

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7368

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN CRUSPATA OCCIDENTAL DE LA COMUNIDAD DE CEDRO

Departamento Ayacucho

Provincia Huamanga

Distrito Socos



MARZO
2023

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN CRUSPATA OCCICCASA DE LA COMUNIDAD DE CEDRO

Distrito Socos, provincia Huamanga, departamento Ayacucho

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

Equipo de investigación:

Mauricio A. Núñez Peredo

Ely M. Ccorimanya Chalco

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). "Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en Cruspata Occiccasa de la Comunidad de Cedro". Distrito Socos, provincia Huamanga, departamento Ayacucho", informe técnico N°A7368, Ingemmet 50p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Objetivos del estudio.....	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	2
1.3. Aspectos generales.....	4
1.3.1. Ubicación.....	4
1.3.2. Población.....	4
1.3.3. Accesibilidad.....	4
1.3.4. Clima	6
1.3.5. Zonificación sísmica	7
2. DEFINICIONES	8
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	10
2.1. Unidades litoestratigráficas	10
2.1.1. Formación Ticllas (Ppe-t3).....	10
2.1.2. Formación Sallalli (Nm-sall3)	10
2.1.3. Formación Huanta (Nm-ti4)	12
2.1.4. Depósitos cuaternarios	12
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	14
4.1. Pendientes del terreno.....	14
4.2. Unidades geomorfológicas	15
4.2.1. Subunidad de montañas en rocas sedimentarias (M-rs):	15
4.2.2. Subunidad de montañas en rocas volcano-sedimentaria (M-rvs):.....	15
4.2.3. Subunidad de vertiente coluvio-deluvial (V-cd):	16
4.2.5. Subunidad de piedemonte proluvial o aluvio-torrencial (P-pral)	17
4.2.6. Subunidad de terraza fluvial (T-fl)	18
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	18
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa.....	18
5.2. Deslizamientos antiguos y recientes	18
5.2.1. Deslizamientos antiguos (DA)	18
5.2.2. Deslizamiento-derrumbe reciente (DR)	20
5.2.3. Factores condicionantes	28
5.2.4. Factores detonantes desencadenantes	29
5.2.5. Daños por peligros geológicos	29
5.3. Flujo de detritos.....	30
5.3.1. Características visuales del evento.....	30

5.3.2.	Factores condicionantes.....	31
5.3.3.	Factores detonantes o desencadenantes	31
5.3.4.	Daños por peligros geológicos.....	31
5.4.	Erosión en cárcavas.....	32
6.	CONCLUSIONES.....	33
7.	RECOMENDACIONES.....	34
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	35
ANEXO 1:	MAPAS.....	36
ANEXO 2:	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN.....	41

RESUMEN

El Ingemmet, ente técnico-científico que 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.

El 18 de abril del 2022 en la localidad de Cruspata Occiccasa, se inició un deslizamiento rotacional, que trajo consigo la destrucción de camino de herradura (en un tramo de 30 m), terrenos de cultivos (linaza, alfalfa y trigo en 3 has); así como también se observó varios derrumbes con dirección de movimiento al sureste, focalizados en un cambio brusco de pendiente.

En el sector afloran rocas de origen volcano-sedimentario, conformadas por una secuencia de conglomerados con matriz arenosa generalmente de color rojo, limos de color rojo y verde, intercalándose con niveles de lavas volcánicas con textura laminar de composición andesítica y esporádicamente niveles de tobas blancas (Formación Sallalli, Ticllas y miembro Tigrayoc de la Formación Huanta); las cuales se encuentran muy fracturadas con espaciamientos próximos a medianamente separadas entre sí (0.05-0.30 m), algo abiertas (0.5-1.0 mm), sin relleno visible y de resistencia media (50-100 Mpa). Superficialmente se encuentran muy alteradas y de moderado a fuertemente meteorizadas.

Las geoformas identificadas corresponden a montañas modeladas en rocas sedimentarias y volcano-sedimentarias y geoformas de piedemonte (vertiente con depósitos de deslizamiento, coluvio–deluvial, coluvial y aluvio torrencial) que conforman laderas de montañas con pendientes variables de fuertes a muy fuerte (15° a 45°).

Por las condiciones litológicas, geomorfológicas y dinámicas mencionadas anteriormente, la zona de Cruspata Occiccasa en la Comunidad de Cedro, se considera como **Peligro Alto** a la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y flujos, susceptibles hacer reactivados con lluvias intensas y/o prolongadas.

Finalmente, se brinda algunas recomendaciones, como promover la construcción de zanjas de coronación por encima del escarpe principal, con el fin de que el desplazamiento no continúe, prohibir la construcción de caminos de herradura u otra actividad antrópica dentro y en los alrededores del cuerpo del deslizamiento, cambiar el tipo de cultivos en parte superior del deslizamiento y alrededores, que no requieran riego permanente y prolongado, para evitar la saturación del suelo, entre otros.

1. INTRODUCCIÓN

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

Atendiendo la solicitud del Gobierno Regional de Ayacucho, según Oficio N°117-2022-GRA/SIREDECI-ST; es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en la zona de Cruspata Occiccasa de la Comunidad de Cedro.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Mauricio Núñez Peredo y Ely Ccorimanya Challco, realizar la evaluación de peligros geológicos respectiva, la cual se realizó los días 28 y 29 de agosto del 2022 en coordinación con el secretario técnico de defensa civil del Gobierno Regional de Ayacucho y autoridades locales de la comunidad de Cedro.

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, fotografías terrestres y aéreas), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone a consideración del Gobierno Regional de Ayacucho y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, 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 la zona de Cruspata Occiccasa de la Comunidad de Cedro.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes de la ocurrencia de peligros geológicos.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del Ingemmet, que incluyen sectores aledaños a las zonas de evaluación (informes técnicos) y otros estudios regionales relacionados a temas de geología y geodinámica externa (boletines), de los cuales destacan los siguientes:

- A) Boletín N° 70, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro Geológico en la Región Ayacucho” (Vílchez *et al.*, 2019). Este boletín identifica los peligros

geológicos y geohidrológicos que pueden causar desastres dentro del ámbito de estudio. Se identificó un total de 1390 ocurrencias de peligros y se determinaron 31 zonas críticas a nivel regional. Así mismo, los autores señalan la ocurrencia de un deslizamiento en el año 2000 que afectó varias comunidades del distrito de Socos (incluido la localidad de Cedro).

El presente boletín muestra, además, el mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:300 000, donde la zona de Cruspata Occiccasa de la Comunidad de Cedro y alrededores, se localizan en zonas de susceptibilidad alta a muy alta, (figura 1).

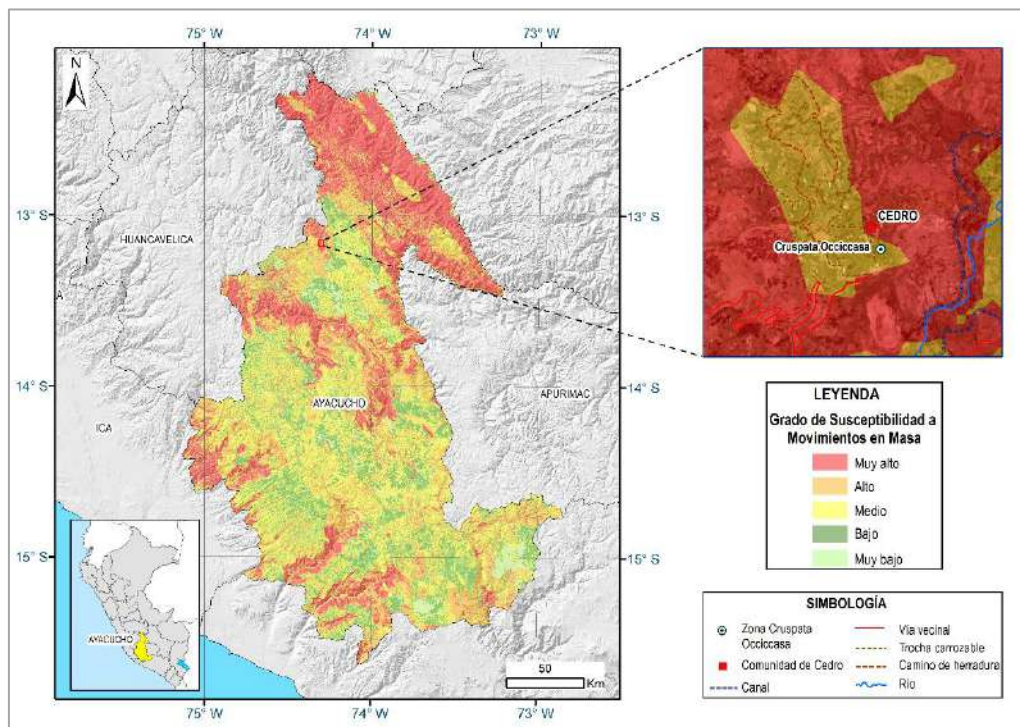


Figura 1: Susceptibilidad por movimientos en masa en la zona de Cruspata Occiccasa de la Comunidad de Cedro. **Fuente:** Vílchez et al., 2019.

- B) Boletín N° 61, serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología del cuadrángulo de Ayacucho” (Morche, *et al.*, 1995), se describe la geología presente en la zona evaluada, donde se exponen rocas de edad Cenozoica de naturaleza sedimentaria y volcánico-sedimentaria.
- C) “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayacucho” escala 1:100 000 (Rodríguez & Chacaltana, 2003). Realiza una descripción detallada de la geología del cuadrángulo de Ayacucho; hace una redefinición estratigráfica de la Formación Ticllas (antes llamada Formación Socos), Sallalli y Huanta (presentes en la zona de estudio); así como una definición y cartografía de lineamientos regionales, que pueden representar fallas profundas.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El sector de Cruspata Occiccasa, se ubica a la margen izquierda del río Tomarenga, pertenece a la jurisdicción de la Comunidad de Cedro, del distrito Socos, provincia Huamanga, departamento de Ayacucho (figura 2).

Cuenta con las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S):

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	575788.18	8544676.46	-13.16351377°	-74.3006687°
2	575788.18	8543863.31	-13.17086622°	-74.30064784°
3	574977.12	8543863.31	-13.17088651°	-74.30813169°
4	574977.12	8544676.46	-13.16353405°	-74.30815233°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
	575508.73	8544307.78	-13.16685436°	-74.30323777°

1.3.2. Población

Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, la comunidad de Cedro presenta una población censada de 162 habitantes distribuidos en un total de 53 viviendas particulares.

Así mismo, dentro del área de estudio (Zona Cruspata Occiccasa) se tiene una población censada de 45 habitantes distribuidos en 14 viviendas particulares.

1.3.3. Accesibilidad

El acceso se realizó por vía terrestre desde la ciudad de Lima, mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

Cuadro 2. Ruta de acceso.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – San Clemente	Asfaltada	219	2 horas 50 min
San Clemente - Huaytará	Asfaltada	110	2 horas 05 min
Huaytará – Ayacucho	Asfaltada	219	4 horas 15 min
Ayacucho – Cedro	Asfaltada/ Afirmada	22	55 min

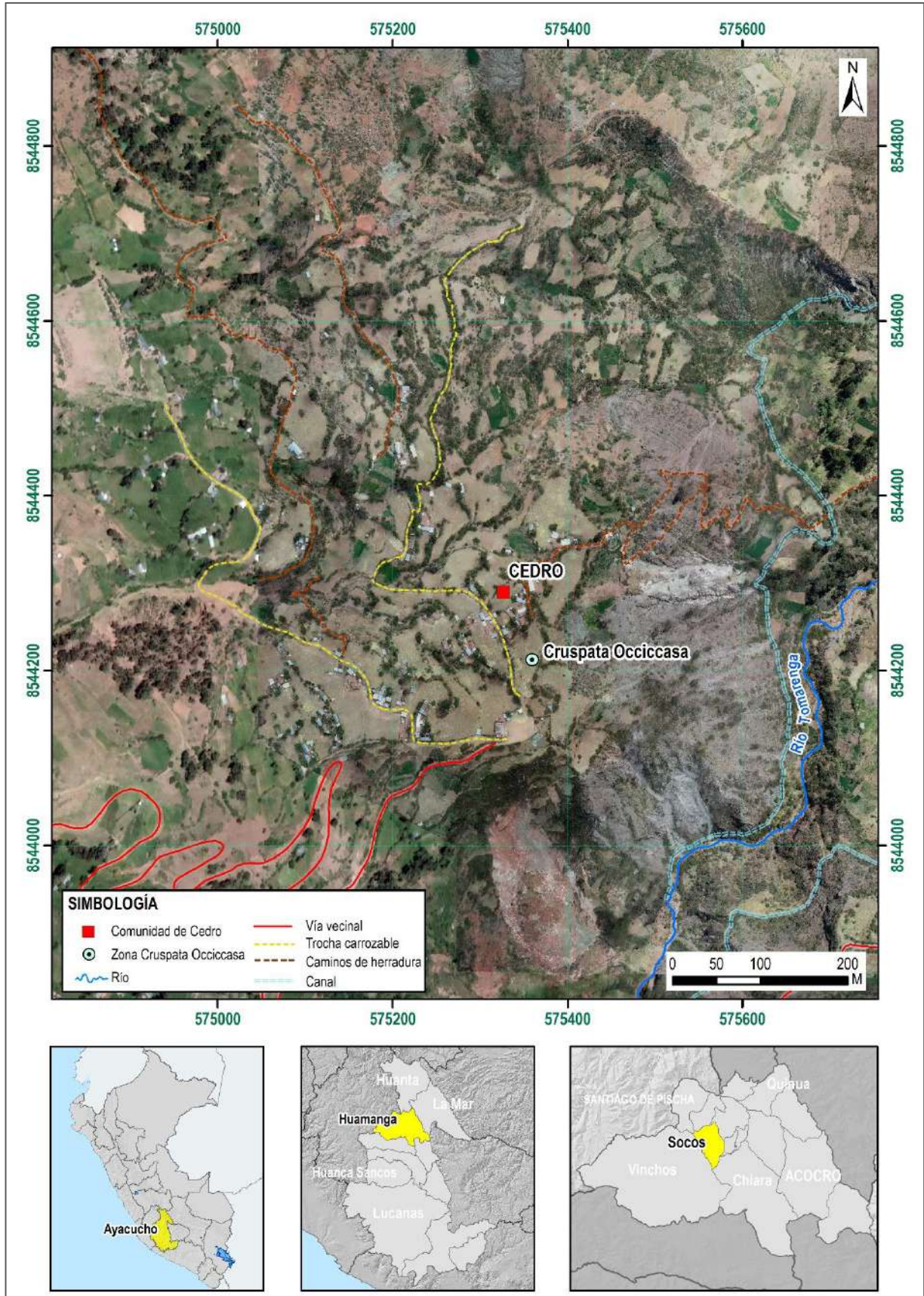


Figura 2: Ubicación de la “Zona de Cruspata Occiccasa de la Comunidad de Cedro”. Distrito Socos, provincia Huamanga, departamento Ayacucho

1.3.4. Clima

Según la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), la zona de Cruspata Occiccasa presenta un clima frío, lluvioso, con deficiencias de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.

