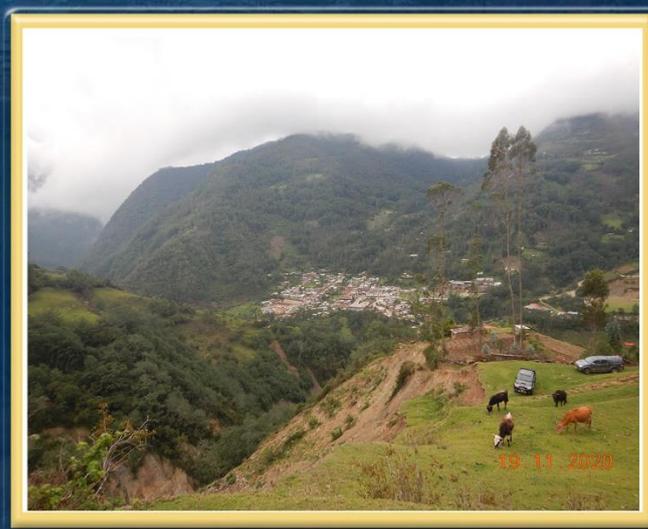
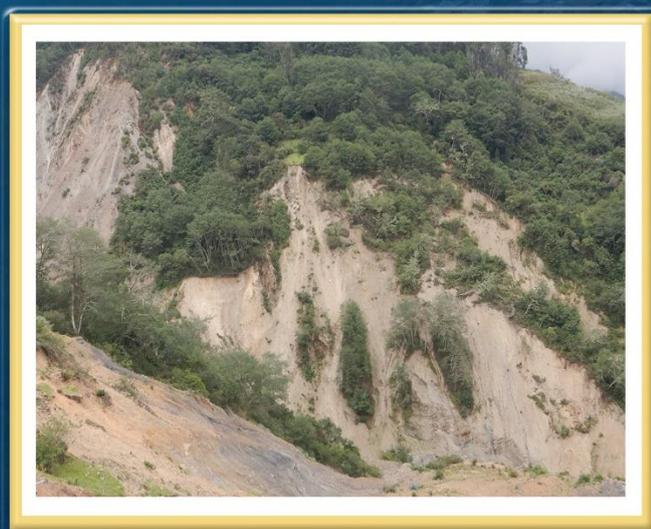


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7177

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA ABANCAYHUAYCO-LUCMA

Departamento Cusco
Provincia La Convención
Distrito Vilcabamba



SETIEMBRE
2021

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA ABANCAYHUAYCO-LUCMA

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

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

Equipo de investigación:

Guisela Choquenaira Garate

David Prudencio Mendoza

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en la quebrada Abancayhuayco-Lucma. Distrito de Vilcabamba, provincia de La Convención, región Cusco. Lima: Ingemmet, Informe Técnico Axxxx, 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	4
1.3.3. Clima	4
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	4
2.1. Unidades litoestratigráficas	5
2.1.1. Formación Ananea (SD-a)	5
2.1.2. Grupo Mitu (PET-m)	5
2.1.3. Depósito coluvio -deluvial (Q-cd)	6
2.1.4. Depósito proluvial (Q-pr)	6
2.1.5. Depósito aluvial (Q-al)	6
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	7
3.1. Pendientes del terreno	7
3.2. Unidades geomorfológicas	7
3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional	8
3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional	9
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	9
4.1. Quebrada Abancayhuayco – sector Lucma	9
4.2. Factores condicionantes	15
4.3. Factores desencadenantes	15
4.4. Otros factores antrópicos	15
5. CONCLUSIONES	16
6. RECOMENDACIONES	17
7. BIBLIOGRAFÍA	18
ANEXO 1: MAPAS	20
ANEXO 2: GLOSARIO	23
ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	25
A. MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA HUAICOS	25

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizado en la quebrada Abancayhuayco, perteneciente a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Vilcabamba, provincia de La Convención, departamento del 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).

La quebrada Abancayhuayco, está circundada por rocas de origen volcano-sedimentario y metamórficas. Aflorando en la margen derecha rocas del Grupo Mitu, conformado por areniscas, conglomerados, brechas, lavas y tobos de ceniza, muy fracturados y de moderada a altamente meteorizados. Mientras que, en la margen izquierda afloran pizarras y esquistos pizarrosos intercalados con pequeños bancos de cuarcitas de la Formación Ananea, se encuentran moderadamente meteorizados y muy fracturadas. Se observó la presencia de una falla normal, que comprende el sistema de fallas Ollantaytambo-Vilcabamba-Quimbiri, la cual atraviesa la quebrada referida.

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

Se considera como los principales factores condicionantes de la reactivación de deslizamientos, derrumbes y flujos de detritos en la quebrada Abancayhuayco a: 1) substrato rocoso muy fracturado, con presencia de fallas geológicas, lo que permite mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno; 2) presencia de suelos inconsolidados (depósitos de deslizamientos y coluvio - deluviales), de fácil erosión - remoción ante precipitaciones pluviales intensas y prolongadas; y 3) acción de las aguas de escorrentía y presencia de agua subterránea, precisando que la circulación del agua está ligado a las características estructurales del macizo rocoso (fallas y fracturas) y a los depósitos superficiales que los cubren. Todo este contexto litológico conforma laderas de pendientes medias (20°) a escarpadas (65°), siendo este último, el que permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad;

Los procesos identificados en la quebrada Abancayhuayco – sector Lucma, corresponden a deslizamientos (9) y derrumbes (8), eventos antiguos que han sufrido reactivaciones; como lo acontecido el año 2014, en cuya quebrada se desencadenó un flujo de detritos, que acarrió bloques de hasta 4 m de diámetro y troncos de árboles. El evento sobrepasó el muro de contención de 4 m de altura, construido de forma transversal a la quebrada y llegó hasta la terraza más baja del poblado Lucma, donde desvió el cauce del río Vilcabamba hacia la margen derecha, afectando terrenos de cultivo y aproximadamente 150 m de tramo carretero.

Se considera como **Zona crítica** y de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y flujo de detritos (huaicos) que pueden ser reactivados en temporada de lluvias intensas y excepcionales y/o prolongadas.

Finalmente, se recomienda reubicar las viviendas de los poblados Lucma (viviendas asentadas en la parte baja), Huayllapata y Qosqopata, debido a la presencia de deslizamientos, derrumbes y flujo de detritos.

1. INTRODUCCIÓN

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

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de Vilcabamba, según Oficio N° 050-2019-JPCL-A-MDV-C/C, en el marco de nuestras competencias se realizó una evaluación de peligros geológicos en la quebrada Abancayhuayco, ocurridos el 2019 hasta la actualidad, 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, realizar la evaluación de peligros geológicos, desarrollada 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 en consideración de la Municipalidad Distrital de Vilcabamba y entidades encargadas en la gestión de 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 en la quebrada Abancayhuayco-sector Lucma.
- 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 el sector Lucma-quebrada Abancaypata, se tienen:

- A) En el Boletín N° 74, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligros Geológicos en la Región Cusco” (Vilchez et al., 2020); se identificó un total de 75 zonas críticas (gráfico 1), agrupadas en 1682 ocurrencias de peligros geológicos, tipo: caídas, deslizamientos, flujos, procesos de erosión de laderas, erosión fluvial, reptación de suelos, inundación fluvial, movimientos complejos y finalmente vuelcos. En la provincia de La Convención se identificó 16 zona críticas, de los cuales 1 evento de tipo deslizamiento-flujo de detritos se identificó en el distrito de Vilcabamba. El estudio también realizó un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa presentado en un mapa a escala 1: 100 000, donde la quebrada Abancayhuayco presenta alta 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 el estudio de Riesgos Geológicos del Perú, Franja N° 3 (Ingemmet, 2003), en el distrito de Vilcabamba se realizó el inventario de 4 ocurrencias de peligros geológicos de tipo flujo de detritos, deslizamientos y derrumbes antiguos. Además de 4 zonas críticas por peligro geológico.

