

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7661

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTO Y FLUJO DE DETRITOS EN EL CENTRO POBLADO RÍO GRANDE

Departamento: Cajamarca
Provincia: Cajamarca
Distrito: Baños del Inca



**SETIEMBRE
2025**

***EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTO Y FLUJO DE
DETRITOS EN EL CENTRO POBLADO RÍO GRANDE***

***Distrito Baños del Inca
Provincia Cajamarca
Departamento Cajamarca***



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

Equipo Técnico:

Luis Miguel León Ordáz

Leysi Marilyn Fuentes Pérez

María Yuri Elizabeth Cueva Cueva

Referencia bibliográfica

León, L. (2025). Evaluación de peligros geológicos por deslizamiento y flujo de detritos en el Centro Poblado Río Grande, distrito Baños del Inca, provincia y departamento Cajamarca. Lima: Ingemmet, Informe Técnico N° A7661, 38p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. Objetivos del estudio.....	4
1.2. Antecedentes.....	5
1.3. Aspectos generales	5
1.3.1. Ubicación	5
1.3.2. Población	5
1.3.3. Accesibilidad	6
1.3.4. Clima.....	7
2. DEFINICIONES	8
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	11
3.1. Unidades litoestratigráficas	11
3.1.1 Grupo Calipuy	11
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	14
4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)	14
4.2. Pendiente del terreno.....	15
4.3. Unidades y subunidades geomorfológicas	16
4.3.1. Unidades de carácter tectónico degradacional y erosional	16
4.3.2. Unidades de carácter depositacional y agradacional.....	17
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	18
5.1. Deslizamiento rotacional activo – DA1	20
5.2. Deslizamiento rotacional activo – DA2	24
5.3. Flujo de detritos	26
6. CONCLUSIONES	29
7. RECOMENDACIONES.....	31
8. BIBLIOGRAFÍA	32
ANEXO 1. MAPAS	33
ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS.....	37

RESUMEN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), realiza el “Servicio de Asistencia Técnica en la Evaluación de Peligros Geológicos a Nivel Nacional (Actividad 16)”. Con este trabajo cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por deslizamientos y flujo de detritos, en el Centro Poblado Río Grande, distrito Baños del Inca, provincia y departamento Cajamarca.

En la zona de estudio afloran tobas volcánicas gris blanquecinas a gris rosáceas altamente meteorizadas, pertenecientes a la secuencia volcánica Tual Puruay (Nm tp/2), además de depósitos coluvio deluviales generados por movimientos en masa.

Las unidades geomorfológicas son colinas en roca volcánica (C-rv) y vertientes con depósito de deslizamiento (V-dd), presentando pendientes moderadas (5° a 15°) a muy fuertes (25° a 45°).

Los peligros geológicos identificados corresponden a dos deslizamientos rotacionales activos y flujo de detritos. El deslizamiento rotacional activo DA1 abarca un área de 7149 m², su eje principal presenta una longitud 127 m, un ancho de 60 m, la longitud del escarpe es de 89 m y el desnivel entre la corona y el pie del deslizamiento es 25 m; el movimiento afecta 50 m de la vía CA-3N, 2 viviendas, 6000 m² de terrenos de cultivo, un sistema de conducción de agua y, se observan expuestas 3 viviendas y un reservorio de agua. El deslizamiento activo DA2, abarca un área de 2389 m², su eje principal presenta una longitud 91 m, un ancho de 30 m, la longitud del escarpe es de 47m y el desnivel entre la corona y el pie del deslizamiento es 18 m; el movimiento podría afectar un reservorio de agua si continúa su avance retrogresivo. El flujo de detritos abarca 1 hectárea, con una longitud del flujo de 262 m; afectando aproximadamente una hectárea de terrenos de cultivo y dejando expuestas 2 viviendas.

Los factores que condicionan la ocurrencia de los deslizamientos y flujo de detritos determinados a partir del presente informe son: i) Características litológicas: rocas volcánicas altamente meteorizadas y depósitos coluvio-deluviales, compuestos por bloques y gravas, en una matriz arcillo limosa, permite la infiltración y retención del agua; ii) Modificación del terreno (cortes de talud en laderas), con fines de construcción de viviendas y carretera; iii) Ocupación del terreno con cultivos agrícolas, riego por inundación y ausencia de drenajes adecuados en el terreno denudado, lo cual contribuye con la saturación del terreno y por ende un aumento de peso de la masa inestable; iv) Ladera de pendiente moderada (5° a 15°) a muy fuerte (25° a 45°), inclinación que facilita el origen de movimientos, mientras que la presencia de agua actúa como un lubricante. Los factores detonantes corresponden a las precipitaciones pluviales prolongadas e intensas en temporada de lluvia y la ocurrencia de sismos.

De acuerdo a las características geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se considera al centro poblado Río Grande como **Peligro Alto a Muy Alto**.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), el “Servicio de Asistencia Técnica en la Evaluación de Peligros Geológicos a Nivel Nacional (ACT. 16)”, Con este trabajo cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

Atendiendo la solicitud remitida por el Gobierno Regional de Cajamarca, según Oficio N°D369-2025-GR.CAJ/ODN, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por deslizamiento y flujo de detritos en el Centro Poblado Río Grande.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Luis León y Leysi Fuentes, para realizar la evaluación de peligros geológicos en el Centro Poblado Río Grande, llevado a cabo el día 25 de marzo del 2025.

La evaluación técnica se realizó en tres etapas: i) Pre-campo con la recopilación y análisis de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET u otros autores; ii) Campo: a través de la observación, toma de datos (sobrevuelos con dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada; iii) Post – campo: etapa final de gabinete que integra el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, cartografiado e interpretación, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de la Oficina de Defensa Civil del Gobierno Regional de Cajamarca e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – Sinagerd, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - CENEPRED, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos en el Centro Poblado Río Grande, distrito Baños del Inca, provincia y departamento Cajamarca.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos identificados en los trabajos de campo.

1.2. Antecedentes

Se recopiló la data consignada de los informes y reportes previos que abarquen aspectos geológicos y geodinámicos de la zona de estudio, los cuales se mencionan a continuación:

- Informe Técnico N° A6868, Evaluación Geodinámica del Sector de Puruay; (Núñez y Vásquez, 2019), informan que en la zona se tienen afloramientos de rocas volcánicas conformadas por tobas y aglomerados, siendo estas de mala calidad y muy susceptibles a la generación de movimientos en masa como deslizamientos.
- Boletín N°44, Serie C: Riesgo Geológico en la Región Cajamarca; (Zavala & Rosado, 2011), menciona que la frecuencia de peligros naturales en la región va de mediana a alta en comparación a otras áreas del Perú. Asimismo, las zonas de alta susceptibilidad presentan en su mayoría condiciones para generar movimientos en masa.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área de evaluación corresponde al centro poblado Río Grande, ubicado en el distrito de Baños del Inca, provincia y departamento Cajamarca (figura 1). En la tabla 1 se consigna las coordenadas UTM WGS 84 del sector; además la coordenada central referencial del evento identificado (tabla 1).

Tabla 1. Coordenadas de las áreas de estudio.

N°	UTM – WGS 84 - ZONA 17S		Coordenadas Decimales (°)	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	774478	9216588	-7.080776°	-78.515269
2	774478	9216338	-7.083035°	-78.515257
3	774028	9216338	-7.083057°	-78.519328°
4	774028	9216588	-7.080797°	-78.519340°
Coordenada central del movimiento en masa identificado				
CC	774437	9216390	-7.082564°	-78.515627°

1.3.2. Población

De acuerdo con la información del XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas o Censo peruano de 2017 (INEI, 2018), el centro poblado Río Grande, tiene una población de 160 habitantes (tabla 2), distribuidos en 98 viviendas, con acceso a red pública de agua y energía eléctrica.

Tabla 2. Datos del centro poblado Puruay Bajo.

Descripción	Río Grande – INEI
Código de Ubigeo y Centro Poblado	0601010055
Longitud	-78.5165269300
Latitud	-7.08399918900
Altitud	3045.5
Población	160
Viviendas	98
Agua Por Red Publica	si
Energía eléctrica en la vivienda	si
Desagüe por red publica	no
Institución Educativa Inicial	no
Institución Educativa Primaria	no
Institución Educativa Secundaria	no
Establecimiento de salud	no
Idioma o Lengua hablada con mayor frecuencia	Castellano

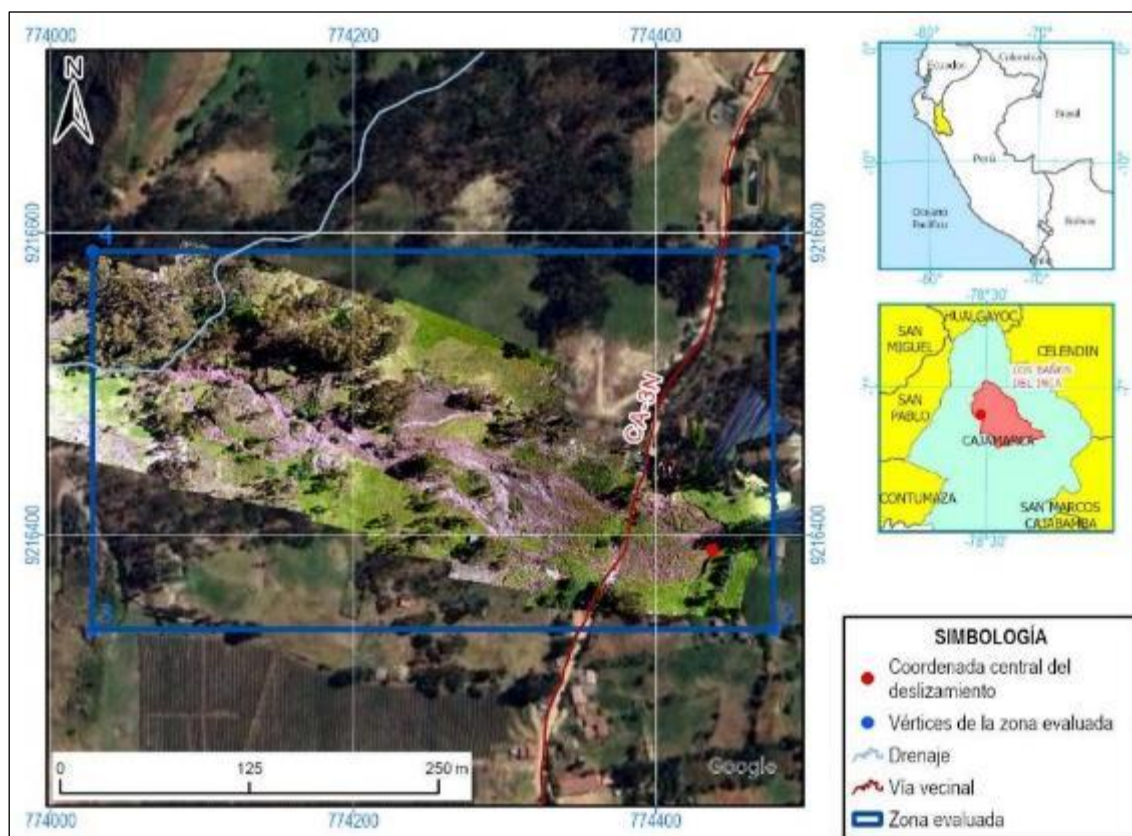


Figura 1. Ubicación del área evaluada.

