

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7168

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES EL ARENAL Y MUNAYPATA

Región Arequipa
Provincia Caylloma
Distrito Chivay



JULIO
2021

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES EL ARENAL Y MUNAYPATA

(Distrito de Chivay, provincia de Caylloma, región Arequipa)

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

Equipo de investigación:

Yhon Soncco Calsina

Hammer Ojeda Chulla

Domingo Ramos Palomino

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos en los sectores El Arenal y Munaypata. Distrito de Chivay, provincia de Caylloma, región Arequipa: Ingemmet, Informe Técnico N° A7168, 34p

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 2 |
| 1.1. Objetivos del estudio | 2 |
| 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores | 2 |
| 1.2.1. Ubicación | 3 |
| 1.2.2. Accesibilidad | 5 |
| 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS | 5 |
| 2.1. Unidades litoestratigráficas | 5 |
| 2.1.1 Secuencias volcánicas Canocota (Qp-ca) | 7 |
| 2.1.2 Deposito aluvial (Qh-fl) | 7 |
| 2.1.3 Depósitos coluviales (Qh-col) | 9 |
| 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS | 9 |
| 3.1. Pendientes del terreno | 9 |
| 3.2. Unidades geomorfológicas | 13 |
| 3.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional | 15 |
| 3.2.2 Geoformas de carácter depositacional y agradacional | 15 |
| 4. PELIGROS GEOLÓGICOS | 16 |
| 4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa | 16 |
| 4.1.1 Deslizamiento en el sector El Arenal ocurrido el 9 de mayo del 2021 | 19 |
| 4.1.2 Zona de derrumbes en el sector El Arenal | 22 |
| 4.1.3 Zona de derrumbes en el sector Munaypata | 22 |
| 4.1.1 Caída de rocas | 27 |
| 4.2. Factores condicionantes | 27 |
| 4.3. Factores desencadenantes | 27 |
| 5. CONCLUSIONES | 29 |
| 6. RECOMENDACIONES | 31 |
| BIBLIOGRAFÍA | 32 |

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por deslizamiento y derrumbes en los sectores El Arenal y Munaypata, en el distrito de Chivay, 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 los sectores El Arenal y Munaypata, afloran rocas de la secuencia volcánica Canocota (Qp-ca), conformada por lavas andesíticas, en disyunción columnar; se presentan moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas. También, se observan secuencias no consolidadas de depósitos aluviales (Qh-al), conformadas por bloques, gravas, arenas y limos en capas sub horizontales, los bloques son polilitológicos de hasta 2 m, dentro de una matriz areno-lilmoso y depósitos coluviales (Qh-col) conformados por bloques angulosos, gravas, arenas y limos, no consolidados, generados por la acción de la gravedad.

Las subunidades geomorfológicas observadas en los sectores evaluados son: Estratovolcán (Es-v), Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd) y terraza alta aluvial (Ta-al), en esta última, en el sector El Arenal, el 9 de mayo se generó un deslizamiento.

Los peligros geológicos identificados en El Arenal y Munaypata corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamiento, derrumbes y caída de rocas. En el sector El Arenal

El deslizamiento del sector El Arenal, ocasionó represamiento del curso de agua en el río Colca, de acuerdo a la clasificación de Costa y Schuster (1988) se le califica de tipo VI. El embalse duro 5 días.

Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos mencionados son: rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas de la secuencia volcánica Canocota. Los depósitos no consolidados como los aluviales están conformados por gravas, arenas, limos y bloques y los coluviales compuestos por bloques angulosos, gravas y arenas, que son de fácil erosión.

Otro factor condicionante es la pendiente de los terrenos, en el cauce del río Colca las laderas presentan una pendiente fuerte a muy fuerte (25°-45°) y escarpada (> 45°). Se tienen formación de acantilados.

El sector El Arenal se considera de **Peligro Alto** frente a la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes que pueden activarse durante la temporada de lluvias intensas (octubre a marzo) y caída de rocas frente a movimientos sísmicos fuertes.

El sector Munaypata se considera de **Peligro Alto** frente a la ocurrencia de derrumbes y caída de rocas que pueden activarse en temporada de lluvias intensas (octubre a marzo) y frente a movimientos sísmicos fuertes.

En el sector El Arenal impermeabilizar y reparar el canal de agua de Coporaque, para evitar infiltraciones y futuros deslizamientos a lo largo del trazo del canal.

Se recomienda realizar trabajos de desquinche antes de ejecutar cualquier obra de ingeniería en la zona de Munaypata, ya que en ambos márgenes del cauce del río se evidenciaron rocas fracturadas

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT11)”, 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 las solicitudes de la municipalidad provincial de Caylloma y del Gobierno Regional de Arequipa, según los Oficios N°225-2021-MPC-CHIVAY-A, N°150-2021-MPC-CHIVAY-A y N° 0214-2021-GRA-GGR-ORDNDC - CHIVAY; es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en los sectores El Arenal y Munaypata.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, designó a los ingenieros Yhon Soncco Calsina, Hammer Ojeda Chulla y Domingo Ramos Palomino, para realizar la evaluación geológica, geomorfológica, geodinámica y de los peligros geológicos que afectan a los sectores Munaypata y El Arenal. El trabajo de campo en Munaypata se realizó entre el 05 y 06 de mayo y en El Arenal entre el 17 y 18 del mismo mes y del presente año.

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

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad provincial de Caylloma y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, 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 deslizamiento y derrumbes que se presentan en los sectores El Arenal y Munaypata; eventos que pueden comprometer la seguridad física de canales y futuras infraestructuras.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa.
- c) Emitir las recomendaciones generales para la reducción o mitigación de los daños.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

- a) 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. Describe el afloramiento de las secuencias volcánicas Canocota, como una secuencia de lavas andesíticas gris verdosas y vesicular, además de depósitos fluviales, que afloran 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

- b) Informe técnico, “zonas críticas por peligros geológicos en la región Arequipa”. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Luque, (2014): En cuyo informe mencionan que los sectores la Calera y el hospedaje El Bosque (Chivay), presentan peligros geológicos por caída de rocas, deslizamiento, los sectores están próximos a la zona de evaluación del presente informe.
- c) Zavala B.; Churata D. & Varela F. (2019). Geodiversidad y Patrimonio Geológico en el Valle del Colca. Ingemmet, Boletín Serie I: Patrimonio y Geoturismo. Menciona que en la margen izquierda del río Colca en el sector de Baños La Calera, aflora una secuencia del tope del Grupo Yura (areniscas Hualhuani), que infrayacen a las capas rojas Murco y secuencias volcánicas en la parte superior.
- d) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (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. Los sectores Chacapi, puente Colonial Cervantes y el Hotel Colca Lodge presentan peligros geológicos por derrumbes, estas zonas también están ubicados en la margen del río Colca.

1.2.1. Ubicación

Los sectores evaluados están ubicados en el distrito de Chivay, provincia de Caylloma, región Arequipa (figuras 1 y 2), dentro de las coordenadas siguientes:

Tabla 1. Coordenadas del sector Munaypata

| N° | UTM - WGS84 - Zona 19S | | Geográficas | |
|--|------------------------|----------------|---------------|---------------|
| | Este | Norte | Latitud | Longitud |
| 1 | 220605.00 m E | 8269638.00 m S | 15°38'8.83"S | 71°36'21.35"O |
| 2 | 220121.00 m E | 8269639.00 m S | 15°38'8.60"S | 71°36'37.59"O |
| 3 | 220120.00 m E | 8270147.00 m S | 15°37'52.09"S | 71°36'37.41"O |
| 4 | 220602.00 m E | 8270148.00 m S | 15°37'52.25"S | 71°36'21.24"O |
| COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL | | | | |
| <i>Munaypata</i> | 220380.77 | 8269965.21 | 15°37'58.10"S | 71°36'28.74"O |

Tabla 2. Coordenadas en el sector El Arenal

| N° | UTM - WGS84 - Zona 19S | | Geográficas | |
|--|------------------------|----------------|---------------|---------------|
| | Este | Norte | Latitud | Longitud |
| 1 | 221682.00 m E | 8270246.00 m S | 15°37'49.49"S | 71°35'44.97"O |
| 2 | 221226.00 m E | 8270246.00 m S | 15°37'49.31"S | 71°36'0.27"O |
| 3 | 221223.00 m E | 8270675.00 m S | 15°37'35.36"S | 71°36'0.19"O |
| 4 | 221677.00 m E | 8270676.00 m S | 15°37'35.51"S | 71°35'44.96"O |
| COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL | | | | |
| <i>El Arenal</i> | 221377.25 | 8270394.79 | 15°37'44.53"S | 71°35'55.13"O |

