SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico Nº A7178

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR LA MERCED

Departamento Apurímac
Provincia Andahuaylas
Distrito Andarapa

SETIEMBRE
2021

VERSIÓN N° 001 CARÁTULA DE INFORME TÉCNICO - INGEMMET / 04.01.19

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR LA MERCED

(Distrito de Andarapa, provincia de Andahuaylas, departamento Apurímac)

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 La Merced. Distrito de Andarapa, provincia de Andahuaylas, departamento Apurímac. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7178, 31 p.

ÍNDICE

RESUMEN 1
1. INTRODUCCIÓN 2
1.1. Objetivos del estudio 2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores 2
1.3. Aspectos generales 3
1.3.1. Ubicación 3
1.3.2. Accesibilidad 3
1.3.3. Clima 4
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS 4
2.1. Unidades litoestratigráficas 4
2.1.1. Formación Vilquechico (Ks-vi) 4
2.1.2. Depósito coluvial -deluvial (Q-cd) 5
2.1.3. Depósito antrópico (Q-dd) 5
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS 6
3.1. Pendientes del terreno 6
3.2. Unidades geomorfológicas 6
3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional 7
3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional 8
4. PELIGROS GEOLÓGICOS 8
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa 8
4.1.1. Deslizamiento D-1 10
4.1.2. Deslizamiento D-2 12
4.1.3. Represamiento 14
4.2. Factores condicionantes 16
4.3. Factores desencadenantes 16
4.4. Otros factores antrópicos 16
5. CONCLUSIONES 17
6. RECOMENDACIONES 19
7. BIBLIOGRAFÍA 20
ANEXO 1: MAPAS 21
ANEXO 2: GLOSARIO 24
ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN 26

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por deslizamiento, realizado en el sector La Merced, perteneciente a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Andarapa, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac. 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 (local, regional y nacional).

Los peligros geológicos identificados, corresponden a movimientos en masa tipo derrumbes (4), 2 deslizamientos activos (D-1 y D-2) y 4 antiguos, todos ellos abarcando un área aproximada de 2549435.63 m^2, que afectaron 3 viviendas, torres de alta tensión, un reservorio de agua, terrenos de cultivo y aproximadamente, 1.23 km de trocha carrozable

Estos eventos se han desarrollado sobre rocas sedimentarias, de lutitas color violáceas, limolitas beige, intercaladas por calizas y estratos de areniscas blancas muy fracturadas y moderadamente meteorizadas de la Formación Vilquechico; las cuales se encuentran coberturadas por depósitos coluvio deluviales (incluye depósito de deslizamiento), compuesto por bloques angulosos a subangulosos, inmersos en una matriz arcillo - arenoso.

El contexto geomorfológico está conformado por geoformas de origen tectónico-degradacional (montañas en rocas 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).

Las características antes mencionadas, se consideran como factores condicionantes que originan la reactivación de deslizamientos en el sector La Merced, caracterizados por un substrato rocoso muy fracturado, que permite mayor infiltración y retención de agua superficial al terreno; además, la presencia de suelos inconsolidados (depósitos coluvio - deluviales), dispuestos en laderas de pendientes medias (17º) a escarpadas (35º), de fácil erosión y remoción, que ante precipitaciones pluviales intensas y prolongadas se remueven fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía. Finalmente, la presencia de agua subterránea (manantiales y ojos de agua), también saturan el terreno, cuya circulación de agua, está ligado a las características estructurales del macizo rocoso (fracturas) y la presencia de depósitos superficiales que los cubren.

Cada año, en temporada lluviosa, los deslizamientos D-1 y D-2 se reactivan, presentando agrietamientos y desplazamientos que varían de 0.5 a 3 m de altura en promedio. El 14 abril del 2021, nuevamente, el deslizamiento con origen en la ladera noreste del cerro La Merced se reactivó, cuya masa desplazada represó la quebrada Lahuayoc. Según la clasificación de Costa y Schuster (1998) el represamiento de tipo II, presenta forma irregular, con 10 m de ancho, 15 m de longitud, y se estima 3 m de atura. De continuar el incremento del nivel de agua de la presa, podría afectar a la vivienda asentada en la margen derecha de la quebrada referida.

Por lo tanto, este sector, se considera de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes que pueden ser reactivados en temporada de lluvias intensas, excepcionales y/o prolongadas.

Finalmente, se recomienda reubicar las 3 viviendas asentadas en el cuerpo y pie del deslizamiento, hacia el sector Huancas (676348 E, 8509995 N).

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 del Gobierno Regional de Apurímac, según Oficio N° 078-2021-GRAP/12.02/DRDNyDC, en el marco de nuestras competencias se realiza una evaluación de peligros geológicos por deslizamientos y derrumbes, ocurridos en abril del 2021, que afectó 3 viviendas, áreas de cultivo y un aproximado de 1.23 km de trocha carrozable.

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 21 de mayo 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 Andarapa 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 sector La Merced.
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 distrito de Andarapa, se tienen:

A) Según el mapa nacional de susceptibilidad a movimientos en masa (Geocatmin, 2012), presentado en un mapa a escala 1: 100 000, la zona de estudio presenta de media a muy alta susceptibilidad (Anexo1: Mapa 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.

B) En la "Memoria descriptiva de actualización semidetallado del cuadrángulo de Pacaypata (27-p3) (Arcos & Soaña, 2019); describe la geología y geomorfología a

escala 1: 50 000, resaltando cambios sobre la estratigrafía (Formación Vilquechico) y la conformación de unidades geomorfológicas de montañas modeladas en rocas sedimentarias.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El sector La Merced se encuentra localizado a 25.9 km al noroeste de la laguna Pacucha. Políticamente pertenece al distrito de Andarapa, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac (figura 2); en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 s) (cuadro 1):

Cuadro 1. Coordenadas del sector La Merced

N°	*UTM - WGS84 - Zona 19L*		*Geográficas*	
	Este	*Norte*	*Latitud*	*Longitud*
1	675541	8510770	-13.46	-73.37
2	680017	8510617	-13.46	-73.33
3	680221	8507389	-13.49	-73.33
4	675478	8507972	-13.49	-71.37
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	677109	8509317	-13.47	-73.36

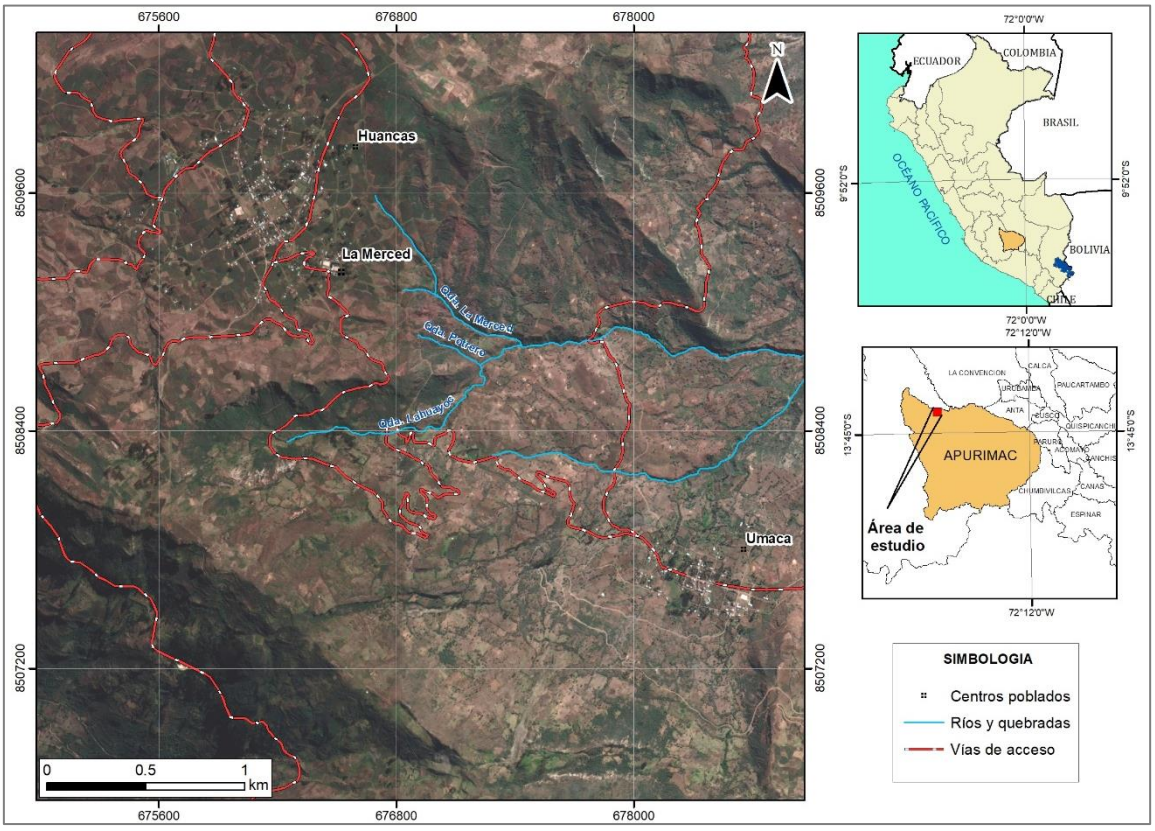


Figura 2. Mapa de ubicación del sector La Merced, distrito de Andarapa, provincia de Andahuaylas, departamento Apurímac.

