

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7115

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LOS DISTRITOS DE ACHOMA (SECTOR COLLPANE), YANQUE (SECTOR CHACAPI), E ICHUPAMPA (SECTORES ANANSAYA, URINSAYA Y LINDE)

Región Arequipa
Provincia Caylloma
Distritos Achoma, Yanque, Ichupampa



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

Equipo de investigación:

Yhon Soncco

Kevin Cueva

Saida Japura

Referencia bibliográfica

Soncco et al., (2021). Evaluación de peligros geológicos en los Distritos de Achoma (sector Collpane), Yanque (sector Chacapi), e Ichupampa (sectores Anansaya, Urinsaya y Linde), INGEMMET, Informe Técnico A7115, 47 p.

INDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Objetivos del estudio	3
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	3
1.3. Aspectos generales	4
1.3.1 Ubicación	4
1.3.2 Accesibilidad	5
1.3.3 Clima	5
2. ASPECTO ESTRUCTURAL	5
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	8
3.1 Unidades litoestratigráficas	8
3.1.1 Unidad Tuti (Po-tu)	8
3.1.2 Centro volcánico Mismi	8
3.1.3 Centro volcánico Huarancante (Nm-hu/0)	9
3.1.4 Centro volcánico Hualca Hualca Qp-hh/3	9
3.1.5 Formación Colca (Qp-col)	9
3.1.6 Depósito fluvioglacial (Qh-fg)	9
3.1.7 Depósito fluvial (Qh-fl)	9
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	10
4.1 Unidades geomorfológicas	10
4.2 Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional	10
4.2.1 Unidad de montaña	10
4.2.2 Unidad volcánica	11
4.3 Geoformas de carácter deposicional o gradacional	11
4.3.1 Unidad de planicie	11
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	12
5.1 PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA	12
5.2 MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR COLLPANE	12
5.2.1 Deslizamientos antiguos	13
5.2.2 Deslizamientos recientes	15
5.2.3 Deslizamientos por flujo y derrumbes	17
5.2.4 Erosión de laderas en cárcavas	18
5.3 MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE CHACAPI	19
5.3.1 Deslizamientos	22

5.3.2	Erosión de laderas en cárcavas	23
5.3.3	Zona de derrumbes en el sector Chacapi	23
5.3.4	Agrietamientos en la carretera Yanque – Ichupampa.	24
5.4	MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE ANANSAYA Y URINSAYA	25
5.4.1	Deslizamientos en Ichupampa (sectores Anansaya y Urinsaya)	26
5.4.2	Erosión de laderas en cárcavas en Ichupampa (sectores Anansaya y Urinsaya).....	29
5.4.3	Zona de derrumbes en Ichupampa (sectores Anansaya y Urinsaya)	29
5.4.1	Erosión fluvial del rio colca los sectores Anansaya y Urinsaya	30
5.4.4	Avalancha de detritos en los sectores Anansaya y Urinsaya	31
5.5	MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE LINDE	32
5.5.1	Deslizamientos en el sector Linde.....	33
5.5.2	Erosión de laderas en cárcavas en el sector Linde	33
5.5.3	Zona de derrumbes en el sector en el sector Linde.....	34
5.5.4	Avalancha de detritos en el sector Linde	35
5.5.5	Deslizamiento por flujo en el sector Linde.....	36
5.6	FACTORES CONDICIONANTES	36
5.7	FACTORES DETONANTES O DESENCADENANTES	37
6.	SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA	37
6.1	MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD.	37
6.2	MAPA DE PENDIENTES	38
7.	MONITOREO INSTRUMENTAL CON GPS GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELTAL SYSTEM)	40
8.	CONCLUSIONES	41
9.	RECOMENDACIONES	42
	BIBLIOGRAFÍA	44

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizados en los distritos de Achoma (sector Collpane), Yanque (sector Chacapi), e Ichupampa (sectores Anansaya, Urinsaya y Linde), que pertenecen a la jurisdicción de la Municipalidad provincial de Caylloma, región Arequipa. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualización, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

En la zona de estudio afloran rocas de la Unidad Tuti (Po-tu), así como del Centro volcánico Mismi (Nm-mi/2), Centro volcánico Huarancante (Nm-hu/0), Centro volcánico Hualca Hualca (Qp-hh/3), rocas de la Formación Colca (Qp-col), Depósito fluvio-glaciario (Qh-fg) y Depósito fluvial (Qh-fl). Las secuencias piroclásticas de la Unidad Tuti (Po-tu), los flujos de lava de Centro volcánico Mismi (Nm-mi/2), flujos de andesita del Centro volcánico Huarancante (Nm-hu/0) y los flujos piroclásticos del Centro volcánico Hualca Hualca (Qp-hh/3) se encuentran moderadamente meteorizadas y fracturadas; las areniscas y lutitas no litificadas de la Formación Colca (Qp-col) se encuentran altamente meteorizadas y muy fracturadas. Los depósitos fluviales (Qh-fl), están conformados por gravas, bloques, arenas y limos, que son de fácil erosión.

Las unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio son montañas, volcánicas y planicies que incluyen las siguientes subunidades; subunidad de montaña y colina en roca volcánica (RMC-rv), subunidad de montañas en rocas volcánicas (RM-rv), subunidad de estratovolcán (Es-v), subunidad de superficie de flujo piroclástico (Sfp), subunidad de terraza alta aluvial (Ta-al) y subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd).

Estructuralmente los sectores evaluados están condicionados por las fallas del Río Cotahuasi-ichupampa-San Juan de Tarucane y la falla Chachas-Cabanaconde-Patapampa.

Los peligros geológicos identificados en los sectores Collpane, Chacapi, Anansaya, Urinsaya y Linde comprenden movimientos en masa de tipo deslizamientos, avalanchas de detritos y derrumbes. Eventos antiguos que han sufrido reactivaciones. También se han identificado zonas con procesos de erosión de laderas (cárcavas). En el cauce del río Colca, se han identificado tramos con erosión fluvial.

En el sector Chacapi se desarrolla una serie de agrietamientos, que han afectado tramos de carretera, estos se generaron post deslizamiento de Achoma. La saturación del terreno por la presencia de agua del embalse, ocasionando que la roca pierda de cohesión y genere los eventos mencionados.

En el sector Collpane se han identificado reactivaciones de deslizamientos antiguos; por la presencia de filtraciones de agua. Se apreció que el canal Majes presenta ruptura, esto está ocasionando una saturación del terreno. La zona se considera dinámicamente activa.

Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa son: En Collpane, rocas meteorizadas, conformadas por flujos piroclásticos y flujos de lavas. La meteorización y los deslizamientos antiguos han generado suelos conformados por arenas, limos y arcillas poco compactados. Además, la presencia de la falla Chachas-Cabanaconde-Patapampa que cruza el sector. En Chacapi, Anansaya, Urinsaya y Linde las rocas son de mala calidad, conformados por areniscas no litificadas con intercalaciones de lutitas no litificadas, además los suelos están conformados por gravas, arenas y limos poco compactados. Asimismo, la pendiente en los terrenos varía desde moderado (5° - 15°) a muy escarpados (> 45°). Por último los canales de regadío no se

encuentran revestidos, el paso del agua se infiltra en el terreno, lo cual a lo largo del tiempo satura el terreno y generar pérdida de cohesión del mismo.

Se concluye que los sectores Collpane, Chacapi, Anansaya y Urinsaya son consideradas de **Muy Alto Peligro**; y el sector Linde de **Alto Peligro**. Estos sectores pueden presentar reactivaciones de movimientos en masa, entre ellos deslizamientos, que pueden ser “detonados” con lluvias intensas (octubre a marzo) y movimientos sísmicos.

Finalmente, se brinda recomendaciones que se consideran importante que las autoridades competentes pongan en práctica, como es el uso de señalizaciones, carteles que indiquen los peligros geológicos. Además, implementar un sistema de riego tecnificado por parte de los agricultores y sus organizaciones.

1. INTRODUCCIÓN

El INGEMMET, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos y consideraciones geotécnicas a nivel nacional (ACT. 7)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la municipalidad provincial de Caylloma, según los Oficios N° 215-2020-MPC-Chivay-A, N° 263-2020-MPC-Chivay-A, N° 0177-2020-MDA/C/AQP, N° 327-2020-MPC-Chivay-A, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de los eventos de movimientos en masa ocurridos el 2020, que afectó los distritos de Achoma, Yanque, Ichupampa y Coporaque.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los ingenieros, Yhon Soncco, Kevin Cueva y Saida Japura.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por INGEMMET, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS y fotografías), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración con los distritos de Achoma, Yanque, Ichupampa y Coporaque, en la provincia de Caylloma, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se presentan en los distritos de Achoma (sector Collpane), Yanque (sector Chacapi) y en Ichupampa (sectores Anansaya, Urinsaya y Linde), en la provincia de Caylloma, región Arequipa; eventos que pueden comprometer la seguridad física de personas, cultivos y vías de comunicación en la zona de influencia
- a) Emitir las recomendaciones pertinentes para la mitigación y prevención de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

- A) Informe técnico N° A7066: “Deslizamiento de Achoma ocurrido el 18 de junio del 2020”. El autor menciona que el movimiento en masa se generó el día mencionado a las 01:42 horas, lo describe como un deslizamiento rotacional con **desplazamiento** retrogresivo. La escarpa principal del deslizamiento tiene entre 100 a 150 metros de altura, 950 metros de longitud y 500 metros de desplazamiento.
- B) Boletín N° 57, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Estudio Geoambiental en la Cuenca del Río Colca” (2014). Señala que, desde el punto de vista morfológico, en el área de estudio se diferencian dos grandes grupos de unidades de relieve: a) Geoformas de carácter tectónicodegradacional y denudacional y b) Geoformas de

carácter deposicional. Las geoformas individuales se agrupan en tres tipos generales en función a su altura relativa y pendiente: 1) montañas, colinas y lomeríos, 2) piedemontes y 3) planicies. Su origen está ligado a procesos sismo-tectónicos, volcánicos, gravitacionales, deposicionales y erosivos, ocurridos a lo largo de su historia geológica.

- C) Informe técnico N° A6579: “Derrumbe en la localidad de Tuti” (2011). Hace hincapié sobre la inestabilidad y los condicionantes que presenta la ladera. Se pueden generar desprendimiento de bloques que se encuentran colgados en la ladera, pues el substrato rocoso se encuentra medianamente fracturado. Esto podría acelerarse con la ocurrencia de movimientos sísmicos y/o lluvias intensas
- D) Informe técnico N° A6736: “Peligros geológicos en Maca” (2016). Menciona que, en la zona de Maca y alrededores, que los factores detonantes del deslizamiento son: a) Aumento de las lluvias que se infiltran en el suelo y rocas fracturadas. Estas saturan el material mueble, produciendo su pérdida de cohesión, agrietamiento y por su desplazamiento; b) presencia de napa freática superficial; infiltración no solo de aguas de lluvia sino también de las zonas de riego; y c) ocurrencia de sismos asociados a fallas activas en la región, que origina una mayor aceleración en el suelo como resultado de la vibración sísmica.
- A) Informe técnico N° A6793: “Inspección geológica en la quebrada Sipia para la construcción de la represa Carpalli” (2018). Según el mapa de peligros por lahares del Sabancaya, la represa Carpalli está localizada en la zona de BAJO PELIGRO, durante los trabajos de campo realizados no se identificaron depósitos de lahares que se hayan emplazado anteriormente en el río Sipina. Sin embargo, considerando la existencia de flujos laháricos en la cuenca superior (quebrada Molebaya de moderado a alto peligro), no se descarta que pudieran verse afectados por este tipo de flujos. La futura represa podría verse afectada por la ocurrencia de lahares durante períodos de lluvias excepcionales.

1.3. Aspectos generales

1.3.1 Ubicación

Las áreas evaluadas se ubican al NE del volcán Sabancaya, jurisdiccionalmente pertenecen a los distritos de Achoma, Yanque e Ichupampa, que pertenecen a la provincia de Caylloma región Arequipa (figura 1 y cuadro 1), en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 19S) siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio.

<i>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</i>				
	<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
<i>Linde</i>	207878	8268381	15°38'44.50"S	71°43'28.89"O
<i>Collpane</i>	211602	8264189	15°41'2.33"S	71°41'25.73"O
<i>Anansaya</i>	211892	8267470	15°39'15.78"S	71°41'14.60"O
<i>Urinsaya</i>	211407	8267853	15°39'3.13"S	71°41'30.71"O
<i>Chacapi</i>	213645	8267378	15°39'19.49"S	71°40'15.82"O

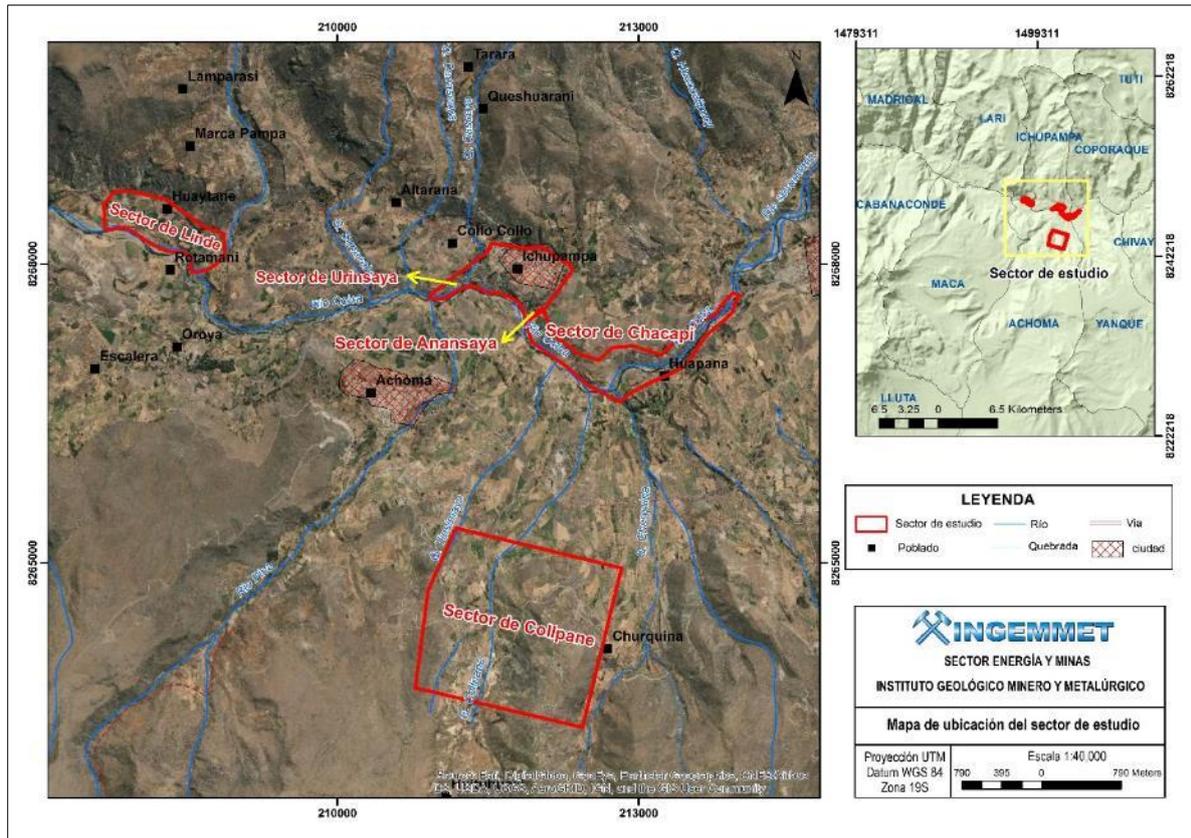


Figura 1. Mapa de ubicación

1.3.2 Accesibilidad

La zona es accesible por la carretera asfaltada Arequipa – Chivay (capital de la provincia Caylloma) Achoma – Yanque - Ichupampa (Cuadro 2, y figuras 1).

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia</i>	<i>tiempo estimado</i>
Arequipa - Chivay	Asfaltada	163 k	3h 06 min
Chivay - Yanque	Asfaltada	14.3 k	20 min
Achoma- Yanque	Asfaltada	8.3 k	13 min
Achoma- Ichupampa	Asfaltada	4.4 k	14 min

1.3.3 Clima

En este sector de los Andes del sur peruano la temporada seca corresponde a los meses de abril a noviembre, mientras que, el régimen de lluvias ocurre durante el verano (diciembre a marzo). Se presenta, por lo tanto, una sola estación húmeda, lo que repercute en el régimen de los ríos. Entre el 60 % y 75 % de la precipitación se concentra en los meses de enero a marzo. Los períodos críticos secos se sitúan entre junio y julio. Para el sector noreste del volcán Sabancaya, sobre los 3900 m s.n.m., la precipitación anual total varía entre 480 a 926 mm (Lamadon, 1999).

2. ASPECTO ESTRUCTURAL

Los sectores estudiados presentan dos fallas importantes (Figura 2), las que son descritas a continuación.

Falla Río Cotahuasi-Ichupampa-San Juan de Tarucani

Falla ubicada entre las cuencas Ocoña y Tambo, al norte del sector de Urinsaya y Anansaya. Tiene una extensión de 240 km con una dirección NO-SE y buza hacia el NE. Presenta facetas triangulares con altitudes de hasta 50 m y escarpes con 2 m de altitud. Esta falla limita la zona del arco volcánico cuaternario y activo con las planicies altoandinas del Altiplano. Se trata de una falla regional compuesta por segmentos caracterizados por presentar morfologías de fallas diferentes, pudiendo establecer una cronología de reactivaciones, (Benavente et al.,2017).