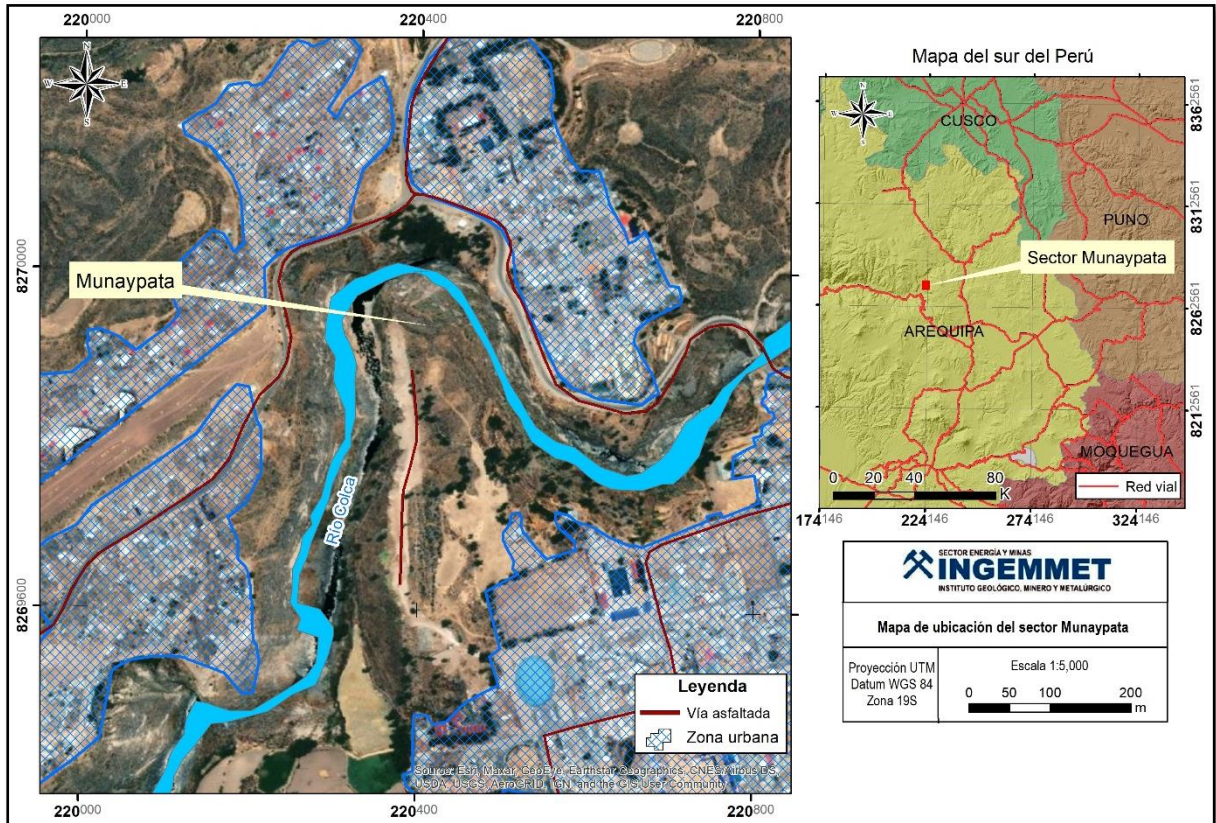


Figura 1. Mapa de ubicación del sector Munaypata

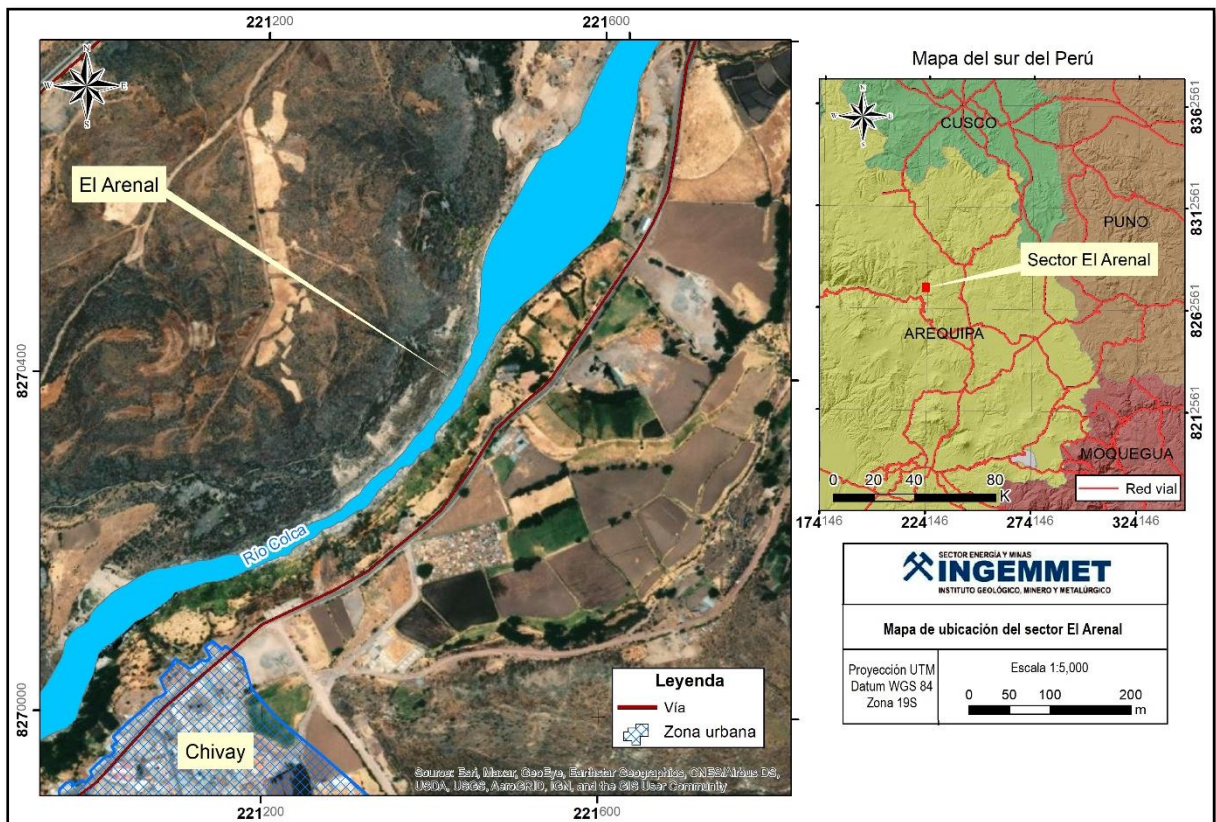


Figura 2. Mapa de ubicación del sector El Arenal

1.2.2. Accesibilidad

El acceso a los sectores evaluados se realizó en vehículo del Ingemmet. Desde Arequipa, se siguió la siguiente ruta:

Tabla 2. Rutas y accesos a los sectores evaluados.

| <i>Ruta</i> | <i>Tipo de vía</i> | <i>Distancia (km)</i> | <i>Tiempo estimado</i> |
|--------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Arequipa - Chivay | Asfaltada | 160 | 3 h |
| Chivay - Munaypata | Asfaltada | 0.7 | 5 min |
| Chivay – El Arenal | Trocha carrozable | 1 | 8 min |

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico de los sectores evaluados se realizó teniendo como base el mapa geológico del cuadrángulo de Chivay 32-r_I a escala 1:50000, Actualizado por: Cerpa, et al. (2009)

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en inmediaciones de los sectores El Arenal y Munaypata son: Volcánico Canocota (Qp-ca) y depósitos fluviales (Qg-fl). (figuras 3 y 4)

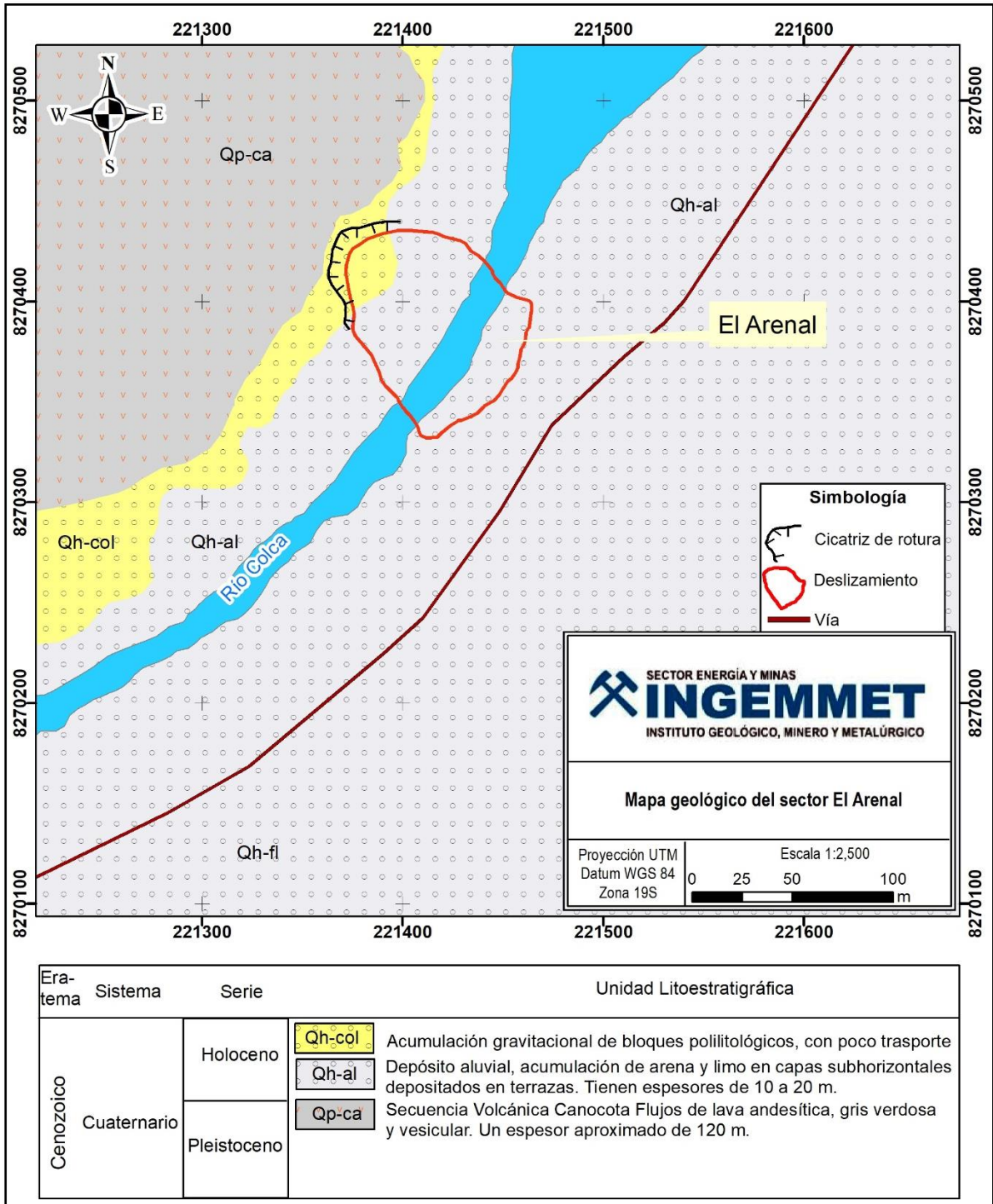


Figura 3. Mapa geológico del sector El Arenal, tomado y modificado del “Mapa geológico del cuadrángulo de Chivay” 32-r_I a escala 1:50000, Cerpa, et al. (2009)

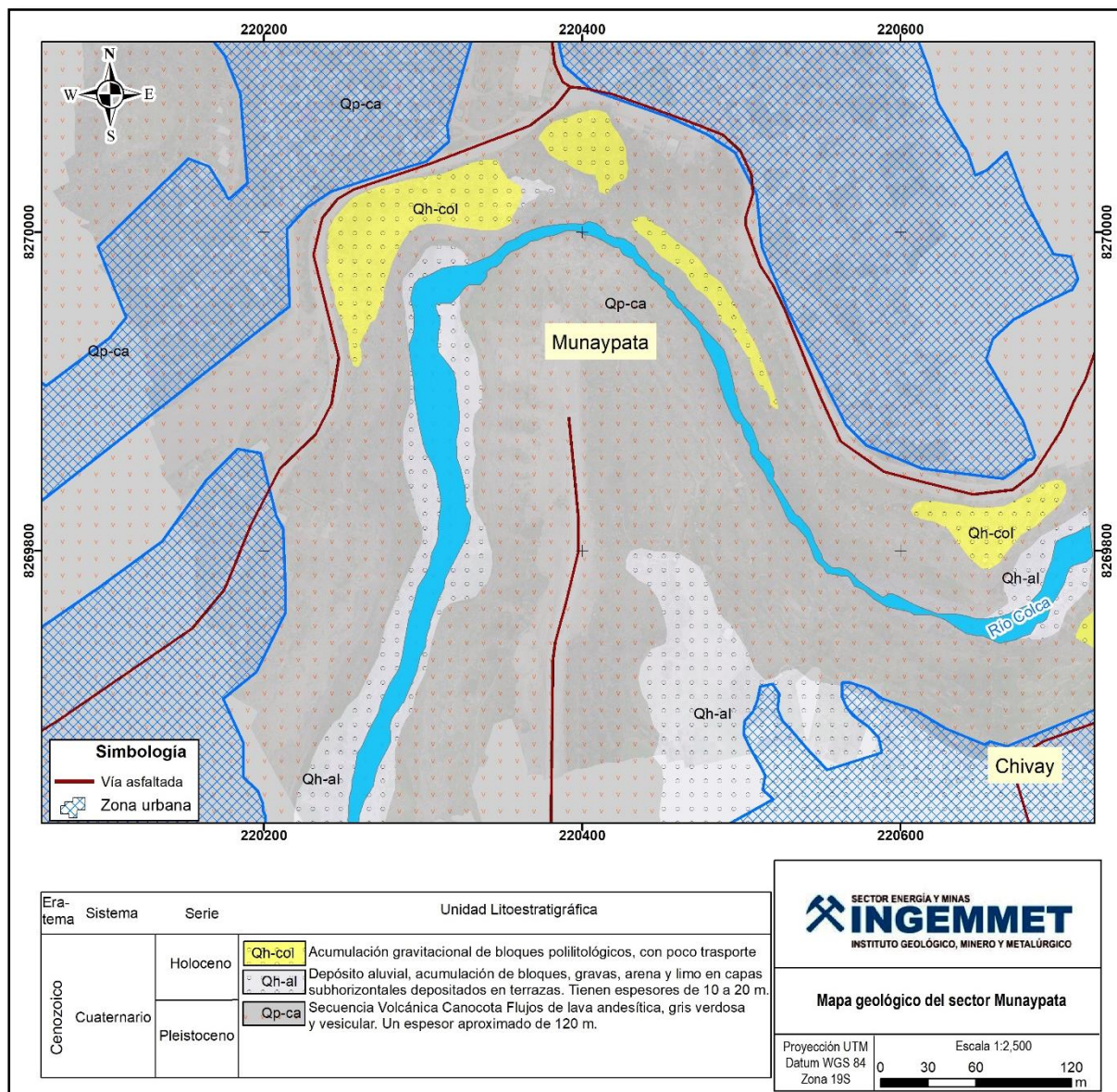


Figura 4. Mapa geológico del sector Munaypata, tomado y modificado del “Mapa geológico del cuadrángulo de Chivay” 32-r_I a escala 1:50000, Cerpa, et al. (2009)

2.1.1 Secuencias volcánicas Canocota (Qp-ca)

Secuencia de lavas andesíticas gris verdosas y vesicular, con espesor de aproximadamente 100 metros de potencia, se aprecia formando disyunciones columnares. Aflora en los sectores El Arenal y Munaypata, en las paredes del cauce del río Colca, (figuras 5 y 6). Las lavas se presentan moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas.