En el mapa de peligros geológicos múltiples (estudio realizado a escala regional), parte del territorio de la provincia de La Convención comprendido en el estudio, se encuentra dentro de las áreas denominadas como: peligro Muy Alto: En estas áreas se conjugan numerosos peligros geológicos; principalmente huaicos, caídas, deslizamientos, movimientos complejos, inundaciones, erosión fluvial y en algunas áreas aluviones. Terrenos con fuerte a muy fuerte pendiente. Áreas propensas a sufrir eventos naturales severos, en las cuales debe evitarse actividades de desarrollo. De implementarse estas actividades, por el requerimiento de la población, deberán realizarse estudios geológicos-geotécnicos al detalle, previos.

- C) En la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Machupicchu (27-q) (Carlotto et al., 1999); describe la geología y geomorfología a escala 1: 100 000, resaltando cambios sobre la estratigrafía (Grupo Mitu y Formación Ananea) y la conformación de unidades geomorfológicas de montañas modeladas en rocas metamórficas y volcano-sedimentarias.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

La quebrada Abancayhuayco se localiza al suroeste del sector Lucma, confluye por la margen derecha al río Vilcabamba. Políticamente pertenece al distrito de Vilcabamba, provincia de La Convención, departamento Cusco (figura 2), en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 s) siguientes (cuadro 1):

Cuadro 1. Coordenadas del sector Lucma-quebrada Abancayhuayco.

N°	UTM - WGS84 - Zona 19L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	721723	8554775	-13.06	-72.95
2	724089	8555275	-13.06	-72.93
3	724357	8554473	-13.06	-71.93
4	721855	8553618	-13.07	-72.95
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	723087	8554513	-13.06	-72.94

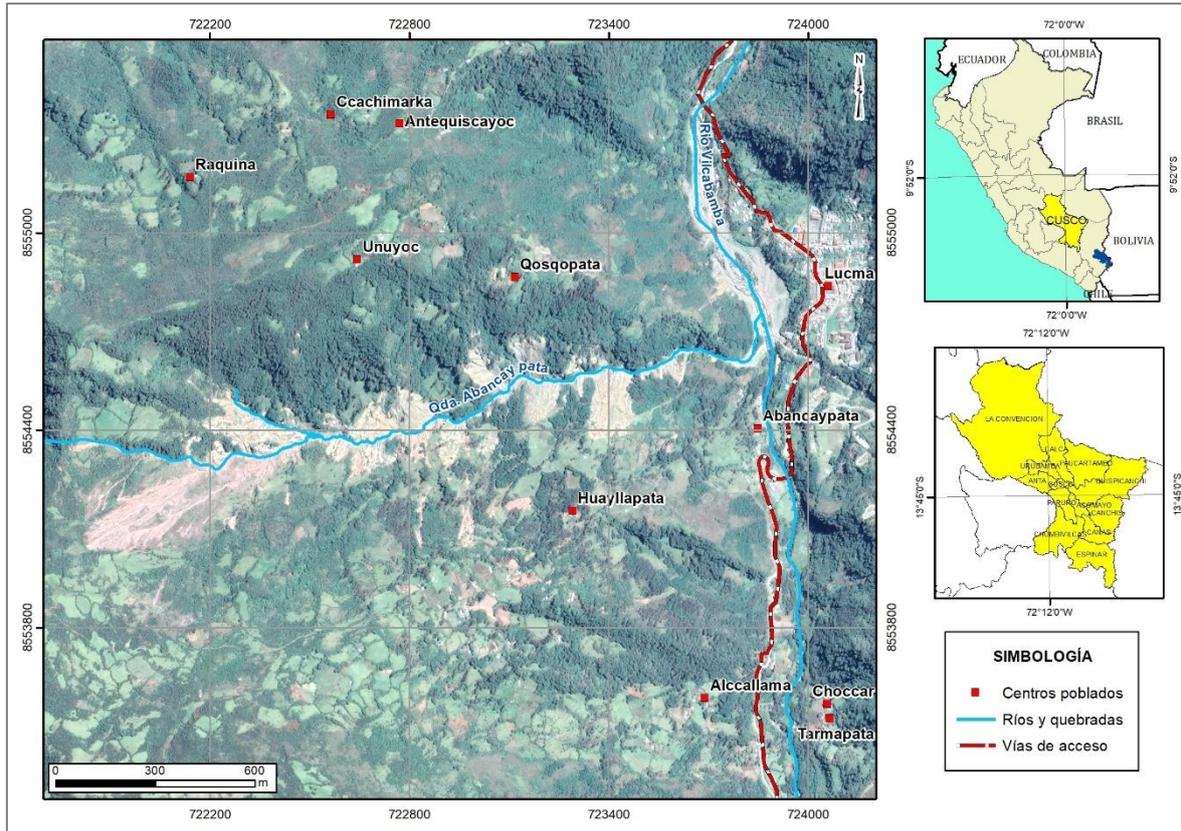


Figura 1. Mapa de ubicación de la quebrada Abancayhuayco, distrito de Vilcabamba, provincia de La Convención, departamento Cusco.

1.3.2. Accesibilidad

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

Cuadro 2. Rutas y accesos al sector evaluado

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Cusco – Santa María	Carretera asfaltada	184	4h
Santa María - Lucma	Trocha carrozable	46.4	1h, 24 minutos
Lucma-quebrada Abancayhuayco	Trocha carrozable	10	12 minutos

1.3.3. Clima

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

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico se desarrolló en base a la carta geológica de Machupicchu – hoja 27q (Carlotto, 1999) a escala 1/100 000, sobre la cual afloran rocas volcano sedimentarias y

metamórficas del Paleozoico, así como, depósitos Cuaternarios. La cartografía geológica, se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas y observaciones de campo.

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas de la zona evaluada y alrededores son de origen metamórfico correspondiente a la Formación Ananea, y volcánicas sedimentarias del Grupo Mitu los cuales se encuentran medianamente a muy fracturadas y moderada a altamente meteorizadas. Además, se tienen depósitos de deslizamiento, coluvio-deluviales y proluviales que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad (Anexo 1: Mapa 2).

2.1.1. Formación Ananea (SD-a)

Esta unidad aflora ampliamente en la margen izquierda de la quebrada Abancayhuayco, conformado por pizarras y esquistos pizarrosos intercalados con pequeños bancos de cuarcita moderadamente meteorizados y muy fracturadas, con aperturas de 0.2 a 0.5 m (fotografía 1). Se observó la presencia de una falla normal que atraviesa la quebrada referida (Sistema de fallas Ollantaytambo – Vilcabamba – Quimbiri).

2.1.2. Grupo Mitu (PET-m)

Aflora ampliamente en la margen derecha de la quebrada Abancayhuayco, al noroeste de los sectores Curcuchaca, Pucyura y Lucma, está conformado por areniscas, conglomerados, brechas, lavas y tobas de ceniza (fotografía 1), los cuales se encuentran moderada a altamente meteorizados, generando suelos arenosos. Además, el sustrato se encuentra muy fracturado, ello originó bloques sueltos de hasta 1.4 m de diámetro.



Fotografía 1. Vista de afloramiento rocoso moderadamente meteorizado y muy fracturadas, ubicado en la margen derecha de la quebrada Abancaypata. Con coordenadas UTM (WGS 84): 723451 E, 8554424 N a 2798 m s.n.m.

2.1.3. Depósito coluvio -deluvial (Q-cd)

Se encuentran dispuestos de forma caótica al pie de las laderas que circunscriben la quebrada Abancayhuayco, por acción de la gravedad (figura 2). Están compuestos por materiales inconsolidados de bloques de formas angulosas a subangulosas, inmersos en una matriz arena - arcillosa.

Dentro de esta clasificación se consideran a los depósitos de deslizamiento (V-dd).

2.1.4. Depósito proluvial (Q-pr)

Se encuentran dispuestos en el fondo de los valles, en forma de conos de deyección hacia la confluencia del río Vilcabamba. Estos depósitos están compuestos por bloques y gravas de rocas volcánico sedimentarias y metamórficas, de formas subangulosas a subredondeadas, con diámetros que varían de 0.2 a 1.3 m, envueltos en una matriz arena-arcillosa (fotografía 2). Se encuentran medianamente consolidado y saturados. Actualmente, sobre este depósito se ubica parte del sector Lucma.

