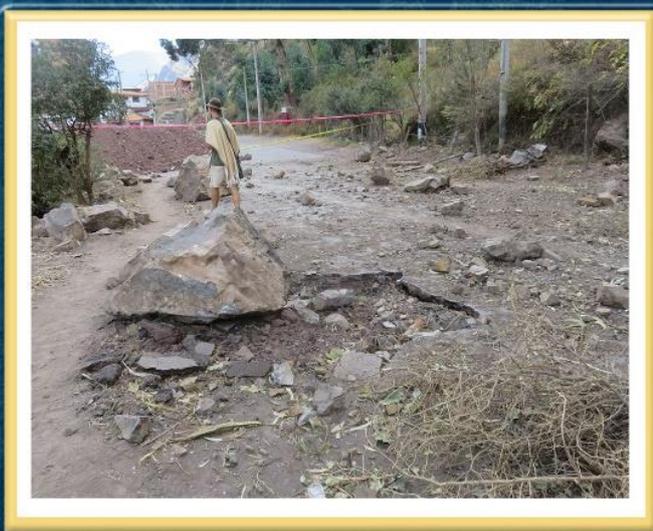


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7344**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CERRO HUANOHUANO T'UQU

Departamento Cusco  
Provincia Calca  
Distrito Pisac



DICIEMBRE  
2022

## **EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CERRO HUANOHUANO T'UQU**

*(Distrito Pisac, provincia Calca, departamento Cusco)*

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

*Responsable de la investigación:*

*Gael Araujo Huamán  
Gonzalo Luna Guillen*

### **Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). *Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el cerro Huanohuano T'uqu*. Distrito Pisac, provincia Calca, departamento Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7344, 43 p.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
1.1. Objetivos del estudio .....	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores .....	5
1.2. Aspectos generales.....	6
<b>1.2.1. UBICACIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2.2. POBLACIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2.3. ACCESIBILIDAD</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2.4. CLIMA</b> .....	<b>7</b>
<b>2. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	<b>10</b>
2.1. Unidades litoestratigráficas .....	10
<b>2.1.1. GRUPO MITU (PET-m)</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1.2. DEPÓSITOS SUPERFICIALES NO CONSOLIDADOS</b> .....	<b>13</b>
DEPÓSITOS COLUVIALES (Q-cd) .....	13
- DEPÓSITOS ALUVIALES (Q-al) .....	13
<b>3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b> .....	<b>14</b>
3.1. Pendientes del terreno .....	14
3.2. Unidades geomorfológicas.....	15
<b>3.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL</b> .....	<b>16</b>
<b>3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL</b> .....	<b>17</b>
<b>4. PELIGROS GEOLÓGICOS</b> .....	<b>19</b>
4.1. Caracterización del Peligros por Movimientos en Masa.....	19
<b>5. SIMULACIÓN DE CAÍDA DE ROCAS</b> .....	<b>23</b>
5.1. PERFIL A - A' .....	23
5.2. PERFIL B - B'.....	26
5.3. PERFIL C - C' .....	28
5.4. PERFIL D - D' .....	30
5.5. Propuestas de infraestructura en base a la simulación .....	32
5.6. Factores condicionantes y desencadenantes.....	36
<b>5.6.1. FACTORES CONDICIONANTES</b> .....	<b>36</b>
<b>5.6.2. FACTORES DESENCADENANTES</b> .....	<b>36</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>37</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>39</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>40</b>

## RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el cerro Huanohuano T'uqu ubicado en el distrito de Pisac, provincia Calca y departamento Cusco. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

En el área afloran rocas volcánicas - sedimentarias como andesíticas y lavas basálticas (Grupo Mitu), las cuales se encuentran ligeras a moderadamente meteorizadas y muy fracturadas. Además, se tienen depósitos no consolidados como coluviales, acumulados en laderas por acción de la gravedad, movimientos sísmicos, precipitaciones excepcionales y activación de movimientos en masa (caída de rocas).

Se visualizan geoformas de carácter tectónico degradacional, como montañas en roca volcánica sedimentarias con laderas de pendientes abruptas ( $>45^\circ$ ); y geoformas de carácter depositacional como vertientes coluviales con terrenos de pendientes fuertes y abruptas ( $25^\circ$  a  $> 45^\circ$ ).

El cerro Huanohuano T'uqu, ubicado en el flanco sur del parque arqueológico de Pisac, presenta taludes semiverticales de pendiente abrupta ( $70^\circ$  a  $84^\circ$ ), cuyos afloramientos de roca volcánica se encuentran muy fracturados y de ligera a moderadamente meteorizados.

Se ha generado desprendimiento de bloques de rocas de casi  $8 \text{ m}^3$ , con diámetros de hasta 4 m, la zona afectada llega hasta una extensión de 800 m. Por lo tanto, los peligros geológicos reconocidos movimientos en masa de tipo caída de rocas son de dinámica activa y de **peligro alto**. El cerro Huanohuano T'uqu se define como **zona crítica**.

El evento cobró 1 vida humana, además destruyó y afectó el canal de la Pampa de Pisac en 50 m, postes de alumbrado, la carretera departamental Pisac – Paucartambo en 125 m, terrenos de cultivos y el grifo del sector Hunuhuaco T'uqu. Este peligro es latente y compromete vidas humanas e infraestructura a lo largo del cerro Huanohuano T'uqu.

Se realizaron 04 simulaciones de caídas de rocas, con la finalidad de conocer la energía cinética necesaria que deberá ser contenida por infraestructura a implementar.

El presente informe se pone a disposición de las autoridades, a fin de que las conclusiones y recomendaciones sirvan como instrumento, para contribuir en los planes de reducción de riesgo de desastre.

## 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 distrital de Pisac, según Oficio N° 253-2022-A-MDP-C, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el cerro Huanohuano T'uqu (Pampa), centro poblado de Pisac.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a la Magister Ingeniera Gael Araujo Huamán, realizar una evaluación técnica de peligros geológicos por movimientos en masa en el cerro Huanohuano T'uqu (Pampa), llevada a cabo el 01 de diciembre de 2022.

La evaluación técnica se basó en etapas de pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET, etapa de campo a través de la observación, toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada, y para la etapa final de gabinete se realizó el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, simulación de caída de rocas, elaboración de mapas / figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de Pisac e instituciones técnico normativas del SINAGERD (INDECI y CENEPRED), a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la ley 29664.

### 1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar, cartografiar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en el cerro Huanohuano T'uqu (Pampa).
- b) Emitir conclusiones y recomendaciones que contribuyan en los planes de prevención y/o mitigación del riesgo de desastre por movimientos en masa.

### 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

- A) El boletín N°74, serie C: Peligros Geológicos en la Región Cusco (Vílchez et al., 2020), con el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa (MSMM) regional a escala 1:250 000; es información de referencia que sumada a la evaluación técnica de campo, permitió corroborar y zonificar las áreas de estudio. Según el MSMM el sector de el cerro Huanohuano T'uqu, se encuentra en niveles de susceptibilidad de media a alta.

- B) El boletín N° 65, serie A. Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca (hojas 27-r y 27-s) (Carlotto V. et al. 1996) y el boletín N° 35, serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000). Geología del cuadrángulo de Calca (hojas 27-s1, 27-s2, 27-s4) (Soberon D. et al. 2021), además del boletín N°74, serie C: Peligros Geológicos en la región Cusco (Vílchez et al., 2020), describen las unidades geológicas y depósito superficiales no consolidados que conforman el área de estudio.
- C) El 05 de julio de 2021, la Oficina de Gestión de Riesgo y Seguridad del Gobierno Regional del Cusco realizó una evaluación de campo del cerro Huanohuano T'uqu describiendo el peligro geológico de desprendimientos que comprometen a más de 5 familias, infraestructura y terrenos de cultivos (Quispe R. 2021).

## 1.2. Aspectos generales

### 1.2.1. UBICACIÓN

El cerro Huanohuano T'uqu se encuentra a las faldas del flanco sur del parque arqueológico de Pisac (margen izquierda del río Urubamba), en la ruta Km +000 de la carretera departamental Av. Federico Zamalloa. Políticamente pertenece al distrito de Pisac, provincia de Calca y departamento de Cusco (figura 1), ubicado en las coordenadas UTM WGS84 y geográficas del cuadro 1.

**Cuadro 1.** Coordenadas UTM y geográficas del área de estudio

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	191851	8514705	- 13.419 °	-71.845°
2	191651	8514718	-13.419°	-71.847 °
3	191626	8514529	-13.420°	-71.847°
4	191872	8514511	-13.421°	-71.845 °
CC	191737	8514668	-13.419°	-71.846°

### 1.2.2. POBLACIÓN

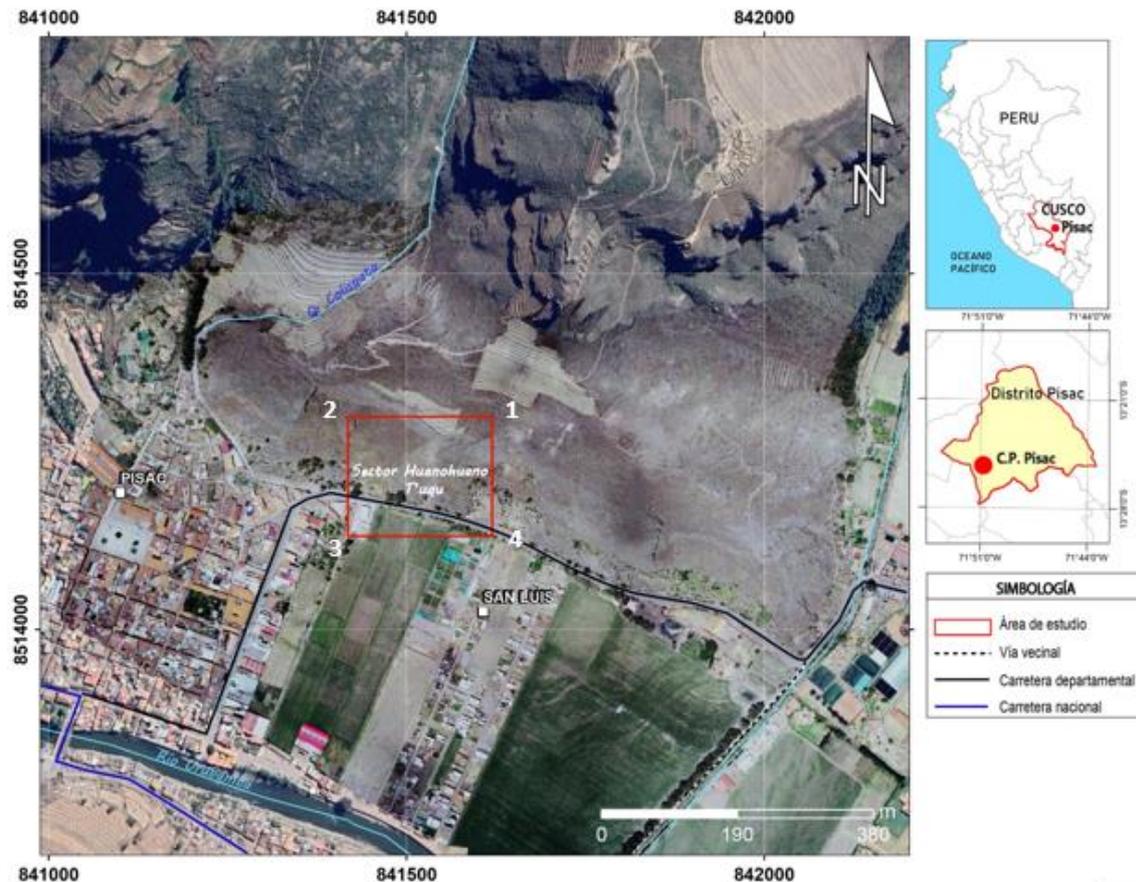
Según las cifras oficiales del XII Censo Nacional de Población y Vivienda (INEI 2017). La población del C.P. Pisac es de 10188.

### 1.2.3. ACCESIBILIDAD

Partiendo de la ciudad del Cusco, en dirección al nor este se continua por las carreteras nacional 28G y departamental CU-112, en un tiempo de 54 min y distancia de 34.3 km

**Cuadro 2.** Rutas de acceso al sector Huanohuano T'uqu, C,P, Pisac

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cusco – Pisac	Carretera naciona CU-110	33.6	51 min
Pisac – Cerro Huanohuano T'uqu (vista del pie del talud)	Carretera departamental CU-112	0.7	3 min
Cerro Huanohuano T'uqu (Parte alta)	Camino del Parque arqueológico de Pisac	1.1	30 min



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio

#### 1.2.4. CLIMA

- Temperaturas y precipitaciones

Según el Mapa climático Nacional del SENAMHI (2020), el C.P. Pisac tienen un clima semiseco con otoño e invierno seco. De eficiencia térmica templada. Esta región presenta durante el año, en promedio temperaturas máximas de 23°C a 27°C y temperaturas mínimas de 5°C a 11°C. Asimismo, los acumulados anuales de lluvias alcanzan valores desde los 500 mm hasta los 900 mm aproximadamente

## DEFINICIONES

El Perú es un país que por su variedad de climas, complejidad geológica y ubicación en el denominado “Cinturón de Fuego del Pacífico”, está expuesto a diversos peligros geológicos que pueden convertirse en desastres. Con el fin de dar a conocer el resultado de los estudios a las autoridades y público en general, se brinda una definición de los términos más importantes acuñados en el presente informe

PELIGROS GEOLÓGICOS	Los peligros geológicos son procesos o fenómenos geológicos que podrían ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud. Daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y servicios, trastornos sociales y económicos o daños materiales. Pueden originarse al interior (endógenos) o en la superficie de la tierra (exógenos). Al grupo de endógenos pertenecen los terremotos, tsunamis, actividad y emisiones volcánicas; en los exógenos se agrupan los movimientos en masa (deslizamientos, aludes, desprendimientos de rocas, derrumbes, avalanchas, aluviones, huaicos, flujos de lodo, hundimientos, entre otros), erosión e inundaciones.
MOVIMIENTOS EN MASA	Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. Los tipos más frecuentes son: caídas, deslizamientos, flujos, vuelcos, expansiones laterales, reptación de suelos, entre otros. Existen movimientos extremadamente rápidos (más de 5 m por segundo) como avalanchas y/o deslizamientos, hasta extremadamente lentos (menos de 16 mm por año) a imperceptibles como la reptación de suelos.
ESCARPA	Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.
CAÍDA	Movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. El material se desplaza por el aire, golpeando, rebotando o rodando (Varnes, 1978). Se clasifican en caídas de rocas, suelos y derrumbes.
FLUJOS	Movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Existen tipos de flujos como flujos de lodo, flujos de detritos (huaicos), avalanchas de rocas y detritos, crecida de detritos, flujos secos y lahares (por actividad volcánica). <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flujos de detrito (huayco): Flujo con predominancia mayor de 50% de material grueso (bloques, gravas),</li> </ul>

sobre los finos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.

ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO EN MASA	<p>REACTIVADO: Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable o sin movimiento por algún periodo de tiempo</p> <p>ACTIVO: Movimiento en Masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.</p>
SIMULACIÓN	<p>Predicción del comportamiento del peligro geológico en relación al modelo de elevación tridimensional y los posibles escenarios de ocurrencia.</p>
FRACTURA	<p>Estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan. Los rangos de fracturamiento rocoso, dependiendo del espaciamiento entre las fracturas, pueden ser: maciza, poco fracturada, medianamente fracturada, muy fracturada y fragmentada.</p>
METEORIZACIÓN	<p>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. Los rangos de meteorización se clasifican en: roca fresca, ligeramente meteorizada, moderadamente meteorizada, altamente meteorizada, completamente meteorizada y suelo residual.</p>
FORMACIÓN GEOLÓGICA	<p>Unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por presentar propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.</p>

## 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Los cuadrángulos de Urubamba y Calca (hojas 27-r y 27-s) (Carlotto V. et al. 1996) y la actualización de la Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000). Geología del cuadrángulo de Calca (hojas 27-s1, 27-s2, 27-s4) (Soberon D. et al. 2021), describen regionalmente afloramientos de rocas volcano-sedimentarias y sedimentarias de la hoja 23-s3 del Grupo Mitu, Formación Paucarbamba y Huancané, siendo el Grupo Mitu el único que aflora ampliamente en el sector Huanohuano T'uqu (anexo – mapa 3).

Asimismo el cuadrángulo de Calca (27-s), sumada a la fotointerpretación y trabajos de campo, permitió cartografiar depósitos superficiales no consolidados de origen coluvial, aluvial, proluvial y glaciar. Siendo los depósitos coluviales los que sobreyacen afloramientos del Grupo Mitu en el sector Huanohuano T'uqu (anexo – mapa 3).

### 2.1. Unidades litoestratigráficas

A continuación, se realiza una descripción detallada de las unidades litoestratigráficas del sector Huanohuano T'uqu:

#### 2.1.1. GRUPO MITU (PET-m)

El sector de Huanohuano T'uqu esta constituida por una secuencia de volcánicos, que se encuentran en contacto con las areniscas cuarzosas de la Formación Huancané (Anexo – Mapa 1), y por sobre esta unidad siliciclástica (por control de falla) se tiene una serie de rocas volcánicas tanto efusivas (lavas) como piroclásticas (tobas y brechas) más antiguas que la base de la unidad.

Este grupo esta compuesto por afloramientos masivos de lavas de composición andesítica con textura porfírica (fotografía 1 y 2), las que constan de cristales desarrollados de plagioclasas dentro de una pasta afanítica pardo rojiza. Se observan bloques de 6 m x 4 m en la carretera departamental CU-112.

Este grupo también esta constituido por lavas porfíricas y lavas vesiculares de color gris oscuro, rellenas por calcita (figura 2), siguen 3 direcciones principales de fracturamiento N20° Bz N30°, N210° Bz N55°, N300° Bz N5°. Además de coladas basálticas en contacto con lavas andesíticas (figura 3).

Las rocas volcánicas antes descritas se encuentran muy fracturadas y ligera a moderadamente meteorizadas, además subyacen a una secuencia de areniscas cuarzosas de color gris blanquecino de grano medio (Formación Huancané). Sobreyaciendo a las areniscas, se reconocieron también niveles volcánicos pardos rojizos, pero de naturaleza piroclástica principalmente, con escasos niveles de lavas, lo que no se observó en la sucesión volcánica debajo de la Formación Huancané.

La edad basal del Grupo Mitu en el Valle Sagrado fue fechada en el Triásico; además, el tope de la unidad se ubica en el Jurásico medio, lo que es congruente con la edad reportada para los zircones de la Formación Huancané.



**Fotografía 1.** Vista de bloques de lavas andesíticas en un tramo de la carretera departamental CU112, sector Huanohuano T'uqu.



**Fotografía 2.** Vista de afloramientos masivos de lavas andesíticas con textura porfirítica.

La falla inversa que hace cabalgar las secuencias volcánicas sobre la Formación Huanané es una estructura que puede observarse en el terreno y corroborada por la geocronología, pero la controversia que radica aún es determinar si las rocas por encima de la unidad sedimentaria cretácica corresponden al Grupo Mitu o es una unidad que debemos de cartografiar y separar regionalmente (Soberon D. et al. 2011).

El espesor de esta unidad alcanza de 600 m a 1000 m en el cuadrángulo de Calca (Carlotto V. et al. 1996).



**Figura 2.** Lavas porfíricas y vesiculares



**Figura 3.** Contacto entre lavas andesíticas y coladas basálticas en las coordenadas UTM: X: 191421.259756; Y: 8514892.4125.

## 2.1.2. DEPÓSITOS SUPERFICIALES NO CONSOLIDADOS

Esta unidad está compuesta por materiales poco o nada coherentes, de extensión y grosor variables, de naturaleza litológica heterogénea, heterométricas, depositados desde el Pleistoceno al Cuaternario reciente, y agrupados en función de su génesis

### DEPÓSITOS COLUVIALES (Q-cd)

Se encuentran conformados por bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, acumulados al pie de taludes escarpados, en forma de conos cuando es un solo depósito. Forman piedemontes cuando hay varios depósitos ubicados consecutivamente.

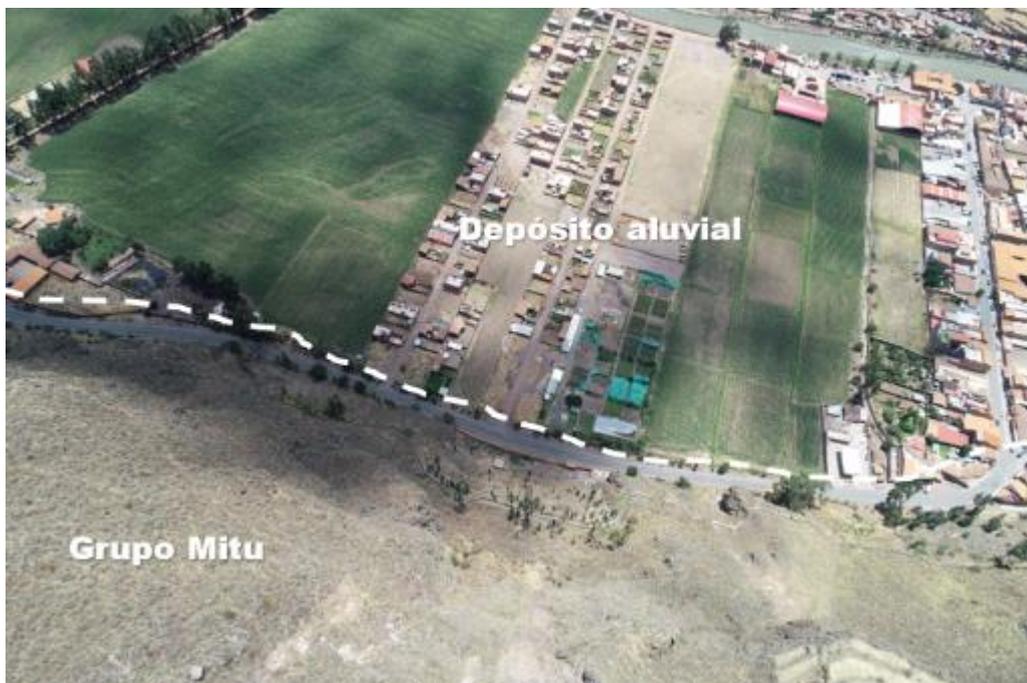
Los bloques angulosos más gruesos se depositan en la base y los bloques menores disminuyen gradualmente hacia el ápice. Carecen de relleno, aunque puede encontrarse material fino de arena y limo entre los clastos. Son sueltos, sin cohesión y conforman taludes de reposo poco estables. También se consideran dentro de esta categoría a los depósitos formados por los materiales que fueron movilizados por algunos tipos de movimientos en masa como caída de rocas (figura 4), los cuales están conformados por fragmentos de tamaños heterométricos, mezclados de forma caótica. Pueden presentarse algo consolidados. Los principales agentes formadores son el fracturamiento, meteorización, la gravedad, movimientos sísmicos y otros movimientos en masa (caída de rocas, derrumbes).



**Figura 4.** Vista aérea de depósitos coluviales y afloramientos del Grupo Mitu en el sector Hunohuno T'uqu.

### - DEPOSITOS ALUVIALES (Q-al)

Está conformado por llanuras aluviales antiguas y/o niveles de terrazas adyacentes al valle principal del río Urubamba. Está compuesto por una mezcla de fragmentos heterométricos y heterogéneos (gravas 30 %, en matriz limo-arenosa de 70%), redondeados a subredondeados, transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias. Además, conforman terrazas y abanicos aluviales extensos (figura 5).



**Figura 5 .** Vista aérea de depósitos aluviales sobre los que se asientan el C.P. de Pisac y San Luis.

### 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

#### 3.1. Pendientes del terreno

El mapa de pendientes, elaborado a partir del modelo de elevación digital drone, de 20 cm de resolución, muestra pendientes que varían de muy fuerte a abrupta ( $25^\circ$  a  $> 45^\circ$ ), predominando pendientes de terrenos abruptos ( $> 80^\circ$ ) en el sector Huanohuano T'uqu. Además de pendientes de baja a media, en la vertiente aluvial donde se asienta el C.P. de Pisac (figura 6, Anexo – Mapa 2).

La descripción de la clasificación de pendientes (Anexo – Mapa 2), se da en el cuadro 3:

**Cuadro 3.** Descripción de pendientes mostradas en la figura 4. Fuente: Vílchez et al, 2020

PENDIENTES	DESCRIPCIÓN
<b>Baja</b>	Áreas susceptibles a inundación. Son pendientes de 1° a 5°, representan el cauce de río Urubamba, fondos de valles, llanuras.
<b>Media</b>	Conforman relieves poco inclinados en terrazas aluviales a ambos flancos del río Urubamba. Pendientes de 5° a 15°
<b>Fuerte</b>	Conforman relieves inclinados, se les considera altamente susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa. Sin embargo no se observan estas pendientes en el sector Huanohuano T'uqu.
<b>Muy fuerte</b>	Caracterizado por presentar muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa. Da lugar a la ocurrencia de derrumbes y/o caída de rocas sobre terrenos de 25° a 45°. Algunos sectores del flanco sur del parque arqueológico de Pisac, presentan estas pendientes.
<b>Abrupto/ Muy Escarpado</b>	Son zonas abruptas > 45°. La ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa de tipo caída de rocas, depende de las condiciones intrínsecas de la roca (grado de fracturamiento, meteorización, orientación, estratificación, detonantes de lluvia y sismos). Estas pendientes predominan en el sector Huanohuano T'uqu.

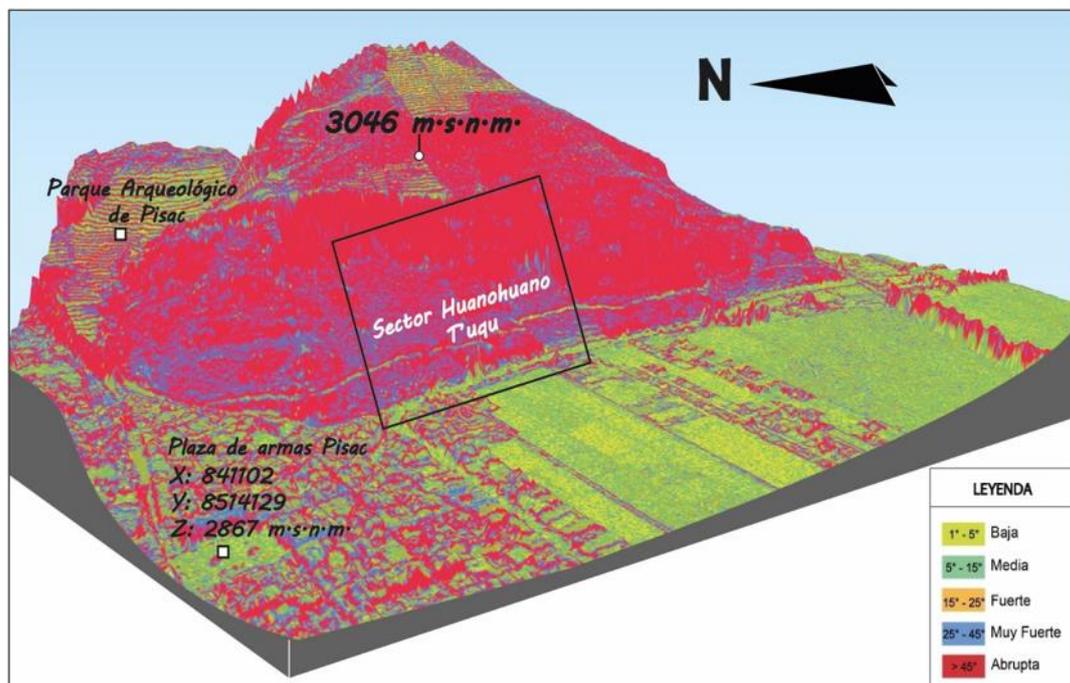


Figura 6. Disposición de pendientes en el C.P. Pisac.

### 3.2. Unidades geomorfológicas

El mapa geomorfológico a escala 1:500 000 del boletín N° 74: Peligros Geológicos en la Región Cusco, la fotointerpretación de imágenes satelitales y los trabajos en campo, permitieron cartografiar regionalmente el área de estudio en geformas de carácter tectónico degradacional y erosional (montañas sedimentarias y volcánico –

sedimentaria) y geoformas de carácter deposicional (vertiente coluvial de detritos, aluvial, glacial, proluvial y cono proluvial antropizado) (Anexo - Mapa 3). Predominado geoformas de montaña en roca volcánico-sedimentaria y vertientes coluvial de detritos, en el sector Huanohuano T'uqu.

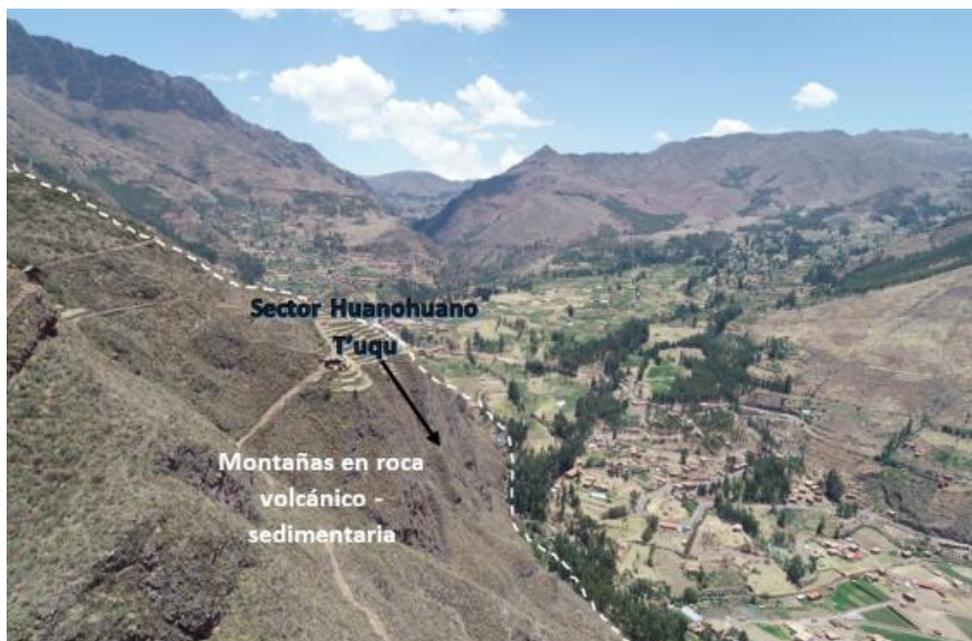
### 3.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

Están representadas por geoformas montañosas con pendientes pronunciadas. La erosión y degradación de su afloramiento en la parte alta originan geoformas de carácter deposicional, por transporte arrastre y acumulación de sedimentos.

