

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7163

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL ANEXO CALLACUNCA

Región Cusco
Provincia Quispicanchis
Distrito Quiquijana



EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL ANEXO CALLACUNCA

(Distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchis, 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 movimientos en masa en el anexo Callacunca. Distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchis, región Cusco. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7163, 30 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.....	4
1.3.3. Clima.....	5
1.3.4. Tectónica.....	5
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	5
2.1. Unidades litoestratigráficas	5
2.1.1. Formación Ananea (SD-a)	7
2.1.2. Depósito coluvial (Q-co)	7
2.1.3. Depósito de deslizamiento (Q-dd).....	7
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	8
3.1. Pendientes del terreno	8
3.2. Unidades geomorfológicas	10
3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	11
3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional.....	11
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	12
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	13
4.2. Deslizamientos antiguos en el anexo Callacunca	14
4.2.1. Características visuales del evento 1	14
4.2.2. Características visuales del evento reactivado.....	15
4.3. Factores condicionantes	18
4.4. Factores desencadenantes	18
4.5. Otros factores antrópicos	18
5. CONCLUSIONES	20
6. RECOMENDACIONES	21
7. BIBLIOGRAFÍA	22
ANEXO 1: GLOSARIO	23
ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	25

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizado en el anexo Callacunca – comunidad de Sachac, perteneciente a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Quiquijana, provincia de Quispicanchis, 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 anexo de Callacunca, se asienta sobre depósitos de antiguos deslizamientos, conformados por bloques de formas angulosas y gravas, inmersos en matriz areno – arcillosa, los cuales se encuentran medianamente consolidados y muy saturados; presentándose reactivaciones. Del mismo modo, se encuentra circundado por macizos rocosos metamórficos de la Formación Ananea, compuesta por pizarras y esquistos pizarrosos intercalados con pequeños bancos de cuarcita muy fracturadas y moderada a altamente meteorizadas.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional (montañas en rocas metamórficas) 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).

Los principales factores condicionantes que originan la reactivación del antiguo deslizamiento en el anexo Callacunca - comunidad de Sachac son el substrato rocoso muy fracturado, con presencia de una falla geológica, que permite mayor infiltración y retención de agua superficial al terreno; además, los suelos inconsolidados (depósitos coluvio - deluviales), dispuestas en laderas de pendientes medias (17°) a escarpadas (26°), de fácil erosión – remoción, que ante precipitaciones pluviales intensas se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad, acción de las aguas de escorrentía y finalmente, presencia de agua subterránea (manantiales y ojos de agua), 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 procesos identificados en el anexo Callacunca – comunidad de Sachac corresponden a los denominados movimientos en masa: deslizamientos y derrumbes, eventos antiguos que han sufrido reactivaciones. Tal es así que, en el 2020, se produjeron reactivaciones con tres niveles de escarpa, de actividad retrogresiva debido a la existencia de agrietamientos tensionales y desplazamientos de hasta 1 m de altura identificados en la zona posterior de la escarpa. De continuar el avance retrogresivo del deslizamiento, podría afectar a las viviendas asentadas a 120 m de distancia, áreas de cultivo y vías de acceso a pueblos aledaños.

El área de estudio se considera de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas o por actividad sísmica (reactivación de falla geológica).

Finalmente, se recomienda reubicar temporalmente las viviendas ubicadas en el cuerpo del deslizamiento hacia el sector denominado Witto Pata, hasta tener listo los estudios de reasentamiento. Además, para evitar futuras reactivaciones se recomienda implementar sistemas de drenaje, tipo zanjas de coronación, espina de pez y uso de un sistema de riego tecnificado por parte de los agricultores y sus organizaciones.

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 en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de Quiquijana, según Oficio N° 220-2020-MDQ-A, en el marco de nuestras competencias se realiza una evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, tales como derrumbes y deslizamientos en el anexo Callacunca - comunidad de Sachac, ocurridos en el 2020, que afectó áreas de cultivo y vías de acceso.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los geólogos Guisela Choquenaira Garate y David Prudencio Mendoza, para realizar la evaluación de peligros geológicos, la cual se desarrolló el 04 de febrero de 2021.

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

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

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que afecten el anexo Callacunca - comunidad de Sachac.
- 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 anexo Callacunca - comunidad de Sachac, se tienen:

- A) Boletín N° 74, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligros Geológicos en la Región Cusco” (Vilchez et al., 2020); en la cual se registró un total de 75 zonas críticas y 1682 ocurrencias de peligros geológicos, identificándose 16 zonas críticas en la provincia de Quispicanchis y 3 eventos tipo deslizamientos, derrumbes y flujo de detritos en el distrito de Quiquijana. El estudio también realizó un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa, presentado en un mapa a escala 1:100 000, donde el sector Callacunca presenta muy alta susceptibilidad, condicionada por las características litológicas, geomorfológicas, pendiente, cobertura vegetal y uso de

suelo (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.

