

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7148**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LOS SECTORES HUANCALUQUE, LLAMANI Y CERRO CCATASUYO

Región Puno  
Provincia Sandia  
Distrito Sandia



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

*Equipo de investigación:*

*Hugo D. Gómez Velásquez*

*Ely M. Ccorimanya Chalco*

**Referencia bibliográfica**

*Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en los sectores Huancaluque, Llamani y cerro Ccatasuyo. Distrito de Sandía, provincia Sandía, región Puno: Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7148, 44p.*

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>1.1. Objetivos del estudio</b> .....	3
<b>1.2. Antecedentes y trabajos anteriores</b> .....	3
<b>1.3. Aspectos generales</b> .....	4
<b>1.3.1. Ubicación</b> .....	4
<b>1.3.2. Accesibilidad</b> .....	5
<b>1.3.3. Clima</b> .....	5
<b>2. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	6
<b>2.1. Unidades litoestratigráficas</b> .....	6
<b>2.1.1. Formación sandia (Os-s)</b> .....	7
<b>2.1.2. Formación Ananea (SD-a)</b> .....	8
<b>2.1.3. Depósito coluvio-deluvial (Qh-cd)</b> .....	8
<b>2.1.4. Depósito aluvial (Qh-al)</b> .....	9
<b>2.1.5. Depósito fluvial (Qh-fl)</b> .....	9
<b>3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b> .....	11
<b>3.1. Pendientes del terreno</b> .....	12
<b>3.2. Unidades geomorfológicas</b> .....	13
<b>3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional</b> .....	13
<b>3.2.2. Geoformas de carácter tectónico depositacional y agradacional</b> .....	14
<b>4. PELIGROS GEOLÓGICOS</b> .....	19
<b>4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa</b> .....	19
<b>4.1.1. Derrumbe- Flujo (Sector Huancaluque)</b> .....	19
<b>4.1.2. Derrumbe – Flujo (Sector Llamani)</b> .....	24
<b>4.1.3. Caída de rocas – Flanco noreste del cerro Ccatasuyo</b> .....	34
<b>4.2. Factores condicionantes</b> .....	35
<b>4.3. Factores desencadenantes</b> .....	36
<b>4.4. Daños por peligros geológicos</b> .....	36
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	37
<b>6. RECOMENDACIONES</b> .....	39

<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>40</b>
<b>ANEXO 1: GLOSARIO.....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN .....</b>	<b>42</b>

## RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizados en los sectores Huancaluque, Llamani y en el flanco noreste del cerro Ccatasuyo, que pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad distrital de Sandia, provincia Sandia, región Puno. 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).

Las unidades litoestratigráficas que afloran en las zonas evaluadas, corresponden a rocas de origen metamórfico de la Formación Sandia conformada principalmente por cuarcitas, metareniscas, arcillitas y pizarras; el macizo rocoso se encuentra meteorizado y muy fracturado. Además, es susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo caída de rocas, derrumbes y flujos de detritos. Asimismo, estos afloramientos se encuentran cubiertos por depósitos recientes (coluvial y deluvial). Los procesos de movimientos en masa se desarrollan principalmente sobre depósitos coluviodeluviales, compuestos por materiales inconsolidados, de bloques de forma angulosas a subangulosas con diámetros que varían de 0.2 a 0.35 m inmersos en una matriz limo arcillosa con escasa cohesión e inestables.

Las Geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional (ladera de montaña en roca metamórfica) y de carácter depositacional y agradacional principalmente originada por la ocurrencia de movimientos antiguos, que configuran geoformas de piedemonte (vertiente o piedemonte coluvio-deluvial), planicie (Terraza aluvial y Terraza fluvial).

Los eventos identificados en el sector Huancaluque corresponde a peligro por movimientos en masa de tipo derrumbe y flujo de detritos; el flujo afectó 20 metros de carretera. En el sector Llamani, se identificó la ocurrencia de un derrumbe seguido de un flujo, este evento, se generó en el cuerpo de un deslizamiento antiguo y afectó 45 metros de carretera y andenerías de cultivo.

Para los eventos de los sectores Huancaluque y Llamani, se considera como principales factores condicionantes a las laderas con pendientes que varían desde muy fuerte (28°) a muy escarpados (55°); substrato rocoso muy fracturado con buzamiento de 46° noreste a favor de la pendiente; suelos inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales) de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales intensas. Además, se considera como factor desencadenante de los derrumbes las lluvias intensas que se presentan en los meses de diciembre a marzo.

En el flanco noreste del cerro Ccatasuyo, ubicado en la capital del distrito de Sandia, se identificó caída de rocas en talud rocoso muy fracturado (con tipo de rotura mixta). La escarpa de arranque de este movimiento en masa es irregular y discontinua, la zona de caída de rocas abarca toda la ladera ubicada a espaldas del barrio Los Pinos. Las causas corresponden a rocas muy fracturadas, diaclasadas y con presencia de micro fallas, pendiente muy fuerte y escasas cobertura de vegetación.

Asimismo, los factores detonantes son las precipitaciones pluviales intensas y excepcionalmente la actividad sísmica.

Los sectores evaluados como Huancaluque, Llamani y cerro Ccatasuyo, se consideran de peligro **Muy Alto** a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo derrumbes, derrumbes seguido de flujo de detritos y caída de rocas, respectivamente; asimismo pueden ser reactivada en la temporada de lluvias (diciembre a marzo) y por movimientos sísmicos.

Finalmente, se brinda recomendaciones que se consideran importantes que las autoridades competentes pongan en práctica en las zonas de estudio, estas propuestas de solución se plantean con la finalidad de minimizar las ocurrencias de daños que pueden ocasionar los procesos identificados; así como también evitar la generación de nuevas ocurrencias o eventos futuros que causen daños.

## 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 en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Provincial de Sandia según oficio N°037-2021-A-MPS, es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en los sectores de Huancaluque, Llamani y cerro Ccatasuyo, ocurridos debido a las intensas lluvias que afectó infraestructura de carretera y viviendas.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al Ingeniero Geólogo Dulio Gómez Velásquez y la Geóloga Ely Ccorimanya Challco, para realizar la evaluación geológica, geomorfológica y geodinámica de los peligros geológicos entre los días 22 y 24 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 Sandia 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) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se presentan en los sectores Huancaluque y Llamani eventos que pueden comprometer la seguridad física de personas, vehículos, obras de infraestructura y vías de comunicación en la zona de influencia de los eventos.
- b) Determinar los factores condicionantes y factor detonante que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

### 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional en los sectores Huancaluque y Llamani se tienen:

- A) Boletín N°77, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro Geológico en la Región Puno” (Gómez & Pari, 2020) indican que dentro de la región Puno que la ocurrencia de peligros geológicos con mayor frecuencia son los de tipo flujos de detritos (huaicos), caídas, deslizamientos, movimientos complejos y reptación de suelos, así como también peligros geohidrológicos y otros peligros geológicos.  
El mapa de susceptibilidad se elaboró utilizando el método de ponderación de factores, denominado también método heurístico, indirecto - cualitativo. De esta forma, se efectuó para la zona una estimación de la susceptibilidad a los movimientos en masa representada en cinco categorías: muy baja susceptibilidad, baja susceptibilidad, moderada susceptibilidad, alta susceptibilidad y muy alta susceptibilidad, este mapa fue elaborado a escala 1: 400 000 (Figura 1), Este estudio incluye la zona de evaluación que corresponde a los sectores Huancaluque y Llamani en un alto grado de susceptibilidad a movimientos en masa como son: derrumbes, deslizamientos, caída de rocas, huaicos.
- B) Boletín N°28, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja N°3” (Fidel et al, 2003); realiza un estudio integral en base a análisis geológico, geomorfológico y geología estructural propone una evolución geodinámica reciente para las regiones. En el mapa de ocurrencia de peligros geológicos múltiples (a escala regional), el distrito de Sandia se encuentra en el área denominada como zona de Muy Alto Riesgo, donde se conjugan numerosos peligros: principalmente huaicos, caídas, deslizamientos, terrenos de fuerte a muy escarpado.

- C) Núñez, (2007). Informe Técnico “Evaluación de los Peligros Geológicos en los alrededores de Sandia” (distrito, provincia Sandia – región Puno).

Indica que en el cerro Ccatasuyo siempre se han originado caída de rocas, siendo esto evidente por los depósitos coluviales en la parte inferior del talud. Estos depósitos, por su morfología, fueron ocupados por viviendas. Estando de esta manera, a merced de los derrumbes y desprendimientos de rocas. La última caída de rocas ocurrió el 27 enero del año 2006, donde los bloques de hasta 5m de diámetro afectaron 5 viviendas. En este informe el Ing. Núñez concluye:

- Reubicar las viviendas localizadas en la parte baja del farallón, por estar expuestas a un peligro latente.
- Reforestar donde sea posible con árboles las laderas de los cerros y bordes de las terrazas del río Sandia.
- No permitir la circulación de personas dentro de la zona inestable (Farallón).

### 1.3. Aspectos generales

#### 1.3.1. Ubicación

El área evaluada que corresponde a los sectores Huancaluque y Llamani, pertenecen al distrito de Sandia, provincia Sandia, región Puno (Figura 2), entre las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 19S) siguientes:

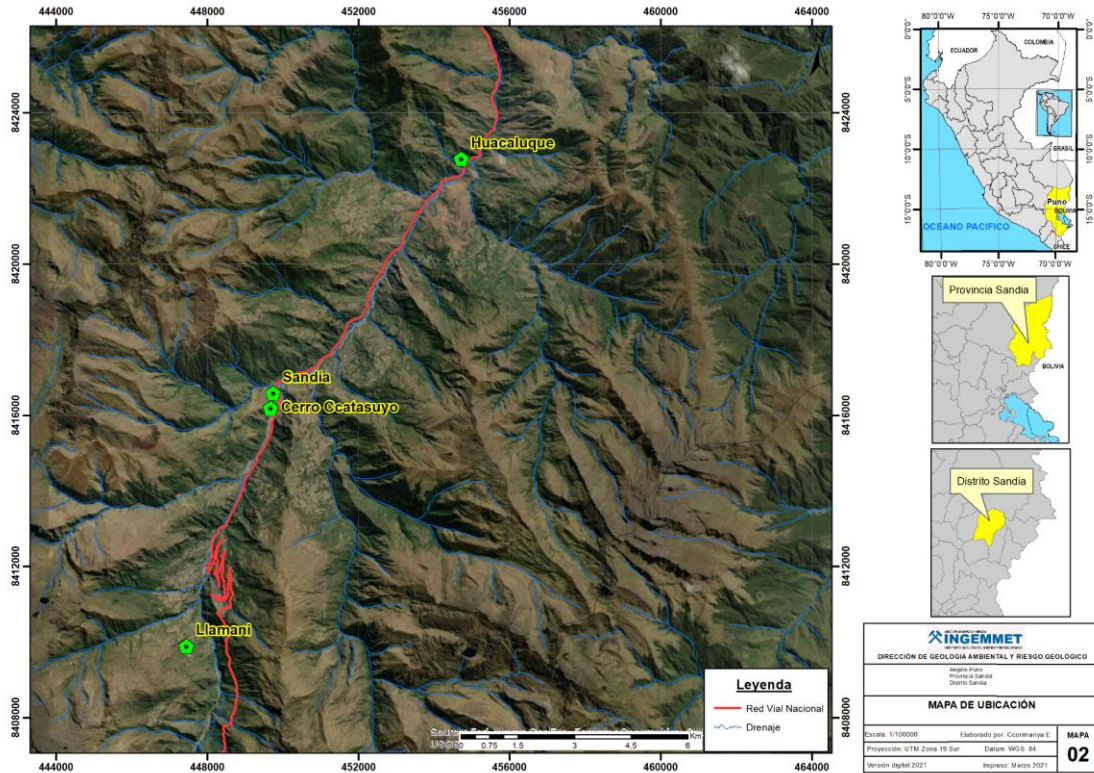
**Cuadro 1.** Coordenadas del área de estudio en el sector Huancaluque.

