

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7179

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR DE COLIHUIRI Y CUCHO ASTANA

Departamento Arequipa
Provincia Caylloma
Distrito Tisco



SETIEMBRE
2021

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR DE COLIHUIRI Y CUCHO ASTANA

Distrito de Tisco, provincia de Caylloma, departamento Arequipa.

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

Equipo de investigación:

Hammer Ojeda Chulla

Yhon Soncco

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). "Evaluación de peligros geológicos en el sector de Colihuri y Cucho Astana, Distrito de Tisco, Provincia de Caylloma, Departamento de Arequipa, informe técnico A7179, INGEMMET.

INDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Objetivos del estudio	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	2
1.3. Aspectos generales	3
1.3.1. Ubicación.....	3
1.3.2. Accesibilidad	4
1.3.3. Clima.....	4
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	5
2.1. Unidades litoestratigráficas	5
2.1.1. Complejo Volcánico Cotacota (Oligoceno superior)	5
2.1.2. Complejo Volcánico Cailloma (Plioceno).....	6
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	7
3.1. Pendientes del terreno.....	7
3.2. Unidades geomorfológicas.....	8
3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional	8
3.2.2. Geoformas de carácter tectónico depositacional y agradacional	8
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	9
4.1 Peligros geológicos por movimientos en masa.....	9
4.1.1. Deslizamiento	10
4.1.2. Caída de rocas	13
4.1.3. Flujo de tierra	14
4.1.4. Erosión por Cárcavas.....	15
4.2 Factores condicionantes.....	16
4.3 Factores detonantes o desencadenantes.....	16
5. RECOMENDACIONES	18
6. BIBLIOGRAFÍA.....	19
ANEXO 1: MAPAS	20
ANEXO 2: GLOSARIO.....	25

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros, realizados en el sector de Colihuri y Cucho Astana, que pertenece a la jurisdicción distrital de Tisco, provincia de Caylloma, departamento de 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 actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona corresponden a secuencias de depósitos volcánicos Cotacota y Cailloma, la primera compuesta por flujos piroclásticos de ceniza ricos en cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita en un 20%, y depósitos color marrón rojizo de flujos piroclásticos ricos en líticos; contiene líticos escoriaáceos oxidados en un 15%. La segunda compuesta por flujos piroclásticos de pómez y cenizas color gris blanquecino, contiene hasta 25 % de cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, además de pómez fibrosos y fragmentos líticos afaníticos y oxidados. Estas unidades se encuentran muy fracturadas y altamente meteorizadas. se hallan Parcialmente cubiertas por depósitos coluviales compuesto por gravas y arenas (diámetros que varían de 0.01 a 0,5 m) inmersos en una matriz limo-arcillosa suelta.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional (montañas en rocas volcánicas) y de carácter depositacional y agradacional, que configuran piedemonte (vertiente glacio-fluvial y vertiente con depósitos de coluvio-deluvial).

En el sector de Colihuri y Cucho Astana se identificó un deslizamiento rotacional antiguo reactivado, , este presenta un escarpe principal de 200 m y salto vertical promedio 1.5 m, la masa deslizada presenta una longitud de 680 m y ancho promedio de 320 m. La diferencia de alturas entre la corona y el pie de deslizamiento es 90 m y ocupa un área de 0.27 km². Este evento afectó 5 viviendas rústicas (solamente la habitan de enero a mayo) y zonas de pastoreo

La ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa en la zona evaluada está condicionada principalmente por el factor litológico (rocas muy meteorizadas y altamente fracturadas) e hidrogeológico (presencia de napa saturada). Los factores desencadenantes corresponden a lluvias intensas y/o prolongadas.

Se concluye que el área de estudio es considerada de **peligro muy alto** a la ocurrencia de deslizamientos, el mismo que actualmente presenta un vector de movimiento mínimo, pero en épocas de lluvias (octubre – marzo) podría tener un movimiento más rápido.

Finalmente, se brinda recomendaciones que se consideran importante que las autoridades competentes pongan en práctica, como el estudio hidrogeológico, así como un monitoreo de movimientos en masa con el objetivo de conocer la velocidad de desplazamiento del deslizamiento.

1. INTRODUCCIÓN

El INGEMMET, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la municipalidad provincial de Caylloma, según Oficio N°185-2021-MPC-CHIVAY-A, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de los eventos de tipo deslizamiento, caída, flujo de lodo y erosión por cárcavas, ocurridos en el sector de Colihui y Cucho Astana que afectó zonas de pastoreo y algunas viviendas.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los ingenieros, Hammer Ojeda y Yhon Soncco, especialistas en la materia para realizar trabajos de evaluación de peligros geológicos en los sectores antes mencionados, los cuales se llevaron a cabo los días 4 y 5 de mayo del presente año, previa coordinación con funcionarios y autoridades de la Municipalidad de provincial de Caylloma locales.

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 de la Municipalidad Provincial 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, clasificar y caracterizar los peligros geológicos que se presentan en el sector de Colihui y Cucho Astana, los cuales podrían comprometer la seguridad física de personas ubicadas en la zona de influencia de los eventos.”
- b) Sugerir medidas preventivas y de mitigación en las áreas cartografiadas de alto peligro.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

En la zona de Colihui y Cucho Astana no se tiene registro de estudios de movimientos en masa en los últimos años, sin embargo, podemos mencionar como antecedentes y trabajos anteriores:

- A) Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa generado por el Ingemmet (<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>), demuestra un peligro medio a alto en el sector Colihuiri y Cucho Astana.
- B) Boletín N° 143, Seria A, Geología del Cuadrángulo de Condoroma, Hoja 31-t, describe a nivel regional unidades geomorfológicas o morfoestructurales: Alto Condoroma-Cailloma donde se observa afloramientos amplios de rocas volcánicas cenozoicas; la geología aflorante de la zona de trabajo corresponde 2 eventos volcánicos: Complejos: volcánico Cotacota (Oligoceno Superior) y complejo volcánico Cailloma (Plioceno).
- C) Boletín N° 57, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Estudio Geoambiental en la Cuenca del Río Colca” (2014). Describe la morfología del valle del Colca, donde diferencian dos grandes grupos de unidades de relieve: a) Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional y b) Geoformas de carácter deposicional. Las geoformas individuales se agrupan en función a su altura relativa y pendiente: 1) montañas, colinas y lomeríos, 2) piedemontes y 3) planicies. Todos ellos ligados a procesos sismo-tectónicos, volcánicos, gravitacionales, deposicionales y erosivos, ocurridos a lo largo de su historia geológica, así también hace mención de la distribución y tipología de los movimientos en masa en los cuales determina que entre Tisco y Cotacota se reconocieron avalanchas de rocas, derrumbes y reptaciones, determinando que las condiciones del terreno son favorables para generar movimientos en masa en la zona de Tisco, clasificando la zona a susceptibilidad Alta a movimientos en masa.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada se ubica aproximadamente a 7 Km al Este del centro poblado de Tisco, el cual pertenece al distrito de Tisco, provincia de Caylloma, región de Arequipa (figura 01), en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 19S) siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM - WGS84 - Zona 19L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	245946	8313869	- 15°14'20.12"	-71°21'54.70"
2	247174	8313844	-15°14'21.37"	- 71°21'13.57"
3	245881	8312661	-15°14'59.38"	71°21'57.31"
4	247117	8312597	15°15'1.90"	- 71°21'15.93"
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	246471	8313417	- 15°14'35.00"	- 71°21'37.27"

