SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico Nº A7296

EVALUACIÓN DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO-FLUJO EN EL SECTOR MAMANCIPAJATUN

Departamento Lima
Provincia Cajatambo
Distrito Cajatambo

SETIEMBRE
2022

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

EVALUACIÓN DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO-FLUJO EN EL SECTOR MAMANCIPAJATUN

(Distrito y provincia Cajatambo, departamento Lima)

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

Equipo de investigación:

Mauricio A. Núñez Peredo

Norma L. Sosa Senticala

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). "Evaluación de peligros por deslizamiento-flujo en el sector Mamancipajatun". Distrito y provincia Cajatambo, departamento Lima", informe técnico N°A7296, Ingemmet 43p.

ÍNDICE

RESUMEN **1**
1. INTRODUCCIÓN **3**
1.1. Objetivos del estudio 3
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores 3
1.3. Aspectos generales 5
1.3.1. Ubicación 5
1.3.2. Población 5
1.3.3. Accesibilidad 5
1.3.4. Clima 7
1.3.5. Zonificación sísmica 8
2. DEFINICIONES **9**
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS **11**
2.1. Unidades litoestratigráficas 11
2.1.1. Grupo Calipuy 11
2.1.2. Depósitos cuaternarios 12
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS **14**
4.1. Pendientes del terreno 14
4.2. Unidades geomorfológicas 14
4.2.1. Subunidad de montañas en rocas volcánicas (M-rv): 15
4.2.2. Subunidad de vertiente coluvio-deluvial (V-cd): 16
4.2.4. Subunidad de vertiente coluvial (V-c) 16
4.2.5. Subunidad de vertiente 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 19
5.2. Deslizamiento-flujo 19
5.2.1. Características visuales del evento 19
5.2.2. Análisis longitudinal del deslizamiento 27
6. FACTORES DE LA INESTABILIDAD DEL TALUD **29**
6.1. Factores condicionantes 29
6.2. Factores detonantes o desencadenantes 29
7. CONCLUSIONES **30**
8. RECOMENDACIONES **31**
9. BIBLIOGRAFÍA **32**
ANEXO 1: MAPAS **33**
ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN **38**

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.

En el sector afloran rocas de origen volcánico, compuesta por tobas y coladas volcánicas (Grupo Calipuy); se encuentran muy fracturadas, con espaciamiento muy próximas a próximas entre sí, muy abiertas, sin relleno visible, además se encuentran muy alteradas y altamente meteorizadas, que le dan una de resistencia baja.

Las geoformas identificadas corresponden a montañas modeladas en rocas volcánicas y geoformas de piedemonte (vertiente con depósitos de deslizamiento, coluvio–deluvial, coluvial y aluvio torrencial) que conforman laderas de montañas con pendientes variables que van desde moderadas a muy fuerte (5° a 45°).

El 01 de mayo del 2022, a 3.8 km. al sureste de la población de Cajatambo, se inició un deslizamiento-flujo, cuyas características de avance sugieren que se trata en un inicio de un deslizamiento de tipo rotacional que se caracteriza por presentar un escarpe principal con longitud de 400 m, múltiples escarpes secundarios escalonados y de forma discontinua e irregular, desplazamientos verticales entre 5 m. a 15 m. y un desplazamiento horizontal de hasta 45 m hacia el noroeste. Al pie del deslizamiento, se desarrolló un proceso de flujos de detritos.

Se evidenció grietas de tracción en dirección paralela a la escarpa principal, con saltos verticales entre 0.10 a 1.5 m, son indicativos que la masa sigue moviéndose hacia el valle del río Cuchichaca como un movimiento activo y latente, con actividad progresiva hacia el noroeste

En el cuerpo del deslizamiento se tienen dos bofedales ubicados en su parte superior, esto muestra que el factor agua, es la causa principal del evento.

El evento represó momentáneamente el río Cuchichaca, a raíz de lo cual se forma una laguna de mediana dimensión; trayendo consigo la destrucción de pastizales, dos tomas de captación de los canales de riego (Pusgos y Pisac Huaín) y el camino de herradura en un tramo de 115 m..

Las filtraciones de agua acumuladas en el periodo lluvioso, la presencia de depósitos coluviodeluvial y el substrato rocoso muy alterado, altamente meteorizado y muy fracturado, permiten la infiltración y retención de agua que saturan el interior de sus estructuras, originando inestabilidad en las laderas; con pendientes medias a muy fuertes (5°-45º).

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y dinámicas mencionadas anteriormente, el sector Mamancipajatun se considera como **Zona Crítica** y de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y flujos, susceptibles hacer reactivados con lluvias intensas y/o prolongadas.

Finalmente, se brinda algunas recomendaciones a fin de que las autoridades competentes pongan en práctica, como promover la construcción de zanjas de coronación por encima del escarpe principal, con el fin de que el desplazamiento no continúe, permeabilizar y canalizar los drenajes provenientes de los bofedales, usando tuberías de PVC o mangueras para evitar la infiltración de agua, Implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para monitorear el deslizamiento-flujo del sector de Mamancipajatun, 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 de la Municipalidad Provincial de Cajatambo, según Oficio N°0137-2022-ALC/MPC; es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector denominado Mamancipajatun, parte alta de la ciudad de Cajatambo.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Norma Sosa Senticala y Mauricio Núñez Peredo, realizar la evaluación de peligros geológicos respectiva, la cual se realizó el día 22 de junio del presente año en coordinación con el jefe de la Oficina de Defensa Civil de la Municipalidad Provincial de Cajatambo.

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 de la Municipalidad Provincial de Cajatambo 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 el sector Mamancipajatun.
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° 76, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: "Peligro Geológico en la Región Lima" (Luque *et al.,* 2020). Este boletín cataloga el sector

Cajatambo-Astobamba como una zona critica sujeta deslizamientos, erosión de laderas, reptación de laderas, flujo de tierra y detritos. Así mismo, los autores señalan que hacía ambas márgenes del río Cuchichaca se presentan derrumbes tanto antiguos como activos.

El presente boletín muestra, además, el mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:500 000, donde el sector Mamancipajatun y alrededores, se localizan en zonas de susceptibilidad alta a muy alta, (figura 1).

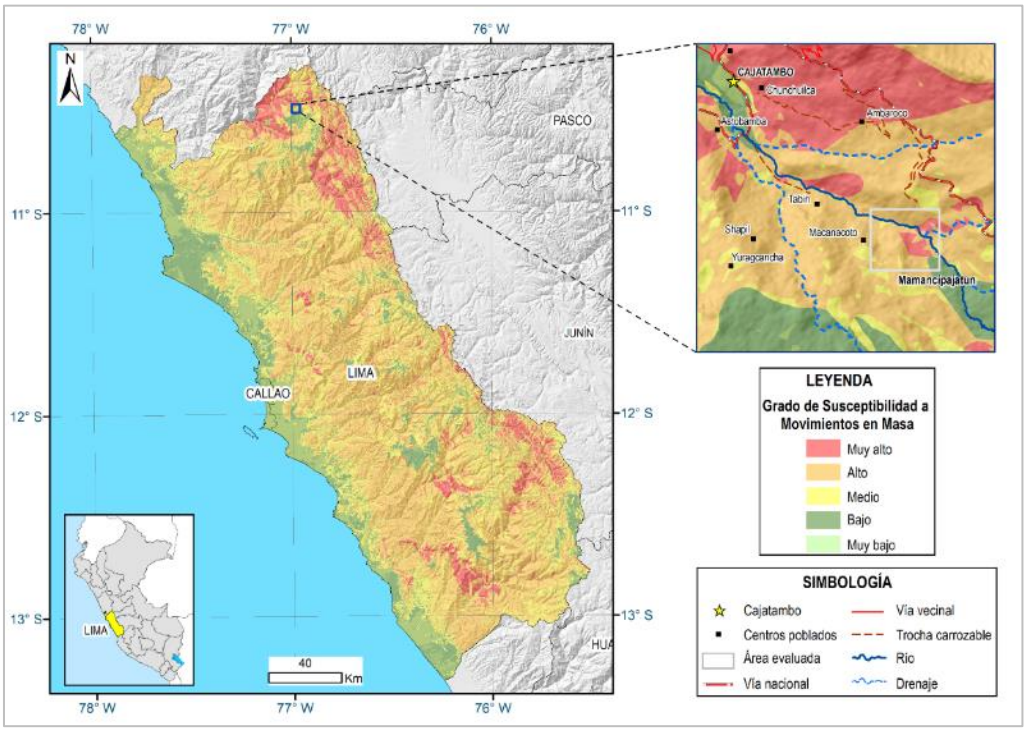


Figura 1: Susceptibilidad por movimientos en masa del sector de Mamancipajatun y alrededores. **Fuente**: Luque et al., 2020.

B) Boletín N° 29, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Estudio de riesgos geológicos del Perú: Franja N° 4” (Fidel *et al.,* 2006). Este boletín analiza la estabilidad de las regiones enmarcadas entre los paralelos 10° y 12° Sur del territorio nacional, denominada Franja N°4 con respecto a procesos asociados a peligros geológicos; y con respecto al área de estudio se identificó procesos de derrumbes asociados a la erosión fluvial del río Cuchichaca. Así mismo, los autores identifican el área, como una zona de susceptibilidad muy alta.

C) Boletín N° 76, Serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquian y Yanahuanca” escala 1:100 000 (Cobbing, et al., 1996). Describe la geología de la zona de estudio y alrededores que corresponde a rocas volcánicas de la Formación Condorsenga (Grupo Calipuy).

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El sector Mamancipajatun se ubica en la margen izquierda del río Cuchichaca, a 3.8 km al sureste del poblado de Cajatambo. Políticamente pertenece al distrito y provincia de Cajatambo, departamento de Lima (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	285768.63	8842358.88	-10.46636534°	-76.95724364°
2	285768.63	8837539.67	-10.50992617°	-76.95751746°
3	281368.99	8837539.67	-10.50959036°	-76.99770144°
4	281368.99	8842358.88	-10.46611593°	-76.99742256°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
	284561.13	8839336.33	-10.49361807°	-76.96844357°

1.3.2. Población

Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, el poblado de Cajatambo presenta una población censada de 1 275 habitantes distribuidos en un total de 805 viviendas particulares.

Así mismo, dentro del área de estudio (sector Mamancipajatun) se evidenció una vivienda de material rústico, actualmente habitada por una familia de 3 integrantes.

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 – Chancay	Asfaltada	88.7	2 horas 10 min
Chancay - Oyon	Asfaltada	160	3 horas 09 min
Oyon – Cajatambo	Asfaltada - Afirmada	67.7	1 hora 40 min
Cajatambo – Mamancipajatun	Afirmada	14.1	30 min

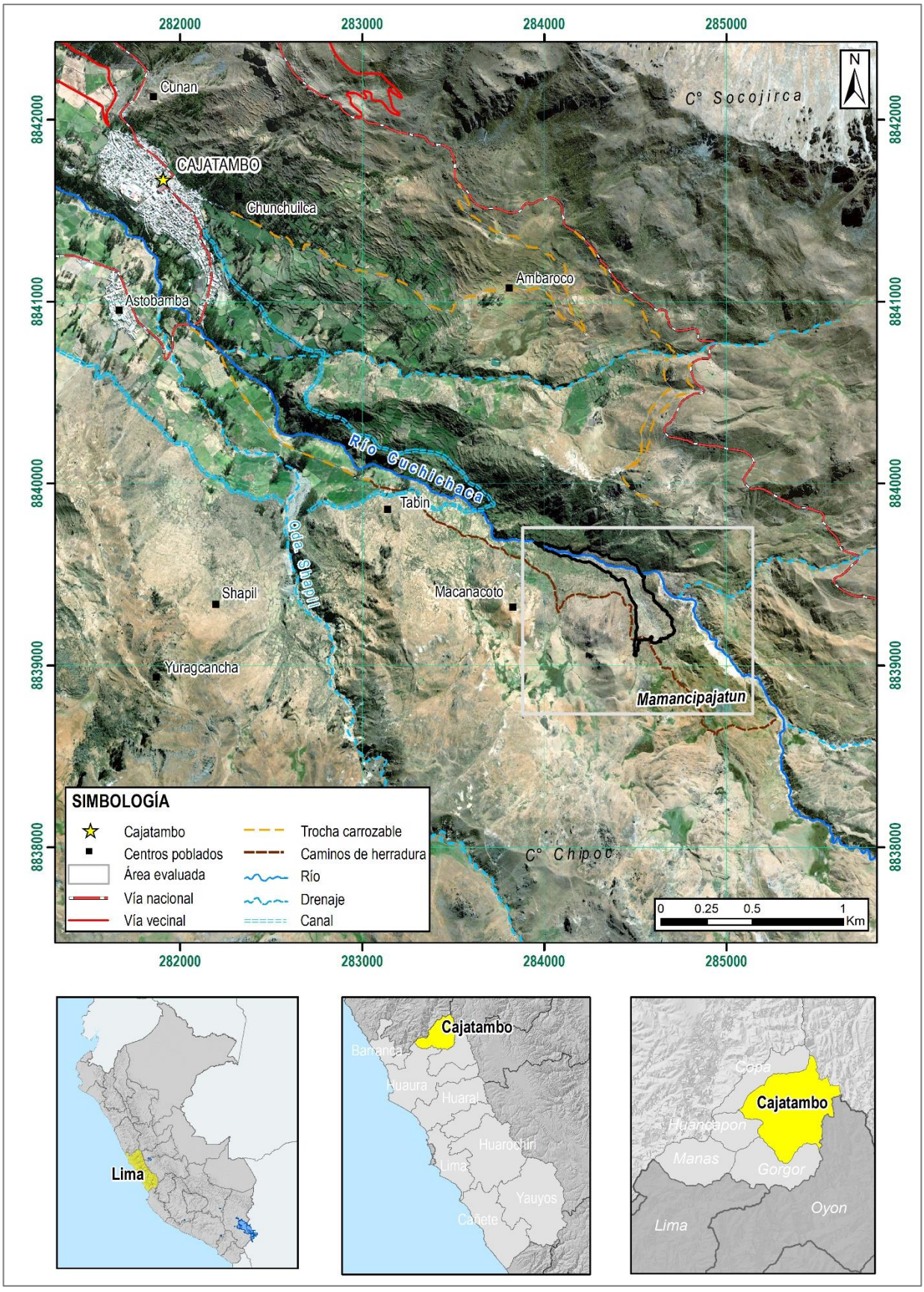


Figura 2: Ubicación del sector Mamancipajatun (distrito y provincia de Cajatambo, departamento Lima).