1.3.3. Accesibilidad

El acceso se realiza por vía terrestre desde la ciudad de Cajamarca, a través de una vía asfaltada - afirmada, hasta Puruay, posteriormente al centro poblado Río Grande (figura 2). En la tabla 3 se indican las rutas y se estima distancias y tiempo de arribo:



Figura 2. Accesibilidad al centro poblado Río Grande.

Fuente: Google Earth.

Tabla 3. Rutas y acceso a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de Vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cajamarca – Puruay	Asfaltada – Afirmada	6.9	21 minutos
Puruay – Río Grande	Trocha	5.5	18 minutos

1.3.4. Clima

De acuerdo con el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite - (Senamhi, 2020), la zona de estudio posee un clima de tipo:

Lluvioso con otoño e invierno secos. Templado. B (o , i) B'.

Clima de tipo lluvioso, templado y muy otoño e invierno seco. Ocupa el 1% del área nacional.

En el verano, el tiempo de esta área está determinado por la Alta de Bolivia, la ITCZ (en el norte del país), el flujo de humedad del este y factores locales. Mientras que, en invierno, las DANAS pueden generar precipitaciones aisladas, principalmente en la zona central y sur del país; además, también son frecuentes las heladas en esta temporada debido al ingreso de vientos secos del oeste en altura (SENAMHI).

Esta región presenta durante el año, en promedio, temperaturas máximas de 19°C a 23°C en áreas del norte y de 17°C a 21°C en áreas de sur; mientras que, las temperaturas mínimas varían entre los 3°C y 7°C. Los acumulados anuales de precipitación varían desde los 700 mm hasta los 1500 mm aproximadamente.

Durante los años 2023, 2024 y 2025, se registró en la estación meteorológica Granja Porcón (figura 3), precipitaciones que llegaron hasta los 64 mm/día

durante el mes de febrero, considerado como extremadamente lluvioso por el Senamhi, en su consolidado de precipitaciones de 2014 (figura 2).

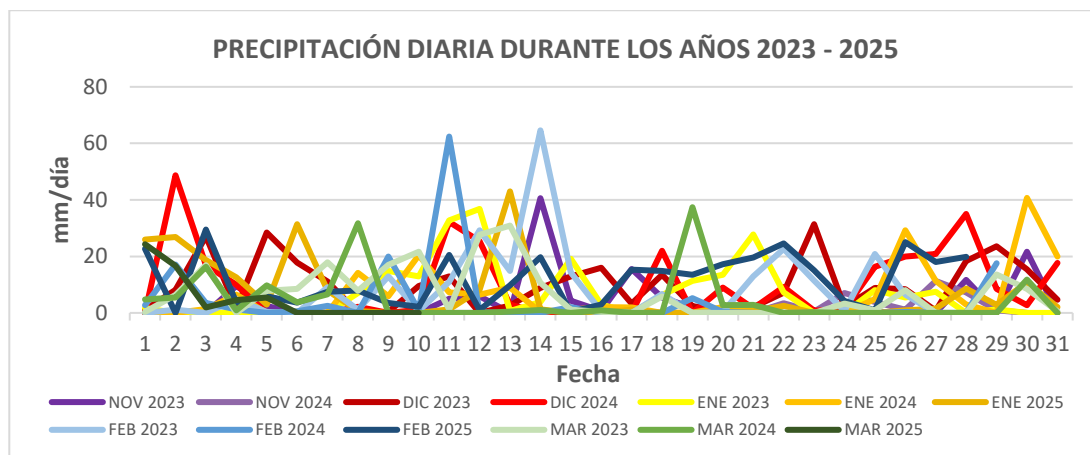


Figura 3. Precipitación diaria registrada en la estación meteorológica Granja Porcón.
Fuente: SENAMHI

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a las entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, que no son necesariamente geólogos; por ello se desarrollan algunas definiciones relevantes, considerando como base el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA, 2007), los términos y definiciones se detallan a continuación:

Actividad: La actividad de un movimiento en masa se refiere a tres aspectos generales del desplazamiento en el tiempo de la masa de material involucrado: el estado, la distribución y el estilo de la actividad. El primero describe la regularidad o irregularidad temporal del desplazamiento; el segundo describe las partes o sectores de la masa que se encuentran en movimiento; y el tercero indica la manera como los diferentes movimientos dentro de la masa contribuyen al movimiento total. El estado de actividad de un movimiento en masa puede ser: activo, reactivado, suspendido, inactivo latente, inactivo abandonado, inactivo estabilizado e inactivo relicto (WP/WLI, 1993).

Activo: Movimiento en masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.

Agrietamiento: Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

Arcilla: Suelo con tamaño de partículas menores a 2 micras (0,002 mm) que contienen minerales arcillosos. Las arcillas y suelos arcillosos se caracterizan por presentar cohesión y plasticidad. En este tipo de suelos es muy importante el efecto del agua sobre su comportamiento.

Coluvial: Forma de terreno o material originado por la acción de la gravedad.

Coluvio-deluvial: Forma de terreno o depósito formado por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte), los cuales se encuentran interestratificados y por lo general no es posible diferenciarlos.

Corona: 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.

Deluvial: Terreno constituido por enormes depósitos de materiales que fueron transportados por grandes corrientes de agua.

Deslizamiento: Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla (Cruden y Varnes, 1996). Según la forma de la superficie de falla se clasifican en traslacionales (superficie de falla plana u ondulada) y rotacionales (superficie de falla curva y cóncava).

Deslizamiento rotacional: Tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente en la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal.

Escarpe o 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.

Factor condicionante: Se refiere al factor natural o antrópico que condiciona o contribuye a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituye el evento detonante del movimiento.

Factor detonante: Acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera, la sobrecarga de una ladera, entre otros.

Formación geológica: Unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por presentar propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

Flujo de detritos (huaico): Flujo con predominancia mayor de 50% de material grueso (bloques, gravas), sobre los finos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.

Fractura: Estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan. Los rangos de fracturamiento rocoso, dependiendo del espaciamiento entre las fracturas, pueden ser: maciza, poco fracturada, medianamente fracturada, muy fracturada y fragmentada.

Ladera: Superficie natural inclinada de un terreno.

Meteorización: 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. Los rangos de meteorización se clasifican en: roca fresca, ligeramente meteorizada, moderadamente meteorizada, altamente meteorizada, completamente meteorizada y suelo residual.

Movimiento en masa: Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991). Estos procesos corresponden a caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, entre otros. Sin.: Remoción en masa y movimientos de ladera.

Peligro o amenaza geológica: Proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

Reactivado: Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable o sin movimiento por algún periodo de tiempo.

Retrogresivo: Tipo de actividad de un movimiento en masa, en el cual la superficie de falla se extiende en la dirección opuesta al movimiento del material desplazado (Cruden y Varnes, 1996).

Saturación: El grado de saturación refleja la cantidad de agua contenida en los poros de un volumen de suelo dado. Se expresa como una relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos.

Susceptibilidad: La susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno) y los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.

Suspendido: Movimiento en masa que se desplazó durante el último ciclo anual de las estaciones climáticas, pero que en el momento no presenta movimiento (Varnes, 1978).

Talud: Superficie artificial inclinada de un terreno que se forma al cortar una ladera, o al construir obras como por ejemplo un terraplén.

Velocidad: Para cada tipo de movimiento en masa se describe el rango de velocidades, parámetro importante ya que ésta se relaciona con la intensidad del evento y la amenaza que puede significar. De acuerdo con Cruden y Varnes (1996), las escalas de velocidades corresponden a: extremadamente lenta, muy lenta, lenta, moderada, rápida, muy rápida y extremadamente rápida.

Zona crítica: Zona o área con peligros potenciales de acuerdo a la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados), que muestran una recurrencia, en algunos casos, entre periódica y excepcional. Pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y puede ser necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La descripción geológica se desarrolló en base al Boletín N° 31, Serie A: Carta Geológica Nacional; Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Hojas: 15-f, 15-g y 16-g, a escala 1:100 000 (Reyes, 1980), así como la cartografía a 1:50,000 (Chavez et al., 2010) información complementada y validada con trabajo en campo, análisis de imágenes satelitales, y fotogrametría con dron para caracterizar y delimitar las diferentes unidades litológicas. Considerando su grado de resistencia y susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Mapa 1).

A continuación, se presenta de manera resumida una descripción de las principales formaciones geológicas y depósitos que afloran en las localidades de evaluación y alrededores.

3.1. Unidades litoestratigráficas

Comprende unidades volcánicas; así como depósitos cuaternarios no consolidados, producto de movimientos en masa.

