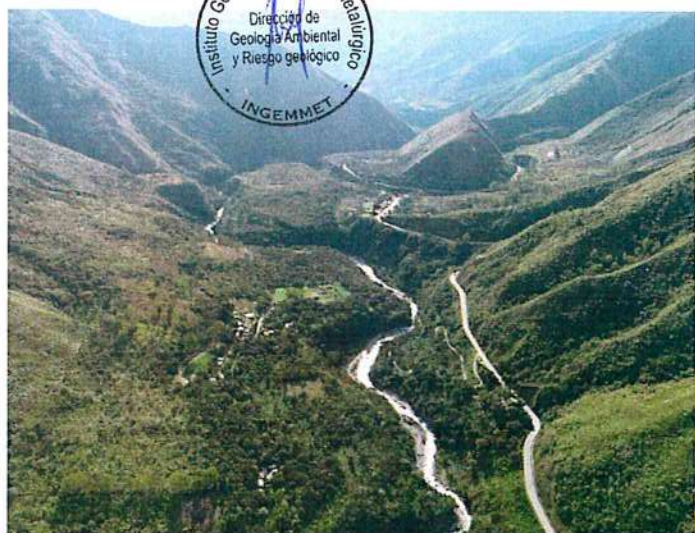


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6968

PELIGROS GEOLÓGICOS Y ZONIFICACIÓN DE SECTORES CRÍTICOS EN EL DISTRITO DE HUAYOPATA

Región Cusco
Provincia La Convención
Distrito Huayopata



NOVIEMBRE
2019

INDICE

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	5
2. ANTECEDENTES	5
3. ASPECTOS GENERALES	8
3.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	8
3.2. CLIMA E HIDROGRAFÍA.....	9
3.3. USO DE SUELOS Y COBERTURA VEGETAL.....	9
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS	10
4.1. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO	10
4.1.1. PENDIENTE DEL TERRENO.....	10
4.1.2. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	10
4.2. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	14
5. EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS	19
5.1. CONCEPTOS TEÓRICOS	19
5.1.1. CAÍDAS.....	19
5.1.2. DESLIZAMIENTOS.....	19
5.1.3. FLUJOS	20
5.1.4. MOVIMIENTO COMPLEJO	20
5.1.5. INUNDACIÓN FLUVIAL	20
5.1.6. EROSIÓN FLUVIAL.....	21
5.1.7. EROSIÓN DE LADERAS	21
5.2. EVALUACIONES PUNTUALES POR SECTORES	22
5.2.1. PUENTE SANTA MARIA.....	22
5.2.2. SECTOR SAN PABLO, QUEBRADA HUILLCAR Y CERRO CONDORHUACHANA.....	24
5.2.3. SECTOR HUAYNAPATA	27
5.2.4. QUEBRADA CCORIHUAYRACHINA	30
5.2.5. SECTOR PEDREGAL-HUAYNAPATA	32
5.2.6. SECTOR HUAYOPATA RODEO, QUEBRADA LLAULLIYOC	33
5.2.7. SECTOR HUYRO ANTIGUO-AAHH DOS DE MAYO	36
5.2.8. SECTOR SICRE.....	38
5.2.9. SECTOR CEDRUYOC.....	40
5.2.10. SECTOR TUNQUIMAYO-PUENTE IYAPE	41
5.2.11. SECTOR QUEBRADA CHAQUIMAYO.....	44
5.2.12. SECTOR KURKUNIYOC, INKATAMBO Y MISQUIUNO.....	47
5.2.13. SECTOR CHOQUELLOHUANCA	48
5.2.14. SECTOR ALFAMAYO	50

5.2.15. SECTOR LAS FLORES - QUEBRADA JORGE MAYO	52
5.2.16. SECTOR PANTICALLE.....	55
6. INVENTARIO DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL DISTRTO DE HUAYOPATA.....	56
7. MEDIDAS CORRECTIVAS.....	65
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES	73
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	74
ANEXO	75

RESUMEN

El distrito de Huayopata políticamente pertenece a la provincia de La Convención, región Cusco. Desde el punto de vista morfológico, se localiza en la cordillera Oriental, en lo que corresponde al núcleo de la Deflexión de Abancay. Corresponde al sistema hidrográfico de la microcuenca del río Lucumayo.

La capacidad de uso mayor de suelos en el distrito de Huayopata se ve predominado por zonas de bosque nuboso conocido como ceja de selva, zona de producción forestal en selva, de calidad agrológica baja y zona de pastos de calidad agrícola baja y la zona de laderas de montañas se encuentran en mínimas áreas en el territorio del distrito de Huayopata.

El área de estudio, constituye montañas de rocas intrusivas y metamórficas en su mayoría, con laderas de pendientes empinadas, comprendidas entre 20° a 65°. Por otro lado, se evidencian pendientes menores a 5° a lo largo del valle y terrazas del río Lucumayo.

Regionalmente el substrato rocoso, está compuesto esencialmente por rocas del Paleozoico, de naturaleza metamórfica e intrusiva. También se tienen depósitos cuaternarios (depósito coluvial, proluvial, aluvial, fluvial).

La información disponible de estudios anteriores de la ocurrencia de movimientos en masa, la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales y el análisis de información obtenida durante los trabajos de campo en los diferentes sectores del distrito de Huayopata, permitió determinar que los peligros geológicos por movimientos en masa que ocurren en la zona son principalmente de tipo flujo de detritos (huaicos), derrumbes, deslizamientos, erosión fluvial, erosión de ladera e inundación; los cuales se desarrollan en los diferentes puntos y sectores que se mencionan a continuación y presentados en el mapa.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y la presencia de grandes eventos de geodinámica externa ocurridos en los sectores Puente Santa María, San Pablo (quebrada Huilicar), Huaynapata, Corihuayrachina, Huayopata rodeo, Sicre, Huyro, Puente Iyape - quebrada Tunquimayo, Sector Cedruyoc, quebrada. Chaquimayo, Choquellohuanca, Alfamayo, Las Flores (quebrada Jorge Mayo) y Panticalle; es necesario considerarlos como Zonas críticas.

En ese entender, se recomienda reubicar a los sectores de Mapamayo, Huaynapata, Ccorihuayrachina, AH Dos de Mayo (Huyro), Choquellohuanca, así mismo se recomienda evitar el vertimiento de material de escombros a laderas o zonas susceptibles a movimientos en masa, restringir el uso de riego por gravedad y proponer la práctica de riego por goteo u otras técnicas propuestas por especialistas, las cuales eviten el saturamiento de los suelos por fugas e inundación, captar y drenar las surgencias de agua o manantiales a través de canales revestidos, restringir y/o prohibir la expansión urbana o nuevas construcciones en zonas con presencia de deslizamientos antiguos y recientes, reforestar las laderas desprovistas de cobertura vegetal con el fin de controlar la infiltración y finalmente sellar los agrietamientos registrados en la trocha carrozable del sector Huaynapata.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como ente técnico-científico, incorpora dentro de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) a través de la ACT.7: Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional.

Su alcance contribuye con entidades gubernamentales en los diferentes niveles de gobierno (nacional, regional y local), a partir del reconocimiento, caracterización y diagnóstico de peligros geológicos en territorios susceptibles a movimientos en masa, inundaciones u otros peligros geológicos asociados a eventos hidroclimáticos, sísmicos o de reactivación de fallas geológicas, o asociados a actividad volcánica. Mediante esta asistencia técnica el INGEMMET proporciona una evaluación técnica que incluye resultados de la evaluación geológica-geodinámica realizada, así como recomendaciones pertinentes para la mitigación y prevención de fenómenos activos o la generación de desastres futuros en el marco del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres.

Mediante Oficio N° 614-2019-MEM-DGM, recibido el 12 de abril de 2019, el Congreso de la República y Ministerio de Energía y Minas, solicitaron una evaluación geológica en el distrito de Huayopata. La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET, comisionó a los profesionales Guisela Choquenaira Garate, Luis Albinez y Edith Quispe, para realizar la respectiva evaluación técnica.

Para esta evaluación, se realizaron trabajos de recopilación de información, preparación de mapas para trabajos de campo, toma de datos fotográficos, GPS, cartografía, procesamiento de información y redacción de informe.

2. ANTECEDENTES

Entre los principales estudios realizados en la zona de estudio se pueden mencionar:

- Zonas Críticas por peligros geológicos en la región Cusco (Vílchez, M & Sosa N 2014) determina 75 zonas críticas, de los cuales 16 pertenecen a la provincia La Convención. Estas zonas críticas resaltan áreas o lugares, que luego del análisis de los peligros identificados y la vulnerabilidad a la que están expuestos (infraestructuras, centros poblados y vías de acceso), se les considera como zonas con peligro potencial de generar desastres.
- Informe técnico N° A6635. Peligros geológicos en el ámbito de la Mancomunidad Municipal Amazónica, describe los eventos producidos por lluvias excepcionales, a partir del periodo lluvioso en el año 2013. El informe describe flujos de detritos (huaicos) que se generaron en la quebrada Calquiña, recorriendo aguas abajo hasta la confluencia con el río Lucumayo. Así mismo el mapa de peligros geológicos, muestra que en las quebradas Calquiña, Sicre, Yanayacu S/N y Choquellohuanca, se desencadenó flujos de detritos.
- Informe técnico N° A6864. Evaluación Geológica-Geodinámica, para la Reubicación de los Sectores afectados por el Huaico de la Quebrada Sicre del 21/12/2018, describe que la zona de estudio presenta montañas con laderas de pendiente fuerte a muy fuerte (25° a 45°) disectadas por una red de drenajes que forman quebradas y valles. Litológicamente forman pizarras esquistas, cuarcitas (Grupo San José) y rocas intrusivas (Granodioritas). En la superficie

de las laderas colindantes de la quebrada Sicre y Choquellohuanca, se tienen eventos de movimientos en masa antiguos y recientes, que se reactivan con precipitaciones pluviales intensas y excepcionales, generando material suelto, ello alimenta los cauces de las quebradas.

- Informe técnico N°A6866. Flujo de detritos (Huaicos) del 21/12/2018. Originados en las quebradas Sicre y Choquellohuanca, evaluación de peligros geológicos. Donde describe que en la cuenca media y alta de la quebrada Sicre se tienen procesos por movimientos en masa, desencadenados por intensas precipitaciones pluviales. El paso del flujo de detritos desestabilizó los pies de las laderas, ocasionando que el material inestable se desplace cuesta abajo, formando derrumbes y deslizamientos.
- Informe técnico N°A6851. Peligros Geológicos en el sector de Sicre y alrededores. El sector de Huyro se encuentra emplazado dentro del abanico proluvial de la quebrada Calquiña, es afectado por flujo de detritos (huaicos) que comprometen la seguridad física de las viviendas. Por las condiciones climáticas la parte media y alta de la microcuenca está expuesta a nuevos derrumbes, deslizamientos y flujo de detritos.
- Estudio de riesgos geológicos de la región Cusco, elaborado por Vilchez M & Sosa N., 2014, realiza el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa. Determina que los centros poblados de: Ichubamba, Amaybamba, Choquellohuanca, Yanayacu, Sicre, Triunfo, Cuarta etapa, Huyro antiguo, Pedregal y Tablahuasi, se ubican en zona de Alto y Muy Alto grado de susceptibilidad a peligros de tipo: deslizamientos, derrumbes, flujo de detritos y erosión fluvial.

Algunos sucesos y ocurrencias más resaltantes:

- El 23 de enero de 2019, a las 03:20 a. m. horas aproximadamente a consecuencia de las fuertes precipitaciones pluviales se incrementó el caudal del río Choquellohuanca, obstruyendo el pase vehicular y peatonal en la ruta Cusco-Quillabamba. Afectó vías de comunicación en el distrito de Huayopata, provincia de La Convención. Fuente INDECI.
- El 17 de enero de 2019, a las 18:00 horas aproximadamente, a consecuencia de las fuertes precipitaciones pluviales se incrementó el caudal del río Choquellohuanca - Amaybamba obstruyendo el pase vehicular en el Puente "Amaybamba". Fuente INDECI.
- El 21 de diciembre de 2018, a las 15:30 aproximadamente, se desencadenó flujo de detritos (huaico) de gran magnitud por movimientos en masa en la quebrada Choquellohuanca, Pedregal e Ipal; el flujo transportó lodo, bloques y cantos de diferentes tamaños. Afectó viviendas, áreas de cultivo, infraestructura vial, puente y animales de crianza. Así mismo el flujo dejó 1,000 familias afectadas. Desde años anteriores, el sector Amaybamba alta, por las características geológicas e hidrográficas, está expuesto a fenómenos de geodinámica externa como derrumbes, deslizamientos, flujo de detritos y erosión fluvial.
- El 18 de enero del 2019, se incrementó el caudal de los ríos Sicre, Ipal y Choquellohuanca, su posterior desborde afectó vías de comunicación en los sectores Sicre y Choquellohuanca.
- En noviembre del 2018 se reactivó el río Huayopata rodeo en flujo de detritos, afectando dos captaciones de agua.
- El 12 de febrero del 2013, en la quebrada Calquiña se desencadenó flujo de detritos (huaico), el flujo se originó en la zona alta de la quebrada, las mayores

consecuencias se produjeron en el tramo medio e inferior de la quebrada, zona donde se encuentran asentadas las viviendas del sector denominado antiguo Huyro.

OBJETIVO

- Identificar y tipificar los peligros geológicos que ocurren en la zona; así como definir los principales elementos vulnerables expuestos ante la ocurrencia de procesos por remoción en masa.
- Determinar zonas críticas y sectores expuestos a la ocurrencia de peligros geológicos.
- Determinar los principales factores condicionantes y desencadenantes de peligros geológicos y geo-hidrologicos

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Gabinete I

- Recopilación y evaluación de información bibliográfica.
- Preparación, elaboración y cartografía de mapas preliminares de peligros geológicos, en base a imágenes satelitales del google Earth y Terra Incógnita.

Campo

- Cartografía de peligros geológicos a escala 1: 5,000.
- Inventario de peligros geológicos y los principales daños y afectaciones en el distrito de Huayopata.
- Registro fotográfico de alta resolución y sobrevuelo del equipo no tripulado DRONE sobre la zona de estudio.
- Entrevistas y acompañamiento de autoridades de centros poblados en las inspecciones de campo.
- Inventario de movimientos en masa desencadenados por lluvias intensas o excepcionales, en el distrito de Huayopata

Gabinete II

- Procesamiento y análisis de datos obtenidos en campo.
- Revisión, corrección y complementación de la base de datos de los peligros geológicos e hidrogeológicos.
- Elaboración de mapa de pendientes, mapa geológico y de peligros geológicos.

3. ASPECTOS GENERALES

3.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

Políticamente el distrito de Huayopata se ubica en la provincia La Convención, región Cusco (figura 1). Desde el punto de vista morfológico, se localiza en la cordillera Oriental, en lo que corresponde al núcleo de la "Deflexión de Abancay" (Carlotto, et al., 1998).

El área de estudio abarca 530.60 km² aproximadamente, cuyas coordenadas UTM (WGS 84) E: 765787 N: 8560861; con altitudes que varía entre 1280 m s. n. m. a 4380 m s. n. m.

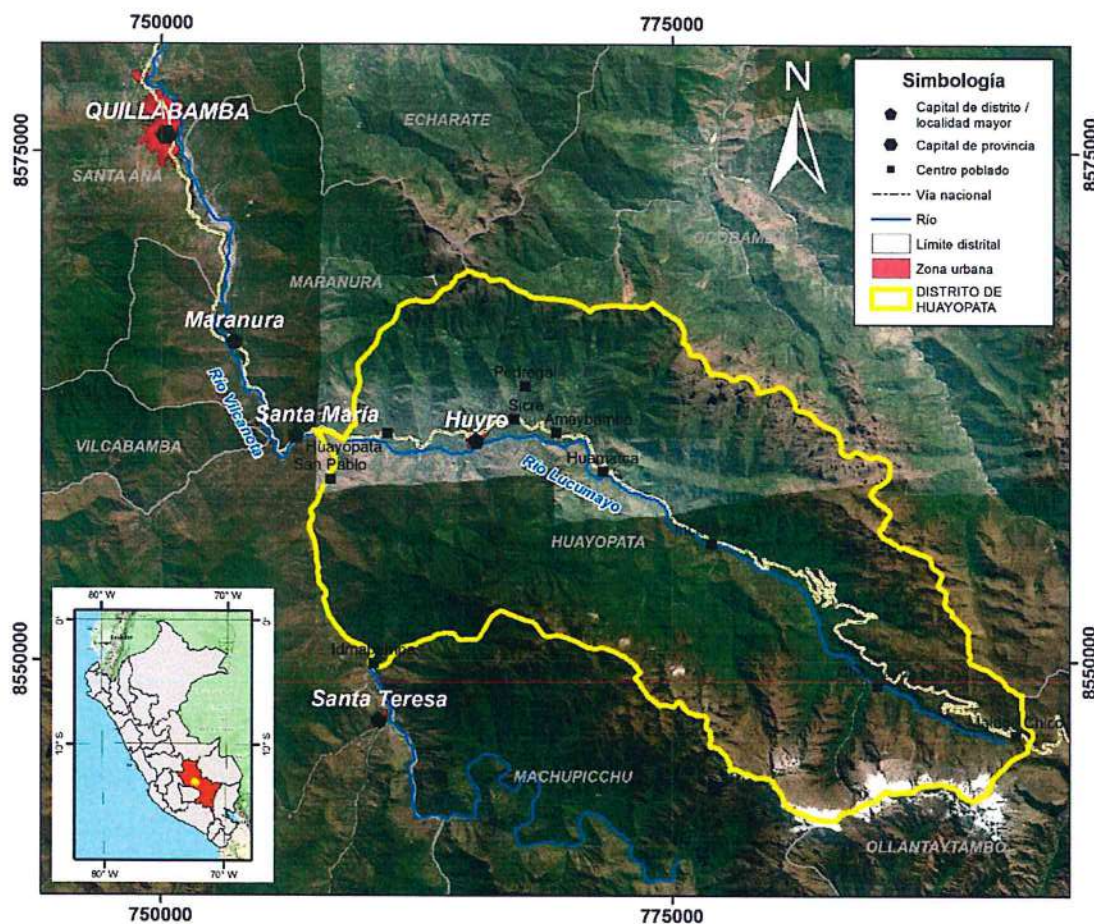


Figura 1. Mapa de ubicación del distrito de Huayopata

El principal acceso por vía terrestre desde Lima, se realiza por la carretera panamericana sur hasta la ciudad de Nazca, el recorrido continúa tomando el desvío hacia Cusco. De Cusco la ruta continúa pasando por Cachimayo, Chinchero, Urubamba, Ollantaytambo, Abra Málaga y finalmente se llega a Huayopata (Huyro, capital de Huayopata) recorriendo un tramo de 173 km aproximadamente por la vía asfaltada.

Itinerario

Ruta	Tipo de Vía	km	Tiempo
Lima – Nazca - Cusco	Vía asfaltada	447	6 h 20 min
Nazca- Abancay- Cusco	Vía asfaltada	880	17 h
Cusco-Ollantaytambo Huayopata	Vía asfaltada	180	4 h

3.2. CLIMA E HIDROGRAFÍA

Según la clasificación climática de SENAMHI 1998, en el distrito de Huayopata la precipitación media anual es de 1,508 mm, con máximas precipitaciones intensas y duraderas entre los meses de noviembre a marzo; y temperatura media anual de 20.4 °C.

Tabla N° 1. Clasificación climática del distrito de Huayopata.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
A(r) B'1 H4	Zona de clima semicálido muy lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como muy húmeda. Correspondiente a las vertientes inferiores y valle de la microcuenca Lucumayo.
A(r) B'2 H3	Zona de clima templado muy lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa, calificada como húmeda. Correspondiente a las cabeceras de ríos y quebradas principales.
B(o,i) D' H3	Zona de clima semifrío lluvioso, con deficientes lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada, como húmeda. Correspondiente a la cabecera de la microcuenca Lucumayo.
B(r) B'1 H4	Zona de clima semicálido, lluvioso, precipitación abundante en todas las estaciones del año, con humedad relativa, calificada como muy húmeda. Corresponde este clima a las vertientes medias del valle Lucumayo, hasta la confluencia con el río Vilcanota.

FUENTE: Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres del distrito de Huayopata al 2021: Análisis geoespacial, a partir de la base geoespacial del SENAMHI.

El distrito de Huayopata corresponde al sistema hidrográfico del río Lucumayo. El río del valle Lucumayo recorre en dirección este a oeste mientras que su tributario, la quebrada Calquiña desemboca perpendicularmente en sentido norte-sur. El distrito de Huayopata se circunscribe en el sistema mayor de la subcuenca del río Vilcanota, cuenca alta del Urubamba.

3.3. USO DE SUELOS Y COBERTURA VEGETAL

La capacidad de uso mayor de suelos en el distrito de Huayopata se ve predominado por zonas de bosque nuboso conocido como ceja de selva (47 % de la superficie total), zona de producción forestal en selva, de calidad agrológica baja (25%) y zona de pastos de calidad agrícola baja (22%) y la zona de laderas de montañas se encuentran en mínimas áreas en el territorio del distrito de Huayopata. Fuente: Municipalidad distrital de Huayopata 2018.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

4.1. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

4.1.1. Pendiente del terreno.

La pendiente es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En la Figura 2, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a información del modelo de elevación digital de 30 m de resolución (USGS), donde se presentan con mayor predominio laderas y estribaciones con inclinación de pendientes comprendidas entre 20° a 65° , consideradas de moderada a fuerte pendiente, lo cual facilita el escurrimiento superficial del material suelto disponible en las laderas.

Por otro lado se evidencian pendientes menores a 5° a lo largo del valle y terrazas del río Lucumayo.