1.3.4. Clima

Según la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), el sector Mamancipajatun presenta un clima semifrígido, lluvioso, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera.

En cuanto a la cantidad de lluvia, según datos meteorológicos de la estación pluviométrica de Cajatambo (la más próxima al área de estudio), la precipitación máxima registrada en el periodo enero, 2017- abril, 2021 fue de 27.2 mm (SENAMHI). Así mismo, las lluvias son de carácter estacional, es decir, se distribuyen muy irregularmente a lo largo del año, siendo los meses de julio y agosto, los más secos y los meses de diciembre a abril, los más lluviosos (figura 3).

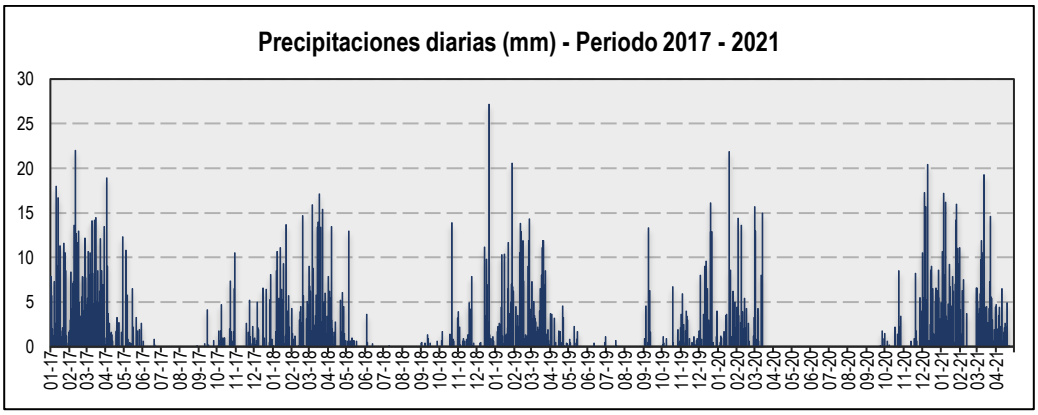


Figura 3. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2017-2021. La figura permite analizar la frecuencia de las anomalías en las precipitaciones pluviales que inducen al desarrollo de la erosión del suelo. Fuente: Estación Cajatambo - SENAMHI.

La temperatura anual oscila entre un máximo de 21.7°C en verano y un mínimo de 2.9°C en invierno (figura 4). Así mismo, presenta una humedad promedio de 10.26% durante casi todo el año, (Estación Cajatambo, SENAMHI).

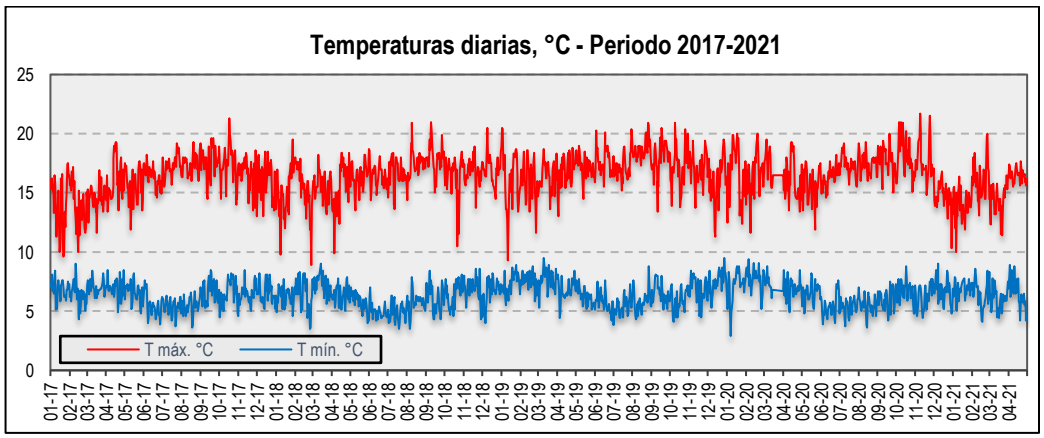


Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo 2017-2021. La figura permite analizar la variedad, saltos extremos de temperatura, duración y regularidad. **Fuente**: Estación Cajatambo - SENAMHI.

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

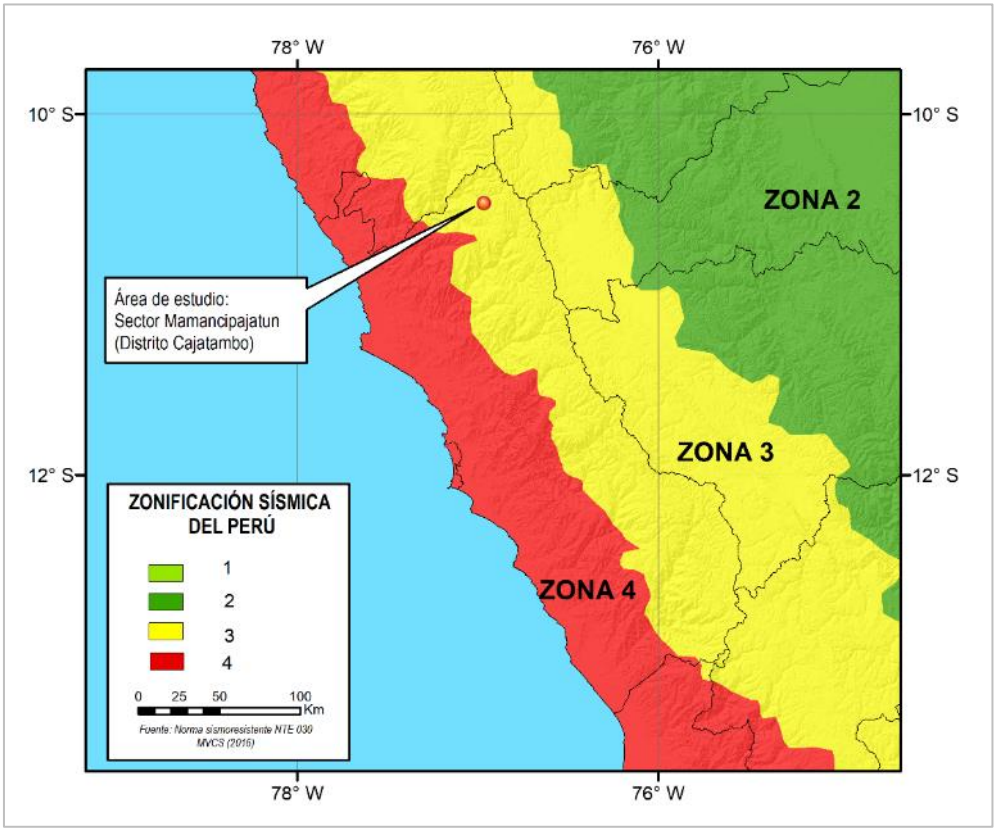


Figura 5. Zonificación sísmica del Perú.
Fuente: Norma sismorresistente NTE 030 MVCS, 2016.

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.

EROSIÓN FLUVIAL: Este fenómeno está relacionado con la acción hídrica de los ríos al socavar los valles, profundizarlos, ensancharlos y alargarlos. Ocurre cuando periodos con abundantes o prolongadas precipitaciones pluviales, en las vertientes o quebradas,

aumentan el caudal de los ríos principales o secundarios que drenan una cuenca.

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 se 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, transtornos 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 Oyón 22j-IV, a escala 1: 50,000 (Romero, *et al*. 2009), así como la referencia del Boletín N° 76: "Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquian y Yanahuanca", escala 1:100 000" (Cobbing, *et al*. 1996), 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 son principalmente de origen volcánico, representado por el Grupo Calipuy; así como depósitos recientes coluvio-deluvial, proluvial, coluvial, aluvial y fluvial (anexo 1: Mapa 01).

2.1.1. Grupo Calipuy

Consiste de por lo menos 2000 m y en algunos lugares más de 3000 m de estratos volcánicos variados. Estos son principalmente de rocas piroclásticas gruesas de composición andesítica, pero también son abundantes lavas andesíticas ignimbritas dacíticas (Cobbing, *et al*. 1996).

Localmente está compuesta por tobas litoclásticas gris blanquecina y rojos violáceos con clastos subangulosos en una matriz de ceniza con presencia de cristales de plagioclasa alterado a arcillas (fotografía 1) y coladas volcánicas con algunas brechas y conglomerados con clastos volcánicos (Romero & Latorre, 2003).

El substrato rocoso se encuentra muy fracturado con espaciamientos muy próximas a próximas entre sí (0.05-0.15 m), aberturas muy abiertas (3.0 a 4.0 mm), sin relleno visible, resistencia baja (25-50 MPa); en superficie se encuentran muy alteradas y altamente meteorizadas (figura 6).

Estas características permiten mayor infiltración y retención de aguas subterráneas, lo que condiciona todos los bofedales o surgencias de agua identificados en el sector Mamancipajatun y alrededores cercanos.

Fotografía 1. Afloramiento de tobas litoclásticas gris blanquecina y muy fracturadas del Grupo Calipuy. Margen izquierdo del río Cuchichaca, al SO del poblado de Cajatambo.

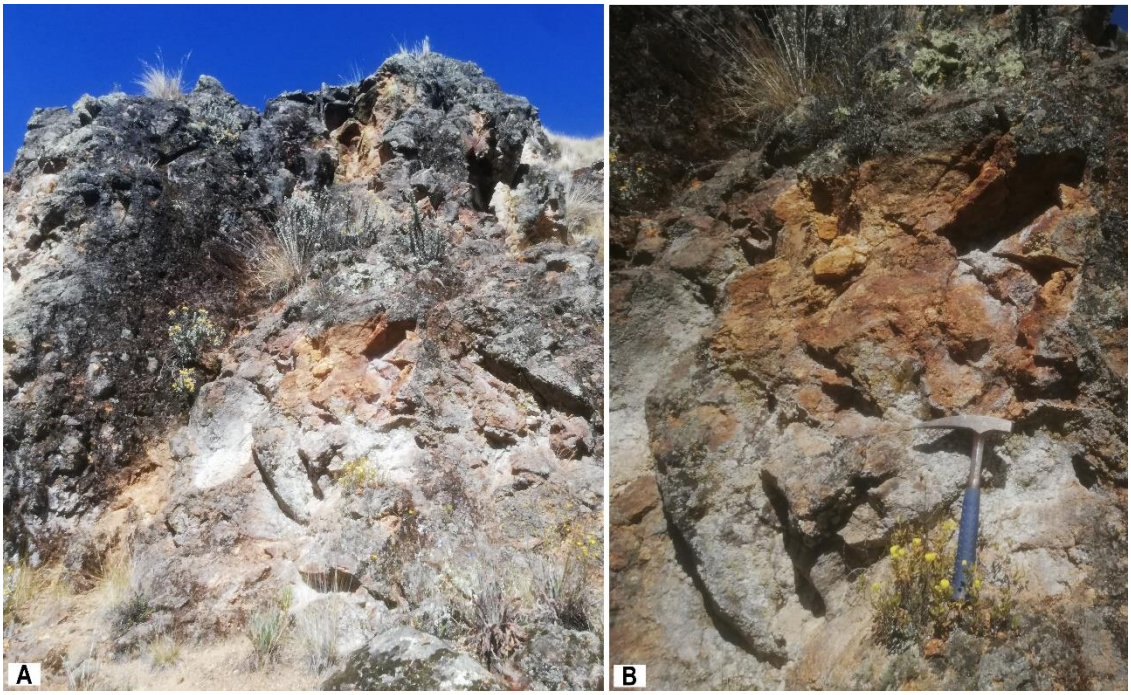


Figura 6. **A**. Sustrato rocoso conformado por tobas litoclásticas gris blanquecina y rojos violáceos en una matriz de ceniza. **B**. Detalle de las rocas volcánicas las cuales se encuentran muy próximas a próximas entre sí (0.05-0.15 m), aberturas muy abiertas (3.0 a 4.0 mm), resistencia baja (25-50 MPa); y además se presentan bastante alteradas.

