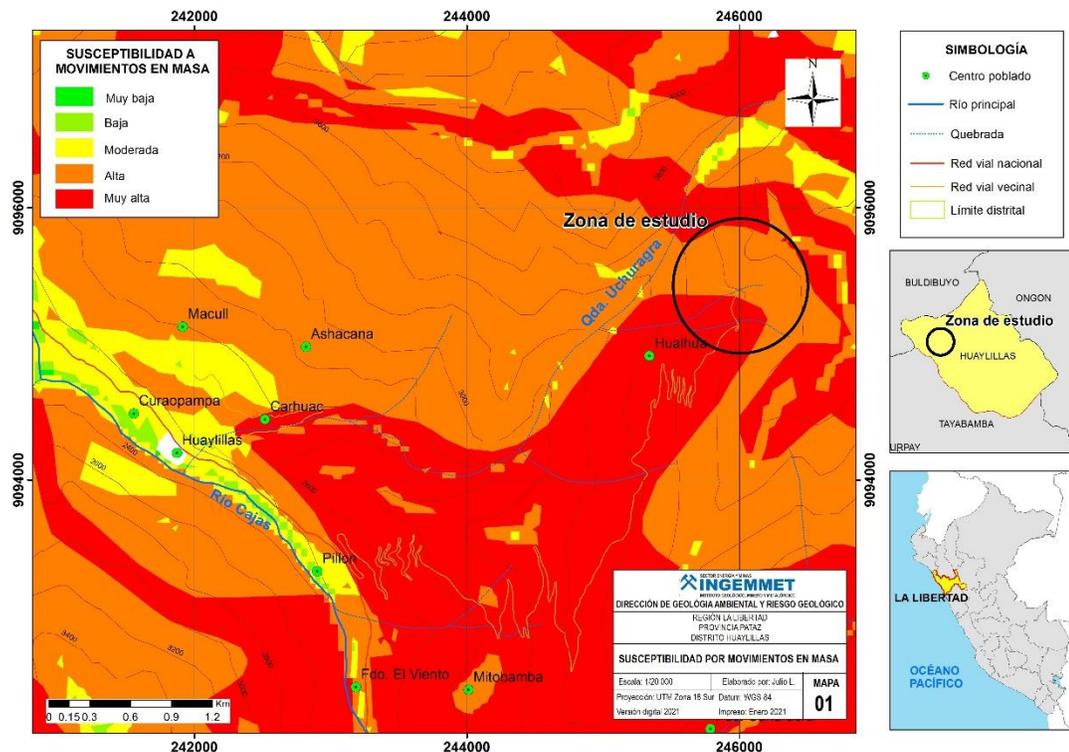
- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que se presentan principalmente en la Mina Estrella y alrededores, en el distrito de Huaylillas, provincia de Patate, región de La Libertad, que compromete la seguridad física de personas, viviendas, obras de infraestructura y vías de comunicación en la zona de influencia de los eventos.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que causan el origen de los peligros geológicos identificados.
- c) Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

## 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del Ingemmet, relacionados a temas de geología y geodinámica externa, que incluyen al distrito de Huaylillas, de los cuales destacan los siguientes:

- A) Boletín N° 50, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Riesgo Geológico en la Región La Libertad” (Medina et al., 2012). En este boletín, para la región La Libertad, se identificaron 2653 ocurrencias principales de peligros geológicos y geohidrológicos; de los cuales, 899 han sido comprobados con trabajos de campo, mientras que los restantes (1754) por fotointerpretación aéreas e imágenes satelitales. La mayor cantidad de ocurrencias corresponde a peligros geológicos por procesos de movimientos en masa (caídas, deslizamientos, flujos, movimientos complejos y reptación de suelos) con 87 %, seguidos por el grupo de otros peligros geológicos (arenamiento, erosión de ladera y erosión marina) con 11 % y finalmente los peligros geohidrológicos (inundación y erosión fluvial) con 2 %. En el área de evaluación, se identificaron movimientos en masa de tipo caída (4), deslizamiento (2) y flujo (2). Este inventario indica que en dicha área se podrían producir nuevas ocurrencias.

De acuerdo con la susceptibilidad por movimientos en masa analizado, a escala 1: 250 000, el área de estudio presenta rango de susceptibilidad Muy Alta y Alta (figura 1 y cuadro 1) a movimientos en masa, como deslizamientos, caídas de rocas y flujos de detritos, principalmente.



**Figura 1.** Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del área de evaluación a escala 1: 250 000 (Medina et al., 2012).

**Cuadro 1.** Grados de susceptibilidad a los movimientos en masa.

SUSCEPTIBILIDAD	CARACTERÍSTICAS	RECOMENDACIONES
MUY ALTA	Zonas en donde todas las condiciones intrínsecas del terreno son muy favorables para generar movimientos en masa. Se concentra principalmente donde ocurrieron deslizamientos en el pasado o recientes reactivaciones de los antiguos al modificar sus taludes, ya sea como deslizamientos, derrumbes o movimientos complejos. Se presentan donde el substrato rocoso de rocas sedimentarias clásticas (areniscas, cuarcitas, lutitas, lutitas carbonosas) es de mala calidad, y depósitos de vertiente (coluvio-deluviales), que conforman morfologías de laderas de montañas de moderada a muy fuerte pendiente (entre 25° a mayores de 45°). Las zonas de mayor susceptibilidad se encuentran en ambos márgenes de los ríos Cajas, Cajón, Marañón; cuenca media y alta del Río Chicama; cuenca media de los ríos Moche, Virú, Chao y Santa.	En lo posible evitar el desarrollo de todo tipo de infraestructura
ALTA	Son zonas donde confluye la mayoría de condiciones del terreno favorables a generar movimientos en masa cuando se modifican sus taludes. El substrato rocoso está compuesto de areniscas, conglomerados, limolitas y arcillitas, escasas zonas con esquistos y pizarras, limoarcillitas y carbón, rocas intrusivas alteradas de la Cordillera Occidental, montañas con laderas de moderada a suave pendiente, laderas estructurales, y lomadas muy disectadas, cuyas pendientes varían entre 15° y 25°, y en algunos casos hasta 45°, así como piedemontes de valle, acumulaciones de depósitos glaciofluviales, morrenas y detritos de vertiente indiferenciados. Dichas zonas se encuentran ampliamente distribuidas en la cuenca alta del río Alto Huallaga (río Mishollo), y en cuenca alta y media de los ríos Chamán, Jequetepeque, Chicama, Moche, Virú, Chao y Santa Crisnejas. Son áreas donde la mayoría de las condiciones del terreno son favorables para generar movimientos en masa y cuando se modifican sus taludes.	Se sugiere restringir el desarrollo de infraestructura urbana o de instalaciones destinadas a una alta concentración de personas. En el caso de proyectos de infraestructura vial, líneas de energía, minera, etc., se deberán realizar estudios geológico-geotécnicos de detalle.

Fuente: Medina et al. (2012).

- B) Informe técnico: “Zonas críticas en la región La Libertad” (2008). En este informe se indica que en la región La Libertad, se han identificado un total de 82 zonas críticas, la mayor cantidad se ubican en la provincia de Otuzco (19) seguido de las provincias de Chepén (11), Sánchez Carrión (11), Pataz (10), Virú (7), Gran Chimú (6), Santiago de Chuco (5), Ascope (4) y finalmente tenemos a las provincias de Pacasmayo, Trujillo y Bolívar con 3 zonas críticas cada una. Cabe mencionar, que

las zonas críticas son áreas o lugares, que luego de la evaluación de las características geológicas-geotécnicas, tipo, frecuencia y daños producidos por procesos naturales que causan desastres, entre otros factores; se consideran más proclives a ser afectadas por desastres y se necesita que se realicen en ellas obras de prevención y/o mitigación.

Hacia el noroeste del área evaluada, se ha identificado una zona crítica por deslizamiento en el sector de Auyos - Asia (N° 934), en el distrito de Buldibuyo, en la cual se recomienda reforestar el área con plantas nativas, monitorear el deslizamiento con GPS diferencial, área no apta para vivienda, construir un sistema de andenería para cultivo y usar riego tecnificado. Medidas que podrían considerarse en la quebrada Uchuragra.

- C) Boletín N° 60, serie A, carta geológica nacional: “Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari”, Hojas; 17-h, 17-i, 18-h, 19-g, 19-i (Wilson et al., 1995). En este boletín se muestran unidades litoestratigráficas que abarcan desde el Neoproterozoico hasta el Cuaternario.

Las unidades identificadas en la zona de estudio y alrededores corresponden al cuadrángulo de Tayabamba (17-i) y comprenden el Complejo del Marañón, los grupos Ambo, Mitu, Pucará y Goyllarisquizga y la Formación Crisnejas; así como depósitos Cuaternarios (aluviales y coluvio-deluviales).

- D) Artículo de investigación: “Susceptibilidad a los movimientos en masa en las áreas de Buldibuyo-Tayabamba, La Libertad - Perú” (Luque, 2010). La zona de estudio de este artículo se enmarca dentro de la región La Libertad, al noreste de la localidad de Trujillo dentro de la provincia de Pataz, y conforma parte de la jurisdicción política de los distritos de Chillia, Buldibuyo, Huaylillas, Ongón, Taurija, Urcay y Tayabamba.

De acuerdo con el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa, realizado por este artículo, se tienen cinco tipos de áreas de susceptibilidad en la zona de estudio (muy baja, baja, media, alta y muy alta). Considerando este mapa, en el área de estudio y alrededores se tienen zonas de susceptibilidad media a muy alta a la ocurrencia de movimientos en masa, como deslizamientos, flujos de detritos (huaicos), movimientos complejos, reptación de suelos, entre otros.

