

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

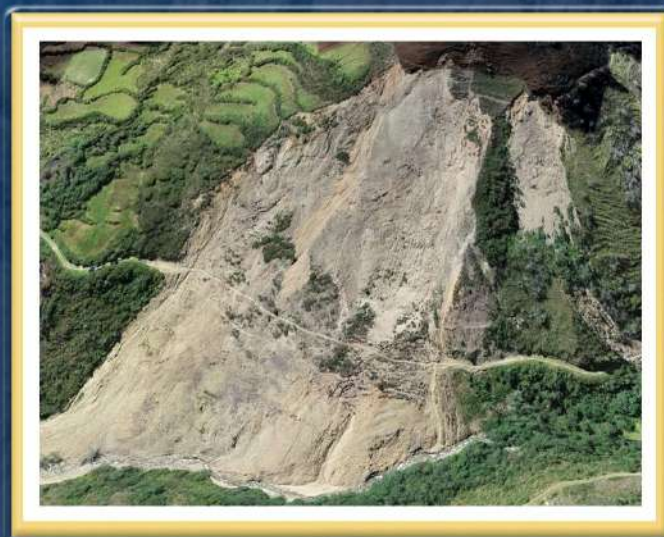
Informe Técnico N° A7620

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES HUAYAPAG Y TINGO

Departamento: Huánuco

Provincias: Ambo

Distrito: San Rafael



**MAYO
2025**

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES HUAYAPAG Y TINGO

(Distrito San Rafael, Provincia Ambo, Departamento Huánuco)



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

Equipo Técnico:

*Wilson Gómez Cahuaya
Griselda Ofelia Luque Poma*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2025). *Evaluación de peligros geológicos en los sectores Huayapag y Tingo*. Distrito San Rafael, provincia Ambo, departamento Huánuco. Lima: Ingemmet, Informe Técnico N° A7620, 60 p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Objetivos del estudio	6
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	7
1.3. Aspectos generales.....	7
1.3.1. Ubicación.....	7
1.3.2. Población.....	8
1.3.3. Accesibilidad.....	10
1.3.4. Clima	11
1.3.5. Sismos.....	13
2. DEFINICIONES	14
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	16
3.1. Complejo Metamórfico del Maraón	18
3.2. Grupo Ambo	18
3.3. Grupo Copacabana	20
3.4. Grupo Mitu	21
3.5. Depósitos Cuaternarios.....	22
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	25
4.1. Pendientes del terreno.....	25
4.2. Unidades geomorfológicas.....	26
4.2.1. Subunidad de Montañas en Roca Metamórfica (RM-rm)	27
4.2.2. Subunidad de Montaña en Rocas Sedimentarias (RM-rs)	28
4.2.3. Vertiente coluvio-deluvial (V-cd)	28
4.2.4. Vertiente aluvio-torrencial (P-at).....	29
4.2.5. Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd).....	29
4.2.6. Vertiente o Piedemonte proluvio-aluvial (V-pa).....	29
4.2.7. Vertiente coluvial de detritos (V-d)	29
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	29
5.1. Movimientos en masa en el sector Tingo	31
5.1.1. Derrumbe.....	31
5.1.2. Deslizamientos antiguos	36
5.2. Movimientos en masa en el sector Huayapag	37
5.2.1. Derrumbe y flujo de detritos.....	37
5.2.2. Reptación de suelo	40

5.3. Factores condicionantes.....	42
5.4. Factores detonantes o desencadenantes.....	43
6. CONCLUSIONES.....	46
7. RECOMENDACIONES.....	48
8. BIBLIOGRAFÍA.....	49
ANEXO 1: MAPAS.....	50
ANEXO 2: PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTIVAS	57

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos asociados a movimientos en masa en los sectores Huayapag y Tingo, ubicados en el distrito San Rafael, provincia Ambo y departamento Huánuco. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico cumple con la función de brindar asistencia técnica en materia de peligros geológicos a los tres niveles de gobierno, es decir: local, regional y nacional.

En el sector Tingo, el basamento rocoso está conformado por el Complejo Metamórfico del Marañón. Su litología está constituida esencialmente por rocas metamórficas bien deformadas y foliadas compuestas de esquistos de cuarzo y micas con un aspecto astilloso. Su grado de deformación revela una intensa actividad tectónica a la que fue sometido en el pasado, el cual, en superficie se manifestaron a manera de fracturas, esquistosidad y discontinuidades. Superficialmente, estas rocas se encuentran muy fracturadas y presentan una moderada a fuerte meteorización.

En el sector Huayapag, las rocas que conforman el substrato rocoso están constituidas por los grupos Ambo, Copacabana y Mitu. El primero, consiste de areniscas gris blanquecinas algo amarillentas en estratos tabulares de 20 y 40 cm de espesor, intercaladas con lutitas. Estos macizos rocosos presentan fracturas con dos sistemas de discontinuidades, y su espaciamiento entre ellas van de 5 a 20 cm, con aberturas de 1 a 3 mm, el cual, se hallan moderadamente a fuertemente meteorizados y moderadamente fracturados. En tanto, el Grupo Copacabana está conformado por calizas, afectadas estructuralmente por fallas y pliegues tumbados que provocaron un cambio en el comportamiento geomecánico de las rocas en superficie, el cual, se manifiesta a manera de fracturas, diaclasas y foliaciones, por lo cual se encuentran muy fracturadas. El Grupo Mitu está compuesto por lutitas intercaladas con limoarcillitas y areniscas arcósicas en estratos delgados que van de 5 a 10 cm de espesor. Sus macizos, son catalogadas como rocas de mala calidad por estar altamente meteorizadas y muy fracturadas, lo que las asocian directamente con procesos gravitacionales que favorecieron la generación de movimientos en masa.

Los depósitos coluvio-deluviales, representan secuencias muy incompetentes provenientes de antiguos procesos de movimientos en masa que fueron afectados por una dinámica deluvial y que están constituidos por fragmentos heterométricos inmersos en una matriz arcillo limosa y arenosa. Por su naturaleza suelta e inconsolidada, se caracterizan por tener una baja cohesión que ofrecen una baja resistencia a la erosión, lo que las convierten en zonas susceptibles a remoción en masa.

Desde el punto de vista geomorfológico, en el sector Tingo, los eventos de movimientos en masa ocurridos se iniciaron en una ladera con pendiente muy fuerte (25° a 45°), emplazada en una montaña modelada en roca metamórfica. Por su parte, la vertiente coluvio-deluvial conformado por depósitos no consolidados e incompetentes que provienen de antiguos eventos, fueron dispuestos sobre una pendiente muy fuerte ubicadas al oeste del cerro Chunas. Mientras que, en el sector Huayapag, fueron acumulados y depositados sobre una ladera con pendiente fuerte a muy fuerte que van de 15° a 25° y de 25 a 45°.

Los peligros geológicos identificados en los sectores Tingo y Huayapag, son de tipo deslizamientos antiguos, derrumbes, derrumbe-flujo y reptación de suelos.

De acuerdo a las características geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se considera al sector Tingo como **Peligro Alto**, ante la ocurrencia de derrumbes que compromete la trocha carrozable Chacos-Tingo. Por su parte, el sector Huayapag se considera como **Peligro Alto** por derrumbes y flujo de detritos, así como procesos de reptación de suelos que podrían desencadenar eventos de mayor magnitud.

Finalmente, se recomienda a las autoridades competentes y tomadores de decisiones, implementar medidas para mitigar los peligros geológicos identificados. Ante derrumbes, se sugiere la construcción de zanjas de coronación en la cabecera de la superficie de arranque de los derrumbes, con una sección de material impermeable (geomembranas o arcillas), sellar los agrietamientos a fin de evitar la infiltración de agua durante lluvias intensas y prolongadas, con el objetivo de derivar las aguas de escorrentía superficial a otro cauce, y reforestar las laderas con especies nativas y raíces densas a fin de contribuir con una mayor resistencia y cohesión a los suelos incompetentes. Ante flujo de detritos, se propone implementar la descolmatación y mantenimiento periódico del cauce de la quebrada y considerar la construcción de defensas ribereñas como enrocado y gaviones en puntos más críticos a lo largo del cauce de la quebrada. Y, por último, se recomienda realizar el EVAR correspondiente.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) el “Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 16)”, 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 del distrito San Rafael, según Oficio N°020-2024-MDSR/A. Es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa y otros peligros geológicos en el sector de la comunidad campesina Huayapag y la localidad de Tingo, centro poblado Chacos, distrito San Rafael, provincia Ambo y departamento de Huánuco.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Geólogos Wilson Gómez Cahuaya y Griselda Ofelia Luque Poma para realizar la evaluación de peligros geológicos respectiva, en los sectores previamente mencionados, el cual se efectuó en coordinación con la Oficina de Defensa Civil del distrito de San Rafael.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: i) Pre-campo, con la recopilación de antecedentes de estudios de geología, geodinámica externa y geomorfología del INGEMMET; ii) Campo, la cual consistió en la observación geológica, toma y medición de datos estructurales (levantamiento fotogramétrico con dron, captura de imágenes fotográficas), cartografiado al detalle, recopilación de información y testimonios de población local afectada; iii) etapa final de gabinete, donde se realizó el procesamiento digital e interpretación de toda la data extraída en campo, que involucra fotointerpretación cartográfica geológico-estructural y geodinámica para la identificación de procesos de movimientos en masa a través de imágenes satelitales que ofrece la plataforma Google Earth, ortomosaico generado a partir del levantamiento fotogramétrico con dron, elaboración de mapas, figuras temáticas y finalmente redacción del informe final.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de San Rafael e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – SINAGERD, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - CENEPRED, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664. A fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente estudio tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en el Sector de la comunidad campesina Huayapag y la localidad de Tingo, distrito de San Rafael, provincia de Ambo y región de Huánuco.
- 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°34, serie C, Geodinámica e ingeniería geológica: Estudios de riesgos geológicos en la región de Huánuco (Zavala & Vilchez 2006). De acuerdo a la evaluación de campo en la infraestructura, centros poblados y zonas críticas validadas además de los mapas de amenaza a los movimientos en masa, determinó, por las características de potencialidad del peligro y vulnerabilidad asociada, un total de 60 zonas críticas, donde resaltan en importancia las áreas de: Tecte, San Rafael, San Juan de Cashayo y tramos de carretera entre Ambo - San Rafael y Ambo-Huácar-Yanahuanca, sectores muy susceptibles a peligros por movimientos de masa como derrumbes, huaycos, deslizamientos, movimientos complejos e inundaciones.
- B) Mapa del Cuadrángulo de Ambo (hoja 21k1) a escala 1:50,000. Carta Geológica Nacional, elaborado por Cueva et al. (inédito). En donde, describe las unidades litoestratigráficas a escala 1:50 000, principalmente rocas metamórficas de edad neoproterozoica de naturaleza gneis, anfibolita y esquistos del Complejo Metamórfico del Marañón y de las unidades sedimentarias paleozoicas de los grupos Ambo, Copacabana y Mitu.
- C) Boletín N°77 serie L, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores. Hojas: 21-k, 22-k, 23-k” de Cobbing et al., (1966). Describe la geología regional presente en la zona evaluada.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El sector Huayapag se ubica a 4 km en línea recta al oeste de distrito de San Rafael, a una altura 2720 m s.n.m. Mientras que, el sector Tingo se ubica a 5.6 km al sureste. Ambos sectores se encuentran entre las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 s) que se muestran en la tabla 1 y tabla 2 respetivamente.

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio del sector Huayapag.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	365321.42	8857201.58	-76.23006°	-10.33579°
2	367894.63	8857201.58	-76.20656°	-10.33587°
3	367894.63	8855613.18	-76.20662°	-10.35024°
4	365321.42	8855613.18	76.23012°	-10.35015°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
	366444.15	8856471.10	-76.21983°	-10.34243°

Tabla 2. Coordenadas del área de estudio del sector Tingo.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	370690.21	8852372.84	-76.18120°	-10.37963°
2	373072.81	8852372.84	-76.15943°	-10.37971°
3	373072.81	8850720.91	-76.15949°	-10.39465°
4	370690.21	8850720.91	-76.18125°	-10.39457°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
	371962.99	8851531.68	-76.16960°	-10.38729°

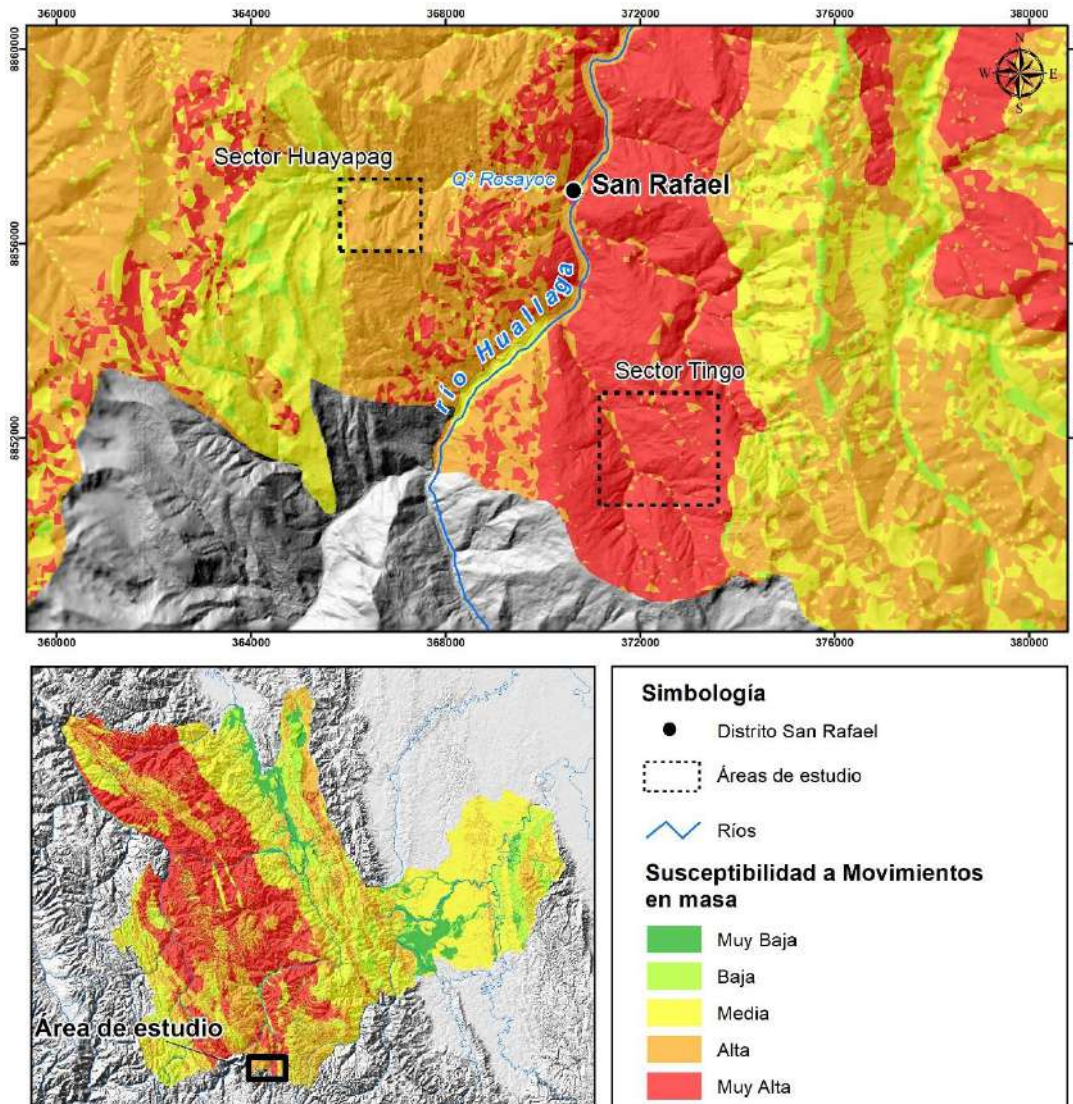


Figura 1. Susceptibilidad a los movimientos en masa para los sectores de Huayapag y Tingo, donde muestran valores de Alta a Muy Alta respectivamente. Tomado de Zavala & Vélchez (2006).

1.3.2. Población

De acuerdo con la información del XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas del 2017, el sector que podría enfrentar peligros geológicos por flujo de detritos ocasionado por el derrumbe en la zona de Huayapag es el distrito de San Rafael, se trata de una zona en la desembocadura de la quebrada Rosayoc que se

extiende a manera de un abanico que afectaría parte de la población. Esto, comprometería tres instituciones educativas, dos puentes y la comisaría de la PNP (Figura 4).

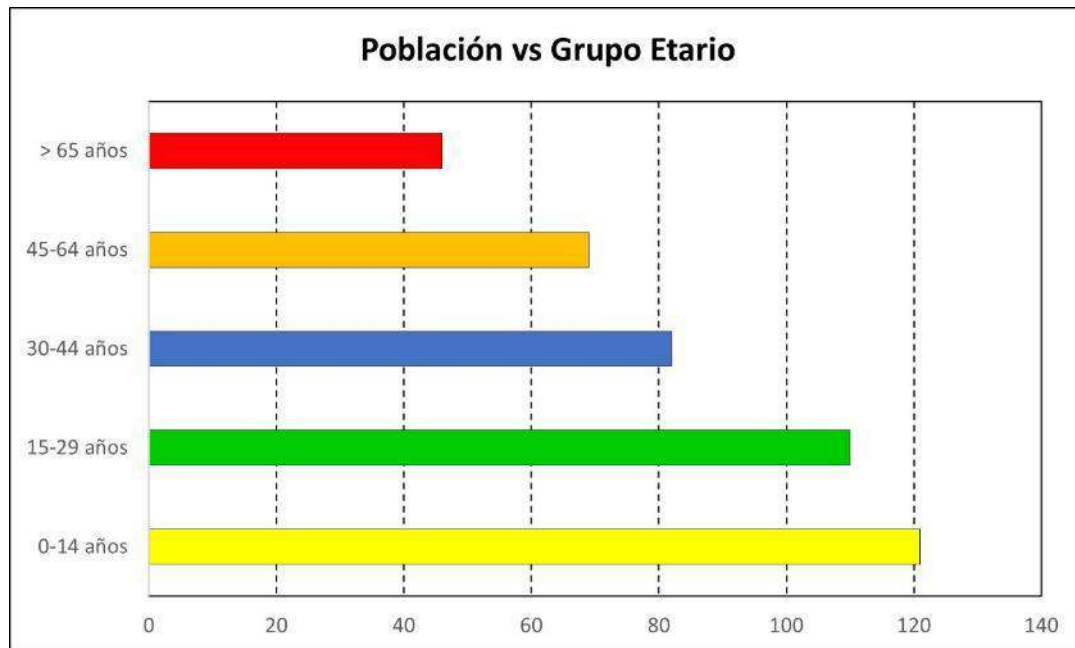


Figura 2. Distribución poblacional de la zona susceptible a peligro geológico por flujo de detritos en el distrito de San Rafael. Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2017).