En cuanto a la cantidad de lluvia, según datos meteorológicos y pronóstico del tiempo del servicio de aWhere (que analiza los datos de 2 millones de estaciones meteorológicas virtuales en todo el mundo, combinándolos con datos raster y de satélite), la precipitación máxima registrada en el periodo 2018-2022 fue de 38.4 mm, (figura 3). Cabe recalcar que las lluvias son de carácter estacional, es decir, se distribuyen muy irregularmente a lo largo del año, produciéndose generalmente de diciembre a abril.

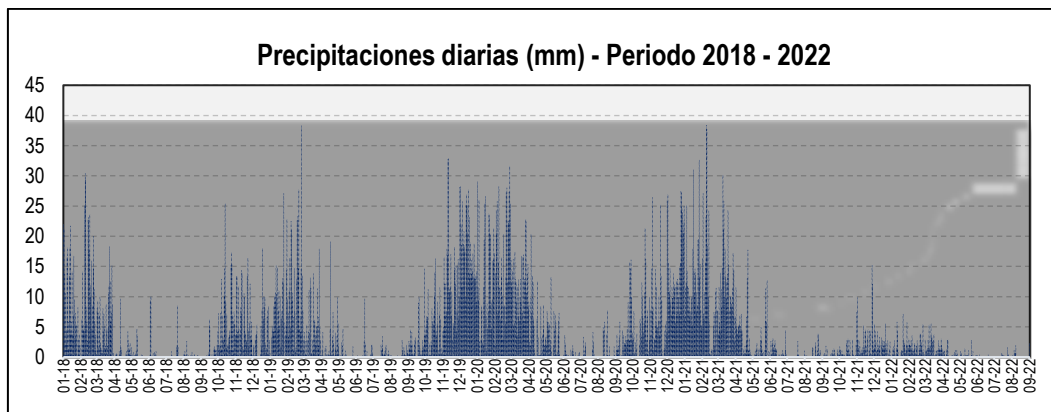


Figura 3. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2018-2022. La figura permite analizar la frecuencia de las anomalías en las precipitaciones pluviales que inducen al desarrollo de la erosión del suelo. Fuente: Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/8404119>.

La temperatura anual oscila entre un máximo de 25.0°C en verano y un mínimo de -1.0°C en invierno (figura 4). Así mismo, presenta una humedad promedio de 38.4% durante casi todo el año, (Servicio aWhere).

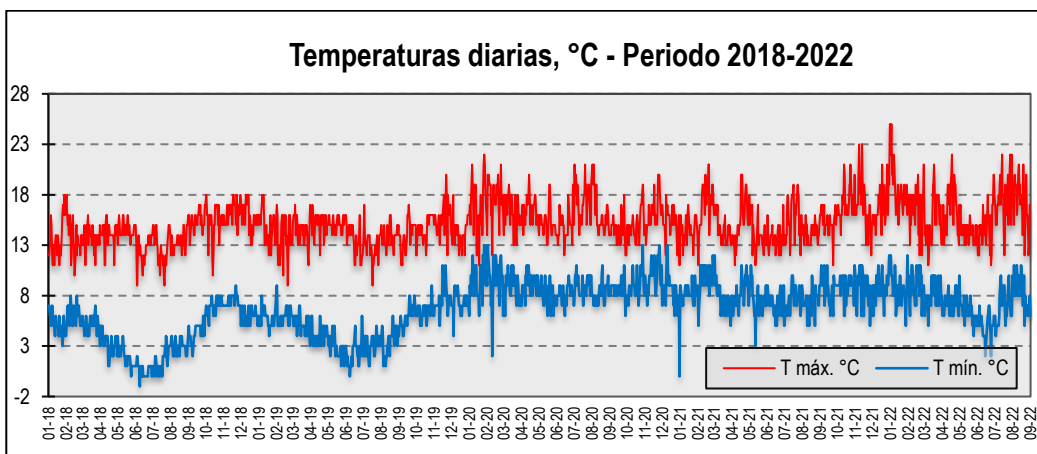


Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo 2018-2022. La figura permite analizar la variedad, saltos extremos de temperatura, duración y regularidad. Fuente: Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/8404119>.

1.3.5. Zonificación sísmica

De acuerdo a los niveles de zonificación sísmica en el Perú (figura 5); el área de estudio se ubica en la Zona 3 (sismicidad Alta), localizada desde la línea de costa hasta el margen occidental de la Cordillera de los Andes, determinándose aceleraciones de 0.35 g.

La zonificación propuesta, se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y atenuación de estos con la distancia epicentral, así como la información neotectónica. A cada zona se asigna un factor Z según se indica en el cuadro 3. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad (DS No. 003-2016-VIVIENDA).

Cuadro 3. Factores de zona Z.

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

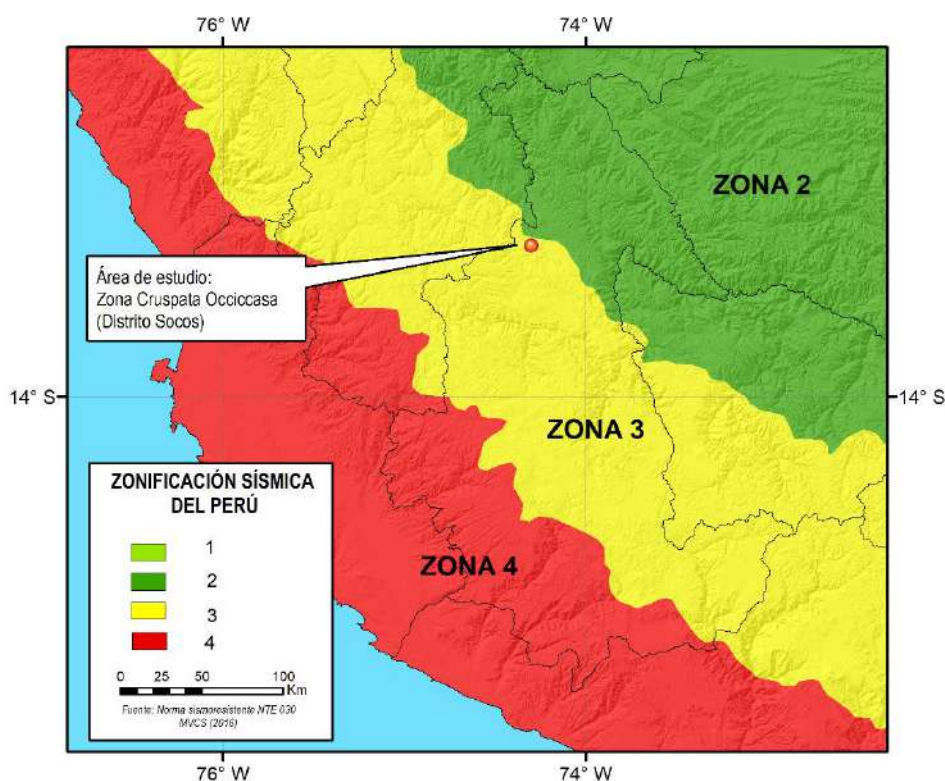


Figura 5. Zonificación sísmica del Perú.
 Fuente: Norma sismorresistente NTE 030 MVCS, 2016.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos; es por ese motivo, considerando como base el libro de “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), se desarrolla algunas definiciones relevantes en términos sencillos como son:

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.

CÁRCAVA: Tipo de erosión concentrada en surcos que se forma por el escurrimiento de las aguas sobre la superficie de las laderas.

DERRUMBE: son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros. se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados.

DESLIZAMIENTO: Es un movimiento, ladera abajo, de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Varnes (1978) clasifica los deslizamientos según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales, a su vez, pueden ser planares y/o en cuña.

EROSIÓN DE LADERAS: Se manifiesta a manera de láminas, surcos y cárcavas en los terrenos. Un intenso patrón de estos tipos de erosiones se denomina tierras malas o bad lands. Este proceso comienza con canales muy delgados cuyas dimensiones, a medida que persiste la erosión, pueden variar y aumentar desde estrechas y poco profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad.

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.

FLUJO: Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea deslizamiento o una caída. Estos pueden ser canalizados (flujos de detritos o huaicos) y no canalizados (avalanchas).

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: Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

INACTIVO: Estado de actividad de un movimiento en masa en el cual la masa de suelo o roca actualmente no presenta movimiento, o que no presenta evidencias de movimientos en el último ciclo estacional (WP/WLI, 1993).

INACTIVO LATENTE: Movimiento en masa actualmente inactivo, pero en donde las causas o factores contribuyentes aún permanecen (WP/WPI, 1993).

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.

MOVIMIENTO EN MASA: Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. Los tipos más frecuentes son: caídas, deslizamientos, flujos, vuelcos, expansiones laterales, reptación de suelos, entre otros. Existen movimientos extremadamente rápidos (más de 5 m por segundo) como avalanchas y/o deslizamientos, hasta extremadamente lentos (menos de 16 mm por año) a imperceptibles como la reptación de suelos.

PELIGROS GEOLÓGICOS: Son procesos o fenómenos geológicos que podrían ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud. Daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y servicios, trastornos sociales y económicos o daños materiales. Pueden originarse al interior (endógenos) o en la superficie de la tierra (exógenos). Al grupo de endógenos pertenecen los terremotos, tsunamis, actividad y emisiones volcánicas; en los exógenos se agrupan los movimientos en masa (deslizamientos, aludes, desprendimientos de rocas, derrumbes, avalanchas, aluviones, huaicos, flujos de lodo, hundimientos, entre otros), erosión e inundaciones.

SUSCEPTIBILIDAD: Está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso de movimientos en masa determinado.

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

ZONA CRÍTICA: Las zonas o áreas consideradas como críticas (Fidel et al., 2006), presentan recurrencia en algunos casos periódica a excepcional de peligros geológicos y geohidrológicos; alta susceptibilidad a procesos geológicos que puede causar desastres y alto grado de vulnerabilidad.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología local, se desarrolló teniendo como base el mapa geológico del cuadrángulo de Ayacucho (27-ñ-IV), a escala 1: 50,000 (Chacaltana & Rodríguez, 2002), así como la referencia del Boletín N° 61: "Geología del cuadrángulo de Ayacucho Hoja 27-ñ" (Morche, *et al.*, 1995) y la memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayacucho (27-ñ). Escala 1:100 000 (Chacaltana & Rodríguez, 2003) publicados por Ingemmet.

De igual manera, esta información se complementó con trabajos de interpretación de imágenes de satélite, vuelos de dron y observaciones de campo.

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área de estudio son principalmente de origen sedimentario y volcano-sedimentario, representado por las Formaciones Ticllas, Sallalli y Huanta. Estas unidades se encuentran cubiertas por depósitos recientes tipo coluvio-deluvial, proluvial, coluvial y fluvial, que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad, (anexo 1: Mapa 01).

2.1.1. Formación Ticllas (Ppe-t3)

Para Chacaltana & Rodríguez (2002), la Formación Ticllas se encuentra conformada por una secuencia grano decreciente, compuesta en la base por conglomerados intercalados con areniscas rojas y contenidos esporádicos de niveles de yeso. En la parte superior presenta una secuencia de areniscas y limolitas rojas intercalada con capas delgadas de calizas y arenisca. Y finalmente en las partes superiores presentan una intercalación de limolitas y areniscas de colores verdes y rojos.

La presencia de niveles de yeso la hace de baja calidad geotécnica (Vílchez *et al.*, 2019).

2.1.2. Formación Sallalli (Nm-sall3)

Se trata de una serie volcano-sedimentaria conformada por una secuencia de conglomerados con matriz arenosa generalmente de color rojo, limos de color rojo y verde, intercalándose con niveles de lavas volcánicas con textura laminar de composición andesítica y esporádicamente niveles de tobas blancas (figura 6).

El substrato rocoso se encuentra muy fracturado con espaciamentos próximos a medianamente separadas entre sí (0.05-0.30 m), algo abiertas (0.5-1.0 mm), sin relleno visible y de resistencia media (50-100 Mpa). Superficialmente se encuentran muy alteradas y de moderado a altamente meteorizadas (fotografía 1). Dentro de esta Formación se han identificado escarpas y cicatrices de deslizamientos antiguos.



Figura 6. Secuencia volcano-sedimentaria de la Formación Sallalli, conformado por la intercalación de conglomerados con matriz arenosa de color rojo (B) con niveles de tobas blancas (A).



Fotografía 1. Detalle de las rocas volcánicas las cuales se encuentran muy fracturado con espaciamentos próximos a medianamente separadas entre sí (0.05-0.30 m), algo abiertas (0.5-1.0 mm), y de resistencia media (50-100 Mpa). Superficialmente se encuentran alteradas y moderadamente meteorizadas.

2.1.3. Formación Huanta (Nm-ti4)

Es una secuencia volcano-sedimentario, se extiende en una dirección nor-noroeste a sur-sureste y está conformada por tres miembros, denominados Mayocc, Tancas y Tingrayoc; siendo esta última la que aflora en los alrededores de la zona evaluada.

Miembro Tingrayoc (Nm-ti4): Secuencia sedimentaria, caracterizada por estar conformada por una intercalación de conglomerados polimícticos de colores grises y rojos, areniscas y en algunos casos limolitas y niveles de coladas andesíticas y tobas. Los estratos son por lo general de más de 30 cm de espesor y con inclinación a favor de la pendiente de la ladera; la secuencia se presenta poco resistente y deleznable que se disgrega con facilidad.

Son consideradas de mala calidad geotécnica (Vílchez *et al.*, 2019).

2.1.4. Depósitos cuaternarios

a. Depósito coluvio-deluvial (Q-cd):

Se localizan en forma caótica al pie de laderas por acción de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía. Están compuestos por fragmentos líticos, angulosos a subangulosos con diámetros que varían de 0.02 a 0.30 m envueltos en una matriz de arenas y limos con contenidos de cenizas (figura 7). Son producto de la meteorización de las rocas volcanosedimentarias y removidos por procesos de movimientos en masa antiguos.



Figura 7. Depósito coluvio-deluvial compuestos por fragmentos de rocas volcánicas angulosos a subangulosos, heterométricos y envueltos en una matriz de arenas y limos, removidos por procesos de movimientos en masa antiguos.

b. Depósito proluvial (Q-pl):

Los depósitos proluviales se originan a partir de los depósitos de los flujos, la existencia de material detrítico suelto acumulado, la presencia de bofedales y cuando ocurren precipitaciones pluviales intensas se saturan, pierden su estabilidad y se movilizan torrente abajo por las quebradas.