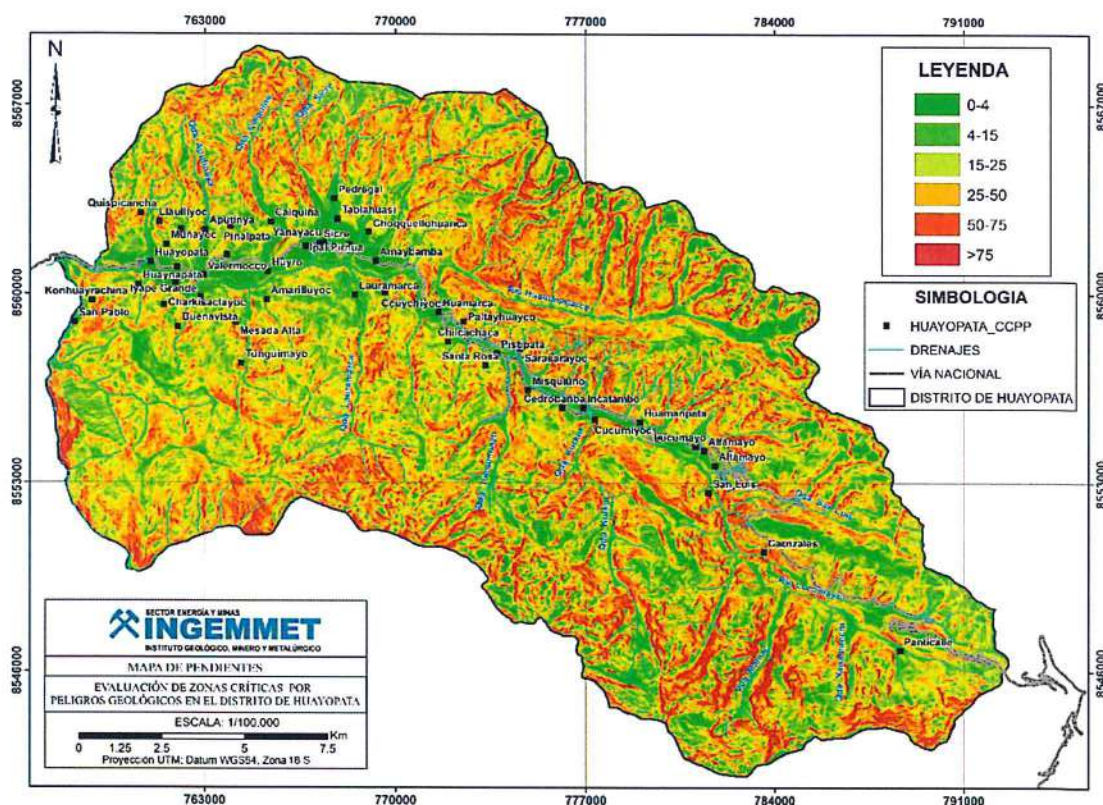


Figura 2. Mapa de pendientes del distrito de Huayopata.

4.1.2. Unidades geomorfológicas

La clasificación de las unidades geomorfológicas se tomó en base a la memoria descriptiva de la región Cusco, elaborado por INGEMMET (figura 4).

Geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional

Unidad de montañas:

Representadas por relieves montañosos modelados en rocas metamórficas e intrusivas, correspondientes a la cordillera Oriental. Presentan una altura de más de 300 m con respecto al nivel de base local (figura 3).

- Sub unidad de montañas en rocas intrusivas (RM-ri): En la zona de estudio las montañas de este tipo, se disponen en forma de batolitos. Representadas al sureste del cuadrángulo de Quillabamba, por las montañas del macizo de Mesapelada; y por el oeste al Batolito de Machupicchu. Constituyen montañas de relieve abrupto, de cimas alargadas y laderas de pendientes empinadas, disectadas por una red de drenaje ramificado de las quebradas Calquiña, Ipal, Sicre, Aputinya y Huayopata Rodeo; al este y por el oeste, disectada por las quebradas Macmac, Quellomasa y Kurkur. Los procesos denudativos originados en esta unidad corresponden a procesos de erosión de laderas, caída de rocas, derrumbes, flujo de detritos y deslizamientos.
- Sub unidad de montañas en rocas metamórficas (RM-rm): Las montañas de este tipo afloran al extremo noroeste y cubren gran parte del distrito de Huayopata. Se encuentran constituyendo laderas de pendientes moderadas a empinadas con algunas cimas subredondeadas a agudas. En la parte alta son disectados por una red de drenaje dendrítica, resaltando principalmente las quebradas Tunquimayo, Santa Rosa, Kurkur, Mamac, Yanamanchi y Panticalle. Al extremo suroeste, se presentan relieves de modelado glaciar con algunas subunidades tipo circos, morrenas y valles glaciares en forma de U. Los procesos denudativos producto de la dinámica fluvio-erosionales, glaciar y glacio-fluvial, afectan rocas metamórficas, generando flujo de detritos (huaicos), deslizamientos y derrumbes.
- Sub unidad de montaña con cobertura Glaciar - Abra Málaga (Verónica-Mc-gl): El nevado Verónica denominado también Wakaywillque tiene una altura de 5893 m s.n. m. Constituye la cadena de nevados Pituisiray (5100 m s. n. m.), Chicón (5530 m s. n. m.), Sirihuani (5399 m s. n. m.), Capacsaya (5044 m. s. n. m), Pumahuancca (5330 m s. n. m.), Halancoma (5367 m s. n. m), en dirección NO-SE. El nevado Verónica tiene una longitud aproximada de 10 km, en dirección este-oeste y ancho de 2 km. Aquí se han desarrollado glaciares de montaña cuya altura mínima de nieve es en promedio 4600 m s. n. m. Este nevado se caracteriza por tener una topografía muy agreste con pendientes altas a muy altas que pasan los 40°, propensos a desarrollar aludes (Cárdenas et al., 2010). En la montaña glaciar se identificaron procesos de derrumbes, erosión de laderas en cárcavas (fotografía 1).

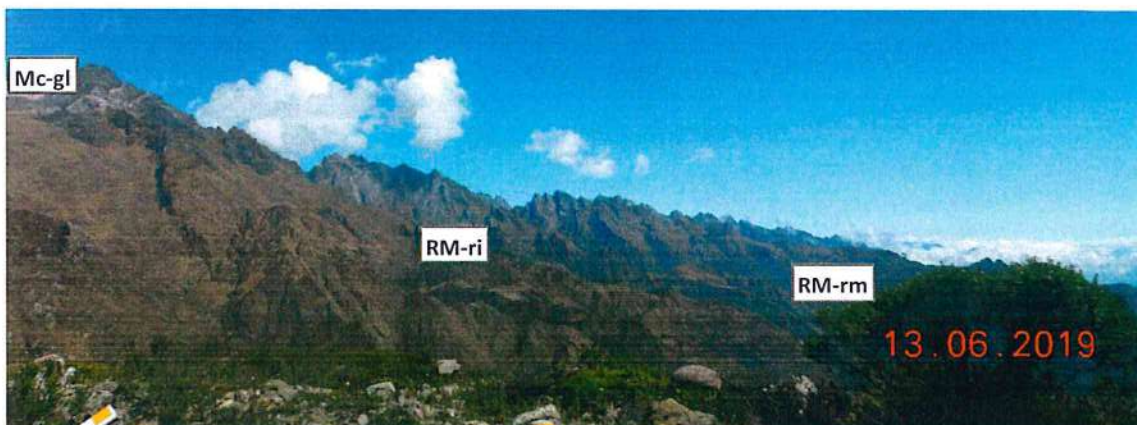


Figura 3. Montañas de rocas intrusivas y metamórficas, margen izquierda del valle Lucumayo. Vista tomada hacia el oeste



Fotografía 1. Vista del nevado Verónica, en sus laderas empinadas se observa derrumbes, así mismo se puede visualizar el material de aporte que genera el retroceso glaciar

Geoformas de carácter deposicional y agradacional

Unidad de Piedemonte

Representadas por las acumulaciones de material proveniente de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas existentes:

- **Sub unidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd):** Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes, de tipo deslizamientos o avalancha de rocas, usualmente se depositan en forma convexa.
- **Sub unidad de vertiente o Piedemonte coluvio-deluvial (V-cd):** Localizados al pie de las laderas, resultantes de la acumulación de material caído desde las partes altas, por acción de la gravedad, también por flujos de detritos no canalizados. Este tipo de geoformas se pueden observar en ambas márgenes del río Lucumayo y en las quebradas. En periodos de intensas precipitaciones se producen deslizamientos y derrumbes en tramos de la carretera que conduce a la ciudad de Quillabamba, cerrando la vía de acceso a la ciudad referida y pueblos aledaños.
- **Sub unidad de piedemonte aluvio-torrenciales (P-at):** Son el resultado de la acumulación de material movilizado a manera de flujos de detritos (huaicos), modifican localmente la dirección de los cursos de ríos; se ubican en las desembocaduras de quebradas hacia los ríos principales. Gran parte de estas geoformas vienen siendo ocupadas por centros poblados importantes como: Huayopata Rodeo, Huyro, Amaybamba, Sicre, Ipal, Kurkurniyoc, Misquiuno, Pistipata entre otros.

Unidad de planicie: En la zona de estudio se encuentran representados por las siguientes sub unidades:

- **Sub unidad de valle fluvial y terrazas indiferenciadas (VT-i):** El valle del río Lucumayo discurre en dirección este oeste con una pendiente menor a 3°, hasta la confluencia con el río Vilcanota. En la zona media

inicia un ensanchamiento producto de la dinámica fluvial del río, ello origina erosión fluvial en la base de las laderas, dejándolo inestable y expuesto a derrumbes y deslizamientos.

- **Sub unidad de terrazas aluviales (T-al):** Son depósitos dispuestos en ambas márgenes del río Lucumayo, representan niveles antiguos de sedimentación fluvial, los cuales han sido disectados por las corrientes como consecuencia de la profundización del valle. Alguna de las terrazas presentan 10 m de altura con respecto al nivel del río Lucumayo con pendiente menor a 5°. Sobre estos terrenos se emplazan centros poblados y se desarrollan actividades agrícolas.
- **Sub unidad de llanura de inundación (PI-i):** A lo largo del valle Lucumayo se identificaron superficies planas, originadas por la acción fluvial del río, sujetas a inundaciones recurrentes, por precipitaciones estacionales o excepcionales. Estas geformas cambian constantemente por la acción erosiva del río.
- **Sub unidad de morrenas (Mo):** Acumulaciones al pie del glaciar Verónica, desplazados pendiente abajo, formando morrenas laterales y frontales, constituido por material heterométrico.
- **Sub unidad de valle Glaciar (VII-gl):** Es el resultado de la erosión que dejó el paso del glaciar Verónica, se caracteriza por presentar un perfil en U.



Figura 4. Se ha diferenciado las siguientes sub unidades: Sub unidad de montañas en rocas intrusivas (RM-ri), sub unidad de montañas de roca metamórfica (RM-rm), su unidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd), sub unidad de piedemonte aluvio-torrenciales (P-at), sub unidad de valle fluvial y terrazas indiferenciadas (VT-i) y sub unidad de terrazas aluviales (T-al), depositadas en la margen derecha del río Lucumayo. Estos abanicos vienen siendo ocupados por centros poblados.

4.2. CONTEXTO GEOLÓGICO

Regionalmente, el substrato rocoso (figura 7) está compuesto esencialmente por rocas del Paleozoico, de naturaleza metamórfica e intrusiva. También se tienen depósitos cuaternarios (figura 8).

La descripción de las unidades litoestratigráficas se han extraído de los boletines de la carta nacional de los cuadrángulos: Urubamba – Calca (Carlotto et al., 1996) Quillabamba – Machupicchu (Carlotto et al., 1999).

PALEOZOICO INFERIOR

a) Cámbrico

Formación Ollantaytambo (CAOi-o-esq,pz): Infrayace a los conglomerados de la Formación Verónica y a la Formación San José del Ordovícico, por lo que se le atribuye del Cámbrico. Constituido por pizarras y esquistos, aflorante al noroeste en la cuenca alta del distrito de Huayopata

Formación Málaga - pizarras y esquistos (Oi-m/p,e): Constituida por niveles de pizarra, esquistos-sericita y areniscas de color verdosa con estratificación laminar. En la zona aflora al oeste del distrito de Huayopata, en las cabeceras de las quebradas Kurkur, Quellomaso, Mamac y Yanamanchi (figura 5).

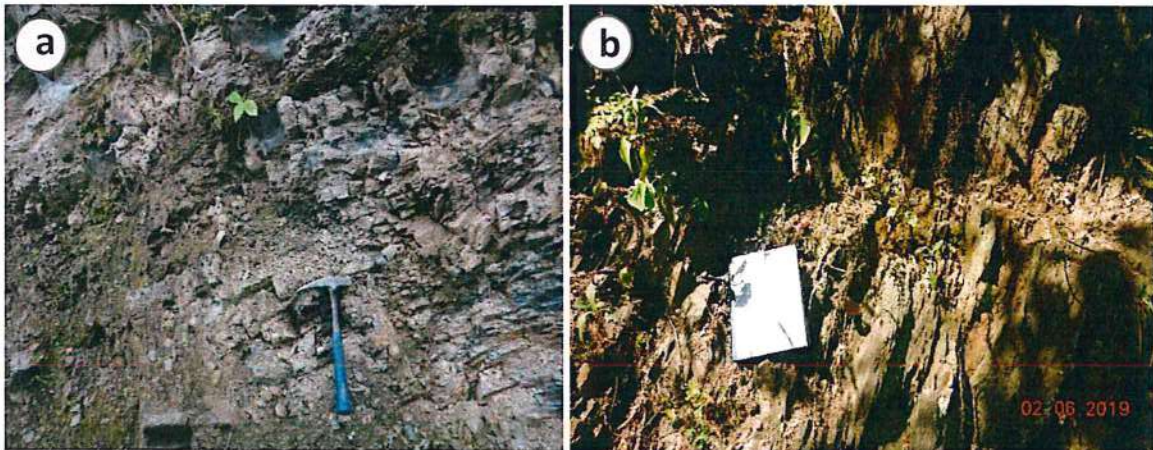


Figura 5. Rocas metamórficas constituidas por pizarras y filitas. a) Aflora en las laderas del sector Aputinya. b) Aflora en la margen izquierda de la quebrada Lauramarca.

Formación Málaga- cuarcitas (Oi-m/cu): Rocas con cierto grado de metamorfismo, conformada por niveles de cuarcitas, areniscas grises intercaladas con esquistos, filitas en estratos gruesos a medianos (figura 6a). En la zona de estudio afloran en la parte media a lo largo del río Lucumayo y la quebrada Chaquimayo, constituyen fragmentos de rocas cuarcíticas y metaarenitas, en su mayoría transportado por los flujos de detritos (figura 6b).

Estas rocas se encuentran moderadamente meteorizadas; se les califica como medianamente fracturadas y se les considera como roca de calidad geotécnica regular. Las rocas están cubiertas por depósito coluvio-deluvial de composición limo-arcilloso con gravas y bloques.



Figura 6. a) Afloramiento de cuarcitas b) Meta-arenitas de la formación Málaga. Vista tomada en la parte baja de la quebrada Chaquimayo.

b) Ordovícico

Formación Verónica (Oi-v): Afloran principalmente en los alrededores del nevado Verónica y se extiende hacia el este, pasando por la carretera Ollantaytambo - Abra Málaga. Al oeste se halla truncada por el batolito de Machupicchu.

Está constituido por conglomerados, de composición cuarcita de formas redondeadas, con matriz arenosa. Los cantos, cuyo diámetro es de 15 cm muestran alargamiento tectónico paralelo a la esquistosidad que afecta a los conglomerados (Carlotto et al., 1996).

Grupo San José (Oim-sj): Aflora en el extremo norte del cuadrángulo de Quillabamba, por la margen derecha aflora en la cuenca alta del río Huayopata Rodeo, quebrada Aputinya y la quebrada Calquiña. Está compuesto por pizarras, esquistos grises, verdes y negros, micaesquistos, cuarcitas, metafilitas, hornfels de cordierita y granate, cuarzo-grauvaca y lutitas bandeadas.

En el Abra Málaga la formación San José ha sido dividida en tres secuencias. La secuencia inferior (350m) está conformado por cuarcitas finas rojizas, verdes y grises. La secuencia intermedia (450m) caracterizada por arcillitas bandeadas (microflyschs) con niveles delgados de areniscas finas. En la tercera secuencia afloran pizarras negras y filitas (Carlotto et al., 1996).

c. Intrusivos Permo-Triásicos

Macizo de Machupicchu (PET-mach-gr): Este macizo se ubica en la parte este del cuadrángulo de Machupicchu y se prolonga hacia el cuadrángulo adyacente de Urubamba, donde se le da el nombre de batolito de Machupicchu. El macizo tiene una forma alargada de dirección N-S. En la zona de estudio aflora al noroeste del río Lucumayo, en la cabecera de la quebrada Mamac.

Macizo de Mesapelada (PET-qum-gr,gd): Se ubica al sureste del cuadrángulo de Quillabamba, tiene una dirección general ONO-ESE y un área de 181 km². Aflora en los cerros Mesapelada, Condorsenja, Socorroyoc y San Miguel, prolongándose por el este.

Este macizo intruye rocas del grupo San José y las formaciones Quillabamba y Sandía. La evaluación en campo permitió evidenciar rocas intrusivas del macizo Mesapelada en la cabecera de las quebradas Sicre e Ipal, identificadas como zona de arranque del flujo de detritos (huaico) del 21 de diciembre del 2018.

Además de la presencia de la catarata del Oso a la altura de la cabecera del macizo.

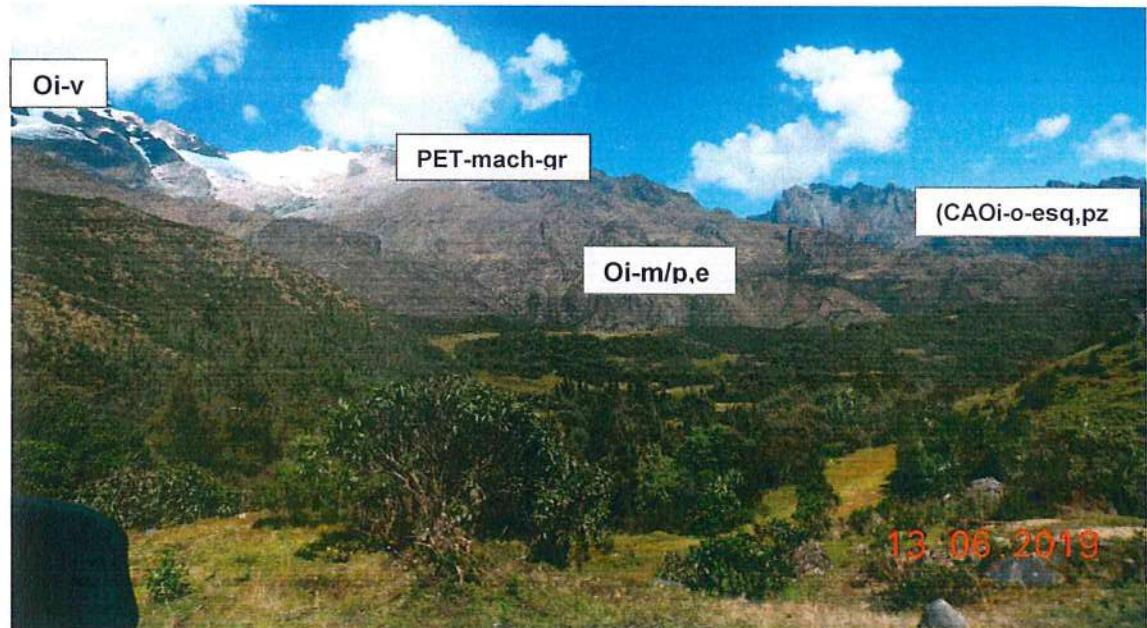


Figura 7. Formaciones geológicas que constituye el lado noroeste del distrito de Huayopata. Vista tomada hacia el oeste.

d. Depósitos superficiales (recientes)

Dentro de estos depósitos se puede diferenciar:

Depósitos coluviales (Qr-col): En la zona de estudio estos depósitos están localizados al pie de las laderas, en los extremos del río Lucumayo, al pie de las laderas que delimitan las quebradas y en los cortes e talud para la construcción de carreteras. Están constituidos por gravas y bloques subangulosos a angulosos, con una matriz arcillo-limosa, poco o nada consolidados (fotografía 2).

En los cuadrángulos de Quillabamba y Machupicchu se diferencian depósitos de deslizamientos (Q-d), que agrupa a las masas rocosas y/o suelos que han sufrido remoción.

Depósitos aluviales (Qr-al): En el valle del río Lucumayo se han identificado importantes depósitos aluviales, donde se han emplazados centros poblados; conformados en su mayoría por torrenteras de huaicos antiguos.

Litológicamente se componen de gravas y bloques redondeados, envueltos en una matriz limo-arenosa y que conforman grandes terrazas aluviales en ambas márgenes del río Lucumayo.

Depósitos fluviales (Qr-fl): Forman parte del curso actual del río Lucumayo, caracterizado por la presencia de bloques, gravas, arenas y limos, con formas redondeadas a subredondeadas, que son periódicamente acarreadas por el curso del río con avenidas.

Depósitos fluvioglaciares (Qr-flgl): Se encuentran en la parte alta del distrito de Huayopata. Estos depósitos son alimentados por las principales quebradas Panticalle, Macmac y Yanamanchi.

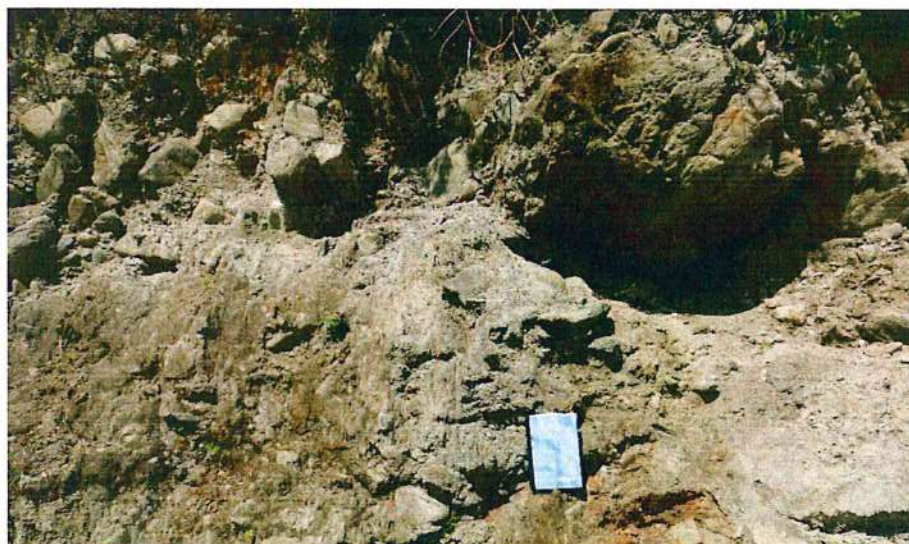
Depósitos proluviales (Qh-pr): Se encuentran dispuestos en el fondo de los valles, conoides deyectivos y en la confluencia de quebradas tributarios al curso del río Lucumayo. Zonas donde se emplazan los sectores de Huayopata Rodeo, Huyro, Aputinya, Sicre, Ipal y Amaybamba (fotografía 3).