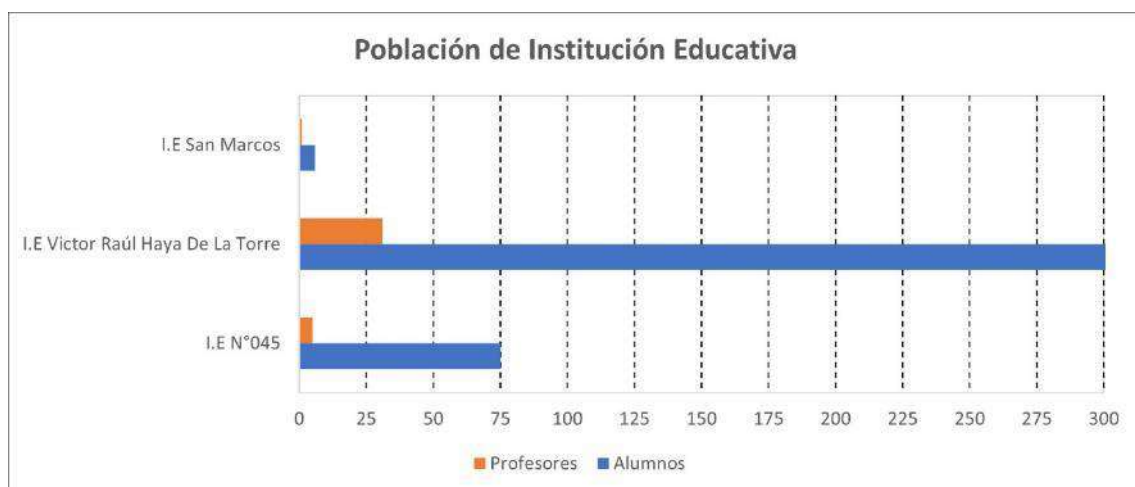


Figura 3. Distribución total de estudiantes de las instituciones educativas que podrían ser afectadas de materializarse un flujo de detritos proveniente del sector Huayapag. Fuente: <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/mapa>

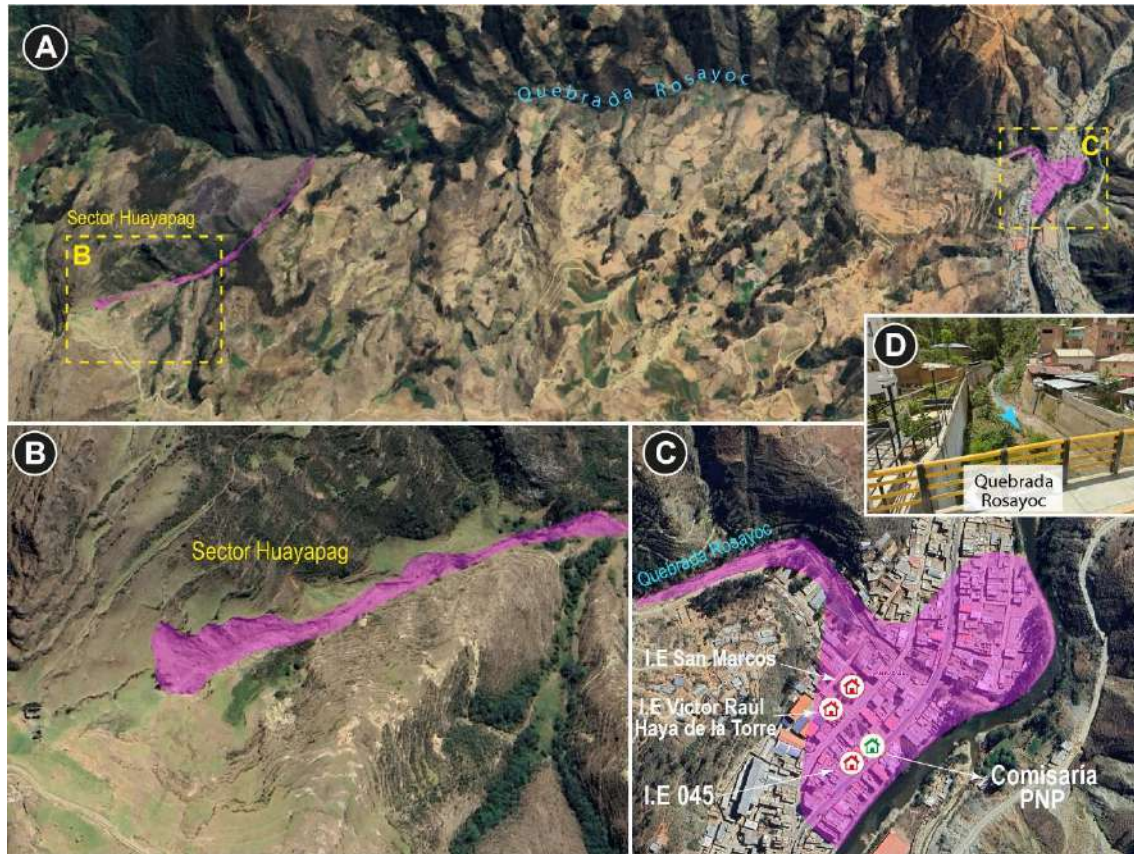


Figura 4. A) Zona susceptible de la población del distrito de San Rafael de desencadenarse un flujo de detritos que involucre gran volumen de material, capaz de llegar a la población mencionada. B) y C) Detalle de la zona de origen y zona de afectación de producirse el evento. D) Detalle del cauce de la quebrada Rosayoc a la entrada del poblado San Rafael.

1.3.3. Accesibilidad

Para acceder a los puntos de evaluación, desde la oficina del INGEMMET, ubicada en el distrito de San Borja, Lima, se sigue la ruta que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 3. Rutas de acceso.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Ciudad de Lima (INGEMMET) – San Rafael (Huánuco)	Asfaltada	385 km	9h
San Rafael – C.P. Santa Rosa de Huayapag	Trocha carrozable	6 km	18 min
San Rafael – C.P. Chacos	Trocha carrozable	8.6 km	22 min

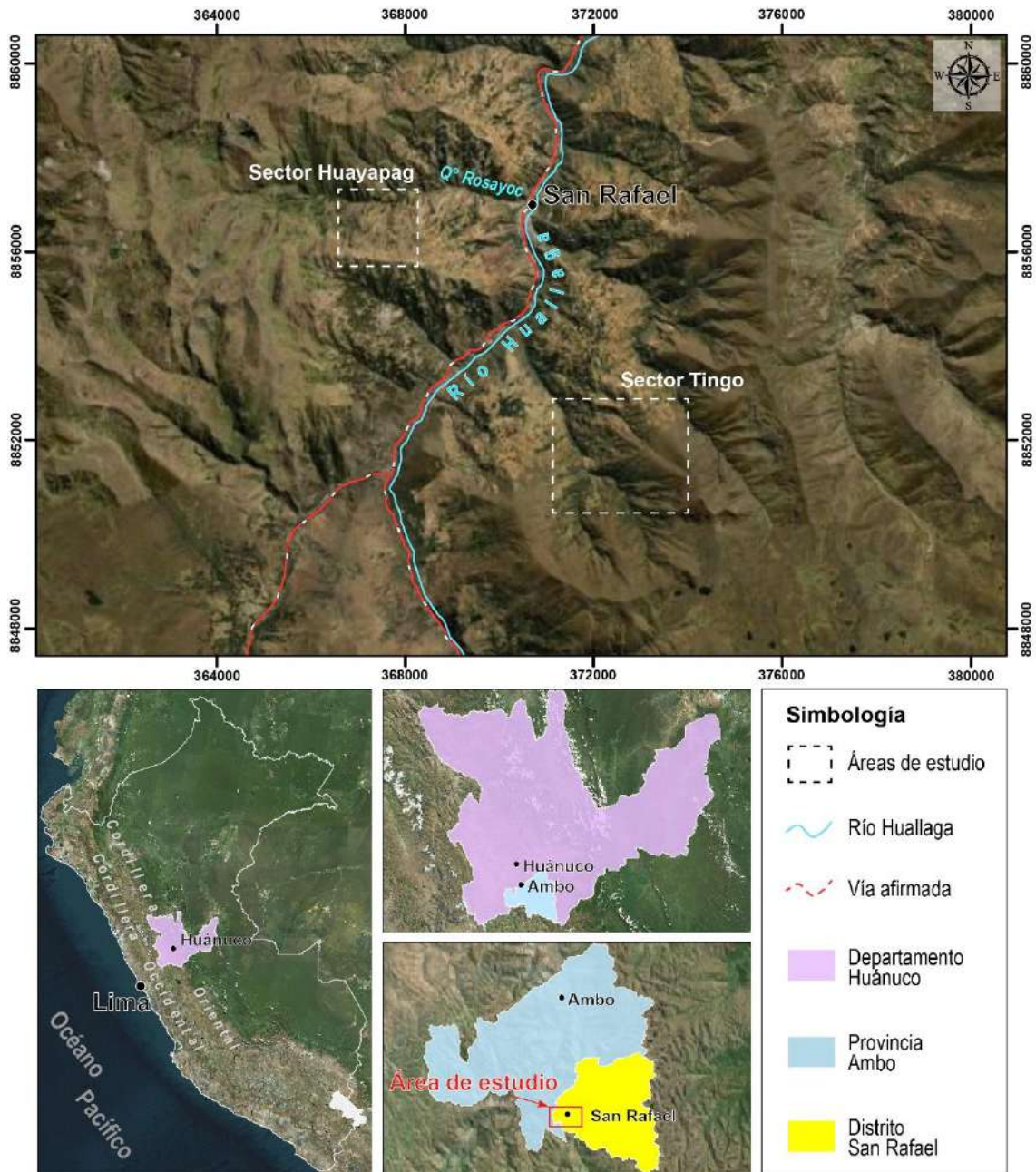


Figura 5. Ubicación de los sectores Huayapag y Tingo, pertenecientes al distrito San Rafael, provincia Ambo, departamento Huánuco.

1.3.4. Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), los sectores Huayapag y Tingo del distrito de San Rafael presentan tres tipos de climas de los 38 definidos en la clasificación a nivel nacional. Estos climas varían de templado a frío (Tabla 4 y Figura 6).

Tabla 4: Tabla de tipo de climas en el distrito de San Rafael. Fuente:
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>

Simbología	Descripción
B (o, i) C'	Lluvioso con otoño e invierno secos. (Frío)
B (r) B'	Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. (Templado)
C (r) B'	Semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año. (Templado)

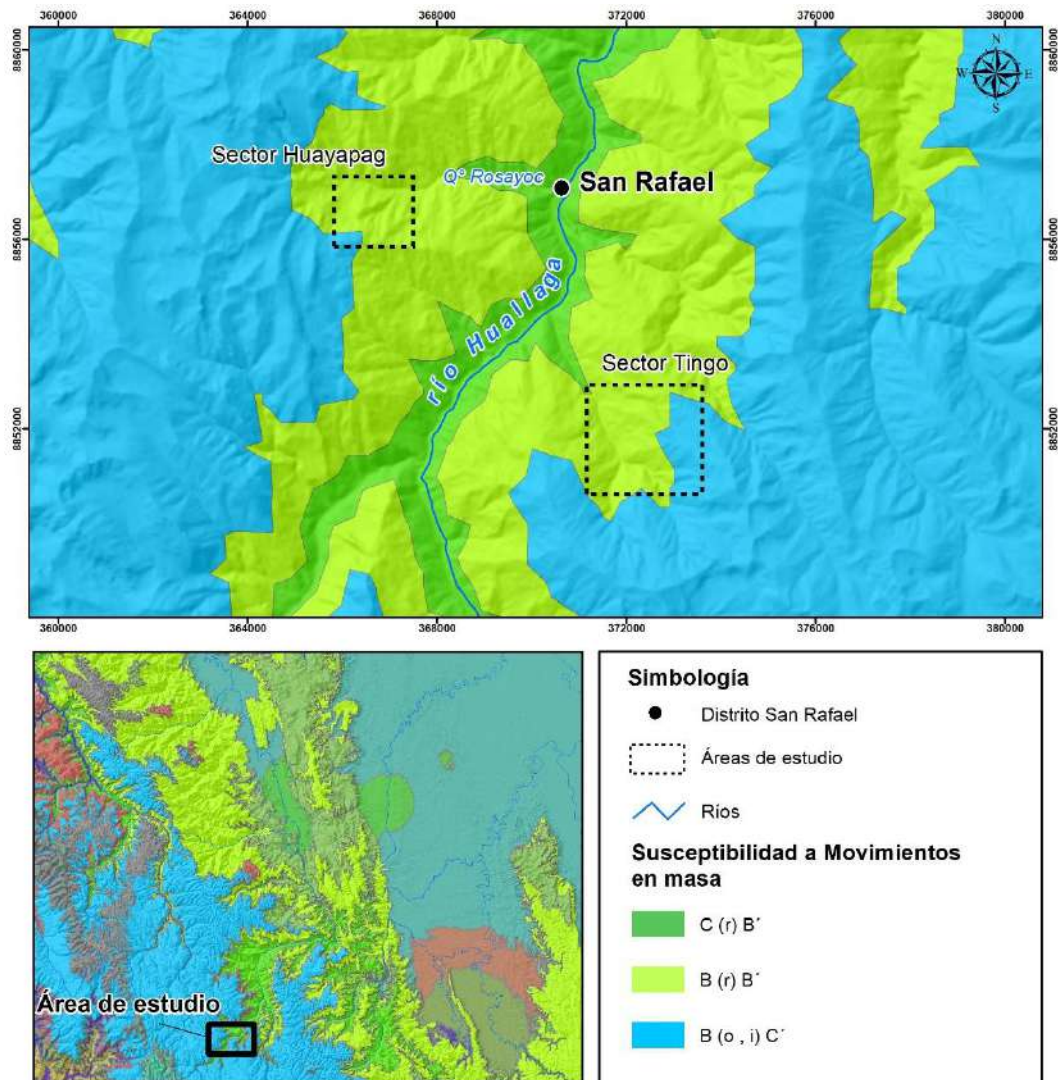


Figura 6. Variación de climas entre los sectores Huayapag y Tingo. Fuente:
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>

Respecto a las precipitaciones pluviales, según datos meteorológicos y pronóstico del tiempo del servicio de aWhere (que analiza datos de 2 millones de estaciones meteorológicas virtuales en todo el mundo, combinándolos con datos ráster y de satélite). Se analizó los registros de precipitaciones diarias desde el año 2022 hasta 2025 concluyéndose que en la zona de evaluación se registró mayor precipitación en los meses de febrero, marzo y abril, observándose, valores como 22.3, 36.1 y 47.1 mm,

los cuales, representan los valores pico del año 2022, 2023 y 2024, respectivamente (**Figura 7**).

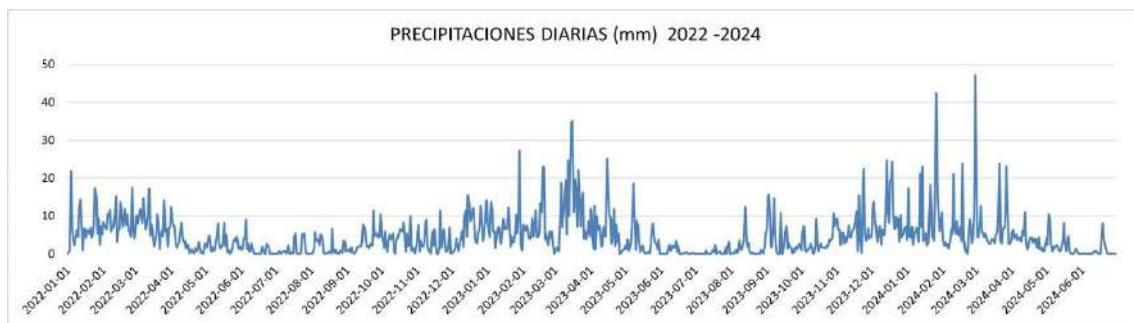


Figura 7. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del año 2023. Fuente: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history>

Con respecto al análisis de la figura 8 que muestra la comparativa entre las temperaturas máximas y mínimas, en base a los datos históricos extraídos del servicio aWhere, se puede observar que en promedio presenta una temperatura máxima de 17°C y una temperatura mínima bajo cero de hasta - 5°C, a lo largo del año 2023 (**Figura 8**).



Figura 8. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del año 2023. Fuente: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history>

1.3.5. Sismos

Para el estudio de movimientos en masa en los sectores Huayapag y Tingo, se ha analizado la base de datos del IGP, donde se plotea la distribución espacial de los epicentros de sismos ocurridos entre los años 1960 a junio del 2024. Asimismo, se ploteó la traza de las fallas regionales y locales provenientes de la Carta Geológica Nacional (Geocatmin-Ingemmet). El cual, este análisis revela que los sismos superficiales (menores a 30 km de profundidad) con magnitudes entre 4 y 5, podrían estar asociados a las fallas regionales de dirección NNO, así como, el Sistema de Fallas Ticalacayán que por el lado oeste los sectores Huayapag y Tingo (**Tabla 5 y Figura 9**).

Las disparadas por sacudidas sísmicas que afectan a un basamento previamente triturado y deformado a lo largo de una compleja historia geológica y tectónica pasada, como lo observado en el Complejo Metamórfico del Maraón, podrían estar directamente relacionados a la ocurrencia de movimientos en masa, en particular en eventos relevantes de gran magnitud y extensos que involucren gran volumen de material, que afectan laderas con pendientes pronunciadas, como se muestra en el sector Tingo. Asimismo, estas sacudidas sísmicas pueden contribuir significativamente a la inestabilidad de terrenos, incrementando la susceptibilidad por deslizamientos y derrumbes (**Figura 9**).

Tabla 5. Sismos según su profundidad.

Tipo	Profundidad (km)
Superficiales	0 a 30
Intermedios	30 a 100
Profundos	> 100

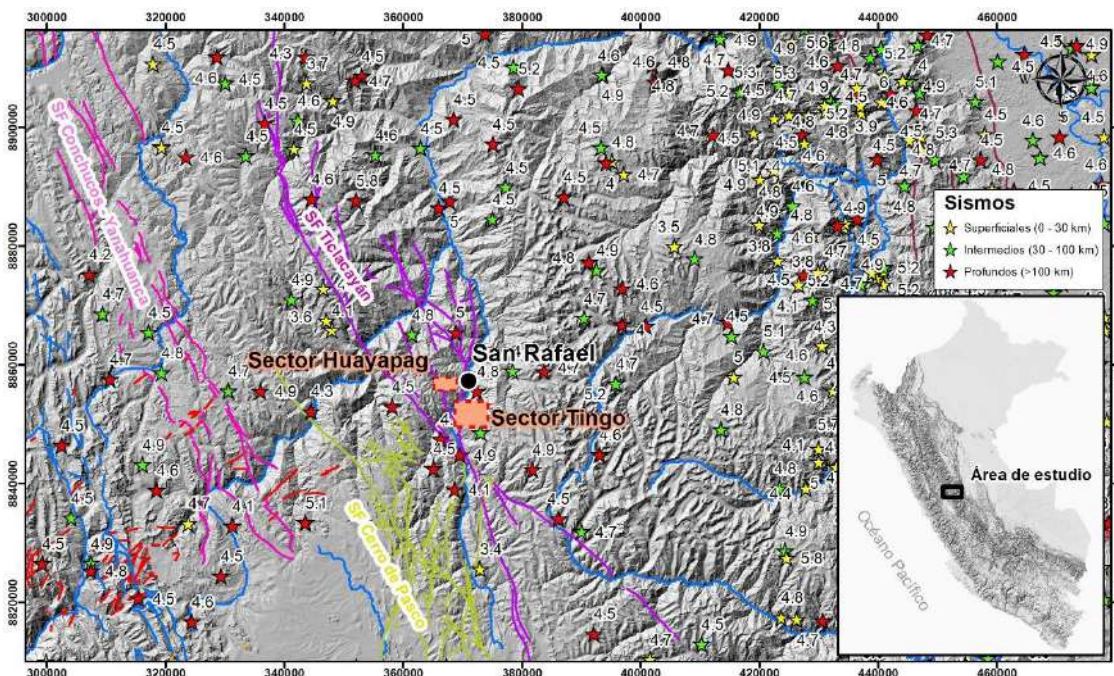


Figura 9. Sismos que podrían estar relacionados a estructuras corticales y Sistema de Fallas (SF) y a los movimientos en masa entre los sectores Huayapag y Tingo del distrito de San Rafael. Los datos fueron descargados de la plataforma del IGP (<https://ultimosismo.igp.gob.pe/descargar-datos-sismicos>). Fuente: elaboración propia.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales de los tres niveles de gobierno, así como a personal no especializado en geología. En este contexto, se abordan diversas terminologías y definiciones relacionadas con la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos. Para facilitar su comprensión, se han tomado como referencia conceptos clave del libro “*Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*”, desarrollado por el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007). En este informe técnico, se presentan definiciones relevantes explicadas en términos sencillos, como las siguientes:

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 (WPWLI, 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.

Caída: Tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de la superficie de un talud, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire, pero con algunos golpes, rebotes y rodamiento. Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. Algunos autores, como Corominas y Yague (1997) denominan colapso a los casos en que el material cae de manera eminentemente vertical

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.

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.

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.

Movimiento Complejo: Varnes (1978) refiere a así a un tipo de movimiento en masa que involucra una combinación de uno o más de los tipos principales de movimiento, ya sea dentro de las diferentes partes que compone la masa en movimiento, o en los diferentes estados de desarrollo del movimiento.

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.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Según el análisis geológico regional, los sectores Tingo y Huayapag se encuentran dentro de una franja de dirección preferencial NO-SE y N-S compuesta por secuencias de rocas sedimentarias y metamórficas que van desde el Precámbrico hasta el Paleozoico superior. Estas unidades están representadas por el Complejo Metamórfico del Marañón, Grupos Ambo, Copacabana y Mitu. El Cuaternario está representado por depósitos aluviales, coluvio-deluviales, coluviales y proluviales.

