

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7200

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL TRAMO DEL KM 18+000 HASTA EL KM 28+000 DE LA CARRETERA CONOCOCHA-AQUIA

Departamento Áncash
Provincia Bolognesi
Distrito Aquia



DICIEMBRE
2021

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL TRAMO DEL KM 18+000 HASTA EL KM 28+000 DE LA CARRETERA CONOCOCHA-AQUIA

(Distrito de Aquia, provincia de Bolognesi, departamento Ancash)

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

Equipo de investigación:

Guisela Choquenaira Garate

Dulio Gómez Velázquez

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos en el tramo del km 18+000 hasta el km 28+000 de la carretera Conococha-Aquia. Distrito de Aquia, provincia Bolognesi, departamento de Ancash. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7200, 42 p.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 3 |
| 1.1. Objetivos del estudio | 3 |
| 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores | 3 |
| 1.3. Aspectos generales | 6 |
| 1.3.1. Ubicación | 6 |
| 1.3.2. Accesibilidad | 6 |
| 1.3.3. Clima | 7 |
| 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS | 7 |
| 2.1. Unidades litoestratigráficas | 7 |
| 2.1.1. Formación Chimú (Ki-chi) | 7 |
| 2.1.2. Formación Santa (Ki-sa) | 8 |
| 2.1.3. Volcánico Palta Cayán (PoNm-pc) | 8 |
| 2.1.4. Depósito coluvial (Q-co) | 9 |
| 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS | 10 |
| 3.1. Pendientes del terreno | 10 |
| 3.2. Unidades geomorfológicas | 10 |
| 3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional | 10 |
| 3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional | 11 |
| 4. PELIGROS GEOLÓGICOS | 12 |
| 4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa | 12 |
| 5. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DEL TALUD | 21 |
| 5.1. Factores condicionantes | 21 |
| 5.2. Factores desencadenantes | 22 |
| 5.3. Otros factores antrópicos | 22 |
| 5.4. Clasificación geomecánica | 22 |
| 6. CONCLUSIONES | 25 |
| 7. RECOMENDACIONES | 27 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA | 28 |
| ANEXO 1: MAPAS | 29 |
| ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN | 33 |

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por deslizamientos, derrumbes, caída de rocas y avalanchas, realizado en el tramo de km 18+000 hasta el km 28+000 de la carretera Conococha-Aquia, perteneciente a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Aquia, provincia de Bolognesi, departamento de Lima. 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, antiguos y recientes, identificados entre el km 18+000 al km 20+000 y áreas de influencia, que conforman un área aproximada de 1,000 Ha, se han desarrollado sobre rocas volcánicas formado por tobas mediana a muy fracturadas y buzamiento preferencial al NE. De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular a mala calidad. Entre el km 21+000 al km 28+000, el trazo corta rocas sedimentarias de areniscas y calizas mediana a muy fracturadas debido a la presencia del sistema de fallas de la Cordillera Blanca. Además, por tramos, el trazo de la carretera atraviesa depósitos coluviales, entre ellos depósitos de deslizamientos antiguos, compuesto por bloques de hasta 3 m de diámetro, cantos y gravas en matriz areno limosa.

El contexto geomorfológico está conformado por una topografía accidentada, definida por relieves modelados en rocas volcánicas y sedimentarias, con inclinación natural que varían de 15° a 45°, consideradas como pendientes medias a escarpadas, este último permite que el material suelto disponible en las laderas se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad. Además, en tramos, la carretera atraviesa una morfología ondulada de formas cóncavo – convexo, como resultado de antiguos movimientos en masa (deslizamientos y avalanchas). Es importante recalcar que la construcción de la carretera Conococha – Aquia, como en toda obra lineal, ha modificado las laderas con taludes de corte entre 60°- 85°.

La zona más crítica se localiza entre el km 27+760 al km 28+000, donde el trazo de la carretera corta depósitos de deslizamientos antiguos. Este evento presenta un escarpe de forma semicircular, con un ancho de 500 m y una distancia desde la corona al pie, de 1000 m aproximadamente.

La reactivación del deslizamiento se evidencia en el asentamiento de la plataforma de la carretera Conococha - Aquia, cuyo escarpe en formación posee aproximadamente 30 m de longitud y un desnivel de 0.30 m en la parte central.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámica actual, se determina que el tramo de la carretera entre el km 18+000 al km 28+000 es considerada como **zona crítica y de Peligro Alto** a movimientos en masa de tipo deslizamientos, caída de rocas, derrumbes y avalanchas; que podrían activarse ante la ocurrencia de sismos y lluvias intensas y/o prolongadas. La reactivación de estos eventos podría afectar a las viviendas de los sectores San Miguel, Uranyacu, Villanueva y Ranrash, así como, infraestructura vial (km 27+760 al km 28+000), y terrenos de cultivo.

Finalmente, se recomienda controlar y supervisar los cortes de talud realizados en el cuerpo del deslizamiento entre el km 27+760 al km 28+000- Además, realizar estudios para ver la posibilidad de cambio del trazo, en este tramo de la carretera Conococha-Aquia.

GLOSARIO

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

AVALANCHA DE ROCAS (rock avalanches). Las avalanchas de rocas son flujos de gran longitud extremadamente rápidos, de roca fracturada, que resultan de deslizamientos de roca de magnitud considerable (Hung et al., 2001). Pueden ser extremadamente móviles y su movilidad parece que crece con el volumen. Sus depósitos están usualmente cubiertos por bloques grandes, aun cuando se puede encontrar bajo la superficie del depósito material fino derivado parcialmente de roca fragmentada e incorporada en la trayectoria

CAÍDA (fall). La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996).

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).

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).

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 Viceministro de Energía y Minas, según Oficio N° 0141-2021-MINEN-VMM, en el marco de nuestras competencias se realizó una evaluación de peligros geológicos por deslizamientos, derrumbes, caída de rocas y avalanchas en el km 18+000 al 28+000 de la carretera Conococha-Aquia, del distrito de Aquia, que podría afectar viviendas, tramo carretero y terrenos de cultivo.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Guisela Choquenaira Garate y Dulio Gómez, para realizar la evaluación de peligros geológicos, del 10 al 12 de noviembre 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 terrestres y aéreas), la cartografía geológica y geodinámica, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone a consideración del Ministerio de Energía y Minas y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, 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) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en el km 18+000 al 28+000 de la carretera Conococha-Aquia, que compromete infraestructura vial y viviendas.
- 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 local y regional en el distrito de Aquia, se tienen:

- A. Informe técnico N° A6504 “Susceptibilidad a los peligros geológicos en la carretera Pativilca-Conococha-Antamina” (Zavala, 2007), donde se identificó deslizamientos, derrumbes, caída de rocas y avalanchas, de los cuales, los tramos carreteros Km 18+520 al 20+460, Km 22+200 al 26+000, Km 27+500 al 28+800 y el sector Uranyacu fueron denominados como **Zonas Críticas**, debido a la peligrosidad que estos representan (cuadro 1). Además, en este sector se recomendó realizar el monitoreo

topográfico en el deslizamiento, con la finalidad de detectar posibles movimientos en el cuerpo del deslizamiento antiguo y actual e implementar sistemas de drenaje tipo zanjas de coronación por encima de las escarpas.

Cuadro 1. Descripción de las zonas críticas identificadas en el km 18+000 al 28+000 de la carretera Conococha-Aquia.

| Tramo de carretera o sector | Amenaza actual o futura | Vulnerabilidad o daños probables | Recomendaciones |
|-----------------------------|---|---|--|
| Km 18+520 al 20+460 | Caída de rocas (cuñas y vuelcos) y derrumbes; deslizamiento antiguo en el sector Villanueva. | Afecta tramo de 2 km por sectores | Necesitan mallas de protección y drenajes para aguas pluviales; desquinche de bloques, |
| Km 22+200 al 26+000 | Derrumbes y caída de rocas; involucra rocas y suelos | Por sectores afecta tramo de 4 km de carretera. | Se ha banquetado algunos tramos, colocado muros de piedra en el pie de taludes y drenajes; necesita colocar mallas de protección anclados. |
| Km 27 +500 al 28+800 | Deslizamiento antiguo reactivado. Puede activarse con lluvias excepcionales. Derrumbes; deslizamiento antiguo reactivado en el corte. | Afecta tramo de 200 y 400 m de carretera, respectivamente | Se ha banquetado talud de corte; necesita drenajes para aguas pluviales y reforestar el área. Se han construido drenajes y se colocaron muros de contención de piedra. |
| Uranyacu | Deslizamiento rotacional reactivado en talud inferior; avance retrogresivo. | Talud inferior; avance retrogresivo. Afecta tramo de carretera principal y carretera a Aquia. | Reforestación de ladera; drenajes |

B. Boletín N° 38, serie C, "Riesgos geológicos en la región Ancash (Zavala et al., 2009), menciona que, en el sector Aquia se identificaron derrumbes y deslizamientos por talud de corte en la carretera que conduce a Antamina (km 27+700), sobre areniscas y lutitas muy fracturadas y alteradas en talud escarpado de 80° de pendiente.

El estudio también realiza un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa presentado en un mapa a escala 1: 100 000, donde el tramo carretero del km 18+000 al 28+000 presenta muy alta susceptibilidad (figura 1). Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

C. En la "Memoria descriptiva de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquian y Yanahuanca (Cobbing et al., 1996); describe la geología y geomorfología del distrito de Aquia, a escala 1: 100 000, resaltando cambios sobre la estratigrafía (formaciones Carhuaz, Chimú y Santa) y la conformación de unidades geomorfológicas de montañas modeladas en rocas volcánicas, sedimentarias y volcano - sedimentarias.

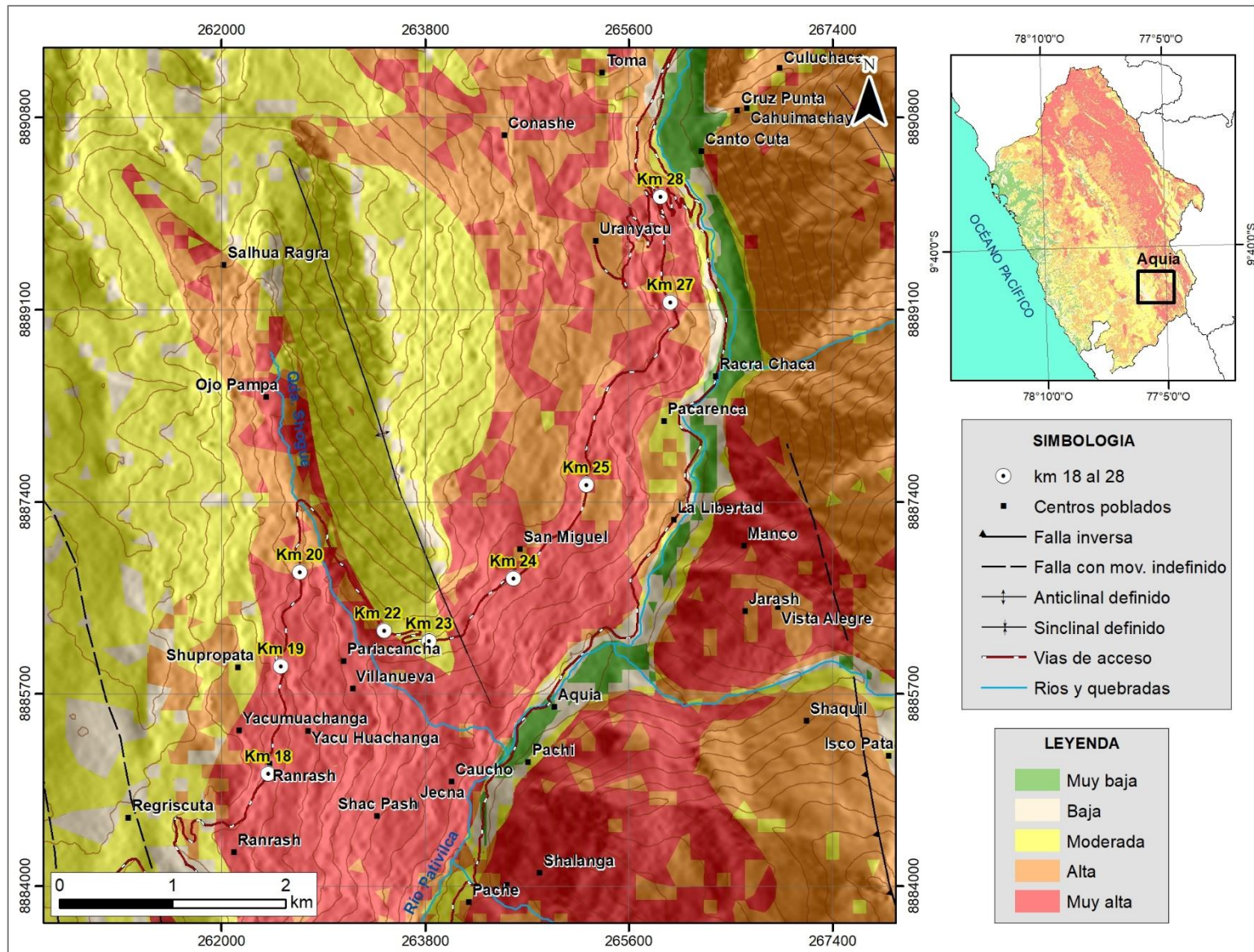


Figura 1. Rangos de susceptibilidad a movimientos en masa en el km 18+000 al 28+000 de la carretera Conococha-Aquia. Fuente: Zavala et al., 2009.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada se localiza desde el km 18+000 al 28+000 de la carretera Conococha-Aquia, a 37.4 km al noreste de Conococha. Políticamente, pertenece al distrito de Aquia, provincia de Bolognesi, departamento de Ancash (figura 2); en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 s) (cuadro 2):