Están conformados por fragmentos rocosos heterométricos (guijarros, gravas, bloques, etc.), en matriz arcillo-limoso.

Depósitos morrénicos (Q-mo): Localizados en la parte alta del distrito de Huayopata. Se identificaron morrenas frontales y laterales, conformados por acumulaciones de bloques heterométricos y gravas, principalmente de rocas intrusivas y metamórficas, en una matriz areno-arcillosa.



Fotografía 2. Depósito coluvio deluvial, ubicado en el sector Ccorihuayrachina.



Fotografía 3. Depósito proluvial, margen izquierda de la quebrada Tunquimayo

5. EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS

5.1. CONCEPTOS TEÓRICOS

En la zona de estudio se identificó peligros geológicos por movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes y flujos de detritos), peligros geohidrológicos (inundación fluvial, erosión fluvial) y otros peligros geológicos (erosión de ladera).

– TIPOS DE PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA

5.1.1. CAÍDAS

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable (figura 9). Una vez desprendido el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes 1978).

En función al mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como del material involucrado, las caídas se subdividen en tres tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes (Vilchez M., 2013).

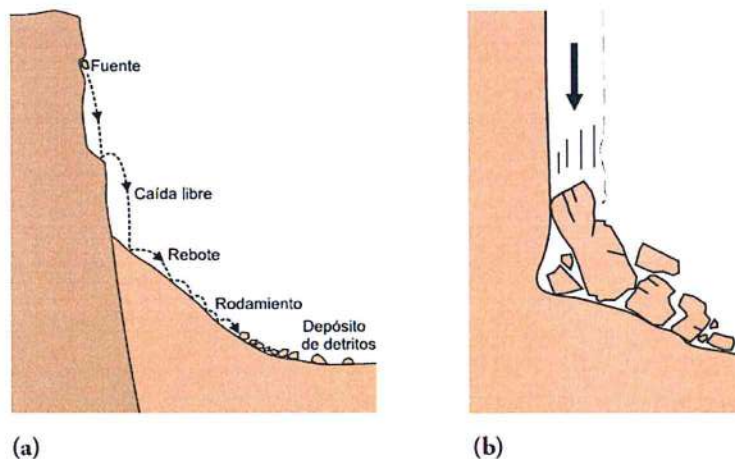


Figura 9. (a) Esquema de caída de rocas (b) Coraminas y Yagué (1997) denominan a este movimiento "colapso".

5.1.2. DESLIZAMIENTOS

Los deslizamientos son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud" (Cruden 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Hrrrod 1989). Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc.

Se dividen en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación y traslación. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear (Suárez J., 2009).

5.1.3. FLUJOS

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes 1978). Según el tipo de material y mecanismo de velocidad de desplazamiento y ocurrencia, se pueden identificar flujos de detritos, de lodo y aluviones (figura 10).

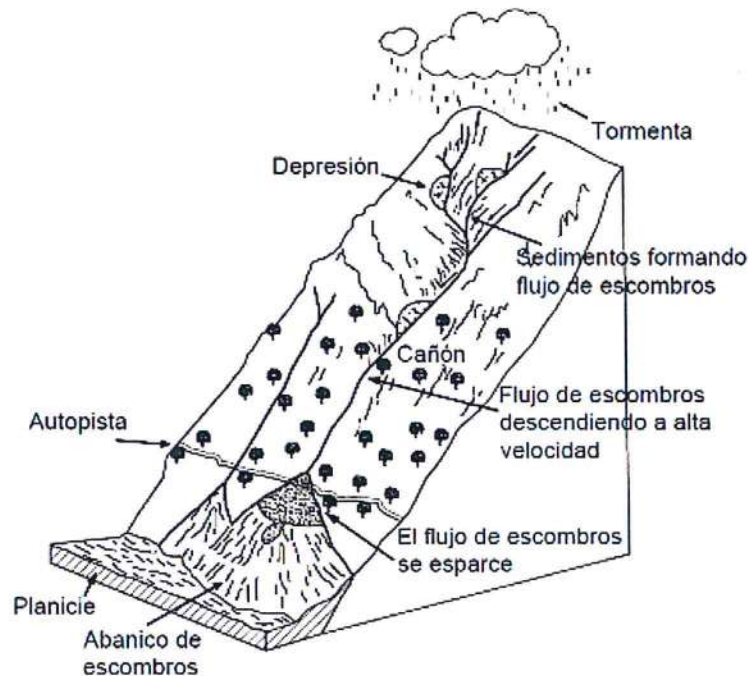


Figura 10. Esquema de un flujo de detritos (huaico). Fuente: Suárez J, 2009.

5.1.4. MOVIMIENTO COMPLEJO

Se producen por la combinación de uno o más de los tipos de movimientos en masa descritos anteriormente.

– PELIGROS GEO-HIDROLÓGICOS Y OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS

En la zona de estudio también se han identificado peligros geohidrológicos (erosión e inundación fluvial) y los denominados otros peligros geológicos (erosión de laderas).

5.1.5. INUNDACIÓN FLUVIAL

Las inundaciones son el resultado de una combinación de extremos meteorológicos e hidrológicos, tales como precipitación y escorrentía. Sin embargo con frecuencia también ocurren como resultado de actividades humanas, incluyendo el crecimiento y desarrollo no planificado en llanuras de inundación, o la ruptura de una presa o un dique que no alcanza a proteger asentamientos planificados. La inundación es básicamente causada por fenómenos meteorológicos que pueden ser difíciles de predecir (Jha A *et al.*, 2012).

En la zona de estudio los procesos de inundación y erosión fluvial están asociados, a la gran cantidad de precipitación pluvial caída en las montañas, que se concentran en los cursos de ríos y quebradas, y sobrepasan sus capacidades de carga, provocando desbordes, inundaciones y erosión de tierras adyacentes.

5.1.6. EROSIÓN FLUVIAL

Este fenómeno está relacionado con la acción hídrica de los ríos, que van socavando los valles, profundizando, ensanchando y alargándolos (Dávila J., 1999).

Los factores más importantes para la ocurrencia de erosión fluvial son: la cobertura vegetal, la geomorfología y el clima.

5.1.7. EROSIÓN DE LADERAS

Se manifiesta a manera de surcos y cárcavas en los terrenos. Comienza con canales muy delgados que a medida que persiste la erosión, pueden profundizarse a decenas de metros. La erosión está relacionada al proceso de escorrentía o arroyada. El desarrollo de los surcos y cárcavas se producen por medio de derrumbes y deslizamientos hacia su cara libre; y afectan principalmente terrenos de cultivo y tramos de carretera. Estos procesos, en muchos casos son premonitorios de un movimiento en masa, como puede ser un deslizamiento, derrumbe, flujo o movimiento complejo (figura 11).

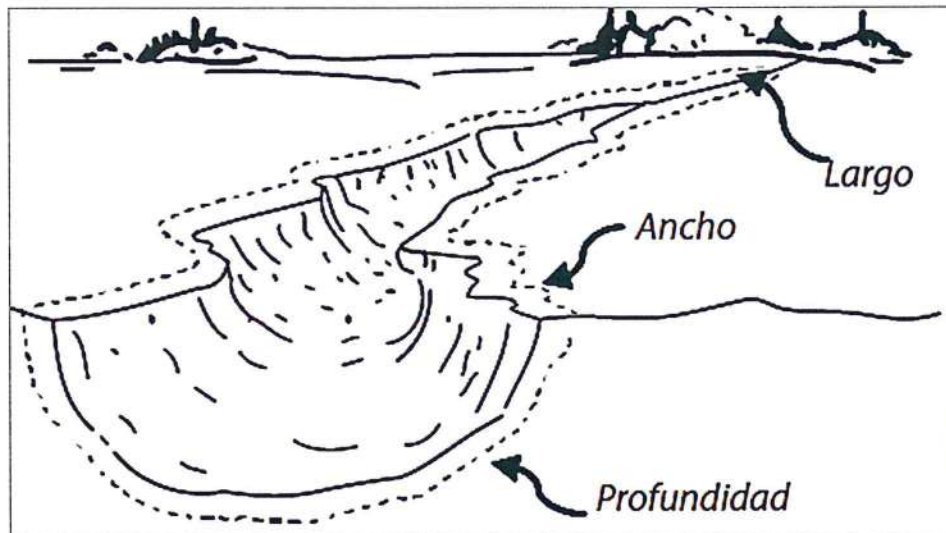


Figura 11. Formación de una cárcava.

5.2. EVALUACIONES PUNTUALES POR SECTORES

La información disponible de estudios anteriores de la ocurrencia de movimientos en masa, la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales y el análisis de información obtenida durante los trabajos de campo en los diferentes sectores del distrito de Huayopata, permitieron determinar que los peligros geológicos por movimientos en masa que ocurren en la zona son principalmente de tipo flujo de detritos (huaicos), derrumbes, deslizamientos, erosión fluvial, erosión de ladera e inundación; los cuales se desarrollan en los diferentes puntos y sectores que se mencionan a continuación y presentados en el mapa.

5.2.1. PUENTE SANTA MARIA

El sector Mapamayo está ubicado en la margen izquierda del río Vilcanota, sobre una terraza aluvial baja; donde confluye el río Lucumayo con el río Vilcanota (figura 12) en dirección noreste a suroeste.

El cauce del río Vilcanota en el sector Mapamayo, para el año 2014 presenta un ancho de 40 m y para el año 2019, 55 m¹ aproximadamente, lo cual indica el ensanchamiento del cauce por la acción erosiva del río en sus márgenes, lo que conlleva al socavamiento de riberas y empuje de flujos de detritos.

Se identificaron procesos de erosión fluvial a consecuencia de las crecidas del río Lucumayo, colmatación de cauce y migración de este mismo ante el impacto de flujos provenientes de la parte alta, el cual acarrea bloques subredondeados con tamaños que varían entre 1 a 1.5 m de diámetro de composición granítica, granodiorita en su mayoría, inmersos en matriz arena limosa, además de la presencia de troncos de árboles arrancados desde su raíz (fotografía 4).

La ocurrencia de este evento se registró en diciembre del 2018 y a principios del 2019, puntualmente en las zonas de Sicre y Choquellohuanca ².

Factores condicionantes y desencadenantes

- Terrazas bajas inundables, de fácil remoción y erosión.
- Dinámica fluvial del río Vilcanota, condicionado por divagamiento de cauce.
- Colmatación del cauce fluvial del río Lucumayo.
- Ocupación inadecuada del terreno por viviendas (ubicadas en las riberas del río Vilcanota).
- Desembalse del río Vilcanota.
- Deforestación en las zonas medias y altas de las laderas, propensas a la erosión
- El factor desencadenante fueron las intensas precipitaciones pluviales, registradas en diciembre del 2018 y enero del presente año.

¹ Datos tomados del google Earth

²Según Informe N° A6866 Flujo de detritos del 21/12/2018. Originados en las quebradas Sicre y Choquellohuanca. Evaluación de peligros geológicos

Efectos:

- Represamiento de río Vilcanota a causa de flujo de detritos (huaico) proveniente del río Lucumayo, como resultado del desembalse el estribo del puente Santa Maria estuvo a punto de colapsar (figura 13).
- Colapso de estructuras de viviendas a la margen izquierda (figura 14).



Figura 12. Sector Mapamayo, ubicado al borde del río Vilcanota, así mismo se observa el río Lucumayo afluente del río Vilcanota.



Fotografía 4. El huaico transportó bloques y troncos de árboles arrancados desde su raíz.

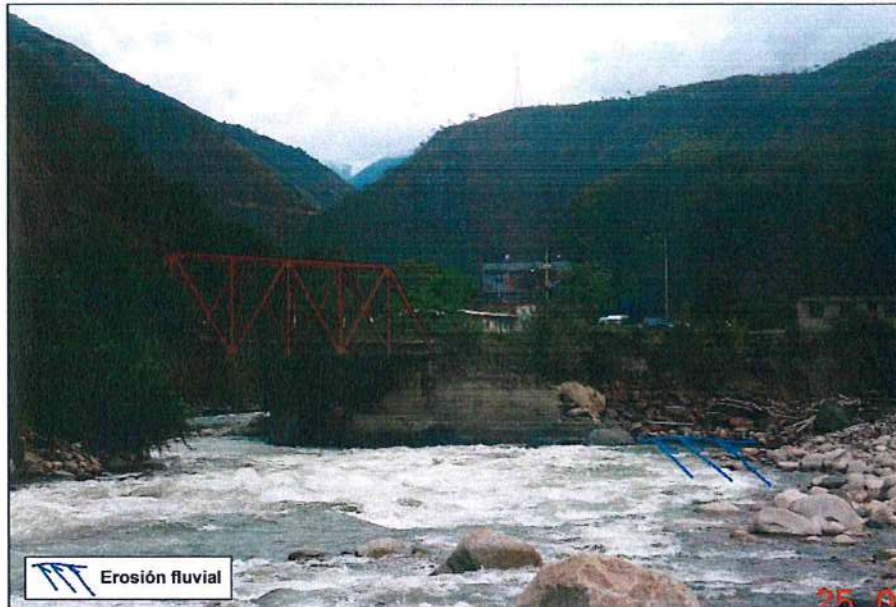


Figura 13. Puentes Santa María, se observa el estribo del lado derecho dañado por el material que transportó el flujo de detritos del 2018.

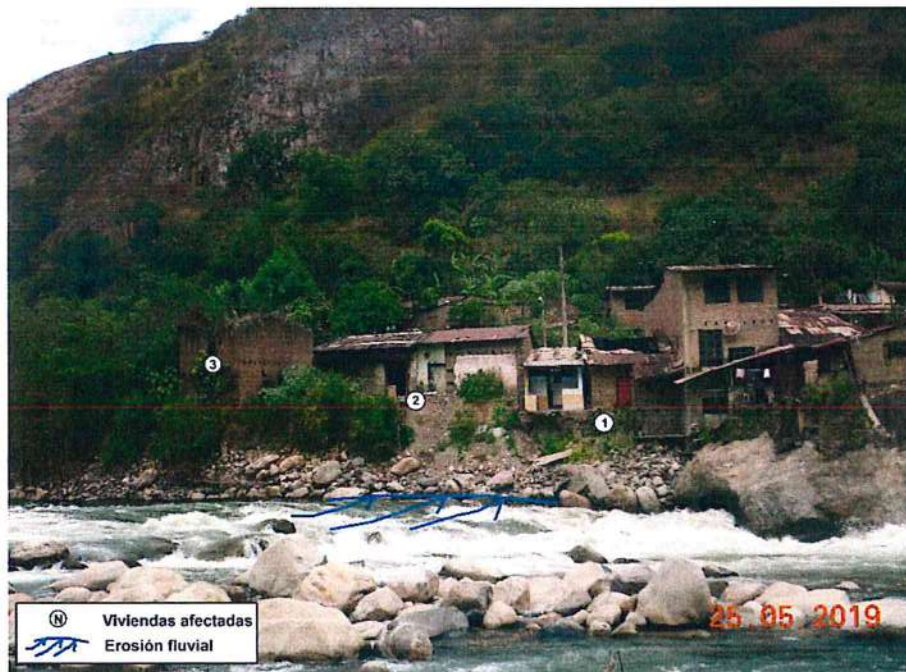


Figura 14. Vista de dos viviendas colapsadas y tres afectadas, producto de la erosión que generó el desembalse del río Vilcanota.

5.2.2. SECTOR SAN PABLO, QUEBRADA HUILLCAR Y CERRO CONDORHUACHANA

San Pablo está emplazado sobre una terraza aluvial, en la margen derecha del río Vilcanota, a 10 m de altura con respecto del nivel del río referido (fotografía 5); disectado por dos quebradas principales. Aguas arriba configuran una superficie encañonada.

Según registros y antecedentes históricos, desde el año 1989 ocurren flujos de detritos que discurren por el río Vilcanota, afectando infraestructura de gran importancia, como

el salón comunal del colegio N° 50260 de San Pablo; el cual actualmente está ubicado a 10 m aproximadamente del río en mención.

Por otro lado, el 2005 en período de intensas precipitaciones pluviales, el río Vilcanota erosionó la base de la terraza, desestabilizando y posterior colapso de 4 viviendas.



Fotografía 5. Se observa laderas con procesos de erosión, además de deslizamientos antiguos.

• QUEBRADA HUILLCAR

En el año 2018, la quebrada Huillcar se reactivó en flujo de detritos y posterior derrumbes, provocando la ruptura de la captación de agua para consumo humano.

En la margen derecha de la quebrada se tiene evidencias de procesos por erosión de ladera en cárcavas, cuyo material erosionado es directamente encauzado en la quebrada, generando flujo de detritos (figura 15).

En el cerro Condorhuachana con laderas de pendiente abruptas mayores a 55°, según indican los pobladores, se viene presentando procesos de caída de rocas; que si bien, los bloques son retenidos por un muro construido en los pies de ladera, algunos con diámetro de hasta 0.5 m aproximadamente llegan a caer en el sector San pablo.

Así también, frente del sector San Pablo, margen izquierda del río Lucumayo, se evidencian deslizamientos antiguos y derrumbes reactivados por corte de talud al pie del camino carrozable, que conduce al sector de Amaybamba y pueblos aledaños (fotografía 6).

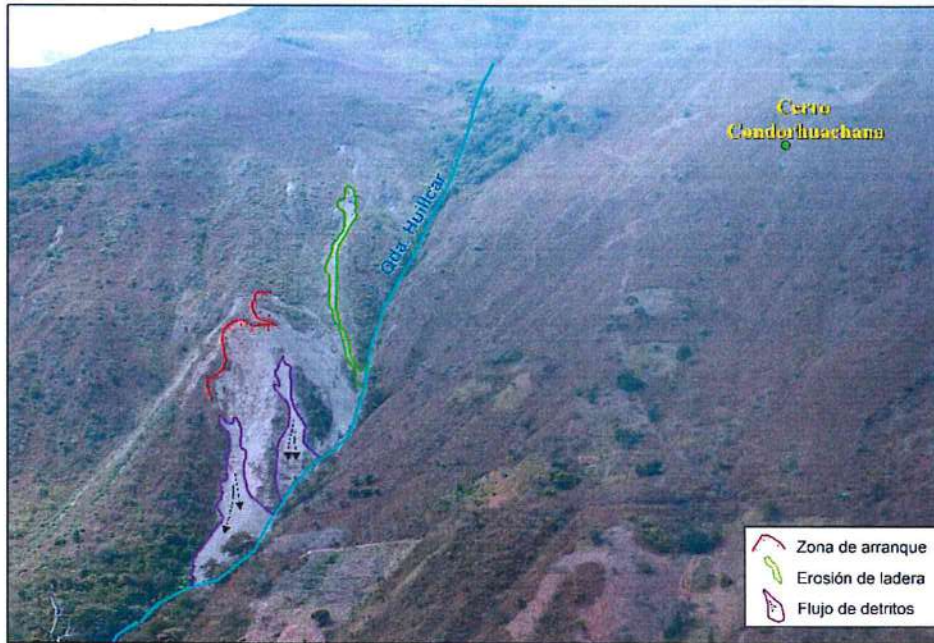


Figura 15. Depósitos de flujos de detritos, derrumbes recientes y erosión de ladera en cárcavas.



Fotografía 6. Derrumbes en tramo carrozable en construcción

Factores:

- Substrato rocoso de mala calidad
- Naturaleza del suelo incompetente
- Material antiguo de fácil remoción
- Pendiente y morfología del terreno
- Infraestructuras de riego y consumo humano a media ladera, desprovistos de revestimiento.
- El factor desencadenante fueron las intensas precipitaciones pluviales.

Efectos:

- Derrumbe de salón comunal, según evento del año 1989.
- Colapso de cuatro viviendas producto de la acción erosiva del río Vilcanota en el año 2005.
- Ruptura de la tubería de agua para consumo humano y riego producto del flujo de detritos desencadenado el año 2018.

5.2.3. SECTOR HUAYNAPATA

El sector Huaynapata está ubicado en el flanco izquierdo de la quebrada Sisischahuayco.

El terreno presenta geformas variables con vertientes e inclinación de laderas pronunciadas superiores a los 35, que condicionan la presencia de movimientos en masa gravitacionales como deslizamientos rotacionales.

Según indican los pobladores, desde el año 1998, se empezaron a gestar agrietamientos en la ladera (figura 16), los cuales en los últimos cuatro años vienen generando asentamientos en el terreno de forma continua (figura 17), producto de las fuerzas de empuje internas que se extienden hacia las estructuras de las viviendas mediante agrietamientos y resquebrajamientos.

Dichas grietas en su mayoría siguen una dirección N° 240 de forma discontinua, como los que se aprecian en el galpón avícola, con desplazamientos de 40 cm, apertura de 50cm y 80cm de profundidad (figura 18).

En el tramo de la carretera a Amaybamba, a 210 m aproximadamente del sector Huaynapata, se evidencia un desplazamiento de 50 cm en dirección N°315 (figura 19).

Caracterización del deslizamiento: Deslizamiento de tipo rotacional, con escarpe de forma semicircular. Presenta escarpe único en dirección N 297°, con salto principal de 50 cm. En el cuerpo del deslizamiento se observa sembríos de café, mango, achote, uncucha, platanales, yuca entre otros.