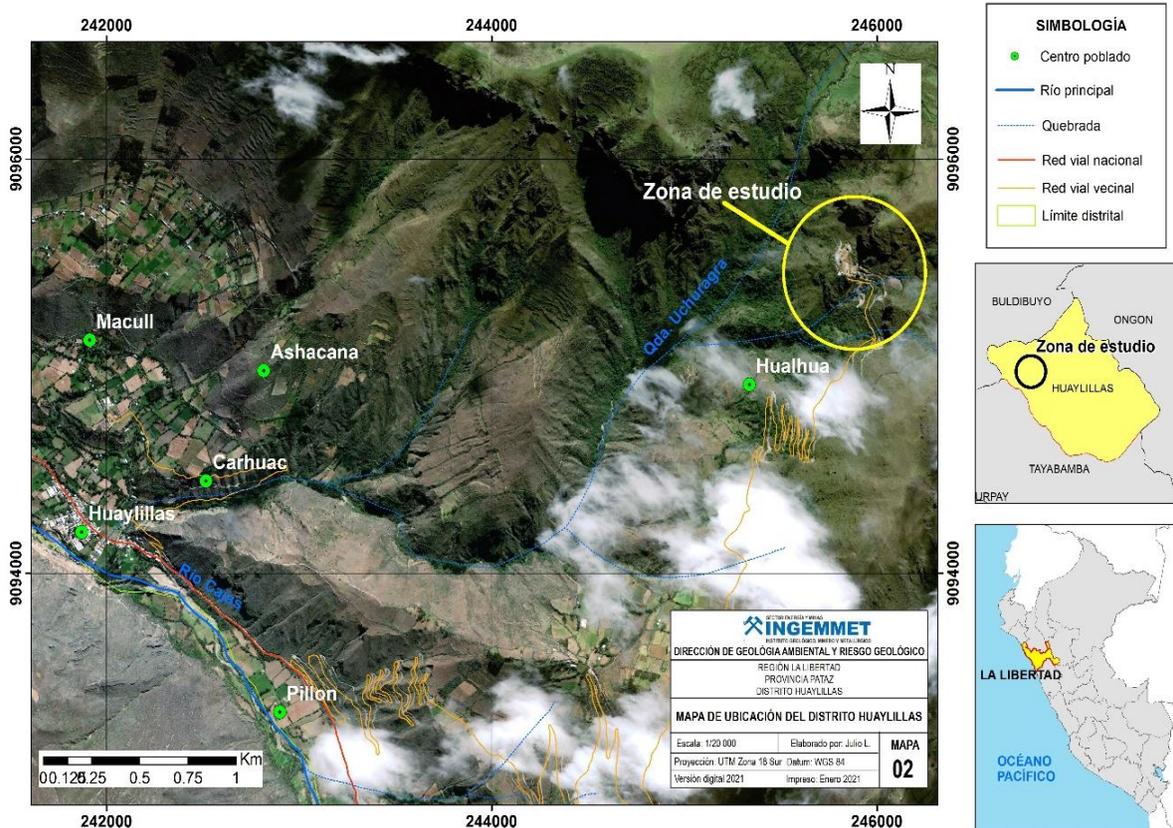
### **1.3. Aspectos generales**

#### **1.3.1. Ubicación**

La zona de estudio pertenece al distrito de Huaylillas, provincia Pataz, región La Libertad (figura 2) y comprende las coordenadas UTM (WGS84 - Zona 18S) detalladas en el cuadro 2.

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

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	241948	9096164	-8.16°	-77.34°
2	245483	9093524	-8.19°	-77.31°
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>				
3	245830	9095457	-8.17°	-77.30°



**Figura 2.** Mapa de ubicación del área de evaluación.

### 1.3.2. Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio se realizó por vía terrestre, desde la ciudad de Lima, a través de la ruta detallada en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** Rutas y accesos.

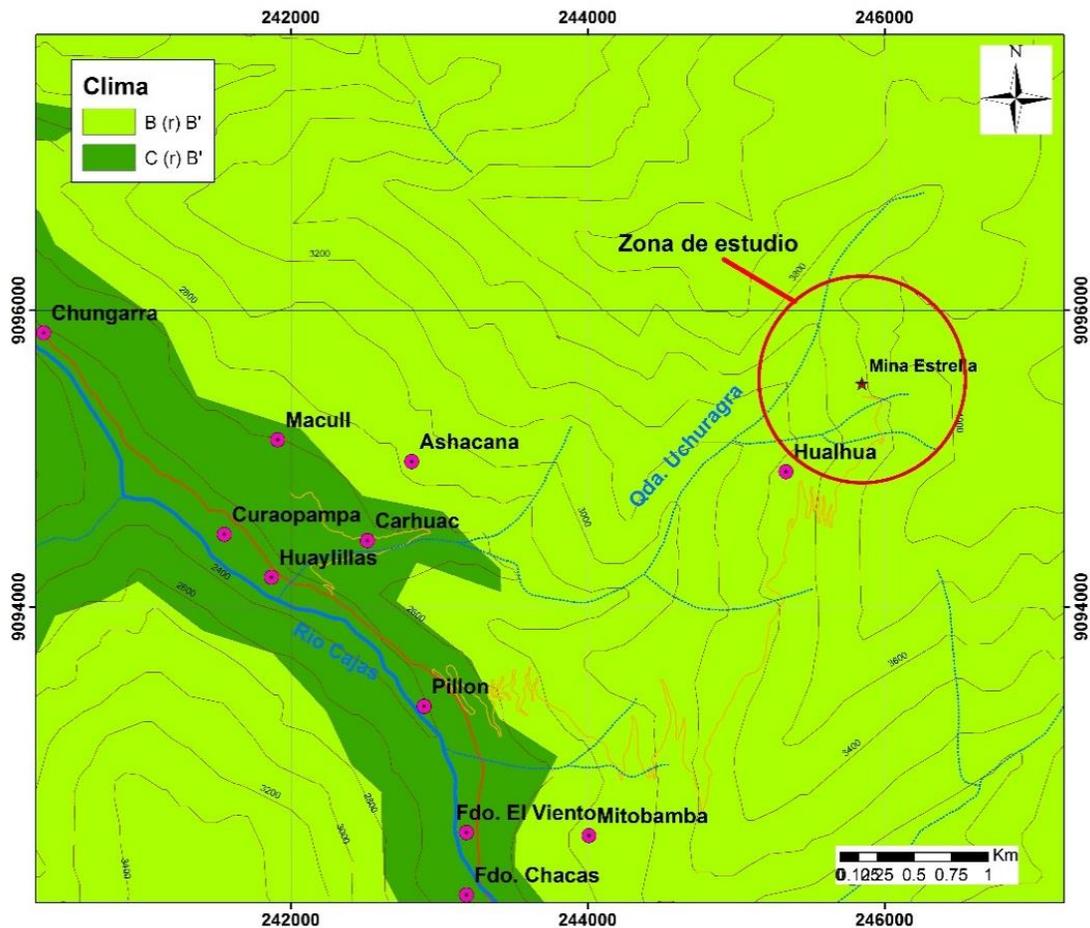
Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima - Chimbote	Asfaltada	427.4	6h y 13min
Chimbote - Tayabamba	Asfaltada	371.3	9h y 44min
Tayabamba - Huaylillas	Asfaltada	16.4	34min

### 1.3.3. Clima

De acuerdo con el Mapa Climático del Perú elaborado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI (2020), la zona de estudio presenta un clima lluvioso (de los valles mesoandinos) con abundante humedad en todas las estaciones del año (B<sub>(r)</sub> B'). Mientras que al suroeste se presenta un clima semiseco (C<sub>(r)</sub> B') (figura 3). Estos tipos de climas de la región de la sierra, se extienden entre los 3 000 y 4 000 m s.n.m. (Senamhi, 2021).

Estos climas muestran áreas lluviosas con carácter semifrío, templado, cálido, con precipitaciones abundantes durante el verano y con ausencia de las mismas en las otras estaciones.

El clima del distrito de Huaylillas se caracteriza por precipitaciones anuales promedio de 185 mm y temperaturas medias anuales de 9°C (Fuente: Climate-Data.org). Presenta veranos lluviosos e inviernos secos con fuertes heladas.



**Figura 3.** Mapa climático del área de evaluación.

## 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio, se elaboró teniendo como base la información del Boletín N° 60: “Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari” (Wilson et al., 1995) y el “Mapa geológico del cuadrángulo Tayabamba (HOJA 17-i-IV) Escala 1: 50 000” (Mamani et al., s.a.) donde se han identificado principalmente unidades litoestratigráficas como el Complejo del Marañón; los grupos Ambo, Mitu, Pucará y Goyllarisquiza; la Formación Crisnejas; e intrusivos del Paleozoico superior; así como depósitos Cuaternarios. De igual manera se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales y observaciones de campo.

### 2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas aflorantes, corresponden a afloramientos rocosos y depósitos Cuaternarios que han sido acumulados desde el Paleozoico hasta la actualidad (figura 5). Localmente se han identificado las siguientes unidades:

#### 2.1.1. Complejo del Marañón (Pe-cm)

Consiste en una secuencia de rocas metamórficas que afloran en la Cordillera Oriental, hacia las partes más occidentales (parte baja del Valle del Marañón). En ella existen esquistos micáceos y cloritosos, grises y verdosos cortados por abundantes vetas de cuarzo lechoso. El resto que aflora en la Cordillera Oriental, son pizarras y filitas grisáceas. También se pueden encontrar pequeños intrusivos subvolcánicos, con fase de serpentización, al norte de Pallasca y noroeste de Acobamba. Estas secuencias se encuentran hacia el suroeste de la zona de estudio y ocupan el 20% del área evaluada. Sobre estos afloramientos se encuentran depósitos coluvio-deluviales, en los cuales se han identificado procesos de erosión de laderas y derrumbes.

#### 2.1.2. Grupo Ambo (Ci-a)

El Grupo Ambo, litológicamente consiste de areniscas, lutitas y conglomerados, que afloran en varios sectores de la Cordillera Oriental, teniendo su mayor exposición en el cuadrángulo de Tayabamba. Suprayace en discordancia angular encima de las rocas metamórficas del Complejo Marañón y cubierto por las secuencias del Grupo Mitu en discordancia. Estas secuencias se encuentran hacia el norte de la zona de estudio y ocupan el 10% del área evaluada.

Este grupo, presenta un grosor de unos 350 m. alcanzando los 1000 m. al oeste de Huacrachuco (Pomabamba). En este sector el grupo presenta secuencias de areniscas sub-grawackas gris verdosa, intercaladas con arcillitas y conglomerados; las arcillitas son micáceas gris oscuras, aumentando el conglomerado hacia el tope del grupo.

#### 2.1.3. Grupo Mitu (Ps-m)

Litológicamente el Grupo Mitu, está conformado por secuencias de areniscas rojas oscuras, conglomerados rojizos y verdosos, así como volcánicos de coloración rojiza a morada, muy parecidas a las secuencias de la parte central del Perú (alrededores de

Tarma). Los materiales clásticos son más comunes en la parte baja de la secuencia, mientras que los volcánicos se encuentran mayormente en la parte superior. Estos afloramientos se encuentran hacia el norte de la zona de estudio y ocupan el 12% del área evaluada.

Este grupo, sobreyace con discordancia al Complejo del Marañón y al Grupo Ambo. En la hoja de Tayabamba, sobreyace a una secuencia volcánica indiferenciada del Paleozoico superior, infrayaciendo discordantemente a las secuencias del Grupo Pucará y en algunas localidades (Huancarpata), infrayace al Grupo Goyllarisquizga.

#### 2.1.4. Grupo Pucará (Jr-pu)

El Grupo Pucará, está compuesto de calizas y niveles de chert que afloran en el sector Oriental, generalmente en la margen derecha del río Marañón. Suprayace en discordancia angular o erosional a las unidades ya descritas. El contacto superior con el Grupo Goyllarisquizga, varía de una discordancia ligera a una discordancia angular, en el valle del río Cajás y en los alrededores de Huaylillas (Tayabamba).

Este Grupo alcanza un grosor máximo de 300 m. al oeste de Buldibuyo (Tayabamba) y al norte de San Buenaventura (Pomabamba), siendo los grosores menores en su mayor parte debido a la erosión pre-Goyllarisquizga que afectó la región.

En la zona de estudio, se identificaron afloramientos de la Formación Chambará del Grupo Pucará (ocupan el 8% del área evaluada), que corresponden a calizas gris masivas con coloraciones superficiales beige a marrón, las cuales se encuentran medianamente fracturadas a muy fracturadas y moderadamente meteorizadas (fotografía 1).



