

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7110

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA COMUNIDAD DE CUYO GRANDE

Región Cusco
Provincia Calca
Distrito Pisac



EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA COMUNIDAD DE CUYO GRANDE

(Distrito de Pisac, provincia de Calca, región Cusco)

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

Equipo de investigación:

Guisela Choquenaira Garate

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2020). Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en la comunidad de Cuyo Grande. Distrito de Pisac, provincia de Calca, región Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7110, 33 p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivos del estudio	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	2
1.3. Aspectos generales	4
1.3.1. UBICACIÓN	4
1.3.2. ACCESIBILIDAD	5
1.3.3. CLIMA	5
1.3.4. TECTÓNICA	5
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	6
2.1. Unidades litoestratigráficas	6
2.1.1. FORMACIÓN ANANEA (SD-a)	8
2.1.2. GRUPO MITU (PET-m)	8
2.1.3. DEPÓSITO FLUVIO - GLACIAR (Q-flgl)	8
2.1.4. DEPÓSITO COLUVIAL (Q-co)	9
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	9
3.1. Pendientes del terreno	9
3.2. Unidades geomorfológicas	10
3.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL	12
3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL	13
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	13
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	14
4.2. Deslizamiento D-1	14
4.2.1. CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO 1	14
4.3. Derrumbes	18
4.4. Erosión de ladera	18
4.5. Factores condicionantes	19
4.6. Factores desencadenantes	19
4.7. Otros factores antrópicos	19
5. CONCLUSIONES	20
6. RECOMENDACIONES	21
7. BIBLIOGRAFÍA	22

ANEXO 1: GLOSARIO	23
ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	26

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizado en el sector Cuyo Grande, pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Pisac, provincia de Calca, 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).

Las unidades geológicas que afloran en la zona evaluada corresponden a rocas fuertemente fracturadas y meteorizadas de origen metamórfico y volcánico - sedimentario de la Formación Ananea (pizarras y esquistos pizarrosos) y el Grupo Mitu respectivamente (brechas, aglomerados y coladas de basaltos, riolitas e ignimbritas, intercaladas con rocas sedimentarias), así como depósitos coluviales conformados por bloques, gravas, inmersos en matriz arenosa - limosa, los cuales se encuentran distribuidos de forma caótica, con regular a pobre consolidación. Los movimientos en masa identificados en la zona, se desarrollaron principalmente en estos depósitos coluviales.

Las geoformas identificadas son de origen tectónico-degradacional (montañas en rocas metamórficas y volcánico - sedimentarias) y 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 originan la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa son los depósitos fácilmente erosionables y removidos, el sustrato rocoso muy fracturado y meteorizado, además de la pendiente del terreno, que va de fuerte (25°-45°) a muy fuerte (>45°).

Los procesos identificados en la comunidad de Cuyo Grande corresponden a los denominados movimientos en masa (deslizamientos y derrumbes), eventos antiguos que han sufrido reactivaciones; también se identificaron zonas con procesos de erosión de laderas (cárcavas) con desarrollo de ensanchamiento y profundización.

Se concluye que el área de estudio es considerada de **Alto** peligro a la ocurrencia de deslizamientos, que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas (noviembre a marzo) y por actividad sísmica.

Finalmente, se recomienda implementar sistemas de defensa ribereña, sistemas de drenaje, tipo zanjas de coronación y uso de un sistema de riego tecnificado por parte de los agricultores y sus organizaciones.

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 (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de Pisac, según Oficio N° 003-ODC-MDP-2020, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de los eventos de tipo deslizamientos, derrumbes y erosión de ladera en la comunidad de Cuyo Grande, ocurridos el día martes, 26 de enero de 2010, que afectó terrenos de cultivo.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a la geóloga Guisela Choquenaira Garate, para realizar la evaluación de peligros geológicos, el 15 de octubre 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 Saylla, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que afecten la comunidad de Cuyo Grande.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes para 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 la comunidad de Cuyo Grande, 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 la comunidad de Cuyo Grande presenta 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.

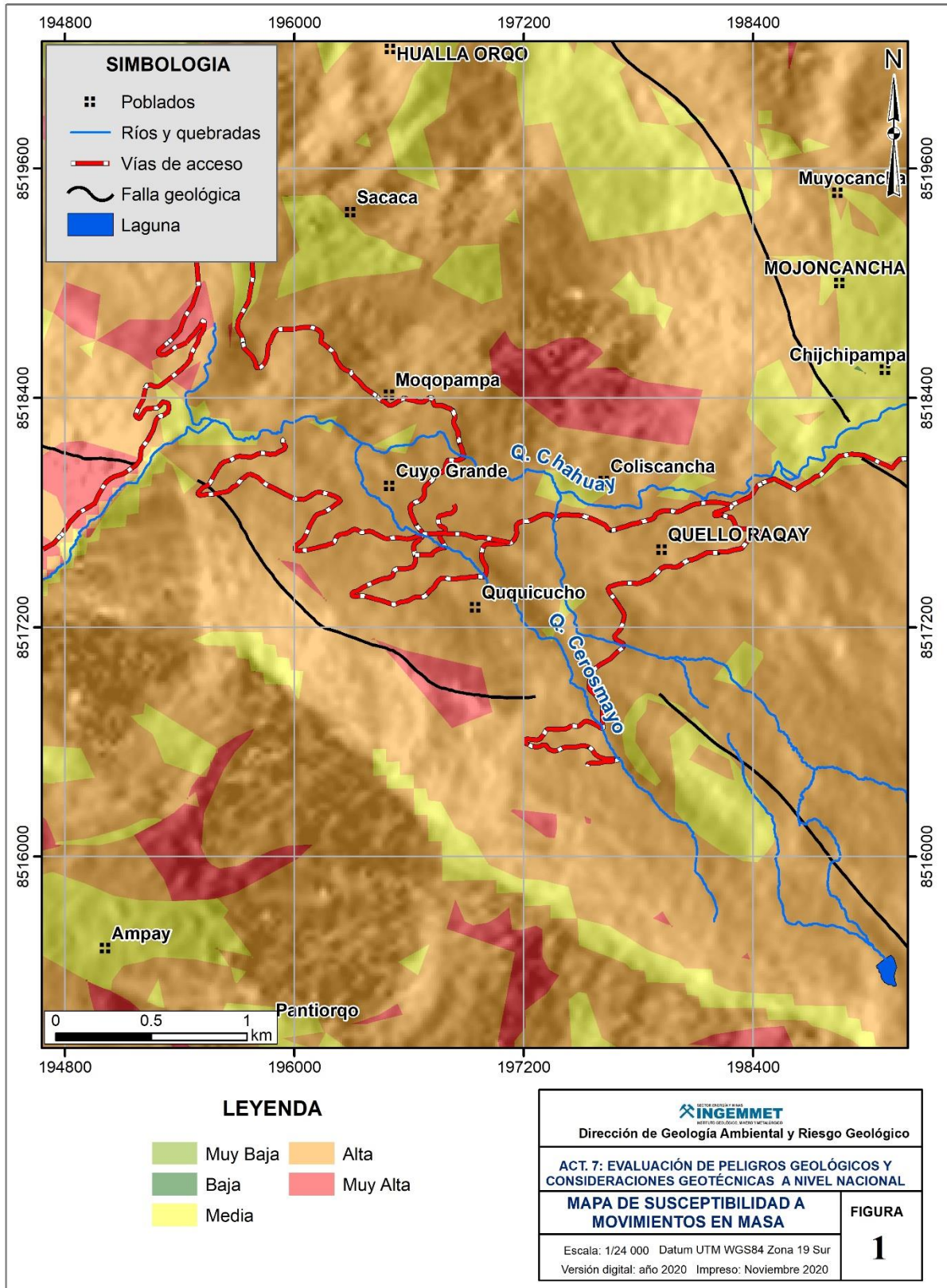


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de la comunidad de Cuyo Grande, distrito de Pisac, provincia de Calca, región Cusco. Fuente: Vilchez et al., 2020.