Factores condicionantes y desencadenantes

- Pendiente empinada superior a los 35° y morfología de laderas y vertientes abruptas Substrato rocoso de mala calidad (pizarras y filitas con alto grado de fracturamiento).
- Ocupación inadecuada del territorio en zona de laderas
- Deforestación de laderas y escasa cobertura vegetal, que facilitan la infiltración de aguas pluviales y posterior saturación del suelo.
- El factor desencadenante fueron las intensas precipitaciones pluviales registradas en temporada lluviosa (diciembre a marzo).

Efectos o daños causados

- Se registró ocho viviendas con paredes de adobe agrietadas (figura 20).

- Pozas y Bateas de café agrietadas y desplazadas producto del basculamiento del terreno.
- Tramo carretero carrozable.



Figura 16. Sector Huaynapata, se observa el escarpe de un deslizamiento en formación.



Figura 17. Vista del deslizamiento en proceso de formación

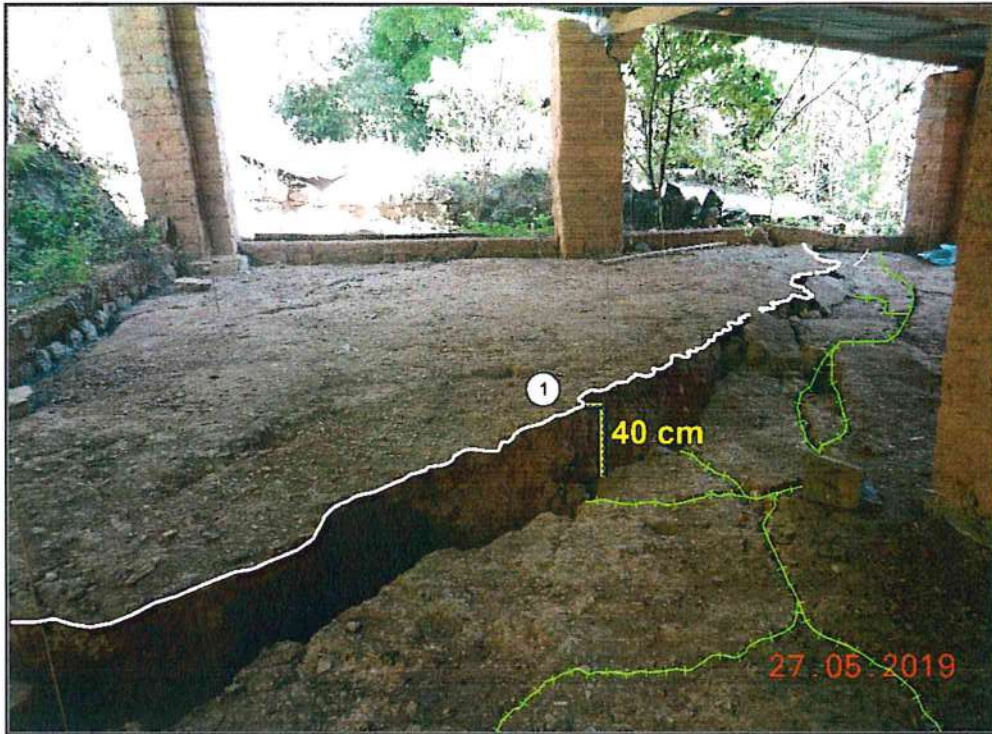


Figura 18. Se muestra el galpón gallinero a punto de colapsar, así mismo se aprecia el agrietamiento que generó el asentamiento.



Figura 19. Vista del desplazamiento en el camino carrozable que conduce a pueblos aledaños.

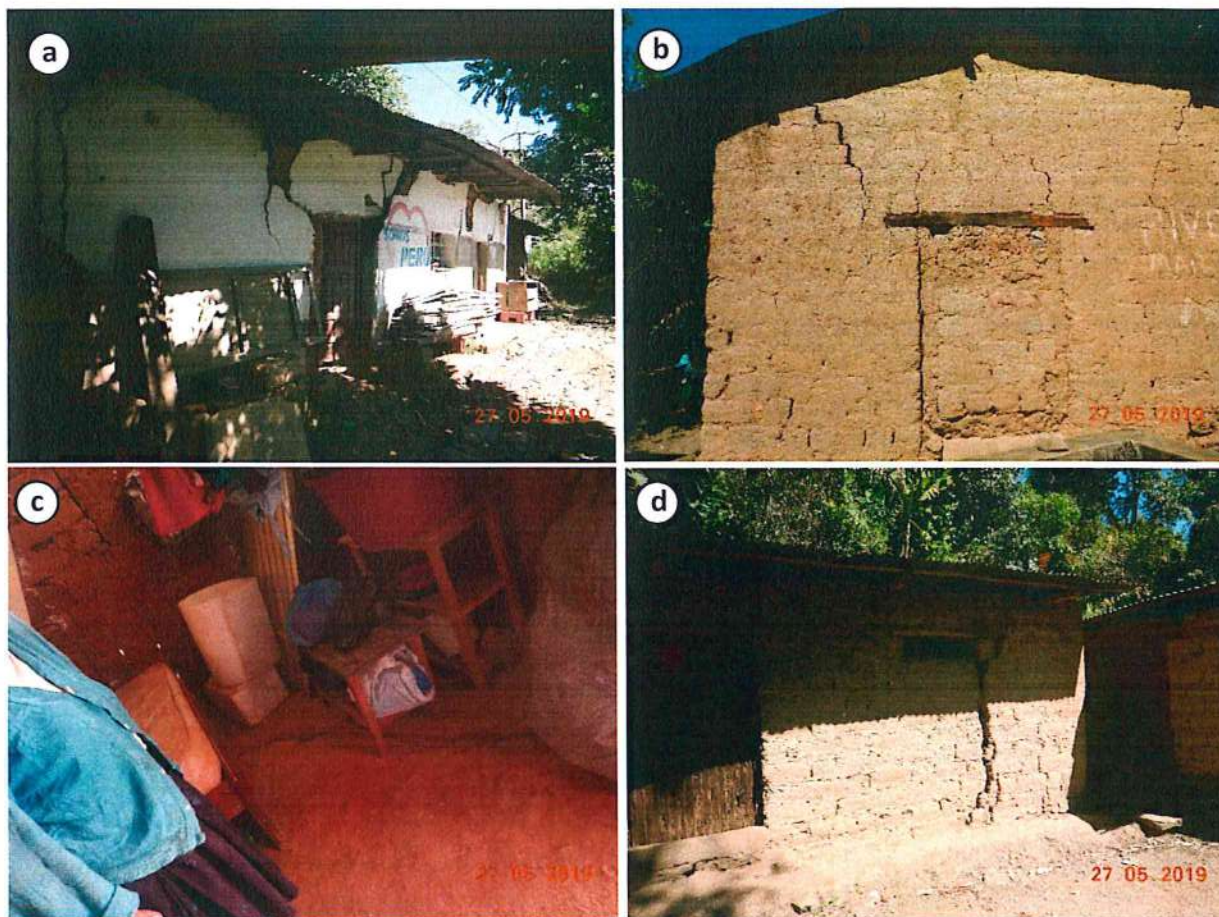


Figura 20. a) Vista de vivienda agrietada en dirección N 76°. b) Vivienda con pared agrietada en dirección N 76°. c) Vivienda con pared y suelo agrietado en dirección N 155°, el piso tiene una abertura de 5 cm. d) Vivienda agrietada en dirección N 275°.

5.2.4. QUEBRADA CCORIHUAYRACHINA

El sector está emplazado en una ladera de pendiente empinada (mayor a 35°), y de forma variable (cóncavo-convexo), conformado por pizarras, filitas y esquistos correspondientes a la formación Málaga.

En este sector se presenta un deslizamiento, registrado desde el 1989 por los pobladores, quienes señalan la presencia de desplazamientos y agrietamientos en viviendas y terrenos de cultivo de frutales y coca.

Caracterización del deslizamiento: Deslizamiento rotacional, con escarpe de forma semicircular, con tres niveles de escarpe producto de las reactivaciones (figura 21) y salto principal de 1.5 m con orientación N° 70.

En el cuerpo del deslizamiento se observa sembríos, el cual está generando mayor inestabilidad de ladera, al permitir mayor infiltración de agua al terreno.

Factores:

- Alternancia rocas metamórfica de diferente competencia (filitas, pizarras y esquistos) con mediano a alto grado de fracturamiento (figura 22).

- Naturaleza del suelo incompetente e inconsolidados (material de remoción antiguo de deslizamientos).
- Pendiente y morfología empinada.
- Laderas descubiertas de cobertura vegetal y deforestación moderada.
- Sembrío y tipo de riego no adecuado

Efectos:

Se registró cinco viviendas de adobe con paredes agrietadas (fotografías 7 y 8).



Figura 21. Sector Ccorihuayrachina, se observa el deslizamiento rotacional activo, afectando terrenos de cultivo y viviendas.

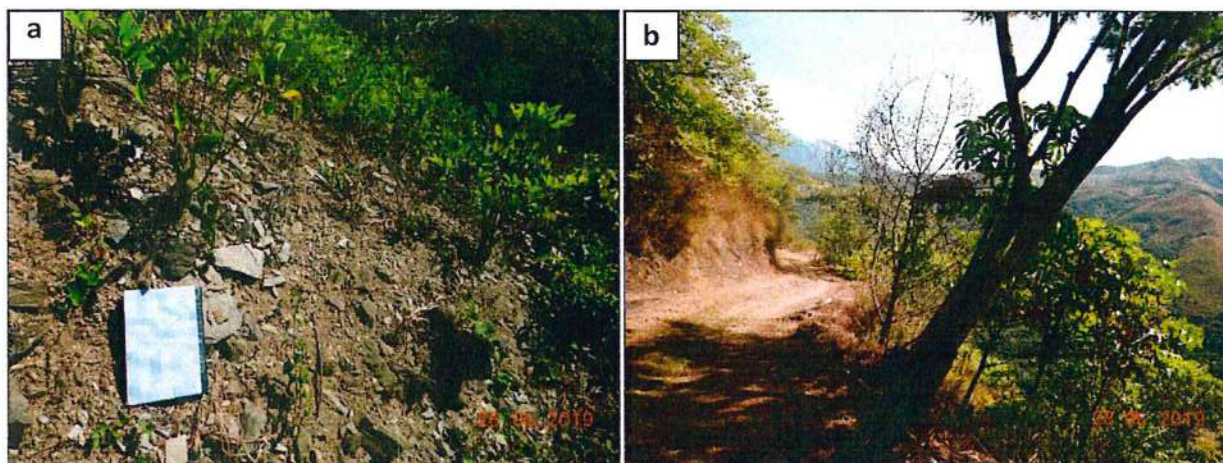
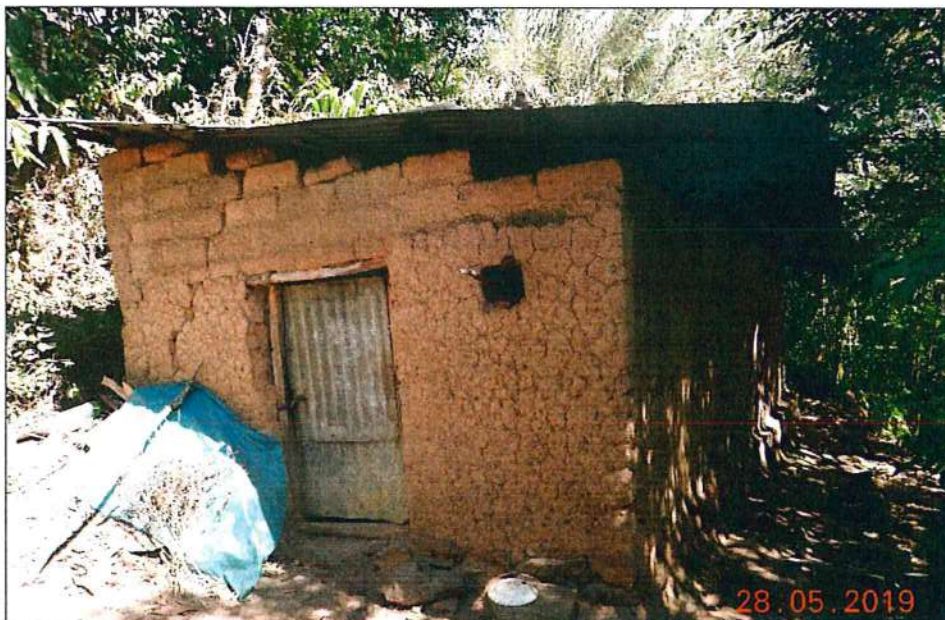


Figura 22. a) Vista del cuerpo del deslizamiento, constituido por pizarras, filitas y esquistos inmersos en matriz areno limosa. b) Árboles inclinados a la altura de la carretera.



Fotografía 7. Vista de vivienda con pared agrietada en dirección N 291°.



Fotografía 8. Vista de vivienda con pared agrietada en dirección N 324°.

5.2.5. SECTOR PEDREGAL-HUAYNAPATA

Al pie del cerro donde se sitúa el sector Huaynapata, se observan deslizamientos antiguos y procesos de erosión fluvial en la margen izquierda del río Lucumayo. La erosión coincide con la desembocadura del río Huayopata Rodeo, el cual transporta bastante material en periodos de intensas precipitaciones pluviales.

Según indican los pobladores, cuando ocurren flujos de detritos (huaicos) en la quebrada Huayopata Rodeo, el material transportado llega a chocar contra la ladera, generando erosión en su base. A partir de ello se está generando derrumbes (figura 23).



Figura 23. Sector Pedregal, zona afectada por erosión fluvial del río Lucumayo y por flujos provenientes del río Rodeo.

5.2.6. SECTOR HUAYOPATA RODEO, QUEBRADA LLAULLIYOC

El sector Huayopata rodeo está emplazado sobre una terraza proluvio aluvial, disectado por el río Huayopata Rodeo y la qda. Llaulliyoc, los cuales se reactivan en flujo de detritos (figura 24), en periodos de intensas precipitaciones pluviales (diciembre-marzo). Así mismo se tiene evidencia de deslizamientos (antiguos y en proceso de formación-fotografía 9) y erosión fluvial.

La morfología del río Huayopata rodeo constituye un valle fluvial en "V", con vertientes de laderas pronunciadas (30°) y pendiente promedio de 25° en la zona media, donde se empieza a ensanchar la quebrada .

El material que conforma el abanico proluvial es gravo-areno limoso con abundante bolos y bloques con dimensiones de hasta 1.5 m; los bloques son de roca intrusiva tipo granitos y roca metamórfica conformado por esquistos y cuarcitas correspondientes a la Formación Málaga.

El año 2013, se desencadenó flujo de detritos en la quebrada Llaulliyoc en dirección N 250°, favorecido por la fuerte pendiente; ello originó el ensanchamiento y profundización de la quebrada. Actualmente el cauce de la quebrada tiene 8 m de ancho en la zona media, y presenta una intensa vegetación arbustiva.

Es importante mencionar que en la parte alta se identificó zonas de arranque y deslizamientos con escarpe de forma elongada, de 20 m de longitud y con salto principal de hasta 2 m de altura que sirvieron como material de aporte al flujo de detritos.

En noviembre del 2018 en el río Huayopata rodeo se desencadenó flujo de detritos (huaico), torrencioso que acarreó bloques de hasta 2 m de diámetro y troncos de árboles

arrancados desde su raíz, posicionados de forma transversal con respecto al río, reteniendo material (fotografía 10 y fotografía 11). El material del flujo llegó a sobrepasar el puente Huayopata, el cual se localiza a 8 m con respecto al nivel del río, sin causar daño importante; sin embargo la corriente de flujo generó erosión fluvial en la base de las laderas, desestabilizándola y formando deslizamientos y derrumbes (fotografía 12).

Factores condicionantes y desencadenantes:

- La pendiente promedio longitudinal del curso de la quebrada LLaulliyoc (mayor a 30°), mientras que el río Huayopata Rodeo en su tramo superior donde se produjeron los derrumbes alcanza los 35°.
- El substrato rocoso de mala calidad, en la parte alta donde se inició el evento está conformada por rocas intrusivas de tipo granito (Fm. Quilloc - Mesapelada), en la parte media y baja se tienen afloramientos de esquistos, filitas y cuarcitas del Grupo San José y la Formación Málaga.
- El factor desencadenante fueron las intensas precipitaciones pluviales registradas de diciembre a marzo.

Efectos:

- Afectó dos viviendas y tramo carretero afirmada
- Dos captaciones de agua para consumo humano y riego (fotografía 13) construidas recientemente (2017).

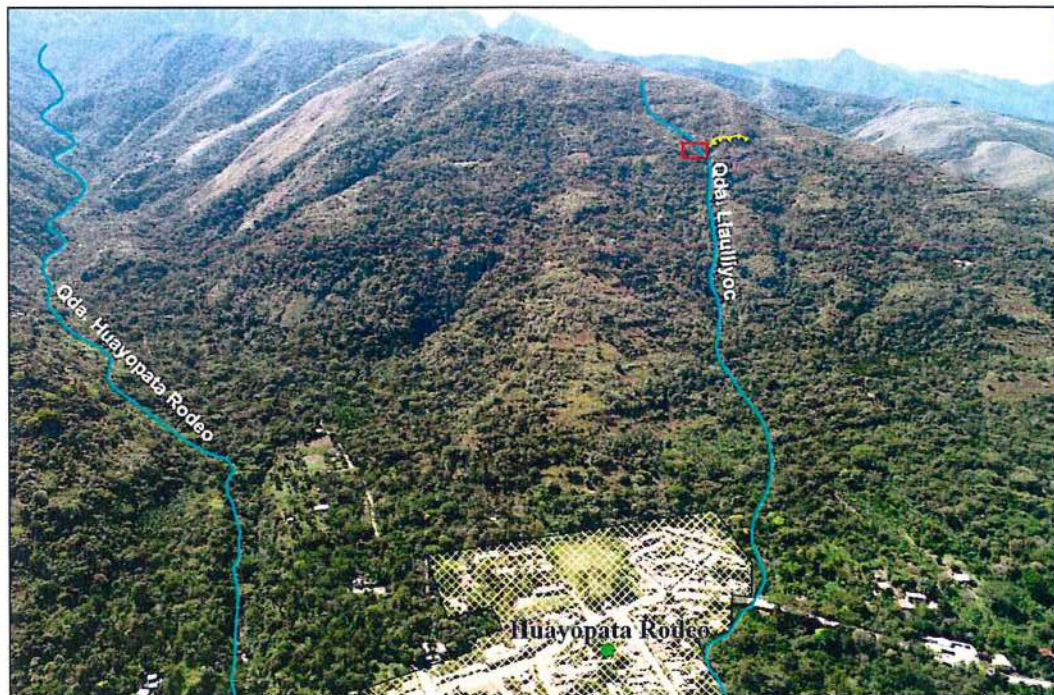


Figura 24. Sector Huayopata Rodeo (5.2.6) emplazado sobre un depósito proluvio aluvial, disectado por el río Huayopata Rodeo y la quebrada LLaulliyoc.



Fotografía 9. Zona de arranque, el cual aportó material al flujo de detritos de la quebrada Llaulliyoc.



Fotografía 10. Vista de árboles arrancados desde su raíz.



Fotografía 11. El flujo transportó troncos de árboles, los cuales se depositaron de forma transversal a la quebrada, reteniendo material.



Fotografía 12. Bloques de roca granítica y árboles transportados por el flujo de detritos.



Fotografía 13. Se observa la captación de agua que colapsó a partir del flujo de detritos, detonado en noviembre del año 2018.

5.2.7. SECTOR HUYRO ANTIGUO-AAHH DOS DE MAYO

El sector de Huyro, se ubica a la margen izquierda de la quebrada Calquiña y a la margen derecha del río Lucumayo (figura 25). Parte de la zona urbana de Huyro se localiza dentro del abanico proluvial de la quebrada Calquiña, la cual es afectada de forma excepcional por flujo de detritos³ (huaicos).

La morfología de la quebrada constituye valle fluvial en "V", con vertientes de laderas pronunciadas (mayor a 30°). La pendiente promedio longitudinal del curso de la

³ Según Informe técnico A6635: peligros geológicos en la Mancomunidad Amazónica-la convención – Cusco.

quebrada Calquiña en su tramo superior donde se produjeron los derrumbes alcanza los 28°.

El substrato rocoso esta constituido por rocas intrusivas de tipo granito (parte alta), en la zona media y baja se tienen afloramientos de esquistos, filitas y cuarcitas del Grupo San José y la Formación Malaga.

En el sector antiguo Huyro, margen derecha de la Quebrada Calquiña, se sitúa el asentamiento humano Dos de Mayo, el cual en el año 2013 fue afectado por flujo de detritos y actualmente viene siendo afectado por procesos de erosión fluvial (fotografía 14).



Figura 25. Vista del A.H. Dos de Mayo, margen izquierda de la quebrada Calquiña, afectado por flujo de detritos



Fotografía 14. A.H. Dos de Mayo, viene siendo afectado por procesos de erosión fluvial y por huaicos excepcionales.

5.2.8. SECTOR SICRE.

En este sector se evidencian zonas de arranque y remoción de material que conforman los torrentes de flujos de detritos (huaico), los cuales afectaron la localidad de Sicre⁴, a principios de año (figura 26 y fotografía 15).

A pesar de la presencia de abundante vegetación se observan amplias laderas erosionadas y con derrumbes. Las laderas expuestas, presentan surgencias de agua constante (figura 27) y el mayor aporte proviene de la Catarata del Oso (figura 28). Los flujos recientes removilizaron bloques de hasta 10 m de longitud, pertenecientes a depósitos antiguos de mayor magnitud, ocurridos en la zona (figura 29).