3.1.1 Grupo Calipuy

De acuerdo a (Chávez et al., 2010) el Grupo Calipuy es una secuencia de rocas volcánicas que fueron emplazadas entre el Eoceno al Mioceno. Comprende 19 centros volcánicos importantes, siendo uno de ellos el Complejo Volcánico Yanacocha.

Complejo Volcánico Yanacocha

El complejo volcánico Yanacocha está constituido por depósitos de flujos piroclásticos de cenizas, dacitas gris claras, con textura afírica. (Chávez et al., 2010)

Secuencia volcánica Tual – Puruay

En el Mapa Geológico del Cuadrángulo de Cajamarca (15-f), Hoja 15-f-I, escala 1:50 000, se indica que la secuencia volcánica Tual – Puruay está constituida por depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas de composición dacítica, intercaladas con flujos de bloques y cenizas gris verdosas, fragmentos líticos andesíticos. En el sector evaluado se han identificado tobas altamente meteorizadas de color blanco grisáceo a rosáceas de composición dacítica, que corresponde a la etapa dos (Nm-tp/2) (figura 4).



Figura 4. Cenizas gris blanquecinas a gris rosáceas, de composición dacítica, altamente meteorizadas, de la secuencia volcánica Tual-Puruay.

3.1.3 Depósitos cuaternarios

Depósito coluvio-deluvial (Q-cd)

Proviene de diversos movimientos en masa, transportados por la gravedad e influencia del agua. Se encuentran sobre las laderas de montañas.

En el sector evaluado, estos depósitos están conformados por gravas angulosas a sub angulosas en una matriz arcillo limosa de plasticidad media (fotografía 1, tabla 4)

Depósito fluvial (Q-fl)

Estos depósitos han sido transportados principalmente por influencia del agua, en la zona evaluada se hallan en el cauce de la quebrada Sacraorco.

Tabla 4. Formaciones superficiales

Fotografía 1. Depósito coluvio - deluvial, ubicado en la zona de deslizamiento en Río Grande.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Además de la cartografía regional de geomorfología, a escala 1:250 000 del boletín de riesgos geológicos de la región Cajamarca, se utilizó imágenes y modelos digitales de elevación detallados obtenidos de levantamientos fotogramétricos con dron, en marzo del 2025. Esto permitirá estudiar el relieve, pendientes y demás características; con el fin de describir subunidades a detalle (escala 1:2000).

4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)

La zona evaluada presenta altitudes que van desde los 2960 m.s.n.m. hasta los 3100 m.s.n.m., en los cuales se distinguen siete niveles altitudinales (figura 5), con la finalidad de visualizar la extensión respecto a la diferencia de alturas; el área con mayor pendiente corresponde a terrenos entre altitudes de 2960 m a 3000 m, con terreno de pendiente promedio de muy fuerte (25° a 45°) a terreno muy escarpado ($>45^\circ$).

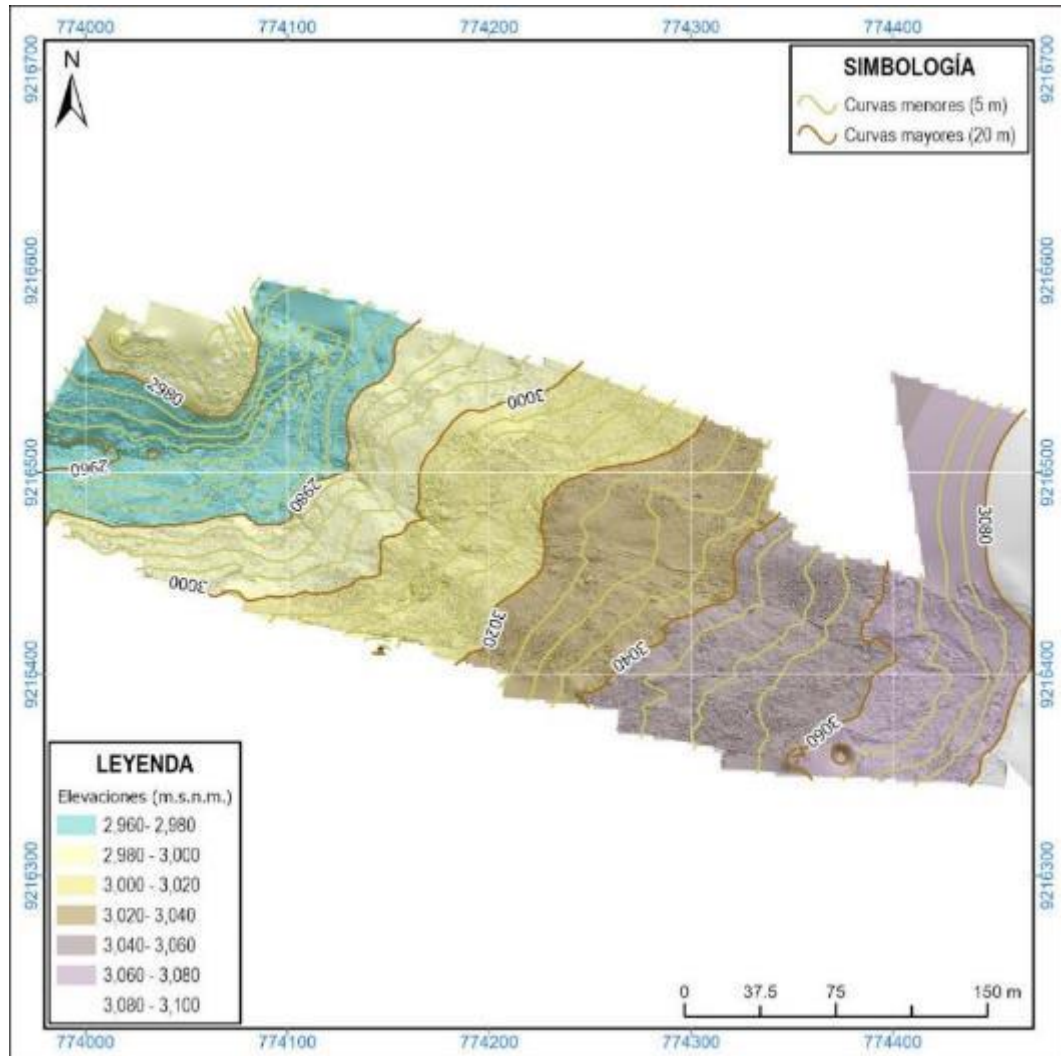


Figura 5. Modelo digital de elevaciones de la zona evaluada.

4.2. Pendiente del terreno

La zona evaluada presenta terrenos con pendientes que varían de moderada (5° a 15°) a muy escarpada ($>45^\circ$), donde se desencadenaron deslizamientos y flujo de detritos (figura 6 y 7).

Los relieves con pendientes escarpadas condicionan la ocurrencia de movimientos en masa y controlan el modelamiento de las geoformas que conforman el relieve. En ese sentido, se elaboró el mapa de pendientes para identificar zonas de aporte y recepción de materiales provenientes de deslizamientos y flujo de detritos, que condicionan los peligros geológicos recientes.

En el área evaluada, mediante el modelo digital de elevaciones, se elaboró el mapa de pendientes, que fue rasterizado y luego reclasificado para la delimitación de áreas por cada rango de pendiente (Mapa 2).

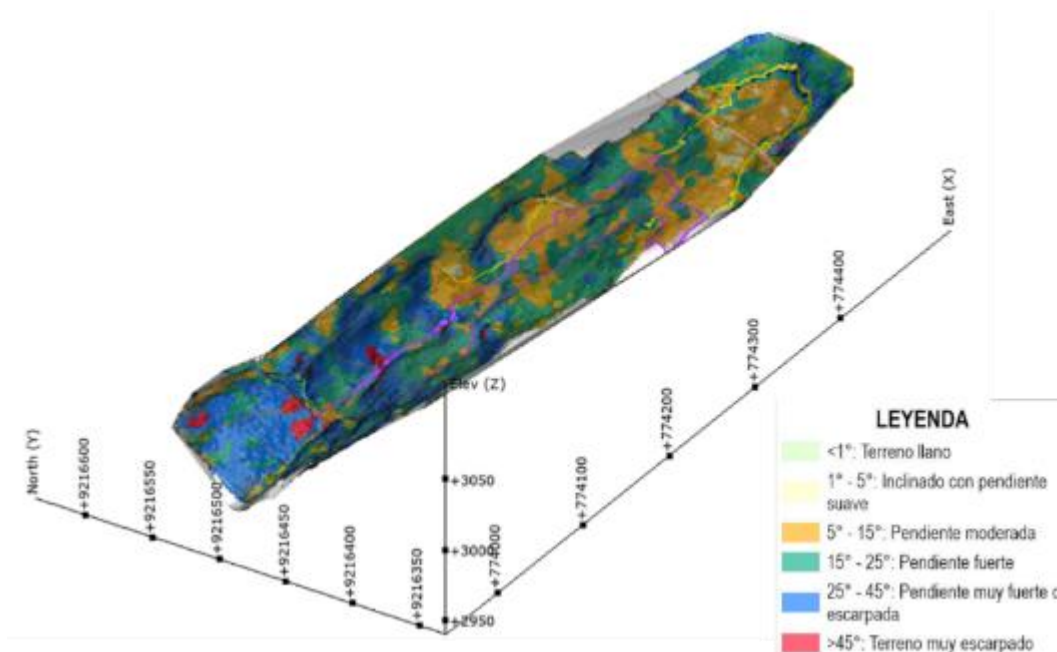


Figura 6. Modelo 3D de las pendientes en la localidad de Río Grande; los deslizamientos están delimitados con líneas amarillas y el flujo de detritos en morado.



Figura 7. Laderas con pendiente fuerte, ubicadas en la parte alta del sector evaluado.