2.1.5. Depósito aluvial (Q-al)

Estos depósitos se encuentran distribuidos en ambos márgenes del río Vilcabamba, están constituidos por bloques de rocas volcánico sedimentarias y metamórficas, bancos de gravas y arenas, formando terrazas aluviales. Sobre este depósito se encuentran asentadas algunas viviendas del sector Lucma y se desarrollan terrenos de cultivo.



Figura 2. Depósito coluvio – deluvial (Q-cd) y depósito de deslizamiento (Q-dd), dispuestos en ambos márgenes de la quebrada Abancayhuayco. Están compuestos por bloques de formas angulosas, gravas, inmersos en matriz arcillo-arenoso.



Fotografía 2. Depósito proluvial (depósito de flujos recientes), conformado por bloques con diámetros que varían de 0.2 a 1.3 m, envueltos en matriz areno-arcillosa. Coordenadas UTM (WGS 84): 723846 E, 8554732 S, a 2634 m s.n.m.

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

La Quebrada Abancayhuayco está circundada por montañas metamórficas con laderas de pendientes que varían de 20° a 65° , este último facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas. Además, en la zona media – baja, el valle de la quebrada presenta una pendiente que varía de 2° a 5° .

3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en la zona evaluada (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).

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 modeladas en rocas metamórficas (RM-rm): Relieve modelado en afloramientos de la Formación Ananea, conformadas por esquistos, pizarras, intercalados con bancos de cuarcita. Por el lado noroeste, la montaña cubre gran parte de la margen izquierda de la quebrada Abancayhuayco, cuyas laderas de pendientes moderadas a escarpadas, varían de 20° a 65°, con cimas subredondeadas a agudas. En la parte alta son disectados por una red de drenaje dendrítica, resaltado principalmente la quebrada referida (figura 3).

Subunidad de montañas modeladas en rocas volcano sedimentarias (RM-rvs): Relieve modelado en afloramientos del Grupo Mitu, compuestas por areniscas, conglomerados, brechas, lavas y tobas de ceniza. Por el lado suroeste, las montañas cubren gran parte la margen derecha de la quebrada Abancayhuayco, con laderas de pendientes moderadas a empinadas (20° a 60°), sus cimas son subredondeadas a alargadas.



Figura 3. Vista de las unidades geomorfológicas en la quebrada Abancaypata: montañas modeladas en rocas metamórficas (RM-rm), montañas modeladas en rocas volcano sedimentarias (RM-rvs), Vertiente de deslizamiento (V-dd) y Vertiente coluvio deluvial (V-cd).

3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

Están representadas por formas de terreno, como resultado 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 al pie de las laderas que circunscriben la quebrada Abancayhuayco.

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

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

Esta unidad se observó en ambos márgenes de la quebrada Abancayhuayco.

3.2.2.3. Subunidad de piedemonte aluvio – torrencial (P-at)

Son el resultado de la acumulación de material movilizado a manera de flujos de detritos (huaicos), modifican localmente la dirección de los cursos de ríos y se ubican en las desembocaduras de quebradas hacia los ríos principales. La quebrada Abancayhuayco, afluente al río Vilcabamba por la margen izquierda, acarreo material, depositándose en la desembocadura en forma de un cono deyectivo. Ello afectó a las viviendas del sector Lucma, localizado frente de la desembocadura de la quebrada referida.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos, derrumbes y flujo de detritos (Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos; condicionada principalmente, por una falla normal que atraviesa la quebrada Abancayhuayco.

La quebrada Abancayhuayco presenta una geodinámica muy activa, representada por derrumbes (7), deslizamientos activos (7) y flujo de detritos (Anexo 1: Mapa 5).

4.1. Quebrada Abancayhuayco – sector Lucma

Según manifiestan los pobladores, el año 2014, la quebrada se activó y desencadenó flujo de detritos, cuyo material acarreado sobrepasó el muro de contención de 4 m de altura,

construido de forma transversal a la quebrada. Además, el flujo llegó hasta la terraza más baja del poblado Lucma y desvió el cauce del río Vilcabamba hacia la margen derecha. Este proceso, según los pobladores y evidencias de campo, determinan que cada año en temporada de lluvia la quebrada se activa en flujo de detritos, transportando bloques de hasta 4 m de diámetro (figura 4 A y B).



Figura 4. A) Vista de material acarreado por la quebrada Abancayhuayco. B) Material depositado sobre la terraza.

Para un mejor análisis y entendimiento de geodinámica de peligros geológicos en la quebrada Abancayhuayco, se ha procedido a referenciar y describir por márgenes de quebrada, de acuerdo a su magnitud e importancia

A. Margen derecha

En la margen derecha se describe dos deslizamientos, etiquetados como (D-1 y D-2):

Deslizamiento (D-1): Presenta un área de 77076.2 m², se localiza en la parte alta de la quebrada Abancayhuayco, sobre rocas volcánico sedimentarias del Grupo Mitu, conformado por areniscas, conglomerados y brechas, moderada a altamente meteorizados y muy fracturadas, este último, controlado por una falla normal que atraviesa la quebrada referida.

El deslizamiento de tipo rotacional, presenta una escarpa de forma semicircular, con una corona de 210 m de longitud y un ancho de 150 m. Además, presenta una distancia de 580 m entre el escarpe y pie del deslizamiento (figura 5).

El cuerpo del deslizamiento, presenta una inclinación de ladera de 55°, lo cual condiciona que el material suelto pueda ceder cuesta abajo y represar el cauce; cuyo desembalse violento en flujo de detritos podría afectar nuevamente a las viviendas del sector Lucma.

Deslizamiento (D-2). Presenta un área de 22971.9 m², se localiza en la parte baja de la quebrada Abancayhuayco, desarrollado sobre rocas del Grupo Mitu y depósitos coluviales, compuesto por bloques y gravas de rocas volcánico sedimentarias y metamórficas, de formas subangulosos a subredondeados, con diámetros que varían de 0.2 a 1.3 m, envueltos en una matriz areno-arcillosa.

Dicho deslizamiento presenta tres niveles de escarpa, de forma semicircular, cuya corona posee 160 m de longitud y una distancia de 200 m entre el escarpe y pie del deslizamiento. La existencia de agrietamientos longitudinales y desplazamientos de hasta 0.50 m en la parte

posterior al escarpe (fotografía 3), nos refieren una actividad retrogresiva. De continuar el avance retrogresivo del deslizamiento, podría afectar a las viviendas asentadas a 3 m aproximadamente del escarpe (figura 6).

Es importante mencionar que, el riego no tecnificado en los terrenos de cultivo, ubicados en la parte posterior a la escarpa, está acelerando el proceso de reactivación del deslizamiento debido a la saturación que generan los mismos. Así también, en el cuerpo del deslizamiento se observó agrietamientos transversales de hasta 0.40 m y bloques basculados.

Las laderas en este sector, presentan una inclinación de pendientes que varían de 35° a 65°, lo cual va favoreciendo el asentamiento del terreno, hasta 1 m de salto.

Se presentaron daños en las viviendas (paredes agrietadas) del caserío Huayllapata (figura 7) e inclinación de algunos árboles a favor de la pendiente (figura 8).



Figura 5. Deslizamiento (D-1), localizado en la margen derecha de la quebrada Abancayhuayco. Presenta escarpa de forma semicircular, una corona de 210 m de longitud y un ancho de 150 m. Coordenadas UTM (WGS84). 722182 E, 8554206 S, a 3066 m s.n.m.



Fotografía 3. Deslizamiento (D-2) localizado en la parte baja de la quebrada Abancayhuayco. Presenta escarpa con tres niveles y de forma semicircular. Así mismo se observó bloques basculados y agrietamientos. Coordenadas UTM (WGS84). 723412 E, 8554382 S, a 2814 m s.n.m.



Figura 6. Vista del deslizamiento D - 2 ubicado en la margen derecha de la quebrada, presenta un escarpe de 160 m de longitud. La distancia entre el escarpe y pie del deslizamiento es de 200 m longitudinales. La existencia de terrenos de cultivo, en la zona de escarpe podría reactivar el deslizamiento, ello afectaría a las viviendas asentadas aproximadamente a 3 m del escarpe. Coordenadas UTM (WGS84). 723459 E, 8554410 S, a 2800 m s.n.m.