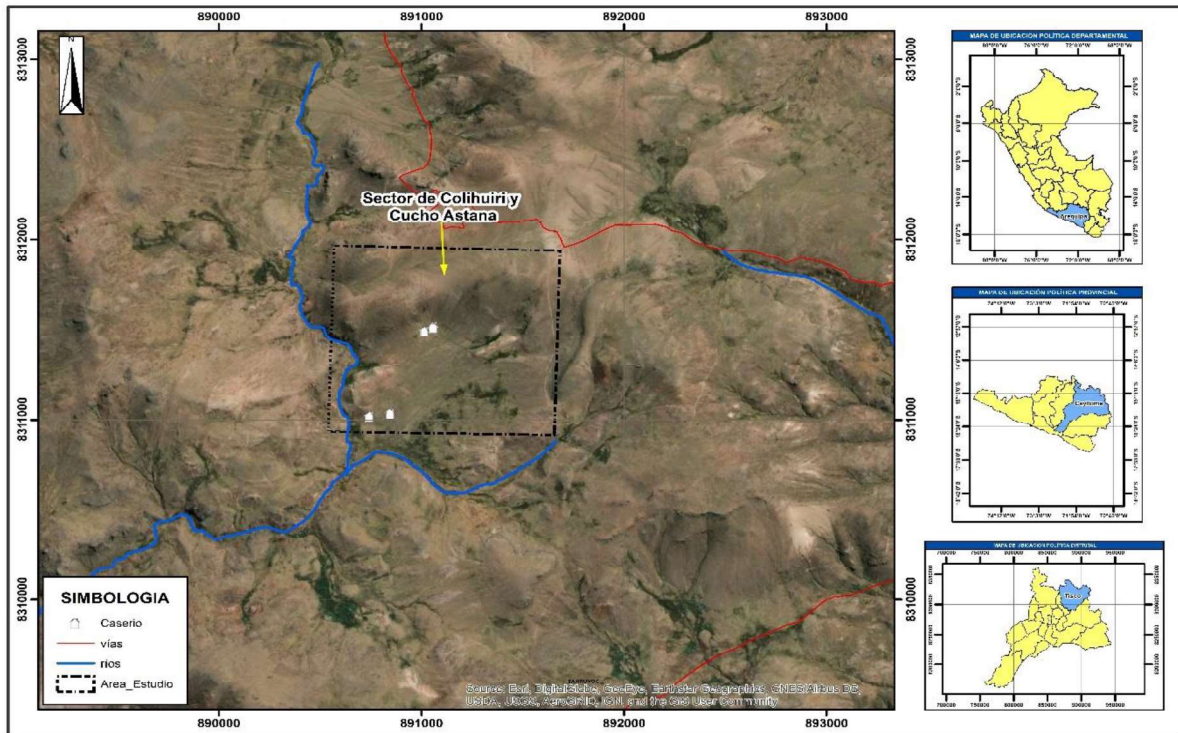


Figura 01. Mapa de ubicación.

1.3.2. Accesibilidad

Para acceder al Sector de Colihuiri y Cucho Astana desde Arequipa, se toma la vía asfaltada Arequipa – Chivay – Tuti – Tisco – sector Culihuiri y Cucho Astana (Cuadro 02)

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Arequipa - Chivay	Asfaltada	163	3 horas
Chivay - Tuti... "	Asfaltada	19.1	25 minutos
Tuti – Tisco – Sector Colihuiri y Cucho Astana	Asfaltada – trocha Carrozable	65	3 horas y 20 min

1.3.3. Clima

Para el análisis de elementos meteorológicos se cuenta con información de estaciones climatológicas de la cuenca del Colca, de acuerdo con Zavala et al., (2019) las cuales indican una precipitación media anual para el sector de Tisco 674.4 mm, en la provincia Caylloma, las temperaturas máximas varían entre 20 °C a 12 °C, y las mínimas entre 0 °C y -15 °C; en ocasiones, pueden descender hasta -20 °C en las localidades sobre los 4500 m.s.n.m. El brillo solar es permanente de abril a diciembre, durante el otoño e invierno

suelen presentarse vientos fuertes. Por las noches, las temperaturas de congelación en las estaciones de otoño e invierno ocurren todas las noches Cuba et al., (2004).

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base la revisión del cuadrángulo a escala 1/50 000 de Condorama 31-tIII (Cerpa et al., 2011), en el cual afloran los centros volcánicos Cotacota (Oligoceno superior) y Cailloma (Plioceno), y por último depósitos cuaternarios (fluvioglacial y coluvial).

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona inspeccionada y alrededores son de origen volcánicos denominados Cotacota (Oligoceno superior) y Volcánico Cailloma (Plioceno) (figura 02).

2.1.1. Complejo Volcánico Cotacota (Oligoceno superior)

De acuerdo a los trabajos realizados por Cerpa et al., (2011) este complejo volcánico aflora a 2 km al este del pueblo del mismo nombre, entre los cerros Quimsachata y Pucará. Litológicamente este compuesto por Intercalaciones de depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas; y de depósitos de flujos piroclásticos de ceniza rico en líticos; depósitos de flujos de lava, estratificados y de 80 m de espesor. Este afloramiento se encuentra muy meteorizado y altamente fracturado.

De la descripción macroscópica de muestra de mano tomada en campo, se observa roca de flujo lávico de composición riolítica de textura fanerítica ricos en cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, envueltas en una pasta rojiza, se observa también líticos oxidados (fig. 02).

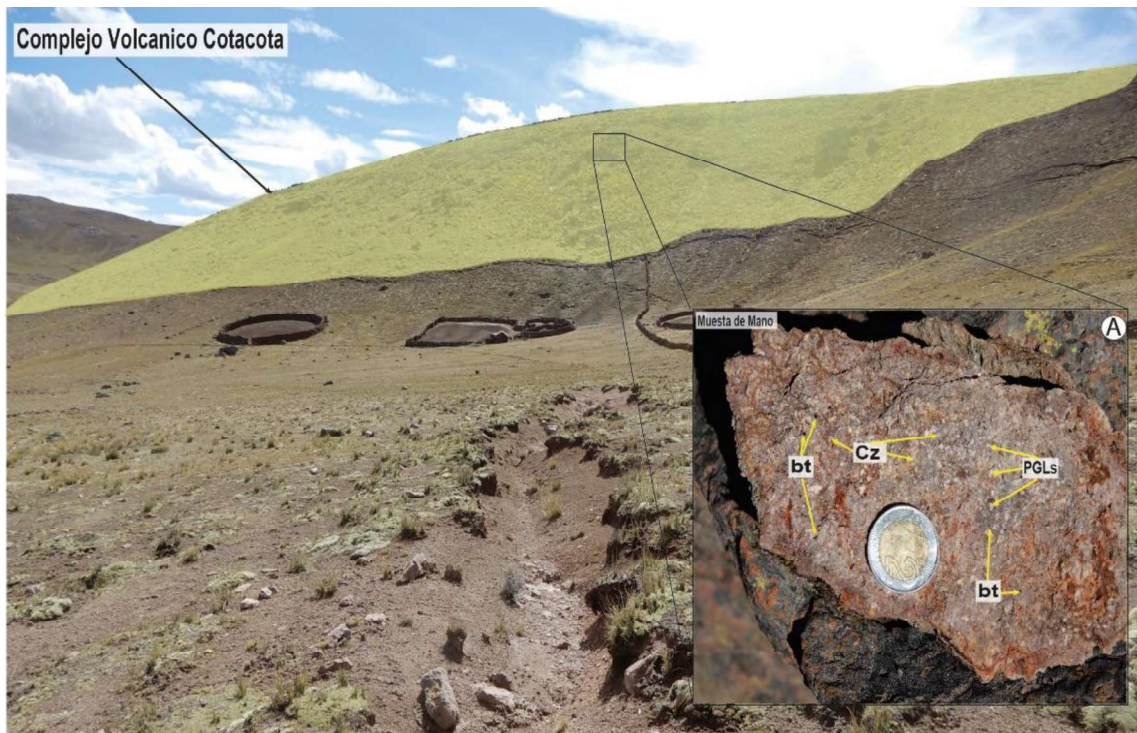


Figura 02. Afloramiento de Complejo Volcánico de Cotacota, A) Muestra de mano de flujo de lava de composición riolítica donde se observa la presencia de cuarzo, plagioclasa, biotita. Ubicación: Sector Colihuirí (UTM: 246308E, 8313454N, 19L).

2.1.2. Complejo Volcánico Cailloma (Plioceno)

Según Cerpa et al., (2011) este centro de emisión está ubicado a 10 km al sureste de Cailloma, está conformado por flujos piroclásticos de pómez y cenizas de color gris blanquecino, contiene hasta 25 % de cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, además de pómez fibrosos y fragmentos líticos afaníticos y oxidados. Conforman un espesor de 80 m. este afloramiento se encuentra muy meteorizado y moderadamente fracturado.

En campo se observó una muestra de flujo lávico de composición riolítica de color gris blanquecino de textura fanerítica, contiene cristales de cuarzo, plagioclasa y biotita, así también se visualiza fragmentos líticos sub angulosos color marrón (figura 03).

Depósitos Fluvioglaciares (Qh-fg)

En el sector Colihuirí y Cucho Astana estos depósitos se encuentran en los cauces de depósitos fluviales, los mismos que transportan materiales sueltos de diversos tamaños no consolidados de la parte alta glaciar de Tisco.

Depósitos Coluviales (Qh-co)

Estos depósitos son producto de la acumulación intercalada de materiales provenientes de las laderas de montaña, litológicamente está compuesto por cantos rodados provenientes

de las laderas por acción de la gravedad y agua. Estas zonas están conformados bloques de formas angulosos a subangulosos, en matriz limo – arcilloso.