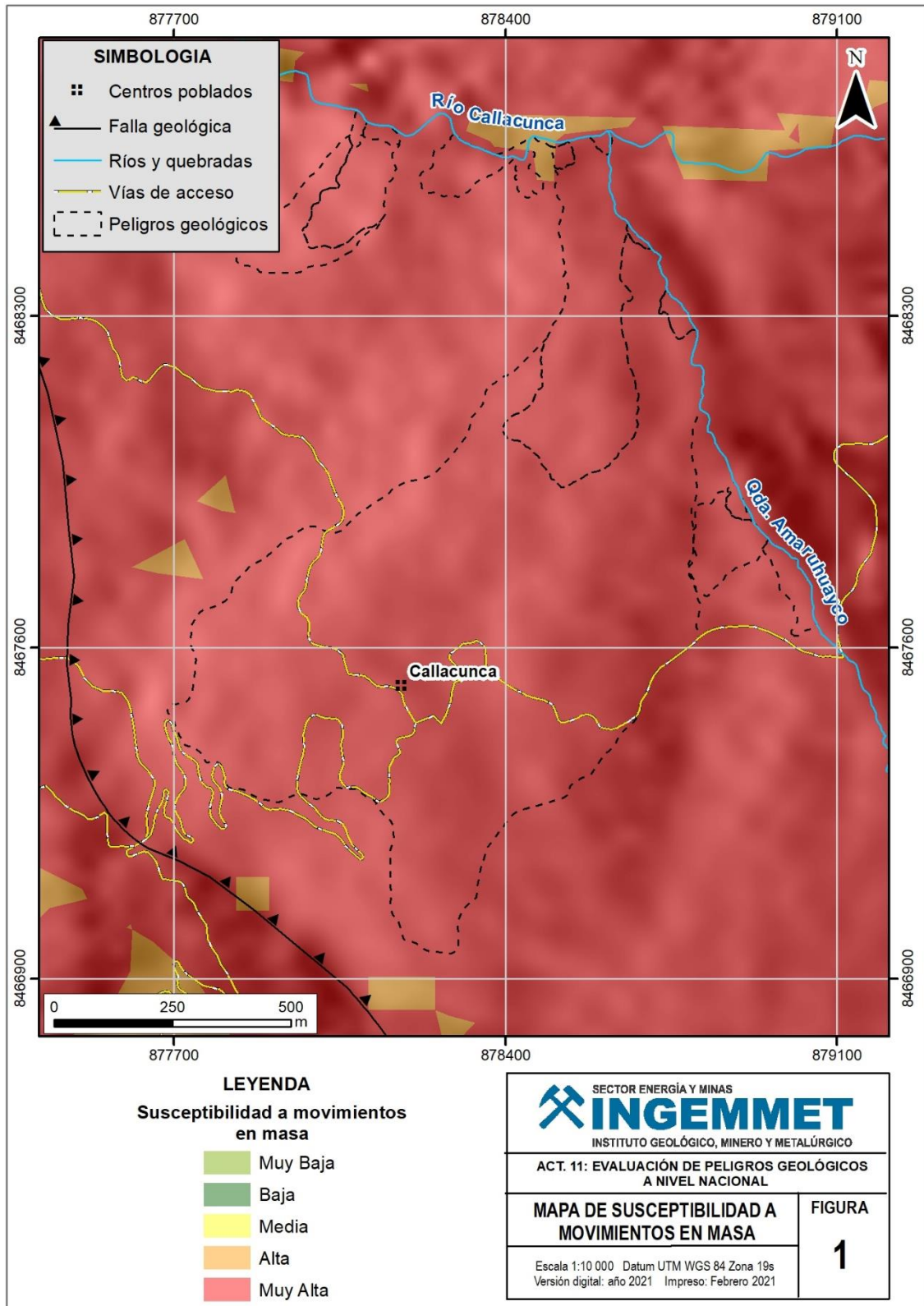


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa del anexo Callacunca – comunidad de Sachac. Fuente: Vílchez et al., 2020.

- B) En la “Memoria descriptiva de actualización semidetallado del cuadrángulo de Cusco (28-s2) (Carlotto et al., 2011); donde se describe el contexto litoestratigráfico a escala

1: 50 000. Además, señala de manera regional las unidades geomorfológicas identificadas en el cuadrángulo, sobre el que se ubica el anexo Callacunca - comunidad de Sachac.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El anexo de Callacunca, de la comunidad de Sachac, se encuentra localizado a la margen izquierda del río Callacunca y disectada por la quebrada Amaruhuayco, a 25.9 km al noroeste de Patacolca. Políticamente pertenece al distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchis, región Cusco (figura 2), en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 19 s) (cuadro 1):

Cuadro 1. Coordenadas del anexo Callacunca – comunidad de Sachac

N°	UTM - WGS84 - Zona 19L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	228996	8470128	-13.82	-71.50
2	230205	8469958	-13.82	-71.49
3	229739	8468235	-13.84	-71.50
4	228859	8468875	-13.83	-71.50
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	229631	8469256	-13.83	-71.50

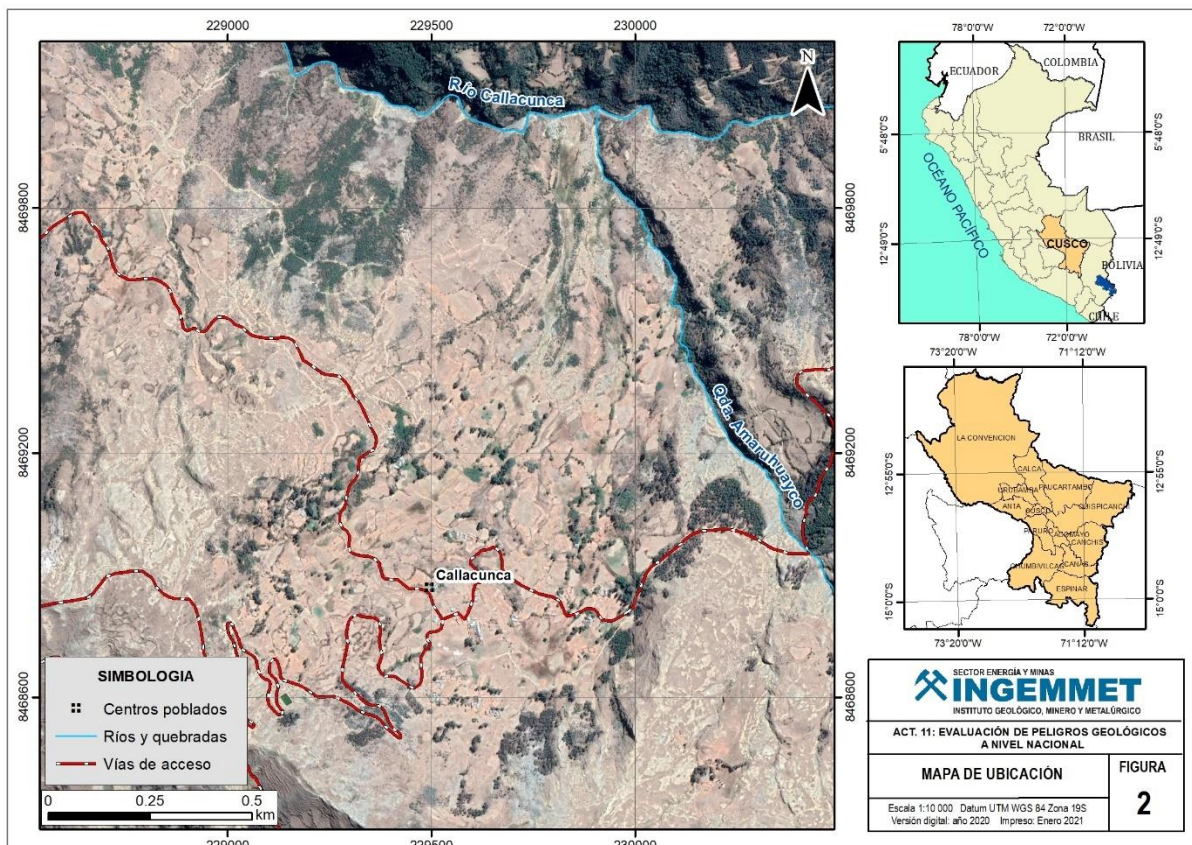


Figura 2. Mapa de ubicación del anexo Callacunca - comunidad de Sachac, distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchis, región Cusco.

