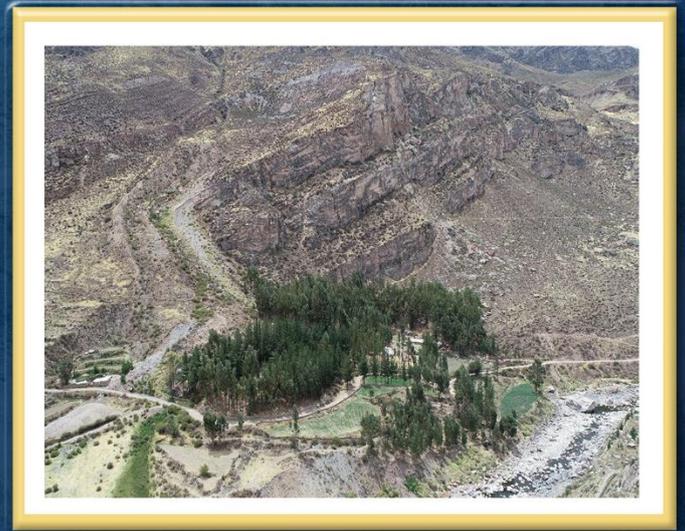


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7161

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR SIHUAYRUMA

Región Arequipa
Provincia Caylloma
Distrito Chivay



JUNIO
2021

**EVALUACIÓN DE PELIGROS POR DESLIZAMIENTO Y FLUJO DE TIERRA EN EL
SECTOR SIHUAYRUMA**

Distrito de Chivay, Provincia de Caylloma, Región Arequipa

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

Equipo de investigación:

Yhon Hidelver Soncco Calsina

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros por deslizamiento y flujo de tierra en el sector Sihuayruma, Distrito de Chivay, Provincia de Caylloma, Región Arequipa: INGEMMET, Informe Técnico N° A7161, 30p

ÍNDICE

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	3
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	4
2.1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	4
2.1.1 Formación Hualhuani (Ki-hu)	5
2.1.2 Formación Murco (Ki-mu)	5
2.1.3 Unidad Tuti (Po-tu)	6
2.1.4 Secuencias volcánicas Canocota (Qp-ca)	6
2.1.5 Deposito fluvial (Qh-fl)	7
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	7
3.1. PENDIENTES DEL TERRENO	7
3.2. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	8
3.2.1 Geformas de carácter tectónico degradacional y denudacional	9
3.2.2 Geformas de carácter tectónico depositacional y agradacional	9
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	9
4.1. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA	10
4.1.1 Deslizamiento antiguo (Da)	12
4.1.2 Flujos de tierra antiguos (Ft1 y Ft2)	16
4.1.3 Flujo de tierra recientes (Ftr)	20
4.1.4 Caída de rocas	22
4.2. FACTORES CONDICIONANTES	23
4.3. FACTORES DESENCADENANTES	23
5. CONCLUSIONES	25
6. RECOMENDACIONES	26
BIBLIOGRAFÍA	27

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos, realizados en el distrito de Chivay (sector Sihuayruma), 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 el sector Sihuayruma, afloran areniscas cuarzosas de color beige, moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas de la Formación Hualhuani (Ki-hu), lutitas rojizas, las cuales se presentan completamente meteorizadas y muy fracturada de la Formación Murco (Ki-mu).

También afloran rocas de la unidad Tuti (Po-tu), conformadas por flujos de lava gris oscuras y depósitos piroclásticos de cenizas, de coloración gris, altamente meteorizadas y fracturadas; y secuencias del volcánico Canocota (Qp-ca), conformadas por, lavas andesíticas gris verdosas y vesicular, con moderada meteorización y alto grado de fracturación. Dentro de los depósitos recientes, se cuentan con depósitos fluviales (Qh-fl), están conformados por gravas, bloques, arenas y limos, que son de fácil erosión.

Las subunidades geomorfológicas identificadas son: terrazas fluviales (T-fl), vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd), vertiente con depósito de deslizamientos (V-dd) y montaña estructuran en roca sedimentaria (RME-rs). La subunidad geomorfológica donde se desarrollan la mayoría de los movimientos en masa es vertiente con depósito de deslizamiento.

Los peligros geológicos identificados en el sector Sihuayruma comprenden movimientos en masa de tipo, deslizamientos, flujos de tierra y caída de rocas. Eventos antiguos que han sufrido reactivaciones; también se han reconocido procesos de erosión fluvial en el cauce del río Colca.

Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de movimientos en masa son: rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas, conformadas por areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani y lutitas rojizas altamente meteorizadas y muy fracturadas de la Formación Murco; tobas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas pertenecientes a la unidad Tuti. Los deslizamientos antiguos en la zona han generado depósitos conformados por gravas, arenas y limos, no consolidados, que permiten la infiltración y retención del agua, de esta manera los terrenos son fácilmente saturados. Lo mencionado conlleva a un aumento de peso de la masa inestable.

Otro condicionante son las pendientes de los terrenos, el cual varía desde llano a inclinado suavemente (1°-5°), en parte media tiene un cambio a muy fuerte (25°-45°) y pendientes (> 45°) en la base y zona media de los acantilados.

Se concluye que el sector Sihuayruma, es considerada de **peligro alto**. Con probabilidades de presentar reactivaciones de movimientos en masa, como deslizamientos y flujos de tierra que pueden ser “detonados” con lluvias intensas (octubre a marzo) y movimientos sísmicos.

Finalmente, se brinda recomendaciones que se consideran importante para 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.

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 la solicitud de la municipalidad Provincial de Caylloma, según Oficio N°324-2020-MPC-CHIVAY-A, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en el sector Sihuayruma.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al Ingeniero Yhon Soncco Calsina para realizar la evaluación geológica, geomorfológica y geodinámica de los peligros geológicos, que comprometen la vivienda de una familia y una vía de carrozable que cruza por la parte baja de la zona afectada. Los trabajos de campo se realizaron los días 08, 09 y 10 de febrero del 2021.

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 terrestres y aéreas), 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, Gobierno Regional de Arequipa, Oficina de INDECI y COER - Arequipa, 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 que se presentan en el sector Sihuayruma, los cuales pueden comprometer la seguridad física de la vivienda de una familia y vía de carrozable que cruza por la parte baja de la zona afectada.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de peligros geológicos
- c) Emitir recomendaciones y alternativas de mitigación y reducción de desastres.

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 la Formación Hualhuani, consiste en varias series de areniscas cuarcíferas de grano medio a fino; morfológicamente se presentan en bancos gruesos.
- 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 la Calera y el hospedaje El Bosque (Chivay), presentan caída de rocas, deslizamiento rotacional y deslizamiento – flujo; las caídas de rocas desde acantilado rocoso muy fracturado, bloques inestables y bloques caídos en media ladera; los deslizamientos, produjo el asentamiento de material desde la parte alta de la ladera.
- 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

1.3. ASPECTOS GENERALES

1.3.1. Ubicación

El área evaluada correspondiente al sector Sihuayruma, está ubicada en el Distrito de Chivay, Provincia de Caylloma, Región Arequipa (figura 1), en las coordenadas siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del sector Sihuayruma

Nombre	UTM - WGS84 - Zona 17S		Geográficas	
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
<i>Sihuayruma</i>	222900.29 m E	8272429.15 m S	15°36'38.99"S	71°35'3.20"O