Figura 7. Vista de viviendas con paredes agrietadas debido al asentamiento del terreno. Coordenadas UTM (WGS84). 723330 E, 8554330 S, a 2860 m s.n.m.

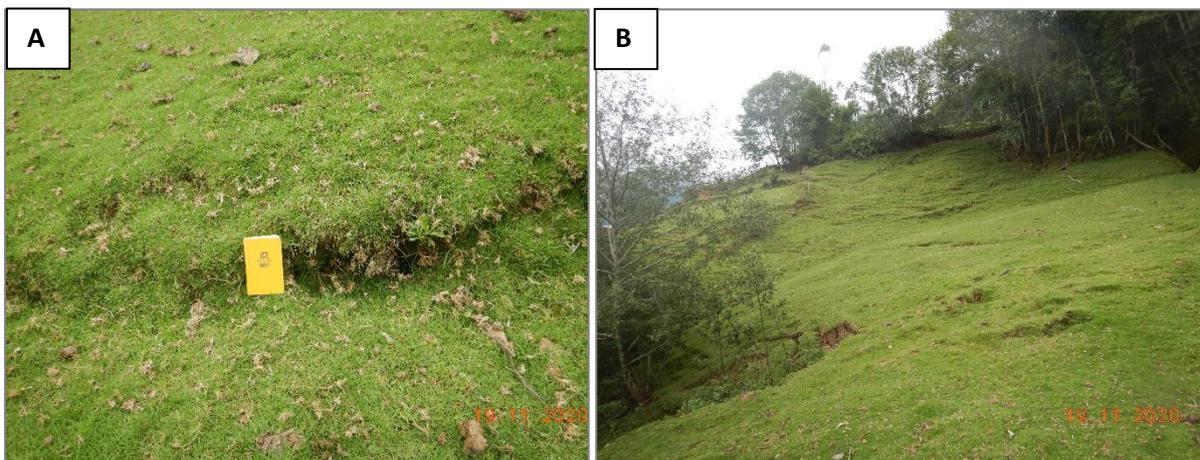


Figura 8. A) Vista de asentamiento del terreno en ladera de pendiente que varía de 35° a 65°. B) Árboles inclinados a favor de la pendiente.

B. Margen izquierda

En la margen izquierda de la quebrada Abancayhuayco se presentan tres deslizamientos y 2 derrumbes, de los cuales se detallarán los Deslizamientos (D-3), (D-4) y Derrumbe (Dr-1) (figura 9):

Deslizamiento 3 (D-3): Presenta un área de 10434.8 m², se localiza en la parte baja de la quebrada Abancayhuayco, sobre rocas de la Formación Ananea, conformado por pizarras gris oscuro y esquistos pizarrosos intercalados con pequeños bancos de cuarcita moderadamente

meteorizados y muy fracturadas. Por sectores, el afloramiento se encuentra coberturado por depósitos de deslizamientos antiguos.

El deslizamiento presenta una escarpa semicircular-discontinuo, con un ancho de 99 m en la parte central y 190 m de distancia entre la corona y pie del deslizamiento.

En el cuerpo del deslizamiento se observó surgencias de agua, el cual se canalizó por la parte media, hasta la confluencia con la quebrada Abancayhuayco.

Deslizamiento (D-4). Deslizamiento con dos niveles de escarpa, presenta una corona de forma semicircular y 112 m de longitud. Tiene un aproximado de 88 m de distancia entre la corona y pie del deslizamiento. Presenta un área de 12757.6 m².

Al pie del deslizamiento se observó material depositado, el cual desvió el cauce hacia la margen derecha, sin generar represamiento alguno.

El deslizamiento presenta actividad retrogresiva, ello afectaría a las viviendas del caserío Qosqopata, localizadas en la parte posterior.

Derrumbe (Dr-1): Se desarrolló sobre rocas de la Formación Ananea, conformado por pizarras gris oscuro. Presenta una zona de arranque de 145 m de longitud, y 140 m de longitud entre la zona de arranque y pie del derrumbe.

En el cuerpo del derrumbe de pendiente empinada (45°), se observó dos puntos de surgencias de agua.

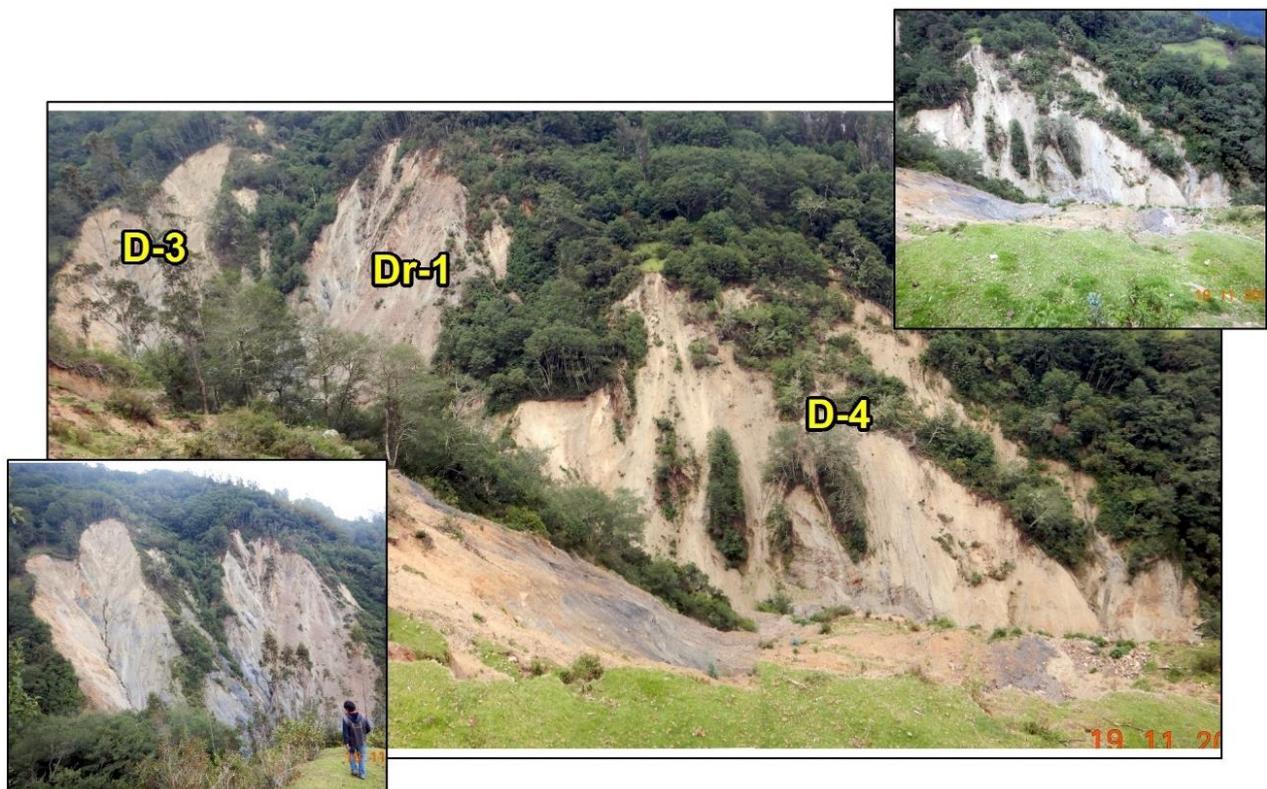


Figura 9. Vista de deslizamientos (D-3, D-4) y derrumbes (Dr-1) activos en la margen izquierda de la quebrada Abancayhuayco.

4.2. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

- Substrato rocoso regularmente meteorizado y muy fracturado, controlado por la falla normal, correspondiente al sistema de fallas Ollantaytambo-Vilcabamba-Quimbiri, que atraviesa la quebrada Abancayhuayco (ello permite mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno, originando inestabilidad en el talud).
- Suelos inconsolidados (depósitos coluvio – deluviales, de deslizamiento y aluvio-proluvial), de fácil erosión y remoción ante intensas y prolongadas precipitaciones pluviales.

Factor geomorfológico

- La morfología de las laderas de pendientes medias (20°) a escarpadas (65°) que circunscriben la quebrada Abancayhuayco, 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 quebrada Abancayhuayco.
- Presencia de agua subterránea (2 puntos de surgencias de agua – manantiales) (723139 E, 8554641 N), 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.