4.3. Unidades y subunidades geomorfológicas

La cartografía geomorfológica y la delimitación de unidades geomorfológicas se realizó utilizando el criterio principal de homogeneidad relativa y la caracterización de aspectos de origen del relieve (erosión o acumulación), individualizando cuatro tipos generales y específicos del relieve en función de la altura relativa, diferenciándose terrazas, vertientes, piedemontes, montañas y otras geoformas.

De acuerdo a su origen, se distingue geoformas tanto de carácter tectónico degradacional y erosional (colina en rocas volcánicas), como de carácter deposicional y agradacional (vertiente con depósito de deslizamiento); las geoformas se grafican en el mapa 3.

4.3.1. Unidades de carácter tectónico degradacional y erosional

Son el resultado de procesos morfodinámicos degradacionales que generan la modificación parcial o total de los relieves a través del tiempo geológico.

Unidad de Colina

Se considera dentro de esta unidad a las geoformas que alcanzan alturas menores a 300 m respecto al nivel de base local, sus laderas tienen pendientes con promedio superior a 16%. Su cima tiende a ser estrecha y su base aproximadamente circular (Villota, 2005).

Subunidad de montaña en roca volcánica (C-rv)

Ubicada alrededor del deslizamiento y el flujo de detritos, esta subunidad está conformada de colinas modeladas en afloramientos de rocas volcánicas. Presentan crestas altas e irregulares, con pendientes que superan los 25°.

4.3.2. Unidades de carácter depositacional y agradacional

Son el resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos determinados por fuerzas de desplazamiento y por agentes móviles; tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra mediante el depósito de materiales sólidos resultante de la denudación de terrenos más elevados.

Unidad de Piedemonte

Son superficies ubicadas al pie de los sistemas montañosos, formada por caídas de rocas o por el acarreo de material aluvial arrastrado por corrientes de agua estacional y de carácter excepcional.

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

Corresponde a las acumulaciones en parte de la ladera, originadas por procesos de movimientos en masa, antiguos y recientes, presentando una forma cóncava. Este depósito se ubica en la parte central del sector evaluado (figura 8).

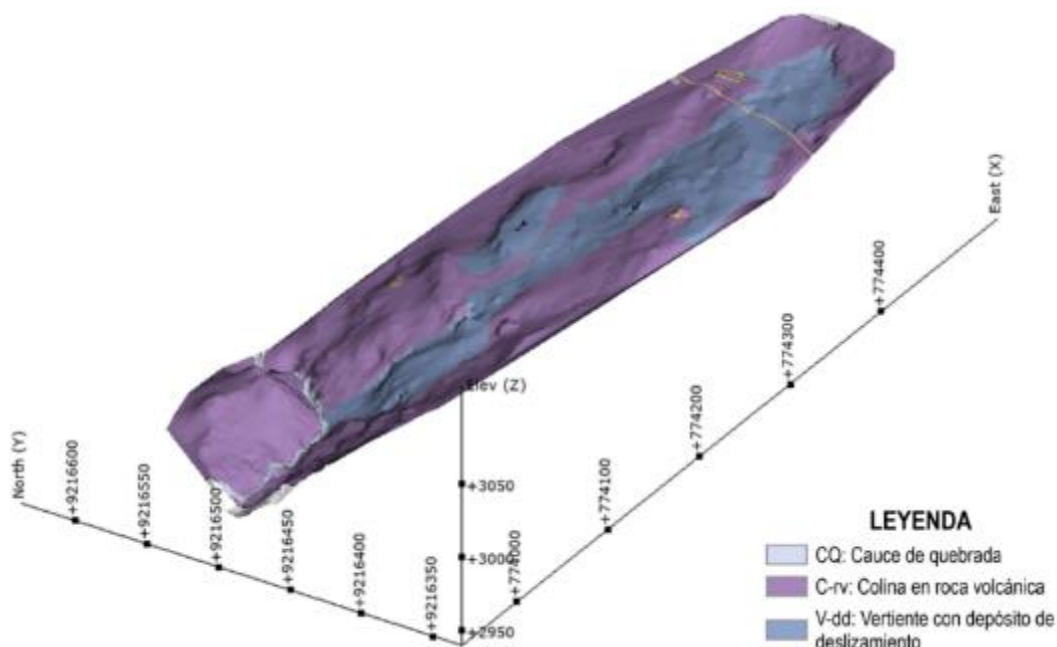


Figura 8. Vista de las geoformas de colinas en rocas volcánicas (C-rv) y vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd), en el centro poblado de Río Grande.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada (figura 9), corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos rotacionales y flujos de detritos, (PMA:GAC 2007).

Estos procesos son resultado del modelamiento del terreno, coadyuvado por las condiciones del macizo rocoso (afloramiento altamente meteorizado y muy fracturado), 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 la quebrada Sacraorco.

Durante los trabajos de campo, en el sector evaluado se observó que los terrenos están ocupados principalmente por cultivos agrícolas, con prácticas de riego por inundación, sin sistema de drenaje, lo que contribuye a la infiltración directa del agua, aumentando el peso y por ende la generación de movimientos en masa.

En el sector de Río Grande, se identificaron dos deslizamientos activos y un proceso de flujo de detritos, que afectaron dos viviendas, comprometen 50 m de la carretera CA-3N, aproximadamente 2 ha de terrenos de cultivo y dejan expuestas cinco viviendas y dos reservorios de agua. A continuación, detallamos las características de los movimientos en masa:

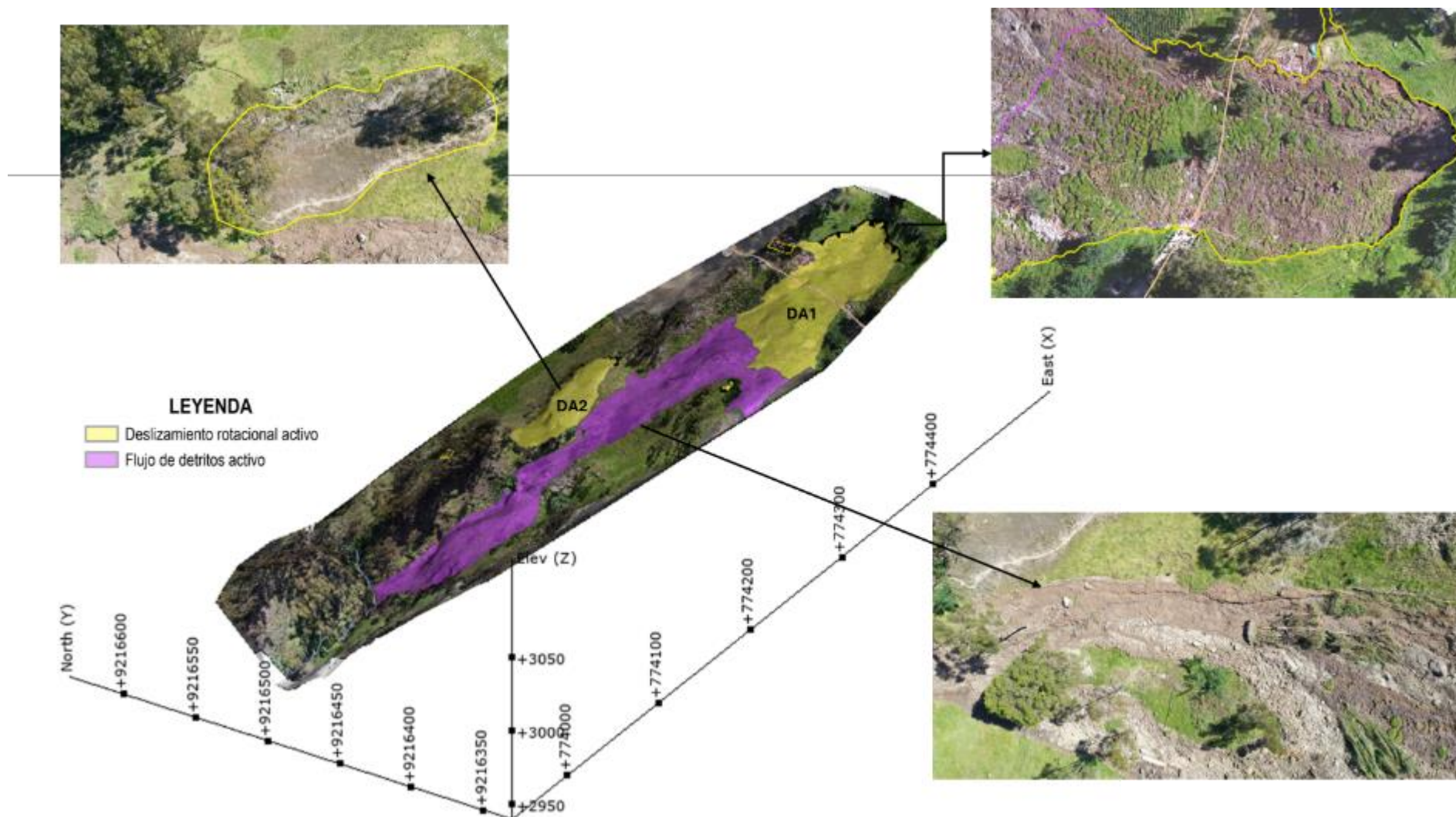


Figura 9. Modelo 3D del sector evaluado en el sector de Tío Grande, los deslizamientos están delimitado en amarillo, y el flujo de detritos en morado.

5.1. Deslizamiento rotacional activo – DA1

El deslizamiento se desencadenó en el mes de febrero debido a la presencia de lluvias intensas, afectando dos viviendas, 50 m de la vía CA-3N, aproximadamente 6000 m² de terreno de cultivo, un sistema de conducción de agua y dejando expuestas tres viviendas y un reservorio de agua.

En la figura 10, se muestra la extensión horizontal del deslizamiento rotacional activo DA1 de 60 m de longitud y 5 m de desnivel; además se observa la vía afectada CA-3N.



Figura 10. En la imagen se observa una vista en planta del deslizamiento DA1 cuya extensión horizontal es de 60 m. Se visualiza el tramo obstruido de la vía CA-3N (línea rosada) y las 2 viviendas afectadas (línea naranja).