1.3.2. Accesibilidad

Al anexo de Callacunca, se accede por vía terrestre desde la ciudad del Cusco (INGEMMET-OD Cusco), mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

Cuadro 2. Rutas y accesos al anexo de Callacunca

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Cusco - Quiquijana	Carretera asfaltada	69.9	1h 28 minutos
Quiquijana - Callacunca	Camino carrozable	25.9	40 minutos

1.3.3. Clima

Según la clasificación climática de Koppen y Geiger, el clima del anexo Callacunca-comunidad campesina de Sachac se caracteriza como frío y seco, con precipitaciones intensas entre los meses de noviembre a marzo, y estiaje entre los meses de abril a octubre. Presenta precipitación promedio anual de 1296 mm y una temperatura media anual de 6.5°C.

1.3.4. Tectónica

La falla Paucarpata se ubica en la margen izquierda del río Vilcanota, entre los poblados de Witto Pata y Paucarpata, al suroeste del anexo Callacunca.

Se extiende a lo largo de 18 km con una dirección noroeste-sureste, cruzando los flancos occidentales de los cerros Pumayanja y Runtojay. Se caracteriza por presentar escarpes erosionados que se encuentran afectando depósitos coluviales y aluviales antiguos.

Estos últimos escarpes de falla coinciden con las coronas o zonas de despegue de antiguos deslizamientos de los cerros Pumayanja y Runtojay y Jarjeta, sugiriendo su posible relación (Benavente et al., 2013) (figura 3).

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico en la zona de estudio se desarrolló en base a la carta geológica de Cusco – hoja 28s2 (Carlotto, 2011), a escala 1/50 000, donde se presentan rocas metamórficas del Silúrico – Devónico (SD-a) y depósitos Cuaternarios (coluviales y de deslizamientos), éstos últimos a través de la cartografía y en base a la interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo se completa en el mapa geológico, presentado en la figura 3.

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona evaluada y alrededores son de origen metamórfico, correspondiente a la Formación Ananea (pizarras y esquistos, intercalados con bancos de cuarcitas), los cuales se encuentran muy fracturadas y moderada a altamente meteorizadas. Estas unidades se encuentran coberturadas por depósitos coluvio – deluviales (depósito de deslizamiento) que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad (figura 3).

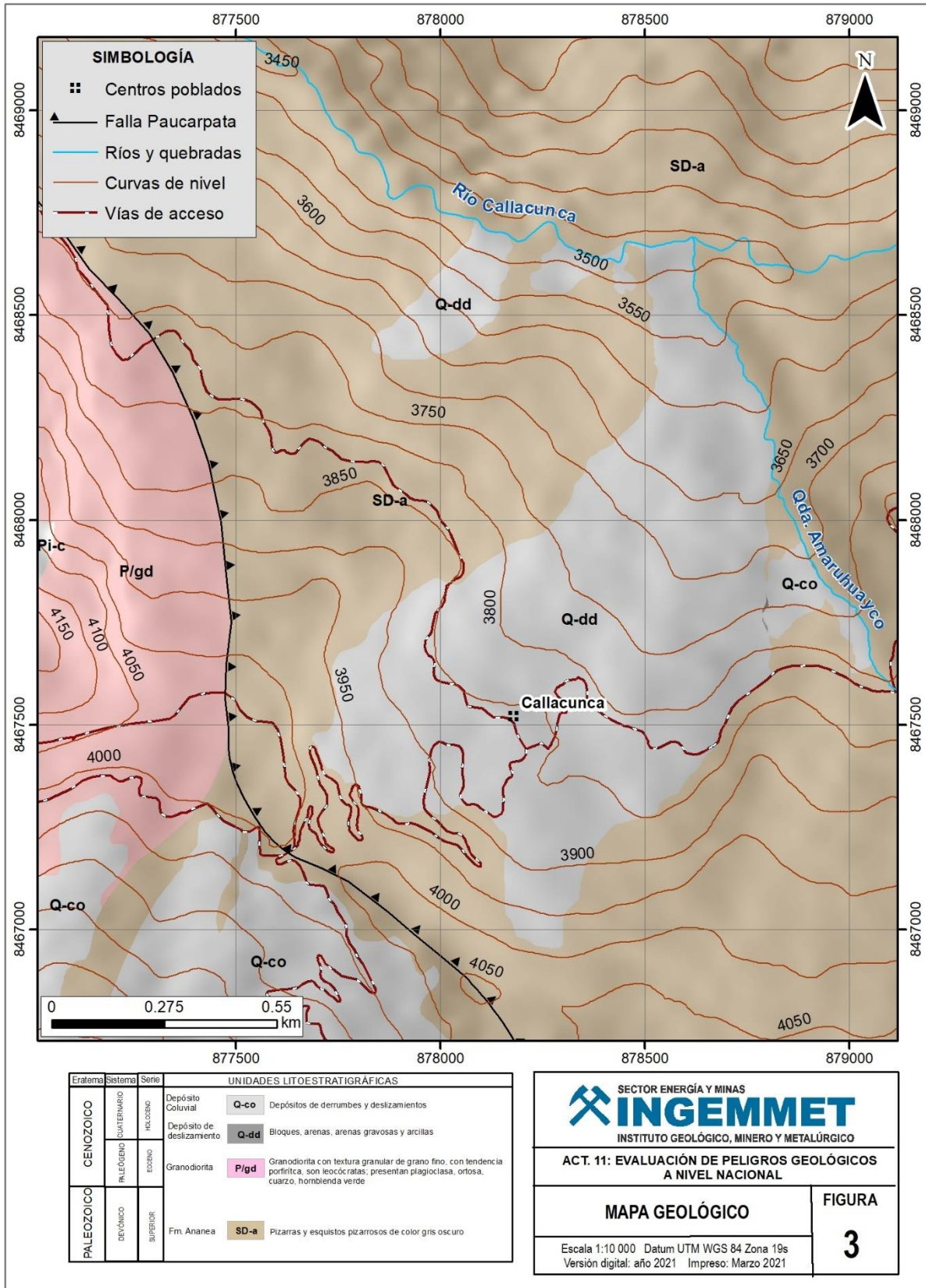


Figura 3. Mapa geológico del anexo Callacunca. Modificado de Carlotto, 2011.

2.1.1. Formación Ananea (SD-a)

Esta unidad aflora ampliamente al sur del anexo Callacunca, conformado por pizarras y esquistos pizarrosos (fotografía 1) intercalados con pequeños bancos de cuarcita moderadamente meteorizadas y muy fracturadas debido a la existencia de la falla Paucarpata (Benavente et al., 2013). Ello originó bloques sueltos de hasta 0.8 m, los cuales se encuentran dispuestos en el cuerpo del deslizamiento.



Fotografía 1. Vista al sureste del afloramiento rocoso moderadamente meteorizados y muy fracturado debido a la existencia de la falla Paucarpata, correspondiente al Sistema Zurite-Cusco-Urcos-Sicuani), con coordenadas UTM (WGS 84): 817349 E, 8498260 N a 3638 m s.n.m

2.1.2. Depósito coluvial (Q-co)

Se encuentran dispuestos de forma caótica al pie de las laderas de los cerros circundantes al anexo Callacunca - comunidad de Sachac por acción de la gravedad. Están compuestos por materiales inconsolidados de bloques de formas angulosas a subangulosas, inmersos en una escasa matriz areno - limosa.