**Fotografía 1.** Afloramientos de la Formación Chambará que corresponden a calizas gris masivas con coloraciones superficiales beige a marrón, las cuales se encuentran moderadamente meteorizadas.

#### 2.1.5. Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)

El Grupo Goyllarisquizga consiste de areniscas de grano grueso a conglomerádico, con intercalaciones de arcillitas rojizas, marrones, grises y verdosas; las areniscas conglomerádicas, se presentan en la base de la secuencia. Estas unidades sobreyacen a todas las anteriores en discordancia angular.

La superficie de erosión debajo de este grupo tiene cierto relieve apreciable en el sur del río Cajas, frente a la Hda. Bambas, donde las areniscas cretáceas entierran una topografía ondulada desarrollada en el Grupo Pucará. Asimismo, en la Hda. Huascarbamba (Pomabamba), donde las calizas están como bloques sobreyaciendo al Complejo del Marañón y mostrando las características de una topografía antigua, desenterrada por erosión del Grupo Goyllarisquizga. Mientras que el contacto superior con la Formación Crisnejas, es de tipo erosional.

#### 2.1.6. Formación Crisnejas (Kis-cr)

La Formación Crisnejas consiste predominantemente en secuencias de arcillitas calcáreas y margas amarillentas, con intercalaciones delgadas de calizas, aflorantes en el sector del valle del Marañón. Esta formación resulta de la unión hacia el este de las zonas más periféricas de las formaciones Chúlec y Pariatambo.

Suprayace en discordancia al Grupo Goyllarisquizga e infrayace a la Formación Jumasha en contacto discordante. Su grosor varía entre 150-300 m.

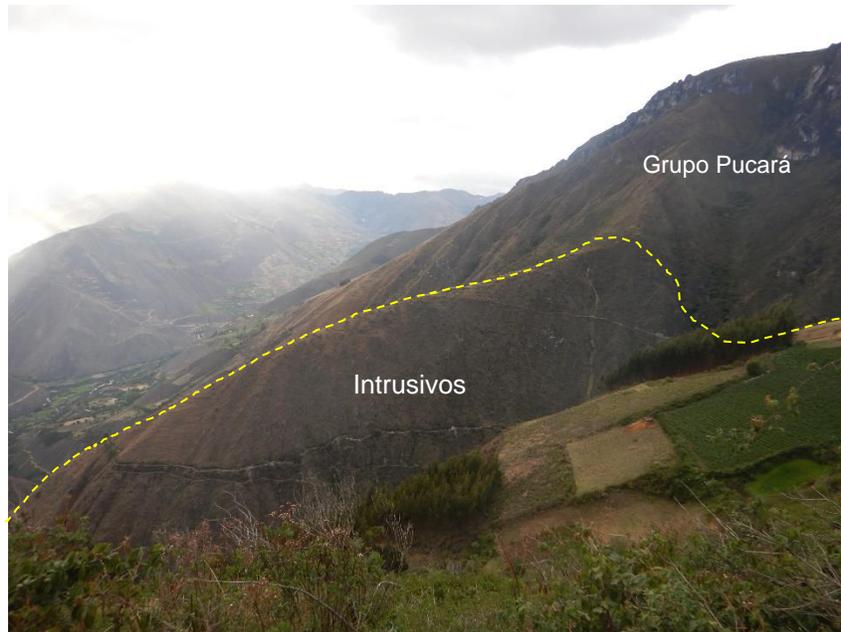
#### 2.1.7. Intrusivos del Paleozoico superior (Pali-di/gd)

En la zona de estudio afloran intrusivos antiguos atribuidos al Paleozoico superior. Las relaciones de campo son: penetran al Complejo del Marañón y subyacen a las secuencias del Grupo Ambo.

Estos intrusivos corresponden al denominado Batolito de Pataz, que aflora ampliamente en los alrededores del pueblo de Pataz y se prolonga hasta Buldibuyo.

Consisten en dioritas a granodioritas con facies anfibolíticas, notándose un desarrollo de foliación en algunos sectores. Este intrusivo, se relaciona con el intrusivo que aflora en los alrededores de la laguna de Huascarcocha, prolongándose con gran extensión hacia el Oriente.

En la zona de estudio, se identificaron estos intrusivos en contacto con rocas de tipo calizas correspondientes al Grupo Pucará (figura 4).



**Figura 4.** Contacto entre rocas intrusivas (dioritas y granodioritas) y el Grupo Pucará (calizas gris masivas). Dicho contacto determina la diferencia en la geomorfología de la zona de estudio.

#### 2.1.8. Depósitos aluviales (Qh-al)

Corresponden a depósitos del Cuaternario (Holoceno) que se depositan en el fondo de los valles.

Los depósitos aluviales corresponden a acumulaciones de gravas, arenas y limos. Los clastos se caracterizan por ser redondeados a subredondeados y de composición polimíctica. Estos depósitos se identificaron en el valle del río Cajas.

#### 2.1.9. Depósitos coluviales (Qh-co)

Corresponde a depósitos recientes que se encuentran en los flancos de los valles y quebradas.

En la zona de estudio se identificaron depósitos coluviales que corresponden a depósitos inconsolidados compuestos por bloques y cantos angulosos de tamaños variables, envueltos en una matriz arenoarcillosa, de permeabilidad media a alta y que presentan nula o poca consolidación.

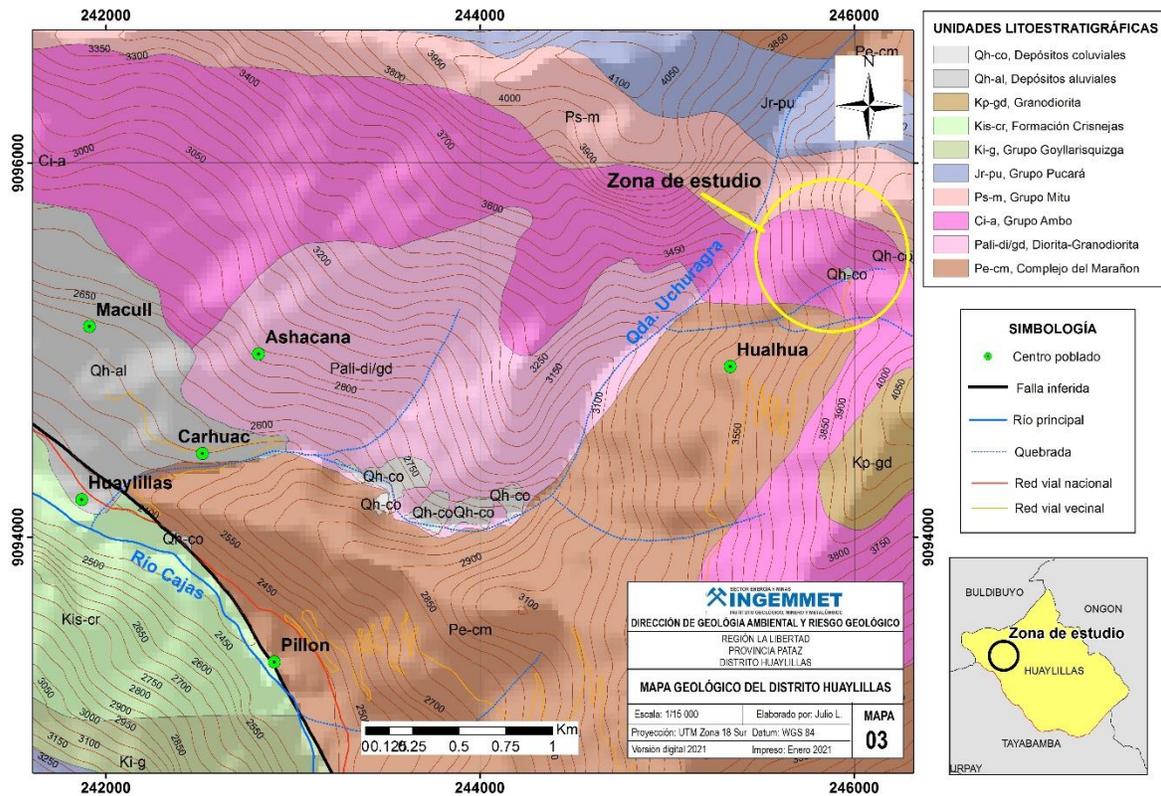


Figura 5. Mapa geológico del área de evaluación.

### 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

#### 3.1. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas (figura 8), en el área de estudio, 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 (Vilchez et al., 2019).

##### 3.1.1. 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).

Los paisajes morfológicos, resultantes de los procesos denudativos forman parte de las cadenas montañosas, colinas, superficies onduladas y lomadas.

### 3.1.1.1. Unidad de montañas

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. Esta unidad abarca el 93% del área de evaluación. La cima de estas geoformas puede ser aguda, subaguda, semiredondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas presentan un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968).

El área de evaluación se compone de las siguientes sub unidades:

**Sub Unidad de montaña en roca sedimentaria (RM-rs):** corresponde a geoformas modeladas en afloramientos de rocas sedimentarias de tipo areniscas, lutitas, calizas y conglomerados, reducidos por procesos denudativos y que se encuentran conformando elevaciones alargadas y de pendientes muy fuerte del terreno (25° a 45°).

Se identificaron estas formas de relieve hacia el noreste, suroeste y noroeste de la zona urbana del distrito de Huaylillas (figura 4).

**Sub Unidad de montaña en roca volcano-sedimentaria (RM-rvs):** corresponde a geoformas conformadas por afloramientos de rocas volcano-sedimentarias de tipo areniscas rojas oscuras, conglomerados rojizos y verdosos, así como volcánicos morados claros, reducidos por procesos denudativos y que se encuentran conformando elevaciones alargadas y de pendiente fuerte del terreno (15° a 25°).

Se identificaron estas formas del relieve hacia el noreste de la zona urbana del distrito de Huaylillas.

**Sub Unidad de montaña en roca metamórfica (RM-rm):** corresponde a geoformas modeladas en afloramientos de rocas metamórficas de tipo esquistos micáceos y cloritosos, grises y verdosos, pizarras y filitas grisáceas, reducidos por procesos denudativos y que se encuentran conformando elevaciones alargadas y de pendiente muy fuerte del terreno (25° a 45°).

Se identificaron estas formas del relieve hacia el este y sureste de la zona urbana del distrito de Huaylillas.

**Sub Unidad de montaña en roca intrusiva (RM-ri):** Consiste en geoformas conformadas por afloramientos de rocas intrusivas de tipo dioritas y granodioritas, reducidos por procesos denudativos y que se encuentran conformando elevaciones alargadas y de pendiente fuerte del terreno (15° a 25°) (figura 6).

Se identificaron estas formas del relieve hacia el noreste de la zona urbana del distrito de Huaylillas.



**Figura 6.** Sub unidad de Montaña en roca sedimentaria (RM-rs) en contacto con la sub unidad de Montaña en roca intrusiva (RM-ri). La primera sub unidad corresponde a afloramientos de areniscas, lutitas, calizas y conglomerados. Mientras que la segunda corresponde a afloramientos de dioritas y granodioritas.