Cuadro 2. Coordenadas del área evaluada

| N° | UTM - WGS84 - Zona 18L | | Geográficas | |
|--|------------------------|---------|-------------|----------|
| | Este | Norte | Latitud | Longitud |
| 1 | 261885 | 8891066 | -10.02 | -77.17 |
| 2 | 266955 | 8891225 | -10.02 | -77.12 |
| 3 | 264878 | 8883857 | -10.09 | -77.14 |
| 4 | 260479. | 8885704 | -10.07 | -71.18 |
| COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL | | | | |
| C | 263753 | 8887090 | -10.06 | -77.15 |

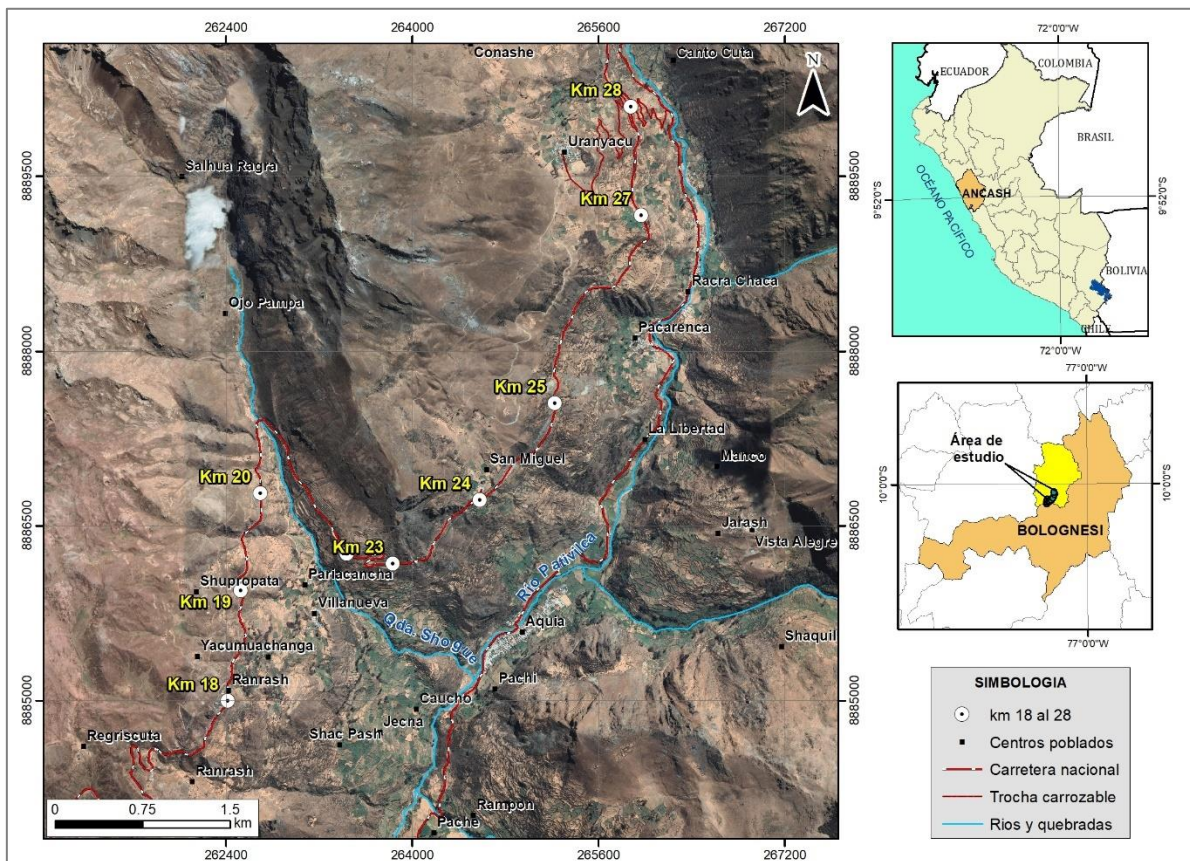


Figura 2. Ubicación del área evaluada, distrito de Aquia, provincia de Bolognesi, departamento Ancash.

1.3.2. Accesibilidad

Se accede por vía terrestre desde la ciudad de Lima (INGEMMET-sede central), mediante la siguiente ruta (cuadro 3):

Cuadro 3. Rutas y accesos al área evaluada.

| Ruta | Tipo de vía | Distancia (km) | Tiempo estimado |
|--------------------|---------------------|----------------|-----------------|
| Lima - Huaraz | Carretera asfaltada | 402 | 7h 35 minutos |
| Huaraz - Conococha | Carretera asfaltada | 80.7 | 1h 35 minutos |
| Conococha-Km 18 | Camino carrozable | 18 | 20 minutos |
| Km18 al Km 28 | Carretera asfaltada | 10 | 12 minutos |

1.3.3. Clima

Según la clasificación de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), el área evaluada corresponde a un clima lluvioso y con invierno seco frío, con temperaturas promedio anual máxima de 19 °C, mínima de 3 °C y la temperatura promedio anual media es 11 °C. Las precipitaciones son constantes entre los meses de noviembre y marzo, varían entre 500 m y 1200 mm.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis ingeniero - geológico en el km 18+000 al km 28+000 de la carretera Conococha – Aquia - Antamina se desarrolló en base a la información obtenida en campo y la Carta Geológica del cuadrángulo de Chiquian (Cobbing et al., 1996); – hoja 21i (, 2019), a escala 1/50 000, donde se presentan rocas sedimentarias del Cretácico inferior, rocas volcánicas del Cenozoico 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 se completa en el mapa geológico, presentado en el mapa 1: Anexo 1.

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el talud inferior del km 18+000 al km 28+000 corresponden a rocas de origen sedimentario y volcánico, de las formaciones Chimú (Ki-chi3), Santa (Ki-sa), Carhuaz (Ki-ca) y volcánico Palta Cayán (PoNm-pc/ea, b, c y d). Estas unidades se encuentran coberturadas por depósitos antrópicos, coluvio – deluviales, entre ellos, depósito de deslizamiento, que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad.

2.1.1. Formación Chimú (Ki-chi)

Esta unidad del Valanginiano inferior a medio, infrayace a las sedimentitas de las formaciones Santa y Carhuaz. Aflora en la carretera Conococha - Aquia, desde el km 21+000 al km 26+000, de forma discontinua. Está conformado por areniscas cuarzosas y calizas moderadamente meteorizadas y mediana a muy fracturadas debido a la presencia de fallas de la Cordillera Blanca y coadyuvado por el corte de talud.

El plano principal de fracturamiento, en este punto, buza hacia el noreste (F1), generando bloques con espaciamiento entre las fisuras de 0.20 a 0.6 m. De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular a mala calidad.

En el cuadro 4 se muestra las medidas tomadas en campo de las principales familias de fracturamiento.

Esta zona, geodinámicamente, está asociada a caída de rocas y vuelco, con probabilidad de falla planar y cuña.



Fotografía 1. Km 23+060, afloramiento de areniscas cuarzosas mediana a muy fracturadas, con espaciamentos entre las fisuras de 0.2 a 0.6 m.

Cuadro 4. Medidas registradas en areniscas cuarzosas de la Formación Chimú.

| Familia de fracturas | Azimut | Buzamiento |
|----------------------|--------|------------|
| Talud | N 80° | 70 SE |
| F1 | N 350° | 72 NE |
| F2 | N 190° | 28 SW |
| F3 | N 310° | 70 SW |

2.1.2. Formación Santa (Ki-sa)

Yace concordantemente sobre la Formación Chimú, aflora en el km 26+400 al 26+840, constituye un horizonte marcado entre las areniscas Chimú y las lutitas Carhuaz. Está compuesta por calizas grisáceas, moderadamente meteorizadas y muy fracturadas, con espaciamiento entre las fisuras de 0.1 a 0.3 m, y relleno areno limoso. La principal familia de fracturamiento buza a favor de la pendiente.

2.1.3. Volcánico Palta Cayán (PoNm-pc)

El trazo de la carretera Conococha – Aquia, en el km 19 al 020+500 corta rocas volcánicas, constituido por tobas color grisáceo. En el km 19+600 el sustrato se encuentra moderadamente meteorizadas y muy fracturado (fotografía 2), con aperturas de 0.1 a 0.5 m y relleno entre las fisuras de partículas arenosas. La resistencia a la compresión simple varía de 25 a 50 Mpa. Por sectores se encuentra coberturado por depósitos residuales, de arena limosa.

En el cuadro 5 se muestra las medidas tomadas en campo de las principales familias de fracturamiento, siendo F1 la principal familia.

Esta unidad está asociada a caída de rocas y vuelco, con probabilidad de falla en cuña.



Fotografía 2. Vista de tobas mediana a muy fracturadas y moderadamente meteorizadas del volcánico Palta Kayán. Coordenadas UTM (WGS 84): 262672 E, 8886541 N a 4041 m s.n.m

Cuadro 5. Medidas registradas en rocas tobáceas del volcánico Palta Kayán.

| Familia de fracturas | Azimut | Buzamiento |
|----------------------|--------|------------|
| Talud | N 40° | 85° SE |
| F1 | N 120° | 19° NE |
| F2 | N 135° | 66° SW |
| F3 | N 165° | 57° NE |

2.1.4. Depósito coluvial (Q-co)

Se encuentran dispuestos al pie del talud inferior que corta la carretera Conococha-Aquia, debido a la acción de la gravedad e influencia de aguas de escorrentía superficial. Están compuestos por bloques de roca volcánica y sedimentaria, con diámetros que varían de 0.5 a 3 m, de formas angulosas a subangulosas, en algunos tramos se encuentran fragmentos de roca levemente meteorizados, de naturaleza volcánica, inmersos en escasa matriz arenoso-arcilloso.

Un claro ejemplo de estos depósitos se evidencia a la altura del km 19+100, donde los bloques de formas angulosas, dispuestos en la ladera, con diámetros de hasta 4 m, podrían caer hacia la carretera ante un movimiento sísmico.

Dentro de esta clasificación se considera a los depósitos de deslizamientos (Q-dd), compuesto por bloques, inmersos en matriz areno arcillosa, localizados por tramos desde el km 18+000 al km 28+000, la mayor evidencia se observó desde el km 25+000, siendo el km 27+760 al 28+000 la zona más crítica (fotografía 2).

Actualmente, sobre estos depósitos se desarrollan terrenos de cultivo de alfalfa, según AZUD (soluciones agricultura), las necesidades hídricas de esta plantación, para el total del ciclo, varía entre 700 a 900 mm de agua; ello incrementa la saturación y humedecimiento del terreno.

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 2 (Anexo 1), se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base al modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución (USGS). Entre el km18+000 al km 28+000 se presentan con mayor predominio laderas con pendientes moderadas (5° - 15°) a fuertes (15° - 25°), con un cambio abrupto a terrenos de pendiente muy escarpada ($>45^{\circ}$).

Sin embargo, la intervención antrópica ha modificado las laderas con la finalidad de construir la carretera Conococha-Aquia, originando taludes con pendientes subverticales (60° - 85°), el cual 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 3), 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 en el mapa geomorfológico regional del departamento de Ancash, a escala 1/ 1 000 000 (Ingemmet, 2012), fueron complementadas con información obtenida en campo (figura 3).

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 las formaciones Chimú y Santa, conformada por areniscas, limoarcillitas, y calizas respectivamente. Las montañas que cubren gran parte de la zona de estudio, presentan cimas puntiagudas y alargadas, cuyas laderas naturales poseen pendientes que varían de 17° a 35° (figura 2). En la parte alta presentan drenaje dendrítico, resaltando principalmente la quebrada Shogue, a la altura del km 21+200.

Subunidad de montañas en rocas volcánicas (RM-rv): Relieve modelado en tobas volcánicas de Palta Cayán, se encuentran cubriendo la ladera suroeste de la comunidad de Aquia. Presenta cimas subredondeadas y laderas de pendiente medias (15°-25°) a empinadas (25°-45°). Hacia el km 18+000, la morfología de la ladera cambia debido a la antropización (intervención humana), a taludes verticalizados (75°)

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. En el área evaluada (km 18+000 al km 28+000), se encuentran cubriendo rocas de origen sedimentario y volcánico, con espesor variable de 1 a 2.5 m, poco compactadas.