2.1.2 Deposito aluvial (Qh-fl)

Afloran en terrazas a lo largo del río Colca, conformada por la acumulación de bloques, 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 de hasta 2 m, dentro de una matriz areno-limoso (figura 7).

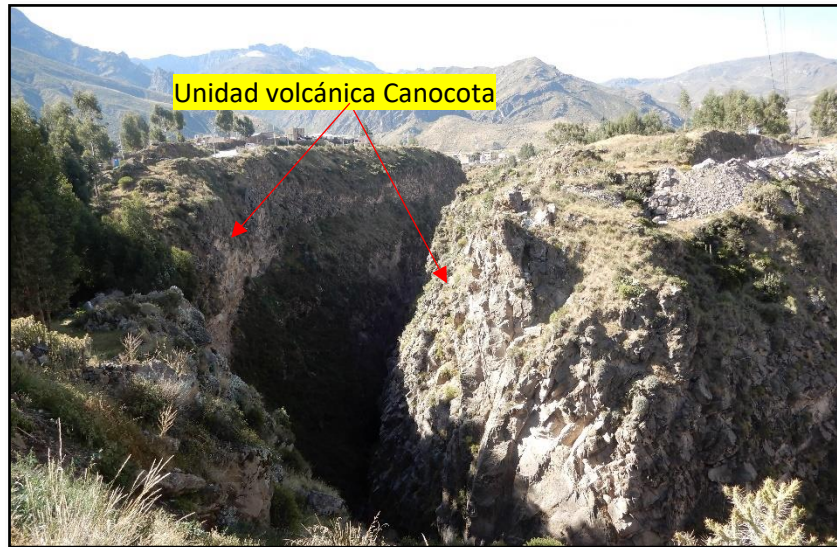


Figura 5. Unidad volcánica Canocota en Munaypata, (coordenadas UTM E: 220314, N: 8270026).

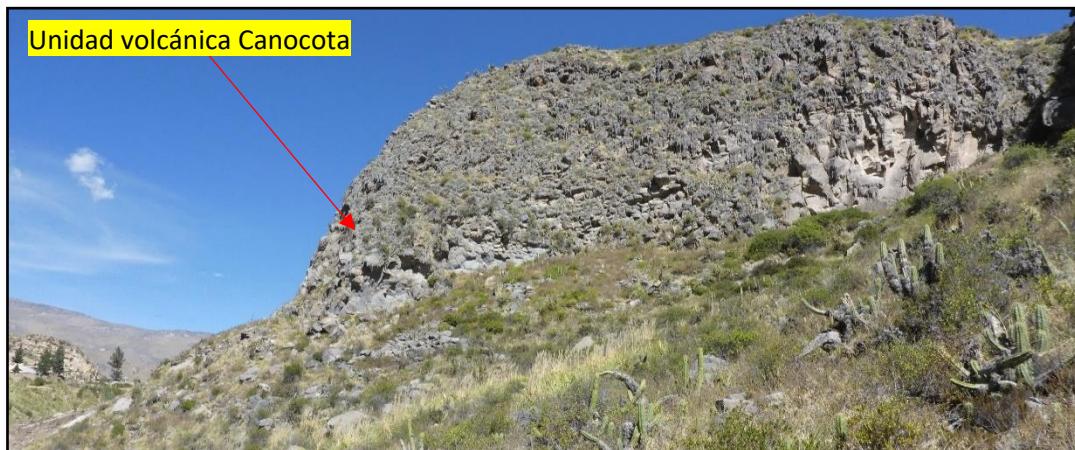


Figura 6. Unidad volcánica Canocota en El Arenal (coordenadas UTM E: 221349, N: 8270485).



Figura 7. Depósitos aluviales. (coordenadas UTM E: 221421, N: 8270458).

2.1.3 Depósitos coluviales (Qh-col)

Depósito originado por la acción de la gravedad. Proyecto Multinacional Andino; Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Los depósitos coluviales se acumulan en vertientes o márgenes de los valles, como también en laderas superiores; en muchos casos son resultado de una mezcla de ambos. Por su naturaleza son susceptibles a la erosión pluvial y remoción.

Afloran a la media ladera en el sector El Arenal, se encuentran conformados por bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, los bloques angulosos más gruesos se depositan en la base y los de tamaños menores (arenas y limos) disminuyen gradualmente hacia el ápice. Son sueltos poco cohesivos, conforman taludes de reposo poco estables. Los principales agentes formadores son el intemperismo, la gravedad, movimientos sísmicos, derrumbes y vuelcos.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

La pendiente de los terrenos es un factor dinámico y particularmente de los movimientos en masa (formadores de las geoformas de carácter deposicional o agradacional), ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez, 2002); es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa, es considerada como factor condicionante a la ocurrencia de movimientos en masa.

Cuadro 3. Clasificación de pendientes.

| Rangos de pendientes del terreno (°) | CLASIFICACIÓN |
|--------------------------------------|------------------------|
| <1 | Llano |
| 1 – 5 | Suavemente inclinado |
| 5 – 15 | Moderado |
| 15 – 25 | Fuerte |
| 25 – 45 | Muy fuerte a escarpado |
| >45 | Muy escarpado |

Las pendientes en los sectores varían desde llanos a inclinados suavemente (1°-5°), en la parte media es muy fuerte (25°- 45°), en los acantilados se tiene un cambio abrupto a terrenos escarpados (> 45°), (figuras 8 y 9).

Para el sector El Arenal, se elaboró el mapa de pendientes de los terrenos en base al modelo de elevación digital (DEM) de 12.5 m tomado del portal EARTH-DATA - Alaska Satellite Facility Distributed (ASF DAAC) de la NASA (figura 10).

Asimismo, para el sector Munaypata se elaboró un mapa de pendientes en base a un modelo de elevación digital (DEM) de 10 cm de píxel proporcionado por la municipalidad provincial de Caylloma (figura 11).

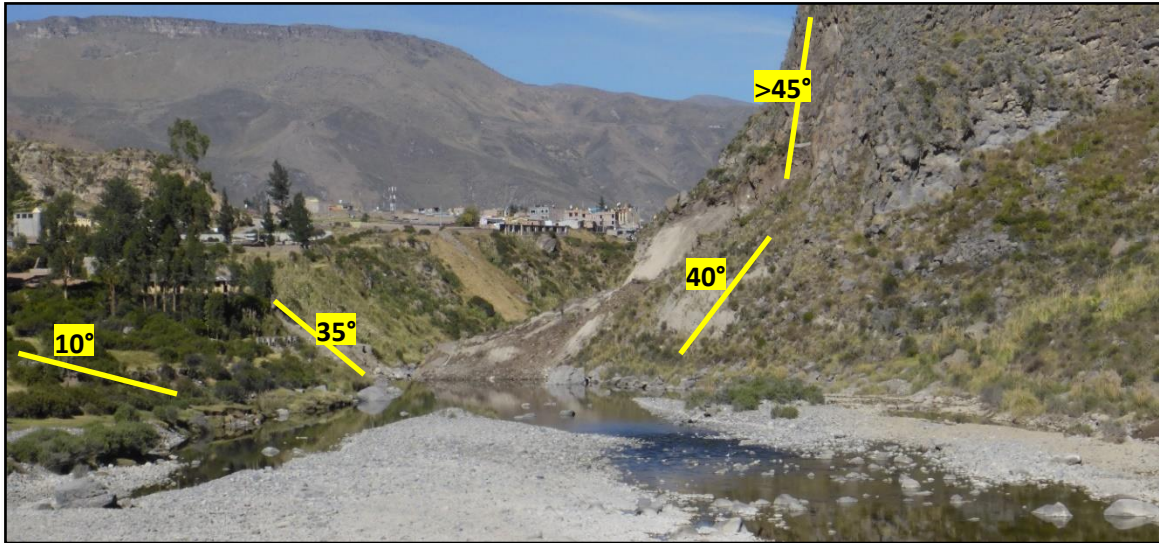


Figura 8. En a) Muestran las distintas pendientes en el sector El Arenal, (coordenadas UTM E: 221520, N: 8270567)



Figura 9. En a) Muestran las distintas pendientes en el sector Munaypata, (coordenadas UTM E: 220491, N: 8269984)