2.1.3. Depósito de deslizamiento (Q-dd)

Son depósitos originados por procesos de movimientos en masa tipo deslizamientos, avalancha de rocas y/o movimiento complejo. El anexo Callacunca – comunidad de Sachac se encuentra asentada sobre este depósito, el cual está constituido por bloques y gravas inmersos en matriz areno-limosa. Se encuentran medianamente compactados y muy saturados debido al nivel freático elevado (fotografía 2).



Fotografía 2. Depósito de antiguo deslizamiento, conformado por bloques de formas angulosas y gravas; inmersos en 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 4, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base al modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución (USGS), donde se presentan con mayor predominio laderas con pendientes moderadamente inclinados (5° - 15°) a inclinados (15° - 25°), con un cambio abrupto a terrenos de pendiente muy fuerte ($>45^{\circ}$).

Principalmente, las laderas que circunscriben al anexo Callacunca - comunidad de Sachac presentan pendientes que varían de 17° a 26° , siendo la inclinación mayor del orden 25° el que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas.

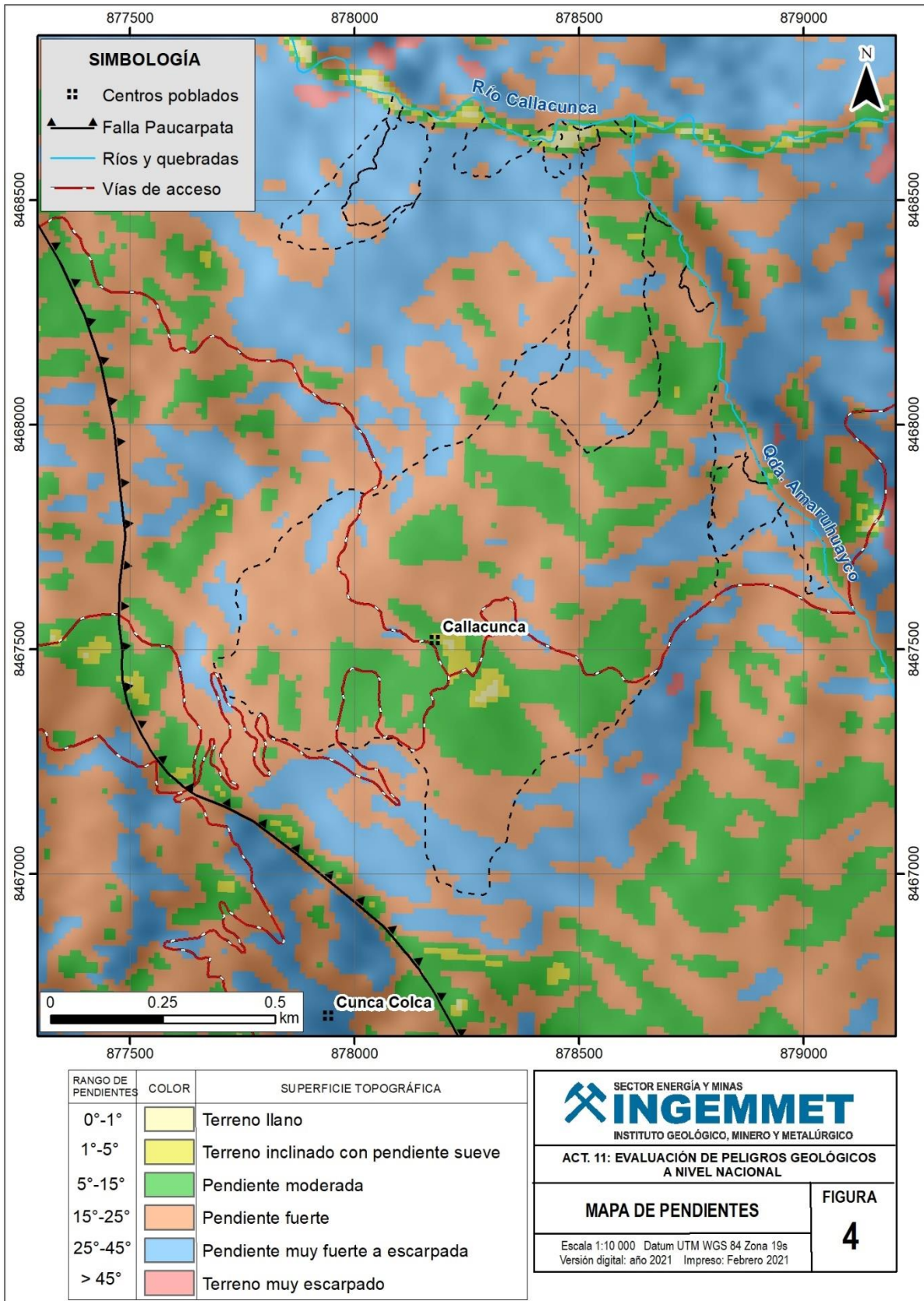


Figura 4. Mapa de pendientes del anexo Callacunca. Elaboración propia.

3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (figura 5), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez et al., 2020).

A continuación, se mencionan las principales unidades y subunidades geomorfológicas identificadas y que conforman el relieve en la zona de estudio. Cabe recalcar que dichas definiciones y unidades establecidas, son extraídas del mapa geomorfológico regional de la región Cusco a escala 1/ 1 000 000 (Ingemmet).