- 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, también otros peligros de tipo erosión de ladera.
- C) Zonas críticas por peligros geológicos en la región Cusco (Vílchez, M. & Sosa, N. 2015), determinaron 75 zonas críticas, dentro del cual resaltan áreas, que luego del análisis de los peligros identificados y la vulnerabilidad a la que están expuestos (infraestructuras, centros poblados y vías de acceso), se les considera como zonas con peligro potencial de generar desastres. Además, señala que, el deslizamiento - flujo de tierra en el sector Cuyo Chico localizado en la margen izquierda de la quebrada Chongo (quebrada Chaupihuayco), a 10.2 km al suroeste de la comunidad de Cuyo Grande, presenta una escarpa de 4 km de ancho. El evento es muy lento y progresivo, desvió hacia su margen izquierda el curso de la quebrada Chongo, y produjo el cierre parcial del cauce de la quebrada. Este sector presenta características geológicas similares a la comunidad de Cuyo Grande.
- D) En la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Calca (27-s3) (Carlotto et al., 1996); 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 la comunidad de Cuyo Grande.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. UBICACIÓN

La comunidad de Cuyo Grande se ubica en la margen izquierda de la quebrada Chahuay, a 48.7 km al noreste de la ciudad del Cusco. Políticamente pertenece al distrito de Pisac, provincia de Calca, región Cusco (figura 2), en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 19 s) siguientes (cuadro 1):

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio

N°	UTM - WGS84 - Zona 19L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	192533	8497406	- 13.57°	-71.84°
2	193140	8498228	-13.56°	-71.83°
3	193998	8497530	-13.57°	-71.82°
4	192615	8496711	-13.58°	-71.84°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	193200	8497400	-13.57°	-71.83°

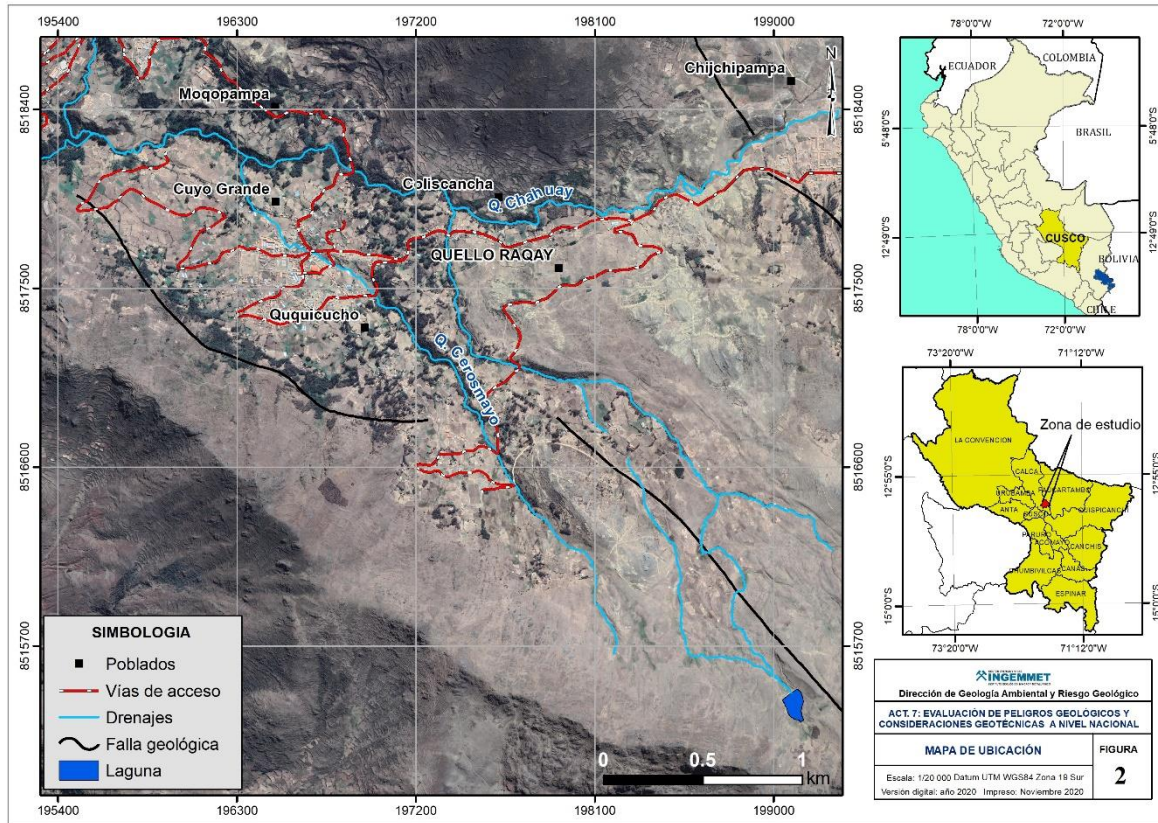


Figura 2. Mapa de ubicación de la comunidad de Cuyo Grande, distrito de Pisac, provincia de Calca, región Cusco.

1.3.2. ACCESIBILIDAD

El acceso a la comunidad de Cuyo Grande, desde la ciudad del Cusco, se realizó mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cusco – Pisac	Asfaltada	34	50 minutos
Pisac – Cuyo Grande	Camino carrozable	14.7	25 minutos

1.3.3. CLIMA

Según la clasificación climática de Köppen y Geiger, la zona de estudio presenta un clima Semiárido Templado con Invierno Seco, con precipitaciones intensas entre los meses de noviembre a marzo, y estiaje entre los meses de abril a octubre. La precipitación total máxima anual es de 1200 mm y la temperatura media anual es de 14.5 °C (SENAMHI, 2018).

1.3.4. TECTÓNICA

La falla Chahuaytire se encuentra adyacente al poblado del mismo nombre y paralela a la falla Colquepata, es una estructura que se extiende con dirección N120 E a lo largo de 12 kilómetros. Atraviesa por el lado noreste de la comunidad de Cuyo Grande, disecta morrenas y depósitos fluvio-glaciares (figura 3) de los cerros Jespe Orjo, Abrancuyo y Jalpillo (Benavente et al., 2013). En esta zona el sustrato rocoso se encuentra muy fracturado por encontrarse en una zona de falla.



Figura 3. Evidencia del escarpe de la falla Chahuaytire, se pueden observar los depósitos fluvio-glaciales desplazados por la actividad de la falla (Benavente et al., 2013).

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base la revisión y actualización del cuadrángulo de Calca (Carlotto, 1996), donde se tienen rocas metamórficas y volcánicas sedimentarias del Silúrico – Triásico respectivamente y depósitos Cuaternarios. La geología 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 inspeccionada y alrededores son de origen metamórfico y volcánico sedimentario, conformado principalmente por la Formación Ananea y Grupo Mitu, cubierto principalmente por depósitos coluviales que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad (figura 4).