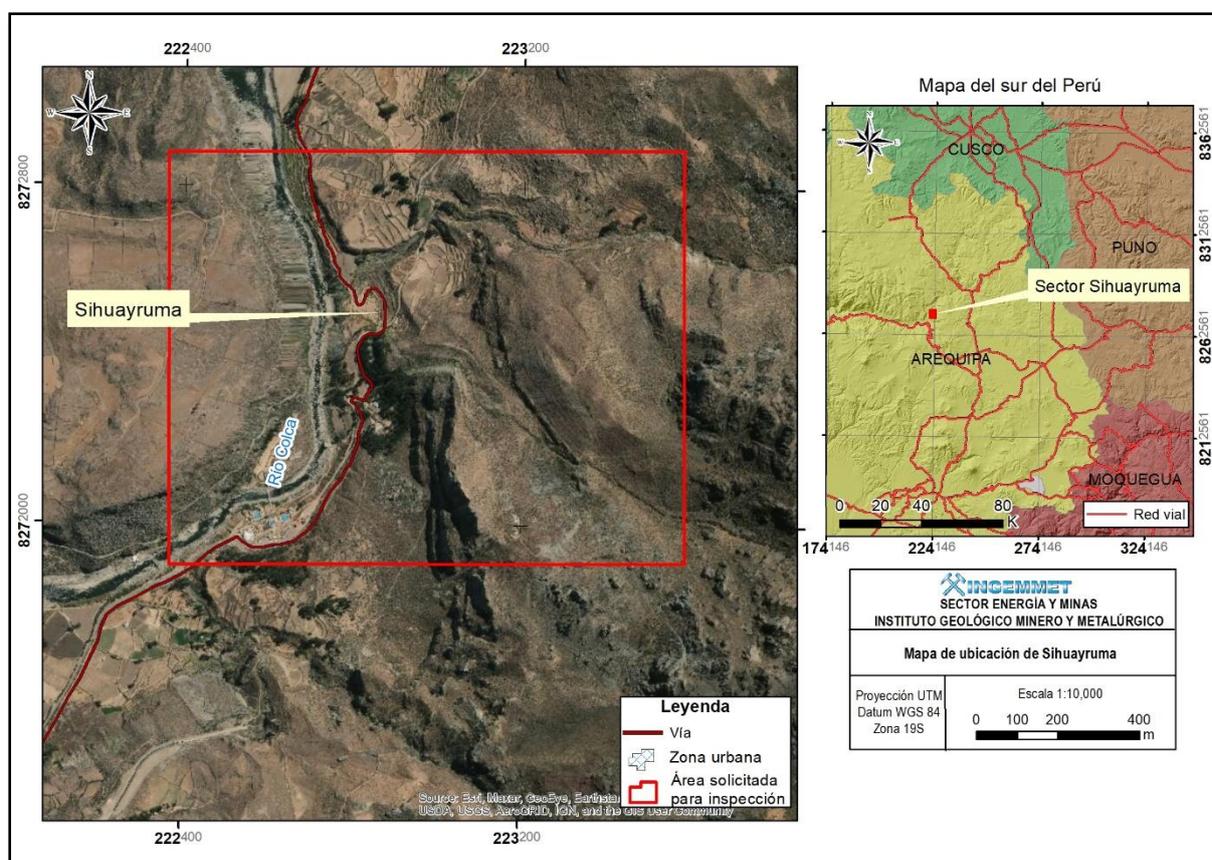


Figura 1. Mapa de ubicación del sector Sihuayruma

1.3.2. Accesibilidad

El acceso a la zona es por vía terrestre, partiendo desde la sede del Ingemmet OD-Arequipa, y se sigue la siguiente ruta:

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Arequipa - Chivay	Asfaltada	160	3 horas
Chivay - Sihuayruma	Asfaltada-trocha carrozable	3.3	0.15 horas

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El contexto geológico aflorante en el área de estudio se basa en la revisión y actualización de los cuadrángulos de Chivay 32-s-I (Cerpa et al., 2009)

2.1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Las unidades geológicas que afloran corresponden a rocas sedimentarias de la Formación Hualhuani (Ki-hu), Formación Murco (Ki-mu); rocas volcánicas de la Formación Tuti (Po-tu), secuencias volcánicas Canocota (Qp-ca) y depósitos cuaternarios fluviales depositados y conformando terrazas (Qh-fl) (figura 2).

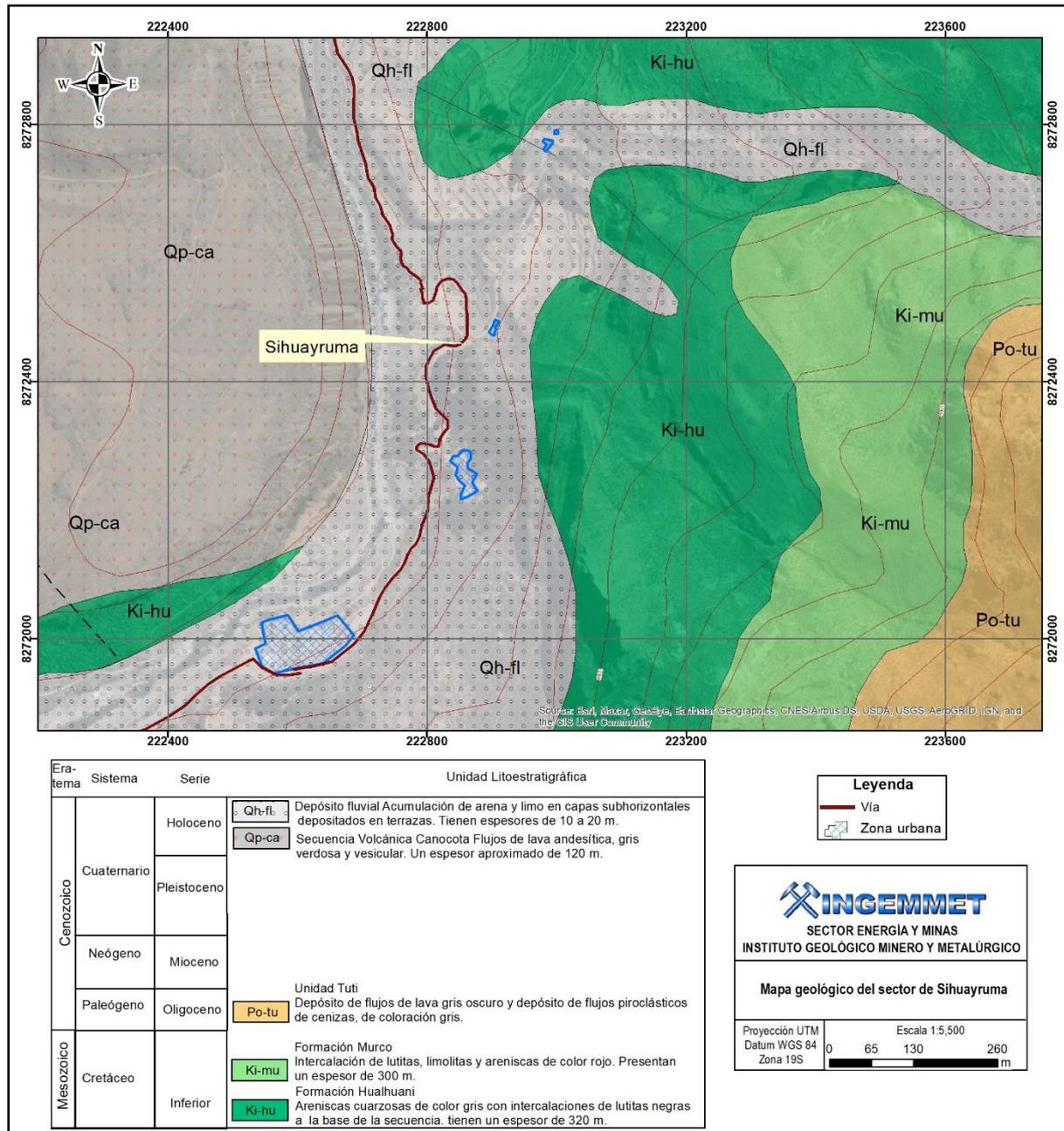


Figura 2. Mapa geológico del sector Sihuayruma, tomado del cuadrángulo de Chivay 32-s-I (Cerpa et al 2009)

2.1.1 Formación Hualhuani (Ki-hu)

El afloramiento representativo se localiza en la margen izquierda del río Colca, a media ladera del valle y en acantilados de más de 200 metros de alto. Está conformada por areniscas cuarzosas de color beige, con algunas intercalaciones de lutitas negras en los niveles inferiores de la secuencia. Se presentan moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas (figura 3).

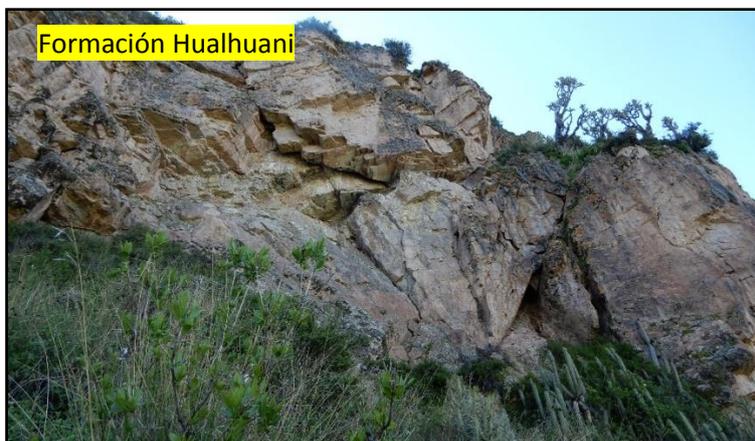


Figura 3. Afloramiento de areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani. (coordenadas UTM E: 223085, N: 8272527).

2.1.2 Formación Murco (Ki-mu)

Esta formación esta suprayaciendo a la Formación Hualhuani, conformado por intercalaciones de lutitas completamente meteorizadas y muy fracturadas y areniscas de color rojo, que representan un espesor de más de 180 m. Al ser erosionadas y meteorizadas este substrato llegan a formar suelos sueltos, fácil de remover (figura 4). Los clastos son pequeños y están conformado por gravas, arenas y limo, los cuales también se observan en los cuerpos de los deslizamientos.