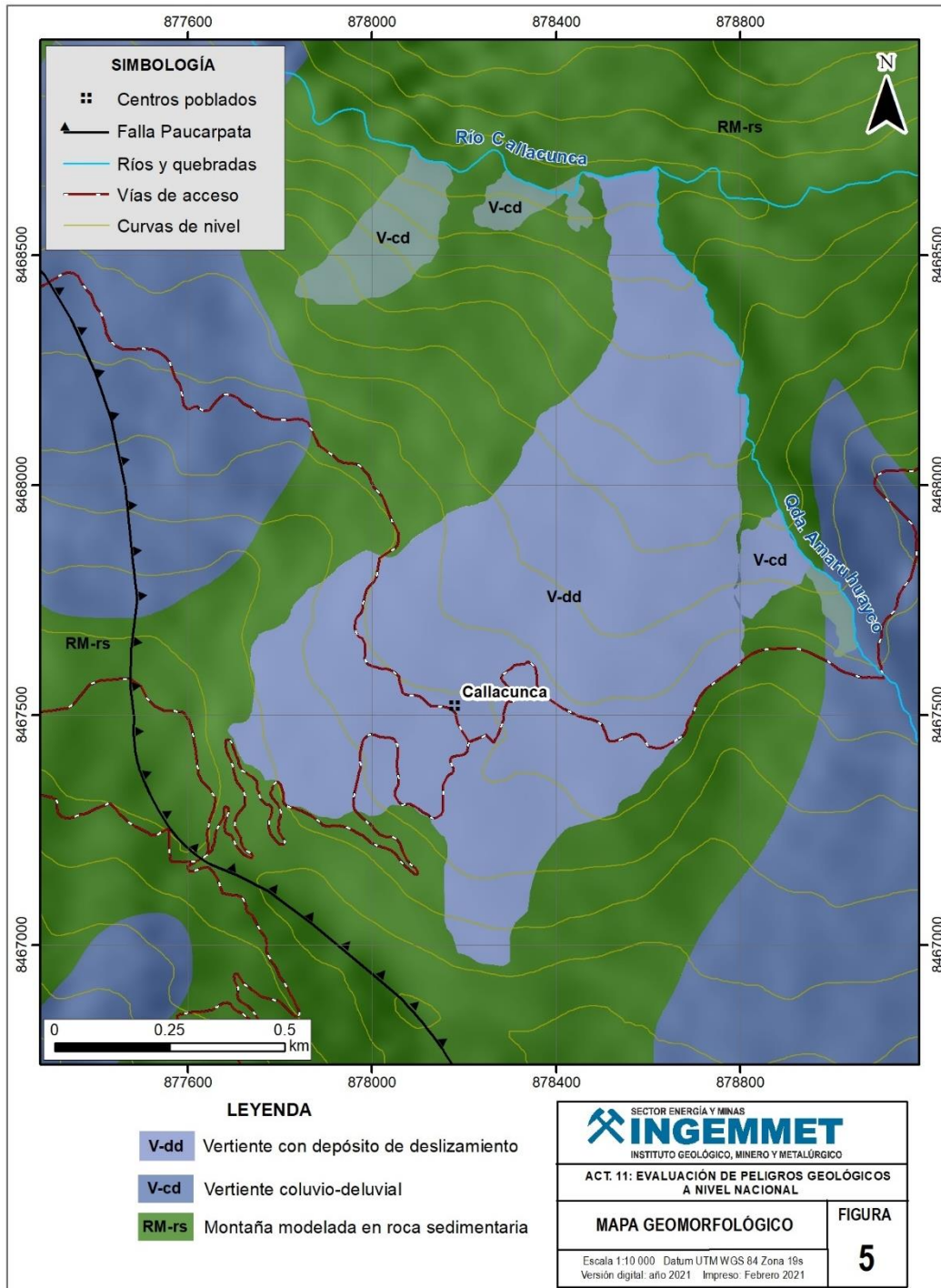


Figura 5. Mapa geomorfológico del anexo Callacunca. Fuente: Vílchez et al., 2020.

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; según el tipo de roca que las conforma y los procesos que han originado su forma actual, se diferencia las siguientes subunidades:

Subunidad de montañas en rocas metamórficas (RM-rm): Relieve modelado en secuencias de la Formación Ananea, conformada por pizarras y esquistos pizarrosos, intercalados con pequeños bancos de cuarcita. Las montañas cubren gran parte de la zona de estudio, cuyas laderas presentan pendientes que varían de 17° a 35° (figura 6), con cimas subredondeadas a agudas.

Se exponen principalmente en las comunidades de Sachac y Patacolca.



Figura 6. Vista al noreste del anexo Callacunca - comunidad de Sachac, montañas modeladas en rocas metamórficas (RM-rm) 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 anexo Callacunca - comunidad de Sachac.

3.2.2.2. Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento

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.

Sobre esta geoforma se emplaza el anexo Callacunca - comunidad de Sachac (fotografía 3).



Fotografía 3. Vista del anexo Callacunca ubicado sobre vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd). Coordenadas UTM (WGS84): 229837 E, 8468933 S a 3746 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. Un claro ejemplo de ello, es el cambio de topografía del terreno donde se emplazan viviendas de la comunidad de Sachac, del cual se movilizó cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso del río Callacunca.

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

El anexo Callacunca-comunidad de Sachac presenta una geodinámica muy activa, representada por 7 derrumbes, 2 deslizamientos antiguos y 4 reactivados (figura 7). El primero cubre un área de 21714.8 m², mientras que, los deslizamientos antiguos y reactivados abarcan un área de 951523.847 m².