4.3. Factores desencadenantes

- La zona evaluada presenta un clima lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones. En periodos lluviosos normales pueden superar los 1 000 mm; lo cual conlleva a la reactivación de derrumbes y deslizamientos en la quebrada Abancayhuayco.

4.4. Otros factores antrópicos

- Uso inadecuado del sistema de riego (por inundación y aspersion), sobre los terrenos de cultivo, el cual está acelerando el proceso de reactivación del deslizamiento (D-2).

5. CONCLUSIONES

1. En la quebrada Abancayhuayco se identificaron 9 deslizamientos, 8 derrumbes y flujo de detritos; de los cuales por su magnitud y peligrosidad, se han detallado y descrito cuatro deslizamientos (D-1,D-2,D-3 y D-4) y un derrumbe (Dr-1), todo ello conforma un área aproximada de 135139.5 m² que afectaron viviendas, terrenos de cultivo y vías de acceso en los poblados de Lucma, Huayllapata y Qosqopata.
2. En la margen derecha de la quebrada Abancayhuayco, el deslizamiento D – 2, con escarpa semicircular de 160 m de longitud y desnivel de 200m, se ven condicionados por la presencia de riego no tecnificado en terrenos de cultivo, localizados en la parte posterior del escarpe. De continuar dicho avance retrogresivo, podría afectar a las viviendas de Huayllapata, asentadas aproximadamente a 3 m del escarpe.
3. El derrumbe (Dr-1), desarrollado sobre rocas de la Formación Ananea, conformado por pizarras gris oscuro, de pendiente empinada (45°), y presencia de dos puntos de surgencias de agua ponen en riesgo a las viviendas de Qosqopata.
4. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta la quebrada Abancayhuayco, el sector Lucma y los caseríos Huayllapata y Qosqopata son considerados como **Zonas Críticas y de peligro Muy Alto** a movimientos en masa.
5. Los peligros geológicos por movimientos en masa están condicionados por los siguientes factores:
 - Substrato rocoso regularmente meteorizado y muy fracturado, controlado por la falla normal del sistema de fallas Ollantaytambo-Vilcabamba-Quimbiri.
 - Suelos inconsolidados (depósitos coluvio - deluviales), de fácil erosión - remoción ante intensas y prolongadas precipitaciones pluviales intensas.
 - La morfología de las laderas de pendientes medias (20°) a escarpadas (65°) que circunscriben la quebrada Abancayhuayco, 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 quebrada Abancayhuayco.
 - Presencia de agua subterránea (manantiales), localizados en el cuerpo del derrumbe (Dr-1), los cuales saturan el terreno. La circulación del agua está ligado a las características estructurales del macizo rocoso (fallas y fracturas) y a los depósitos superficiales que los cubren.

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

6. RECOMENDACIONES

1. Reubicar las viviendas de los poblados Lucma (viviendas asentadas en la parte baja), Huayllapata y Qosqopata debido a la presencia de deslizamientos, derrumbes y flujo de detritos.
2. Implementar alrededor de cuatro muros disipadores de energía, en forma transversal a la quebrada Abancayhuayco, con el fin de atenuar la energía ante un posible huaico.
3. Descolmatar continuamente y encausar la quebrada Abancayhuayco, respetando el cauce natural, desde la parte alta (pie del deslizamiento D-1), hasta la desembocadura.
4. Usar riego tecnificado, para no saturar el terreno y generar represamiento.
5. Reforestar las laderas desprovistas de vegetación de las montañas que circunscriben la quebrada Abancayhuayco.
6. Construir zanjas de coronación por encima de las coronas de los deslizamientos D-2, D-3 y D-4, 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.
7. A largo plazo, se propone implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para monitorear los huaicos que se generan en la quebrada Abancayhuayco. En la implementación se debe tener en cuenta la instalación de sensores, sistemas de comunicación, alarmas, entre otros, con el objetivo de tener avisos oportunos ante la ocurrencia de huaicos, para que la población pueda tomar las precauciones y salvaguardar sus vidas.
8. Realizar monitoreo visual y constante en la quebrada Abancayhuayco ante el posible represamiento por la reactivación de derrumbes o deslizamientos, que pueden ser originados por precipitaciones pluviales intensas o excepcionales.
9. 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.



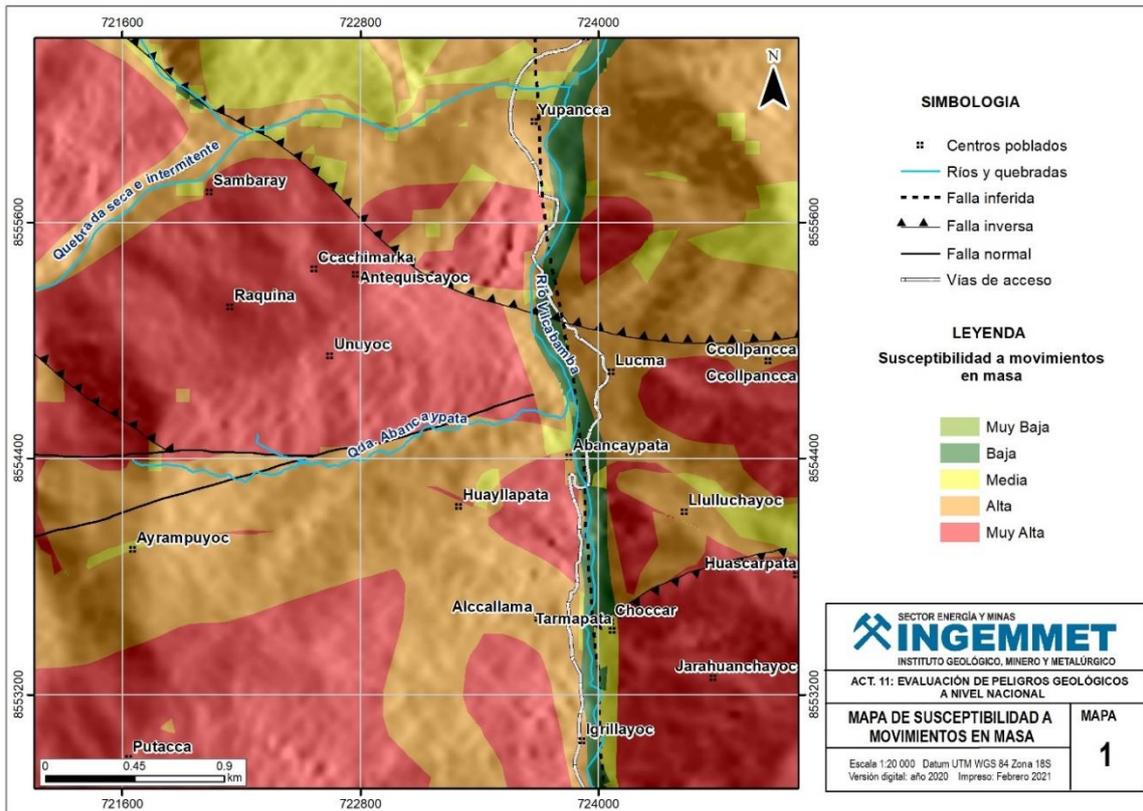
Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET


Ing. Guisela Choquenaira Garate

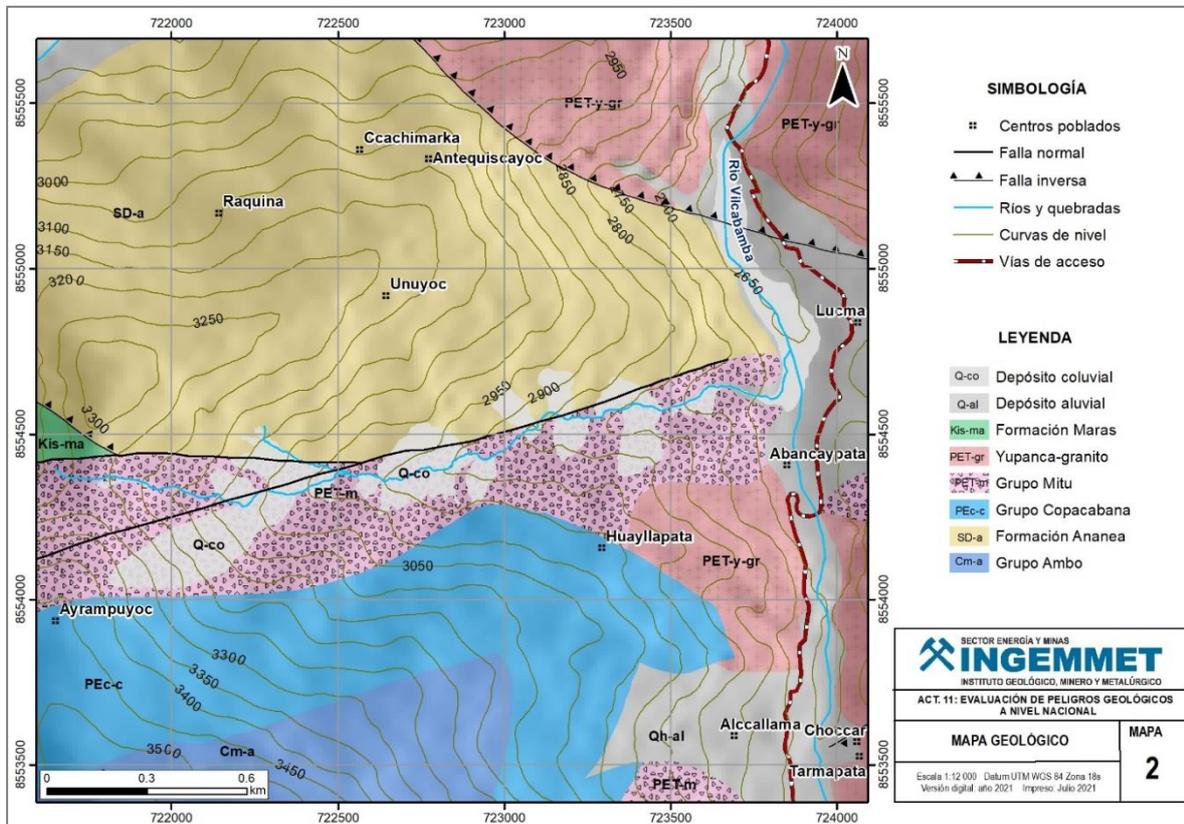
7. BIBLIOGRAFÍA

- Benavente, C.; Delgado, F.; Taipe, 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.
- 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.
- 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.

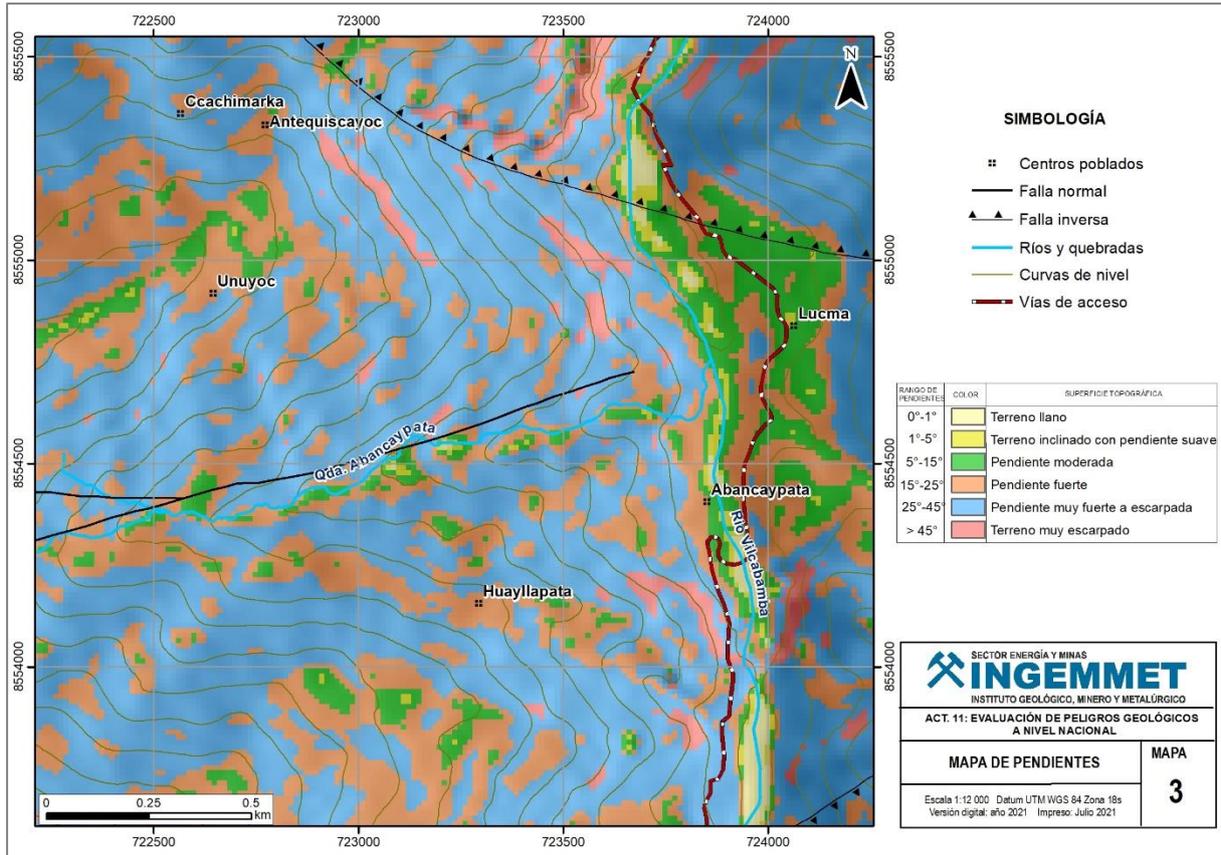
ANEXO 1: MAPAS



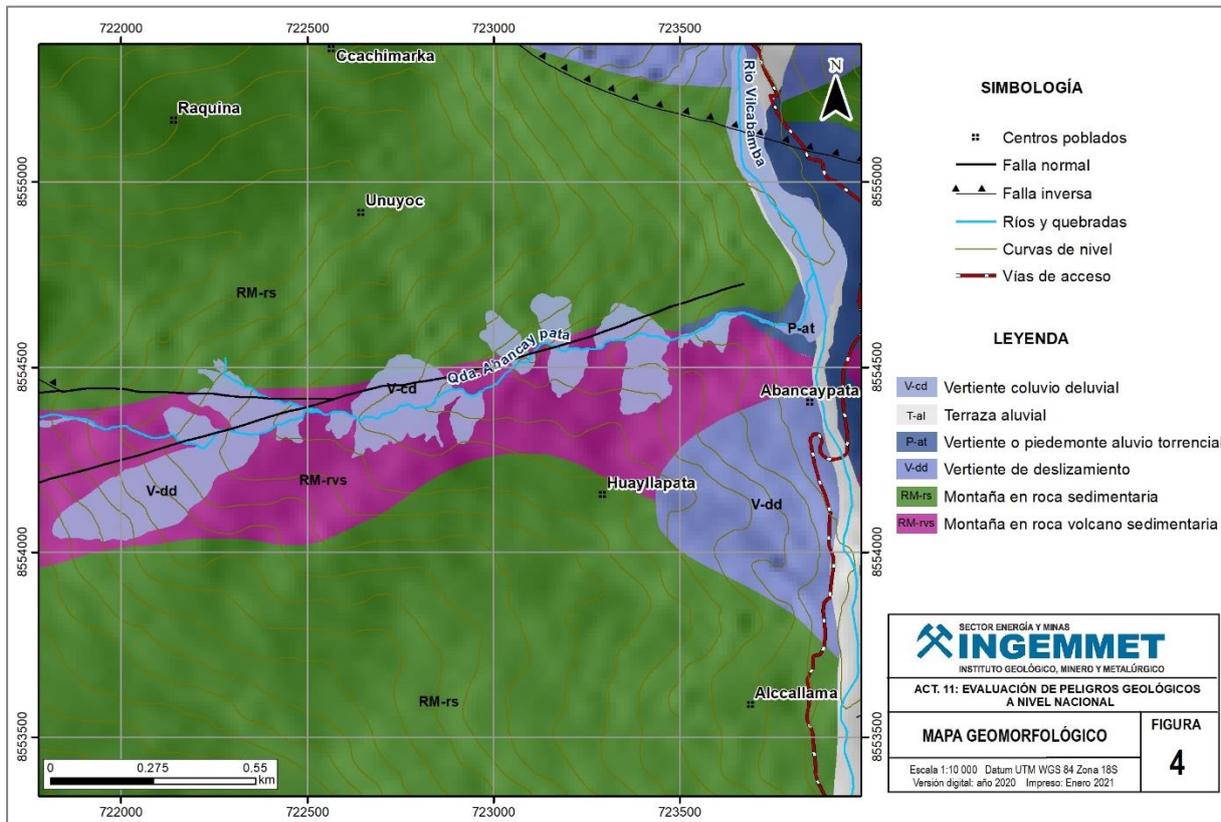
Mapa 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de la quebrada Abancayhuayco. Fuente: Vílchez et al., 2020.