A continuación, describimos las características del deslizamiento

5.1.1. Características visuales y morfométricas

- Tipo de movimiento: Deslizamiento rotacional.
- Estado: Activo.
- Velocidad: Moderada
- Tipo de avance: Retrogresivo.

Morfometría:

- Área: 7149 m².
- Perímetro: 480 m.
- Salto vertical de la escarpa principal: 3 m a 5 m. (figura 11).
- Longitud del escarpe: 89 m. (figura 11).
- Diferencia de alturas corona y pie de deslizamiento: 25 m.
- Longitud corona a punta: 127 m.

Factores condicionantes

- Litología compuesta por secuencias volcánicas altamente alteradas y depósito coluvio-deluvial, compuesto por bloques, gravas, en una matriz arcillo limosa. Los fragmentos de roca son angulosos a sub angulosos, permite la infiltración y retención del agua.
- Modificación del terreno (cortes de talud en laderas), por movimiento de tierra en el sector evaluado, con la finalidad de construcción de vías y viviendas.
- Ausencia de drenajes adecuados en el terreno denudado, esto contribuye con la saturación del terreno y por ende un aumento de peso de la masa inestable.
- Terrenos de cultivo donde se aplica riego por inundación contribuye con la saturación del terreno.
- Ladera de pendiente fuerte (15° a 25°) a terreno muy escarpado (>45°), que conforman unidades de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd), permite que el material saturado que se dispone sobre la ladera se desplace cuesta abajo.

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales intensas y prolongadas, entre los meses de diciembre a marzo, durante años previos.
- Los sismos pueden activar los deslizamientos o acelerar el movimiento activo.

Daños ocasionados y probables

- Dos viviendas afectadas. (figura12).
- 50 m de la vía CA-3N (figura13).
- Sistema de conducción de agua afectado. (figura 14).
- Aproximadamente 6000 m² de terreno de cultivo afectado. (figura 16).
- Tres viviendas expuestas. (figura12).
- Un reservorio de agua podría ser afectado. (figura 15).



Figura 11. A. Escarpe principal del deslizamiento rotacional activo – DA1, de una longitud de 89 m. B. Salto vertical de la escarpa principal. C. Vista en planta del deslizamiento DA1.



Figura 12. En las imágenes A y B se observan las 2 viviendas que han sido afectadas, mientras que en las imágenes C y D se aprecian las 3 viviendas expuestas al deslizamiento activo – DA1.



Figura 13. Se observa la vía CA-3N afectada.

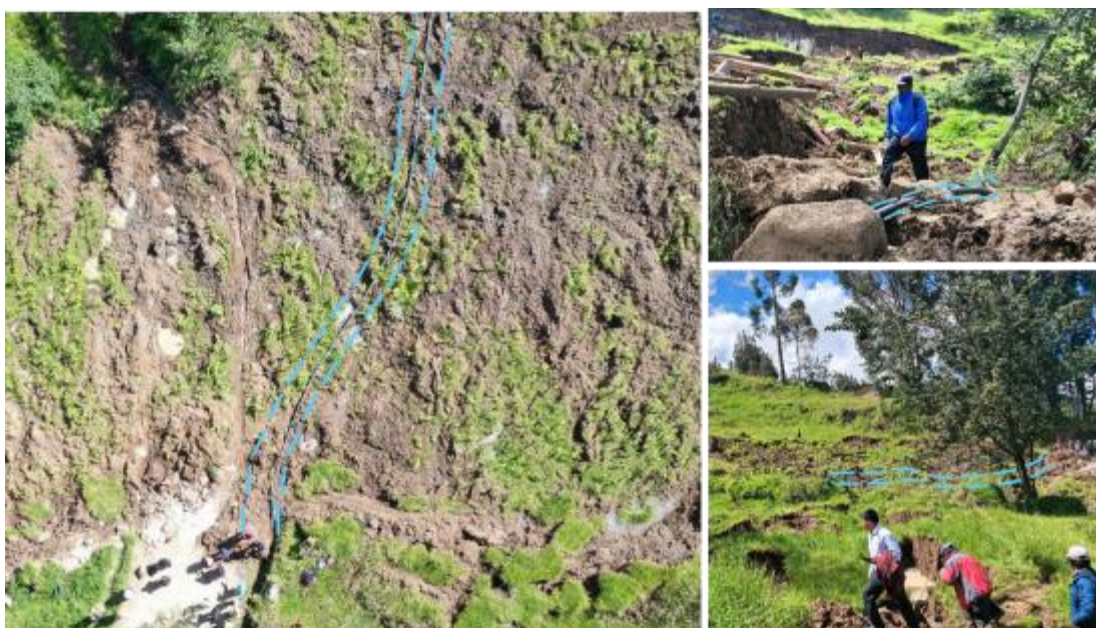


Figura 14. Sistema de conducción de agua afectado.



Figura 15. Reservorio expuesto al deslizamiento activo – DA1.



Figura 16. Terrenos de cultivo afectados por el deslizamiento DA1.

En las imágenes 12; 13; 14; 15 y 16 se muestran los componentes afectados por el deslizamiento DA1, el cual generó un impacto significativo en la zona. Se observa la destrucción de viviendas, la pérdida de terrenos de cultivo, la afectación de un sistema de conducción de agua usado para el abastecimiento de agua potable o riego y se aprecia también componentes que se hallan expuestos, tales como viviendas y reservorios de agua.

5.2. Deslizamiento rotacional activo – DA2

El deslizamiento rotacional activo – DA2 se desencadenó debido a la presencia de lluvias intensas, dejando expuesto un reservorio de agua. (figura 17).



Figura 17. En la imagen se observa una vista en planta del deslizamiento DA2 cuya extensión horizontal es de 30 m.

A continuación, describimos las características del deslizamiento

5.2.1. Características visuales y morfométricas

- Tipo de movimiento: Deslizamiento rotacional.
- Estado: Activo.
- Velocidad: Lenta.
- Tipo de avance: Retrogresivo.

Morfometría:

- Área: 2389 m².
- Perímetro: 244 m.
- Longitud de escarpe: 47 m.
- Salto vertical de la escarpa principal: 0.5 m a 1 m.
- Diferencia de alturas corona y pie de deslizamiento: 18 m.
- Longitud corona a punta: 91 m.

Factores condicionantes

- Litología compuesta por tobas volcánicas, compuesto por bloques, gravas, gránulos, en una matriz arcillo limosa. Los fragmentos de roca son angulosos a sub angulosos; la composición granulométrica de depósito permite la infiltración y retención del agua.
- Modificación del terreno (cortes de talud en laderas), por movimiento de tierra en el sector evaluado, con la finalidad de construcción de viviendas.
- Ausencia de drenajes adecuados en el terreno denudado, esto contribuye con la saturación del terreno y por ende un aumento de peso de la masa inestable.
- Ladera de pendiente moderada (5° a 15°) a terreno muy escarpado (>45°), que conforman geoformas de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd), permite que el material saturado que se dispone sobre la ladera se desplace cuesta abajo.

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales de intensidad fuerte y prolongada durante años previos.
- Los sismos pueden activar los deslizamientos o acelerar el movimiento activo.

Daños ocasionados y probables

- Un reservorio de agua podría ser afectado. (figura 18).



Figura 18. Reservorio de agua expuesto al deslizamiento activo DA2.

5.3. Flujo de detritos

El flujo de detritos identificado en la ladera del centro poblado Río Grande se desencadenó debido a la saturación del material originado por el deslizamiento rotacional DA1 que fluyó y se canalizó por la quebrada Sacraorco. El material se ha desplazado en dirección SE-NO, llegando a acumular los sedimentos y detritos en la quebrada Sacraorco (figura 19).



Figura 19. Flujo de detritos (línea morada).

A continuación, describimos las características del flujo de detritos.

5.3.1. Características visuales y morfométricas

- Tipo de movimiento: Flujo de detritos
- Estado: Latente.
- Velocidad: Rápida
- Flujo de material: No canalizado
- Dirección del desplazamiento: SE-NO

Morfometría:

- Área: 1 ha.
- Perímetro: 852 m.
- Longitud del flujo: 262 m.

Factores condicionantes

- Depósito coluvio-deluvial, compuesto por bloques, gravas, gránulos, en una matriz arcillo limosa. Los fragmentos de roca son angulosos a sub angulosos, permite la infiltración y retención del agua.
- Modificación del terreno (cortes de talud en laderas), por movimiento de tierra en el sector evaluado, con la finalidad de construcción de plataforma.
- Ausencia de drenajes adecuados en el terreno denudado, esto contribuye con la saturación del terreno y por ende un aumento de peso de la masa inestable.
- Ladera de pendiente moderada (5° a 15°) a muy fuerte (25° a 45°), que conforman geoformas de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd), permite que el material saturado que se dispone sobre la ladera se desplace cuesta abajo.

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales de intensidad fuerte y prolongada.

Daños ocasionados y probables

- Dos viviendas podrían ser afectadas por el flujo de detritos (figuras 20).
- 1 ha de terrenos de cultivo fueron afectados. (figuras 21).