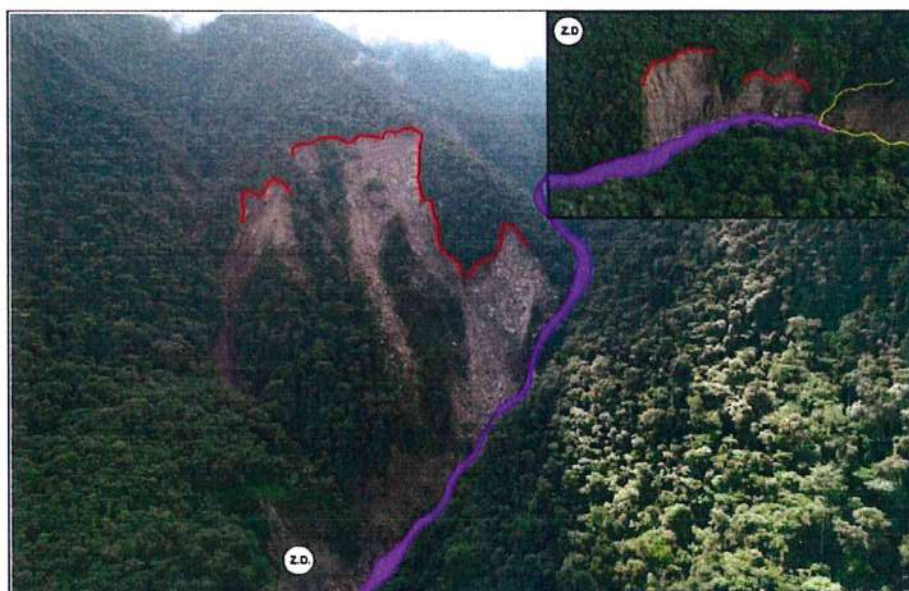


Figura 26. Vista de una de las zonas de arranque y remoción de material aportante al flujo de detritos.



Fotografía 15. Vista del recorrido y punto de separación del flujo de detritos a lo largo de la quebrada Sicre.

⁴ Ver informe Técnico N° A6866. Flujo de detritos del 21/12/2018. Originados en las quebradas Sicre y Choquellohuanca. Evaluación de peligros geológicos.



Figura 27. Filtración de agua en la ladera derecha de la quebrada Sicre.



Figura 28. Vista de la quebrada Sicre, al fondo se puede observar la catarata del Oso.

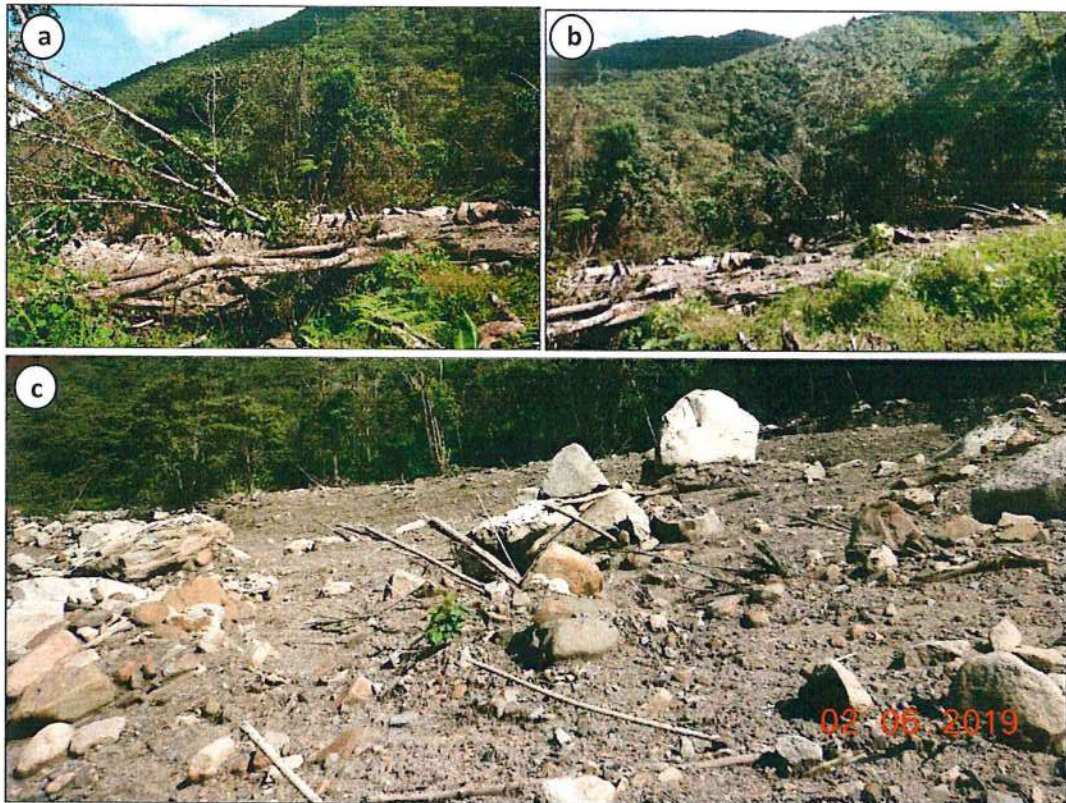


Figura 29. a,b) Troncos de árboles y ramales arrancados y transportado por el flujo de detritos, c) Vista de bloques de roca granítica y granodiorita en su mayoría, transportados por el flujo y depositados sobre la terraza aluvial.

5.2.9. SECTOR CEDRUYOC

El sector Cedruyoc esta emplazado en ladera de pendiente empinada (mayor a 25°) adyacente al flanco izquierdo de la cárcava, cubierto por una densa vegetación arbustiva, el cual no permite la visualización de los desplazamientos por deslizamiento (figura 30).

El tipo de peligro identificado corresponde a erosiones de ladera tipo cárcava, cuyo avance lateral y retrogresivo va generando derrumbes y deslizamientos tipo rotacional, con único escarpe de forma semicircular, de 3m de salto

Factores condicionantes y desencadenantes

- Pendiente moderada superior a los 25° fuerte y laderas expuestas.
- Substrato rocoso de mala calidad, conformado por afloramientos de esquistos, filitas y cuarcitas correspondientes a la Formación Málaga.

Efectos

- Afectó dos viviendas ubicadas en el flanco izquierdo de la Cárcava.



Figura 30. Sector Cedruyoc, se observa erosión de ladera en cárcavas

5.2.10. SECTOR TUNQUIMAYO-PUENTE IYAPE

El antiguo puente Iyape está ubicado aguas arriba de la quebrada Tunquimayo y aguas abajo de la quebrada Calquiña (figura 31).

Dicho sector constituye la desembocadura de la quebrada Tunquimayo, la cual aporta flujos de detritos que afectan carreteras, infraestructura local, así como terrenos de cultivo.

La quebrada Tunquimayo con pendiente promedio longitudinal de 15° , se encauza en laderas de pendiente moderada superior a 25° ; los cuales condicionan la geodinámica de flujos, registradas desde los años 2006, 2007 y el último en el 2010 donde se reactivó torrencialmente, removiendo y transportando bloques de hasta 1 m de diámetro, troncos y ramales; lo cual provocó represamientos en el río Lucumayo, ruptura de badén de 10 m de longitud y afectaciones en trocha carrozable que conduce al sector de Amaybamba (fotografías 16 y 17).

Por otro lado en el río Lucumayo se identificaron depósitos de flujos recientes alimentados por huaicos encauzados de las quebradas Sicre y Choquellohunaca, registrados últimamente en diciembre del 2018 y a principios del 2019, cuyo daño mayor se produjo con la destrucción del puente Iyape (fotografía 18).

En la actualidad se está construyendo un nuevo puente, a unos cuantos metros aguas abajo de puente Iyape; el cual debe contemplar medidas estructurales de control de flujos muy recurrentes en el sector (fotografía 19).

Factores condicionantes y desencadenantes

- La fuerte pendiente que constituye el curso de la quebrada Tunquimayo (28°).
- Naturaleza del suelo incompetente y material de fácil remoción y erosión.

- Dinámica fluvial del río Lucumayo.
- Precipitaciones pluviales intensas



Figura 31. Puente Iyape y sus afluentes quebrada Tunquimayo y quebrada Calquiña afectados por flujo de detritos



Fotografía 16. Vista de la quebrada Tunquimayo, aún se puede observar el material que transporta el flujo.



Fotografía 17. Margen izquierda de la quebrada Tunquimayo, se observa material depositado por flujos antiguos.



Fotografía 18. Vista del puente Iyape colapsado a partir del huaico que se generó en noviembre del año 2018.



Fotografía 19. Construcción del nuevo puente Iyape en zona susceptible a flujo de detritos y erosión fluvial.

5.2.11. SECTOR QUEBRADA CHAQUIMAYO

La quebrada Chaquimayo esta ubicado en la margen derecha del río Lucumayo, con una pendiente promedio longitudinal de 35° y delimitado por laderas de pendientes pronunciadas superiores a los 30°

La zona alta de la quebrada esta constituido por rocas intrusivas de la formación Quilloc-Mesapelada y la zona media a baja esta constituido por pizarras, esquistos, cuacitas y metaarenitas de la formacion Málaga, este ultimo afectado por procesos tectónicos.

Cada año, en periodo de precipitaciones pluviales intensas, se canalizan y generan flujos de detritos compuestos por bloques de hasta 2 m de diámetro y arrastre de árboles de gran tamaño (figura 32). A partir del 2018 con el último flujo ocurrido (figura 33), la zona media de la quebrada empieza a ensancharse y divagar hacia la margen izquierda, en un tramo de 2.3 m (figura 34).

Se puede apreciar que en la parte baja, en el margen derecho de la quebrada se ha construido una infraestructura de captación de agua para consumo humano y riego, la cual se encuentra en riesgo de ser afectado por los huaicos recurrentes suscitados en la zona.

Así también se presentan procesos de erosión fluvial y derrumbes en la margen izquierda del río Lucumayo, trayendo consigo la inaccesibilidad del camino de herradura que conduce a centros poblados aledaños (figura 35).

Factores condicionantes y desencadenantes

- Pendiente moderada de cauce de quebrada superior a 35°.
- Substrato rocoso de mala calidad, altamente fracturado y meteorizado.

Efectos o daños causados

- El flujo de detritos afectó tramo de la carretera (badén) principal de acceso a la ciudad de Quillabamba (fotografía 20).



Figura 32. Posicionamiento de los troncos de árboles, en forma transversal a la quebrada Chaquimayo. b) Su posicionamiento retiene material.



Figura 33. Quebrada Chaquimayo en confluencia al río Lucumayo.



Figura 34. Zona media, ensanchamiento de la quebrada Chaquimayo a partir del árbol señalado.



Figura 35. Procesos de remoción en masa en el sector Chaquimayo. Se identificaron derrumbes, producto de la dinámica fluvial del río Lucumayo.



Fotografía 20. Badén afectado todos los años a partir de flujos de detritos, el cual obstruye el paso a la ciudad de Quillabamba.

5.2.12. SECTOR KURKUNIYOC, INKATAMBO Y MISQUIUNO

El sector Kurkurniyoc está emplazado sobre un depósito proluvio aluvial antiguo a partir de depositaciones continuas compuestas de bloques de 1 a 2 m de diámetro y troncos de árboles, proveniente de la quebrada Kurkur y río Lucumayo (figura 36).

La quebrada Kurkur con pendiente longitudinal de 20°, nace en la cabecera del batolito de Machupicchu, circundado por laderas de pendientes empinadas, superiores a los 25°.

La última depositación de flujo se registró en el 2013 y afectó terrenos de cultivo y puente peatonal.

En el tramo de los sectores Inkatambo y Misquiuno, carretera principal a la ciudad de La Convención, se identificaron derrumbes (figura 37 y fotografía 21), producto del corte de talud, los cuales se reactivan cerrando el paso de acceso a la ciudad en mención.

Factores condicionantes y desencadenantes

- Substrato rocoso de mala calidad, constituido por rocas metamórficas de cuarcita, meta-arenita gris, esquistos, filitas en estratos medianos a gruesos, algunos con alto grado de fracturamiento.
- Naturaleza del suelo incompetente y material de fácil remoción y erosión.
- Dinámica fluvial de la quebrada Kurkur,
- Asentamiento y ocupación inadecuada del territorio

Efectos o daños causados

- El flujo de detritos en la quebrada Kukur afectó terrenos de cultivo, así mismo colapso el puente peatonal que conduce al sector referido.



Figura 36. Se observa la quebrada Kurkur, a la margen derecha se sitúa el poblado Kurkurniyoc. El marco en rojo muestra los diferentes niveles de material que dejó flujos antiguos.



Figura 37. Vista de derrumbes, a lo largo de la carretera (tramo Misquiuno-Incatambo), cuando se reactivan obstruyen la vía de acceso a la ciudad de Quillabamba.



Fotografía 21. Derrumbes a la margen derecha de la carretera

5.2.13. SECTOR CHOQUELLOHUANCA

El sector Choquellohuanca está ubicado a la margen derecha del río Lucumayo, aguas abajo de la confluencia con el río Choquellohuanca.

A inicios del 2019 se canalizó un flujo de detritos (huaico) en el río Choquellohuanca, que afectó viviendas, y colapso del puente de acceso a la ciudad de Quillabamba (fotografía 22); además viene produciéndose deslizamientos y derrumbes, por erosión fluvial (fotografía 23).

Posterior al flujo de detritos, se evidenciaron procesos derrumbes y deslizamientos a partir de la erosión que se generó en la base las laderas, dejandolas inestables y expuestas a movimientos en masa

Se pudo identificar zonas de arranque que sirvió como material de aporte al flujo de detritos (fotografía 24).



Fotografía 22. Puente colapsado producto de la erosión que generó el flujo de detritos.



Fotografía 23. Ocurrencia de derrumbes posterior al flujo de detritos.



Fotografía 24. Se identificó zonas de arranque que sirvió como material de aporte al flujo de detritos.

5.2.14. SECTOR ALFAMAYO

El sector Alfamayo esta ubicado sobre una terraza proluvio aluvial de 80 m de altura aproximadamente con respecto al nivel del río Lucumayo y en la margen izquierda de la quebrada del mismo nombre (figura 38 y fotografía 25). En el sector se identificó procesos de flujo de detritos, deslizamientos y derrumbes (figura 39 y figura 40), reactivados con los últimos episodios de precipitaciones.

Factores condicionantes y desencadenantes

- Pendiente del terreno
- Substrato rocoso de mala calidad, en la zona afloran rocas intrusivas de la Formación Quilloc – Mesapelada, con alto grado de meteorización y rocas metamórficas, cuarcitas, meta-areniscas grises, esquistos, filitas en estratos medianos a gruesos, algunos con alto grado de fracturamiento.
- Naturaleza del suelo incompetente y material de fácil remoción y erosión.
- Dinámica fluvial de la quebrada Alfamayo.
- Intensas precipitaciones pluviales

Efectos o daños causados

- El flujo flujo de detritos, afectó tramo carretero, dejando sin acceso a la ciudad de La Convención por cierto tiempo.

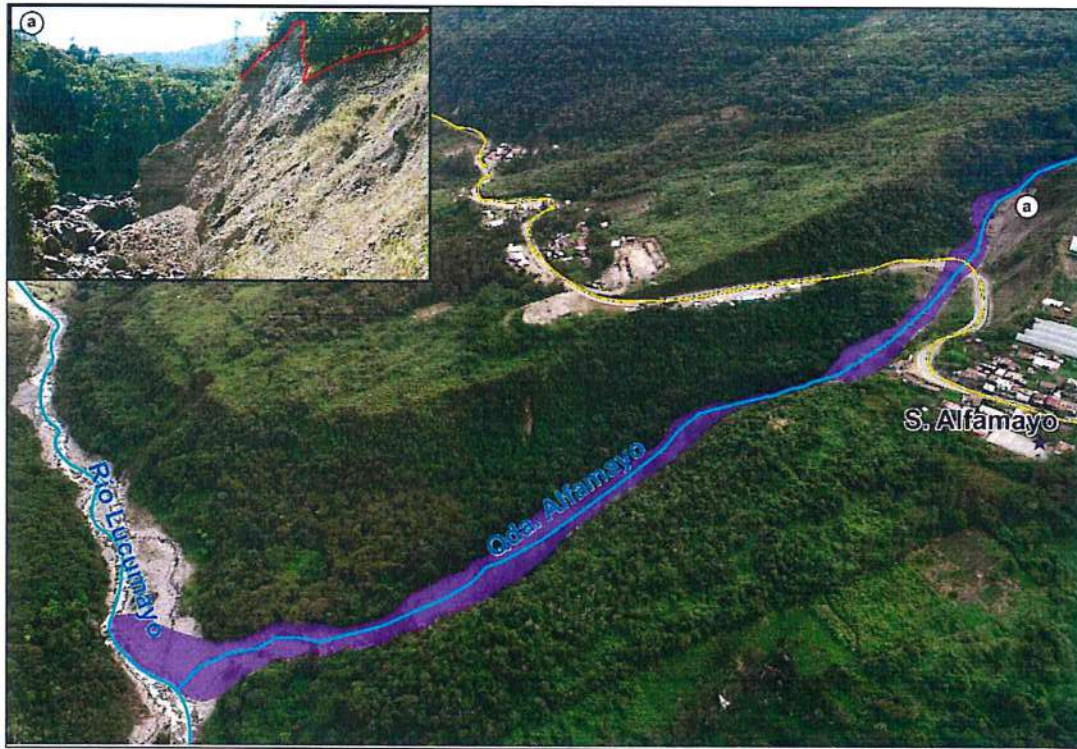


Figura 38. Sector Alfamayo, en la vista superior izquierda se muestra los procesos de derrumbes generados en las paredes de la margen izquierda de la quebrada Alfamayo.



Fotografía 25. Erosión fluvial en la margen derecha de la quebrada Alfamayo



Figura 39. Deslizamiento antiguo reactivado, así mismo se observa terraseo, el cual atenúa el proceso de reactivación.

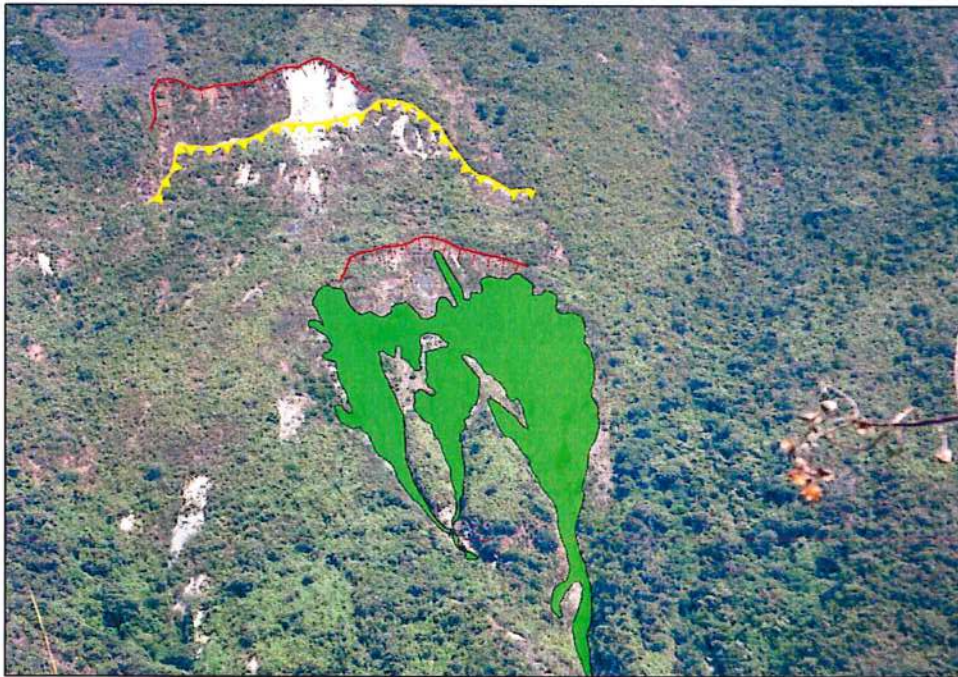


Figura 40. Procesos de remoción en masa, tipo erosión de ladera en el polígono verde, escarpe de deslizamiento en líneas amarillas y zona de derrumbe en líneas rojas.

5.2.15. SECTOR LAS FLORES - QUEBRADA JORGE MAYO

El sector Las Flores esta emplazado en la margen derecha de la quebrada Jorge Mayo, sobre ladera de pendiente empinada (30°).

En el tramo superior de la quebrada se produjeron derrumbes (figura 41). En la zona afloran rocas metamórficas, entre ellos cuarcitas, filitas y esquistos.

Es importante mencionar que en ambas márgenes de la quebrada se esta generando derrumbes (figura 42), depositándose en el cauce de la quebrada; así también estos derrumbes desvían el curso de la quebrada hacia la margen izquierda, a apartir de ello

el agua de la quebrada empezó a discurrir por debajo del muro de gaviones, construidos al pie de ladera, margen izquierda de la quebrada.

Factores condicionantes y desencadenantes

- La pendiente promedio longitudinal del curso de la quebrada Jorge Mayo (mayor a 30°).
- Substrato rocoso de mala calidad, roca metamórfica de esquistos, filitas y cuarcitas de la Formación Málaga, con alto grado de fracturamiento.
- Material de remoción antiguo y de fácilmente erosionables.
- Presencia de material suelto en las laderas.
- Corte de talud para la construcción de la carretera que conduce a la ciudad de La Convención.
- Precipitaciones pluviales intensas

Efectos:

- Afectó tramos carreteros de la vía principal de acceso a la ciudad de la Convención en los cinco puntos (fotografía 26 y 27).