N°	UTM - WGS84 - Zona 19L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	454339.57	8422919.15	-14.26°	-69.42°
2	454528.30	8423123.60	-14.26°	-69.42°
3	454977.25	8422709.18	-14.27°	-69.42°
4	454788.53	8422504.73	-14.27°	-69.42°
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</b>				
C	454864.52	8422690.21	-14.27°	-69.42°

**Cuadro 2.** Coordenadas del área de estudio en el sector Llamani.

N°	UTM - WGS84 - Zona 19L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	447861.17	8409592.85	-14.39°	-69.48°
2	447512.53	8410253.51	-14.38°	-69.49°
3	447946.22	8410482.37	-14.38°	-69.48°
4	448294.86	8409821.71	-14.38°	-69.48°
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</b>				
C	447693.05	8410214.37	-14.38°	-69.49°





**Figura 2.** Mapa de ubicación de los sectores Huancaluque, Llamani y cerro Ccatasuyo.

**1.3.2. Accesibilidad**

El acceso a la zona de estudio fue por vía aérea desde Lima hasta la ciudad de Cusco; luego se continuó por vía terrestre hasta el poblado de Sandia (ver cuadro 2):

**Cuadro 3.** Rutas y accesos a la zona evaluada.

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Lima – Cusco	Aérea	1102.1	1:20 horas
Cusco – San Gabán	Asfaltada	372.7	8 horas
San Gabán - Sandia	Asfaltada	270	6 horas
Sandia - Huancaluque	Afirmada	9.5	0:26 horas
Sandia - Llamani	Afirmada	15.3	0:34 horas

**1.3.3. Clima**

El clima en el distrito de Sandia cuenta con un clima tropical, con gran precipitación que bordea los 332 mm en el mes de febrero. Sandia presenta precipitaciones en verano y en invierno el clima es bastante seco. La temperatura

media anual en Sandia es 23° y la precipitación media anual es 16mm. No llueve durante 334 días por año, la humedad media es del 77%, ver cuadro 4 ([https://www.cuandovisitar.pe/peru/sandia-3001154/#Clima\\_Sandia](https://www.cuandovisitar.pe/peru/sandia-3001154/#Clima_Sandia)).

Según la clasificación climática de Thornthaitte, las zonas de estudio y alrededores se encuentra influenciada dentro del clima Lluvioso húmedo con otoño e invierno secos, con temperatura semifrígido.

**Cuadro 4.** Temperatura y precipitación

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Día	23°C	23°C	23°C	23°C	22°C	21°C	21°C	23°C	24°C	24°C	24°C	24°C
Noche	15°C	15°C	14°C	14°C	13°C	12°C	12°C	12°C	14°C	15°C	15°C	15°C
Precipitación	312 mm	332 mm	259 mm	186 mm	120 mm	38 mm	38 mm	53 mm	72 mm	197 mm	271 mm	259 mm
Días de lluvia	30	28	30	27	26	22	21	19	22	28	28	30

**Fuente:** Página web [https://www.cuandovisitar.pe/peru/sandia-3001154/#Clima\\_Sandia](https://www.cuandovisitar.pe/peru/sandia-3001154/#Clima_Sandia).

## 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico de los sectores evaluados se elaboró teniendo como base la geología de los cuadrángulos de Sandia y San Ignacio, hojas 29-y y 29-z elaborados a escala 1:100,000 por De la Cruz & Carpio (1996), donde se tienen principalmente afloramientos de la Formación Sandia y depósitos Cuaternarios. La cartografía se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo (Figura 3 y 4).

### 2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona inspeccionada y los alrededores son de origen metamórfico, como las formaciones Ananea y Sandia;

además, existen depósitos recientes conformados materiales coluvio-deluvial, aluvial y fluvial.

### 2.1.1. Formación sandia (Os-s).

En los sectores Huancaluque y Llamani, esta Formación está constituida por cuarcitas, metareniscas de grano fino a medio, arcillitas y pizarras; además, los afloramientos de esta formación son observables en los cortes de talud realizados para la construcción de carreteras, mientras que en las laderas se encuentran cubiertos por vegetación densa, típica de la zona. También, se puede apreciar que las rocas están muy fracturadas, meteorizadas, de calidad geotécnica mala; asimismo, se encuentran cubiertas por depósitos coluvio-deluviales.

El substrato con buzamiento de 46° NE a favor de la pendiente lo hace susceptible a la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa. (Fotografía 1).



**Fotografía 1.** Afloramiento rocoso fracturado de la Formación Sandia ubicada en la quebrada Urahuancaque, margen izquierda del río Sandia.



**Fotografía 2.** Vista panorámica tomada con dirección sureste, se observa el afloramiento de un nivel de capa de pizarra muy fracturada (material de coloración negra), cubierta por depósito coluvial.

### 2.1.2. Formación Ananea (SD-a).

Nombre asignado por Laubacher (1973) a una gruesa secuencia de pizarras gris oscuras, laminares y foliadas, con niveles micáceos y cuarcitas lenticulares ocasionalmente. Los afloramientos rocosos de la Formación Ananea suprayacen a la Formación Sandía en un contacto fallado inversamente como producto de una tectónica comprensiva. Además, los macizos se encuentran intensamente deformados, fracturados y cubierto por depósitos coluviales.

Regionalmente su morfología se caracteriza por relieves suaves, sin embargo, para la zona de estudio se presenta muy deformado y con morfología abrupta, formando valles angostos.

### 2.1.3. Depósito coluvio-deluvial (Qh-cd).

Agrupar depósitos de origen gravitacional, acumulado en las vertientes o márgenes del valle; constituyendo escombros de laderas que cubren parcialmente a los afloramientos de las formaciones Sandía y Ananea.

En la zona de estudio, los depósitos coluviales se originaron por eventos de deslizamientos antiguos y pequeños derrumbes. Está conformado por materiales

gruesos de naturaleza homogénea y heterométrica, bloques subredondeados a subangulosos provenientes de la Formación Sandia y Ananea, inmersa en una matriz de materiales finos como arena, limo y arcilla. Su distribución es caótica y constituyen depósitos de piedemonte (Fotografía 2).



**Fotografía 3.** Depósito coluvial, fotografía tomada con vista hacia el escarpe del derrumbe, ubicado en el sector Llamani.

#### 2.1.4. Depósito aluvial (Qh-al)

Estos depósitos han sido reconocidos a lo largo del río Sandia compuesto principalmente de arenas y gravas en matriz limoarenoso. Formando en ambas márgenes y por sectores pequeñas terrazas. Este depósito es más visible en el piso de valle en el sector Huancaluque.

#### 2.1.5. Depósito fluvial (Qh-fl)

Caracterizado por presentarse en el curso del río. Litológicamente está compuesto por fragmentos rocosos heterogéneos (bolos, cantos, gravas, arenas, etc.) transportados por la corriente del río Sandia y sus tributarios a grandes distancias y depositados en forma de terrazas, removibles por el curso actual del río Sandia.