#### 3.2.1.1. Montañas en roca volcánico - sedimentaria (RM-rvs)

En esta subunidad geomorfológica se encuentran las elevaciones de terreno que hacen parte de las cordilleras levantadas por la actividad tectónica, cuya morfología actual depende de procesos exógenos degradacionales determinados por la lluvia de escorrentía, y agua de subsuelo, con fuerte incidencia de la gravedad. Esta unidad se cartografía como montañas en roca volcánico - sedimentaria por estar geológicamente constituida por afloramientos rocosos del Grupo Mitu (lavas volcánicas (andesíticas) y coladas basálticas) (figura 7), cuyas pendientes son abruptas (>45°).

Los procesos erosivos de estas geoformas generan movimientos en masa a través del tiempo, como caída de rocas, esto se debe al grado de fracturamiento y meteorización de la roca; influye además la pendiente del terreno (>80°) (figura 6), Por lo tanto da origen a geoformas de carácter deposicional como vertientes coluviales (ver Anexo - Mapa 3).



**Figura 7.** Vista aérea de montañas en roca volcánico – sedimentaria en la parte alta del sector Huanohuano T'uqu.

### 3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL

Estas geoformas son el resultado de varios procesos geomorfológicos, determinados por fuerzas de desplazamiento y factores extrínsecos móviles, como sismos, aguas pluviales y de escorrentía, quienes tienden a modificar la superficie de la tierra, mediante el desprendimiento de materiales sólidos en terrenos elevados producto de procesos denudativos. En el sector Huanohuano T'uqu se han identificado vertientes coluviales de detritos.

#### 3.2.2.1. Vertiente coluvial de detritos (V-d)

Se forma en laderas muy empinadas de fuerte a abrupta pendiente ( $25^\circ$  a  $>45^\circ$ ) (figura 8). Hay escasa o nula presencia de suelos y vegetación por la acumulación de fragmentos de roca (entre 50 y 80%) de variado tamaño (gravas a bloques), resultantes de la meteorización física por gelifración o termofración de los materiales que los constituyen.

Estos fragmentos, desprendidos de los escarpes, se desplazan en caída libre o rodando cuesta abajo. Van formando aglomeraciones de bloques sueltos que adoptan una forma semicónica. Por otro lado, cuando los fragmentos presentan tamaños variados, estos se disponen en un patrón selectivo, con los bloques de mayor tamaño hacia la base debido a su mayor momento y a su facilidad para rodar. Los fragmentos más pequeños se ubican hacia el ápice del depósito.

Estos depósitos se consideran inestables, ya que no existe cohesión entre sus fragmentos. Por esta razón, es fácil que un sobrepeso (caída de nuevos bloques) produzca desplazamiento de parte de los materiales. Cuando el talud o vertiente de detritos es relativamente antiguo y el clima es propicio, se pueden desarrollar suelo y cobertura vegetal estabilizadora (Villota, 2005).



**Figura 8.** Vista de vertientes coluviales al pie de montañas en roca volcánico – sedimentaria, en el sector Huanohuano T'uqu.

### 3.2.2.2. Vertiente aluvial (V-al)

Conforma planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y extendidas, posicionadas al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos (figura 9). Están formadas por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, que pueden formar abanicos debido al movimiento lateral-cíclico del curso del río Urubamba.

La pendiente de estos depósitos es de suave a moderada (1-15°). Sobre estos abanicos se pueden depositar también materiales provenientes de flujo.



**Figura 9.** Vertiente aluvial en la margen izquierda del río Urubamba.

## 4. PELIGROS GEOLÓGICOS

### 4.1. Caracterización del Peligros por Movimientos en Masa

El cerro Huanohuano T'uqu, ubicado el flanco sur del parque arqueológico de Pisac, presenta taludes semiverticales de abrupta inclinación (70° a 84°), cuyos afloramientos de roca volcánica, expuesta, están muy facturados y de ligera a moderadamente meteorizados. Lo que causa desprendimiento de bloques de rocas de casi de 8 m<sup>3</sup>, a una extensión de 800 m de longitud (figura 11A).

Según el testimonio de la población, en la última década se han observado caída de bloques de roca de pequeñas a medianas dimensiones que no afectaron infraestructura. Sin embargo, la presencia de bloques superpuestos de longitud 19 m y ancho 8 m, al pie del Talud, indicaría que históricamente grandes bloques de roca se desprendían a lo largo del talud (figura 10).



**Figura 10.** Bloques volcánicos de grandes dimensiones al pie del talud del cerro Huanohuano T'uqu, carretera departamental de Pisac a Paucartambo.

El 01 de junio del 2021, a 6:48 am, un bloque de ~8m<sup>3</sup> se desprendió del cerro Huanohuano T'uqu, 50 m pendiente abajo dicho bloque impactó en dos crestas rocosas de altura ~1.5 m, ocasionando la fragmentación del mismo y separación lateral de rocas que formaron un área de desprendimiento triangular (figura 11B).

El evento cobró 1 vida humana. Además destruyó y/o afectó 50 m del canal de riego que abastece a 100 familias de la Pampa de Pisac (fotografía 3), postes de alumbrado público al pie del talud, un tramo de la carretera departamental Pisac – Paucartambo en 125 m (fotografía 4), terrenos de cultivos y el grifo del sector Hunuhuaco T'uqu (figura 11C).

Actualmente el canal de riego y el cableado eléctrico fueron restablecidos, los bloques de roca en el grifo y el tramo de la carretera departamental Pisac a Paucartambo fueron retirados. Sin embargo los bloques colgados muy fracturados en la parte alta amenazan

con volver destruir vidas humanas e infraestructura a lo largo del cerro Huanohuano T'uqu. El testimonio de la población indica que evitan transitar por la zona por el miedo latente a que bloques de roca se desprendan repentinamente.

Aún se observa postes destruidos por la caída de rocas, que son usados como parte del cableado eléctrico (fotografía 6).



**Fotografía 3.** Tramos del canal de riego destruidos. Fotografía: Municipalidad distrital de Pisac. 2021).



**Fotografía 4.** Bloques en la carretera departamental Pisac – Paucartambo. Fotografía: Municipalidad distrital de Pisac. 2021.



**Fotografía 5.** Bloques de roca en el grifo del sector Huanohuano T'uqu.

Fuente: Gobierno Regional de Cusco. 2021.



**Fotografía 6.** Postes afectados por la caída de rocas, aun son usados con el cableado eléctrico.

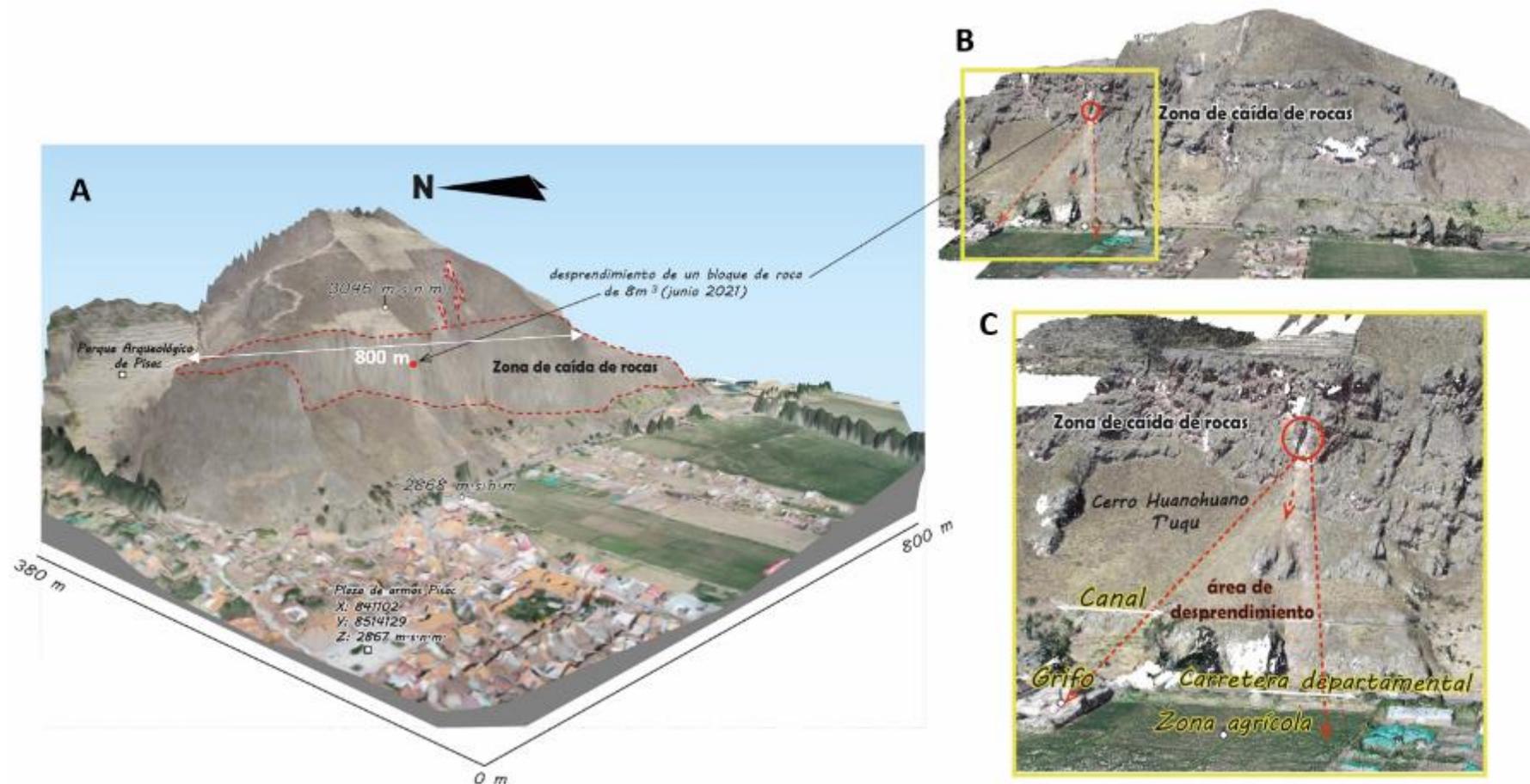


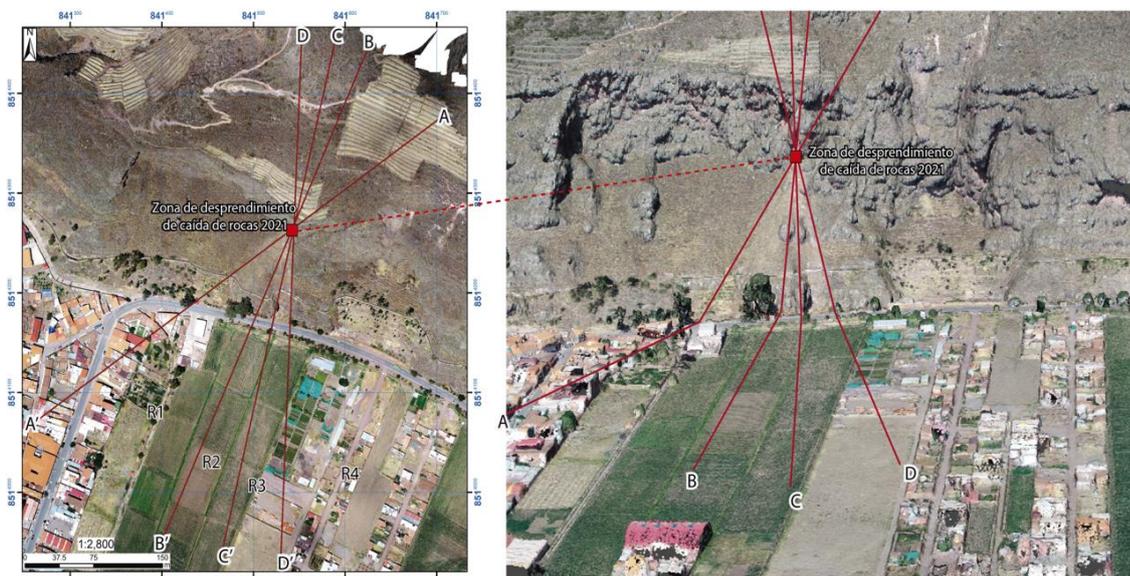
Figura 11. Representación tridimensional de peligros geológicos en el cerro Huanohuano Tuqu (Pampa). Sobrevuelo dron en diciembre de 2022

## 5. SIMULACIÓN DE CAÍDA DE ROCAS

Con el objetivo de analizar la dinámica de caída de rocas en el sector Huanohuano T'uqu, se realizó 4 simulaciones con el software Rockfall de Rockscience. Para lo cual se consideró un volumen aproximado de 8 m<sup>3</sup> (bloque desprendido en junio del 2021) y 4 perfiles que intersectan la ubicación del mismo (cuadrado rojo de la figura 12).

La simulación permitirá conocer el alcance de los bloques de roca a través de su velocidad, energía cinética, altura máxima de rebote y caída libre en 3 radiales (R1, R2 y R3)

La simulación de caída de rocas en los 04 perfiles, se dará en teniendo en cuenta dos posibles escenarios de ocurrencia: El primer escenario será con fragmentación de roca, es decir el bloque desprendido en la parte alta se dividirá a lo largo de su recorrido y el segundo escenario será sin fragmentación, es decir el bloque que se desprende en la parte alta llegará caerá con las mismas dimensiones.