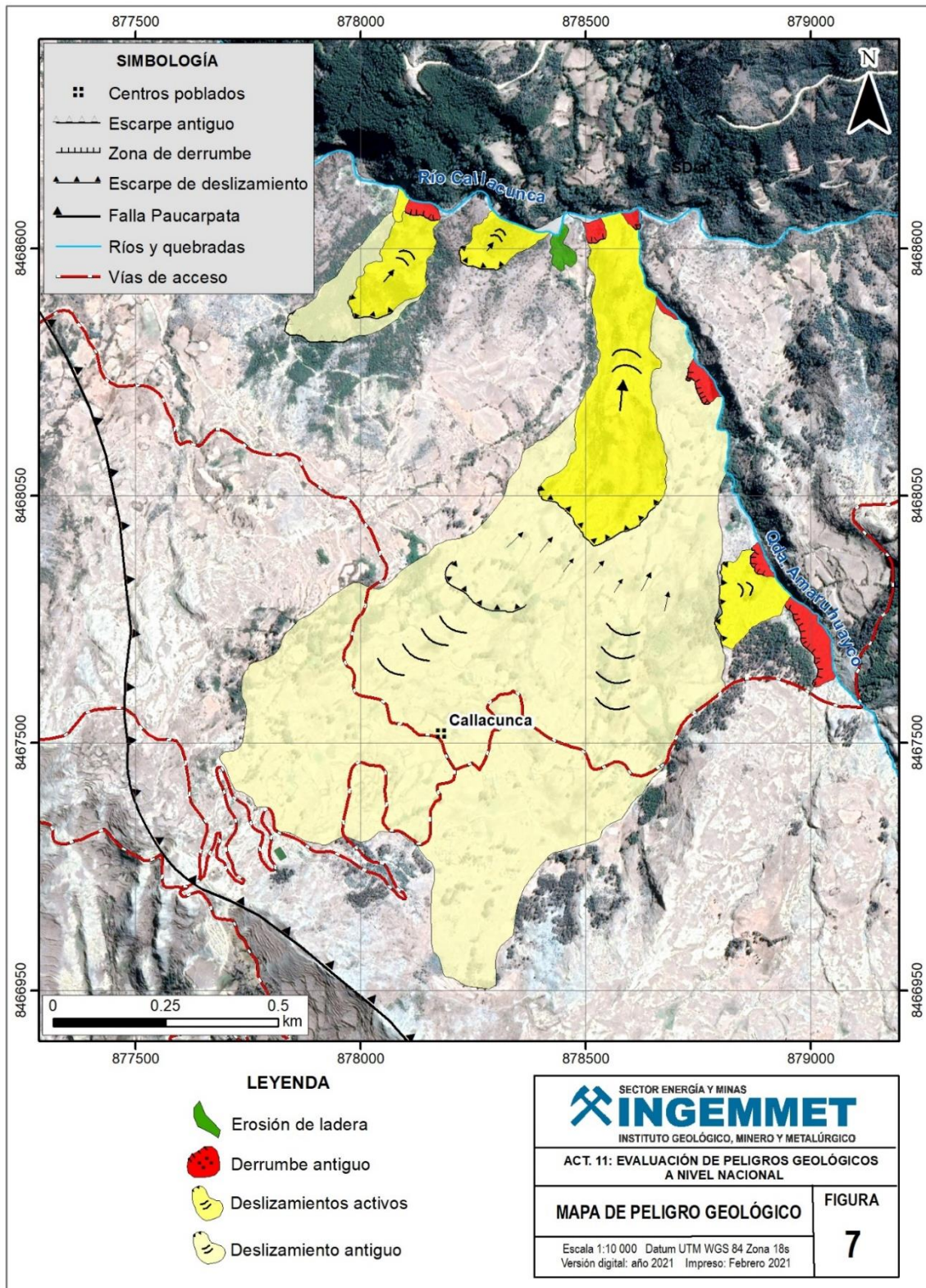


Figura 7. Cartografía de peligros geológicos del anexo Callacunca – comunidad de Sachac.

4.2. Deslizamientos antiguos en el anexo Callacunca

Según manifiestan los pobladores, desde los años ochenta el anexo de Callacunca – comunidad de Sachac se ve afectado por desplazamientos del terreno, con desniveles o saltos que varían de 0.5 m a 3 m de altura (figura 8).

4.2.1. Características visuales del evento 1

Las reactivaciones del antiguo deslizamiento en el anexo Callacunca presentan las siguientes características y dimensiones:

- Longitud promedio de la corona o cabecera del deslizamiento reactivado: 1.01 km
- Forma de la superficie de rotura: discontinuo - semicircular
- Diferencia de altura aproximada de la corona a la base del deslizamiento: 1.6 km
- Área del deslizamiento antiguo: 753264.79 m²
- Presencia de hasta tres familias de fracturas

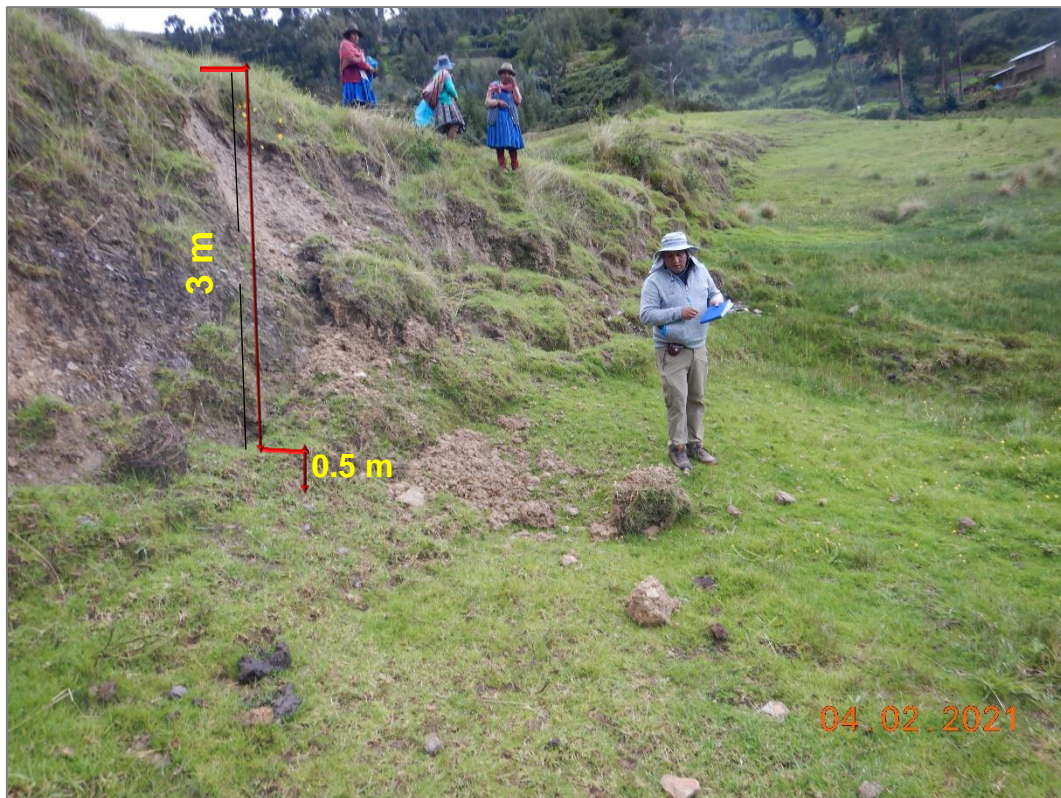


Figura 8. Vista de antiguos desplazamientos en el terreno del anexo Callacunca, con desniveles hasta de 3 m. Coordenadas UTM (WGS 84): 229582. E, 8469063 S a 3749 m s.n.m.

En el año 2020, se presentaron reactivaciones a manera de deslizamiento rotacional, con tres niveles de escarpe y salto principal de 3 m (figura 9). El escarpe principal de forma semicircular-elongado presenta una longitud aproximada de 230 m y una distancia de 750 m entre la escarpa y pie del deslizamiento.

En la zona media del deslizamiento, se observó deslizamientos en formación, con saltos de 2 m, sobre depósitos compuestos de arenas, arcillas y limos (figura 10).



Figura 9. Vista del escarpe de forma semicircular, reactivado, con un salto de 3 m., con coordenadas UTM (WGS 84): 229788 E, 8469342 N a 3619 m s.n.m.



Figura 10. Vista del deslizamiento reactivado (delimitado con líneas rojas), con escarpe de forma semicircular y 2 m de salto. Con coordenadas UTM (WGS 84): 229748 E, 8469280 S a 3625 m s.n.m.