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. La morfología, aproximadamente desde el km 23+000 se presenta de forma cóncava – convexa, con disposición semicircular a elongada en relación a la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

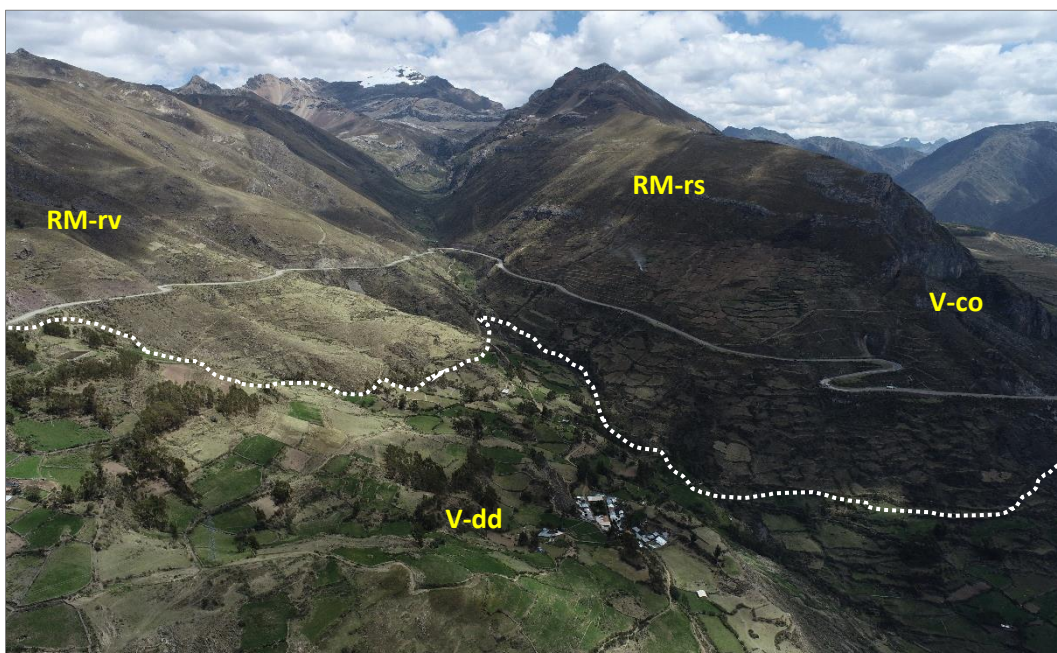


Figura 3. Vista al norte, montañas modeladas en rocas sedimentarias (RM-rs), montañas modeladas en roca volcánica (MR-rv), Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd) y Vertiente coluvio – deluvial (V.cd). Coordenadas UTM (WGS 84): 262644 E, 8887467 N a 4017 m s.n.m

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados entre el km 18+000 al km 28+000 de la carretera Conococha-Aquia, corresponden a movimientos en masa de tipo caída de rocas, derrumbes avalanchas y deslizamientos (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). Estos peligros son resultado del proceso de modelamiento del terreno, coadyuvado por la presencia del sistema de fallas de la Cordillera Blanca, así como, a la intervención antrópica (mano del hombre), que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, debido al cambio de topografía del terreno producido por los cortes del talud para el trazo de la carretera Conococha-Aquia, inestabilizando las laderas rocosas.

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

El área evaluada abarca desde el km 18+000 al km 28+000 de la carretera Conococha - Aquia, donde se presenta una geodinámica muy activa, representada por caída de rocas, avalancha de rocas, derrumbes y deslizamientos antiguos y reactivados, este último cubre un área de 5 127 056 m² (Anexo 1: Mapa 4).

Los procesos por caída de rocas y avalanchas cubren un área de 4 611 624 m², mientras que los derrumbes abarcan un área de 74 751 m².

Bilberto (2007), determina como zona crítica, desde el Km 18+520 al km 28 (sector Uranyacu), los cuales son ploteado en la figura 5 (enmarcados en círculos amarillos).

A continuación, se describen los puntos más críticos observados en campo:

4.1.1. Derrumbes y caída de rocas.

El trazo de la carretera, en el km 18+000, atraviesa una morfología irregular y variable, corta rocas volcánicas, conformado por tobas muy fracturadas y diaclasadas, generando bloques sueltos de hasta 2.5 m de diámetro y relleno entre las fisuras de partículas arenosas. Esta zona está asociada a caída de rocas y derrumbes, con probabilidad de falla en cuña. Hacia el km 18+300 pasa a una morfología ondulada, con pendiente de 35°, compuesto por bloques y arenas color marrón, proveniente de un deslizamiento.

En el flanco izquierdo de este deslizamiento, se produjo caída de rocas, con diámetros de hasta de 5 m, cuya pendiente de 26° facilitaría la caída de los mismos, cuesta abajo, ello podría afectar viviendas del sector Ranrash y un tramo carretero aproximado de 220 m (fotografía 3).

4.1.2. Avalanchas y caída de rocas.

El tramo 23+100 atraviesa una superficie bastante irregular, con talud subverticalizado de 70°, corta rocas sedimentarias muy fracturadas, generando bloques sueltos de hasta 3 m en la ladera. Esta zona está asociada a caída de rocas, avalanchas y vuelcos, con probabilidad de rotura planar y cuñas en rocas de muy mala calidad geomecánica y buzamientos (de los estratos rocosos) a favor de la pendiente, favoreciendo de esta manera la inestabilidad de la ladera (fotografía 4).

4.1.3. Deslizamiento

Actualmente, la zona más crítica se localiza entre el km 27+760 al km 28+000, donde el trazo de la carretera corta depósitos de deslizamientos antiguos (cubren un área de 523155 m²), compuesto por bloques angulosos de 1 m en promedio y arenas mal graduadas, inmersas en matriz areno-arcillosa. Este evento antiguo presenta un escarpe de forma semicircular con un ancho de 0.51 km y una distancia desde la corona al pie del deslizamiento de 1.14 km. El cuerpo del deslizamiento presenta una morfología ondulada y variable, presentando desniveles de 5 m en el terreno.

El asentamiento de la plataforma de la carretera Conococha-Aquia, es producto de la reactivación de un evento antiguo (figura 4), cuyo escarpe en formación posee aproximadamente 30 m de longitud y un desnivel de 0.30 m en la parte central.

En el cuerpo del deslizamiento se realizó el corte de talud para la construcción de trocha carrozable que conduce al sector Uranyacu, además en la parte alta del deslizamiento se desarrollan terreno de cultivo de alfalfa, plantación que requiere cantidades considerables de agua, los cuales estarían acelerando el proceso de reactivación, coadyuvado por el peso que generan los vehículos de carga pesada que circulan por dicha carretera.

En el cuadro 6 se describen los procesos de movimientos en masa desde el punto de vista geológico, geomorfológico, geomecánico; así como la caracterización geométrica de los movimientos en masa.



Fotografía 3. En el trazo de la carretera, km 18+000, se observa caída de rocas y derrumbes, con probabilidad de falla en cuña. Hacia el km 18+300 pasa a una morfología ondulada, con pendiente de 35°, compuesto por bloques y arenas color marrón, proveniente de un deslizamiento



Fotografía 4. En el tramo 23+100, se observa caída de rocas, avalanchas y vuelcos, con probabilidad de rotura planar y cuñas en rocas de muy mala calidad geomecánica y buzamientos a favor de la pendiente.



Figura 4. Vista del asentamiento de la plataforma en el km 27+760 al 28+000 de la carretera Conocochoa-Aquia, en dirección noreste, con escarpe en formación de 30 m de longitud y un desnivel de 0.30 m en la parte central.

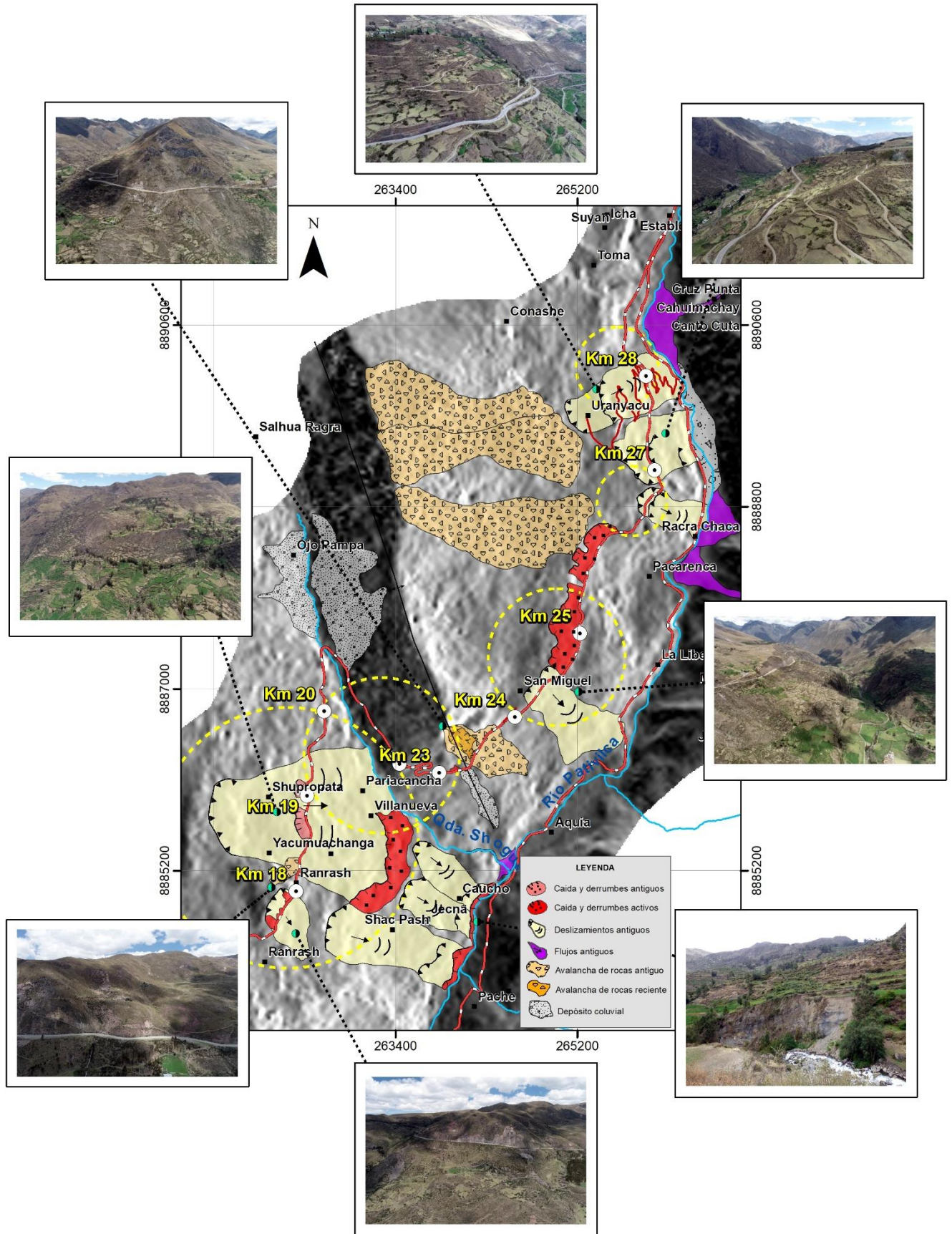


Figura 5. Zonas críticas, determinadas por Bilberto (2007), desde el Km 18+520 al km 28 (sector Uranyacu), los cuales son ploteado en círculos amarillos.

Cuadro 6. Descripción morfológica, litológica y geodinámica de los eventos activos y reactivados en el tramo del km 18+000 al km 28+000 de la carretera Conococha-Aquia.

