

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7141**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR CURCUCHACA

Región Cusco  
Provincia La Convención  
Distrito Vilcabamba



## **EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR CURCUCHACA**

*(Distrito de Vilcabamba, provincia de La Convención, región Cusco)*

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

*Equipo de investigación:*

*Guisela Choquenaira Garate*

*David Prudencio Mendoza*

### **Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos por deslizamiento en el sector Curcuchaca. Distrito de Vilcabamba, provincia de La Convención, región Cusco. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7141, 30 p..

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>1.1. Objetivos del estudio</b> .....	5
<b>1.2. Antecedentes y trabajos anteriores</b> .....	5
<b>1.3. Aspectos generales</b> .....	7
1.3.1. Ubicación .....	7
1.3.2. Accesibilidad .....	8
1.3.3. Clima .....	8
1.3.4. Tectónica .....	8
<b>2. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	9
<b>2.1. Unidades litoestratigráficas</b> .....	9
2.1.1. Grupo Mitu (PET-m) .....	9
2.1.2. Depósito de deslizamiento (Q-dd) .....	10
2.1.3. Depósito coluvial (Q-co) .....	11
<b>3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b> .....	11
<b>3.1. Pendientes del terreno</b> .....	11
<b>3.2. Unidades geomorfológicas</b> .....	12
3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional .....	12
3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional .....	13
<b>4. PELIGROS GEOLÓGICOS</b> .....	14
<b>4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa</b> .....	14
<b>4.2. Deslizamientos de Curcuchaca</b> .....	15
4.2.1. Características visuales del evento 1 .....	17
<b>4.3. Erosión de ladera</b> .....	18
<b>4.4. Factores condicionantes</b> .....	19
<b>4.5. Factores desencadenantes</b> .....	19
<b>4.6. Otros factores antrópicos</b> .....	19
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	20
<b>6. RECOMENDACIONES</b> .....	21
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	22
<b>ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN</b> .....	25

## RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por deslizamiento, realizado en el sector Curcuchaca, pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Vilcabamba, provincia de La Convención, región Cusco. 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, regional y nacional).

El deslizamiento de Curcuchaca se desarrolló sobre rocas de origen volcano-sedimentario del Grupo Mitu, conformado por areniscas, conglomerados, brechas, lavas y tobas de ceniza, los cuales se encuentran muy fracturados y moderada a altamente meteorizados.

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

Se considera que los principales factores condicionantes que originaron la reactivación del deslizamiento en el sector Curcuchaca son:

- a) Substrato rocoso muy fracturado (debido a la presencia de fallas geológicas activas), ello permite mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno.
- b) Suelos inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales y coluviales), de fácil erosión - remoción ante precipitaciones pluviales intensas.
- c) Ladera con pendiente escarpada (55°), 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.

Los procesos por movimientos en masa identificado en el sector Curcuchaca corresponden a deslizamientos y derrumbes, eventos antiguos que han sufrido reactivaciones. En marzo del 2020, el deslizamiento se reactivó. El nuevo deslizamiento tiene un escarpe de forma discontinuo-elongado y una longitud de 180 m. La distancia entre el escape y pie del deslizamiento es de 360 m. El material desplazado afectó el tramo carretero Pucyura – Curcuchaca en 150 m y represó temporalmente el cauce del río Vilcabamba, su desembalse se dio de forma natural, sin generar daño alguno a terrenos de cultivo, infraestructuras y poblaciones asentadas aguas abajo.

Se concluye que el área de estudio es considerada de **Peligro Alto** a la ocurrencia de deslizamientos que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas o por actividad sísmica (reactivación de falla geológica).

Finalmente, se recomienda construir una zanja de coronación por encima de la corona del deslizamiento de Curcuchaca, con el propósito de captar las aguas de escorrentía que se formen en la ladera superior, derivándolas hacia quebradas próximas por medio de canales revestidos y evitando así que entren a la zona del deslizamiento.

## 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 Vilcabamba, según Oficio N° 050-2019-JPCL-A-MDV, en el marco de nuestras competencias se realiza una evaluación de los eventos de tipo deslizamientos en el sector Curcuchaca, ocurridos el 2020, que afectó vías de acceso.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los geólogos Guisela Choquenaira Garate y David Prudencio, para realizar la evaluación de peligros geológicos, el 18 de noviembre de 2020.

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.

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

### 1.1. Objetivos del estudio

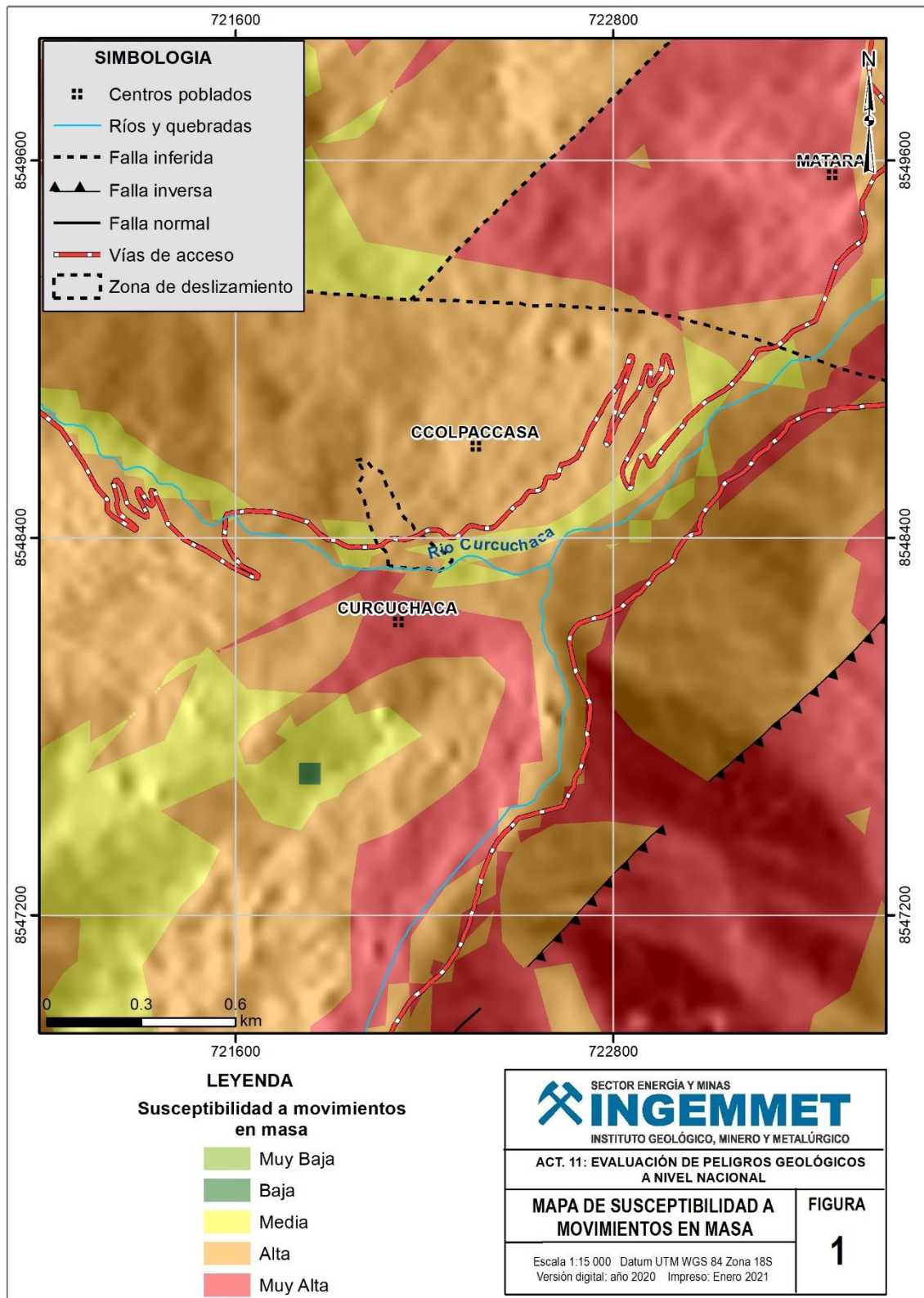
El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que afecten el sector Curcuchaca.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

### 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel regional en el sector Curcuchaca, se tienen:

- A) Boletín N° 74, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligro geológico en la región Cusco” (Vílchez et al., 2020); el estudio realiza un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa (escala 1: 100 000), donde el sector Curcuchaca presenta alta a muy alta susceptibilidad (figura 1). Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.



**Figura 1.** Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa del sector Curcuchaca. Fuente: Vílchez et al., 2020.

- B) Estudio de Riesgos Geológicos del Perú, Franja N° 3 (Ingemmet, 2003) menciona que, en los alrededores de la zona de estudio se han identificado peligros geológicos de tipo deslizamientos y derrumbes antiguos.

c) En la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Machupicchu (27-q) (Carlotto et al., 1999); describe la geología a escala 1: 100 000, información relacionada a los cambios más resaltantes sobre estratigrafía. Además, señala de manera regional las unidades geomorfológicas donde se ubica el sector Curcuchaca.