1.3.2. Accesibilidad

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 sector La Merced

Ruta	*Tipo de vía*	*Distancia (km)*	*Tiempo estimado*
Cusco - Andahuaylas	Carretera asfaltada	343	7h 20 minutos
Andahuaylas - Andarapa	Camino carrozable	43	1h 10 minutos
Andarapa-La Merced	Camino carrozable	15	20 minutos

1.3.3. Clima

Según la clasificación de Thornthwaite, el área evaluada corresponde a un clima semiárido o seco y cálido, con temperaturas promedio anual máxima de 20 °C, mínima de 5 °C y la temperatura promedio anual media es 12 °C. Las precipitaciones son constantes entre los meses de noviembre y marzo, alcanzan un umbral de 193 mm.

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi, 2021), en la estación meteorológica Andahuaylas, en el mes de abril, entre el 07 al 11, se registró 46.9 mm acumulados de precipitación pluvial, lo que conllevó a la reactivación de los deslizamientos D-1 y D-2.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico en la zona de evaluada se desarrolló en base a la carta geológica de Pacaypata – hoja 27p3 (Arcos, 2019), a escala 1/50 000, donde se presentan rocas sedimentarias del Cretácico superior (Ks-vi) y depósitos Cuaternarios (antrópicos, coluviales y de deslizamientos), éstos últimos a través de la cartografía y en base a la interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas y observaciones de campo se completa en el mapa geológico, presentado en el mapa 2: Anexo 1.

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona evaluada y alrededores son de origen sedimentario, correspondiente a la Formación Vilquechico (lutitas color violáceas, limolitas beige intercaladas por calizas y estratos de areniscas blancas). Estas unidades se encuentran coberturadas por depósitos antrópicos, coluvio – deluviales (depósito de deslizamiento) que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad.

2.1.1. Formación Vilquechico (Ks-vi)

Aflora ampliamente entre las localidades de La Merced, Huancas y Umaca, y sur de las localidades Misque Yacco, Andarapa y Kaquiabamba. Compuesto por lutitas color violáceas, limolitas beige, intercaladas por calizas y estratos de areniscas blancas, presentando estratos con laminación paralela y plana; varían el grosor de los estratos de grueso (0.5 a 2 m) a delgados (0.10 a 0.50 m); y sobreyace al Grupo Tarma y Copacabana (Arcos, 2019

En el sector La Merced, el afloramiento, con estratificación 78º NW, en contra de la pendiente (fotografía 1), se encuentra muy fracturado (cuadro 3) y moderadamente meteorizado. Ello generó bloques sueltos de hasta 0.6 m, dispuestos en el cuerpo del deslizamiento activo.

Cuadro 3. Medidas de fracturamiento en afloramiento del sector La Merced

Rumbo	**Buzamiento**
N 34º	78º NW
N 91º	65º NE

N 93º	24º SE

Fotografía 1. Vista de areniscas feldespáticas, lutitas color violáceas, limolitas beige intercaladas por calizas y estratos de areniscas blancas. Coordenadas UTM (WGS 84): 677031 E, 8509451 N a 3087 m s.n.m

2.1.2. Depósito coluvial -deluvial (Q-cd)

Se encuentran dispuestos de forma caótica al pie de las laderas de los cerros que circunscriben las quebradas Lahuayoc, Potrero y La Merced, debido a la acción de la gravedad y a las aguas de escorrentía superficial. Están compuestos por materiales inconsolidados de bloques de formas angulosas a subangulosas, inmersos en una matriz arcillo - arenoso.

Dentro de esta clasificación se considera a los depósitos de deslizamientos (Q-dd), localizados en la ladera noreste del cerro La Merced (fotografía 2).

2.1.3. Depósito antrópico (Q-dd)

Antropógeno o antrópico, es un término utilizado en relación a la actividad que genera el ser humano en la superficie terrestre.

Desde el punto de vista geotécnico, lo define como un terreno que ha sido modificado por el hombre. Para el caso del área de estudio está asociado a los lugares donde se modificó el terreno mediante cortes de talud (cuyo material de desmonte es vertido sobre el cuerpo del deslizamiento), para la construcción de nuevas viviendas.

Fotografía 2. Depósito de deslizamiento, localizado en la ladera noreste del cerro La Merced. Conformado por bloques de formas angulosas y gravas; inmersos en matriz arcillo - arenoso.

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 el mapa 3 (Anexo 1), 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 (5º-15º) a inclinados (15°-25°), con un cambio abrupto a terrenos de pendiente muy fuerte (>45º).

Las laderas que circunscriben las quebradas Lahuayoc, Potrero y La Merced presentan pendientes que varían de 17º a 35º, este último, con inclinación mayor del orden 25°, facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas.

3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas (Anexo 1: Mapa 4), 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 Apurímac, a escala 1/ 1 000 000 (Ingemmet, 2012).

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 sedimentarias (RM-rs): Relieve modelado en secuencias de la Formación Vilquechico, conformada por lutitas color violáceas, limolitas beige, intercaladas por calizas y estratos de areniscas blancas. Las montañas que cubren gran parte de la zona de estudio, presentan cimas redondeadas y largadas, cuyas laderas presentan pendientes que varían de 17° a 35° (figura 2).

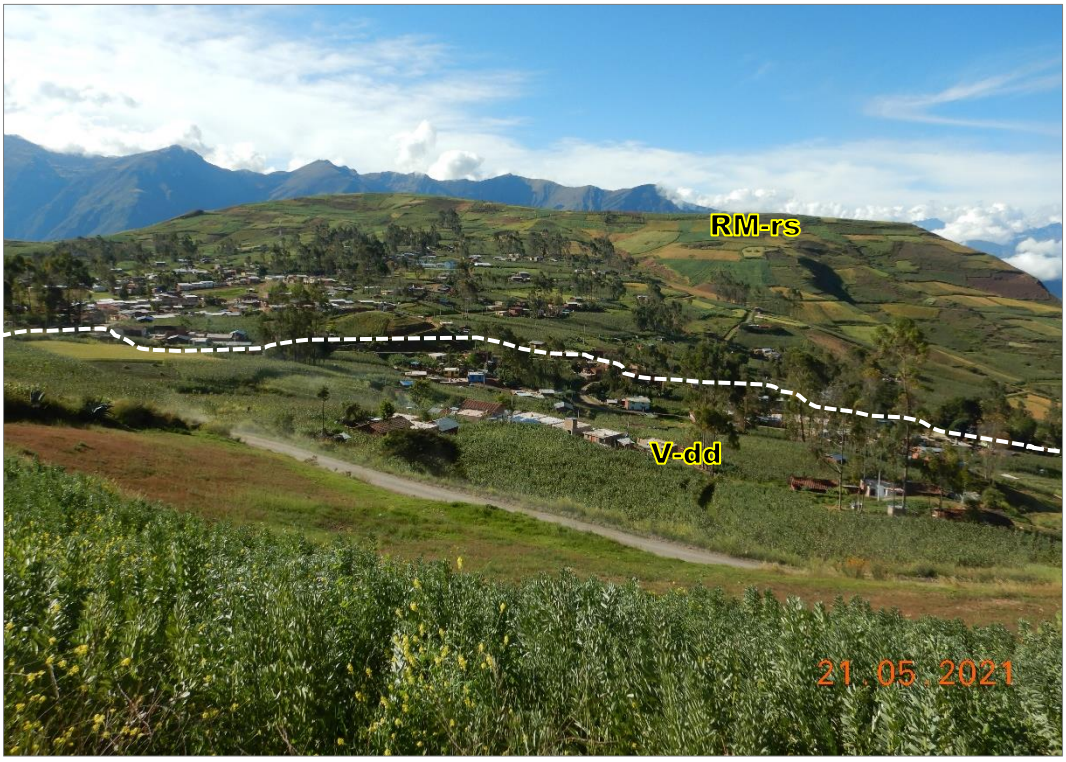


Figura 2. Vista al noreste del sector La Merced, montañas modeladas en rocas sedimentarias (RM-rs). Coordenadas UTM (WGS 84): 676915 E, 8510122 N a 3223 m s.n.m

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 las quebradas Lahuayoc, Potrero y La Merced.