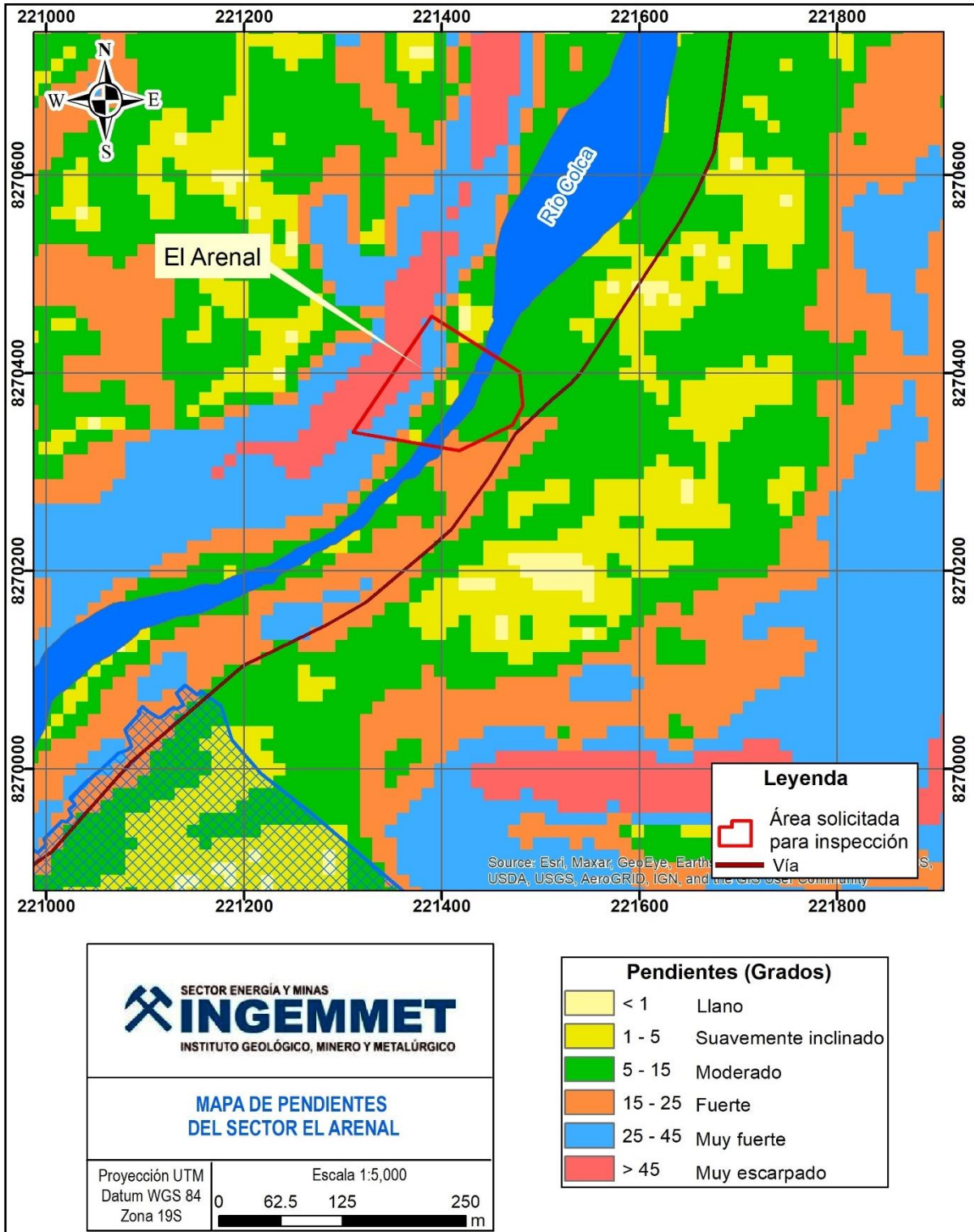


Figura 10. Mapa de pendientes del sector El Arenal

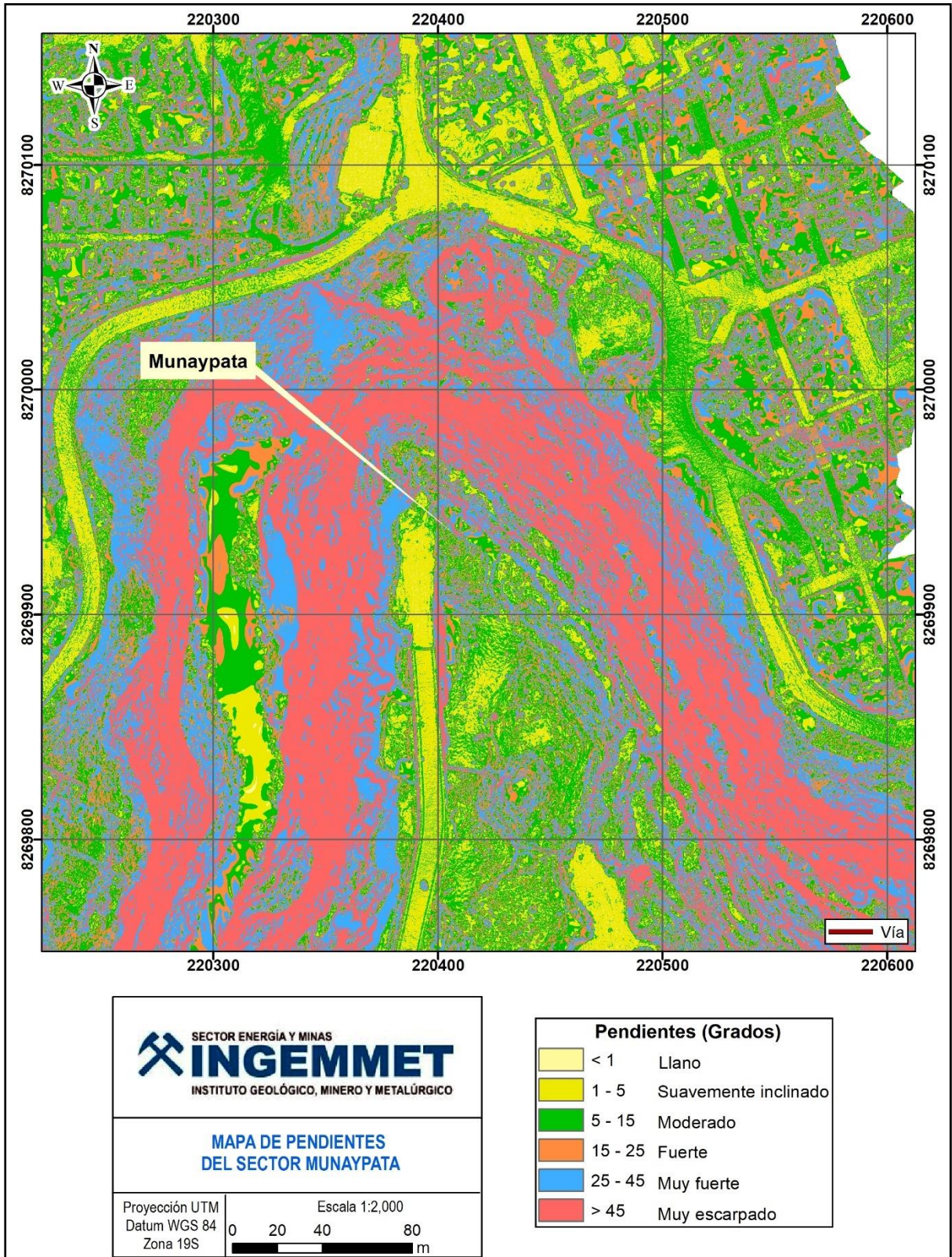


Figura 11. Mapa de pendientes del sector Munaypata

3.2. Unidades geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector, se ha empleado la propuesta de Villota (2005) y la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del Ingemmet; cuyas concepciones se basan en considerar el efecto de los procesos morfodinámicos siguientes:

- Geformas de carácter tectónico degradacional o denudativos
- Geformas de carácter agradacionales o depositacionales

Los cambios morfológicos del relieve se presentan en los mapas geomorfológicos (figuras 12 y 13).

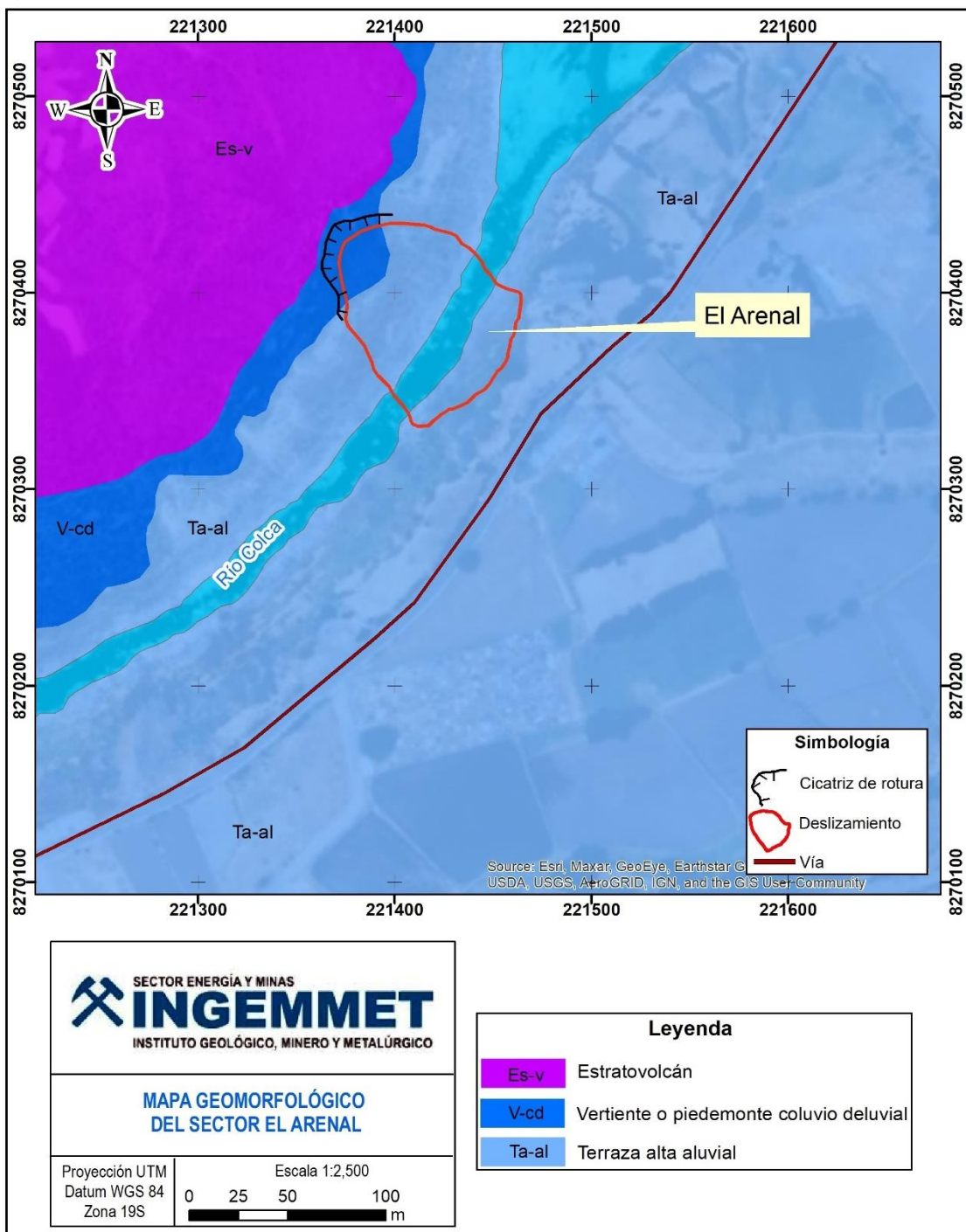


Figura 12. Mapa geomorfológico del sector El Arenal (Tomado y modificado del mapa geomorfológico a escala 250,000 del Ingemmet)

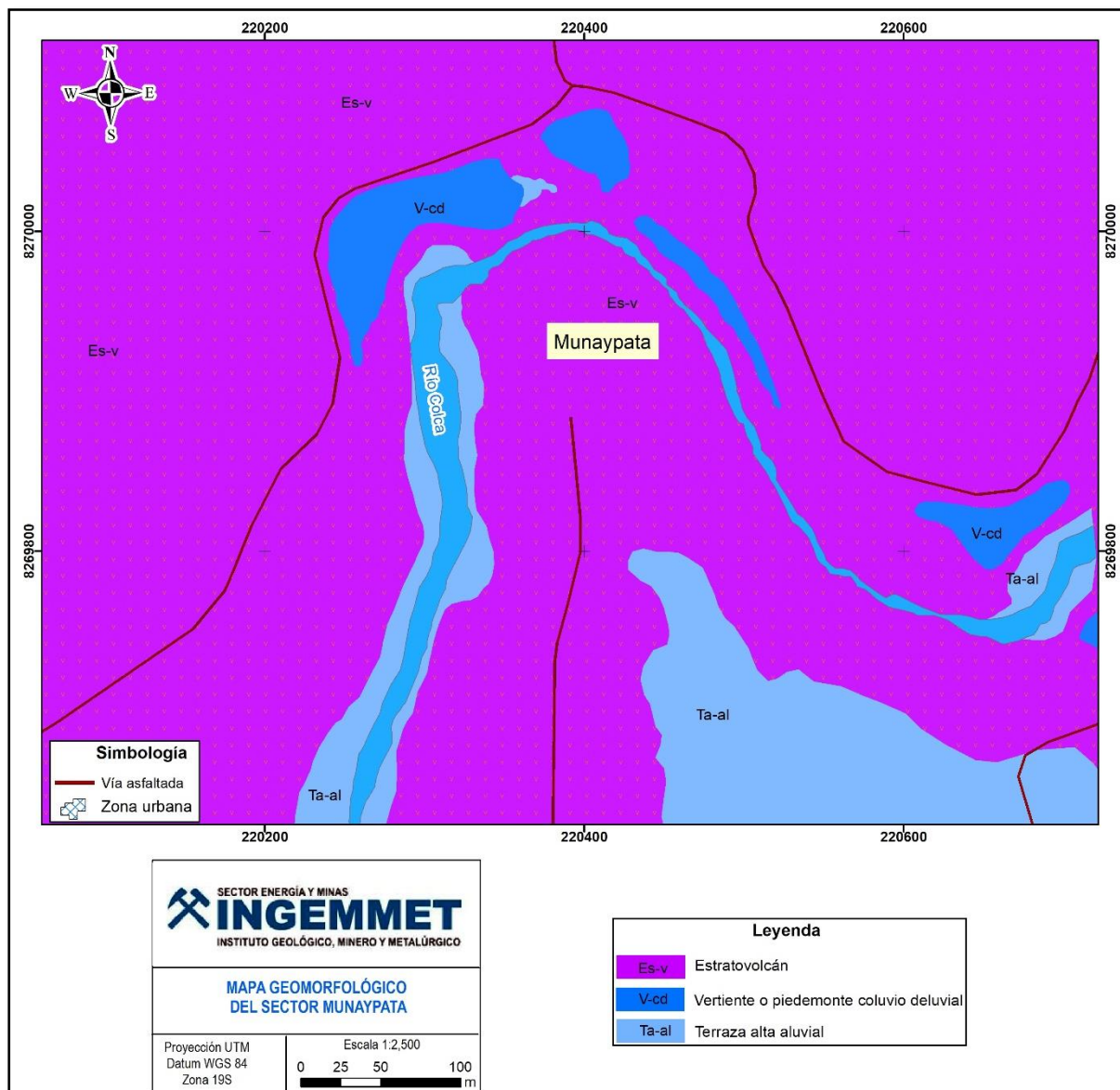


Figura 13. Mapa geomorfológico del sector Munaypata (Tomado y modificado del mapa geomorfológico a escala 250,000 del Ingemmet)

El área de estudio se encuentra por encima de los 3500 m.s.n.m. con vertientes montañosas elevadas y abruptas asociadas a edificios volcánicos.