| Sector o tramo carretero | Tipo de peligro | Coordenadas UTM | | Estado del movimiento | Morfología | Características litológicas | Descripción geodinámica |
|--------------------------|----------------------------|-----------------|---------|-----------------------|---|---|--|
| Km 18+000 al 18+100 | Caída y derrumbes | 262422 | 8885008 | activo | El trazo de la carretera, que inicia en el km 18, pasa por una topografía variable, cuya ladera natural posee una pendiente de 35°, mientras que el talud verticalizado presenta 75°. | Afloramiento volcánico muy fracturado, con espaciamentos de 0.20 cm entre las fisuras, la principal familia buza en dirección NE. El diaclasamiento del sustrato podría ocasionar falla planar y vuelco. En la ladera se observó bloques sueltos de composición tobácea, de hasta 3 m. | Deslizamiento antiguo reactivado en derrumbes y caída de rocas, producto del corte de talud. Considerada como zona de riesgo geodinámico medio. Ante un movimiento sísmico los bloques sueltos pueden ceder cuesta abajo, ello afectaría un tramo de 120 m (fotografía 5). |
| km 18+160 al 18+320 | Deslizamiento | 262430 | 8885160 | Reactivado | En este tramo el trazo de la carretera cambia a un relieve ondulado, de formas cóncavo-convexo, como resultado de procesos de deslizamientos antiguos, pose inclinación que varía de 15° a 25°. | La carretera atraviesa depósitos de deslizamiento antiguos, compuesto por bloques que varían de 1 a 5 m y arenas de grano medio y limoarcillitas, medianamente compactadas y secas. | Deslizamiento reactivado, en el cuerpo se observó lomeríos y desniveles de 1.5 m. En la parte superior del deslizamiento se produjo caída de rocas, los bloques con diámetros de 5 m dispuestos en la ladera podrían caer hacia la carretera. Afectaría viviendas del sector Ranrash y un tramo aproximado de 220 m. |
| km 18+400 al 18+640 | Caída de rocas y derrumbes | 262503 | 8885371 | Reactivado | En este tramo, la carretera Conococha-Aquia atraviesa una topografía definida por rocas sedimentarias, cuya ladera natural posee una pendiente de 23°, sin embargo, la intervención antrópica modificó el talud a 70° (corte de talud). | En el talud inferior del km 18+400, aparece un pequeño afloramiento de rocas sedimentarias, conformado por areniscas y limoarcillitas, color marrón rojizo, muy fracturadas, con espaciamiento entre las fracturas de 0.08 a 0.5 m, De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular a mala calidad. Este afloramiento se encuentra cubierto por una capa de 1.5 m de espesor, de suelo residual, compuesto por arenas limosas. | Deslizamiento antiguo reactivado en caída de rocas y derrumbes debido al corte de talud. En la actualidad se encuentra estable, pero si se produjera falla en el talud podría afectar 240 m de tramo carretero y las viviendas del sector Villanueva, asentadas en la ladera inferior. |
| km 18+720 al km 18+960 | Caída de rocas | 262540 | 8885678 | Reactivado | Atraviesa una topografía irregular, modelada en rocas sedimentarias, tipo areniscas, posee una inclinación natural que varía de 10° a 25°, consideras como pendientes medias. Sin embargo, la intervención antrópica modifíco el talud a 65°. | En este tramo, corta areniscas medianas a muy fracturadas y moderadamente meteorizadas (III), se diferencia dos paquetes marcados por la granulometría y coloración. El primer paquete de grano fino a medio, con coloración marrón rojizo, y espesores de 5 m, mientras que el segundo paquete de grano grueso, color pardo grisáceo, produjo bloques sueltos de hasta 1 m debido al fracturamiento. De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular a mala calidad. | Ante movimientos sísmicos podría producirse falla por cuña, afectaría tramo de 40 m aproximadamente. La caída de rocas en el tramo 18+780 dañó la infraestructura de la cuneta. Hacia el km 18+940 el talud se encuentra estable debido a empleabilidad de los sistemas de drenaje. |
| Km 19+080 al km19+260 | Caída de rocas | 262529 | 8885951 | Reactivado | Al inicio de este tramo, la carretera pasa por una topografía irregular. A partir del km 19+100 cambia a un relieve ondulado, como resultado de eventos antiguos (deslizamientos), con inclinación variable de 15° a 20°, considera como pendiente media. Finalmente, en el km 19+260 nuevamente atraviesa relieve irregular, con talud sub verticalizado de 73°. | En el primer tramo afloran rocas volcánicas, conformado por tobas muy fracturadas, con espaciamiento entre las fisuras de 0.05 a 0.2 m. Luego, atraviesa depósitos de deslizamientos antiguos compuestos por bloques, inmersos en matriz areno limosa, medianamente consolidados y secos. Hacia el km 19+260 el fracturamiento de las rocas volcánicas podría generar cuñas rocosas con tendencia a deslizamientos en rocas de muy mala calidad geomecánica y buzamientos a favor de la pendiente, favoreciendo de esta manera la inestabilidad de la ladera. | Deslizamiento antiguo reactivo debido al corte de talud. Afloramiento muy fracturado, ante movimientos sísmicos podría producirse falla planar y cuña. Afectaría aproximadamente 155 m de tramo carretero |

| | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------|--------|---------|------------|--|--|---|
| Km 19+580 al km 20+180 | Caída y derrumbes | 262700 | 8886551 | Reactivado | El primer tramo presenta una topografía, irregular, definida por rocas volcánicas, con inclinación natural de 35°, el talud inferior posee una pendiente de 70°. El tramo que continúa hacia el km 20+180 presenta un relieve ondulado debido a la ocurrencia de eventos antiguos. | El tramo 19+580 corta rocas volcánicas de tobas, color pardo grisáceo, moderadamente meteorizadas (III) y muy fracturadas, con probabilidad de falla en cuña. El tramo que continúa hacia el km 20+180, corta depósitos de deslizamientos antiguos, en cuyas laderas se tiene bloques sueltos de 1 en promedio, inmersos en arenas y limos. Material medianamente consolidado y secos. | Ante lluvias intensas podría ocurrir derrumbes. Afectaría aproximadamente 500 m de tramo carretero. En el tramo final, el talud se encuentra estable debido a la empleabilidad de los sistemas de drenaje. |
| km 22+230 | Derrumbes | 263671 | 8886249 | Estable | Atraviesa una topografía irregular, representada por rocas sedimentarias, cuyo talud verticalizado posee una pendiente de 80°. | Corta rocas sedimentarias, conformado por calizas medianamente fracturadas. | En el talud verticalizado se observó pequeños derrumbes. Se realizó banquetas y sistemas de drenaje tipo espina de pez. |
| Km 23 al km 23+700 | Avalancha y caída de rocas | 264204 | 8886544 | activo | En este tramo, el trazo de la carretera, atraviesa una morfología irregular, marcada por rocas sedimentarias, cuya ladera natural posee una inclinación de 35°. Al pie del talud verticalizado se tiene una pendiente de 73°. | El trazo de la carretera corta rocas sedimentarias tipo calizas, muy fracturadas y moderada (III) a altamente (IV) meteorizadas por sectores. El plano principal de fracturamiento, buza hacia el noreste, generando bloques con espaciamiento de 0.20 a 0.8 m, y bloques sueltos de 1 m en promedio. De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular a mala calidad. | En el talud superior se observó avalanchas y caída de rocas, con diámetros que varían de 1 a 3 m dispuestos en la ladera, debido al fracturamiento de las rocas, con zona de arranque de forma irregular-discontinua. La falla por cuña o planar en el talud, afectaría aproximadamente 250 m de tramo carretero. |
| 23+700 al km 24+100 (San Miguel) | Avalancha | 264544 | 8886839 | Reactivado | El trazo de la carretera atraviesa por una topografía bastante irregular y ondulada, representada por depósitos de eventos antiguos (deslizamientos y avalanchas), en la parte baja, donde se asienta en sector San Miguel, el terreno presenta una inclinación de 6°, sin embargo, hacia la parte superior posee 35°. | En este tramo, el terreno está compuesto por bloques angulosos de roca sedimentaria, con diámetros que varían de 0.5 a 1.5 m, inmersos en arenas y limos. Hacia el sector San Miguel, el terreno esta medianamente consolidada, y húmeda por sectores debido a nivel freático elevado. | El 2006, en el terreno del sector San Miguel, se produjo agrietamientos, con aperturas de 40 cm y 1.50 m de profundidad visible. En la parte baja, el terreno continúa asentándose muestra de ello son las grietas en las paredes de las viviendas (figura 6). |
| Km 25+100 al km 25+240 | Derrumbes y caída de rocas | 265250 | 8887750 | Reactivado | Atraviesa una superficie irregular de rocas volcánicas. Por sectores, esta cubierto por depósitos coluviales de ventos antiguos, presenta una inclinación que varía de 15° a 20°, consideradas como pendientes medias. | El trazo de la carretera corta rocas volcánicas, de tobas muy fracturadas y altamente meteorizadas, ello generó suelo residual. El fracturamiento género bloques sueltos de 0.3 a 0.8 m de diámetro, De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular a mala calidad. | Producto del corte de la carretera, la ladera se activó en caída de rocas y derrumbes, con bloques sueltos de hasta 3 m, ante un movimiento sísmico podría caer cuesta abajo, ello afectaría 40 m de tramo carretero. |
| Km 26+840 al km 27+740 | Deslizamiento | 265895 | 8889405 | Reactivado | El trazo de la carretera hasta el km 27+740 atraviesa una superficie ondulada, de forma cóncava-convexa, como resultado de evento antiguos (deslizamientos) que modificaron el relieve natural, poseen una inclinación que varía de 15° a 28°, considerada como pendientes medias a fuertes, mientras que, el talud verticalizado posee 70°. | En el km 26+840 el trazo corta afloramientos de rocas volcánicas muy fracturadas, con espaciamientos entre las fisuras de 0.1 a 0.2. dejando bloques sueltos 0.5 m en promedio. A partir del km 27+000 atraviesa depósitos de deslizamientos, compuesto por bloques y arenas arcillosas. Suelos algo saturados debido a la presencia de manantiales y riego de terrenos de cultivo (alfalfa). | Deslizamiento antiguo reactivado, con escarpa de forma semicircular y superficie ondulada debido a las reactivaciones, además, en el cuerpo del deslizamiento se observó desniveles de 5 m y terraceo, donde actualmente se produce alfalfa. Debido al corte, en el talud sub verticalizado, donde aflora rocas muy fracturadas podría producirse caída de rocas. |
| km 27+ 740 al Km 28 | Deslizamiento | 265929 | 8889845 | Reactivado | El primer tramo, atraviesa una superficie irregular definida por rocas volcánicas, con talud verticalizado de 70°, luego, desde el km 27+800 atraviesa una superficie ondulada, como resultado de eventos antiguos (deslizamientos), con inclinación que varía de | En el km 27+740 el trazo de la carretera corta rocas volcánicas moderadamente meteorizadas (III) y muy fracturadas, con espaciamiento entre las fisuras de 0.2 m en promedio, ello generó bloques de 0.5 m, de formas angulosas. De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de mala calidad. Hacia el | Deslizamiento antiguo reactivado, con escarpa de forma semicircular y superficie plana. Producto del asentamiento del terreno en la carretera se evidenció desplazamiento, con desniveles de 30 cm en dirección noreste. El escarpe en formación presenta 30 m de longitud. |
| | | 265885 | 8890102 | | | | |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|---|--|---|
| | | | | 15° - 45°, consideradas como pendientes medias a fuertes. | km 27+800 corta depósito de antiguos deslizamientos, compuesto por bloques con diámetros de 0.5, inmersos en matriz areno arcillosa. | Debido al asentamiento del terreno, el canal de drenaje colapsó (figura 7a), la sobre elevación de estos canales muestran hundimientos de 0.3 m (figura 7 b y c), así mismo, el Hito de kilometraje muestra un desplazamiento en dirección noreste (figura 7 d). Afectó 40 m de tramo carretero, con probabilidad de continuar el asentamiento. |
|--|--|--|--|---|--|---|



Fotografía 5. Vista del deslizamiento antiguo reactivado. Producto del corte de talud se observa derrumbes y caída de rocas en el talud verticalizado del km 18+000 al 18+640.



Figura 6. A, B. Viviendas del sector San Miguel, con paredes agrietadas, a consecuencia del asentamiento del terreno.



Fotografía 6. Entre el Km 26+840 al km 27+740 se evidenció un deslizamiento antiguo reactivado, con escarpa de forma semicircular y superficie ondulada debido a las reactivaciones.



Fotografía 7. Deslizamiento antiguo reactivado, con escarpa de forma semicircular y superficie plana. Entre el km 27+740 al Km 28+100, se produjo asentamiento del terreno, con desniveles de 30 cm en dirección noreste.

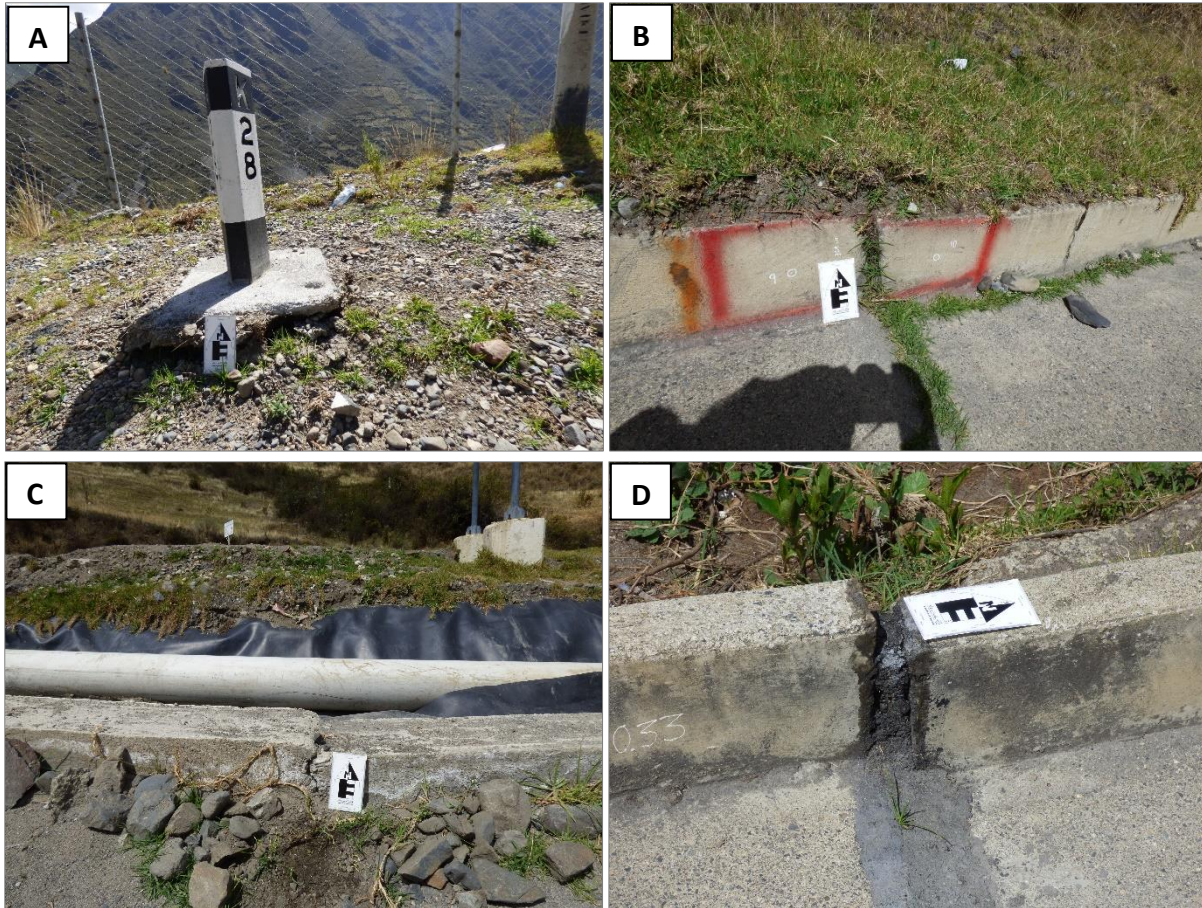


Figura 7. Afectación en la carretera entre el km 27+740 al km 28+000 debido al asentamiento del terreno, A) Canal de drenaje colapsó. B y C) La sobre elevación de estos canales muestran hundimientos de 0.3 m. D) Hito de kilometraje muestra un desplazamiento en dirección noreste.

5. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DEL TALUD

5.1. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

Entre el km 18+000 al km 20+000, el trazo de la carretera corta rocas volcánicas conformado por tobas mediana a muy fracturadas, con buzamiento preferencial al NE; en algunos tramos se observó pequeños afloramientos de rocas sedimentarias, conformado por areniscas y limoarcillitas moderadamente meteorizadas y muy facturadas, generando bloques de 0.5 m en promedio. Son rocas con resistencia a la compresión simple que varían de 25-50 Mpa, de acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular a mala calidad. Estos afloramientos se encuentran coberturados por depósitos residuales y coluviales, compuesto por bloques, arenas y limos.

Entre el km 21+000 al km 28+000, el trazo corta rocas sedimentarias de areniscas y calizas mediana a muy fracturadas debido a la presencia del sistema de fallas de la Cordillera Blanca. Además, por tramos el trazo de la carretera atraviesa depósitos de deslizamientos antiguos y coluviales, material de fácil erosión y remoción ante intensas y prolongadas precipitaciones pluviales.

Factor geomorfológico

El trazo de la carretera atraviesa una morfología muy variada e irregular, definida por relieves modelados en rocas volcánicas y sedimentarias, con inclinación natural que varían de 15° a 45°, consideradas como pendientes medias a escarpadas, este último permite que el material suelto disponible en las laderas se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad.

En tramos, la carretera atraviesa una morfología ondulada de formas cóncavo-convexo, como resultado de eventos antiguos (deslizamientos y avalanchas).

5.2. Factores desencadenantes

Los procesos por movimientos en masa antiguos, como deslizamientos, derrumbes, caída de rocas y avalanchas identificados entre el km 18+000 al km 28+000, fueron desencadenados por lluvias intensas y /o prolongadas y actividad sísmica, ocurridos anteriormente.

5.3. Otros factores antrópicos

El corte de talud para el trazo de la carretera entre el km 18+000 al km 28+000, produjo la reactivación de eventos antiguos en caída de rocas y derrumbes. Además, el corte de talud en flotamientos rocosos fracturados, podría ocasionar fallas tipo cuna, planar y vuelco.

Del mismo modo, el corte del talud realizado en el cuerpo del deslizamiento, para la habilitación de trocha carrozable hacia el sector Uranyacu, entre el km 27+760 al km 28+000, podría acelerar el proceso de reactivación.

Por otro lado, el riego no tecnificado de los terrenos de cultivo de alfalfa en las laderas, genera mayor saturación y humedecimiento del terreno, ello conllevaría a la activación y/o reactivación de procesos por movimientos en masa. Cabe mencionar que, según AZUD (soluciones agricultura), las necesidades hídricas de esta plantación, el total del ciclo varía de 700 a 900 mm de agua.

5.4. Clasificación geomecánica

5.4.1. RMR de Bieniawski

La clasificación geomecánica de Bieniawski o clasificación RMR fue desarrollada en 1973, actualizada en 1979 y 1989, consiste en la clasificación de macizos rocosos en base a parámetros geotécnicos del afloramiento.

Para la clasificación geomecánica del macizo rocoso, mediante las características del afloramiento se evaluaron las diaclasas, discontinuidades (longitud, abertura, rugosidad, relleno y alteraciones), presencia de agua y resistencia de la roca.

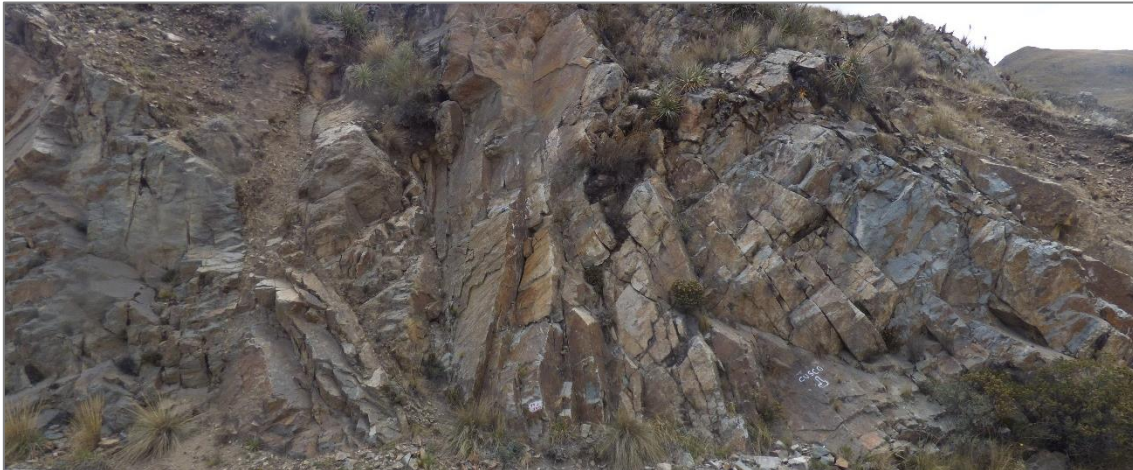
Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta, fueron determinados con el método indirecto (usando el martillo de geólogo, ISRM 1981), el índice de calidad (RQD) fue determinado para cada estación, mediante el registro lineal (Ramírez Oyanguren et al, 1984), teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento.

Para estimar la calidad de roca del talud, se realizó las medidas en afloramientos de rocas volcánicas (tobas) y sedimentaria (calizas), las cuales se describen en las estaciones 1 y 2.

Estación geomecánica 1:

La clasificación geomecánica en la estación 1, se realizó en el km 19+260, en sustrato rocoso de tobas volcánicas (fotografía 8).

La valoración del macizo rocoso, con una compresión simple de 25-50 y un índice RQD entre 25-50, clasifica al macizo rocoso con una valoración de 45. De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular calidad (cuadro 7).



Fotografía 8. Vista de tobas mediana a muy fracturadas y moderadamente meteorizadas del volcánico Palta Kayán. Coordenadas UTM (WGS 84): 262672 E, 8886541 N a 4041 m s.n.m

Cuadro 7. Estación geomecánica 01: Macizo rocoso de calidad regular con un RMR de 45.

| VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.) | | | | | | | | | | |
|--|------------------|----------------|----------------------|-------------------|--------------------|---------------------|----|---|--|-----------|
| PARAMETRO | RANGO DE VALORES | | | | | | | | | VALORACI. |
| | VALOR ESTIMADO | | | | | | | | | |
| R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa) | >250 (15) | 100-250 (12) | 50-100 (7) X | 25-50 (4) | <25(2) <5(1) <1(0) | 1 | 4 | | | |
| RQD % | 90-100 (20) | 75-90 (17) | 50-75 (13) X | 25-50 (8) | <25 (3) | 2 | 8 | | | |
| ESPACIAMIENTO (m) | >2 (20) | 0,6-2 (15) X | 0.2-0.6 (10) | 0.06-0.2 (8) | < 0.06 (5) | 3 | 10 | | | |
| CONDICION | PERSISTENCIA | <1m long. (6) | 1-3 m Long. (4) X | 3-10m (2) | 10-20 m (1) | > 20 m (0) | 4A | 2 | | |
| | ABERTURA | Cerrada (6) | <0.1mm apert. (5) | 0.1-1.0mm (4) | 1 - 5 mm (1) X | > 5 mm (0) | 4B | 0 | | |
| DE | RUGOSIDAD | Muy rugosa (6) | Rugosa (5) X | Lig.rugosa (3) | Lisa (1) | Espejo de falla (0) | 4C | 3 | | |
| JUNTAS | RELLENO | Limpia (6) | Duro < 5mm (4) | Duro> 5mm (2) | Suave < 5 mm (1) X | Suave > 5 mm (0) | 4D | 0 | | |
| | ALTERACION | Sana (6) | Lig. Alterada. (5) X | Mod.Alterada. (3) | Muy Alterada. (2) | Descompuesta (0) | 4E | 3 | | |
| AGUA SUBTERRANEA | X Seco (15) | Humedo (10) | Mojado (7) | Goteo (4) | Flujo (0) | 5 | 15 | | | |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = | | | | | | | | | | 45 |
| CLASE DE MACIZO ROCOSO | | | | | | | | | | |
| RMR | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | 20 - 0 | III | | | | |
| DESCRIPCION | I MUY BUENA | II BUENA | III REGULAR | IV MALA | V MUY MALA | | | | | |

Estación geomecánica 2:

La clasificación geomecánica en la estación 2, se realizó en el km 23+000, en sustrato de rocas sedimentarias de tipo calizas (fotografía 9).



Fotografía 9. Vista de calizas mediana a muy fracturadas y moderadamente meteorizadas de la Formación Santa. Coordenadas UTM (WGS 84): 263949 E, 8886180 N a 3857 m s.n.m

La valoración del macizo rocoso, con una compresión simple de 25-50 y un índice RQD entre 25-50, clasifica al macizo rocoso con una valoración de 44. De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular a mala calidad (cuadro 8).

Cuadro 8. Estación geomecánica 02: Macizo rocoso de calidad regular con un RMR de 44.

| VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.) | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|----------------|----------------------|-------------------|--------------------|---------------------|----|---|--|--|-----------|
| PARAMETRO | RANGO DE VALORES | | | | | | | | | | VALORACI. |
| | VALOR ESTIMADO | | | | | | | | | | |
| R. COMPRE. UNIAxIAL (MPa) | >250 (15) | 100-250 (12) | 50-100 (7) X | 25-50 (4) | <25(2) <5(1) <1(0) | 1 | 4 | | | | |
| RQD % | 90-100 (20) | 75-90 (17) | 50-75 (13) X | 25-50 (8) | <25 (3) | 2 | 8 | | | | |
| ESPACIAMIENTO (m) | >2 (20) | 0,6-2 (15) X | 0,2-0,6 (10) | 0,06-0,2 (8) | < 0,06 (5) | 3 | 10 | | | | |
| CONDICION | PERSISTENCIA | <1m long. (6) | 1-3 m Long. (4) | 3-10m (2) X | 10-20 m (1) | > 20 m (0) | 4A | 1 | | | |
| | ABERTURA | Cerrada (6) | <0.1mm apert. (5) | 0.1-1.0mm (4) | 1 - 5 mm (1) X | > 5 mm (0) | 4B | 0 | | | |
| DE | RUGOSIDAD | Muy rugosa (6) | Rugosa (5) X | Lig.rugosa (3) | Lisa (1) | Espejo de falla (0) | 4C | 3 | | | |
| JUNTAS | RELLENO | Limpia (6) | Duro < 5mm (4) | Duro> 5mm (2) | Suave < 5 mm (1) X | Suave > 5 mm (0) | 4D | 0 | | | |
| | ALTERACION | Sana (6) | Lig. Alterada. (5) X | Mod.Alterada. (3) | Muy Alterada. (2) | Descompuesta (0) | 4E | 3 | | | |
| AGUA SUBTERRANEA | X Seco (15) | Humedo (10) | Mojado (7) | Goteo (4) | Flujo (0) | 5 | 15 | | | | |
| VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = | | | | | | | | | | | 44 |
| CLASE DE MACIZO ROCOSO | | | | | | | | | | | |
| RMR | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | 20 - 0 | III | | | | | |
| DESCRIPCION | I MUY BUENA | II BUENA | III REGULAR | IV MALA | V MUY MALA | | | | | | |