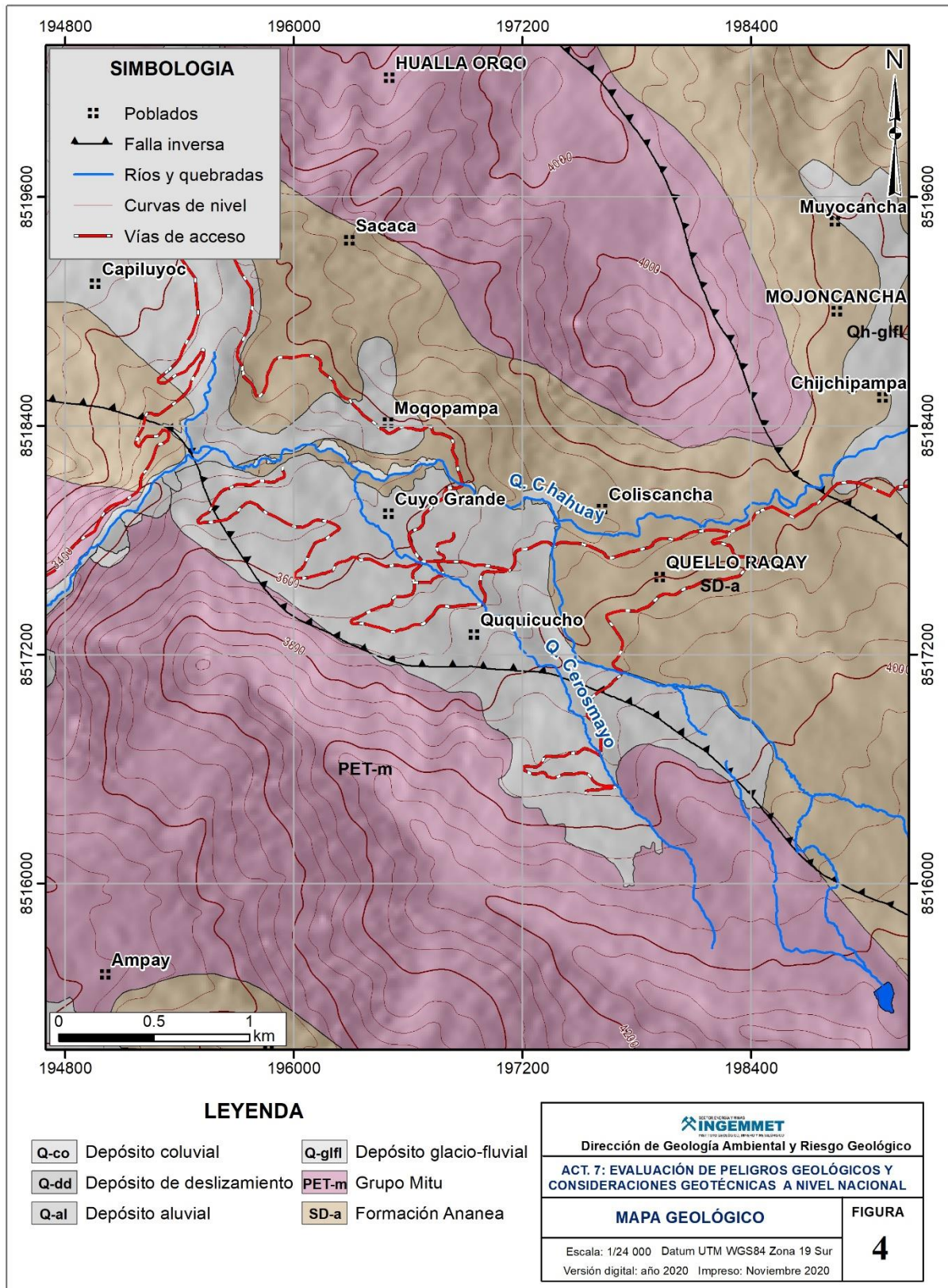


Figura 4. Mapa geológico de la comunidad de Cuyo Grande, distrito de Pisac, provincia de Calca y región Cusco. Modificado de Carlotto, 2011.

2.1.1. FORMACIÓN ANANEA (SD-a)

Esta unidad aflora al norte de la comunidad de Cuyo Grande, está conformado por pizarras y esquistos pizarrosos de color gris oscuro, se encuentran fuertemente fracturados y con intensa meteorización e intercalados con escasos bancos de cuarcitas de 5 a 20 centímetros de ambiente sílico-clástico (Carlotto et al., 2011).

2.1.2. GRUPO MITU (PET-m)

El Grupo Mitu (Mc Laughlin, 1924), sobreyace en discordancia erosional al Grupo Copacabana. Aflora ampliamente en el cerro Luntojaja y al sur de la comunidad de Cuyo Grande, está constituida por brechas, aglomerados y coladas de basaltos, riolitas e ignimbritas, intercaladas con rocas sedimentarias medianamente fracturadas (conglomerados y areniscas cuarzosas), caracterizándose por su color rojo violáceo que permite reconocerlas rápidamente en el campo (figura 5).



Figura 5. Vista al sureste del afloramiento rocoso del Grupo Mitu (PET-m) y depósitos coluviales (Q-co) al pie de la ladera.

2.1.3. DEPÓSITO FLUVIO - GLACIAR (Q-flgl)

Los depósitos fluvio glaciares están compuestos de gravas, arenas en matriz limo-arenosas y materiales residuales no consolidados. El material es transportado por la quebrada Cerosmayo y tributarios.

Sobre este depósito se encuentra emplazada la comunidad de Cuyo Grande.

2.1.4. DEPÓSITO COLUVIAL (Q-co)

Dispuestos al pie de las laderas del cerro Luntojaja y cerros circundantes a la comunidad de Cuyo Grande. Están compuestos por materiales inconsolidados, de gravas y bloques de 1 m de diámetro en promedio, de formas subangulosas, y se encuentran inmersos en matriz limo – arcillosa (figura 6). Las gravas están conformadas por pizarras, diamictitas, areniscas y rocas volcánicas.



Figura 6. Vista al suroeste depósitos coluviales depositados al pie de la ladera, y margen izquierda de la quebrada Chahuay.

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 7, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a información del modelo de elevación digital de 12 m de resolución (USGS), donde se presentan con mayor predominio laderas con inclinación de pendientes que van de rangos de terrenos moderadamente inclinados (5°-15°) a inclinados (15°-25°), con un cambio abrupto a terrenos de pendiente muy fuerte (>45°), este último facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas.