4.2.2. Características visuales del evento reactivado

Actualmente, el deslizamiento reciente de Callacunca tiene las siguientes características y dimensiones (figura 11):

- 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: 750 m
- Área del deslizamiento: 41547.39 m²

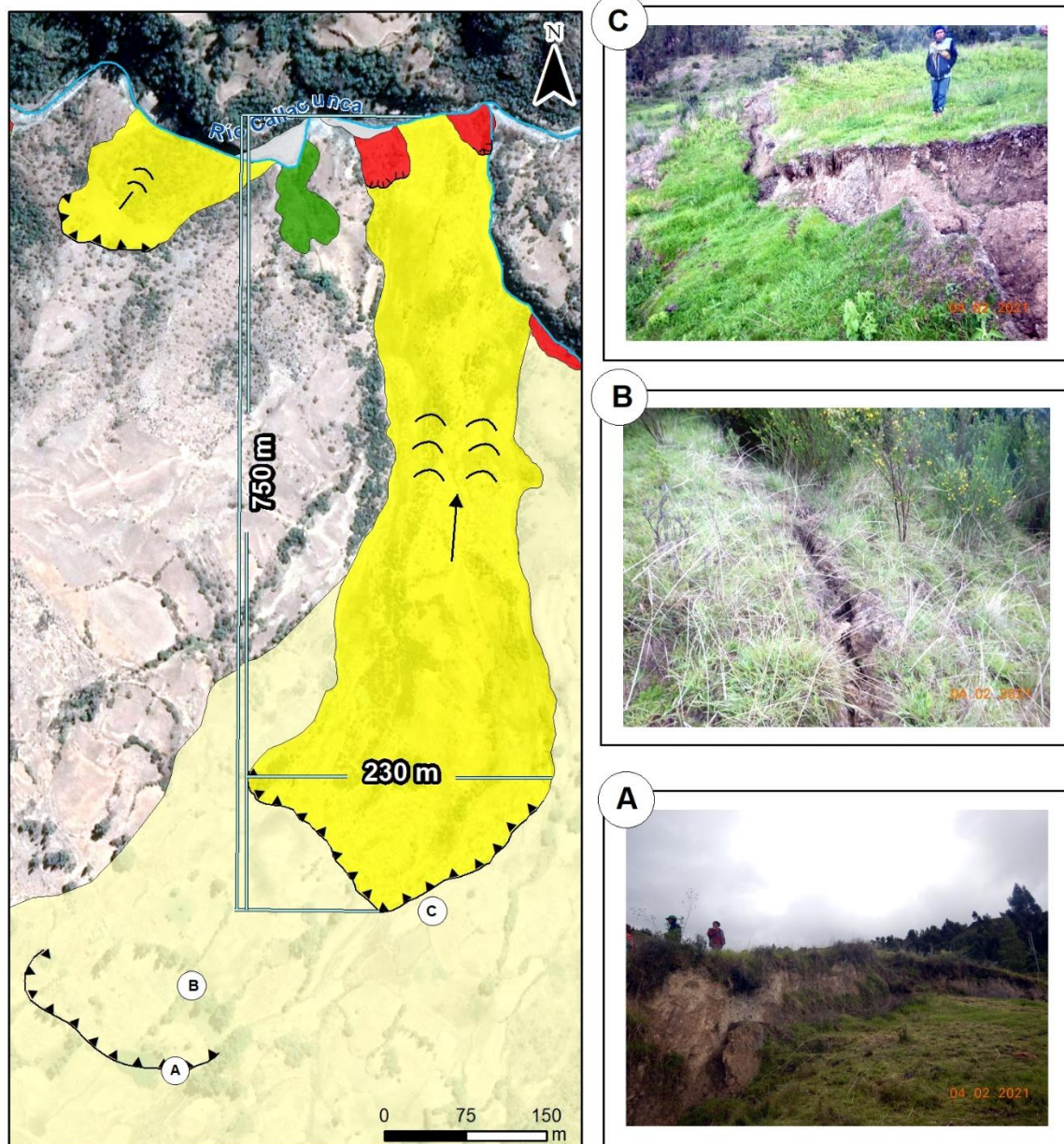


Figura 11. Vista del deslizamiento reactivado. A) Salto principal del deslizamiento. B) Agrietamientos longitudinales, con aperturas de hasta 1 m. C) Deslizamiento reactivado el año 2020.

Dicho deslizamiento rotacional reactivado presenta actividad retrogresiva, muestro de ello son los agrietamientos tensionales y desplazamientos de hasta 1 m de altura identificados en la zona posterior a la escarpa (figura 12 y 13). De continuar el avance retrogresivo del

deslizamiento, podría afectar a las viviendas asentadas a 120 m de distancia y vías de acceso a pueblos aledaños.

Por otro lado, el material desplazado sobre el cauce del río Callacunca podría represarlo, cuyo desembalse en forma de flujo de detritos, podría afectar viviendas, terrenos de cultivo y vías de acceso ubicados aguas abajo. Además, en su trayecto podría reactivar deslizamientos y derrumbes, incrementando su volumen, lo cual llegaría a interrumpir la vía Cusco-Sicuani.



Figura 12. Desplazamientos en el terreno (delimitado con flechas amarillas) de 0.3 m a 1 m. Con coordenadas UTM (WGS 84): 229455 E, 8469054 N a 3633 m s.n.m.



Figura 13. El deslizamiento rotacional reactivado presenta actividad retrogresiva, muestra de ello son los agrietamientos tensionales y desplazamientos de hasta 1 m de altura identificados en la zona posterior a la escarpa., con coordenadas (WGS 84): 229781 E, 8469433 N a 3611 m s.n.m.

4.3. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

- Alternancia de rocas de diferente competencia, de la formación Ananea y depósitos coluviales, el cual permite mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno, originando inestabilidad en el talud.
- Presencia de falla geológica, correspondiente al sistema Zurite-Cusco-Urcos-Sicuani, condiciona el substrato rocoso regularmente meteorizado y muy fracturado.
- Suelos inconsolidados (depósitos coluvio - deluviales), de fácil erosión - remoción ante precipitaciones pluviales intensas.

Factor geomorfológico

- La morfología del anexo Callacunca - comunidad de Sachac presenta laderas de pendientes medias (17°) a escarpadas (26°), 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 el anexo Callacunca - comunidad de Sachac.
- Presencia de agua subterránea (manantiales y ojos de agua) y nivel freático elevado (fotografía 4), 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.

4.4. Factores desencadenantes

- Según la clasificación climática de Koppen y Geiger, el distrito de Quiquijana presenta un clima frío y seco, con precipitaciones intensas entre los meses de noviembre a marzo, con precipitación promedio anual de 1296 mm el cual favorece la ocurrencia y/o reactivación de deslizamientos y derrumbes.

4.5. Otros factores antrópicos

- 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 (fotografía 5).



Fotografía 4. Manantiales captados para uso de riego. Con coordenadas UTM (WGS 84): 229143 E, 8468612 N a 3633 m s.n.m.



Fotografía 5. Canal de drenaje sin revestimientos ubicado en el cuerpo del antiguo deslizamiento compuesto. Coordenadas UTM (WGS 84): 229274 E, 8468662 N a 3450 m s.n.m.