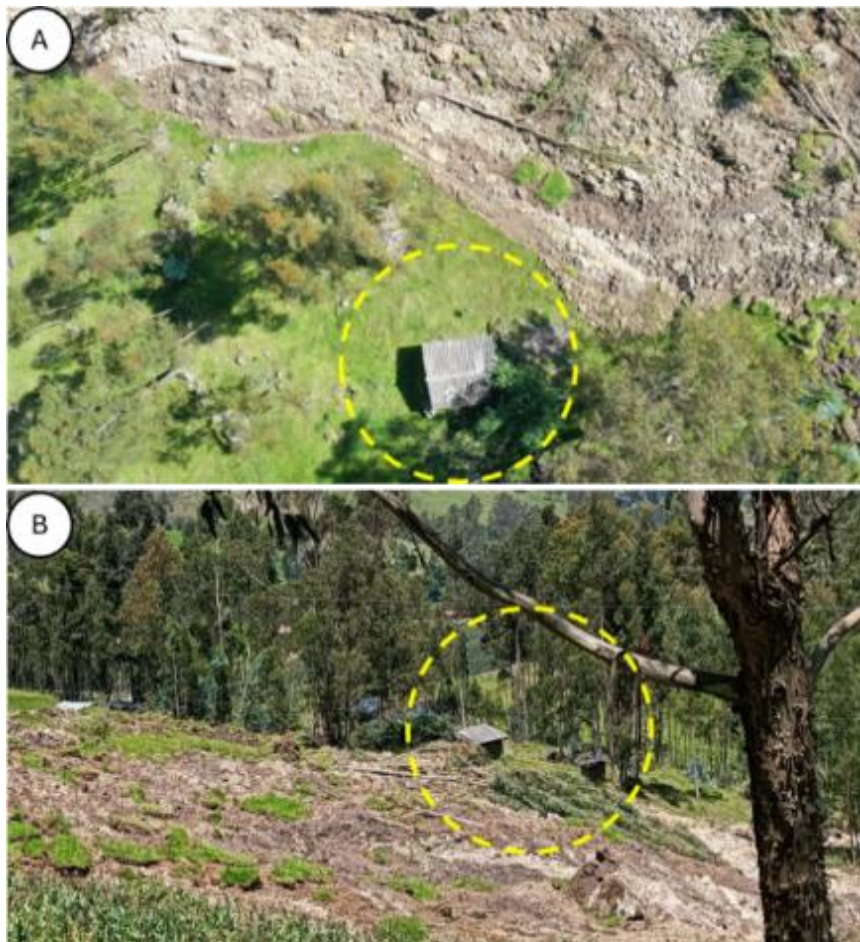


Figura 20. Viviendas que podrían ser afectadas por el flujo de detritos.



Figura 21. Terrenos de cultivo afectados por el flujo de detritos.

6. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica, geomorfológica de la zona de estudio, así como a los trabajos de campo, y la evaluación de peligros geológicos, emitimos las siguientes conclusiones:

- a. Litológicamente, el área evaluada está conformada por tobas volcánicas, de color gris blanquecina a gris rosácea (Secuencia Tual - Puruay, Nm-tp/2), altamente meteorizadas; además se hallan depósitos coluvio-deluviales, conformado por gravas angulosas a sub angulosas y escasos bloques; en matriz arcillo limos de plasticidad media.
- b. Geomorfológicamente la zona evaluada se ubica sobre colina en roca volcánica y vertientes con depósito de deslizamiento con pendientes moderadas (5° a 15°) a muy fuerte (25° a 45°).
- c. El deslizamiento activo DA1, abarca un área de 7149 m², donde su eje principal presenta una longitud 127 m, un ancho de 60 m, la longitud del escarpe es de 89 m y el desnivel entre la corona y el pie del deslizamiento es 25 m, el movimiento afecta 50 m de la vía CA-3N, 2 viviendas, 6000 m² de terrenos de cultivo, un sistema de conducción de agua y, se observan expuestas 3 viviendas y un reservorio de agua.
- d. El deslizamiento activo DA2, abarca un área de 2389 m², donde su eje principal presenta una longitud 91 m, un ancho de 30 m, la longitud del escarpe es de 47m y el desnivel entre la corona y el pie del deslizamiento es 18 m, el movimiento podría afectar un reservorio de agua s continúa su avance retrogresivo.
- e. El proceso de flujo de detritos abarca 1 hectárea, con una longitud del flujo de 262 m, habiendo afectado aproximadamente una hectárea de terrenos de cultivo y dejando expuestas 2 viviendas.
- f. La ocurrencia de los deslizamientos y flujo de detritos están condicionadas por:

Características litológicas: rocas volcánicas altamente meteorizadas y depósitos coluvio-deluviales, compuestos por bloques y gravas, en una matriz arcillo limosa, permite la infiltración y retención del agua.

Modificación del terreno (cortes de talud en laderas), con fines de construcción de viviendas y carretera.

Ocupación del terreno con cultivos agrícolas, riego por inundación y ausencia de drenajes adecuados en el terreno denudado, lo cual contribuye con la saturación del terreno y por ende un aumento de peso de la masa inestable.

Ladera de pendiente moderada (5° a 15°) a muy fuerte (25° a 45°), y la inclinación de la pendiente facilita el origen de movimientos, mientras que la presencia de agua actúa como un lubricante.

- g. Los factores detonantes a la ocurrencia de deslizamientos y flujo de detritos son las lluvias de intensidad fuerte y prolongadas, así como también los sismos.
- h. El deslizamiento activo DA1, afectó 50 m de la vía CA-3N, 2 viviendas, 6000 m² de terrenos de cultivo, un sistema de conducción de agua y se encuentran expuestas 3 viviendas y un reservorio de agua; el DA2 afectó de igual manera un reservorio de agua; mientras el flujo de detritos afectó aproximadamente una hectárea de terrenos de cultivo y dejó expuestas al peligro a 2 viviendas.
- i. De acuerdo a las características geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se considera el sector evaluado en el centro poblado Río Grande como **Peligro Alto a Muy Alto**.

7. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que a continuación se brindan tienen por finalidad mitigar el impacto de los deslizamientos y el flujo de detritos. Así mismo, la implementación de dichas recomendaciones permitirá darle mayor seguridad a la población e infraestructura expuesta a los peligros antes mencionados.

Deslizamiento DA1 y DA2

- a. Construir zanjas de coronación e implementar un sistema de drenaje, en las zonas de deslizamiento y alrededores, con el apoyo técnico de un especialista, con la finalidad de reducir la saturación del terreno y así evitar su avance retrogresivo.
- b. En los terrenos ocupados con cultivos agrícolas, evitar el riego por inundación.
- c. Reforestar las laderas, de preferencia con arbustos nativos.
- d. Elaborar un informe de evaluación de riesgos (EVAR). para determinar las medidas de control adecuadas a largo plazo.