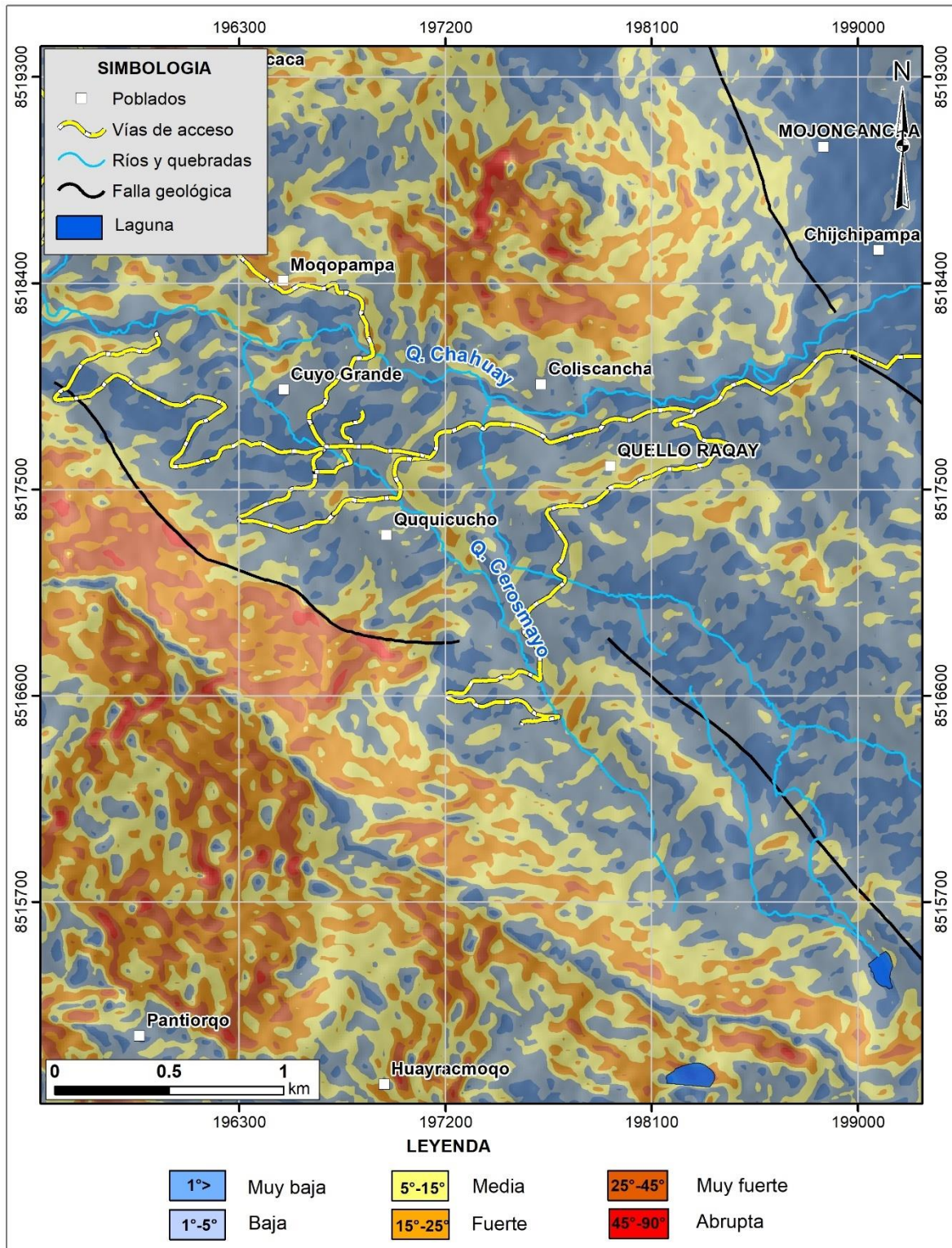


Figura 7. Mapa de pendientes de la comunidad de Cuyo Grande, distrito de Pisac, provincia de Calca y región Cusco.

3.2. Unidades geomorfológicas

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

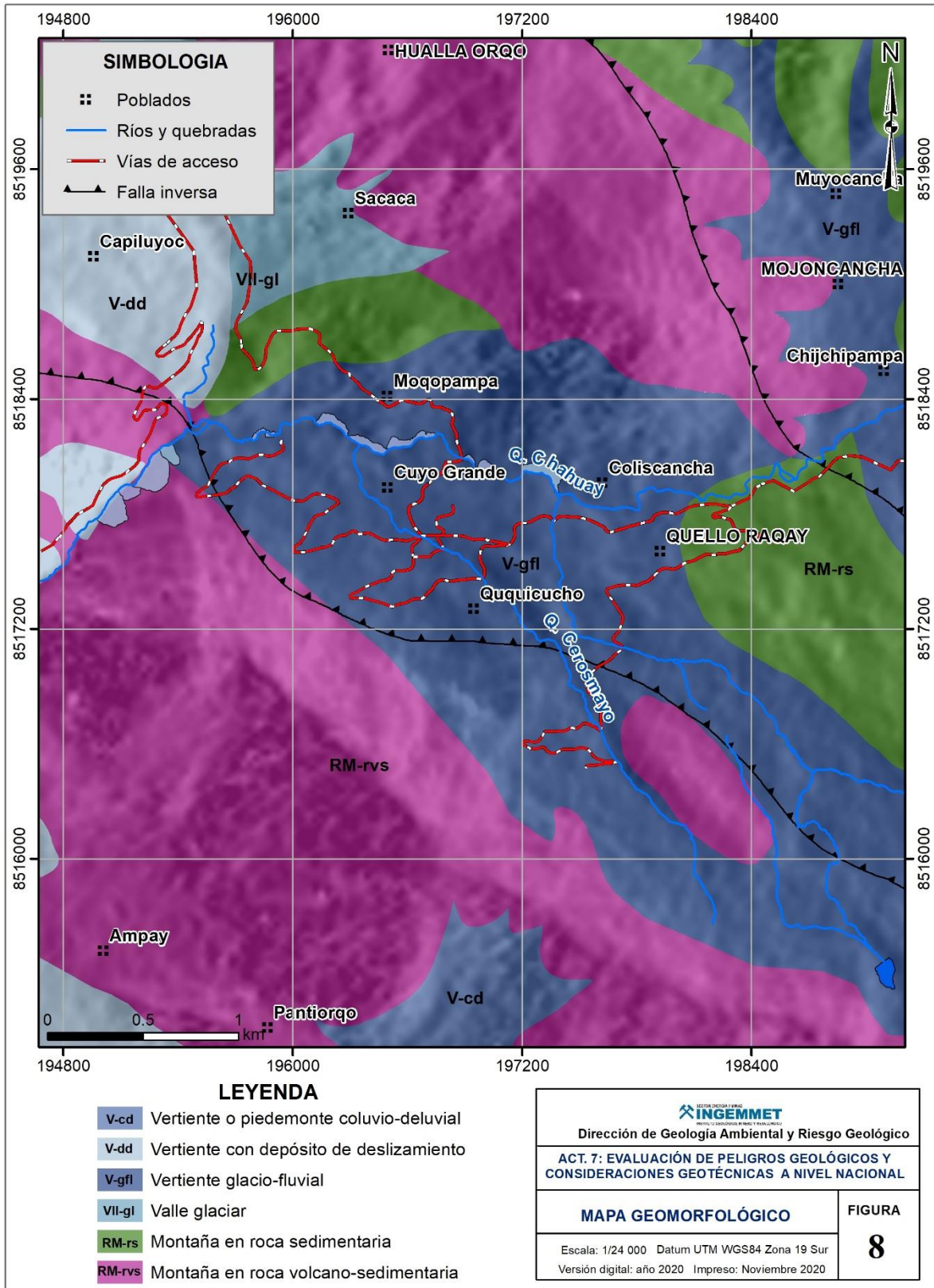


Figura 8. Mapa geomorfológico de la comunidad de Cuyo Grande, distrito de Pisac, provincia Calca y región Cusco. Fuente: Vílchez et al., 2020.

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 sedimentaria (RM-rvs): Las montañas de este tipo cubren gran parte de la zona de estudio, cuyas laderas de pendientes moderadas a empinadas varían de 20° a 55°, con algunas cimas subredondeadas a agudas (fotografía 1). En la parte alta son disectados por una red de drenaje dendrítica, resaltando principalmente la quebrada Cerosmayo.

A esta unidad corresponde el Grupo Mitu.



Fotografía 1. Vista al oeste de la comunidad de Cuyo Grande montañas modeladas en rocas metamórficas.

Subunidad de montañas en rocas metamórficas (RM-rm): Representada por secuencias de la Formación Ananea, litológicamente compuestas por pizarras, esquistos, cuarcitas y niveles de areniscas. Afloran en la zona a través de fallas inversas que los ponen en contacto con el Grupo Mitu. Se exponen principalmente en las comunidades de

Cuyo Grande, Cuyo Chico, Ampay, Cutubamba y Amaru, donde sus laderas presentan pendientes de 10° hasta 45°.

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 coluvial

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 (fotografía 2).