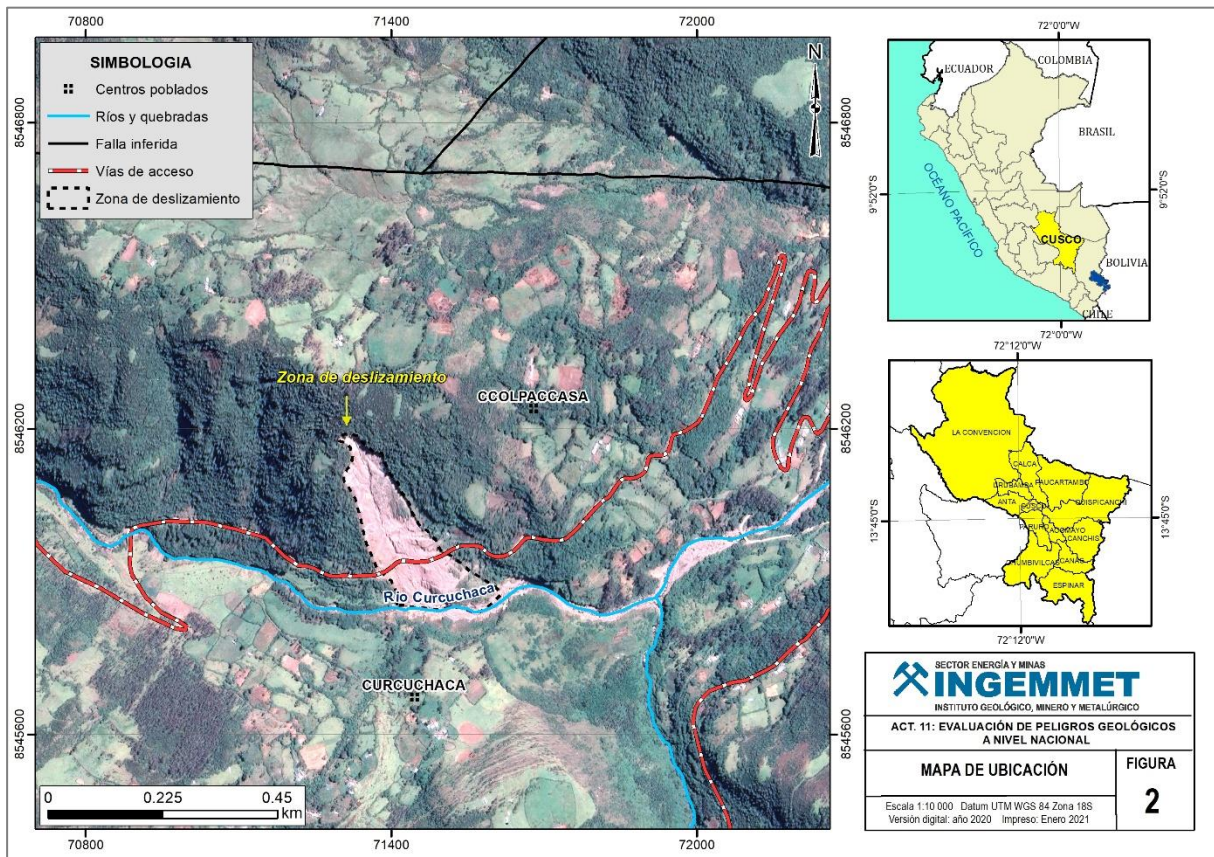
### 1.3. Aspectos generales

#### 1.3.1. Ubicación

El deslizamiento del sector Curcuchaca se ubica en la margen izquierda del río Vilcabamba, a 3.5 km al suroeste de Pucyura. Políticamente pertenece al distrito de Vilcabamba, provincia de La Convención, región Cusco (figura 2), en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 s) siguientes (cuadro 1):

**Cuadro 1.** Coordenadas del sector Curcuchaca

N°	UTM - WGS84 - Zona 19L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	721448	8548951	-13.11	-72.95
2	722372	8548904	-13.11	-72.94
3	722780	8548385	-13.12	-72.94
4	721374	8548365	-13.12	-72.95
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</b>				
C	722056	8548536	-13.12	-72.95



**Figura 2.** Mapa de ubicación del sector Curcuchaca, distrito de Vilcabamba, provincia de La Convención, región Cusco.

### 1.3.2. Accesibilidad

El acceso al sector Curcuchaca, desde la ciudad del Cusco (INGEMMET-OD Cusco), se realizó mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

**Cuadro 2.** Rutas y accesos al sector Curcuchaca

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Cusco - Quillabamba	Carretera asfaltada	203	4 h 30 minutos
Quillabamba - Vilcabamba	Trocha carrozable	68.4	1 h 40 minutos
Vilcabamba - Curcuchaca	Trocha carrozable	3.1	7 minutos

### 1.3.3. Clima

De acuerdo a la clasificación climática por el método de Thornthwaite, la zona evaluada presenta un clima lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones; además es semicálido y muy húmedo. Las precipitaciones pluviales para periodos lluviosos normales pueden superar los 1 000 mm; y la temperatura fluctúa entre los 15 °C a 30 °C. Según la clasificación climática de Koppen y Geiger, el distrito de Vilcabamba se clasifica como Cfb (templado y lluvioso), con temperatura media anual de 15.6 °C y precipitación promedio de 1622 mm.

### 1.3.4. Tectónica

Una de las evidencias de actividad tectónica con ruptura superficial se ubica al sur del poblado de Vilcabamba, donde se puede observar un trazo de falla de 10 kilómetros que afecta desde rocas de basamento y de cobertura cuaternaria, incluyendo depósitos fluvio-glaciares y morrenas (figura 3).



**Figura 3.** Escarpe de falla ubicado al sur del poblado de Vilcabamba, donde es posible observar que afecta depósitos aluviales y fluvio-glaciares (segmento este) (Benavente et al., 2013).



## 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico se desarrolló en base a la carta geológica de Machupicchu – hoja 27q (Carlotto, 1999) a escala 1/100 000, donde se tienen rocas volcano sedimentarias del Paleozoico y depósitos Cuaternarios. Además, 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 la zona evaluada y alrededores son de origen metamórfico (Formación San José - Oim-sj), sedimentario (Grupo Copacabana – Pec-c) y volcano sedimentario correspondiente al Grupo Mitu (PET-m), este último se encuentra muy fracturado y moderada a altamente meteorizados. Además, se tienen depósitos coluvio - deluviales que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad (figura 4).

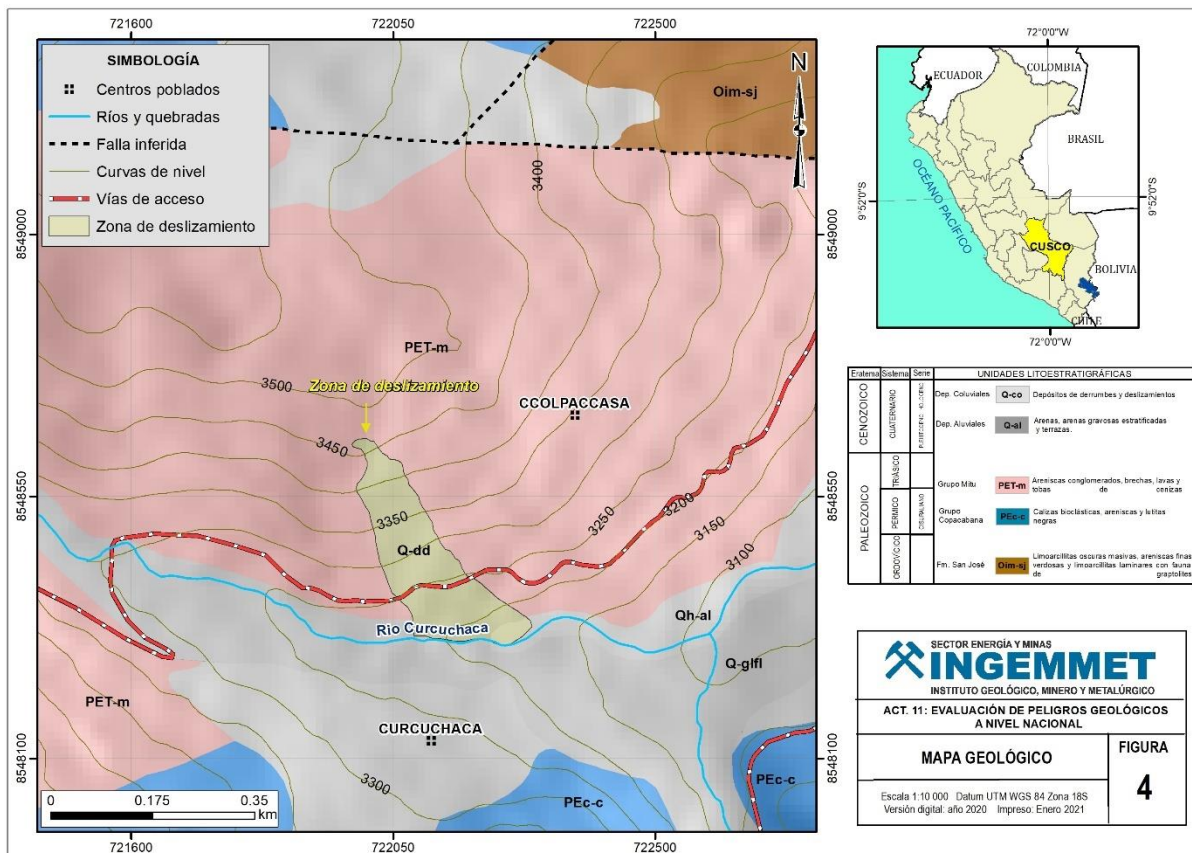


Figura 4. Mapa geológico del sector Curcuchaca. Modificado de Carlotto, 2011.