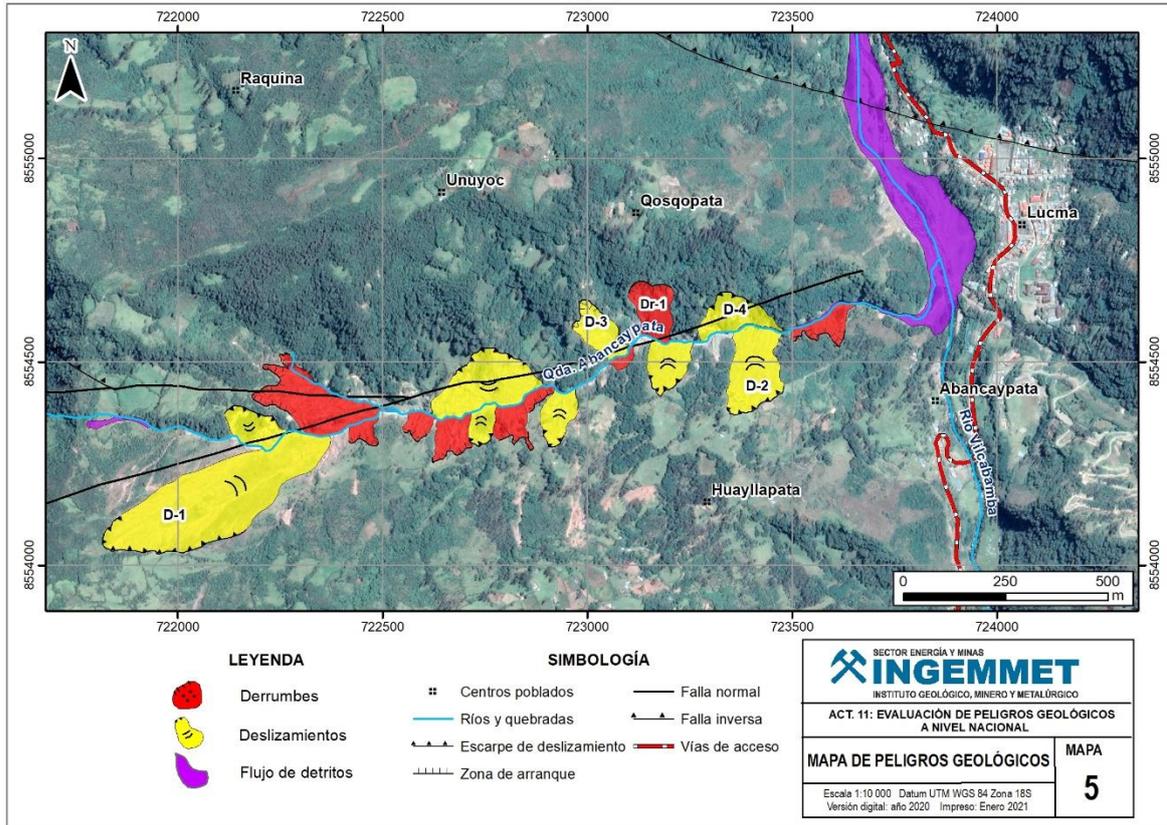
Mapa 2. Mapa geológico de la quebrada Abancayhuayco. Modificado de Carlotto, 2011.



Mapa 3. Mapa de pendientes de la quebrada Abancayhuayco. Elaboración propia.



Mapa 4. Mapa geomorfológico de la quebrada Abancayhuayco. Fuente: Vilchez et al., 2020.



Mapa 5. Cartografía de peligros geológicos en la quebrada Abancayhuayco, distrito de Vilcabamba, provincia de La Convención, departamento Cusco.

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 10 y 11), 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).

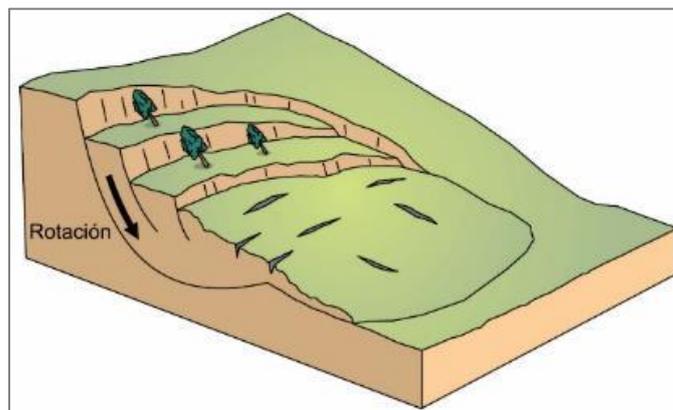


Figura 10. Esquema de un deslizamiento rotacional (tomado del Proyecto Multinacional Andino, 2007)

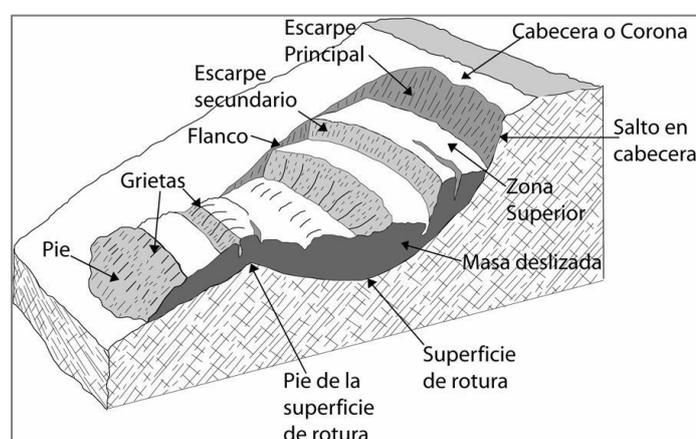


Figura 11. Partes de un deslizamiento rotacional. Fuente: Suarez J., 2009.

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 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

A. MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA HUAICOS

Estas medidas de mitigación deben emplearse en quebradas de régimen temporal donde se producen huaicos periódicos a excepcionales que pueden alcanzar grandes extensiones y transportar amplios volúmenes de sedimentos gruesos y finos. Con el propósito de propiciar la fijación de los sedimentos en tránsito y de minimizar el transporte fluvial, es preciso aplicar, en los casos que sean posibles, las medidas que se proponen a continuación

- Encauzamiento del canal principal de los lechos fluviales secos, con remoción selectiva de los materiales gruesos, que pueden ser utilizados en los enrocados y/o espigones para controlar las corrientes (figura 12). Considerar siempre que estos lechos fluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia excepcional, caso del fenómeno El Niño. Es decir, el encauzamiento debe considerar un diseño que pueda resistir máximas avenidas sin que se produzcan desbordes.
- Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos (figura 13).
- La construcción de obras e infraestructuras que crucen estos cauces secos deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máxima crecidas registradas, que permitan el libre paso de huaicos, evitándose obstrucciones y represamientos, con posteriores desembalses más violentos.
- Realizar la construcción de presas de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas que acarrean grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos.
- Evitar en lo posible la utilización del lecho fluvial como terreno de cultivo que permita el libre discurrir de los flujos hídricos.
- Las quebradas, torrenteras o chorreras que generan huaicos periódicos en la región pueden ser controladas en las carreteras mediante badenes de concreto o mampostería de piedra, alcantarillas, pontones o puentes, entre otros, en función de las características geodinámicas y topográficas de la quebrada. Es preciso mencionar que estas obras de infraestructuras, que atraviesen estos cauces, deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máximas crecidas registradas, que permitan el libre discurrir de crecidas violentas que provienen de la cuenca media y alta evitándose obstrucciones y represamientos violentos.