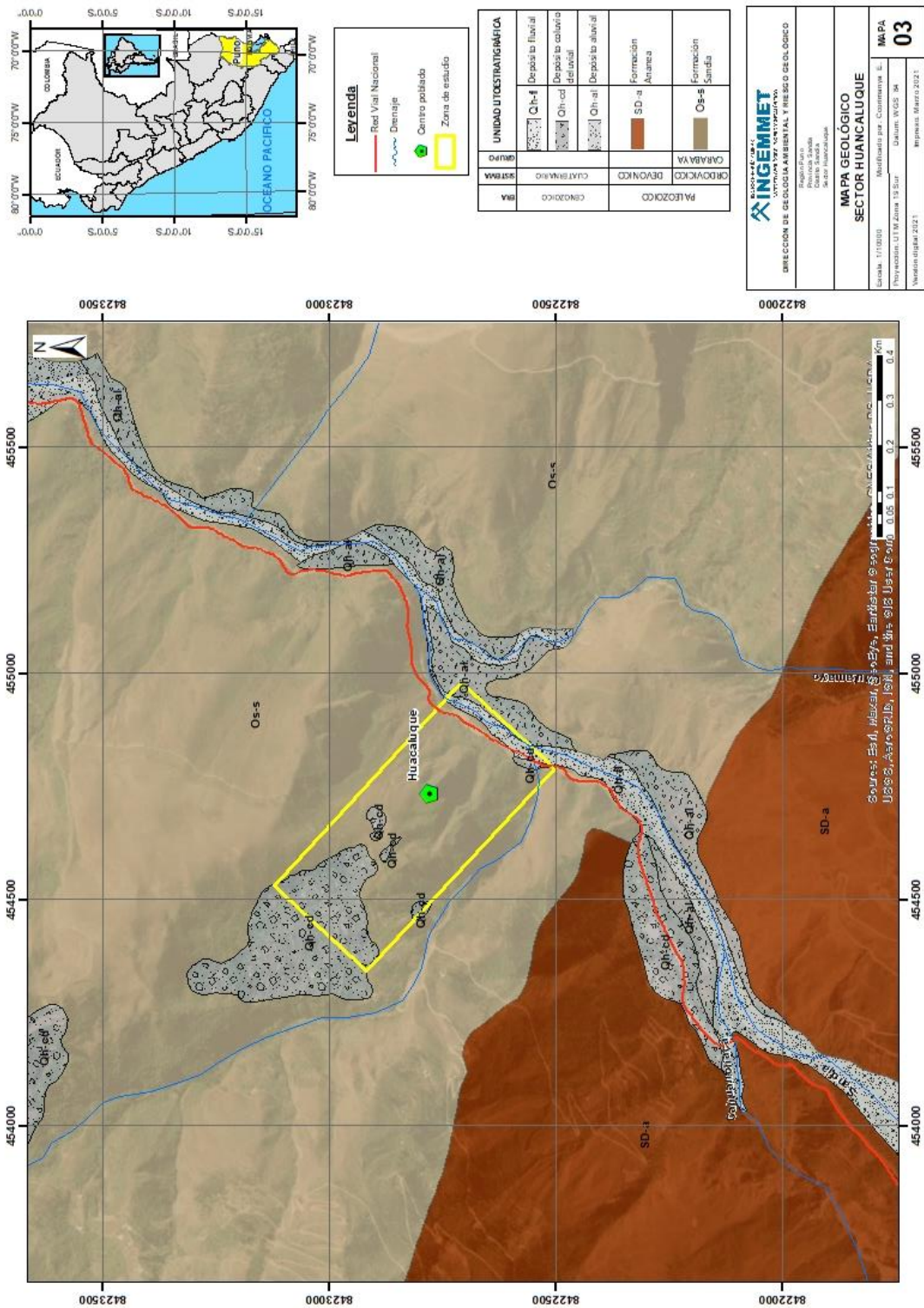


Figura 3. Mapa Geológico del sector Huancaluque.

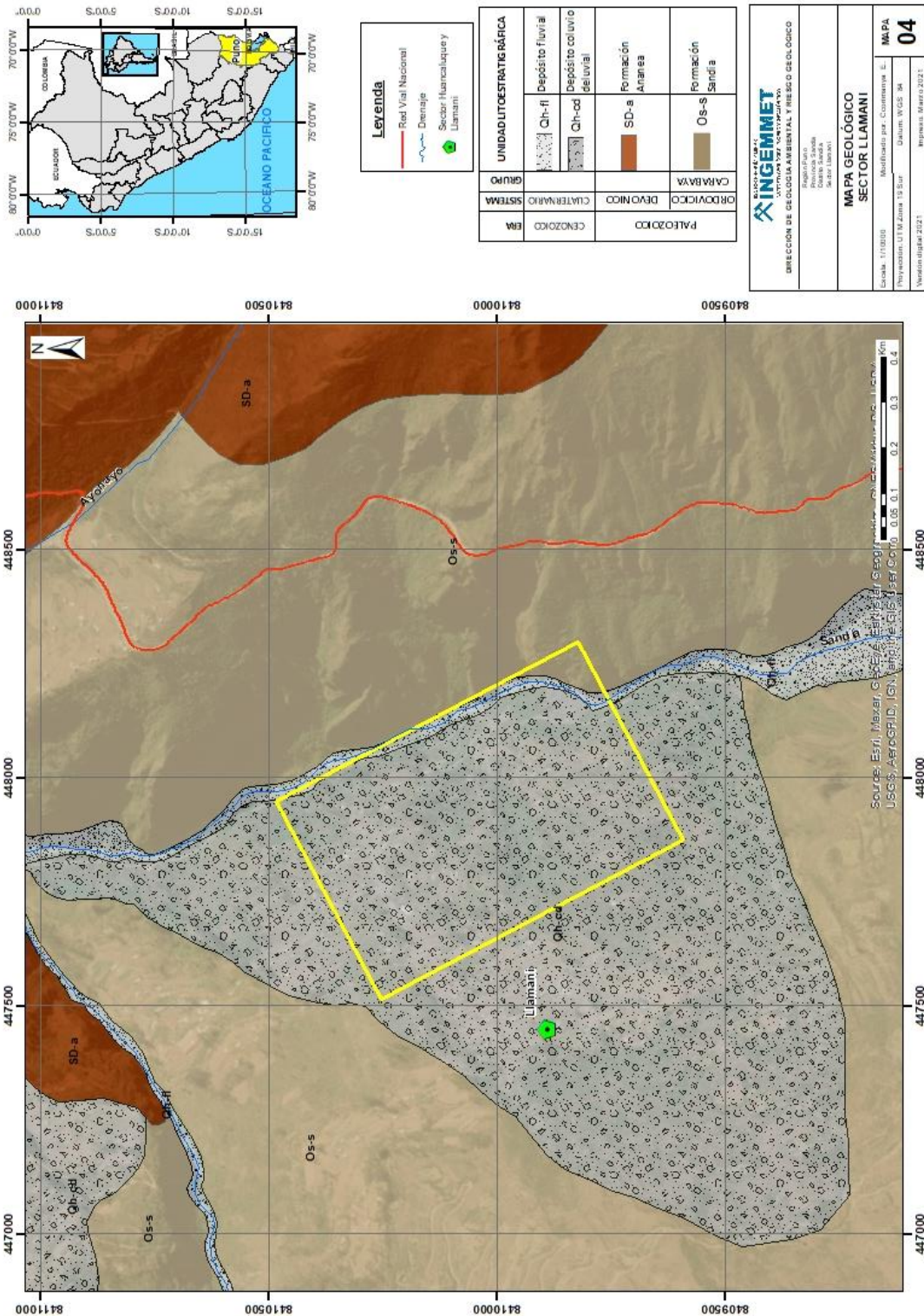


Figura 4. Mapa Geológico del sector Llamani.

### 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); por lo cual es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En las figuras 6 y 7, se presenta los mapas de pendientes para los sectores Huancaluque y Llamani, elaborado en base a la información del modelo de elevación digital Alos paltar de 10 m de resolución, donde se presentan con mayor predominio laderas con pendientes fuertes (15° - 25°) a pendientes muy escarpados (> 45°).

Específicamente los derrumbes ocurridos seguido de un flujo de detritos en los sectores Huancaluque y Llamani se desencadenaron en laderas de pendientes que varían de 28° a 54°, lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas. (Figura 5 y 6).

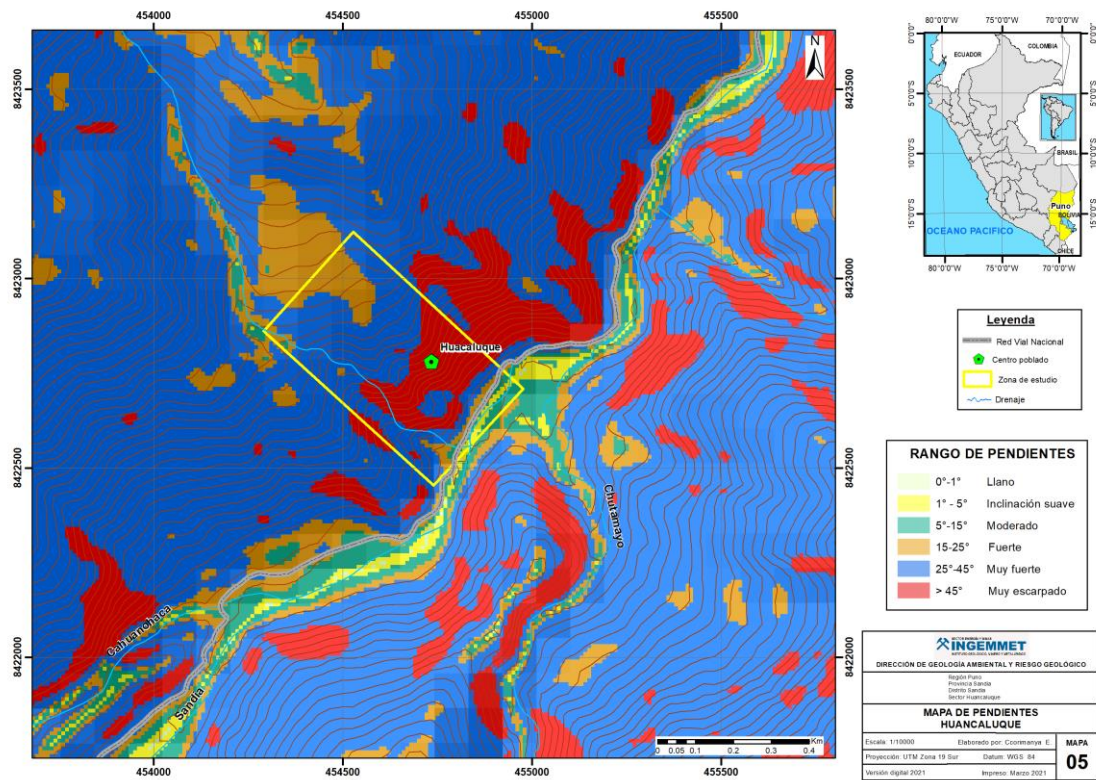
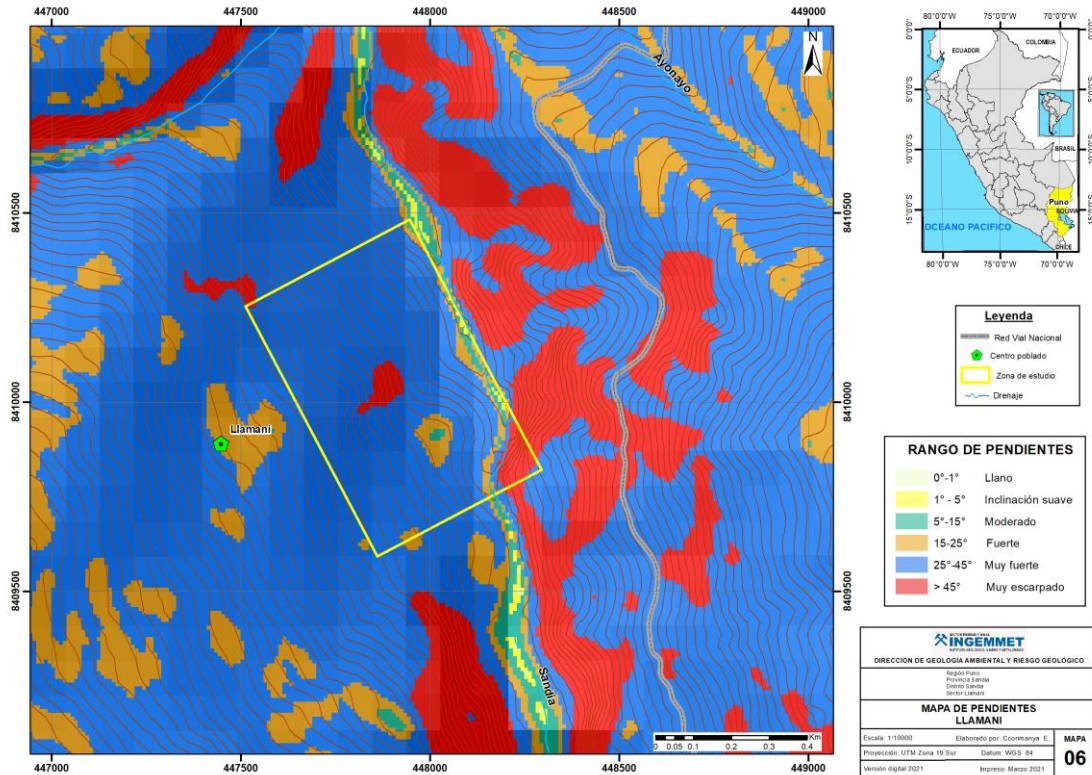


Figura 5. Mapa de pendientes de los terrenos del sector Huancaluque.