En la zona inspeccionada esta falla cruza por la parte alta del distrito de Ichupampa; donde se aprecia un escarpe de falla.

Falla Chachas-Cabanaconde-Patapampa

Falla ubicada al Sur del sector de Collpane con longitud de 80 km con un rumbo al NO-SE y dirección de buzamiento SO. Cruza el valle del Colca y es visible en la meseta volcánica tanto de la margen derecha e izquierda del río Colca entre 4000 a 4800 msnm, desde Patapampa hasta Cabanaconde. Se observa los depósitos de avalancha del flanco norte del Hualca Hualca desplazados con movimientos de tipo normal, el escarpe principal tiene 8 m de desnivel, (Benavente et al.,2017).

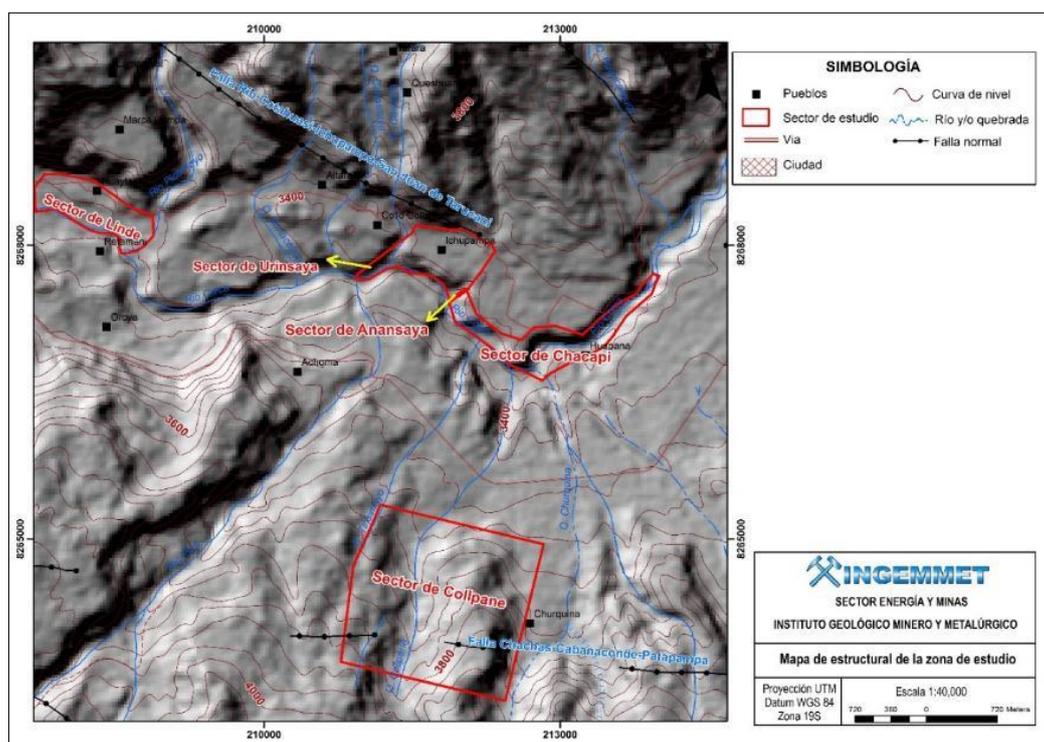


Figura 2. Mapa estructural.

En la zona inspeccionada la falla Chachas-Cabanaconde-Patapampa es poco visible, a pesar de ello se puede observar agrietamientos en obras de infraestructura como en el canal Majes, que cruza el sector Collpane, estas grietas aparentemente son originadas por el movimiento normal de la falla, (figura 3). Además, en la zona inspeccionada se aprecia una zona de brecha, zona por donde aparentemente cruza la falla (figura 4).



Figura 3. Ruptura del canal Majes Siguas, que cruza el sector de Collpane.



Figura 4. Zona de brechas donde se visualiza aparentemente una falla de dirección NO-SE, (coordenadas UTM E: 211636, N: 8264013).

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base la revisión y actualización de los cuadrángulos de Chivay 32-s-I (Cerpa & Paniagua, 2009), en cuyo informe se menciona afloramientos principales de depósitos Cuaternarios a lo largo del valle del Colca, circundado por laderas de rocas volcánicas del Paleógeno y Neógeno, y rocas sedimentarias recientes de la formación Colca.

3.1 Unidades litoestratigráficas

Las unidades geológicas que afloran en el área de estudio, corresponden a rocas volcánicas del Paleógeno y Neógeno, así como rocas sedimentarias del Cuaternario y depósitos recientes (figura 5), diferenciándose las siguientes formaciones.

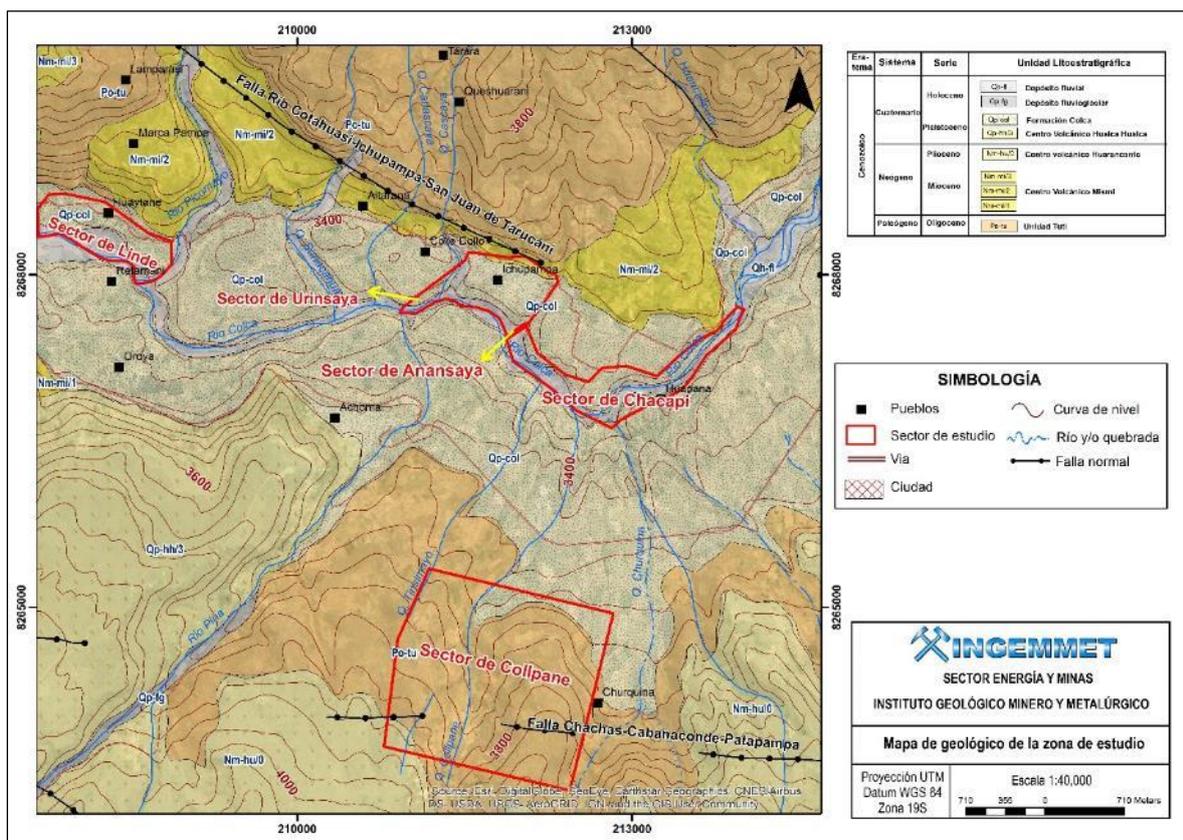


Figura 5. Mapa geológico del área de estudio.

3.1.1 Unidad Tuti (Po-tu)

El depósito está conformado por flujos de lava gris oscuro y depósitos piroclásticos de cenizas, de coloración gris. Tienen un espesor aproximado de 1000 m (Cerpa et al., 2009). Esta unidad aflora al Norte de los sectores de Linde, Urinsaya y Anansaya, también aflora dentro del sector de Collpane. Esta unidad litoestratigráfica se encuentra moderadamente meteorizadas y fracturadas, en la zona de Collpane la meteorización ha generado suelos residuales.

3.1.2 Centro volcánico Mismi

Conformada por tres eventos: El primer evento (Nm-mi/1), consiste de flujos de andesitas de textura fluidal, que se ubica al Sur del sector de Linde. El segundo evento (Nm-

mi/2), se trata de secuencias volcanoclásticas que consisten en intercalaciones de ceniza blanquecinas en capas de 5 a 10 cm y sedimentos volcanoclásticos gris blanquecinos con cristales retrabajados, que se ubica al Norte de los sectores de Linde, Urinsaya y Anansaya. El tercer evento (Nm-mi/3), consiste en intercalaciones de flujos piroclásticos de bloques y ceniza de color grisáceo con flujos piroclásticos de ceniza de color gris blanquecino, aflorantes al Noroeste del sector de Linde. Esta unidad litoestratigráfica se encuentra moderadamente meteorizadas y fracturadas.

3.1.3 Centro volcánico Huarancante (Nm-hu/0)

Deposito conformado por flujos de andesita afanítica, gris oscura a gris verdosa (Cerpa et al., 2009), ubicado y emplazada al Suroeste y Sureste del sector de Collpane. Esta unidad litoestratigráfica en la zona evaluada se encuentra moderadamente meteorizadas y fracturadas.

3.1.4 Centro volcánico Hualca Hualca Qp-hh/3

El depósito es conformado por flujos de ceniza con cristales, grises verdosos, con lavas andesíticas porfíricas gris violáceas, con un espesor promedio es de 200 m (Cerpa et al., 2009). Este depósito aflora al Sur de Linde y al Noroeste del sector de Collpane. Los flujos de ceniza y lavas se encuentran moderadamente meteorizadas y fracturadas.

3.1.5 Formación Colca (Qp-col)

El valle del río Colca es amplio y forma una cuenca de forma elongada, geoforma que fue modelada por geodinámica activa asociada a actividad glaciaria, volcánica y sísmica, permitiendo así la formación de dos lagos que dejaron su registro en la estratigrafía del valle del Colca (Klinck, et al., 1986). La Formación Colca aflora dentro de los sectores estudiados, conformada por areniscas finamente estratificadas, blanco verdosas a blanquecinas, presentan laminación paralela a excepción del tope donde suelen presentar laminaciones oblicuas curvas. Se presenta en algunas zonas en gruesos estratos con intercalaciones de lutitas gris a gris blanquecinas con calizas gris claras. Tiene un espesor aproximado de 150 a 200 m (Cerpa, et al., 2009). En la zona de estudio esta unidad litoestratigráfica se presenta moderadamente meteorizadas, poco fracturadas y poco compactada.

3.1.6 Depósito fluvio-glaciario (Qh-fg)

Este depósito está conformado por canto, grava y área, de composición heterogénea subanguloso, sedimentado por corrientes de agua, con espesor entre 5 a 10 m (Cerpa et al., 2009). El depósito aflora al Suroeste del sector de Collpane. Los depósitos fluvio-glaciarios en la zona de estudio se presentan poco consolidados, presentan bloques polilitológicos, englobados en una matriz de limo-arcillas.

3.1.7 Depósito fluvial (Qh-fl)

Depósito fluvial aflora a lo largo del Río Colca, conformada por la acumulación de arena y limo en capas subhorizontales depositados en terrazas con espesores de 10 a 20 m (Cerpa et al., 2009). Los depósitos fluviales en la zona de estudio se presentan de manera inconsolidados, con presencia de bloques polilitológicos, dentro de una matriz areno-limoso.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1 Unidades geomorfológicas

El área de estudio se localiza en una zona denominada altiplano, configurada por encima de los 4000 m s.n.m. Cuenta con vertientes montañosas elevadas y abruptas asociadas a edificios volcánicos; un sector de rampa, desnivel o vertiente muy disectada o erosionada, (figura 6).

La geomorfología evaluada en particular corresponde a la subcuenca del Colca, comprendida entre Andamayo y Sibayo- Callalli. Es muy compleja, con una predominancia de superficie de unidades o relieves de origen volcánico-erosional (65 %), seguidos de unidades de relieve de origen tectónico-erosional (25 %), principalmente en el lado oeste de la cuenca, y relieves de origen deposicional en menor porcentaje (10 %) que se superponen a un substrato rocoso de diferente origen (Zavala et al., 2019).

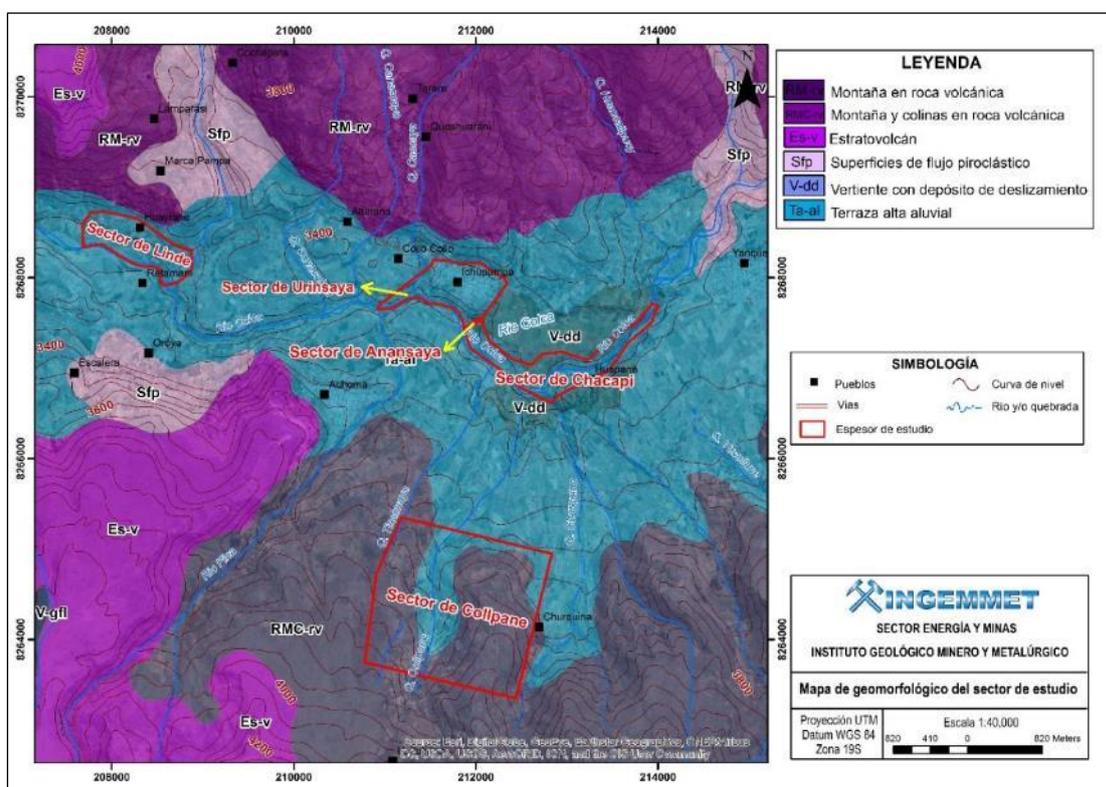


Figura 6. Mapa geomorfológico del área de estudio.

4.2 Geofomas de carácter tectónico degradacional y denudacional

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005). Así en el área evaluada se tienen las siguientes unidades.

4.2.1 Unidad de montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semiredondeada, redondeada o tabular.

Subunidad de montaña y colina en roca volcánica (RMC-rv): Esta unidad geomorfológica se da por la continuidad de la colina hacia la zona de montaña y es difícil de separarla, se compone de flujos de lava gris oscuro y depósitos piroclásticos de cenizas, presenta laderas con pendientes suaves y con un patrón de drenaje sub paralelo (Zavala et al., 2019). Se presenta sobre el sector de Collpane.

Subunidad de montaña en rocas volcánica (RM-rv): Corresponde a productos o emanaciones volcánicas antiguas, que por los procesos de erosión y denudación no muestran las geoformas o paisajes originales, sino superficies o laderas disectadas que en función a su altura forman montañas. Destacan paisajes principalmente en la parte central de la cuenca entre Cabanaconde y Callalli y algunos sectores al noreste y norte de Orcopampa (Zavala et al., 2019). Se presentan hacia al Norte de los sectores de Linde, Urinsaya y Anansaya y Chacapi.

4.2.2 Unidad volcánica

Son geoformas asociadas a depósitos volcánicos.

Subunidad de estratovolcán (Es-v): Son terrenos con pendientes relativamente moderadas con frente escarpado. Corresponde al centro volcánico Hualca Hualca; conformada por flujos de ceniza con lavas andesíticas porfíricas con frentes escarpados (Zavala et al., 2019). Esta unidad se presenta al Sur y Norte del sector de Linde, así también al Este del sector de Collpane y al Suroeste de los sectores de Urinsaya y Ananasaya.