Están compuestos por fragmentos líticos angulosos a subangulosos con tamaños máximos de 1.5 m y mínimos de 0.02 m envueltos en una matriz areno limoso, permeables y medianamente consolidados (fotografía 2). Su granulometría está compuesta por: Bolos (10%), cantos (15%), gravas (25%), gránulos (25%), arenas (15%) y limos (10%).



Fotografía 2. Depósito proluvial compuesto fragmentos líticos angulosos a subangulosos con tamaños máximos de 1.5 m y mínimos de 0.02 m envueltos en una matriz areno limoso, permeable y medianamente consolidado.

c. Depósito coluvial (Q-cl):

Son depósitos inconsolidados, compuestos por fragmentos de roca angulosos de tamaños variables y de naturaleza litológica homogénea. Presentan nula o poca compactación y se encuentran acumulados al pie de taludes escarpados; generalmente corresponde a depósitos de derrumbes y deslizamientos. Su granulometría está compuesta por: Bolos (15%), cantos (15%), gravas (25%), arenas (25%), limos (20%).

d. Depósito fluvial (Q-fl):

Conformados por gravas y arenas mal seleccionadas en matriz areno-limosa. Se le puede apreciar en el curso principal del río Tomarenga, formando parte de la llanura de inundación, así como de terrazas fluviales. Su granulometría está compuesta por bloques (25%), gravas (30%), arenas (30%) y limos (15%).

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

La pendiente del terreno 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 anexo 1: Mapa 02, se presenta las pendientes del terreno, elaborado en base a información del modelo de elevación digital de 0.15 m de resolución obtenido de sobrevuelos de dron. Muestra que la zona de Cruspata Occiccasa, se localiza en laderas de montañas con pendientes que van de fuerte (15° - 25°) a muy fuerte (25° a 45°) con un cambio abrupto a terrenos de pendiente muy escarpada ($> 45^{\circ}$). Este rango de pendiente es el resultado de una intensa erosión y desgaste de la superficie terrestre.

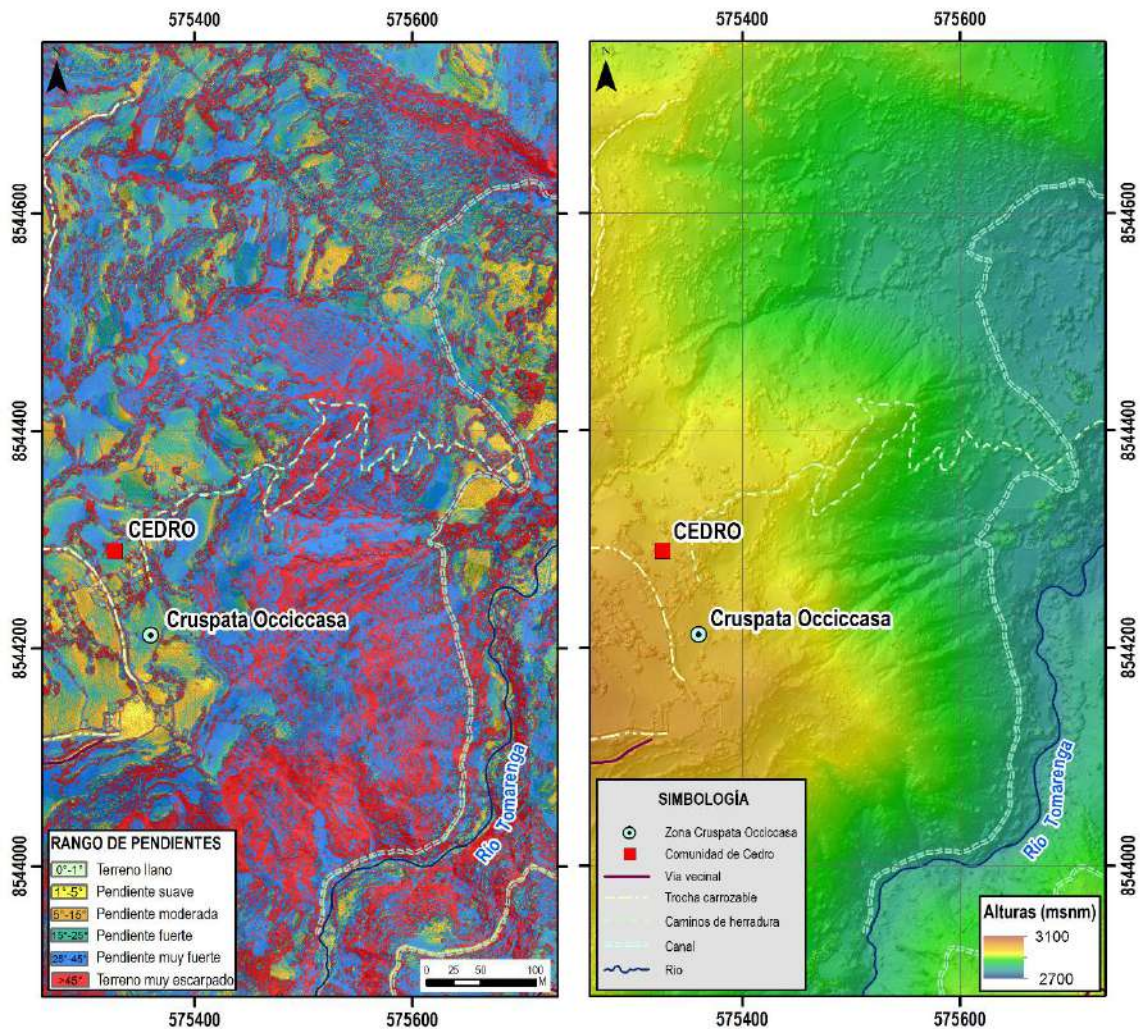


Figura 8. Izquierda: Variación de pendientes. Derecha: Variación de alturas.

4.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (Anexo 1: Mapa 03), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación con la erosión, denudación y sedimentación; además se usó como referencia el mapa geomorfológico regional a escala 1:250 000 elaborado por Ingemmet.

En la zona evaluada y alrededores se han diferenciado las siguientes geformas:

A) Unidad de montañas

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel base local; diferenciándose las siguientes subunidades según el tipo de roca que las conforman y los procesos que han originado su forma actual, (Villota, 2005).

4.2.1. Subunidad de montañas en rocas sedimentarias (M-rs):

Corresponde a cadenas montañosas con procesos denudativos (fluvio-erosionales) que cubren gran parte de la zona de estudio, cuyas laderas presentan pendientes fuertes a muy fuerte, varían de 15° a 45°, incluso llega a tener paredes semiverticalizadas de pendientes mayores a 45°. Por la configuración geomorfológica de estas se les considera susceptibles a caídas de rocas, derrumbes, deslizamientos erosión de laderas y flujos.

4.2.2. Subunidad de montañas en rocas volcano-sedimentaria (M-rvs):

Relieve modelado por una secuencia volcano-sedimentarias representada por conglomerados de color rojo, limos de color rojo y verde, intercalándose con niveles de lavas volcánicas de composición andesítica y esporádicamente niveles de tobas blancas de la Formación Sallalli (figura 9). Las laderas de esta montaña presentan mayoritariamente pendientes fuertes a muy fuertes (15° a 45°).

Sus relieves se encuentran asociadas a procesos dominantes de erosión de laderas, deslizamientos, derrumbes y flujos.



Figura 9. Vista de la subunidad de montaña modelada en rocas volcano-sedimentaria (M-rvs), sobre la cual se asienta la zona de Cruzpata Occiccasa. Sus relieves se encuentran asociadas a procesos dominantes de erosión de laderas, deslizamientos, derrumbes y flujos.

B) Unidad de Piedemonte

Corresponde a la acumulación de material muy heterogéneo, constituido por bloques, cantos, arenas, limos y arcilla inconsolidados ubicado al pie de las cadenas montañosas; estos depósitos ocupan grandes extensiones. Se identificó las siguientes subunidades:

4.2.3. Subunidad de vertiente coluvio-deluvial (V-cd):

Son depósitos inconsolidados, localizados al pie de laderas de montañas volcano-sedimentarias, resultantes de la acumulación de material de origen coluvial y deluvial. Los principales agentes formadores de esta subunidad son los procesos de erosión de suelos, la gravedad, las lluvias, el viento, agua de escorrentía superficial y son altamente susceptibles a sufrir procesos geodinámicos como derrumbes y deslizamientos (figura 10).

Están compuestos principalmente por fragmentos líticos de rocas volcánicas, heterométricos, compuestos de: bolos (5%), cantos (10%), gravas (20%), arenas (30%), limos (35%), angulosos a subangulosos envueltos en una matriz de arenas y limos. Estas geoformas se encuentran ampliamente desarrolladas en las laderas de montañas, con pendientes predominantes de muy fuerte a muy escarpado (25°- >45°) y fáciles de remover.



Figura 10. Vista de las subunidades de vertientes coluvio-deluvial (V-cd) adosadas al pie de ladera de montañas resultantes de la acumulación de material de origen coluviodeluvial y susceptibles a sufrir procesos geodinámicos como derrumbes y deslizamientos.

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

Zonas de acumulaciones en ladera originadas por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes (figura 11). Generalmente su composición litológica es homogénea; con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados compuestos de: bolos (15%), cantos (10%), gravas (30%), arenas (25%), limos (20%), de corto a mediano recorrido. Su morfología es usualmente convexa y su disposición es semicircular a elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

Estas geoformas se observaron cómo cuerpos de deslizamientos antiguos depositadas en las laderas superiores del valle del río Tomarenga, donde las pendientes van de fuerte a muy fuerte (15°- 45°).



Figura 11. Vista de la subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd) ubicado en la comunidad de Cedro (al norte de la zona de estudio), originado por procesos de movimientos en masa antiguos.

4.2.5. Subunidad de piedemonte proluvial o aluvio-torrencial (P-pral)

Corresponden a planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y extendidas, posicionadas al pie de los sistemas montañosos, formado por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales y de carácter excepcional, en ocasiones a manera de flujos de detritos.

Se depositan en la desembocadura de las quebradas y están asociadas a lluvias excepcionales. El material que los constituye es heterométrico, subangulosos a subredondeados, compuesto de: bolos (10%), cantos (15%), gravas (25%), gránulos (25%), arenas (15%) y limos (10%); permeables y medianamente consolidados. Actualmente son áreas ocupadas por terrenos de cultivo y cancha deportiva.

C) Unidad de Planicie

Son superficies que no presentan un claro direccionamiento, ya que provienen de la denudación de antiguas llanuras agradacionales o del aplanamiento diferencial de anteriores cordilleras, determinado por una acción prolongada de los procesos denudacionales.

4.2.6. Subunidad de terraza fluvial (T-fl)

Depósitos dejados por las corrientes actuales de los ríos cuando disminuyen la pendiente y la capacidad de carga de sedimentos. Litológicamente está compuesto por fragmentos rocosos heterogéneos: bolos (25%), gravas (30%), arenas (30%) y limos (15%) que son transportados por la corriente del río Tomarenga a grandes distancias, se depositan formando terrazas bajas, también conformando la llanura de inundación o el lecho de los ríos.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos activos e inactivos latentes identificados en el sector de Cruspata Occiccasa y alrededores, de la localidad Cedro, comprenden movimientos en masa, tipo deslizamientos, derrumbes, flujo de detritos y otros peligros geológicos como erosión en cárcava (anexo 1: Mapa 4).

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

La caracterización de estos eventos, se realizó en base a la información obtenida durante los trabajos de campo, a través del cartografiado geológico y geodinámico, basado en la observación y descripción morfométrica in situ; de igual modo se tomó datos GPS, fotografías a nivel de terreno y levantamiento fotogramétrico con dron, a partir del cual se obtuvo un modelo digital de terreno y un ortomosaico con una resolución de 0.15 y 0.05 cm/pixel respectivamente, complementada con el análisis de imágenes satelitales.

Como referente, se tiene el mapa de susceptibilidad alta a muy alta a la ocurrencia de movimientos en masa, según (Vílchez et al., 2019).

Se tiene como principales eventos: deslizamientos, derrumbes, flujos y erosión de laderas, descritos a continuación y diferenciando: eventos antiguos y recientes.

5.2. Deslizamientos antiguos y recientes

5.2.1. Deslizamientos antiguos (DA)

Se tienen deslizamientos antiguos, los cuales se evidencian con imágenes satelitales disponibles en la plataforma de Google Earth y verificados con trabajos de campo, cuya masa desplazada presenta una dirección preferente de este-sureste, hacia el río Tomarenga.

La activación de este evento en general, es a consecuencia de la activación de varios eventos ocurridos al pie de la ladera (donde se puede observar varias escarpas de deslizamiento), y cuya cronología es difícil de establecer (figura 12).



Figura 12. Vista de diferentes deslizamientos rotacionales antiguos, con múltiples escarpas que manifiestan reactivaciones antiguas del evento dispuestos al pie de la ladera y cuya masa desplazada presenta una dirección preferente al este-sureste, hacia el río Tomarenga.

Características visuales del evento

El deslizamiento ocurre sobre suelos de naturaleza coluvio-deluvial que cubre el substrato rocoso volcánico sedimentario muy fracturado de la Formación Sallalli. Las características y dimensiones que fueron posibles de medir de este deslizamiento son las siguientes:

- Ancho de escarpa: 300 m.
- Longitud de la escarpa: 410 m (fotografía 3).
- Forma de la escarpa: Irregular.
- Salto principal: 15 - 20 m (aproximadamente)
- Velocidad del movimiento: Muy lento.
- Presencia múltiples escarpas antiguas de forma irregular y continua con longitudes entre 40 a 100m; los saltos de las escarpas tienen aproximadamente entre 5 a 10 m de longitud.
- Edad estimada del evento: antiguo
 - Estilo: Único.
 - Distribución: Confinado (se presenta una escarpa, pero no tiene una superficie de falla visible por estar erosionada).

El área que comprende el cuerpo del deslizamiento presenta una topografía ondulada en un área aproximada de 11,90 ha, en cuyo depósito se presentan bloques de roca de tipo volcánico de diferentes tamaños.

Parte de la comunidad de Cedro, se encuentra dentro del cuerpo del movimiento antiguo, cerca de la zona de arranque, asentado sobre un terreno con pendientes de fuerte (15° - 25°) a muy fuerte a escarpado (25° - 45°).

El movimiento aparece limitado en ambos flancos por cárcavas activas, que se proyectan de oeste a este, desde las laderas de montañas hasta las partes bajas, mostrando paredes sub-verticales con pendientes muy fuerte a muy escarpadas (25° - $>45^{\circ}$) producto de la intensa erosión hídrica y cuya profundización se ve reducida por la variación litológica y la actividad antrópica.



Fotografía 3. Vista panorámica de la ladera y sobre la cual se distingue escarpes antiguos de deslizamiento (señalados) con una longitud de aproximadamente 410 m.