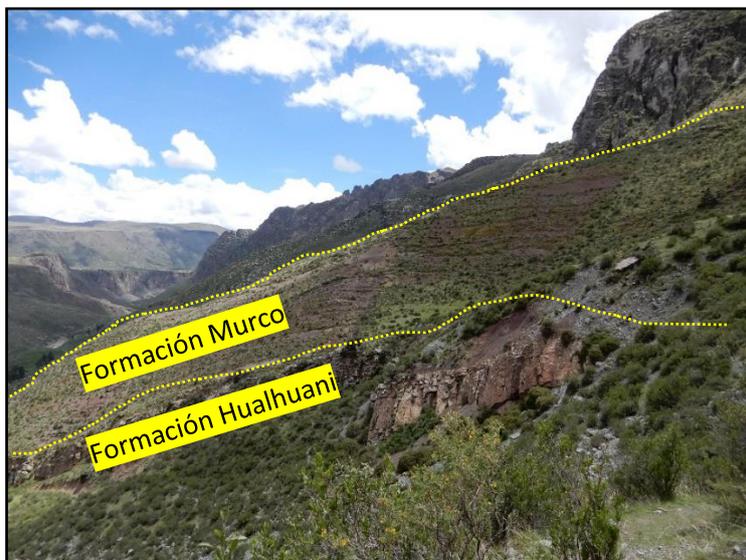


Figura 4. Formación Murco, suprayaciendo a las areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani. (coordenadas UTM E: 223316, N: 8272274).

2.1.3 Unidad Tuti (Po-tu)

Unidad volcánica conformada 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 Sureste del sector Sihuayruma. Se encuentra altamente meteorizada y fracturada (figura 5).

Evidencias de esta litología se muestran a lo largo del cuerpo de deslizamientos ubicados en la parte baja de la ladera.

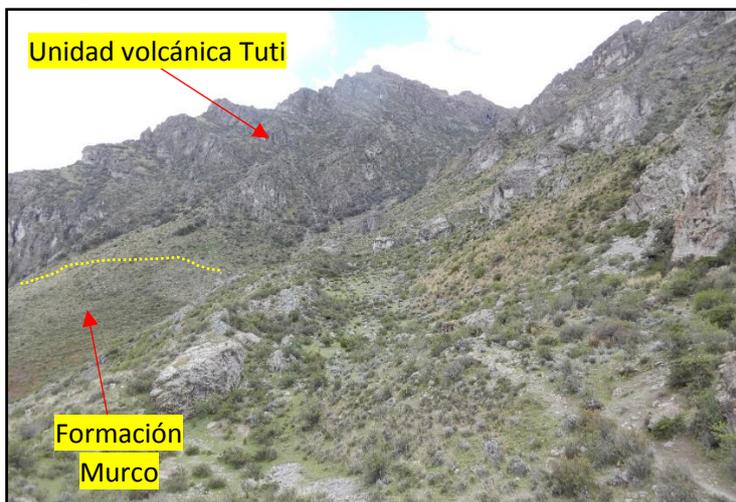


Figura 5. Unidad volcánica Tuti, suprayaciendo a las formaciones sedimentarias. (coordenadas UTM E: 223800, N: 8272053).

2.1.4 Secuencias volcánicas Canocota (Qp-ca)

Secuencia de lavas andesíticas gris verdosas y vesicular, con espesor de aproximadamente 100 metros de potencia, formando columnas. Aflorante frente al sector estudiado, (figura 6). Se puede distinguir que presenta fuerte a moderada meteorización y alto grado de fracturación.



Figura 6. Unidad volcánica Canocota. (coordenadas UTM E: 222643, N: 8272333).

2.1.5 Depósito fluvial (Qh-fl)

Aflorante 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 de hasta 4 m, dentro de una matriz areno-limoso (figura 7).



Figura 7. Depósitos fluviales. (coordenadas UTM E: 222808, N: 8272640).

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. PENDIENTES DEL TERRENO

Las pendientes de los terrenos van desde terrenos llanos a inclinados suavemente (1° - 5°), una zona media de acantilado donde se observa cambios abruptos a terrenos escarpados ($> 45^{\circ}$), e inclinaciones de (25° - 45°) en la parte alta (figuras 8).

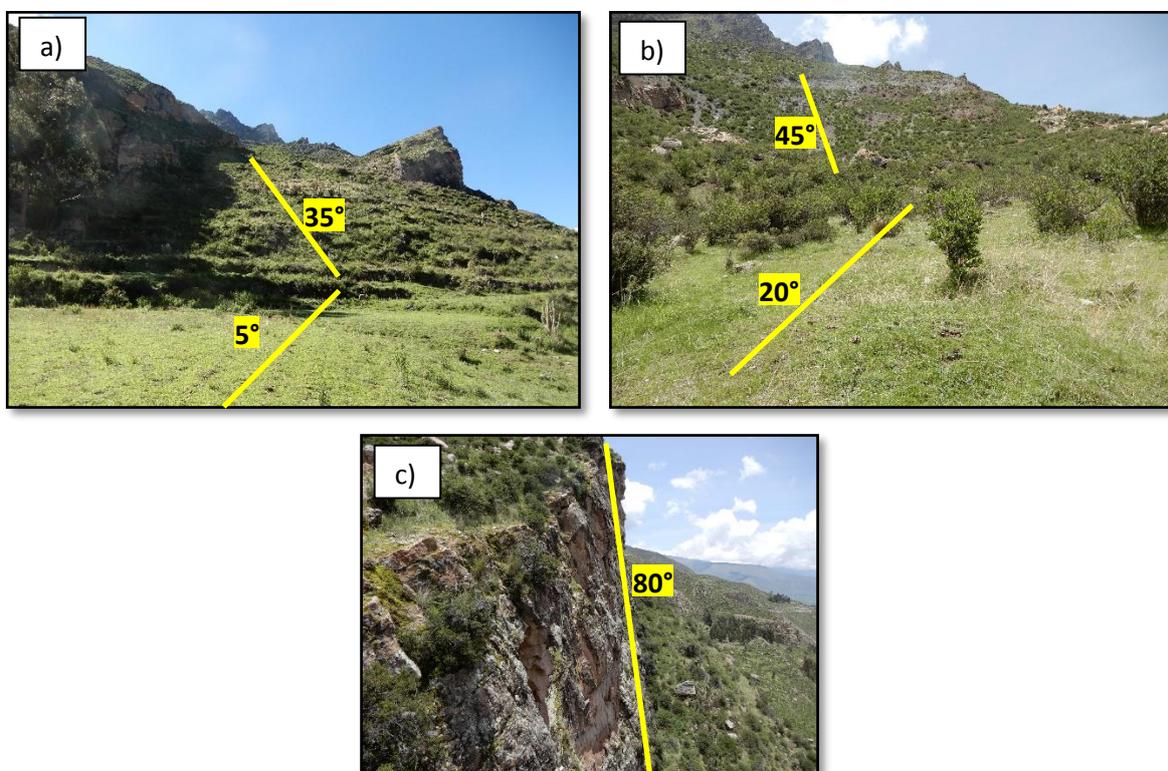


Figura 8. a y b) Muestran las pendientes en las laderas, y c) las pendientes en los acantilados. (coordenadas UTM de a) E: 223042, N: 8272525, b) E: 223256, N: 8272020 y c) E: 223001, N: 8272144).