### 3.1.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

Estas geoformas, son el resultado del conjunto de procesos geomorfológicos a los que se puede denominar constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía y los vientos; los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados (Villota, 2005).

#### 3.1.2.1. Unidad de piedemontes

La unidad de piedemontes, corresponde a un conjunto de depósitos que conforman una superficie inclinada y disectada que se extiende al pie de sistemas montañosos y que ha sido formada por la depositación de las corrientes de agua que emergen de los terrenos más elevados hacia las zonas más bajas y abiertas (Villota, 1991). Esta unidad abarca el 2% del área de evaluación.

**Sub Unidad de vertiente coluvial de detritos (V-d):** Esta sub unidad corresponde a las acumulaciones de laderas originadas por procesos de movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas), así como también por la acumulación de material fino y detrítico, caídos o lavados por escorrentía superficial, los cuales se acumulan sucesivamente al pie de laderas.

Se identificaron estas geoformas en los alrededores de la zona urbana del distrito de Huaylillas.

### 3.1.2.2. Unidad de valles

Son depresiones que corresponden a un fondo dentro del cual se localiza el cauce o lecho y la llanura de inundación fluvial o fluvio-glacial. Están formadas, esencialmente, por procesos erosivos. Esta unidad abarca el 5% del área de evaluación.

**Sub Unidad de valle de represamiento (VII-r):** Son geoformas resultantes del represamiento de un valle fluvial a consecuencia de un movimiento de masa de gran magnitud, por ejemplo: un deslizamiento, una avalancha de rocas, un flujo de detritos, avalancha de detritos o movimiento complejo. Un valle de represamiento presenta, generalmente, un dique conformado por el material removido proveniente del movimiento en masa. Aguas abajo del dique es posible observar el valle por donde discurren las aguas que logran filtrar a través de este. Aguas arriba o detrás del dique se observa una topografía en el valle conformada por la acumulación de material fino de tipo lacustre (limo, arcilla, arena), visible cuando el valle está seco.

Sobre estas geoformas se asienta la población de la capital del distrito de Huaylillas (figura 7).



**Figura 7.** Geoformas de valle de represamiento (VII-r) sobre las cuales se asienta la zona urbana del distrito de Huaylillas, en el valle del río Cajas.

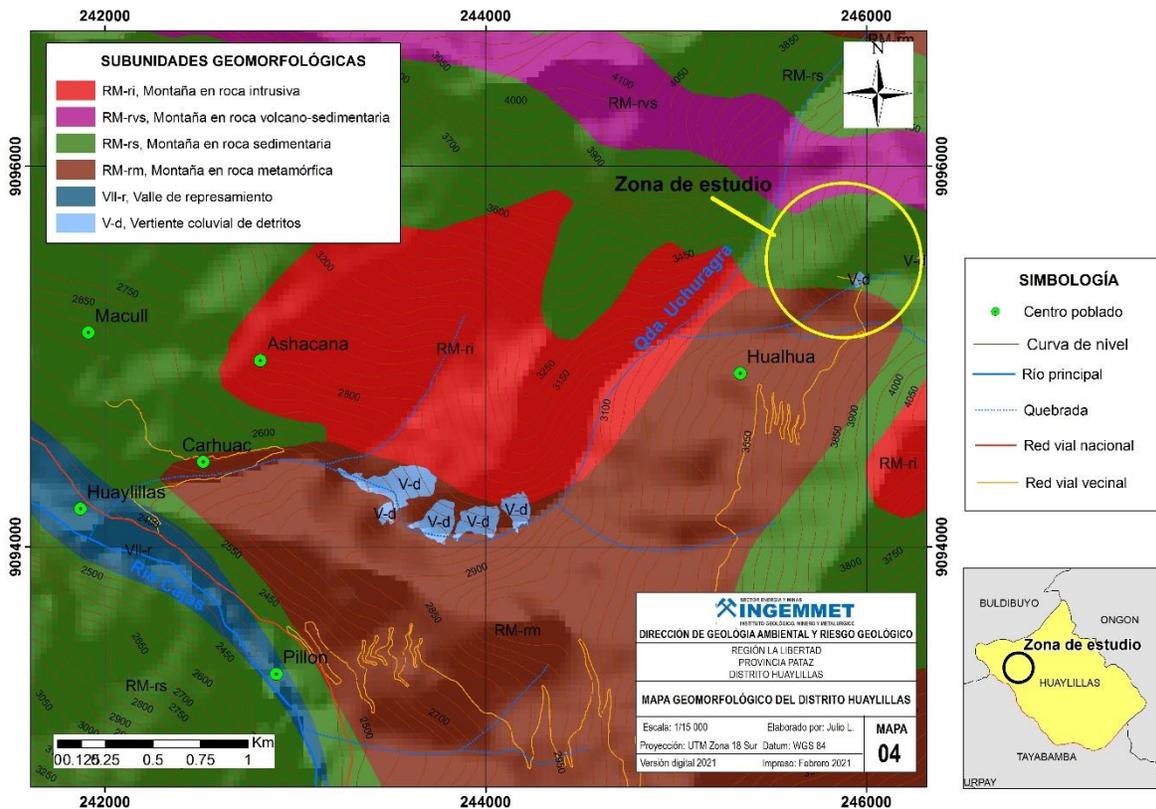


Figura 8. Mapa geomorfológico del área de evaluación.

#### 4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados corresponden a movimientos en masa, de tipo caída (caída de rocas y derrumbes), flujo (flujo de detritos) y deslizamiento (PMA: GCA, 2007), así como los denominados otros peligros geológicos de tipo erosión de laderas (surcos y cárcavas) (figura 9).

Estos peligros geológicos tienen como causas o condicionantes, factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, suelo, el drenaje superficial-subterráneo y la cobertura vegetal. Los factores desencadenantes se representan por eventos de precipitaciones pluviales intensas y/o excepcionales (precipitación anual promedio de 185 mm), así como la sismicidad de la zona (sismos superficiales <60km de magnitud 5). Finalmente, los factores antrópicos con la actividad minera, los cortes de talud y la deforestación o sobrepastoreo de laderas, contribuyen a la generación de nuevas ocurrencias de movimientos en masa.

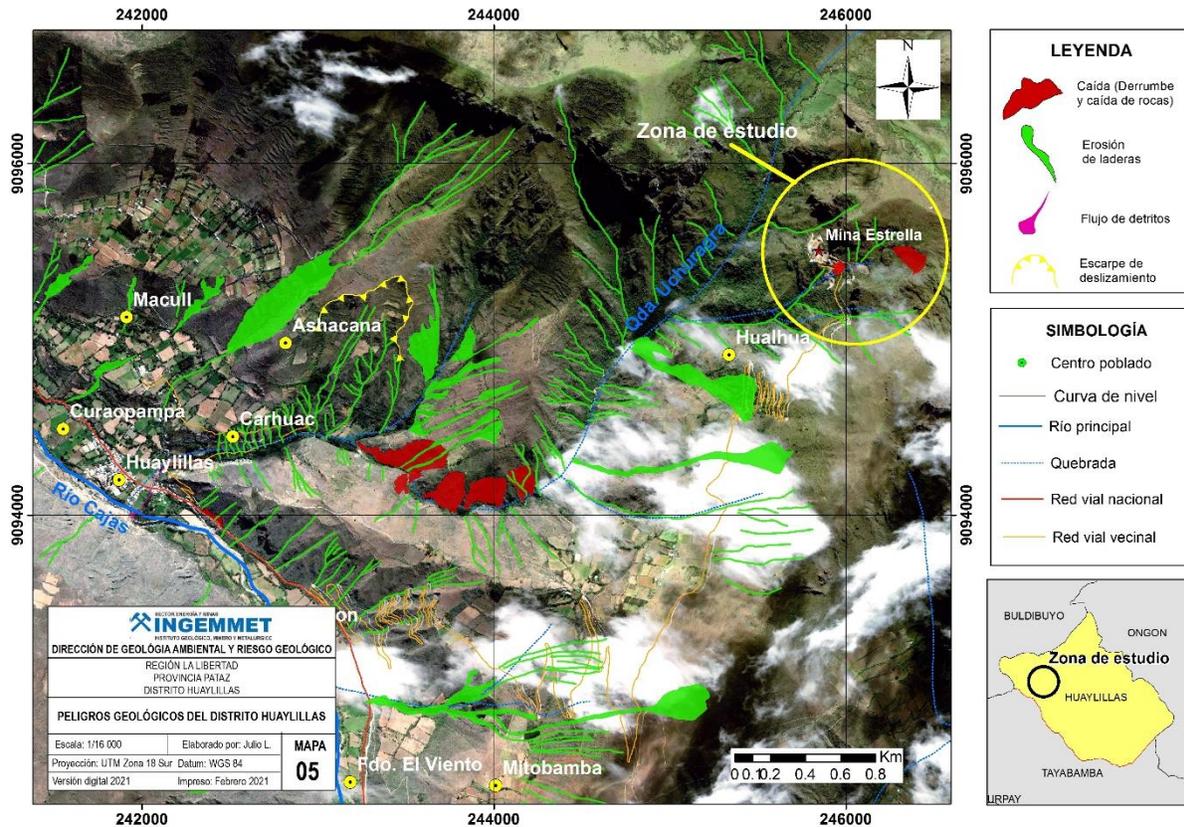


Figura 9. Cartografía de peligros geológicos del área de evaluación.

#### 4.1. Caída de rocas

La evaluación geológica-geodinámica realizada en la Mina Estrella, permitió identificar procesos de movimientos en masa de tipo caída (caídas de rocas y derrumbes) (figura 10), los cuales son de actividad antigua; sin embargo, su ocurrencia y reactivación podría afectar el sector Hualhua, caseríos aledaños al área evaluada, canales de regadío y terrenos de cultivo.

Por otro lado, el área urbana del distrito de Huaylillas, se ubica al suroeste de la zona de estudio, y se asienta sobre depósitos aluviales recientes que corresponden a acumulaciones de gravas, arenas y limos; los clastos se caracterizan por ser redondeados a subredondeados y de composición polimíctica.

La Municipalidad Distrital de Huaylillas con la finalidad de proteger a la población, solicitó al Ingemmet, la evaluación de afloramientos rocosos ubicados al noreste de la zona urbana de Huaylillas, específicamente en el zona de estudio que pertenece actualmente a la Mina Estrella.