5. CONCLUSIONES

1. En el año 2020, el antiguo deslizamiento compuesto, se reactivó con tres niveles de escarpe y salto principal de 3 m. El escarpe principal tiene forma semicircular-elongado presenta una longitud aproximada de 230 m y la distancia entre la escarpa y pie del deslizamiento es 750 m.
2. El deslizamiento reactivado presenta actividad retrogresiva, muestro de ello son los agrietamientos tensionales y desplazamientos de hasta 1 m de altura identificados en la zona posterior a la escarpa.
3. De continuar el evento de forma retrogresiva afectaría las viviendas asentadas a 120 m de distancia y vías de acceso a pueblos aledaños.
4. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta el anexo Callacunca - comunidad de Sachac, la zona se considera de **peligro muy alto** a deslizamientos y derrumbes.
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 regularmente meteorizado y muy fracturado debido a la presencia al sistema de fallas Zurite-Cusco-Urcos-Sicuani.
 - Suelos inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales), de fácil erosión - remoción ante precipitaciones pluviales intensas.
 - La morfología del anexo Callacunca – comunidad de Sachac presenta laderas de pendientes medias (17°) a escarpadas (26°), 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 la comunidad campesina de Huayllay.
 - Presencia de agua subterránea (manantiales), 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.
6. Los factores desencadenantes para la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes son las lluvias intensas, que se registran entre los meses de noviembre a marzo.

6. RECOMENDACIONES

1. Reubicar temporalmente a la población del anexo Callacunca al sector denominado Witto Pata (227907, 8470261); posteriormente, realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR) de la zona propuesta, lo que determinará el reasentamiento definitivo.
2. Implementar sistemas de drenaje superficial y subdrenaje en el anexo Callacunca-comunidad de Sachac, 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, como los indicados en el Anexo 2. Estas medidas deben ser diseñadas por un especialista.
3. Reforestar las laderas desprovistas de vegetación de las montañas que circunscriben el anexo Callacunca - comunidad de Sachac, como los indicados en el Anexo 2.
4. Realizar charlas de sensibilización y concientización sobre peligro y riesgo a las que se encuentran expuestos los poblados ubicados en la comunidad de Sachac.



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.; Taife, 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 14 y 15), 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).

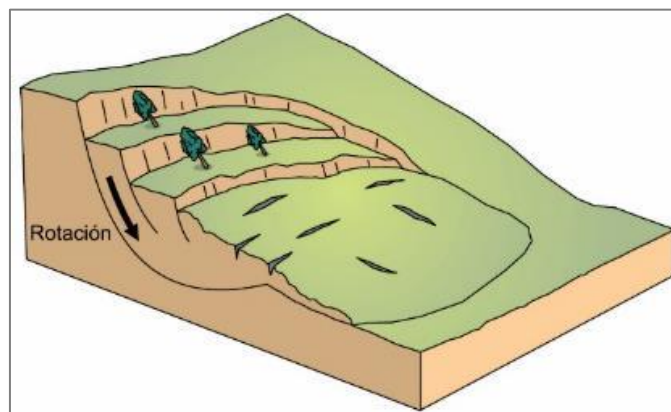


Figura 14. Esquema de un deslizamiento rotacional (tomado del Proyecto Multinacional Andino, 2007)

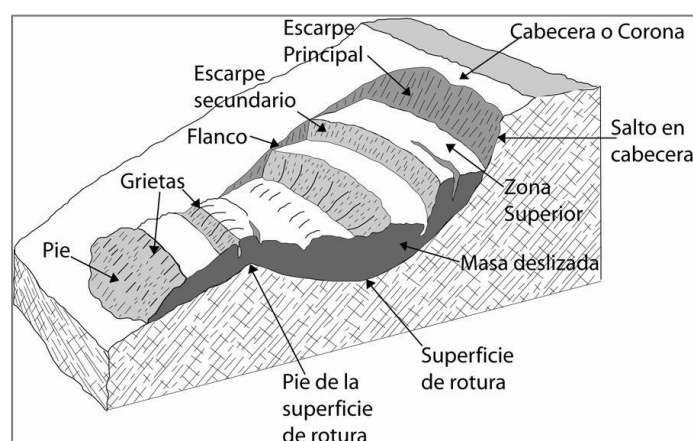


Figura 15. Partes de un deslizamiento rotacional. Fuente: Suarez J., 2009.

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
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 16 y 17). 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.

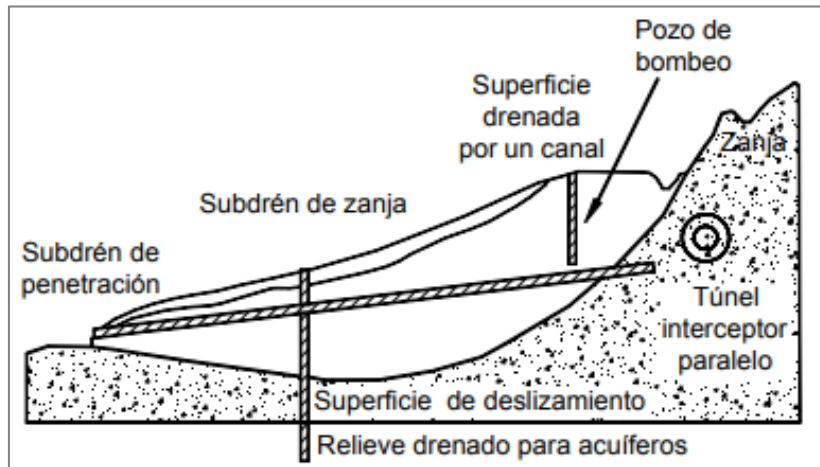


Figura 16. Sistemas de subdrenaje (Suárez, 1998).

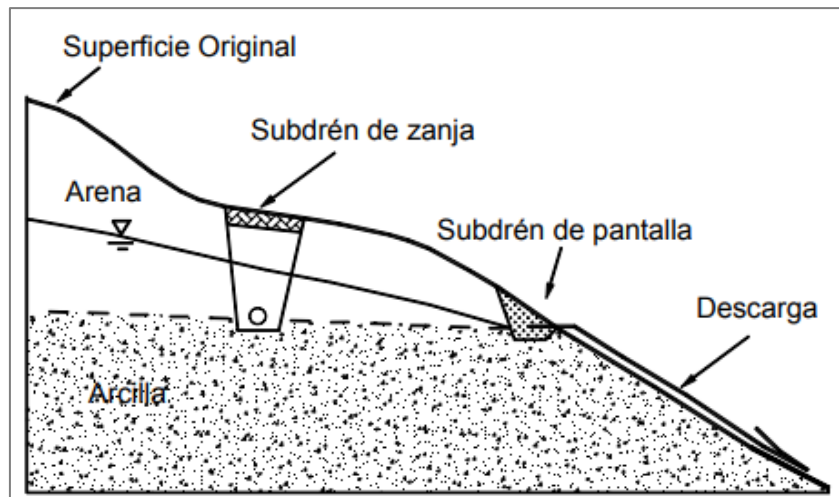


Figura 17. Esquema de un subdrenaje interceptor y un dren en el afloramiento (Suárez, 1998).