#### 2.1.1. Grupo Mitu (PET-m)

Esta unidad aflora ampliamente al noroeste de los sectores Curcuchaca, Pucyura y Lucma, está conformado por areniscas, conglomerados, brechas, lavas y tobas de ceniza (fotografía 1), los cuales se encuentran moderada a altamente meteorizados y muy fracturadas debido a la existencia de fallas geológicas, correspondiente al Sistema de fallas Ollantaytambo – Vilcabamba – Quimbiri.



**Fotografía 1.** Vista al noroeste del sector Curcuchaca, afloramiento rocoso moderadamente meteorizados y muy fracturadas debido a la existencia de una falla geológica, correspondiente al Sistema de fallas Ollantaytambo – Vilcabamba – Quimbiri, con coordenadas UTM (WGS 84): 722046 E, 8548381 N, a 3228 m s.n.m.

#### 2.1.2. Depósito de deslizamiento (Q-dd)

Son depósitos originados por procesos de movimientos en masa tipo deslizamientos, avalancha de rocas y/o movimiento complejo. El antiguo deslizamiento de Curcuchaca está conformado por arenas, gravas y bloques de formas angulosos, con diámetro de hasta 1 m, inmerso en matriz areno – arcilloso, poco a medianamente compactados y muy saturado (fotografía 2).



**Fotografía 2.** Depósito de deslizamiento, conformado por gravas y bloques de formas angulosas, inmersos en matriz areno - arcilloso.

### 2.1.3. Depósito coluvial (Q-co)

Se encuentran dispuestos de forma caótica al pie de laderas de los cerros circundantes al sector Curcuchaca por acción de la gravedad. Están compuestos por materiales inconsolidados de bloques de formas angulosas a subangulosas, con diámetros que varían de 0.5 a 1.5 m, inmersos en una escasa matriz areno – arcillosa.

## 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 5, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a información del modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución (USGS), donde se presentan con mayor predominio laderas con pendientes moderadamente inclinados ( $5^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ) a inclinados ( $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ), con un cambio abrupto a terrenos de pendiente muy fuerte ( $>45^{\circ}$ ).

El deslizamiento de Curcuchaca presenta una pendiente que varía de  $25^{\circ}$  a  $55^{\circ}$ , este último facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas.

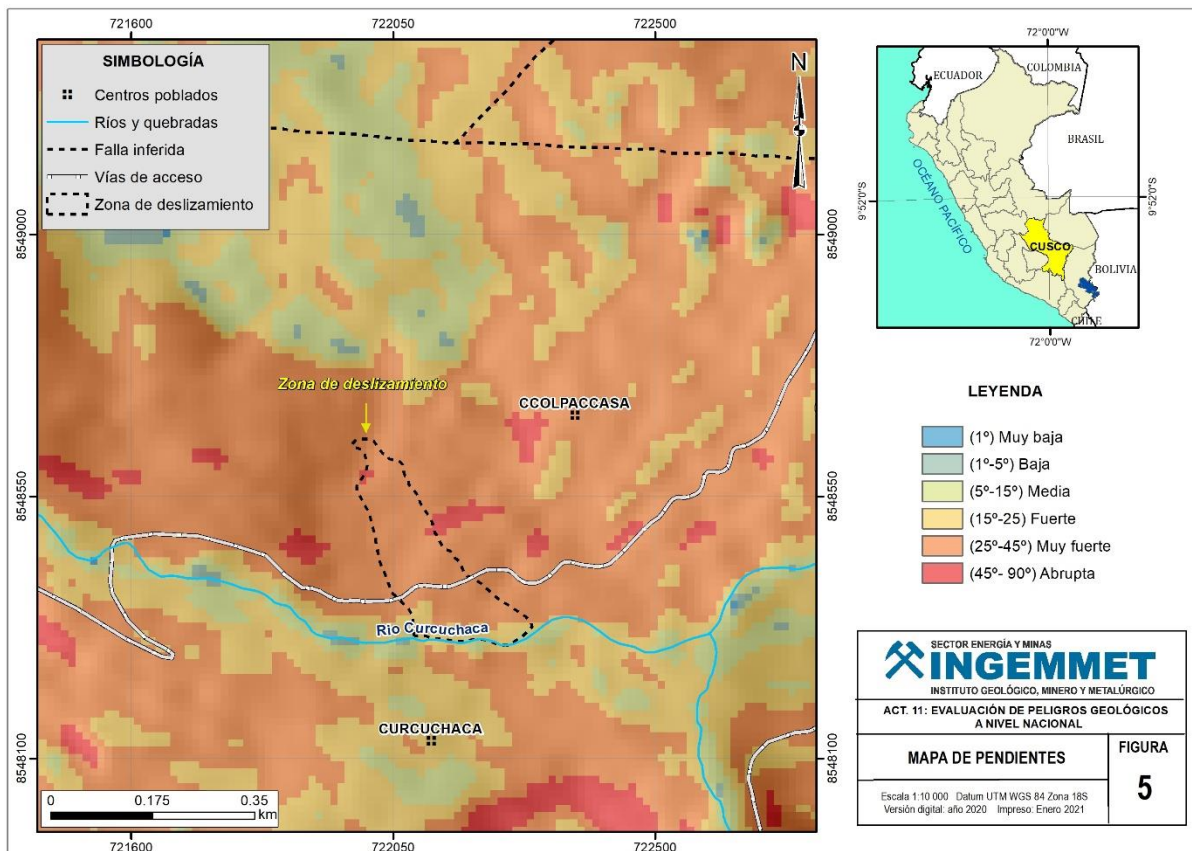


Figura 5. Mapa de pendientes del sector Curcuchaca. Elaboración propia.

### 3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (figura 6), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez et al., 2020).

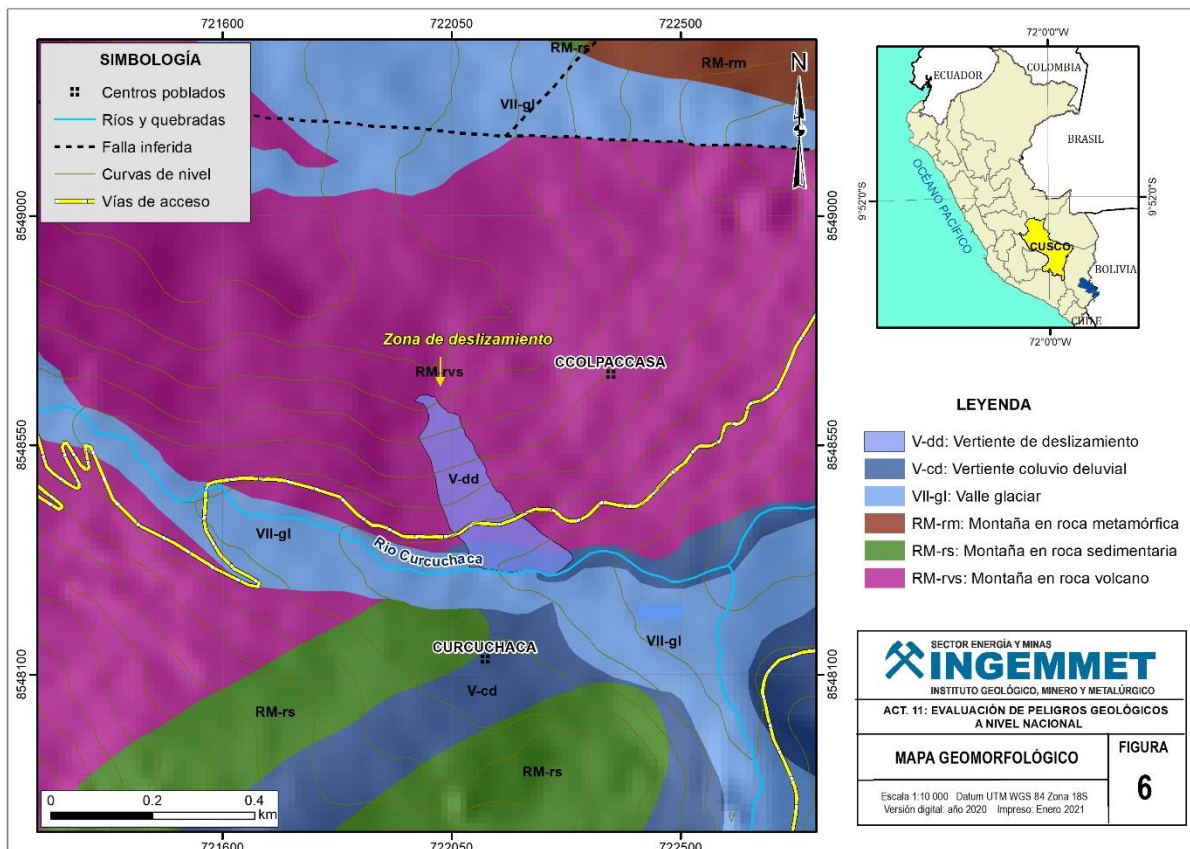


Figura 6. Mapa geomorfológico del sector Curcuchaca. Fuente: Vílchez et al., 2020.