6. CONCLUSIONES

1. El trazo de la carretera Conococha-Aquia, entre el km 18+000 al km 20+000, corta rocas volcánicas de Palta Cañan, conformado por tobas mediana a muy fracturadas, con buzamiento preferencial al NE; en algunos tramos se observó pequeños afloramientos de rocas sedimentarias conformado por areniscas y limoarcillitas moderadamente meteorizadas y muy facturadas, generando bloques de 0.5 m en promedio. Son rocas con resistencia a la compresión simple que varían de 25-50 Mpa, De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular a mala calidad.
2. Entre el km 21+000 al km 28+000, el trazo corta rocas sedimentarias de areniscas y calizas mediana a muy fracturadas debido a la presencia del sistema de fallas de la Cordillera Blanca. Además, por tramos el trazo de la carretera atraviesa depósitos de deslizamientos antiguos y coluviales, compuesto por bloques, cantos, gravas, arenas y limos. Son suelos de fácil erosión y remoción ante intensas y prolongadas precipitaciones pluviales y/o movimientos sísmicos.
3. Morfológicamente, el trazo de la carretera, atraviesa una topografía accidentada en dirección SW-NE, definida por relieves modelados en rocas volcánicas y sedimentarias, con inclinación natural que varían de 15° a 45°, consideradas como pendientes medias a escarpadas, este último permite que el material suelto disponible en las laderas se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad. Además, en tramos, la carretera atraviesa una morfología ondulada de formas cóncavo- convexo, como resultado de eventos antiguos (deslizamientos y avalanchas).
4. Entre el km 18+000 al km 28+000 se identificaron deslizamientos antiguos y reactivados, avalanchas, derrumbes y caída de rocas, estos procesos conforman un área aproximada de 1, 000 Ha. La reactivación de estos eventos podría afectar viviendas de los sectores San Miguel, Uranyacu, Villanueva y Ranrash, infraestructura vial (km 18+000 al km 28+000), y terrenos de cultivo.
5. Actualmente, la zona más crítica se localiza entre el km 27+760 al km 28+000, donde el trazo de la carretera corta depósitos de deslizamientos antiguos, compuesto por bloques angulosos de 1 m en promedio y arenas mal graduadas, inmersas en matriz areno-arcillosa. Este evento antiguo presenta un escarpe de forma semicircular con un ancho de 0.51 km y una distancia desde la corona al pie del deslizamiento de 1.14 km.
6. El asentamiento de la plataforma de la carretera Conococha-Aquia, en dirección noreste, es producto de la reactivación de un evento antiguo, cuyo escarpe en formación posee aproximadamente 30 m de longitud y un desnivel de 0.30 m en la parte central.
7. En el cuerpo del deslizamiento antiguo se realizó corte de talud para la construcción de trocha carrozable que conduce al sector Uranyacu, además en la parte alta del evento se desarrollan terreno de cultivo de alfalfa, plantación que requiere cantidades considerables de agua, los cuales estarían acelerando el proceso de reactivación del evento, coadyuvado por el peso que generan los vehículos de carga pesada que circulan por dicha carretera.

8. Para estimar la calidad de roca, se realizaron dos estaciones geomecánicas, tanto en roca volcánica (tobas), como en sedimentaria (calizas). Los valores obtenidos, en base a la clasificación RMR, muestran valores de 44 y 45 respectivamente. De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular calidad, estos requieren trabajos de corrección y protección.
9. Tomando en cuenta las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámica actual, se determina que el tramo de la carretera entre el km 18+000 al km 28+000 es considerada como **zona crítica y de Peligro Alto** a movimientos en masa de tipo deslizamientos, caída de rocas, derrumbes y avalanchas; que podrían activarse ante la ocurrencia de sismos y lluvias intensas y/o prolongadas.



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


Ing. Guisela Choquenaira Garate

7. RECOMENDACIONES

NO ESTRUCTURALES

1. De continuar el desplazamiento del terreno en el km 27+760 al km 28+000, una vez empleadas las medidas recomendadas, considerar nuevo trazo de la carretera, debido a que este tramo carretero, atraviesa depósitos de antiguos deslizamientos, considerados como suelos no favorables para la construcción de infraestructuras.
2. Controlar y supervisar los cortes de talud realizados en el cuerpo del deslizamiento (km 27+760 al km 28+000), a fin de evitar la generación de mayor inestabilidad. Así mismo, restringir la construcción de viviendas en áreas consideradas como zona de peligro Alto.
3. Continuar con el monitoreo del avance progresivo del deslizamiento entre el km 27+760 al km 28+000 de la carretera Conocochoa-Aquia, mediante puntos geodésicos y determinar el desplazamiento.
4. Forestar las laderas desprovistas de vegetación, desde el km 18+000 al km 28+000.
5. Prohibir el riego por inundación en los terrenos de cultivo, desarrollados en las laderas, con el fin de evitar saturación y humedecimiento en el terreno. Principalmente en la parte alta del deslizamiento localizado entre el km 27+760 al 28+000.
6. 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, la intervención antrópica no acelere los procesos activación y/o reactivación de movimientos en masa. Así mismo, para que estén preparados y sepan cómo actuar ante la ocurrencia de nuevos eventos.

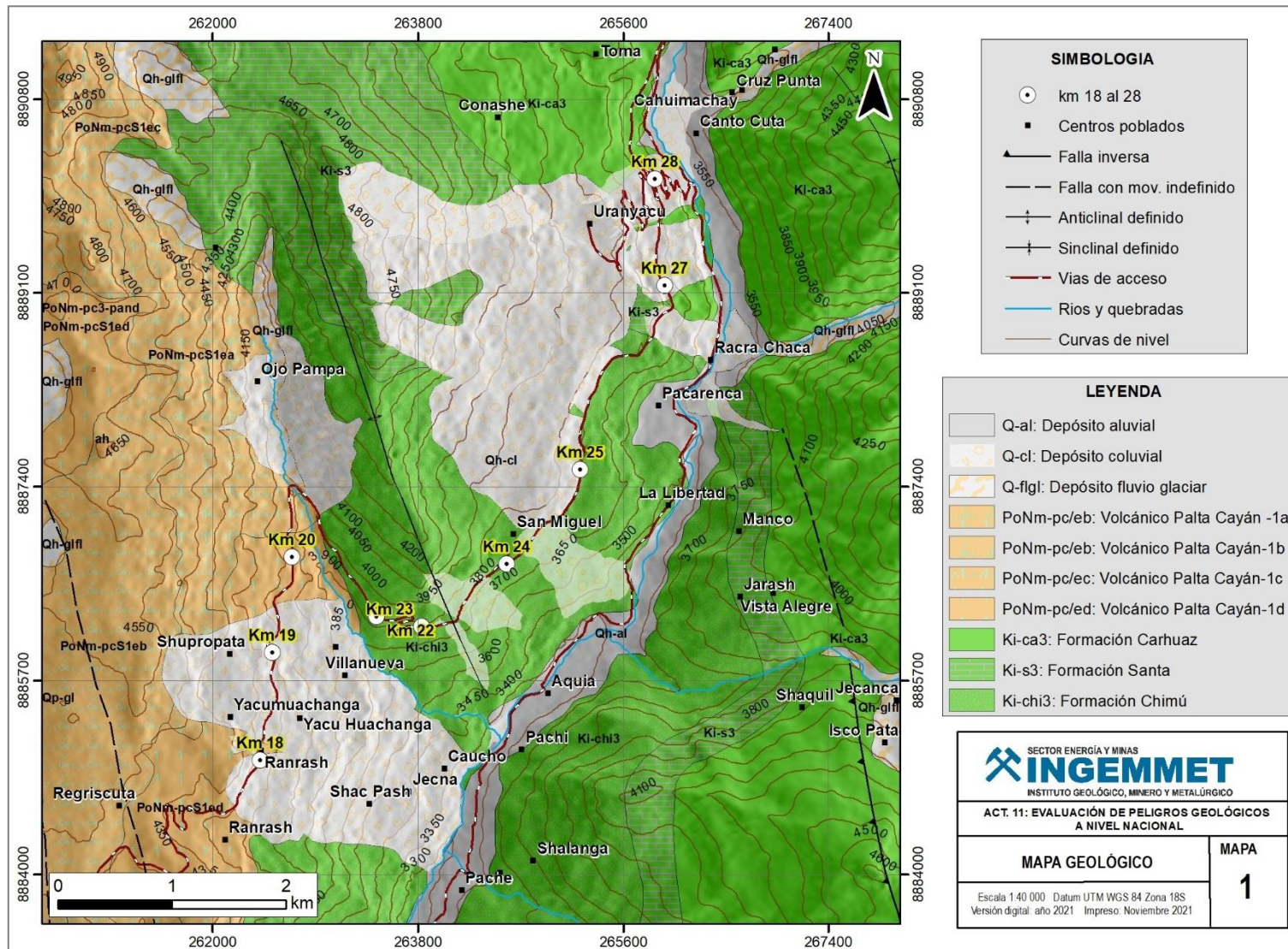
ESTRUCTURALES

7. Construir zanjas de coronación por encima de la corona del deslizamiento antiguo (Km 27+760 al km 28+000), 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 2. Estas medidas deben ser diseñadas por un especialista.
Si bien, en el cuerpo del deslizamiento, zona media-baja, se emplearon sistemas de drenaje tipo espina de pez, estos no son suficientes. Deberían de realizarse desde la parte alta del evento.
8. Entre el km 18+000 al km 18+640, de acuerdo al diámetro de los materiales o bloques generados es posible colocar mallas de protección con anclajes, con el fin de evitar caída de rocas y derrumbes. Además, en entre el tramo 18+160 al 18+320 implementar sistemas de drenaje, tomando en consideración las especificaciones en el Anexo 2.
9. Implementar mallas ancladas en el tramo del km 18+840 al km 20+180, como complemento a las banquetas realizadas en el talud.
10. Entre el km 27+760 al km 28 realizar estudios geofísicos, con el fin de determinar el nivel freático, y ver la influencia que tiene el agua en la reactivación de dicho deslizamiento.

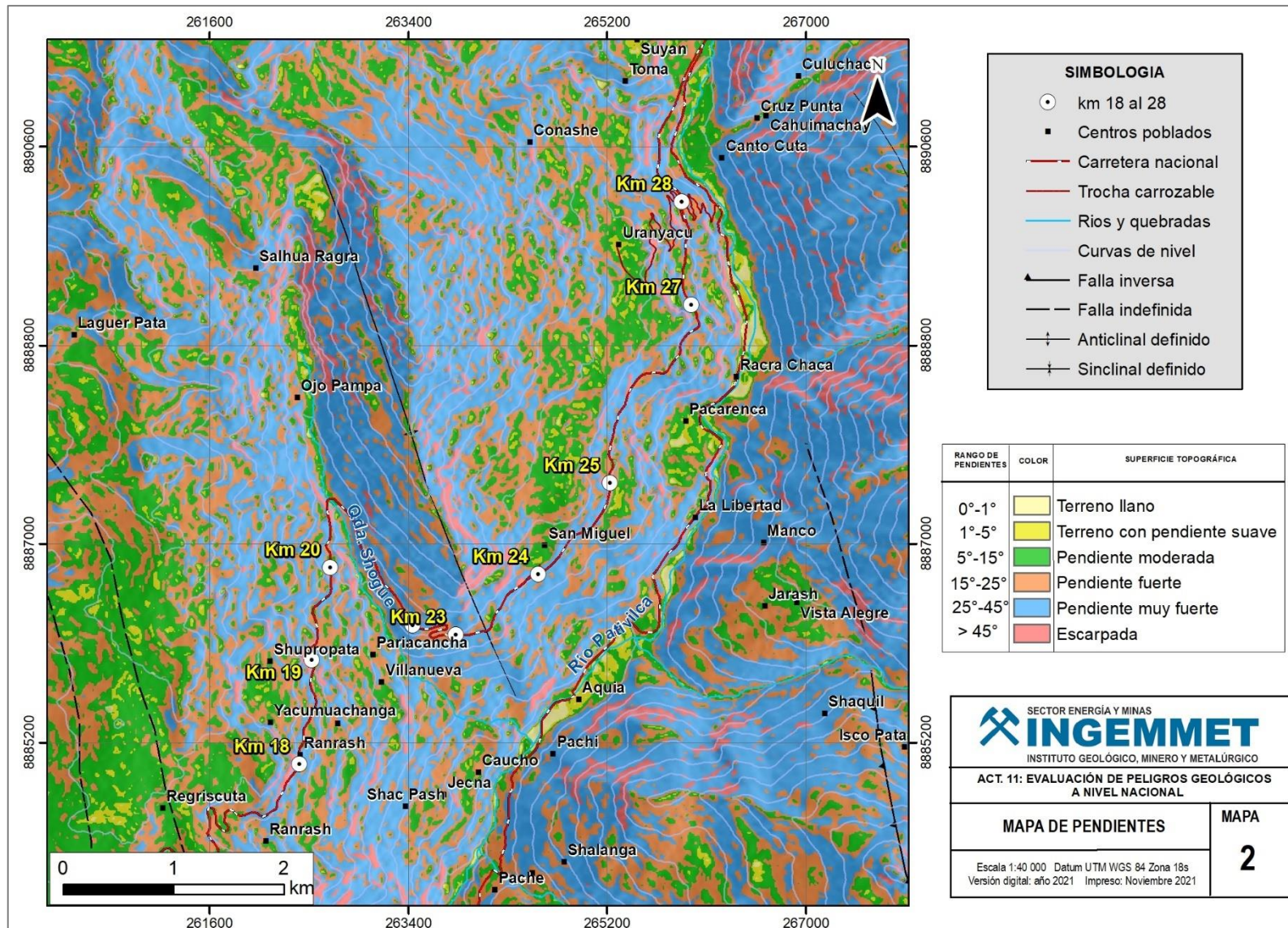
8. BIBLIOGRAFÍA

- Cobb ing, J., Sanchez, A., Martinez, W. & Zarate, H. (1996) – Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión Chiquian y Yanahuanca (20 h, 20 i, 20j, 21 i, 21 j). Serie A. Carta geológica Nacional. Ingemmet, 244 p.
- Bilberto, Z. (2007) – Susceptibilidad a los peligros geológicos en la carretera Pativilca -Conococha Antamina. Informe técnica N° A6504. Ingemmet, 76p.
- Bilberto, Z.; Valderrama, P.; Pari, W., Luque, G. & Barrantes, R. (2009) – Riesgos geológicos en la region Ancash. INGEMMET. Boletín 38, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 74, 289 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.
- 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.