**Figura 6.** Mapa de pendientes de los terrenos sector Llamani.

### 3.2. Unidades geomorfológicas

La cartografía geomorfológica y la delimitación de las unidades geomorfológicas, se realizó utilizando el criterio principal de homogeneidad relativa y la caracterización de aspectos de origen del relieve (geformas de carácter tectónico degradacional y erosional o geformas de carácter depositacional y agradacional); individualizando tres tipos generales y específicos del relieve en función de su altura relativa, diferenciándose montañas, piedemontes y planicies.

Asimismo, para la delimitación de las subunidades geomorfológicas (figuras 9 y 10), se consideró los límites de las unidades litoestratigráficas (substrato rocoso y depósitos superficiales); sin embargo, se dio énfasis en la diferenciación de los depósitos recientes, sobre todo depósitos de movimientos en masa identificados en campo y con ayuda de las fotografías aéreas e imágenes satelitales.

#### 3.2.1. Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Están representadas por las formas de terreno resultados del efecto progresivo de procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

### 3.2.1.1. Unidad de montañas

Se considera dentro de esta unidad a las geoformas que alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local, se reconocen como cumbres y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza. Se encuentran conformadas por alineamientos alargados constituidos principalmente de rocas metamórficas. Dentro de esta unidad se tiene la siguiente subunidad.

**Sub Unidad de ladera de montaña en roca metamórfica (RM-rm):** Corresponde a relieve moldeado sobre roca metamórfica de la Formación Sandia y Ananea; debido a la forma del terreno mixto (cóncavo y convexo) las pendientes de la ladera de las montañas varían principalmente de 28° a 54° considerado como pendiente muy fuerte a muy escarpado. En esta subunidad ocurren principalmente los procesos de movimientos en masa identificados en la zona de estudio como derrumbes, flujo de detritos, caída de rocas (Figura 7).

### 3.2.2. Geoformas de carácter tectónico depositacional y agradacional

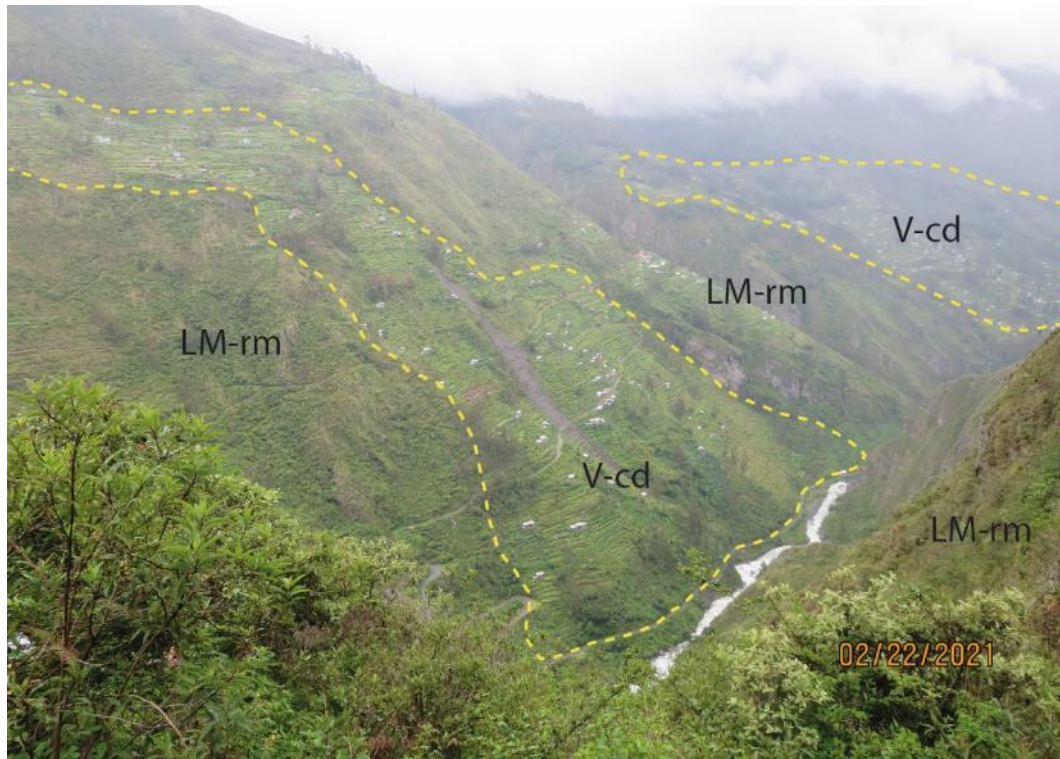
Están representadas por formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores. Se tienen las siguientes unidades y subunidades:

#### 3.2.2.1. Unidad de piedemonte

Corresponde a la acumulación de material muy heterogéneo, constituidos por bloques, cantos, arena, limos, arcillas poco consolidadas, estos generalmente se encuentran en las laderas y piedemontañas.

**Sub Unidad de Vertiente o piedemonte coluvio - deluvial (V-cd):** Agrupa depósitos de piedemonte de origen gravitacional y fluvio-gravitacional, acumulado en las vertientes o márgenes del valle; en muchos casos, son resultado de una mezcla de ambos, constituyendo escombros de laderas que cubren parcialmente los afloramientos metamórficos de la Formación Sandia y Ananea (Figura 7).

Los depósitos deluviales están referidos a acumulaciones de depósitos de vertiente con taludes de pendiente entre moderado (5°-15°) a muy fuerte (25°-45°). Se les encuentra como capas de suelo fino y arcillas arenosas con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños y angulosos. Esta unidad corresponde a las acumulaciones de laderas inestables, originadas por procesos de movimientos en masa (derrumbes, deslizamiento y caída de rocas), así como también por la acumulación de material fino y detrítico, caídos o lavados por escorrentía superficial, los cuales se acumulan sucesivamente al pie de laderas.



**Figura 7.** Imagen tomada con dirección noroeste, se observa las subunidades enmarcadas como ladera de montaña en roca metamórfica y vertiente coluvio-deluvial en el sector Llamani.

### 3.2.2.2. Unidad de planicies

**Terraza aluvial (T-al):** Subunidad geomorfológica caracterizada por presentar relieve plano con escasos sectores ondulados, constituida por acumulación de material aluvial sin consolidación, sus pendientes corresponden a inclinación moderada (5°-15°). (figura 8).

### 3.2.2.3. Unidad de planicies inundables

**Sub Unidad de Terraza fluvial (T-fl):** Esta subunidad se caracteriza por presentarse dentro del curso de los ríos, sobre todo tienen su mayor extensión en los ríos estacionarios. Litológicamente está compuesta por fragmentos rocosos heterogéneos (bolos, cantos gravas, arenas, etc.), los cuales son transportados por la corriente del río Sandia a grandes distancias, se depositan formando terrazas bajas, también conformando la llanura de inundación o el lecho de los ríos (Figura 8).



**Figura 8.** Imagen tomada con dirección suroeste, se observa las subunidades enmarcadas como ladera de montaña en roca metamórfica, terraza aluvial y terraza fluvial con vistas al río Sandía en el sector Huancaluque.

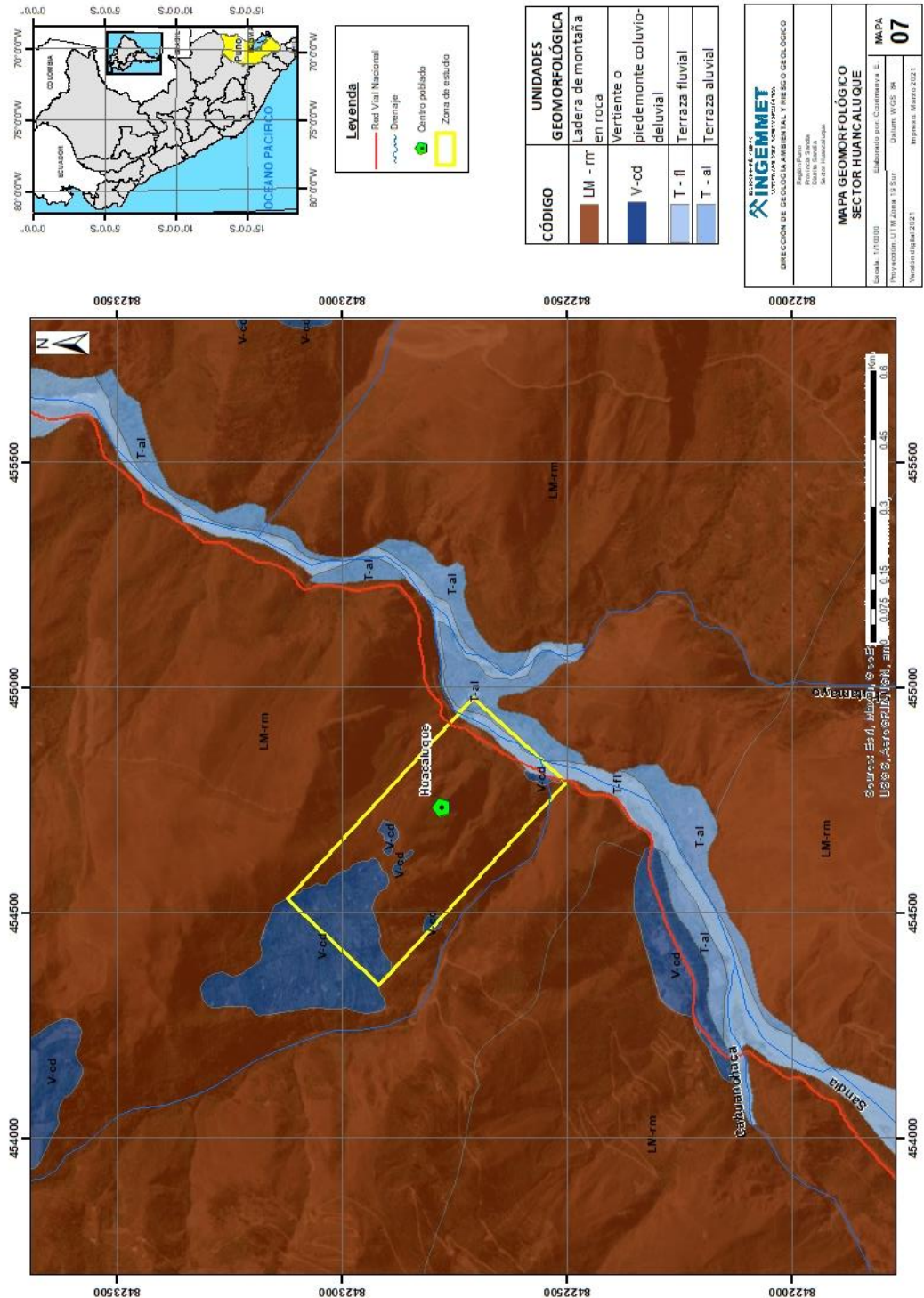


Figura 9. Mapa Geomorfológico, sector Huancaluque.