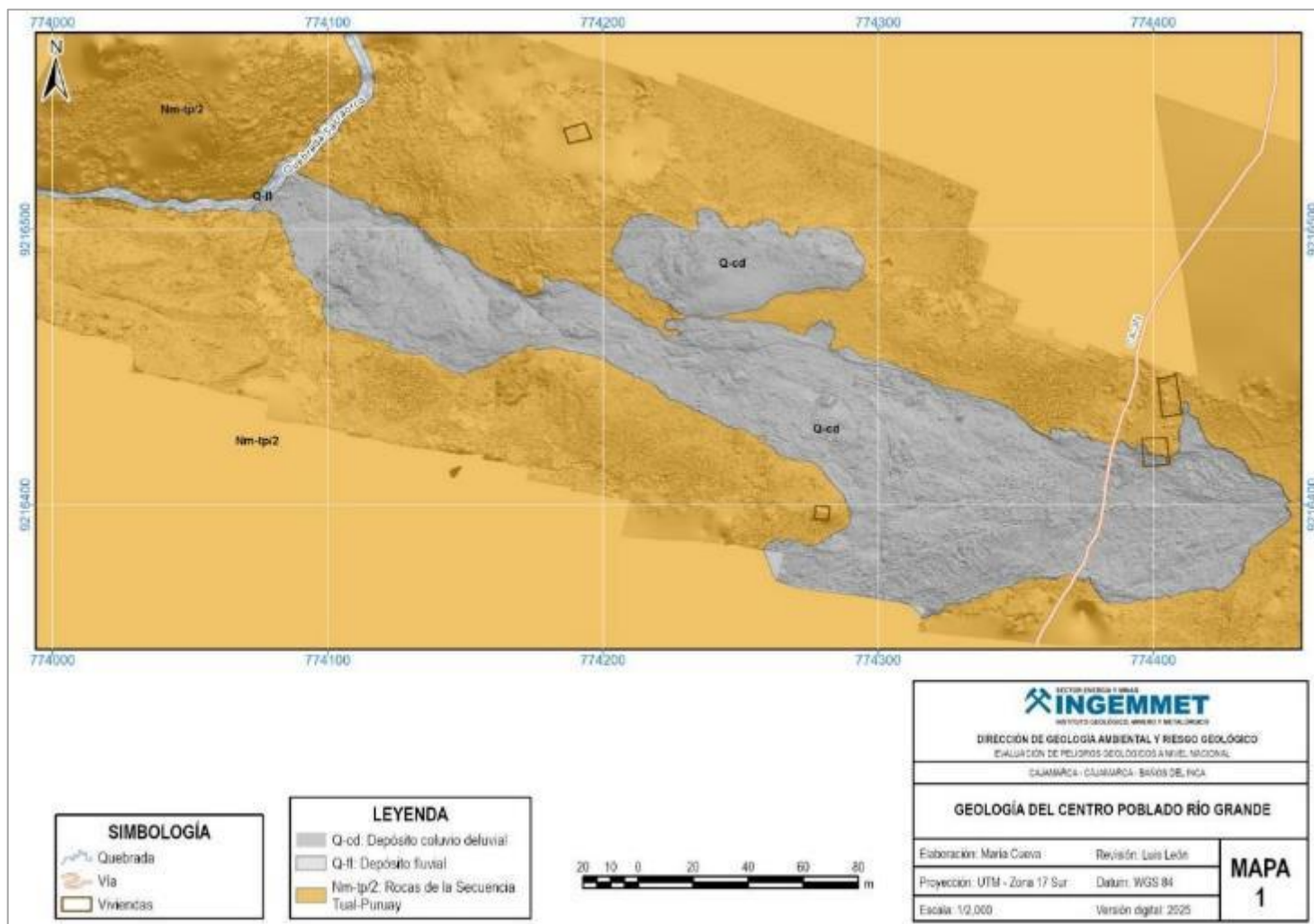
Flujo de detritos

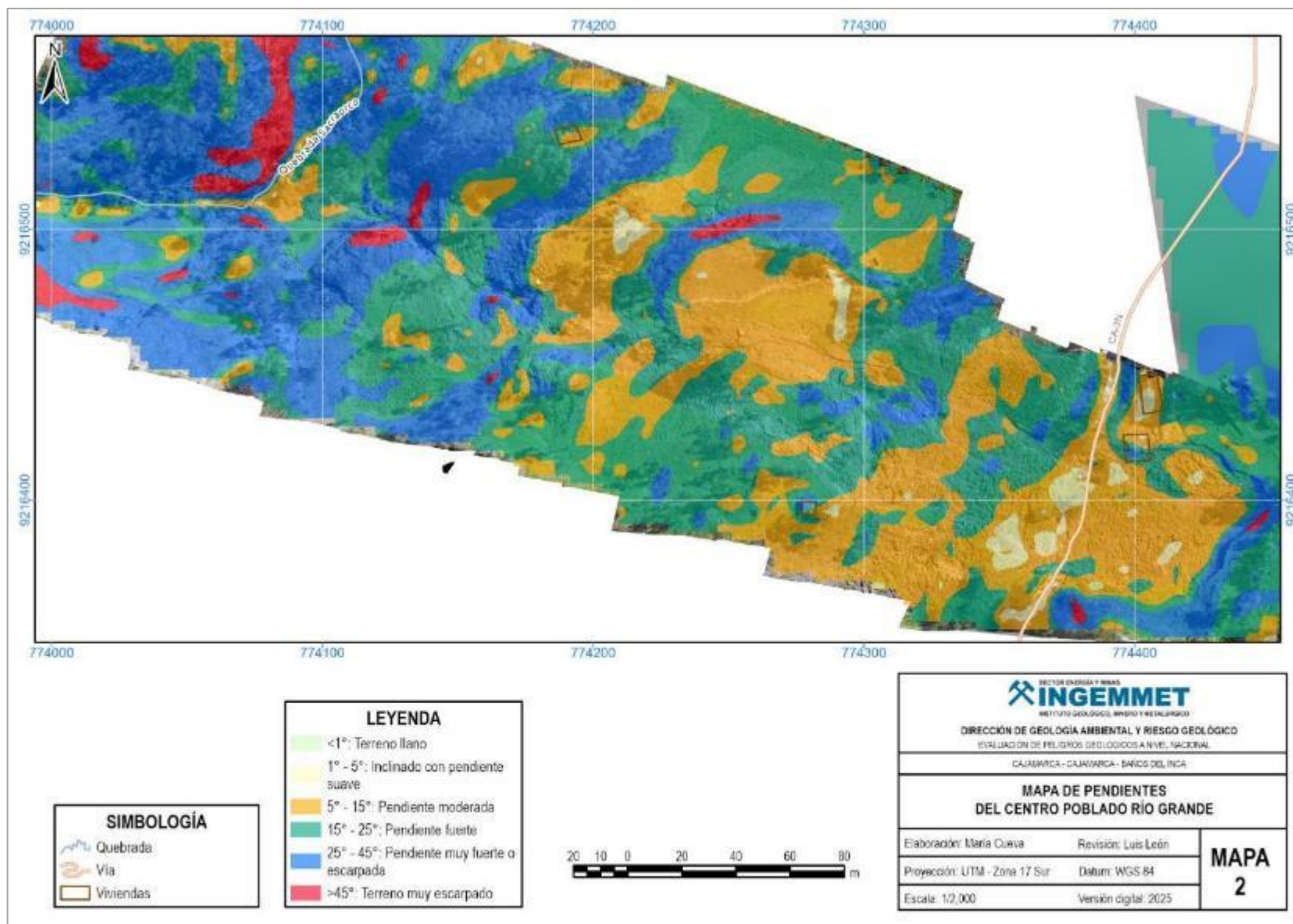
- a. Prohibir la construcción de nuevas viviendas y/o infraestructura en el cuerpo del flujo de detritos.
- b. Desarrollar un plan de contingencia que incluya protocolos de evacuación y respuesta en caso de eventos como lluvias intensas que puedan agravar el peligro.
- c. Realizar la descolmatación periódica para eliminar los sedimentos y detritos acumulados.
- d. Reforestar las laderas de montaña con especies nativas y de raíces densas.