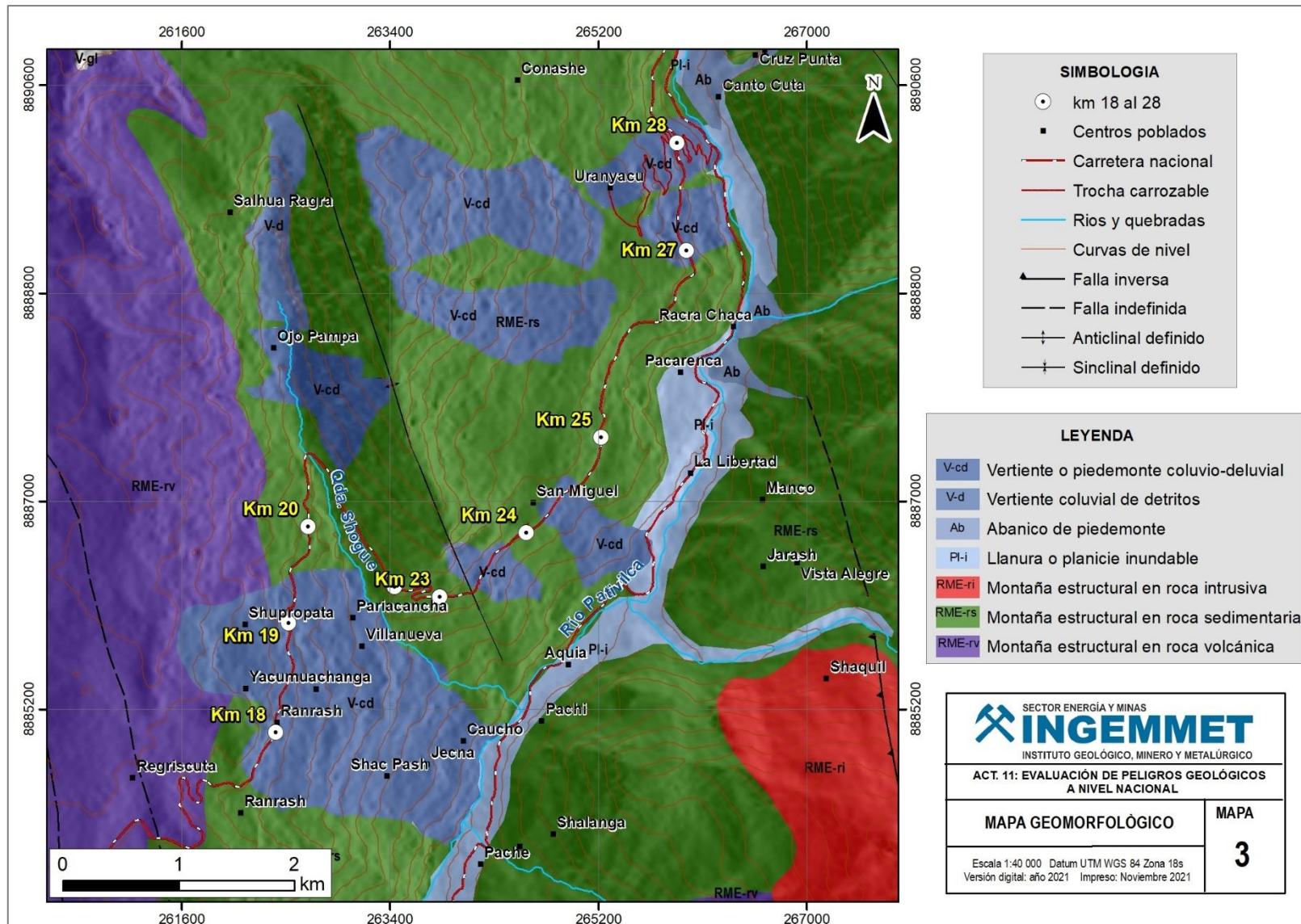
ANEXO 1: MAPAS



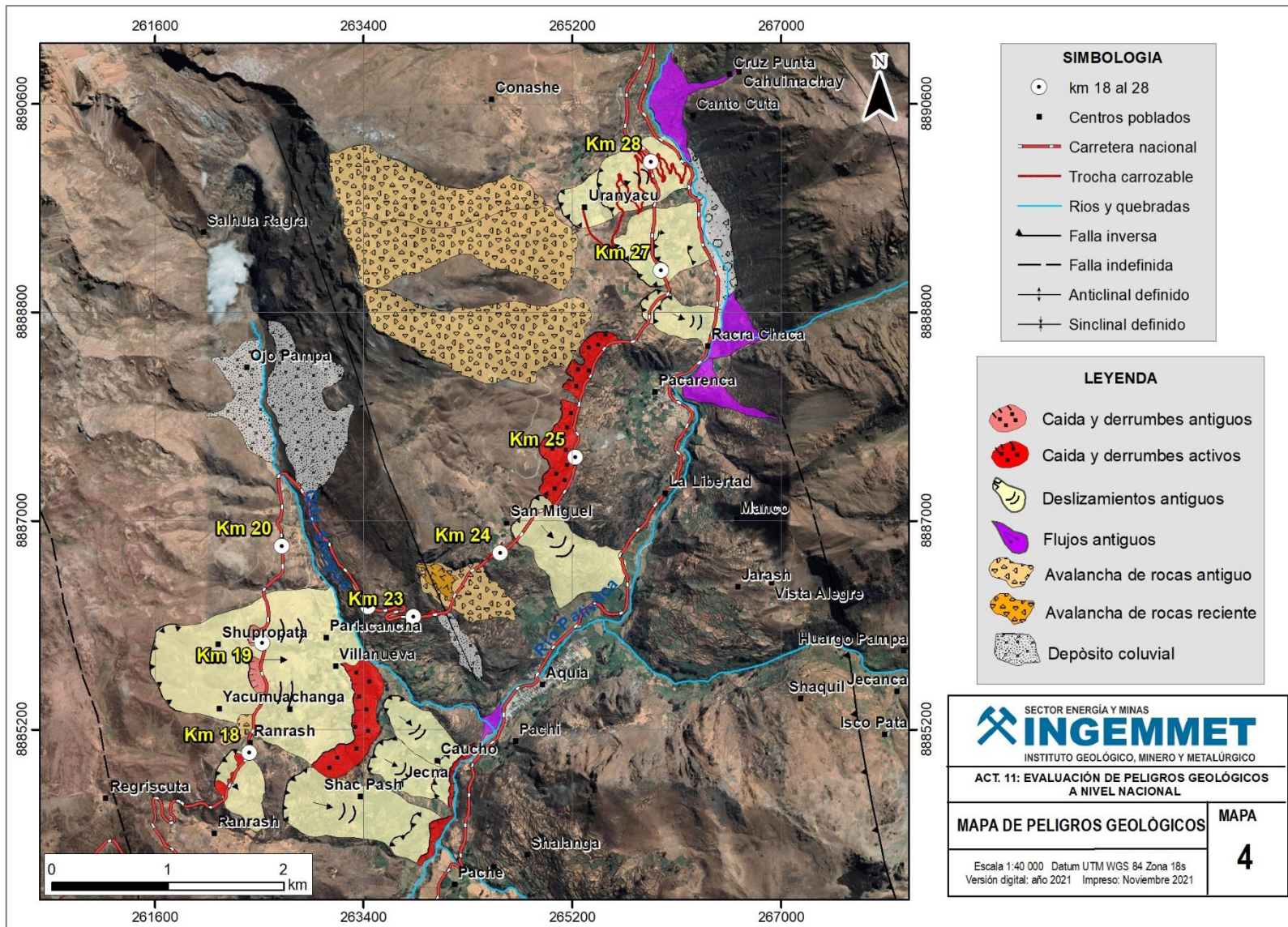
Mapa 1. Mapa geológico del área evaluada.



Mapa 2. Mapa de pendientes del área evaluada.



Mapa 3. Mapa geomorfológico del área evaluada.



Mapa 4. Cartografía de peligros geológicos del área evaluada.

ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

A. CORRECCIÓN POR DRENAJE

Unas de las técnicas más efectivas para la estabilización de laderas y taludes es el control de las aguas superficiales y subterráneas (cuadro 9). 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 9. 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 8 y 9). 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.

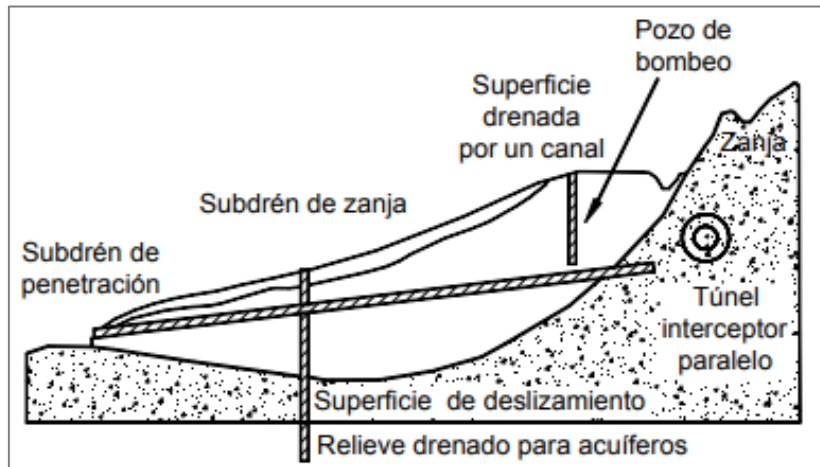


Figura 8. Sistemas de subdrenaje (Suárez, 1998).

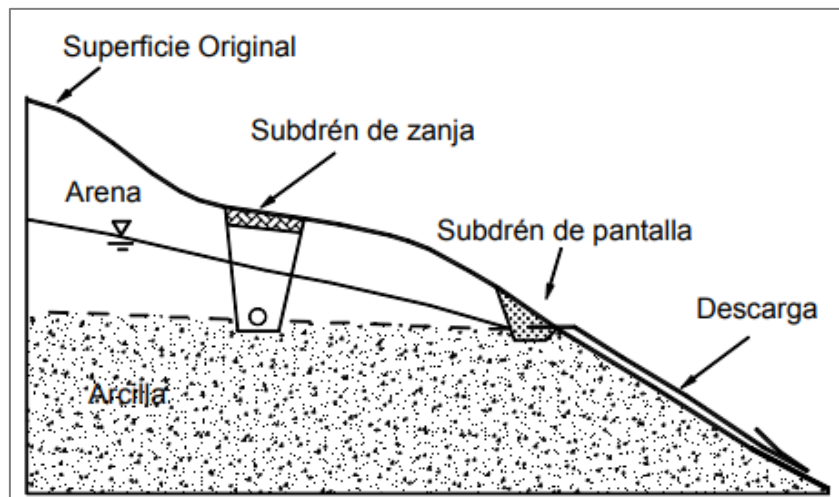


Figura 9. Esquema de un subdrenaje interceptor y un dren en el afloramiento (Suárez, 1998).

B. Corrección por modificación de la geometría del talud

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

Al disminuir la pendiente del talud, se disminuyen las fuerzas actuantes y adicionalmente el círculo crítico de falla se hace más largo y más profundo aumentándose en esta forma el factor de seguridad. El abatimiento se puede lograr por corte o por relleno (figura 10). Al disminuir la pendiente del talud debe analizarse si al bajar la pendiente no se está facilitando la activación o reactivación de fallas profundas. En todos los casos es conveniente la realización de análisis de estabilidad para determinar los efectos reales de la disminución de la pendiente.