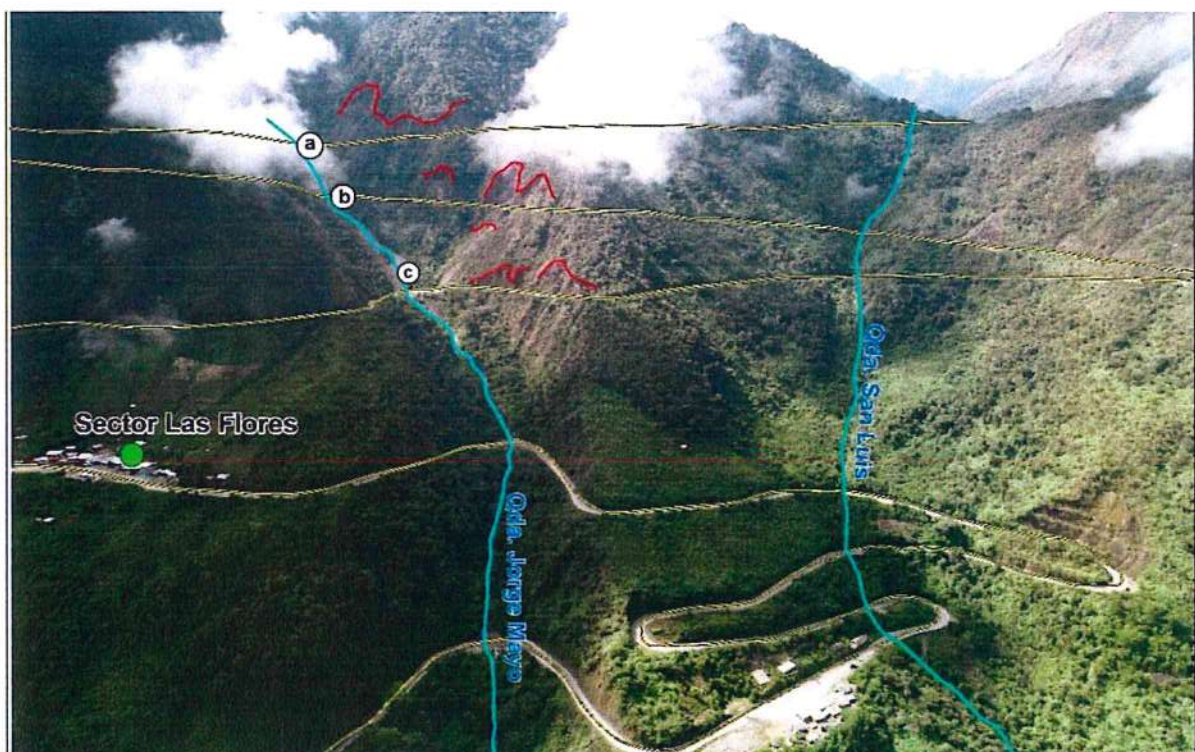


Figura 41. Sector Las Flores, disectado por la la quebrada Jorge Mayo, en cinco tramos

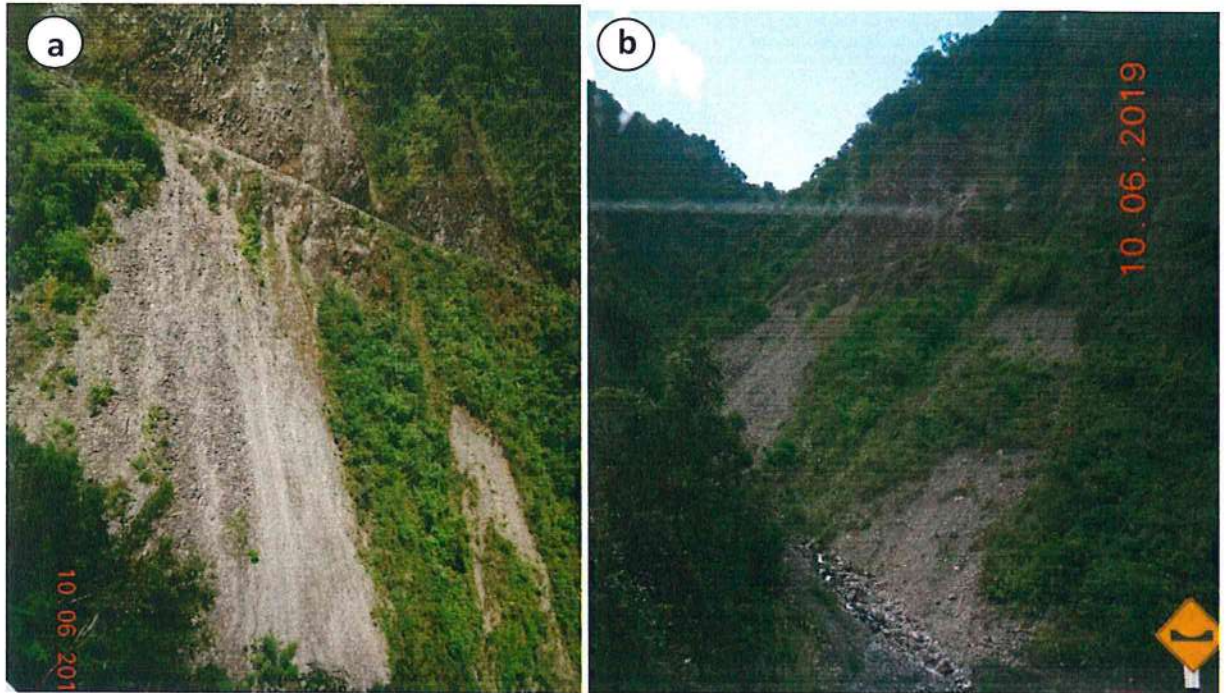


Figura 42. Derrumbes en tramos carreteros (a) y (b)



Fotografía 26. Flujo de detritos en la quebrada Jorge Mayo, en el primer tramo de corte de carretera.



Fotografía 27. Aguas arriba de confluencia con el río Lucumayo, a la margen izquierda se presentan derrumbes, deslizamientos y flujo de detritos.

5.2.16. SECTOR PANTICALLE

El sector panticalle está ubicado sobre depósitos fluvio-glaciares, a la margen derecha de la quebrada Panticalle y margen izquierda del río Lucumayo

En la zona se identificó depósitos de flujos antiguo y recientes (fotografía 28), este último alimentado por la laguna ubicado en las coordenadas 788904 este, 8545076 norte, a una altitud de 4335 m s. n .m. producto del retroceso glaciar. Así mismo se evidenciaron procesos de derrumbes en la zona de ablación, generando material de aporte para flujos de detritos.

Debido a la acción erosiva pluvial, se producen escorrentías de agua, las cuales van socavando las superficies en las morrenas, originando cárcavas.

Factores condicionantes y desencadenantes

- Substrato rocoso meteorizado
- Retroceso glaciar
- Depósitos de naturaleza incompetente



Fotografía 28. Vista del sector Panticalle.

6. INVENTARIO DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL DISTRTO DE HUAYOPATA

El mapa de inventario de peligros geológicos en el distrito de Huayopata (figura 43), describe los procesos por movimientos en masa en base a la información obtenida en campo.

En el área de estudio se han inventariado un total de 73 ocurrencias de peligros geológicos por movimientos en masa (cuadro N° 01), de los cuales, 23 son identificados como flujo de detritos, 14 deslizamientos, 16 derrumbes, 16 procesos de erosión fluvial y 4 erosión de ladera (gráfico 01).

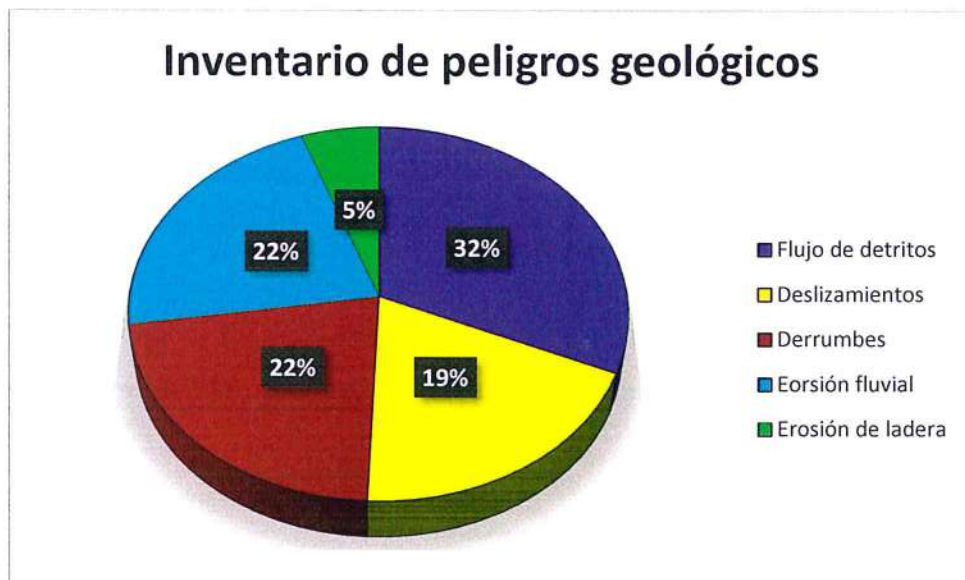


Gráfico 1. Inventario de peligros geológicos en el distrito de Huayopata.

TIPO DE PELIGRO	COORDENADAS		SECTORES/QUEBRADAS	OBSERVACIONES
	Este	Norte		
FLUJO DE DETRITOS	758926	8559019	Quebrada Huilcar Sector San Pablo(5.2.2)	El año 2018 la Qda. Huilcar se reactivó en flujo de detritos, ello afectó la tubería de agua para consumo humano.
	760946	8561149	Quebrada Huayopata Rodeo (5.2.6)	La quebrada se reactivó en flujo de detritos afectando dos captaciones de agua, construidas el año 2017.
	761279	8561230	Quebrada Llaulliyoc (5.2.6)	El flujo arrastró bloques de 0.5 m de diámetro, afectó dos viviendas ubicadas a la margen derecha de la quebrada en mención.
	763064	8562189	Quebrada Aputinya	Cada año en periodo de intensas precipitaciones, la quebrada Aputinya se reactiva en flujo de detritos, afectando el badén de acceso a centros aledaños.
	765018	8560952	Quebrada Calquiña (5.2.7)	La Qda. Calquiña disecta el sector Huyro antiguo. Se tiene evidencia de flujo antiguos (huaicos).
	764946	8560167	Quebrada Tunquimayo (5.2.10)	Desde el año 2001 se viene presentando flujo de detritos, el flujo del 2006 rompió el badén (10 m de longitud), en situ se evidenciaron bloques de 60 cm de diámetros trasportados por flujos antiguos.
	767200	8562284	Quebrada Ipal (5.2.13)	Se tiene evidencia de flujos antiguos.
	767598	8563299	Quebrada Sicre (5.2.8)	En noviembre del año 2018 la quebrada se reactivó en flujo de detritos, afectando viviendas y terrenos de cultivo. Actualmente se evidencian bloques de hasta 3 m de diámetro trasportados por el huaico.
	768800	8561709	Quebrada Choquellohuanca (5.2.13)	El huaico generó el colapso del puente de acceso a la ciudad de Quillabamba. Así mismo afecto a las viviendas ubicadas aguas abajo del puente, margen derecha del río Lucumayo.
	768924	8559140	Quebrada Lauramarca	En la margen izquierda de la quebrada se evidencia depósitos proluviales (bloques hasta 3 m de

			diámetro) transportados por flujos antiguos.
772654	8558025	Quebrada Santa Rosa	En noviembre del 2018 la quebrada se reactivó en flujo de detritos, ello generó el colapso de un puente peatonal
774296	8557800	Quebrada Tunquimayo 2	El 2013 la quebrada se reactivó en flujo de detritos, el material llegó a sobrepasar la altura del puente (8 m de altura con respecto al río). Afectó los estribos del puente.
774089	8556524	Quebrada Rosas pampa	El 2017 se reactivó en flujo de detritos. Afectó terrenos de cultivo y camino carrozable en un tramo de 3 m.
771707	8539693	Quebrada Huamanmarca	El flujo de detrito bloqueó la vía de acceso al sector de Huamanmarca.
778457	8555569	Quebrada Chaquimayo (5.2.11)	Cada año en periodos de intensas precipitaciones pluviales, la quebrada Chaquimayo se reactiva en flujo de detritos. El material del flujo cierra la vía de acceso principal a la ciudad de Quillabamba.
778666	8555790	Quebrada - badén	Badén afectado todos los años a partir de flujo de detritos, el cual obstruye el paso a la ciudad de Quillabamba.
777199	8555329	Quebrada Kurkur (5.2.12)	Presenta evidencias de antiguos flujos de detritos (bloques de 1 a 2 m de diámetro y troncos de árboles transportados por el flujo), los cuales afectaron terrenos de cultivo y puente peatonal
781287	8554402	Quebrada Alfamayo (5.2.14)	El flujo de detritos erosionó las bases de las laderas que lo delimitan.
782809	8553775	Quebrada Jorge Mayo (5.2.15)	Cada año en periodo de intensas precipitaciones pluviales (diciembre-enero) la quebrada se reactiva en flujo de detritos, afectando la vía de acceso a la ciudad de Quillabamba.
784207	8552493	Quebrada San Luis	Se evidenciaron procesos de flujo de detritos antiguos.
784202	8552493	Quebrada Carrizales	En medio de la quebrada se evidenció bloques

				transportados por flujos antiguos.
	784415	8548841	Quebrada Mamac (5.2.15)	Se evidenciaron procesos de flujo de detritos alimentados, por derrumbes generados en el nevado Bonanta.
	786822	8547617	Quebrada Yanamanchi	La quebrada se reactivó en flujo de detritos, alimentado por el material proveniente del nevado Bonanta.
DESGLIZAMIENTO	760540	8560282	Sector Huaynapata	Asentamiento del terreno, se tiene ocho viviendas y pozas de café agrietadas, la mayoría en dirección N° 240; así mismo las tuberías de agua para consumo se desconectan continuamente.
	759543	8560205	Sector Corihuayrachina	Deslizamiento de tipo rotacional, presenta un escarpe de forma semicircular, el salto del escarpe principal presenta 1.5 m con orientación N° 70.
	761848	8561934	Sector Llaulliyoc	El deslizamiento presenta un escarpe de forma elongada, con longitud de escarpe de 20 m y el salto principal correspondiente a 2 m de altura. Zona húmeda y cubierta por una densa vegetación.
	770657	8561138	Quebrada Umas Bamba	Deslizamiento activo al pie de ladera, margen derecha de la carretera, cuando se reactiva afecta la vía de acceso a la ciudad e Quillabamba.
	774744	8556564	Sector Misquiuno (5.2.12)	Se tiene evidencias de deslizamientos antiguos, el cuerpo del deslizamiento presenta bloques angulosos a subangulosos de tamaños 0.10 cm a 1m.
	775984	8556454	Sector Misquiuno (5.2.12)	Deslizamiento reactivado.
	774347	8557945	Quebrada Saraserayoc	Deslizamiento activo, ubicado a la margen derecha de la quebrada.
	769817	8560122	Sector Cedruyoc (5.2.9)	Deslizamiento tipo rotacional, con 3 m de escarpe.
	769761	8561584	Sector Amaybamba (5.2.2)	Deslizamiento al pie de Carretera
	771855	8559229	Sector Huamanmarca	Deslizamiento ubicado a la margen derecha del río Lucumayo, al pie de ladera.

	775984	8556454	Quebrada	Deslizamiento desencadenado a la margen derecha del río Lucumayo, presenta material de remoción antiguo.
	775952	8556495	Pie de la carretera	Deslizamiento activo conformado por rocas angulosas a subangulosas en matriz limo arcillosas. Tiene una altura de 15 m aproximadamente y un escarpa de 8 m.
	778012	8555445	Chaquimayo (5.2.11)	Punto de referencia, al frente de la quebrada Chaquimayo se observan deslizamientos.
	782048	8553398	Sector Las Flores (5.2.15)	En las laderas del sector Las Flores se evidenciaron proceso de deslizamientos antiguos.
DERUMBE	759367	8558599	Sector San pablo (5.2.2)	El cerro Condorhuachana viene presentando procesos de caída de rocas.
	760536	8560708	Sector Pedregal (5.2.5)	A consecuencia de la erosión fluvial, se generó derrumbes al pie de ladera empinada.
	769072	8561973	Sector Choquellohuanca (5.2.13)	Se identificó algunas zonas de arranque que sirvió como material de aporte al flujo de detritos de noviembre del 2018.
	778275	8555130	Frente de Chaquimayo (5.2.11)	A la margen izquierda del río Lucumayo se evidenciaron procesos de derrumbes.
	778727	8555413	Sector Huamanpata	A la margen derecha del río Lucumayo, margen derecha de la carretera, se originaron derrumbes, producto del corte de talud.
	775695	8556248	Sector Cconchucopata alta	A la margen del río Lucumayo, al pie de ladera empinada se generaron derrumbes, producto del corte de talud para la construcción de trocha carrozable.
	775984	8556454	Carretera-Sector Misquiuno	Derrumbe al pie del talud, en periodo de intensas precipitaciones se reactiva ocasionando bloqueo de la vía.
	774744	8559564	miski-1	Talud de roca muy fracturada.

	781746	8553696	Quebrada Alfamayo (5.2.14)	A la altura del puente, margen izquierda de la quebrada Alfamayo se denotó dos derrumbes, producto del socavamiento en la base de la ladera.
	782202	8553392	Frente al sector Alfamayo (5.2.14)	Al frente del sector Alfamayo, la ladera de pendiente moderada a fuerte se reactivó en derrumbes, canalizándose a través de una cárcava.
	782919	8553820	Quebrada Jorge Mayo (5.2.15)	En ambas márgenes de la quebrada Jorge Mayo se detonaron derrumbes. El material desvió el cauce natural de la quebrada.
	786406	8549102	Carretera a Panticalle (5.2.16)	Al frente del Sector Panticalle se evidenciaron derrumbes producto del corte de talud.
	789583	8547845	Carretera a Panticalle (5.2.16)	A la margen derecha de la carretera que conduce a la ciudad de Quillabamba se generó un derrumbe, con longitud de 20 m desde la zona de arranque hasta los pies del derrumbe. Afectó tramo de la carretera.
	788179	8547589	Frente al Sector Panticalle (5.2.16)	Derrumbes al pie de ladera, margen derecha de la carretera.
	785047	8552147	Sector Carrizales	Se evidenciaron derrumbes, los cuales obstruyen el paso de acceso a la ciudad de Quillabamba.
	784394	8550681	Quebrada Picchu	En la margen izquierda de la quebrada se observan derrumbes antiguos que están en proceso de reactivación.
EROSIÓN FLUVIAL	757469	8561140	Puente Santa María (5.2.1)	A consecuencia de las crecidas del río Lucumayo, alimentado por los flujos provenientes de los movimientos en masa ocurridos en diciembre del 2018 y a principios de año en las zonas de Sicre y quebrada Choquellohuanca, se generó erosión en ambas márgenes del río Vilcanota.
	758090	8559025	Sector San pablo (5.2.2)	El aumento de caudal del río Vilcanota erosionó la margen izquierda de la terraza sobre la cual se asienta el sector San Pablo.
	760542	8560740	Sector Pedregal (5.2.5)	La erosión en la base de la ladera detonó un derrumbe.

	760971	8563299	Huayopata Rodeo (5.2.6)	El huayco del 2018 generó en la zona media erosión en ambas márgenes de la quebrada, teniendo en ese punto la zona más ancha de la quebrada.
	764733	8560197	Puente Iyape (5.2.10)	El flujo proveniente de las quebradas Sicre Y Choquellohuanca, generaron el colapso inmediato del puente.
	765031	8561013	Huyro antiguo-A.H. Dos de Mayo (5.2.7)	Se evidenciaron procesos de erosión fluvial en la margen izquierda de la quebrada Calquiña.
	774296	8557600	Quebrada Tunquimayo 2	El flujo del año 2013, erosionó la base de ambas márgenes en la quebrada.
	777114	8555593	Quebrada Kurkur (5.2.12)	Se evidenciaron procesos de erosión fluvial en la margen izquierda de la quebrada.
	766765	8564110	Rio Ipal	En tramos de la quebrada, se evidenciaron proceso de erosión fluvial, ello permite el ensanchamiento del cauce de la quebrada.
	767592	8563293	Rio Sicre (5.2.8)	La dinámica del curso del río Sicre erosionó ambas márgenes de la quebrada.
	768589	8561676	Sector Choquellohuanca (5.2.13)	El flujo erosionó la base las laderas, dejándolas inestables y expuestas a movimientos en masa.
	778012	8555445	Quebrada Chaquimayo (5.2.11)	El cambio de dirección del río, va socavando la base de las laderas.
	781289	8554451	Puente Alfamayo (5.2.14)	El flujo de detritos erosionó la base de la margen izquierda, a partir de ello se empezó a generar derrumbes.
	781746	8553696	Quebrada Alfamayo (5.2.14)	En ambas márgenes de la quebrada se generó erosión fluvial, dejando inestable las paredes de la terraza aluvial.
	785047	8552147	Quebrada carrizales	Se evidenciaron derrumbes en ambas márgenes de la quebrada, originadas por el socavamiento en la base de las laderas.
	782048	8553398	Quebrada Jorge Mayo (5.2.15)	Socavamiento de la base de ladera.
EROSIÓN DE LADERA	759246	8559000	Sector San pablo (5.2.2)	En la margen derecha de la quebrada Huillcar se

				evidenció la formación de cárcavas.
	779881	8552859	Sector Alfamayo (5.2.14)	En la margen izquierda del río Lucumayo se evidenciaron procesos de carcavamiento, alimentado por derrumbes.
	772169	8559303	Carretera a Huamanmarca	En el tramo carretero que conduce al sector Huamanmarca, se evidencian procesos de carcavamiento.
	785225	8548688	Sector Chachayoc	A la margen izquierda del río Lucumayo se evidenciaron procesos de carcavamiento.