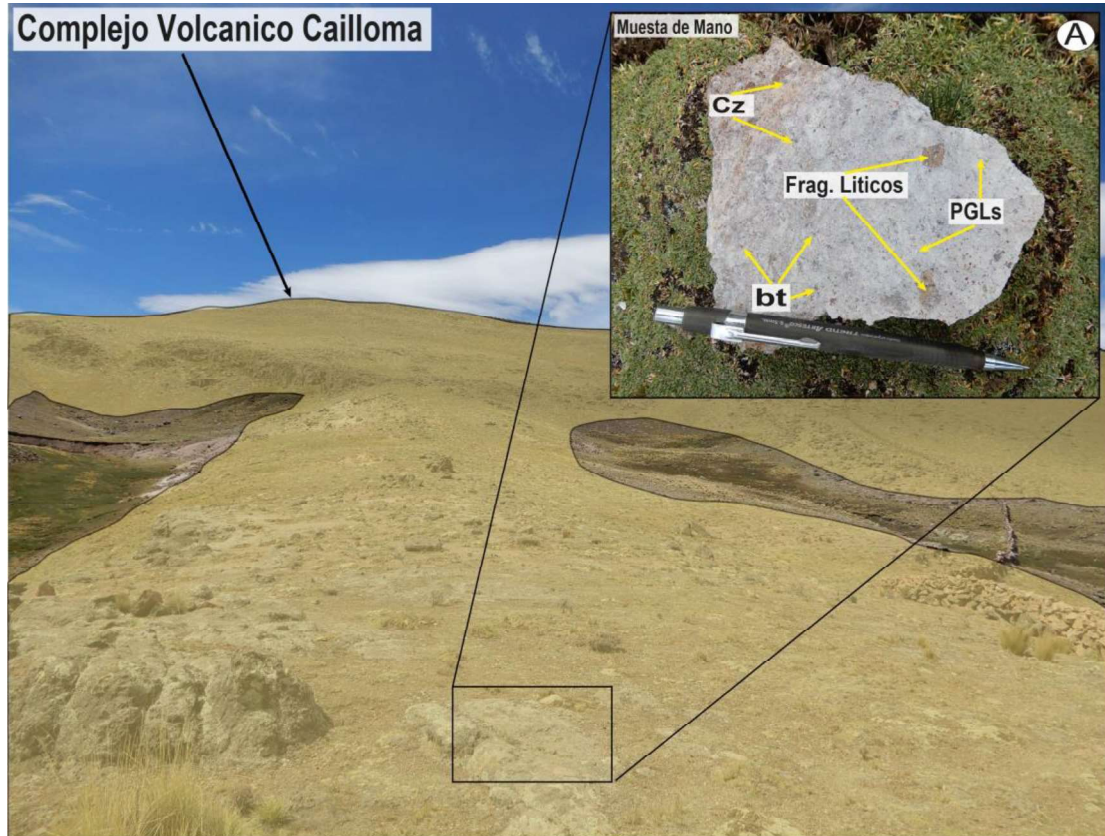


Figura 3. Afloramiento de complejo volcánico de Cailloma, A) Muestra de mano donde se observa presencia de cuarzo, plagioclasa y biótica y la presencia de fragmentos líticos. Ubicación Sector Tiamocco (UTM: 246684 E, 8313266 N, 19L).

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

La pendiente es uno de los principales factores dinámicos 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)

Los rangos de pendiente en la zona inspeccionada van de rangos de terrenos llanos a inclinados moderadamente (1° - 15°) correspondiente a la planicie coluvio-deluvial, con un cambio progresivo a pendiente muy fuerte escarpado (25° – 45°) en la base y zona media

del sector estudiado, hacia las laderas y parte alta de la montaña se observa una pendiente muy fuerte a escarpada ($>45^\circ$).

3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vilchez et al, 2019).

El sector de Colihuiri y Cucho Astana corresponden a una zona de predominancia de relieves de origen volcánico, los mismos que están por encima de los 4000 m s.n.m. con unidades de montañas en rocas volcánicas de carácter tectónico degradacional así también se observa vertientes glacio-fluviales y vertiente o piedemonte coluvio-deluvial de carácter deposicional.

3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes:

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 de montañas

Geoformas que alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto del nivel de base local, donde se reconocen cumbres y estribaciones cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semiredondeada, redondeada o tabular, producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza.

Sub Unidad de montañas en rocas volcánicas (RM-rv): Dentro de esta subunidad se consideran relieves de montañas modelados sobre afloramientos de rocas volcánicas; litológicamente corresponde a complejos volcánicos de Cotacota y Cailloma. Sus altitudes alcanzan los 5400 m s.n.m y algunas cumbres se encuentran cubiertas por cobertura glaciar. Presentan laderas con pendientes medias a fuertes.

3.2.2. Geoformas de carácter tectónico deposicional y agradacional

Están representadas por formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores aquí se tiene:

3.2.2.1. Unidad de Piedemonte

Corresponde a la zona de transición entre las zonas elevadas, donde la erosión es el proceso dominante y áreas bajo relieve en las que imperan el transporte y la sedimentación.

Sub unidad Vertiente glacio-fluvial (V-gfl)

Subunidad geomorfológica formada por la acumulación de materiales de origen glaciar, los cuales han sido transportados y redepositados por escorrentías formadas por el deshielo del glaciar o por precipitaciones pluviales que se concentran; forman cursos de agua y transportan los materiales sueltos.

En el sector Colihuri y Cucho Astana estos depósitos se encuentran en los cauces de depósitos fluviales, los mismos que transportan materiales sueltos de diversos tamaños no consolidados de la parte alta glaciar de Tisco.

Sub unidad Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)

Unidad formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial; se encuentran interestratificados y no es posible separarlos como unidades individuales. Estos se encuentran acumulados al pie de laderas de montañas.

En el sector de estudio se observa cantos rodados provenientes de las laderas por acción de la gravedad y agua. Estas zonas están conformados bloques de formas angulosos a subanguloso, en matriz limo – arcilloso (figura 06).

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamiento, derrumbes, caída de rocas, flujo de tierra, además de proceso de erosión de ladera (cárcavas) y erosión fluvial (PMA: GCA, 2007).

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 (PMA: GCA, 2007)

Durante los últimos años, las lluvias periódicas sumado a la infiltración producida por surgencias en la parte alta del deslizamiento, desencadenaron procesos geodinámicos como deslizamientos, flujo de tierra, como también procesos de erosión en cárcavas.

En la zona de estudio se han identificado y caracterizado los siguientes peligros geológicos:

4.1.1. Deslizamiento

El sector de Colihuiri y Cucho Astana actualmente presenta un movimiento en masa antiguo en proceso de reactivación, sin embargo, durante los 2 últimos años tuvo un mayor desplazamiento con respecto a años anteriores, esto se puede corroborar por las imágenes multitemporales del Google Earth así también por las narraciones de los pobladores.

El escarpe principal tiene forma semicircular (deslizamiento rotacional) con una longitud de 200 m, la distancia de la corona al pie del deslizamiento es 690 m (figura 04, 05). la diferencia de alturas entre la corona y el pie de deslizamiento es 90 m, este deslizamiento ocupa un área de 0.27 km².

Se tienen las siguientes características:

- El escarpe de la reactivación presenta saltos entre 0.15 y 1.5 metros de altura (figura 06),
- Hacia el flanco derecho del deslizamiento, por la parte posterior, se evidencian agrietamientos del terreno que van desde los 0.1 a 0.3 m
- En la corona y flanco izquierdo del deslizamiento se evidencia mayor desplazamiento, 0.55 hasta los 5 m (figura 07), con aperturas que van desde algunos centímetros hasta 1 m con profundidades de 2 m
- Los agrietamientos están siguiendo la misma dirección de escarpe principal.
- Surgencias de agua en la parte alta del flanco izquierdo del deslizamiento, que recorre varios metros y nuevamente se vuelve infiltrar
- En el pie del deslizamiento se tiene otro afloramiento de agua, el caudal calculado por el método de flotadores, es 2.6 l/s. (figura 08)

Este deslizamiento afectó 4 viviendas rústicas (cabañas), los mismos que son habitados en épocas de enero a mayo, en alguna de ellas se evidencia grietas en los muros de piedra de aproximadamente 0 a 5 cm (figura 07).