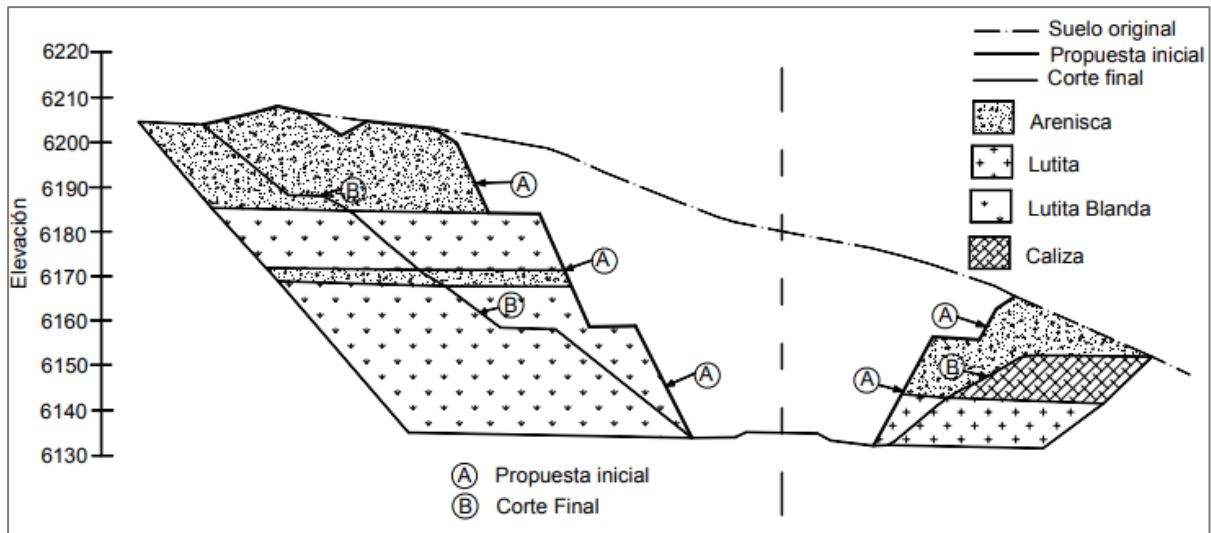


Figura 10. Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos (Gonzáles, 2002).

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

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

Una de las técnicas más utilizadas para la estabilización de taludes es la conformación o diseño de la morfología del talud (cuadro 10). Al modificar la forma de la superficie del talud, se puede lograr un equilibrio de masas, que reduzca las fuerzas que producen el movimiento y que aumente la longitud del círculo crítico de falla.

Terraceo del talud. El terraceo se puede realizar con el propósito de controlar la erosión y facilitar el establecimiento de la vegetación, o para aumentar el factor de seguridad (figura 11).

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

Cuadro 10. Métodos de conformación topográfica del talud

| Método | Ventajas | Desventajas |
|--|--|--|
| Remoción de materiales de la cabeza del talud | Muy efectivo en la estabilización de los deslizamientos rotacionales. | En movimientos muy grandes, las masas que se van a remover tendrían una gran magnitud. |
| Abatimiento de la pendiente | Efectivo, especialmente en los suelos friccionantes. | No es viable económicamente, en los taludes de gran altura. |
| Terraceo de la superficie | Además de darle estabilidad al deslizamiento, permite construir obras para controlar la erosión. | Cada terraza debe ser estable independientemente. |
| Colocación de bermas o contrapesos | Contrarrestan el momento de las fuerzas actuantes y, además, actúan como estructura de contención. | Se requiere una cimentación con suficiente capacidad de soporte. |

Fuente: Suarez, 1996.

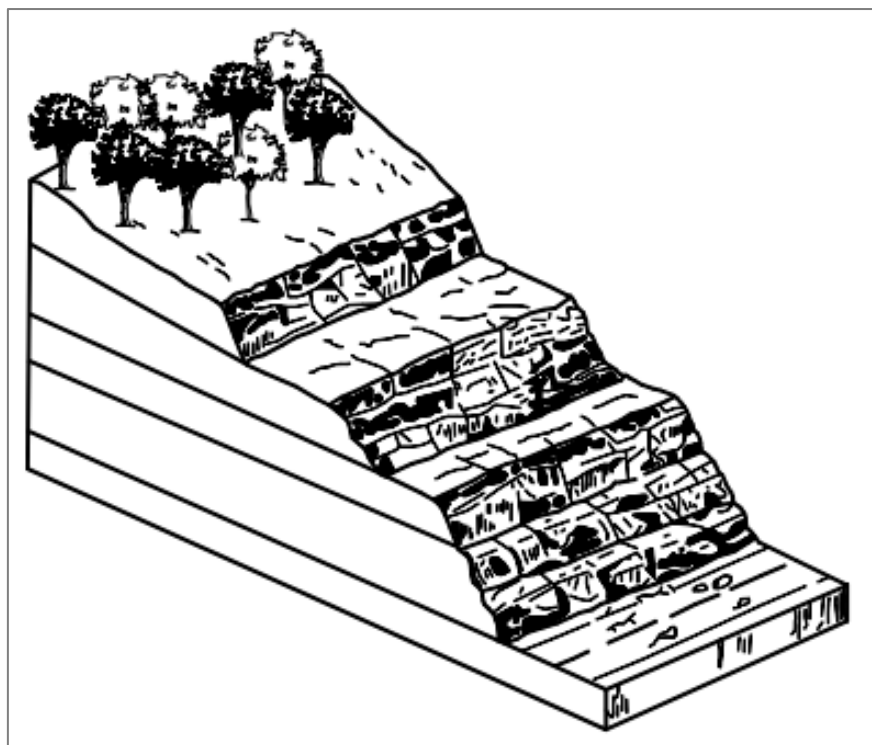


Figura 11. Terraceo en taludes en roca con estratificación subhorizontal (Suárez, 1998).

Estructuras de anclaje o refuerzo. Las estructuras de anclaje o refuerzo incluyen cables o varillas que se colocan dentro del suelo para reforzarlo o para transmitir cargas a los suelos o rocas a profundidad. En este tipo de estructura están incluidos los pernos, los muros anclados, los nails y los micropilotes (cuadro 11). Las estructuras de anclaje pueden ser postensionadas (“tiebacks”) o pasivas (clavos o “nails”). De acuerdo con las características del talud y las necesidades de comportamiento, se escoge el tipo de anclaje más eficiente para el caso específico (figura 12 y 13).

Cuadro 11. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de estructura anclada.

| Estructura | Ventajas | Desventajas |
|---------------------------------------|--|---|
| Anclajes y pernos individuales | Refuerzos que sostienen los bloques de roca. Permiten la estabilización de los bloques individuales o puntos específicos dentro de un macizo de roca. | Pueden sufrir corrosión. Se requiere rigidez del macizo rocoso. |
| Muros anclados | Estructuras de concreto ancladas al talud. Se pueden construir en forma progresiva de arriba hacia abajo, a medida que se avanza con el proceso de excavación. Permiten excavar junto a edificios o estructuras. Permiten alturas considerables. | Los elementos de refuerzo pueden sufrir corrosión en ambientes ácidos. Se puede necesitar un mantenimiento permanente (tensionamiento). Con frecuencia, se roban las tuercas y los elementos de anclaje. Para su construcción, se puede requerir el permiso del vecino. Su construcción es muy costosa. |
| Clavos (Nails) | Inclusiones o refuerzos cementados en toda su longitud. Muy eficientes como elemento de refuerzo en los materiales fracturados o sueltos. | Generalmente, hay que emplear una gran cantidad de nails para estabilizar un talud específico, lo cual los hace costosos. No funcionan muy bien en suelos sueltos. |
| Micropilotes | Inclusiones de refuerzo inyectadas con lechada a presión. Refuerzan el suelo e inyectan los poros para mejorar la resistencia del material del talud. | Su efecto específico es difícil de predecir. No son muy eficientes en suelos arcillosos. |

Fuente: Suarez, 1996.

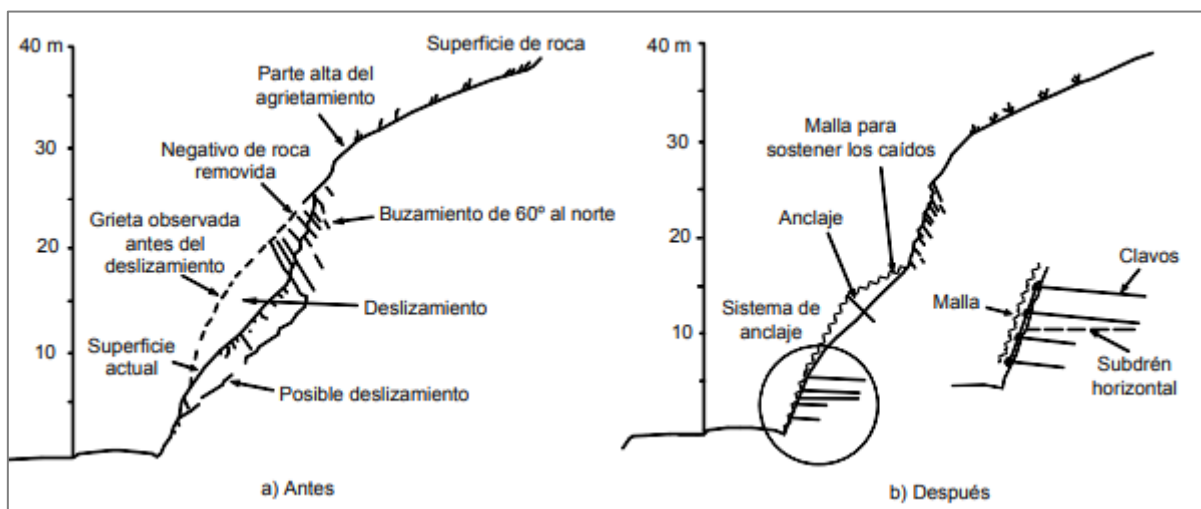


Figura 12. Conformación del talud con pernos, para remediar un deslizamiento de un talud en roca, (a) Antes (b) Después (Suárez, 1996).

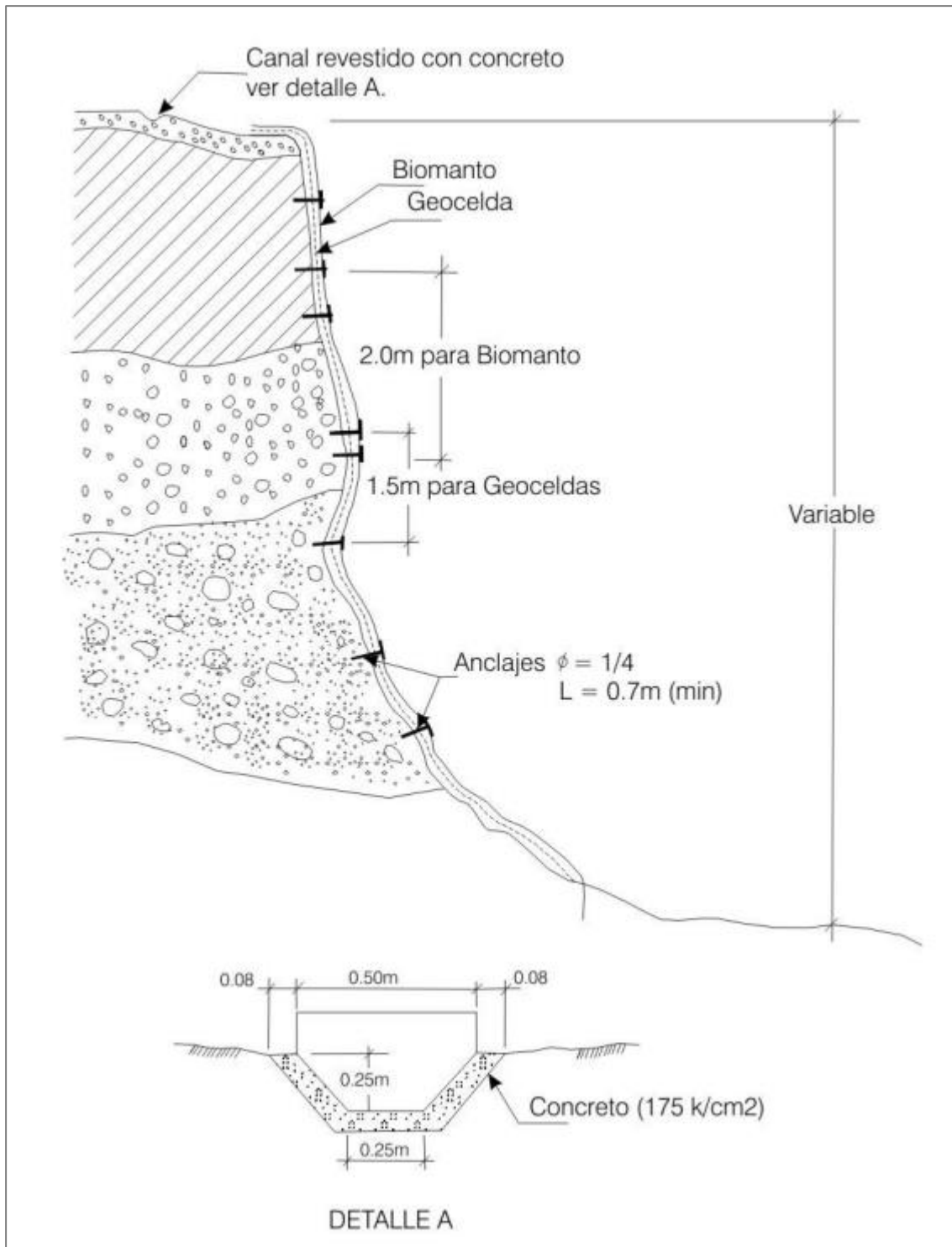


Figura 13. Protección de taludes para caída de detritos con geoceldas o geomantas.