Subunidad de superficie de flujo piroclástico (Sfp): Son relieves altoandinos levemente inclinados con frentes escarpados, compuestos por ignimbritas o asociados a calderas volcánicas, depositadas lejos de su centro u origen. La superficie en las cimas generalmente es plana, ligeramente inclinada y algo redondeada por erosión. Las paredes o vertientes en las mesetas tienen pendiente moderada a abrupta. A diferencia de las mesetas volcánicas lávicas, presentan mayor erosión y una cobertura de suelo arenoso originada por la meteorización de las rocas, principalmente, de procesos físicos (Zavala et al., 2019). Se encuentra a Noroeste de Chacapi; al Norte y Sur del sector de Linde.

4.3 Geoformas de carácter deposicional o gradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores; se tienen las siguientes unidades y subunidades:

4.3.1 Unidad de planicie

Son geoformas asociadas a depósitos coluviales y aluviales, limitados por depósitos de piedemonte o ladera de montaña, presentar pendientes bajas a llanas.

Subunidad de terraza alta aluvial (Ta-al): Son terrenos con pendientes bajas a subhorizontales, se encuentran a mayor altura que las terrazas bajas y el cauce del río Colca, dispuestos a los costados de la llanura de inundación. Representan niveles antiguos inconsolidados de materiales aluviales, con procesos erosivos como consecuencia de la profundización del valle (Zavala et al., 2019). Esta subunidad se sitúa en los sectores evaluados.

Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd): Las características geológicas, climáticas y tectónico-volcánicas en el valle del Colca han condicionado la

ocurrencia de grandes movimientos en masa. Los paisajes originados por estos procesos gravitacionales varían desde pequeñas a grandes dimensiones, probablemente, detonados por lluvias excepcionales o asociados a eventos sísmicos y sismovolcánicos importantes. Esta subunidad corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa no históricos y recientes (deslizamientos, derrumbes, avalanchas de rocas y/o (movimientos complejos). Generalmente, se componen de depósitos inconsolidados a ligeramente consolidados, muestran una composición litológica homogénea, tratándose de depósitos de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores adyacentes de áreas fluviales o periglaciares. Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada en relación a la zona de arranque o despegue del movimiento en masa (Zavala et al., 2019). Esta subunidad se sitúa en el sector de Chacapi.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados, corresponden a movimientos en masa de tipo (deslizamientos, caídas y flujos) (PMA: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

Estos movimientos en masa, tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca (calidad de la roca y permeabilidad), el tipo de suelos, el drenaje superficial–subterráneo y la cobertura vegetal.

De igual modo, estos procesos están estrechamente ligados a factores desencadenantes/detonantes como lluvias de gran intensidad o gran duración extraordinarias y excepcionales, así como sismos tectónicos

5.1 PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

En el sector Collpane se cartografió 5 deslizamientos antiguos, 3 deslizamientos recientes, 8 zonas de derrumbes, un deslizamiento por flujo. Además, se logró identificar zonas con procesos de erosión de ladera (cárcavas).

En el sector Chacapi se cartografió 21 deslizamientos recientes, 17 zonas de derrumbes. Además, se logró identificar zonas con procesos de erosión de ladera (cárcavas).

En el sector Anansaya se cartografió un deslizamiento antiguo, 7 zonas de derrumbes y 14 zonas de avalanchas de detritos. Además, se logró identificar zonas con procesos de erosión de ladera (cárcavas).

En el sector Urinsaya se cartografió 4 deslizamientos antiguos, 8 zonas de derrumbes y 6 zonas de avalanchas de detritos. Además, se logró identificar zonas con procesos de erosión de ladera (cárcavas).

En el sector Linde se cartografió 5 deslizamientos antiguos, 31 zonas de derrumbes, 3 deslizamientos por flujos y 18 zonas de avalanchas de detritos. Además, se logró identificar zonas con procesos de erosión de ladera (cárcavas).

5.2 MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR COLLPANE

En este sector, los procesos de movimientos en masa ocurren en ambas márgenes de la quebrada Collpane; en el cual se pueden identificar cinco escarpes de deslizamientos antiguos (Da) y tres escarpes de deslizamientos recientes (Dr), un escarpe de deslizamientos por flujos, cárcavas y sectores de derrumbes, (figura 7). Asimismo, en los puntos N1 y N2 se evidencian agrietamientos en el cuerpo del deslizamiento antiguo (Da2). Para realizar un cartografiado de peligros geológicos a detalle, se realizó un levantamiento fotogramétrico con drone.

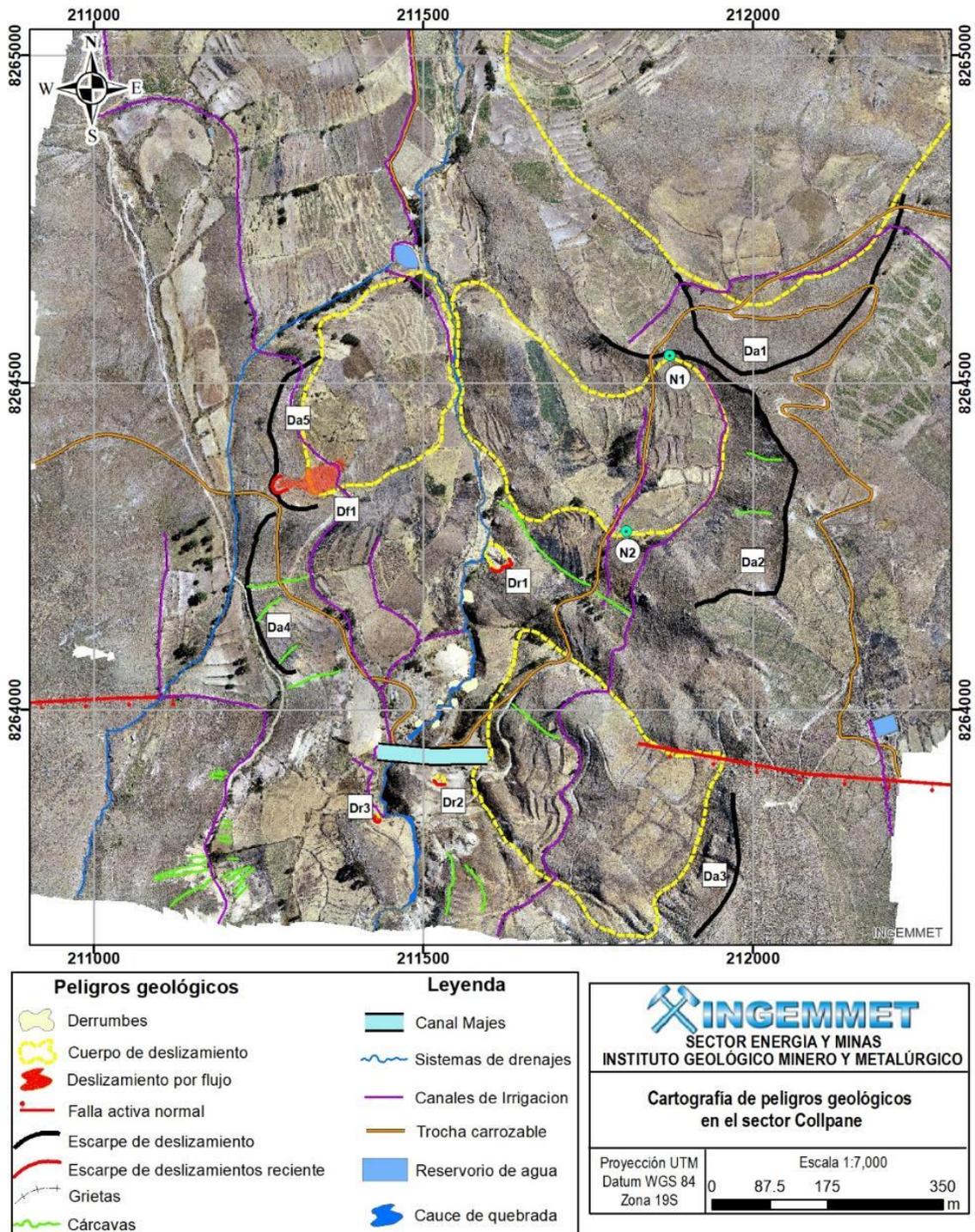


Figura 7. Cartografía de peligros geológicos en el sector Collpane

5.2.1 Deslizamientos antiguos

En las partes altas del sector se evidencian una serie de depresiones con forma de herradura correspondiente a cinco deslizamientos antiguos (Da1, Da2, Da3, Da4 y Da5), (figuras 8 y 9). La corona y el escarpe de deslizamiento no se observan nitidamente debido a la erosión y la vegetación.

La masa deslizada o removido llegó y alcanzó al cauce de la quebrada Collpane, la cual cruza la parte baja del sector. Además, estas remociones a media ladera presentan lomeríos, los cuales son evidencia de empuje del terreno, surcadas por pequeñas quebradas, generadas por la acción del agua.

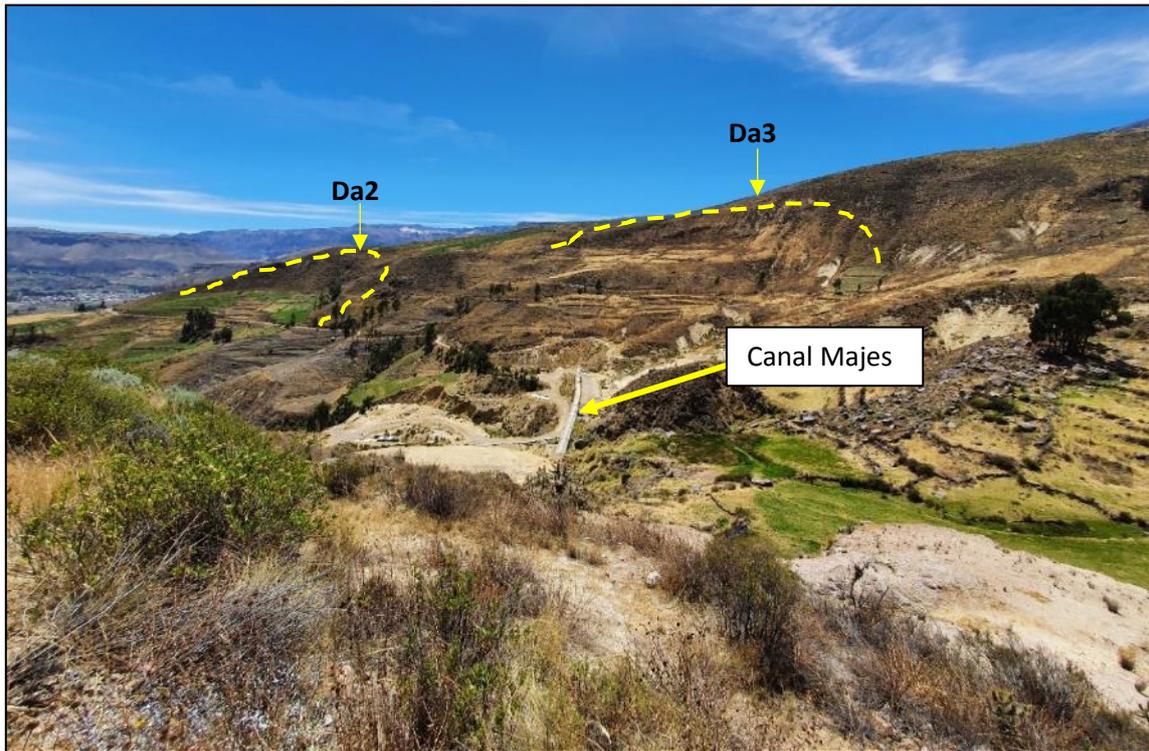


Figura 8. Escarpe de deslizamientos antiguos en el sector Collpane.

La dirección de desplazamiento va de Noroeste a Noreste, es decir hacia el fondo de la quebrada Collpane. Además, se han encontrado deslizamientos y múltiples derrumbes en el pie de los deslizamientos antiguos, por donde cruza el cauce de la quebrada Collpane, (figura 8).

A continuación, se describe cada proceso u evento

Da1: Corresponde a un deslizamiento rotacional, su corona principal es de forma irregular y mide 590 m, la altura del escarpe principal tiene 52 m, este evento está comprendido entre las cotas 3756 m s.n.m. a 3526 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 220 m. La masa se movilizó en dirección norte hacia el valle del Colca, (figura 8).

Da2: Deslizamiento tipo rotacional, su corona es de forma irregular y tiene una longitud de 650 m, el escarpe presenta una altura de 62 m, este evento está comprendido entre las cotas 3814 m s.n.m. a 3626 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 189 m. La masa se movilizó en dirección noroeste hacia el cauce de la quebrada Collpane, y se estima que afectó 9 ha, (figura 8).

Es importante mencionar que en el punto N1, de coordenadas UTM E: 211874 y N: 8264541, ubicado en el cuerpo del deslizamiento Da2, se viene presentando una serie de

agrietamientos en el terreno, además, en el punto N2, de coordenadas UTM E: 211808 y N: 8264273, se aprecia un escarpe secundario de hasta 3 m, (figura 9). Esto indicaría que Da2 aparentemente es un deslizamiento activo con un movimiento lento.

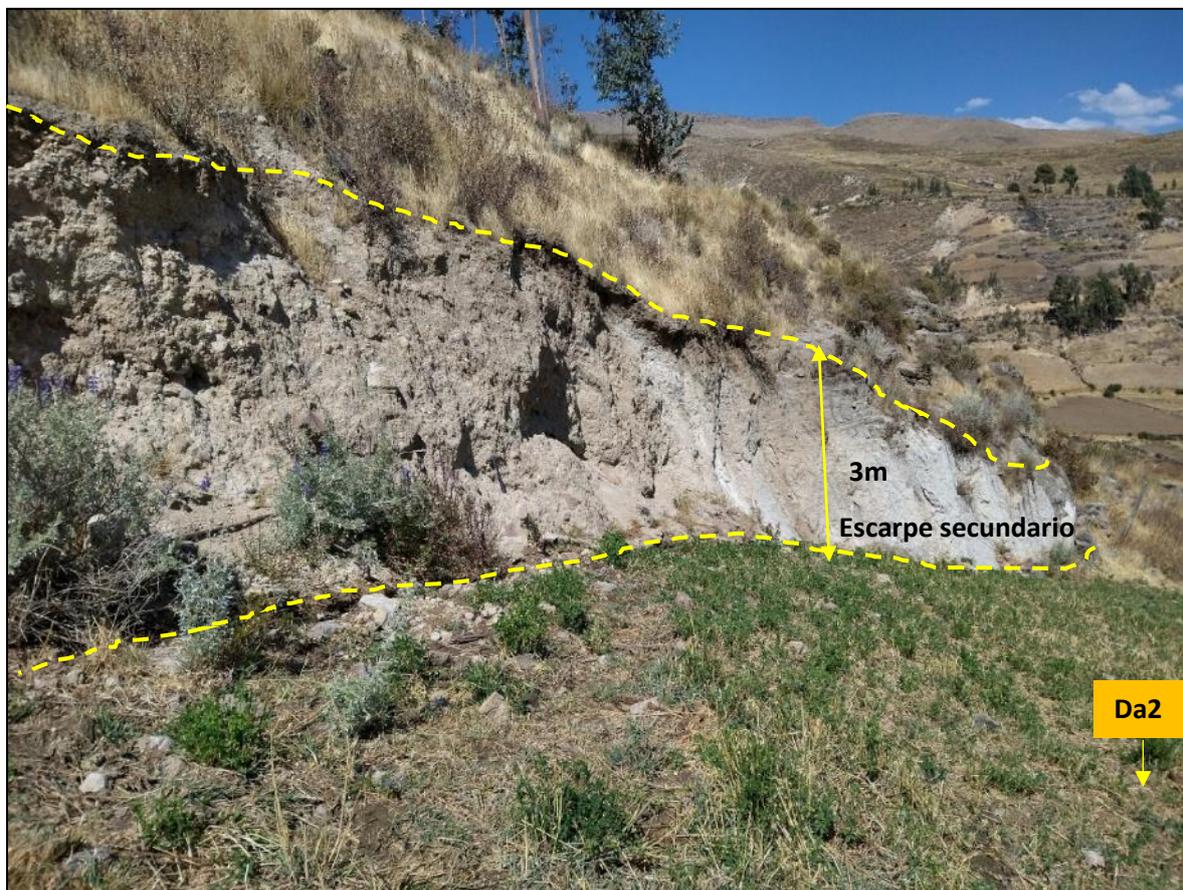


Figura 9. Escarpe secundario en el deslizamiento Da2 en el sector Collpane, (coordenadas UTM E: 211874, N: 8264541).

Da3: Se trata de un deslizamiento rotacional, su corona es de forma irregular y mide 280 m, con altura de 62 m, este evento está comprendido entre las cotas 3924 m s.n.m. a 3696 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 228 m. La masa se movilizó en dirección Noroeste hacia el cauce de la quebrada Collpane y se estima que afectó 10 ha de terreno (figura 8).

Da4: Deslizamiento con corona de forma irregular con de longitud de 300 m, la altura del escarpe es de 40 m, este evento está comprendido entre las cotas 3760 m s.n.m. a 3652 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 108 m. El cuerpo del deslizamiento no se observa claramente, debido a la erosión fluvial en la parte baja, la vegetación y proceso de intervención antrópica que ha modificado el relieve para emplearlas como zonas agrícolas.

Da5: Deslizamiento con corona de forma irregular y mide 330 m, el escarpe tiene una altura aproximada de 79 m, este evento está comprendido entre las cotas 3905 m s.n.m. a 3736 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 169 m. La masa movilizada se estima que afectó 5.7 ha de terreno, desplazándose en dirección noreste hacia el cauce de la quebrada Collpane.