La geomorfología evaluada en particular corresponde a la subcuenca del río Colca, comprendida entre Andamayo y Sibayo - Callalli. Cuya geomorfología es muy compleja, con una predominancia en 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).

En los sectores evaluados se ha identificado tres geoformas; estratovolcán (Es-v), vertiente o piedemonte coluvio deluvial (V-cd) y Terraza alta aluvial (Ta-al), siendo esta última donde se desarrolló el deslizamiento en el sector El Arenal.

3.2.1 Geoformas 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:

3.2.1.1 Unidad volcánica

En esta unidad se agrupan a los paisajes generados por la actividad volcánica y por sus productos, los cuales han sufrido en diversos grados los efectos de la denudación pero que todavía conservan rasgos definidos de sus formas iniciales, Gomez & Pari (2020).

Subunidad de estratovolcán (Es-v): Son terrenos con pendientes relativamente moderadas con frente escarpado. Corresponde a la secuencia volcánica Canocota; conformadas por lavas andesíticas gris verdosas y vesicular, en frentes escarpados. Esta unidad aflora en los sectores El Arenal y Munaypata.

3.2.2 Geoformas de carácter depositacional y agradacional

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:

3.2.2.1 Unidad de Piedemonte

Generados en ambientes de agradación, que constituye una transición entre los relieves montañosos, accidentados y las áreas bajas circundantes; en este ambiente predominan los depósitos continentales coluviales y las acumulaciones forzadas, las cuales están relacionadas con el repentino cambio de los perfiles longitudinales. La unidad de piedemonte identificada es:

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd): Formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial; se encuentran y no es posible separarlos como unidades individuales. Estos se encuentran acumulados al pie de laderas de montañas o acantilados de valles, Gomez & Pari (2020). Esta unidad está distribuida en los sectores de El Arenal y Munaypata, en las partes bajas de los acantilados formados por los flujos de lava.

3.2.2.2 Unidad de planicie

Son geoformas asociadas a depósitos coluviales y aluviales, limitados por depósitos de piedemonte o ladera de montaña, caracterizados por 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. El deslizamiento en sector El Arenal está sobre esta unidad.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en los sectores evaluados corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamiento, derrumbe y caída de rocas.

Estos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en el cauce del río Colca, 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 del río

Estos movimientos en masa tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelos, el drenaje superficial y la cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en los sectores El Arenal y Munaypata, así como los procesos sísmicos, ocurridos en zona próximas.

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre. La meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la actividad antrópica), actúan sobre las laderas desestabilizándolas y cambian el relieve a una condición más plana (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

En los sectores El Arenal y Munaypata, ubicados en la margen derecha e izquierda del río Colca, se identificaron ocurrencias de movimientos en masa (figuras 14 y 15).

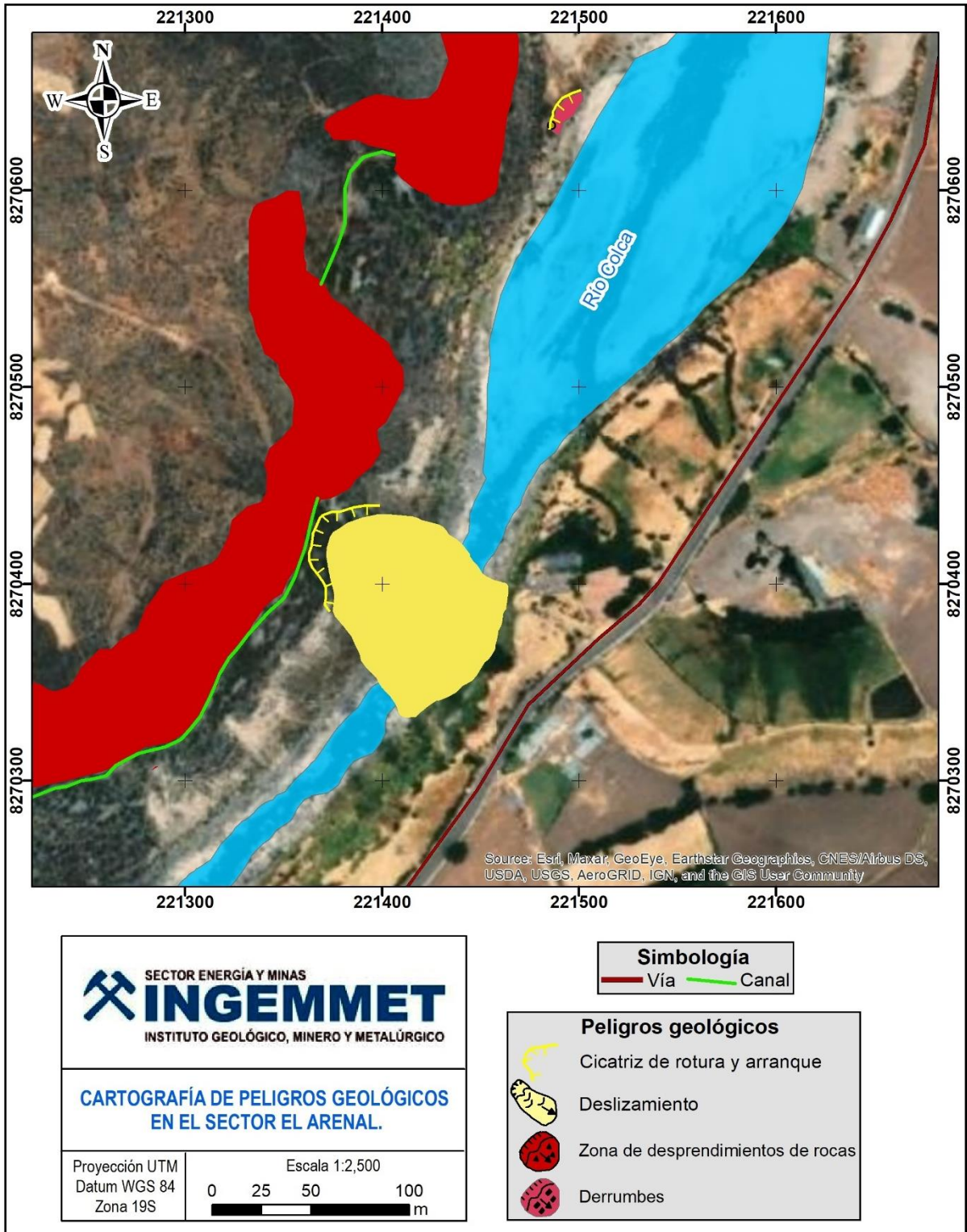


Figura 14. Mapa de cartografía de peligros geológicos en el sector El Arenal.

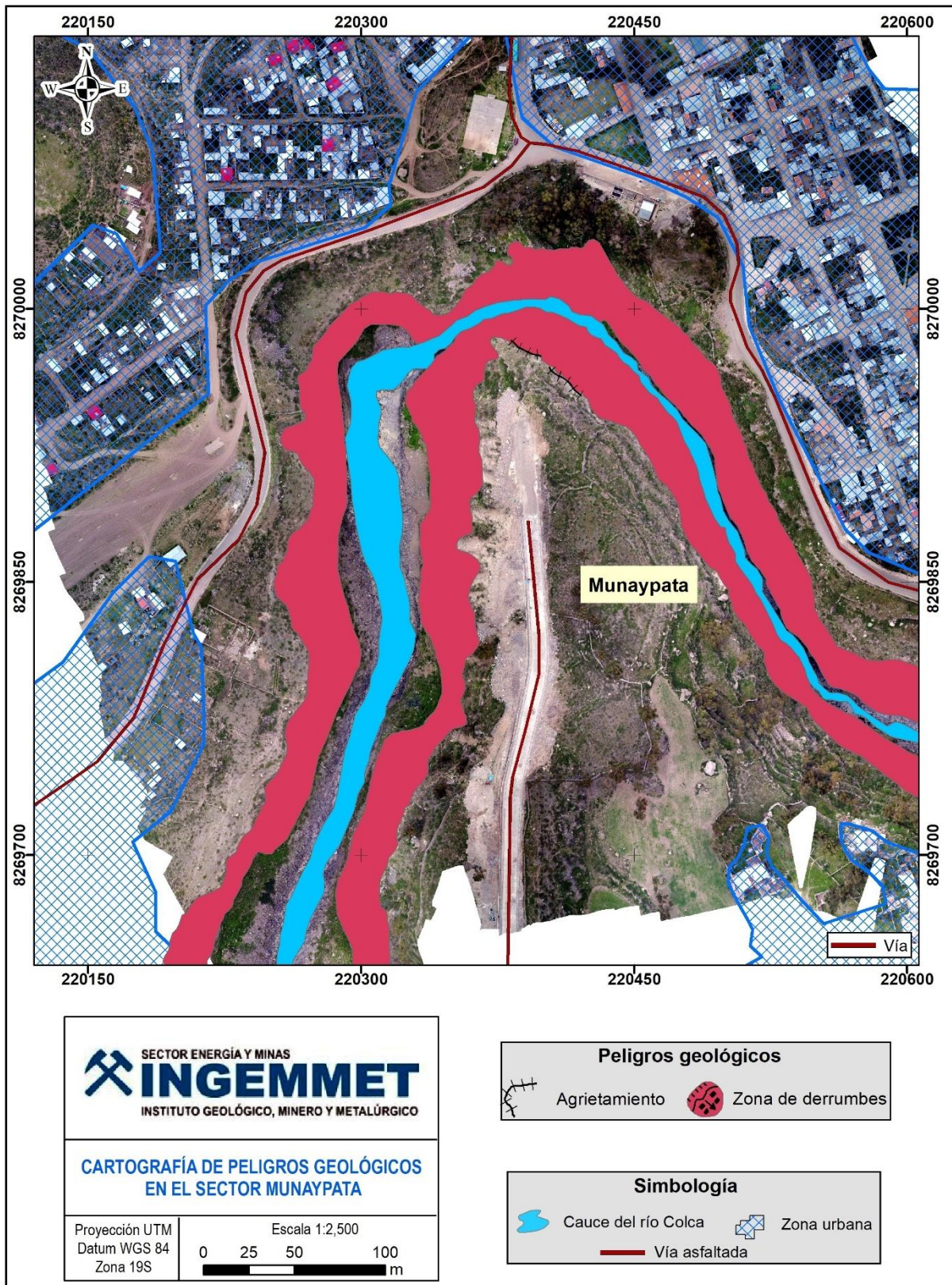


Figura 15. Mapa de cartografía de peligros geológicos en el sector Munaypata.

4.1.1 Deslizamiento en el sector El Arenal ocurrido el 9 de mayo del 2021

El deslizamiento de El Arenal está ubicado en la margen derecha del río Colca. Se trata de un deslizamiento rotacional (figura 16). Este evento se desencadenó el 9 de mayo, a las 11:00 a.m., donde una masa de terrenos se deslizó en dirección del río Colca, formando un dique natural en el río y, provocó un represamiento tipo VI según la clasificación de Costa y Schuster (1988). El dique natural presentó una altura de 8-10 m, una longitud de 50-60 m, un volumen aproximado de 10000 m³.

El escarpe principal del deslizamiento es de forma cóncava, tiene altura entre 5 a 10 m, longitud de 80 m y el desplazamiento desde la escarpa hasta el río fue de 90 m, el área total que afectó el deslizamiento es 0.6 hectáreas.

En la escarpa del deslizamiento se puede observar la secuencia de lavas andesíticas gris verdosas y vesicular, se aprecia formando disyunción columnar. El material removilizado corresponde a depósitos fluviales conformada por la acumulación de gravas, arenas y limo dentro de una matriz areno-limoso, depositados en terrazas se presentan de manera no consolidados, con presencia de bloques polilitológicos de hasta 2 m. En la zona de arranque del deslizamiento también se intentico depósito originado por la acción de la gravedad, correspondiente a depósitos coluviales. Afloran a la altura del de canal de agua que cruza a la base del acantilado, se encuentran conformados por bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea. Los depósitos son sueltos poco cohesivos, conforman taludes de reposo poco estables sin son saturados de agua.

La disposición y características del material deslizado hacen indicar una fuerte saturación en los depósitos mencionados anteriormente.

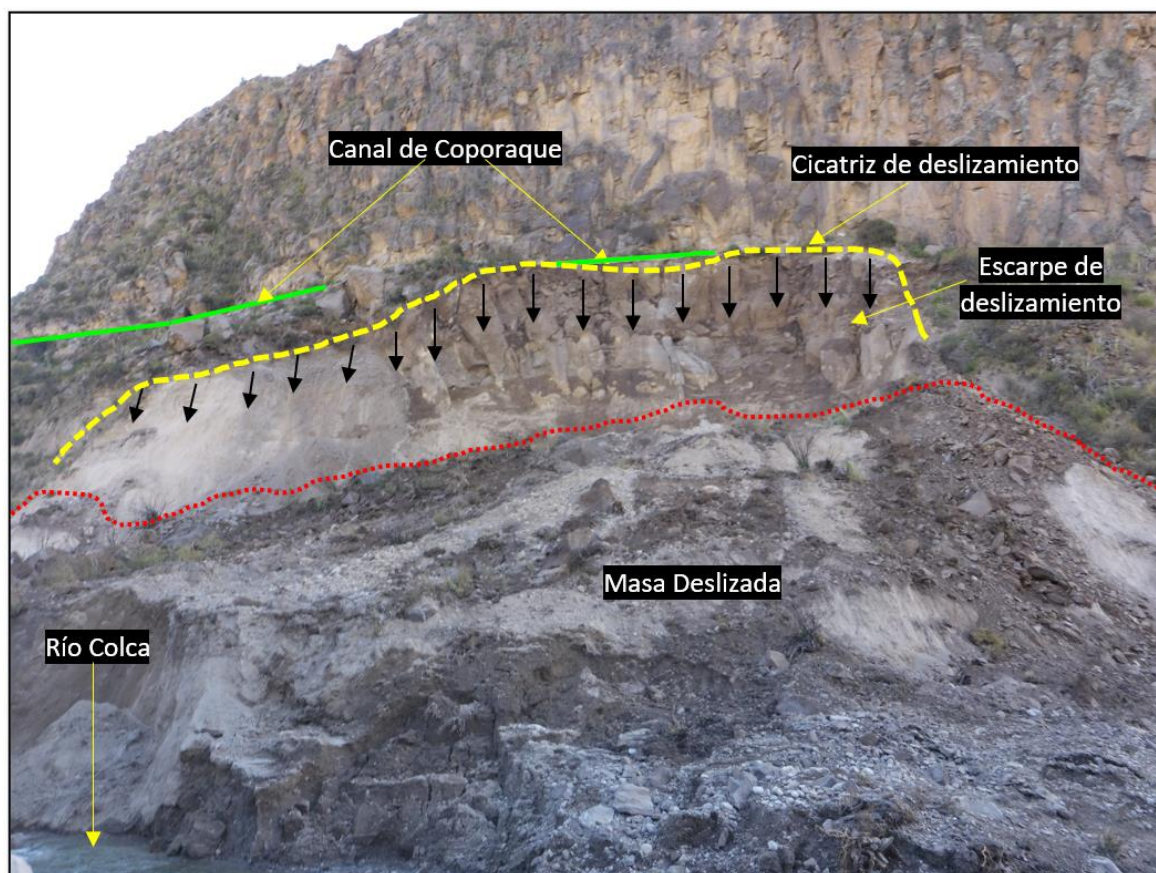


Figura 16. Deslizamiento en el sector El Arenal (coordenadas UTM E: 221399., N: 8270417).

La masa deslizada o removida, generó un dique natural, ocasionando la obstrucción total del río Colca, el dique represó el río, la acumulación de agua originó un pequeño represamiento tipo VI según la clasificación de Costa y Schuster (1988). (figura 17). La municipalidad de Chivay abrió el dique utilizando maquinaria, para evitar la acumulación de agua.

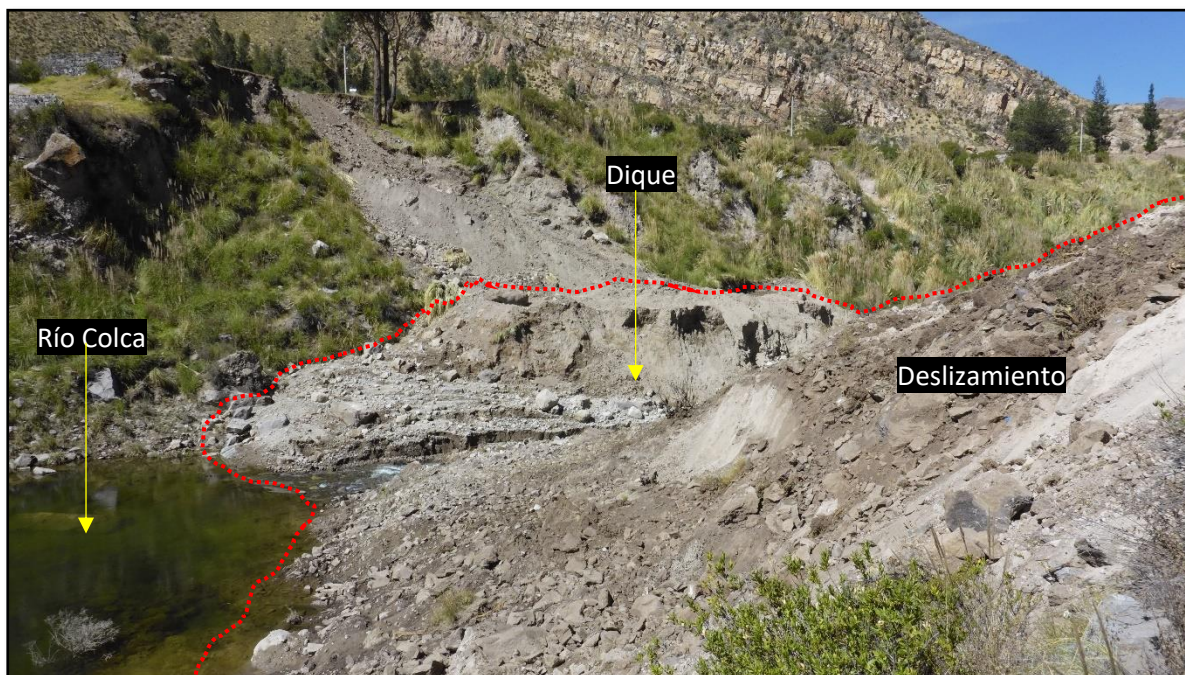


Figura 17. Dique de represamiento del río Colca. (coordenadas UTM E: 221427, N: 8270429)

El deslizamiento de El Arenal afectó aproximadamente 30 m del canal Coporaque, este canal es muy importante, porque conduce agua a toda la zona agrícola del distrito de Coporaque (figura 18).

Según el informe N° 026-2021-JUSHWVC/GT elaborado por la junta de usuarios del Valle del Colca, el canal afectado irriga un área agrícola de 236.4092 ha, pertenecientes a un total de 270 usuarios. El mismo informe también menciona que el canal tiene una antigüedad de más de 20 años, lo que indica que, por efectos de la falta de mantenimiento en su estructura de hormigón, está deteriorada por agentes físicoquímicos naturales.

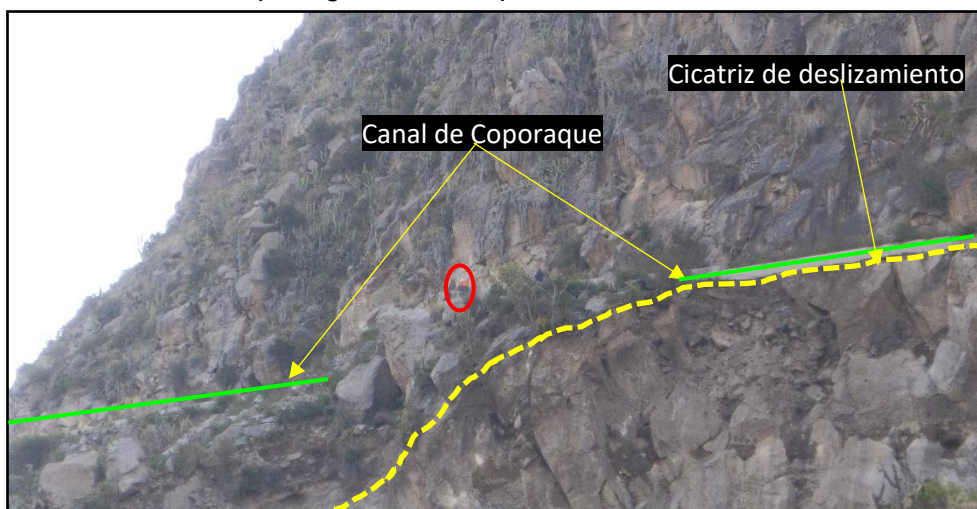


Figura 18. Canal de Coporaque (coordenadas UTM E: 221377, N: 8270423)

Durante la inspección de campo, en el punto UTM E: 221349, N: 8270589, en el canal de Coporaque se evidenció agrietamientos (figura 19 b), los cuales llegan a medir hasta 5 cm de ancho.

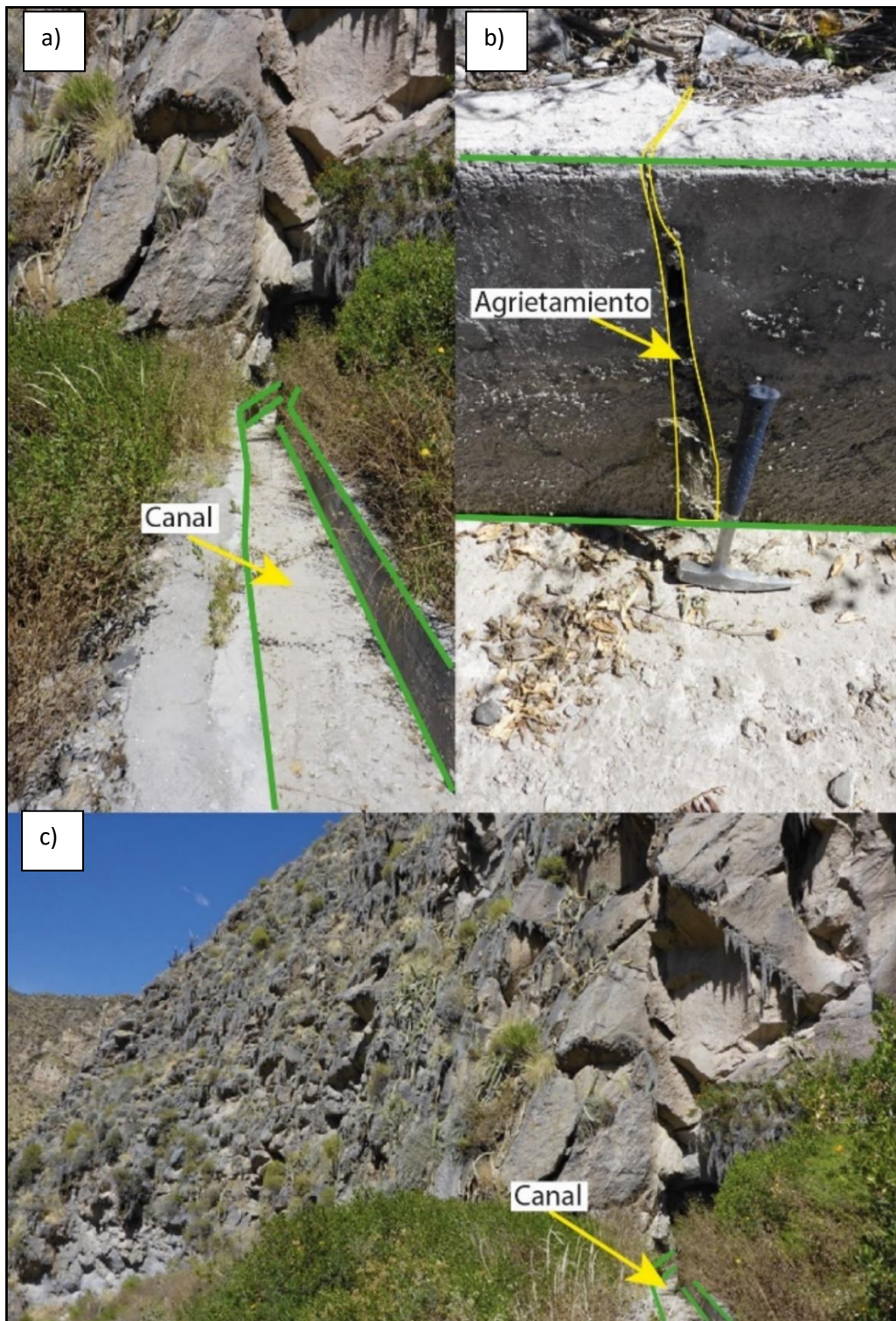


Figura 19. Agrietamientos en el canal de Coporaque, a, b y c; ubicadas en las coordenadas UTM E: 221349, N: 8270589.