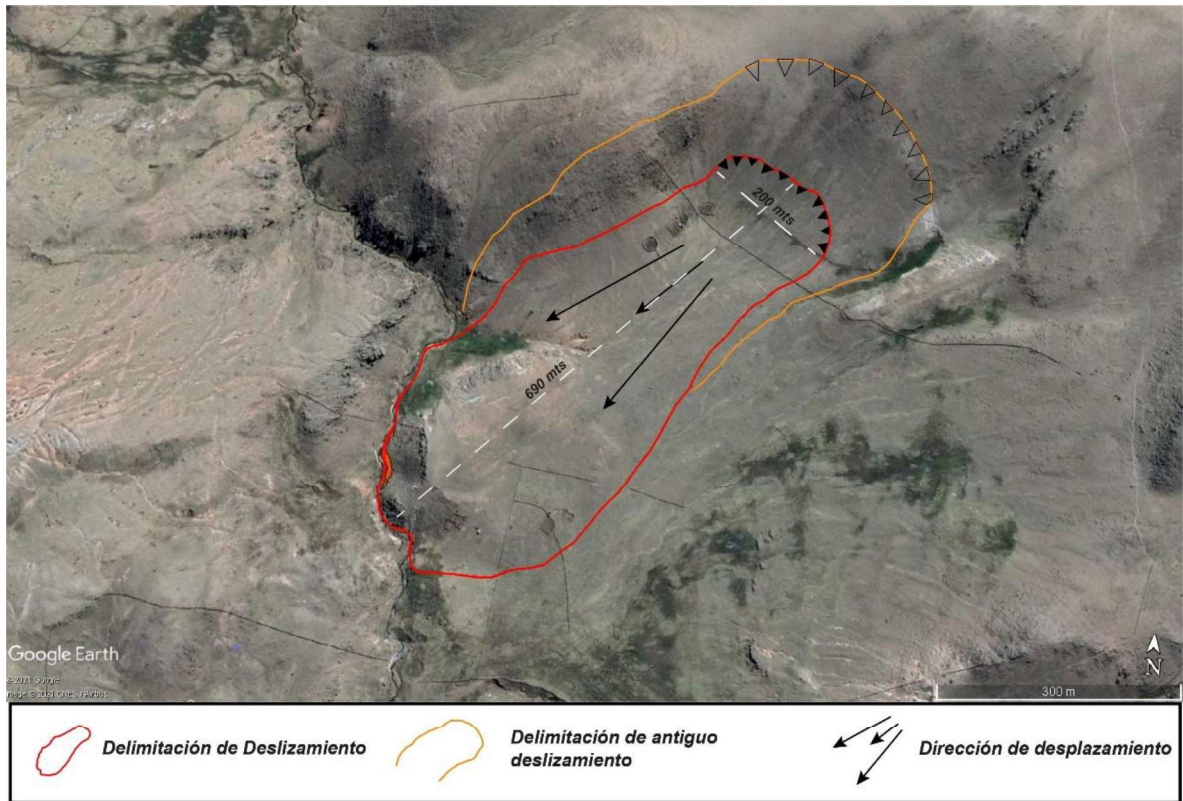


Figura 04. Imagen Satelital (Google Earht), líneas color rojo se logra observar la delimitación del deslizamiento, con línea anaranjada el escarpe antiguo del deslizamiento, líneas negras indican la dirección de desplazamiento.

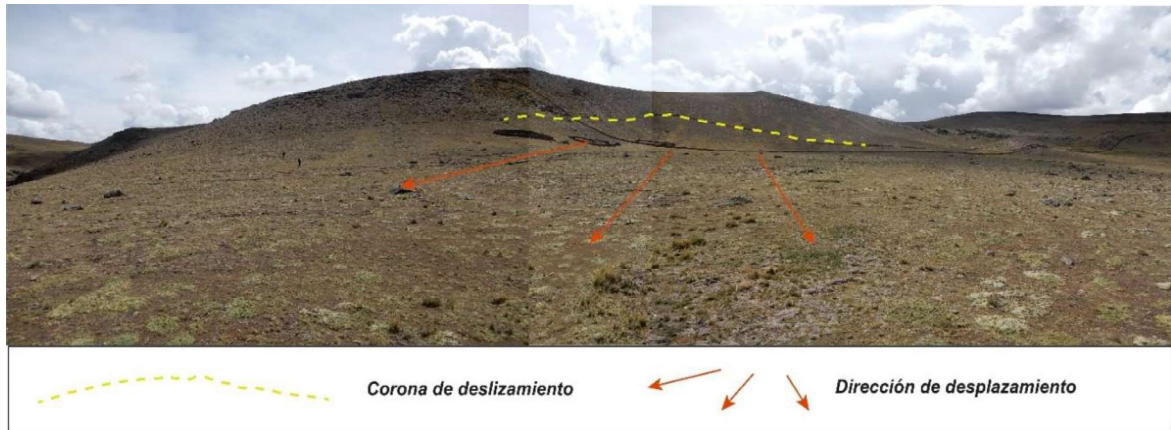


Figura 05. En la figura se puede observar la corona del deslizamiento con líneas amarillas entrecortadas, líneas anaranjadas la dirección del desplazamiento. Ubicación cuerpo del deslizamiento (UTM: 246401 E, 8313279 N, 19L).

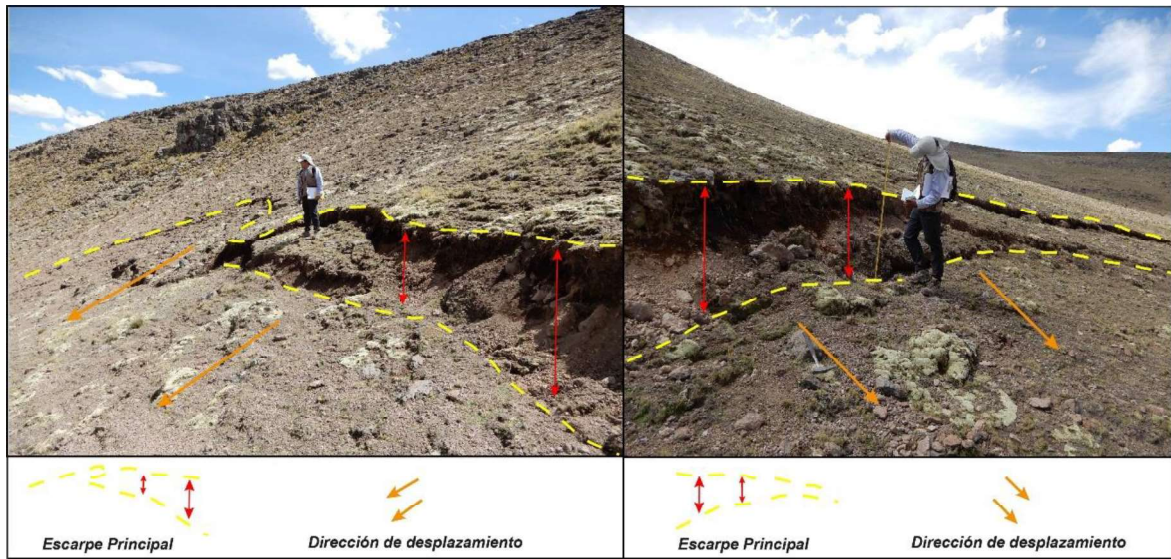


Figura 06. Con líneas amarillas entrecortadas de observa el escarpe principal (1,5 m), líneas rojas indicando la dirección de desplazamiento. Ubicación corona de reactivación del deslizamiento (UTM: 246574 E, 8313459 N, 19L).