Cuadro 1: Inventario de peligros geológicos por movimientos en masa

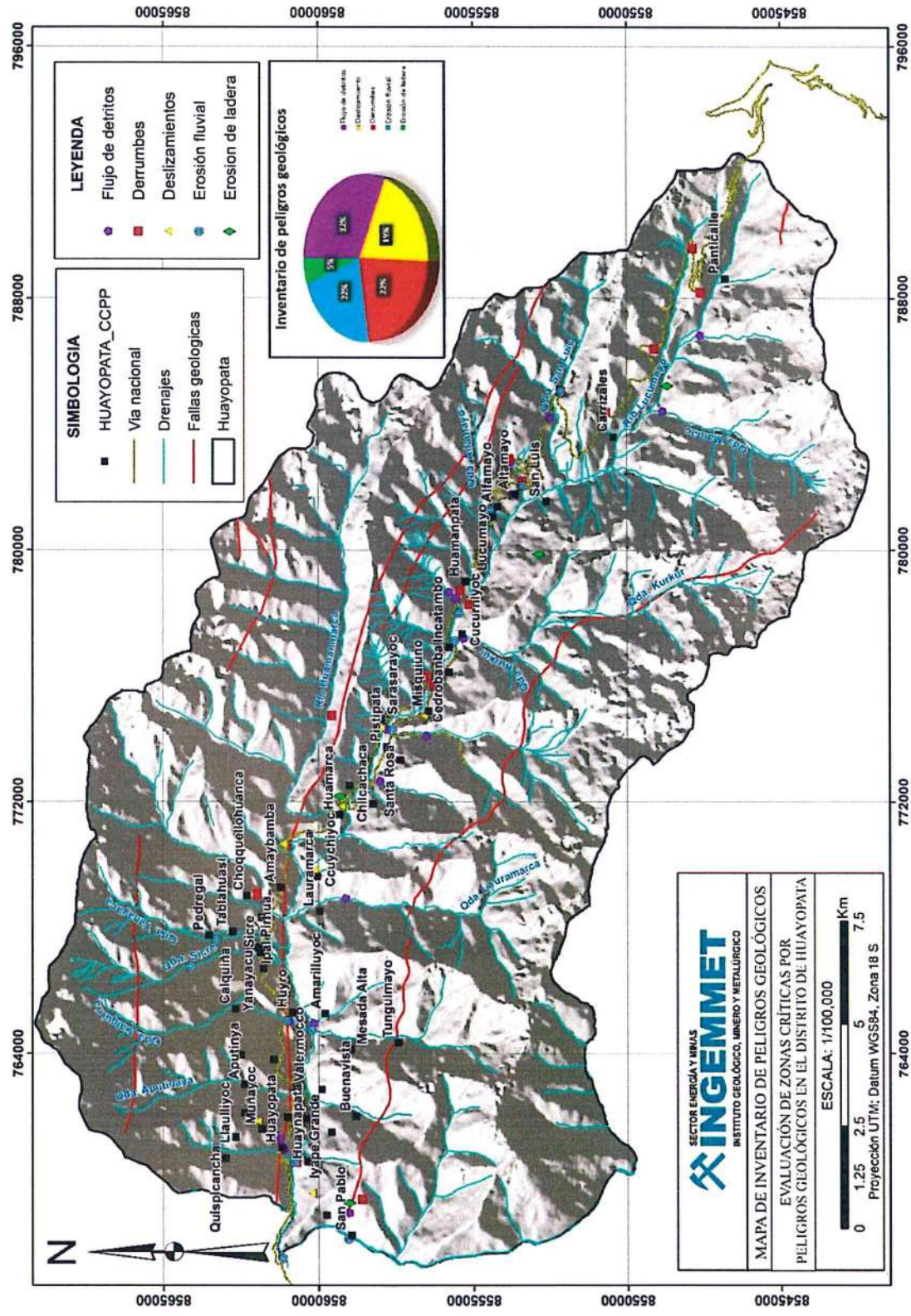


Figura 43. Mapa de inventario de peligros geológicos en el distrito de Huayopata

7. MEDIDAS CORRECTIVAS

MEDIDAS PARA DESLIZAMIENTOS, DERRUMBES Y CAÍDAS DE ROCAS

Las medidas correctivas se pueden realizar en: taludes en construcción, laderas de pendientes fuertes y es necesaria su estabilización y para estabilizar fenómenos de rotura; sobre todo en aquellos que puedan trabajarse a nivel de construcción. Para definir la solución ideal es necesario valorar diferentes parámetros, sean de tipo constructivo o económico.

A. Corrección por modificación de la geometría del talud

Cuando un talud es inestable o su estabilidad es precaria se puede modificar su geometría con la finalidad de obtener una nueva disposición que resulte estable. Esta modificación busca lograr al menos uno de los dos efectos siguientes:

- Disminuir las fuerzas que tienden al movimiento de la masa.
- Aumentar la resistencia al corte del terreno mediante el incremento de las tensiones normales en zonas convenientes de la superficie de rotura.

Lo primero se consigue reduciendo el volumen de la parte superior del deslizamiento y lo segundo incrementando el volumen en el pie del mismo.

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

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

El peso de la escollera en el pie del talud se traduce en un aumento de las tensiones normales en la parte baja de la superficie del deslizamiento, lo que aumenta su resistencia. Este aumento depende del ángulo de rozamiento interno en la parte inferior de la superficie del deslizamiento. Si es elevado, el deslizamiento puede producirse por el pie y es más ventajoso construir la escollera encima del pie del talud, pudiéndose estabilizar grandes masas deslizantes mediante pesos relativamente pequeños de escollera. Si el ángulo de rozamiento interno es bajo, el deslizamiento suele ocurrir por la base y es también posible colocar el relleno frente al pie del talud. En cualquier caso, el peso propio de la escollera supone un aumento del momento estabilizador frente a la rotura. Por último, cuando la línea de rotura se ve forzada a atravesar la propia escollera, esta se comporta además como un elemento resistente propiamente dicho.

Algo que debe tomarse en cuenta constantemente es que la base del relleno siempre debe drenar, en caso contrario su efecto estabilizador puede verse disminuido, especialmente si el relleno se apoya sobre material arcilloso. Puede

ser necesario colocar un material con funciones de filtro entre el relleno drenante y el material del talud, para ello se puede emplear membranas geotextiles.

- Tratamiento de taludes con escalonamiento: Es una medida que puede emplearse tanto cuando un talud está comprometido por un deslizamiento o antes de que este se produzca. Su uso es aconsejable porque facilita el proceso constructivo y las operaciones del talud, retiene caída de fragmentos de roca y si se coloca en ellos zanjas de drenaje se evacuará las aguas de escorrentía, disminuyendo su efecto erosivo y el aumento de las presiones intersticiales (figura 44).

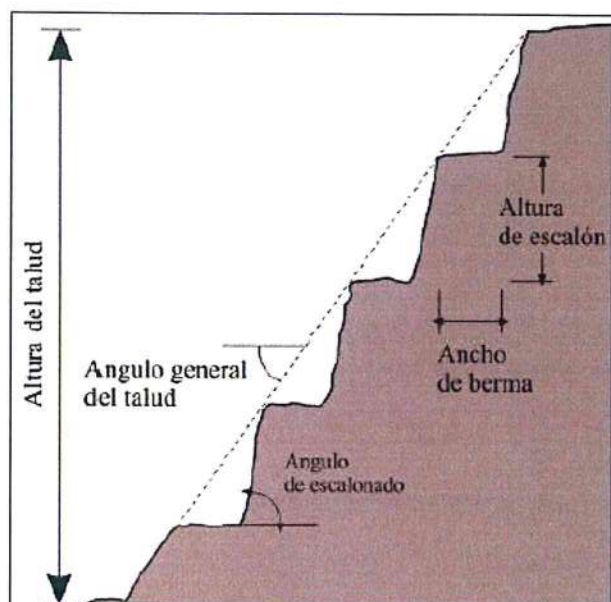


Figura 44. Esquema de un talud con bermas intermedias.

B. Corrección por elementos resistentes

Los muros se emplean frecuentemente como elementos resistentes en taludes (figura 45).

En ocasiones se emplean para estabilizar deslizamientos existentes o potenciales al introducir un elemento de contención al pie. Esta forma de actuar puede tener varios inconvenientes. En primer lugar, la construcción del muro exige cierta excavación en el pie del talud, lo cual favorece la inestabilidad hasta que el muro esté completamente instalado. Por otra parte, el muro no puede ser capaz de evitar posibles deslizamientos por encima o por debajo del mismo.

Una contención solo puede sostener una longitud determinada de deslizamiento ya que en caso contrario el deslizamiento sobrepasa al muro. Cuando quieran sujetarse deslizamientos más largos, debe recurrirse a un sistema de muros o a otros de los procedimientos expuestos. Cabe mencionar que, en taludes con inestabilidad evidente se puede emplear un muro con objeto de retener un relleno estabilizador.

En desmontes y terraplenes en los que la falta de espacio impone taludes casi verticales, el empleo de muros resulta casi obligatorio. Este es un caso frecuente en la construcción de vías de transporte. En ocasiones, como en el caso de un desmonte en una ladera, puede resultar más económica la construcción de un muro, frente al coste de sobre excavación requerido si aquel no se realiza. La construcción de un muro es

generalmente una operación cara. A pesar de ello, los muros se emplean con frecuencia pues en muchos casos son la única solución viable.

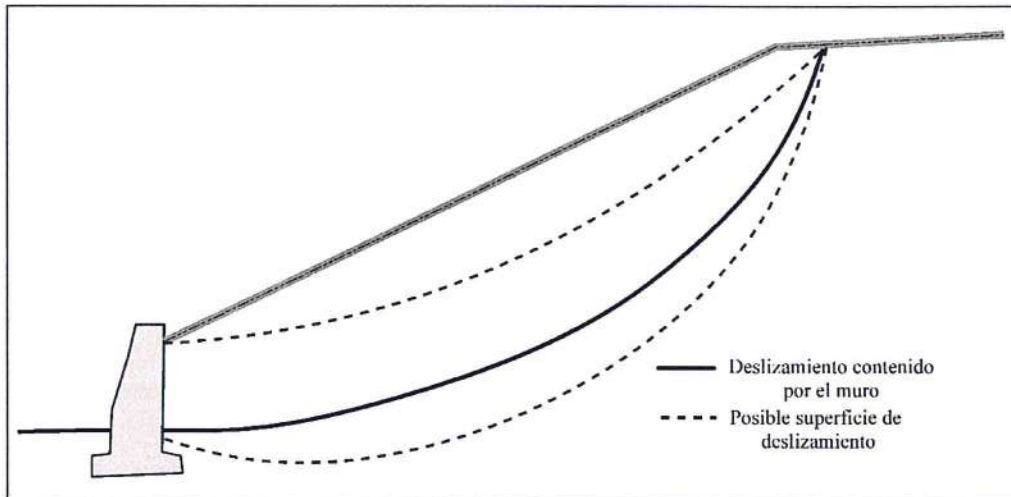


Figura 45. Contención de un deslizamiento mediante un muro.

Los muros se pueden clasificar en tres grupos (figura 46).

- Muros de sostenimiento: Se construyen separados del terreno natural y se rellenan posteriormente.
- Muros de contención: Generalmente van excavados y se construyen para contener un terreno que sería probablemente inestable sin la acción del muro.
- Muros de revestimiento: Su misión consiste esencialmente en proteger el terreno de la erosión y meteorización además de proporcionar un peso estabilizador.

Cuando se proyecta un muro deberán determinarse las cargas a las que va a estar sometido y su distribución, lo que permitirá planificar una estructura capaz de resistirlas.

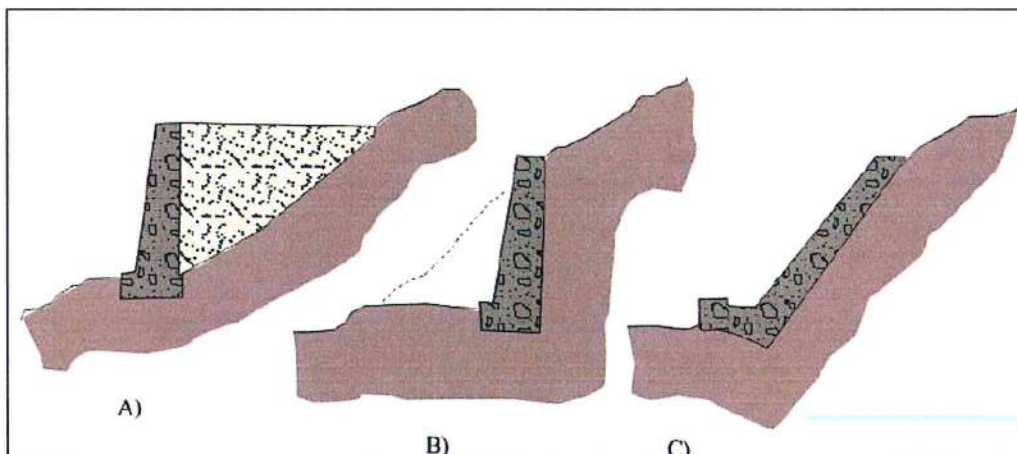


Figura 46. a) Muro de sostenimiento b) Muro de contención c) Muro de revestimiento.

Tipos de muros

- Muros de gravedad:** Son los muros más antiguos, elementos pasivos en los que el peso propio es la acción estabilizadora fundamental (figura 47). Se construyen de hormigón en masa, pero también existen de ladrillo o mampostería y se emplean para prevenir o detener deslizamientos de pequeño tamaño. Sus grandes ventajas son su facilidad constructiva y el bajo costo.

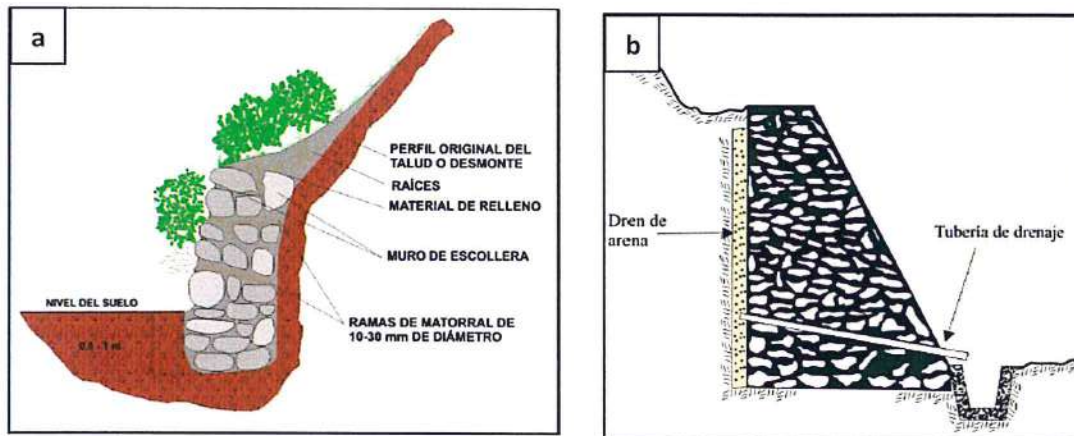


Figura 47. a) Muro de gravedad de piedra seca. b) Muros de gravedad de piedra argamasada.

- Muros de gaviones.** Los gaviones son elementos con forma de prisma rectangular que consisten en un relleno granular constituido por fragmentos de roca no degradable (caliza, andesita, granitos, etc.), retenido por una malla de alambre metálico galvanizado (figura 48). Los muros de gaviones trabajan fundamentalmente por gravedad. Generalmente se colocan en alturas bajas, aunque algunas veces se colocan en alturas medianas y funcionan satisfactoriamente. La relación entre la altura del muro y el ancho de la base del mismo es muy variable.

Las ventajas que presenta son:

- Instalación rápida y sencilla.
- Son estructuras flexibles que admiten asentamientos diferenciales del terreno.
- No tienen problemas de drenaje ya que son muy permeables.
- Los empujes sobre el muro y su estabilidad al vuelco y deslizamiento se calculan de igual forma que en el caso de un muro de gravedad.

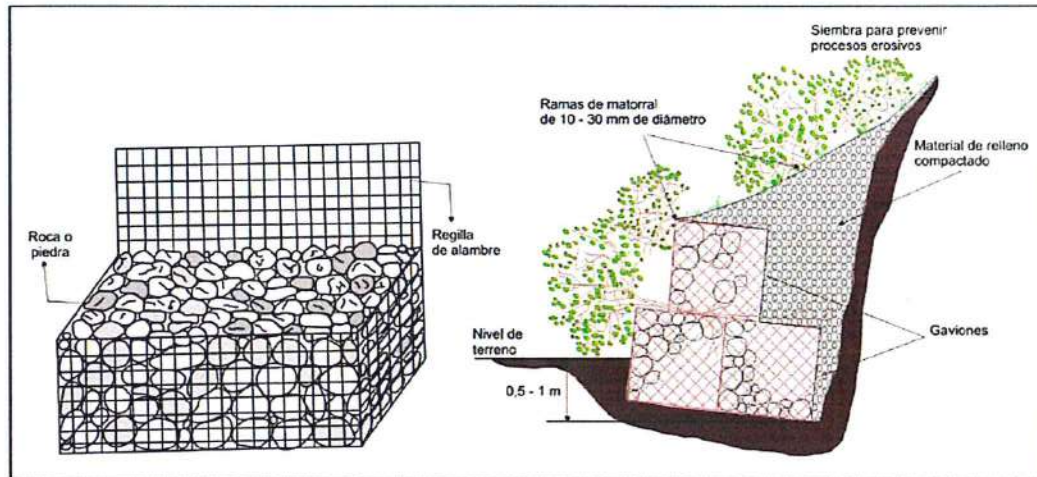


Figura 48. Muro de gaviones

PARA ZONAS DE FLUJOS Y CÁRCAVAS

Las erosiones en cárcavas generan abundantes materiales sueltos que son llevados a los cauces de las quebradas. Muchos de estos cauces tienen suficiente material como para la generación de flujos.

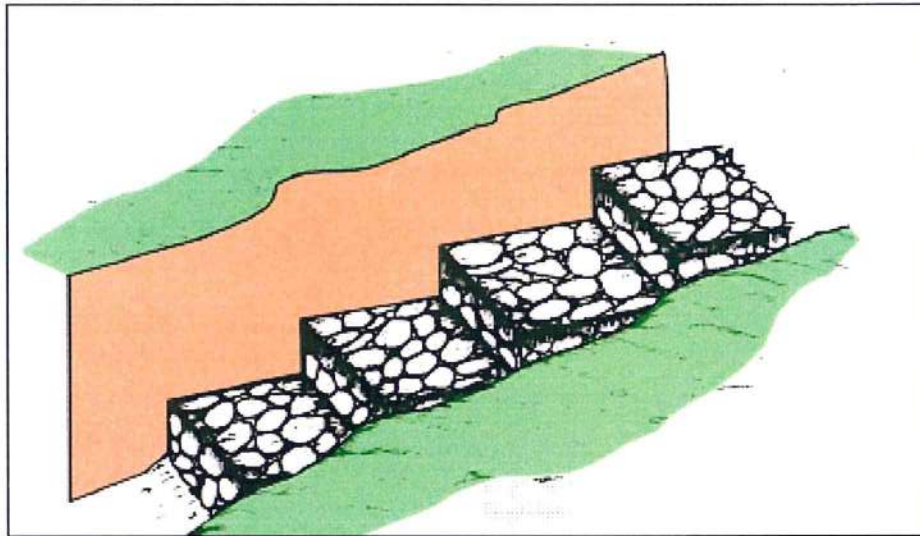
Las zonas donde existen cárcavas de gran longitud y presentan un desarrollo irreversible, donde no se pueden corregir con labores de cultivo, se debe prohibir terminantemente cualquier actividad agrícola. El control físico de zonas con procesos de cárcavamiento debe de ir integrado a prácticas de conservación y manejo agrícola de las laderas adyacentes por medio de:

- Regeneración de la cobertura vegetal.
- Empleo de zanjas de infiltración y desviación entre las principales.

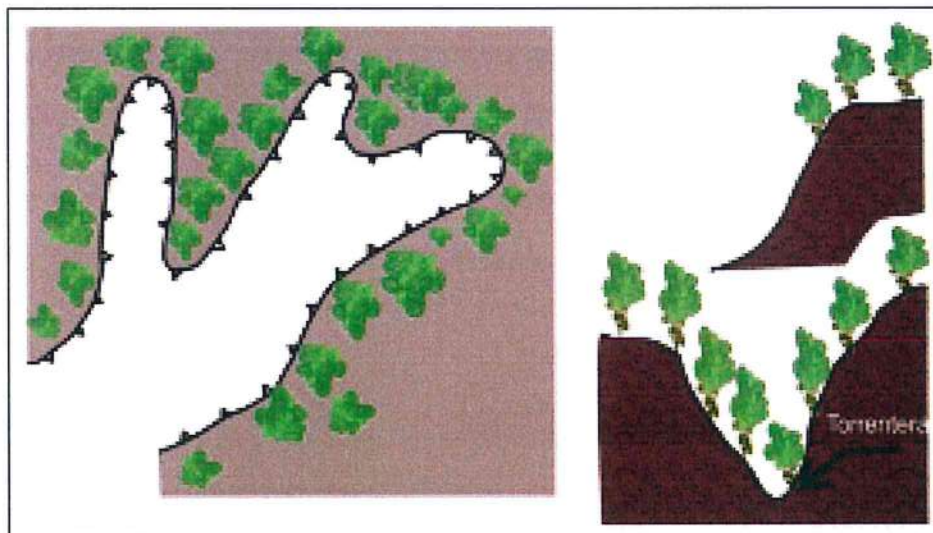
Para el control físico del avance de cárcavas se propone un conjunto de medidas, principalmente de orden artesanal, entre las que destacan:

- Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ella (figuras 49), y de esta manera asegurar su estabilidad, así como la disipación de la energía de las corrientes concentradas en los lechos de las cárcavas.
- El desarrollo de programas de control y manejo de cárcavas sobre la base de diques o trinchos transversales construidos con materiales propios de la región como troncos y ramas (figuras 50 y 51).
- Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo a las condiciones climáticas de la región.
- Realizar trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización. En la selección de árboles debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzarán versus la pendiente y profundidad de los suelos. También se recomienda que las plantaciones se ubiquen al lado superior de las zanjas de infiltración, con el objetivo de captar el agua y controlar la erosión.
- Evitar el sobrepastoreo, ya que deteriora y destruye la cobertura vegetal. Se debe realizar un manejo de las zonas de pastos mediante el repoblamiento de pastos nativos, empleando sistemas de pastoreo rotativo y sostenible, y finalmente evitar la quema de pajonales.