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

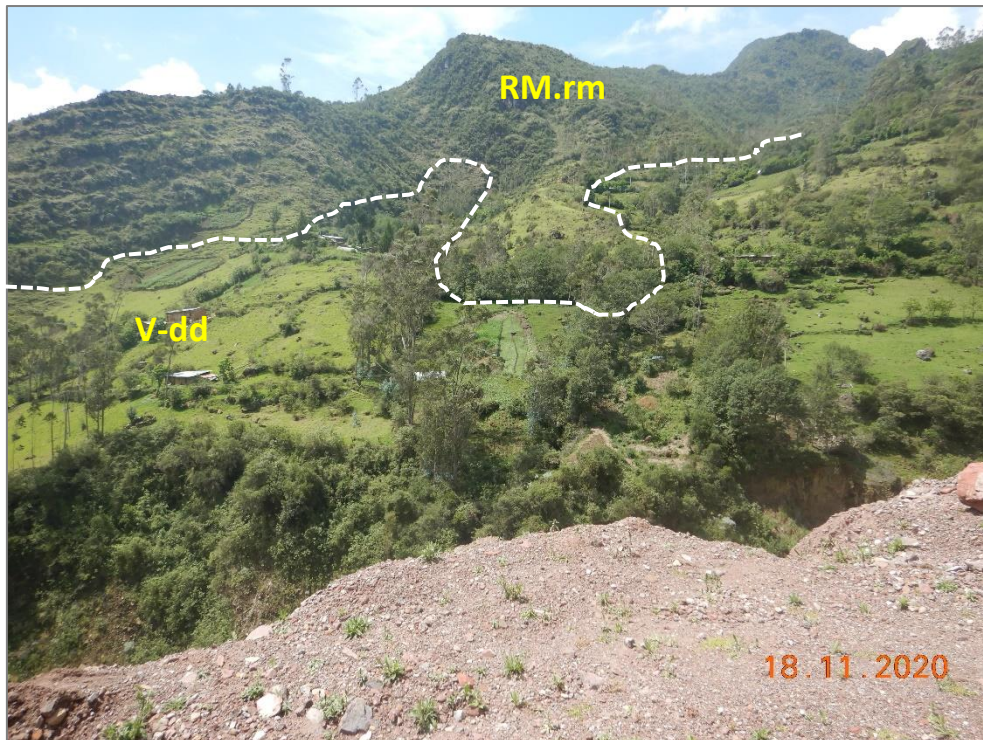
Están representadas por las formas de terreno resultados del efecto progresivo de procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas 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 diferenciándose las siguientes subunidades según el tipo de roca que las conforma y los procesos que han originado su forma actual.

**Subunidad de montañas en rocas volcano-sedimentarias (RM-rvs):** Representada por secuencias del Grupo Mitu, compuestas por areniscas, conglomerados, brechas, lavas y tobas de ceniza. Las montañas de este tipo cubren gran parte de la zona de estudio, cuyas laderas presentan pendientes moderadas a empinadas (25° a 55°), sus cimas son subredondeadas a

agudas. En la parte alta son disectados por una red de drenaje dendrítica, resaltando principalmente el río Curcuchaca (fotografía 3).



**Figura 7.** Vista al sur del deslizamiento de Curcuchaca, montañas modeladas en rocas volcano-sedimentarias (RM-rvs) y vertiente de deslizamiento (V-dd).

### 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 coluvio-deluvial (V-cd)

Son depósitos inconsolidados, localizados al pie de las laderas, resultantes de la acumulación de material caído desde las partes altas, por acción de la gravedad y removidos por agua de escorrentía superficial.

Los depósitos de vertientes coluvio - deluviales más representativos, se encuentran en las laderas que circunscriben el sector Curcuchaca.

#### 3.2.2.2. Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa, antiguos y recientes, que pueden ser del tipo deslizamientos, avalancha de rocas y/o movimientos complejos. Son de corto a mediano recorrido, relacionados a las laderas superiores adyacentes. Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada en relación a la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

La reactivación del deslizamiento de Curcuchaca se produjo sobre esta geoforma (fotografía 3).



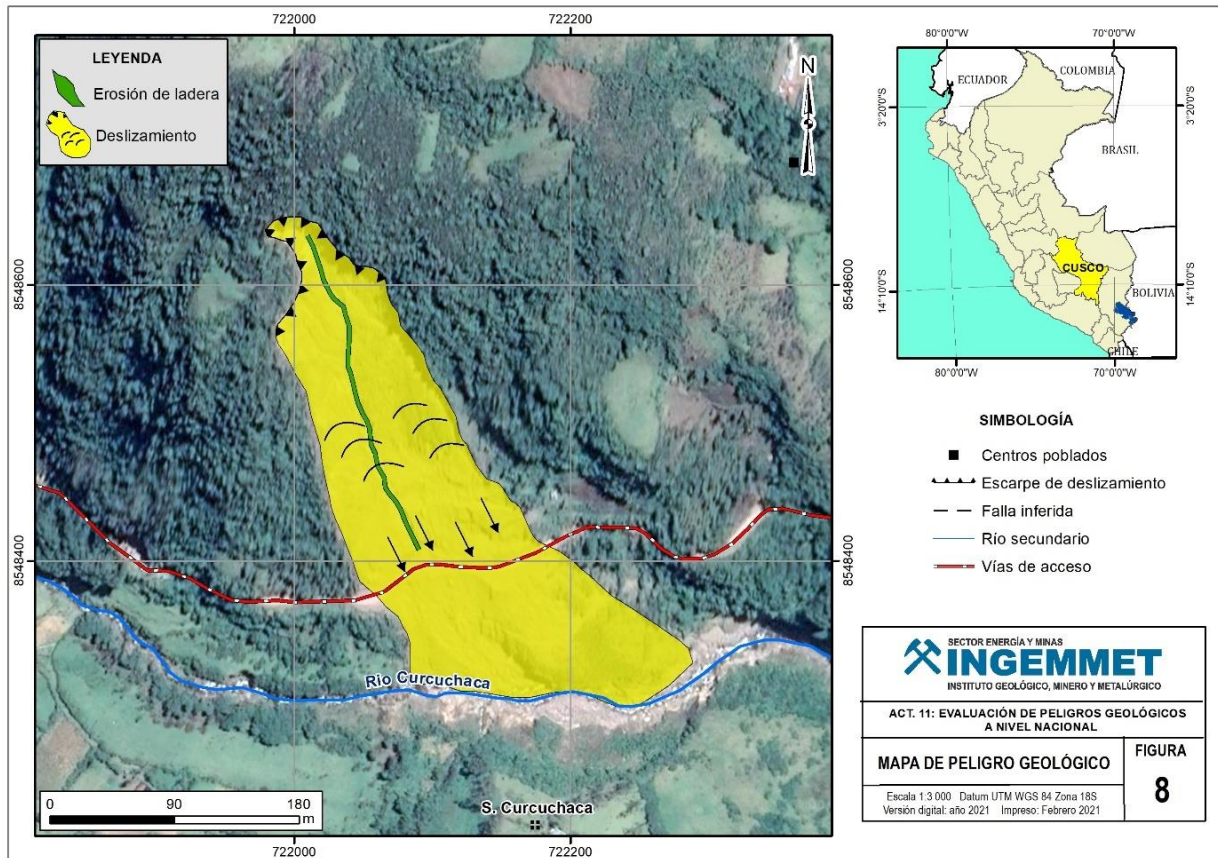
**Fotografía 3.** Vista de la reactivación del deslizamiento de Curcuchaca sobre la vertiente de deslizamiento (V-dd), con coordenadas UTM (WGS 84): 722095 E, 8548418 N a 3246 m s.n.m.

#### **4. PELIGROS GEOLÓGICOS**

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos y derrumbes (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.

##### **4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa**

El sector de Curcuchaca presenta una geodinámica muy activa, representada por derrumbes, deslizamientos antiguos reactivados y procesos de erosión de ladera en cárcavas. El deslizamiento de Curcuchaca es producto de la reactivación de un antiguo evento (figura 8).