2.1.2. 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 0.15 m envueltos en una matriz de arenas medias a gruesas con contenidos de limos (figura 7). Son producto de la

meteorización de las rocas volcánicas y removidos por procesos de movimientos en masa y la filtración de aguas provenientes de los diferentes bofedales que se presentan en el área de estudio.

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 el ultimo evento del 01 mayo en el sector Mamancipajatum.

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. El material que los constituye es heterométrico y está mal clasificado, por lo general son subangulosos a subredondeados, englobados en una matriz fina, permeables y medianamente consolidados.

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.

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 Cuchichaca, formando parte de la llanura de inundación, así como de terrazas fluviales. Su granulometría está compuesta por bloques (20%), gravas (35%), arenas (30%) y limos (15%).

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

El análisis de la pendiente del terreno es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa; ya que actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En el Anexo 1: Se presenta el mapa de pendientes (mapa 2), elaborado en base a información del modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución (USGS). De acuerdo a este mapa, el sector Mamancipajatun, se localizan en laderas de montañas cuyos rangos de pendientes van desde moderado (5° a 15°) a muy fuerte (25° a 45°). Este rango de pendientes es el resultado de una intensa erosión y desgaste de la superficie terrestre, cuyas características principales se describen en el cuadro 4:

Cuadro 4. Rango de pendientes del terreno.

Pendiente	Rango	Descripción
0°-1°	Llano (0.49%)	Son terrenos llanos cubiertos por depósitos cuaternarios que se distribuyen principalmente a lo largo de terrazas fluviales y cimas de montañas.
1°a 5°	Inclinación suave (5.64%)	Terrenos planos a ligeramente ondulados que se distribuyen a lo largo de planicies. Las quebradas que confluyen al río Cuchichaca presentan este tipo de pendientes, así como zonas aledañas a bofedales.
5°a 15°	Moderado (32.82%)	Terrenos con moderada pendiente, se ubican principalmente al pie de las laderas de montañas volcánicas, quebradas y márgenes del río Cuchichaca
15°a 25°	Fuerte (36.12%)	Ocupan áreas muy grandes. Son pendientes que se distribuyen indistintamente en las laderas de las montañas; a su vez, estas inclinaciones condicionan la erosión de laderas en las vertientes o piedemontes.
25°a 45°	Muy Fuerte (24.84%)	Se encuentran en laderas de montañas y márgenes del río Cuchichaca. En este rango de pendiente, generalmente se registran procesos de derrumbes y deslizamientos.
>45°	Muy escarpado (0.35%)	Ocupa áreas muy reducidas, distribuidas a lo largo de laderas y cumbres de montañas.

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 geoformas:

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 volcánicas (M-rv):

Corresponde a las cadenas montañosas donde los procesos denudativos (fluvio-erosionales) afectaron rocas volcánicas del Grupo Chicama. Las montañas cubren gran parte de la zona de estudio, cuyas laderas de pendientes fuerte a muy fuerte varían de 15° a 45°. En la parte alta son afectados por la filtración de aguas subterráneas, cuya descarga da origen a la formación de diferentes bofedales o manantes de agua (figura 8). El sector Mamancipajatun, se encuentra rodeado por estos lineamientos montañosos

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

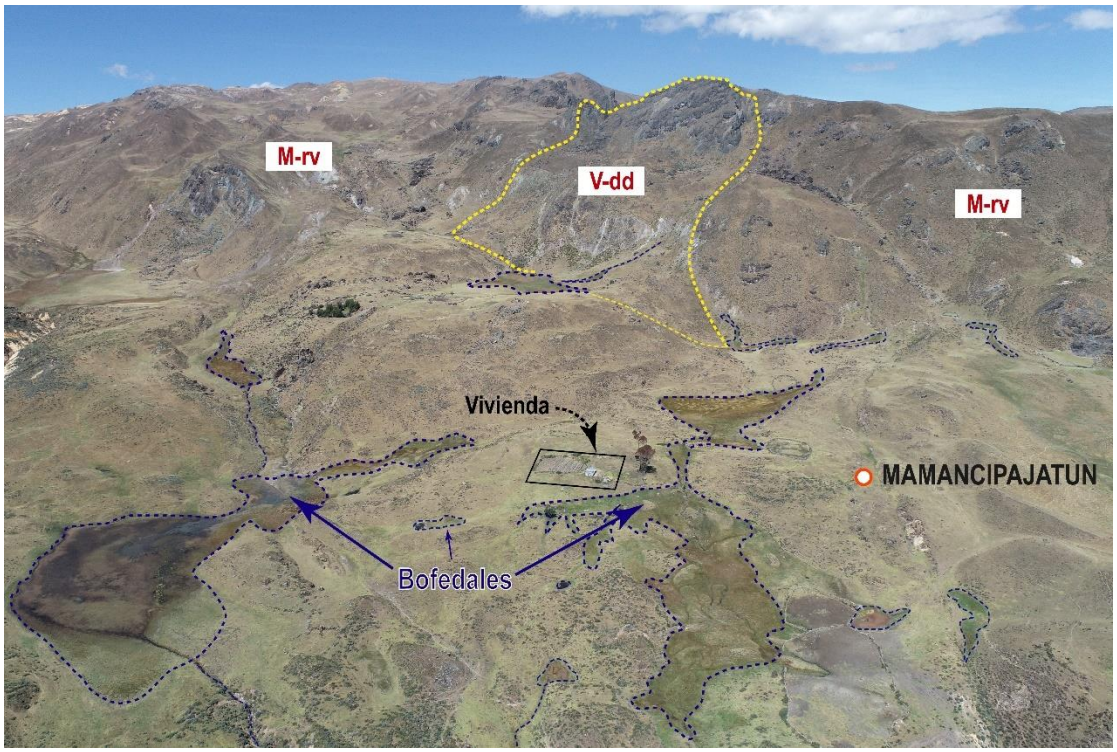


Figura 8. Vista de la subunidad de montañas modeladas en rocas volcánicas (M-rv), cuyas laderas presentan pendientes de fuerte a muy fuerte (15°-45°) y afectadas por filtraciones de aguas subterráneas, cuya descarga da origen a la formación de diferentes bofedales.

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:

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

Son depósitos inconsolidados, localizados al pie de laderas de montañas volcánicas, resultantes de la acumulación de material de origen coluvial y deluvial (figura 9). 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.

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 ambas márgenes del río Cuchichaca, con pendientes predominantes de muy fuerte a muy escarpado (25°- >45°) y fáciles de remover.

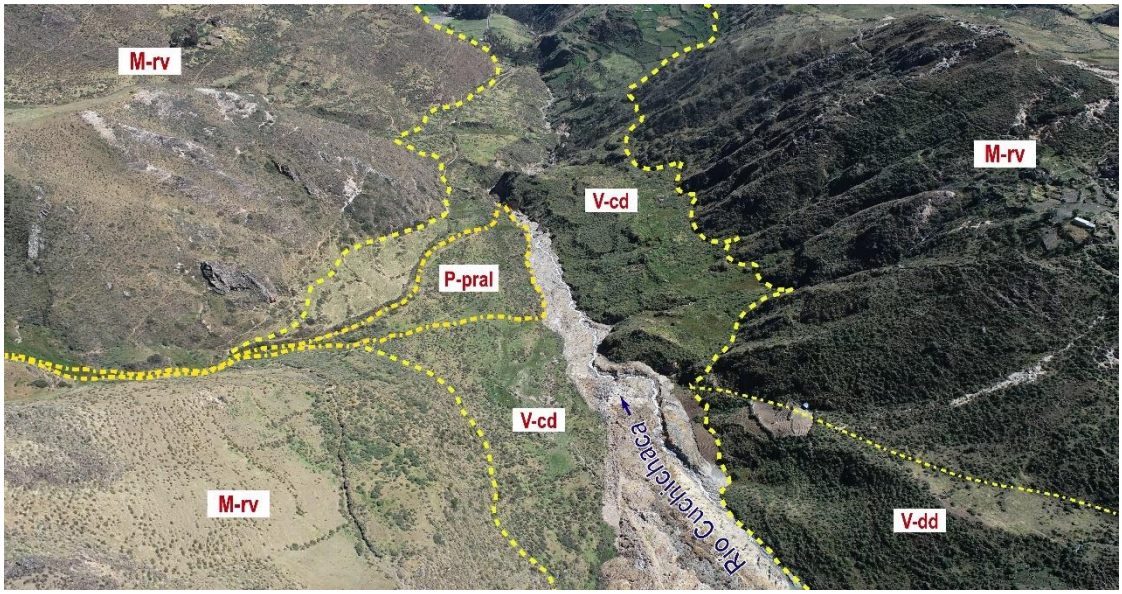


Figura 9. Vista de las subunidades de vertientes coluvio-deluvial (V-cd) adosadas al pie de ladera de montañas volcánicas (M-rv) y la subunidad de vertiente aluvio torrencial (P-pral) formado por la acumulación de material proluvial relacionado a flujos.

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

Zonas de acumulaciones en ladera originadas por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes. 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 Cuchichaca, donde las pendientes van de fuerte a muy fuerte (10°-45°).

4.2.4. Subunidad de vertiente coluvial (V-c)

Son depósitos inconsolidados de origen coluvial, acumulados al pie de las laderas de la montaña y márgenes del río Cuchichaca. Por encontrarse cerca de su fuente de origen, presentan una naturaleza litológica homogénea; sin embargo, su granulometría es variable con fragmentos angulosos a sub angulosos: Bolos (10%), cantos (15%), gravas (25%), arenas (30%), limos (20%) y su grado de compacidad es bajo, no consolidado (figura 10).

Se produce en rocas fracturas y alteradas que dejan bloques inestables que caen o ruedan por la fuerza de la gravedad, erosión del río, lluvias intensas o movimientos sísmicos. Están asociados a procesos de derrumbes.

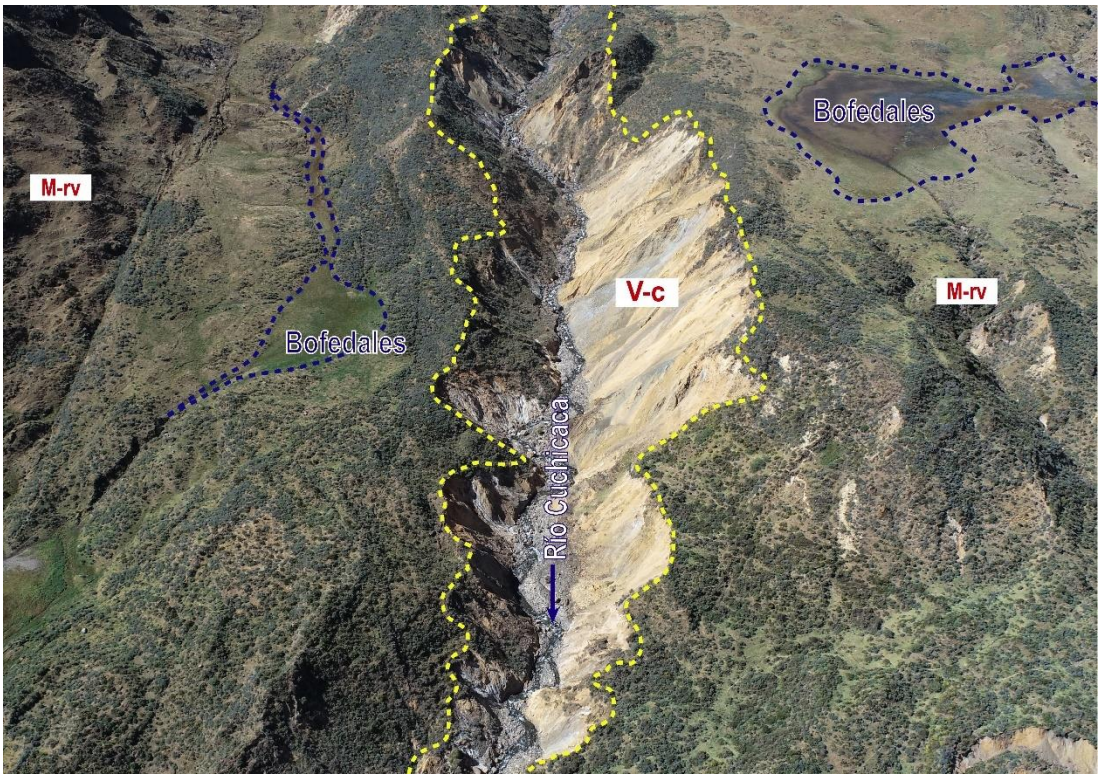


Figura 10. Vista de las subunidades de vertiente coluvial(V-dd) asociado a procesos de derrumbes recientes y acumulados en los márgenes del río Cuchichaca producto de la intensa actividad erosiva del río.