3.2. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector Sihuayruma, se ha empleado la publicación 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 (degradacionales o denudativos y agradacionales o deposicionales) en la evolución del relieve, presentados en la figura 9, como mapa de unidades geomorfológicas

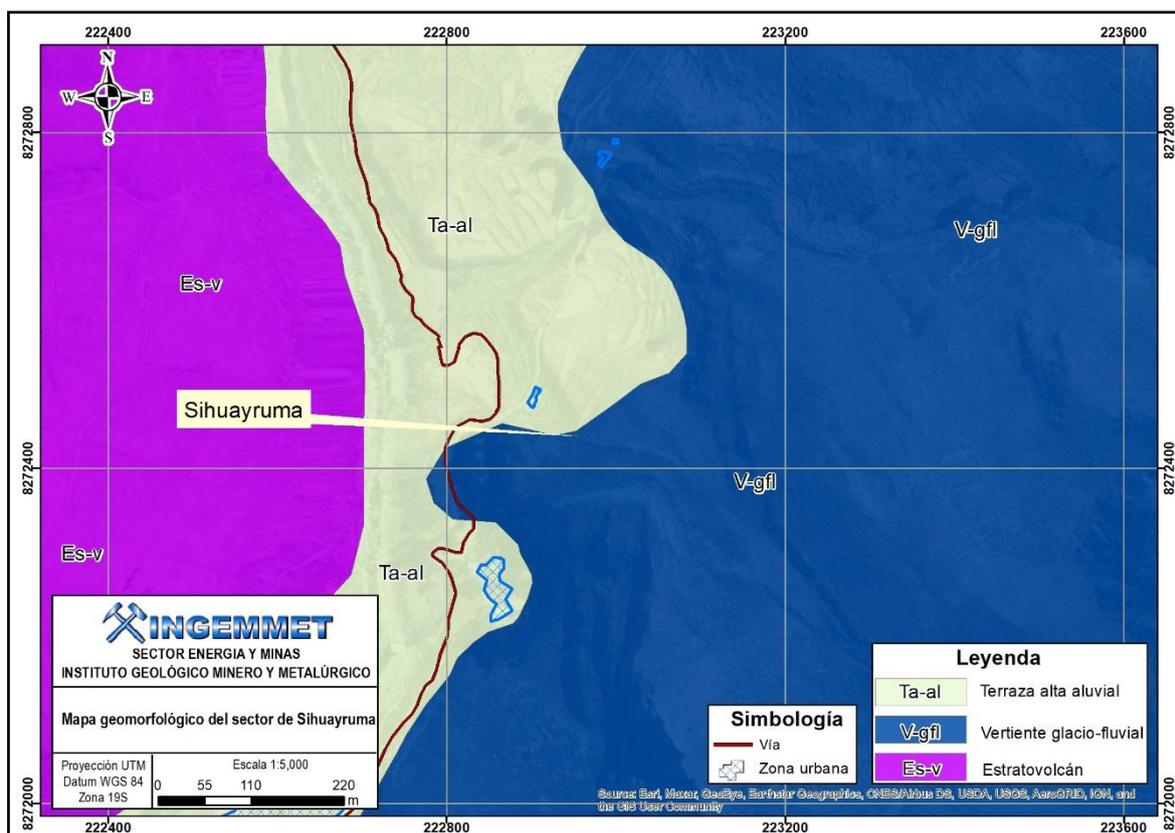


Figura 9. Mapa geomorfológico del sector Sihuayruma (Tomado y modificado del mapa geomorfológico a escala 250,000 del Ingemmet)

La geomorfología evaluada en particular corresponde a la subcuenca del Colca, comprendida entre Andamayo y Sibayo- Callalli. 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).

Sihuayruma, se encuentra por encima de los 3500 m.s.n.m. con vertientes montañosas elevadas y abruptas asociadas a edificios volcánicos; un sector de rampa, desnivel o vertiente muy disectada o erosionada; y sobre la cual se han identificado geoformas de terraza alta aluvial (Ta-al), estratovolcán (Vs-v) y vertiente glacio-fluvial, siendo esta última sobre la cual sucedieron los principales eventos de deslizamientos

3.2.1 Geformas 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

Son geoformas asociadas a depósitos volcánicos.

Subunidad de estratovolcán (Es-v): Esta unidad se ubica al frente del sector Sihuayruma, exactamente al Oeste. Son terrenos con pendientes relativamente moderadas con frente escarpado. Se conforman sobre la secuencia volcánica Canocota; constituida de lavas andesíticas gris verdosas y vesicular, en frentes escarpados.

3.2.2 Geformas de carácter tectónico depositacional y agradacional

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

3.2.2.1 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.

Vertiente glacio-fluvial (V-gfl): La cuenca presenta abundantes acumulaciones de sedimentos de formas irregulares que bordean zonas montañosas con litología sedimentaria y volcánica, asociados a una morfogénesis de origen glacial o periglacial. Esta geoforma aflora en la parte alta del margen izquierdo del valle del Colca. El substrato está conformada areniscas y lutitas meteorizadas, que son muy susceptibles, fáciles de erosionar y remover con lluvias generando deslizamientos y caída de rocas.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamiento, flujo de tierra 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 geometría del terreno, pendiente de la ladera, tipo de roca, tipo de suelos, drenaje superficial-subterráneo y cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” de estos eventos las lluvias

periódicas y extraordinarias que caen en el sector Sihuayruma, 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, (Proyecto Multinacional Andino, 2007).

Sihuayruma presenta diez procesos de movimientos en masas, presentados en la figura 11.

En la parte alta del sector Sihuayruma se identificó un escarpe de deslizamiento antiguo (Da), en cuyo cuerpo se generaron dos flujos de tierra antiguos (Ft1 Y Ft2), y uno reciente (Ftr) (figuras 10 y 11). Asimismo, en el punto N1 se aprecian agrietamientos en los terrenos, estos podrían desencadenar nuevos flujos de tierra y/o deslizamientos, que podrían afectar gravemente a la vivienda ubicada al pie de la ladera.

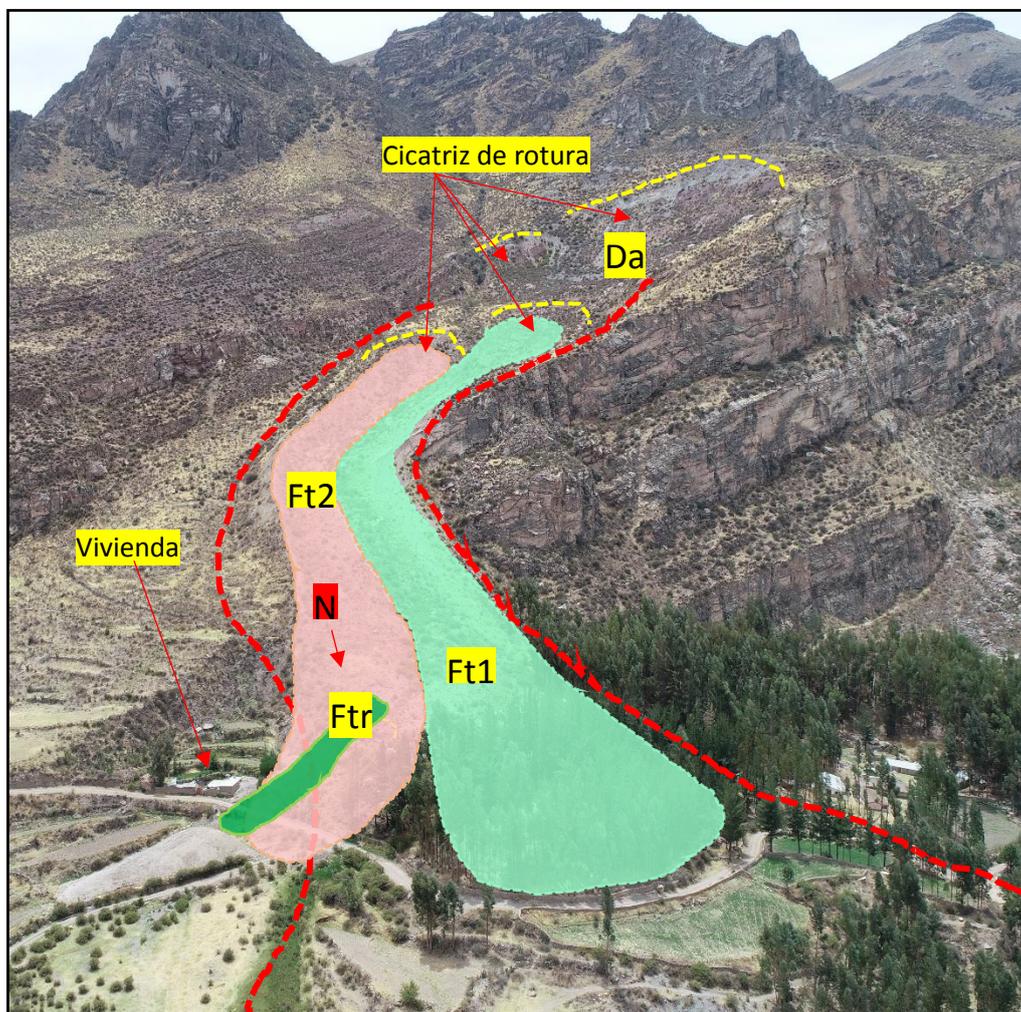


Figura 10. Deslizamientos y Flujo de tierra en el sector Sihuayruma. (coordenadas UTM E: 222815, N: 8272399).