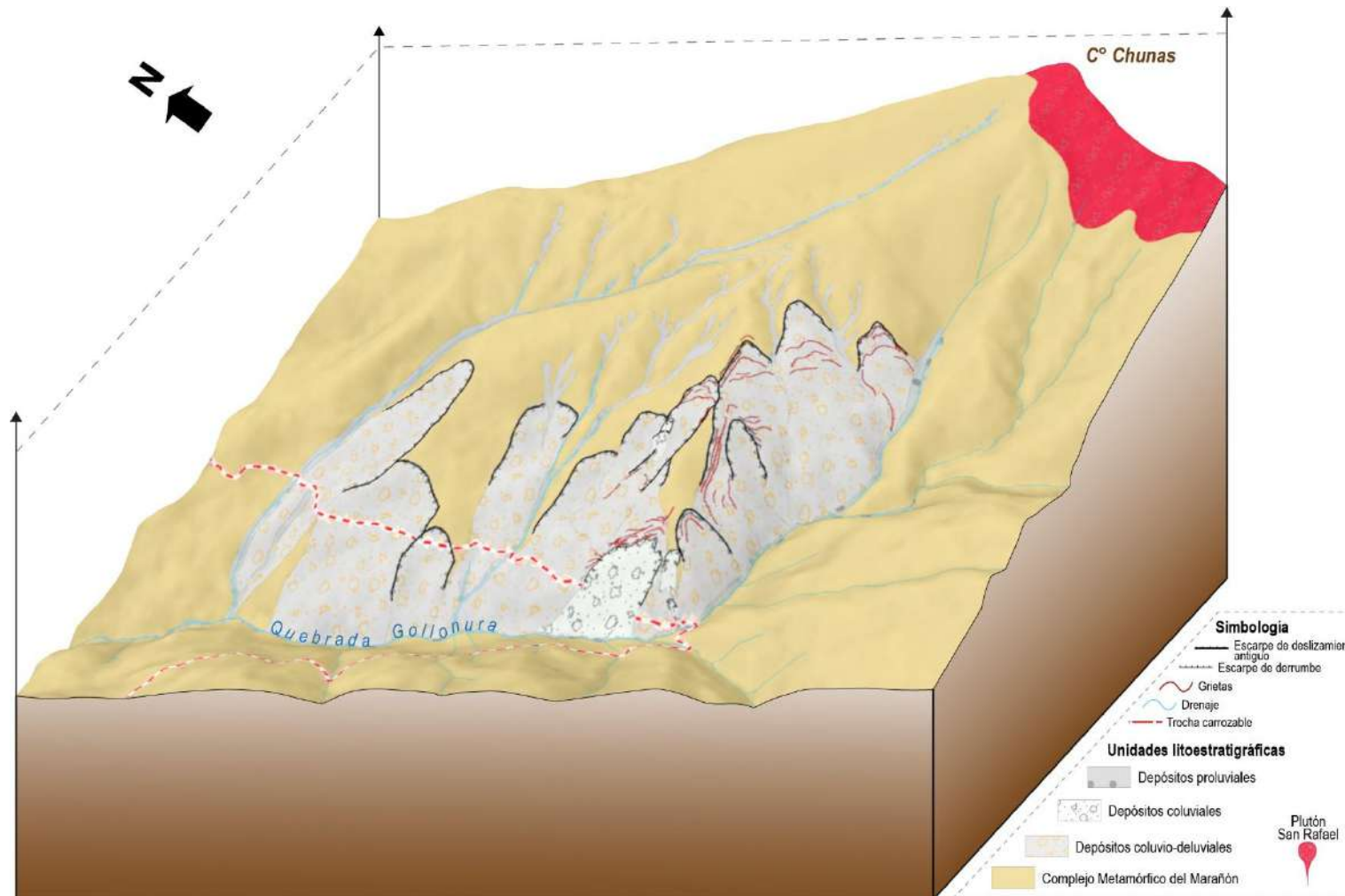


Figura 10. Bloque diagrama tridimensional donde se muestra las unidades litoestratigráficas expuestas en la ladera oeste del cerro Chunas y situadas en la margen derecha de la quebrada Gollonura en el sector Tingo.

3.1. Complejo Metamórfico del Marañón

Fue definido por Wilson & Reyes (1964). Esta unidad geológica representa el basamento de las rocas existentes en el sector Tingo. Aflora ampliamente en la ladera oeste del cerro Chunas (**Figura 10**).

En este sector, aflora esquistos de cuarzo y micas de color gris verdoso con tonalidades gris blanquecinas con aspecto astilloso. Estas rocas exhiben una foliación bien definida con esquistosidad aparentemente paralela a la estratificación. Su grado de deformación revela una intensa actividad tectónica a la que fue sometida en el pasado, el cual, en superficie se manifestaron a manera de fracturas, esquistosidad y discontinuidades. Según lo observado en campo, estas secuencias se encuentran muy fracturadas y presentan superficialmente una moderada a alta meteorización (**Figura 11**).



Figura 11. Esquistos superficialmente bien meteorizados perteneciente al Complejo Metamórfico del Marañón, expuestas en la ladera oeste del cerro Chunas del sector Tingo.

3.2. Grupo Ambo

Esta unidad aflora en la ladera norte del cerro Cruz Punta en el sector Huayapag, se trata de areniscas gris blanquecinas algo amarillentas de grano medio a fino en estratos (S_0) tabulares de 20 y 40 cm de espesor, intercaladas con lutitas gris pardo rojizas (**Figura 12 y 13**).

Este macizo rocoso presenta fracturas con dos familias principales de discontinuidades, sus fracturas tienen un espaciamiento que van de 5 a 20 cm, con aberturas entre 1 a 3 mm. Los planos de discontinuidades presentan una rugosidad lisa a ligeramente rugoso. Según la clasificación de rocas ISRM (1981), el macizo le encuentra moderadamente a fuertemente meteorizado y medianamente fracturado, lo que sugiere un comportamiento geomecánico con baja resistencia a la compresión y un aporte significativo a la inestabilidad de la ladera, que lo convierte en zona con alta susceptibilidad a la generación de movimientos en masa (**Figura 13**).

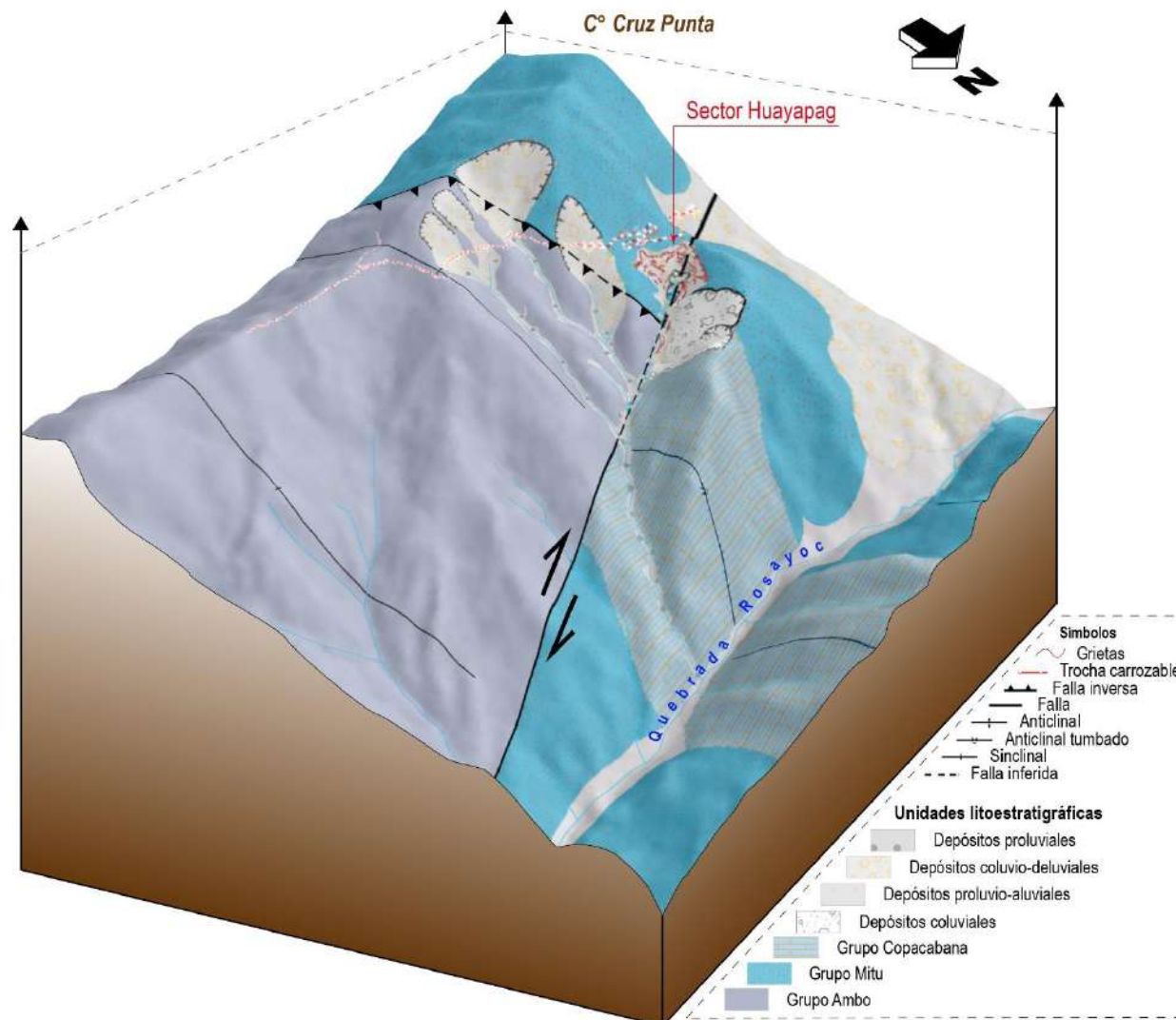


Figura 12. Block diagrama tridimensional donde se muestra las unidades litoestratigráficas aflorantes en el sector Huayapag.



Figura 13. Intercalación de areniscas y lutitas fuertemente meteorizadas y fracturadas del Grupo Ambo en el sector Huayapag (UTM E: 366698, N: 8856124).

3.3. Grupo Copacabana

Esta unidad aflora al noreste del cerro Cruz Punta, se trata de calizas gris oscuras algo margosas de color beige en estratos potentes. Estructuralmente, estas secuencias se encuentran muy deformadas, sus estratos se inclinan fuertemente en favor de la pendiente, debido al plegamiento de sus capas, lo que evidencia una historia geológica y tectónica pasada. Estos eventos tectónicos se manifestaron a través de sinclinales tumbados y fallas, el cual, provocaron un cambio en el comportamiento geomecánico de las rocas en superficie, en el que se traducen a manera de fracturas, diaclasas y foliaciones: Superficialmente se encuentran muy fracturadas y medianamente meteorizadas, lo que les convierte en zonas altamente inestables relacionadas a derrumbes y caída de rocas (**Figuras 12 y 14**).



Figura 14. Unidades litoestratigráficas que afloran en el sector Huayapag. Nótese la interacción geológico-estructural con los depósitos cuaternarios. Vista mirando al norte.

3.4. Grupo Mitu

En el sector Huayapag, el Grupo Mitu aflora en la ladera norte del cerro Cruz Punta, asimismo, ocurre a manera de franjas NOO-SSE con ligera deflexión hacia el NNE que atraviesan transversalmente la quebrada Rosayoc (**Figuras 12 y 15**).

El Grupo Mitu está constituido esencialmente por lutitas de color pardo-rojizas con tonalidades violáceas, intercaladas finamente con limoarcillitas y areniscas arcósicas rojizas en estratos delgados que van de 5 a 10 cm de espesor (**Figura 16**).

El aspecto fisible y las propiedades físicas de las lutitas y limoarcillas del Grupo Mitu, en combinación con efectos de fuerte meteorización y un alto grado de fracturamiento, generan una cobertura de suelos limoarcillosos. Desde una perspectiva geotécnica, sus macizos constituidos por esta litología, son clasificadas como rocas de mala calidad, lo que las convierte en secuencias incompetentes que aportan significativamente a la inestabilidad de la ladera del cerro Cruz Punta y alrededores. Estas condiciones están directamente asociadas con procesos gravitacionales que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa (**Figuras 14 y 16**).



Figura 15. El Grupo Mitu y depósitos coluvio-deluviales en la ladera del cerro Cruz Punta en el sector Huayapag. Vista mirando al sur.



Figura 16. Areniscas arcóscas en estratos delgados intercalado con limoarcillitas pardo rojiza con laminaciones oblicuas con ligera esquistosidad atribuidas al Grupo Mitu.

3.5. Depósitos Cuaternarios

a. Depósitos coluvio-deluviales

En el sector Tingo, estos depósitos se alojan en la ladera occidental del cerro Chunas. Se trata de secuencias inconsolidadas provenientes de suelos residuales del Complejo Metamórfico del Marañón y de depósitos de antiguos deslizamientos, combinados con

procesos gravitacionales y de dinámica deluvial (**Figura 10**). Mientras que, en el sector Huayapag descansan sobre la ladera norte del cerro Cruz Punta, sus depósitos se fueron originados por antiguos derrumbes y erosión laminar que fueron afectados por la dinámica de laderas y deluvial (**Figura 12**).

Los depósitos coluvio-deluviales están conformados esencialmente por fragmentos heterométricos de formas subangulosas a subredondeados envueltos en una matriz arcillo limosa y arenosa. Estas secuencias, por su naturaleza suelta e incompetente se caracterizan por tener una baja cohesión que, ofrecen una baja resistencia a la erosión, lo que las convierten en zonas susceptibles a movimientos en masa (**Figuras 14 y 15**).

b. Depósitos coluviales

En el sector Tingo, estos depósitos afloran en la parte occidental y pie de la ladera del cerro Chunas, adyacente a la margen derecha de la quebrada Gollonura. Se caracterizan por presentar fragmentos heterométricos de formas angulosas y subangulosas que reflejan poco transporte y que fueron acumulados y envueltos en una matriz incipiente de arcillolimosa al pie del talud natural (**Figuras 10 y 17**).

Por su parte, en el sector Huayapag, estos depósitos fueron acumulados en la parte norte del cerro Cruz Punta, actualmente conforman zonas inestables que son fuentes de derrumbes y caída de rocas hacia la quebrada (**Figuras 12 y 14**).



Figura 17. Depósitos coluviales acumulados en la ladera oeste del cerro Chunas en el sector Tingo. Nótese, las características físicas de los bloques y fragmentos que indican poco transporte y que fueron depositados a manera de pequeños cuerpos de canchales dispuesto sobre el talud.

c. Depósitos proluviales

Estos depósitos fueron acumulados a lo largo del cauce de la quebrada Gollonura en el sector Tingo, mientras que, en el sector Huayapag se sitúan en la quebrada local que desemboca a la vertiente de la quebrada Rosayoc (**Figuras 10 y 12**).

Sus depósitos se caracterizan por ser transportados por flujos de detritos o lodo (huaicos) que provienen de la parte alta y canalizados en quebradas. Presentan acumulaciones poco compactas y son permeables que configuran zonas susceptibles a procesos de erosión y arrastre aguas abajo. Están conformados esencialmente por gravas de tamaños heterométricos y arenas dispuestas en algunos casos en terrazas proluviales.



Figura 18. Depósitos proluviales, situados en la ladera norte del cerro Cruz Punta. Estos depósitos fueron arrastrados por procesos de erosión y flujo de detritos que iniciaron en la parte alta por una afluente local que da hacia la quebrada Rosayoc. Vista mirando al sur.

d. Depósitos proluvio-aluviales

Se trata de materiales transportados por escorrentía superficial localizadas en la quebrada Rosayoc en el sector Huayapag.

Los depósitos son de material incompetente constituido de gravas y guijarros de tamaños heterométricos mal seleccionados dispuestos en una matriz areno limosa. Estas secuencias conforman suelos que se caracterizan por presentar baja cohesión y resistencia a la erosión que son fáciles de remover y transportar por escorrentía superficial en épocas de precipitaciones prolongadas y anómalas, el cual, están relacionados con la activación de quebradas y flujo detritos o huaicos (**Figuras 10 y 14**).

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 propagación de las mismas.

Se clasificaron seis rangos de pendientes que van de 0° a 1° correspondientes a terrenos llanos; de 1° a 5° como terrenos ligeramente inclinados con pendiente suave; de 5° a 15° definido como pendientes moderadas; de 15° a 25° clasificados como pendientes fuertes; de 25° a 45° correspondiente a pendientes muy fuertes a escarpadas; y, finalmente, aquellas superiores a 45°, consideradas como terrenos muy escarpados.

Para los sectores evaluados se elaboró un mapa de pendientes a partir de un modelo de elevación digital (DEM) SPOT de 8m de resolución (**Figuras 19 y 20**).

En el sector Tingo, la ladera del cerro Chunas se caracteriza topográficamente por su terreno agreste, en el que, presenta una pendiente muy pronunciada que va de 25° a 45° de inclinación. Esta ladera muestra una clara evidencia con rasgos geomorfológicos que indican actividad de movimientos en masa suscitados en el pasado, sobre esta ladera se instalaron deslizamientos que modificaron significativamente el relieve del terreno con formas semiescalonadas, en la que, en sus depósitos antiguos presentan pendientes moderados que van de 15° a 25° (**Figuras 19, 20 y 21**). Actualmente, estos depósitos representan zonas de alta susceptibilidad a la ocurrencia de derrumbes o la reactivación de deslizamientos.

Por su parte, el sector Huayapag se localiza sobre una ladera con pendientes muy pronunciadas al norte del cerro Cruz Punta. Sus pendientes oscilan entre muy fuertes que van de 25° a 45° a muy escarpada que superan los 45° de inclinación, donde se evidencian movimientos en masa, así como, derrumbes, caída de rocas y suelos en reptación. Mientras que, en el fondo de la quebrada que desemboca a la quebrada Rosayoc, presenta un relieve escalonado con pendientes moderados, que, en promedio oscilan entre 15° a 25°, estas áreas reúnen condiciones a la ocurrencia de flujo de detritos (**Figuras 19 y 20**).



Figura 19. Relieve del terreno con pendientes muy pronunciadas en los sectores Tingo y Huayapag.

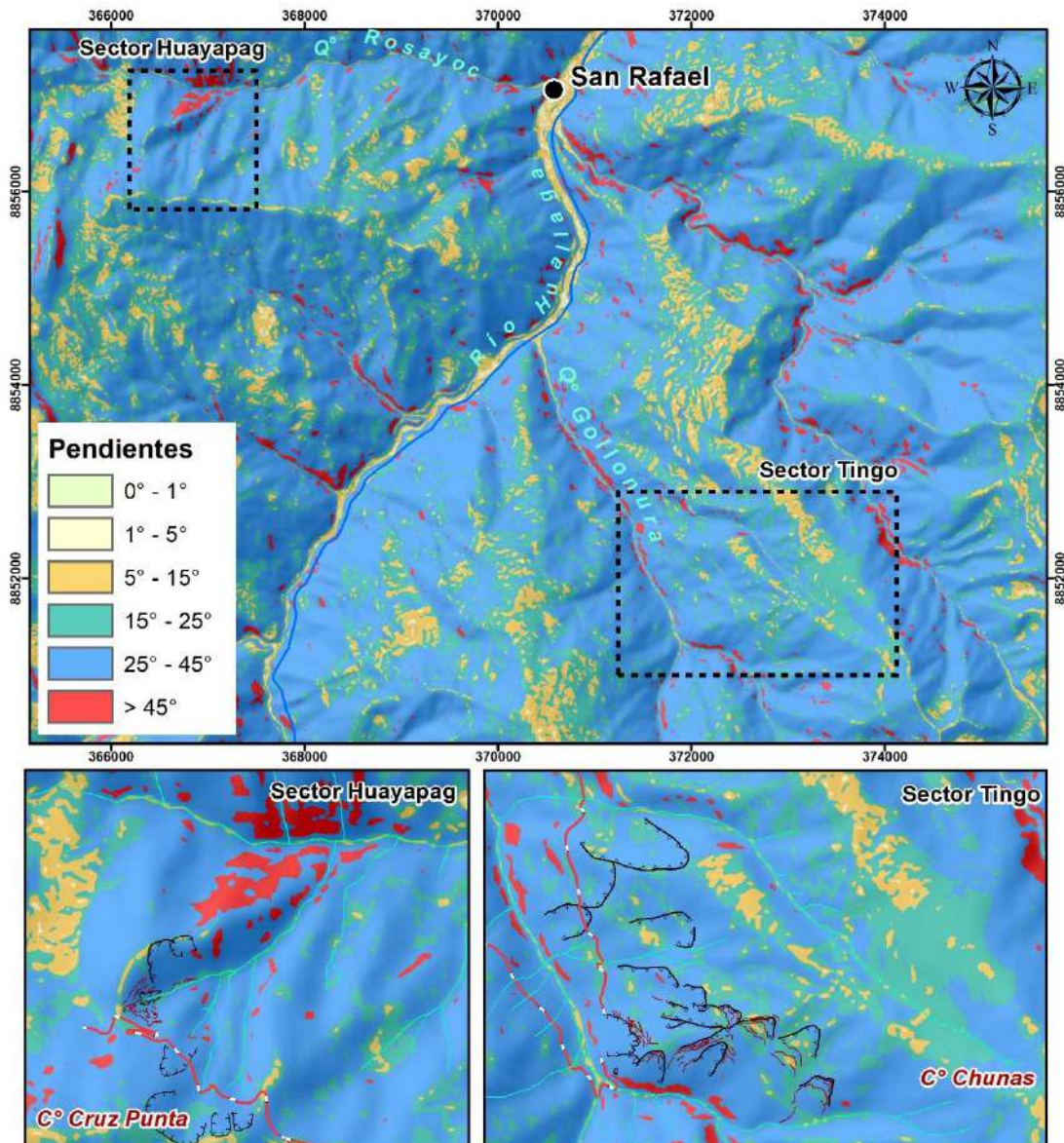


Figura 20. Mapa de pendientes de los sectores Huayapag y Tingo generado a partir de un DEM SPOT de 8 m de resolución.