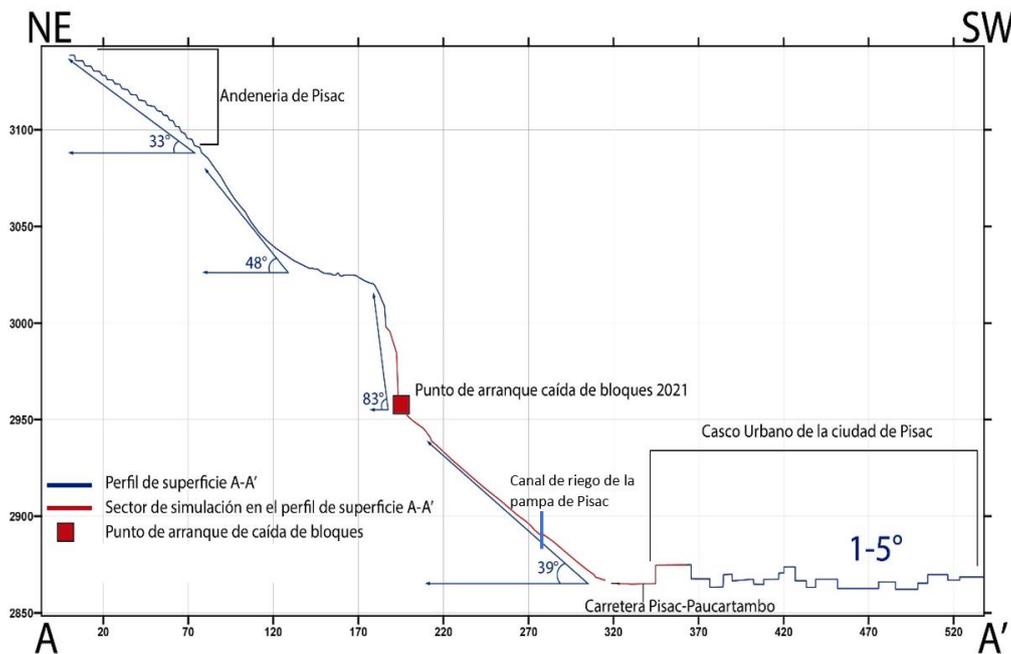


**Figura 12.** Perfiles a ser considerados en las simulaciones

### 5.1.PERFIL A - A'

Tiene una distancia de 530 m. Se distribuye a lo largo de terrenos de pendientes fuertes a abruptas (25° a > 45°).

El bloque desprendido en junio de 2021 o punto de arranque para la simulación de caída de rocas, esta ubicada en una ladera de pendiente abrupta (83°), como parte de los afloramientos rocosos muy fracturados del Grupo Mitu, seguido de una ladera de fuerte pendiente (39°), que termina en la vía departamental que conectan los centros poblados de Pisac y Paucartambo, para finalmente extenderse sobre el casco urbano de Pisac (viviendas y grifo) (figura 13).



**Figura 13.** Perfil A – A'. Vista de cambio de pendientes e infraestructura.

#### PRIMER ESCENARIO EN EL PERFIL A – A'

De considerar que el bloque se fragmento en su recorrido y solo la cuarta parte del volumen de  $8 \text{ m}^3$  ( $2 \text{ m}^3$ ) caerá sobre el perfil A – A', generaría una energía cinética total de 916 KJ, con una velocidad máxima de 17 m/s y altura de rebote de 1.2 m. Lo que quiere decir que el bloque pasaría por la carretera de Pisac a Paucartambo e impactaría en las construcciones de Pisac (figura 14).

#### SEGUNDO ESCENARIO EN EL PERFIL A-A'

De considerar el valor total del bloque hipotético de  $8 \text{ m}^3$  (sin fragmentación), la caída del mismo generaría una energía cinética total de 4000 KJ, con una velocidad de 19/ms y altura de rebote de 4m. De igual manera el bloque pasaría por la carretera de Pisac a Paucartambo e generaría un efecto más destructivo en las viviendas de Pisac, sector Huanohuano T'uqu (figura 15).

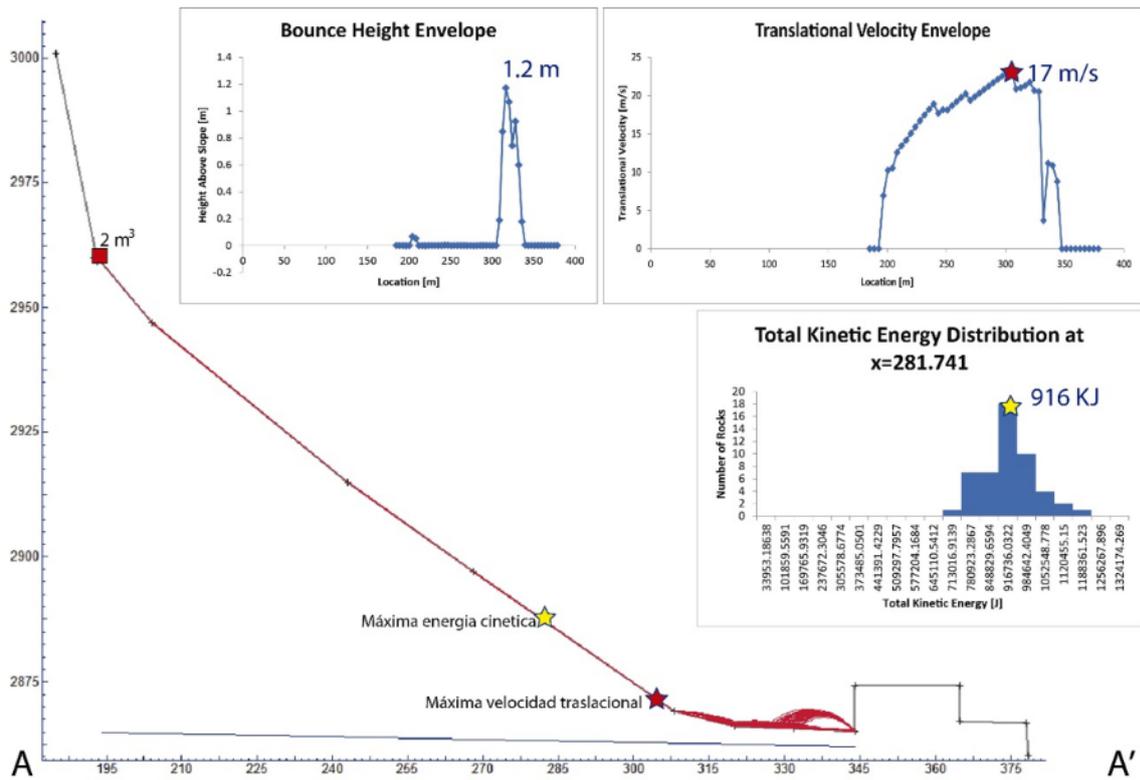


Figura 14. Primer escenario de simulación en el perfil A – A'

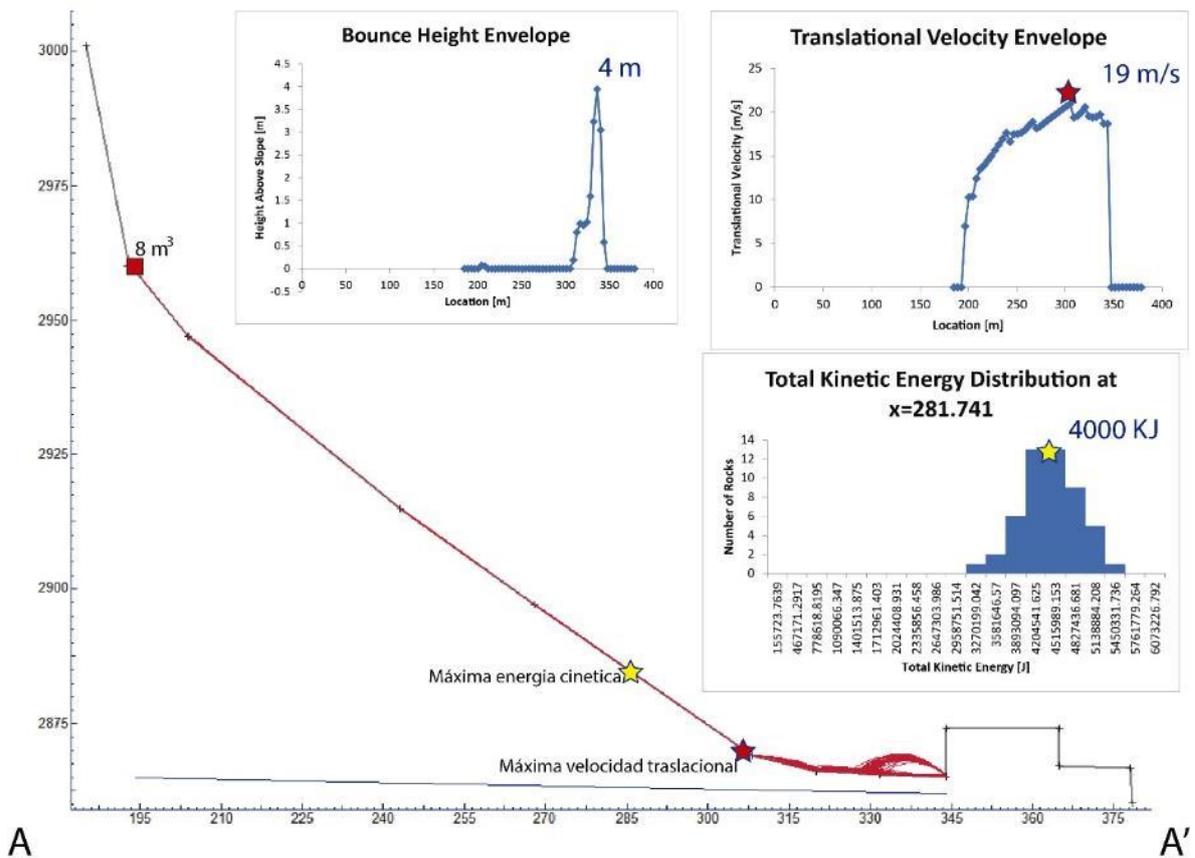
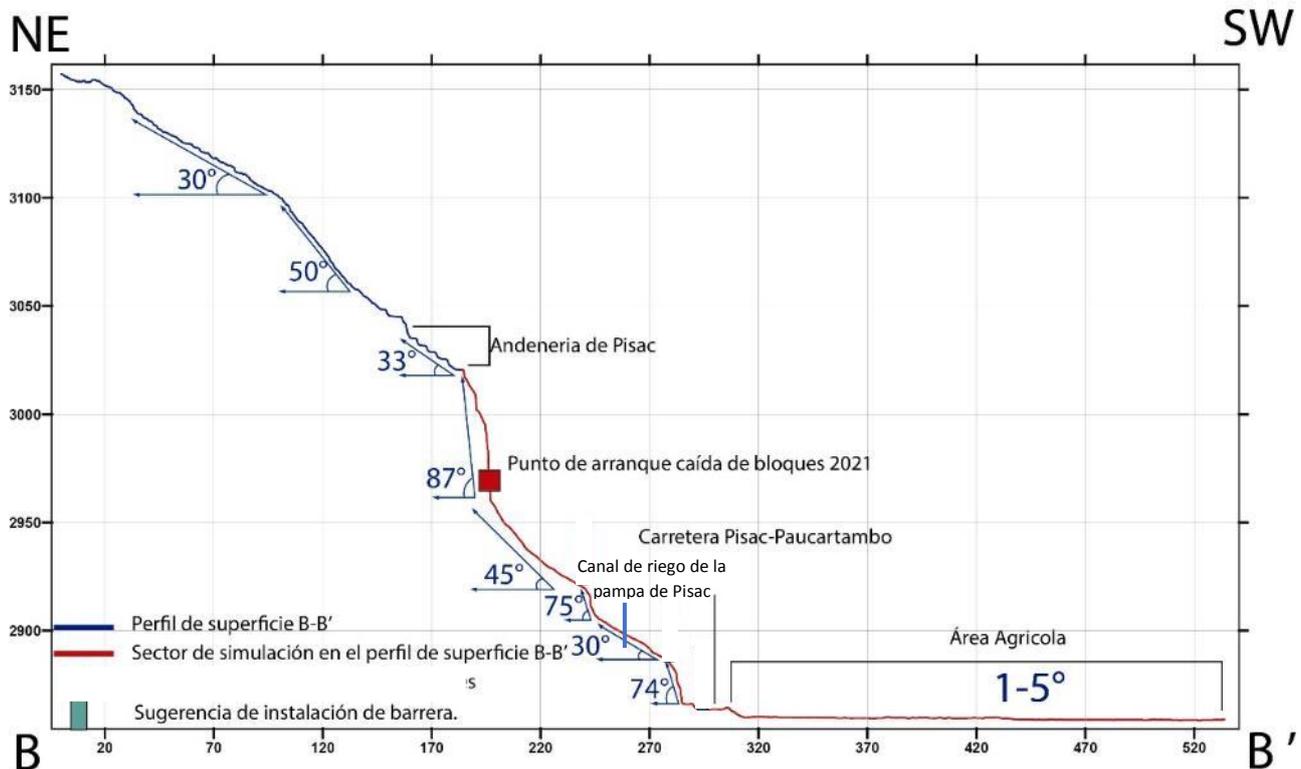


Figura 15. Segundo escenario de simulación en el perfil A – A'

## 5.2.PERFIL B - B'

Tiene una distancia de 530 m. Se distribuye a lo largo de terrenos de pendientes fuertes a abruptas ( $25^\circ$  a  $> 45^\circ$ ).

Este perfil muestra mayor variación en el cambio de pendientes, sin embargo, el punto de arranque de caída de bloques mantiene una pendiente abrupta de  $87^\circ$ . Además se presentan 02 rampas de pendientes fuertes de  $45^\circ$  y  $30^\circ$ , separadas con laderas de pendiente abrupta de  $75^\circ$  y  $74^\circ$  (figura 16), que pueden favorecer el salto de bloques desprendidos.



**Figura 16.** Perfil B – B'. Vista de cambio de pendientes e infraestructura

### PRIMER ESCENARIO EN EL PERFIL B – B'

De considerar que el bloque se fragmenta en su recorrido y solo la cuarta parte del volumen de  $8 \text{ m}^3$  ( $2 \text{ m}^3$ ) caerá sobre el perfil B – B', generaría una energía cinética total de 1200 KJ, con una velocidad máxima de 18 m/s y altura de rebote de 8 m (figura 17).

### SEGUNDO ESCENARIO EN EL PERFIL B-B'

De considerar el valor total del bloque hipotético de  $8 \text{ m}^3$  (sin fragmentación), la caída del mismo generaría una energía cinética total de 4000 KJ, con una velocidad de 20 m/s y altura de rebote de 10 m (figura 18)

En ambos casos los bloques pasarían la carretera depositándose en los campos de cultivo.