Los depósitos de vertientes coluviales más representativos, se encuentran en las laderas que circunscriben la comunidad de Cuyo Grande y la quebrada Chahuay.



Fotografía 2. Vista al noroeste de la comunidad de Cuyo Grande, la subunidad de vertiente coluvial (V-co).

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos y caídas (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 agua en la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

Estos movimientos en masa, tienen como causas o condicionantes la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelo, el drenaje superficial – subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como “desencadenantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona, así como la sismicidad.

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

La comunidad de Cuyo Grande y la quebrada Chahuay presentan una geodinámica muy activa, representada por derrumbes, deslizamientos, flujo de detritos antiguos y erosión de ladera en cárcavas (figura 9).

4.2. Deslizamiento D-1

Evento localizado en la margen izquierda de la quebrada Chahuay, a una distancia aproximada de 1.3 km de la comunidad de Cuyo Grande. A través del análisis de imágenes satelitales (Google Earth) disponibles desde el año 2006, se observa el proceso evolutivo del deslizamiento (figura 10). En la imagen del 2011 se identificó una escarpa de deslizamiento de 100 m de longitud (figura 11) y 65 m longitudinales entre el escarpe y pie del deslizamiento. Este evento se desencadenó en el año 2010, producto de las lluvias intensas registradas en la región Cusco, la masa desplazada sobre el cauce de la quebrada Chaullay generó un represamiento temporal, el desembalse fue de forma natural, sin generar daño alguno en las poblaciones asentadas aguas abajo.

En la imagen del año 2017, la distancia entre la escarpa y pie del deslizamiento es de 60 m debido a la erosión fluvial que generó el curso de la quebrada referida en el pie del deslizamiento. Finalmente, en el 2019, el deslizamiento presenta una longitud de 58 m entre la escarpa y pie del deslizamiento.

Actualmente, el deslizamiento se encuentra en estado activo, coadyuvado principalmente por la pendiente empinada de la ladera, material de fácil erosión – remoción y la erosión fluvial que está generando el curso de la quebrada Chahuay al pie de la ladera.

4.2.1. CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO 1

El deslizamiento tiene las siguientes características y dimensiones:

- Longitud promedio de la corona o cabecera del deslizamiento: 100 m
- Forma de la superficie de rotura: semicircular - discontinua
- Diferencia de altura aproximada de la corona a la base del deslizamiento: 65 m
- Área del deslizamiento: 24509.86 m²
- Presencia de hasta dos familias de fracturas

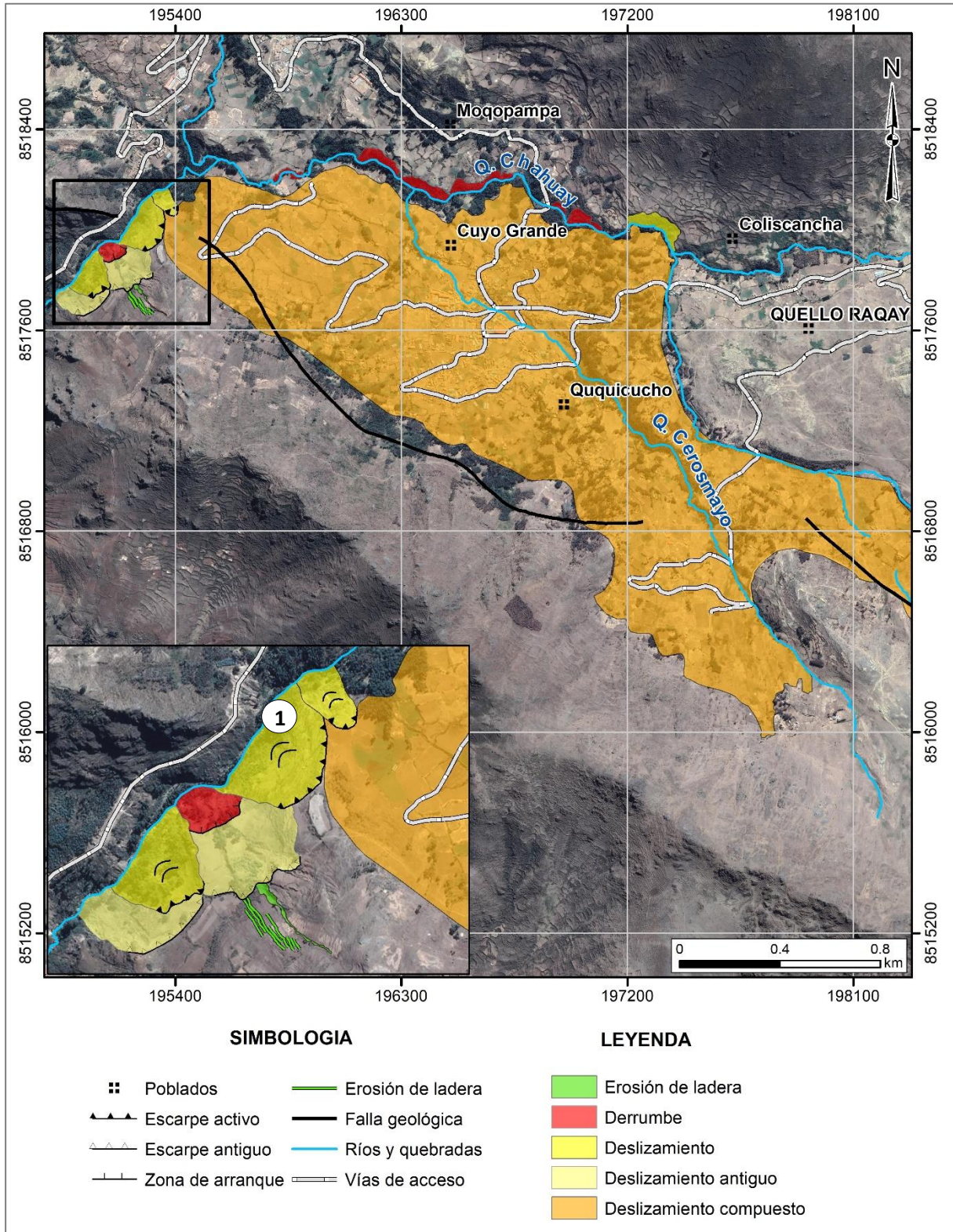


Figura 9. Mapa de peligro geológico de la comunidad de Cuyo Grande, distrito de Pisac, provincia de Calca y región Cusco.