5.2.2 Deslizamientos recientes

En el sector se evidencian hasta tres deslizamientos recientes (Dr1, Dr2 y Dr3), (figuras 7, 10, 11 y 12). De dimensiones pequeñas, se observan y señalan claramente.

Dr1: Deslizamiento tipo traslacional, con corona de forma irregular y mide 50 m, el escarpe tiene una altura de 1 m; este evento está comprendido entre las cotas 3680 m s.n.m. a 3665 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 15 m. La masa movilizada se estima que afectó 0.1 ha de terreno, y se extiende en dirección noroeste hacia el cauce de la quebrada Collpane, (figura 10). Aparentemente este deslizamiento se generó por la pérdida de soporte en la parte baja del talud, debido a la erosión fluvial.

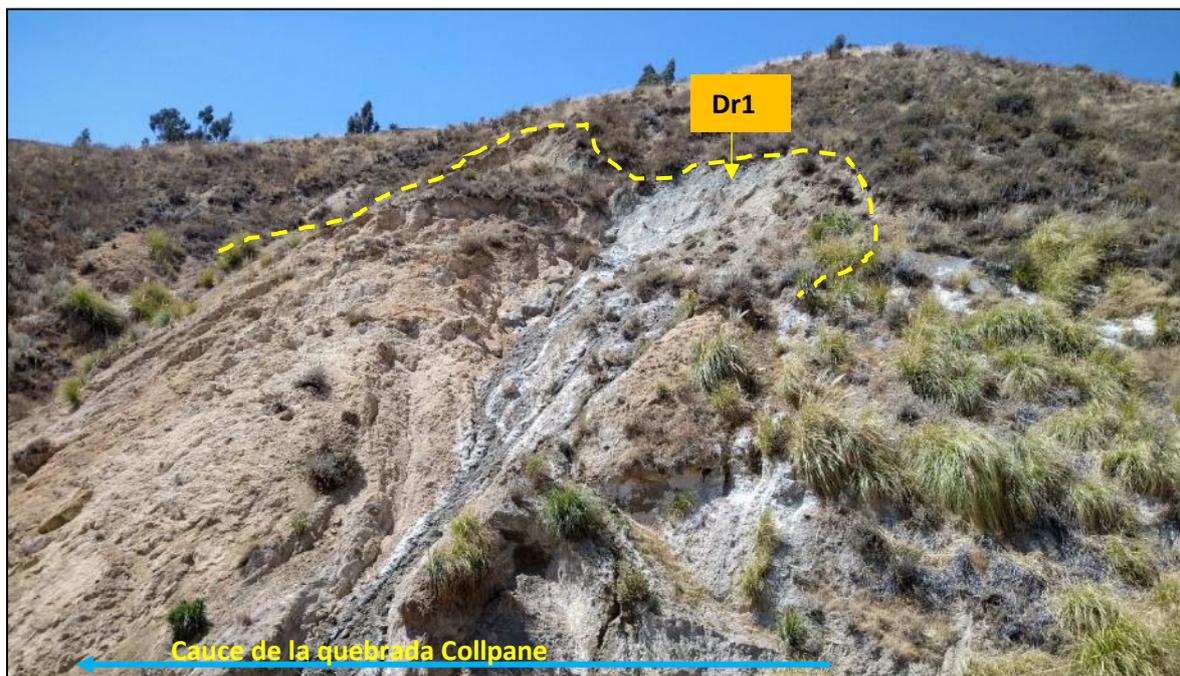


Figura 10. Escarpe de deslizamiento reciente Dr1 en el sector Collpane, (coordenadas UTM E: 211583, N: 8264262).

Dr2: Deslizamiento tipo traslacional, cuya corona es de forma regular y mide 25 m, el escarpe esta erosionado, este evento se encuentra estabilizado, construido para proteger el Canal Majes que cruza este sector, (figura 11).



Figura 11. Escarpe de deslizamiento reciente Dr2 en el sector Collpane.

Dr3: Deslizamiento traslacional, con corona de forma irregular y mide 15 m, el escarpe presenta una altura 1.3 m, este evento está comprendido entre las cotas 3745 m s.n.m. a 3739 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 6 m. La masa se movilizó en dirección noroeste

hacia el cauce de la quebrada Collpane, (figura 12). Al igual que el Dr2, este se generó por la pérdida de soporte en la parte baja del talud, debido a la erosión fluvial.



Figura 12. Escarpe de deslizamiento reciente Dr3 en el sector Collpane, (coordenadas UTM E: 211378, N: 8263890).

5.2.3 Deslizamientos por flujo y derrumbes

En la parte alta de la margen izquierda de la quebrada Collpane se evidencia un deslizamiento por flujo, etiquetado en el mapa de peligros geológicos como Df1, este evento se generó a partir de un deslizamiento con una corona de deslizamiento de 60 metros de longitud, el cual posee forma regular, el salto del escarpe no se visualiza claramente. El depósito flujo avanzó hasta 115 metros de distancia desde su punto de origen, (figura 13).

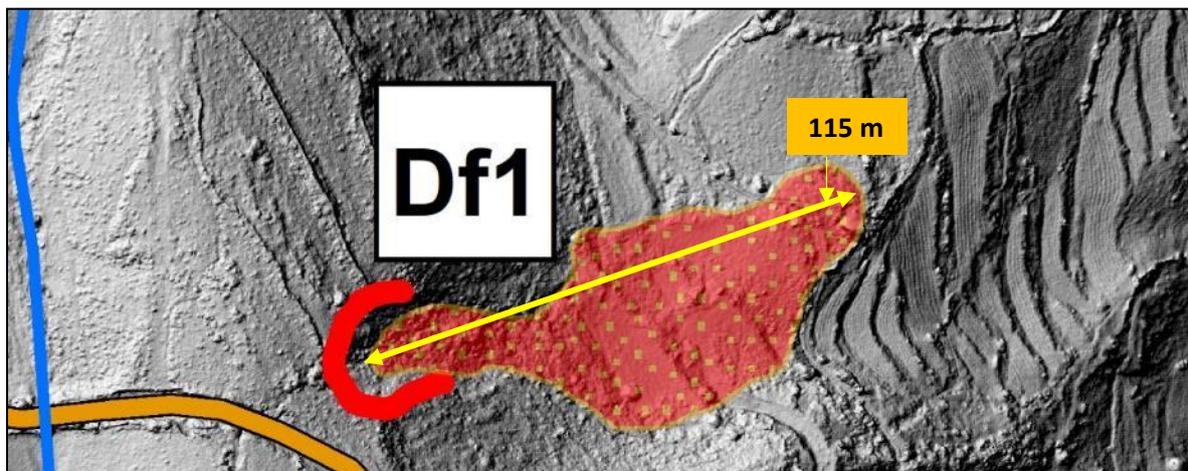


Figura 13. Escarpe de deslizamiento flujo Df1 en el sector Collpane.

El cauce de la quebrada Collpane viene siendo afectado por una serie de derrumbes, (figura 14), generados principalmente por la pérdida del soporte de los taludes debido a la erosión fluvial. Además, es en esta zona donde se evidencian la mayor cantidad de surgencias de

aguas provenientes de las infiltraciones de las partes altas, así como del Canal Majes, el cual presenta una ruptura desde el 2015, en cuyo tramo se ha construido bypass para desviar estas aguas, (figura 15).

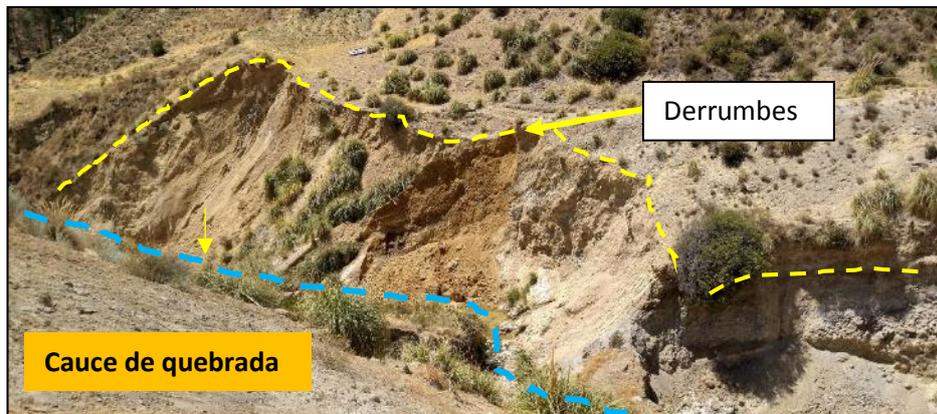


Figura 14. Zonas de derrumbes en el sector Collpane.



Figura 15. Canal Majes Sigwas, presencia de agua, en tramos clausurados de canal.

5.2.4 Erosión de laderas en cárcavas

Estos procesos ocurren principalmente debido al tipo de litología de fácil emoción, sobre los cuales se producen erosiones de ladera (figura 16). Se han evidenciado cárcavas que tienen anchos máximos de 3 a 5 m. y profundidades de 2 a 5 m.

Por otro lado, el suelo erosionado aporta material suelto a las quebradas, contribuyendo a la generación de flujos no canalizados (figura 16).



Figura 16. Cárcavas en las laderas en el sector Collpane.

5.3 MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE CHACAPI

Los eventos de movimientos en masa ocurridos en el sector Chacapi y en ambos márgenes del río Colca, comprenden grietas, escarpes de deslizamientos, zonas de derrumbes, e incisiones de ladera a manera de cárcavas a lo largo de las laderas.

Las principales infraestructuras afectadas son: los Baños Termales de Chacapi, puente Colonial Cervantes, puente Bailey y aproximadamente 80 metros de la carpeta asfáltica, (figuras 17, 18, 19 y 20). De igual forma se puede evidenciar algunos daños en la parte baja del hotel Colca Longe.

La Figura 17, muestra la cartografía de peligros geológicos a detalle, realizada en base a un levantamiento fotogramétrico con dron.

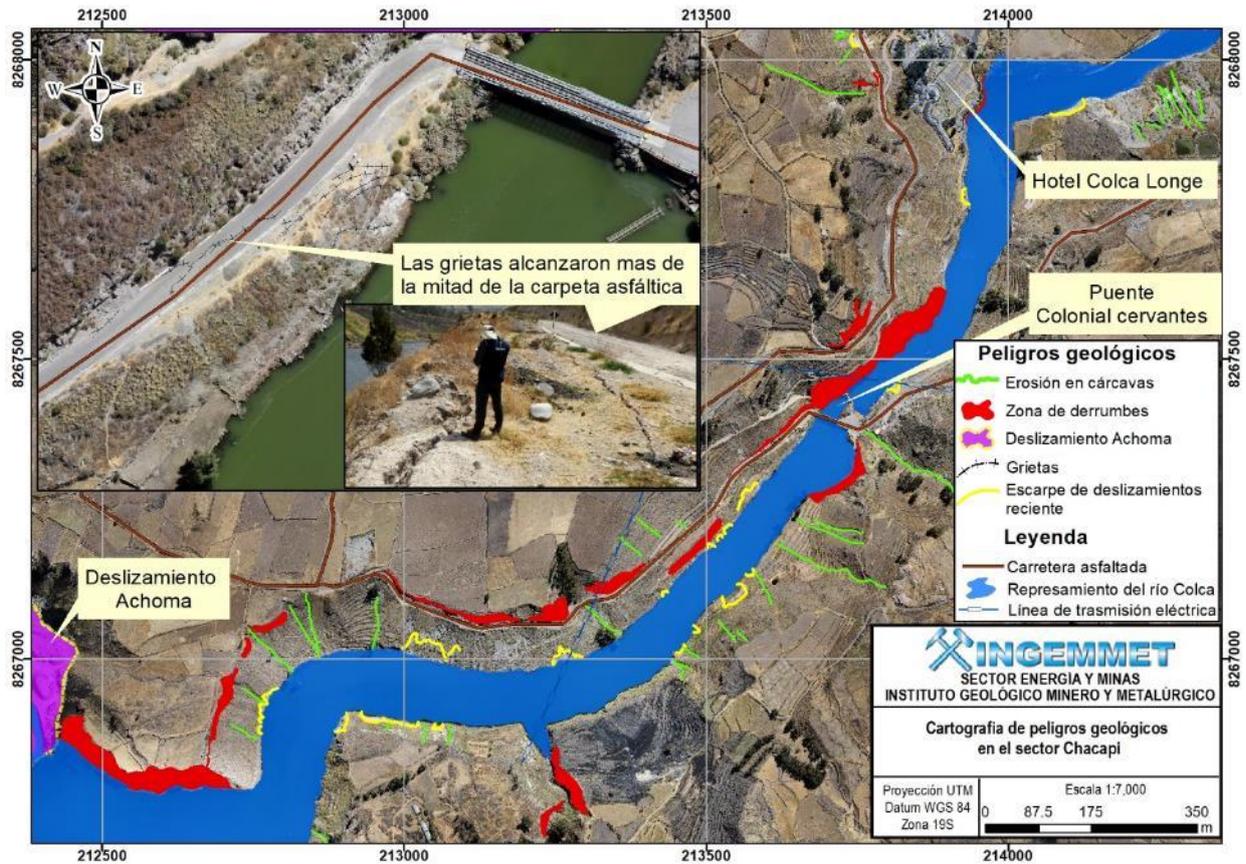


Figura 17. Cartografía de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Chacapi.



Figura 18. Muestra los daños en los Baños Termales de Chacapi, (coordenadas UTM E: 213722, N: 8267387).



Figura 19. Muestra los daños en puente Colonial Cervantes, (coordenadas UTM E: 213740, N: 8267428).

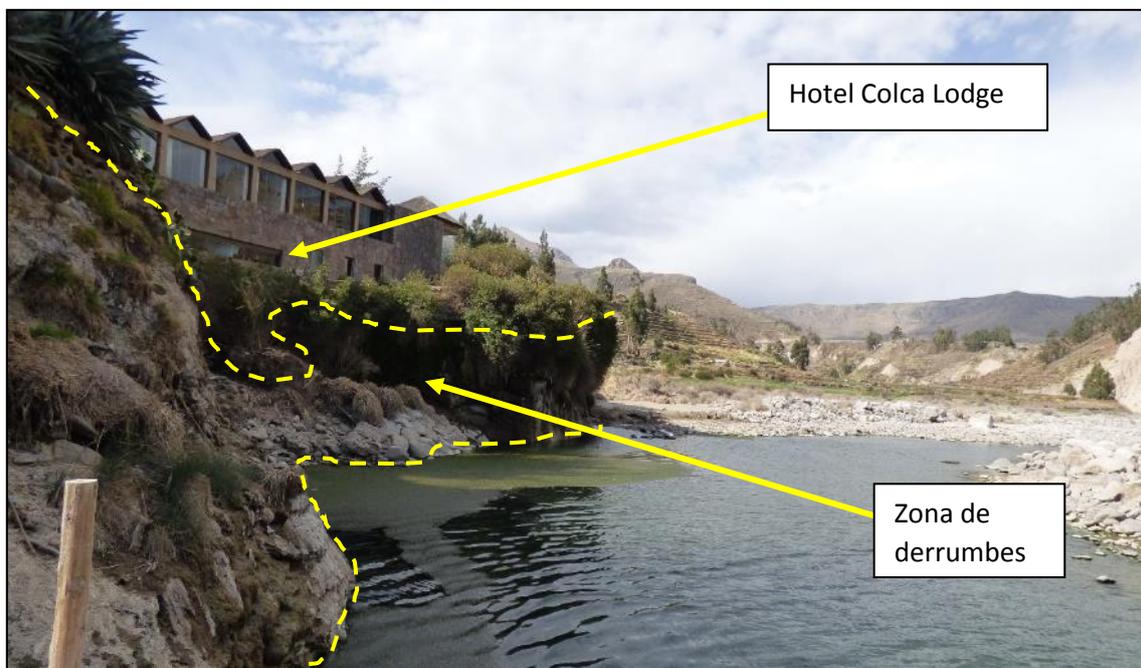


Figura 20. Derrumbes en la parte baja del Hotel Colca Lodge, (coordenadas UTM E: 213933, N: 8267908).

5.3.1 Deslizamientos

A lo largo del borde del represamiento de agua generado por el deslizamiento de Achoma, hacia aguas abajo; se han encontrado una serie de pequeños deslizamientos, los cuales aparentemente son originados por la pérdida de soporte de talud en las partes bajas, y condicionados por la saturación de los suelos, cuya litología está conformada por, conglomerados, areniscas no litificadas, materiales que se están saturando de agua, los cuales son de fácil remoción.

Es importante mencionar que en la margen derecha de río Colca, cerca del puente Bailey, en la carretera que une a los distritos de Yanque e Ichupampa, se han observado una serie agrietamientos del terreno, que están afectando aproximadamente 80 m de la carpeta asfáltica. Estos agrietamientos poseen longitudes hasta de 25 cm de ancho y con profundidad de 1.5 m, pudiendo evolucionar a deslizamiento. (figuras 21 y 22).

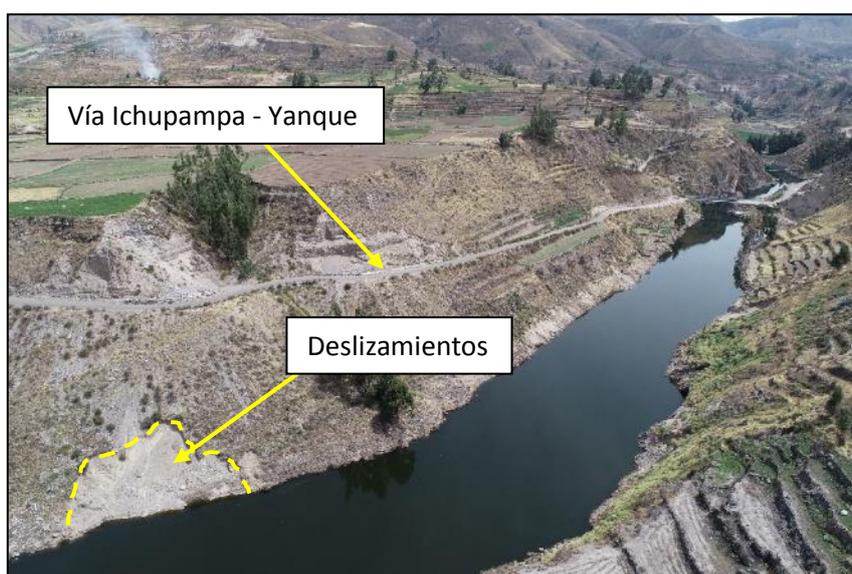


Figura 21. Deslizamientos en la parte baja de la vía.

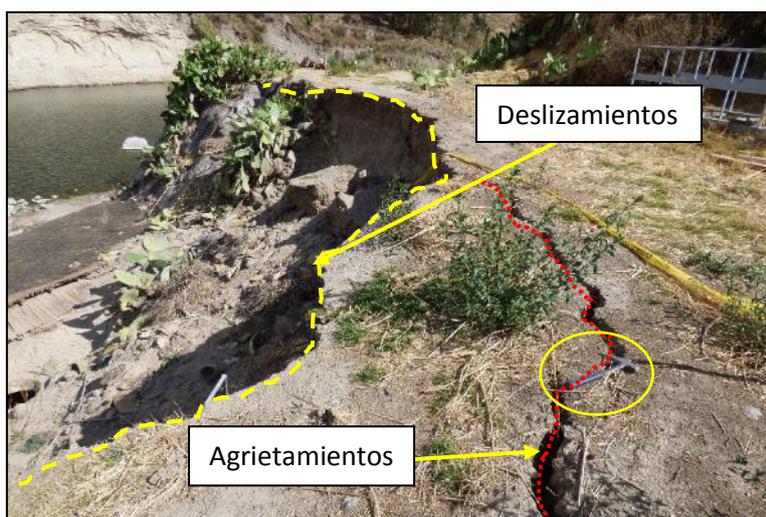


Figura 22. Deslizamiento en la parte baja del Hotel Colca Lodge, (coordenadas UTM E: 213934, N: 8267777).

5.3.2 Erosión de laderas en cárcavas

Las laderas construidas por la incisión del río Colca en el sector Chacapi, están conformadas por litología de fácil erosión, que han generado depósitos coluvio-deluviales; que en época de lluvias intensas son afectados por procesos de erosión de ladera en cárcavas.

Se ha evidenciado cárcavas que tienen anchos máximos de 2 a 3 m. y profundidades de 2 a 4 m. En sucesión, el material erosionado aporta material encauzando en la quebrada y produciendo la generación de flujos, (figura 23).

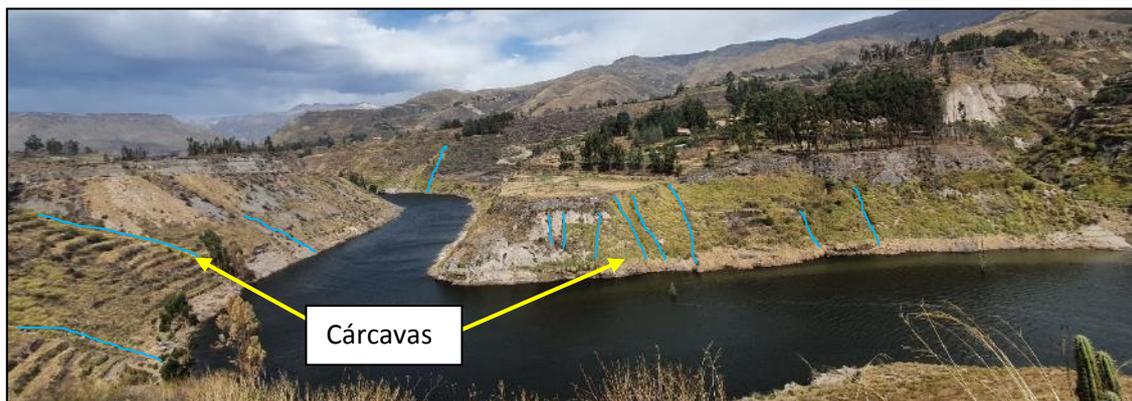


Figura 23. Zona de cárcavas en las laderas del río Colca en el sector Chacapi.

5.3.3 Zona de derrumbes en el sector Chacapi

Las laderas del río Colca del sector Chacapi, presentan zonas propensas a derrumbes, los cuales están ligados principalmente al tipo de litología de los suelos (conformado principalmente por suelos reabajados, depósitos aluviales, materiales sueltos provenientes de deslizamientos antiguos en el sector), Cuyos suelos son inestables con fácil capacidad de infiltración y saturación de agua; que aunados a las pendientes moderadas a fuertes de 25° a 45°; y en algunos sectores con escarpes sub-verticales de hasta 70°, terminan por derrumbarse (figuras 24 y 25).



Figura 24. Pendiente de los escarpes que varían entre 45° a 70°, (coordenadas UTM E: 212639, N: 8266820).



Figura 25. Zona de derrumbes en el sector Chacapi.

De igual modo y de características similares como lo mencionado en el párrafo anterior, se observan y detallan estos procesos de derrumbes, hacia la parte alta del puente Colonial Cervantes, margen derecha del río Colca.

5.3.4 Agrietamientos en la carretera Yanque – Ichupampa.

En aproximadamente 80 m de la carretera asfaltada que une a los poblados de Ichupampa y Yanque, se vienen presentando una serie de agrietamientos a lo largo de la vía.

La presencia de estos agrietamientos son una consecuencia del embalse y desembalse de agua del río Colca, en la fase de embalse ocasionó humedecimiento y saturación de las laderas aledañas, el desembalse ocasionó que los depósitos de las laderas pierdan cohesión y generen inestabilidad (figura 26).

Es importante mencionar, que dicha carretera está asentada sobre rocas de mala calidad conformado principalmente por conglomerados, depósitos retrabajados y depósitos de deslizamientos antiguos; estos materiales pierden estabilidad cuando están saturados de agua.

Las grietas presentan hasta 25 cm de ancho y 1.5 m de profundidad; cuyos trazos poseen forma semi circular, tipo herradura

En la entrada al antiguo baños termales de Chacapi, las paredes están sujetas con puntales, y en la parte superior se aprecian agrietamientos a lo largo del contacto pared-relleno; por lo cual es necesario tener en cuenta estas apreciaciones, ya que podrían caer y afectar tanto a la vía y a la parte baja (donde está ubicado el antiguo baños termales de Chacapi).



Figura 26. En a, c y d) se aprecian los agrietamientos que afectó aproximadamente 80 m de la vía, en el sector Chacapi, en b) se aprecian los agrietamientos en el muro cerca de la entrada a los baños termales de Chacapi. Coordenadas UTM a) E: 213647, N: 8267371, b) E: 213725, N: 8267384, c) E: 213641, N: 8267388 y d) E: 213667, N: 8267402.

5.4 MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE ANANSAYA Y URINSAYA

Los eventos de movimientos en masa están localizados tanto en la parte alta como en la parte baja de la zona urbana del distrito de Ichupampa; en los trabajos de campo se observó escarpes de deslizamientos antiguos, derrumbes, avalanchas de detritos y erosiones de laderas (cárcavas), todos ellos mostrados en el mapa de cartografía de peligros geológicos. (figura 27).

Así también podemos mencionar, que en la parte baja del distrito de Ichupampa, el río Colca genera una intensa erosión fluvial que afecta la zona agrícola. Actualmente el estadio del distrito de Ichupampa, se localiza a tan solo 100 metros en línea recta, desde el borde de la terraza donde se viene presentando derrumbes a causa de erosión fluvial.

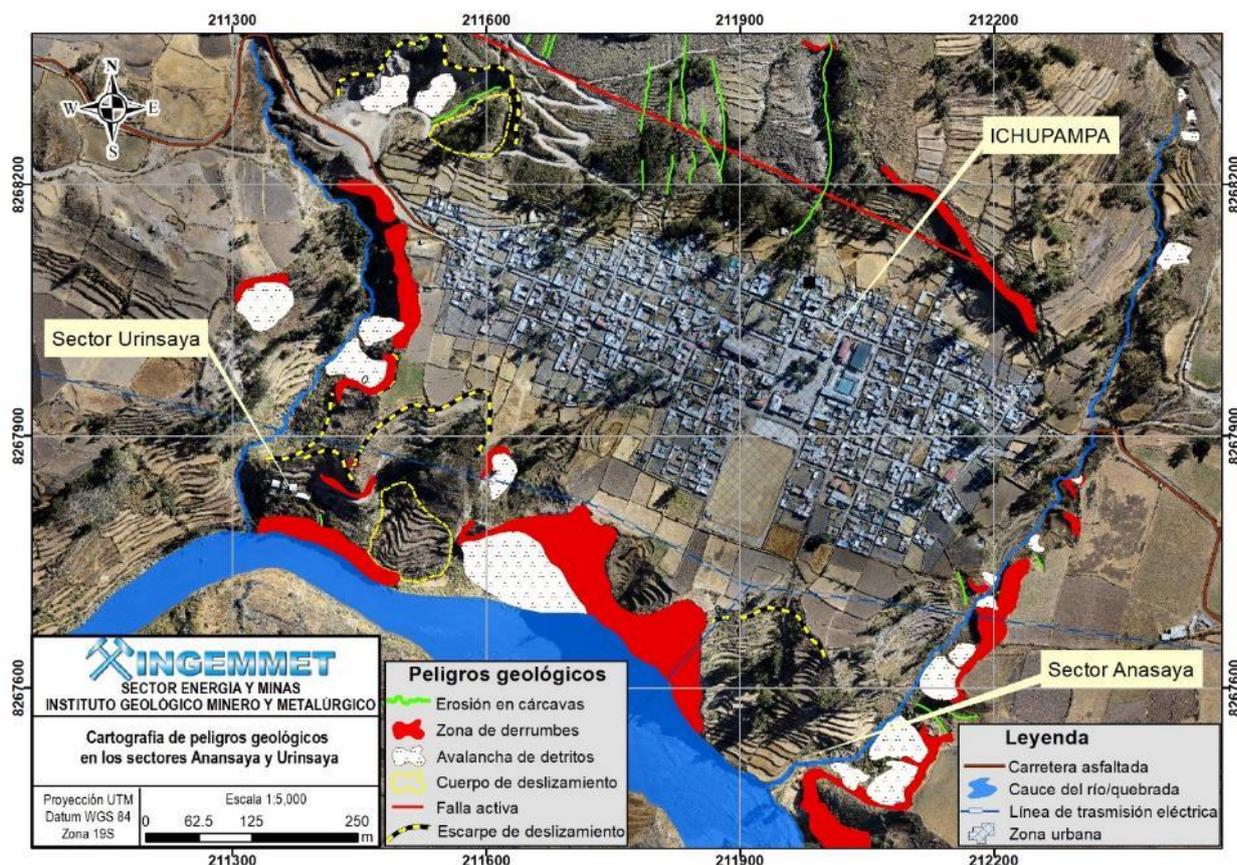


Figura 27. Cartografía de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Ichupampa.

5.4.1 Deslizamientos en Ichupampa (sectores Anansaya y Urinsaya)

En las inmediaciones del distrito de Ichupampa, se logró identificar una serie de deslizamientos antiguos, tanto en la parte alta como en la parte baja de la zona urbana. Como evidencias tenemos lomeríos y depresiones del terreno; la corona y el escarpe del deslizamiento no es visible por la intensa la erosión.

La masa deslizada se desplaza mayormente en dirección al cauce del río Colca, el cual cruza la parte baja del sector.

En la parte alta del distrito de Ichupampa se aprecia un escarpe de falla, correspondiente a la falla río Cotahuasi-Ichupampa-San Juan de Tarucani, la cual se extiende entre las cuencas Ocoña y Tambo.

En el extremo Noreste de la zona urbana del distrito de Ichupampa, se aprecia un escarpe de deslizamiento, el cual posee una corona con forma irregular; y en cuyo cuerpo de deslizamiento se aprecia un lomerío. Se indica que una parte de esta zona, ha sido utilizada como cantera de material agregado.

Actualmente en las laderas del deslizamiento vienen ocurriendo avalanchas de detritos.

En los sectores de Anansaya y Urinsaya se evidencian coronas de deslizamientos de forma irregular, pertenecientes a deslizamientos antiguos; cuyos cuerpos han sido erosionados por el río Colca produciéndose derrumbes

Señalar que en laderas de remoción se aprecian surgencias de aguas, aparentemente generadas por la infiltración de aguas provenientes de la zona agrícola de Ichupampa, (figuras 28 y 29); mostrándose un subsuelo húmedo, con vegetación de límite marcado, en las caras de las laderas.



Figura 28. Surgencias de agua en el sector de Urinsaya; en la parte alta del pozo séptico de Ichupampa, (coordenadas UTM E: 211396, N: 8267854).



Figura 29. Surgencias de agua en el sector de Anansaya, en depósitos de limos poco compactados (coordenadas UTM E: 211923, N: 88267645).

Es importante mencionar que en la zona denominada El Petar, donde está ubicado el pozo séptico de Ichupampa, se presentan agrietamientos en el suelo, el cual está afectando la plataforma de la infraestructura misma (figuras 30 y 31).



Figura 30. Agrietamientos en la base del pozo séptico en el sector El Petar.



Figura 31. Agrietamientos en la plataforma donde está ubicado el pozo séptico en el sector El Petar, (coordenadas UTM E: 211357, N: 8267829).

5.4.2 Erosión de laderas en cárcavas en Ichupampa (sectores Anansaya y Urinsaya)

Localizadas en la parte alta de la zona urbana de Ichupampa, donde se presentan como una serie de cárcavas que tienen anchos máximos de 3 – 5 m. y profundidades de 4 a 5 m. El material erosionado aporta material suelto a las quebradas, contribuyendo a la generación de flujos, (figura 27).

5.4.3 Zona de derrumbes en Ichupampa (sectores Anansaya y Urinsaya)

La incisión del río Colca en Anansaya y Urinsaya ha generado escarpes con pendientes fuertes que varían entre (45° - 65°), los cuales son propensos a colapsar o derrumbarse, (figuras 32 y 33). La litología del substrato está conformada principalmente por suelos retrabajados, depósitos aluviales, materiales sueltos provenientes de deslizamientos antiguos en el sector; cuyos suelos son inestables con fácil capacidad de infiltración y saturación de agua.

Por otro lado, la erosión fluvial originado por el río Colca, en la parte baja y bases de las terrazas, genera pérdida del soporte, y por ende derrumbes.

Cabe mencionar, que el distrito de Ichupampa, se sitúa entre dos quebradas, donde también se aprecian zona de derrumbes, especialmente en las partes altas (figura 27).



Figura 32. Zona de derrumbes en el sector Anansaya



Figura 33. Zona de derrumbes en el sector Urinsaya (coordenadas UTM E: 211806, N 8267653).

5.4.1 Erosión fluvial del río Colca los sectores Anansaya y Urinsaya

La sinuosidad del río Colca en Ichupampa impacta sobre la parte baja de los sectores de Anansaya y Urinsaya. Esto genera un mayor poder erosivo sobre rocas fácil de remover (según descrito anteriormente), (figura 34).

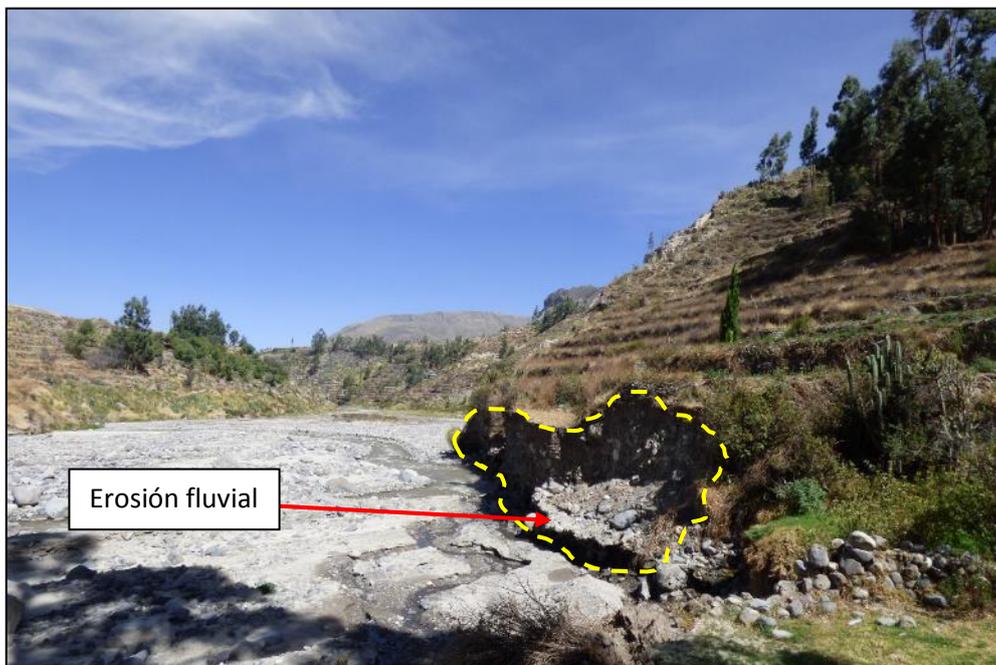


Figura 34. Erosión fluvial por el río Colca en la parte baja de Anansaya, (coordenadas UTM E: 211902, N: 8267506).

Los procesos de erosión fluvial, ha debilitado el pie del talud, esto genera inestabilidad, dando origen a la generación de derrumbes o deslizamientos, tal como sucede en la parte baja del sector Anansaya y Urinsaya, en el cauce del río Colca, (figuras 35 y 36).

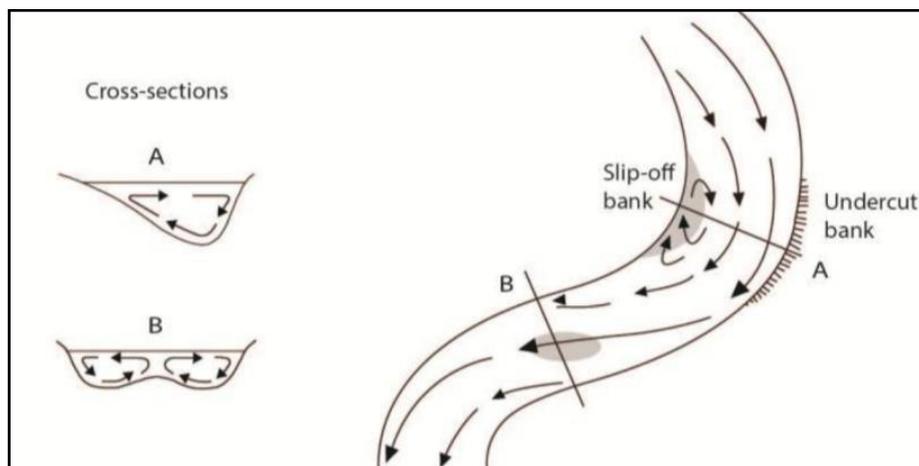


Figura 35. Vista en planta de la dinámica fluvial en cauces sinuosos (Huggett, 2007).

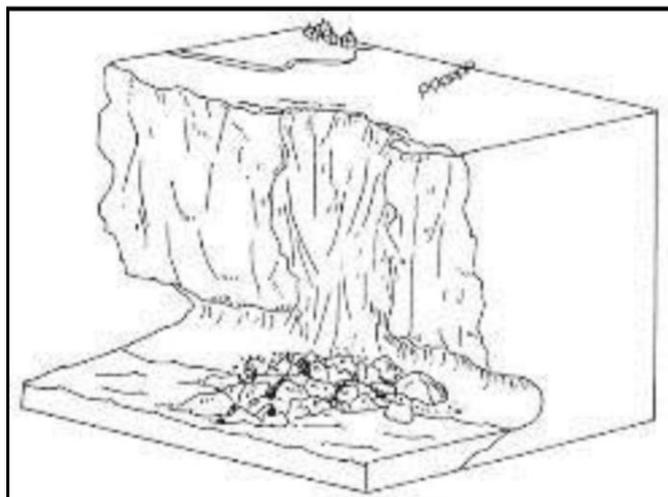


Figura 36. Esquema de un socavamiento lateral, que origina derrumbes y deslizamientos (PMA, 2007).

5.4.4 Avalancha de detritos en los sectores Anansaya y Urinsaya

Los procesos de movimientos en masa de tipo avalancha de detritos, se desarrollan en laderas de los cauces, y permanecen adosados a ella, (figura 37). Este tipo de procesos, aporta material suelto removible en el cauce de las quebradas por efectos de la lluvia y escorrentía generada.

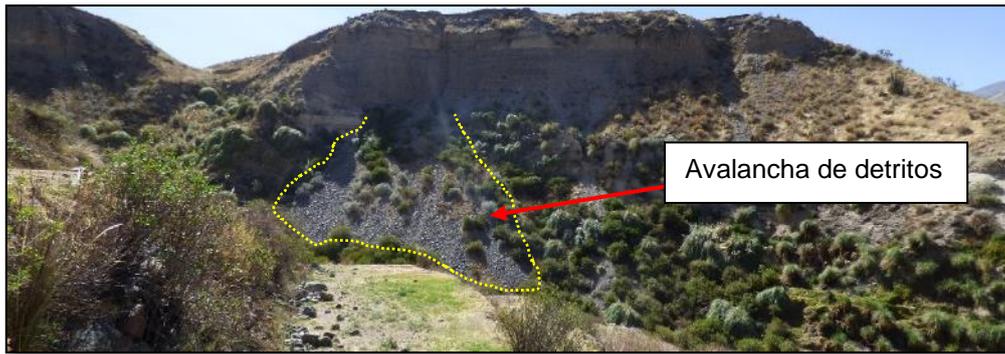


Figura 37. Avalancha de detritos en el sector Anansaya.

5.5 MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE LINDE

La mayor parte de los eventos de movimientos en masa están localizados en la parte alta de la zona urbana del sector Linde. Con los trabajos de campo se identificó escarpes de deslizamientos antiguos, zonas de derrumbes, avalanchas de detritos, deslizamiento por flujo y erosiones de laderas en forma de cárcavas, todo ello está representado en el mapa de cartografía de peligros geológicos. (figura 38).

Es importante mencionar que la zona agrícola ubicada en la parte baja del sector Linde, se desarrolla sobre terrazas correspondientes a antiguos cauces del río Colca; lo cual lo tiene sujeta a constantes erosiones en las bases debilitando severamente los taludes.

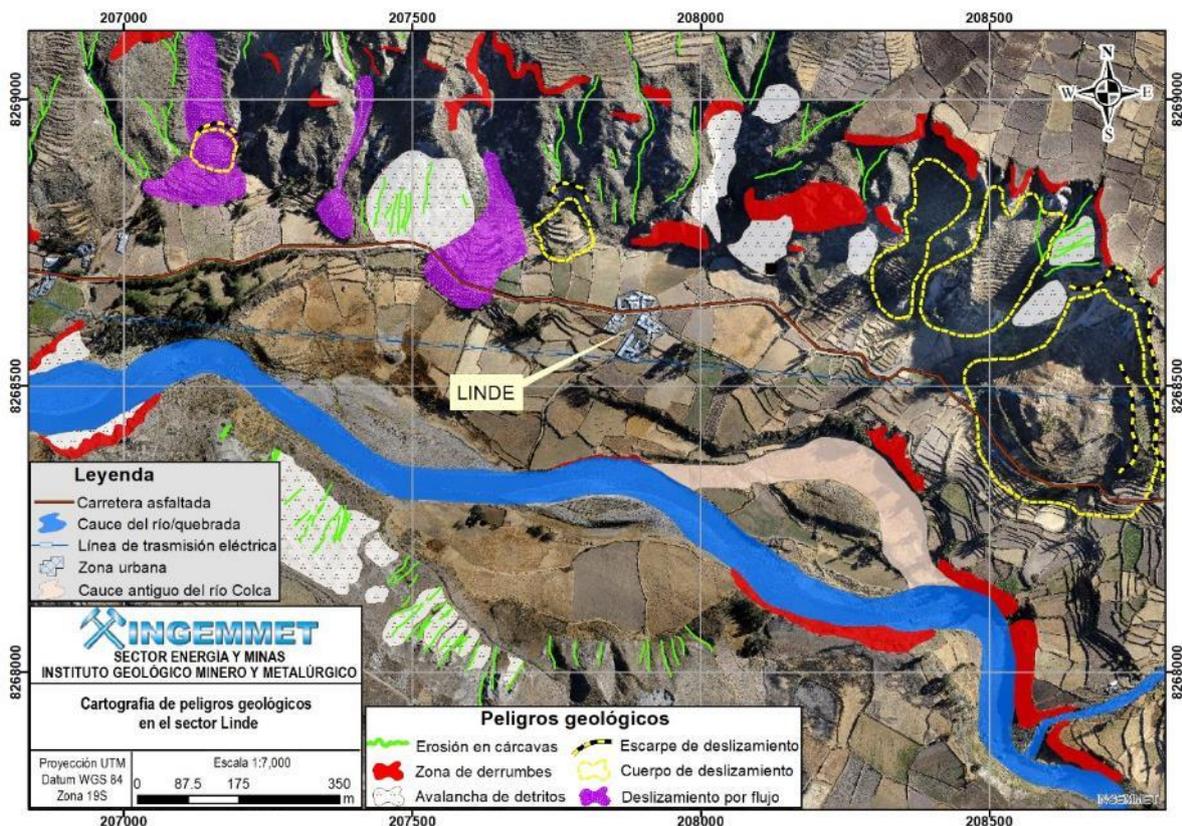


Figura 38. Cartografía de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Linde.

5.5.1 Deslizamientos en el sector Linde

En el sector Linde, se logró identificar una serie de deslizamientos antiguos ubicados en la parte alta del sector. Estas se evidencian por depresiones en el relieve y lomeríos a lo largo del cuerpo de deslizamiento; en la mayoría de los casos la corona y el escarpe no se observan nítidamente debido a la erosión.

Al Este de la zona urbana, se aprecian 3 deslizamientos; el más representativo está ubicado al extremo este del mapa de cartografía de peligros geológicos; el cual se trata de un deslizamiento rotacional, este presenta corona de forma irregular y mide 500 m, el escarpe principal tiene una longitud de 25 m, este evento está comprendido entre las cotas 3474 m s.n.m. a 3300 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 174 m. La masa se movilizó en dirección Sur hacia el valle del río Colca, (figuras 38 y 39).

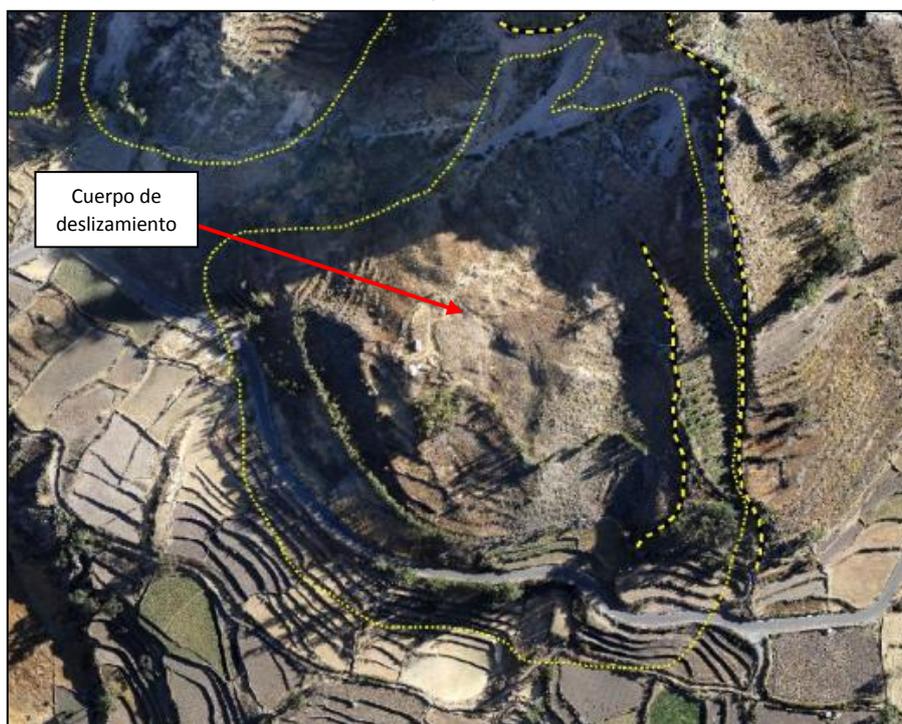


Figura 39. Deslizamiento representativo en el sector de Linde, (coordenadas UTM E: 208562, N: 8268333).

Al costado derecho del deslizamiento, descrito en el párrafo anterior, se aprecian dos cuerpos de deslizamientos antiguos, en este caso no se puede distinguir la corona ni escarpe del deslizamiento.

Al Noroeste de la zona urbana de Linde, se aprecian dos deslizamientos antiguos y dentro ellos otros secundarios, como también se observó deslizamientos por flujos, (figura 38).

5.5.2 Erosión de laderas en cárcavas en el sector Linde

En la margen derecha del valle del Colca, en la parte alta del sector Linde, es afectado por erosiones de ladera en cárcava. Estas laderas están conformadas por una litología fácil de erosionar; que en época de lluvias intensas son afectados por erosión de ladera en cárcavas.

En los márgenes del cauce del río Colca, también se vienen presentando erosiones de ladera (cárcavas), cuyas dimensiones son, anchos máximos de 4 – 5 m. y profundidades de 3 a 4

m. El material erosionado aporta material suelto a las quebradas, contribuyendo a la generación de flujos no canalizados, (figura 40).



Figura 40. Cárcavas en las laderas del cauce del río Colca en el sector Linde.

5.5.3 Zona de derrumbes en el sector en el sector Linde

La constante erosión fluvial del río Colca en el sector Linde ha generado escarpes con pendientes fuertes que varían entre (45° - 65°), cuyos sectores son propensas a colapsar o derrumbarse, (figuras 41, 42 y 43). Se tienen suelos retrabajados, depósitos aluviales, materiales sueltos provenientes de deslizamientos antiguos. Se consideran inestables son de fácil erosión. Además, permite la infiltración y saturación de agua, que contribuye a la inestabilidad.



Figura 41. Zona de derrumbes en el sector Linde.

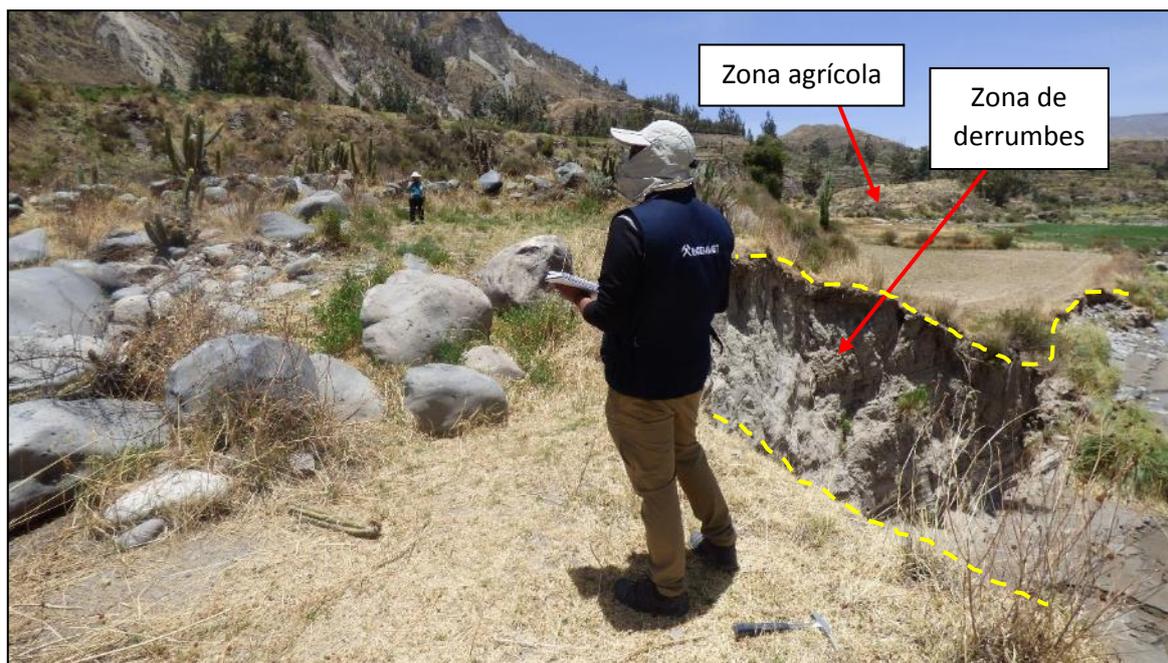


Figura 42. Zona de derrumbes en el sector Linde, erosión fluvial del río Colca, (coordenadas UTM E: 207780, N: 8268363).

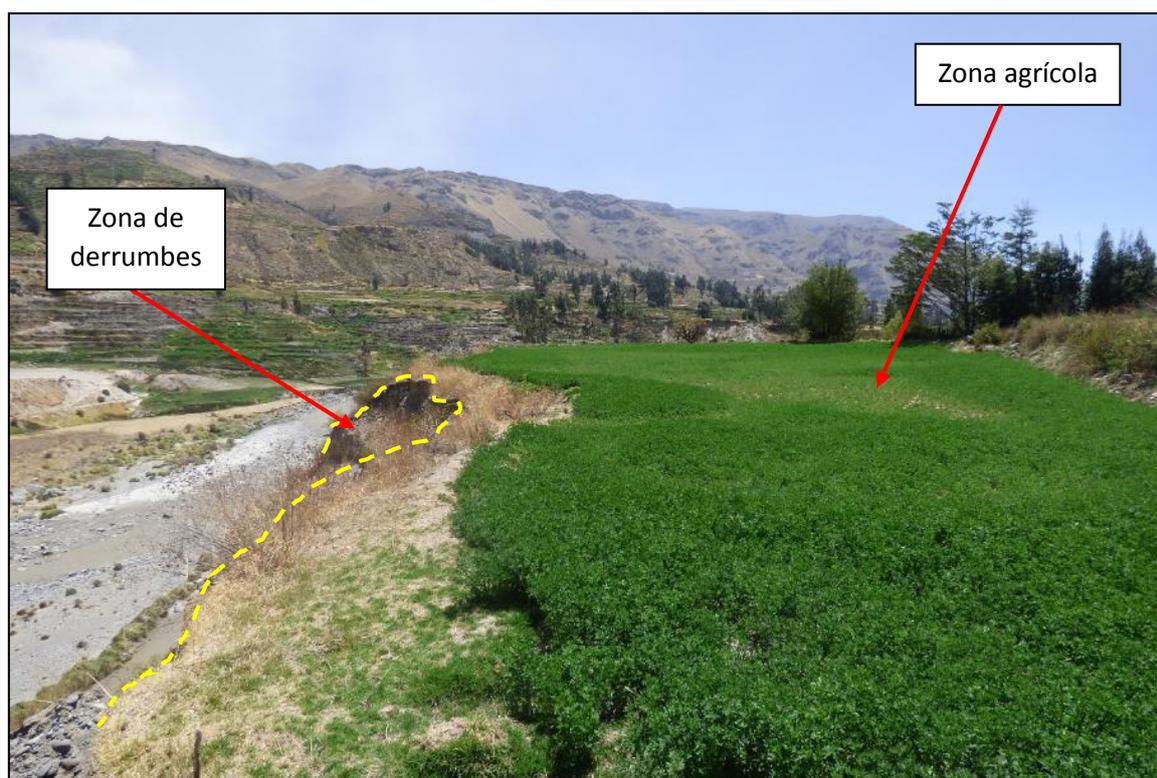


Figura 43. Zona de derrumbes en el sector Linde, zona agrícola.

5.5.4 Avalancha de detritos en el sector Linde

En el sector Linde, los procesos de movimientos en masa de tipo avalancha de detritos, se desarrollan en laderas del valle del Colca, y permanecen adosados a ella, (figura

38). Este tipo de procesos aporta material suelto removible en el cauce de las quebradas por efectos de la lluvia y escorrentía.

5.5.5 Deslizamiento por flujo en el sector Linde

La parte alta del margen derecho del valle del Colca, viene siendo afectado por deslizamientos por flujos. Este evento no tiene una corona definida. El depósito se desplazó y avanzó hacia el Sur, llegando hasta la carretera asfaltada que cruza este sector, (figura 44).



Figura 44. Deslizamientos por flujo en el sector Linde.

5.6 FACTORES CONDICIONANTES

Las causas para la ocurrencia los movimientos en masa, se relacionan con la litología del sustrato, pendiente del terreno, presencia de agua en los materiales (rocas y suelos). Que se detallan a continuación:

Sector Collpane:

- Rocas meteorizadas, conformadas por flujos piroclásticos y flujos de lavas. La meteorización y los deslizamientos antiguos en la zona han generado suelos conformados por arenas, limos y arcillas poco compactados, que permite la infiltración y retención del agua, de esta manera los terrenos son fácilmente saturados.
- La presencia de una falla geológica Chachas-Cabanaconde-Patapampa que cruza de manera transversal la quebrada Collpane.
- La pendiente de los terrenos varía, en la base es llano a inclinado suavemente (1° - 5°), en parte media tiene un cambio a muy fuerte (25° - 45°), ($> 45^{\circ}$) en la base y zona media de los acantilados.

Sector de Chacapi, Anansaya, Urinsaya y Linde:

- Rocas de mala calidad, conformados por areniscas no litificadas con intercalaciones de lutitas no litificadas, además estos sectores presentan suelos conformados por gravas, arenas y limos poco compactados, que permite la infiltración y retención del agua, de esta manera los terrenos son fácilmente saturados.

- La pendiente de los terrenos varía, en la base es llano a inclinado suavemente (1°-5°), en parte media tiene un cambio a muy fuerte (25°-45°), (> 45°) en la base y zona media de los acantilados.
- Los canales de regadío no se encuentran revestidos, entonces al paso del agua sobre la canal esta se va infiltrar en el terreno. Este proceso a lo largo del tiempo va saturar al terreno y generar infiltraciones, lo cual va generar pérdida de cohesión del terreno.

5.7 FACTORES DETONANTES O DESENCADENANTES

Los factores desencadenantes son:

- Las lluvias intensas en períodos que ocurre entre los meses de diciembre a marzo.
- Ocurrencia de sismo.

6. SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA

El INGEMMET a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), elaboro en el año 2009 el "Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa del Perú" escala 1:1 000 000. El mapa tiene como objetivos plantear un modelo que indique las zonas de mayor exposición a proceso de remoción en masa, a fin de contar con una herramienta dinámica para la gestión de riesgos; priorizar escenarios donde se desarrollen estudios específicos, así como plantear las medidas de prevención o mitigación para asegurar la estabilidad física de zonas urbanas y/o infraestructuras vulnerables.

6.1 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD.

Las zonas de estudio presentan susceptibilidades **alta y muy alta**, frente a la ocurrencia de movimientos en masa. Gran parte de los sectores inspeccionados centralmente presentan susceptibilidad muy alta a movimientos en masa, (figura 45).

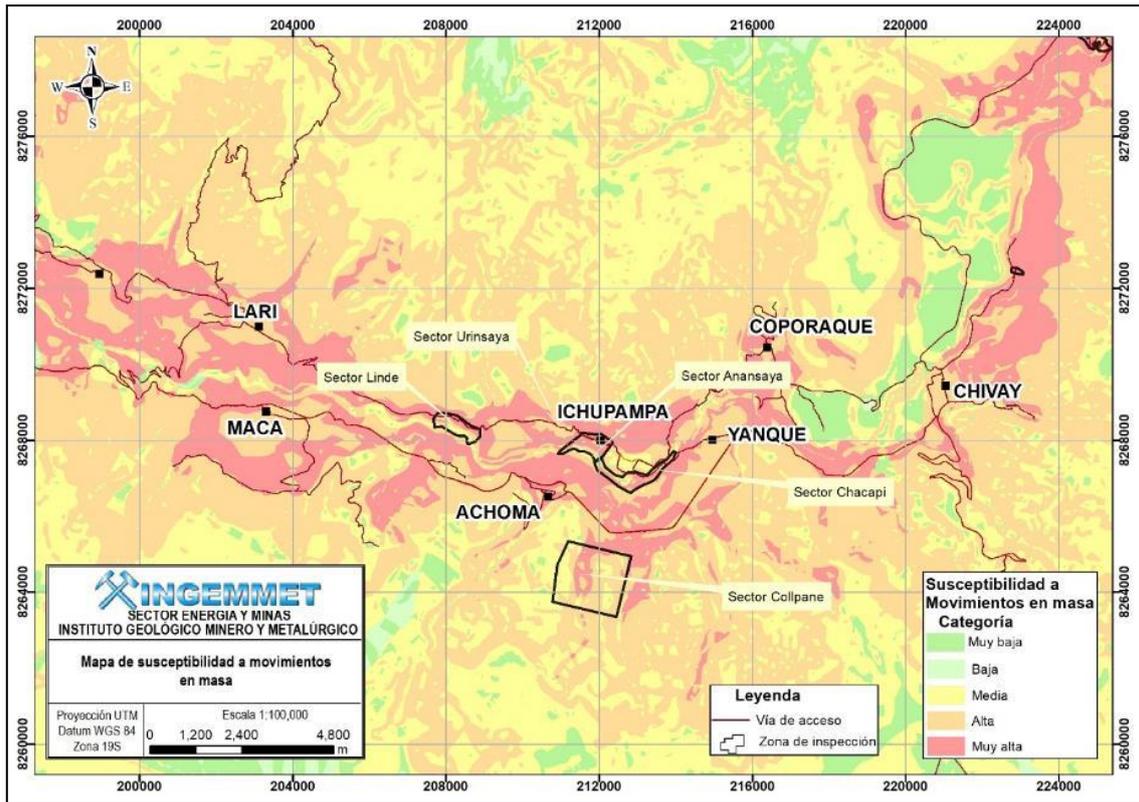


Figura 45. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de los sectores inspeccionados.

6.2 MAPA DE PENDIENTES

Las pendientes de los terrenos, en la base va de llanos a inclinados suavemente (1° - 5°), en zona media del acantilado se tiene un cambio abrupto a terrenos escarpados ($> 45^{\circ}$), en la parte alta es muy fuerte (25° - 45°), y en la parte alta nuevamente cambia a un terreno con suave (figuras 46 y 47).

Cuadro 3. Clasificación de pendientes.

Rangos de pendientes del terreno ($^{\circ}$)	CLASIFICACIÓN
<1	Llano
1 – 5	Suavemente inclinado
5 – 15	Moderado
15 – 25	Fuerte
25 – 45	Muy fuerte
>45	Muy escarpado

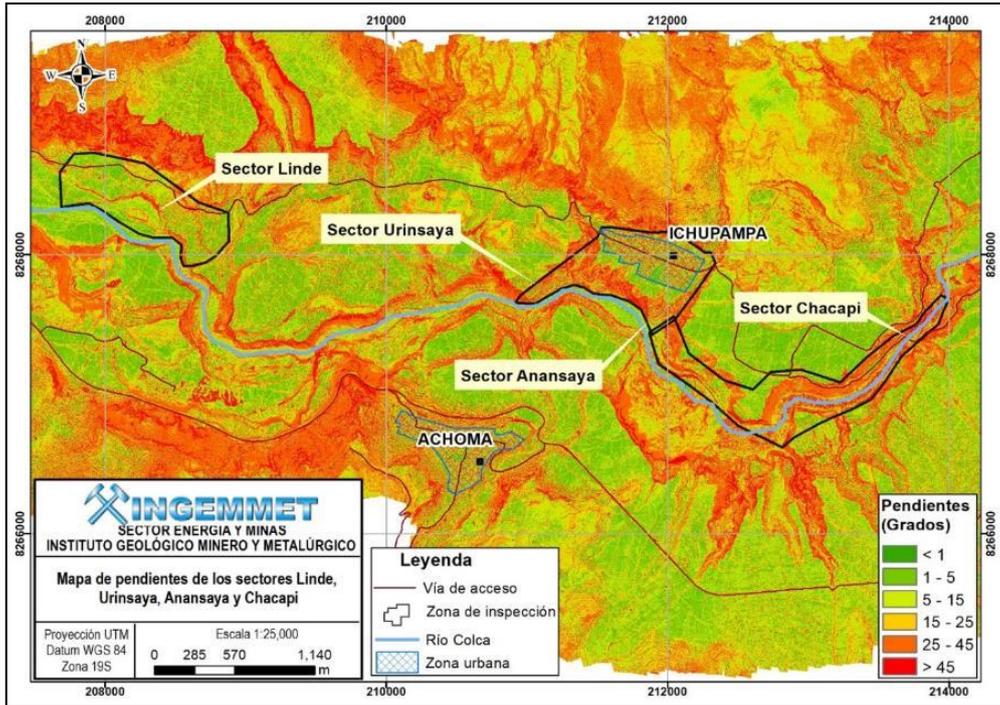


Figura 46. Mapa de pendientes de los sectores Linde, Urinsaya, Anansaya y Chacapi.

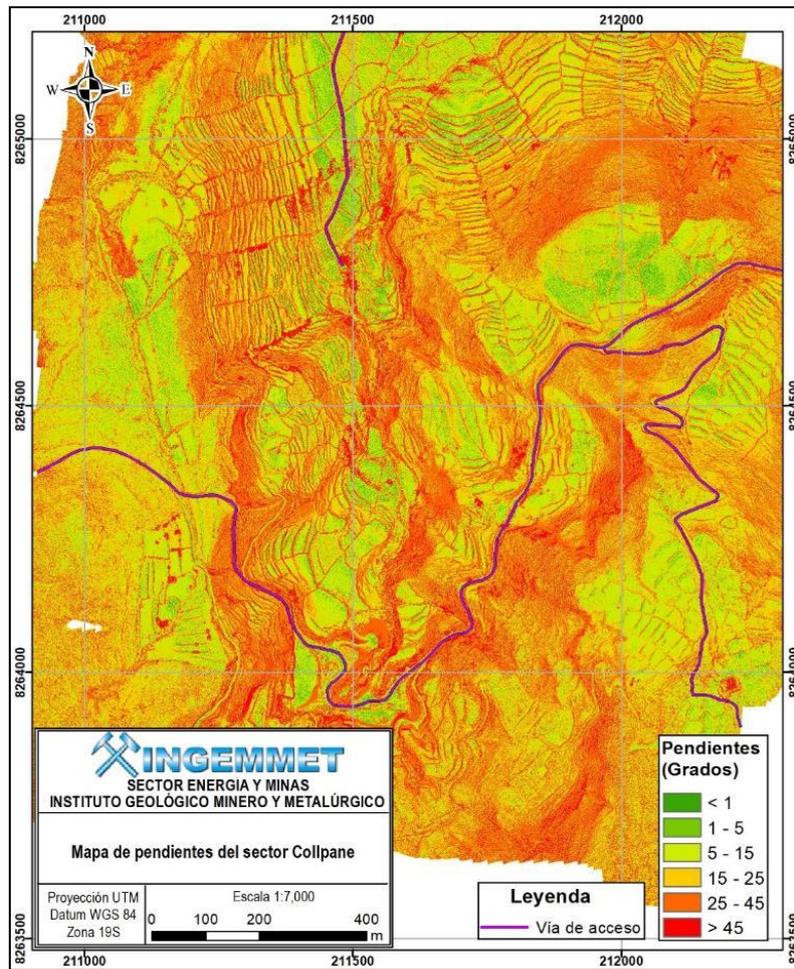


Figura 47. Mapa de pendientes del sector Collpane.

7. MONITOREO INSTRUMENTAL CON GPS GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELTAL SYSTEM)

En el sector Collpane, el INGEMMET cuenta con una estación GPS. La cual es monitoreada a través de la técnica de GNSS (Global Navigation Satelstal System) en tiempo cuasi real de forma permanente desde la estación GNSS ACPE, que es capaz de monitorear deformaciones milimétricas de deslizamientos de tierra. La data se obtiene a un intervalo de registro de 15 segundos, siendo procesada con GAMIT/GLOBK v.10.71 (Herring et al., 2010).

Los primeros resultados han reportado pequeños desplazamientos en la de tasa de deformación (Subsidencia) de 17 mm (Periodo Agosto – Noviembre del 2020) y una velocidad de desplazamiento de 24 ± 3 mm/mes (figura 48) y en dirección NE (Noreste). Estos resultados a la fecha NO evidencian señales visibles directas de una reactivación en curso del deslizamiento.

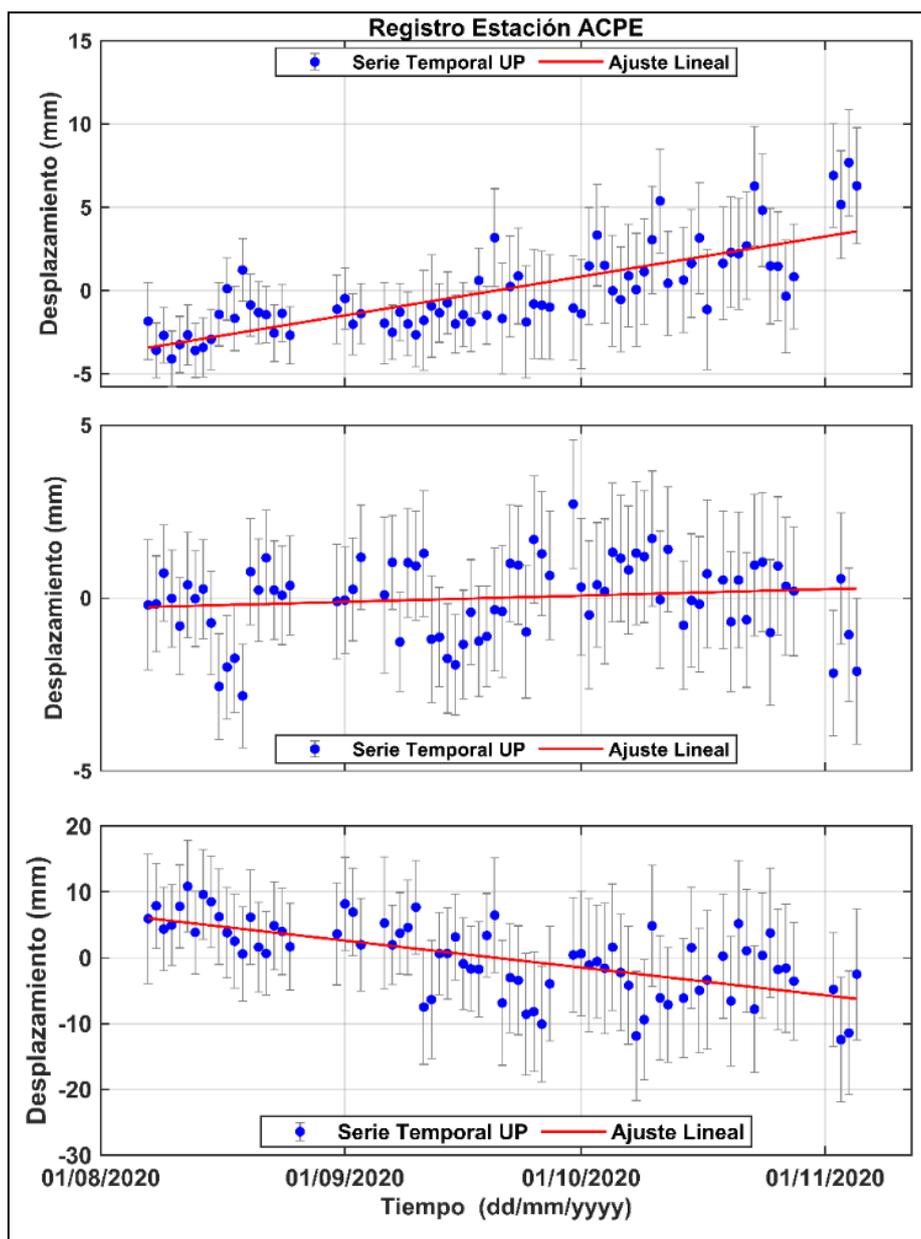


Figura 48. Serie temporal del comportamiento de la tasa de desplazamientos en la estación de monitoreo GNSS ACPE (Collpane).