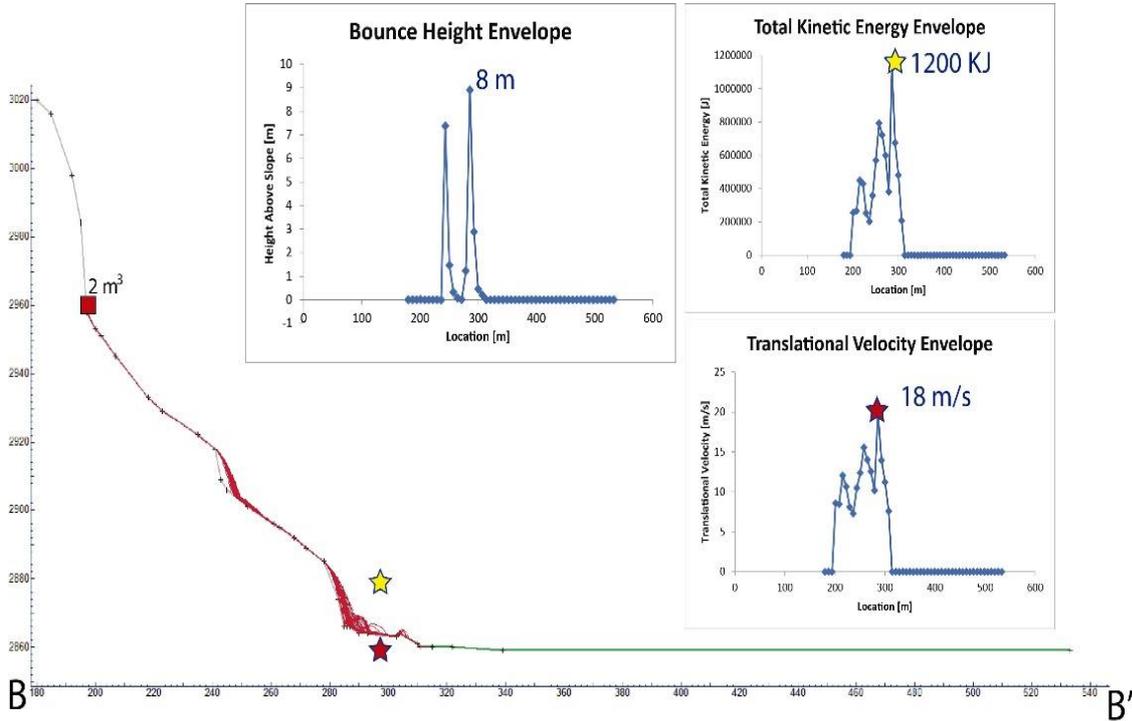


Figura 17. Primer escenario de simulación en el perfil B – B'

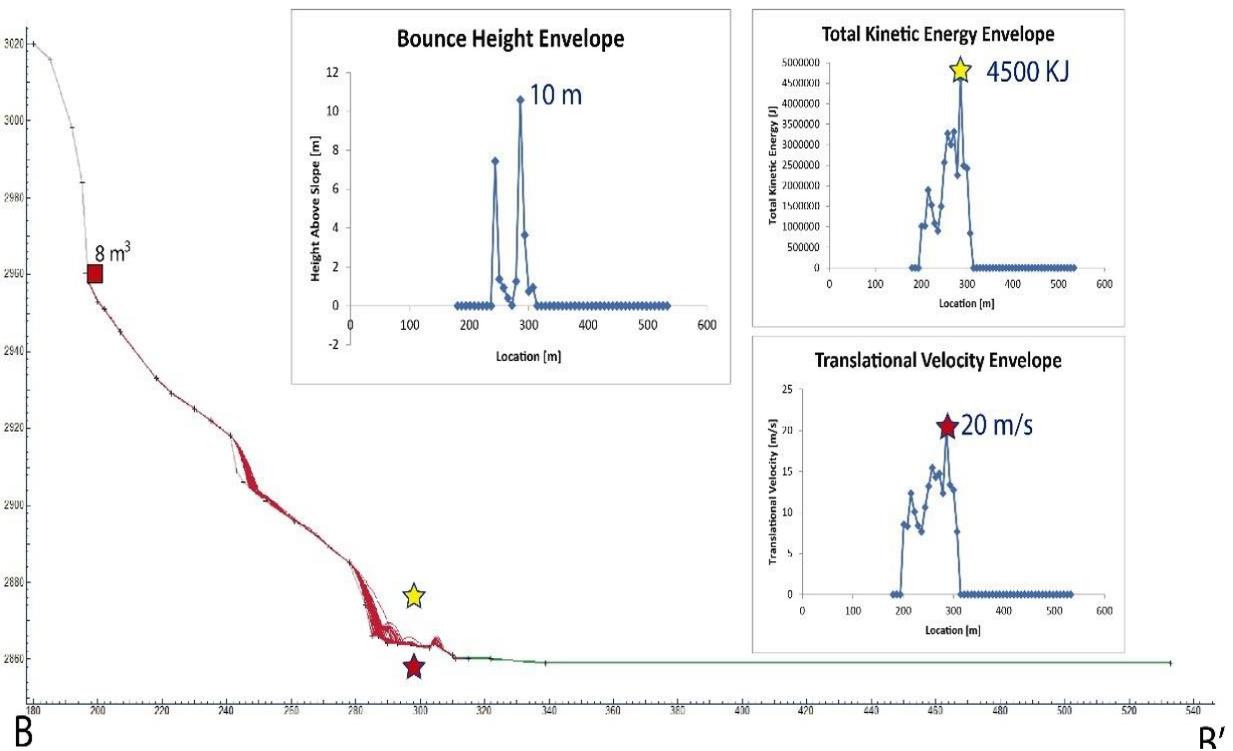
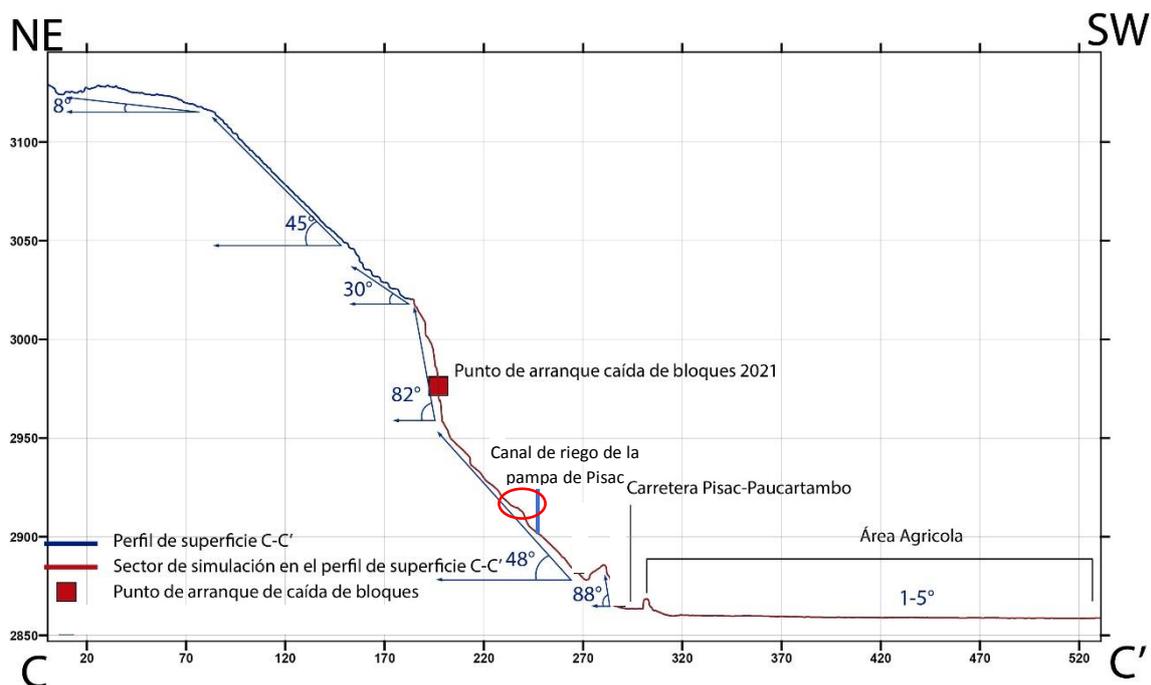


Figura 18. Segundo escenario de simulación en el perfil B – B'

### 5.3.PERFIL C - C'

Tiene una distancia de 530 m. Se distribuye a lo largo de terrenos de pendientes fuertes a abruptas ( $25^\circ$  a  $> 45^\circ$ ).

El bloque desprendido en junio de 2021 esta ubicada en una ladera de pendiente abrupta ( $82^\circ$ ) (figura 18). A 50 m del bloque se identificaron crestas de rocas que actúan como disipadores de energía, sin embargo el bloque que impacte en esta geoforma llegaría a dividirse en fragmentos de roca (círculo rojo de la figura 19), que continuarían su recorrido laterales a la cresta.



**Figura 19.** Perfil C – C'. Vista de cambio de pendientes e infraestructura

#### PRIMER ESCENARIO EN EL PERFIL C – C'

De considerar que el bloque se fragmenta en su recorrido y solo la cuarta parte del volumen de  $8 \text{ m}^3$  ( $2 \text{ m}^3$ ) caerá sobre el perfil C – C', generaría una energía cinética total de 1600 KJ, con una velocidad máxima de 21 m/s y altura de rebote de 1.3 m (figura 20).

#### SEGUNDO ESCENARIO EN EL PERFIL C - C'

De considerar el valor total del bloque hipotético de  $8 \text{ m}^3$  (sin fragmentación), la caída del mismo generaría una energía cinética total de 7200 KJ, con una velocidad de 23 m/s y altura de rebote de 1.4 m (figura 21).

En ambos casos gran parte del impacto sería frenado y/o soportado por la saliente rocosa, sin embargo un pequeño porcentaje de rocas podría llegar a atravesar la cresta con un impacto menor hacia la carretera, a comparación de los otros perfiles.

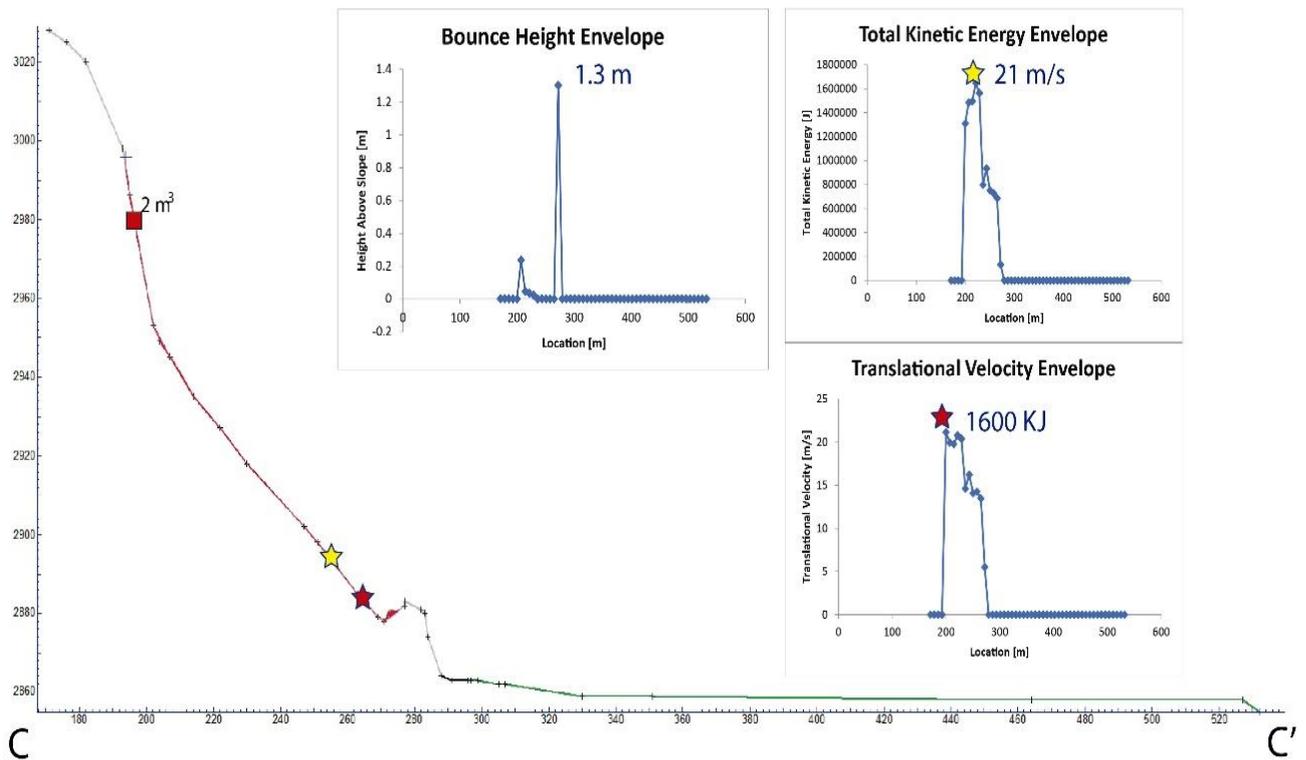


Figura 20. Primer escenario de simulación en el perfil C – C'

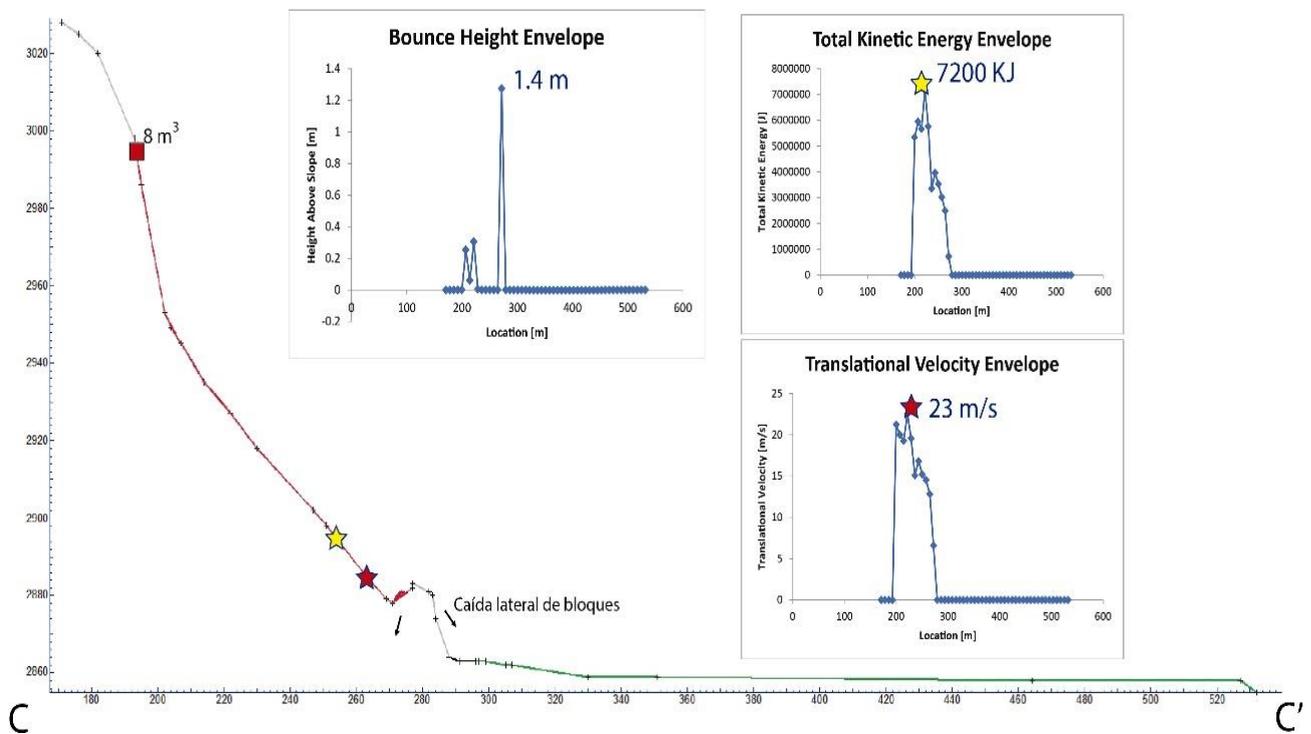
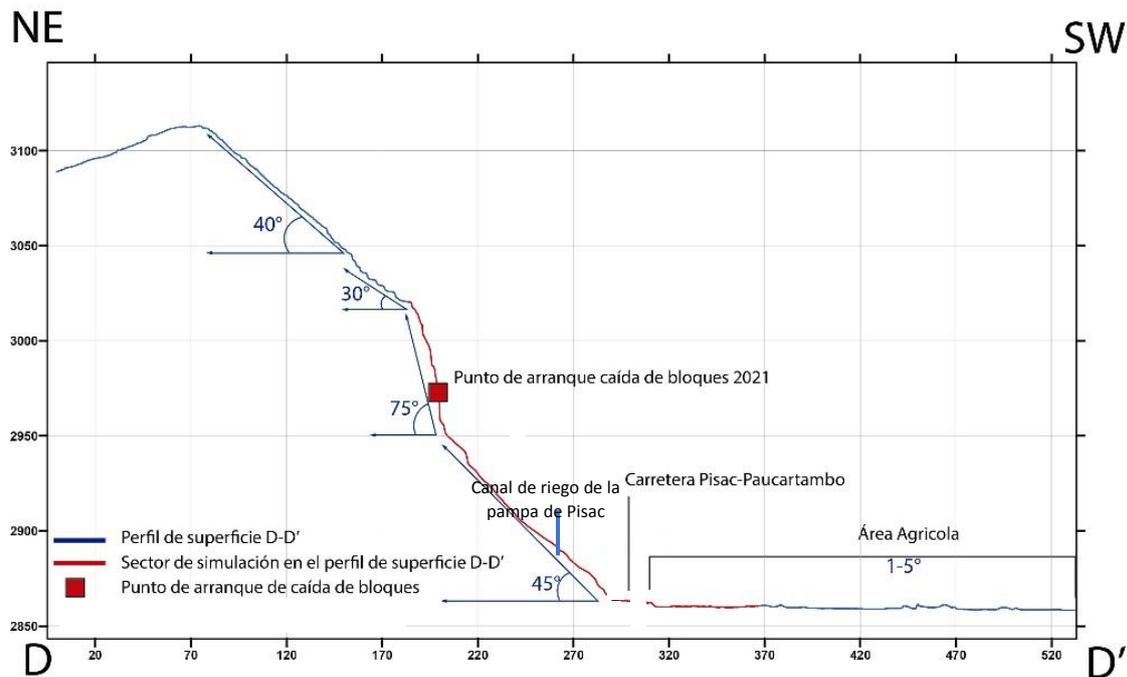