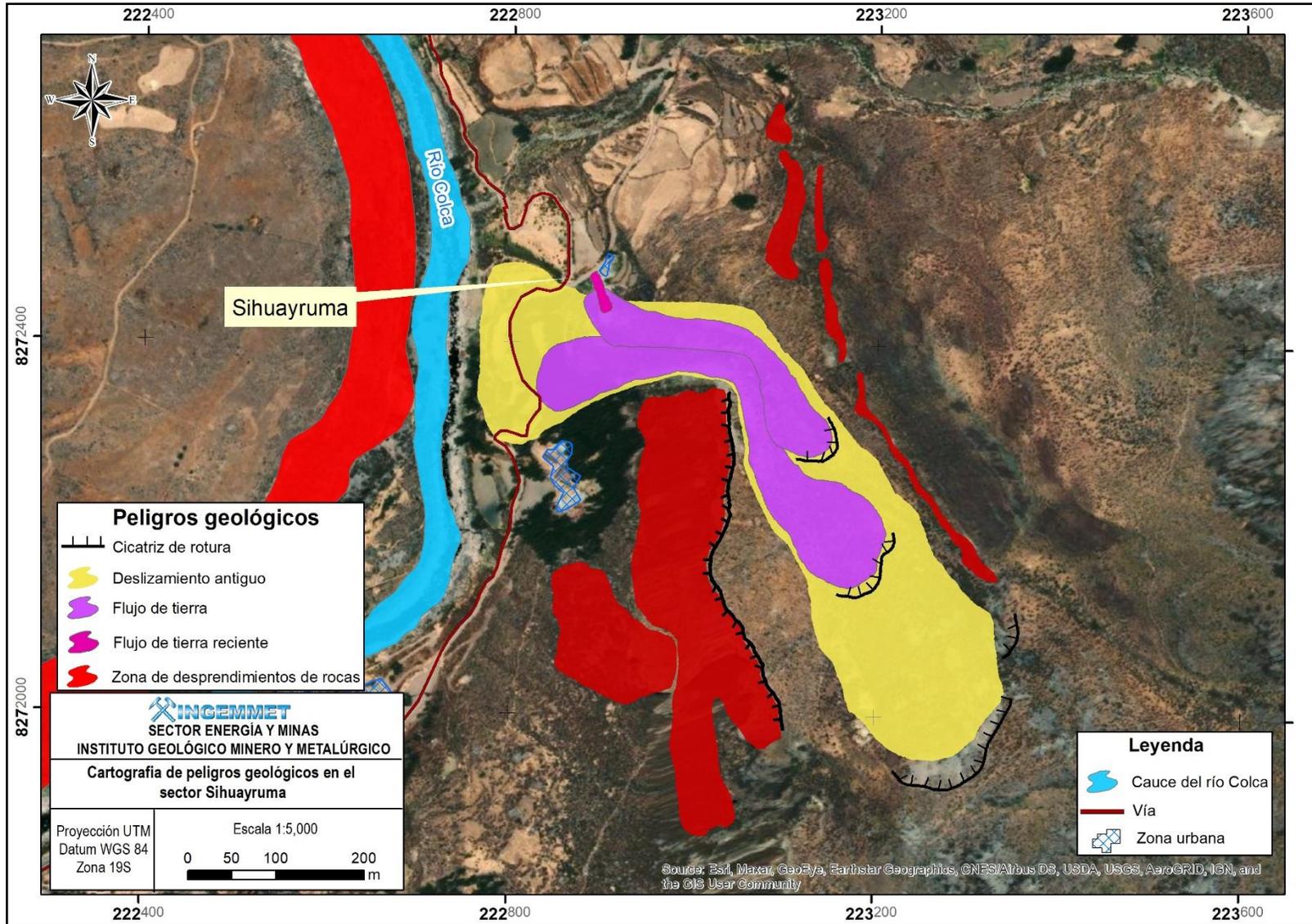


Figura 11. Mapa de cartografía de peligros geológicos en el sector Sihuayruma

4.1.1 Deslizamiento antiguo (Da)

En la parte alta del sector Sihuayruma se evidencia una depresión con forma de herradura correspondiente al deslizamiento antiguo (Da), (figuras 10 y 11). La corona y el salto de escarpe del deslizamiento no se observan nítidamente debido a la erosión y meteorización.

La masa deslizada o removida llegó y alcanzó al cauce del río Colca, 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 una pequeña quebrada, generada por la acción del agua.

La dirección de desplazamiento va de sureste a noroeste, es decir hacia el fondo del río Colca. Donde además se han encontrado deslizamientos y erosión fluvial por socavamiento del río Colca.

Este evento, denominado deslizamiento antiguo (Da), es de tipo rotacional, el cual posee una corona principal de forma regular con una longitud de 200 m y un salto de escarpe no definido, pero en su totalidad se enmarca entre las cotas 3985 m s.n.m. a 3625 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 360 m.

Haciendo un análisis y descripción del material acumulado al pie del deslizamiento, se han podido diferenciar la deposición de dos facies. La primera facie está conformada por un 50% de bloques angulosos y 50 % finos, gravas, arenas y limos. La matriz está conformada por arenas finas y limos (figuras 12 y 13). La segunda facie se denominada clastos soportados, conformada por bloques y gravas, en esta facie se observan bloques ángulos erráticos de hasta 1 m. poco matriz (figura 14).

Los bloques de rocas encontrados en este depósito fueron arrancados de afloramientos rocosos que se encuentran ubicados a media ladera del valle. Son bloques de areniscas cuarzosas de color beige, lutitas de color rojo, y fragmentos gris oscuros de lavas y tobas blanquecinas brechadas. Los cuales se encuentran altamente meteorizadas y muy fracturadas. La meteorización genera suelto no consolidado, poco compactados, fácil de removilizarse si son saturados de agua.



Figura 12. Pie del deslizamiento antiguo (Da). (coordenadas UTM E: 222781, N: 8272482).



Figura 13. Facies de 50% bloques y 50% finos. (coordenadas UTM E: 222781, N: 8272466).



Figura 14. Facie rico en clastos. (coordenadas UTM E: 222778, N: 8272427).

En la parte central del cuerpo del deslizamiento antiguo (Da), también se evidencia depósitos inconsolidados, conformados por bloques angulosos, gravas, englobados en una matriz de arenas y limos. Los bloques llegan a medir hasta 50 cm (figuras 15 y 16).



Figura 15. Depósitos inconsolidados, del deslizamiento antiguo (Da). (coordenadas UTM E: 223049, N: 8272437).



Figura 16. Bloques dentro de una matriz de arenas y limos. (coordenadas UTM E: 223049, N: 8272437).

En Sihuayruma se evidencia una depresión en forma de herradura, perteneciente al deslizamiento antiguo (figura 17 y 18).

En la zona de arranque del deslizamiento se evidencia material suelto no consolidado, conformado por lutitas de color rojo, tobas volcánicas y lavas grises, totalmente meteorizadas y muy fracturadas. También se observan bloques ángulos de areniscas cuarzosas de color beige en el cuerpo del deslizamiento, los cuales se encuentran totalmente meteorizadas y

fracturadas. Se puede observar paquetes de las areniscas cuarzosas desde donde fueron desprendidos y removilizados por el deslizamiento hacia las partes bajas (figura 17). En la figura 18 se puede observar que no existe un salto de escarpe definido.

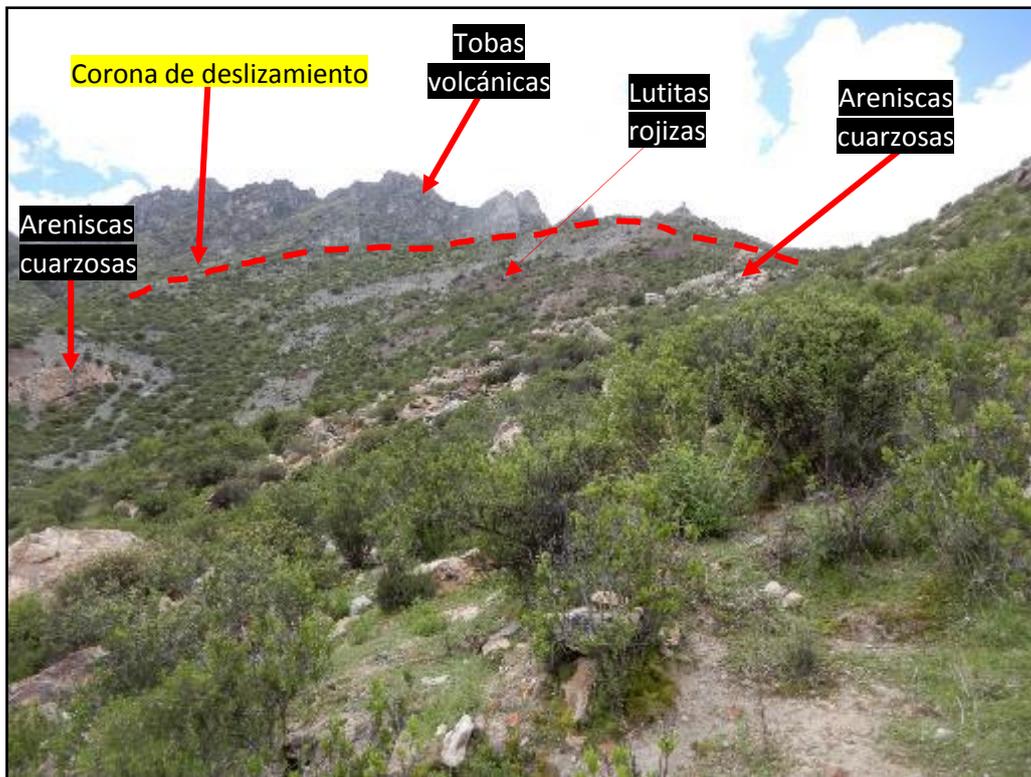


Figura 17. Corona de deslizamiento antiguo (Da) y las distintas litologías en la zona. (coordenadas UTM E: 223169, N: 8272038).



Figura 18. Corona de deslizamiento, no se puede distinguir el salto del escarpe de deslizamiento. (coordenadas UTM E: 223277, N: 8271978).

4.1.2 Flujos de tierra antiguos (Ft1 y Ft2)

En la parte intermedia de la ladera ubicada en el sector Sihuayruma se evidencian dos cicatrices de rotura con forma de herradura, correspondiente a las zonas de arranque de los flujos de tierra (Ft1 y Ft2), ver las (figuras 10 y 11).

Los flujos de tierra corresponden a la reactivación de dos sectores en el cuerpo del deslizamiento antiguo (Da). La masa movilizada se depositó sobre el cuerpo del deslizamiento antiguo, se caracterizan por presentar un comportamiento de flujo, como consecuencia de licuación.

Al igual que el deslizamiento antiguo Da, los flujos de tierra (Ft1 y Ft2), se desplazaron desde el sureste hacia el noroeste, es decir en dirección del río Colca. A continuación, se describen los procesos de cada evento

Ft1: Corresponde a un flujo de tierra, su punto de arranque presenta una cicatriz de rotura de forma irregular y mide 115 m, la altura del salto del escarpe no es definido, este evento está comprendido entre las cotas 3864 m s.n.m. a 3638 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 226 m. La masa se movilizó en dirección noroeste. (figura 19).

Los bloques de rocas encontrados en este depósito fueron arrancados desde la parte alta de la ladera del valle. Son bloques de areniscas cuarzosas de color beige, lutitas rojizas. Los cuales se encuentran altamente meteorizadas y muy fracturadas. Los depósitos no consolidados son fácil de remoción por estar saturados de agua.

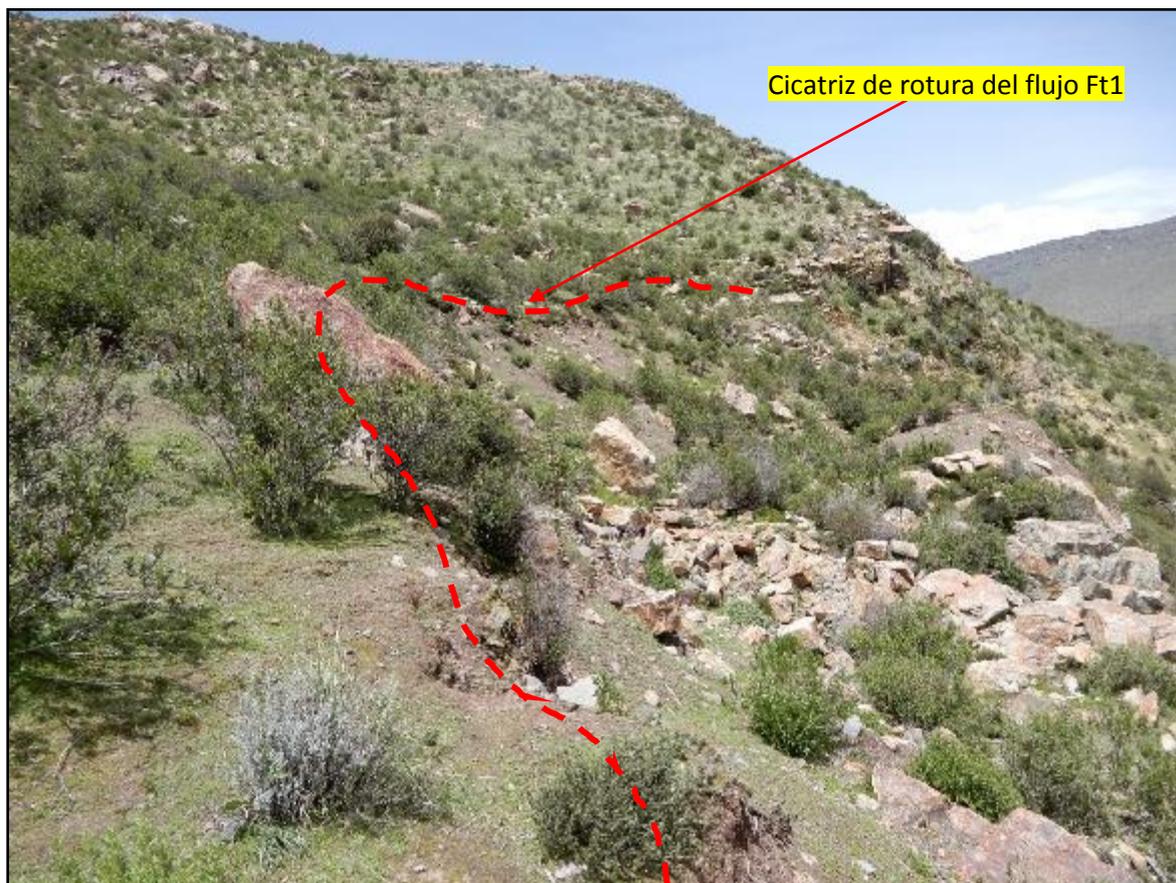


Figura 19. Cicatriz de rotura del flujo de tierra Ft1, no se puede distinguir el salto del escarpe. (coordenadas UTM E: 223200, N: 8272142).

El flujo de tierra a generado un depósito conformado por dos facies, La primera facie está compuesta por bloques ángulos de areniscas cuarzosas, que se encuentran a lo largo de la trayectoria del flujo. La segunda está conformada por materiales finos, denominadas matriz soportada; donde se presentan gravas finas, arenas y limos, con algunos bloques erráticos inmensos dentro de los depósitos (figura 20).

El flujo (Ft1), se preserva en el borde izquierdo del deslizamiento antiguo (Da); donde se puede observar la canalización del flujo.

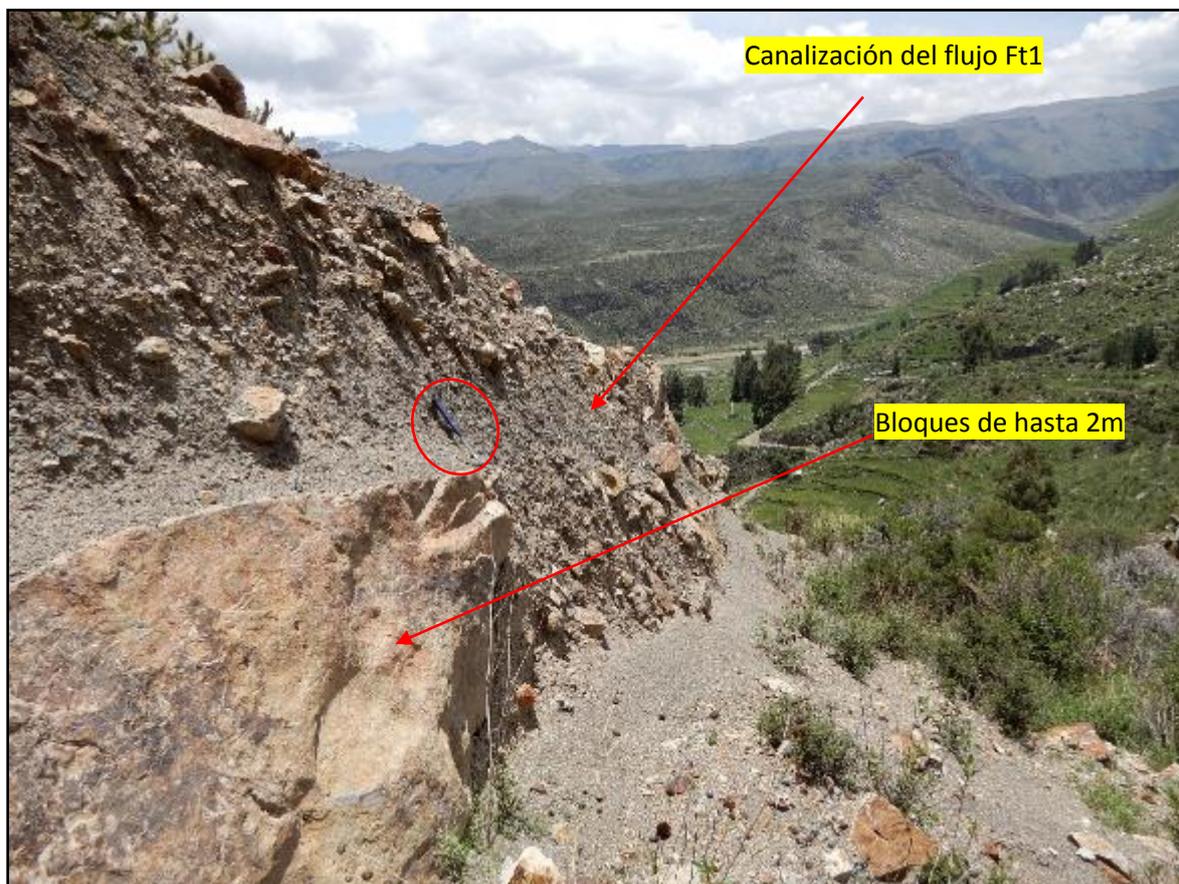


Figura 20. Borde izquierdo de canalización del flujo de tierra Ft1. (coordenadas UTM E: 223055, N: 8272310).

Ft2: Corresponde a un flujo de tierra cuyo punto de arranque presenta una cicatriz de rotura de forma irregular y mide 90 m, la altura del salto del escarpe principal no es definido, este evento está comprendido entre las cotas 3815 m s.n.m. a 3655 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 160 m. La masa se movilizó en dirección Noroeste. (figura 21).

El depósito del flujo está conformado por gravas, arenas, limos y bloques erráticos; los bloques son angulosos, y fueron arrancados de los paquetes de areniscas cuarzosas ubicados a media ladera. La facie dominante es de matriz soportada, donde los componentes van desde gravas finas a limos. La matriz de los depósitos está conformada por arenas finas y limos (figuras 22 y 23)

El flujo (Ft2), preserva su margen derecho, una canalización, característico de estos eventos (figura 24).

Los bloques de rocas, encontrados en el depósito del flujo de tierra, fueron arrancadas desde la parte alta de la ladera del valle. Estos son de naturaleza de areniscas cuarzosas y lutitas. Los cuales se encuentran altamente meteorizadas y muy fracturadas. Cuyos depósitos sueltos, no consolidados, son de fácil remoción si son saturados de agua.



Figura 21. Cicatriz de rotura del flujo Ft2, no se puede distinguir el salto del escarpe. (coordenadas UTM E: 223149, N: 8272283).



Figura 22. Depósito del flujo de tierra Ft2. Conformado por gravas, arenas y limos; con bloques angulosos erráticos. (coordenadas UTM E: 223028, N: 8272423).



Figura 23. Depósito del flujo de tierra Ft2. facie de matriz soportada. (coordenadas UTM E: 223028, N: 8272423).

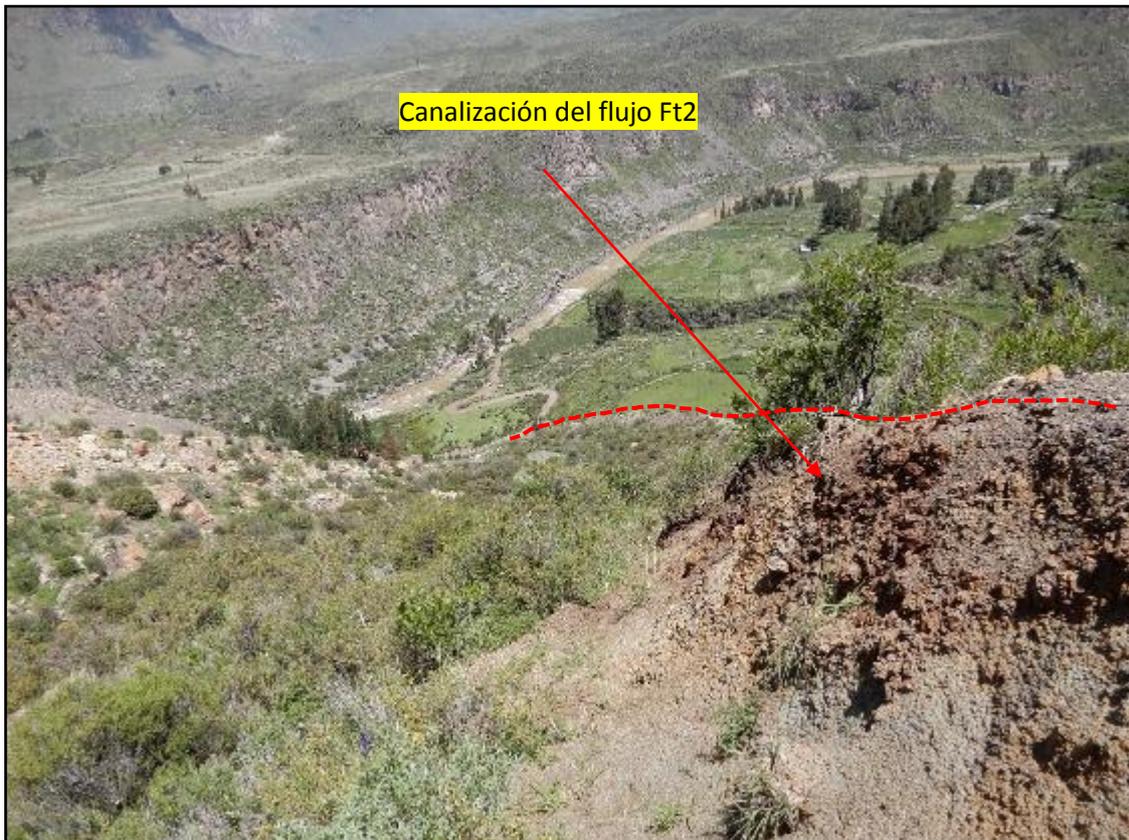


Figura 24. Borde derecho de canalización del flujo Ft2. (coordenadas UTM E: 223127, N: 8272336).

4.1.3 Flujo de tierra recientes (Ftr)

Sobre los depósitos de deslizamientos y flujos descritos anteriormente, se presentó la reactivación de un sector. Corresponde a un pequeño flujo de tierra reciente, el cual se desarrolló en los depósitos de flujos de tierras antiguos.

La cicatriz de rotura del flujo de tierra (Ftr), posee una forma regular y mide 8 m, la altura del salto del escarpe principal no está definido, este evento está comprendido entre las cotas 3660 m s.n.m. a 3650 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 10 m. La masa se movilizó en dirección norte. (figura 25).



Figura 25. Flujo de tierra reciente en el sector Sihuayruma. (coordenadas UTM E: 222891, N: 8272456).

Este evento se desarrolla en depósitos de flujos de tierras anteriores, conformados por bloques, gravas, arenas y limos. Los bloques son angulosos y llegan a medir hasta 80 cm, se aprecia que los materiales son sueltos, no consolidados y de fácil remoción si son saturados de agua (figura 26).

Durante los trabajos de campo, se identificó agrietamientos definidos como (N1) (figuras 10 y 11), ubicado a un costado de la cicatriz de rotura del flujo de tierra reciente (Ftr), los agrietamientos poseen hasta 40 cm de ancho, y una profundidad de 1 m (figuras 27 y 28), la zona posee materia no consolidado conformado por bloques, gravas arenas y limos; los terrenos se encuentran húmedos; por la zona pasa un canal de riego, el cual no presenta revestimiento. Según testimonio de los lugareños, antes de la activación del evento reciente; el canal presentaba agua, el cual se vertía directamente a la superficie.



Figura 26. Flujo de tierra reciente. (coordenadas UTM E: 222896, N: 8272443).



Figura 27. Agrietamientos de hasta 40 cm, a un costado de la zona de rotura. (coordenadas UTM E: 222925, N: 8272427).



Figura 28. Agrietamientos de hasta 40 cm y 1m de profundidad, a un costado de la zona de rotura del flujo de tierra resiente. (coordenadas UTM E: 222925, N: 8272427).

4.1.4 Caída de rocas

La caída de rocas, se presentan en los acantilados de fuertes pendientes de hasta 80°, que comprometen a la parte alta del hotel El Bosque y el Sector la Calera, (figuras 29 y 30)



Figura 29. Se aprecian las zonas de desprendimiento de rocas, en acantilados constituidos por la Formación Hualhuani.

Los acantilados están conformados por areniscas cuarzosas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas de la Formación Hualhuani.



Figura 30. Depósito de caída de rocas en La Calera. (coordenadas UTM E: 222948, N: 8272055).

4.2. FACTORES CONDICIONANTES

- Presencia de rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas, conformadas por areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani y lutitas rojizas altamente meteorizadas y muy fracturadas de la Formación Murco. Además, de secuencias volcánicas conformadas por tobas y flujos de lavas, moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas de la Unidad Tuti.
- Los antiguos movimientos en masa en la zona han generado depósitos conformados por gravas, arenas y limos, poco compactados, ello permite la infiltración y retención del agua, de esta manera los terrenos son fácilmente saturados.
- La pendiente de los terrenos, el cual varía de muy fuerte (25° - 45°) a pendientes ($> 45^{\circ}$) en la zona media de los acantilados.

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, los flujos también son generados por lluvias intensas.

- Los movimientos sísmicos pueden generar desprendimientos de rocas desde las partes altas, deslizamientos y derrumbes. Según el Instituto Geofísico del Perú, A nivel mundial, el Perú es uno de los países de mayor potencial sísmico debido a que forma parte del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, región donde la Tierra libera más del 85% de la energía acumulada en su interior debido a los procesos de convección del manto.

5. CONCLUSIONES

1. Litoestratigráficamente en el sector Sihuayruma afloran rocas de la Formación Hualhuani, conformadas por areniscas cuarzosas, moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas; rocas de la Formación Murco, conformadas por lutitas rojizas altamente meteorizadas y muy fracturadas. Además, secuencias volcánicas de la unidad Tuti, conformadas por tobas y flujos de lavas, moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas.
2. Los movimientos en masa antiguos en la zona han generado depósitos conformados por gravas, arenas y limos, poco compactados, que permite la infiltración y retención del agua, de esta manera los terrenos son fácilmente saturados.
3. Los peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Sihuayruma, comprenden deslizamientos, flujos de tierra y caída de rocas.
4. Se identificaron cuatro cicatrices de rotura, que corresponden a un deslizamiento antiguo (Da), dos, a flujos de tierra antiguos (Ft1 y Ft2) y otro a un flujo de tierra reciente (Ftr).
5. El flujo de tierra reciente (Ftr) se originó en el depósito de movimientos en masa antiguo, que está conformado por material no consolidado; está compuesto por bloques, gravas, arenas y limos; los bloques son ángulos y llegan a medir hasta 80 cm. Durante su recorrido el flujo afectó una vivienda ubicada en la parte baja de la zona.
6. Los movimientos en masa podrían afectar terrenos de cultivo en un área de 2 hectáreas y la vía carrozable cerca, en un tramo de 500 m.
7. Se concluye que el sector Sihuayruma, es considerada de **peligro alto**, puede ser afectado por flujo de tierra, que pueden ocurrir en temporadas de lluvia. Además, en el sector se pueden generar nuevas reactivaciones de movimientos en masa.

6. RECOMENDACIONES

1. Conducir adecuadamente las aguas pluviales proveniente de la parte alta de Sihuayruma, impermeabilizar los canales y acequias para evitar infiltraciones al subsuelo.
2. Todos los reservorios de agua en el sector deben ser impermeabilizados para evitar la infiltración en los terrenos.
3. 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 área susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.
4. Reubicar la vivienda ubicada en la parte baja del sector Sihuayruma, a un lugar en el que no se observe perturbaciones geológicas e hidrometeorológicas.
5. La población debe ser incentivada a la migración a nuevos tipos de cultivos y técnicas de irrigación, evitando las prácticas de riego por inundación.



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



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

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. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2052>

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, Transportation researchs board Special Report 247, p. 36-75.

Informe técnico, “zonas críticas por peligros geológicos en la región Arequipa”. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Luque, (2014):

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.

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.

Zavala B.; Churata D. & Varela F. (2019). Geodiversidad y Patrimonio Geológico en el Valle del Colca. INGEMMET, Boletín Serie I: Patrimonio y Geoturismo. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2114>

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 31), 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.

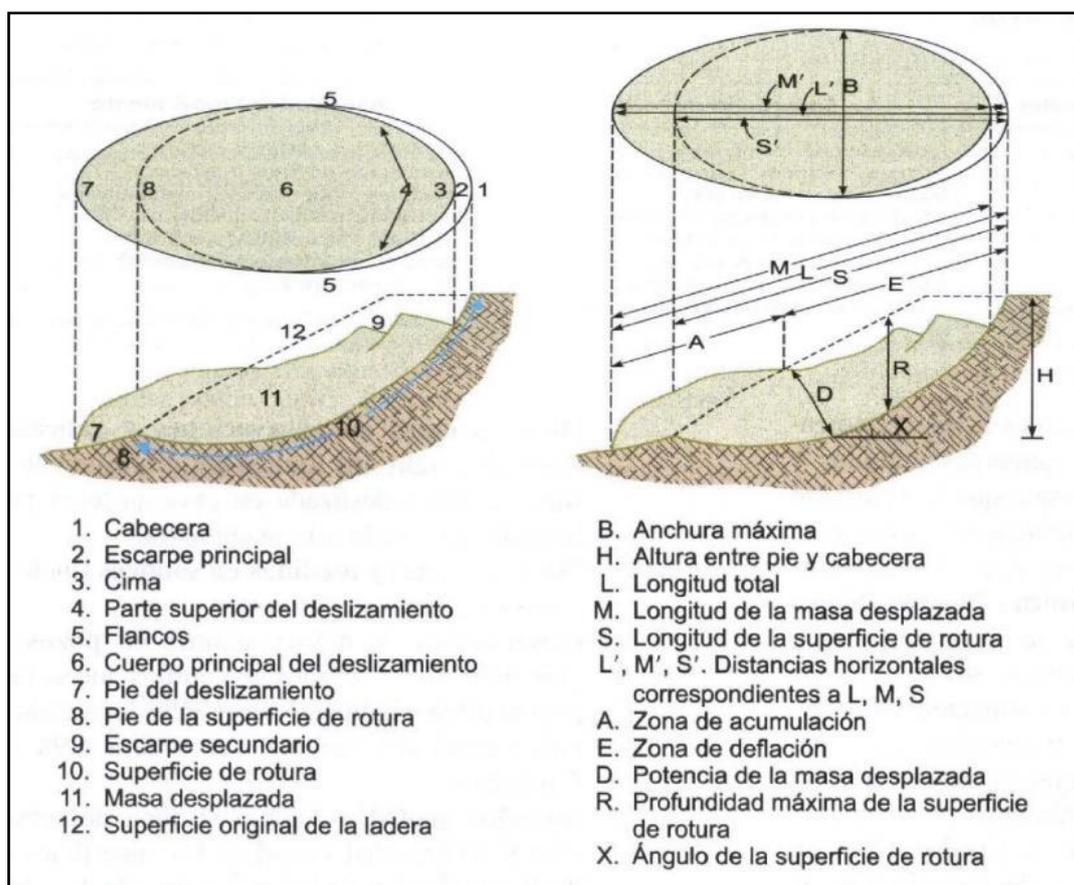


Figura 31. Elementos morfológicos y morfométricos de un deslizamiento, tomado de González de Vallejo., (2002).

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 32 y 33). 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.

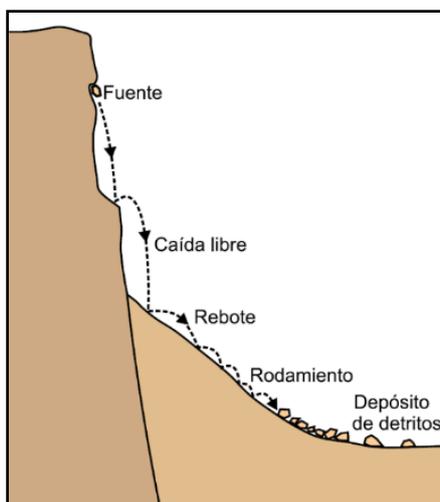


Figura 32. Esquema de la caída de rocas

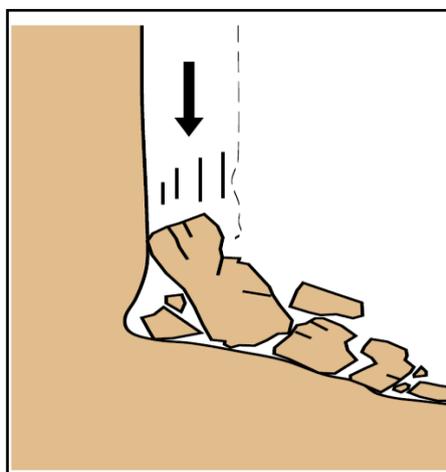


Figura 33. Esquema de Corominas y Yague (1997) denominan a este movimiento "colapso".

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.