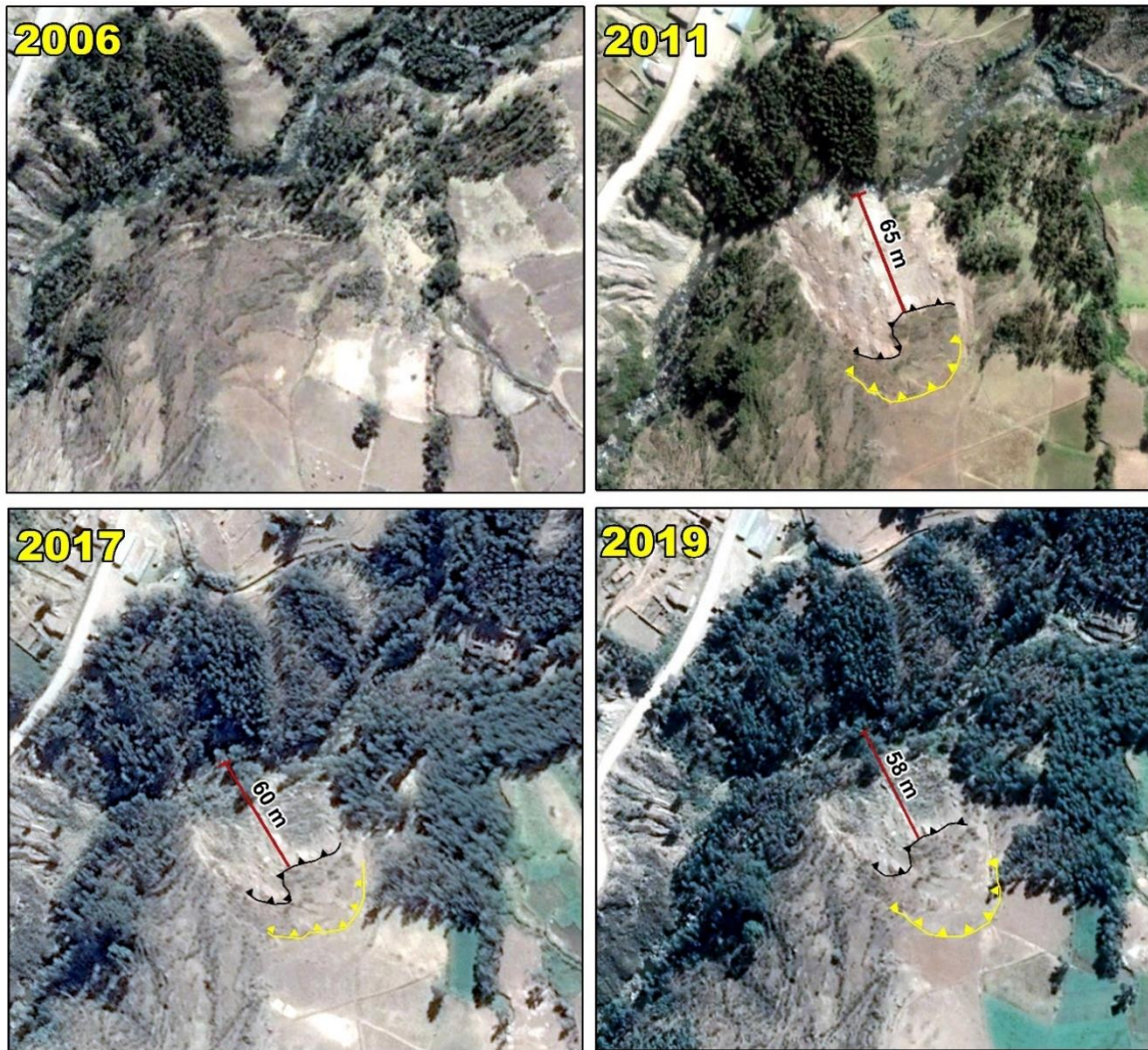


Figura 10. Proceso evolutivo del deslizamiento detonado el año 2010 debido a las lluvias intensas registradas en la región Cusco. Actualmente, el escarpe del deslizamiento presenta 100 m de longitud.

Trabajos de campo realizados el 15 de noviembre del presente año, permitieron identificar a 80 m aproximadamente de la margen izquierda de la quebrada Chahuay, la reactivación de un deslizamiento compuesto, en deslizamiento con escarpe de forma discontinuo y 1.5 m salto (figura 12), este evento afectó terrenos de cultivo.

Por otro lado, en el cuerpo del deslizamiento complejo, donde actualmente se emplaza en centro poblado de Cuyo Grande, se observó canales de drenaje sin revestir (fotografía 3). En temporada de lluvia, el agua infiltra a lo largo del canal, este podría reactivarse en deslizamientos y derrumbes.



Figura 11. Vista del escarpe del deslizamiento (demarcado con flechas amarillas) detonado el año 2010, actualmente se mantiene activo. Con coordenadas WGS84: 195381 E, 8518079 N, 3476 m s.n.m.



Figura 12. Vista de la reactivación de un deslizamiento compuesto en deslizamiento, con escarpe de forma discontinuo y 1.5 m salto, este evento afectó terrenos de cultivo. Con coordenadas WGS84: 195477 E, 8518075 N a 3489 m s.n.m.



Fotografía 3. Vista del canal de drenaje sin revestimiento en el cuerpo del deslizamiento complejo, en temporada de lluvia, el agua infiltra a lo largo del canal, este podría reactivar deslizamientos y derrumbes.

4.3. Derrumbes

En la margen izquierda de la quebrada Chahuay se observó un derrumbe con 6655.43 m² de área, y una distancia de 87 m entre la zona de arranque al pie del derrumbe (fotografía 4). Actualmente el derrumbe se encuentra estable.



Fotografía 4. Vista de derrumbes en la margen izquierda de la quebrada Chahuay cubierto por vegetación arbustiva.

4.4. Erosión de ladera

En la margen izquierda de la quebrada Chahuay y al suroeste de la comunidad de Cuyo Grande existe mayor desarrollo de procesos por erosión de ladera en cárcavas. La zona de carcavamiento más activo, de prolongación sureste - noroeste, presenta un área de 1164.67 m², el flujo de agua efímero desemboca en el cauce de la quebrada referida.

Según su caracterización se le denomina como cárcava alargada de pendientes escarpadas. En su parte amplia presenta un ancho de 15 m y una profundidad de 10 m aproximadamente. Si bien, la parte media y alta muestra signos de actividad, la parte baja, se encuentra cubierta por vegetación. Es importante mencionar que, si las cárcavas no son controladas, pueden ser futuras zonas de deslizamiento o de producción de materiales para flujo de detritos (huaicos).

4.5. 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 altamente meteorizada y muy fracturado, debido a la presencia de la falla Chahuaytire.
- Suelos inconsolidados (depósitos coluviales), de fácil erosión - remoción ante precipitaciones pluviales intensas.
- Incidencia de la falla Chahuaytire sobre la comunidad de Cuyo Grande, correspondiente al sistema de fallas Vilcanota.

Factor geomorfológico

- La morfología de la comunidad de Cuyo Grande y la quebrada Chahuay, cuyas laderas de pendientes medias a escarpadas varían de 15°-60°, este último permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad.

Factor hidrológico - hidrogeológico

- Acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas que circunscriben la comunidad de Cuyo Grande.
- 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.

4.6. Factores desencadenantes

- Según la clasificación climática de Koppen y Geiger, la zona de estudio presenta un clima Semiárido Templado con Invierno Seco, con precipitaciones intensas entre los meses de noviembre a marzo, y estiaje entre los meses de abril a octubre. La precipitación total máxima anual es de 1200 mm y la temperatura media anual es de 14.5 °C

El factor desencadenante para la reactivación del deslizamiento D-1, fueron las lluvias intensas registradas en la región Cusco, entre los meses de noviembre a marzo el año 2010.

4.7. Otros factores antrópicos

- Uso inadecuado del sistema de riego.
- Existencia de un canal de drenaje sin revestimiento, ubicado en el cuerpo del deslizamiento compuesto, con el tiempo el agua de lluvia infiltrará a lo largo del canal, ello contribuirá con las futuras reactivaciones del deslizamiento.