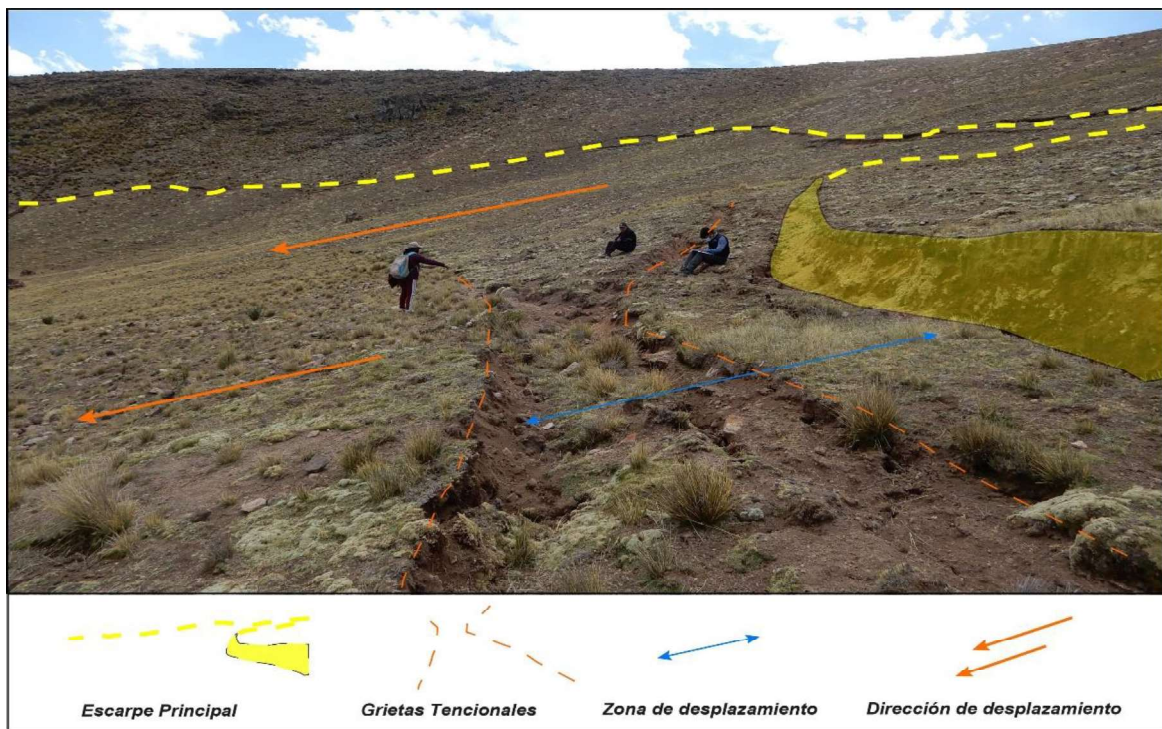


Figura 07. Escarpe principal con líneas de color amarillo, grietas tensionales con color anaranjado, zona de desplazamiento representada por el color celeste y dirección de desplazamiento líneas de color anaranjados. Ubicación corona y flanco izquierdo del deslizamiento (UTM: 246634 E, 8313385 N, 19L).



Figura 08. A) Se muestra el caudal de la quebrada. B) Se ha delimitado el área de inundación y canal rustico. Ubicación flanco izquierda del deslizamiento (UTM: 246651 E, 8313330 N, 19L). C y D)) claramente se observa grietas en las viviendas rusticas. Ubicación: cuerpo de deslizamiento (UTM: 246416 E, 8313384 N, 19L).

4.1.2. Caída de rocas

Este tipo de movimiento de masa en el sector de Colihuiri y Cucho Astana está ubicado en las laderas del flanco derecho del deslizamiento. Se produce por la disgregación de la roca fracturada y la pendiente favorable en las laderas (15° a $>45^\circ$), así mismo se evidencia bloques que van desde algunos centímetros hasta los 5 metros (figura 09).

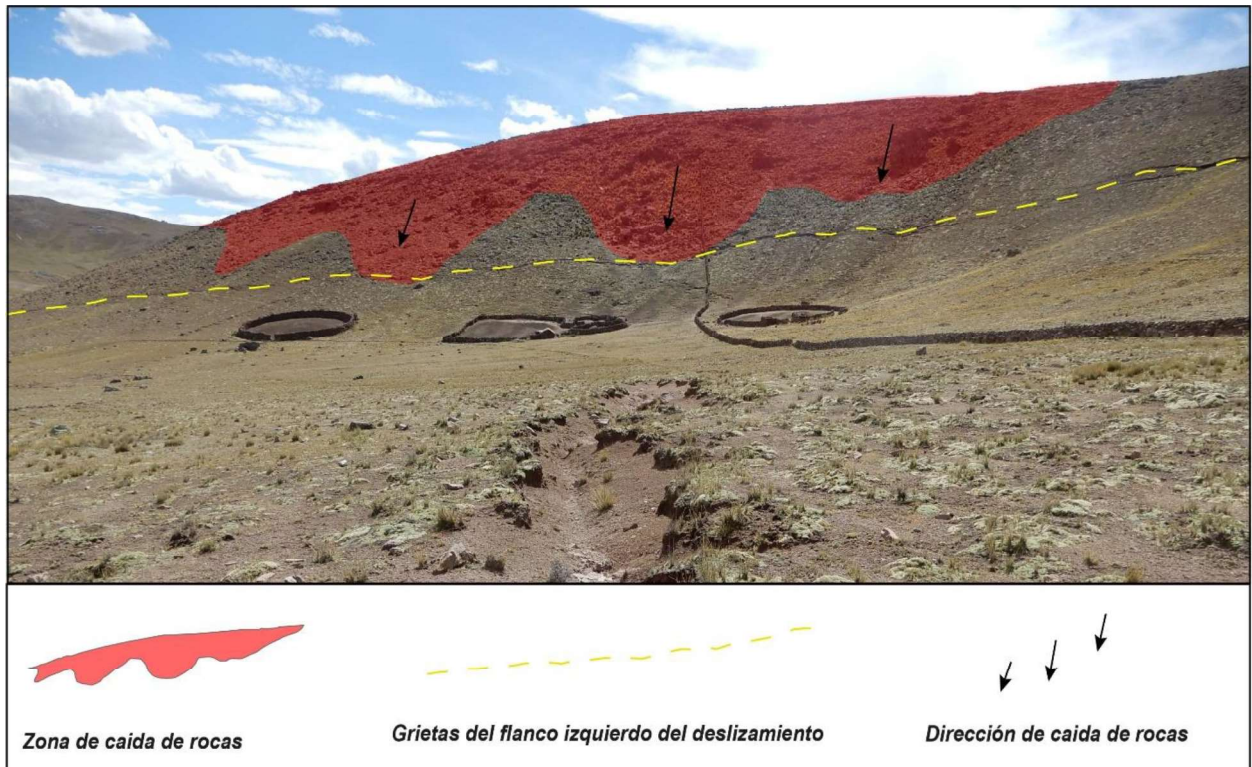


Figura 09. Zona de caída de rocas ubicados en el escarpe antiguo del deslizamiento. Ubicación ladera y flanco derecho del deslizamiento (UTM: 246304 E, 8313432 N, 19L).

4.1.3. Flujo de tierra

Es un movimiento intermitente, rápido o lento de suelo arcilloso plástico (Hungry et al., 2001). Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas, con frecuencia de centímetros por año, sin embargo, pueden alcanzar valores hasta de metros por minuto (Hutvkinson, 1998). El volumen de tierra puede llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos.

Este tipo de movimiento se logra visualizar en la parte alta (margen izquierda de corona de deslizamiento), el cual presenta un punto de arranque de 4 a 5 metros de largo y 1 a 1.5 m de desnivel. Este evento es generado por la surgencia de aguas que afloran alrededor, los mimos que sobresaturan el terreno (grava limo-arcilloso (figura 10).



Figura 10. Zona de flujo de lodo. Ubicación (UTM: 246787 E, 8313379 N, 19L)

4.1.4. Erosión por Cárcavas

Este tipo de erosión en cárcavas se observa en la parte baja del cuerpo principal de deslizamiento, se presenta con anchos máximos de 2 m y profundidades de 2 m, el material erosionado aporta material suelto al pie del deslizamiento que por lo pronto no contribuye a generar un peligro geológico (figura 11).



Figura 11. Zona de erosión por cárcavas. Ubicado entre el cuerpo y pie deslizamiento (UTM: 246011 E, 8313000 N, 19L)

4.2. Factores condicionantes

Las causas principales para la ocurrencia de movimientos en masa en el sector Colohuiri y Cucho Astana están relacionados a lo siguiente:

Factor hidrogeológico

- Presencia de surgencias de agua en la parte alta del deslizamiento con caudales de 2.6 l/s, los mismos que se infiltran en su totalidad en dirección al actual cuerpo de deslizamiento
- Afloramiento de agua en el pie del deslizamiento.

Factor geomorfológico

- La zona afectada presenta pendientes que van desde los $\leq 5^\circ$ en la parte baja o cuerpo de deslizamiento hasta $>45^\circ$ en las laderas del sector, esto permite que el material suelto se erosione y se produzca un desplazamiento por efectos de la gravedad y/o acción de las aguas de escorrentía.

Factor litológico

- Rocas altamente meteorizadas y muy fracturadas.
- La presencia de suelo inconsolidado (gravas limo-arcillosas) adosados en las laderas y partes llanas de la zona, que son de fácil remoción ante sobresaturación de suelo y lluvias intensas.

Factor antrópico

- Los moradores de la zona, con la necesidad de poder abastecerse de agua realizaron canales rústicos, no cuentan con revestimiento, lo que genera fugas de agua, esto contribuye a la sobresaturación del terreno.

4.3. Factores detonantes o desencadenantes

- Por la altura y la zona geográfica en donde se ubica el sector Colihuiri y Cucho Astana, donde se generan lluvias periódicas que ayudan a la sobresaturación del terreno.
- De generarse un sismo de gran intensidad, también activara el deslizamiento.