Además, estas obras deben ser acompañadas de obras de canalización y limpieza del cauce de la quebrada aguas arriba; así como obras de defensa contra erosión (enrocados, gaviones o muros de concreto) ya mencionados.

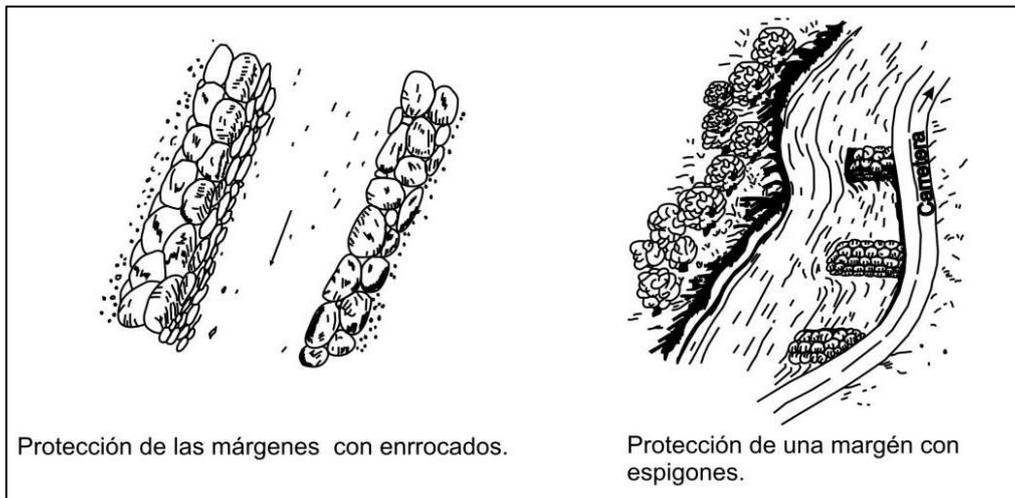


Figura 12. Protección de márgenes con enrocados, espigones y siembra de bosques ribereños.

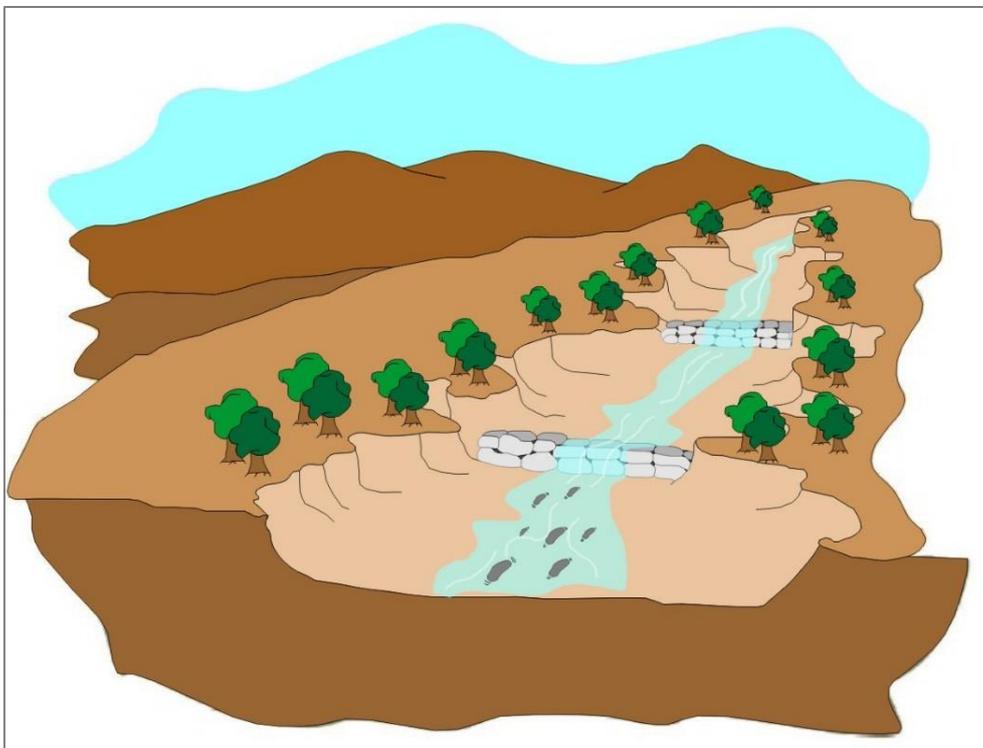


Figura 13. Presas transversales a cursos de quebradas.

B. 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 14 y 15). 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.

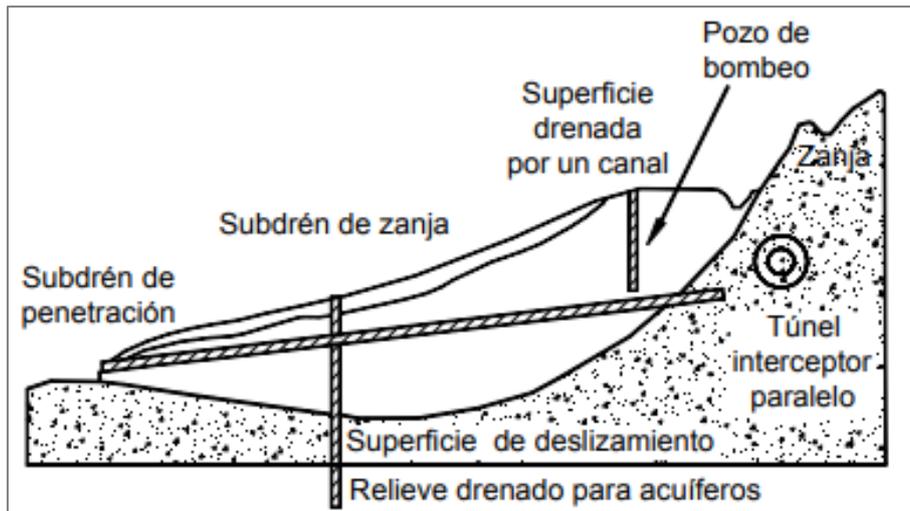


Figura 14. Sistemas de subdrenaje (Suárez, 1998).

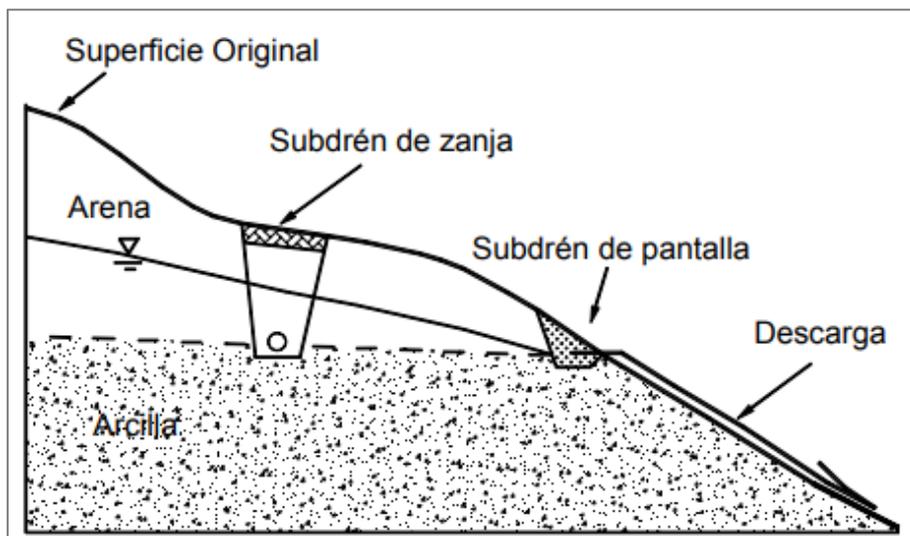


Figura 15. Esquema de un subdrenaje interceptor y un dren en el afloramiento (Suárez, 1998).