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.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos, 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 del sector La Merced, del cual se movilizó cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de las quebradas Lahuayoc, Potrero y La Merced, generando el represamiento en la quebrada Lahuayoc.

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

El sector La Merced presenta una geodinámica muy activa, representada por 4 derrumbes, 4 deslizamientos antiguos y 2 reactivados (Anexo 2: Mapa 5). El deslizamiento activo principal D-1 (figura 4), posee un área de 117731.2 m^2, mientras que, los deslizamientos antiguos abarcan un área de 2332171.03 m^2.

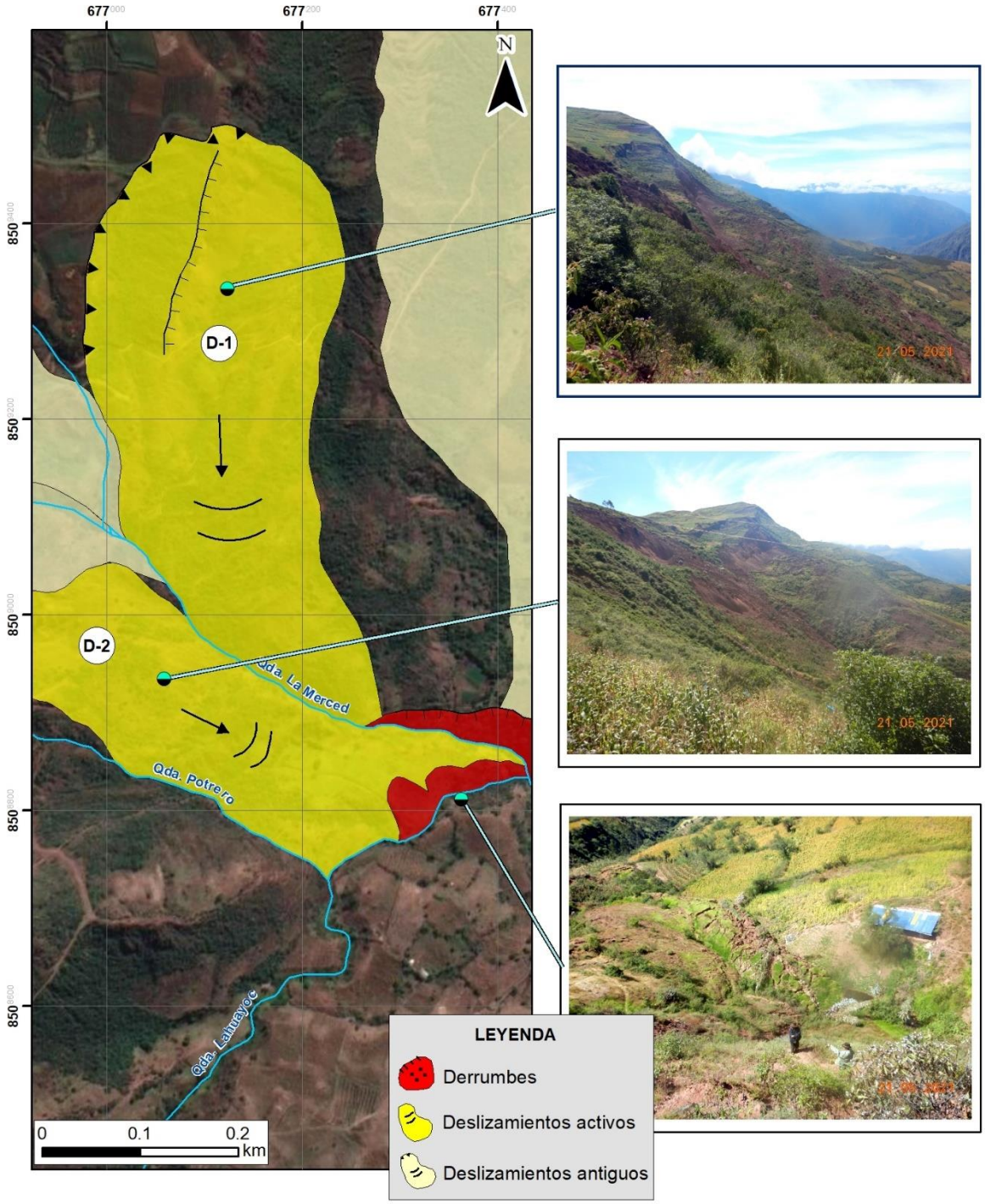


Figura 4. Deslizamientos activos en la ladera noreste del cerro La Merced. Al pie del deslizamiento se observó represamiento de la quebrada Lahuayoc.

Los deslizamientos D-1 y D-2, se desarrollaron sobre rocas sedimentarias de la Formación Vilquechico, conformada por areniscas feldespáticas muy fracturadas, lutitas color violáceas, intercaladas por calizas y estratos de areniscas blancas, con estratificación de 78º NW, en contra de la pendiente (fotografía 1). El afloramiento se encuentra coberturado por depósitos coluvio - deluviales y antrópicos.

Así mismo, los deslizamientos se desarrollaron sobre laderas con pendientes que varían de 17º a 35º, disectados por una red de drenaje, resaltando principalmente las quebradas Potrero y La Merced.

Según manifiestan los pobladores, desde hace 12 años, los deslizamientos D-1, y D-2, localizados, aproximadamente, a 290 m de La Merced (fotografía 2), se reactivan, afectando alrededor de 3 viviendas, 1.23 km de vías de acceso (trocha carrozable que conduce a pueblos aledaños) y terrenos de cultivo de papa, habas, maíz, etc. Cabe mencionar que, en el sector La Merced cuenta con alrededor de 90 viviendas.

A continuación, se describe y caracteriza detalladamente los eventos D-1 y D-2 mencionados en el párrafo anterior.

4.1.1. **Deslizamiento D-1**

El deslizamiento de dirección sureste, es producto de la reactivación de un evento antiguo, tipo rotacional. Presenta un escarpe de forma semicircular (figura 5A), con un ancho de 0.23 km y una distancia desde la corona al pie del deslizamiento de 0.6 km. Además, en la parte central de la corona, se evidenció 1.2 m de salto (figura 5B). En el flanco derecho se registró 1 m de desplazamiento.

El 14 de abril del 2021, el deslizamiento, nuevamente se reactivó, cuyo material compuesto por bloques angulosos de 1 m en promedio, arenas y arcillas, se desplazó cuesta abajo, rellenando el cauce de la quebrada Huahuarqui, con un espesor aproximado de 15 m.

En el cuerpo del deslizamiento se observó muro de gaviones, con una altura aproximada de 1 m (figura 6), en malas condiciones y dispuestos a ceder cuesta abajo.

En la parte alta del deslizamiento, el sustrato rocoso se encuentra muy fracturado, dejando bloques sueltos disponibles de hasta 0.8 m, cuya pendiente de 26º facilitaría la caída de los mismos, cuesta abajo. Del mismo modo, en la zona media, se observó dos puntos de surgencias de agua, ello debido a la infiltración de agua el subsuelo, por el fracturamiento de la roca (figura 7).

Por otro lado, el deslizamiento presenta actividad retrogresiva, muestra de ello son los agrietamientos longitudinales ubicados en la parte posterior a la corona, con aperturas visibles de 0.5 m en promedio y profundidades de 0.6 m (figura 2).

Características visuales del evento 1

El deslizamiento activo D-1 activo del sector La Merced presenta las siguientes características y dimensiones:

- Longitud promedio de la corona o cabecera del deslizamiento reactivado: 0.23 km.
- Forma de la superficie de rotura: discontinuo – semicircular.
- Diferencia de altura aproximada de la corona a la base del deslizamiento: 0.6 km.
- Área del deslizamiento antiguo: 117731.2 m^2
- Presencia de hasta tres familias de fracturas en dirección: NW, NE y SE.