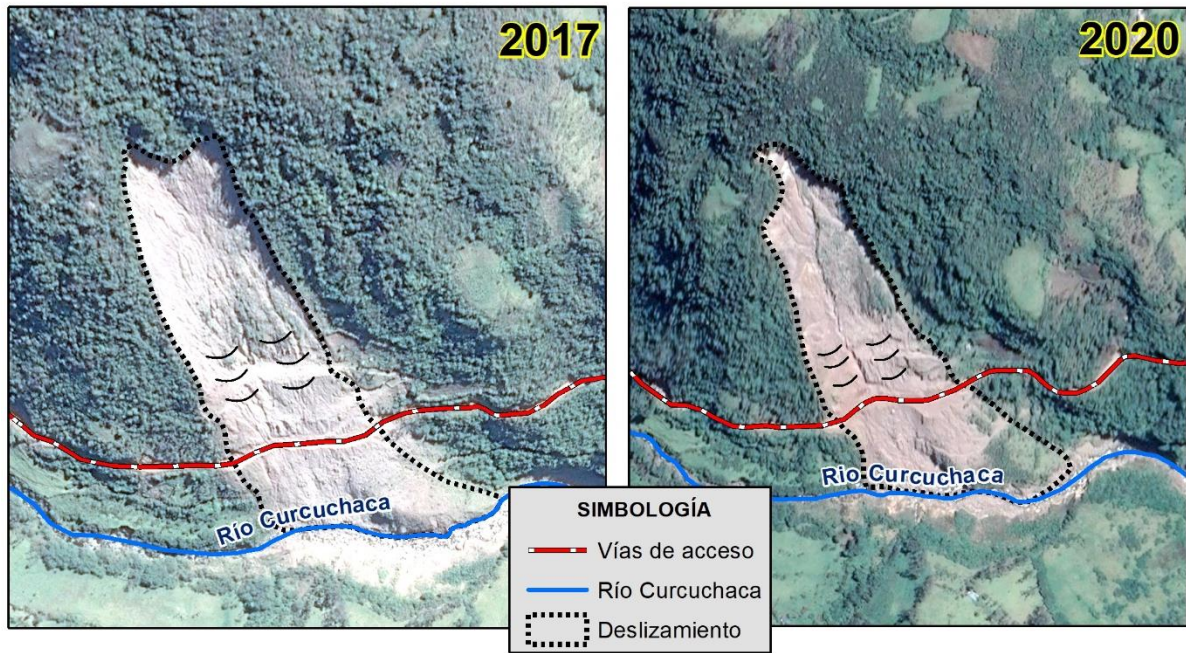
**Figura 8.** Cartografía de peligros geológicos en el sector Curcuchaca.

#### 4.2. Deslizamientos de Curcuchaca

Evento localizado en la margen izquierda del río Curcuchaca, a una distancia aproximada de 3.5 km de Pucyura. A través del análisis de imágenes satelitales (Google Earth) disponibles desde el año 2017, se observa el proceso evolutivo del deslizamiento de Curcuchaca (figura 9). En la imagen del 2017 se identificó un deslizamiento con escarpa de 100 m y 310 m longitudinales entre la escarpa y pie del deslizamiento. Este evento se desencadenó en el año 2015, producto de las lluvias intensas. Afectó 124 m en el km 2+500 (Pucyura-Curcuchaca).

En marzo del 2020, el deslizamiento de Curcuchaca se reactivó, presentando una escarpa de forma discontinuo-elongado, con longitud de 180 m, la distancia entre la escarpa y pie del deslizamiento es de 360 m. El material desplazado afectó la vía Pucyura – Curcuchaca en un tramo de 150 m (fotografía 4) y represó temporalmente el cauce del río Curcuchaca, su desembalse se dio de forma natural, sin generar daño alguno a terrenos de cultivo, infraestructuras y poblaciones asentadas aguas abajo.

La superficie de falla del deslizamiento de Curcuchaca se originó en rocas del Grupo Mitu, los flancos del deslizamiento se encuentran sobre rocas sedimentarias (conformado por lutitas moradas, areniscas de color rojo), fuertemente fracturadas y meteorizadas, debido a la existencia de fallas geológicas, correspondientes al sistema Ollantaytambo-Vilcabamba-Quimbiri.



**Figura 9.** Proceso evolutivo del deslizamiento de Curcuchaca, desencadenado el año 2015. En la imagen del 2017 se identificó un deslizamiento, que presentó escarpe con una longitud de 100 m y la distancia entre la escarpa y pie del deslizamiento fue de 310 m longitudinales. Para el año 2020, la escarpa presentó 180 m de longitud y la distancia entre la escarpa y pie del deslizamiento fue 360 m, ello muestra la actividad de avance retrogresivo del deslizamiento.



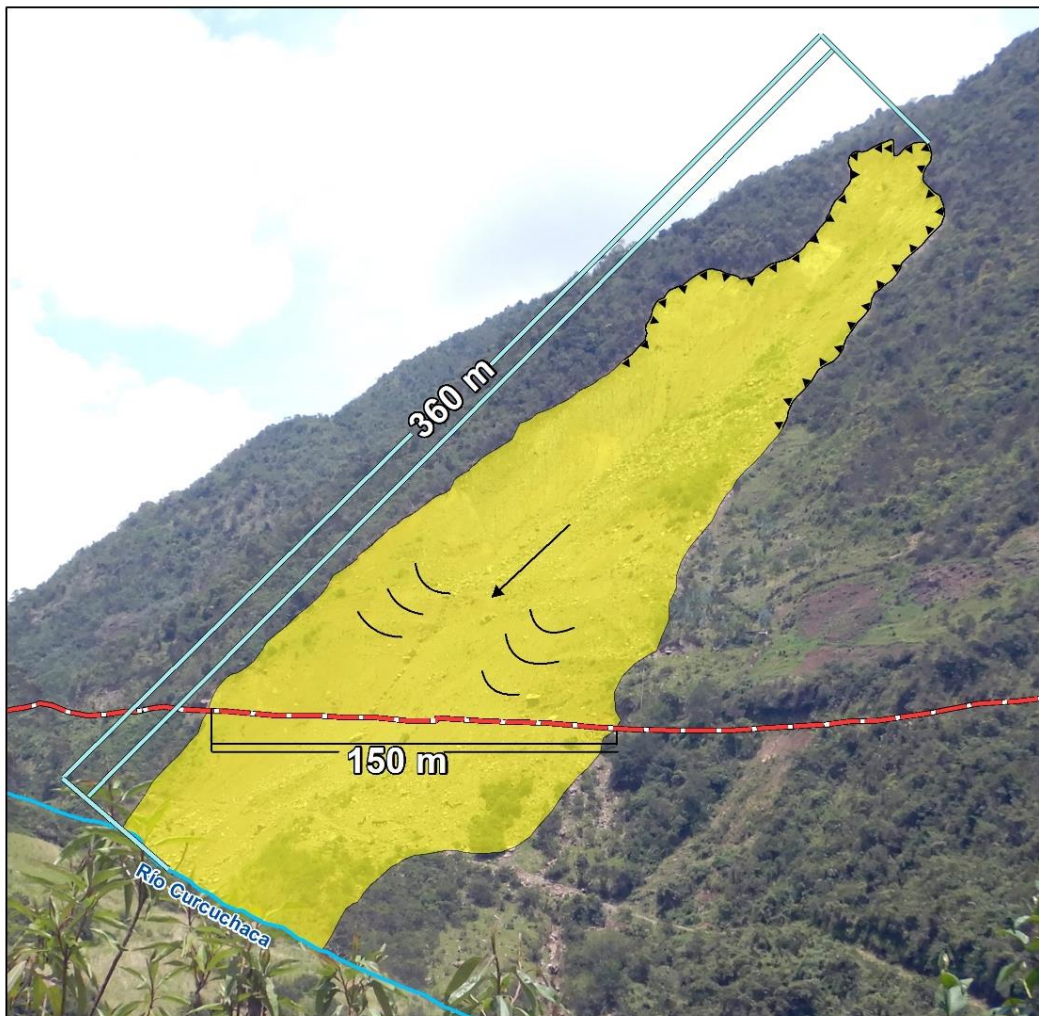
**Fotografía 4.** Tramo carretero Pucyura - Curcuchaca afectado por la reactivación del deslizamiento de Curcuchaca, con coordenadas (WGS 84): 817144 E, 8498265 N a 3611 m s.n.m.



#### 4.2.1. Características visuales del evento 1

Actualmente, el deslizamiento de Curcuchaca tiene las siguientes características y dimensiones (figura 10):

- Longitud promedio de la corona o cabecera del deslizamiento reactivado: 180 m
- Forma de la superficie de rotura: discontinuo - elongado
- Diferencia de altura aproximada de la corona a la base del deslizamiento: 360 m
- Área del deslizamiento: 41547.39 m<sup>2</sup>



**Figura 10.** Vista de la reactivación del deslizamiento de Curcuchaca, cuyo escarpe de forma discontinuo-elongado, presenta 180 m de longitud. Con coordenadas UTM (WGS 84): 722056 E, 8548536 N a 3330 m s.n.m.

Es importante mencionar que, el deslizamiento presenta actividad retrogresiva, muestra de ello es la variación de 40 m entre las escarpas de los años 2017 y 2020. Además, en el cuerpo del deslizamiento se observó material suelto disponible, de fácil erosión - remoción, el cual podría ceder cuesta abajo y represar nuevamente el cauce del río Curcuchaca.

El año 2017, al pie del deslizamiento se realizó medidas estructurales tipo banquetas, el cual contuvo parte del material desplazado por la reactivación del deslizamiento. Debido a la

reactivación del deslizamiento, entre la zona media y flanco izquierdo del deslizamiento las banquetas colapsaron.