Figura 21. Segundo escenario de simulación en el perfil C – C'.

### 5.4. PERFIL D - D'

Tiene una distancia de 530 m. Se distribuye a lo largo de terrenos de pendientes fuertes a abruptas ( $25^\circ$  a  $> 45^\circ$ ).

El bloque desprendido en junio de 2021 esta ubicada en una ladera de pendiente abrupta ( $75^\circ$ ) (figura 22), quien cambia su pendiente a  $45^\circ$  hasta llegar a la carretera Pisac a Paucartambo, para finalmente desembocar en áreas agrícolas de pendiente baja (figura 22).



**Figura 22.** Perfil D – D'. Vista de cambio de pendientes e infraestructura

#### PRIMER ESCENARIO EN EL PERFIL D – D'

De considerar que el bloque se fragmenta en su recorrido y solo la cuarta parte del volumen de  $8 \text{ m}^3$  ( $2 \text{ m}^3$ ) caerá sobre el perfil D – D', generaría una energía cinética total de 2000 KJ, con una velocidad máxima de 20 m/s y altura de rebote de 3.5 m (figura 23).

#### SEGUNDO ESCENARIO EN EL PERFIL D - D'

De considerar el valor total del bloque hipotético de  $8 \text{ m}^3$  (sin fragmentación), la caída del mismo generaría una energía cinética total de 7000 KJ, con una velocidad de 25 m/s y altura de rebote de 3.5 m (figura 24).

En ambos casos los bloques pasarían la carretera depositándose en los campos de cultivo.

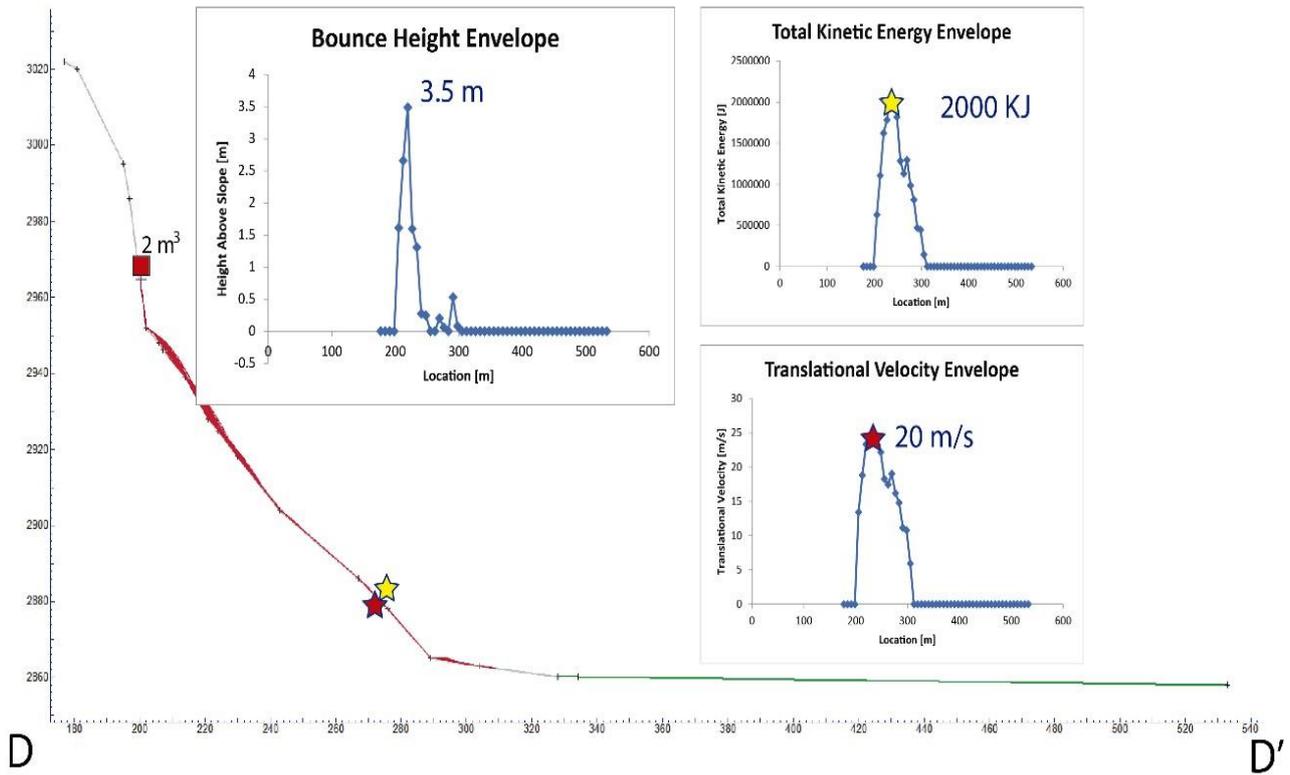


Figura 23. Primer escenario de simulación en el perfil D – D'

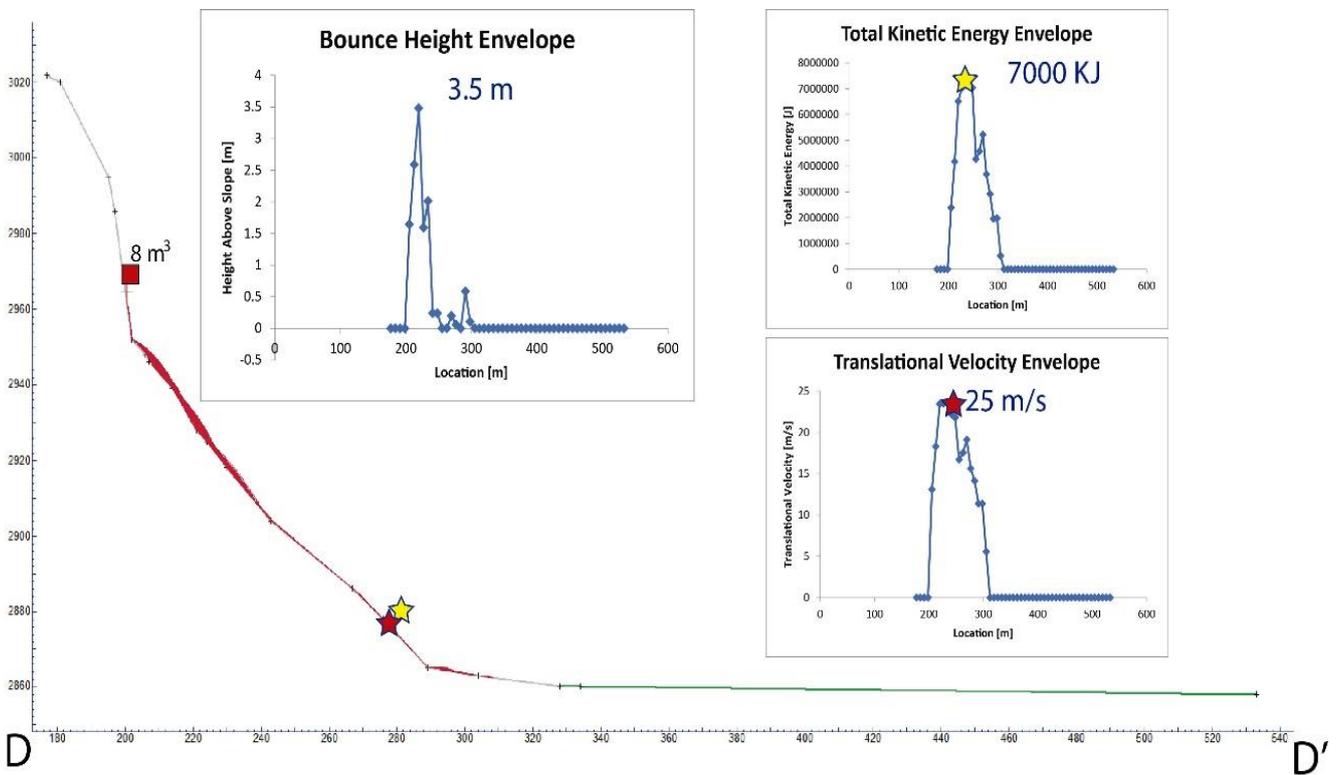


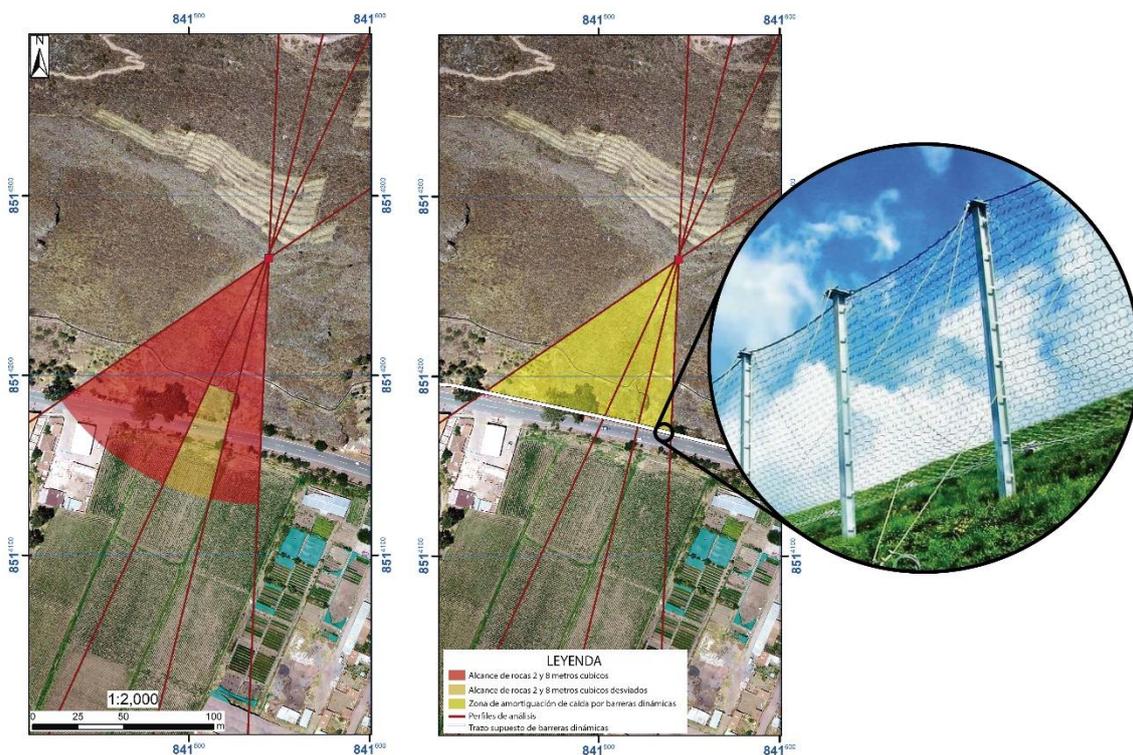
Figura 24. Segundo escenario de simulación en el perfil D – D'

## 5.5. Propuestas de infraestructura en base a la simulación

Las barreras dinámicas están formadas por una estructura de geometría variable diseñada para detener bloques de gran tamaño que se desprenden de un talud. Estos sistemas se fundamentan en la absorción de impactos mediante la progresiva disipación de su energía cinética, convirtiéndola en trabajo de frenado. Para ello se dispone una malla de cables de acero montada sobre postes metálicos articulados en su base, a los que van unidos cables de disipación de energía, que son los que efectúan la detención.

Las pantallas dinámicas para la retención de rocas en laderas inestables están formadas por una red de intercepción, postes anclados al terreno, cables de conexión y elementos disipadores de energía. Estos elementos, gracias a su capacidad de deformación, permiten que el sistema soporte una gran energía de impacto. Durante el impacto, el sistema asegura que la energía de la caída de las rocas sea disipada, impidiendo movimientos adicionales.

Teniendo en cuenta las simulaciones de caída de rocas en los 4 perfiles, se estima que los bloques de roca se extenderían por lo menos 7 m después de la carretera con ruta Pisac a Paucartambo. Para mitigar los daños se recomienda la implementación de barreras dinámicas, ubicadas entre el final de la ladera o inicio de la carretera (figura 25).