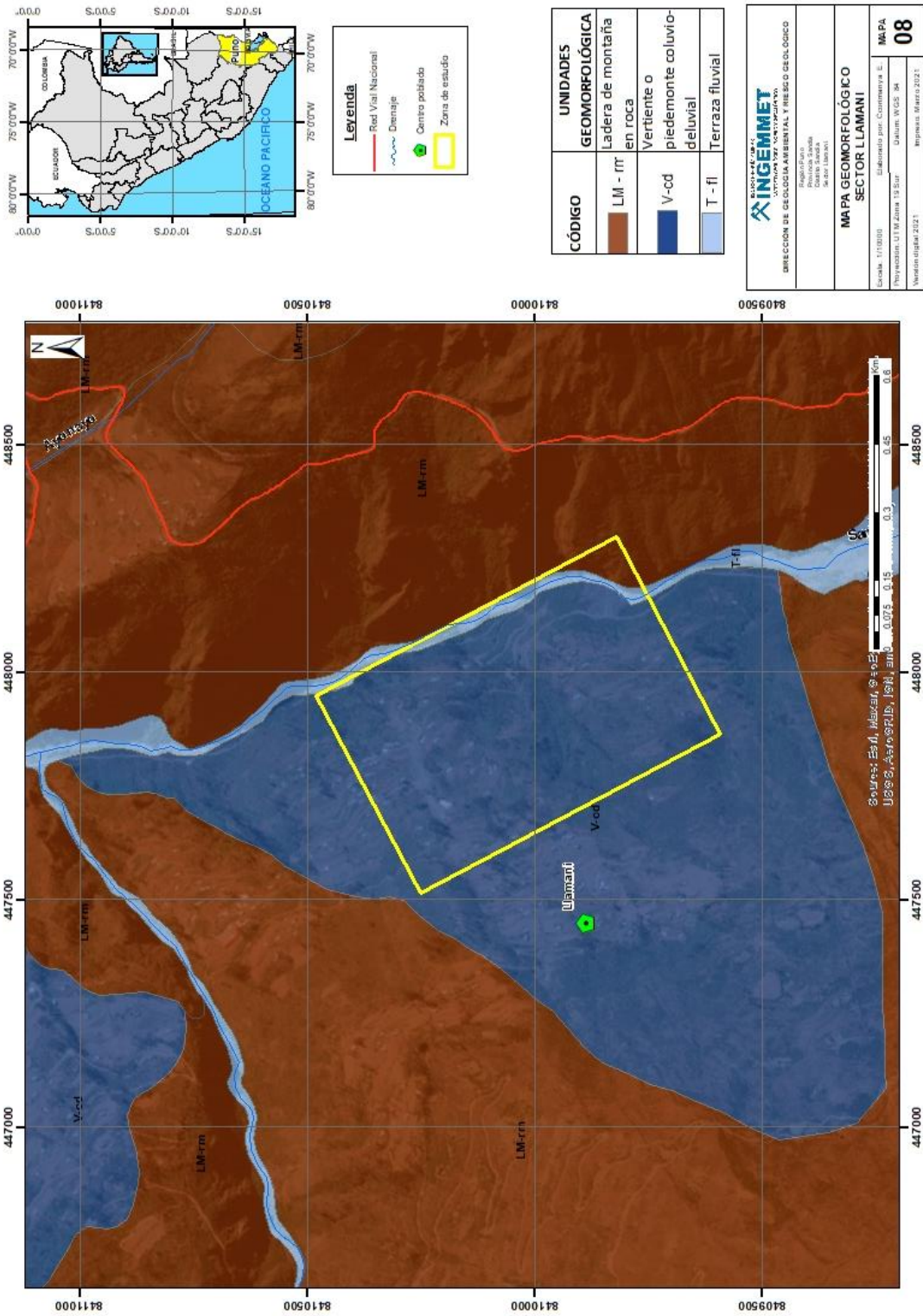


Figura 10. Mapa Geomorfológico, sector Llamani.

## 4. PELIGROS GEOLÓGICOS

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

Estos movimientos en masa tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelos, el drenaje superficial–subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona.

### 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 cambiando el relieve a una condición más plana (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

Para la caracterización de los eventos geodinámico, se realizó en base a la información obtenida de los trabajos de campo en donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través de la cartografía geológica y geodinámica basado en la observación y descripción morfométrica in situ, la toma de datos con GPS, fotografías a nivel de terreno y del levantamiento fotogramétrico con dron, de donde se obtuvo un modelo digital de terreno y un ortomosaico con una resolución de 0.32 y 0.16 cm por pixel respectivamente (sector Huancaluque) y 0.14 y 0.07 cm por pixel (sector Llamani). Esta información se complementó con el análisis de imágenes de satélite.

La zona de estudio y alrededores son susceptibles a la ocurrencia de peligros geológicos de tipo derrumbes, flujos, caída de rocas, condicionado por las características morfológicas, litológicas y pendiente, se han identificado y caracterizado los siguientes peligros geológicos:

#### 4.1.1. Derrumbe- Flujo (Sector Huancaluque)

El sector Huancaluque se ubica en la margen izquierda del río Sandía. En la visita del sector realizada los días 22 y 23 de febrero, se han observado evidencias de procesos de movimientos en masa de tipo derrumbe; con la presencia de lluvias intensas el material fue arrastrado a manera de flujo de detritos (huaico). Según los pobladores, el evento viene presentándose desde febrero del año 2017 y con mayor

frecuencia en el año 2020. El evento afectó dos viviendas que se encuentra ubicado en la desembocadura de la quebrada Urahuancaluque; además, afectó aproximadamente 20m de plataforma de la vía afirmada Sandia – San Juan de Oro. Asimismo, en las laderas de la quebrada Urahuancaluque, cercana a la zona de estudio, presentan similares eventos de movimientos en masa a causa del tipo de material, morfología y pendiente del terreno; además, el material depositado al pie de talud puede ser arrastrado por el agua que discurre por la quebrada (Figura 12).

### **CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO**

En el sector Huancaluque, en la quebrada Urahuancaluque ubicado en la margen izquierda del río Sandia; en el año 2020 se generó un derrumbe en la parte alta de la quebrada y luego se convirtió en flujo, incorporando material saturado en su trayectoria tiene las siguientes características:

- Zona de arranque: roca fracturada y meteorizada
- Tipo de rotura: planar
- Longitud de arranque: 12 m.
- Altura: 10 m
- Por corresponder a una zona de pendiente muy alta a escarpada (41°) el material desprendido fue arrastrado por el flujo canalizado hasta desembocar en el río Sandia (Figura 11).
- La distancia recorrida por el flujo fue de 353 m.
- Viviendas asentadas en la desembocadura de la quebrada, ubicados en el margen izquierdo del río Sandia (Fotografía 4).





**Figura 11.** Imagen tomada con dron, se observa el curso que tuvo el flujo de detritos hasta desembocar en el río Sandía, del mismo modo se observa viviendas asentadas en la desembocadura de la quebrada, sector Huancaluque.



**Fotografía 4.** Viviendas asentadas en la desembocadura de la quebrada que discurre hacia el río ubicada en el sector Huancaluque.