4.2. Unidades geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas identificadas en los sectores Tingo y Huayapag se describen y distribuyen de la siguiente manera:

Tabla 6: Unidades geomorfológicas en los sectores Tingo y Huayapag.

Unidades geomorfológicas de carácter tectónico degradacional y erosional	
Unidad	Subunidad
Montaña	Montaña en Roca Metamórfica (RM-rm)
	Montaña en Roca Sedimentaria (RM-rs)
Unidades geomorfológicas de carácter depositacional o agradacional	

Unidad	Subunidad
Vertiente	Vertiente con Depósito de Deslizamiento (V-dd)
	Vertiente Coluvio-deluvial (V-cd)
	Vertiente Aluvio-torrencial (P-at)
	Vertiente Aluvial (V-al)
	Vertiente Coluvial de detritos (V-d)

A) Unidad de Montañas

Corresponde a geoformas que alcanzan alturas superiores a los 300 m respecto al nivel de base local (Villota, 2005) donde se reconocen cumbres y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza. En los sectores Tingo y Huayapag se asocian geodinámicamente a procesos de movimientos en masa, así como, deslizamientos, derrumbes, caída de rocas y derrumbe-flujo de detritos.

4.2.1. Subunidad de Montañas en Roca Metamórfica (RM-rm)

Esta unidad se desarrolla ampliamente en el sector Tingo, y se extiende de manera general a lo largo de la ladera norte y la parte occidental del cerro Chunas. Se caracteriza por presentar geoformas modeladas y labradas en rocas metamórficas del Complejo Metamórfico del Maraón, constituido principalmente por esquistos verdes. La topografía de la zona presenta un relieve ondulado en la parte superior y un relieve escalonado en la parte media a inferior del talud. Sus pendientes varían de moderadas (5° a 15°) a fuertes (15° a 25°) en las crestas, y muy fuertes (25° a 45°) en sus laderas.

Esta montaña se encuentra disectado profundamente por la quebrada Gollonura, cuya acción erosiva dio lugar a la formación de un valle juvenil en forma de "V", caracterizado por paredes empinadas y pendientes pronunciadas asociado a procesos fluviales y de intensa dinámica de escorrentía superficial (**Figura 21**).



Figura 21. Unidades geomorfológicas en el sector Tingo. Vista panorámica mirando al sur.

4.2.2. Subunidad de Montaña en Rocas Sedimentarias (RM-rs)

Geoforma ocupada a manera de una franja N-S constituida esencialmente por rocas sedimentarias de los grupos Ambo, Copacabana y Mitu en el sector Huayapag. Su morfología se caracteriza por presentar terrenos con relieves semiescalonadas con pendientes fuertes a muy fuertes que oscilan entre 15° a 25° y de 25° a 45° de inclinación respectivamente.

Estructuralmente, la montaña muestra una incisión que corta transversalmente al cerro Cruz Punta, debido posiblemente al cizallamiento de una estructura fallada que se alinea en la misma dirección, es decir NE-SO. Esta estructura, habría generado zonas de debilidad e inestables que fueron aprovechados por la meteorización, erosión y la dinámica deluvial que dio lugar a la formación suelos residuales y coluvio-deluviales acumulados en la naciente de la quebrada local que se extiende hacia la quebrada Rosayoc (**Figura 22**).



Figura 22. Unidades geomorfológicas en el sector Huayapag. Al fondo se observa la quebrada local y el poblado de San Rafael a la salida de la quebrada Rosayoc. Vista mirando al noreste.

B) Unidad de Vertiente y Piedemonte

Corresponde a depósitos con superficies inclinadas y disectadas que se alojan a lo largo del pie de sistemas montañosos que fueron acumulados sucesivamente de materiales transportados por corrientes de agua provenientes de áreas más elevadas hacia zonas más bajas (Villota, 1991).

4.2.3. Vertiente coluvio-deluvial (V-cd)

En el sector Tingo, estas geoformas se emplazan en la parte media e inferior de la ladera occidental del cerro Chunas (**Figura 21**). Mientras que, en el sector Huayapag se hallan en la parte baja del cerro Cruz Punta (**Figura 22**).

Se trata de materiales coluviales combinadas con la dinámica deluvial constituida por secuencias inconsolidadas dispuestas sobre laderas con pendientes muy pronunciadas, el cual, se caracterizan por presentar baja cohesión y que ofrecen poca resistencia a la erosión y son fácilmente removidas por escorrentía superficial, lo que les convierte en zonas inestables asociadas a movimientos en masa, así como, derrumbes y deslizamientos.

4.2.4. Vertiente aluvio-torrencial (P-at)

Son depósitos de material inconsolidado que alcanzan su mayor desarrollo en terrenos subhorizontales y planicies con pendientes suaves a moderadas. Están conformadas por acumulaciones de sedimentos transportados por corrientes de aguas estacionales.

En el sector Tingo, se extiende a lo largo de la quebrada Gollonura, sus depósitos fueron acarreados por antiguos flujos de detritos, mientras que, en el sector Huayapag se extienden por la quebrada local que desemboca hacia la quebrada Rosayoc (**Figura 22**).

4.2.5. Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

Se denomina así, a las acumulaciones de materiales inconsolidados dispuestos sobre la ladera con pendientes muy pronunciadas originadas por procesos de movimientos en masa que ocurrieron en el pasado, principalmente de deslizamientos instalados en la parte occidental del cerro Chunas del sector Tingo (**Figura 21**).

Por la naturaleza inestable e incompetente de sus depósitos, son áreas propensas y susceptibles a la ocurrencia de derrumbes, reactivación de deslizamientos y procesos de erosiones en cárcavas.

4.2.6. Vertiente o Piedemonte proluvio-aluvial (V-pa)

Estas geoformas se caracterizan por presentar depósitos formados por la acumulación de sedimentos principalmente por escorrentía superficial, acarreadas por la quebrada Rosayoc en épocas de precipitaciones, en el sector Huayapag.

Esta vertiente, se desarrolla en zonas de transición entre áreas de alta pendiente y quebradas con pendientes más suaves, donde favorecen la acumulación de sedimentos. Estas condiciones contribuyen a la generación de flujos de detritos que pueden incrementarse en épocas de precipitaciones pluviales anómalas y prolongadas.

4.2.7. Vertiente coluvial de detritos (V-d)

Corresponde a las geoformas originados por procesos gravitacionales acumulados al pie de un talud, en el sector Huayapag se observa al norte del cerro Cruz Punta. Los detritos son fragmentos de rocas que fueron arrancados de macizos inestables correspondiente al Grupo Copacabana y que luego, han sido acumulados en pendientes muy fuertes (**Figura 22**).

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

En el área estudiada se identificaron y cartografiaron varios procesos de movimientos en masa, lo que configuran como peligros geológicos según la clasificación sugerida por el “Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007”.

En los sectores Tingo y Huayapag, se describen los principales peligros geológicos que son objeto de estudio en el presente informe.

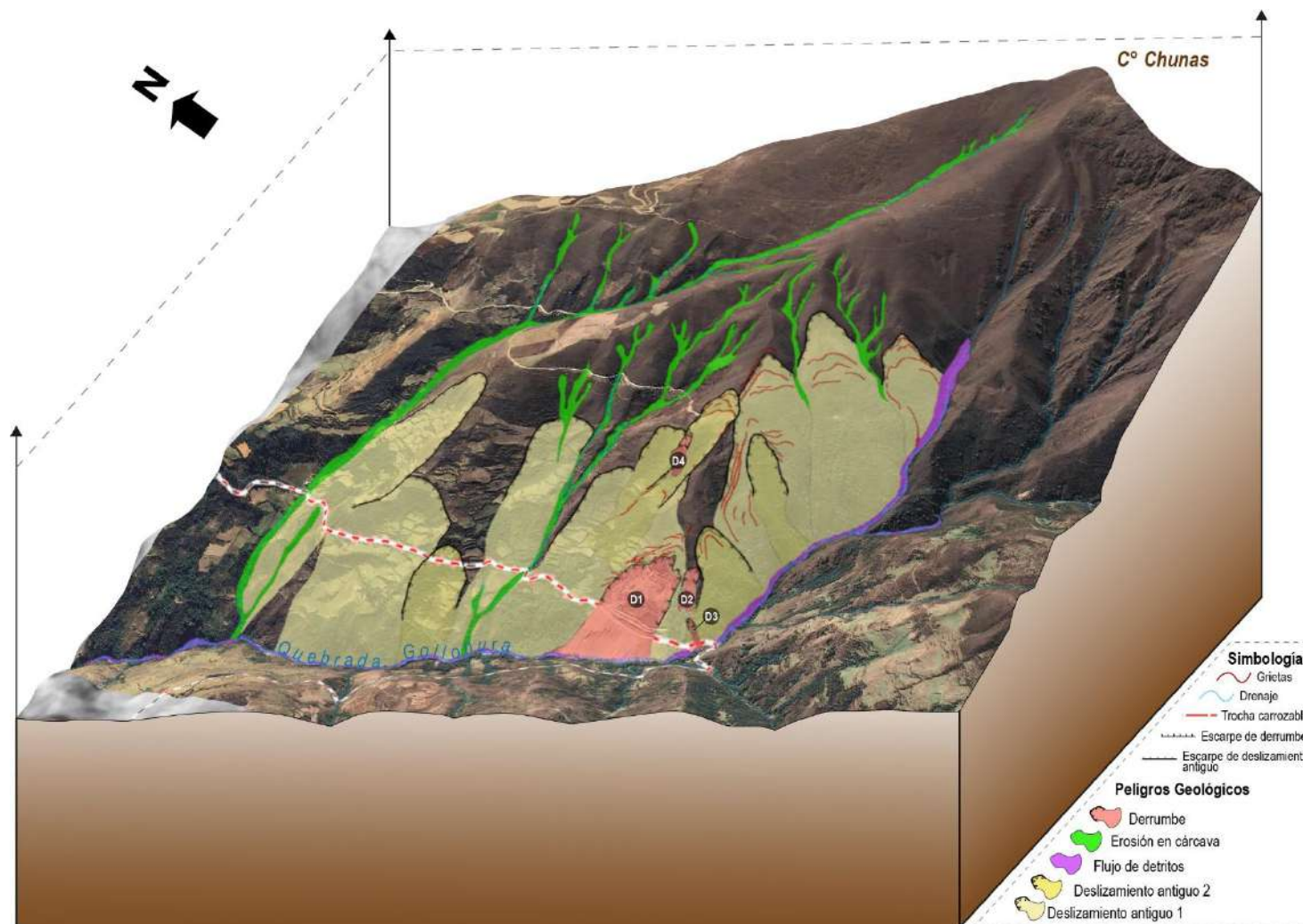


Figura 23. Block diagrama esquemático que detalla la cartografía de peligros geológicos en el sector Tingo. En la parte superior se observa la cresta del cerro Chunas y en la parte inferior la quebrada Gollonura que recorre en dirección NO-SE. Vista mirando al este.

5.1. Movimientos en masa en el sector Tingo

Los principales peligros geológicos identificados en el sector evaluado son derrumbes, deslizamientos antiguos que se detallan a continuación.

5.1.1. Derrumbe

El principal evento evaluado en el sector Tingo es un derrumbe. Este evento, de gran magnitud y extensión, se localiza en la parte media de la margen derecha de la quebrada Gollonura, afluente natural del río Huallaga. El derrumbe (D1) se instaló en la parte media-inferior de la ladera occidental del cerro Chunas, el cual afectó un terreno inestable que se caracteriza por sus pendientes muy pronunciadas que oscilan entre muy fuertes que van de 25° a 45° de inclinación, además de comprometer un substrato rocoso previamente deformado y triturado por la actividad tectónica a lo largo de su historia geológica y finalmente, haber involucrado depósitos de material coluvio-deluviales provenientes de deslizamientos antiguos (**Figuras 23 y 24**).

El derrumbe (D1) tiene una geometría rectangular ovalada y algo elongada, con una orientación con tendencia NOO-SEE. La zona de arranque nace en la cota 3998 m s.n.m. La traza de la superficie de ruptura tiene una forma semicircular e irregular que le da un aspecto sinuoso y que llega a recorrer 450 m de longitud. El área total de la zona afectada abarca 5.7 ha, en lo que, la zona de desprendimiento tiene 153 m de ancho, mientras que, la zona más distal lo que correspondería a la de acumulación y depositación logra alcanzar los 300 m de ancho, tramo sobre el cual desemboca hacia la quebrada Gollonura (**Figuras 24 y 25**). Las características de este depósito es de tipo canchal y flujo de desplazamiento lento, debido a la saturación del suelo removido.

La corona se caracteriza por presentar múltiples grietas de tracción que flanquean de manera semiparalela al límite superior de la zona de arranque del derrumbe (D1), estas grietas se emplazan a manera de trazas discontinuas y de morfología irregular que le dan un aspecto algo escalonado al terreno (**Figura 25**). Una de las grietas se observa en la parte superior a 20 m del D1, se trata de una fisura que deja un salto de 30 a 40 cm de desnivel y un ancho que va de 10 a 20 m de separación horizontal respecto al terreno (**Figura 26**).

La zona con mayor concentración de grietas visibles se localiza en el flanco derecho superior del D1, que en conjunto abarca un ancho de ~50 m de deformación progresiva del terreno, mientras que, hacia la parte media de D1 se observan grietas que se orientan de manera oblicua en dirección hacia la superficie de ruptura principal del D1. En general, estas grietas ponen en evidencia un avance retrogresivo y ascendente del derrumbe D1, lo que sugieren un proceso de distensión y desplazamiento lento pero continuo que compromete suelos inestables, áreas de cultivo y un tramo de trocha carrozable (**Figura 25**).

Según las imágenes satelitales que ofrece la plataforma de Google Earth en retrospectiva, así como, las versiones verbalmente transmitidas por los pobladores del sector Tingo, el derrumbe (D1) habría iniciado aparentemente en el año 2010, apenas con unos escarpes incipientes que evidenciaron el inicio del movimiento. Los primeros derrumbes se manifestaron en el año 2014, luego se intensificaron en los años 2019, 2021 y 2022, hasta desarrollarse tal como se muestra en el mapa, es decir en el año 2024 (**Figura 23.5**).

No se distingue con exactitud lo que desencadenó el D1, sin embargo, se observa en las imágenes satelitales, que, el corte de la trocha carrozable que se construyó antes

del año 2010 contribuyó significativamente en el desequilibrio e inestabilidad del talud natural, lo que, dio lugar coincidentemente con el inicio y desarrollo del movimiento en masa (**Figuras 23.5 y 25**).

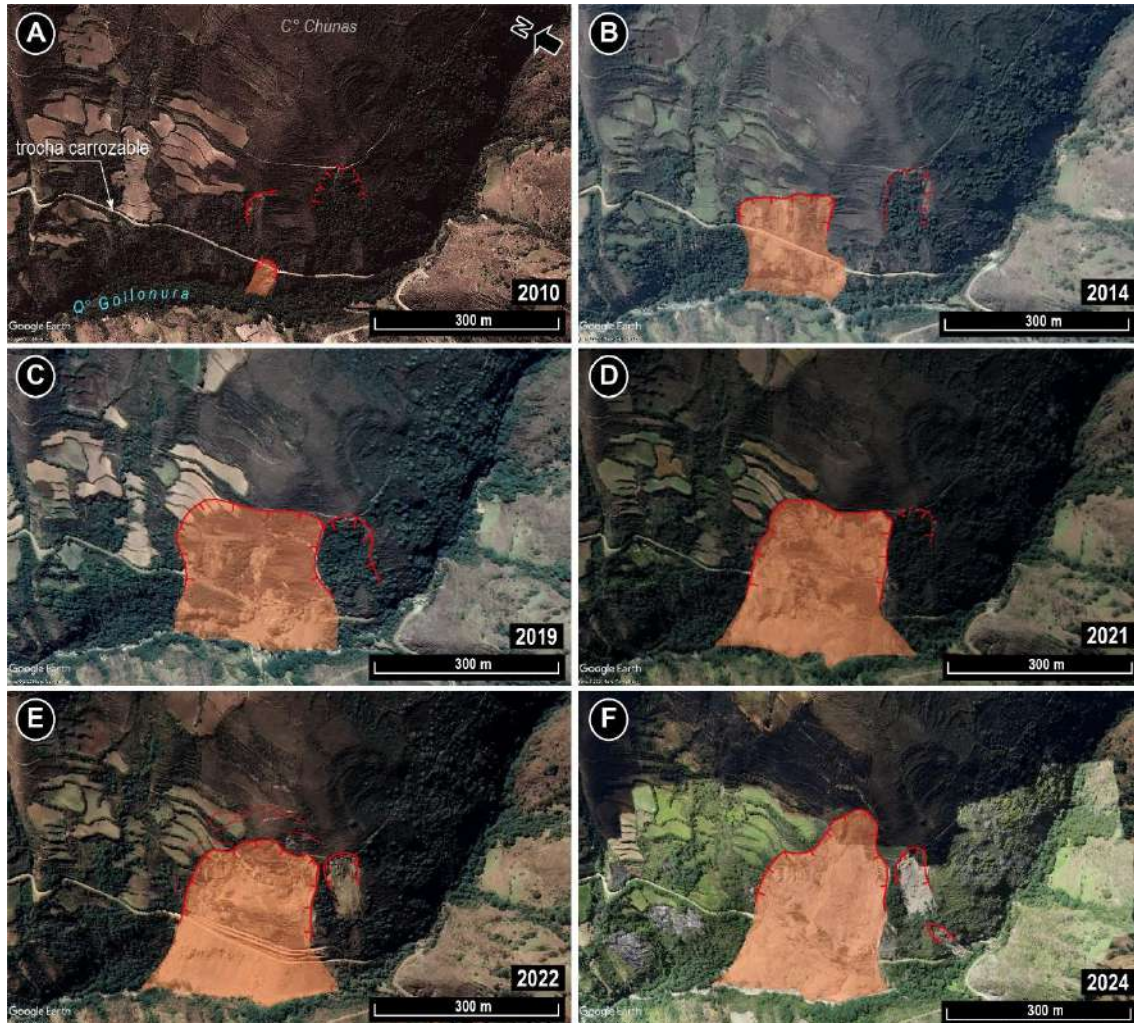


Figura 23.5. Análisis multitemporal del derrumbe (D1) donde se observa el origen y la evolución geodinámica a través de los años en el sector Tingo. Las imágenes satelitales de los años 2010 al 2022 fueron extraídas de Google Earth y del 2024 fue complementada con la imagen ortomosaico que se obtuvo a partir del levantamiento fotogramétrico con dron.

Por su parte, se distinguen derrumbes de menor extensión a los mencionados, instalados en la parte occidental de la ladera del cerro Chunas, estos eventos ponen en evidencia de una geodinámica activa de la ladera en el sector Tingo. Los derrumbes denominados D2 y D3 se localizan en el flanco izquierdo del D1 (**Figura 24**).

El D2 presenta una superficie de ruptura de ~107 m de longitud y un área de ~0.38 ha, que involucró material inconsolidado de un antiguo deslizamiento (**Figuras 25 y 27**). Mientras que, el D3 tiene una superficie de arranque semicircular cóncava de ~59 m de longitud y comprometió una superficie de ~0.12 ha, constituido de suelos residuales y de antiguos deslizamientos que destruyó ~18 m de trocha carrozable (**Figuras 25**). Finalmente, el D4 se originó a 370 m encima del D1, exactamente en la cota 3565 m s.n.m. Su zona de arranque tiene ~120 m de longitud y comprometió un área de ~0.36 ha de depósitos coluvio-deluviales de un antiguo deslizamiento (**Figura 24**).