5.CONCLUSIONES

- a) En el sector Colihuiri se ha identificado movimientos en masa, como deslizamientos, caída de rocas, flujo de lodo y erosión por cárcavas, que se activan en tiempo de lluvias.
- b) Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona corresponden a secuencias de depósitos volcánicos Cotacota y Cailloma compuestos por flujos piroclásticos de pómez y cenizas volcánicas. estas unidades se encuentran muy fracturadas y altamente meteorizadas, así también se hallan parcialmente cubierto por depósitos cuaternarios coluviales compuesto por gravas y arenas (diámetros que varían de 0.01 a 0,5 m) inmersos en una matriz limo-arcillosa que son de fácil erosión.
- c) El flanco izquierdo y la escarpa principal del deslizamiento, presentan mayor desplazamiento (0.55 a 5 m); por otro lado, en el izquierdo se puede evidenciar grietas tensionales paralelos al escarpe principal, con aberturas que van desde centímetros a 1 m y profundidades visibles hasta de 2 m. Este deslizamiento se encuentra activo.
- d) En la parte superior del deslizamiento se tiene una surgencia de agua, con un caudal de 2.6 l/s, la cual recorre algunos metros y nuevamente se infiltra en el cuerpo del deslizamiento. Esto contribuye con la saturación del terreno.
- e) Los agrietamientos que se encuentran en la parte posterior del escarpe principal y lateral indican que el deslizamiento tiene un avance retrogresivo, por lo tanto, las viviendas que se encuentran en la parte superior pueden ser afectadas.
- f) La ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa, está condicionada por los siguientes factores:
 - Suelos inconsolidados, provenientes de antiguos movimientos en masa, que permite la infiltración y retención del agua.
 - Sobresaturación del terreno por surgencias y lluvias periódicas de la zona.
 - Pendiente del terreno, que va desde los $\leq 5^\circ$ hasta $>45^\circ$, esto permite que el material suelto dispuesto en la ladera, se movilice cuesta abajo por efectos de la gravedad y/o acción del agua de escorrentía.
- g) Los factores considerados como detonantes son: lluvias intensas y/o prolongadas, también hay que considerar los sismos.
- h) El área de estudio es considerada de **peligro muy alto** a la ocurrencia de deslizamientos, el mismo que actualmente presenta un vector de movimiento mínimo, pero en épocas de lluvias (octubre – marzo) podría tener un movimiento más rápido

6.RECOMENDACIONES

- a) Realizar un drenaje de los afloramientos de agua a través de tuberías flexibles (mangueras) o tuberías PVC.
- b) Construir una zanja de coronación impermeabilizada detrás del escarpe antiguo del deslizamiento, con la finalidad de coleccionar las aguas de lluvia y escorrentía superficial y drenar fuera del cuerpo de deslizamiento.
- c) Realizar un monitoreo temporal de las zonas de deslizamiento, principalmente en épocas de lluvia (noviembre – abril), así de esta manera conocer su estado de evolución para tomar medidas y alternativas de mitigación específicas en la zona.
- d) Las viviendas ubicadas en el cuerpo del deslizamiento deben ser reubicadas, La municipalidad distrital de Tisco, debe asignar el lugar de reubicación. El lugar asignado para la reubicación debe contar con estudio de peligros geológico, con la finalidad de evitar asentarse en zonas inestables.



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act. 11



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

7. BIBLIOGRAFÍA

Cerpa L.; Cereceda C.; Torres D.; Muñoz L.; Aguilar R.; & Rodríguez F. (2011). Carta Geológica del Perú: Mapa Geológico del Cuadrángulo de Condoroma, Hoja 31-t, Cuadrante III, escala 1:50 000. Mapa publicado por Ingemmet.

Cerpa L.; Cereceda C.; Torres D.; Muñoz L.; Aguilar R.; & Rodríguez F. (2011). Geología del Cuadrángulo de Condoroma, Hoja 31-t, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín n°143, Serie A: Carta Geológica Nacional; 122 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.

Zavala B.; Churata D. & Varela F. (2019). Geodiversidad y Patrimonio Geológico en el Valle del Colca. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín Serie I: Patrimonio y Geoturismo n°9, 309 p.

Zavala B.; Vilchez M.; Rosado M.; Pari W. & Peña F. (2014) Estudio Geoambiental en la cuenca del Río Colca, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica n°57, 238p.

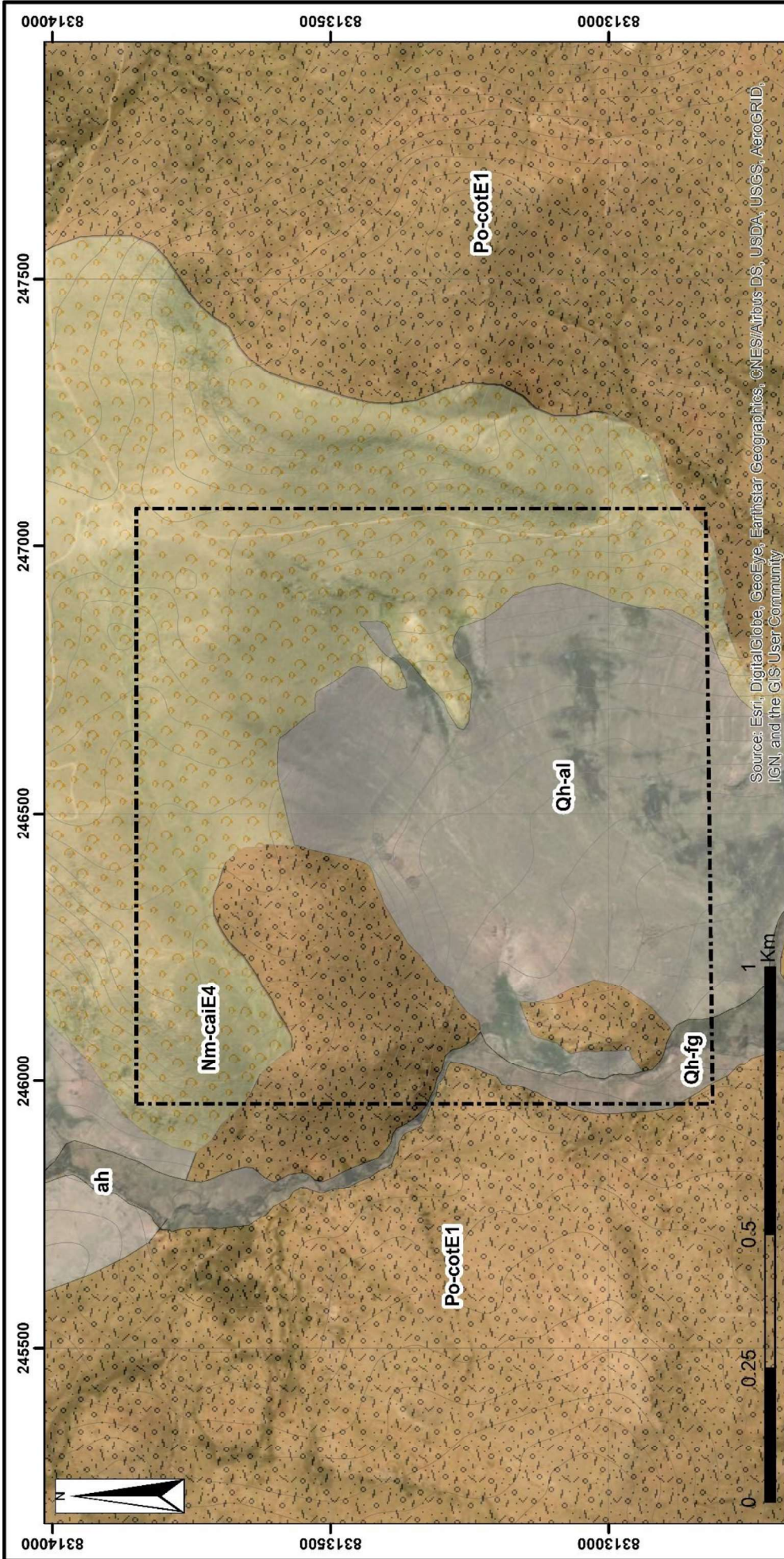
Vilchez, M.; Ochoa, M., & Pari, W. (2019). Peligro geológico en la región Ica. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 67, 212 p., 9 mapas.

Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176, Pág. 9–33.

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.