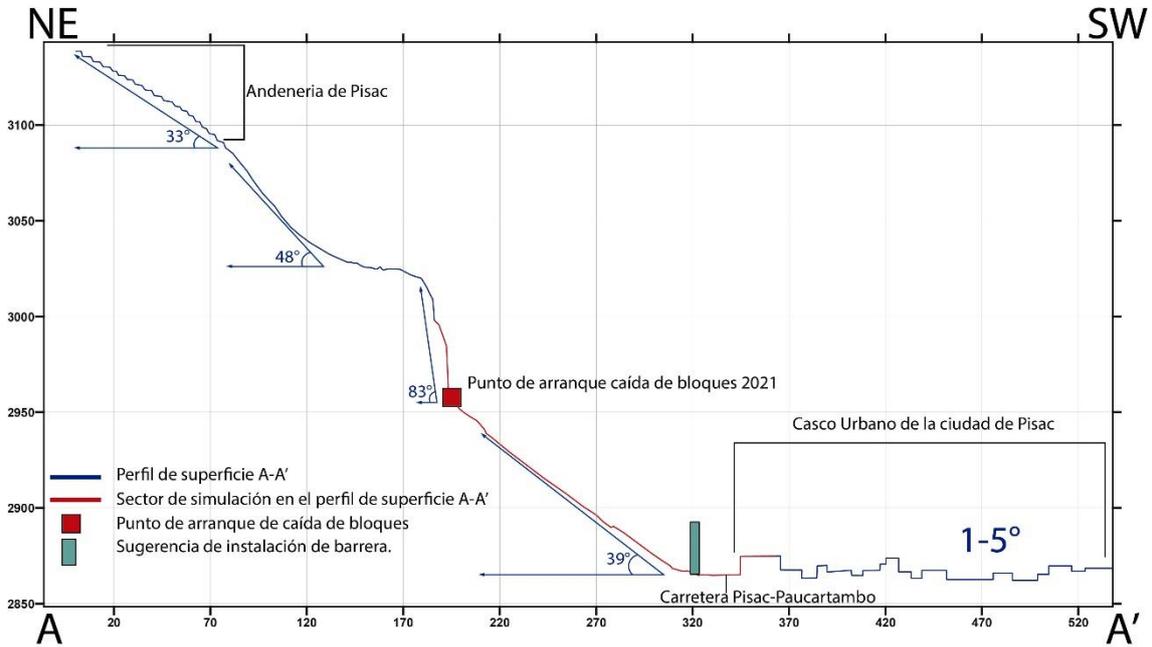


**Figura 25.** Área de influencia del bloque caído en el evento de junio 2021. Vista de barreras

En el mercado existen en la actualidad barreras cuyo rango de capacidad de absorción de energía varía entre 250 kJ y 3.500 kJ, con capacidades aún mayores que pueden llegar a 5.000 kJ, 8.600 kJ y 10.000 kJ, según normas internacionales. Teniendo en cuenta estos parámetros se realizó 4 simulaciones con infraestructura (barreras) que soportaron satisfactoriamente el impacto del volumen hipotético calculado.

**PERFIL A – A'**

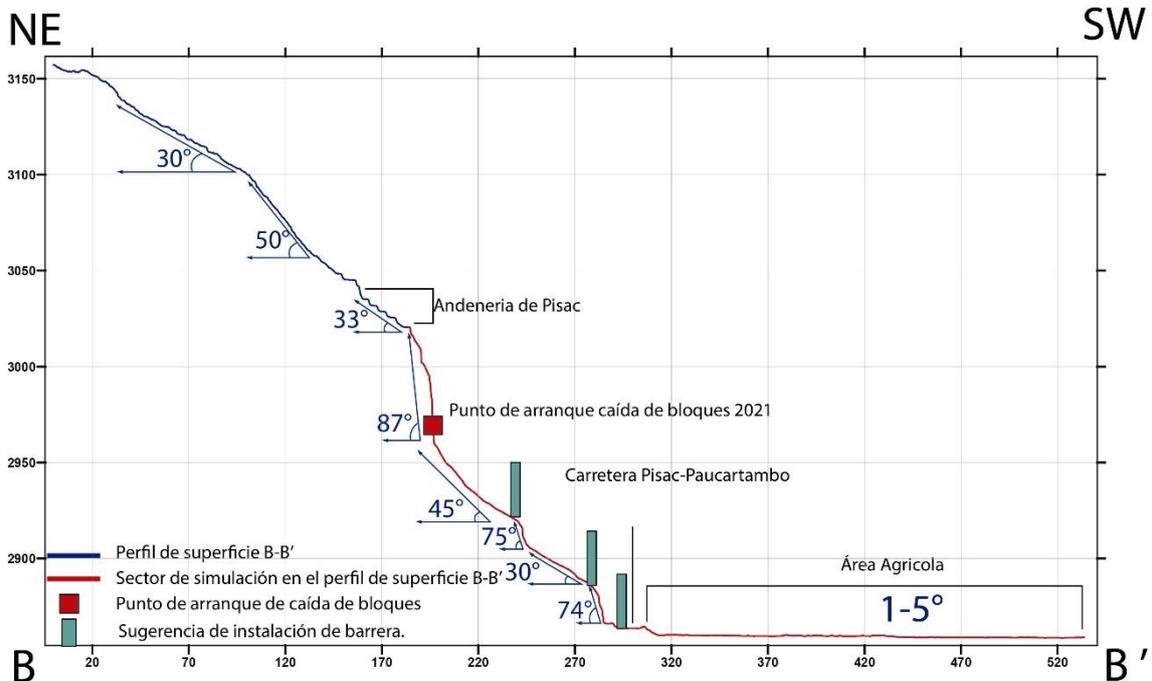
La mejor zona de instalación de barreras dinámicas es al pie del talud (figura 26).



**Figura 26.** Ubicación de instalación de barreras según la simulación del Perfil A – A'

**PERFIL B – B'**

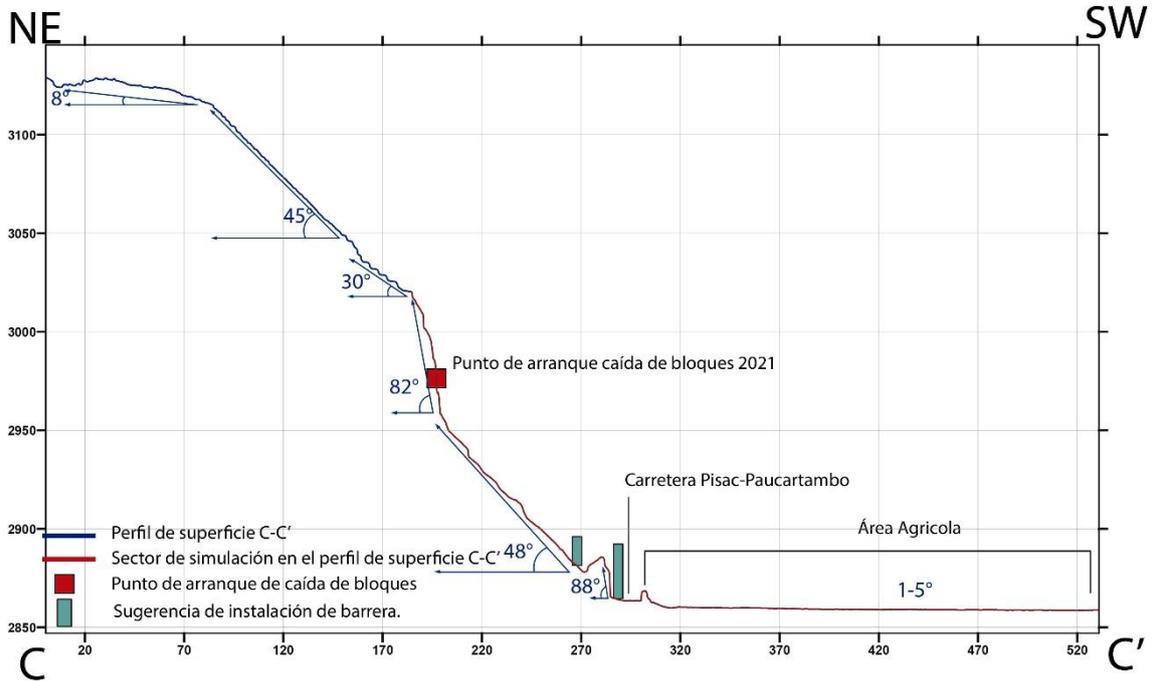
La instalación de barreras dinámicas y disipadores de energía entre las rampas observadas (figura 27).



**Figura 27.** Ubicación de instalación de barreras según la simulación del Perfil B – B'

PERFIL C – C'

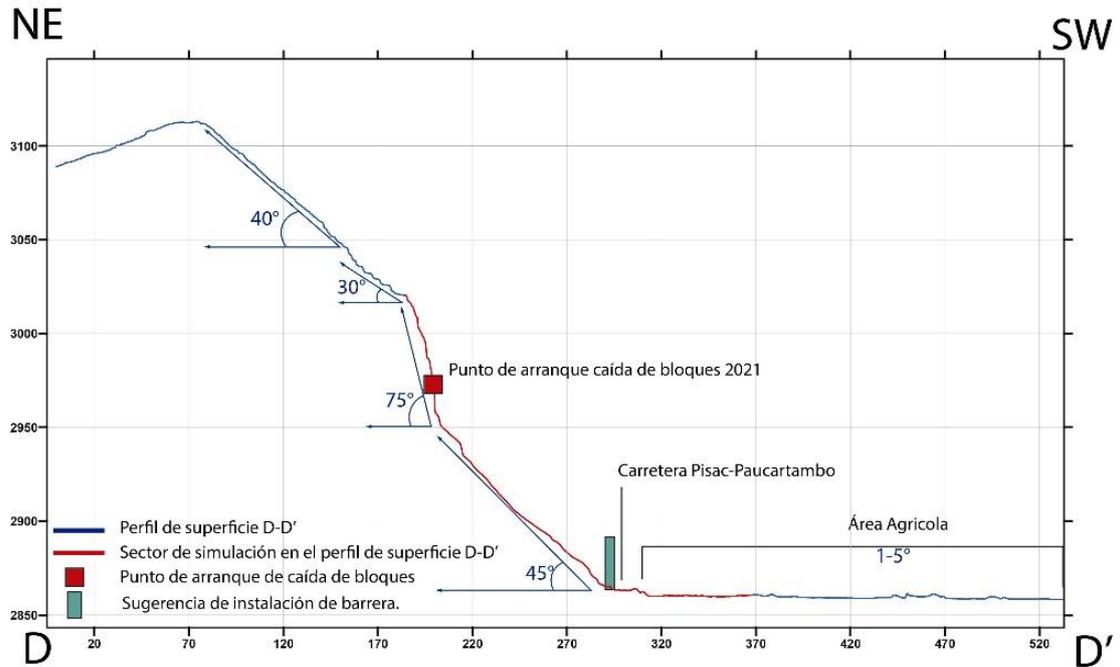
Instalación de barreras dinámicas al pie del talud (figura 28).



**Figura 28.** Ubicación de instalación de barreras según la simulación del Perfil C – C'

PERFIL D – D'

Instalación de barreras dinámicas al pie del talud (figura 29).



**Figura 29.** Ubicación de instalación de barreras según la simulación del Perfil D – D'

Teniendo en cuenta los resultados de simulación en los 4 perfiles (cuadro 4), las barreras dinámicas deberían superar mínimos de 2000 KJ (figura 30), para amortiguar los impactos de bloques de hasta 2 m<sup>3</sup> (fragmentado), en cambio para bloques de 8 m<sup>3</sup> (sin fragmentar), las barreras deberían superar los 7000 KJ, si consideramos las condiciones anisotrópicas de la ladera y las diferencias de densidad de rocas se debe tener en cuenta los peores escenarios (>volúmenes de roca, > densidades de roca) diseñando barreras o el conjunto de ellas.

**Cuadro 4.** Resumen de la simulación en dos escenarios de ocurrencia, en 4 perfiles

PERFIL	A-A' (2m <sup>3</sup> )	A-A' (8m <sup>3</sup> )	B-B' (2m <sup>3</sup> )	B-B' (8m <sup>3</sup> )	C-C' (2m <sup>3</sup> )	C-C' (8 m <sup>3</sup> )	D-D' (2m <sup>3</sup> )	D-D' (8m <sup>3</sup> )
Energía cinética máxima (KJ)	916 KJ	4000 KJ	1200 KJ	4500 KJ	1600 KJ	7200 KJ	2000 KJ	7000 KJ
Altura mínima de rebote del bloque	0.1 m	0.5	0.2 m	0.2 m	0.1 m	0.1	0.2	0.5
Altura máxima de rebote del bloque	1.2 m	4 m	4m	10 m	1.3 m	1.4 m	3.5	3.5
Altura máxima de caída libre	< 1 m	< 1 m	8 m	10 m	< 1 m	< 1 m	< 1 m	< 1 m
Máxima velocidad (m/s)	17	19	18	20	21	23	20	25



**Figura 30.** Vista de barreras al pie del talud de la ladera

## 5.6. Factores condicionantes y desencadenantes

### 5.6.1. FACTORES CONDICIONANTES

- **LITOLÓGICO:** Las unidades geológicas que conforman el área de estudio son rocas volcánico - sedimentarias del Grupo Mitu conformadas por lavas volcánicas (andesíticas) y lavas basálticas, muy fracturadas y ligera a moderadamente meteorizada. Además, de depósitos no consolidados de origen coluvial en la ladera del cerro Huanohuano T'uqu, generados por meteorización, gravedad, movimientos sísmicos, precipitaciones excepcionales y activación de movimientos en masa (derrumbes).
- **GEOMORFOLOGÍA:** Las unidades geomorfológicas que conforman las áreas de estudio son montañas volcánico - sedimentarias, quien a su vez da lugar a vertientes coluviales.
- **PENDIENTE:** Se muestra terrenos con pendientes fuertes a abrupta (25° a > 45°) en el cerro Huanohuano T'uqu.

### 5.6.2. FACTORES DESENCADENANTES

- **GELIFRACCIÓN DE BLOQUES:** En temporada de lluvias, la acumulación de granizo y lluvia entre las fracturas favoreció el congelamiento y posterior expansión de agua en época seca, provocando la gelifracción de bloques, dando lugar a la separación y caída de rocas.
- **SISMO:** A pesar de que el testimonio de pobladores indica que no sintieron ningún movimiento telúrico cuando desencadenó el evento, los sismos son uno de los factores que condicionan la ocurrencia de grandes movimientos en masa.