4.1.2 Zona de derrumbes en el sector El Arenal

El embalse de las aguas del río Colca después del deslizamiento de El Arenal, generó saturación de los terrenos aguas arriba del deslizamiento, durante la visita de campo se identificó pequeños derrumbes de tierra, uno de ellos está ubicado a aproximadamente 270 m aguas arriba del deslizamiento de El Arenal, ubicado en la margen derecha del río (figura 20)

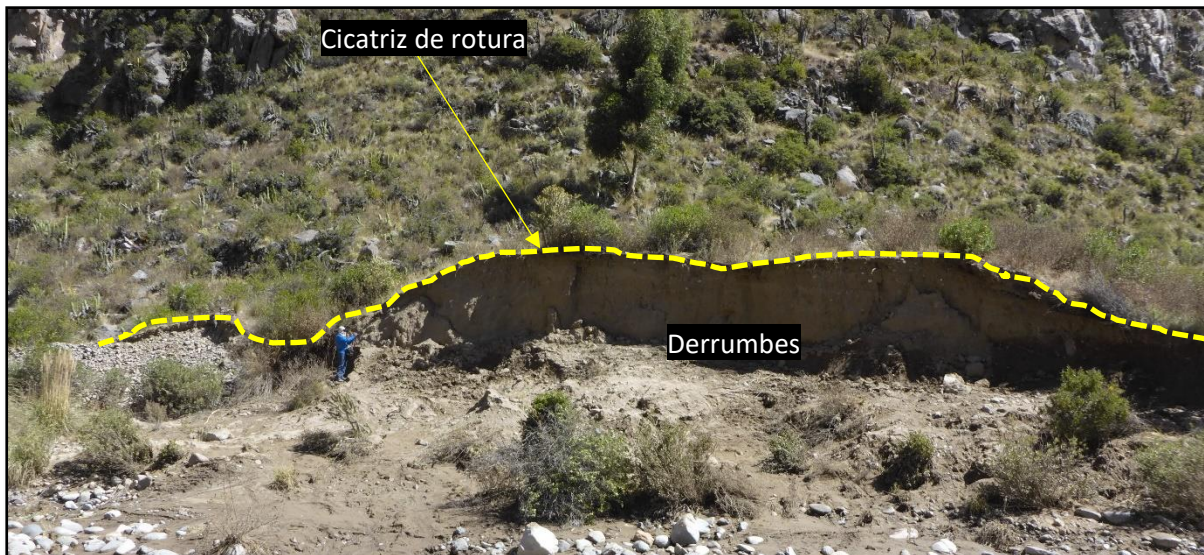


Figura 20. Derrumbe de tierra debido a la saturación de los terrenos debido al embalse del río Colca (coordenadas UTM E: 221486, N: 8270633)

4.1.3 Zona de derrumbes en el sector Munaypata

En el sector Munaypata en principal peligro geológico identificado es el derrumbe de las paredes del río Colca, debido principalmente a las pendientes escapadas y la intensa erosión fluvial del río Colca en el sector, el cual deja sin soporte los taludes (figura 21).

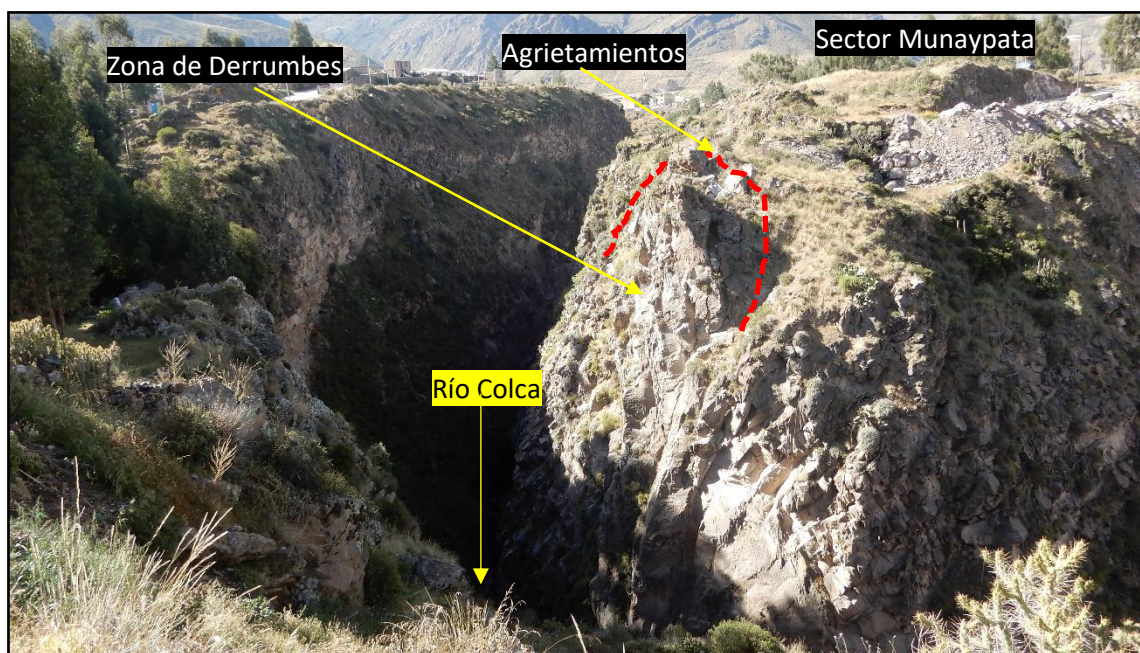


Figura 21. Zona de derrumbes de roca en el sector Munaypata (coordenadas UTM E: 220314, N: 8270026).

En Munaypata, en el punto UTM E: 220393, N: 8269972, se observó agrietamientos de hasta 25 cm, dispuestos de manera paralela al cauce del río Colca, presentan un rumbo de Norte 290° y un buzamiento de 60° hacia el Este (figuras 22 y 23). La grieta se está desarrollando en el macizo rocoso, perteneciente a la secuencia de lavas Canocota, con espesor de aproximadamente 100 m de potencia, se presenta formando disyunciones columnares, las lavas se observan moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas.



Figura 22. Agrietamiento en el sector Munaypata, (coordenadas UTM E: 220393, N: 8269972).



Figura 23. Derrumbes de roca en el sector Munaypata, (coordenadas UTM E: 220393, N: 8269972). En la figura 24, delineada de color amarillo se aprecia afloramiento de lava andesítica con disyunción columnar del sector Munaypata; además, se observa una serie de fracturas y

diaclasas en la pared expuesta por la incisión del río Colca, con línea de color rojo punteada se ha delimitado la zona susceptible a generar derrumbes de rocas (Toppling).



Figura 24. Fracturas y diaclasas en el sector Munaypata, (coordenadas UTM E: 220390, N: 8269979).

En las disyunciones columnares de la secuencia de lavas Canocota, se identificaron fracturas transversales, las cuales se evidencian desde aproximadamente 60 m desde la base del acantilado en el sector Munaypata (figura 25).

Desde aproximadamente 60 m de la base del acantilado en Munaypata, la roca con fracturada debe ser retirada previa construcción de cualquier obra de infraestructura de ingeniería en el sector.

Al momento del desquinche evitar dejar caer los bloques al cauce del río Colca, debido a que en la zona el cauce del río Colca es muy angosto, posee aproximadamente 4 m. El derrumbe de roca y la caída de bloques producto del desquinche, podrían generar un dique, lo que generaría un embalsamiento del río Colca, de esta manera se incrementarías los daño en las laderas ubicadas aguas arriba del sector Munaypata en el río Colca.



Figura 25. Zona de derrumbe (Toppling). (coordenadas UTM E: 220396, N: 8270019).

La roca presenta fracturas y diaclasas, además se observan bloques, cuyos tamaños varían entre 0.50 a 5 m de diámetro, mostrando un GSI entre 45 – 55 (Tabla N°3).

El GSI estima la reducción de la resistencia del macizo para diferentes condiciones geológicas. La caracterización del macizo rocoso es simple y está basada en la impresión visual de la estructura rocosa, en términos de bloques y de la condición superficial de las discontinuidades indicadas por la rugosidad y alteración de las juntas. La combinación de estos dos parámetros proporciona una base práctica para describir un rango amplio de tipos de macizos rocosos.





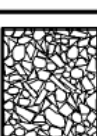

| <p>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)</p> <p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced is water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p> | | SURFACE CONDITIONS | | | | |
|---|--|---|--|---|--|--|
| | | VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces | GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces | FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces | POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments | VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings |
| STRUCTURE | | DECREASING SURFACE QUALITY → | | | | |
|  | INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities | 90 | | | N/A | N/A |
|  | BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets | 80 | 70 | | | |
|  | VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets | | 60 | 50 | | |
|  | BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity | | | 40 | 30 | |
|  | DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces | | | | 20 | |
|  | LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes | N/A | N/A | | | 10 |

Tabla 3. Caracterización del macizo rocoso GSI, basado en las condiciones litológicas, estructura y superficiales de las discontinuidades (fuente: modificado de Hoek, 2002)

4.1.1 Caída de rocas

La caída de rocas en el sector El Arenal, ocurre en los acantilados ubicados en la parte alta del canal de Coporaque; donde las pendientes son mayores a 45° (figura 26).

También se han encontrado bloques colgados, soportados por la base, los cuales podrían caer, si se les quita el soporte que actualmente tienen.



Figura 26. Se aprecian las zonas de desprendimiento de rocas, se ubican en el punto UTM: (E: 221302, N: 8270378)

4.2. Factores condicionantes

- Rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas de la secuencia volcánica Canocota, conformada por lavas andesíticas gris verdosas y vesiculares; depósitos fluviales no consolidados conformados por gravas, arenas, limos y bloques de hasta 2 m, dentro de una matriz areno-limoso y la presencia de depósitos coluviales no consolidados conformados por bloques angulosos, gravas, arenas y limos.
- La pendiente de los terrenos en los sectores El Arenal y Munaypata, el cual varía desde llano a inclinado suavemente (1° - 5°) al pie de las laderas, en los cauces del río Colca; en la parte media de la ladera en el cauce del río se presenta un cambio de pendiente a muy fuerte (25° - 45°) y pendientes escarpados ($> 45^\circ$), acantilados formados por lavas volcánicas, ubicadas en las partes altas del canal de Coporaque y en el sector Munaypata estas pendientes se observan en los acantilados formados por la incisión del río Colca.
- Saturación de los terrenos por la presencia de fracturas en el canal de Coporaque, el cual cruza en la parte alta del deslizamiento de El Arenal.

4.3. Factores desencadenantes

- Lluvias intensas prolongadas o extraordinarias (según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, el periodo de lluvia en la sierra de Perú se da en

los entre los meses de diciembre a abril), las aguas saturan los terrenos, aumentando el peso del material y las fuerzas tendentes al desplazamiento.

- Presencias de sismos en la zona andina (Tavera, 2014), los sismos se presentan de gran magnitud en las zonas de Ayacucho, Cusco, Abancay y Arequipa debido a la presencia de importantes sistemas de fallas), Los deslizamientos, derrumbes y caída de rocas son efectos secundarios que se presentan en la ocurrencia de sismos de gran magnitud.