5.2.2. Deslizamiento-derrumbe reciente (DDR)

El lunes 18 de abril del 2022, se inició un proceso de movimiento en masa complejo (deslizamiento-derrumbe) en la zona de Cruspata Occiccasa, ubicado en la Comunidad de Cedro y en la margen izquierda del río Tomarenga (figura 13).

El flanco izquierdo del deslizamiento afectó 30 m de un camino de herradura el cual pasaba por el escarpe principal del deslizamiento y terrenos de cultivos de linaza, alfalfa y trigo en aproximadamente 3 ha.

A continuación, se describe a detalle las características de dicho evento:

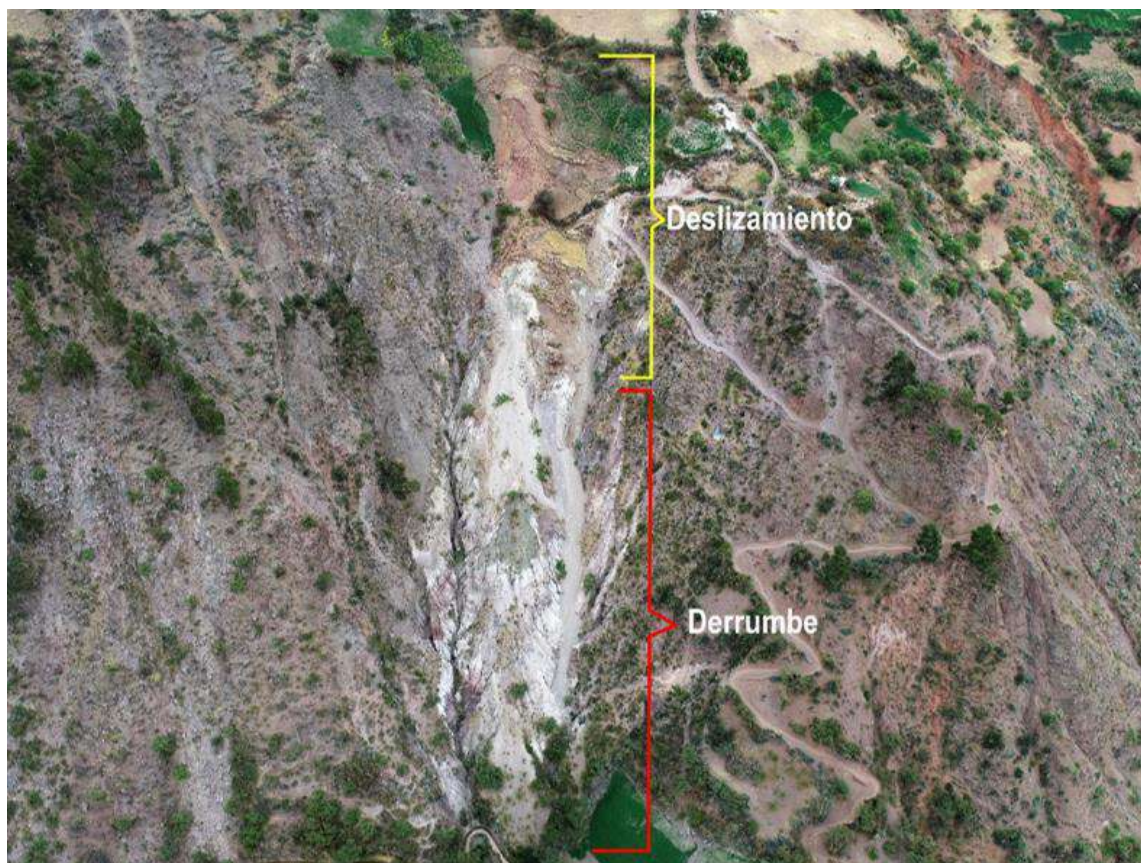


Figura 13. Vista panorámica del deslizamiento-derrumbe ocurrido el 18 de abril del 2022 en la margen izquierda del río Tomarenga. Coordenadas UTM Zona 18S: E: 575509, N: 8544308
Fuente: Fotografía tomada con dron, agosto-2022.

Características visuales del evento

Se tiene un deslizamiento rotacional, que se ha formado recientemente, caracterizado por presentar un escarpe principal con forma irregular y continua. En el pie del deslizamiento, se viene registrando varios procesos de derrumbes condicionados principalmente por la fuerte pendiente del terreno (30°- 45°).

El deslizamiento se desplazó a lo largo de la ladera media de una montaña (Sector Cruspata Occiccasa), sobre la margen izquierda del río Tomarenga.

El tipo de roca comprometida son conglomerados, limos y lavas volcánicas de composición andesítica, que se presentan muy alteradas y poco resistente, por lo que se considera de mala calidad geotécnica. Las rocas del sustrato al descomponerse conforman un suelo arenoso a arcilloso-limoso con gravas de color pardo, plasticidad media y de baja permeabilidad.

La geometría de la corona del movimiento tiene forma semicircular y elongada, estrecha hacia la cabeza y abierta hacia sus dos extremos. El escarpe principal (Ep) se muestra de forma irregular y continua con una longitud de 85 m, saltos verticales que varían de 1 a 2 m, desplazamientos horizontales entre 20 a 45 cm y pendientes del terreno entre 45° a 75°; así mismo se evidencian varios escarpes secundarios (Es) paralelos al escarpe principal, escalonados y de forma discontinua e irregular con longitudes de 30 a 50 m,

saltos verticales que varían entre 1 a 2 m con pendientes entre 55° a 65° (figura 14 Y 15).



Figura 14. Vista del escarpe principal (Ep) de forma irregular y continua con una longitud de 85 m, y escarpes secundarios (Es) paralelos al escarpe principal, escalonados y de forma discontinua e irregular con longitudes de hasta 30 m.

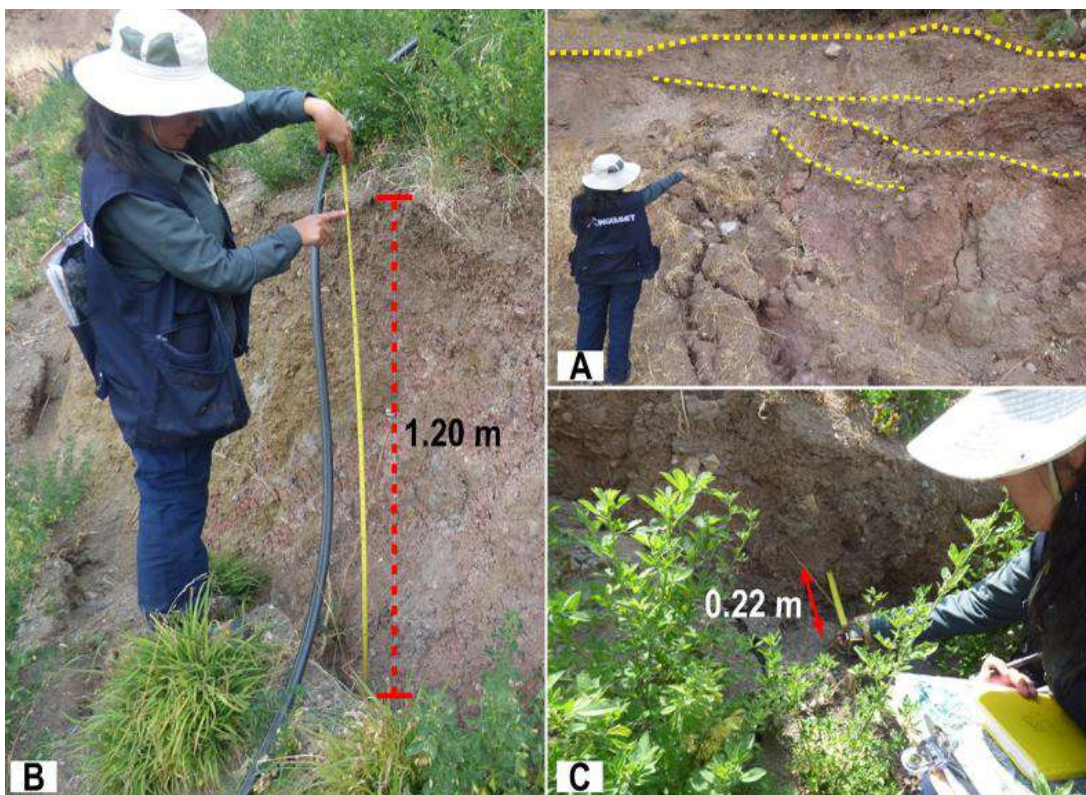


Figura 15. A. Vista de escarpes secundarios paralelos al escarpe principal. B. Altura de escarpe de 1.20 m. C. Desplazamiento horizontal de 0.22 m.

La superficie del terreno quedó bastante agrietada, con pendientes moderadas a muy fuertes (entre 15° a 45°) y grietas transversales en la cabeza y cuerpo del deslizamiento con longitudes entre 5 a 20 m, aperturas que en algunos casos alcanza hasta los 20 cm (fotografía 4) y profundidades visibles que varían entre 0.05 a 0.10 m.



Fotografía 4. Vista de la superficie del terreno bastante agrietada, con longitudes variables de 5 a 20 m y aperturas de hasta 20 cm.

La masa deslizada empieza desde los 3173 m s.n.m., con un ancho promedio de 35 m, y presenta una longitud de 85 m aprox. (figura 16), la cual se moviliza sobre una superficie de falla rotacional con una velocidad de movimiento aparentemente lento, cuyo vector de desplazamiento presenta una dirección preferente al sureste.

La evidencia más clara del movimiento, son los vestigios de camino de herradura observados en el cuerpo del deslizamiento, los cuales registran desplazamientos de hasta 10 m (fotografía 5) hacia el este-sureste y asentamientos que varían entre 0.5 a 1.5 m.

Al realizar una comparación multitemporal de una imagen satelital (junio, 2021) y el ortomosaico actual obtenido mediante sobrevuelos de dron (agosto, 2022), se puede distinguir que en el área es afectada por nuevos cortes de talud (caminos de herradura) en aproximadamente 235 m; esta acción inestabiliza las laderas adyacentes al evento principal (figura 17).

Así mismo, de este último análisis, se puede contabilizar que el evento del 18 de abril del presente año, destruyó una trocha carrozable en un tramo de 30 m lineales.



Figura 16. La masa deslizada presenta una longitud de 85 m, la cual se moviliza sobre una superficie de falla rotacional, con dirección preferente de este a sureste.



Fotografía 5. Vestigios del camino en el cuerpo del deslizamiento los cuales registran desplazamientos de hasta 10 m ladera abajo.

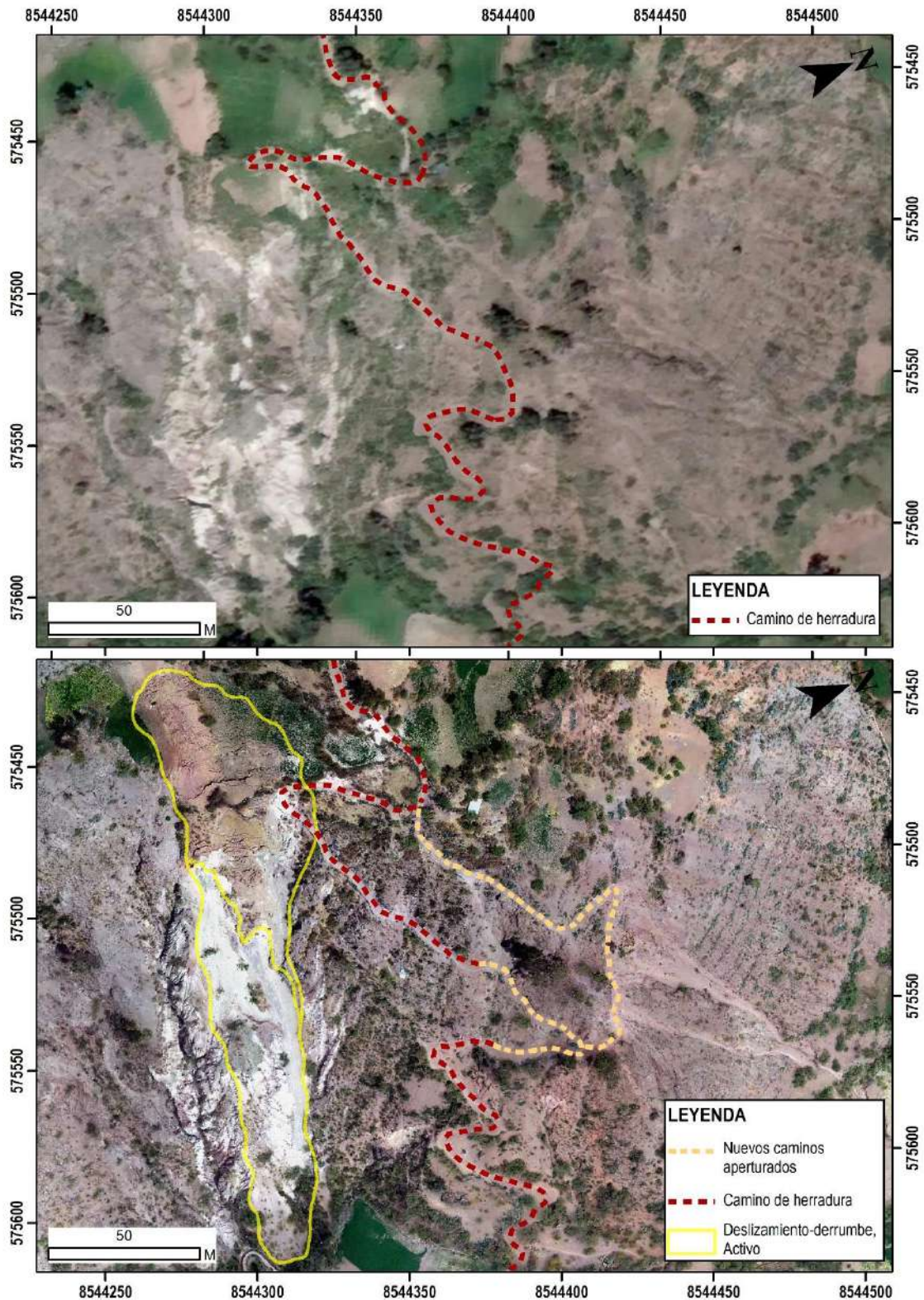


Figura 17 Vista de 2 imágenes multitemporales antes del evento (junio, 2021) y post evento (mayo agosto 2022), en la cual se observa la destrucción de trocha carrozable en un tramo de 30 m y la construcción de nuevos tramos de trocha en las laderas adyacentes al evento principal.

Al pie del deslizamiento, como consecuencia del cambio litológico (conglomerados polimícticos, areniscas y limolitas de la Formación Huanta – miembro Tingrayoc), se tiene un cambio brusco de pendiente, que pasa de pendiente muy fuerte (25° - 45°) a pendiente muy escarpada ($>45^{\circ}$). Esto conlleva a la generación de varios derrumbes (figura 18).