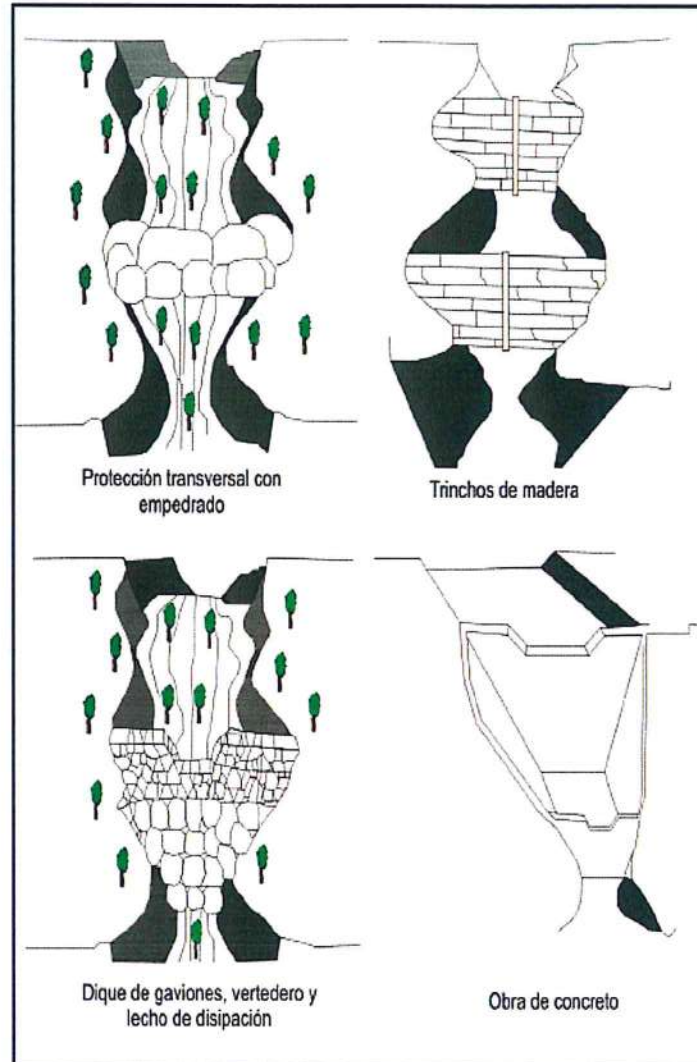
- Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo a las condiciones climáticas de las cuencas.



- *Figura 49. Protección del lecho de la quebrada con muros escalonados (andenes) utilizando bloques de roca o concreto armado.*



- *Figura 50. Vista en planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.*



• *Figura 51. Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas.*

CONCLUSIONES

1. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y la presencia de grandes eventos de geodinámica externa ocurridos en los sectores Puente Santa María, San Pablo (quebrada Huillcar), Huaynapata, Corihuayrachina, Huayopata rodeo, Sicre, Huyro, puente Iyape - quebrada Tunquimayo, Sector Cedruyoc, quebrada Chaquimayo, Choquellohuanca, Alfamayo, Las Flores (quebrada Jorge Mayo) y Panticalle; es necesario considerarlos como **Zonas críticas**.
2. Los trabajos en campo permitieron determinar que las quebradas: Huillcar, Huayopata Rodeo, Llaulliyoc, Aputinya, Tunquimayo, Sicre, Santa Rosa, Labramarca, Choquellohuanca, Tunquimayo 2, Kurkur, Chaquimayo, Alfamayo, Jorge Mayo, Mamac y Panticalle; son zonas muy susceptibles a la ocurrencia de flujo de detritos; por lo tanto se les considera como **Zonas de muy alto Peligro**.
3. El inventario de peligros geológicos y geo-hidrológicos en el distrito de Huayopata, permitió determinar 32% de flujos de detritos, 22% derrumbes, 19% deslizamientos, 22% de erosión fluvial y 5% de erosión de ladera.
4. En los sectores de Huaynapata y Ccorihuayrachina, se registraron daños en las viviendas (08 y 05 respectivamente), estructuras de bateas y pozas de café agrietadas.
5. Se identificaron zonas de arranque reactivados, que contribuyen con material de remoción suelto a producir flujos de detritos; específicamente en las quebradas Sicre, Choquellohuanca, Mamac, y Panticalle.
6. La ocurrencia de flujos de detritos, deslizamientos y derrumbes en el distrito de Huayopata están condicionadas por:
 - a. Presencia de material de fácil remoción (depósito fluvial, aluvial, coluvial, proluvial y fluvio glaciar), constituido por bloques redondeados, subredondeados y subangulosos inmersos en matriz arena arcillosa, permitiendo infiltración y retención de agua en su cuerpo, y posterior saturación del suelo.
 - b. Laderas con pendientes empinadas, comprendidos entre 25° a 45°, permite que el material suelto disponible se erosione y remueva fácilmente.
 - c. Acción de las aguas de esorrentía pluvial sobre el terreno.
 - d. Actividad antrópica, como desvío del cauce natural de la quebrada, deforestación de laderas y ocupación inadecuada del territorio.
 - e. El factor desencadenante fueron las intensas precipitaciones pluviales registradas en noviembre del 2018.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Carlotto, V., Cárdenas, J., Romero, D., Valdivia, W., & Tintaya, D. (1999). Geología de los cuadrángulos de Quillabamba y Machupicchu. Hojas: 26-q y 27-q. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 127, 319 p.
- Carlotto V., Gil W., Cárdenas J., Chávez R. & Vallenás V. (1996). - Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. Boletín N° 65 Serie A: Carta Geológica Nacional. (Hojas 27r y 27s). INGEMMET. Lima.
- Corominas, J., y Yague, A., (1997). Terminología de los Movimientos de Laderas
- Cruden, D., y Varnes, D. (1996). Landslide Types and Processes. "Landslides. Investigation and Mitigation", Eds Turner, A.K. and Schuster, R.L. Special Report 247, Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C. pp. 36-75.
- Núñez, S. & Gómez, D. (2019). Evaluación Geológica Geodinámica, para la reubicación de los sectores afectados por el huaico del a quebrada Sicre del 21/12/2018. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico-INGEMMET: Informe Técnico N° A6864. 21 p.
- Núñez, S., Albines. L. & Medina, L. (2018). Peligros geológicos en el sector de Sicre y Alrededores. Informe Preliminar. Distrito de Huayopata, provincia La Convención, Departamento Cusco. Informe Técnico A 6851. 28 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.
- Vílchez, M. & Sosa, N. (2013) Zonas Críticas por Peligros Geológicos en la región Cusco, Informe Técnico Geología Ambiental – INGEMMET. Informe Preliminar.
- Vílchez, M. & Sosa, N. (2018)- Riesgo geológico en la Región Cusco. Inédito INGEMMET. Proyecto de Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.
- Vílchez, M. & Sosa, N. (2013). Peligros geológicos en el ámbito de la Mancomunidad Municipal Amazónica. Provincia La Convención, región Cusco. INGEMMET. Informe técnico N° A6635. 85 p.

ANEXO

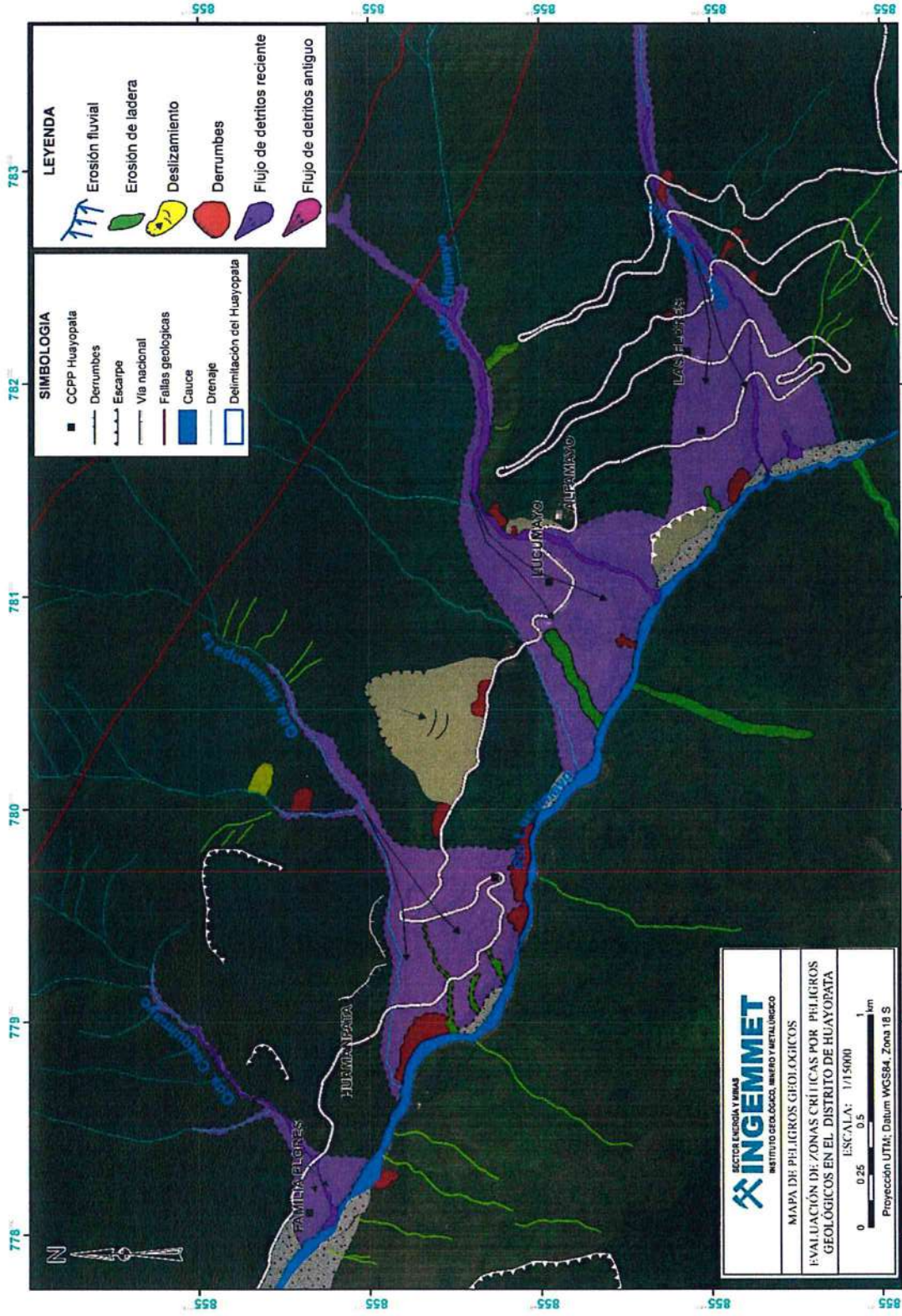


Figura 52. Peligros geológicos de los sectores Qda Chaquimayo (5.2.11), Alfamayo (5.2.14), Huamanpata y Las Flores (5.2.15)

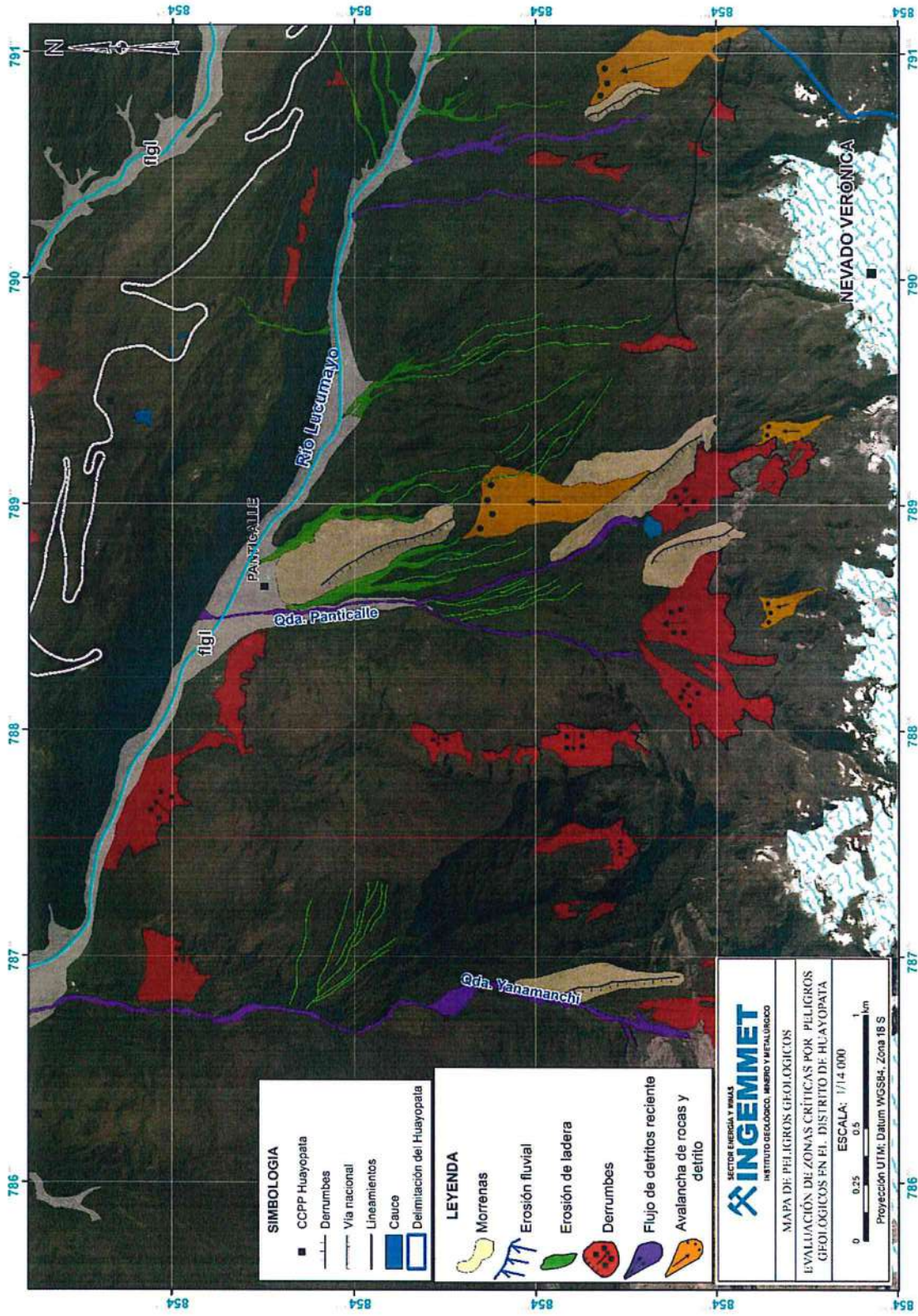


Figura 53. Peligros geológicos del sector Panticalle (5.2.16).

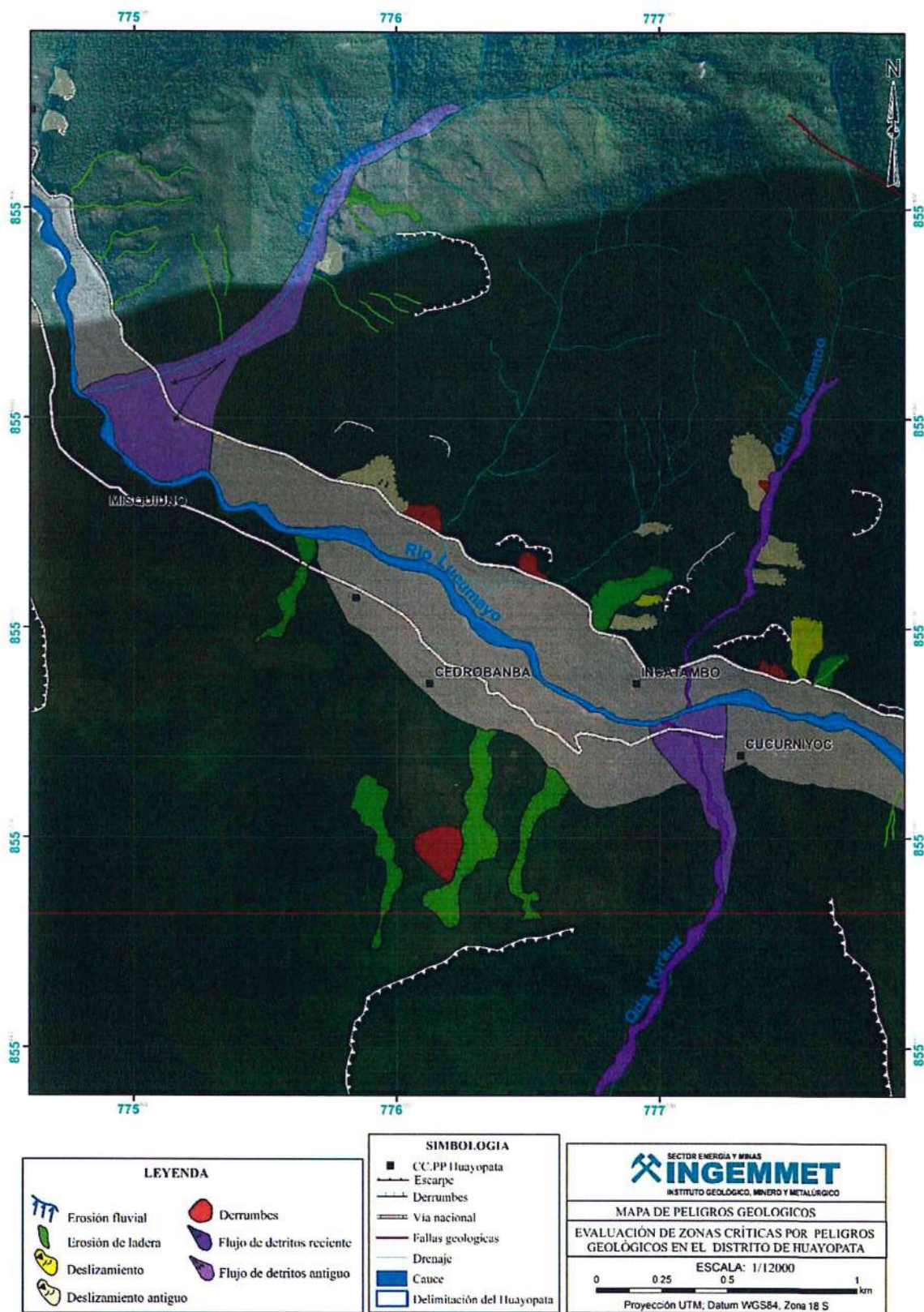


Figura 54. Peligros geológicos de los sectores Kurkurniyoc, Incatambo, Misquiuno (5.2.12) y Cedrobamba.

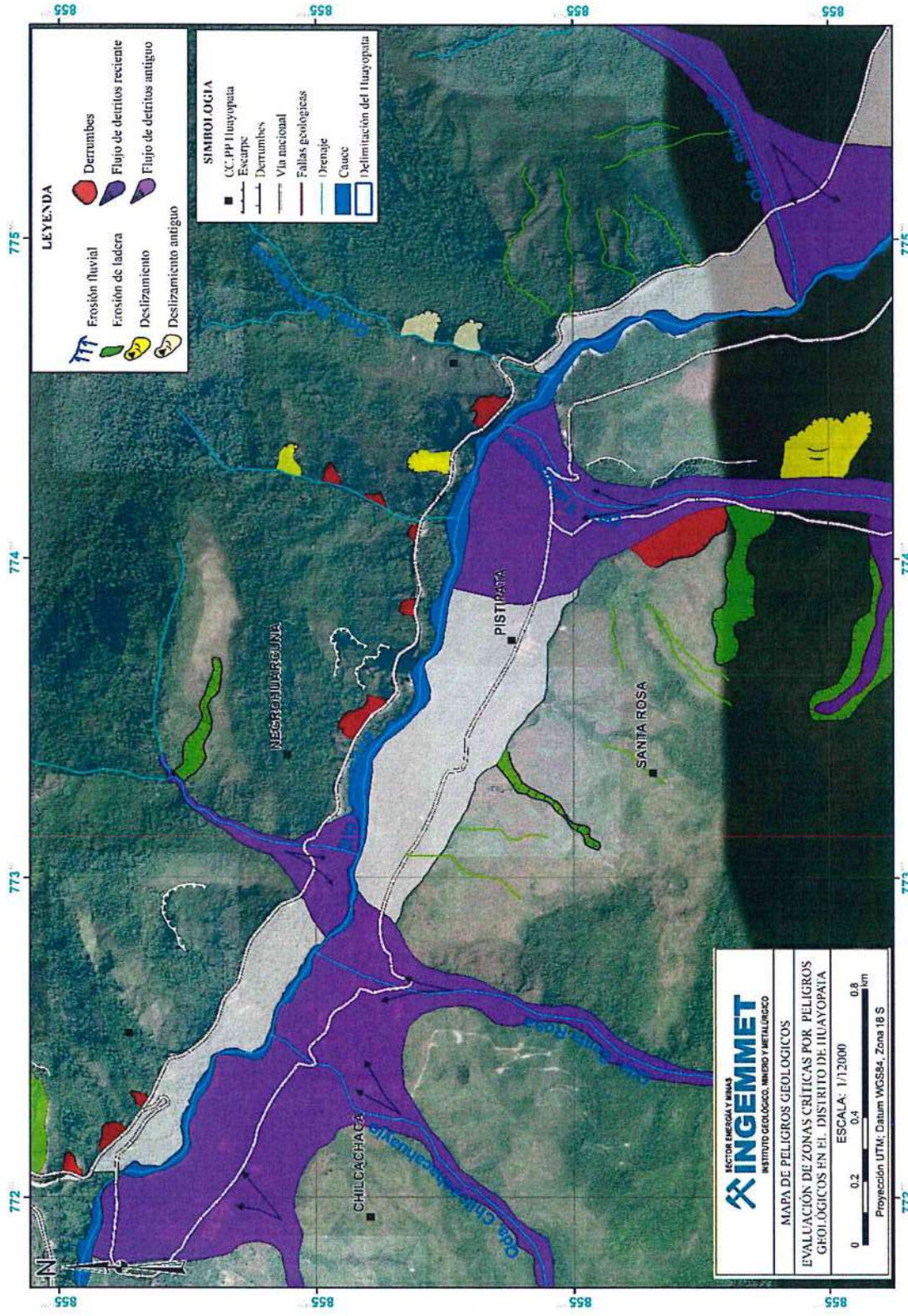


Figura 55. Peligros geológicos de los sectores Pistipata, Chilcachaca, Santa Rosa y Negrohuarcuna