ANEXO 1: MAPAS

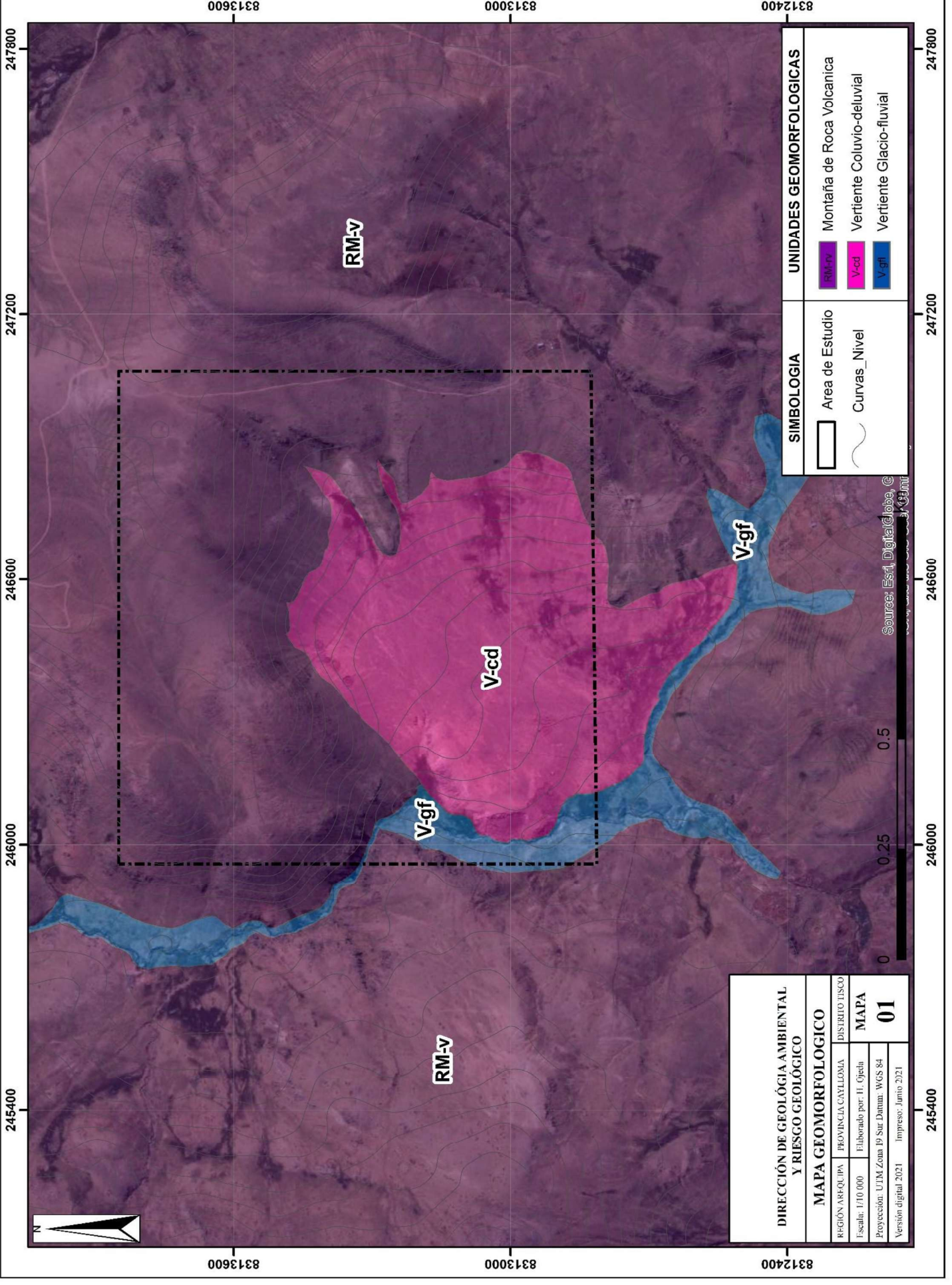
- MAPA 1: Mapa Geológico del sector de Cucho Astana, Colihuirí
- MAPA 2: Mapa Geomorfológico del sector de Cucho Astana, Colihuirí
- MAPA 3: Mapa de Pendientes del sector de Cucho Astana, Colihuirí
- MAPA 4: Mapa de Cartografía de Peligros Geológicos del sector de Cucho Astana, Colihuirí.



 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO	
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO	
MAPA GEOLÓGICO	
REGIÓN AREQUIPA	PROVINCIA CAYLLOMA
DISTRITO TISCO	
Escala: 1/10 000	Elaborado por: II. Ojeda
Proyección: UTM Zona 19 Sur Datum: WGS 84	
Versión digital 2021	Impreso: Junio 2021
MAPA 02	

Etapa	Sistema	Serie	UNIDADES LITOSTRATIGRAFICA	ROCAS INTRUSIVAS Y SUBVOLCÁNICAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOGENO	Depósito Coluvial Qh-co Depósito Fluvioglacial Qh-fg	Cantos, bloques, grava y arenas subredondeadas polimórficas en una matriz limocarcillosa. Depósitos de cantos, gravas y arenas, de composición heterogénea, subanguloso, sedimentos por corrientes de agua
		MIOCENO	Centro Volcanico Cailloma Nm-caiE4	Depósito de flujo Piroclástico y cenizas soldadas, depósitos de oleadas y piroclásticas con espesor de 400 metros.
NEOGENO	OLIGOCENO		Centro Volcanico Cotacota Po-cotE1	Intercalacion de depósitos de flujos piroclásticos de ceniza rico en líticos, dep. de flujo de lava estratificados

LEYENDA	
	Area_Estudio
Geología	
	Centro Volcanico Cailloma
	Centro Volcanico Cotacota
	Cuaternario Coluvial
	Depósito fluvioglacial







245400
246000
246600
247200
247800

8312400
8313000
8313600

8312400
8313000
8313600

245400
246000
246600
247200
247800

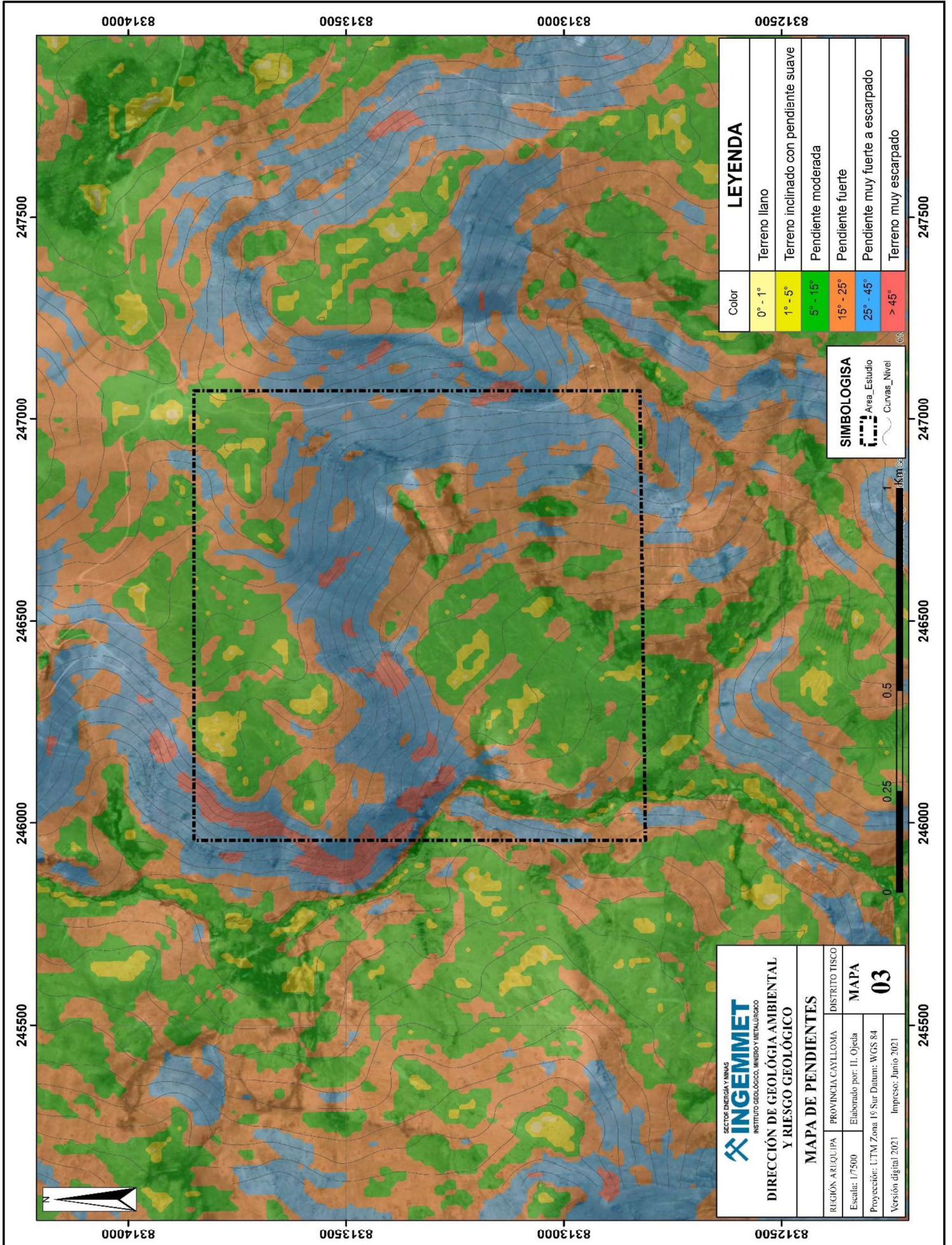
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO	
MAPA GEOMORFOLÓGICO	
REGIÓN AREQUIPA	PROVINCIA CAYLLOMA
Escala: 1/10 000	Elaborado por: H. Oyeda
Proyección: UTM Zona 19 Sur Datum: WGS 84	
Versión digital: 2021	Impreso: Junio 2021
DISTRITO TISCO	
MAPA 01	