El derrumbe nace sobre los 2875 m s.n.m., con una longitud y una altura de arranque de 110 m y 65 m respectivamente. El tipo de rotura es planar y la forma de arranque es irregular y discontinua. La disposición del depósito se da en forma de canchales con la dirección de movimiento de sureste.



Figura 18. Derrumbe al pie del deslizamiento, como consecuencia del cambio litológico y pendiente del terreno. La disposición del depósito se da en forma de canchales, con dirección al movimiento, sureste.

Actualmente, en el cuerpo del material deslizado se distinguen diversas características morfológicas debidas al movimiento inicial y los posteriores que han venido ocurriendo. Por ejemplo, se encuentran zonas con asentamiento, escalonamientos, escarpes secundarios y agrietamientos. También se reconocen movimientos de derrumbes en la parte media e inferior del depósito.

Todos estos rasgos observados en campo son indicativos que la masa deslizada sigue moviéndose hacia el valle del río Tomarenga como un movimiento activo y latente, con actividad progresiva hacia el este-sureste. Si bien es cierto el movimiento es de velocidad lenta, pero las lluvias intensas y/o prolongadas; así como la infiltración de las aguas puede acelerar el proceso.

Análisis longitudinal del deslizamiento-derrumbe reciente

Con el MDT (Modelo Digital del Terreno) de resolución 0.15 m/px, obtenido mediante levantamiento fotogramétrico aéreo con dron, en la zona de Cruspata Occiccasa, se ha realizado un perfil transversal (figura 19), sobre el cual se realiza un análisis del relieve del terreno antiguo (2019) y post evento (2022), destacado las siguientes características:

En el perfil A-A´ (figura 20) muestra el proceso del movimiento en masa que se inicia con un escarpe principal del deslizamiento rotacional a los 2940 m s.n.m. seguido por una zona de acumulación hasta el pie del evento, lugar donde inicia el derrumbe a los 2890 m s.n.m., condicionado principalmente por el cambio de pendiente que pasa en promedio de 40° (cuerpo de deslizamiento) a 70° (escarpe de derrumbe).

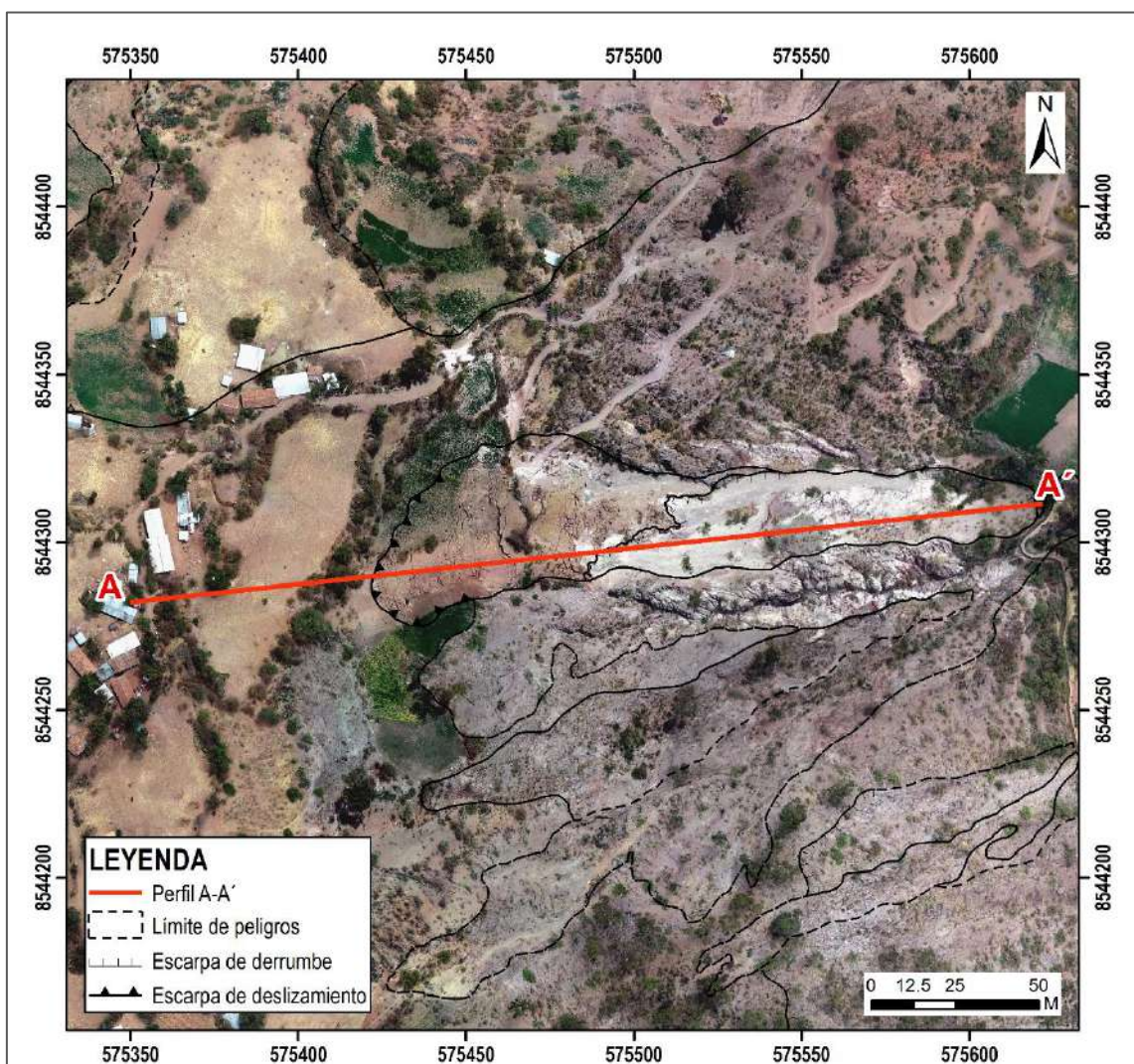


Figura 19. Ubicación del perfil longitudinal A-A´ en la zona del deslizamiento-derrumbe (Zona de Cruspata Occiccasa).

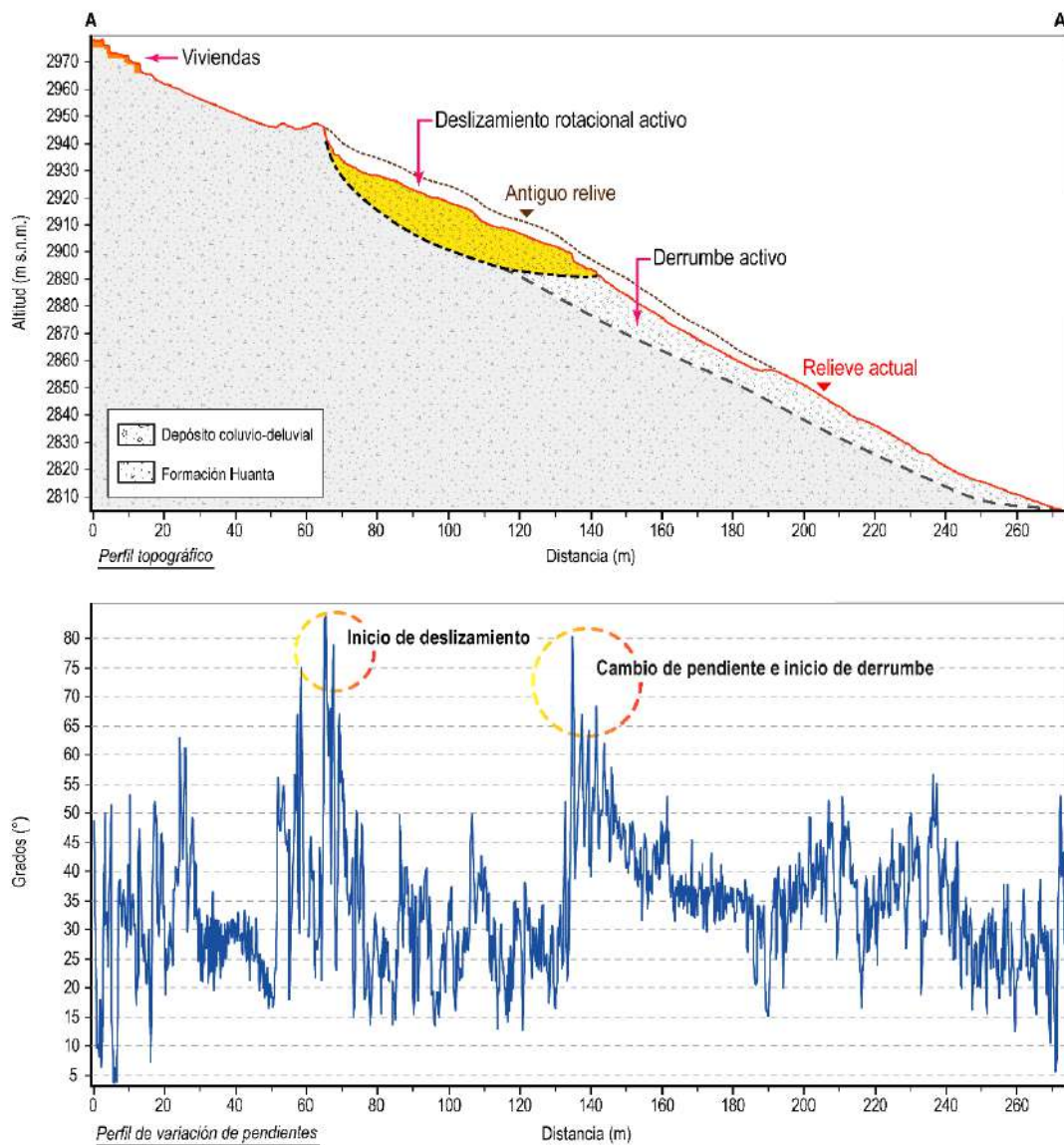


Figura 20. Perfil longitudinal A-A' del deslizamiento-derrumbe ocurrido el 18 de abril.

5.2.3. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

- Substrato rocoso compuesto por conglomerados con matriz arenosa, limos, intercalándose con niveles de lavas volcánicas de composición andesítica y niveles de tobas blancas; muy alterada, fuertemente fracturada y de moderado a fuertemente meteorizadas lo que permite mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno, originando inestabilidad en las laderas.
- Suelos inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales), compuestos principalmente por fragmentos líticos, angulosos a subangulosos con diámetros que varían de 0.02 a 0.30 m envueltos en matriz de arenas y limos con contenidos de cenizas, producto de la meteorización de rocas volcánicas y removidos por procesos de movimientos en masa antiguos.

Factor geomorfológico

- Presencia de montañas modeladas en rocas volcano-sedimentarias, cuyas laderas presentan pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°); lo que permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.

Factor hidrogeológico

- Material del depósito coluvio deluvial, que permite la infiltración y retención del agua, por lo tanto, lo conlleva a la saturación y aumento de la masa inestable.

Factor de sitio:

- Presencia de cobertura vegetal de tipo cultivos, pastizales y matorrales dispersos, que ofrecen poca protección al suelo y la roca.

5.2.4. Factores detonantes desencadenantes

- **PRECIPITACIONES:** Intensas precipitaciones pluviales y/o excepcionales, principalmente entre los meses de noviembre a abril, como la aconteció en el 2022 (38.4 mm).
- **SISMOS:** La presencia de sismos de gran magnitud, que según el Mapa de distribución de Máximas Intensidades Sísmicas (Alva & Meneses, 1984), el área de estudio se encuentra ubicada en la zona 3 que corresponde a sismicidad alta.

5.2.5. Daños por peligros geológicos

- Destruyó un tramo de camino de herradura en 30 m aprox.
- Así mismo afectó terrenos de cultivos de linaza, alfalfa y trigo en 3 ha. aprox.
- No se registraron daños por efectos de la actividad de deslizamientos antiguos; más que la morfología ondulada del terreno.

5.3. Flujo de detritos (Fd)

De acuerdo con testimonios de los pobladores, la quebrada Cercado Huaycco ubicada a 680m al noroeste de la plaza de Cruspata Occiccasa, se registra flujos de detritos (huaycos) que anualmente se activa en periodo de lluvias.

De la misma manera, la existencia de cárcavas en la cabecera y parte media de la quebrada, aportan material erosionado al cauce, el cual es acarreado por las precipitaciones pluviales en forma de flujo de detritos.

5.3.1. Características visuales del evento

Las observaciones y trabajos de campo evidenciaron que el cauce de la quebrada presenta abundante material detrítico suelto producto de flujos antiguos y el aporte de las laderas por la meteorización de las rocas; los materiales alcanzan diámetros de hasta 2.0 m, son de formas subangulosas a subredondeadas por su escaso transporte de material.

El material del depósito antiguo, abanico proluvial, fue cortado para la construcción de un campo deportivo. En el perfil de corte se evidencia que el flujo antiguo llegó hasta una altura 10 m (figura 21).

Debido a la recurrencia de este evento, en la margen izquierda de la quebrada, el año 2019 realizaron una excavación tipo zanja (de 3.5 m de ancho y 1.30 m de profundidad), con la finalidad de desviar los flujos provenientes de la quebrada y colocar barreras de contención construidas de forma artesanal (material arrimado) con la finalidad de proteger las viviendas ubicadas en la parte baja. Estos muros están compuestos del mismo material detrítico que acarreo la quebrada en años anteriores.

En caso ocurra un evento de máximas avenidas afectaría 02 viviendas asentadas a 10 m ladera abajo del campo deportivo; y terrenos de cultivos en 1.93 ha.

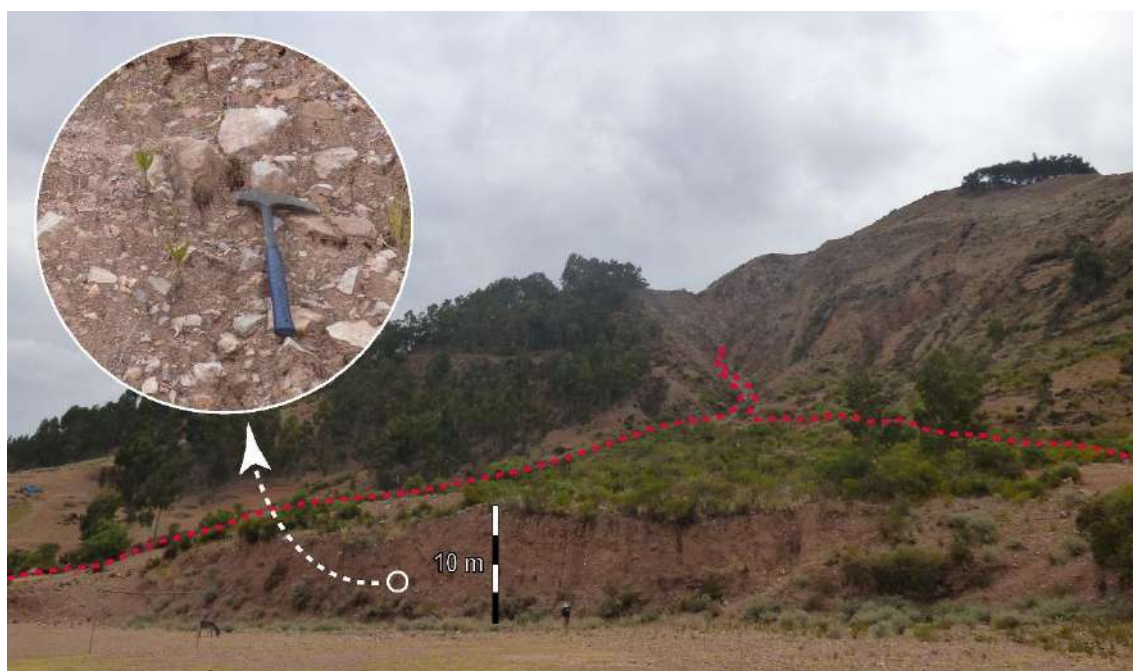


Figura 21. Depósito de flujos antiguos con alturas de aproximadamente 10 m. Se puede visualizar el abundante material detrítico subanguloso a subredondeado que lo constituye.

5.3.2. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

- Substrato rocoso compuesto por una secuencia granodecreciente, compuesta por conglomerados intercalados con areniscas rojas, limolitas y contenidos esporádicos de niveles de yeso (Formación Ticllas). Geotécnicamente de baja calidad.

Factor geomorfológico

- Presencia de montañas modeladas en rocas volcano-sedimentarias, cuyas laderas presentan pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°); lo que permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.

Factor hidrogeológico

- El material suelto, permite la infiltración y retención del agua, lo que conlleva a la saturación del terreno. Esto origina un aumento de peso de la masa inestable. Este material es aportado al cauce de la quebrada.

Factor de sitio:

- Cobertura vegetal de tipo cultivos, pastizales y matorrales dispersos, que ofrecen poca protección al suelo y la roca.

5.3.3. Factores detonantes o desencadenantes

- PRECIPITACIONES: Intensas precipitaciones pluviales y/o excepcionales, principalmente entre los meses de noviembre a abril.

5.3.4. Daños por peligros geológicos

- Al momento de realizar la evaluación de campo no se registraron daños por efectos de la actividad del flujo; sin embargo, de acuerdo con testimonios de los pobladores la quebrada se activa anualmente y podría afectar el campo deportivo y dos viviendas ubicadas aguas abajo.

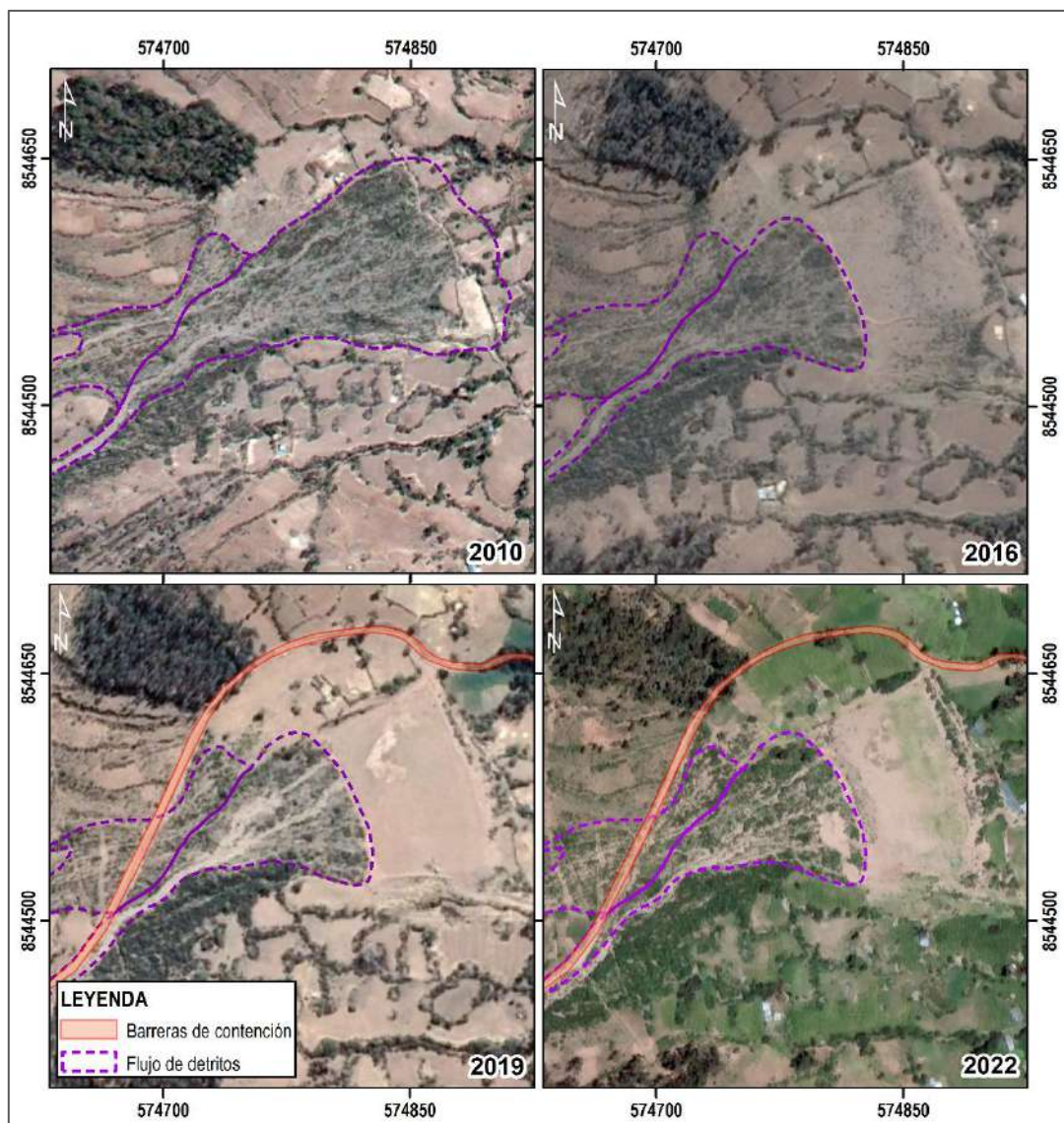


Figura 22. Comparación de imágenes multitemporales de la quebrada Cercado Huaycco. Se puede visualizar la construcción de un campo deportivo en pleno depósito y barreras de contención para desviar el material que anualmente es acareado por la quebrada.

5.4. Erosión en cárcavas (Ec)

Finalmente, mencionar que la zona evaluada y alrededores presenta procesos de erosión en cárcavas de poca a mediana profundidad (3.0 – 5.0 m aproximadamente), cuyo avance o crecimiento se encuentra muy cerca de algunas viviendas de la Comunidad de Cedro.


Estas características son evidencias de que la zona estuvo sujeta a periodos de lluvias extremas a lo largo del tiempo, por lo que se puede presumir que se seguirán produciendo estos episodios de lluvias extremas en el futuro, con la consecuente continuidad de los procesos de erosión de laderas y la generación de flujos.

6. CONCLUSIONES

- 1) El área evaluada presenta depósitos de movimientos en masa antiguos, tipo deslizamiento con múltiples escarpas antiguas, cuya masa desplazada muestra avances con dirección preferente al este-sureste, hacia el río Tomarenga. El 18 de abril del 2022 en el sector Cruspata Occiccasa, se inició un proceso de movimiento en masa tipo deslizamiento rotacional, que destruyó un tramo de camino de herradura en 30 m y terrenos de cultivos de linaza, alfalfa y trigo en 3 ha. Así mismo al pie de este evento, como consecuencia del cambio litológico y el cambio brusco de pendiente se generó varios derrumbes con dirección de movimiento al sureste.
- 2) La geometría de la corona del movimiento tiene una forma semicircular y elongada, estrecha hacia la cabeza y abierta hacia sus dos extremos. El escarpe principal es de forma irregular y continua con una longitud de 85 m, saltos verticales de 1 a 2 m, desplazamientos horizontales entre 20 a 45 cm y pendientes entre 45° a 75°; así mismo presenta varios escarpes secundarios paralelos al escarpe principal, escalonados y de forma discontinua e irregular con longitudes de 30 a 50 m, saltos verticales de 1 a 2 m y pendientes entre 55° a 65°.
- 3) Por otro lado, en la quebrada Cercado Huaycco, se presentan eventos de flujos antiguos, cuyos materiales detríticos depositaron un abanico proluvial con alturas de 10 m aprox. Esta quebrada se activa anualmente en temporadas de lluvias.
- 4) La ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa: deslizamientos, derrumbes y flujos en la zona evaluada está condicionada por los siguientes factores:
 - Substrato rocoso compuesto por conglomerados con matriz arenosa, limos, intercalándose con niveles de lavas volcánicas de composición andesítica y niveles de tobas blancas; muy alterada, fuertemente fracturada y de moderado a fuertemente meteorizadas lo que permite mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno, originando inestabilidad en las laderas.
 - Presencia de suelos inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales), adosados a las laderas de las montañas producto de la meteorización de rocas volcánicas y removidos por procesos de movimientos en masa antiguos.
 - Montañas modeladas en rocas volcano-sedimentarias, cuyas laderas presentan pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°); lo que permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.
 - Cobertura vegetal de tipo cultivos, pastizales y matorrales dispersos, que ofrecen poca protección al suelo y la roca
- 5) El factor desencadenante para la ocurrencia del deslizamiento-derrumbe en la zona Cruspata Occiccasa, se le atribuye a las lluvias y las filtraciones de agua de la parte superior del área inestable, que ayudaron a humedecer el material coluvio-deluvial de la ladera, provocando sobresaturación y pérdida de cohesión.
- 6) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, la Comunidad de Cedro, es considerado como **Peligro Alto** a la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y flujos, que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas.

7. RECOMENDACIONES

- 1) Las autoridades competentes deben promover la construcción de zanjas de coronación por encima del escarpe principal del deslizamiento activo, con el fin de que no continúe el desplazamiento de masa. Ver anexo 2 – figura 21: A. Medidas de mitigación para deslizamientos y derrumbes (zanjas de coronación).
- 2) **Prohibir** la construcción de caminos de herradura u otra actividad antrópica dentro y en los alrededores del cuerpo del deslizamiento. Para los caminos actuales que se encuentran cerca del cuerpo del deslizamiento se debe cambiar el trazo.
- 3) Restringir el tránsito peatonal en la zona del deslizamiento, usando para ello señales éticas y letreros preventivos (como zona de deslizamiento y derrumbes activos).
- 4) Cambiar el tipo de cultivos en parte superior del deslizamiento y alrededores, que no requieran riego permanente y prolongado, para evitar la saturación del suelo. Estos trabajos tienen que ser coordinados con el Ministerio de Agricultura.
- 5) Realizar la limpieza y remoción del material detrítico depositado en la desembocadura de la quebrada Cercado Huaycco; así como el encauzamiento realizado por los pobladores, para que los flujos provenientes de la quebrada fluyan libremente y no causen daños. Para ello se tienen que realizar cálculos con lluvias extremas.
- 6) Mejorar la construcción de los muros de contención ubicados en la margen izquierda de la quebrada, (ver anexo 2 – figura 24: B. Trabajos para disminuir los impactos de flujos) teniendo en cuenta las máximas avenidas. Esta medida deberá ser supervisado por un especialista en el tema.
- 7) Implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para flujos de detritos (huaycos), con los respectivos sensores y sistemas de comunicación – alarma, que avise con antelación a la población que vive en la desembocadura de la quebrada Cercado Huaycco a la ocurrencia de nuevos eventos.
- 8) Realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR) por parte de las autoridades locales, a fin de evaluar los elementos expuestos a la generación de nuevos peligros geológicos.
- 9) Realizar charlas de sensibilización y concientización del peligro al que se encuentran expuestos la Comunidad de Cedro y alrededores.


Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act. 11


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

8. BIBLIOGRAFÍA

Alva, J.; Meneses, J. & Guzmán, V. (1984) - Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú (en línea). Congreso Nacional de Ingeniería Civil, 5, Tacna, 11 p. (consulta: 5 noviembre 2017). Disponible en: http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis17_a.pdf

Fuente de Datos Meteorológicos y Pronostico del tiempo del Servicio de Awhere. (2021). Disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/8404119>.

Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2017) – Directorio Nacional de Centros Poblados. Censos Nacionales 2017: XII de Población; VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. (Consulta: Junio 2021). Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm.

Morche, A., De la Cruz, J., Cerrón, F., (1995) – Geología del cuadrángulo de Ayacucho. Hoja 27-ñ. Ingemmet, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 61, 120p, 1 mapa. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/183>.

Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016) - Decreto supremo N° 003-2016-VIVIENDA: Decreto supremo que modifica la norma técnica E.030 “diseño sismoresistente” del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada con decreto supremo N° 002-2014-VIVIENDA. El Peruano, Separata especial, 24 enero 2016, 32 p.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

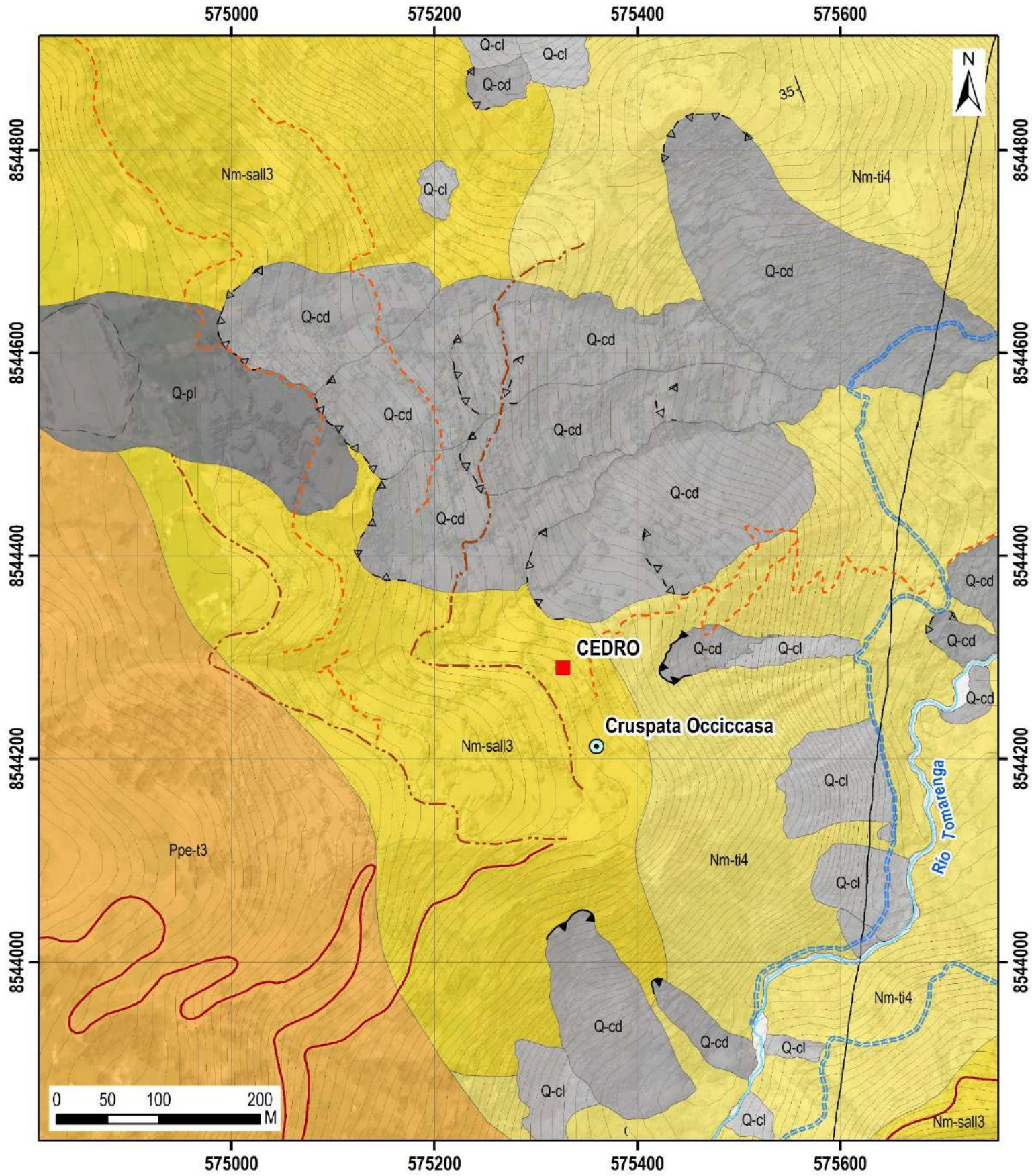
Rodriguez, R., Chacaltana, C., (2003) - Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayacucho (27-ñ). Escala 1:100 000. INGEMMET. Memorias descriptivas. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2076>.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrológica, SENAMHI (2020) – Mapa de clasificación climática del Perú (Texto). Lima, Perú. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2185020/Climas%20del%20Per%C3%BA%3A%20Mapa%20de%20Clasificaci%C3%B3n%20Clim%C3%A1tica.pdf>.

Vilchez, M.; Ochoa, M. & Pari, W. (2019). Peligro geológico en la región Ayacucho. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 70, 232 p., 9 mapas. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2480>.

Villota, H. (2005) - Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. 2. ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.

ANEXO 1: MAPAS



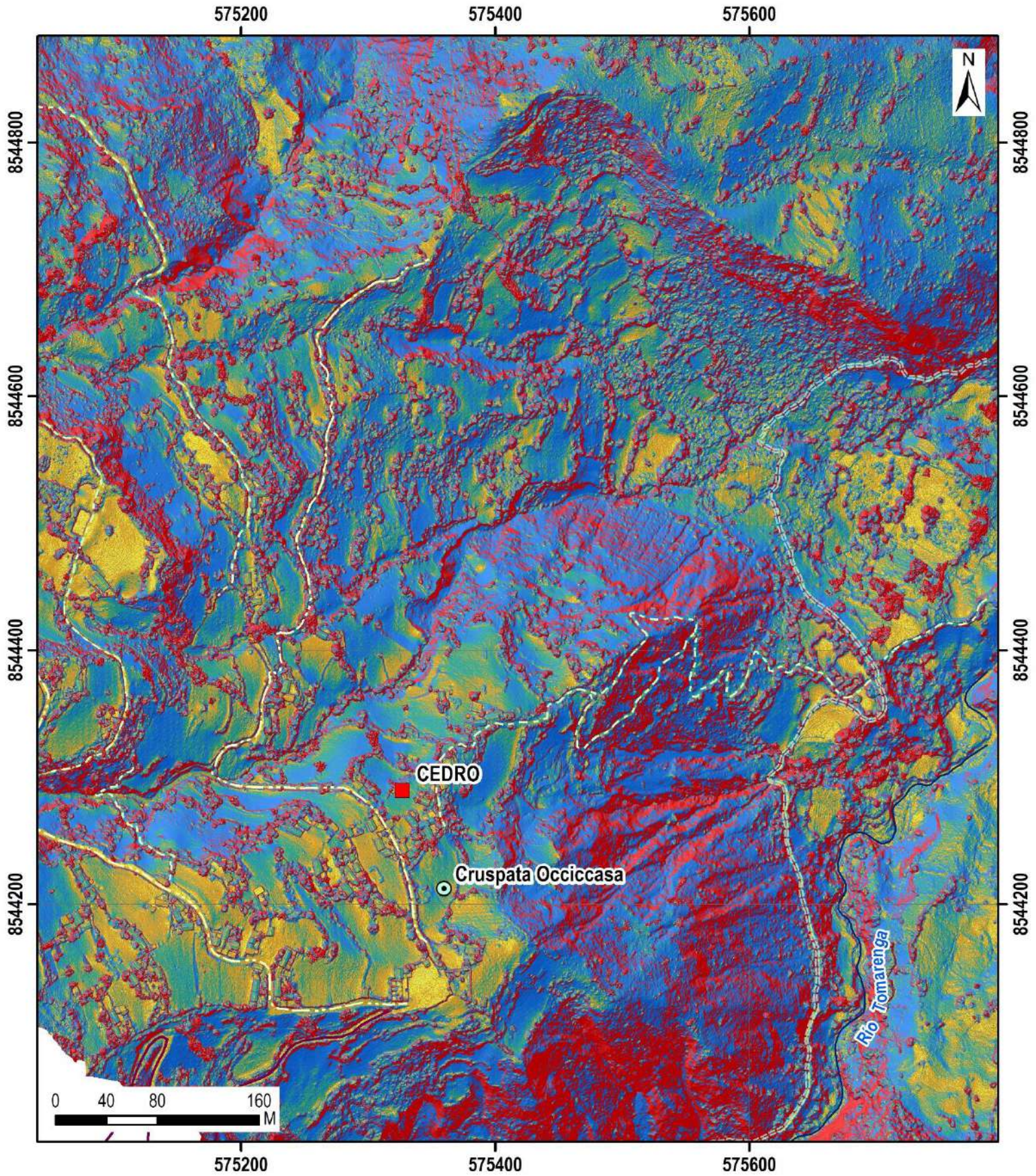
LEYENDA

Q-fl	Depósito fluvial
Q-cl	Depósito coluvial
Q-cd	Depósito coluvo-deluvial
Q-pl	Depósito proluvial
Nm-ti4	Formación Huanta Miembro Tigrayoc
Nm-sall3	Formación Sallalli
Ppe-t3	Formación Ticllas

SIMBOLOGÍA

	Zona Cruspata Occiccasa
	Comunidad de Cedro
	Vía vecinal
	Trocha carrozable
	Caminos de herradura
	Lineamientos
	Escarpe antiguo
	Escarpe activo
	Curvas de nivel
	Canal
	Río

<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO</p>		
<p>DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO</p>		
<p>DEPARTAMENTO: AYACUCHO PROVINCIA: HUAMANGA DISTRITO: SOCOS</p>		
<p>GEOLOGICO</p>		
Escala: 1/5,000	Elaborado por: Nuñez, M.	<p>MAPA 01</p>
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Setiembre, 2022	



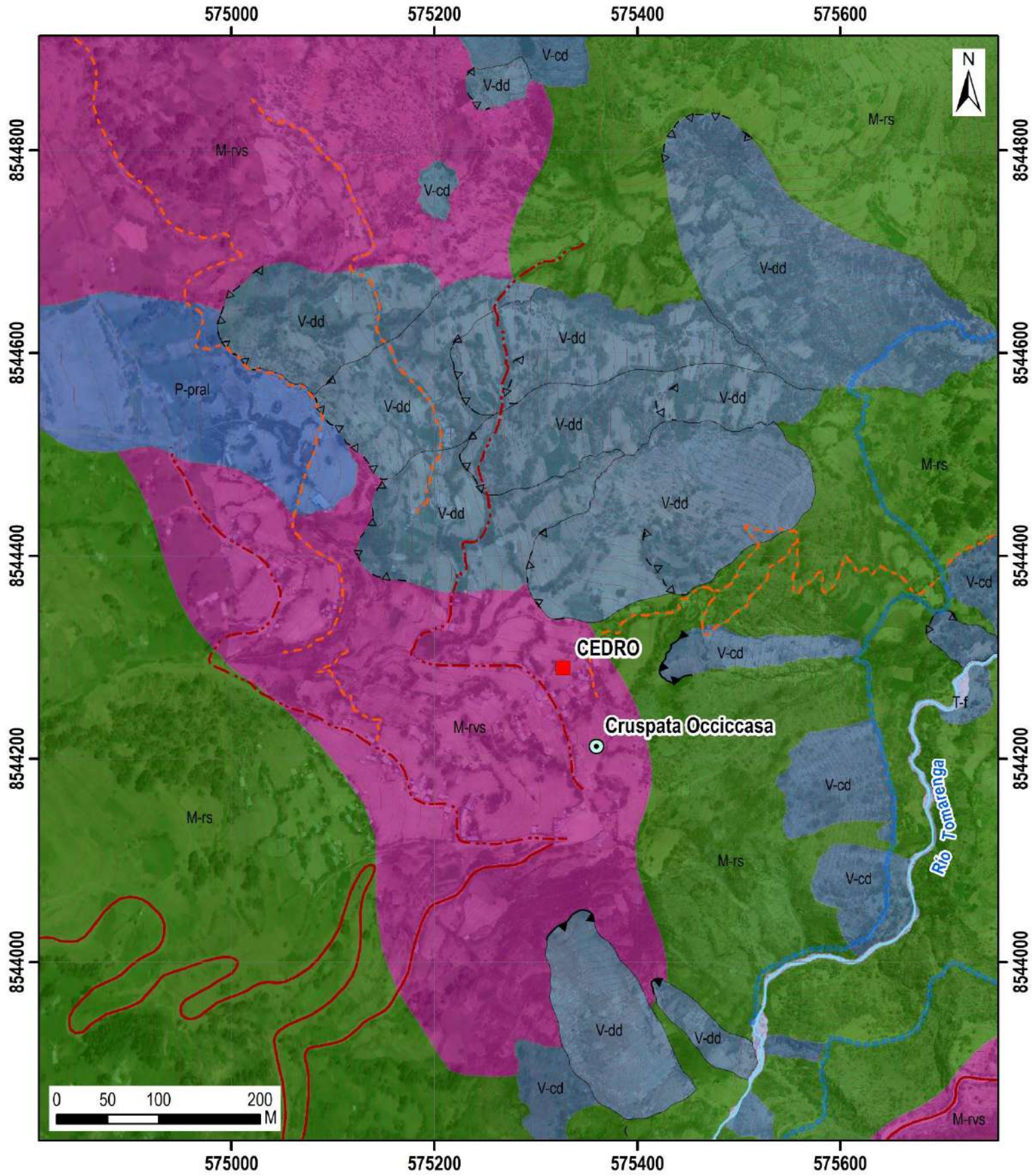
RANGO DE PENDIENTES

0°-1°	Terreno llano
1°-5°	Terreno inclinado con pendiente suave
5°-15°	Pendiente moderada
15°-25°	Pendiente fuerte
25°-45°	Pendiente muy fuerte a escarpada
>45°	Terreno muy escarpado

SIMBOLOGÍA

	Zona Cruspata Occiccasa
	Comunidad de Cedro
	Vía vecinal
	Trocha carrozable
	Caminos de herradura
	Canal
	Río

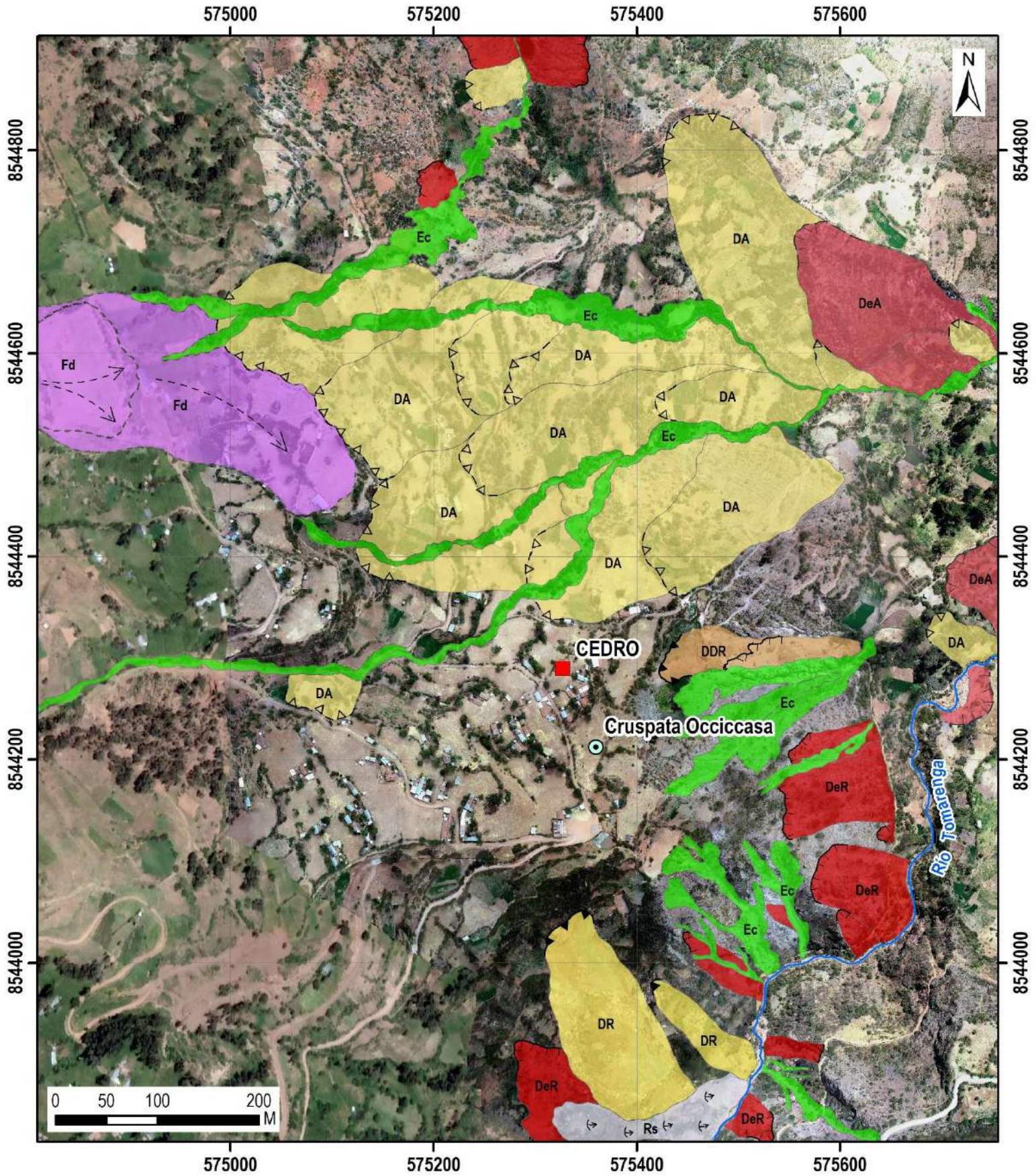
<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO</p>		
<p>DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO</p>		
<p>DEPARTAMENTO: AYACUCHO PROVINCIA: HUAMANGA DISTRITO: SOCOS</p>		
PENDIENTES DE LOS TERRENOS		
Escala: 1/4,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 02
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Setiembre, 2022	



LEYENDA	
	M-rs Montaña en roca sedimentaria
	M-rvs Montaña en roca volcano-sedimentaria
	V-cd Vertiente coluvio-deluvial
	V-dd Vertiente con depósito de deslizamiento
	P-pral Piedemonte proluvial o aluviotorrencial
	T-f Terraza fluvial

SIMBOLOGÍA	
⊙	Zona Cruspata Occiccasa
	Comunidad de Cedro
	Vía vecinal
	Trocha carrozable
	Caminos de herradura
	Escarpe antiguo
	Escarpe activo
	Curvas de nivel
	Canal
	Río

 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO		
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO		
DEPARTAMENTO: AYACUCHO PROVINCIA: HUAMANGA DISTRITO: SOCOS		
GEOMORFOLÓGICO		
Escala: 1/5,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 03
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Setiembre, 2022	



LEYENDA	
■	DeR Derrumbe, Activo
■	DeA Derrumbe, Inactivo-latente
■	DDR Deslizamiento-derrumbe, Activo
■	DR Deslizamiento, Activo
■	DA Deslizamiento, Inactivo-latente
■	Ec Erosión en cárcava, Activo
■	Fd Flujo de detritos, Inactivo-latente
■	Rs Reptación de suelos, Activo

TRAMA	
	Escarpa de derrumbe antiguo
	Escarpa de derrumbe reciente
	Escarpa de deslizamiento antiguo
	Escarpa de deslizamiento activo

SIMBOLOGÍA	
	Zona Cruspata Occiccasa
■	Comunidad de Cedro
	Vía vecinal
	Trocha carrozable
	Caminos de herradura
	Canal
	Río

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET <small>INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO</small>	
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO	
DEPARTAMENTO: AYACUCHO PROVINCIA: HUAMANGA DISTRITO: SOCOS	
PROCESOS DE MOVIMIENTOS EN MASA	
Escala: 1/5,000	Elaborado por: Nuñez, M.
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84
Versión digital 2022	Impreso: Setiembre, 2022
MAPA 04	

ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

A. Medidas de mitigación para deslizamientos y derrumbes.

1) Uso de vegetación

El efecto de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes es muy debatido; el estado del uso actual deja muchas dudas e inquietudes y la cuantificación de los efectos de estabilización de las plantas sobre el suelo, no ha tenido una explicación universalmente aceptada. Sin embargo, la experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación, para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales (J. Suárez Díaz, 1998). Para poder analizar los fenómenos del efecto de la vegetación sobre el suelo se requiere investigar las características específicas de la vegetación en el ambiente natural que se esté estudiando. Entre los factores se sugiere analizar los siguientes:

- Volumen y densidad de follaje, tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la cobertura vegetal, presencia de varias capas diferentes de cobertura vegetal, tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia del sistema de raíces.
- El tipo de vegetación, tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales: En primer lugar, tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y, además, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.
- Como controlador de infiltraciones tiene un efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo al tomar el agua que requiere para vivir.

Otras medidas son:

2) Construir zanjas de coronación

Las zanjas en la corona o en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas de 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 (figura 20).

Se debe tener en cuenta el mantenimiento periódico que debe efectuarse en las zanjas de coronación, a fin de evitar problemas que pueden incidir en la estabilidad del talud.

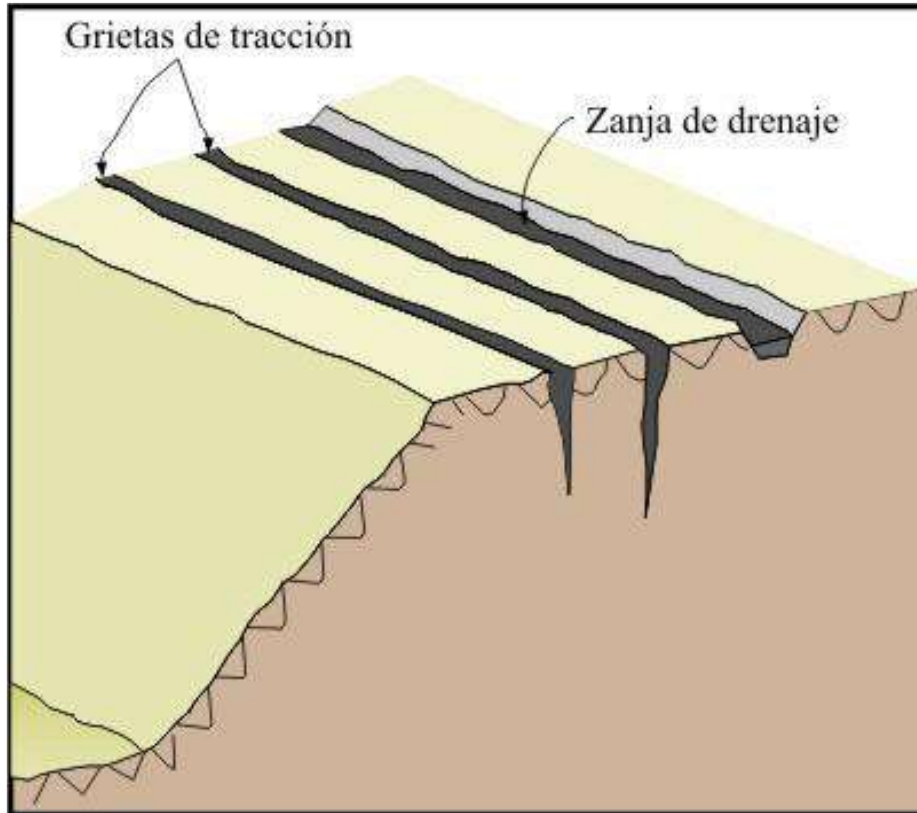


Figura 23. Canales de coronación.

B. TRABAJOS PARA DISMINUIR LOS IMPACTOS DE FLUJOS.

- i. **Diques desviadores del flujo o barreras deflectoras:** La dirección de flujos detríticos puede ser controlada por la construcción de diques suficientemente altos como para prevenir rebases (Okubo et al., 1997). La diferencia con las barreras laterales es que este tipo de obras impide que el flujo mantenga su dirección natural desviándolo hacia otra zona. Pueden ser utilizadas para proteger alguna estructura, dirigir el flujo hacia otra zona, o aumentar el largo local del cauce, disminuyendo así su pendiente para favorecer la depositación (figura 7), (VanDine, 1996).

Además de los criterios de diseño utilizados para la construcción de las obras controladoras de dirección, debido a la curvatura que tendrá el cauce, deben considerarse criterios sobre fuerzas de impacto, sobre elevación y trepamiento del flujo (VanDine, 1996).

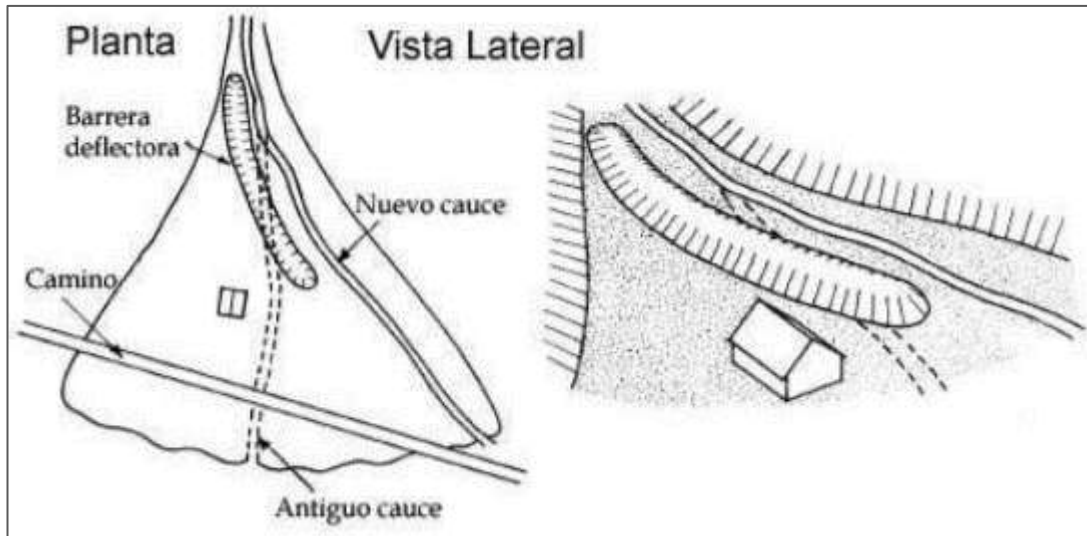


Figura 24. Diques desviadores (VanDine 1996).

- ii. **Construcción de presas contenedoras (chek dams):** Se requiere de una estabilización en la zona de inicio de flujos detríticos, con la finalidad de estabilizar y disminuir la carga de material de los posibles flujos que se puedan generar, esto se puede lograr con la construcción de este tipo de presas.

Según VanDine (1996), en la zona de transporte se construyen presas contenedoras en serie, con el fin de disminuir la pendiente en forma local y minimizar la erosión en el fondo y laderas del cauce (figura 8).

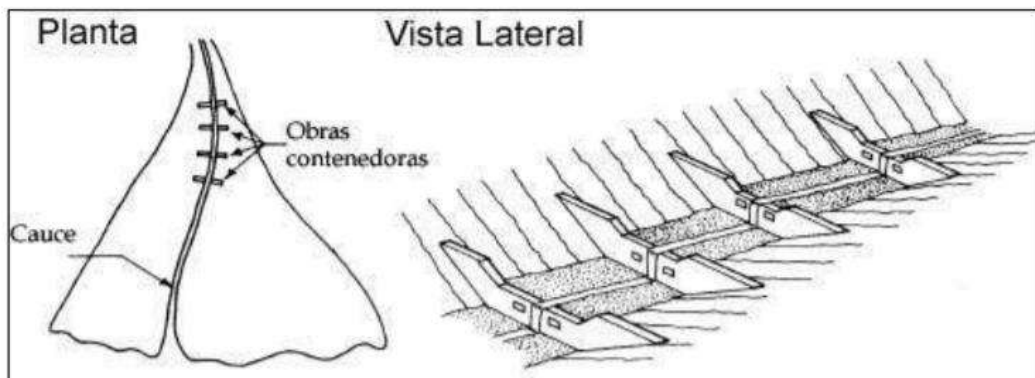


Figura 25. Esquema de ubicación y función de presas contenedor ("check dams") (VanDine, 1996).

- iii. **Presas impermeables** o del mismo tipo que las utilizadas como presas contenedoras o consolidadoras, también son utilizadas como obras de almacenamiento. El diseño de estas presas consiste en retener gran parte de los sedimentos arrastrados por un aluvión, de esta manera, al entrar el flujo al pie de la ladera, la concentración de sedimentos es lo suficientemente baja como para no causar daños y ser conducido sin mayores problemas (Electrowatt, 1995). Estas obras deben ser mantenidas constantemente con el fin de que se encuentren operativas.

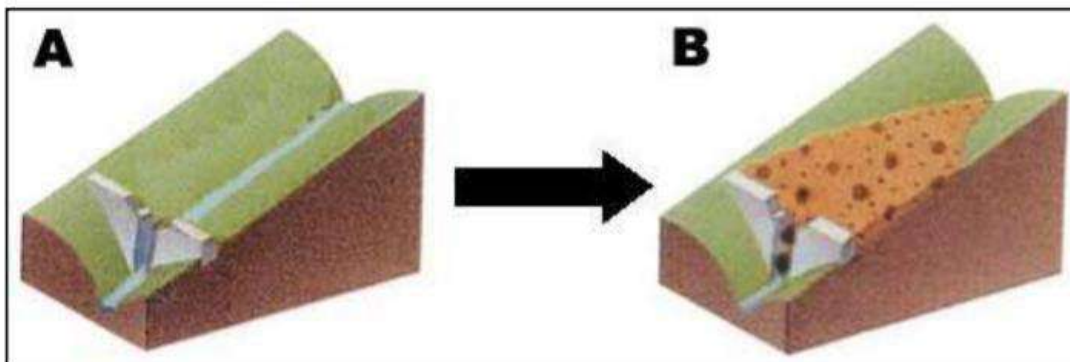


Figura 26. Función de presas abiertas (slit dam): 1) La presa permite que los sedimentos escurran libremente para condiciones normales; 2) Cuando ocurre un flujo detrítico de proporciones, los sedimentos son capturados y retenidos temporalmente previniendo desastres hacia aguas abajo (International Sabonetwork, <http://www.saboint.org>).

- iv. **Barreras flexibles de cables:** La colocación de estos tipos de barreras son eficaces contra las cargas dinámicas y estáticas causadas por corrientes de detritos o flujos de lodo siempre y cuando estén diseñados con cables de soporte de alta resistencia. En este caso deben ser diseñados para torrente estrecho de base triangular.

Estas barreras tienen muy buenas ventajas con respecto a otros sistemas de contención ya que el tiempo de construcción es reducido considerablemente, además existe un ahorro de costos del 30 al 50 % en comparación con las obras de hormigón y pueden diseñarse barreras únicas para avalanchas de hasta 1.000 m³ y barreras múltiples escalonadas para volúmenes de varios miles de m³.



Figura 27. Diseño de barras flexibles de cables para retener corrientes de flujos de detritos.

v. **Disipadores de energía (debris flow brakers):**

Combinar las obras de retención con obras disipadoras de energía. El objetivo de las obras disipadoras de energía no es el de detener o depositar el flujo detrítico, si no que el objetivo consiste en dividir al flujo con el fin de reducir su velocidad y disipar energía, de manera que éste se deposite en zonas adecuadas ubicadas hacia aguas abajo.

Las estructuras en madera resultan ventajosas por su bajo presupuesto (figura 28). Sin embargo, la duración de la madera es limitada, por lo que su uso es recomendado en lugares donde el tiempo en servicio de la construcción no supere los 30 a 50 años. Luego de este tiempo la estrategia de control debe ser remplazada por otras técnicas.



Figura 28. Estructura construida en madera (Fiebiger, 2003).