5. CONCLUSIONES

- a) En la comunidad de Cuyo Grande se identificaron deslizamientos, derrumbes y erosión de ladera en cárcavas, desarrollados sobre depósitos coluviales, conformado por materiales inconsolidados de bloques, gravas, inmersos en matriz limo – arcillosa y rocas esquistosas y pizarrosas de color gris oscuro, intercalados con escasos bancos de cuarcitas muy fracturadas y altamente meteorizadas.
- b) La activación o reactivación natural de deslizamientos pueden producir el represamiento de la quebrada Chahuay, el desembalse podría generar un flujo de detritos (huaico), esto afectaría a los poblados, infraestructuras, tramos carreteros y terrenos de cultivo asentados aguas abajo. En el año 2010, un deslizamiento represó temporalmente el cauce de la quebrada Chahuay cuyo desembalse se dio de forma natural, sin generar daño alguno en la población asentada aguas abajo.
- c) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta la comunidad de Cuyo Grande, es considerado como zona de **peligro Alto** a movimientos en masa.
- d) Los peligros por movimientos en masa están condicionados por los siguientes factores:
 - Material de fácil erosión - remoción (depósito coluvial principalmente), conformado por bloques subangulosos, inmersos en matriz areno-limosa.
 - Substrato rocoso muy fracturados y altamente meteorizados; lo que permite mayor infiltración y retención de agua en su cuerpo. Incidencia de la falla Chahuaytire sobre la comunidad de Cuyo Grande.
 - Laderas con pendientes medias (15°-25°) a empinadas (25° a 45°), este último facilita el escurrimiento de agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas.
 - Presencia de agua subterránea y acción de las aguas de escorrentía.
 - Erosión fluvial en el pie de la ladera izquierda que circunscribe la quebrada Chuahuay.

El factor desencadenante para la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes son las lluvias intensas, que se registran entre los meses de noviembre a marzo.

6. RECOMENDACIONES

- A. Implementar sistemas de drenaje superficial y subdrenaje en zonas de deslizamiento y derrumbe, mediante zanjas de coronación y subdrenes. El sistema de recolección de aguas superficiales debe interceptar y conducir adecuadamente las aguas de lluvia y evitar su paso por el talud; mientras, el subdrenaje reducirá las presiones intersticiales, estas medidas deben ser diseñadas por un especialista.
- B. Implementar sistemas de defensa ribereña en la quebrada Chahuay, en el tramo que comprende la reactivación de deslizamientos y derrumbes, con el fin de estabilizar los taludes inestables.
- C. Revestir el canal de drenaje ubicado en el cuerpo del deslizamiento, con tuberías de PVC.
- D. Realizar un tratamiento integral en las zonas de carcavamientos.
- E. Reforestar las laderas desprovistas de vegetación.



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

- Benavente, C.; Delgado, F.; Taípe, 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.
- Carlotto, V., Gil, W.; Cárdenas, J.; Chávez, R. (1996). Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 65, iv, 245 p
- 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, Transportatión 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.
- 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.
- Vilchez, M. & Sosa, N. (2015) – Zonas críticas por peligros geológicos en la región Cusco. Informe técnico geología ambiental. INGEMMET, 100 p.
- Vilchez, 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.

CAIDA (landslide) Término común para referirse a diversos tipos de movimientos en masa, particularmente caídas y deslizamientos. En Perú se utiliza este término para diferenciar un tipo de caída. La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable (figura 13). 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 5×10^1 mm/s. El estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s.

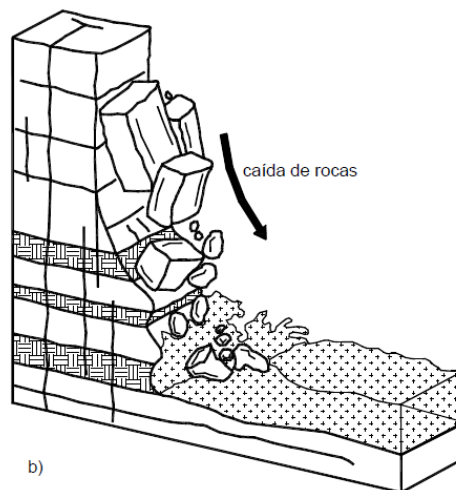


Figura 13. Esquema de caída de rocas. Fuente Suárez (1998).

DESLIZAMIENTO (slide) Son movimientos de masas de roca, residuos o tierra (figura 14), 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).

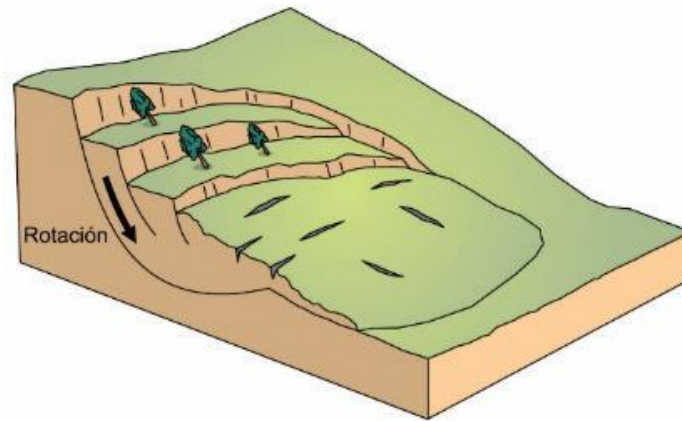


Figura 14. Esquema de un deslizamiento rotacional (tomado del Proyecto Multinacional Andino, 2007)

EROSIÓN DE LADERA Se considera dentro de esta clasificación a este tipo de eventos, porque se les considera predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo (figura 15); en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Duque et al, 2016).

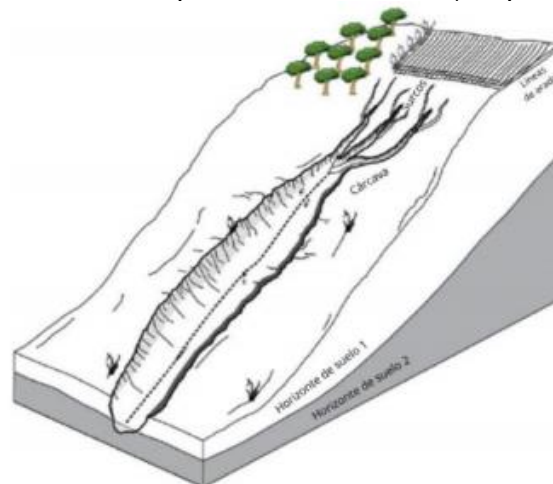


Figura 15. Esquema de la formación de cárcavas originadas por profundización en surcos. Tomado y modificado de (Shruthi et al., 2011).

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.

FLUJOS Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes 1978). Según el tipo de material y mecanismo de velocidad de desplazamiento y ocurrencia, se pueden identificar flujos de detritos, de lodo y aluviones (figura 16).

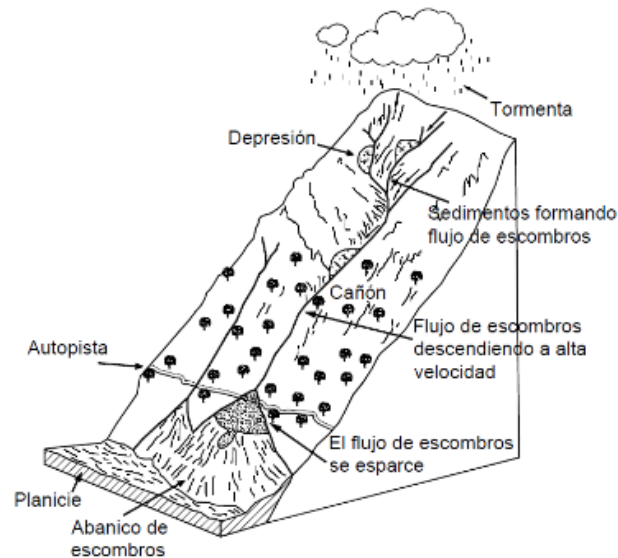


Figura 16. Esquema de un flujo de detritos (huaico). Fuente: Suárez J, 2009.

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
Canales superficiales para el control de escorrentía	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.
Subdrenes de zanja	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
Subdrenes horizontales de penetración	Muy efectivos para interceptar y controlar las aguas subterráneas relativamente profundas.	Se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto.
Galerías o túneles de subdrenaje	Efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos en las formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas.	Muy costosos y complejos de construir
Pozos profundos de subdrenaje	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 17 y 18). 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.

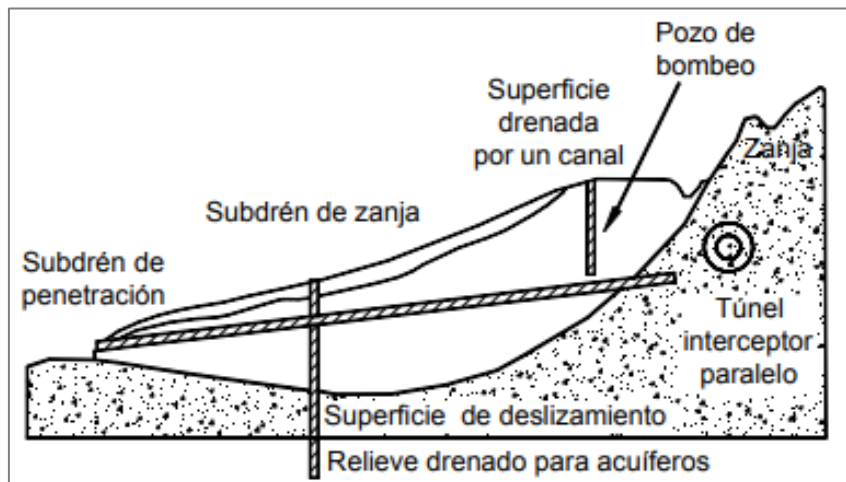


Figura 17. Sistemas de subdrenaje (Suárez, 1998).

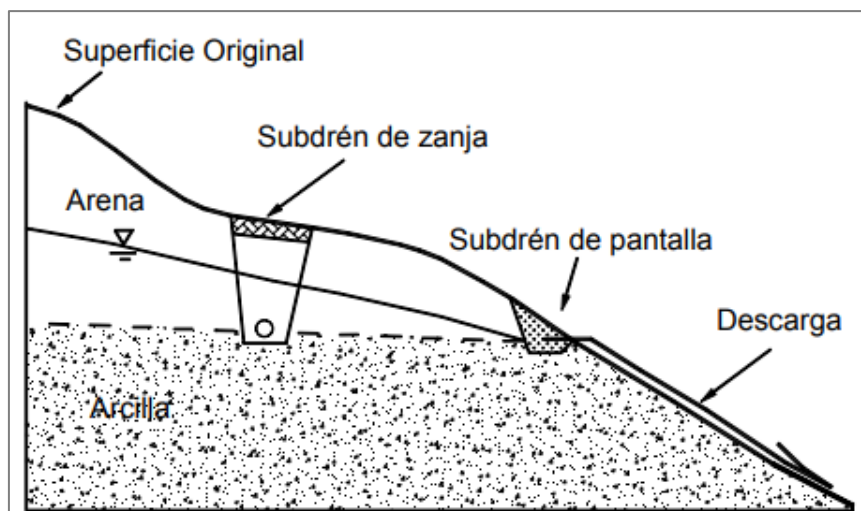


Figura 18. Esquema de un subdrenaje interceptor y un dren en el afloramiento (Suárez, 1998).

B. CORRECCIÓN POR ELEMENTOS RESISTENTES

Muros de gaviones. Los gaviones son elementos con forma de prisma rectangular que consisten en un relleno granular constituido por fragmentos de roca no degradable (caliza, andesita, granitos, etc.), retenido por una malla de alambre metálico galvanizado (figura 19).

Los muros de gaviones trabajan fundamentalmente por gravedad (figura 20). Generalmente se colocan en alturas bajas, aunque algunas veces se colocan en alturas medianas (hasta 25 m de alto y 10 m de ancho) y funcionan satisfactoriamente.

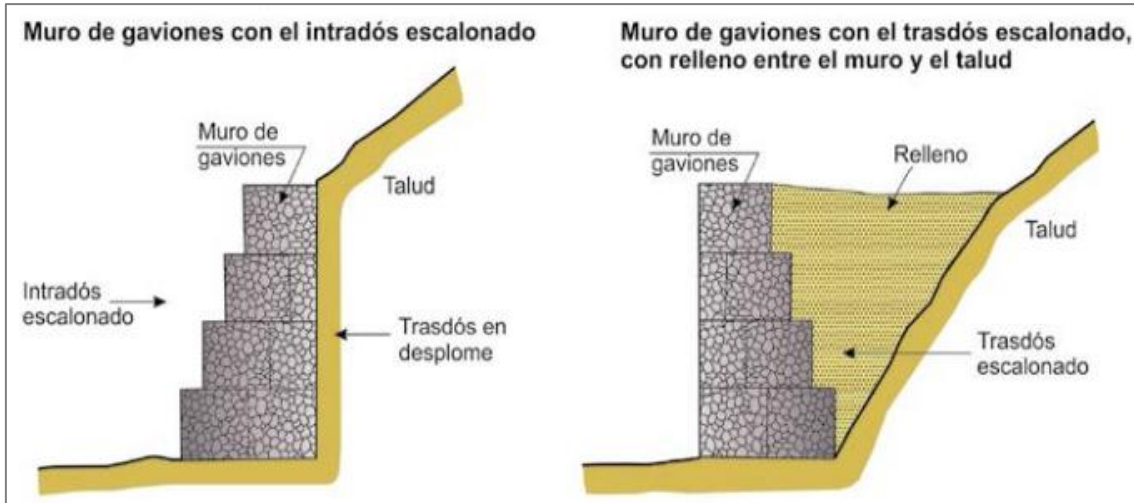


Figura 19. Muro de gavión (Ayala, 2002).

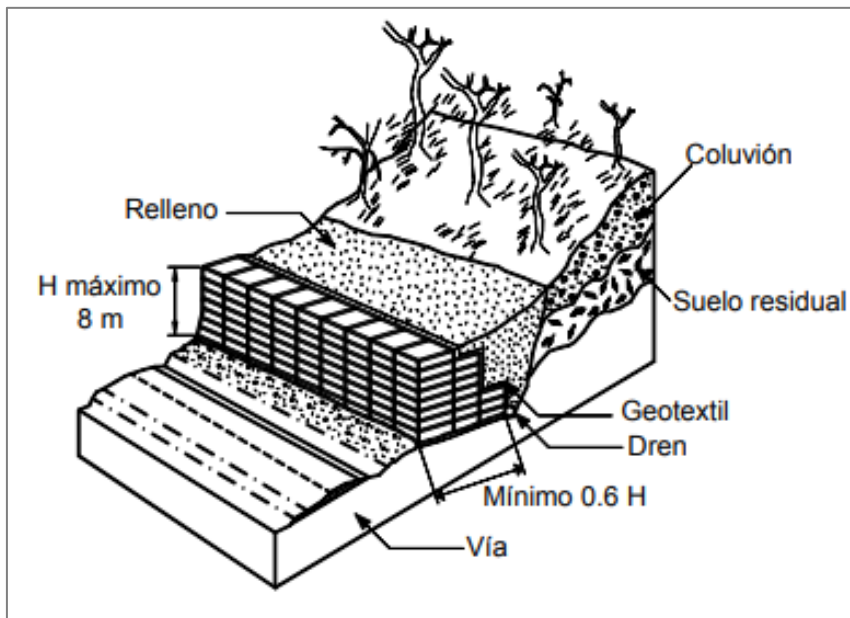


Figura 20. Esquema de un muro en gaviones (Suárez, 1998).