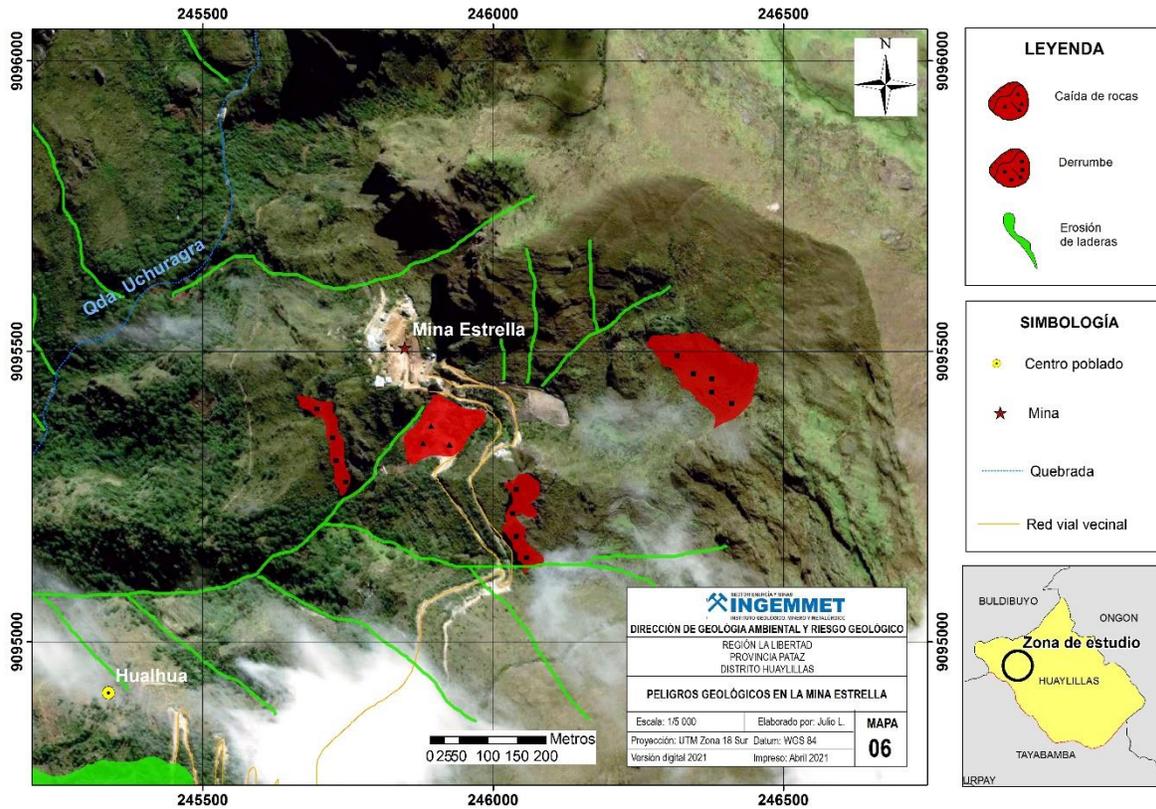


Figura 10. Cartografía de peligros geológicos en la Mina Estrella.

El acceso a la zona de estudio involucró la toma de todas las medidas de seguridad de la Mina Estrella, con la finalidad de dar cumplimiento al protocolo debido a la pandemia actual por el Covid19.

La evaluación geológica de la zona de estudio se llevó a cabo con autoridades locales de la Municipalidad Distrital de Huayllillas, así como personal de la Mina Estrella, los cuales acompañaron durante todos los trabajos de campo. Durante los trabajos de campo en la zona de estudio, las autoridades de la Municipalidad Distrital de Huayllillas, nos transmitieron su preocupación por el peligro que representarían las fracturas identificadas en los afloramientos del Grupo Pucará, para la zona urbana del distrito de Huayllillas, ubicado en la parte baja de la zona de estudio.

La inspección técnica geológica, permitió identificar afloramientos de rocas sedimentarias de tipo calizas pertenecientes a la Formación Chambará del Grupo Pucará. Estos afloramientos corresponden a calizas gris masivas con coloraciones superficiales beige a marrón, las cuales se encuentran medianamente fracturadas a muy fracturadas y moderadamente meteorizadas, lo cual determina que presenten una calidad geotécnica regular a mala (fotografías 2 a 4). Cabe mencionar también que el buzamiento de las secuencias de calizas está en contra de la pendiente, y que el proceso de fracturamiento

es natural; además, es susceptible a la generación de caída de rocas, como los que se identificaron (figura 11).



**Fotografía 2.** Afloramientos de la Formación Chambará que corresponden a calizas gris masivas con coloraciones superficiales beige a marrón, las cuales se encuentran medianamente fracturadas y moderadamente meteorizadas.



**Fotografía 3.** Calizas masivas de la Formación Chambará con coloraciones superficiales beige a marrón, las cuales se encuentran moderadamente meteorizadas.



**Fotografía 4.** Calizas de la Formación Chambará, las cuales se encuentran medianamente fracturadas a muy fracturadas.



**Figura 11.** Secuencias de calizas pertenecientes a la Formación Chambará, las cuales presentan buzamiento en contra de la pendiente. Las líneas punteadas amarillas indican la estratificación de las calizas.

Las caídas de rocas antiguas, corresponden a bloques aislados de hasta 5 metros de diámetro, los cuales presentan formas subangulosas a angulosas debido al poco transporte del material y litológicamente corresponden a bloques de calizas pertenecientes a la Formación Chambará del Grupo Pucará (figura 12).

Los bloques de rocas se encuentran dispersos en las laderas de las montañas con pendiente muy fuerte del terreno (25° a 45°), este factor es una de las condicionantes para la ocurrencia de movimientos en masa como caída de rocas y derrumbes.



**Figura 12.** Caída de rocas identificados en la Mina Estrella, con bloques de hasta 5 metros de diámetro. Coordenadas UTM WGS84: 245974E; 9095330N.

En la ruta de acceso a la Mina Estrella, se identificaron derrumbes, procesos de erosión de laderas de tipo surcos y cárcavas que afectan a la vía de acceso a la mina (figura 13). Estos procesos se han generado debido a factores condicionantes como la pendiente y geometría del terreno, el tipo de suelo que es de fácil remoción por acción hídrica, el drenaje superficial y la poca cobertura vegetal. Los factores desencadenantes corresponden a las precipitaciones pluviales intensas y/o excepcionales; mientras que los factores antrópicos corresponden a cortes de ladera (cortes en el pie de ladera o talud) realizados para la construcción de vías de acceso, así como excavaciones, los cuales inestabilizan la ladera del terreno generando derrumbes.



**Figura 13.** Procesos de erosión de laderas tipo surcos y cárcavas (línea punteada negra) y derrumbes (línea punteada roja) en la vía de acceso a la Mina Estrella. Coordenadas UTM WGS84: 244622E; 9093120N.

La presencia de caída de rocas antiguas y derrumbes, en la zona de estudio, son evidencias que podrían generarse nuevas ocurrencias del mismo tipo y podrían afectar caseríos aledaños, canales de regadío, terrenos de cultivo, la vía de acceso a la Mina Estrella, así como la zona urbana del distrito de Huaylillas.

Cabe mencionar que, en el área de evaluación, se podrían generar nuevos procesos de derrumbes y erosión de laderas (surcos y cárcavas) que aportarían material hacia la quebrada Uchuragra, canalizándose como flujos de detritos podrían afectar la zona urbana del distrito de Huaylillas, ubicada en la parte baja de la quebrada Uchuragra. También se identificó un deslizamiento antiguo en la margen derecha de la quebrada Uchuragra, el cual podría reactivarse en temporada de lluvias extraordinarias y/o intensas.

#### 4.1.1. Factores condicionantes

- Pendientes muy fuertes del terreno de 25° a 45° de inclinación, que configuran montañas modeladas en rocas sedimentarias.
- Substrato rocoso de la Formación Chambará compuesto por calizas gris masivas con coloraciones superficiales beige a marrón, medianamente a muy fracturadas y moderadamente meteorizadas; lo cual, lo caracteriza como una calidad geotécnica regular a mala.
- Presencia de suelos inconsolidados de depósitos coluviales compuestos por bloques y cantos angulosos de tamaños variables, envueltos en una matriz

arenoarcillosa, de permeabilidad media a alta, que presentan nula o poca consolidación y de fácil remoción por acción hídrica.

- Filtraciones de agua de escorrentía que inestabilizan el terreno.
- Poca o escasa cobertura vegetal.

#### 4.1.2. Factores desencadenantes

- Precipitaciones pluviales intensas y/o excepcionales. En la zona de estudio las lluvias excepcionales e intensas, debido a su clima lluvioso (precipitación anual promedio de 185 mm), incrementan la saturación del suelo, generando inestabilidad por infiltración hídrica.
- Actividad sísmica. En el área evaluada y alrededores no ocurren muchos sismos de gran intensidad; sin embargo, la ocurrencia de estos genera vibraciones que pueden desestabilizar las laderas del terreno y podrían generar movimientos en masa. Cabe mencionar que se tienen registros de sismos superficiales (<60km) de magnitud 5 (Fuente: IGP), al noroeste y sureste del área de evaluación.

#### 4.1.3. Factores antrópicos

- Corte de talud. Los cortes de laderas y/o talud para la construcción de la vía de acceso hacia la Mina Estrella, inestabilizan el terreno, generando derrumbes por actividad antrópica.
- Sobrecargas en la ladera (rellenos: en la corona de un talud). Los cambios en la geometría original de la ladera y la deforestación o sobrepastoreo de laderas contribuyen a la generación de nuevas ocurrencias de movimientos en masa.

#### 4.1.4. Daños

Los trabajos de campo en la zona de estudio permitieron determinar que es posible la ocurrencia de nuevos procesos de caída de rocas en la Mina Estrella, que podrían afectar caseríos aledaños a la zona de estudio, canales de regadío y terrenos de cultivo próximos a los procesos de caída de rocas antiguos identificados.

Cabe mencionar, que los bloques sueltos, producto de caídas de rocas antiguas, podrían afectar la zona urbana del distrito de Huaylillas, ubicado hacia el suroeste de la zona evaluada (Mina Estrella), por ello se recomienda realizar la estabilización de los bloques caídos identificados.

Los derrumbes recientes y procesos de erosión de laderas (surcos y cárcavas), afectan 500 m aproximadamente, de la vía de acceso (camino afirmado) a la Mina Estrella (fotografía 5).



**Fotografía 5.** Vía de acceso hacia la Mina Estrella, la cual se encuentra afectada por derrumbes recientes y procesos de erosión de laderas a manera de cárcavas. Coordenadas UTM WGS84: 244622E; 9093120N.

Finalmente, en temporada de lluvias extraordinarias y/o intensas, se podrían generar nuevos procesos de derrumbes y erosión de laderas (surcos y cárcavas) que aportarían material hacia la quebrada Uchuragra, canalizándose como flujos de detritos y que podrían afectar la zona urbana del distrito de Huaylillas, ubicada en la parte baja de la quebrada Uchuragra. También se identificó un deslizamiento antiguo en la margen derecha de la quebrada Uchuragra, el cual podría reactivarse en temporada de lluvias.