5. CONCLUSIONES

SECTOR EL ARENAL

1. En sector El Arenal, afloran rocas de la secuencia volcánica Canocota (Qp-ca), conformada por lavas andesíticas, en disyunción columnar, se presentan moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas. También se tienen secuencias no consolidadas de depósitos aluviales, conformadas por gravas, arenas y limos en capas sub horizontales, los bloques son polilitológicos de hasta 2 m en matriz areno-lilmoso y depósitos coluviales (Qh-col) compuestos por bloques angulosos, no consolidados, son generados por la acción de la gravedad.
2. Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en el sector El Arenal comprenden deslizamientos, derrumbes y caída de rocas.
3. La infiltración de aguas a través de fracturas desde el canal de Coporaque ha saturado los terrenos en el sector El Arenal, lo que generó el deslizamiento del 9 de mayo.
4. El 9 de mayo ocurrió un deslizamiento rotacional presentó un escarpe principal de forma cóncava, con altura de 5 a 10 m, con longitud de 80 m y el desplazamiento de la masa deslizada fue de 90 m. y represó al río Colca por 5 días. Asimismo, el evento afectó un área total de 0.6 ha, al canal de agua de Coporaque en un tramo de 30 m, dejando sin agua un total de 236.4092 ha de área agrícola, pertenecientes a un total de 270 usuarios.
5. El represamiento del curso de agua en el río Colca, de acuerdo a la clasificación de Costa y Schuster (1988) se le califica de tipo VI. El desembalse se generó después de 5 días.
6. Los peligros geológicos en el sector están condicionados por las rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas; depósitos fluviales y coluviales, que son de fácil erosión.
7. Se tienen movimientos en masa antiguos, que han generado depósitos conformados por bloques, gravas, arenas y limos, no consolidados; este tipo permite la infiltración y retención del agua, por lo cual son fácilmente saturados.
8. La pendiente del terreno en el fondo del cauce del río Colca, varía de llano a inclinado suavemente (1° - 5°); en la parte media de las laderas varía a muy fuerte (25° - 45°) y escarpada ($> 45^{\circ}$), esta última forma acantilado (lavas volcánicas).
9. Por las condiciones geológicas mencionadas, al sector El Arenal se le considera como de **Peligro Alto**, se pueden presentar nuevos o reactivar deslizamientos. además, se pueden generar caída de rocas. Los eventos se pueden generar por lluvias intensas o movimientos sísmicos.

SECTOR MUNAYPATA

1. En el sector afloran rocas de la secuencia volcánica Canocota, conformada por lavas andesíticas con disyunción columnar, presentan un espesor de 100 m, se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas.

2. También afloran secuencias no consolidadas de depósitos aluviales y coluviales, los primeros conformadas por bloques, gravas, arenas y limos en capas sub horizontales, los bloques son polilitológicos de hasta 2 m. dentro de una matriz areno-lilmoso. Los segundos conformados por bloques angulosos, gravas, arenas y limos.
3. Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados comprenden derrumbes y caída de rocas. Los peligros mencionados afectarían las futuras obras de infraestructura como puentes y vías.
4. Los peligros geológicos en sector están condicionados por las rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas de la secuencia volcánica Canocota; depósitos fluviales y coluviales, que se encuentran no consolidados.
5. Los movimientos en masa antiguos en la zona han generado depósitos conformados por bloques, gravas, arenas y limos; que se encuentran no consolidados, este tipo, permite la infiltración y retención del agua, lo que permite que sean fácilmente saturados.
6. La pendiente del terreno, en el cauce del río Colca varía de llano a inclinado suavemente (1° - 5°), en la parte media de la ladera se presenta un cambio de muy fuerte (25° - 45°) a escarpada ($> 45^{\circ}$), forma acantilados.
7. Se concluye que, el sector El Arenal es considerada de **Peligro Alto**, porque puede ser afectados por derrumbes, que pueden ocurrir en la temporada de lluvias. Además, se pueden genera caída de rocas debido a movimientos sísmicos.

6. RECOMENDACIONES

1. Para el sector El Arenal, se debe impermeabilizar y reparar el canal de agua de Coporaque para evitar futuros deslizamientos a lo largo del trazo del canal de Coporaque.
2. Para el sector de Munaypata, se deben realizar trabajos de desquinche antes de ejecutar alguna obra de ingeniería en la zona, ya que en ambos márgenes del cauce del río se evidenciaron rocas fracturadas.
3. Para ambos sectores se debe sensibilizar a la población a través de talleres y charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos, para evitar construcción de viviendas o infraestructura en área susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.

BIBLIOGRAFÍA

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.

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

Evans, S. G., y Hungr, O., (1993). The análisis of rock fall hazard at the base of talus slope: Canadian Geotechnical Journal, v. 30p.

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.

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

Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

WILSON, J.J. & GARCÍA, W. (1962) - Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca. Com. Carta Geol. Nac., Boletín, 4, 81 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/114>

Zavala, B. (2017). Geodiversidad y Patrimonio Geológico en la subcuenca Cotahuasi. Ingemmet, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

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 27), 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.

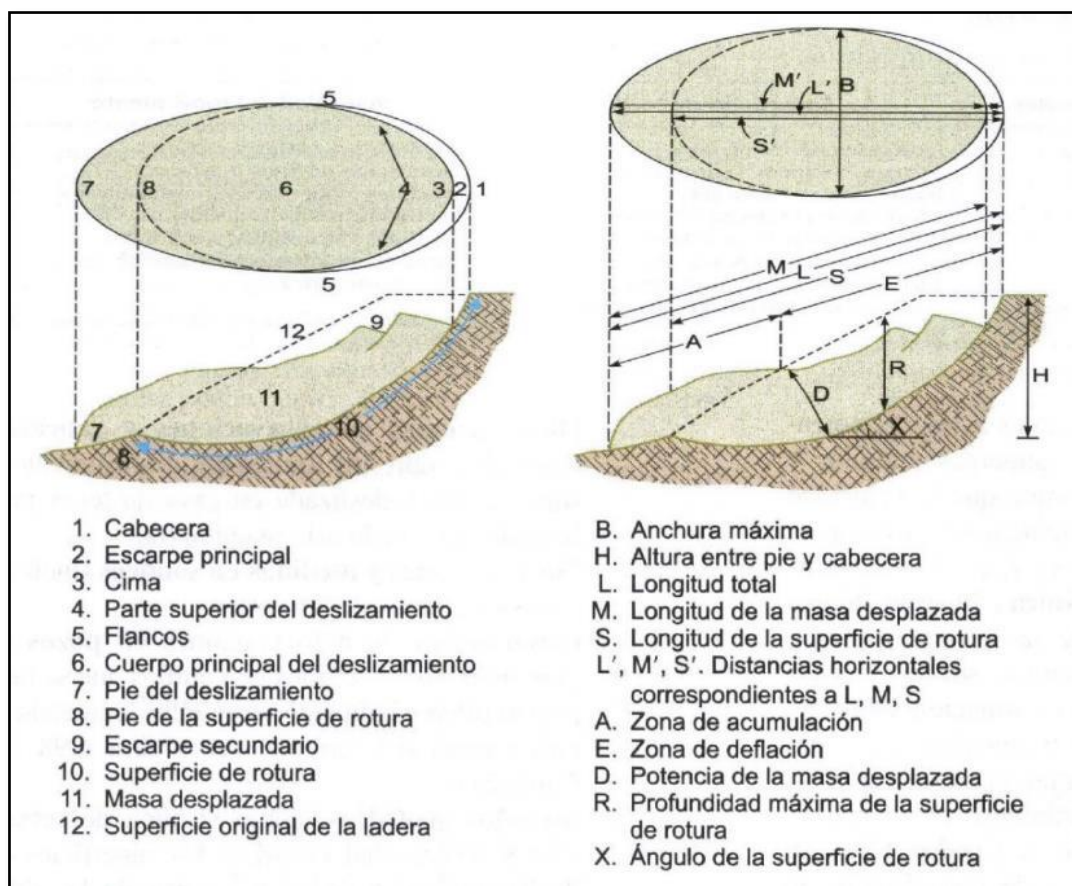


Figura 27. Elementos morfológicos y morfométricos de un deslizamiento, tomado de González de Vallejo., (2002).

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 28 y 29). 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.

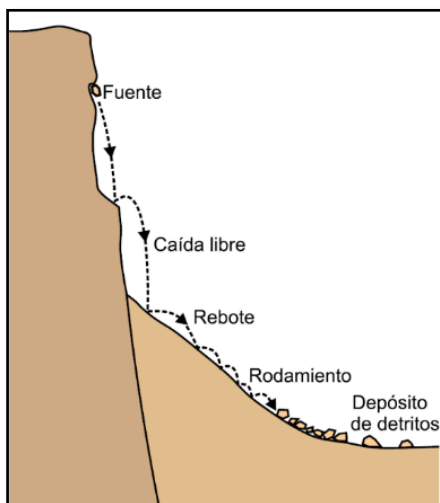


Figura 28. Esquema de la caída de rocas

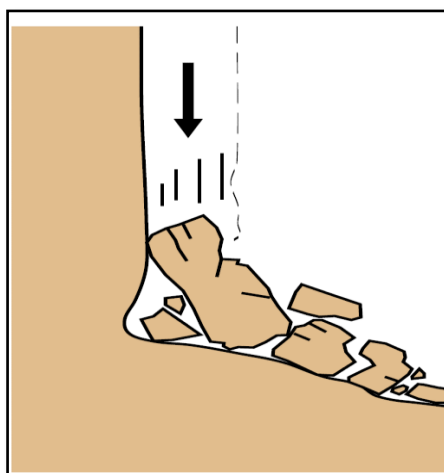


Figura 29. Esquema de Corominas y Yague (1997) denominan a este movimiento “colapso”.

Represamiento

Este aspecto se refiere a represamientos de cursos de agua. El tipo de represamiento, según la clasificación de Costa y Schuster (1988) que se ilustra en la (figura 30).

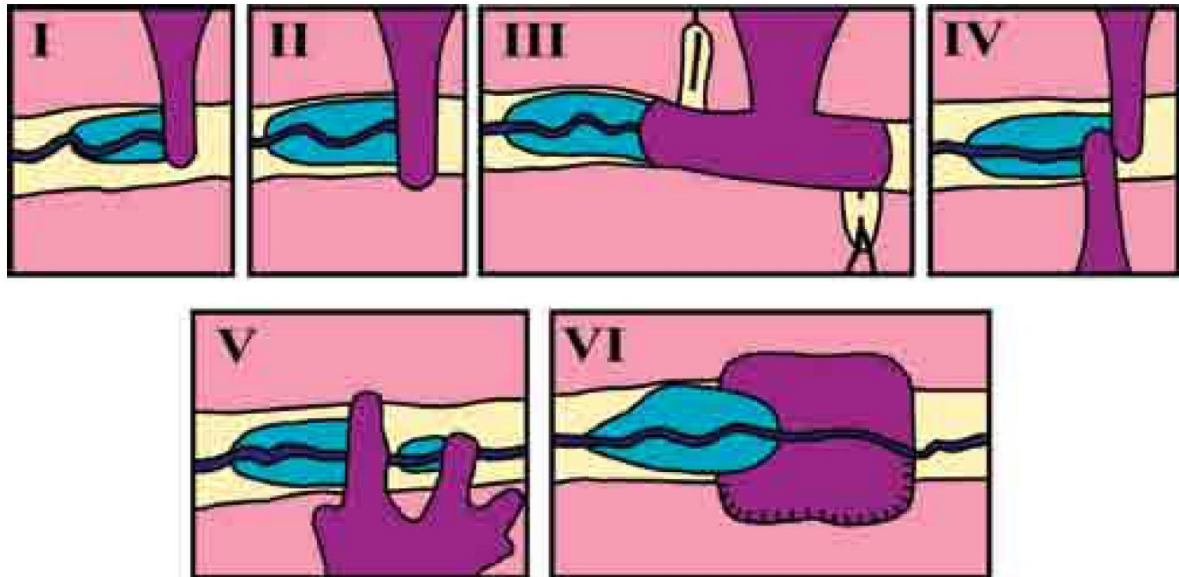


Figura 30. Tipos de represamiento según la clasificación de Costa y Schuster (1988).