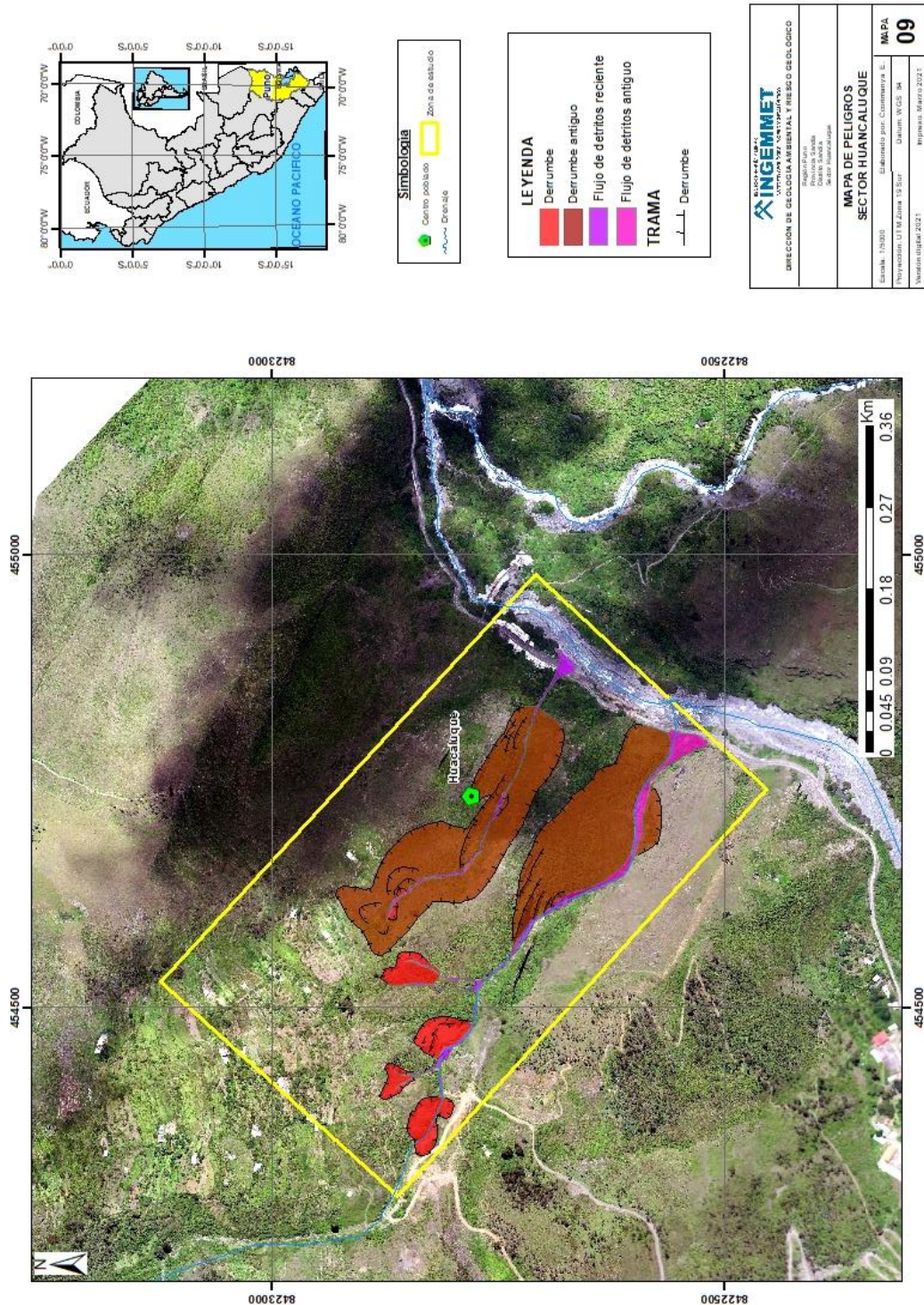


Figura 12. Mapa de peligros Geológicos del sector Huancalique

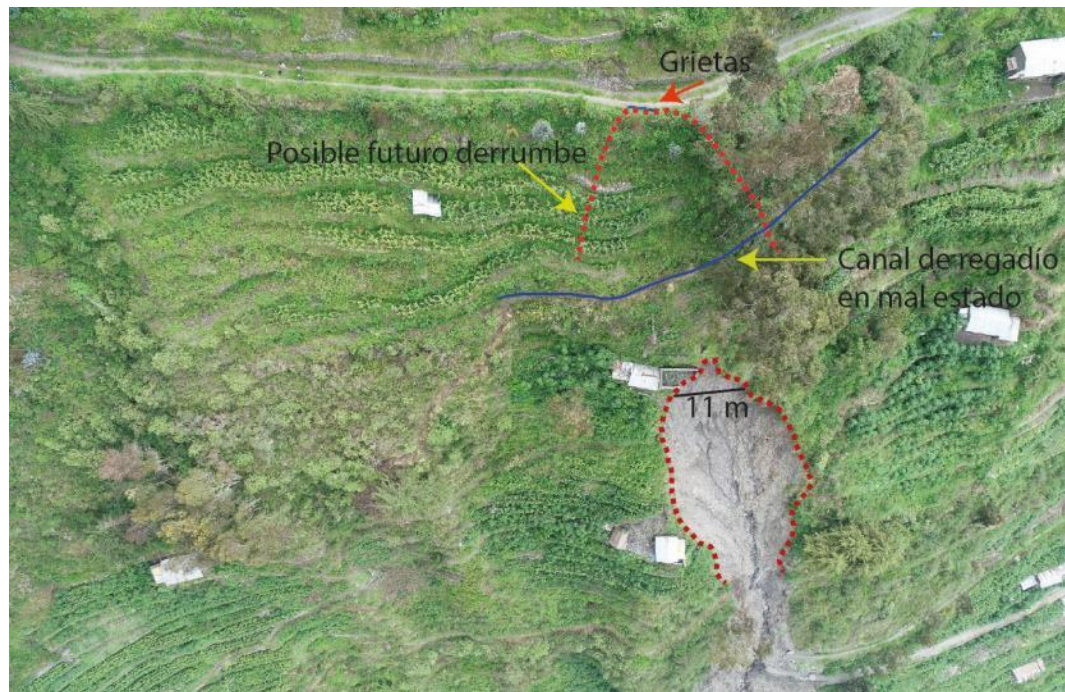
#### 4.1.2. Derrumbe – Flujo (Sector Llamani)

El sector Llamani se ubica en la margen izquierda del río Sandia en las coordenadas UTM zona 19, 448565m E – 8413872m S. Con el trabajo realizado el día 23 de febrero se han observado evidencias de procesos de movimientos en masa de tipo derrumbes, con la presencia de lluvias intensas este material fue arrastrado a manera de flujo de detritos (Figura 19); además, se observa encima del escarpe principal del derrumbe, un canal de regadío en mal estado que presenta grietas en la estructura con fugas de agua que se infiltran en la superficie saturando el suelo poco consolidado siendo uno de los detonantes que ocasionó el derrumbe que afectó 45m de vía afirmada que comunica entre el centro poblado Llamani y la ciudad de Sandia, también afectó 2 viviendas que presentan grietas en sus paredes, del mismo modo, se observó grietas de 1cm de apertura sobre la vía afirmada que se encuentra a 15 m de la corona de derrumbe.

#### CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO

El derrumbe ocurrido en el sector Llamani de actividad geodinámica reciente, presenta las siguientes características y dimensiones:

- Ancho promedio de la zona de arranque: 11 m (Figura 13).
- Forma de la superficie de rotura: irregular alargada
- Diferencia de altura aproximada de la corona al pie de la masa desplazada: 360 m
- Presencia de grietas en las paredes de dos viviendas (Figura 14).
- Se observa grietas con apertura de hasta 1cm sobre la vía afirmada que se ubica aproximadamente a 15m del escarpe principal del derrumbe, lo que indica un posible futuro derrumbe por la inestabilidad del terreno (Fotografía 5).
- Por encima del escarpe principal del derrumbe se aprecia un canal de regadío en mal estado además presentando grietas en su estructura infiltrándose las fugas de agua (Fotografía 6).
- El derrumbe provocó la destrucción de andenerías enmalladas (Figura 15).
- Parte del material del derrumbe fue arrastrado por el agua en forma de flujo cuesta abajo hasta orillas del río Sandia (Figura 16).



**Figura 13.** Imagen tomada con dron, se observa delimitado el escarpe de derrumbe con una zona de arranque de 11m, se señala las grietas que se encuentran sobre la vía que se encuentra aproximadamente a 15m del escarpe del derrumbe lo cual podría producir un futuro derrumbe, también se muestra el cauce de regadío en mal estado que pasa muy cerca al escarpe del derrumbe en el sector Llamani.



**Figura 14.** Se observa grietas en la pared de una vivienda ubicada a 30m del flanco izquierdo del derrumbe en el sector Llamani.



**Fotografía 5.** Grietas ubicadas sobre la vía que se ubica aproximadamente a 15m sobre el escarpe del derrumbe en el sector Llamani.



**Fotografía 6.** Canal de riego en mal, se encuentra aproximadamente a 6m sobre el escarpe del derrumbe, presenta grietas por donde infiltra el agua que discurre por el lugar. Esto provoca la saturación del terreno, ubicado en el sector Llamani.





**Figura 15.** Se observa restos de andenería enmallada, el cual fue arrastrado por el cuerpo del derrumbe ladera abajo en el sector Llamani



**Figura 16.** Imagen tomada con dron, se observa delimitado el escarpe de derrumbe, el flujo de detritos que discurre hasta el río Sandía, se muestra también afloramiento de agua en el escarpe del derrumbe, ubicado en el sector Llamani.

#### **Derrumbe sector Pampallamani (Figura 17):**

El sector Pampallamani se ubica en la margen izquierda del río Sandía (coordenadas UTM zona 19, 448124m E – 8409855m S) al pie de la ladera del sector Llamani. Con el trabajo realizado el día 23 de febrero se han observado evidencias de procesos geológicos de tipo derrumbe.

- Ancho promedio de la zona de arranque: 45 m
- Forma de la superficie de rotura: irregular alargada
- Diferencia de altura aproximada de la corona a la base del derrumbe: 82 m
- Afecta la trocha carrozable en un tramo de 45m.
- Al pie del derrumbe se observa muros de contención como defensa ribereña (Figura 18).



**Figura 17.** Imagen tomada con dirección noreste, se observa el derrumbe que afecta 45m de carretera afirmada, ubicado en el sector Pampallamani.



**Figura 18.** Imagen tomada hacia el pie del derrumbe en el sector Pampallani, se observa muros de defensa ribereña del río Sandia.

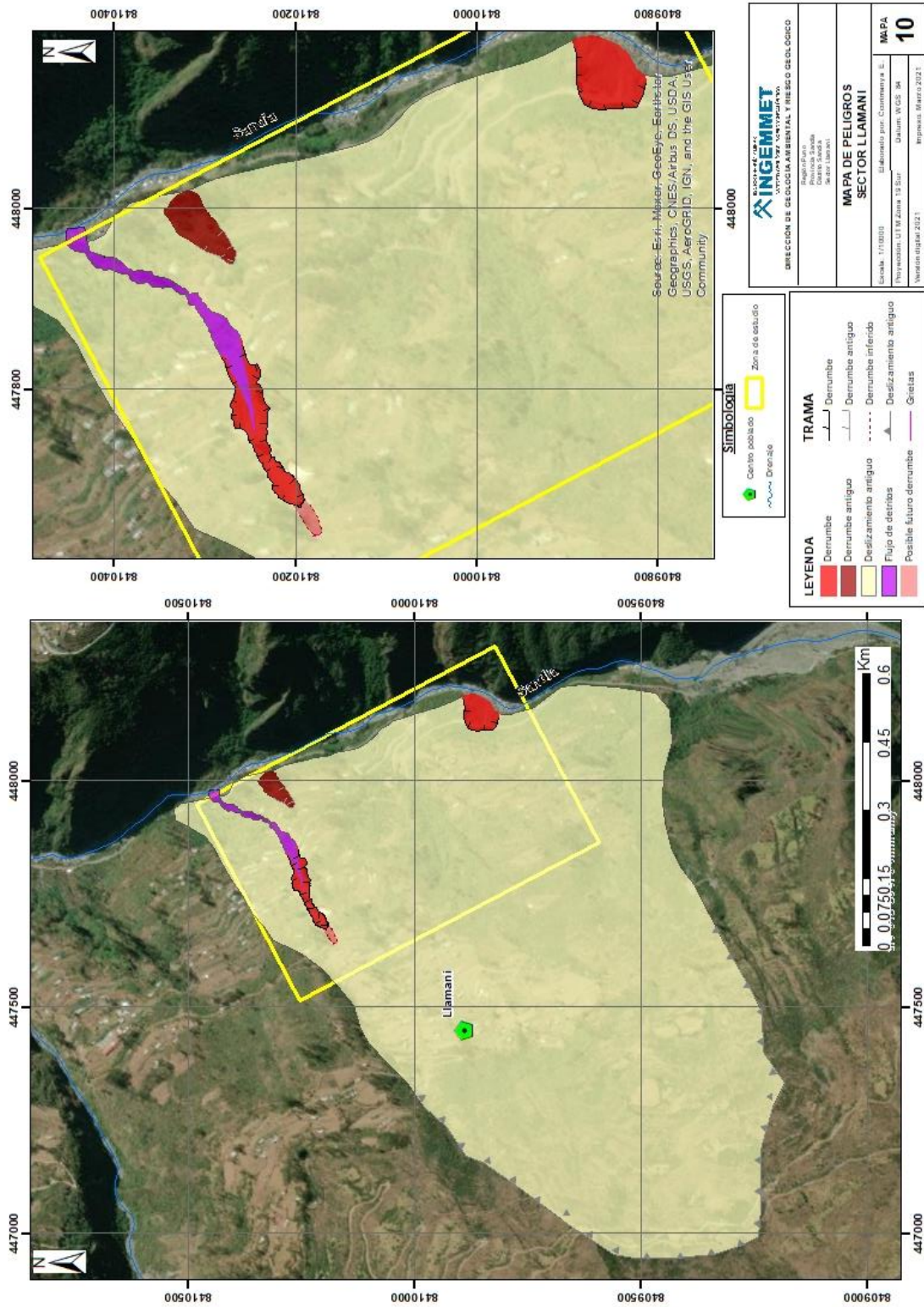


Figura 19. Mapa de peligros del sector Llamani

#### 4.1.3. Caída de rocas – Flanco noreste del cerro Ccatasuyo.

Durante el trabajo realizado el día 24 de febrero, en las coordenadas UTM (WGS 84): 449570, 8415515 S, se han observado evidencias de procesos geológicos de tipo caída de rocas en el flanco noreste del cerro Ccatasuyo donde el talud rocoso se presenta muy fracturado (con tipo de rotura mixta). La zona de arranque de este movimiento en masa es irregular y discontinua.

Según testimonios de los pobladores el flanco noreste del cerro Ccatasuyo fue afectado por un incendio en el mes de diciembre del año 2020, después del evento empezaron a desprenderse rocas laderas abajo, se pudo observar bloques entre 0.50 a 1.20m. Ante este evento se encuentran 40 viviendas expuestas.

Las causas para la ocurrencia de caída de rocas son: rocas muy fracturadas, falladas y diaclasadas con buzamiento de 64° NE; orientación desfavorable de discontinuidades, de pendiente muy fuerte y escasas de vegetación (Fotografía 7). Puede actuar como factor detonante, las precipitaciones pluviales intensas y la actividad sísmica.

Con coordenadas UTM (WGS 84): 449597, 8415642 S. se observa depósito coluvial, producto de la acumulación de materiales de la caída de rocas, este depósito se encuentra conformada por clastos de metareniscas subangulosos a subredondeados inmersas en una matriz arcillo limoso.



**Fotografía 7.** Con coordenadas UTM (WGS 84): 449619, 8415763 S se observa un afloramiento rocoso de metareniscas muy fracturada, ubicado en el barrio Los Pinos.



**Fotografía 8.** Con coordenadas UTM (WGS 84): 449597, 8415642 S se observa depósito coluvial que sobreyace al depósito aluvial con clastos redondeados a subredondeados inmersos en una matriz arenolimoso.

### **CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO**

- Talud rocoso muy fracturado con tipo de rotura mixta.
- Zona de arranque muy irregular y discontinua
- flanco noreste del cerro Ccatasuyo fue afectado por un incendio en el mes de diciembre del año 2020, después del evento empezaron a desprenderse rocas laderas abajo, se pudo observar bloques entre 0.50 a 1.20m.
- Ante este evento se encuentran 40 viviendas expuestas.

### **4.2. Factores condicionantes**

#### Factor litológico-estructural

- En el sector Huancaluque las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona de estudio están conformadas principalmente por rocas metamórficas que corresponden a la Formación Sandia constituida principalmente por metareniscas intercaladas con capas de pizarras los cuales se encuentran muy fracturados y meteorizadas cubiertas por depósitos coluvio-deluviales, presentan poca compactación. La meteorización y erosión de estas rocas y sedimentos crean coberturas susceptibles a derrumbes.

- En el sector Llamani aflora substrato rocoso de la Formación Sandia con buzamiento 46° NE a favor del pendiente compuesto por metareniscas, cuarcitas y pizarras regularmente meteorizada y muy fracturado, los cuales permiten mayor infiltración y retención de aguas en el terreno, originando inestabilidad en las laderas.
- Los factores condicionantes para la ocurrencia de caída de rocas en el flanco noreste del cerro Ccatasuyo son: rocas muy fracturadas, falladas y diaclasadas con buzamiento de 64° NE que corresponden a la Formación Sandia.
- Los suelos inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales). Está conformado por materiales gruesos de naturaleza homogénea y heterométrica, bloques subredondeados a subangulosos provenientes de la Formación Sandia, inmersa en una matriz de materiales finos como arena, limo y arcilla; presentan poca compactación, muy inestables cuando son sometidos a la saturación de agua, son de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales intensas.

#### Factor geomorfológico

- Los sectores Huancaluque, Llamani y flanco noreste del cerro Ccatasuyo se encuentran en ladera de montaña modelada sobre roca metamórfica donde presentan pendientes muy fuertes (28°) a muy escarpadas (54°); ello permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad.

#### 4.3. Factores desencadenantes

- En las zonas de estudio que corresponden a los sectores Huancaluque, Llamani y flanco noreste del cerro Ccatasuyo, el factor desencadenante para la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa son las lluvias intensas y/o extraordinarias entre los meses de diciembre a marzo, saturan los terrenos.
- En el sector Llamani además de las lluvias un factor detonante fue la infraestructura en mal estado (canales de regadío) ubicado en la parte superior de la corona del derrumbe el cual permite la infiltración del agua causando saturación del terreno.

#### 4.4. Daños por peligros geológicos

##### Derrumbe – Flujo en el sector Huancaluque:

- En el año 2020 el flujo ocurrido afectó 02 viviendas ubicadas en la desembocadura de la quebrada urahuancaluque.
- Afectó aproximadamente 20m de plataforma de vía afirmada Sandia – San Juan de Oro

##### Derrumbe- Flujo en el sector Llamani:

- Afectan 45m de vía afirmada que comunica entre centros poblados
- 2 viviendas los cuales presentan grietas en sus paredes.

##### Derrumbe - sector Pampallamani:



- Afecta aproximadamente 45m de vía afirmada en la zona.

## 5. CONCLUSIONES

### 5.1. Sector Huancaluque

- Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona de estudio están conformadas principalmente por rocas metamórficas que corresponden a la Formación Sandía constituida principalmente por metareniscas intercaladas con capas de pizarras los cuales se encuentran muy fracturados y altamente meteorizadas cubiertas por depósitos coluvio-deluviales, presentan poca compactación. La meteorización y erosión de estas rocas y sedimentos crean coberturas susceptibles a derrumbes.
- Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional (ladera de montaña en roca metamórfica). Se considera como principal factor condicionante la pendiente que varía de muy fuerte (28°) a muy escarpados (55°), que originan la ocurrencia de derrumbes cuyo material es arrastrado por el agua que discurre por la quebrada. Además, se considera como factor desencadenante de los derrumbes las lluvias intensas que se presentan en los meses de diciembre a marzo.
- Los peligros geológicos identificados en el sector Huancaluque corresponde a movimientos en masa (derrumbe y flujo), el flujo de detritos afecta 20m de tramo de carretera.
- Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el centro poblado Huancaluque es considerado como zona de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de derrumbes, flujos de detritos que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas y excepcionales.

### 5.2. Sector Llamani

- Sustrato rocoso compuesto por metareniscas, cuarcitas y pizarras moderadamente meteorizadas y muy fracturado; los estratos presentan buzamiento 46° NE a favor del pendiente, este último permite mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno. Además, en las laderas tenemos suelos inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales), que son de fácil erosión ante precipitaciones pluviales intensas.
- Las laderas en la zona de estudio presentan pendientes muy fuertes (28°) a muy escarpadas (54°), ello permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad.
- En el sector Llamani se observó infraestructura en mal estado (canales de regadío) ubicado en la parte superior de la corona del derrumbe el cual permite la infiltración del agua causando saturación del terreno.
- Los peligros geológicos identificados en el sector Llamani corresponde a peligros por movimientos en masa (derrumbe y flujo), afectando 45m de vía afirmada, andenerías de cultivo.
- Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, Llamani es considerado como zona de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de

peligros por movimientos en masa como derrumbes, flujos de detritos que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas y excepcionales

### 5.3. Sector Cerro Ccatasuyo

- A. En el flanco noreste del cerro Ccatasuyo en el distrito de Sandía se evidencia procesos geológicos de tipo caída de rocas, el talud rocoso se presenta muy fracturado (con tipo de rotura mixta). La zona de arranque de este movimiento en masa es irregular y discontinua, actualmente se observa rocas fracturadas con discontinuidades a favor de talud, con bloques sueltos de hasta 3m, que pueden desprenderse en cualquier momento.
- B. Las causas para la ocurrencia de caída de rocas del cerro Ccatasuyo son: rocas muy fracturadas, falladas y diaclasadas con buzamiento de 64° NE; orientación desfavorable de discontinuidades, de pendiente muy fuerte y escasas de vegetación. Puede actuar como factor detonante, las precipitaciones pluviales intensas y la actividad sísmica.
- C. Las condiciones geológicas del cerro Ccatasuyo, pueden generar caída de rocas, esto afectaría a las viviendas que se asientan al pie, por ello se considera de **Peligro Muy Alto**.

## 6. RECOMENDACIONES

### 6.1. Sector Huancaluque

- A. Reforestar la zona de derrumbes y no construir viviendas en la desembocadura de la Quebrada Urahuancaluque.
- B. No construir infraestructura o viviendas en las zonas definidas y delimitadas como susceptibles a la ocurrencia de peligros por movimiento en masa, estas áreas están clasificadas como zonas de muy alto peligro por ocurrencia de procesos de remoción en masa.
- C. Sensibilizar a la población a través de talleres o charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos para evitar asentamientos de viviendas o infraestructura en zonas de riesgo.