## 5. CONCLUSIONES

- a) De acuerdo con el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa publicado a escala 1: 250 000 (Medina et al., 2012), el área de evaluación se encuentra ubicado en zonas de susceptibilidad alta y muy alta a la ocurrencia de movimientos en masa como caída de rocas, deslizamientos y derrumbes, los cuales fueron identificados durante los trabajos de campo.
- b) En la zona de estudio se identificaron afloramientos de la Formación Chambará del Grupo Pucará, que corresponden a calizas gris masivas con coloraciones superficiales beige a marrón, las cuales se encuentran medianamente fracturadas a muy fracturadas y moderadamente meteorizadas, lo cual determina que presenten una calidad geotécnica regular a mala. También se identificaron depósitos coluviales, compuestos por bloques y cantos angulosos de tamaños variables, envueltos en una matriz arenarcillosa, de permeabilidad media a alta y que presentan nula o poca consolidación. Estos materiales son de fácil remoción por acción hídrica.
- c) Geomorfológicamente, la zona de estudio se encuentra sobre un relieve de montaña en roca sedimentaria que corresponde a geoformas conformadas por afloramientos de rocas sedimentarias tipo calizas, reducidos por procesos denudativos y que se encuentran conformando elevaciones alargadas y de muy fuerte pendiente (25° a 45°). La pendiente es un factor condicionante para la ocurrencia de movimientos en masa.
- d) Los peligros geológicos identificados en la zona evaluada corresponden a movimientos en masa de tipo caída (01 caída de rocas y 07 derrumbes), flujo (01 flujo de detritos) y deslizamiento (01 deslizamiento rotacional), así como los denominados otros peligros geológicos de tipo erosión de laderas (surcos y cárcavas).
- e) Los procesos identificados en la zona de estudio tienen como factores condicionantes: la pendiente muy fuerte del terreno (25° a 45°) que modelan montañas en roca sedimentaria; las características del substrato rocoso, el cual presenta una calidad geotécnica regular a mala; y las características de los depósitos inconsolidados que corresponden de depósitos coluviales, de permeabilidad media a alta que presentan nula o poca consolidación. Mientras que los factores desencadenantes son las precipitaciones pluviales y la sismicidad de la zona; finalmente los factores antrópicos corresponden a excavaciones y cortes en el pie de ladera o talud.
- f) Los derrumbes recientes y procesos de erosión de laderas (surcos y cárcavas), identificados en los alrededores de la zona de estudio, afectan 500 m aproximadamente, de la vía de acceso (camino afirmado) a la Mina Estrella.

- g) En la zona de influencia de la unidad minera se podrían generar nuevos procesos de caída de rocas y/o derrumbes que afectarían el sector Hualhua, canales de regadío, terrenos de cultivo, y la zona urbana del distrito de Huaylillas, ubicada hacia el suroeste de la zona evaluada. También se podrían generar nuevos procesos de derrumbes y erosión de laderas (surcos y cárcavas) que aportarían material hacia la quebrada Uchuragra, canalizándose como flujo de detritos que podrían afectar la zona urbana del distrito de Huaylillas.
  
- h) Dado que las condiciones actuales de inestabilidad continúan en el área de evaluación, determinadas por los factores condicionantes y desencadenantes, coadyuvados por la actividad antrópica, es que se considera a la zona con **ALTO PELIGRO**.

## 6. RECOMENDACIONES

- a) Señalización y colocación de carteles en las zonas con caída de rocas y derrumbes que comprometen las vías de acceso hacia la Mina Estrella, advirtiendo la posible ocurrencia de nuevos procesos de caída de rocas y/o derrumbes.
- b) Realizar el desquinche de bloques sueltos y/o inestables, en las laderas de los alrededores de la Mina Estrella, ya que pueden caer ladera abajo y generar daños, estabilizar los bloques caídos. Se requieren realizar trabajos especializados y dirigidos por un profesional entendido en la materia.
- c) Ejecutar estudios geomecánicos detallados y especializados, que permitan evaluar las características de resistencia y calidad de los afloramientos rocosos de la Formación Chambará, que afloran en los alrededores de la Mina Estrella.
- d) Realizar el mantenimiento y limpieza del cauce de la quebrada Uchuragra y otras quebradas sin nombres, ante eventos de lluvia, con la finalidad de minimizar la cantidad de material que pueda incluirse a los flujos, reduciendo así la intensidad de los mismos.
- e) Canalizar la parte baja de la quebrada Uchuragra, específicamente en la zona urbana del distrito de Huaylillas, con la finalidad de evitar daños a la población y viviendas durante la ocurrencia de flujos de detritos.
- f) Realizar el monitoreo visual del deslizamiento identificado en la margen derecha de la quebrada Uchuragra, con la finalidad de identificar alguna reactivación, especialmente en temporada de lluvias.
- g) Como medidas de protección a mediano y largo plazo se recomienda la forestación de las laderas usando árboles nativos, con la finalidad de disminuir la erosión de las aguas de escorrentía sobre el terreno, las cuales pueden generar que continúe el avance retrogresivo de las erosiones de laderas.
- h) Considerar la implementación de las medidas de prevención y/o mitigación que se recomiendan en el Anexo 2.



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

Luque, G. (2010). Susceptibilidad a los movimientos en masa en las áreas de Buldibuyo-Tayabamba, La Libertad - Perú. XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú, Pub. Esp. N° 9, Cusco p. 1033-1036.

Medina, L., Luque, G. & Pari, W. (2012). Riesgo Geológico en la región La Libertad. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica*, 50, 233 p, 9 mapas.

Medina, L. & Luque, G. (2008). Informe técnico preliminar: Zonas Críticas en la Región La Libertad.

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.

Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos, 282 p.

Varnes, J. (1978). Slope movements types and processes. In: SCHUSTER, L. & KRIZEK, J. Ed, Landslides analysis and control. Washington D.C. National Academy Press Transportation Research Board Special Report 176, p.

Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras. 2. Ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.

Wilson, J.; Reyes, L. y Garayar, J. (1995). Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari". *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 60, 79 p.

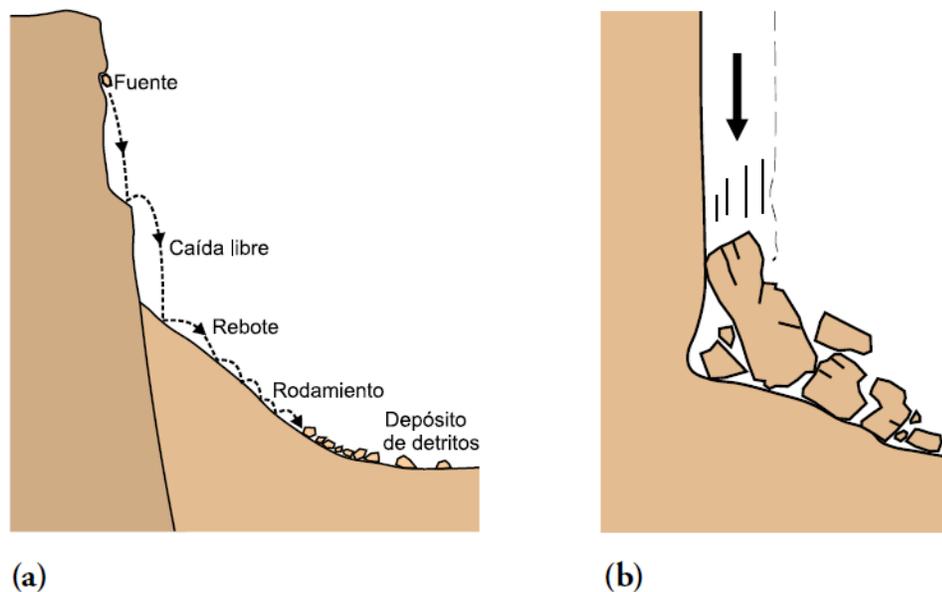
## ANEXO 1: GLOSARIO

### a) Caída

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a  $5 \times 10^1$  mm/s. El estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s.

Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento.

En Evans y Hungr (1993) se pueden consultar ejemplos de caída de roca fragmentada (Figura 1). Los acantilados de roca son usualmente la fuente de caídas de roca, sin embargo, también puede presentarse el desprendimiento de bloques de laderas en suelo de pendiente alta.

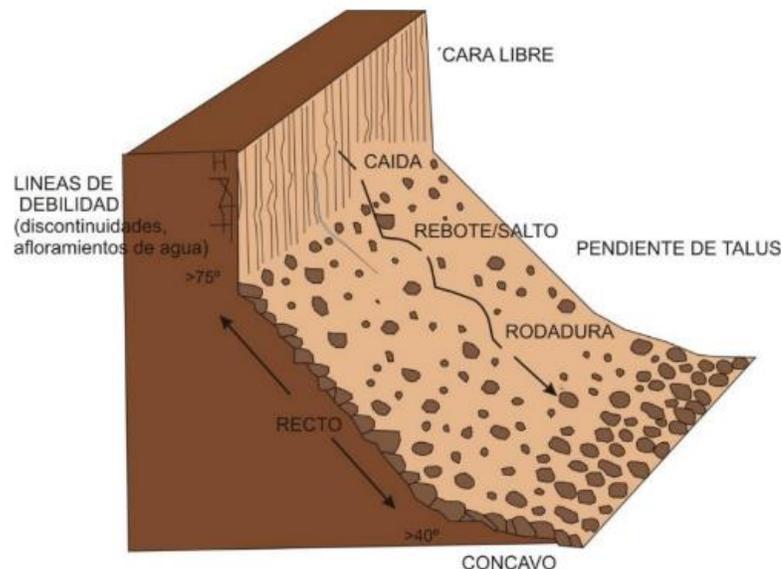


**Figura 1.** (a) Esquema de la caída de rocas; (b) Corominas y Yague (1997) denominan a este movimiento “colapso”.

## b) Derrumbe

Los derrumbes son caídas violentas de material que se puede dar tanto en macizos rocosos como en depósitos de cobertura, desarrollados por: heterogeneidad litológica, meteorización, fracturamiento, fuertes pendientes, humedad y/o precipitaciones, sismos y erosión generada en las márgenes.

Estos fenómenos suelen producirse en taludes verticales en suelos inconsolidados a medianamente consolidados, rocas muy fracturadas y en el corte de carreteras, canteras, acantilados marinos, taludes de terraza, etc., figura 2.



**Figura 2.** Esquema de un derrumbe (Vílchez, 2015).

## c) Cárcavas

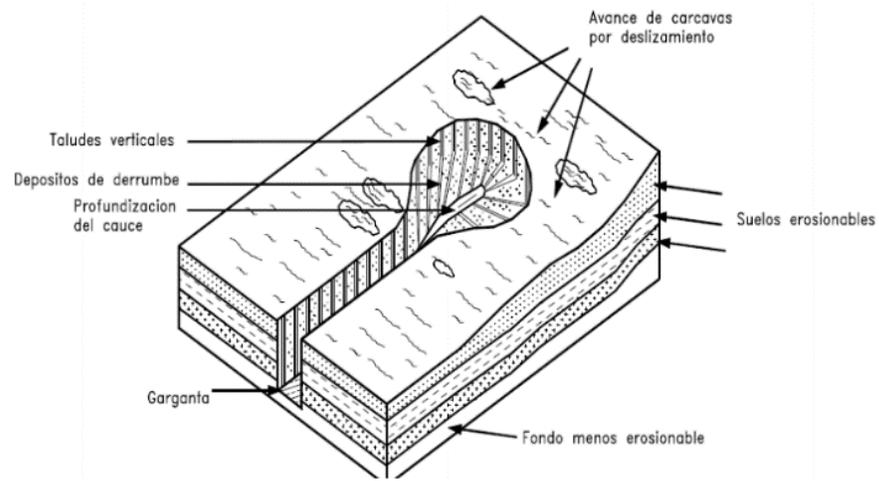
Según Poesen (1993) una cárcava es un canal resultante de la erosión causada por un flujo intermitente de agua durante o inmediatamente después de fuertes lluvias.

La FAO (1967) describe el crecimiento de las cárcavas como el resultado de la combinación de diferentes procesos, los cuales pueden actuar de manera aislada. Estos procesos comprenden:

- Erosión en el fondo o en los lados de la cárcava por la corriente de agua y materiales abrasivos (fragmentos de roca o partículas de suelo).
- Erosión por el agua de escorrentía que se precipita en la cabecera de la cárcava y que ocasiona la regresión progresiva de ésta.

- Derrumbes en ambos lados de la cárcava por erosión de las aguas de escorrentía.

Las cárcavas inicialmente tienen una sección transversal en forma de “V” pero al presentarse un material más resistente a la erosión o interceptar el nivel freático, se extienden lateralmente, tomando una forma en “U” (figura 3).



**Figura 3.** Esquema general de una cárcava. Tomado de Suárez (1998).

## ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN

Las medidas de prevención y/o mitigación generales que se recomiendan a las autoridades pueden ser utilizadas en forma independiente o combinada, según las características de cada talud. Dichas técnicas dependerán de un estudio geotécnico a detalle realizado por un especialista en geotecnia.

Las erosiones en cárcavas generan abundantes materiales sueltos que son llevados a los cauces de las quebradas. Muchos de estos cauces tienen suficiente material como para la generación de flujos.

Para el control físico del avance de cárcavas, se propone un conjunto de medidas, principalmente de orden artesanal, entre las que destacan:

- El desarrollo de programas de control y manejo de cárcavas sobre la base de diques o trinchos transversales construidos con materiales propios de la región como troncos, ramas, etc. (Figuras 1 a 4).
- Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo con las condiciones climáticas del distrito.
- Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ella (Figuras 1 y 5). De esta manera, se aseguraría su estabilidad, así como la disipación de la energía de las corrientes concentradas en los lechos de las cárcavas.
- Realizar trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización. En la selección de árboles, deben contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzarán frente a la pendiente y profundidad de los suelos. También se recomienda que las plantaciones se ubiquen al lado superior de las zanjas de infiltración, con el objetivo de captar el agua y controlar la erosión.
- Evitar el sobrepastoreo, ya que deteriora y destruye la cobertura vegetal. Se debe realizar un manejo de las zonas de pastos mediante el repoblamiento de pastos nativos, empleando sistemas de pastoreo rotativo y sostenible. Asimismo, se debe evitar la quema de pajonales.
- Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo con las condiciones climáticas de las cuencas.

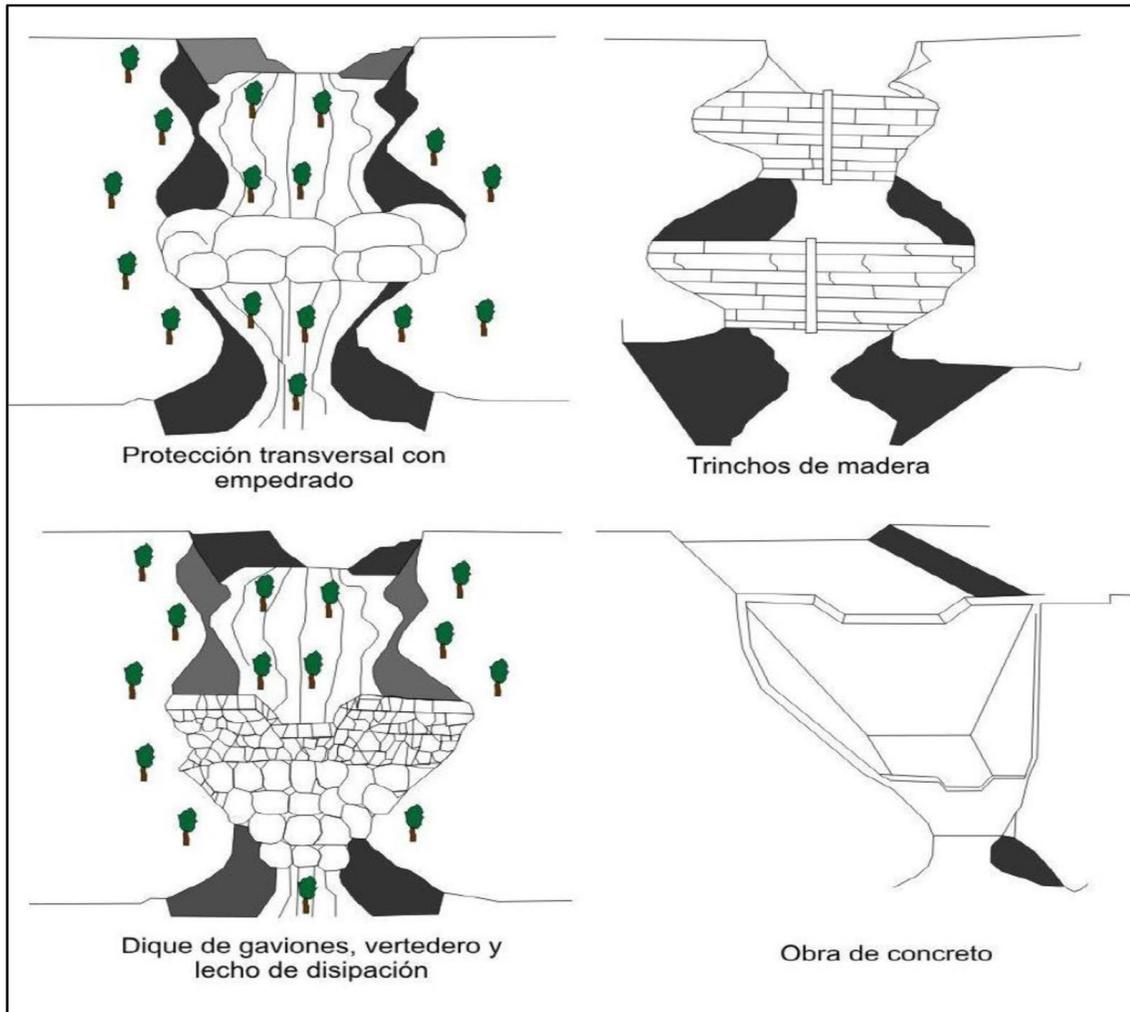


Figura 1. Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas.

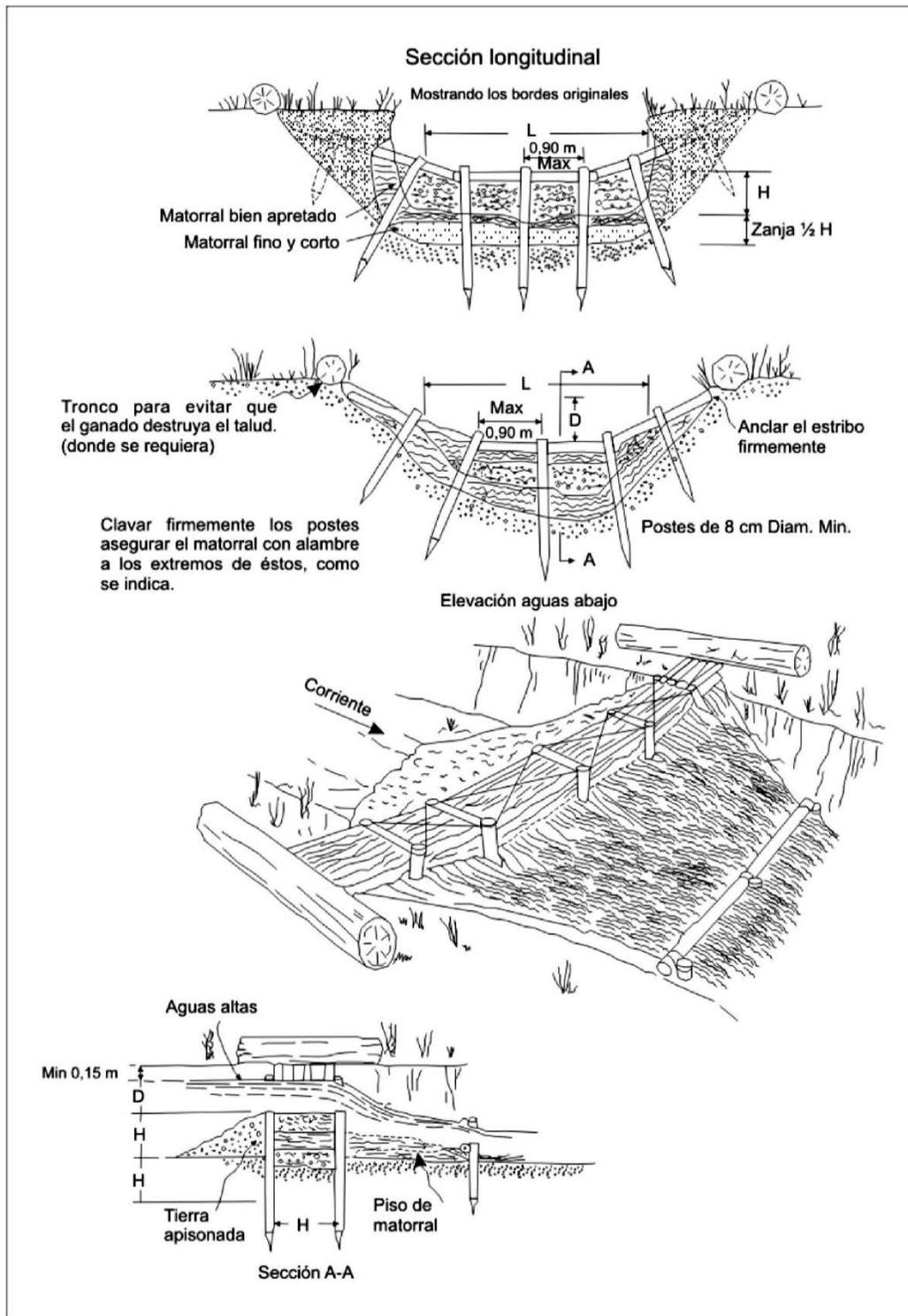


Figura 2. Trincho de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama et ál., 1964).