4.2.5. Subunidad de vertiente 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 (5%), cantos (10%), gravas (10%), gránulos (15%), arenas (35%), limos (25%); permeables y medianamente consolidados. Actualmente son áreas ocupadas por terrenos de cultivo.

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 (20%), gravas (35%), arenas (30%), limos (15%) que son transportados por la corriente del río Cuchichaca a grandes distancias, se depositan formando terrazas bajas, también conformando la llanura de inundación o el lecho de los ríos (figura 11).

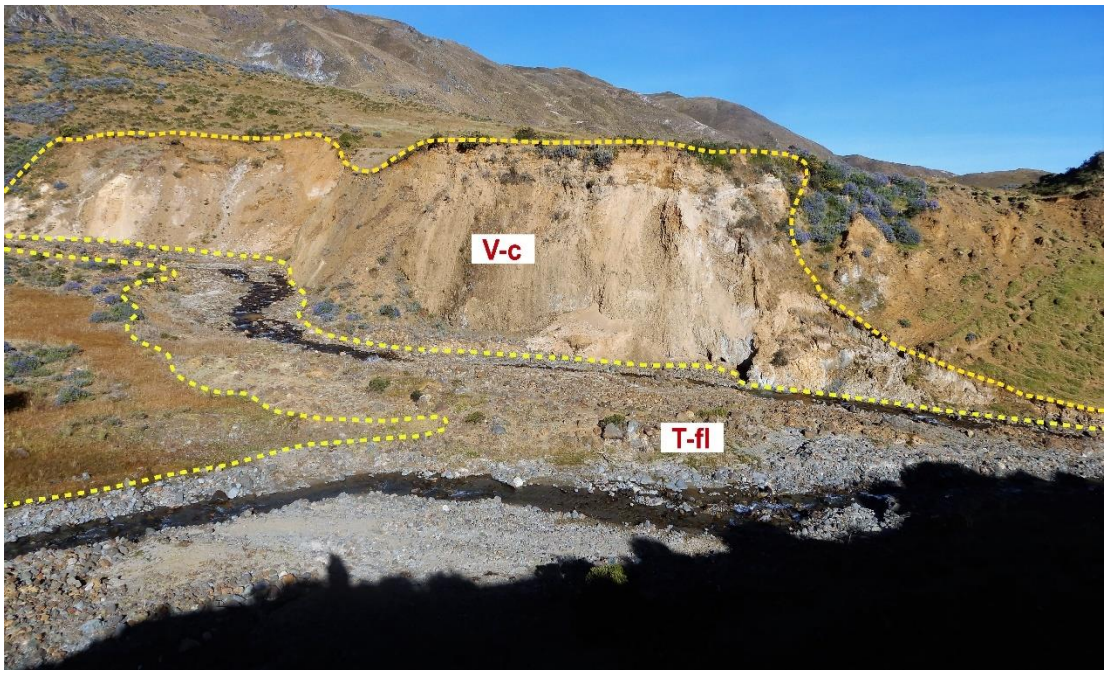


Figura 11. Vista de la subunidad de terrazas fluvial con pendientes ligeramente inclinado (1° a 5°). A su flanco izquierdo se puede apreciar laderas de fuerte pendiente con depósitos coluviales producto de movimientos de ladera.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos activos e inactivos latentes identificados en el sector Mamancipajatun y alrededores corresponden a los subtipos agrupados en la clase de movimientos en masa de tipo deslizamientos, derrumbes, flujo de detritos y otros peligros geológicos de tipo 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, donde se identificaron los tipos de movimientos en masa 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.

Además de ello, la zona es considerada de alta a muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (Luque et al., 2020):

5.2. Deslizamiento-flujo

El domingo 01 de mayo del 2022, se inició un proceso de movimiento en masa complejo (deslizamiento-flujo) en el sector denominado Mamancipajatun, ubicado a 3.8 km al sureste del poblado de Cajatambo y en la margen izquierda del río Cuchichaca.

El evento represó momentáneamente el río Cuchichaca y generó la destrucción de terrenos destinados para la producción de pastizales, dos tomas de captación de los canales de riego (Pusgos y Pisac Huaín) y un camino de herradura en un tramo de 115 m, el cual pasaba por el escarpe principal del deslizamiento.

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

5.2.1. Características visuales del evento

Se trata de un deslizamiento rotacional, caracterizado por presentar un escarpe principal de forma muy irregular y continua. En el pie del deslizamiento, se comportó como un flujo de detritos (figura 12), producto de la filtración de agua puntual de dos bofedales ubicados en la parte superior de este.

El deslizamiento se desplazó a lo largo de la ladera media del cerro Mamancipajatun que se encuentra sobre la margen izquierda del río Cuchichaca e involucró materiales coluvio deluviales de un movimiento antiguo y lavadas constantemente por la filtración de aguas provenientes de bofedales adyacentes. La existencia de este deslizamiento antiguo se evidencia por la morfología de la ladera, el cual presenta una superficie ondulada y escalonada, además de un escarpe visible de 2.5 a 3.5 m de altura con forma más o menos regular (figura 13).

La geometría de la corona del movimiento tiene una forma semicircular e irregular, abierta hacia la cabeza y estrecha hacia sus dos extremos. El escarpe principal (Ep) se muestra de forma irregular y continua con una longitud de 400 m, saltos verticales que varían de 5 a 12 m y pendientes entre 55° a 65°; así mismo se evidencian múltiples escarpes secundarios (Es) paralelos al escarpe principal, escalonados y de forma discontinua e irregular con longitudes de 50 a 100 m, saltos verticales que varían entre 6 a 10 m y pendientes entre 55° a 75° (figura 14).

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 2 a 30 m, aperturas que en algunos casos alcanza hasta los 40 cm y profundidades visibles que varían entre los 0.05 a 0.15 m (figura 15).

La masa deslizada empieza desde los 3950 m con un ancho promedio de 160 m y una longitud de aproximada de 500 m (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 noroeste.

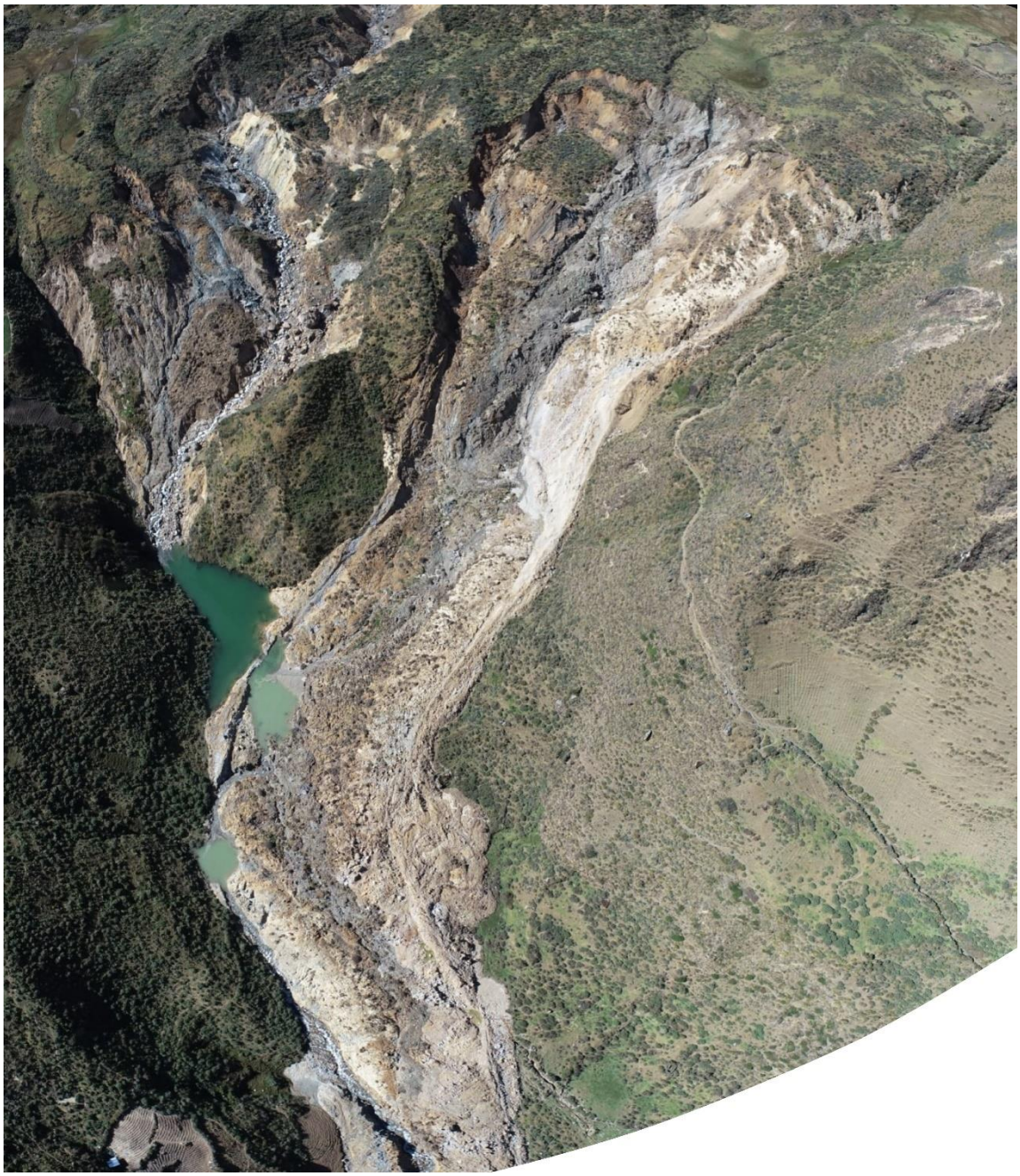


Figura 12. Vista panorámica del deslizamiento-flujo ocurrido el 01 de mayo del 2022 en la margen izquierda del río Cuchichaca. Se distingue la zona de embalse con la formación de una laguna artificial de regular tamaño. ***Fuente:*** *Fotografía tomada con dron, junio-2022*

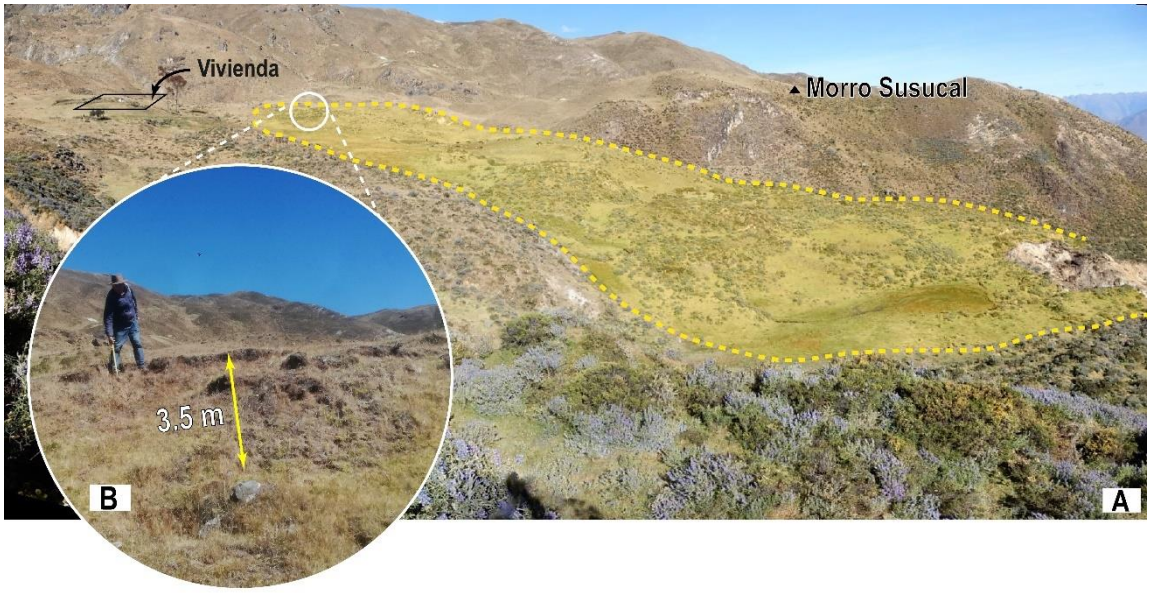


Figura 13. A. Vista panorámica de la ladera del cerro Mamancipajatun y sobre la cual se distingue un deslizamiento antiguo (demarcado con líneas entrecortadas amarillas) y en cuyo pie se desarrolló el ultimo evento. B. Escarpe antiguo de 3.5 m de altura con forma más o menos regular.

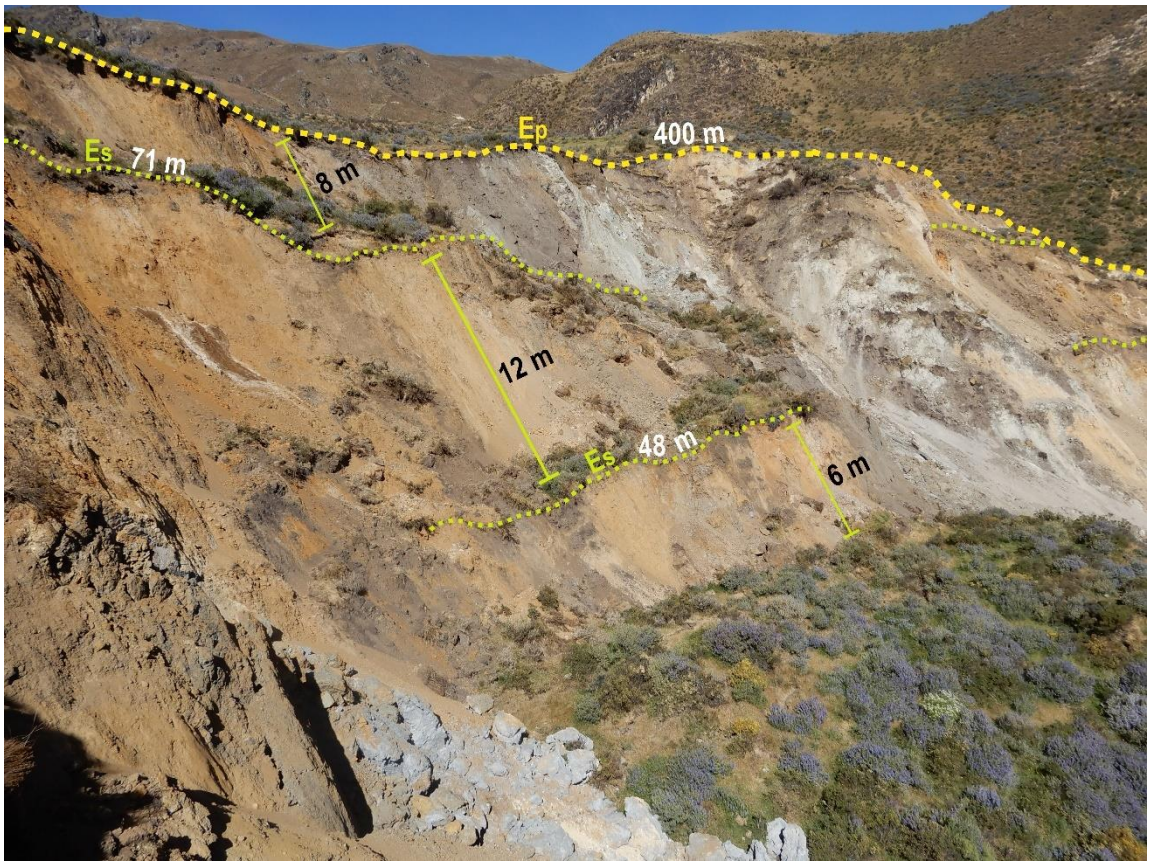


Figura 14. Vista de escarpes múltiples Ep (principal) de forma muy irregular y continua con una longitud de 400m y salto de 8 m; saltos secundarios (Es) de forma irregular y discontinua con longitudes de 71 m, 48 m y saltos verticales de 6 y 12 m.

Figura 15. Grietas transversales en la cabeza del deslizamiento con aperturas que varían entre 0.05 y 0.30 m, longitudes entre 2 a 30 m y profundidades visibles que varían entre 0.05 a 0.15 m. Coordenadas referenciales: UTM WGS84 Zona 18S 284534 E, 8839166 N.

Figura 16. La masa deslizada presenta un ancho de 160 m y una longitud de 500 m aproximadamente, la cual se moviliza sobre una superficie de falla rotacional con dirección preferente al noroeste.

El movimiento involucró el desplazamiento de suelos de tipo grava-arcilla, producto de la meteorización de rocas volcánicas (Grupo Calipuy) y removidos por el deslizamiento. Así mismo, a través de un análisis multitemporal se estimó un desplazamiento horizontal máximo de 45 m (figura 17), de manera que al pie del deslizamiento embalso inicialmente una longitud del río de aproximadamente 100 m y un volumen de agua represada de aproximadamente 21,000 m³ (fotografía 2).

Actualmente, el embalse generado, se está desaguando naturalmente por un cauce de 4 m de ancho; así mismo, el caudal de salida aparentemente es mayor al caudal de ingreso, esto sumado a la finalización de la época de lluvias, se puede esperar una disminución paulatina de la altura del vaso de agua de la laguna.

Al pie del deslizamiento, como consecuencia del agua que se filtra de la parte superior del área inestable, evidenciado por dos sistemas de drenajes que confluyen al cuerpo del deslizamiento y provenientes de dos bofedales recargados regularmente por aguas subeterraneas de las partes mas altas, se generó un proceso de flujo de detritos que actualmente es lavado constantemente por el río principal.

De esta manera las filtraciones de agua acumuladas en el período lluvioso, ayudaron a humedecer el material coluvio-deluvial de la ladera, lo que provocó sobresaturación y pérdida de cohesión. Si bien es cierto el deslizamiento-flujo del sector Mamancipajatun se produjo en la estación de estiaje; sin embargo, al principio de la época seca (Mayo) los bofedales estan en su maxima extensión debido que el reservorio de agua subterranea está lleno luego de la época de lluvias.

El depósito principal del flujo de detritos presenta una pendiente moderada a muy fuerte (15°-35°), con alturas de 2 a 5 m aguas abajo del sector de Mamancipajatun, pero disminuye paulatinamente hasta el sector de Tabin (fotografía 3).

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 flujos de detritos en la parte media e inferior del depósito.

Es importante destacar que hacia la corona del deslizamiento también se puede visualizar grietas de tracción, en dirección paralela a la escarpa principal, con saltos verticales entre 0.10 a 1.5 m y aberturas entre 0.15 a 0.30 m (figura 18).

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

Finalmente se evidenció otros derrumbes y deslizamientos tanto activos como inactivos latentes que se ubican hacia ambas márgenes del río Cuchichaca condicionados por la intensa actividad erosiva del río del mismo nombre; lo que demuestra la importante actividad geodinámica en la zona de estudio y alrededores cercanos (figura 19).

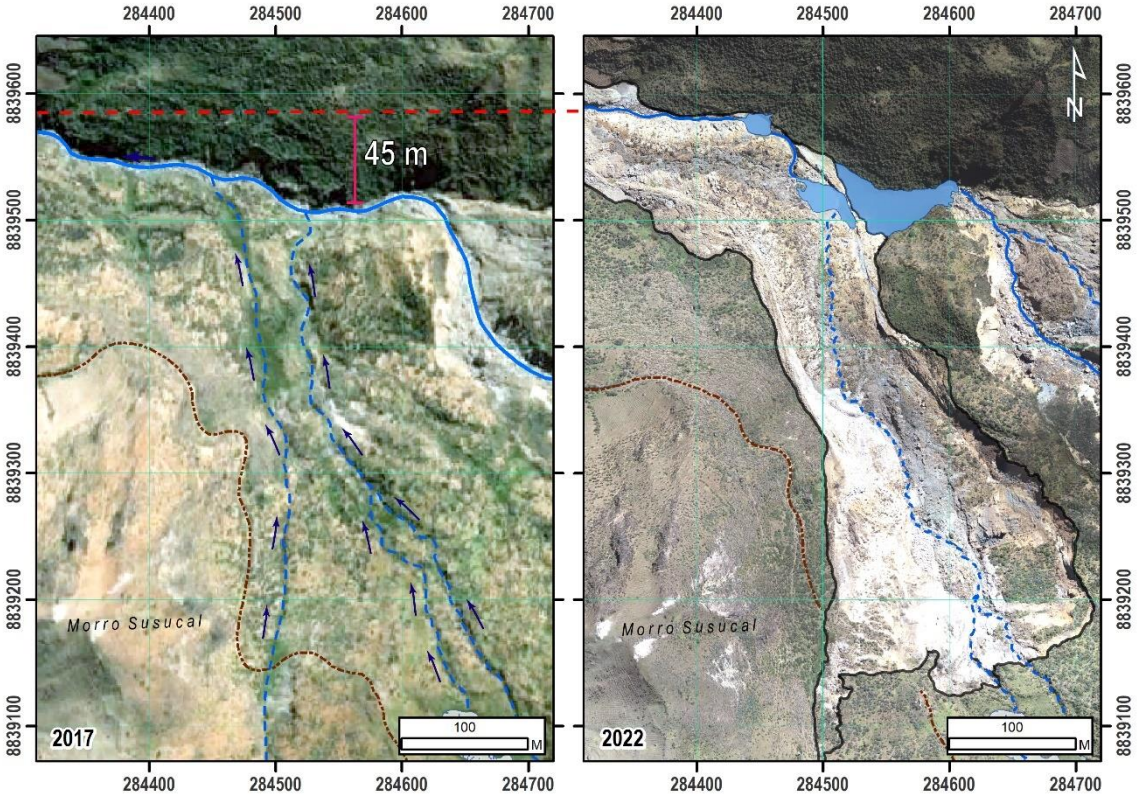


Figura 17. Vista de 2 imágenes multitemporales, izquierda (Bing Maps – Satélite, 2017) y derecha (ortomosaico obtenido de sobrevuelos dron, 2022), en la cual se observa que el deslizamiento involucró un desplazamiento horizontal máximo de 45 m. Así mismo, es evidente la filtración del agua (señalada en flechas azules) proveniente de bofedales adyacentes que saturan constantemente la ladera.

Fotografía 2. Laguna formada por el represamiento temporal de río Cuchichaca en mayo del 2022, la misma que posteriormente empezó a desfogar por un cauce natural de 4 m de ancho.

Fotografía 3. Depósito de flujo, dispuesto en el cauce aguas abajo. Se distingue la naturaleza del material y el espesor del depósito que disminuye paulatinamente hacia el sector Tabin. Coordenadas referenciales: UTM WGS84 Zona 18S 284024 E, 8839645 N.

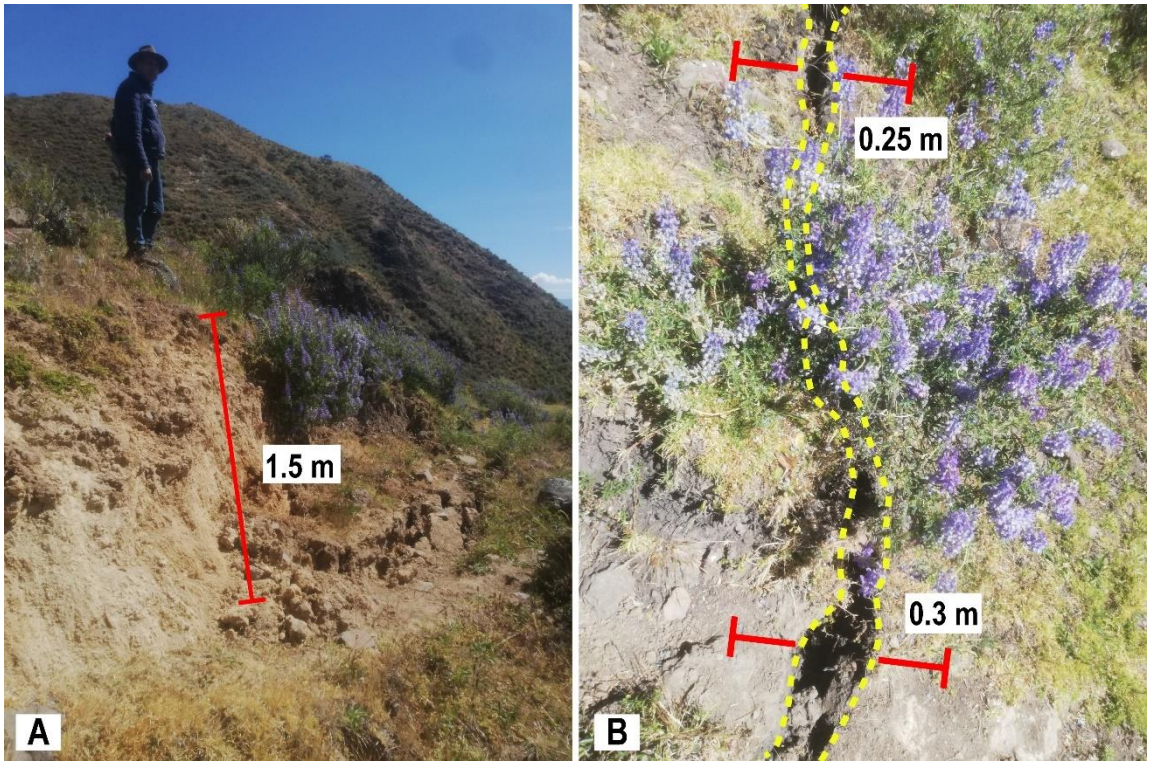


Figura 18. Grietas de tracción paralelas a la corona del deslizamiento que evidencian el avance retrogresivo del deslizamiento. A. Saltos verticales de 1.5 m y B. Aberturas visibles comprendidas entre 0.25 a 0.30 m.

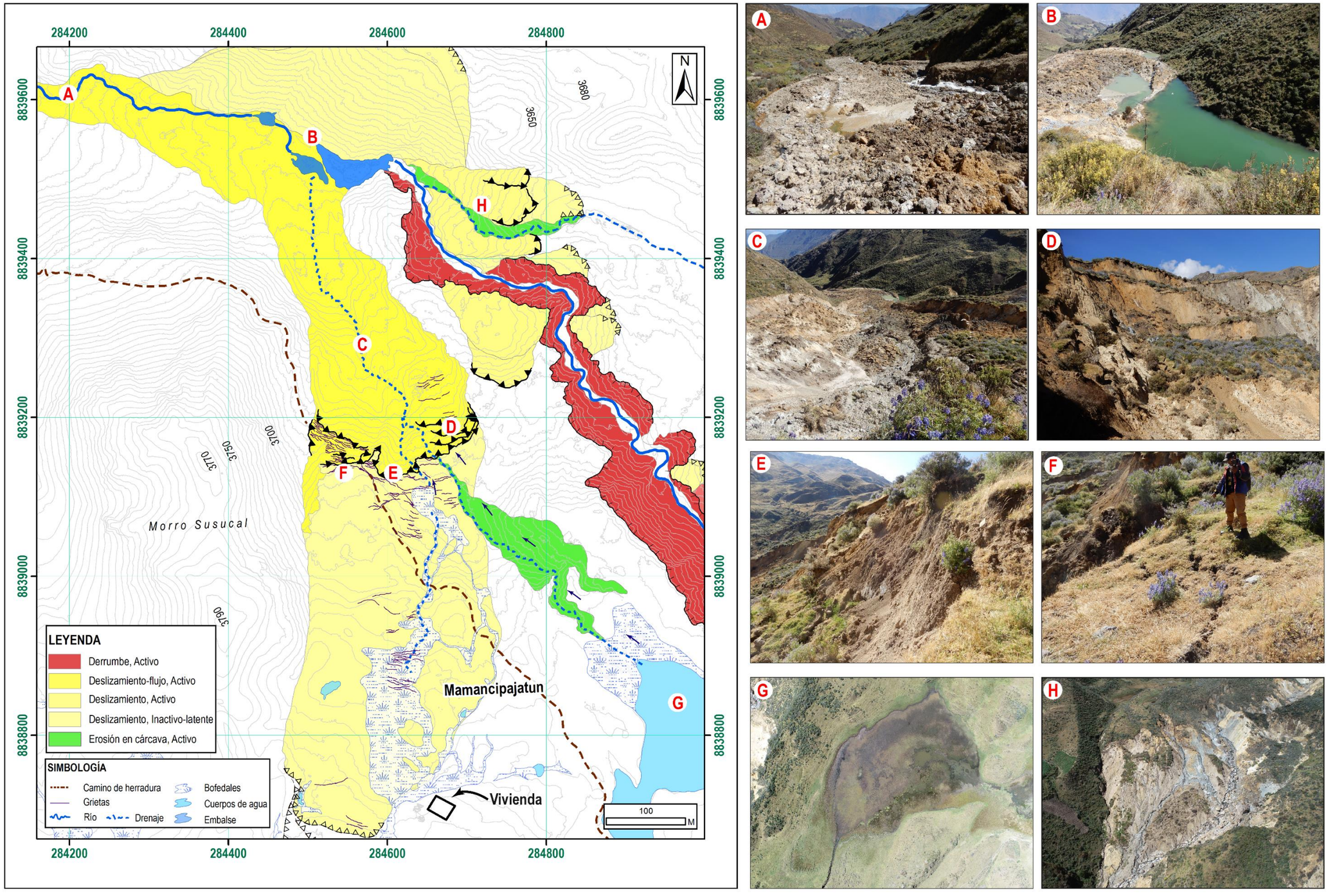


Figura 19. Cartografiado de procesos geológicos del sector Mamancipajatun. A. Zonas de acumulación de flujos. B Masa de represamiento y áreas de embalse. C. Cuerpo del deslizamiento-flujo D. Escarpes secundarios E. Escarpe activo, zona de arranque activa del deslizamiento- flujo. F. Grietas de tracción en dirección paralela a la escarpa principal. G. Bofedales canalizados hacia la ladera del deslizamiento. H. Zona de deslizamientos y derrumbes activos. ***Fuente:*** *Elaboración propia, 2022*.

5.2.2. Análisis longitudinal del deslizamiento

Con el MDT (Modelo Digital del Terreno) de resolución 0.15 m/px, obtenido mediante levantamiento fotogramétrico aéreo con drone, en el sector Mamancipajatun, se ha realizado un perfil transversal (figura 20), sobre el cual se realiza un análisis del relieve del terreno antiguo (2019) con el relieve post evento (2022), destacado las siguientes caracteristicas:

En el perfil A-A´ muestra el cuerpo de un deslizamiento-flujo reactivado generado a partir de un deslizamiento antiguo, el cual se originó sobre depósitos coluviodeluviales. El estado del movimiento es activo caracterizado por un desnivel entre escarpa y pie de aproximadamente 50 m.

El factor detonante fue la lluvia y el agua que se infiltró de la parte superior del área inestable. Como evidencia de ello se observó filtraciones de agua en el cuerpo y pie del deslizamiento. Esta filtración fue ocasionada por la existencia de dos bofedales puntuales ubicados a 250 m y 345 m en dirección hacia el sur y sureste respectivamente desde la escarpa principal. De manera que el efecto del agua infiltrada se combinó desfavorablemente con las propiedades físico-mecánicas de los materiales cuaternarios (de naturaleza poco consolidado) y la pendiente de la ladera que en este caso se encuentra de moderada (5° a 15°) a muy fuerte (25° a 45°).

A continuación, se detalla las características más resaltantes del deslizamiento-flujo de acuerdo al análisis del perfil transversal:

- Escarpe principal reactivado: 400 m.
- Ancho promedio de la masa desplazada: 160 m
- Desplazamiento vertical que varía entre 5 a 15 m.
- Desplazamiento horizontal que varía entre 35 a 45 m.
- Forma de la superficie de rotura: Irregular semicircular.
- Diferencia vertical aproximada de la corona a la base del deslizamiento 445 m.
- Área del deslizamiento reactivado: 80,280 m2.
- Volumen deslizado: ~ 480,680 m3.

Características del embalse:

(A la fecha de la inspección: Junio, 2022)

- Tipo de represamiento: Tipo III (represamiento sin run up y abarcando el cauce encajonado del río). Según clasificación Costa y Shuster (1988).
- Longitud: ~ 100 m.
- Altura: ~ 6 m.
- Ancho: 35 m.
- Condiciones actuales: corona rebosada por el caudal, este sale de la represa y fluye superficialmente sobre la presa, erosionándola moderadamente.
- Volumen de material embalsado: 21,000 m^3.

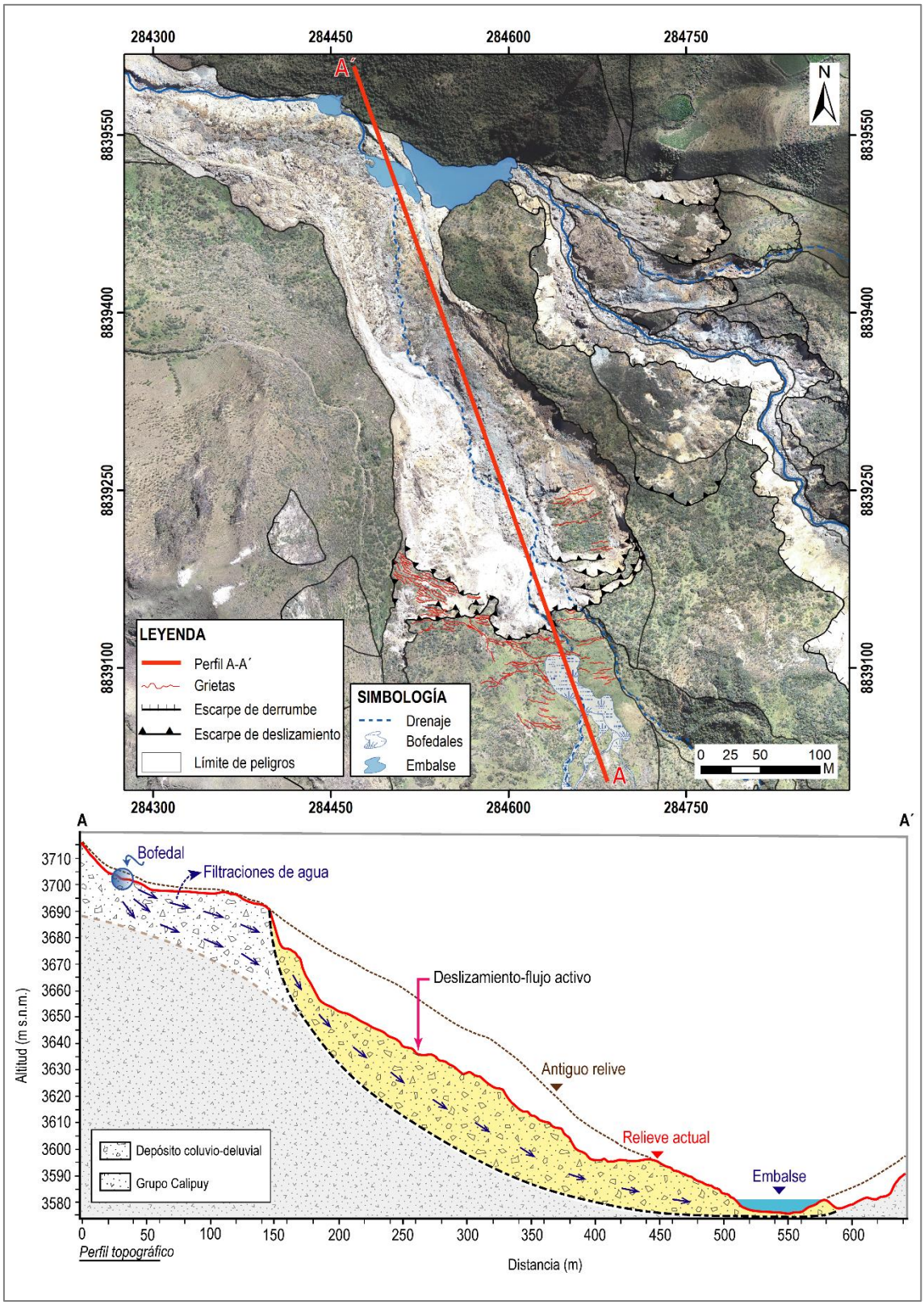


Figura 20. Perfiles longitudinales A-A´ donde se hace una comparación del relieve del año 2019 con imágenes post evento (2022).

6. FACTORES DE LA INESTABILIDAD DEL TALUD

6.1. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

- Substrato rocoso compuesto por tobas litoclásticas con clastos subangulosos en una matriz de ceniza y coladas volcánicas con algunas brechas y conglomerados con clastos volcánicos; muy alteradas, altamente meteorizadas y muy fracturadas lo que permite mayor infiltración y retención de agua al terreno, originando inestabilidad en las laderas.

- Suelos inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales), adosadas al cerro Mamancipajatun, compuestos principalmente por fragmentos líticos angulosos a subangulosos con diámetros que varían de 0.02 a 0.15 m envueltos en una matriz de arena media a gruesa con contenidos de limo, producto de la meteorización de rocas volcánicas y removidos por el deslizamiento-flujo y la filtración de aguas provenientes de los diferentes bofedales que se presentan en el área.

Factor geomorfológico

- Presencia de montañas modeladas en rocas modeladas en rocas volcánicas, cuyas laderas presentan pendientes moderadas (5°-15º) a muy fuertes (25º-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.

6.2. Factores detonantes o desencadenantes

- PRECIPITACIONES: Intensas precipitaciones pluviales y/o excepcionales, principalmente entre los meses de diciembre a abril, que en el último periodo 2017-2021 fue de aproximadamente 27.2 mm

- PRESENCIA DE AGUA SUBTERRÁNEA (OJOS DE AGUA Y BOFEDALES) Las cuales se encuentran sobre las laderas que circunscriben el cerro Mamancipajatun y la acción de las aguas de escorrentía provenientes de los bofedales, los cuales constantemente saturan el terreno e inestabilizan las laderas.

- 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.

7. CONCLUSIONES

1) El 01 de mayo del 2022 en el sector Mamancipajatun, se inició un proceso de movimiento en masa complejo (deslizamiento-flujo) caracterizada por un escarpe principal de forma muy irregular y continua y el cual se comportó como un flujo de detritos al pie del deslizamiento.

2) El evento represó momentáneamente al río Cuchichaca, ocasionando la destrucción de pastizales, dos tomas de captación de los canales de riego (Pusgos y Pisac Huaín) y un tramo de 115 m de camino de herradura.

3) La ocurrencia de grietas de tracción en dirección paralela a la escarpa principal, con saltos verticales entre 0.10 a 1.5 m y el drenaje superficial en el cuerpo del deslizamiento producto de la filtración puntual de dos bofedales ubicados en la parte superior de este, son indicativos que la masa sigue moviéndose hacia el valle del río Cuchichaca como un movimiento activo y latente, con actividad progresiva hacia el noroeste. Así mismo el flujo de detritos presenta alturas de 2 a 5 m aguas abajo del sector de Mamancipajatun, pero disminuye paulatinamente hasta el sector de Tabin.

4) La ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa en la zona evaluada está condicionada por los siguientes factores:

   - Substrato rocoso compuesto tobas litoclásticas en una matriz de ceniza y coladas volcánicas con algunas brechas y conglomerados con fragmentos de rocas volcánicos, muy alteradas, altamente meteorizadas y muy fracturadas, que permiten mayor infiltración y retención de agua al terreno, originando inestabilidad en las laderas.
   - Presencia de suelos inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales), adosados a las laderas de las montañas.
   - Laderas con pendientes medias (5°-15º) a muy fuertes (25º-45°).
   - Acción de las aguas de escorrentía que saturan constantemente el terreno.

5) El factor desencadenante para la ocurrencia del deslizamiento-flujo en el sector Mamancipajatun, 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, el sector, es considerado como **zona crítica** y de **peligro Muy Alto** a la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y flujos, que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas.

8. RECOMENDACIONES

1) Las autoridades competentes deben promover la construcción de zanjas de coronación por encima del escarpe principal, con el fin de que no continúe el desplazamiento de masa. Ver anexo 2 – Figura 21: Medidas de mitigación para deslizamientos y derrumbes (zanjas de coronación).

2) Los drenajes provenientes de bofedales y/o manantiales deben ser permeabilizados y canalizados hacia el río Cuchichaca. Para lo cual se deben usar tuberías de PVC o mangueras, para evitar la infiltración de agua.

3) Implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para monitorear el deslizamiento del sector de Mamancipajatun. Dicha implementación debe tener en cuenta la instalación de puntos de control geodésico, con el objetivo de tener avisos oportunos ante la ocurrencia de nuevos movimientos en masa como deslizamientos y derrumbes que puedan represar nuevamente el río; estos trabajos deben de ser realizados por especialistas.

4) Evacuar de mediano a largo plazo a los habitantes de la vivienda ubicada en el área de influencia (Sector Mamancipajatun).

5) Restringir el tránsito peatonal en la zona del deslizamiento, usando para ello señaléticas y letreros preventivos (como zona de deslizamiento y derrumbes activos)

6) Controlar y restringir la apertura de caminos de herradura, construcción de viviendas u otra actividad antrópica en los alrededores del cuerpo del deslizamiento.

7) Realizar charlas de sensibilización y concientización del peligro al que se encuentran expuestos la Comunidad de Cajatambo y alrededores.

Ing. NORMA LUZ SOSA SENTICALA
Especialista en Peligros Geológicos
INGEMMET

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

9. 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

Fidel, L.; Zavala, B; Núñez, S. & Valenzuela, G. (2006) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 4. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 29, 376 p., 19 mapas. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12544/263.

Cobbing, E.J.; Sánchez, A.; Martínez, W. & Zárate, H. (1996) - Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca. Hojas: 20-h, 20-i, 20-j, 21-i, 21-j. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 76, 297 p. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12544/199

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.

Luque, G.; Rosado, M.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M. (2020) - Peligro geológico en la región Lima. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica, 76, 298 p., 9 mapas.

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.

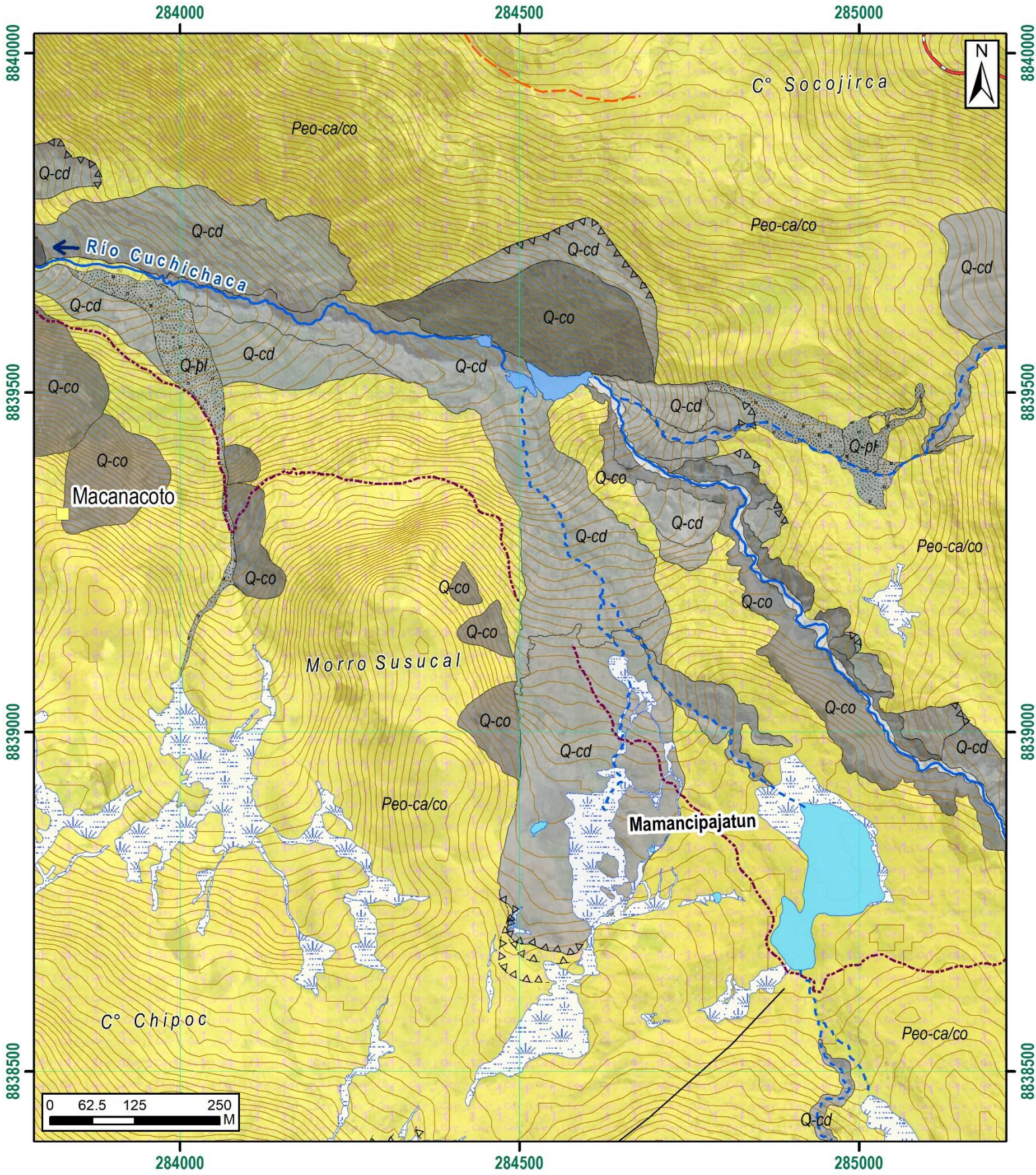
Romero, D., Latorre, O. (2003) - Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Oyón (22-j) - Cuadrante III. Escala 1:50 000. INGEMMET. Memorias descriptivas. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12544/2167.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2020) – SENAMHI. (consulta: Julio 2022). Disponible en: https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones.

Servicio Nacional de Meteorologica 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.

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 aluvial
Q-pl	Depósito proluvial
Q-co	Depósito coluvial
Q-cd	Depósito coluvio-deluvial
Peo-ca/co	Grupo Calipuy

Simbología

Lineamientos — Escarpes

SIMBOLOGÍA

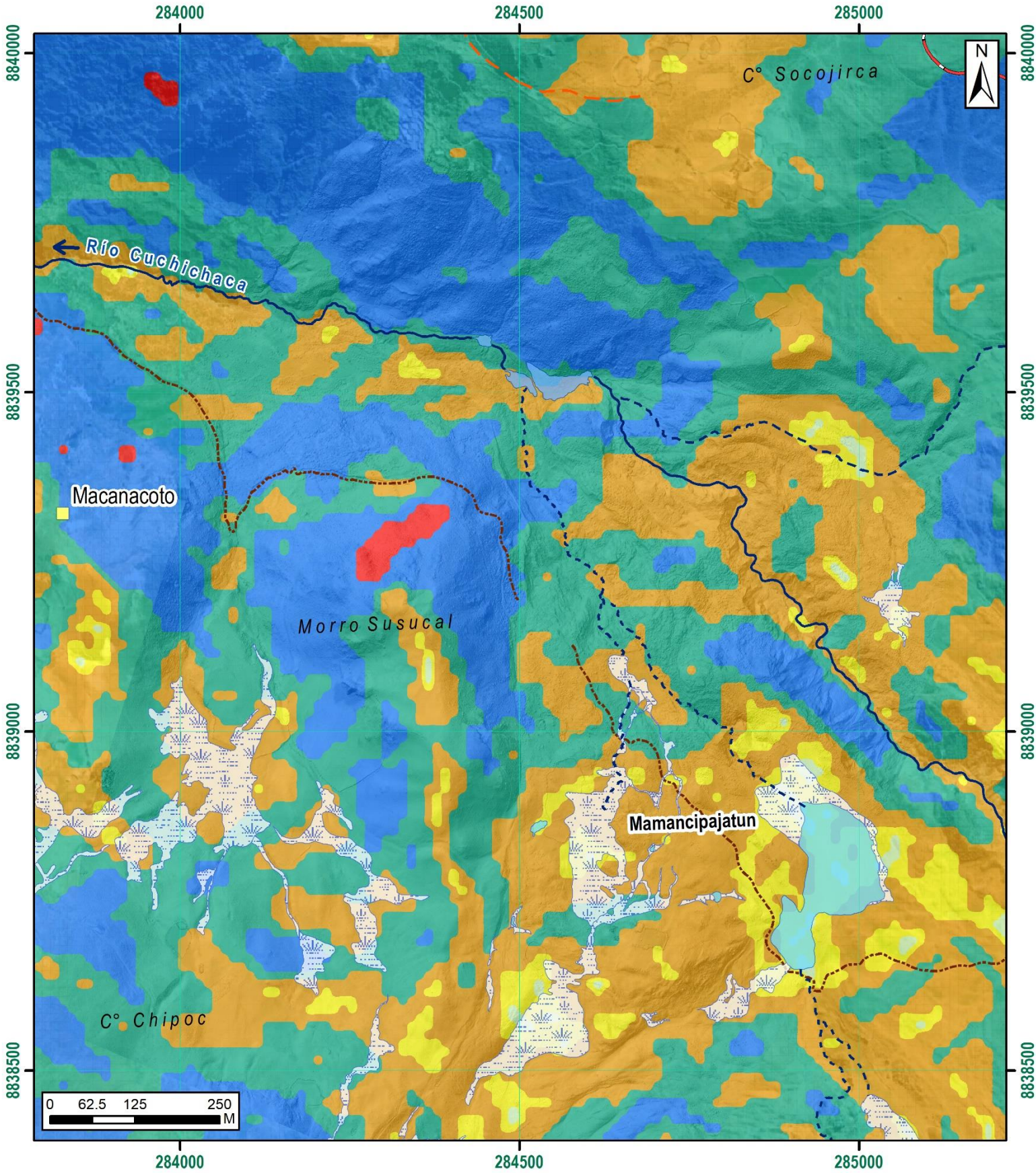
- Vía nacional
- Trocha carrozable
- Camino de herradura
- Curvas de nivel
- Río — Drenaje
- Bofedales
- Cuerpos de agua
- Embalse

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO: LIMA
PROVINCIA: CAJATAMBO
DISTRITO: CAJATAMBO

Geológico

Escala: 1/7,500	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 01
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Julio, 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

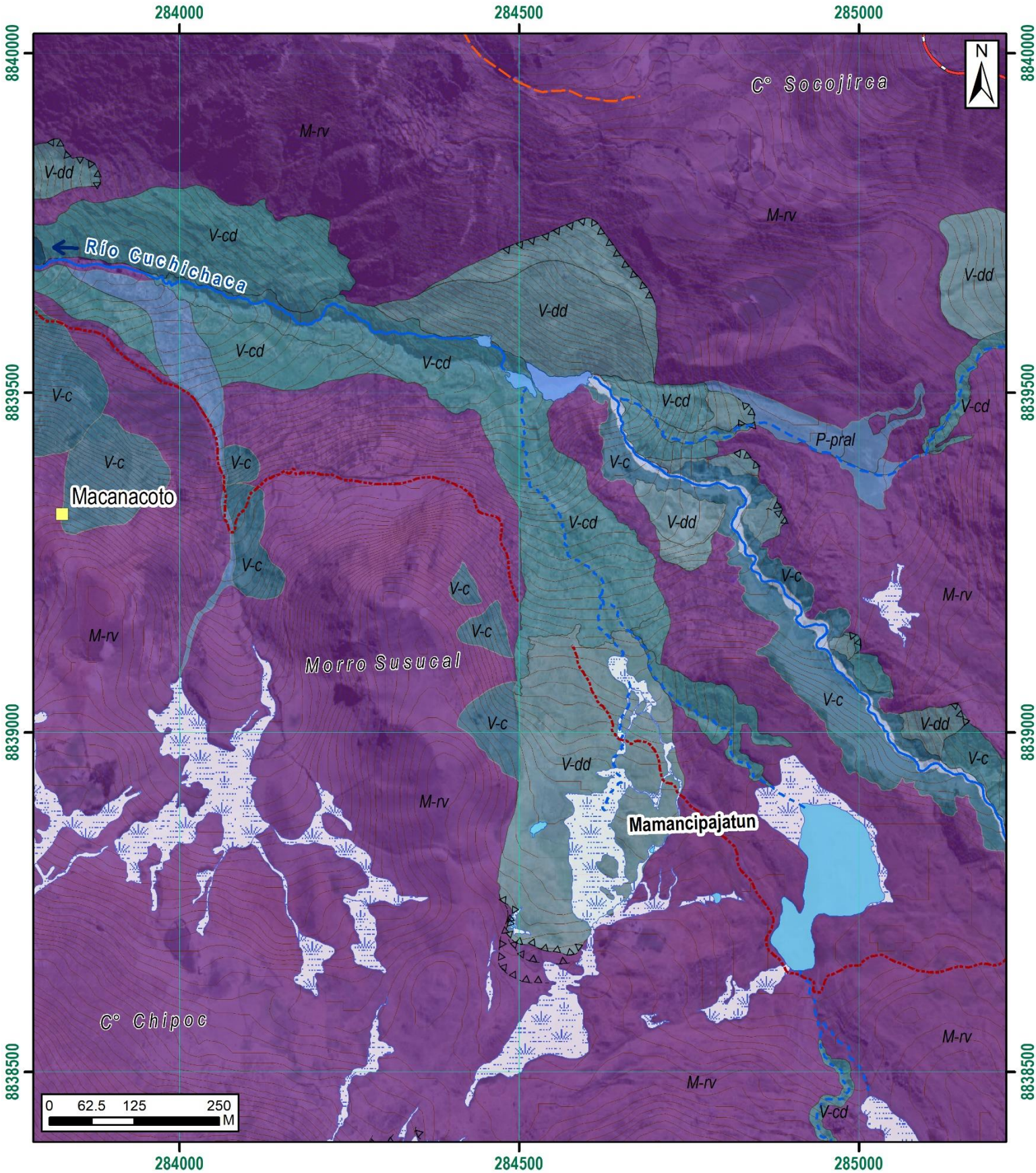
- Vía nacional
- Trocha carrozable
- Camino de herradura
- Río
- Drenaje
- Bofedales
- Cuerpos de agua
- Embalse

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO: LIMA
PROVINCIA: CAJATAMBO
DISTRITO: CAJATAMBO

PENDIENTES DE LOS TERRENOS

Escala: 1/7,500	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 02
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Julio, 2022	



LEYENDA

M-rv	Montaña en roca volcánica
V-c	Vertiente coluvial
V-cd	Vertiente coluvio-deluvial
V-dd	Vertiente con depósito de deslizamiento
P-pral	Piedemonte proluvial o aluviotorrencial
T-f	Terraza fluvial

SIMBOLOGÍA

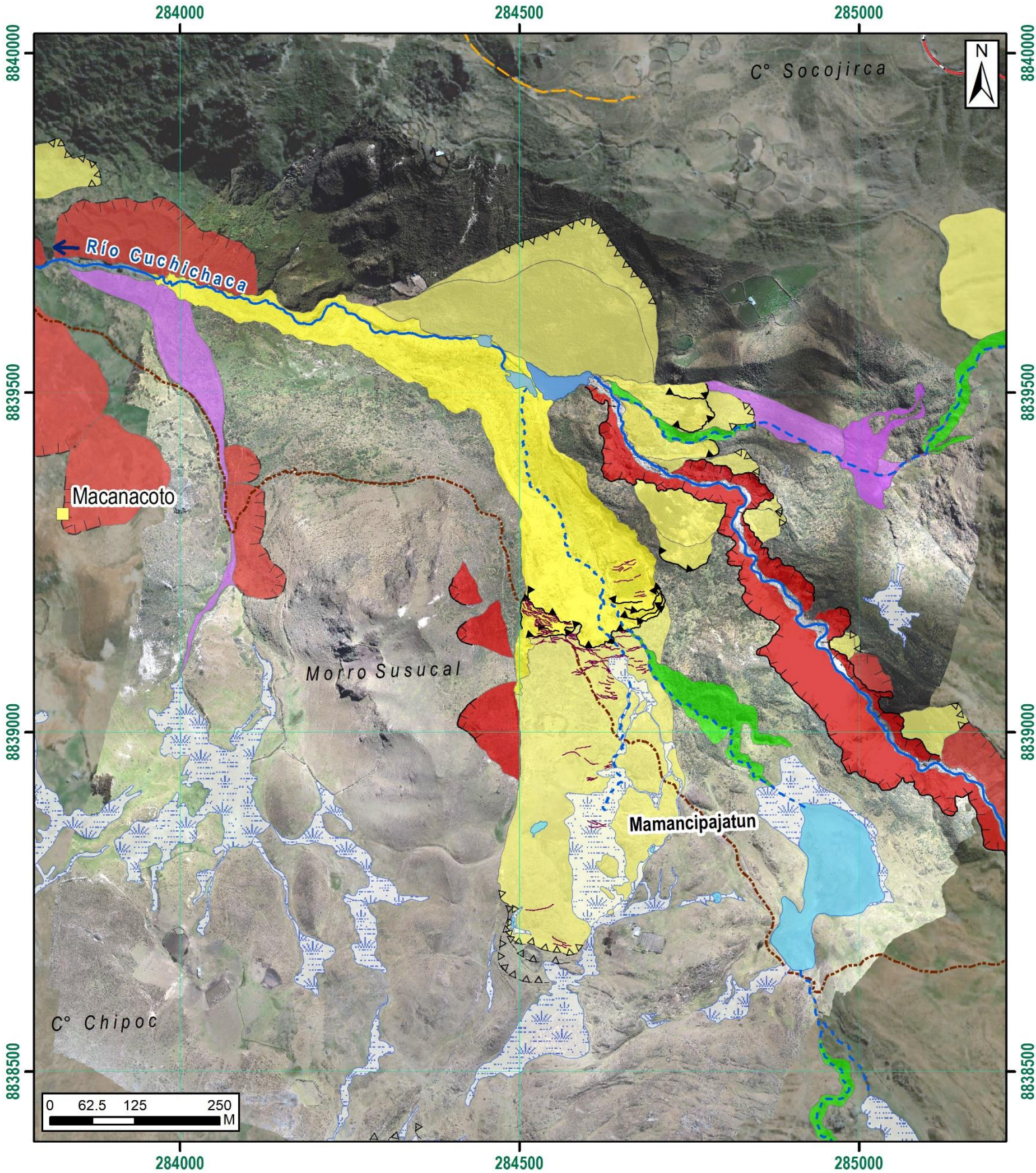
- Vía nacional
- Trocha carrozable
- Camino de herradura
- Curvas de nivel
- Escarpes
- Río
- Drenaje
- Bofedales
- Cuerpos de agua
- Embalse

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO: LIMA
PROVINCIA: CAJATAMBO
DISTRITO: CAJATAMBO

Geomorfológico

Escala: 1/7,500	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 03
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Julio, 2022	



LEYENDA

- Derrumbe, Activo
- Derrumbe, Inactivo-latente
- Deslizamiento-flujo, Activo
- Deslizamiento, Activo
- Deslizamiento, Inactivo-latente
- Erosión en cárcava, Activo
- Flujo de detritos, Activo
- Flujo de detritos, Inactivo-latente

TRAMA

- Escarpa de derrumbe antiguo
- Escarpa de derrumbe reciente
- Escarpa de deslizamiento antiguo
- Escarpa de deslizamiento activo
- Grietas

SIMBOLOGÍA

- Vía nacional
- Trocha carrozable
- Camino de herradura
- Río
- Drenaje
- Bofedales
- Cuerpos de agua
- Embalse

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO: LIMA
PROVINCIA: CAJATAMBO
DISTRITO: CAJATAMBO

PROCESOS DE MOVIMIENTOS EN MASA

Escala: 1/7,500	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 04
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Julio, 2022	

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) 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 21).

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.

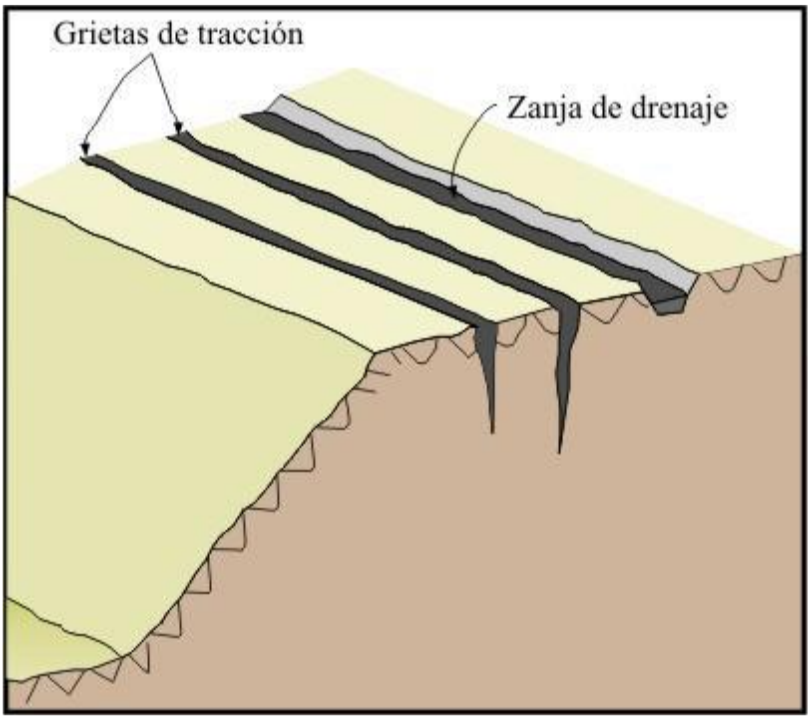


Figura 21. Canales de coronación.

3) Diques en la corona del talud

Son diques en relleno, colocados arriba de la corona, con el objeto de desviar hacia los lados las aguas de escorrentía.

4) **Drenes Franceses.**

Son zanjas rellenas de material granular grueso que tienen por objetivo captar y conducir las aguas de escorrentía.

5) Trinchos o Cortacorrientes.

Consisten en diques a través del talud para desviar lateralmente, las aguas de escorrentía.

6) Sellado de grietas con arcilla o mortero.

El objeto es impedir la infiltración de agua hacia el deslizamiento.

7) Canales colectores en Espina de Pescado.

Para disminuir la infiltración de agua en las áreas grandes arriba del talud, se construyen canales colectores en Espina de Pescado, los cuales conducen las aguas colectadas fuera de las áreas vulnerables del talud, entregándolas generalmente a los canales en gradería o torrenteras. Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la nuevamente la infiltración del agua