### 4.3. Erosión de ladera

En el cuerpo del deslizamiento se identificó procesos de erosión de ladera en cárcava, estas presentan un ancho hasta de 3 m y profundidad de 0.6 m, en el canal se observó bloques sueltos con diámetro de hasta 0.5 m, transportados por el flujo efímero de agua. Además, la escorrentía superficial erosionó las paredes de las banquetas ubicadas entre la cárcava y el flanco derecho del deslizamiento, cuyos surcos presentan un ancho de 0.10 m en promedio. Actualmente, por los surcos viene cayendo clastos con diámetro de hasta 0.5 m a 0.8 m, que afectan el camino carrozable (fotografía 5).



**Fotografía 5.** Cárcava, con un ancho de 3 m y una profundidad de 0.6 m, en dicho canal se observó bloques de hasta 0.5 m de diámetro. Hacia la derecha de la cárcava la escorrentía superficial erosionó las paredes de las banquetas, cuyos surcos presentan un ancho de 0.10 m en promedio. Coordenadas UTM (WGS 84): 722087 E, 8548421 N a 3242 m s.n.m.

#### **4.4. Factores condicionantes**

##### **Factor litológico-estructural**

- Alternancia de rocas de diferente competencia, el cual permite mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno, originando inestabilidad en el talud.
- Substrato rocoso moderadamente meteorizado y muy fracturado por la cercanía a falla geológica activa del sistema Ollantaytambo-Vilcabamba-Quimbiri.
- Suelos inconsolidados (depósitos coluvio - deluviales), de fácil erosión - remoción ante lluvias intensas.

##### **Factor geomorfológico**

- La morfología del sector Curcuchaca presenta laderas de montañas con pendientes medias (25°) a escarpadas (55°), este último 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 - hidrogeológico**

- Acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas y montañas que circunscriben el sector Curcuchaca.
- Presencia de agua subterránea, los cuales saturan el terreno. La circulación del agua está ligado a las características estructurales del macizo rocoso (fallas y fracturas) y a los depósitos superficiales que los cubren.

#### **4.5. Factores desencadenantes**

- En la zona de estudio, en temporada lluviosa se reactivan deslizamientos y derrumbes
- Actividad sísmica (reactivación de la falla geológica).

#### **4.6. Otros factores antrópicos**

- El corte de talud realizado para la construcción del camino carrozable Pucyura – Curcuchaca, generó inestabilidad en la ladera, ello contribuyó en la reactivación del deslizamiento.

## 5. CONCLUSIONES

1. En marzo del 2020, el deslizamiento de Curcuchaca se reactivó, presentando un escarpe de forma discontinuo-elongado, con longitud de 180 m. La distancia entre el escape y pie del deslizamiento es de 360 m.
2. La superficie de ruptura del deslizamiento se produjo en rocas fuertemente fracturadas y moderadamente meteorizadas del Grupo Mitu (conformado por lutitas moradas, areniscas de color rojo). Por la zona atraviesa fallas geológicas, correspondientes al sistema de fallas Ollantaytambo-Vilcabamba-Quimbiri.
3. El material desplazado afectó el tramo carretero Pucyura – Curcuchaca en 150 m y represó temporalmente el cauce del río Curcuchaca, su desembalse fue en forma natural, no generó daños en las poblaciones asentadas aguas abajo.
4. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta el deslizamiento de Curcuchaca, es considerado como zona de **Peligro Alto** a deslizamientos.
5. Los peligros por movimientos en masa están condicionados por los siguientes factores:
  - Alternancia de rocas de diferente competencia, el cual permite mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno, originando inestabilidad en el talud.
  - Substrato rocoso moderadamente meteorizado y muy fracturado debido a la presencia de la falla geológica del sistema Ollantaytambo-Vilcabamba-Quimbiri.
  - Suelos inconsolidados (depósitos coluviales y coluvio-deluviales), son de fácil remoción ante precipitaciones pluviales intensas.
  - La morfología del sector Curcuchaca, cuyas laderas presentan pendientes medias (25°) a escarpadas (55°), este último permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad.
  - Acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas que circunscriben el sector Curcuchaca.
  - Presencia de agua subterránea, los cuales saturan el terreno. La circulación del agua está ligado a las características estructurales del macizo rocoso (fallas y fracturas) y a los depósitos superficiales que los cubren.

Los factores desencadenantes para la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes son las lluvias intensas, que se registran entre los meses de noviembre a marzo y/o actividad sísmica (reactivación de falla geológica).

## 6. RECOMENDACIONES

1. Construir una zanja de coronación por encima de la corona del deslizamiento antiguo de Curcuchaca, con el propósito de captar las aguas de escorrentía que se formen en la ladera superior del deslizamiento, derivándolas hacia quebradas próximas por medio de canales revestidos y evitando así que entren a la zona del deslizamiento.
2. Debido al uso de la vía como arteria principal de interconexión con el distrito de Vilcabamba y otros pueblos aledaños, se debe instrumentar el deslizamiento, para poder determinar la deformación y desplazamientos en el terreno. La utilidad de la instrumentación es determinar la tasa de movimiento en el deslizamiento, con fines preventivos.
3. Para controlar la erosión fluvial lateral que pueda producirse en el pie del deslizamiento se debe implementar muros de gaviones, este deberá tener una longitud mayor a la zona deslizada.
4. Realizar terraceo en el deslizamiento de Curcuchaca, esta medida retiene caída de fragmentos de roca y colocar en ellos zanjas de drenaje que evacuará las aguas de escorrentía, disminuyendo su efecto erosivo y el aumento de las presiones intersticiales.
5. Realizar trabajos de sensibilización con los pobladores de la zona en temas de peligros geológicos y gestión del riesgo de desastres, con el fin de que estén preparados y sepan cómo actuar ante la ocurrencia de nuevos eventos que pueden afectar su seguridad física.



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

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Benavente, C.; Delgado, F.; Taibe, E.; Audin, L & Pari, W. (2013) - Neotectónica y peligro sísmico en la región Cusco. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 55, 261 p.
- Carlotto, V., Cárdenas, J. y Carlier, G. (2011) - Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s - 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 138, 258p., 6 mapas.
- 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, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- González, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C., eds. (2002) - Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación, 732 p.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2003) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 3. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 28, 373 p.
- Köppen, W. (2010). Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf (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.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2020) – SENAMHI. (consulta: 03 de enero 2020). <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>.
- Shruthi, R. B. V., Kerle, N., & Jetten, V. G. (2011) - Object - based gully feature extraction using high spatial resolution imagery. Geomorphology, 134(3-4), 260-268. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.07.003.
- Suárez, J. (1998) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Universidad Industrial de Santander, 548 p.
- Vílchez, M. & Sosa, N. (2015) – Zonas críticas por peligros geológicos en la región Cusco. Informe técnico geología ambiental. INGEMMET, 100 p.
- Vílchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Peña, F. (2020) - Peligro geológico en la región Cusco. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 74, 155 p.
- 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

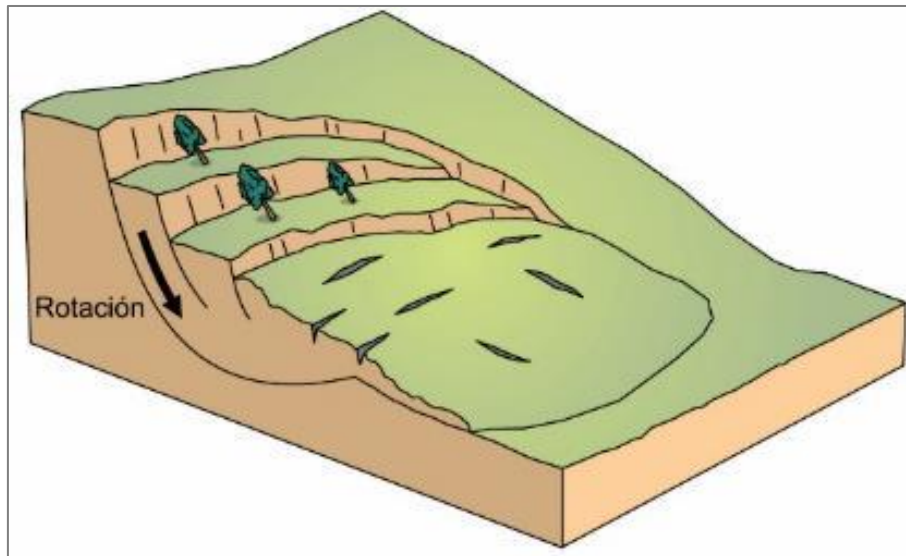
En el presente Glosario se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino - Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA:

**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.

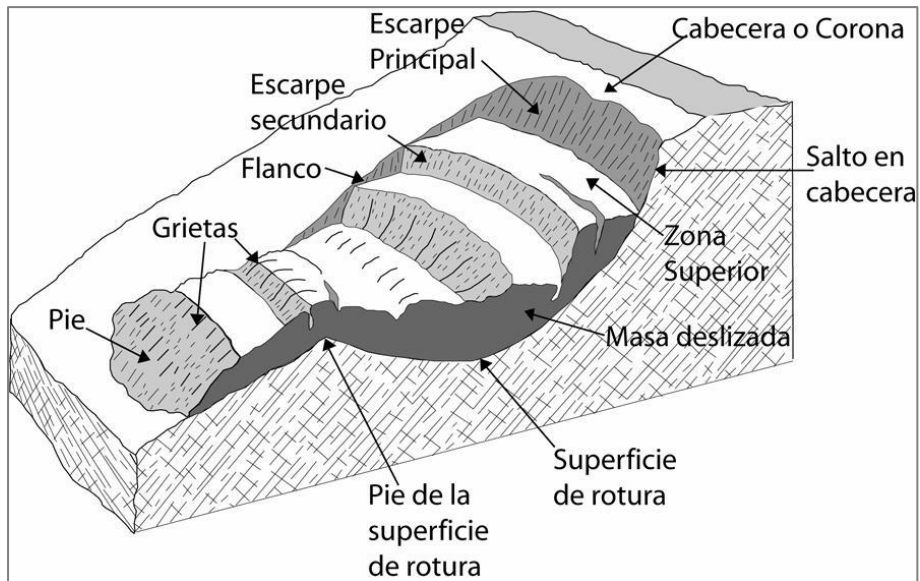
**CORONA** (crown) Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

**DESLIZAMIENTO** (slide) Son movimientos de masas de roca, residuos o tierra (figuras 11 y 12), 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).