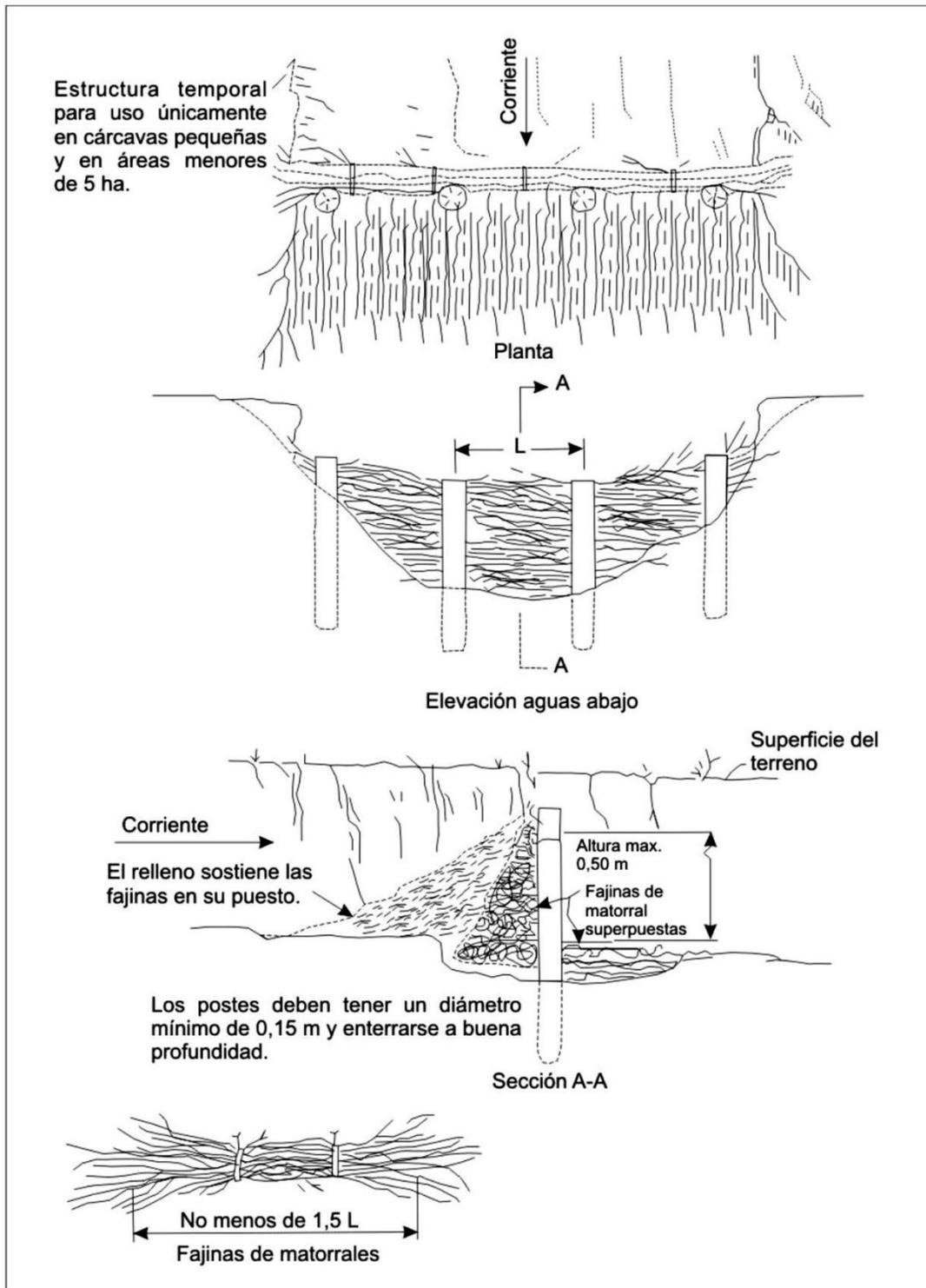


Figura 3. Trincho de matorral tipo una hilera de postes (adaptado de Valderrama et ál., 1964).

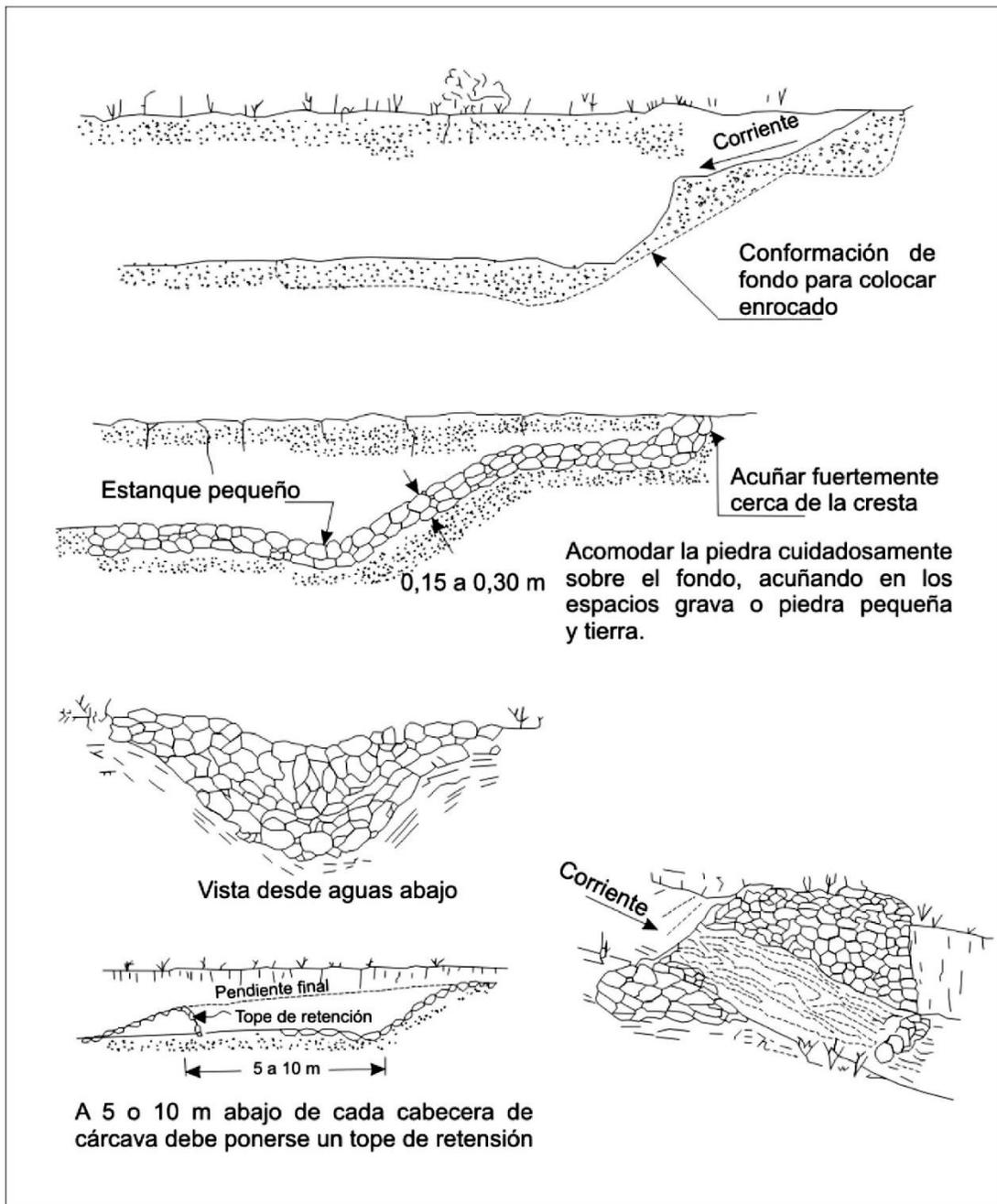


Figura 4. Trincho de piedra para cabecera de cárcava en zona de mina (adaptado de Valderrama et al., 1964).

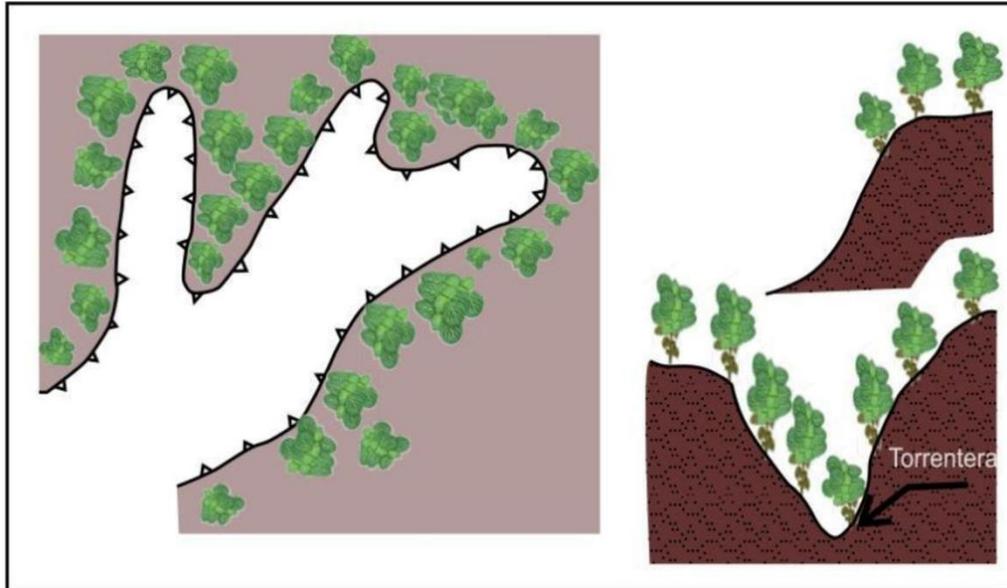


Figura 5. Vista en planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.

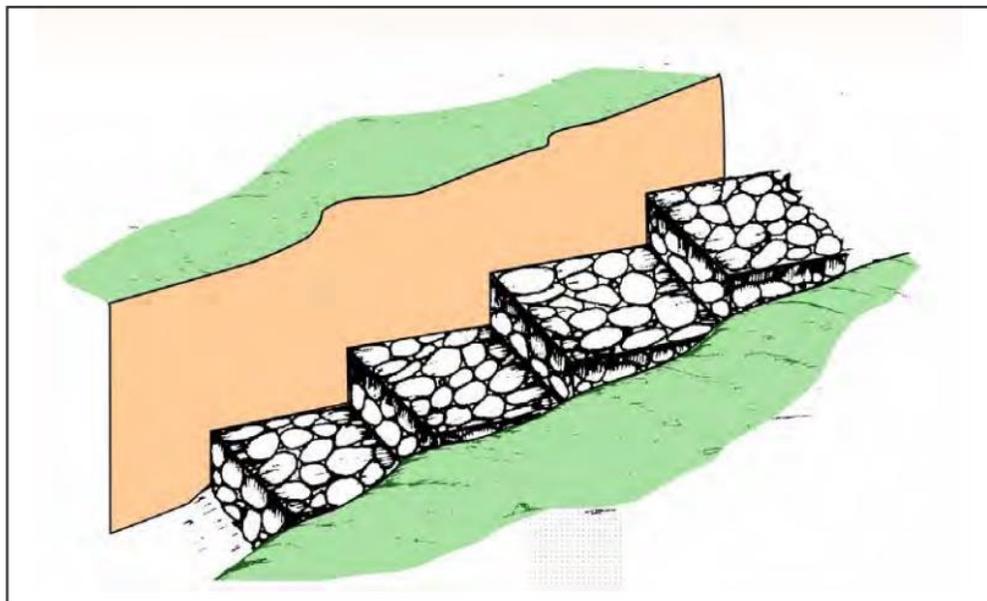


Figura 6. Protección del lecho de la quebrada con muros escalonados (andenes), utilizando bloques de roca o concreto armado.