8. CONCLUSIONES

a) Para el sector de Collpane:

1. Litoestratigráficamente el sector Collpane, está conformada por secuencias piroclásticas de cenizas de coloración gris y flujos de lava de coloración gris oscuro, los primeros se encuentran moderadamente meteorizadas y fracturadas, por lo cual son de mala calidad y de fácil erosión. Los flujos de lava se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturados. Producto de la meteorización se evidencian suelos residuales.
2. Los deslizamientos antiguos, han generado depósitos que se encuentran suspendidos en las laderas, que al saturarse de agua se vuelven inestables.
3. La reactivación del deslizamiento Da2, está condicionado por la infiltración de agua que satura el suelo en las partes bajas del deslizamiento.
4. El incremento de surgencias de agua en la parte baja de las laderas, podría estar ligado a fugas de agua a través de grietas desde el canal Majes, el cual cruza este sector a profundidad. Asimismo, la aparición de grietas un tramo 9 del canal Majes está ligado al movimiento normal de la falla Chachas-Cabanaconde-Patapampa, que cruza este sector.
5. Según la estación GNSS ACPE (Collpane), se ha detectado pequeños desplazamientos en la de tasa de deformación (Subsidencia) de 17 mm (Periodo Agosto – Noviembre del 2020)
6. El sector Collpane se encuentra en una zona de Peligro Muy Alto. Esto es debido principalmente a las características geológicas del suelo, humedad e infiltraciones de agua desde las partes altas, estas condiciones hacen de las zonas inspeccionadas muy susceptible a generar procesos de movimientos en masa

b) Para el sector de Chacapi, Anansaya, Urinsaya y Linde

1. Litoestratigráficamente están conformados por areniscas intercalaciones de lutitas no litificadas; las primeras permiten la infiltración de agua proveniente de lluvias o del canal de regadío y las segundas su retención. Esto genera la saturación del terreno, como también aumento de peso de la masa inestable.
2. La combinación del aumento de la masa inestable más la pendiente, aumenta la posibilidad de prendimiento de los terrenos.
3. Los suelos están conformados por gravas englobados en una matriz de limos y arenas, provenientes de deslizamientos antiguos en el sector. Los suelos se presentan poco compactados.
4. Los peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Chacapi, comprenden deslizamientos y derrumbes, todos ellos condicionados por la saturación del substrato por aguas del embalse del río Colca.
5. Los derrumbes en el sector Chacapi se ubican frente al deslizamiento de Achoma, así como a la altura del puente Colonial Cervantes y en la parte alta del Hotel Colca Lodge. En los sectores antes mencionados se evidencian escarpes con inclinaciones sub-verticales.

6. En el sector Chacapi, la vía que une a los distritos de Yanque e Ichupampa se encuentra afectada en un tramo de 80 m, en él se observó grietas con un ancho de hasta 25 cm, con profundidades de hasta 1.5 m. Lo mencionado es producto del embalsamiento y posterior desembalse del río Colca, la primera saturó las laderas, lo cual generó cambio de las propiedades físicas del terreno, el segundo trajo una pérdida de cohesión del terreno.
7. Los peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Urinsaya y Anansaya, comprenden deslizamientos, derrumbes y avalancha de detritos; asimismo se han encontrado erosiones de laderas (cárcavas) y erosiones fluviales.
8. En los sectores de Anansaya y Urinsaya los escarpes de deslizamientos están ubicados a 100 metros de la zona urbana del distrito de Ichupampa. Además, la parte baja de estos sectores vienen siendo afectados por erosión fluvial originado por la sinuosidad del río Colca.
9. Los peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Linde están dados por deslizamientos, derrumbes, avalanchas de detritos y deslizamientos por flujos; asimismo se han encontrado erosiones de laderas (cárcavas). De acuerdo al mapa de cartografía de peligros geológicos en el sector, estos se desarrollan mayormente en la parte alta de la margen derecha del valle del Colca.
10. Los peligros geológicos identificados en los sectores evaluados están condicionados por la naturaleza litológica de la zona, la pendiente de las laderas, la configuración geomorfológica y la presencia de materiales de remoción de eventos antiguos. La ocurrencia de (sismos excepcionales, sismos continuos, lluvias intensas y/o actividad antrópica) pueden acelerar los agrietamientos y avance retrogresivo de los deslizamientos en el sector.
11. El sector Chacapi, Anansaya y Urinsaya se encuentran en una zona de Peligro Muy Alto. Esto es debido principalmente a las características geológicas del suelo, humedad e infiltraciones de agua desde las partes altas, estas condiciones hacen de las zonas inspeccionadas muy susceptible a generar procesos de movimientos en masa. El sector Linde, se encuentra en una zona de Peligro Alto

9. RECOMENDACIONES

1. Las instituciones encargadas del mantenimiento del Canal Majes, deben realizar una inspección en el canal en inmediaciones del túnel número 9. Reparar las fisuras en el canal de ser el caso.
2. Implementar un sistema de monitoreo instrumental en el deslizamiento Da2; en el sector Collpane.
3. Realizar estudios hidrogeológicos para determinar las fuentes de infiltración de aguas que surgen en las partes baja del sector Collpane, ya que estas aguas producen la saturación de los suelos en los terrenos y por ende inestabilidad.
4. Reconstruir y mejorar las bases de los puentes Colonial Cervantes y Bailey en el sector Chacapi.

5. Rellenar las grietas que se encuentran en la vía de comunicación entre Yanque e Ichupampa, y de manera paulatina remodelar y mejorar la carpeta asfáltica.
6. Construir un sistema de enrocado en el cauce del río Colca, para evitar la erosión fluvial en la base de las terrazas, específicamente en los sectores Anansaya y Urinsaya.



Ing. Kevin Arnold Cueva Sandoval



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

BIBLIOGRAFÍA

Benavente C.; Delgado G.; García B.; Aguirre E. (2017). Neotectónica, evolución del relieve y peligro sísmico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.

Cerpa L. & Paniagua M. (2009). Carta Geológica del Perú: Mapa Geológico del Cuadrángulo de Chivay, Hoja 32-s, Cuadrante I, escala 1:50 000. Mapa publicado por Ingemmet.

Corominas, J. & García Y agüe A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. I V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3,1051-1072

Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. Ingeniería Geológica. 2002 (1ra. Ed); 2004 (2da. Ed); 2009 (3ra. Ed) Prentice Hall Pearson Educación, Madrid, pp 750.

Lamadon, S. (1999) - Fluctuations glaciaires et Tephrostratigraphie dans les montagnes intertropicales: Une revue et applications dans les Andes du Sud du Pérou (massifs des Nevados Ampato et Coropuna). Mémoire DEA, Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand, 205 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.

Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ad, Landslides analisys and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 176, p. 9-33

Zavala B.; Churata D. & Varela F. (2019). Geodiversidad y Patrimonio Geológico en el Valle del Colca. INGEMMET, Boletín Serie I: Patrimonio y Geoturismo.

ANEXO 1 GLOSARIO

Deslizamiento

Llamado también fenómenos de ladera o movimientos de ladera; son desplazamientos de masas de tierra o de rocas que se encuentran en pendiente, se entiende como movimiento del terreno o desplazamientos que afectan a los materiales en laderas o escarpes. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad, Corominas y García Yagüe, (1997).

La nomenclatura de los elementos morfológicos y morfométricos de un movimiento de ladera tipo rotacional, como evidencia en la zona, (figura 49), ha sido desarrollada por la Asociación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería (IAEG, 1990).

Deslizamiento rotacional, es cuando la superficie de rotura es una superficie cóncava. Los deslizamientos rotacionales se producen fundamentalmente en materiales homogéneos o en macizos rocosos muy fracturados, Antoine, (1992), se suelen diferenciar por una inclinación contrapendiente de la cabecera.

Se puede mencionar algunos factores que desencadenan los deslizamientos: rocas muy fracturadas y alteradas o suelos poco coherentes, saturación de suelos o roca alterada por intensas lluvias, deforestación de tierras, erosión fluvial, erosión de laderas (cárcavas), modificación de taludes de corte, actividad sísmica y volcánica.

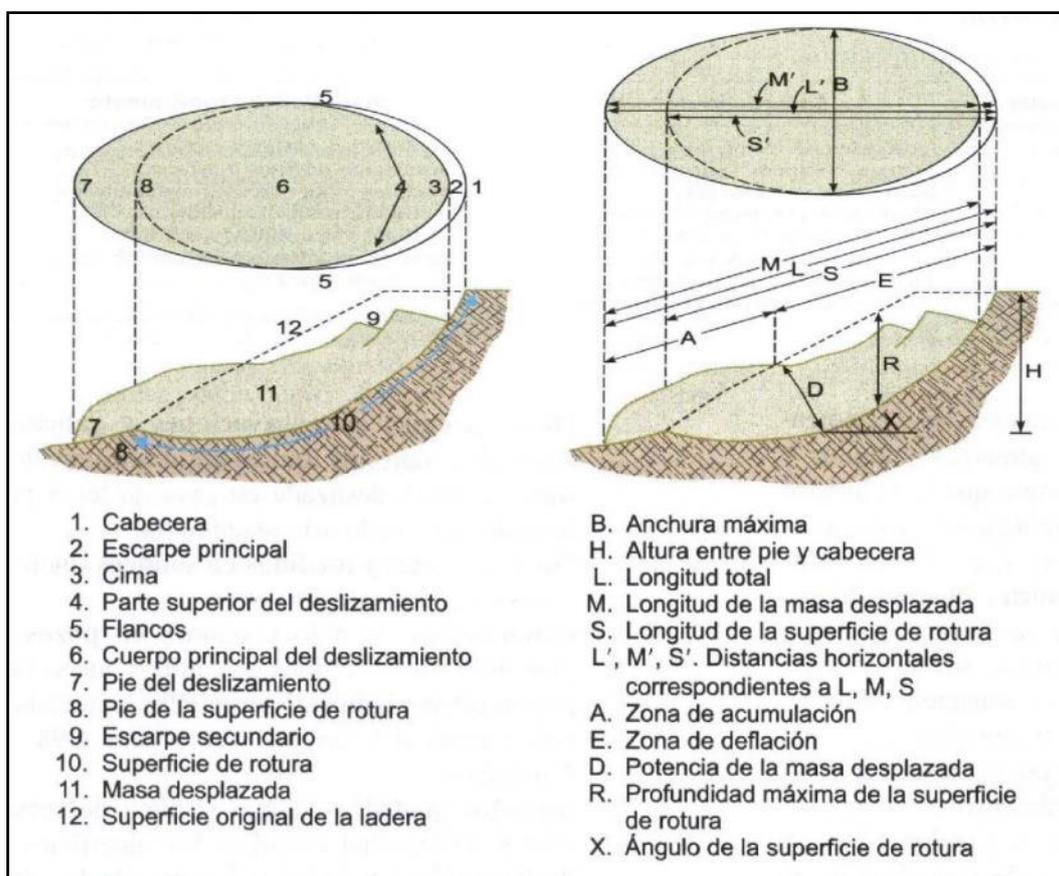


Figura 49. Elementos morfológicos y morfométricos de un deslizamiento, tomado de González de Vallejo., (2002).

caídas o desprendimientos de rocas

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 desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento, Varnes, (1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s. El estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s.

Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento.

En Evans y Hungr (1993) se pueden consultar ejemplos de caída de roca fragmentada, (figuras 50 y 51). Los acantilados de roca son usualmente la fuente de caídas de roca, sin embargo, también puede presentarse el desprendimiento de bloques de laderas en suelo de pendiente alta.

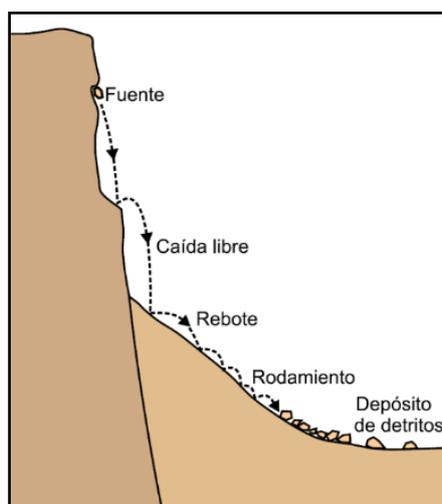


Figura 50. Esquema de la caída de rocas

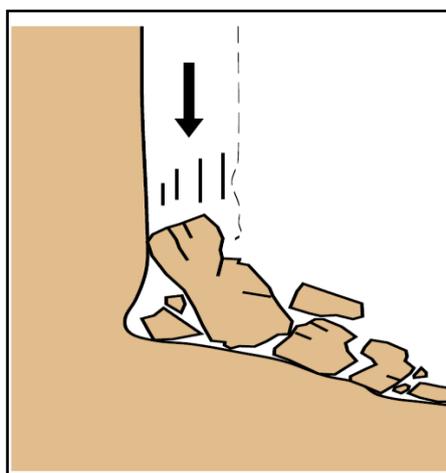


Figura 51. Esquema de Corominas y Yague (1997) denominan a este movimiento “colapso”.

Avalancha de detritos

Flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundos, muy rápidos a extremadamente rápidos. Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que al desplazarse sufre una considerable distorsión interna y toma la condición de un flujo. (Hung et al., 2001).

Erosión de laderas (Cárcavas)

La erosión en cárcavas es un fenómeno que se da bajo diversas condiciones climáticas (Gómez et al., 2011), aunque más comúnmente en climas semiáridos y sobre suelos estériles y con vegetación abierta, con un uso inadecuado del terreno o inapropiado diseño del drenaje de las vías de comunicación. Las incisiones que constituyen las cárcavas, se ven potenciadas por avenidas violentas y discontinuas típicas del clima mediterráneo, lluvias intensas o continuas sobre terrenos desnudos o por la concentración de flujos superficiales fomentados por obras de drenaje de caminos o carreteras, (figura 52).

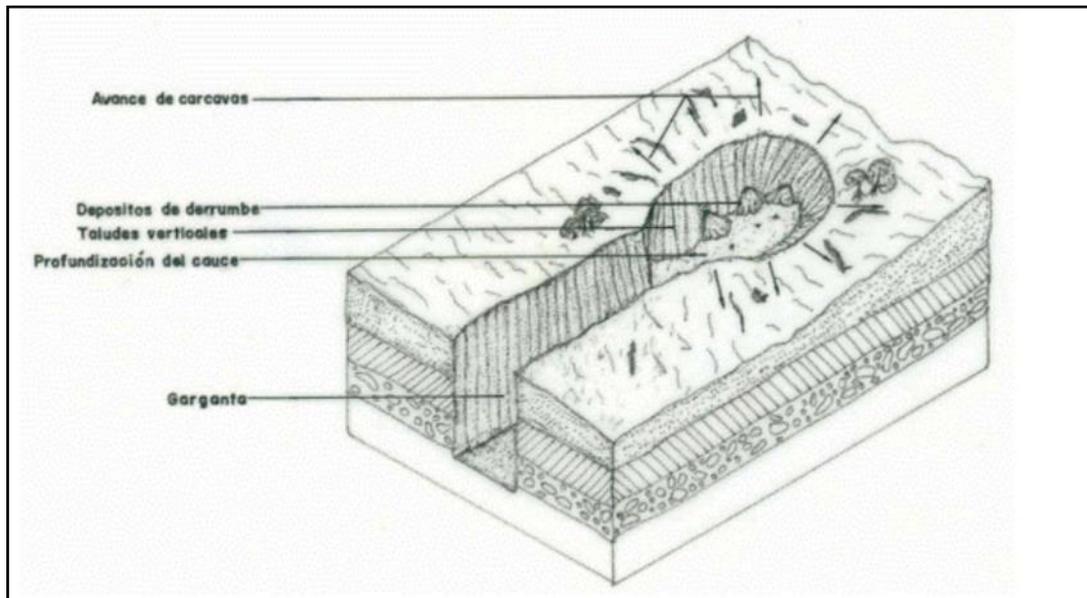


Figura 52. Proceso de formación de cárcavas

Deslizamiento por flujo

Este concepto por introducido por Casagrande (1936), para designar deslizamientos que en fase posteriores a su iniciación se comportan como un flujo, como resultado de licuación. El termino es muy importante desde el punto de vista práctico, ya que los deslizamientos por flujo, por sus características de ocurrencia súbita, altas velocidades y grandes distancias de viaje, representan uno de los fenómenos más peligrosos.