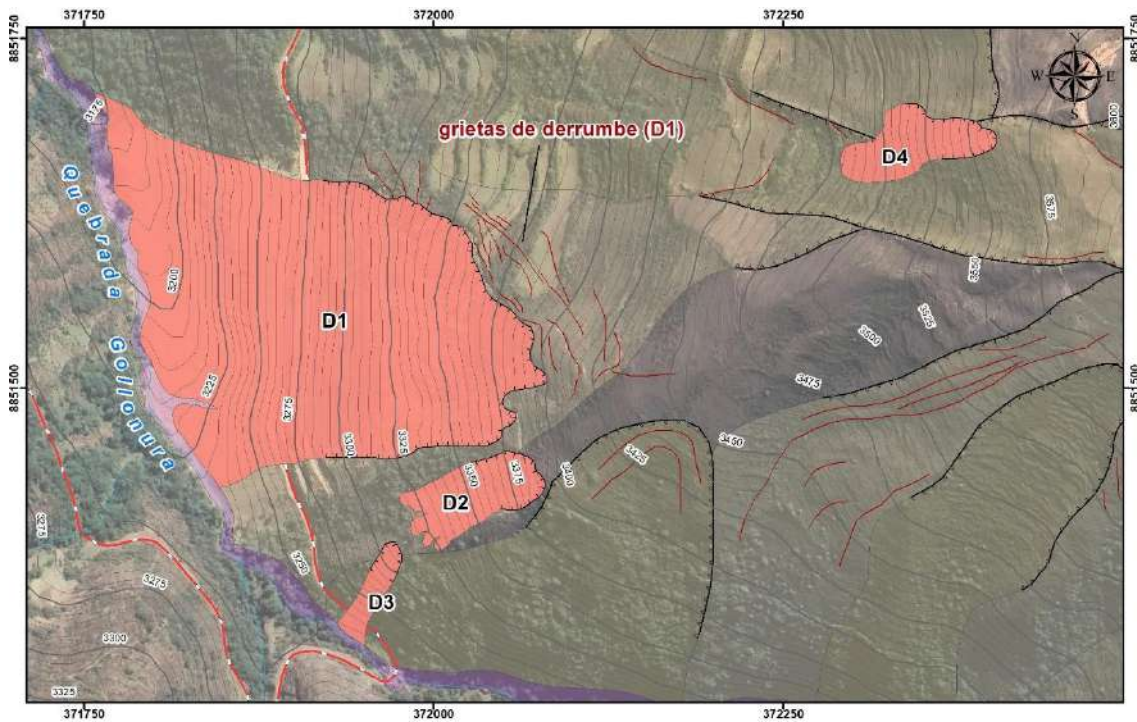


Figura 24. Procesos de movimientos en masa de tipo derrumbe en el sector Tingo que fueron identificados y cartografiados en mayo del 2024. Detalle del derrumbe (D1) que destruyó la vía carrozable del CP Chacos al sector Tingo. Los derrumbes de menor magnitud D2, D3 y D4 reflejan una actividad geodinámica reciente en la ladera occidental del cerro Chunas.

5.1.1.1 Características visuales del derrumbe (D1)

- Zona de arranque: Ladera media a baja
- Substrato rocoso: Esquistos del CMM y depósitos coluvio-deluviales
- Morfología y longitud del arranque: Semicircular e irregular cóncava de 450 m
- Características del depósito: Bloques aislados en matriz limoarcillosa
- Alcance máximo: 280 m
- Tamaño de bloques: 0.10 a 0.8 m de diámetro
- Bloques aislados: varían de 1 a 3 m de diámetro
- Pendiente del terreno: 40° a 50°
- Área comprometida: 5.17 ha
- Elementos expuestos y daños: Áreas de cultivo y 205 m de trocha carrozable destruida
- Estado de actividad: Activo
- Tipo de actividad: Retrogresivo con múltiples grietas de tracción

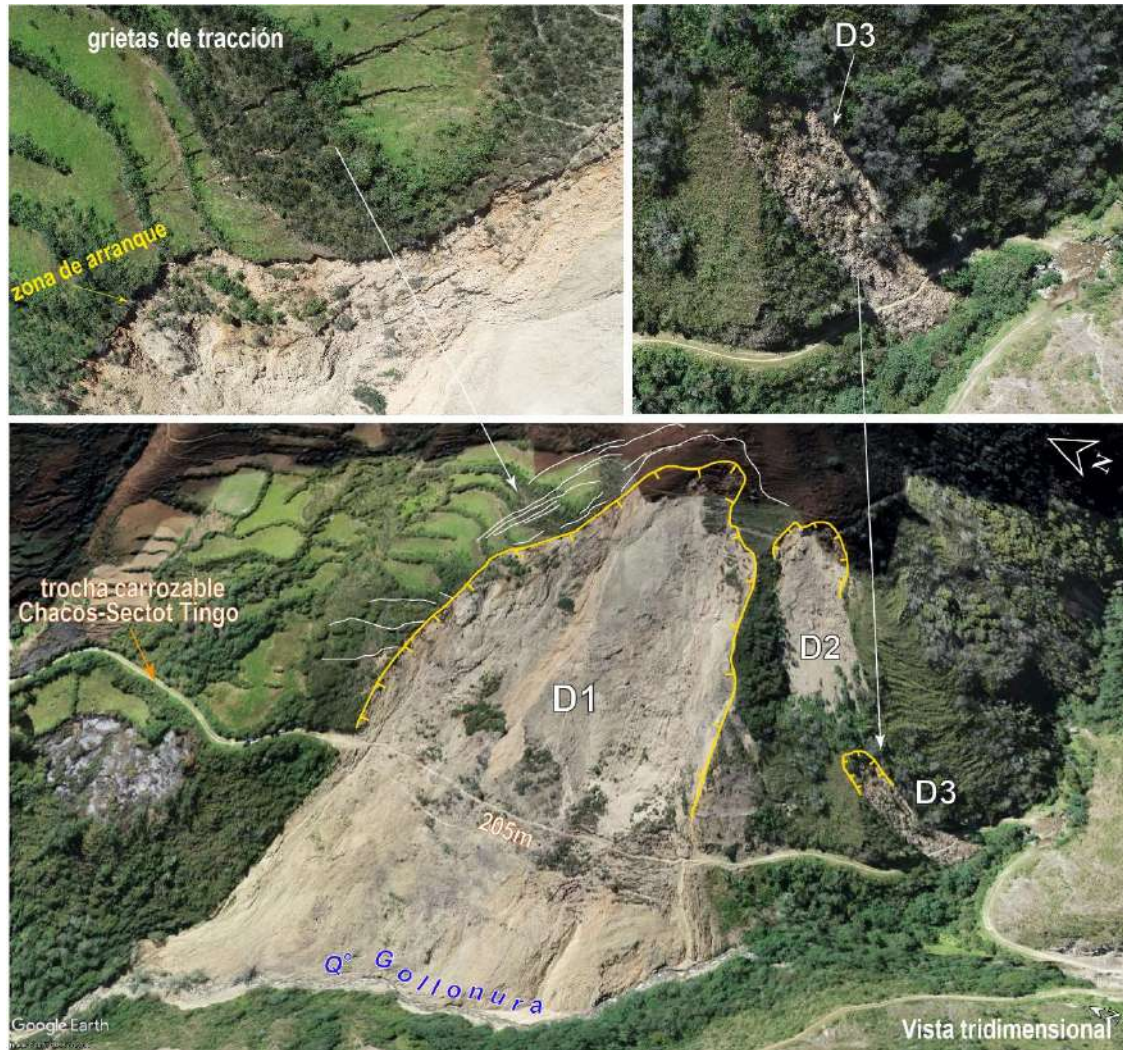


Figura 25. Derrumbe (D1) de 5.17 ha que destruyó 205 m la trocha carrozable que va del centro poblado Chacos hacia el sector Tingo. Este evento se desarrolló en la margen derecha de la quebrada Gollonura. Imagen ortomosaico a partir de levantamiento con dron superpuesta a la imagen satelital de Google Earth. Vista tridimensional mirando al noreste. Imagen superior izquierda, muestra las grietas de tracción que evidencian un avance retrogresivo del D1. Imagen superior derecha, detalle del derrumbe de menor magnitud D3.



Figura 26. Grietas de tracción en la parte superior de la zona de arranque del derrumbe (D1). Se observa un salto de 30 a 40 cm con una abertura de 10 a 25 cm de ancho que se separa del suelo. Vista mirando al norte.

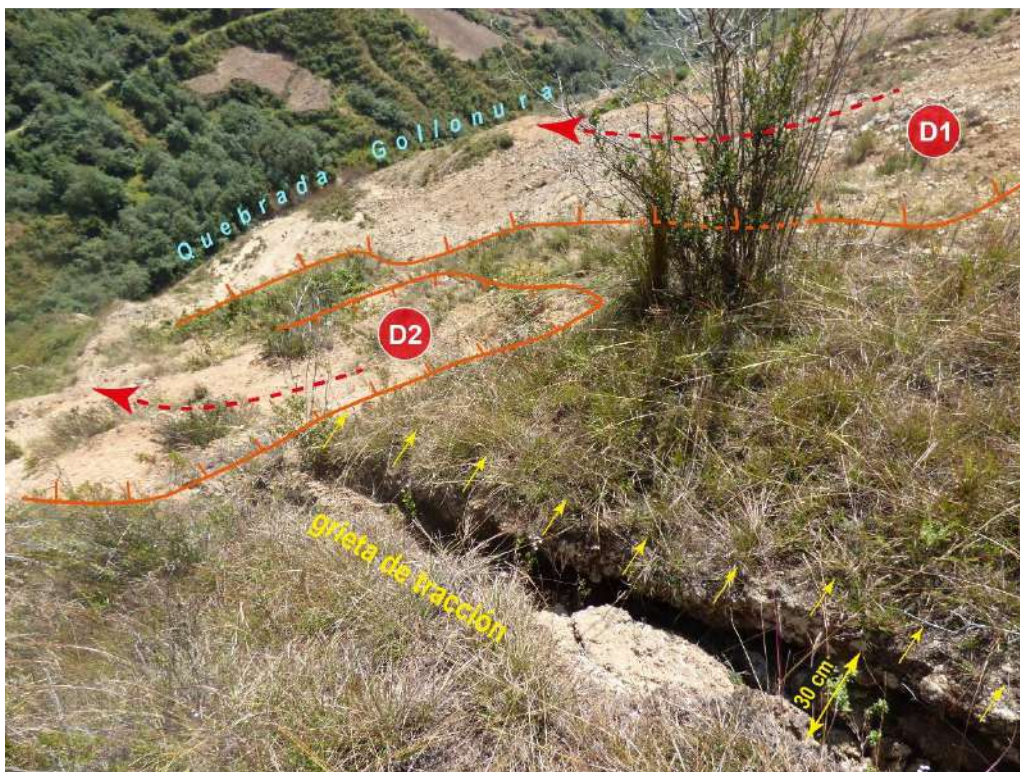


Figura 27. Grietas de tracción ubicado en el flanco izquierdo del derrumbe (D1) y en la parte superior del derrumbe (D2) con una abertura de 20 a 30 cm, el cual reflejan un avance retrogresivo del D1. Al fondo se observa la incisión de la quebrada Gollonura. Vista mirando al suroeste.

5.1.2. Deslizamientos antiguos

Se denominan así a un conjunto de deslizamientos que se desconoce la cronología de los eventos, sin embargo, la existencia de estos pone en evidencia procesos de movimientos en masa ocurridos en el pasado y que reflejan una intensa actividad geodinámica desarrollada a lo largo de la ladera occidental del cerro Chunas (**Figura 23**).

Estos deslizamientos antiguos involucraron material de suelos residuales provenientes de un substrato rocoso que previamente ha sido triturado y fracturado por una intensa actividad tectónica a la que fue sometida en el pasado.

Desde una perspectiva geomorfológica, los deslizamientos se originaron en una montaña moldeada en roca metamórfica, en el cual, se emplazaron sobre su ladera occidental y que caracteriza por presentar un relieve ondulado y algo escalonado, con pendientes muy pronunciadas que van de 25° a 45° de inclinación (**Figura 20**).

Los eventos denominados deslizamiento/1 son movimientos primigenios que se manifestaron a manera de cuerpos elongados distribuidos de forma continua y discontinua sobre la ladera occidental del cerro Chunas. Se han cartografiado 07 deslizamientos antiguos, de los cuales, aquellos que afloran en la parte noroeste, no se logran distinguir con claridad sus escarpes, debido a que fueron afectados fuertemente por la dinámica deluvial, y la intervención antrópica (actividad agrícola). No obstante, fueron delimitados por sus rasgos morfométricos, geomorfológicos y su morfología escalonada de sus depósitos mostradas en el terreno (**Figura 28**).

Por otro lado, en el sector sureste, se distinguen 03 cuerpos de deslizamientos antiguos bien marcados, que conservan visiblemente sus escarpes y grietas de tracción, aunque presentan cierto grado de moldeamiento, debido a la vegetación y a una dinámica deluvial débil. Se trata, de deslizamientos desarrollados aparentemente de manera sincrónica y continua, el cual, reflejan un claro movimiento rotacional, con una geometría cónica elongada en dirección suroeste (**Figura 29**).

Uno de estos deslizamientos se observa en el flanco izquierdo superior a una distancia de 300 del derrumbe (D1). Se caracteriza por presentar escarpes continuos y escalonados con desniveles relativamente subverticales entre 3 a 5 m. Las grietas en la corona evidencian un avance retrogresivo que actualmente se encuentra inactivo (**Figura 29**).

Por su parte, los deslizamientos antiguos/2 ocurrieron cronológicamente posterior a los deslizamientos/1, y se caracterizan por ser movimientos en masa reactivados de anteriores eventos. La geometría de sus escarpes y cuerpos son de menor magnitud y extensión (**Figura 28**).

En general, los deslizamientos antiguos, aunque son catalogados como inactivos latentes, aún persisten las condiciones que las originaron, lo que las convierte en susceptibles ante reactivaciones de deslizamientos y derrumbes como es el caso del derrumbe (D1).

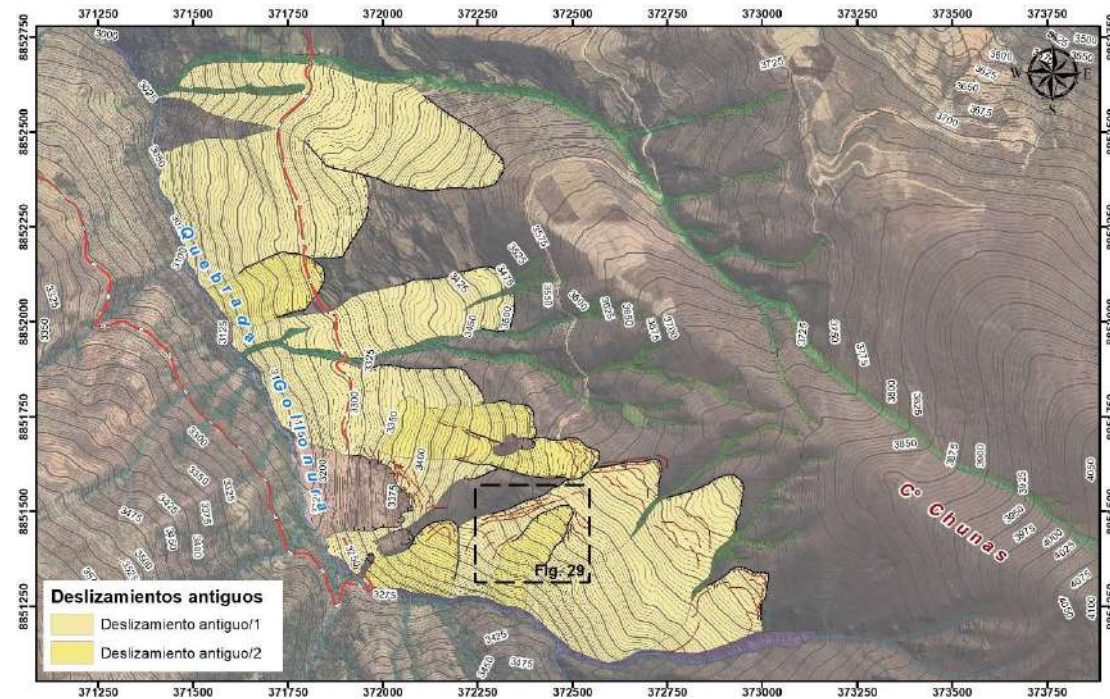


Figura 28. Cartografía donde se resalta los polígonos de los deslizamientos antiguos emplazados en la ladera occidental del cerro Chunas en el sector Tingo.



Figura 29. Escarpe de los deslizamientos antiguos ubicados en la ladera occidental del cerro Chunas. Se observa varios saltos de manera escalonada y discontinuos.

5.2. Movimientos en masa en el sector Huayapag

5.2.1. Derrumbe y flujo de detritos

Al norte del cerro Cruz Punta, precisamente en la cabecera de la quebrada local que desemboca a la quebrada Rosayoc, se produjo un derrumbe que, por sus características físicas del material y el carácter violento del movimiento, este se convirtió rápidamente en flujo de detritos que removió material coluvio-deluvial (**Figuras 30 y 31**).

La geometría del derrumbe presenta una forma circular algo elongada con un ancho de 47 m en su zona proximal y 11 m en su zona más distal, que en total afectó un área de 0.21 ha. La zona de arranque tiene 230 m de longitud y presenta una morfología semicircular irregular y continua. La zona de ruptura dejó un desnivel que va de 5 a 6 m

en la vertical con respecto al terreno localizado en la parte de desprendimiento del derrumbe, mientras que, en sus flancos laterales disminuye de 2 a 3 m de desnivel (**Figura 31**).

El movimiento tuvo un carácter violento, el cual inició como un derrumbe que desplazó un volumen significativo de material limoarcilloso sobresaturado en agua, convirtiéndose rápidamente en flujo, debido a la pendiente pronunciada del terreno, que incrementó la velocidad, en la que se transportó el material hasta desembocar parte de ella a la quebrada Rosayoc (**Figura 31**).

El flujo de detritos generado tiene una geometría circular muy elongada y alargada con una tendencia de desplazamiento NE-SO, que inicia con un ancho de 12 m y termina con ~15 m, haciendo un recorrido total de aproximadamente 1 km de distancia hasta la quebrada Rosayoc (**Figura 32**).

Finalmente, el derrumbe se encuentra flanqueado por una zona que presenta reptación y que se incrementa en épocas de precipitaciones, el cual, involucra material fino, lo que le convierte en una zona inestable que está propensa a reactivaciones y que podría desencadenar eventos de mayor magnitud, lo suficiente como para alcanzar la quebrada Rosayoc, que en conjunto podrían afectar el poblado del distrito de San Rafael (**Figura 33**).

5.1.2.1. Características visuales del evento

- Zona de arranque: ladera constituida de material inconsolidado e incompetente
- Pendiente: pronunciada que va de fuerte que oscila entre 15° a 25° a muy fuerte que oscila entre 25° a 45°
- Morfología de la zona de arranque: Semicircular, irregular y continua
- Longitud de la zona de ruptura: 230 m
- Área afectada: 0.21 ha
- Morfología del flujo de detritos: circular, elongada y alargada
- Longitud de recorrido: ~1 km
- Dirección del movimiento: NE-SO
- Características del depósito: bloques y gravas aislados en matriz limoarcillosa
- Zona de desembocadura: quebrada Rosayoc

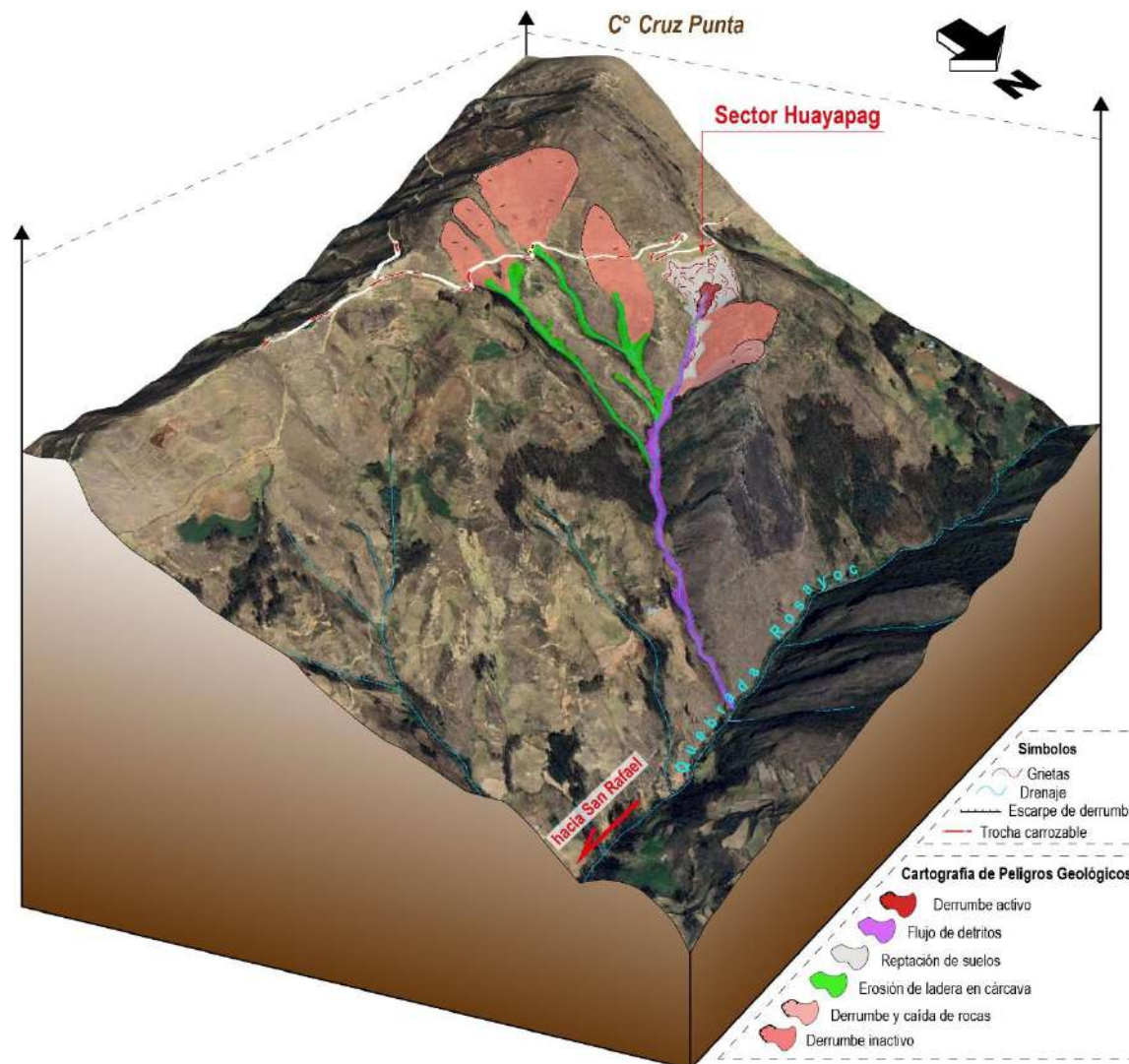


Figura 30. Block diagrama esquemático de la cartografía de peligros geológicos en el sector Huayapag



Figura 31. Zona de arranque del derrumbe y flujo de detritos al norte del cerro Cruz Punta en el sector Huayapag. Vista panorámica mirando al sur.

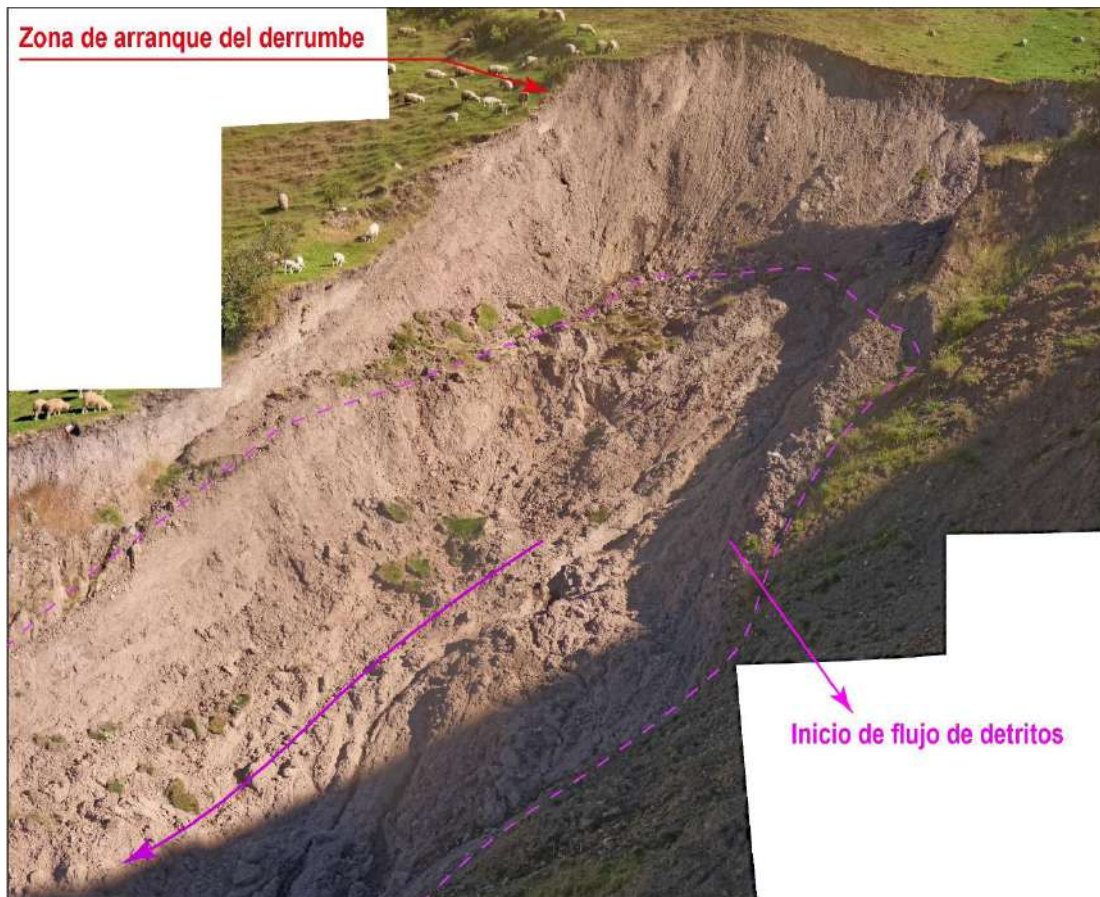


Figura 32. Detalle del inicio del movimiento de flujo de detritos generado a partir de un derrumbe. Vista mirando al sur.

5.2.2. Reptación de suelo

Se le denomina así a un evento que presenta en la actualidad un movimiento lento pero continuo que se instala en la ladera norte del cerro Cruz Punta. El área en la que ocurre el movimiento flanquea a la zona donde se desarrolló el derrumbe y que posteriormente ocasionó un flujo de detritos (**Figura 30**).

La geometría del polígono en la que se extiende este fenómeno tiene una morfología cónica y cóncava con tendencia al NE-SO y compromete un área de 2.16 ha constituida esencialmente de material coluvio-deluvial, es decir, depósitos inconsolidados e incompetentes. La zona más extensa ocurre en la cabecera de la quebrada local afluente de la quebrada Rosayoc, aquí su zona más ancha tiene ~198 m y se adelgaza conforme descende por la margen izquierda de la quebrada local, el cual, llega a tener un ancho de 34 m. En el cuerpo principal, se observan grietas semicirculares e irregulares dispuestos de manera discontinua y escalonada distribuida de forma disarmónica sobre una ladera con pendiente muy pronunciada. Estas grietas presentan dimensiones que van de ~10 a ~102 m de longitud y saltos que van de 0.3 a 1.2 m con respecto a la vertical (**Figuras 33 y 34**).

Desde el punto de vista geodinámico, este fenómeno de reptación está confinado con eventos que pueden ser predecesores de movimientos en masa más rápidos y de mayor magnitud, ya que, contribuye significativamente a la pérdida progresiva y gradual de resistencia del suelo, lo que, la convierte en zona altamente susceptible a derrumbes o deslizamientos que afecten y pongan en peligro a las poblaciones asentadas quebrada abajo, principalmente en épocas de precipitaciones anómalas y prolongadas.



Figura 33. Reptación de suelos ubicada al norte del cerro Cruz Punta, en la parte superior del derrumbe en el sector Huayapag. Se diferencia agrietamientos discontinuos distribuidos de manera disarmónica. Vista mirando al sur.

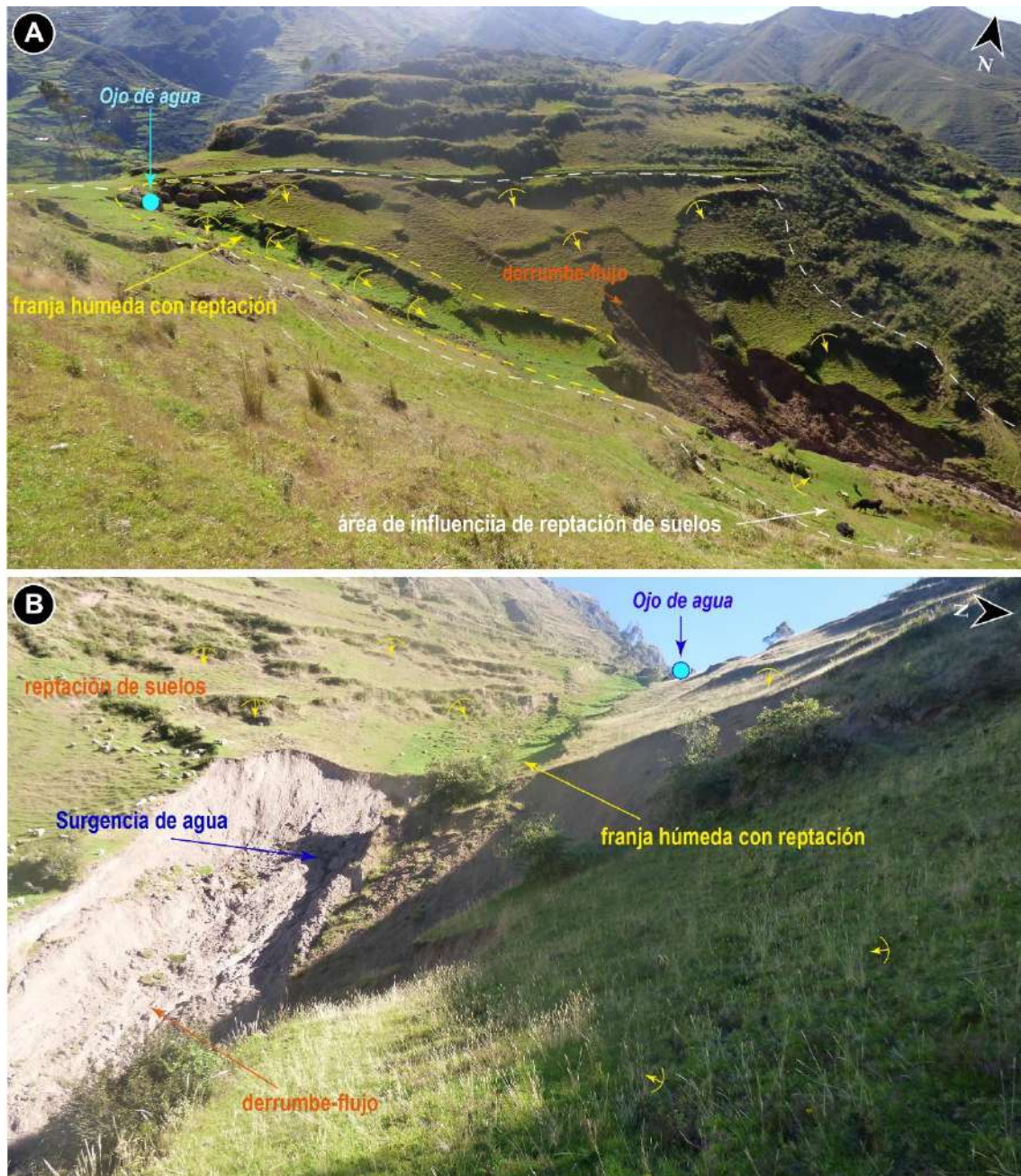


Figura 34. Área influencia de reptación de suelos al norte del cerro Cruz Punta. A) Franja húmeda con movimiento de reptación alojado en la parte superior del derrumbe-flujo asociado posiblemente a la ocurrencia de un ojo de agua. B) Detalle de la franja y la surgencia de agua por debajo de la zona de arranque del derrumbe-flujo.

5.3. Factores condicionantes

Los factores condicionantes que están relacionados a los procesos de movimientos en masa se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 7. Factores condicionantes de los procesos de movimientos en masa.

Factores	Características asociadas
	En el sector Tingo, el basamento rocoso está constituido por secuencias deformadas y muy foliadas de esquistos de cuarzo y micas muy fracturadas con moderada meteorización superficialmente. Estas características las convierte en zonas

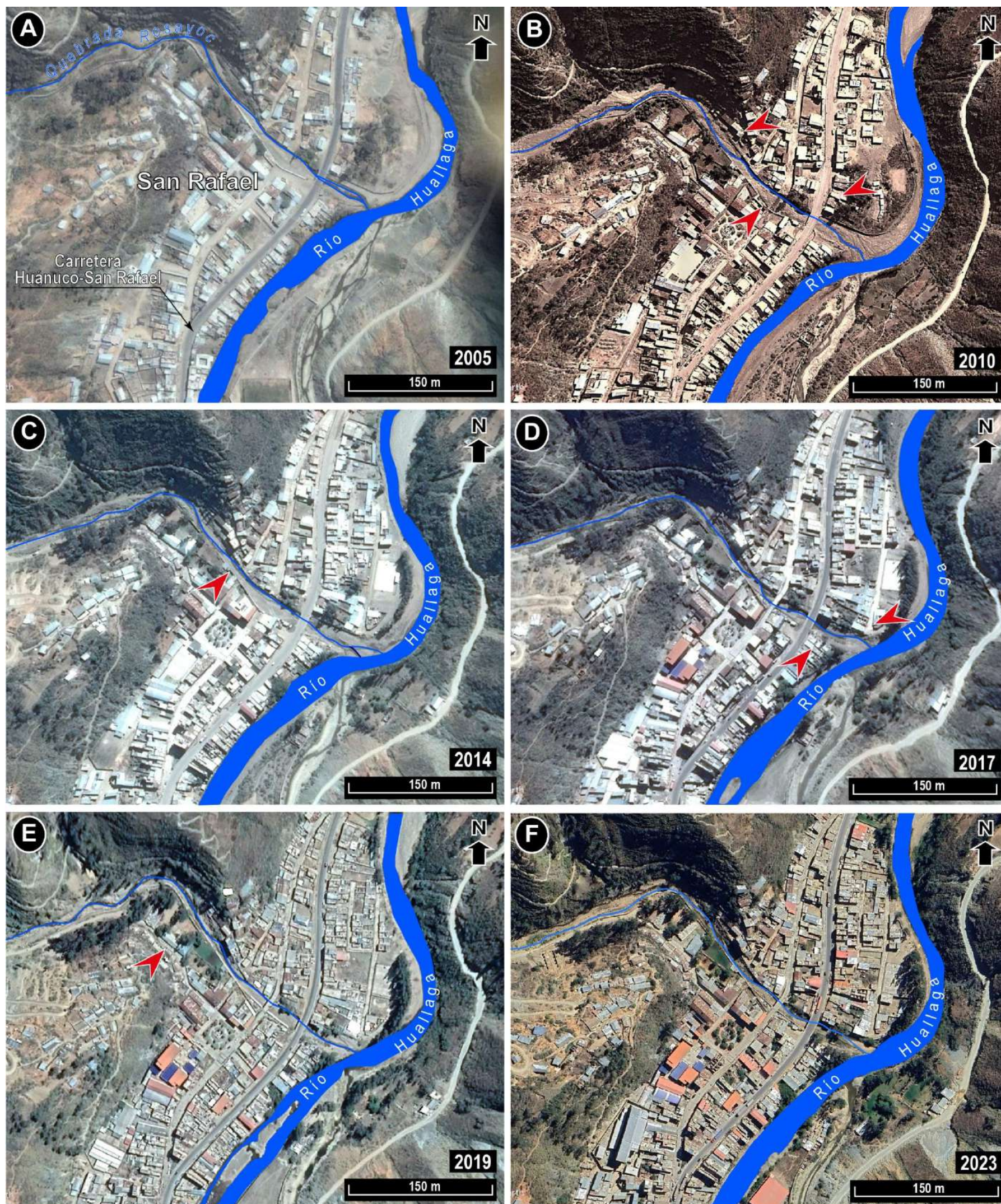
Litológico	inestables confinadas a la generación de procesos de movimiento en masa. Así como deslizamientos y derrumbes. • En el sector Huayapag, las rocas del Grupo Ambo, presentan una moderada a fuerte meteorización y un nivel moderado de fracturamiento. El Grupo Mitu se caracteriza por presentar rocas incompetentes constituida de lutitas y limoarcillas intercaladas con niveles delgados de areniscas arcóscas. Estas rocas muestran una fuerte meteorización y están muy fracturadas. Desde una perspectiva geotécnica, estos macizos son catalogados como rocas de mala calidad, el cual aportan significativamente a la inestabilidad de la ladera del cerro Cruz Punta. • Los depósitos coluvio-deluviales, representan secuencias incompetentes provenientes de antiguos procesos de movimientos en masa, que fueron afectados por una dinámica deluvial y que están constituidos por fragmentos heterométricos inmersos en una matriz arcillo limosa y arenosa. Por su naturaleza suelta e inconsolidada, se caracterizan por tener una baja cohesión que ofrecen una baja resistencia a la erosión, lo que las convierten en zonas susceptibles a remoción en masa. • Los depósitos coluviales provienen de procesos gravitacionales, así como, derrumbes y caída de rocas y sus fragmentos son de tamaño heterométrico y monomícticos de formas angulosas y subangulosas envueltos en una matriz arcillolimosa, acumulados al pie del talud de la ladera del cerro Chunas (Sector Tingo) y al norte del cerro Cruz Punta (Sector Huayapag).
Geomorfológicos	• En el sector Tingo, los primeros eventos ocurridos denominados deslizamientos antiguos se instalaron en una ladera con pendiente pronunciada de muy fuerte que oscila entre 25° a 45° de inclinación, emplazada en una montaña modelada en roca metamórfica. Mientras que, los movimientos en masa más recientes, es decir, derrumbes, se instalaron en una vertiente coluvio-deluvial conformado por depósitos inconsolidados e incompetentes de antiguos eventos, que fueron acumulados y dispuestos sobre una ladera con pendiente muy fuerte que oscila entre 25° a 45° al oeste del cerro Chunas, margen derecha de la quebrada Gollonura. • En el sector Huayapag, los movimientos en masa, se instalaron al norte del cerro Cruz Punta, sobre una ladera pronunciada de muy fuerte que va de 25° a 45° de inclinación, que, conforma una montaña modelada en roca sedimentaria. • Vertiente coluvio-deluviales fueron acumulados y depositados por la acción combinada de procesos gravitacionales afectados por la dinámica deluvial, y se encuentran adosados sobre una ladera con pendiente fuerte a muy fuerte que van de 15° a 25° y de 25 a 45° respectivamente. Sobre estas secuencias inconsolidadas e incompetentes se originaron los movimientos en masa, así como, derrumbe-flujo y reptación de suelos.

5.4. Factores detonantes o desencadenantes

Los principales factores desencadenantes que están asociadas a la ocurrencia de movimientos en masa se detallan a continuación.

Tabla 8. Factores desencadenantes por movimientos en masa.

Factores desencadenantes	Características asociadas
Precipitaciones	• Intensas precipitaciones pluviales que se registraron de manera excepcional y prolongada, principalmente entre los meses de diciembre a abril.
Sismos	• Ocurrencia de sismos superficiales podrían estar relacionados con la inestabilidad de laderas con depósitos coluvio-deluviales dispuestos en pendientes muy pronunciadas, tal como se muestra en la figura 9.
Hidrogeológicos	• Ojo de agua y surgencia de agua podrían estar relacionados con la sobresaturación de suelos incompetentes y la ocurrencia de movimientos en masa en el sector Huayapag.
Antrópicos	• Cortes de carretera que contribuyen significativamente con la inestabilidad al pie de la ladera norte del cerro Chunas en el sector Tingo. Ocupación antrópica sobre las márgenes de la quebrada Rosayoc, a la entrada del distrito San Rafael, propensos a la ocurrencia de flujo de detritos o huaicos.



6. CONCLUSIONES

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

- 1) En el sector Tingo, el basamento rocoso está conformado por el Complejo Metamórfico del Maraón. Su litología está constituida esencialmente por rocas metamórficas bien deformadas y foliadas que se componen de esquistos de cuarzo y micas de color gris verdoso con un aspecto astilloso. Su grado de deformación revela una intensa actividad tectónica a la que fue sometida en el pasado, el cual, en superficie se manifestaron a manera de fracturas, esquistosidad y discontinuidades. Según lo observado en campo, estas rocas se encuentran muy fracturadas y presentan superficialmente una moderada a fuerte meteorización.
- 2) En el sector Huayapag, las rocas que conforman el substrato rocoso están constituidas por los grupos Ambo, Copacabana y Mitu. El Grupo Ambo, consiste de areniscas gris blanquecinas algo amarillentas de grano medio a fino en estratos (S_0) tabulares de 20 y 40 cm de espesor, intercaladas con lutitas gris pardo rojizas. Estos macizos rocosos presentan fracturas con dos sistemas de discontinuidades, y su espaciamiento entre ellas van de 5 a 20 cm, con aberturas de 1 a 3 mm. En conjunto, se consideran como macizos moderadamente a fuertemente meteorizados y con un nivel de fracturamiento moderado. En tanto, el Grupo Copacabana está conformado por calizas gris oscuras algo margosas con tonalidad beige, en el que, se encuentran afectadas estructuralmente por fallas y pliegues tumbados que provocaron un cambio en el comportamiento geomecánico de las rocas en superficie, el cual, se manifiestan a manera de fracturas, diaclasas y foliaciones. Finalmente, el Grupo Mitu está compuesto por lutitas intercaladas con limoarcillitas y areniscas arcósicas en estratos delgados que van de 5 a 10 cm de espesor.
- 3) Desde una perspectiva geotécnica, sus macizos constituidos por estas litologías, son catalogadas como rocas de mala calidad, lo que las asocian directamente con procesos gravitacionales que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa.
- 4) Los depósitos coluvio-deluviales, representan secuencias incompetentes provenientes de antiguos procesos de movimientos en masa que fueron afectados por una dinámica deluvial y que están constituidos por fragmentos heterométricos inmersos en una matriz arcillo limosa y arenosa. Por su naturaleza suelta e inconsolidada, se caracterizan por tener una baja cohesión que ofrecen una baja resistencia a la erosión, lo que las convierten en zonas susceptibles a remoción en masa. Estos depósitos se encuentran sobre la ladera oeste del cerro Chunas en el sector Tingo y en la ladera norte del cerro Cruz Punta en el sector Huayapag.
- 5) Los depósitos coluviales provienen de procesos gravitacionales, y que se constituyen de fragmentos de tamaño heterométrico y monométricos de formas angulosas y subangulosas envueltos en una matriz arcillolimosa, acumulados al pie del talud de la ladera del cerro Chunas (Sector Tingo) y al norte del cerro Cruz Punta (Sector Huayapag).

- 6) Desde el punto de vista geomorfológico, en el sector Tingo, los eventos de movimientos en masa ocurridos se instalaron en una ladera con pendiente pronunciada de muy fuerte que oscila entre 25° a 45° de inclinación, emplazada en una montaña modelada en roca metamórfica. Por su parte, la vertiente coluvio-deluvial conformado por depósitos inconsolidados e incompetentes de antiguos eventos, fueron depositados y dispuestos sobre una ladera con pendiente muy pronunciada al oeste del cerro Chunas, margen derecha de la quebrada Gollonura.
- 7) En el sector Huayapag, fueron acumulados y depositados por la acción combinada de procesos gravitacionales afectados por la dinámica deluvial, y se encuentran adosados sobre una ladera con pendiente fuerte a muy fuerte que van de 15° a 25° y de 25 a 45° respectivamente. Sobre estas secuencias inconsolidadas e incompetentes se originaron los movimientos en masa.
- 8) Los peligros geológicos identificados en los sectores evaluados, son de tipo deslizamientos antiguos, derrumbes, derrumbe-flujo y reptación de suelos.
- 9) De acuerdo con las características geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se considera al sector Tingo como **Peligro Alto**, ante ocurrencia de derrumbes que compromete la trocha carrozable Chacos-Tingo. Por su parte, el sector Huayapag se considera como **Peligro Alto** por derrumbes y flujo de detritos, así como procesos de reptación de suelos que podrían desencadenar eventos de mayor magnitud.

7. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que a continuación se brindan tienen por finalidad mitigar el impacto de los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en los sectores Tingo y Huayapag.

Transversales a autoridades y población

- 1) Incluir los peligros geológicos identificados por el Ingemmet en los planes específicos de la Gestión del Riesgo de Desastres de la Municipalidad distrital de San Rafael.
- 2) Identificar rutas de evacuación y zonas seguras ante la ocurrencia de peligros geológicos. Posteriormente, implementar simulacros de evacuación y simulaciones, con la finalidad de contar con una respuesta rápida y adecuada en situaciones de emergencia.
- 3) Implementar Sistemas de Alerta Temprana-SAT en coordinación con el INDECI, para la inmediata evacuación de la población ante la ocurrencia de un movimiento en masa.
- 4) Elaborar evaluaciones de riesgo (EVAR) con el objetivo de determinar las medidas de control de riesgo definitivas frente a los peligros. Es necesario esta medida en sectores o poblados donde estos peligros puedan ocurrir y causar daños a la infraestructura, así como, vías de acceso, viviendas, colegios, entre otros.

Ante derrumbes

- a) Estudios geotécnicos y estabilidad de taludes antes de realizar cortes de carretera al pie de una ladera con pendiente pronunciada.
- b) Construir zanjas de coronación en la cabecera de la superficie de arranque con una sección de material impermeable (geomembranas o arcillas), con el objetivo de derivar las aguas de escorrentía superficial a otro cauce.
- c) Sellar las grietas localizadas en la parte superior del derrumbe (D1) en el sector Tingo, con el objetivo de evitar la infiltración de agua durante lluvias intensas y prolongadas.
- d) Reforestar las laderas con especies nativas y raíces densas a fin de contribuir con una mayor resistencia y cohesión a los suelos incompetentes.

Antes flujo de detritos

- a) Implementar la descolmatación y mantenimiento periódico del cauce de la quebrada.
- b) Considerar la construcción de defensas ribereñas como enrocado o muros de piedra en puntos más críticos a lo largo del cauce de la quebrada. Esta medida debe ser ejecutado por profesionales técnicos con experiencia en la materia.

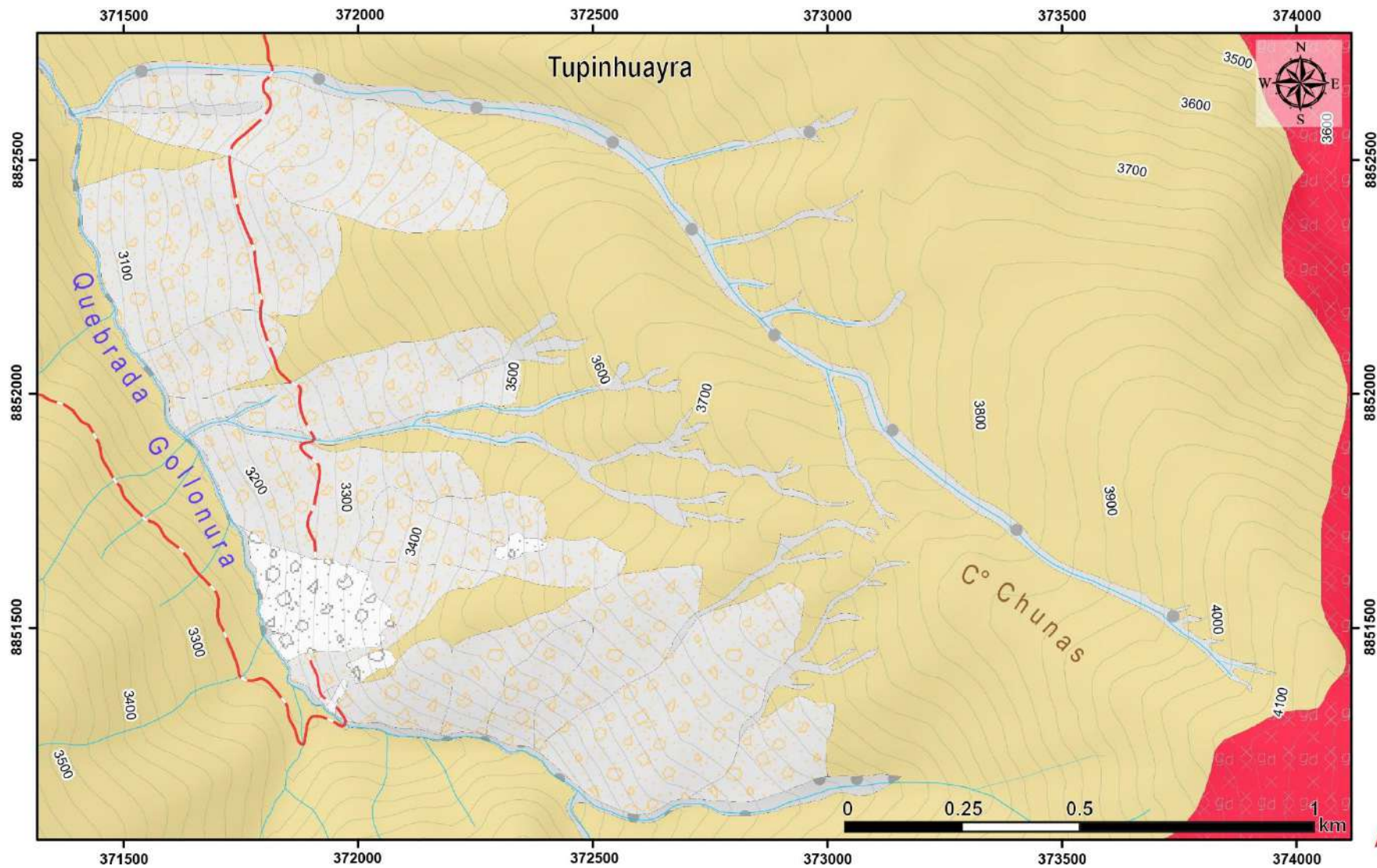
8. BIBLIOGRAFÍA

- Cobbing, J.; Quispesivana, L. & Paz, M. (1996). Geología de los cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores. Hojas: 21-k, 22-k, 23-k. Lima Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. 238 p. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional N°77.
- 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.
- ISRM (1981). Suggest method for the quantitative description of discontinuities in rock masses: International Journal of Rock Mechanics, Min. Sci. & Geomech. Abstr. V. 18, p. 85-110.
- Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- 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.
- Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrológica, SENAMHI (2020). Mapa de clasificación climática del Perú. Lima, Perú.
- Suárez Díaz, J. (2007). Deslizamientos - Técnicas de Remediación (1a ed.). Erosion.com.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes, en Shuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D.C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176, p. 9-23.
- Wilson, J.J. & Reyes, L. (1964). Geología del cuadrángulo de Pataz. Comisión Carta Geológica Nacional, Bolletín 9, 91 p.
- WP/WLI, (1993). A suggest method for describing the activity of a landslide: Bulletin of the International Association of Engineering Geology, N°47. p. 53-57.
- Zavala, B.; & Vilches, M. (2006). Estudio de Riesgos Geológicos en la Región Huánuco. Boletín N°34, Serie C. INGEMMET.


.....
Ing. SEGUNDO NÚÑEZ JUÁREZ
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

ANEXO 1: MAPAS

MAPAS DE LOS SECTORES HUAYAPAG Y TINGO



Unidades litoestratigráficas

- Depósitos proluviales
- Depósitos coluviales
- Depósitos coluvio-deluviales
- Complejo Metamórfico del Marañón

Rocas ígneas



Plutón San Rafael
(granodiorita-monzogranito)

Símbolos

- Cerro
- Drenaje
- Curvas de nivel
- Trocha carrozable



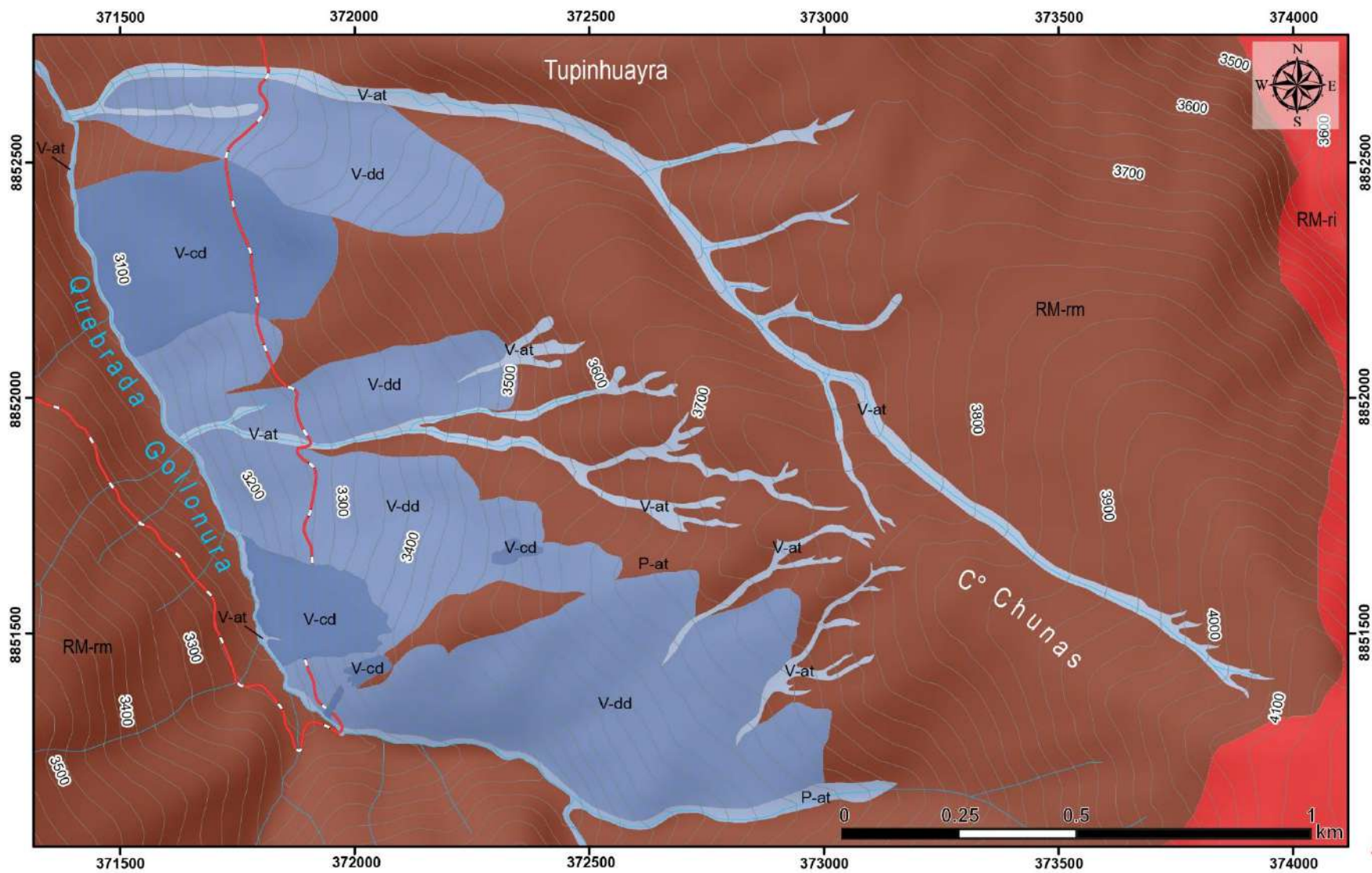
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

ACT16: Servicio de asistencia técnica en la evaluación de
peligros geológicos a nivel nacional

Mapa Geológico
Sector Tingo

Datum: UTM-WGS84, Zona 18s
Versión digital: año 2024. Versión impreso: 2024

01



Unidades geomorfológicas

V-at	Vertiente aluvio-torrencial	RM-ri	Montaña en roca intrusiva
V-cd	Vertiente coluvial-deluvial	RM-rm	Montaña en roca metamórfica
V-dd	Vertiente con depósito de deslizamiento		

Símbolos

C°	Cerro
	Drenaje
	Curvas de nivel
	Trocha carrozable



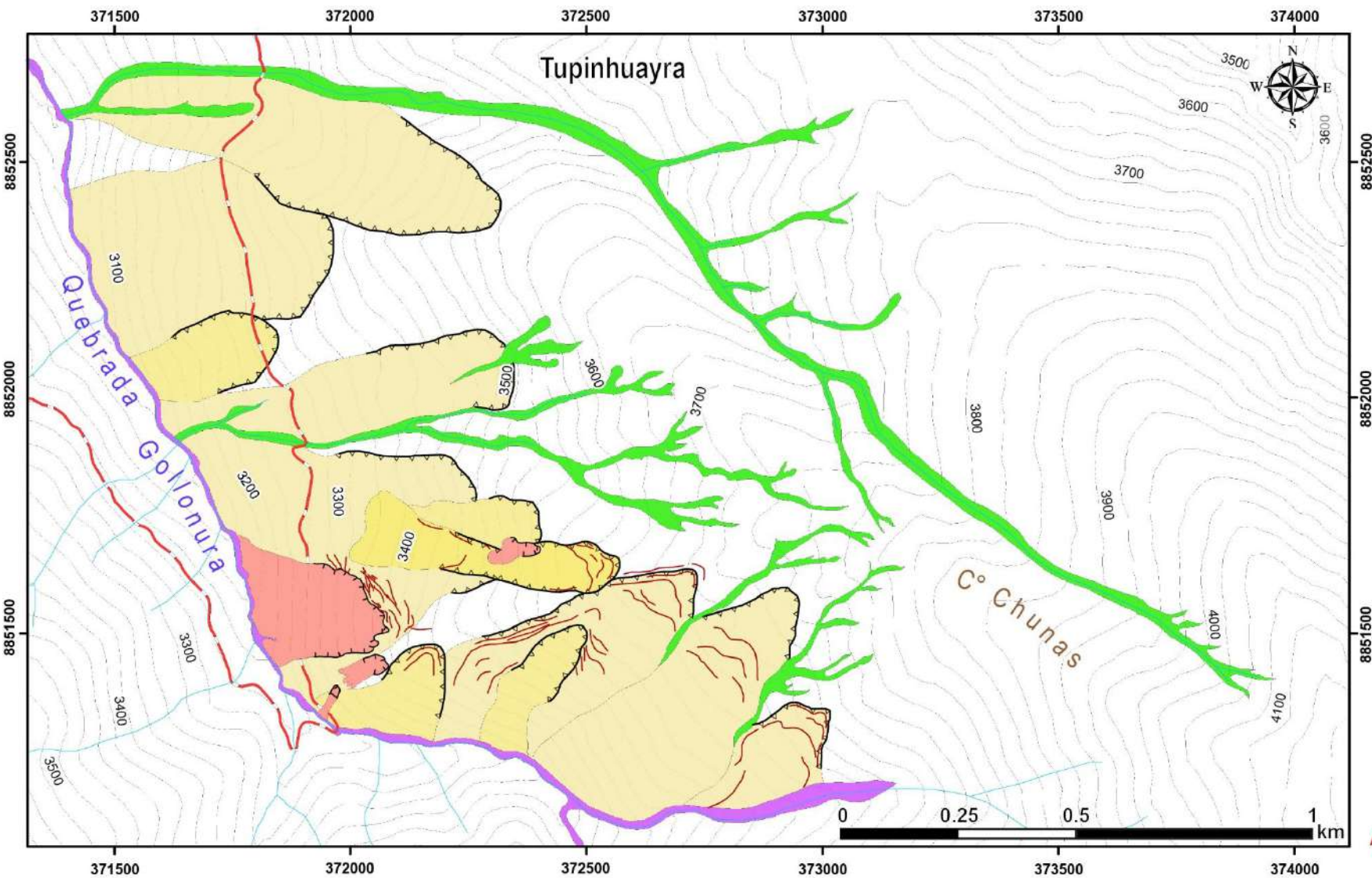
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

ACT16: Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional

Mapa Geomorfológico
Sector Tingo

Datum: UTM-WGS84, Zona 18s
Versión digital: año 2024. Versión impreso: 2024

02



Peligros geológicos

Flujo de detritos

Erosión de ladera (cárcava)