Figura 5. A) Vista al noreste del cerro La Merced, escarpa del deslizamiento activo D-1, de forma semicircular-discontinuo. B) Presenta una corona de 0.23 km y un salto de 1.2 en la parte central. Coordenadas UTM (WGS 84): 677033 E, 8509454 N, a 3087 m s.n.m..

Figura 6. Vista de muro de gaviones, localizado en el cuerpo del deslizamiento activo D-1 de La Merced. Coordenadas UTM (WGS 84): 677044 E, 8509438 N a 3079 m s.n.m.

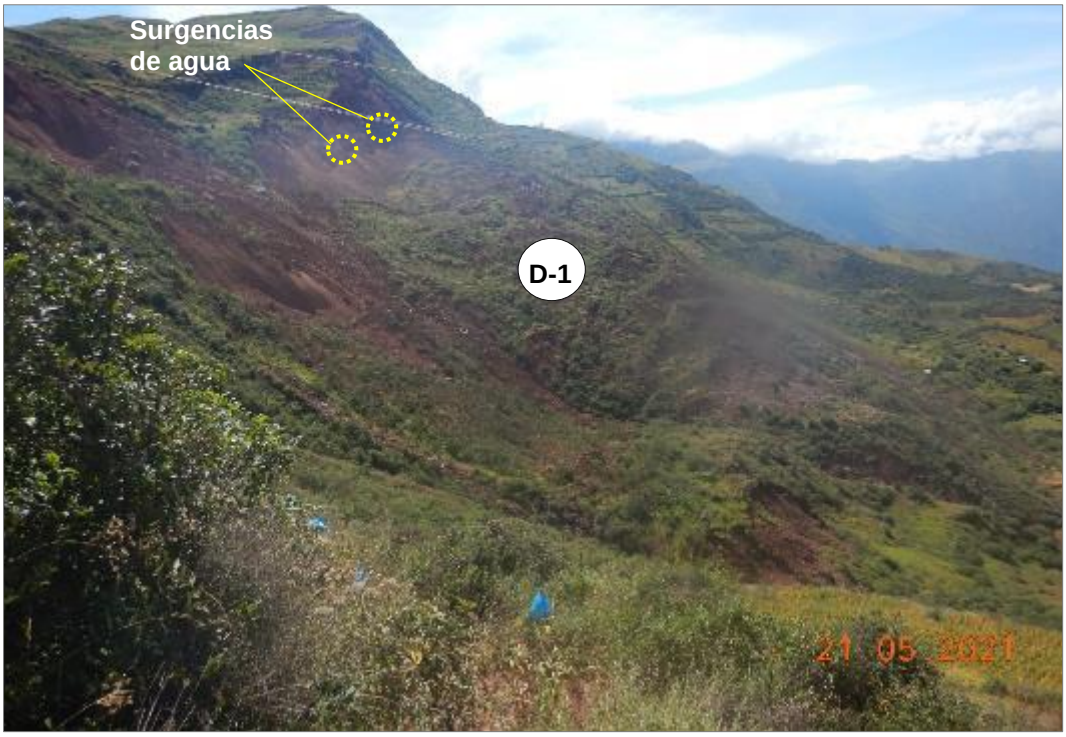


Figura 7. Vista de los puntos de surgencias de agua en el cuerpo del deslizamiento D-1. Además, se aprecia el depósito de deslizamiento.

4.1.2. **Deslizamiento D-2**

Presenta un área de 69813.7 m^2, en dirección sureste (fotografía 3). Según manifiestan los pobladores, este evento, se reactiva cada año en temporada de lluvias intensas, presentando desplazamientos que varían de 0.5 a 3 m de altura (fotografía 4).

Actualmente, dicho deslizamiento, presenta una escarpa de forma semicircular, con una corona aproximada de 150 m y una distancia de 0.50 km entre la corona y pie del deslizamiento. Se desarrolló sobre ladera de pendiente empinada (35º), conformada por bloques angulosos de 1.5 m de diámetro, arenas y arcillas. Ello condicionó la presencia de grietas tensionales, con aperturas de hasta 1 m (figura 8).

En el cuerpo del deslizamiento, parte media, los árboles no presentan inclinación alguna. Sin embargo, en la parte baja se observó árboles inclinados, en dirección sureste, bloques basculados y agrietamientos longitudinales y transversales, este último con apertura de hasta 8 m y una profundidad de 10 m en promedio.

La presencia de agrietamientos y desplazamientos, con desniveles de hasta 0.5 m (figura 9 A, B) en la trocha carrozable que conduce al poblado de Umaca (zona media del deslizamiento), nos refieren una actividad progresiva del deslizamiento. De continuar su avance progresivo afectaría a la vivienda asentada cuesta abajo (figura 10) y la torre de alta tensión (figura 11).

Por otro lado, en la quebrada El Potrero, margen izquierda se observó desplazamientos en dirección suroeste, de hasta 3 m. El material proveniente de la parte alta relleno por completo el cauce de la quebrada.

Fotografía 3. Vista del deslizamiento reactivado, en dirección sureste con escarpe de forma semicircular. Con coordenadas UTM (WGS 84): 676843 E, 8508732 S a 3046 m s.n.m.

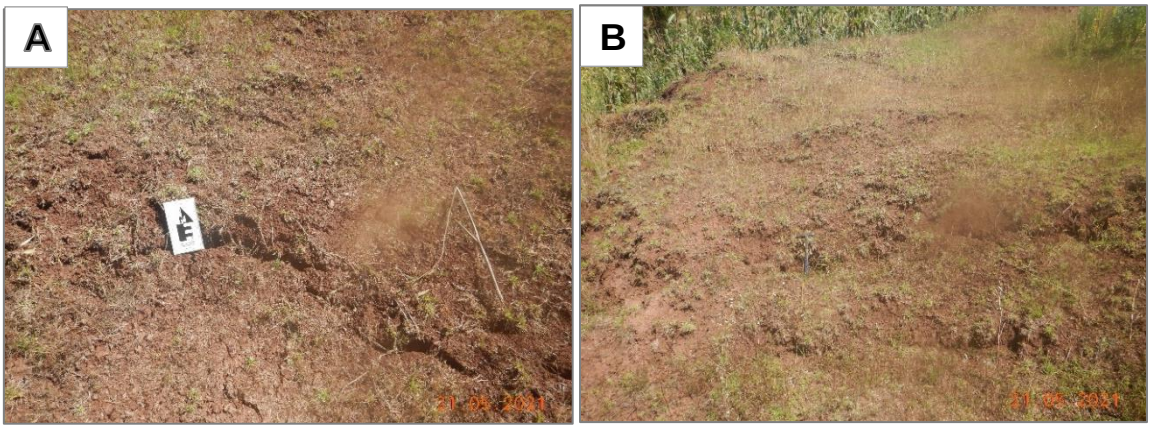


Figura 8. A, B) Vista de agrietamientos en el cuerpo del deslizamiento. B) Desplazamientos de hasta 1 m de altura identificados en la zona posterior a la escarpa. Con coordenadas (WGS 84): 229781 E, 8469433 N a 3611 m s.n.m.

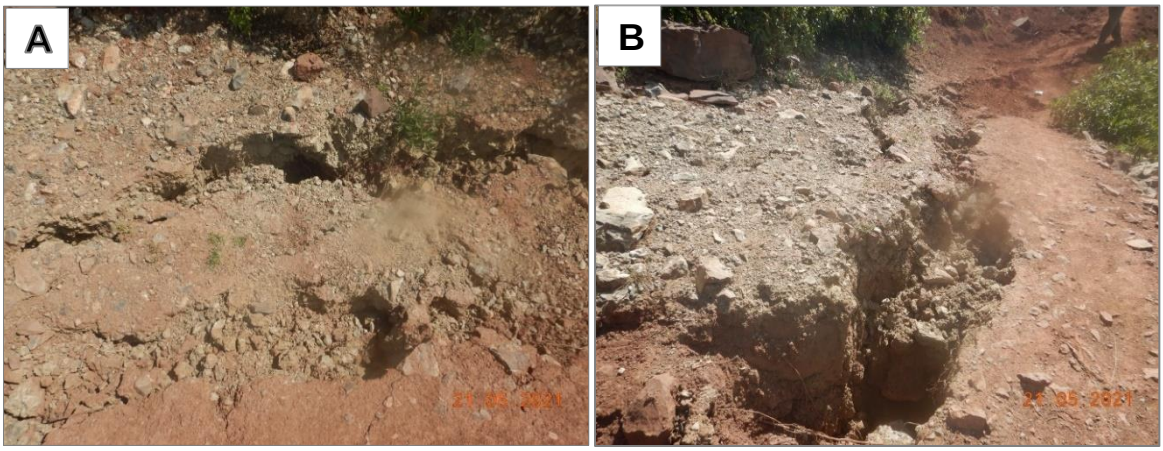


Figura 9. A, B) Agrietamientos longitudinales y desplazamientos de hasta 1 m en la trocha carrozable que conduce a Umaca y pueblos aledaños.