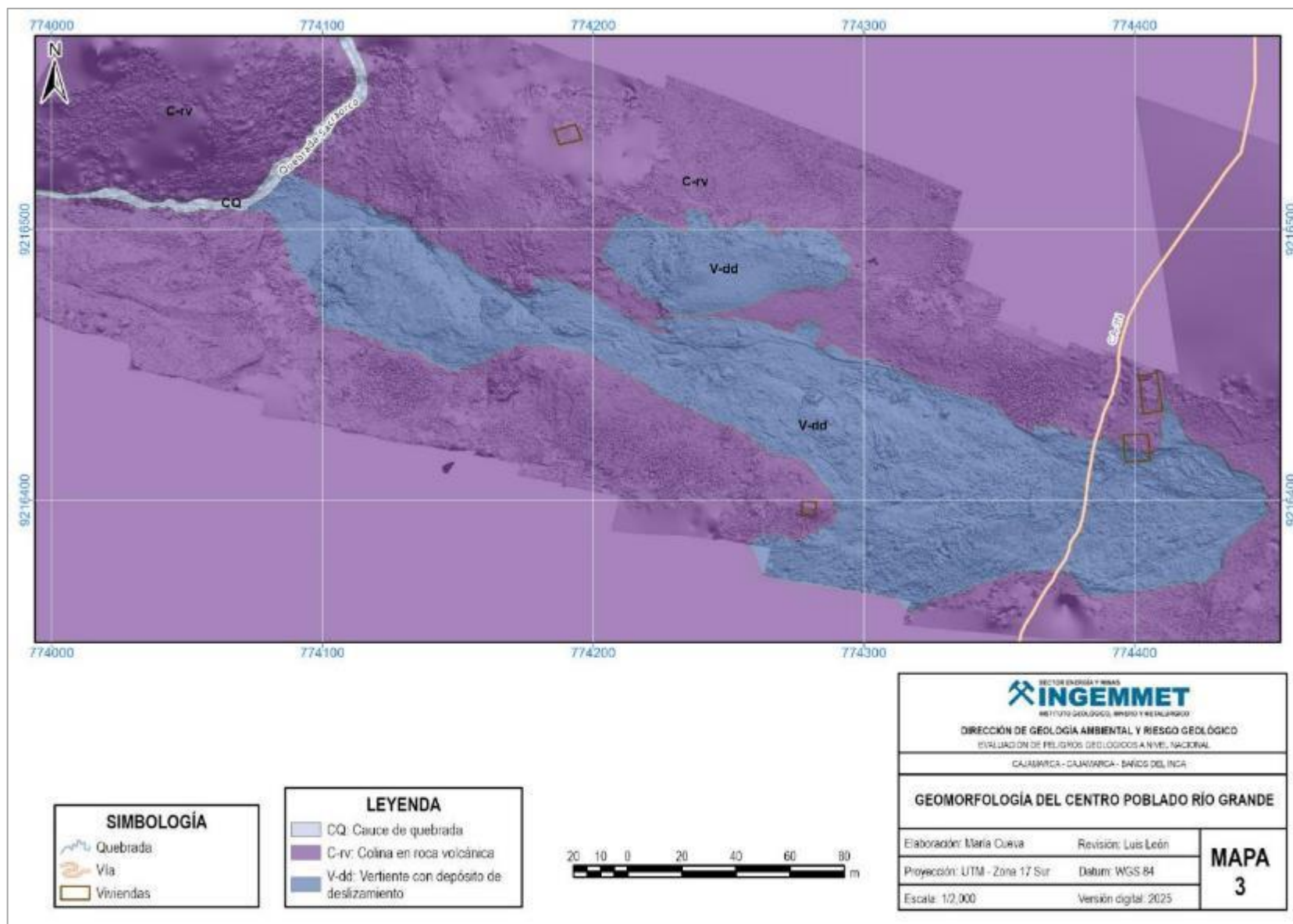
8. BIBLIOGRAFÍA

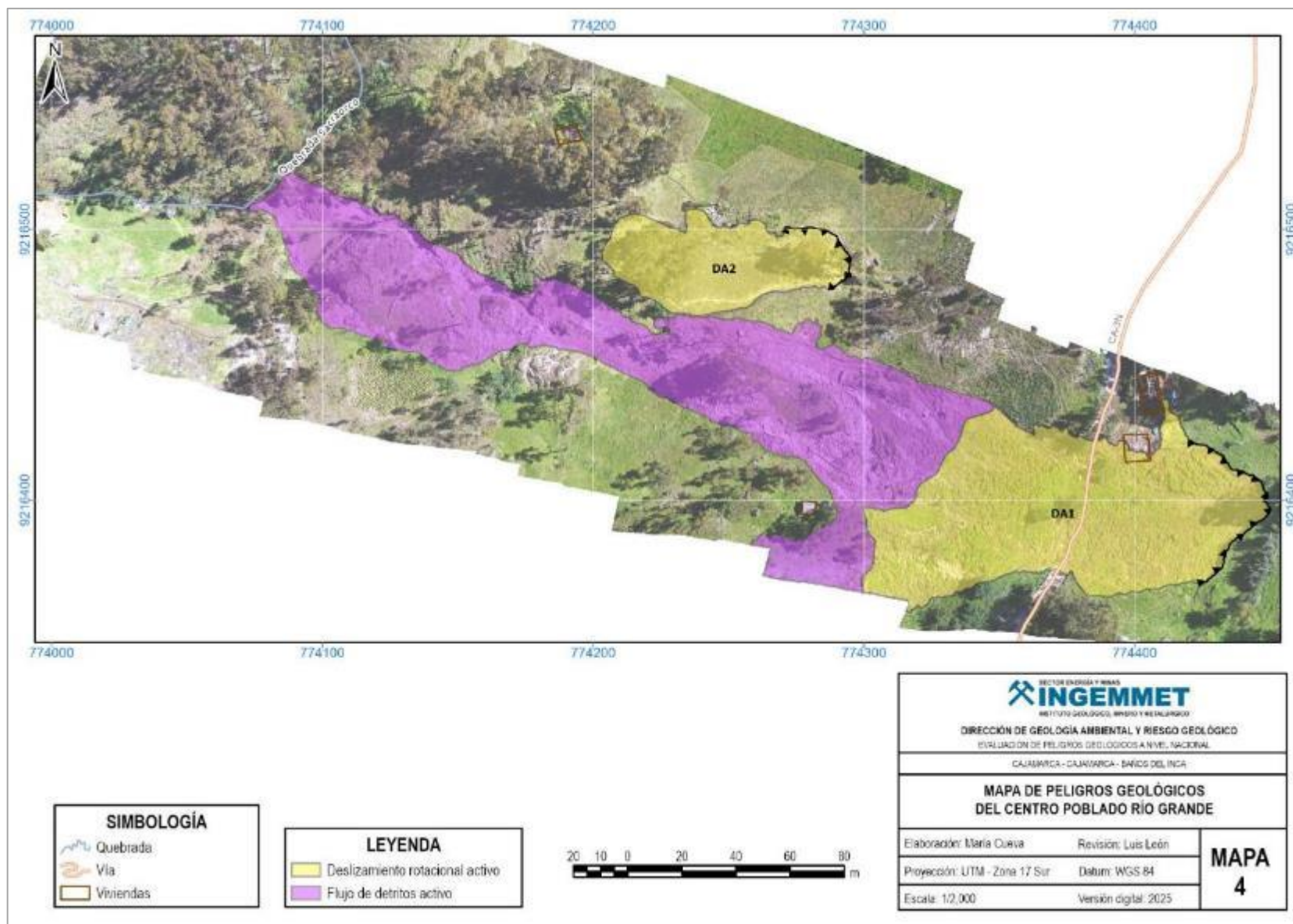
- Chávez et al. (2010). Variaciones Geoquímicas y Clasificación por Arcos Magmáticos de las rocas volcánicas del “Grupo Calipuy”: Cajamarca, La Libertad y Ancash. XV Congreso Peruano de Geología, Cusco, Resúmenes, p. 916 – 920.
- INEI. (2018). *Directorio Nacional de Centros Poblados Censos Nacionales 2017*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm
- Navarro, C. (2007). Mapa Geológico del Cuadrángulo de Cajamarca (15-f), hoja 15-f-I (escala 1:50 000). Ingemmet Carta Geológica del Perú, Serie A.
- Núñez, J & Vásquez E. (2019). Evaluación geodinámica del sector de Puruay. Distrito Baños del Inca, región y provincia de Cajamarca. Lima: INGEMMET, Informe Técnico N° A6868, 18p.
- PMA. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas* (1a ed.). Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas.
- Reyes, L. (1980). Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Hojas 15f, 15g, y 16g. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- Senamhi. (2020). *Climas del Perú - Mapa de Clasificación Climática Nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales* (Ltda, Ed.; 1a ed.). Publicaciones UIS.
- Suárez, J. (2007). *Deslizamientos - Técnicas de Remediación* (1a ed.). Erosion.com.
- Villota, H. (2005). *Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de Tierras* (2a ed.). Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Wilson, J. (1984). Geología de los Cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo, Chepén. Ingemmet Boletín N° 38 Serie A (1a ed.).
- Zavala, B., & Rosado, M. (2011). Riesgo Geológico en la Región Cajamarca. Ingemmet Boletín N° 44, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.

ANEXO 1. MAPAS









ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS

Para los deslizamientos y flujo de detritos

En la zona evaluada para la mitigación de los peligros geológicos, se debe controlar la infiltración del agua hacia afuera del cuerpo en movimiento. Los métodos de estabilización de los movimientos en masa, que contemplan el control del agua, tanto superficial como subterránea, son muy efectivos y generalmente más económicos que la construcción de grandes obras de contención, desactivan y disminuyen la presión de los poros, considerada el principal elemento desestabilizante en laderas. El drenaje reduce el peso de la masa y al mismo tiempo aumenta la resistencia de la ladera (Suárez Díaz, 1998). Las medidas de drenaje recomendadas son:

a. Drenaje Superficial

Las zanjas construidas permiten la recolección de aguas superficiales, captan la escorrentía tanto de la ladera, como de la cuenca de drenaje arriba del talud y desvía el agua a las quebradas adyacentes al cuerpo de la zona afectada, evitando su infiltración, captando el agua de escorrentía, llevándola a un sitio lejos del movimiento. Éstas deben ser construidas en la parte superior de la zona en movimiento (Figura 22). En las obras construidas - zanjas de drenaje es necesario impermeabilizar la caja hidráulica captando y evitando totalmente la infiltración de las aguas de escurrimiento la ladera, según las imágenes adjuntas.

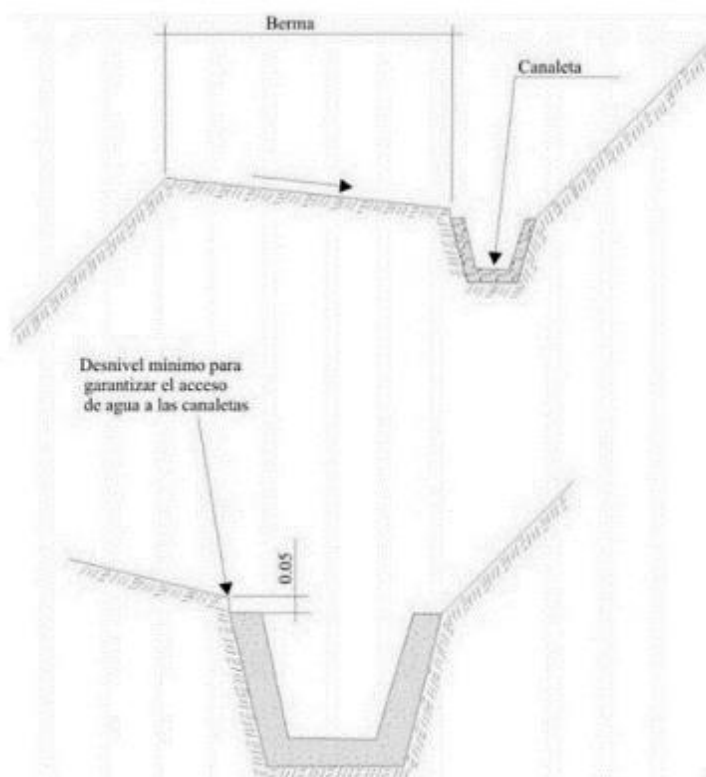


Figura 22. Detalle una canaleta de drenaje superficial (zanjas de coronación). Tomado de INGEMMET (2000).

b. Revegetación y bioingeniería

Los árboles y arbustos de raíz profunda aportan una resistencia cohesiva significativa a los mantos de suelo más superficiales y al mismo tiempo, facilitan el drenaje subterráneo (figura 23), reduciendo en esta forma la probabilidad de movimientos en masa poco profundos (Suárez Díaz, 2007).

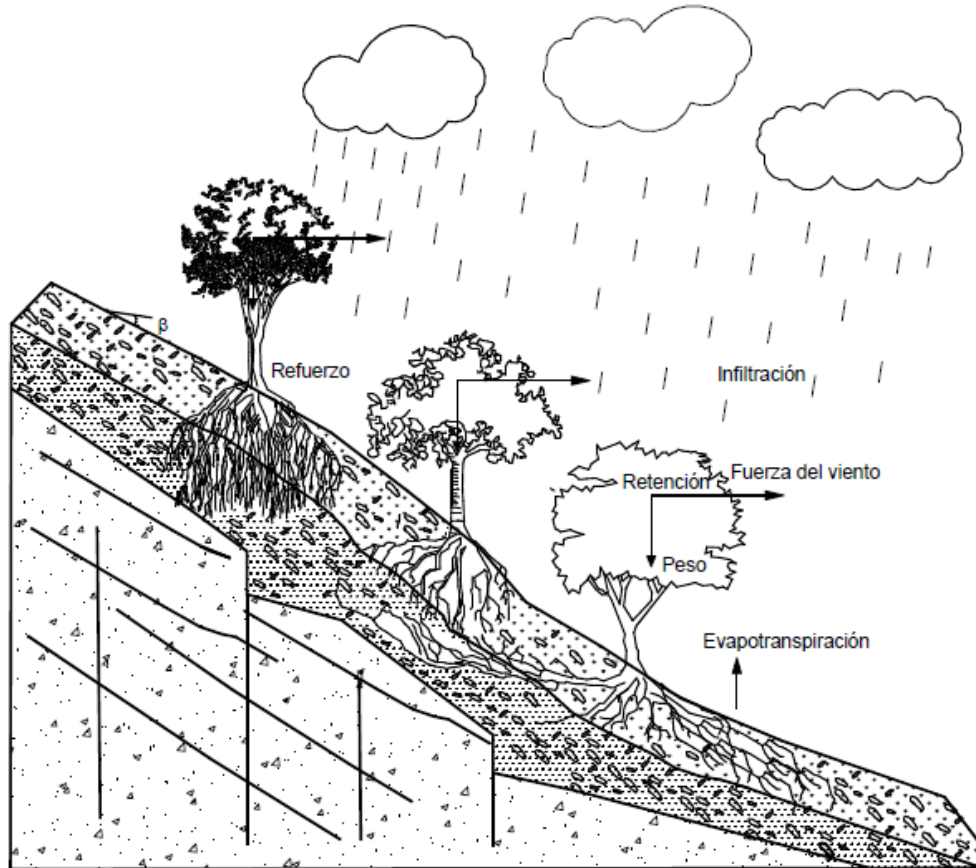


Figura 23. Estabilización de taludes utilizando vegetación. **Fuente:** Suarez, Díaz 2007.



Fotografía 7. Ejemplo de bioingeniería con arbusto (vetiver) en taludes de materiales sueltos.