Derrumbe

Deslizamiento antiguo 2

Deslizamiento antiguo 1

Símbolos

Escarpe de deslizamiento antiguo

Escarpe de derrumbe

Grietas

Drenaje

Curvas de nivel

Trocha carrozable

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

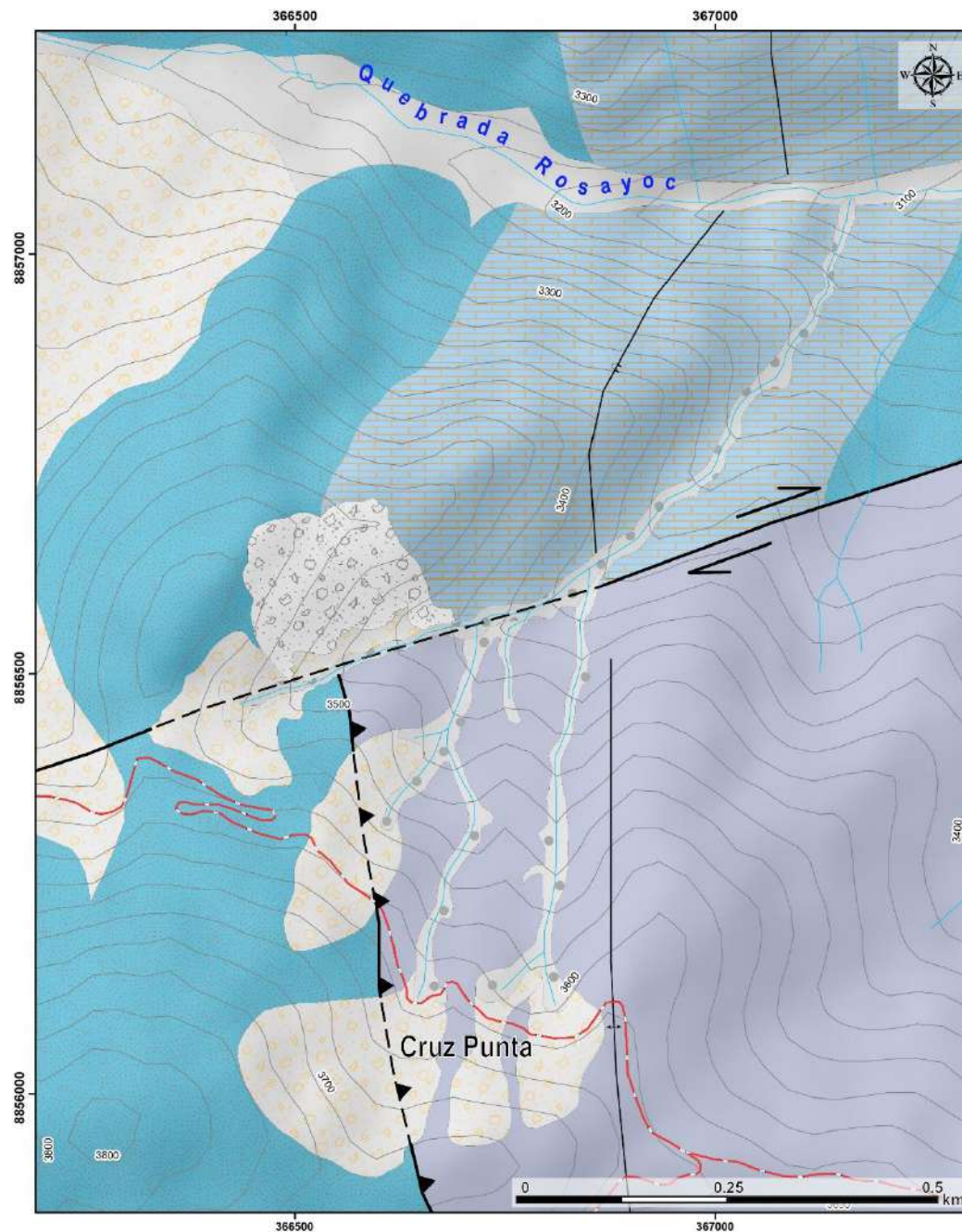
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

ACT16: Servicio de asistencia técnica en la evaluación de
peligros geológicos a nivel nacional

Mapa de Peligros Geológicos
Sector Tingo

Datum: UTM-WGS84, Zona 18s
Versión digital: año 2024. Versión impreso: 2024

03



Unidades litoestratigráficas

	Depósitos proluviales		Grupo Copacabana
	Depósitos coluvio-deluviales		Grupo Mitu
	Depósitos proluvio-aluviales		Grupo Ambo
	Depósitos coluviales		

Símbolos

	Anticlinal		Falla inversa
	Anticlinal tumbado		Falla
	Sindinal		Drenaje
	Falla inferida		Curvas de nivel
			Trocha carrozable



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

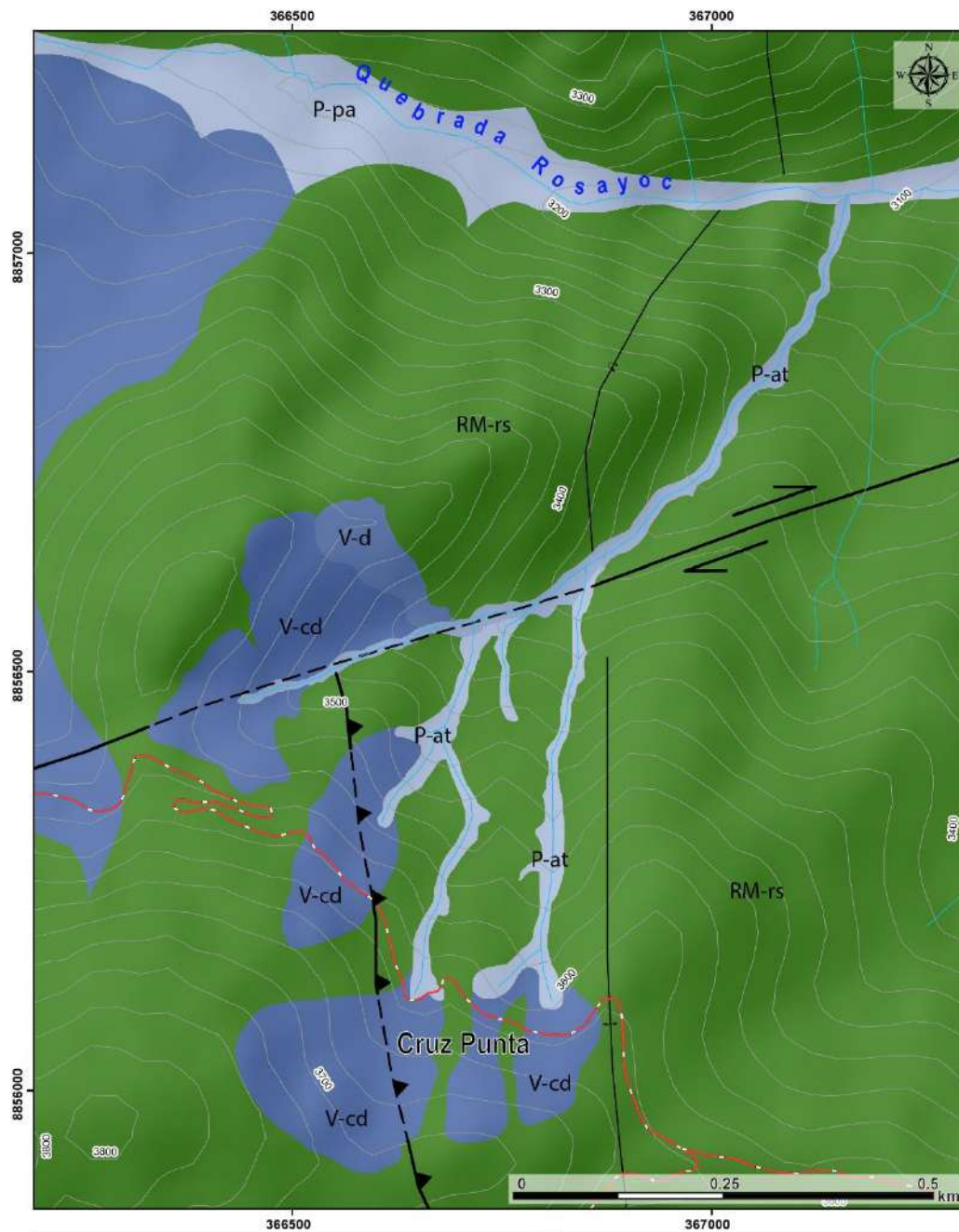
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

ACT16: Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional

Mapa Geológico
Sector Huayapag

Datum: UTM-WGS84, Zona 18s
Versión digital: año 2024. Versión impreso: 2024

04



Unidades litoestratigráficas

P-at	Vertiente aluvio-torrencial	V-d	Vertiente coluvial de detritos
P-pa	Vertiente o Piedemonte proluvio-aluvial	RM-rs	Montaña en roca sedimentaria
V-cd	Vertiente coluvial-deluvial		

Símbolos

—+—	Anticlinal	—▲—	Falla inversa
—+—	Anticlinal tumbado	—	Falla
—+—	Sinclinal	—	Drenaje
- - -	Falla inferida	—	Curvas de nivel
		—	Trocha carrozable



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

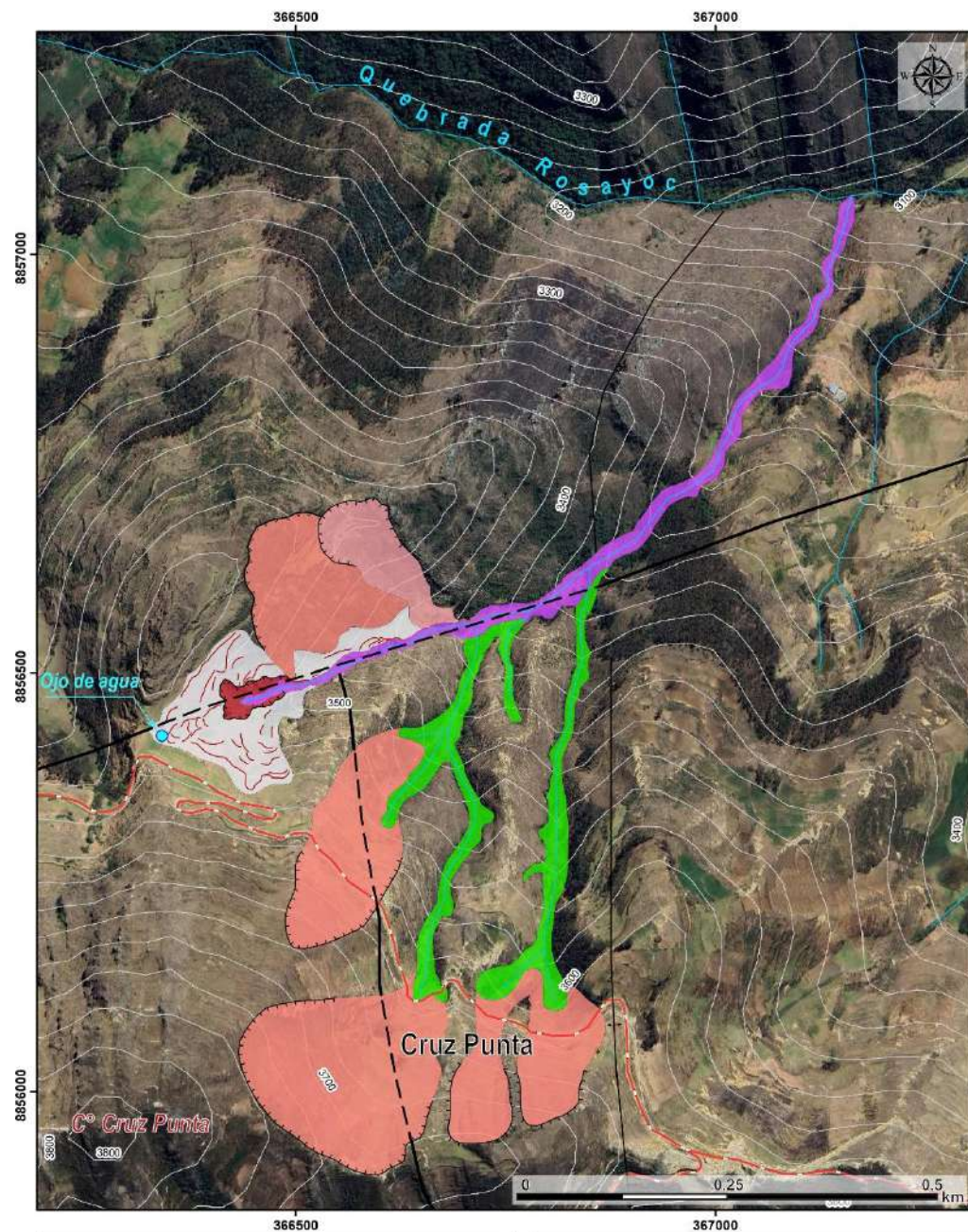
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

ACT16: Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional

**Mapa Geomorfológico
Sector Huayapag**

Datum: UTM-WGS84, Zona 18s
Versión digital: año 2024. Versión impreso: 2024

05



Peligros geológicos

- | | |
|---------------------|-----------------------------|
| Derrumbe activo | Derrumbe y caída de rocas |
| Flujo de detritos | Derrumbe inactivo |
| Reptación de suelos | Erosión de ladera (cárcava) |

Símbolos

- | | |
|--------------------|---------------------|
| Anticlinal | Escarpe de derrumbe |
| Anticlinal tumbado | Grietas |
| Sindinal | Drenaje |
| Falla inferida | Curvas de nivel |
| Falla | Trocha carrozable |



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

ACT16: Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional

Mapa de Peligros Geológicos
Sector Huayapag

Datum: UTM-WGS84, Zona 18s
Versión digital: año 2024. Versión impreso: 2024

06

ANEXO 2: PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTIVAS

Zanjas de coronación

Las zanjas de coronación, ubicadas en la corona, encima de superficies de ruptura o en la parte superior de un talud, cumplen la función de interceptar y canalizar eficientemente y de manera adecuada las aguas de pluviales, evitando su infiltración y luego debilitar el talud. Estas estructuras no deben construirse demasiado próximos al borde superior del talud, ya que podría contribuir a la inestabilidad y desequilibrio del talud, lo que actuaría como factor desencadenante ante nuevos derrumbes o desarrollo de nuevas superficies de falla de movimientos en masa (**Figura 35**).

Es fundamental realizar un mantenimiento periódico que debe efectuarse en las zanjas de coronación, con el objetivo de garantizar su funcionamiento eficazmente y prevenir obstrucciones o deterioros que puedan comprometer la estabilidad del talud. La acumulación de sedimentos, colapso parcial de las paredes o la misma erosión interna pueden alterar su capacidad de drenaje, lo que aumentaría significativamente su infiltración y afectar la resistencia del suelo.

Pueden ser de dos tipos:

- **Zanjas de talud.** Son las que siguen la línea de máxima pendiente del talud y son aplicables cuando los derrumbes o deslizamientos están situados a poca profundidad (**Figura 36**).
- **Zanjas horizontales.** Son paralelas al talud y se sitúan próximos al hombro del talud. Son útiles los drenes en forma de “*espina de pescado*” (**Figura 37**), que combinan una zanja drenante según la línea de máxima pendiente con zanjas secundarias (espinas) ligeramente inclinadas que convergen en la espina central. Su construcción y mantenimiento en zonas afectadas debe tener buena vigilancia.

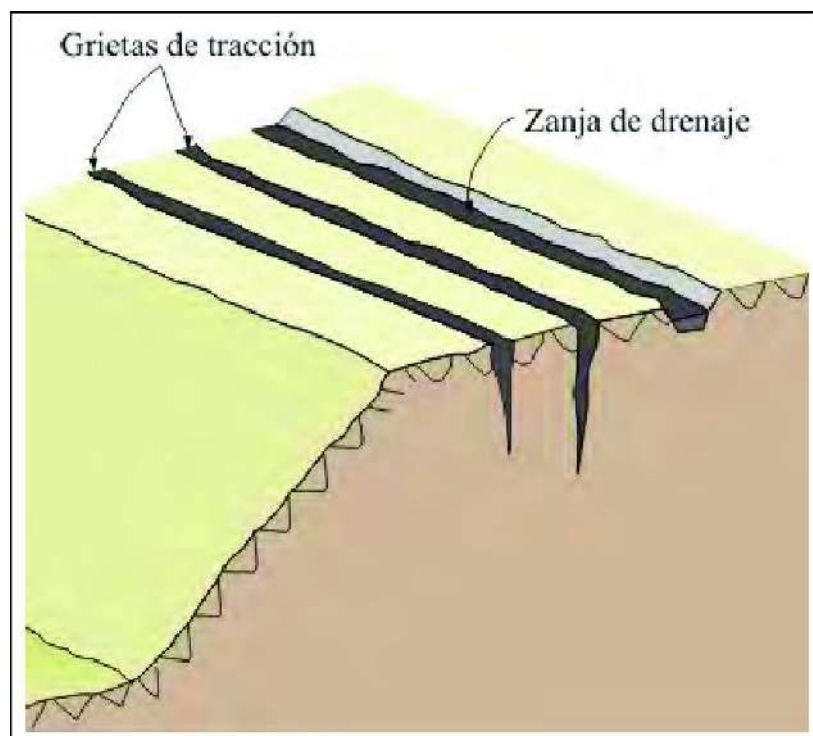


Figura 35. Zanjas o canales de coronación para derrumbes o deslizamientos. Tomado de INGEMMET (2000).

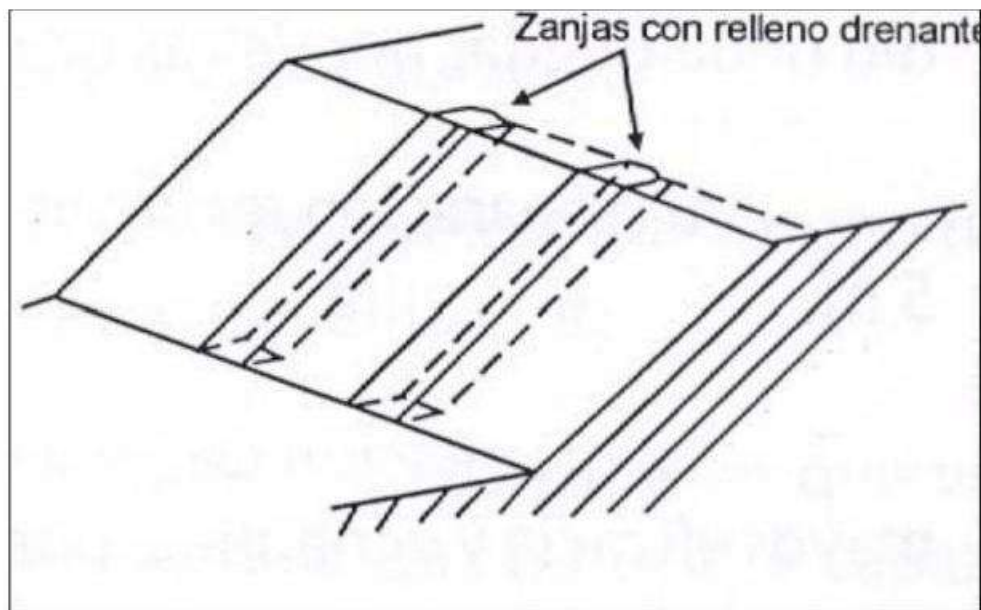


Figura 36. Zanjas de talud. Tomado de INGEMMET (2000).



Figura 37. Drenaje tipo espina de pescado. Tomado de INGEMMET (2000).

Reforestación o revegetación

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

El control de erosión con plantas debe considerar la utilización de plantas locales y de raíces densas (**Figuras 38 y 39**).

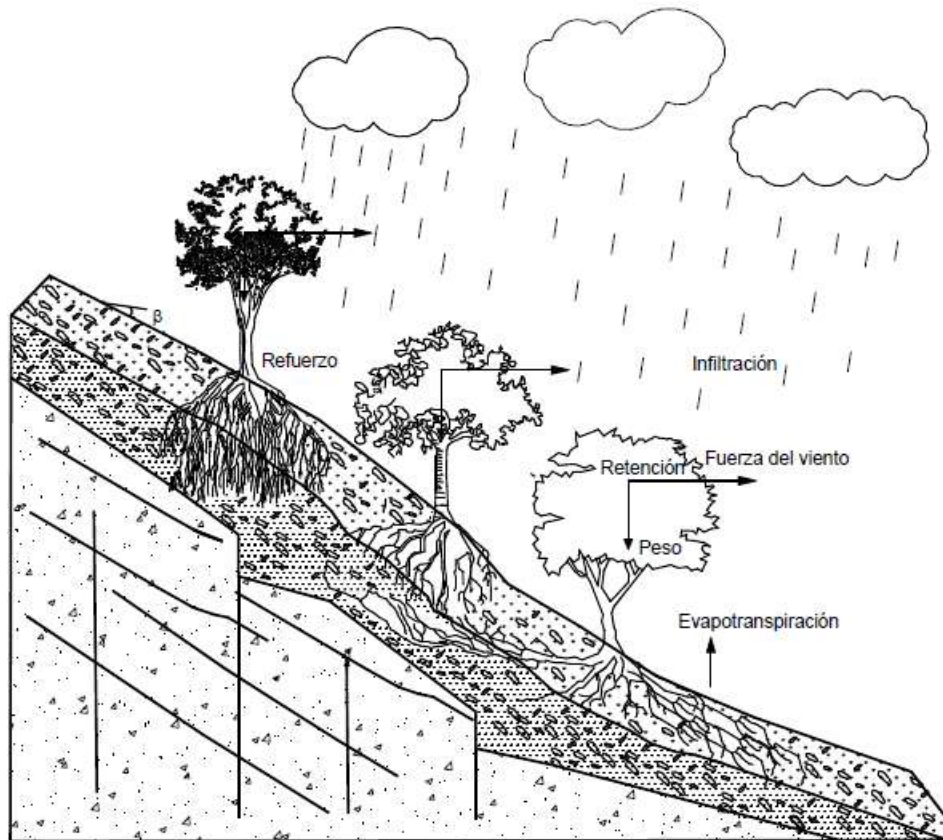


Figura 38. Estabilización de taludes utilizando vegetación. Fuente: Suarez, Díaz (2007).



Figura 39. Ejemplo de bioingeniería con arbusto (vetiver) para reforestación de taludes inestables.