Figura 10. Vista de viviendas localizadas en el cuerpo del deslizamiento. Con coordenadas UTM (WGS 84): 676893 E, 8509095 N a 3038 m s.n.m.

Figura 11. Vista de la torre de alta tensión próxima a la zona de deslizamiento. Con coordenadas UTM (WGS 84): 676832 E, 8508951 N a 3042 m s.n.m.

Represamiento

Según la clasificación de Costa y Schuster (1998) el represamiento de tipo II, presenta forma irregular, con 10 m de ancho y 15 m de longitud; se estima 3 m de atura. De continuar el incremento del nivel de agua de la presa, podría afectar a la vivienda asentada en la margen derecha de la quebrada referida (figura 12).

Según las condiciones del represamiento, se da por filtración, es decir, al pie de la presa se evidenció infiltración de agua. Además, la masa desplazada en forma de lóbulo al pie del deslizamiento se encuentra totalmente craquelado, con aperturas de 6 m y una profundidad hasta de 12 m (figura 13).

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. Vista del represamiento, con 10 m de ancho y 15 m de longitud; se estima 3 m de atura. De continuar el incremento del nivel de espejo de agua de la presa, podría afectar a la vivienda asentada en la margen derecha de la quebrada referida.

4.2. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

- Substrato rocoso de alternancia de rocas de diferente competencia (lutitas color violáceas, limolitas beige, intercaladas por calizas y estratos de areniscas blancas), de la Formación Vilquechico, coberturado por depósitos coluviales, permiten mayor infiltración y retención de agua de lluvia en el terreno, originando inestabilidad en el talud. Los primeros se muestran muy fracturados y moderadamente meteorizados, y los suelos inconsolidados (depósitos coluvio – deluviales, de deslizamiento), de fácil erosión y remoción ante intensas y prolongadas precipitaciones pluviales.

Factor geomorfológico

- Morfología de laderas con pendientes medias (17º) a escarpadas (35º) que circunscriben las quebradas Lahuayoc, La Merced y Potrero. Sobre las superiores a 35°, permiten que el material suelto disponible en el cuerpo del deslizamiento se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad.

Factor hidrológico - hidrogeológico

- Presencia y acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas que circunscriben las quebradas Lahuayoc, La Merced y Potrero, especialmente, sobre la ladera noreste, donde se desarrolló de los deslizamientos.
- Presencia de agua subterránea, localizando 2 puntos de surgencias, en la ladera noreste del cerro La Merced (677128 E, 8509448 N) con nivel freático elevado los cuales saturan el terreno.
  *La circulación del agua está ligado a las características estructurales del macizo rocoso (fracturas) y la gran cobertura de depósitos superficiales que los cubren.

4.3. Factores desencadenantes

- Según Senamhi (2021), en la estación meteorológica Andahuaylas, en el mes de abril, entre el 07 al 11, se registró 46.9 mm acumulados de precipitación pluvial, lo que conllevó a la reactivación de los deslizamientos D-1 y D-2.

4.4. Otros factores antrópicos

- Los cortes de talud en el cuerpo del deslizamiento, para la habilitación de trochas carrozables, generó mayor inestabilidad, y coadyuvó a la reactivación de los deslizamientos.

5. CONCLUSIONES

1. En el sector La Merced se identificó cuatro (4) derrumbes, dos (2) deslizamientos activos y cuatro (4) antiguos, abarcando un área aproximada de 2549435.63 m^2, los cuales han ido afectando viviendas (3 viviendas), terrenos de cultivo y 1.23 km de trocha carrozable que conduce a pueblos aledaños.

2. Los deslizamientos D-1 y D-2, se han originado sobre rocas sedimentarias de la Formación Vilquechico, conformada por areniscas feldespáticas, lutitas color violáceas, limolitas beige intercaladas por calizas y estratos de areniscas blancas. En cuya parte media se encuentra muy fracturado y moderadamente meteorizado.

3. Desde hace más de una década (12 años), la ocurrencia de deslizamientos es recurrente, mostrándose a los eventos D-1 y D-2 como reactivaciones que han presentado agrietamientos y desplazamientos que varían de 0.5 a 3 m de altura en promedio. De continuar el avance retrogresivo del deslizamiento afectaría a las viviendas del sector La Merced, donde se asientan alrededor de 90 familias, estructuras de torre de Alta tensión y un reservorio de agua.

4. La masa desplazada del Deslizamiento D-2, ocurrido el 14 abril del 2021, con origen en la ladera noreste del cerro La Merced, represó la quebrada Lahuayoc. Según la clasificación de Costa y Schuster (1998) el represamiento de tipo II (forma del represamiento), presenta forma irregular, con 10 m de ancho, 15 m de longitud y 3 m de atura, podría afectar a la vivienda asentada en la margen derecha de la quebrada referida.

5. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el sector La Merced es considerada como **zona de peligro Muy Alto** a la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes.

6. Los peligros de deslizamientos y derrumbes ocurridos en la zona, están condicionados por los siguientes factores:

    - Alternancia de rocas de diferente competencia (lutitas, limolitas beige, intercaladas por calizas y estratos de areniscas blancas), de la Formación Vilquechico, coberturado por depósitos coluviales, permiten mayor infiltración y retención de agua de lluvia en el terreno, originando inestabilidad en el talud. Los primeros se muestran muy fracturados y moderadamente meteorizados.
    - Suelos inconsolidados (depósitos coluvio – deluviales, de deslizamiento), de fácil erosión y remoción ante intensas y prolongadas precipitaciones pluviales.
    - Morfología de laderas con pendientes medias (17º) a escarpadas (35º) que circunscriben las quebradas Lahuayoc, La Merced y Potrero. Sobre las superiores a 35°, permiten que el material suelto disponible en el cuerpo del deslizamiento se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad.
    - Presencia y acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas que circunscriben las quebradas Lahuayoc, La Merced y Potrero, especialmente, sobre la ladera noreste, donde se desarrolló los deslizamientos.
    - Presencia de agua subterránea, localizando 2 puntos de surgencias, en la ladera noreste del cerro La Merced, con nivel freático elevado los cuales saturan el terreno.

7. Los factores desencadenantes para la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes son las lluvias intensas. Según Senamhi (2021), en el mes de abril, entre el 07 al 11, se registró 46.9 mm acumulados de precipitación pluvial, lo que conllevo a la reactivación de los deslizamientos D-1 y D-2.

6. RECOMENDACIONES

NO ESTRUCTURALES

1. Reubicar las viviendas ubicadas en el cuerpo y pie del deslizamiento, hacia el sector Huancas (676348 E, 8509995 N); debido a la presencia de deslizamientos y derrumbes de gran magnitud. Además, considerar reubicar las viviendas afectadas del sector La Merced (localizadas en la parte alta), por el avance retrogresivo del deslizamiento, previo estudio de un EVAR.

2. Realizar el desagüe del cauce represado de la quebrada Lahuayoc. Ello deberá ser supervisado por un técnico especialista.

3. Restringir la construcción de viviendas en áreas consideradas como zona de peligro Muy Alto. Controlar y supervisar el paso peatonal y el uso de suelo como área agrícola u otra actividad.

4. Controlar y supervisar los cortes de talud realizados en el cuerpo del deslizamiento y alrededores, a fin de evitar la generación de mayor inestabilidad.

5. Hacer partícipe a la población de la comunidad en el monitoreo visual y constante del avance retrogresivo de los deslizamientos. Asimismo, ante un nuevo represamiento por la reactivación de los derrumbes o deslizamientos

6. Reforestar las laderas desprovistas de vegetación del cerro La Merced.

7. A las autoridades locales se recomienda, 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.

ESTRUCTURALES

8. Construir zanjas de coronación por encima de las coronas de los deslizamientos D-1 y D-2, con el propósito de captar las aguas de escorrentía que se formen en la ladera superior de los deslizamientos, derivándolas hacia quebradas próximas por medio de canales revestidos. Así mismo, implementar sistemas subdrenaje, el cual reducirá las presiones intersticiales, como los indicados en el Anexo 3. Estas medidas deben ser diseñadas por un especialista.

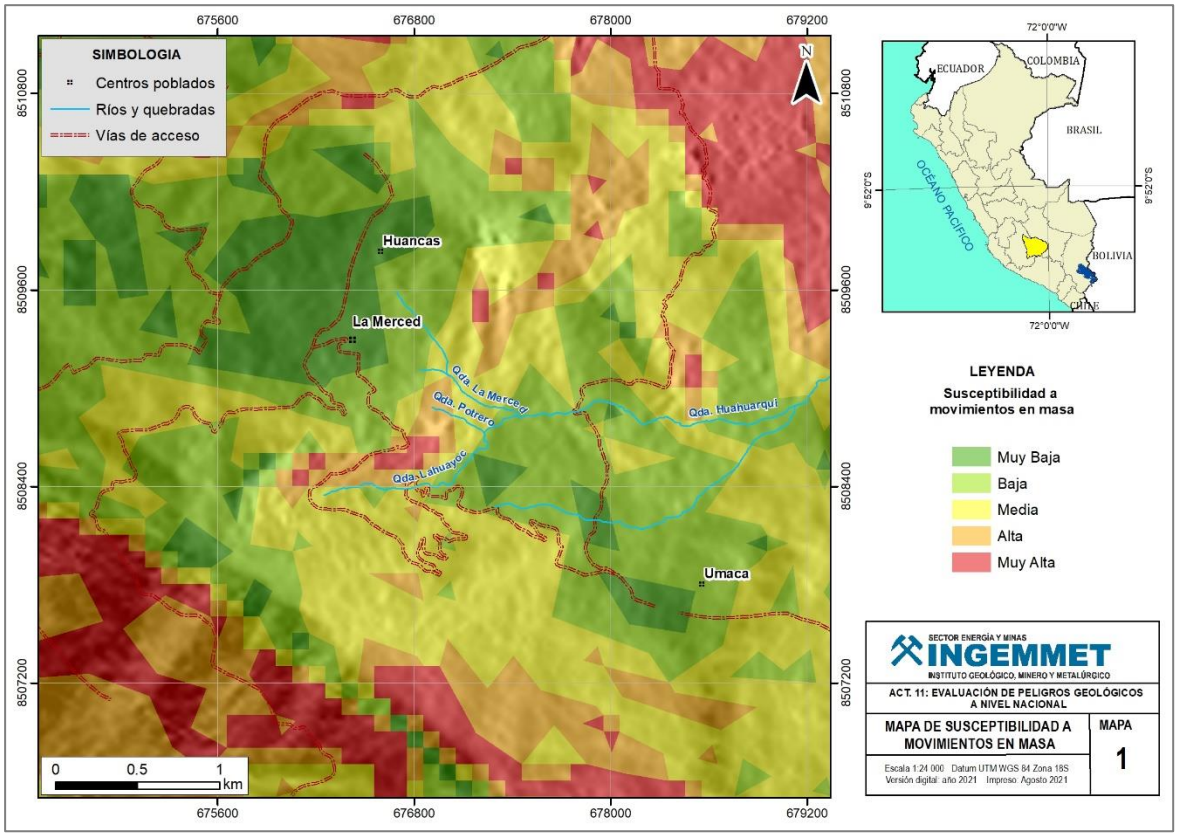
Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

Ing. Guisela Choquenaira Garate

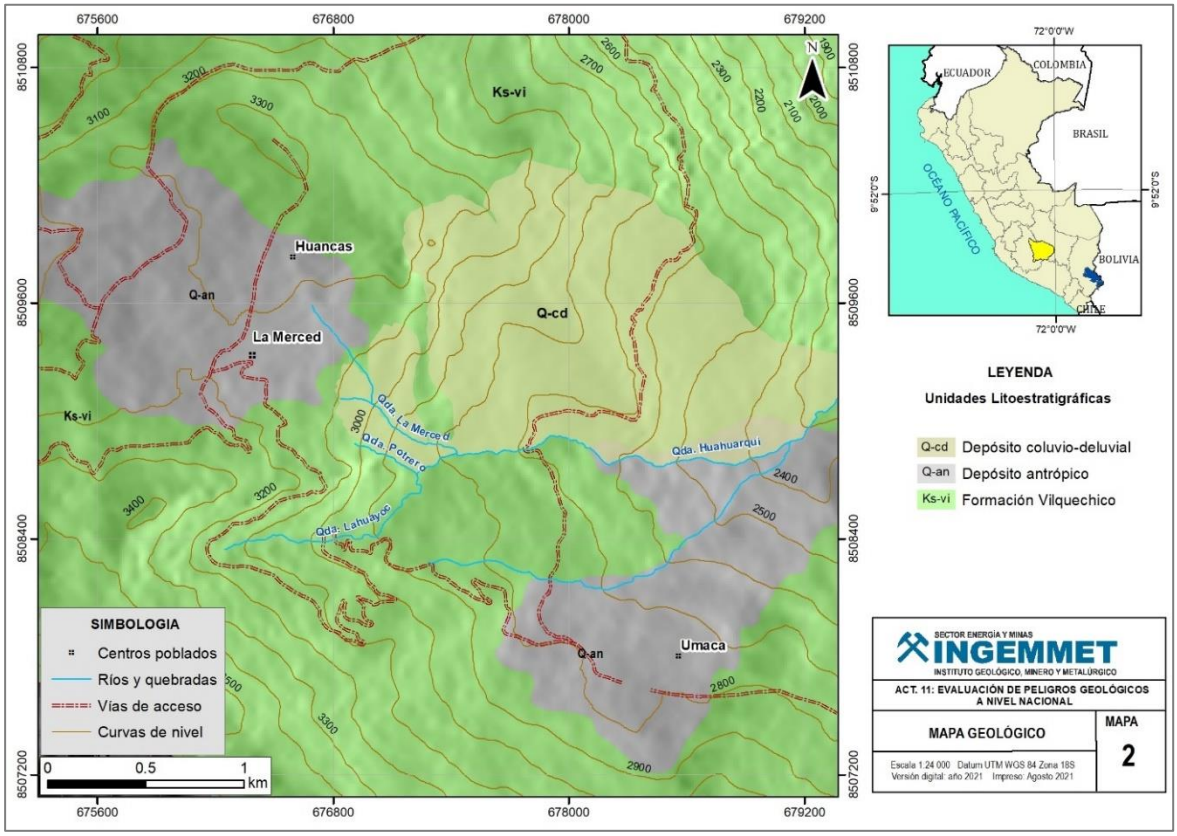
7. BIBLIOGRAFÍA

- Arcos, F & Soaña, J. (2019) – Geología de los cuadrángulos de Machupicchu (27q2 y 27q3), Pacaypata (27 p2, 27 p3 y 27p4) y San Miguel (27o1). Serie L. Carta geológica nacional. Ingemmet, 109 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.
- 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 (2021) – SENAMHI. (consulta: 03 de abril 2021). 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.

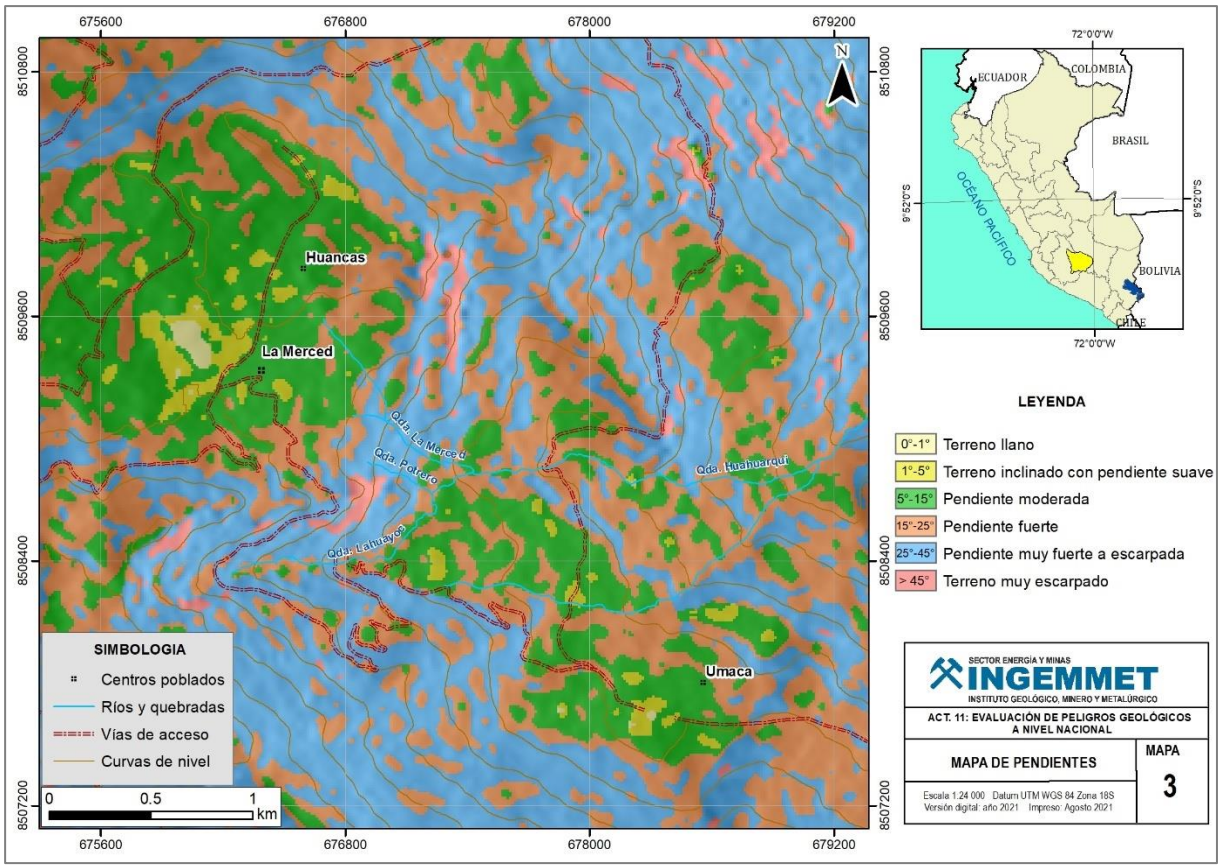
ANEXO 1: MAPAS



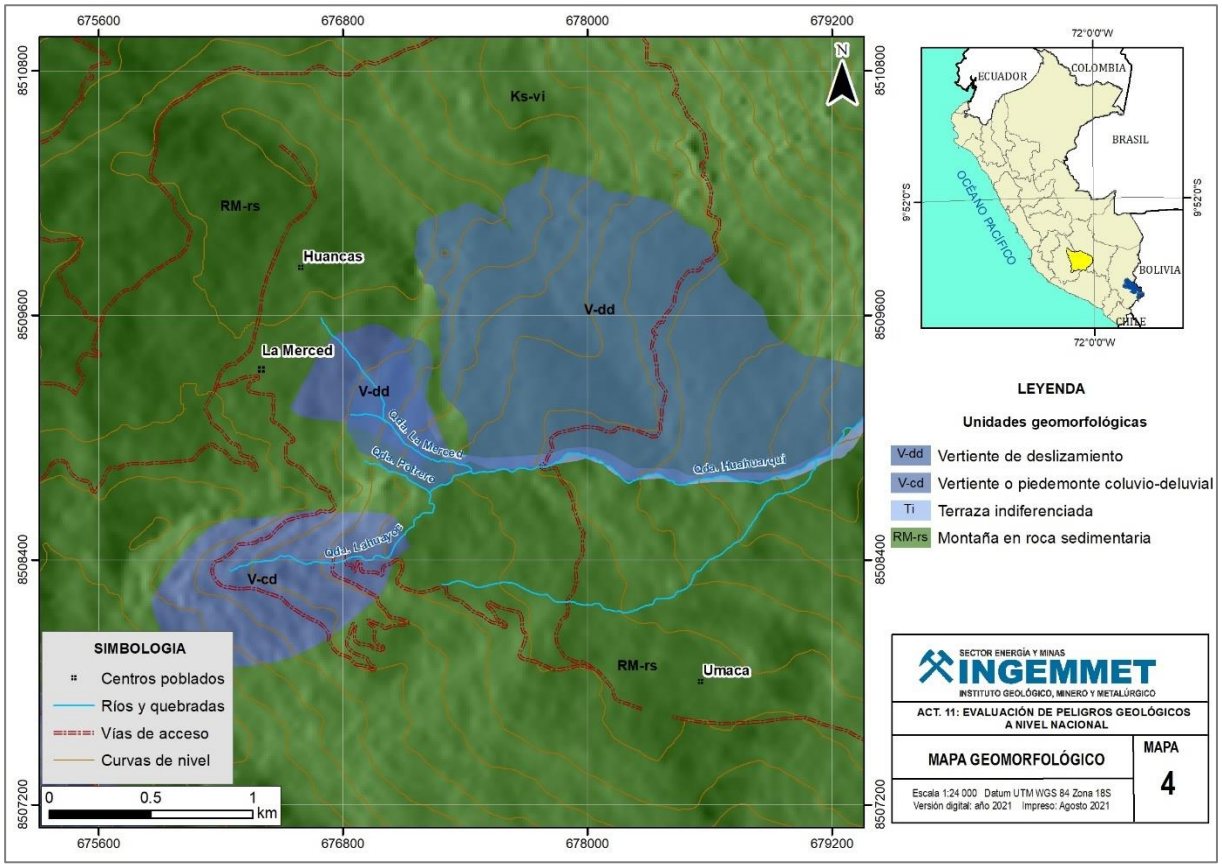
Mapa 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa del sector La Merced. Fuente: Vílchez et al., 2020.



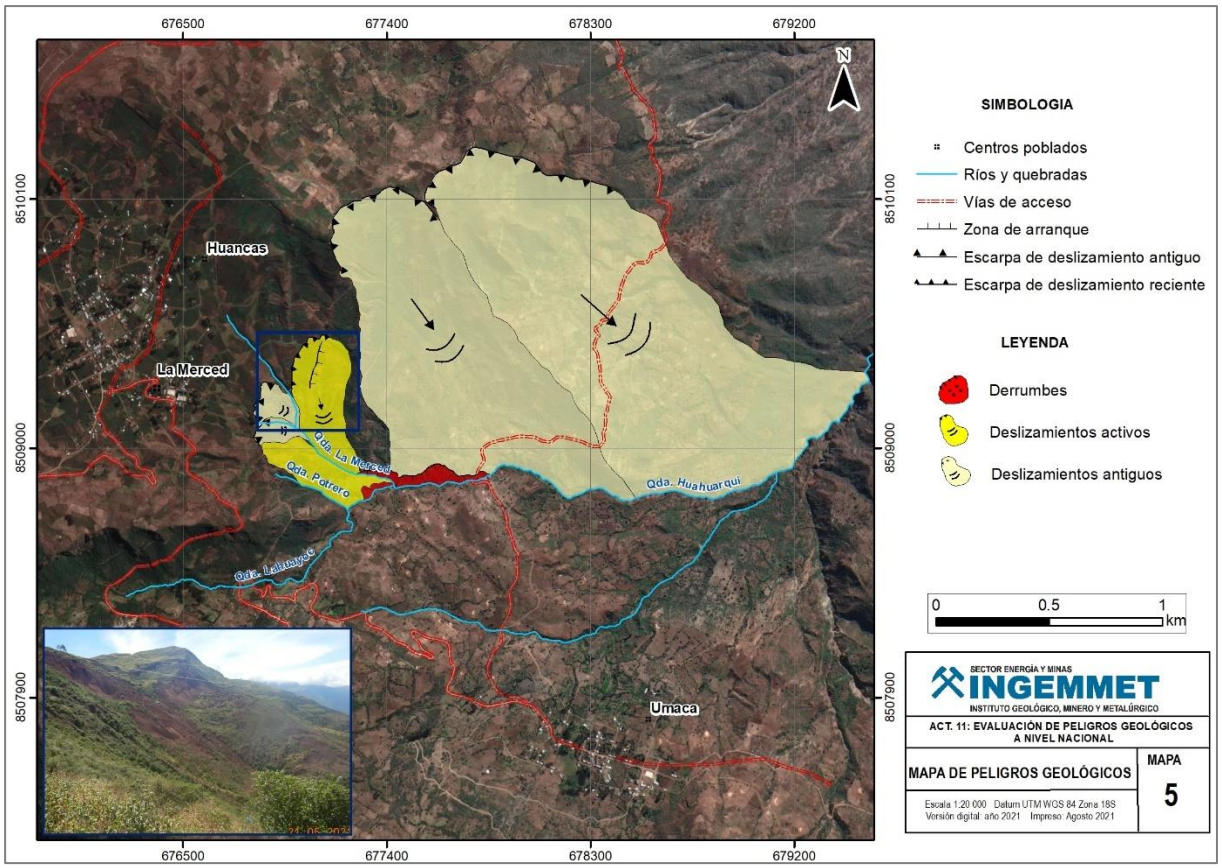
Mapa 2. Mapa geológico del sector La Merced. Modificado de Arcos, 2019.



Mapa 3. Mapa de pendientes del sector La Merced. Elaboración propia.



Mapa 4. Mapa geomorfológico del sector La Merced. Fuente: Vílchez et al., 2020.



Mapa 5. Cartografía de peligros geológicos en el sector La Merced, distrito de Andarapa, provincia de Andahuaylas, departamento Apurímac.

ANEXO 2: 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).

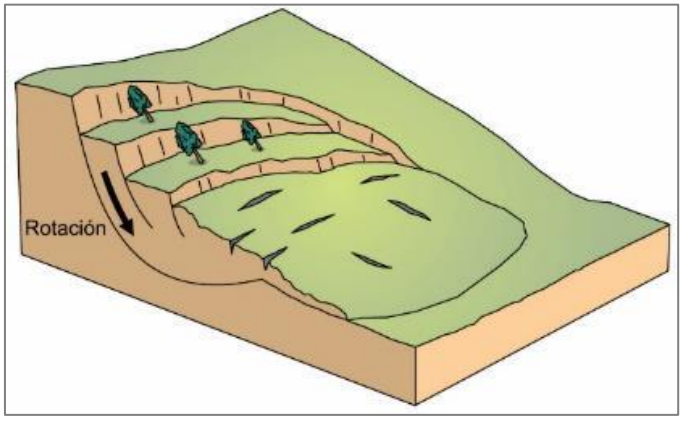


Figura 14. Esquema de un deslizamiento rotacional (tomado del Proyecto Multinacional Andino, 2007)

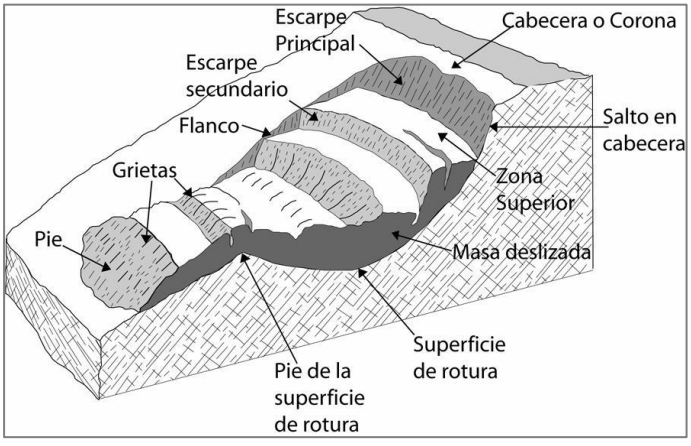


Figura 15. Partes de un deslizamiento rotacional. Fuente: Suarez J., 2009.

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).

REPRESAMIENTO Este aspecto se refiere a represamientos de cursos de agua. Para este tipo de efecto se requieren cuatro tipos de información: (1) El tipo de represamiento, según la clasificación de Costa y Schuster (1988) que se ilustra en la (figura 16). (2) La morfometría o forma de la presa pude ser bastante irregular como se observa en los distintos tipos de la figura anterior y por lo tanto las dimensiones se deben adaptar con el mejor criterio, siguiendo las siguientes definiciones: Longitud (en metros). Distancia horizontal entre el pie del talud aguas arriba y el pie del talud aguas abajo de la presa. Altura (en metros). Distancia vertical en el centro de la corona de la presa, medida desde el nivel natural del cauce hasta la superficie de la corona. Ancho (en metros). Distancia horizontal transversal al curso de las aguas, medida a lo largo de la corona de la presa.

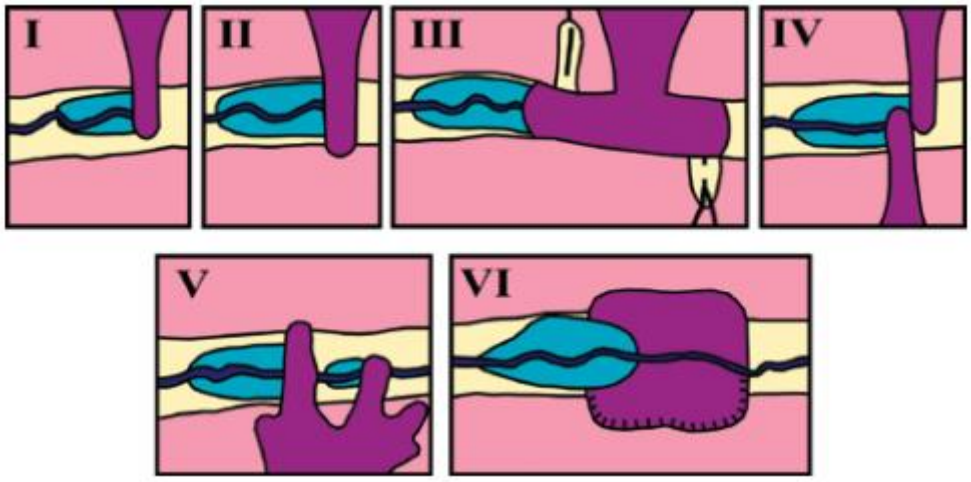


Figura 16. Tipos de represamiento según la clasificación de Costa y Schuster (1988).

ANEXO 3: 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 4). 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 4. 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.

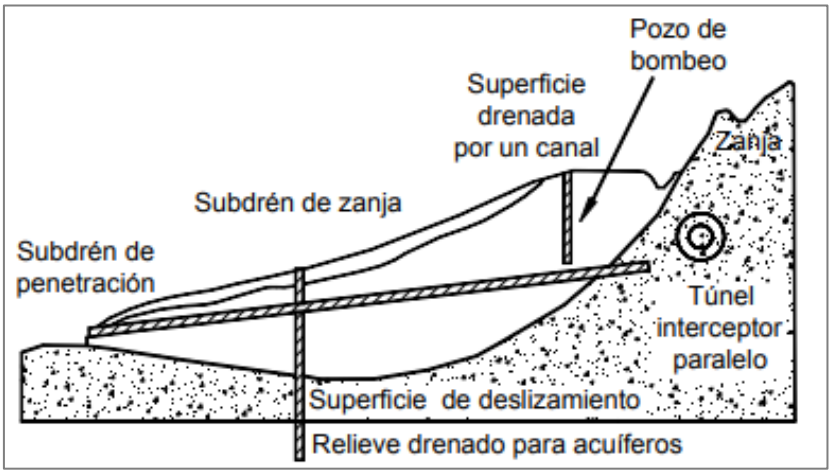


Figura 17. Sistemas de subdrenaje (Suárez, 1998).

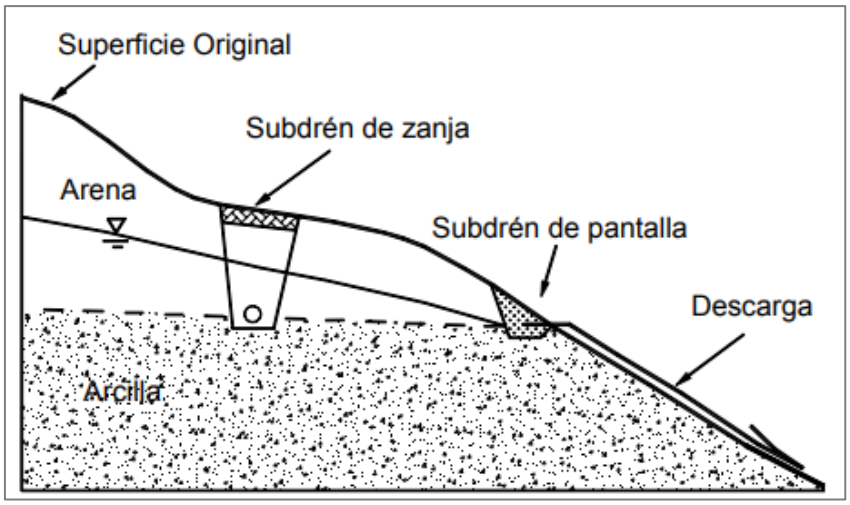


Figura 18. Esquema de un subdrenaje interceptor y un dren en el afloramiento (Suárez, 1998).