SIMBOLOGIA	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS
	Montaña de Roca Volcánica
	Vertiente Coluvio-deluvial
	Vertiente Glacio-fluvial
	

Source: Esri, DigitalGlobe, ©

245400
246000
246600
247200
247800

8312400
8313000
8313600



LEYENDA	
Color	
0° - 1°	Terreno llano
1° - 5°	Terreno inclinado con pendiente suave
5° - 15°	Pendiente moderada
15° - 25°	Pendiente fuerte
25° - 45°	Pendiente muy fuerte a escarpado
> 45°	Terreno muy escarpado

SIMBOLOGIA	
	Area_Estudio
	Curvas_Nivel

<p>INGEMMET INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO</p>	
<p>DIRECCION DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO</p>	
<p>MAPA DE PENDIENTES</p>	
REGION: ARIQUIPA	PROVINCIA: CAYLLOMA
Escala: 1/7500	Elaborado por: I. Ojeda
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84	DISTRITO: TISCO
Version digital 2021	Impreso: Junio 2021
<p>MAPA 03</p>	

245500 246000 246500 247000 247500

8314000 8313500 8313000 8312500

ANEXO 2: GLOSARIO

Peligros geológicos

Son fenómenos que podrían ocasionar pérdida de vida o daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental.

Susceptibilidad

La susceptibilidad está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso de movimientos en masa determinado.

Deslizamiento (Slide)

Es un movimiento, ladera abajo, de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Varnes (1978) clasifica los deslizamientos según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales, a su vez, pueden ser planares y/o en cuña.

Deslizamiento rotacional: En este tipo de deslizamiento, la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla, curva cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal (figura 12). La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es autodeslizante, y este ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es, con frecuencia, baja excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas. Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s.

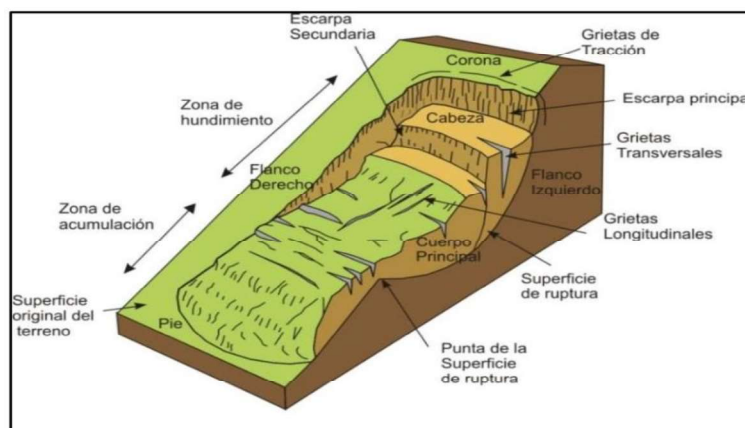


Figura 12. Partes de un deslizamiento rotacional.

Caída – derrumbe

Son fenómenos asociados a la inestabilidad de las laderas de los cerros, consisten en el desprendimiento y caída repentina de una masa de suelo o rocas o ambos, que pueden rodar o caer directamente en forma vertical con ayuda de la gravedad (figura 13). Son producidos o reactivados por sismos, erosión (socavamiento de la base en riberas fluviales o acantilados rocosos), efecto de la lluvia (saturación de suelos incoherentes) y la actividad humana (acción antrópica: cortes de carreteras o áreas agrícolas). Estos movimientos tienen velocidades muy rápidas a extremadamente rápidas (Vilchez, 2019).

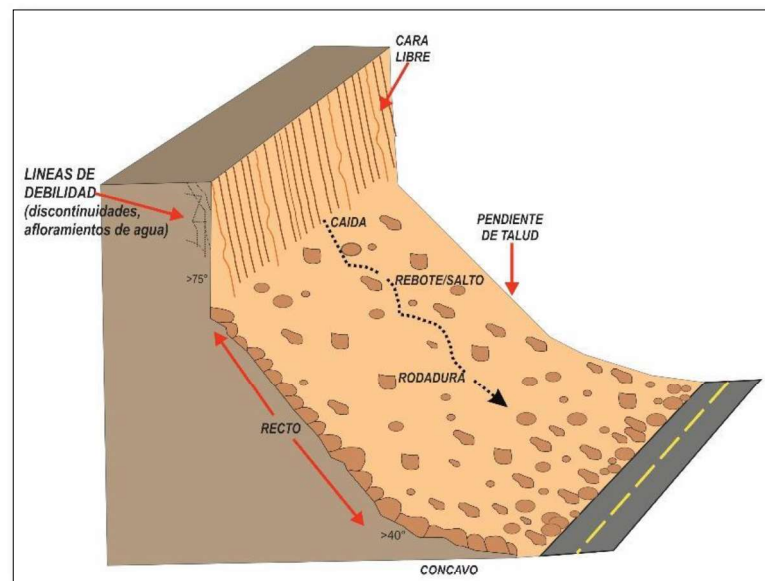


Figura 13. Esquema de Derrumbe (Vilchez 2015).

Erosión de laderas:

Este tipo de eventos son considerados predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento (figura 14). El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo, en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas, que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Gonzales de Vallejo et al., 2002).

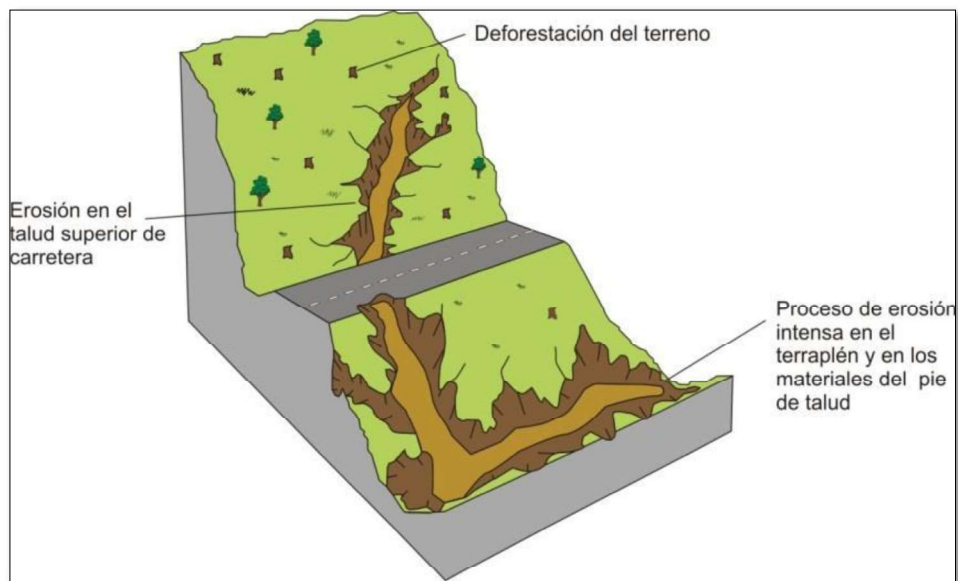


Figura 14. Esquema de erosión de laderas en cárcavas.

Flujo de tierra

Es un movimiento intermitente, rápido o lento, de suelo arcilloso plástico (Hungry et al., 2001). Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas, con frecuencia de centímetros por año, sin embargo, pueden alcanzar valores hasta de metros por minuto (Hutchinson, 1998). El volumen de los flujos de tierra puede llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos.