

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7222**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR HUNDIMIENTO Y DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR PUCUTO

Departamento Cusco  
Provincia Chumbivilcas  
Distrito Livitaca



ENERO  
2022

## **EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR HUNDIMIENTO Y DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR PUCUTO**

*(Distrito de Livitaca, provincia de Chumbivilcas, departamento Cusco)*

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

*Equipo de investigación:*

*Guisela Choquenaira Garate*

*David Prudencio Mendoza*

### **Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Evaluación de peligros geológicos por hundimiento y deslizamiento en el sector Pucuto. Distrito de Livitaca, provincia de Chumbivilcas, departamento Cusco. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7222, 24 p.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>GLOSARIO</b> .....	5
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	7
<b>1.1. Objetivos del estudio</b> .....	7
<b>1.2. Antecedentes y trabajos anteriores</b> .....	7
<b>1.3. Aspectos generales</b> .....	10
1.3.1. Ubicación .....	10
1.3.2. Accesibilidad .....	10
1.3.3. Clima .....	11
<b>2. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	11
<b>2.1. Unidades litoestratigráficas</b> .....	11
2.1.1. Formación Arcurquina (Kis.ar) .....	11
2.1.2. Intrusivo diorítico (Pe-di) .....	11
2.1.3. Depósito coluvio-deluvial (Q-cd) .....	11
2.1.4. Depósito fluvial (Q-fl) .....	11
<b>3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b> .....	13
<b>3.1. Pendientes del terreno</b> .....	13
<b>3.2. Unidades geomorfológicas</b> .....	13
3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional .....	14
3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional .....	15
<b>4. PELIGROS GEOLÓGICOS</b> .....	15
<b>4.1. Peligros geológicos</b> .....	15
4.1.1. Hundimiento en el sector Pucuto-quebrada Wilky .....	15
4.1.2. Factores condicionantes .....	19
4.1.3. Factores desencadenantes .....	19
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	20
<b>6. RECOMENDACIONES</b> .....	21
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	22
<b>ANEXO 1: MAPAS</b> .....	23

## RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por hundimiento y deslizamiento, realizado en el sector Pucuto-quebrada Wilky, perteneciente a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Livitaca, provincia de Chumbivilcas, departamento Cusco. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología, en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona evaluada, corresponden a rocas de origen intrusivo (diorita) y sedimentario de la Formación Arcurquina, conformado por rocas calcáreas, con pequeñas secuencias de areniscas y calizas gris oscuras medianamente fracturadas y moderadamente (III) meteorizadas, cuya resistencia a la compresión simple varía de 50 a 100 Mpa. Estas unidades se encuentran cubiertas por depósitos fluviales y coluvio - deluviales, este último, compuesto por materiales inconsolidados de gravas (35%) y bloques (15%) de formas angulosas a subangulosas, con diámetros que varían de 0.3 a 0.8 m, inmersos en una matriz areno arcillosa (50%); muy húmedas debido a la infiltración de agua pluvial.

En el contexto geomorfológico se identificaron geoformas de origen tectónico-degradacional, conformado por montañas modeladas en rocas intrusivas y colinas modeladas en rocas sedimentarias, cuyas laderas poseen pendientes que varían de 15° a 55°. Además, se tienen geoformas de carácter depositacional y agradacional principalmente originada por la ocurrencia de movimientos antiguos, que configuran geoformas de piedemonte (vertiente coluvio – deluvial).

En la ladera noroeste del sector Pucuto, a inicios del mes de marzo del 2021, se produjeron tres hundimientos (H-1, H-2 y H-3) como resultado de procesos kársticos que ocurren de forma natural. Estos eventos identificados tienen como origen el proceso de disolución de rocas calcáreas (calizas) de la Formación Arcurquina.

Un claro ejemplo del avance progresivo de estos procesos kársticos se observó en las Grutas de Warari, ubicado, aproximadamente a 200 m, al sureste del sector Pucuto, conformado por calizas plegadas y muy fracturadas, con formación en el interior de la caverna de estalactitas y estalagmitas de gran dimensión. La existencia de estas unidades morfológicas en áreas adyacentes a la zona de estudio, nos refieren que, los hundimientos identificados en el sector Pucuto, podrían pasar a un proceso kárstico de dolina de desplome.

Del mismo modo, se observó un deslizamiento, con escarpa en formación de 30 m de longitud, de forma semicircular y un salto de 50 cm en la parte central. El material está compuesto por gravas y bloques volcánicos de hasta 1 m, de formas angulosas a subangulosas, inmersos en matriz areno arcillosa. De continuar el avance progresivo podría afectar aproximadamente 40 m de trocha carrozable y terrenos de cultivo.

En ese contexto, el área de estudio se considera como **Peligro Alto** a la ocurrencia de hundimientos y deslizamientos.

Finalmente, se recomienda reubicar a la vivienda asentada en la ladera del sector Pucuto. Así mismo, realizar un estudio geofísico, utilizando el método de tomografía eléctrica o georradar, con el fin de determinar la presencia de cavernas, su extensión, morfología y su disposición en el subsuelo.



## GLOSARIO

En el presente Glosario se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino - Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA:

**AGRIETAMIENTO** (cracking) Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

**DERRUMBES** Son caídas violentas de material que se puede dar tanto en macizos rocosos como en depósitos de cobertura, desarrollados por: heterogeneidad litológica, meteorización, fracturamiento, fuertes pendientes, humedad y/o precipitaciones, sismos y erosión generada en las márgenes. Estos fenómenos suelen producirse en taludes verticales en suelos inconsolidados a medianamente consolidados, rocas muy fracturadas y en el corte de carreteras, canteras, acantilados marinos, taludes de terraza, etc. (Figura 2).

**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.

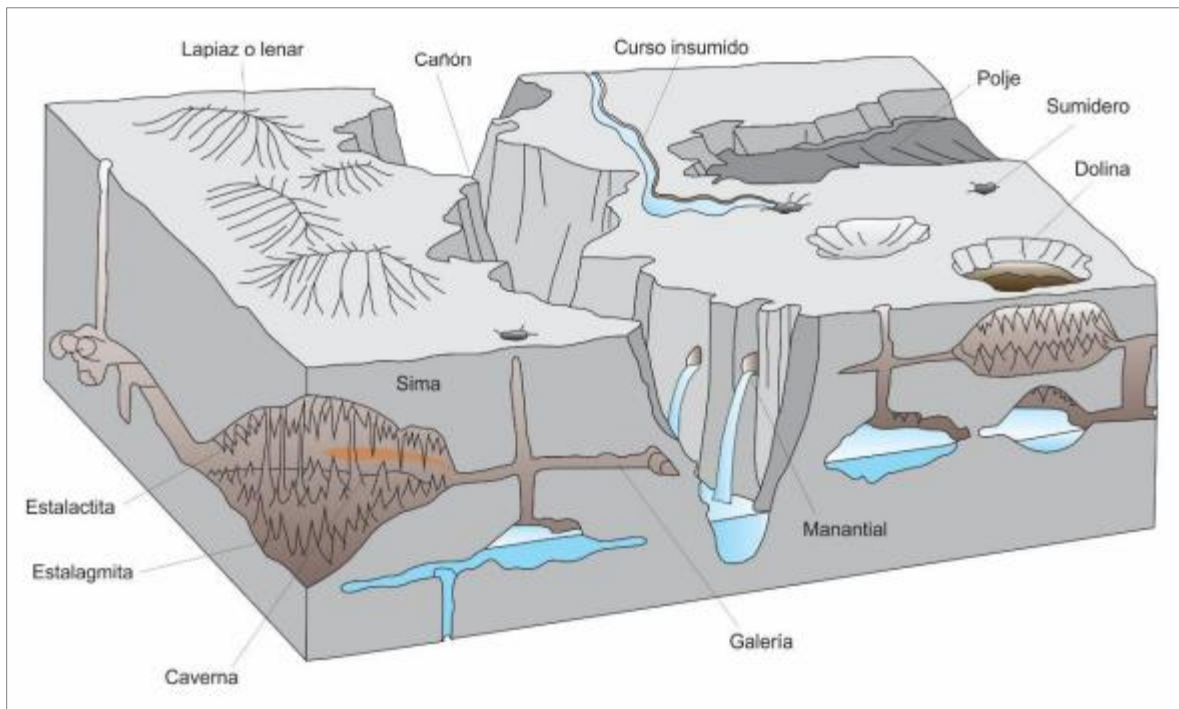
**HUNDIMIENTO:** Es el descenso o movimiento vertical de una porción de suelo o roca que cede a causa de fenómenos kársticos, depresión de la napa freática, labores mineras antiguas o abandonadas, o también pueden ocurrir debido a fenómenos de licuación de arenas o por una deficiente compactación diferencial de suelos. Pueden suceder por: • Procesos de disolución de rocas calcárea, por circulación de aguas subterráneas (cavernas naturales). • Extracción de aguas subterráneas, petróleo y minerales; extracción o remoción del subsuelo. • Falta de sustentación de perforaciones mineras. • Excavación de túneles. Los procesos kársticos se presentan en substratos calcáreos, donde es posible encontrar formas topográficas peculiares, resultantes de la disolución superficial y subsuperficial de rocas calcáreas por las aguas de lluvias, las que al concentrarse en escorrentía son llevadas hacia cauces subterráneos (Thornbury, 1966).

**METEORIZACIÓN** (weathering) Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

**MOVIMIENTO EN MASA** (mass movement, landslide) sin.: 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).

**KARST.** En zonas donde se presentan substratos calcáreos, es posible encontrar formas topográficas peculiares, resultantes de la disolución superficial y subsuperficial de rocas calcáreas por las aguas de lluvias (figura 1), las que al concentrarse en escorrentía son llevadas hacia cauces subterráneos (Thornbury, 1966).

Los materiales afectados son rocas calcáreas (calizas y dolomitas), conjunto de rocas que contienen más del 50% de minerales de carbonato, siendo el más común la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), también se tiene la aragonita ( $\text{CaCO}_3$  cristalizado) y la dolomita ( $\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$ ). El resto del material constituyente de las calizas lo conforman impurezas de sílice, limos, minerales de arcilla y óxidos de hierro.



**Figura 1:** Esquema en la que se pueden observar las geofomas presentes en una zona de karst.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico 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 (otros peligros) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de Livitaca, según Oficio N° 137-2020-SG-MDL/CH, en el marco de nuestras competencias se realizó una evaluación de los eventos de tipo hundimiento y derrumbes.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Guisela Choquenaira Garate y David Prudencio Mendoza, para realizar la evaluación de peligros geológicos, el 07 de abril de 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, fotografías terrestres), 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 Distrital de Livitaca y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastre, donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

### 1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, evaluar y caracterizar los peligros geológicos por hundimiento ocurridos en el sector Pucuto-quebrada Wilky.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por hundimiento.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

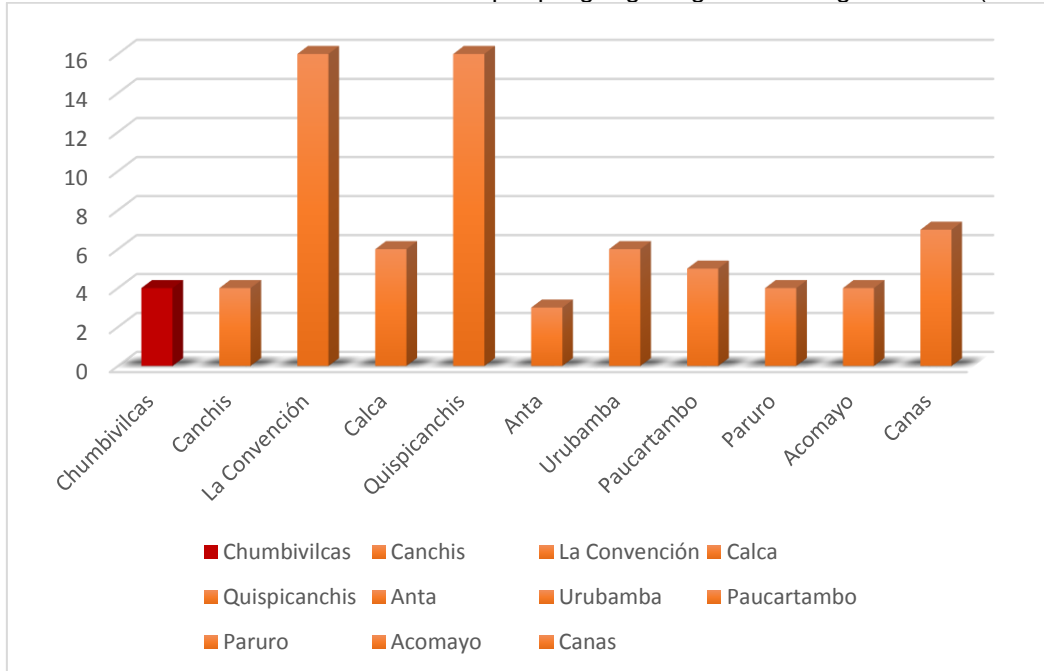
### 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional en el distrito de Livitaca se tienen:

- A) Boletín N° 74, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligros Geológicos en la Región Cusco” (Vilchez *et al.*, 2020); se identificó un total de 75 zonas críticas (gráfico 1) y 1682 ocurrencias de peligros geológicos, tipo: caídas, deslizamientos, flujos, procesos de erosión de laderas, erosión fluvial, reptación de suelos, inundación fluvial, movimientos complejos, hundimientos y finalmente vuelcos. En la provincia de Chumbivilcas se identificó 4 zona críticas, de los cuales 1 evento de tipo deslizamiento fue identificado en el distrito de Livitaca. El estudio también realizó un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa presentado en un mapa a escala 1: 100 000, donde la quebrada Wilky presenta alta a muy alta susceptibilidad (figura 2).

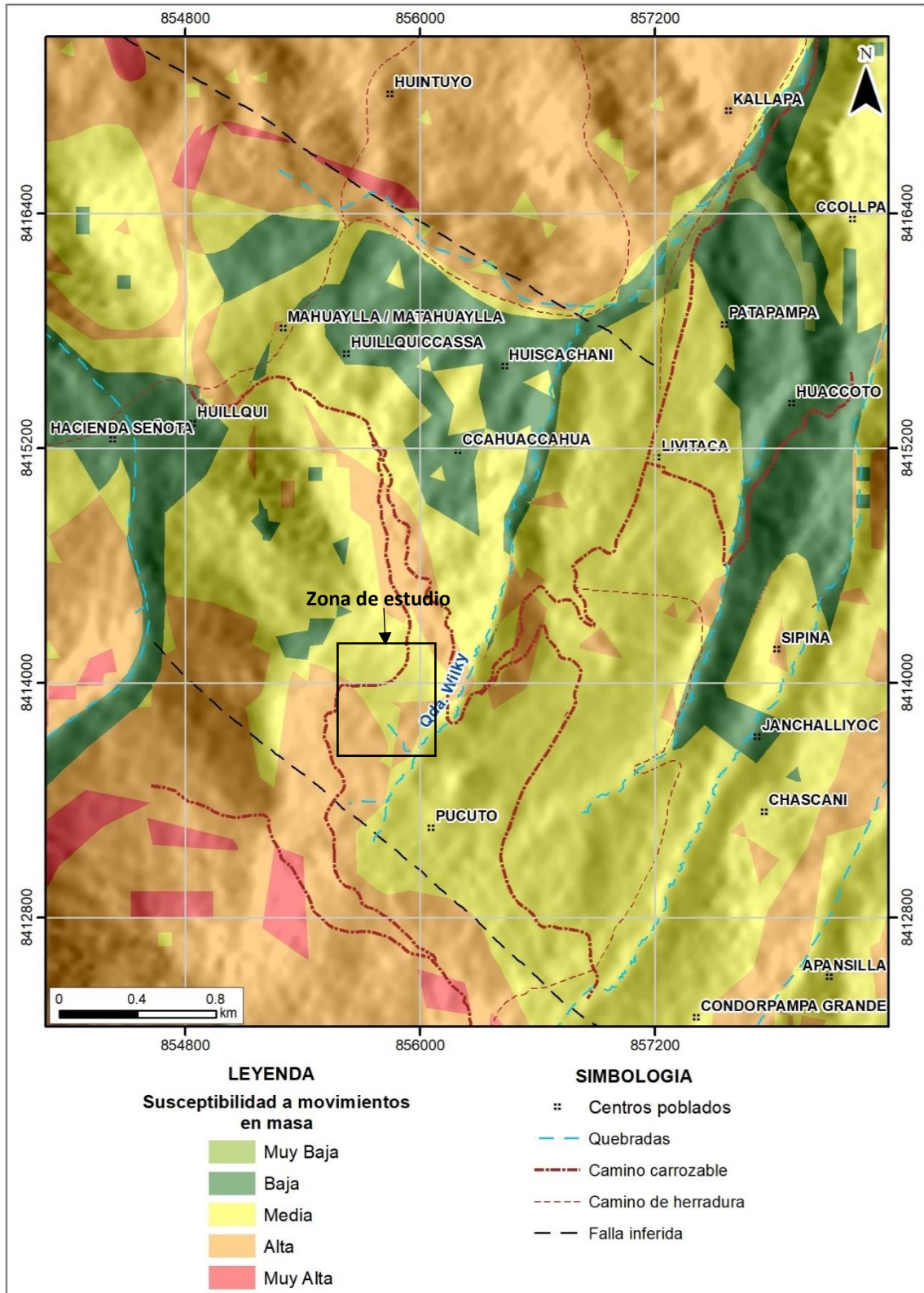
Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

**Gráfico 1.** Inventario de zonas críticas por peligro geológico en la región Cusco (2015)



- B. En la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Livitaca 29-s2 (Mendivil et al., 1994); describe la geología a escala 1: 100 000, información relacionada a los cambios más resaltantes sobre estratigrafía (formaciones Murco, Livitaca y Arcurquina). Además, señala de manera regional las unidades geomorfológicas (montañas modeladas en rocas sedimentarias) del sector Pucutoquebrada Wilky.
- C. La base de datos geocientífica de peligros geológicos disponible en el Sistema de Información Geológico Catastral Minero (Geocatmin), registra un total de 77 ocurrencias de peligros geológicos y geohidrológicos para la provincia de Chumbivilcas, presentándose 11 ocurrencias en el distrito de Livitaca.





**Figura 2.** Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa del sector Pucuto - quebrada Wilky.  
 Fuente: Vílchez *et al.*, 2020.

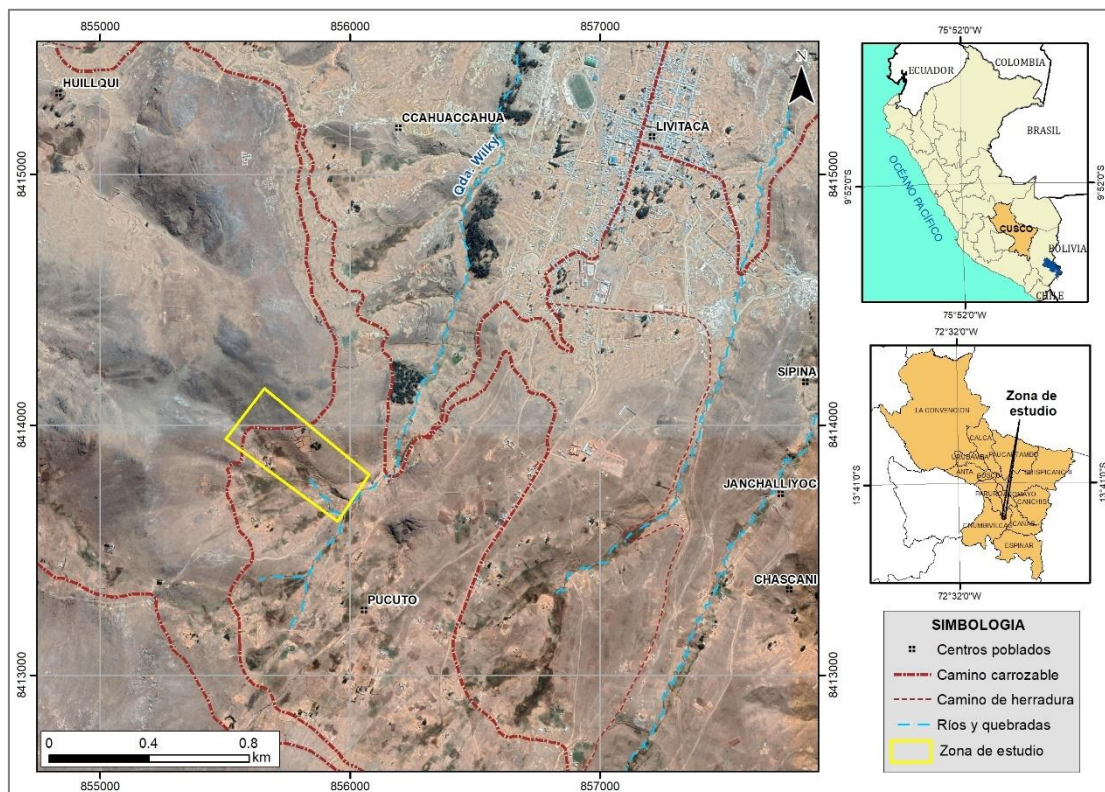
### 1.3. Aspectos generales

#### 1.3.1. Ubicación

El sector Pucuto se ubica en la margen izquierda de la quebrada Wilky, a 4.5 km al suroeste de Livitaca. Políticamente, pertenece al distrito de Livitaca, provincia de Chumbivilcas, departamento Cusco. (figura 3), en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 19 s) siguientes (cuadro 1):

**Cuadro 1.** Coordenadas del sector Pucuto-quebrada Wilky

N°	UTM - WGS84 - Zona 19L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	209113	8416437	-14.30°	-71.69°
2	210538	8415995	-14.31°	-71.68°
3	209198	8412764	-14.34°	-71.69°
4	206853	8414891	-14.32°	-71.71°
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</b>				
C	208255	8414736	-14.32	-71.70°



**Figura 3.** Ubicación del sector Pucuto – quebrada Wilky, distrito de Livitaca, provincia de Chumbivilcas, departamento Cusco.

#### 1.3.2. Accesibilidad

Se accede por vía terrestre desde la ciudad del Cusco (Ingemmet-OD Cusco), mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

**Cuadro 2.** Rutas y accesos al sector Pucuto - quebrada Wilky

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cusco - Combapata	Carretera asfaltada	107	1 h 50 minutos
Combapata – Livitaca	Camino carrozable	82.6	2 h 35 minutos
Livitaca – Pucuto	Camino carrozable	3.5	8 minutos

### 1.3.3. Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Koppen y Geiger, el distrito de Livitaca se clasifica como Cfb (frio y secos), con temperatura media anual de 23.5 °C y precipitación anual de 2350 mm.

## 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico se desarrolló en base a la carta geológica de Livitaca – hoja 29 s (Mendivil, 1994), a escala 1:100 000. En la zona evaluada afloran rocas sedimentarias e intrusivas del Mesozoico y depósitos Cuaternarios. La cartografía geológica, se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas y observaciones de campo.

### 2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el sector Pucuto-quebrada Wilky, son de origen sedimentario e intrusivo correspondiente a la Formación Arcurquina (Kis-ar), los cuales se encuentran muy fracturados y altamente meteorizados. Además, en la parte alta de la quebrada aflora el intrusivo diorítico (Pe-di) del Cenozoico, conformado por dioritas altamente meteorizadas a arcillitas. Estas unidades se encuentran coberturadas por depósitos coluvio - deluviales, y fluviales, que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad (anexo 1: Mapa geológico).

#### 2.1.1. Formación Arcurquina (Kis.ar)

Esta unidad aflora de este a oeste de la quebrada Wilky, compuesto por calizas gris oscuras, calizas micríticas y pequeñas secuencias de areniscas calcáreas. A la altura de las Grutas de Warari se observó estratos plegados y compactos, en capas de 0.3 a 20 m de espesor, con rumbo preferencial N 332° y un buzamiento de 22° SW, en este punto las calizas se encuentran medianamente fracturadas (fotografía 1). Estas rocas son capaces de acumular agua subterránea y/o superficial.

#### 2.1.2. Intrusivo diorítico (Pe-di)

Aflora ampliamente al suroeste del distrito de Livitaca. Litológicamente, está compuesto por dioritas muy fracturadas y altamente meteorizadas a arenas y arcillitas color marrón amarillento (fotografía 2).

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

Se localizan en las laderas que circunscriben la quebrada Wilky, dispuestos de forma caótica al pie de laderas por acción de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía. Están compuestos por materiales inconsolidados de bloques angulosas a subangulosas, con diámetros que varían de 0.5 a 0.8 m, inmersos en una matriz areno – arcillosa (fotografía 3).

#### 2.1.4. Depósito fluvial (Q-fl)



Se encuentran distribuidos en ambas márgenes de la quebrada Wilky, constituidos por bloques de rocas intrusivas y metamórficas, de 0.50 m de diámetro en promedio, con bancos de gravas, arenas y arcillitas; formando grandes terrazas fluviales. Sobre este depósito se encuentran asentadas algunas viviendas del distrito de Livitaca.



**Fotografía 1.** Vista al noroeste del sector Pucuto, calizas grises muy fracturadas de la Formación Arcurquina. Con coordenadas UTM (WGS 84): 208850 E, 8414583 S a 3914 m s. n. m.



**Fotografía 2.** Intrusivo diorítico muy fracturado y altamente meteorizado, ubicado en el tramo carretero que conduce al sector Pucuto. Coordenadas UTM (WGS 84): 208273 E, 8414712 S, a 4025 m s.n.m.





**Fotografía 3.** Vista de bloques con diámetros que varían de 0.5 a 0.8 m adosados a las laderas que circunscriben la quebrada Wilky.

### 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

#### 3.1. Pendientes del terreno

La pendiente, es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En el anexo 2, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a la información del modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución (USGS), donde se presentan con mayor predominio laderas con pendientes moderadas ( $5^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ) a fuertes ( $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ), con un cambio abrupto a terrenos de pendiente muy fuerte ( $25^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ).

La quebrada Wilky, circundada por montañas modeladas en rocas sedimentarias e intrusivas, presentan laderas con pendientes que varían de  $15^{\circ}$  a  $55^{\circ}$ , lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas. Además, la zona media – baja de la quebrada, posee una pendiente que varía de  $5^{\circ}$  a  $8^{\circ}$ .

#### 3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (anexo 1: Mapa geomorfológico), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez et al., 2020).



### 3.2.1. Geoformas 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

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel de base local; según el tipo de roca que las conforma y los procesos que han originado su forma actual, se diferencia las siguientes subunidades:

**Subunidad de montañas en rocas intrusivas (RM-rm):** Relieve modelado en rocas del intrusivo diorítico, formando montaña que cubren gran parte de la zona de estudio. Las laderas de pendientes moderadas a escarpadas, varían de 25° a 35°, con cimas subredondeadas a agudas. En la parte alta son disectados por una red de drenaje dendrítica, resaltando principalmente la quebrada Wilky (fotografía 4).



**Fotografía 4.** Vista de montañas modeladas en rocas volcánicas (RM-rv), cuyas laderas presentan pendientes moderadamente (15°) a empinadas (35°).

**Subunidad de colina en rocas sedimentarias (RC-rs):** Representada por colinas, corresponde a las formaciones Arcurquina y Livitaca. Por el lado sur, esta unidad circunscribe al sector Pucuto, con cimas subredondeadas a alargadas y laderas de pendientes moderadas (15°).

### 3.2.2. Geoformas de carácter 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, aquí se tienen:

#### 3.2.2.1. Subunidad de vertiente con depósito coluvio - deluvial (V-cd)

Son depósitos inconsolidados, localizados al pie de las laderas, resultantes de la acumulación de material caído desde las partes altas, por acción de la gravedad y removidos por agua de escorrentía superficial.

## 4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, según la clasificación del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007, corresponden a hundimientos y deslizamientos. Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno de 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.

### 4.1. Peligros geológicos

El sector Pucuto - quebrada Wilky, presenta una geodinámica relativamente activa, representada por hundimientos y deslizamiento. Además, el sector es considerada como zona de susceptibilidad alta a la ocurrencia de movimientos en masa (Vílchez, 2020).

A continuación, se describirá a detalle el peligro por hundimiento, debido a su actividad reciente.

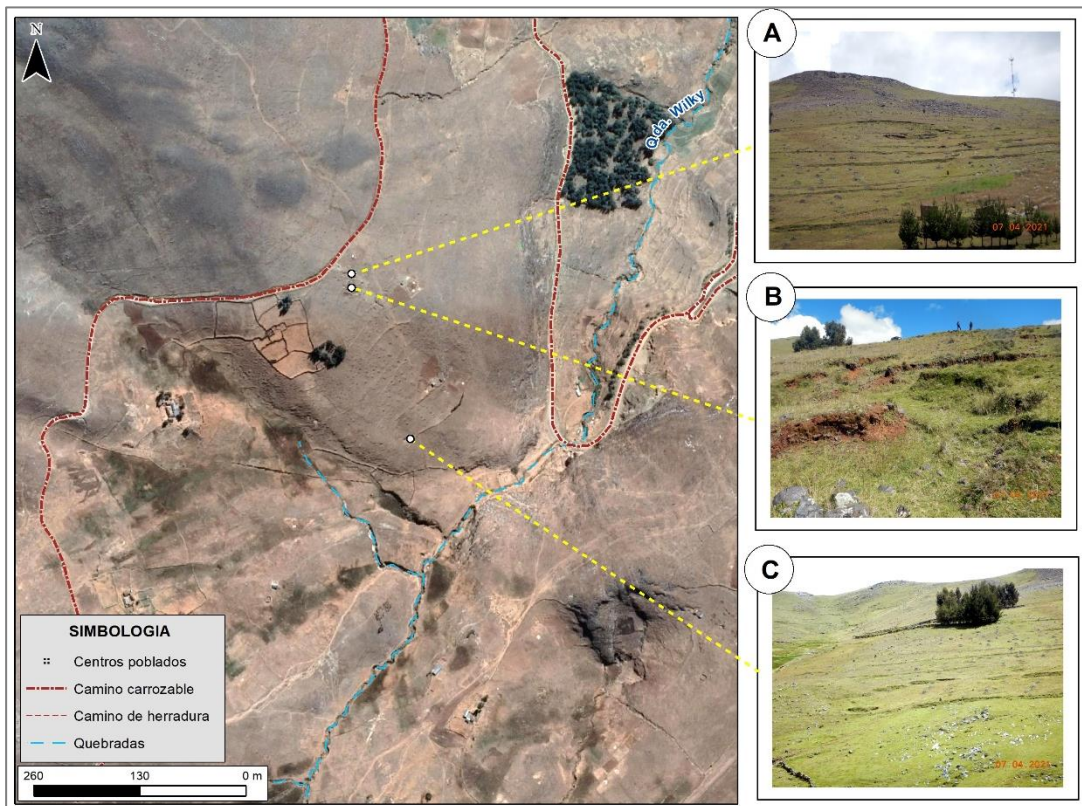
#### 4.1.1. Hundimiento en el sector Pucuto-quebrada Wilky

A inicios del mes de marzo del 2021, en la ladera noroeste del sector Pucuto se produjeron tres zonas con hundimientos, como resultado de procesos kársticos que ocurren de forma natural (figura 4 A, B y C). Según manifiestan los pobladores, posteriormente estas cavidades fueron rellenados de forma artesanal.

La presencia de estos procesos por hundimiento se atribuye a la posible formación de dolinas de colapso, relacionados a un sistema de drenaje subterráneo, producido por el colapso del techo de una caverna subterránea.

Un claro ejemplo del avance progresivo de estos procesos kársticos se observó en las Grutas de Warari, ubicado aproximadamente a 200 m, al sureste del sector Pucuto, donde el sustrato está conformado por calizas plegadas y muy fracturadas. En esta caverna, el agua circula en dirección sur, con formación en el interior de estalactitas y estalagmitas de gran dimensión. Además, en el techo de la caverna se observó infiltración de agua continua.

La existencia de estas unidades morfodinámicas en áreas adyacentes a la zona de estudio, no refieren que, los hundimientos identificados en la ladera noreste del sector Pucuto podrían pasar a un proceso kárstico de dolina de desplome.



**Figura 4.** Procesos por hundimiento en la ladera noreste del cerro Pucuto. Con coordenadas UTM (WGS 84): 208611, 8414809 S a 3980 m s.n.m.

Este proceso de karstificación, también podría estar coadyuvado por la infiltración de aguas de escorrentía superficial que discurren por el cauce de la quebrada Wilky, que inicialmente, se infiltraban por el material fluvial de la quebrada y continúan a través de las fracturas de las rocas calcáreas que conforman el substrato.

Actualmente, los procesos por hundimiento identificados en el área evaluada, fueron rellenados por los pobladores, con material areno arcilloso, observándose in situ, formas discontinuas de las cavidades.

En la figura 5, se muestra los hundimientos H-1 y H-2, localizados en la ladera noroeste del sector Pucuto.

#### **Hundimiento 1:**

Este proceso, con un área de 81.25 m<sup>2</sup>, presenta forma elíptica-discontinúa, con un eje mayor de 13 m de longitud y un eje menor de 7.1 m de longitud, no se observó la profundidad debido al relleno que se realizó en el agujero, de forma artesanal.

#### **Hundimiento 2.**

Este evento, cubre un área de aproximada de 260 m<sup>2</sup>, el cual incluye dos cuerpos de hundimientos, con formas no definidas, debido al relleno del agujero.



### **Hundimiento 3:**

Este evento se localiza en la parte inferior de la ladera noroeste del sector Pucuto, posee un área de aproximada de 35 m<sup>2</sup>, con un eje mayor de 8 m de longitud y un eje menor de 5.1 m de longitud (figura 6), se observó una profundidad visible de 1 m.



**Figura 5.** Vista de las zonas de hundimiento H-1 y H-2, localizadas en la ladera noroeste del sector Pucuto.



**Figura 6.** Vista del hundimiento H-3, con eje mayor de 8 m de longitud y eje menor de 5.1 m.



Por otro lado, en la ladera suroeste del sector Pucuto se generó un deslizamiento con escarpa de forma semicircular (figura 7) y un salto de 50 cm en la parte central. El material está compuesto por gravas y bloques volcánicos de hasta 1 m, de formas angulosas a subangulosas, inmersos en matriz areno arcillosa (fotografía 5).



**Figura 7.** Vista del deslizamiento reactivado en la ladera suroeste que circunscribe el sector Pucuto. Coordenadas UTM (WGS 84): 208246 E, 8414735 S, a 3923 m s.n.m.



**Fotografía 5. A)** Bloques de roca volcánicas, de formas angulosas a subangulosas, inmersos en matriz areno arcillosa.



#### 4.1.2. Factores condicionantes

##### Factor litológico-estructural

- Substrato rocoso compuesto por calizas, areniscas e intrusivos altamente meteorizado y muy fracturado, los cuales permiten mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno, originando inestabilidad en las laderas.
- Los suelos inconsolidados (depósitos coluvio - deluviales), adosados a las laderas que delimitan el sector Pucuto, compuestos principalmente por materiales inconsolidados de bloques de formas angulosas a subangulosas, con diámetros que varían de 0.3 a 0.8 m, inmersos en una matriz areno arcillosa, son de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales intensas.

##### Factor geomorfológico

- El sector se encuentra circundado por montañas modeladas en rocas sedimentarias e intrusivas, cuyas laderas presentan pendientes fuertes (25°) a escarpadas (35°); ello permite que el material suelto disponible en la ladera se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.

##### Factor hidrológico - hidrogeológico

- Acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas y montañas que circunscriben el sector Pucuto.

#### 4.1.3. Factores desencadenantes

- Según Senamhi (2020), debido a las intensas lluvias intensas y/o prolongadas en la zona de estudio, se produjo hundimientos y un deslizamiento en formación en el sector Pucuto.

## 5. CONCLUSIONES

1. El área de estudio, presenta geofomas de origen kárstico, formadas en calizas medianamente fracturadas y moderadamente meteorizadas (III) de la Formación Arcurquina. Esta unidad se encuentra cubierta por gravas (35%) y bloques (15%) de formas angulosas a subangulosas, con diámetros que varían de 0.3 a 0.8 m, inmersos en una matriz areno arcillosa (50%); muy húmedas debido a la infiltración de agua pluvial.
2. En la ladera noreste del sector Pucuto se identificó tres hundimientos que son resultado de procesos kársticos que ocurren de forma natural. Estos eventos (H-1, H-2 y H-3) de formas discontinuas debido al relleno que se realizó de forma artesanal.
3. El deslizamiento identificado presenta una escarpa en formación de 30 m longitudinales, de forma semicircular y un salto de 50 cm en la parte central. El material está compuesto por gravas y bloques volcánicos de hasta 1 m, de formas angulosas a subangulosas, inmersos en matriz areno arcillosa. De continuar el avance progresivo podría afectar aproximadamente 40 m de trocha carrozable y terrenos de cultivo.
4. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el sector Pucuto es considerado como zona de **Peligro Alto** a la ocurrencia de hundimientos y deslizamientos.
5. La ocurrencia de peligros geológicos por hundimiento está condicionada por los siguientes factores:
  - Substrato rocoso compuesto por calizas, areniscas e intrusivos altamente meteorizado y muy fracturado, los cuales permiten mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno, originando inestabilidad en las laderas.
  - Los suelos inconsolidados (depósitos coluvio - deluviales), adosados a las laderas que delimitan el sector Pucuto, compuestos principalmente por bloques de formas angulosas a subangulosas, con diámetros que varían de 0.3 a 0.8 m, inmersos en una matriz areno arcillosa, son de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales intensas.
6. La ocurrencia de peligros geológicos por deslizamiento está condicionada por los siguientes factores:
  - El sector Pucuto se encuentra circundada por montañas modeladas en rocas sedimentarias e intrusivas, cuyas laderas presentan pendientes fuertes (25°) a escarpadas (35°); ello permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.
  - Acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas y montañas que circunscriben el sector Pucuto.
7. El factor desencadenante para la ocurrencia de hundimientos y deslizamientos en el sector Pucuto son las lluvias intensas y/o prolongadas que saturan y aceleran el proceso de disolución de las calizas y saturan los suelos inconsolidados.

## 6. RECOMENDACIONES

### Para Hundimientos

1. Es necesario realizar un estudio geofísico en la zona, utilizando método de tomografía eléctrica o georradar, con el fin de determinar la presencia de cavernas, su extensión, morfología y su disposición en el subsuelo.
2. De continuar el proceso de hundimiento, será necesario reubicar las viviendas ubicadas cercanas a este evento.
3. Prohibir el tránsito de personas y animales cerca de la zona de hundimiento.
4. Captar y conducir las aguas de escorrentía que se concentran hacia los hundimientos del sector Pucuto, por medio de tuberías o un canal que debe ser diseñado y construido por un especialista en geotecnia.
5. Restringir la construcción de viviendas y otras obras civiles en la zona de influencia a los procesos de hundimiento, así como en zonas con problemas de acumulación de agua, presencia de grietas y características pésimas de litología.
6. Realizar charlas de sensibilización y concientización sobre peligro y riesgo a las que se encuentran expuestos a procesos de hundimiento y deslizamientos al sector Pucuto y demás localidades ubicadas en áreas adyacentes.

### Para Deslizamientos

7. Implementar zanjas de coronación por encima de la corona del deslizamiento en formación del sector Pucuto, con el propósito de captar las aguas de escorrentía que se formen en la ladera superior del evento, derivándolas hacia quebradas próximas por medio de canales revestidos. Estas medidas deben ser diseñadas por un especialista.
8. Revestir o impermeabilizar la cuneta de la trocha carrozable que atraviesa la parte media-alta del sector Pucuto.
9. Prohibir riego por inundación en el sector Pucuto, utilizar otras técnicas que eviten saturar en exceso el terreno.

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

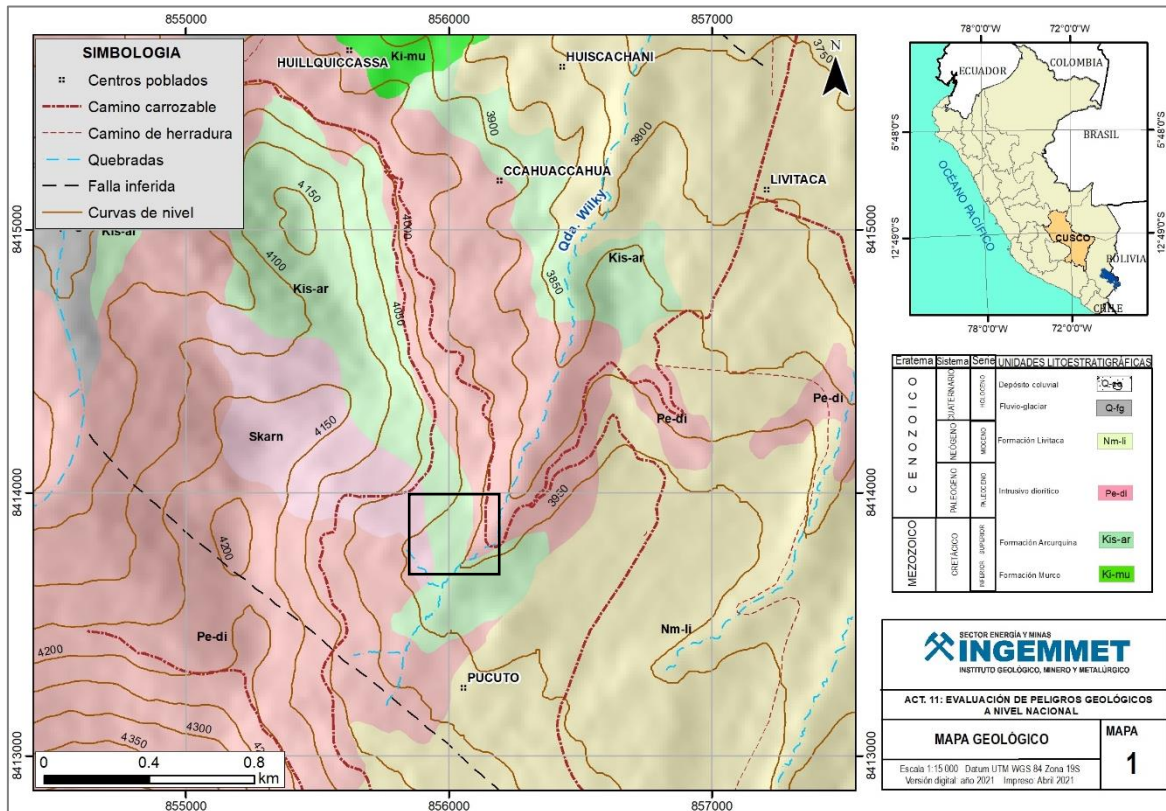
  
**Ing. Guisela Choquenaira Garate**

## 7. BIBLIOGRAFÍA

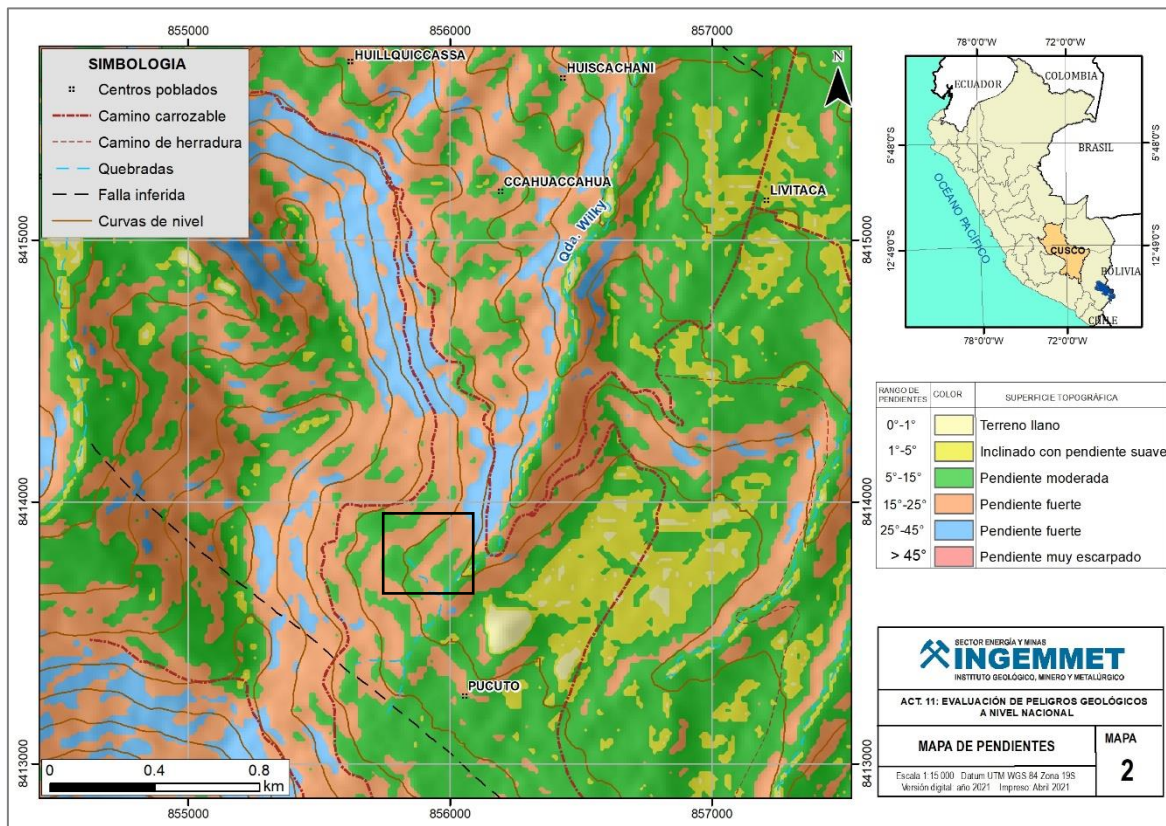
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- Instituto Geol3gico Minero y Metal3rgico (2003) - Estudio de riesgos geol3gicos del Per3, Franja N3 3. Ingemmet, Bolet3n, Serie C: Geodin3mica e Ingenier3a Geol3gica, 28, 373 p.
- K3ppen, W. (2010). Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf (Clasificaci3n de climas seg3n temperatura, precipitaci3n y ciclo estacional.). Petermanns Geogr. Mitt., 64, 193-203, 243-248
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007)
  - Movimientos en masa en la regi3n andina: una gu3a para la evaluaci3n de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geolog3a y Miner3a, 432 p., Publicaci3n Geol3gica Multinacional, 4.
- Servicio Nacional de Meteorolog3a e Hidrolog3a (2021) – SENAMHI..  
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- V3lchez, M. & Sosa, N. (2013) – Peligros geol3gicos en el 3mbito de la Mancomunidad Municipal Amaz3nica. Informe t3cnico N3 A6635. Direcci3n de Geolog3a Ambiental y Riesgo Geol3gico. Ingemmet, 85 p.  
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1500#files>
- V3lchez, M. & Sosa, N. (2015) – Zonas cr3ticas por peligros geol3gicos en la regi3n Cusco. Informe t3cnico geolog3a ambiental. Ingemmet, 100 p.  
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2026>
- V3lchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Pe3a, F. (2020) - Peligro geol3gico en la regi3n Cusco. Ingemmet. Bolet3n, Serie C: Geodin3mica e Ingenier3a Geol3gica, 74, 155 p.  
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2564>
- Villota, H. (2005) - Geomorfolog3a aplicada a levantamientos edafol3gicos y zonificaci3n f3sica de tierras. 2. ed. Bogot3: Instituto Geogr3fico Agust3n Codazzi, 210 p.



**ANEXO 1: MAPAS**

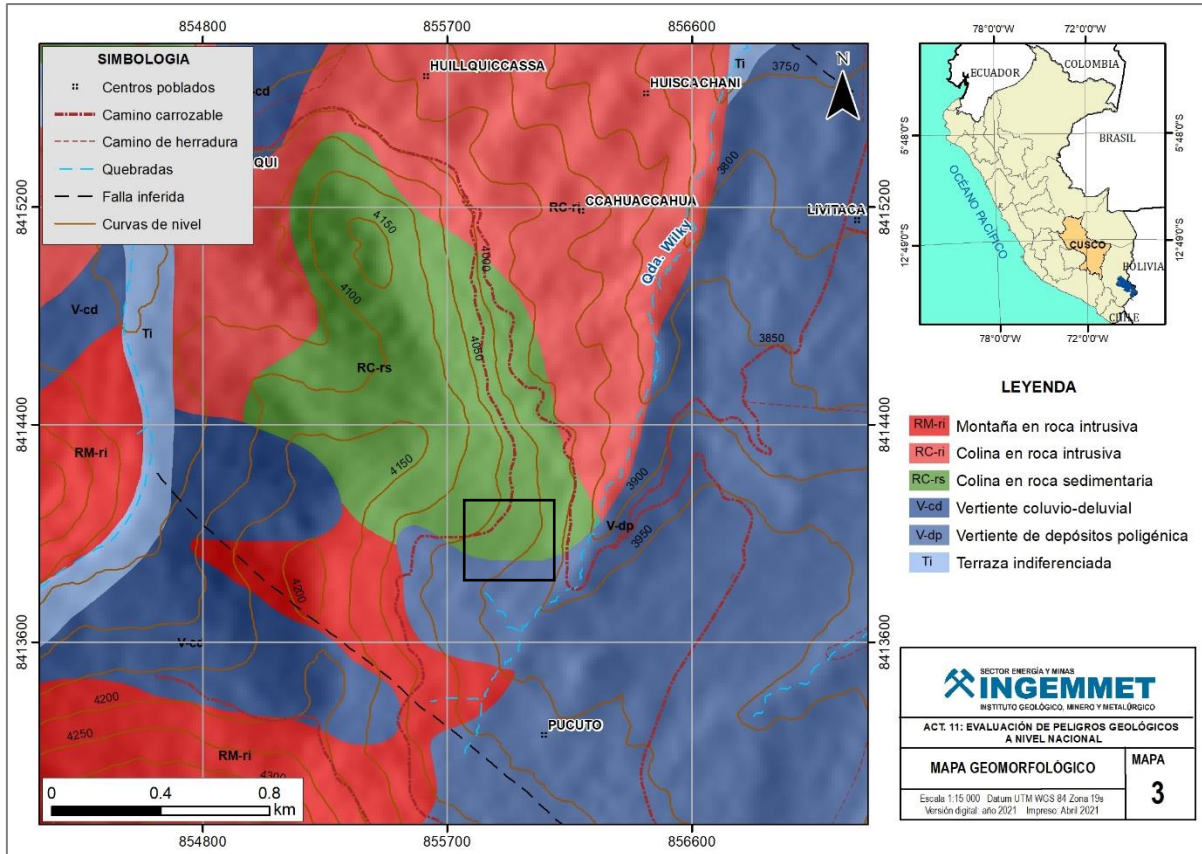


**Mapa 1.** Mapa geológico del sector Pucuto-quebrada Wilky. Modificado de Mendivil, 1994.

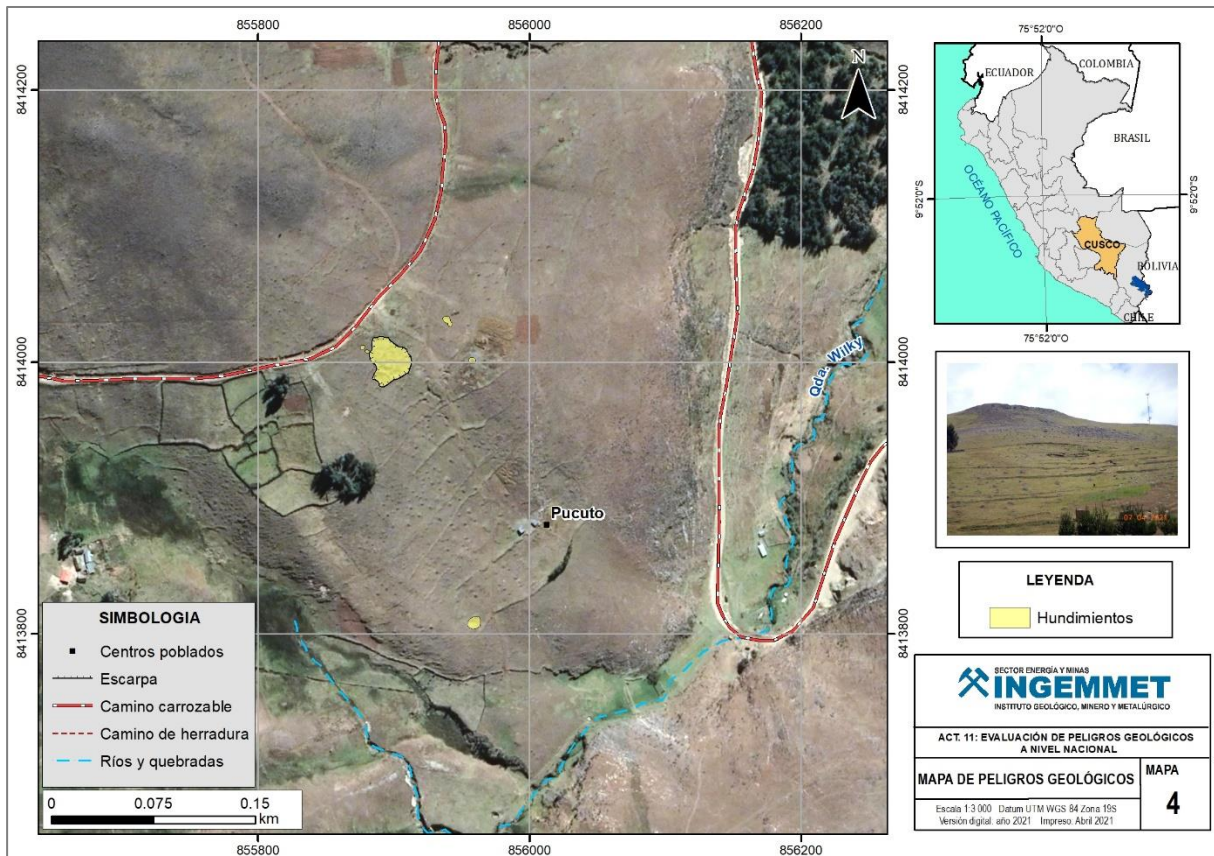


**Mapa 2.** Mapa de pendientes del sector Pucuto-quebrada Wilky. Elaboración propia.





Mapa 3. Mapa geomorfológico del sector Pucuto-quebrada Wilky. Fuente: Vilchez et al., 2020.



Mapa 4. Cartografía de peligros geológicos en el sector Pucuto-quebrada Wilky.