### 6.2. Sector Llamani

- A. No construir infraestructura o viviendas en las zonas definidas y delimitadas como susceptibles a la ocurrencia de peligros por movimiento en masa, estas áreas están clasificadas como zonas de muy alto peligro por ocurrencia de procesos de remoción en masa.
- B. En los escarpes de derrumbes implementar una red de drenes de coronación que intercepten el agua superficial, estos deben ser derivados hacia un canal de drenaje principal (quebrada, río), para evitar procesos de erosión de suelos.
- C. Los andenes que se localizan en el sector Llamani, los cuales son usados como terrenos de cultivo, deben ser mejorados y habilitar sus propios sistemas de drenaje.
- D. En el área afectada por derrumbes se debe construir un sistema de andenería rodeado de plantas nativas.
- E. Sensibilizar a la población a través de talleres o charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos para evitar asentamientos de viviendas o infraestructura en zonas de riesgo.

### 6.3. Sector Cerro Ccatasuyo

Se ratifica las recomendaciones propuestas en los informes: Gómez, (2012)-Informe Técnico N°A6616 "Evaluación Técnica de: Peligro Geológicos en los sectores Jilari-Llamanipata-Ccatasuyo" y Núñez, (2007)- Informe Técnico "Evaluación de los Peligros Geológicos en los alrededores de Sandia" como son:

- A. En el sector flanco noreste del cerro Ccatasuyo reubicar las viviendas localizadas en la parte baja del talud, por estar expuestas a peligro por caída de rocas, caso contrario realizar estudios para dimensionar los muros de contención, para protección de viviendas.
- B. Evitar construir viviendas al pie de los taludes donde se producen desprendimientos de rocas.
- C. Reforestar donde sea posible con árboles nativos de la región la ladera del cerro.
- D. Sensibilizar a la población a través de talleres o charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos para evitar asentamientos de viviendas o infraestructura en zonas de riesgo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Dirección de Geología Ambiental (2002)- Estudios de Riesgos Geológicos del Perú Franja N°2. Lima. INGEMMET. Boletín Serie “C” Geodinámica e Ingeniería Geológica. 368 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/261>
- De La Cruz, N., Carpio, M. (1996)- Geología de los cuadrángulos de Sandia y San Ignacio. Lima. INGEMMET. Boletín Serie “A” Carta Geológica Nacional. 82. 160p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/38>
- Gómez, D. & Pari, W., (2020)- Boletín N°77, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro Geológico en la Región Puno” <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2575>
- Instituto Geológico Minero Metalúrgico (2003)- Estudio de Riesgos Geológicos del Perú – Franja N°3. INGEMMET, Geodinámica e Ingeniería Geológica. Boletín N°28 Serie C: 389p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/262>
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>
- Gómez, D. & Vela, J., (2018) - Informe Técnico N°A6842 “Flujo de detritos en la Quebrada Chimpapata”. 50p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1933>
- Gómez, D. (2012)- Informe Técnico N°A6616 “Evaluación Técnica de: Peligro Geológicos en los sectores Jilari-Llamanipata-Ccatasuyo”. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1589>
- Núñez, S. (2007)- Informe Técnico “Evaluación de los Peligros Geológicos en los alrededores de Sandia”. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2273>

## ANEXO 1: GLOSARIO

### **Movimiento en Masa** (mass movement, landslide):

Fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

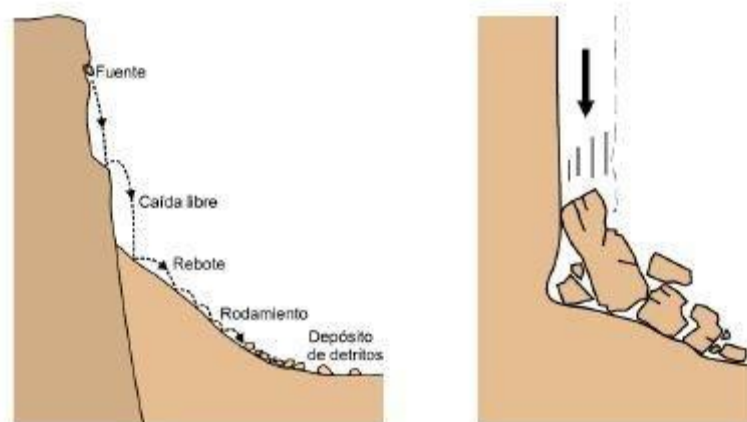
### **Caídas**

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material, cae desplazándose principalmente por el aire, y puede 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 & Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a  $5 \times 10^1$  mm/s.

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

### **Derrumbe:**

Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros (figura 1). Se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados (Vilchez, 2020).



**Figura 1.** Esquema de un derrumbe (Proyecto Multinacional Andino, 2007)

### Fractura (Crack)

Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan. (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007)- Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p).

### Flujo de detritos (Huaicos)

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos (Figura 2). Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de “u”, trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Tiene un alto potencial destructivo. La mayoría de los flujos de detritos alcanzan velocidades en el rango de movimiento extremadamente rápido, y por naturaleza son capaces de producir la muerte de personas (Hungr, 2005).

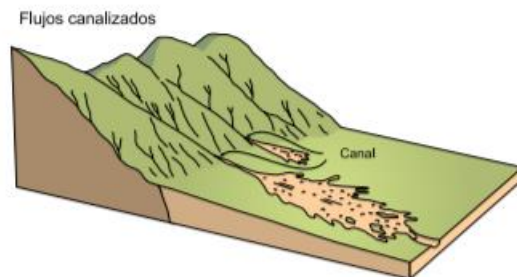


Figura 2. Esquema de flujo canalizado, según Cruden y Varnes (1996).

## ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

**Drenaje Superficial:** Su fin es recoger las aguas superficiales o aquellas recogidas por los drenajes profundos y evacuarlas lejos del talud, evitándose la infiltración y la erosión.

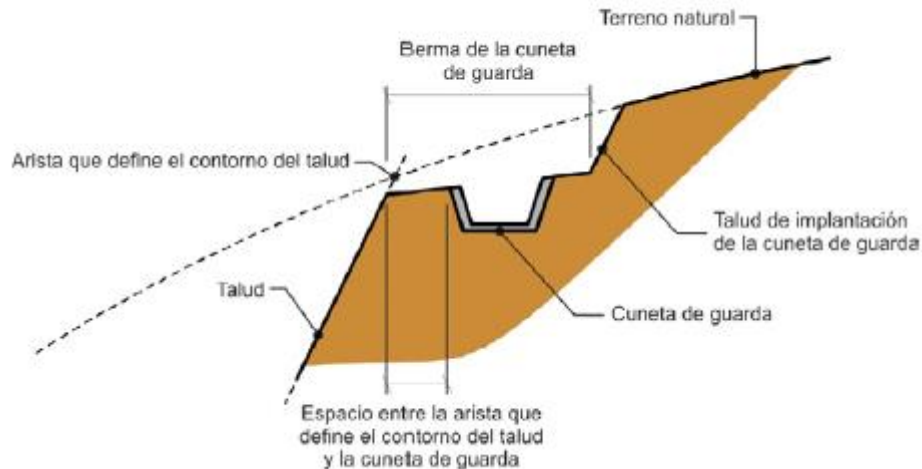
El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía tanto de la ladera, como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro lejos del deslizamiento.

Las aguas de escorrentía se evacuan por medio de zanjas de drenaje, impermeabilizadas o no y aproximadamente paralelas al talud. Estas deben situarse a poca distancia de la cresta del talud y detrás de la misma, de manera que eviten la llegada del agua a las grietas de tensión que podrían existir o no. Ver Figura 3.

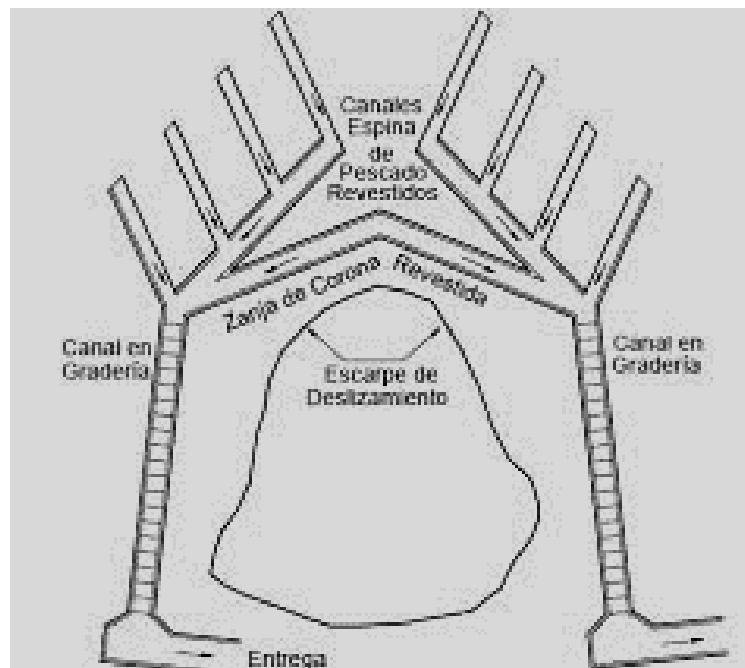
Se utilizan zanjas horizontales o canaleta de drenaje horizontal: Son paralelas al talud y se sitúan al pie del mismo; canales colectores en espina de pescado, que combinan una zanja drenante o canal en gradería, según la línea de máxima pendiente, con

zanjas secundarias (espinas) ligeramente inclinadas que convergen en la espina central. Su construcción y mantenimiento en zonas críticas debe tener buena vigilancia. Estos canales deben ser impermeabilizadas adecuadamente para evitar la reinfiltración de las aguas. Ver Figura 4.

Los canales deben conducirse a entregas en gradería u otro disipador de energía que conduzca el agua recolectada hasta sitio seguro.



**Figura 3:** Detalle de una canaleta de drenaje superficial (Zanjas de coronación).  
 Fuente: [http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5\\_2ic2016/apartados/3.htm](http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5_2ic2016/apartados/3.htm)



**Figura 4:** Esquema de planta de canales colectores espina de pescado con canales en gradería. Fuente: Libro control de aguas superficiales y subterráneas Pg. 433.



**Figura 5:** Sistema de drenaje tipo espina de pez. Fuente: Gómez, (2017) – Informe técnico N° A6753, "Peligro por deslizamiento en el sector Lluscapampa"