**Figura 11.** Esquema de un deslizamiento rotacional (tomado del Proyecto Multinacional Andino, 2007)



**Figura 12.** Partes de un deslizamiento rotacional. Fuente: 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.

**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).



## ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

### A. CORRECCIÓN POR DRENAJE

Unas de las técnicas más efectivas para la estabilización de laderas y taludes es el control de las aguas superficiales y subterráneas (cuadro 3). Su objetivo es controlar el agua y sus efectos, disminuyendo las fuerzas que producen el movimiento y/o aumentando las fuerzas resistentes. El drenaje y el subdrenaje generalmente son poco costosos y muy efectivos como medidas de prevención de los movimientos.

**Cuadro 3.** Métodos de drenaje y subdrenaje

Método	Ventajas	Desventajas
<b>Canales superficiales para el control de escorrentía</b>	Se recomienda construirlos como obra complementaria en la mayoría de los casos. Generalmente, las zanjas se construyen arriba de la corona del talud	Se deben construir estructuras para la entrega de las aguas y la disipación de energía.
<b>Subdrenes de zanja</b>	Muy efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos, en suelos saturados sub superficialmente.	Poco efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos o los deslizamientos con nivel freático profundo
<b>Subdrenes horizontales de penetración</b>	Muy efectivos para interceptar y controlar las aguas subterráneas relativamente profundas.	Se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto.
<b>Galerías o túneles de subdrenaje</b>	Efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos en las formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas.	Muy costosos y complejos de construir
<b>Pozos profundos de subdrenaje</b>	Útiles en los deslizamientos profundos con aguas subterráneas. Efectivos para las excavaciones no permanentes.	Su uso es limitado debido a la necesidad de operación y mantenimiento permanente.

Fuente: Suárez, 1996.

Los sistemas más comunes para el control del agua son: •

- Zanjas de coronación o canales colectores drenaje superficial).
- Subdrenes de zanja o subdrenes interceptores. •
- Subdrenes horizontales o de penetración

**Drenaje superficial:** El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro, lejos del talud que se va a proteger.

## Tipos de obra de drenaje superficial

- a. **Canales para redireccionar el agua de escorrentía:** Se debe impedir que el agua de escorrentía se dirija hacia la zona inestable.
- b. **Zanjas de corona.** Las zanjas en la corona o en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias y evitar su paso por el talud. La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes; o en una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe.
- c. **Diques en la corona del talud.** Son diques en relleno, colocados arriba de la corona, con el objeto de desviar hacia los lados las aguas de escorrentía.
- d. **Drenes Franceses.** Son zanjas rellenas de material granular grueso que tienen por objetivo captar y conducir las aguas de escorrentía.
- e. **Trinchos o Cortacorrientes.** Consisten en diques a través del talud para desviar lateralmente, las aguas de escorrentía.
- f. **Torrenteras.** Son estructuras que recogen las aguas de los canales, diques o cortacorrientes y las conducen hacia abajo del talud. Generalmente, incluyen elementos para disipar la energía del flujo del agua.
- g. **Sellado de grietas con arcilla o mortero.** El objeto es impedir la infiltración de agua hacia el deslizamiento.
- h. **Canales colectores en Espina de Pescado.** Para disminuir la infiltración de agua en las áreas grandes arriba del talud, se construyen canales colectores en Espina de Pescado, los cuales conducen las aguas colectadas fuera de las áreas vulnerables del talud, entregándolas generalmente a los canales en gradería o torrenteras. Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la nuevamente la infiltración del agua

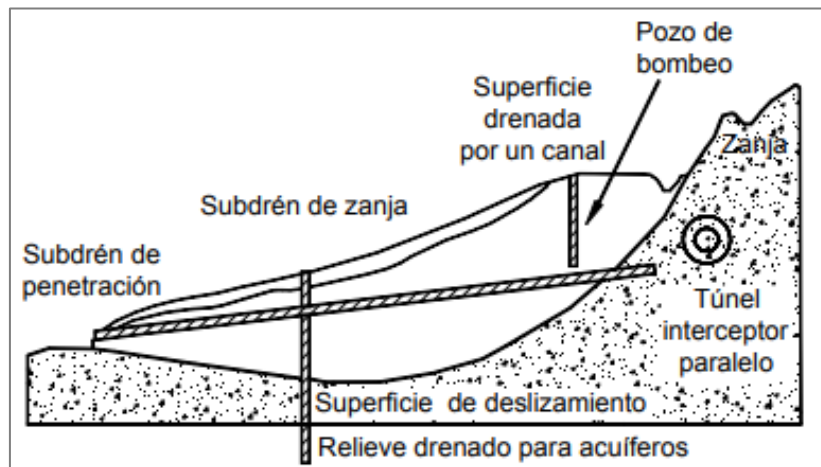
No se recomienda en problemas de taludes, la utilización de conducciones en tubería por la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, con lo cual se generan problemas de infiltración masiva concentrada.

**Subdrenaje:** Las técnicas de drenaje subterráneo o subdrenaje son uno de los métodos más efectivos para la estabilización de los deslizamientos. El drenaje subterráneo tiene por objeto disminuir las presiones de poros o impedir que éstas aumenten (figuras 13 y 14). A menor presión de poros la resistencia del suelo es mayor. El diseño de los sistemas de subdrenaje es complejo debido a que la mayoría de los taludes no son homogéneos desde el punto de vista del drenaje subterráneo y es muy difícil aplicar principios sencillos en el diseño de obras de subdrenaje. El movimiento de las aguas en los taludes por lo general, es irregular y complejo.

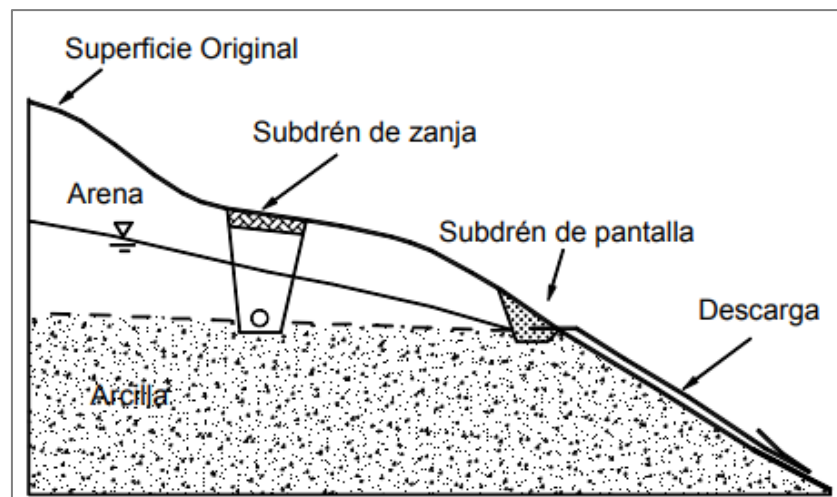
Elementos para tener en cuenta en el análisis de los sistemas de subdrenaje:

- Falta de continuidad de los mantos o sectores permeables.
- Cantidad de agua recolectada.
- Poco efecto del subdrenaje en el factor de seguridad.
- Poco efecto del subdrenaje cuando el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie de falla.
- Asentamientos en las áreas circunvecinas como efecto del subdrenaje.

- La rata de flujo para el diseño del sistema debe calcularse teniendo en cuenta la permeabilidad del suelo o la roca que se va a drenar.



**Figura 13.** Sistemas de subdrenaje (Suárez, 1998).

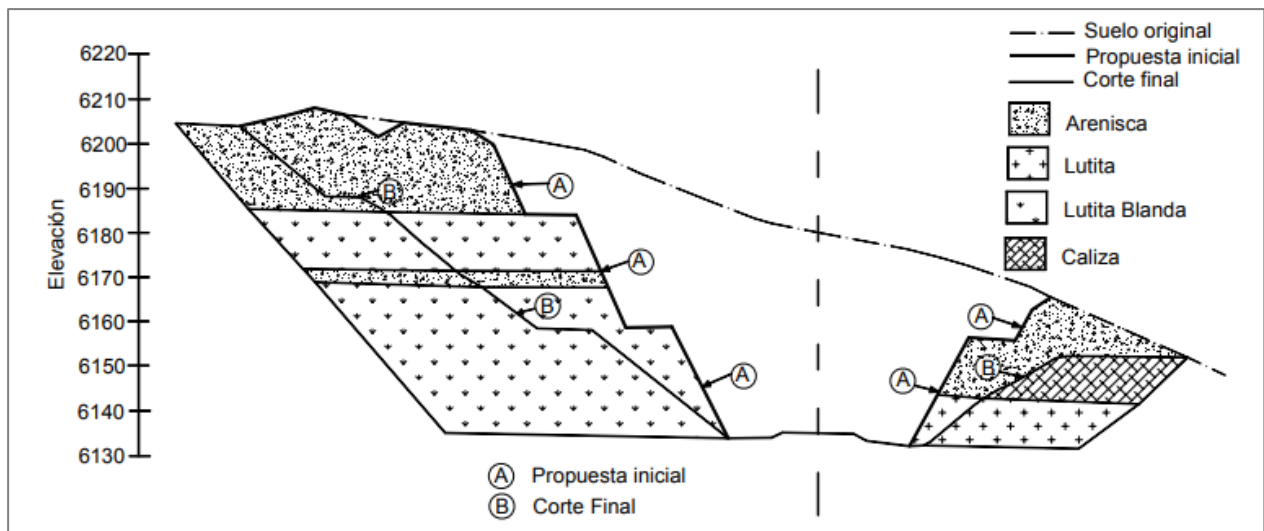


**Figura 14.** Esquema de un subdrenaje interceptor y un dren en el afloramiento (Suárez, 1998).

## B. CORRECCIÓN POR MODIFICACIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL TALUD

**Abatimiento de la pendiente.** La disminución de la pendiente de los taludes es uno de los métodos más utilizados para mejorar su estabilidad y en ocasiones es la primera opción a considerar. Al igual que con otros métodos, éste no es de uso universal y su efectividad puede variar de un sitio a otro. La disminución de la pendiente puede ser efectivo en deslizamientos rotacionales, pero generalmente tiene muy poco efecto o puede tener un efecto negativo en deslizamientos de traslación.

Al disminuir la pendiente del talud, se disminuyen las fuerzas actuantes y adicionalmente el círculo crítico de falla se hace más largo y más profundo aumentándose en esta forma el factor de seguridad. El abatimiento se puede lograr por corte o por relleno (figura 15). Al disminuir la pendiente del talud debe analizarse si al bajar la pendiente no se está facilitando la activación o reactivación de fallas profundas. En todos los casos es conveniente la realización de análisis de estabilidad para determinar los efectos reales de la disminución de la pendiente.



**Figura 15** Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos (Gonzáles, 2002).

Las acciones que pueden realizarse sobre la geometría de un talud para mejorar su estabilidad son las siguientes:

- Eliminar la masa inestable o potencialmente inestable. Esta es una solución drástica que se aplica en casos extremos, comprobando que la nueva configuración no es inestable.
- Eliminar el material de la parte superior (descabezamiento) de la masa potencialmente deslizante. En esta área el peso del material contribuye más al deslizamiento y presenta una menor resistencia, dado que la parte superior de la superficie de deslizamiento presenta una máxima inclinación. Por ello la eliminación de escasas cantidades de material produce aumentos importantes del factor de seguridad.

Una de las técnicas más utilizadas para la estabilización de taludes es la conformación o diseño de la morfología del talud (cuadro 4). Al modificar la forma de la superficie del talud, se puede lograr un equilibrio de masas, que reduzca las fuerzas que producen el movimiento y que aumente la longitud del círculo crítico de falla.

**Cuadro 4** Métodos de conformación topográfica del talud.

Método	Ventajas	Desventajas
<b>Remoción de materiales de la cabeza del talud</b>	Muy efectivo en la estabilización de los deslizamientos rotacionales.	En movimientos muy grandes, las masas que se van a remover tendrían una gran magnitud.
<b>Abatimiento de la pendiente</b>	Efectivo, especialmente en los suelos friccionantes.	No es viable económicamente, en los taludes de gran altura.
<b>Terraceo de la superficie</b>	Además de darle estabilidad al deslizamiento, permite construir obras para controlar la erosión.	Cada terraza debe ser estable independientemente.

<b>Colocación de bermas o contrapesos</b>	Contrarrestan el momento de las fuerzas actuantes y, además, actúan como estructura de contención.	Se requiere una cimentación con suficiente capacidad de soporte.
---	--	--

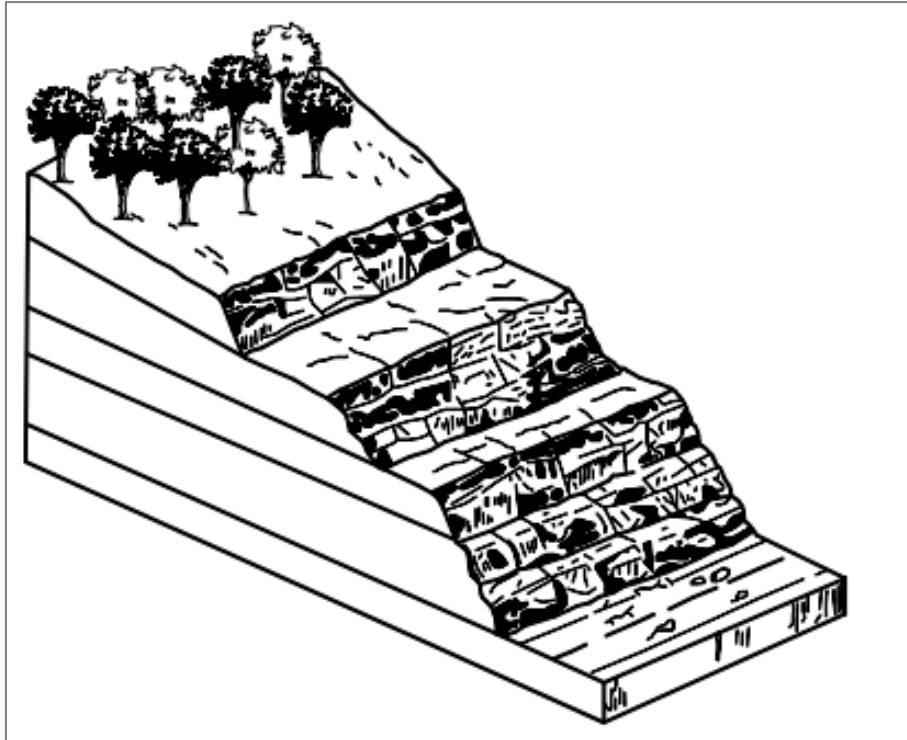
Fuente: Suarez, 1996.

**Terraceo del talud.** El terraceo se puede realizar con el propósito de controlar la erosión y facilitar el establecimiento de la vegetación, o para aumentar el factor de seguridad (figura 16).

La altura de las gradas es generalmente de 5 a 7 metros y cada grada debe tener una cuneta revestida para el control del agua superficial. El sistema de cunetas a su vez debe conducir a una estructura de recolección y entrega con sus respectivos elementos de disipación de energía. Las terrazas son muy útiles para control de aguas de escorrentía. Al construir las terrazas, el talud puede quedar dividido en varios taludes de comportamiento independiente, produciéndose taludes estables.

Para el diseño de bermas y pendientes se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- **Formación geológica.** A mayor competencia de la roca se permiten mayores pendientes y mayores alturas. Las areniscas, calizas y rocas ígneas duras y sanas, permiten taludes casi verticales y grandes alturas. Los esquistos y lutitas no permiten taludes verticales. Se deben colocar bermas anchas en los sitios de cambios bruscos de litología.
- **Meteorización.** Al aumentar la meteorización se requieren taludes más tendidos, menores alturas entre bermas y mayor ancho de las gradas. Los materiales muy meteorizados requieren de taludes inferiores a 1H: 1V, y en la mayoría de las formaciones geológicas no se permiten alturas entre bermas superiores a 7.0 metros y requieren anchos de berma de mínimo 4.0 metros.
- **Microestructura y estructura geológica.** A menos que las discontinuidades se encuentren bien cementadas, las pendientes de los taludes no deben tener ángulos superiores al buzamiento de las diaclasas o planos de estratificación (Figura 8.11). Entre menos espaciadas sean las discontinuidades se requieren pendientes menores de talud. Para materiales muy fracturados se requieren taludes, alturas y bermas similares a los que se recomiendan para materiales meteorizados.
- **Niveles freáticos y comportamiento hidrológico.** Los suelos saturados no permiten taludes superiores a 2H: 1V, a menos que tengan una cohesión alta.
- **Sismicidad.** En zonas de amenaza sísmica alta no se deben construir taludes semiverticales o de pendientes superiores a 1/2H:1V, a menos que se trate de rocas muy sanas.
- **Factores antrópicos.** En zonas urbanas no se recomienda construir taludes con pendientes superiores a 1H: 1V y las alturas entre bermas no deben ser superiores a 5.0 metros.
- **Elementos en riesgo.** Los taludes con riesgo de vidas humanas deben tener factores de seguridad muy altos.



**Figura 16** Terraceo en taludes en roca con estratificación subhorizontal (Suárez, 1998).