## 6. CONCLUSIONES

- a) En el cerro Huanohuano T'uqu afloran rocas volcánico - sedimentarios del Grupo Mitu como andesíticas y lavas basálticas, ligera a moderadamente meteorizados a muy fracturadas. Además, de depósitos no consolidadas como depósitos coluviales acumulados en laderas empinadas por acción de la gravedad, movimientos sísmicos, precipitaciones excepcionales y activación de movimientos en masa (caída de rocas).
- b) En el cerro Huanohuano T'uqu se tienen geoformas de carácter tectónico degradacional, como montañas en roca volcánico sedimentarias de pendientes abruptas ( $>45^\circ$ ); y geoformas de carácter depositacional como vertientes coluviales de pendientes fuertes y abruptas ( $25^\circ$  a  $> 45^\circ$ ).
- c) Las condiciones geológicas y geomorfológicas del cerro Huanohuano T'uqu dan lugar a peligros geológicos por movimientos en masa, de tipo caída de rocas, después de temporadas de lluvias prolongadas, heladas y actividad sísmica. Por lo tanto, el cerro Huanohuano T'uqu es una zona crítica con un nivel de **peligro alto**.
- d) El 01 de junio del 2021, un bloque de  $\sim 8\text{m}^3$  se desprendió del cerro Huanohuano T'uqu, 50 m pendiente abajo dicho bloque impactó en dos crestas rocosas de altura  $\sim 1.5$  m, ocasionando la fragmentación del mismo y separación lateral de rocas. El evento cobró 1 vida humana. Además, destruyó y/o afectó 50 m del canal de riego que abastece a 100 familias de la Pampa de Pisac, postes de alumbrado público al pie del talud, un tramo de la carretera departamental Pisac – Paucartambo en 125 m, terrenos de cultivos y el grifo del sector Hunuhuaco T'uqu. Adicionalmente a este evento, se han identificado caída de rocas activos en una extensión de 800 m del cerro Huanohuano T'uqu.
- e) Considerando que un bloque de  $8\text{m}^3$  se fragmenta en su  $\frac{1}{4}$  parte, se obtiene energías cinéticas máximas de 2000 KJ, con velocidades máximas de 21 m/s y alturas de rebote entre 1.2 m a 4 m. Datos que indican la afectación directa de infraestructura como el canal de riego, postes de electrificación, carretera departamental, grifo, viviendas y terrenos de cultivo del sector Huanohuano T'uqu (Pampa) en todos los perfiles simulados.
- f) El fracturamiento intenso de las rocas volcánicas indican que el bloque a desprenderse necesariamente se fragmentaría. Sin embargo, en un escenario de ocurrencia catastrófica, donde el bloque de  $8\text{m}^3$  no sufre fragmentación en su recorrido, se obtuvo energías cinéticas máximas de 7200 KJ, con velocidades máximas de 25 m/s y alturas de rebote entre 3.5 m a 10 m. Datos que indican la afectación directa de infraestructura ubicadas en el perfil A (grifo y viviendas) o D (carretera y terrenos de cultivos).
- g) Según las simulaciones, las barreras dinámicas a ser diseñadas para la retención de caída de rocas deberán soportar energías máximas de 2000 KJ para bloques de rocas con volúmenes de  $2\text{m}^3$  (escenario donde el bloque desprendido se fragmentaría) y 7000 KJ para volúmenes de roca de  $8\text{m}^3$  (bloque masivo sin fragmentación).

## 7. RECOMENDACIONES

- A) Se recomienda diseñar barreras dinámicas que soporten 7000 KJ para volúmenes de roca de 8 m<sup>3</sup>, con la finalidad de mitigar en riesgo de un evento excepcional. Además de realizar el mantenimiento y limpieza permanente, después de su implementación.
- B) Reemplazar el poste de electrificación dañado con la caída de rocas del pasado junio del 2020.
- C) Reforestar con arbustos o árboles nativos de raíces profundas en el talud.

Mientras no se coloque infraestructura de protección:

- D) Monitorear permanentemente los bloques suspendidos en el cerro Huanhuano T'uqu, y emitir una alerta de peligro si existe amenaza de caída de rocas, para evacuar a población ubicada en el área de influencia.



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



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

## 8. BIBLIOGRAFÍA

*Carlotto V., Rodriguez W., Cardenas R., & Chávez R. 1996. Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. Hojas: 27-r y 27-s. INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional; N° 65*

*Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2007. Plataforma Sistema de Información Geográfica para emprendedores (SIGE).*

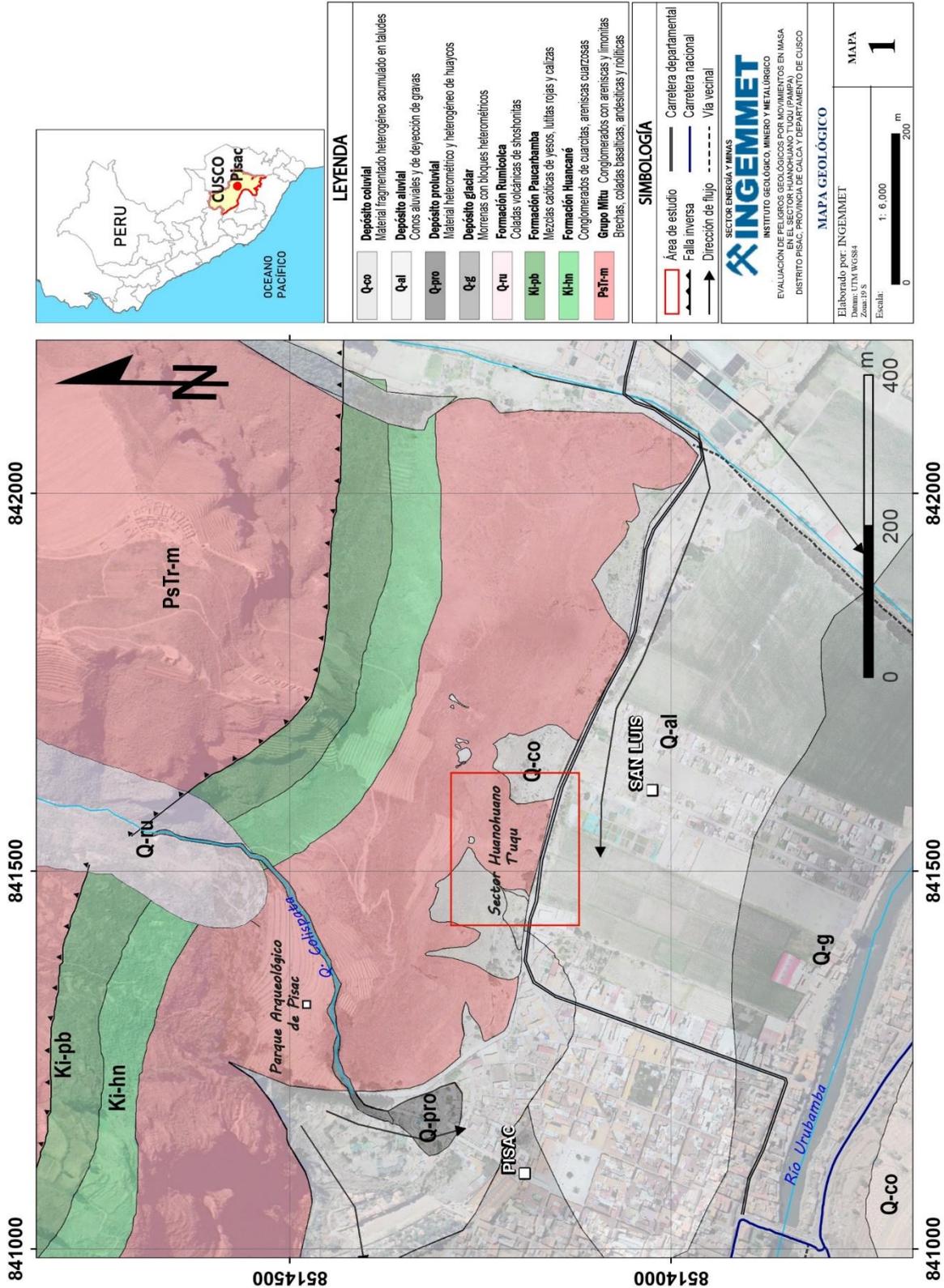
*Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas. Servicio Nacional De Geología Y Minería. Publicación Geológica Multinacional No. 4.*

*Quispe R. 2021. Gobierno regional del cusco. Oficina de gestión de riesgos y seguridad. Informe N° 051-2021-GR CUSCO/OGRS-RQE.*

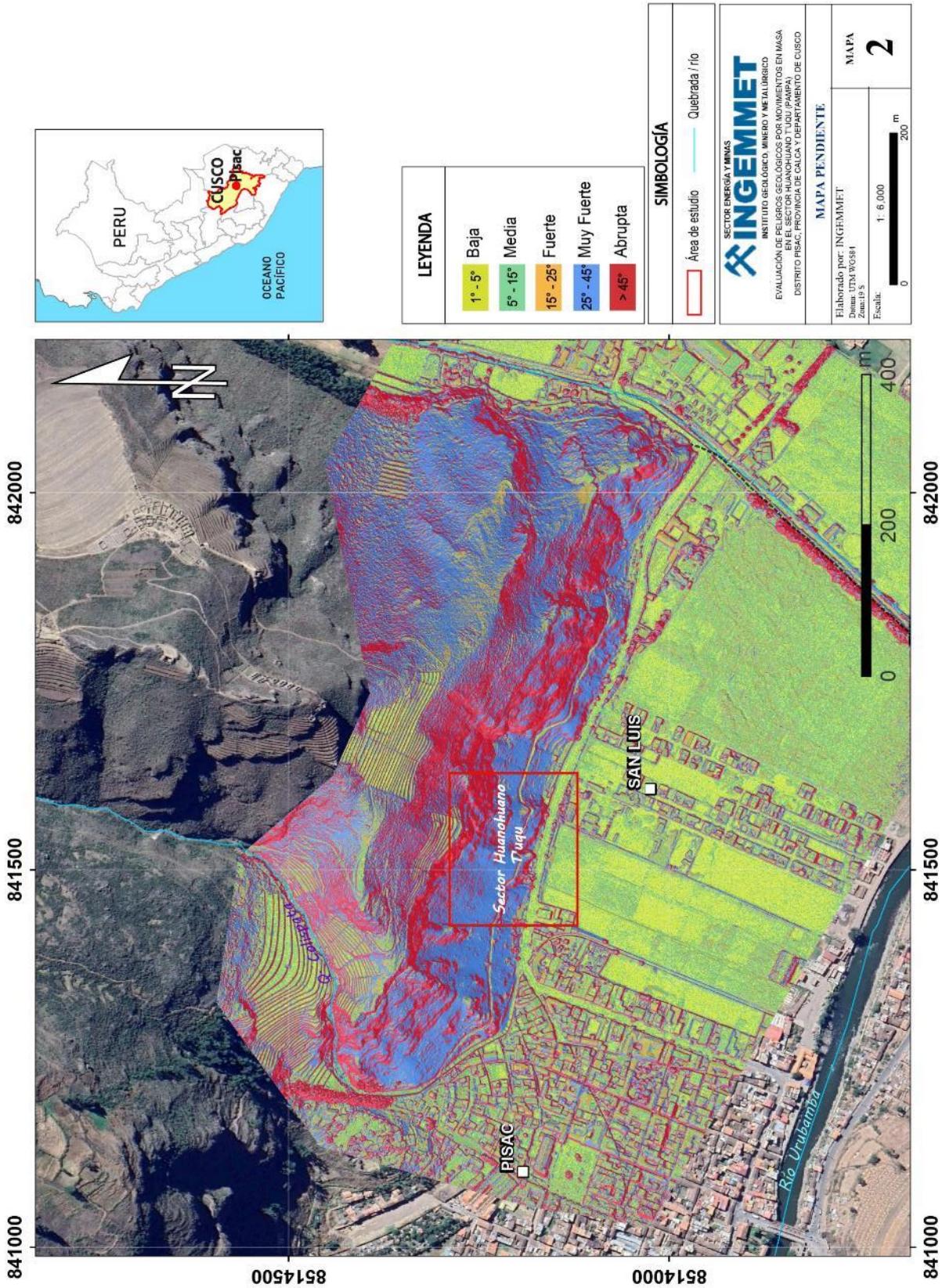
*Soberon D., Martínez J., Vega M. & Mariscal A. Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000). Geología del cuadrángulo de Calca (hojas 27-s1, 27-s2, 27-s4). 44p*

*Vilchez M., Sosa N.,Pari W., Peña F. (2020). Peligro Geológico en la región de Cusco. Boletín N° 74. Serie C. INGEMMET.*

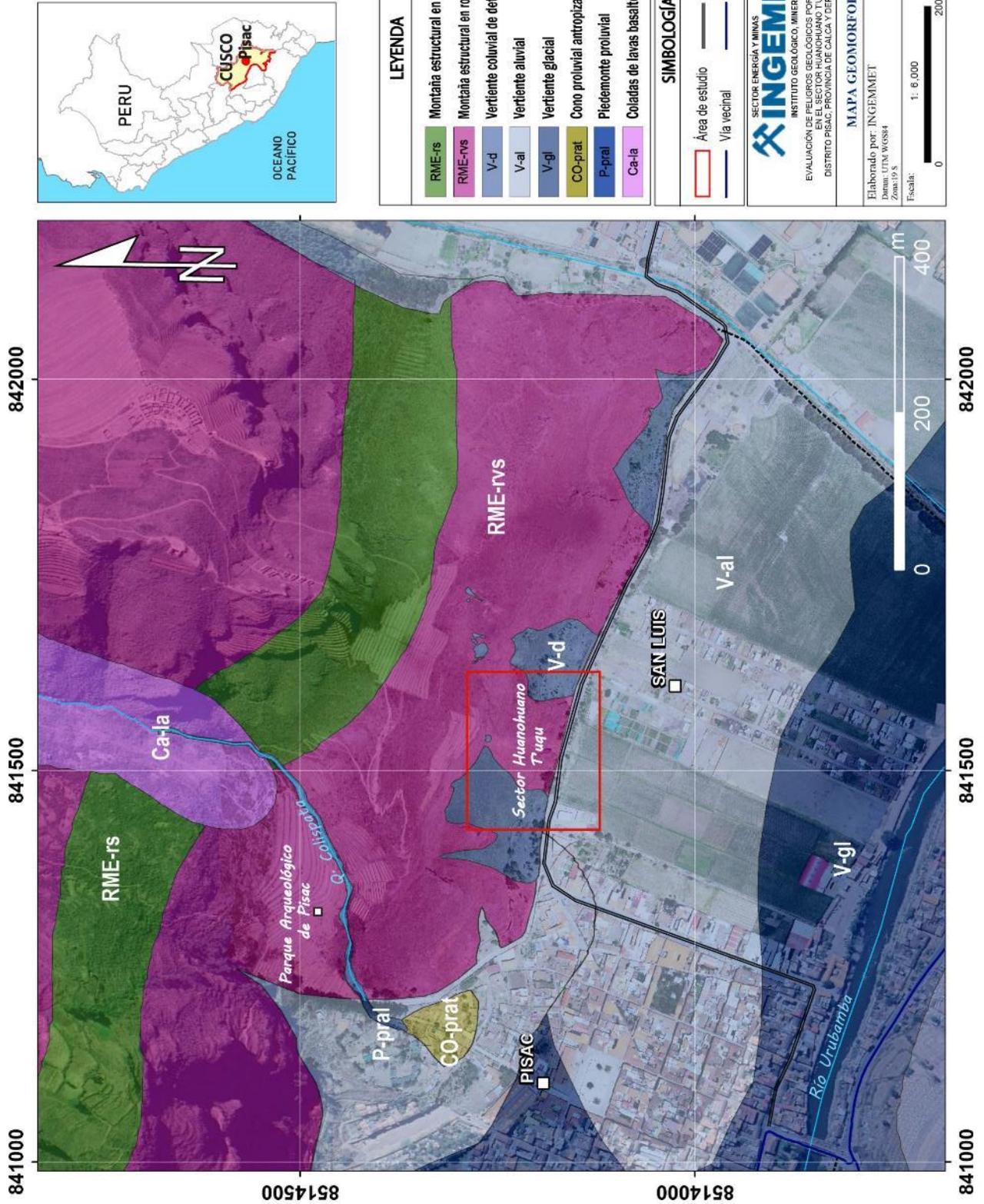
ANEXOS



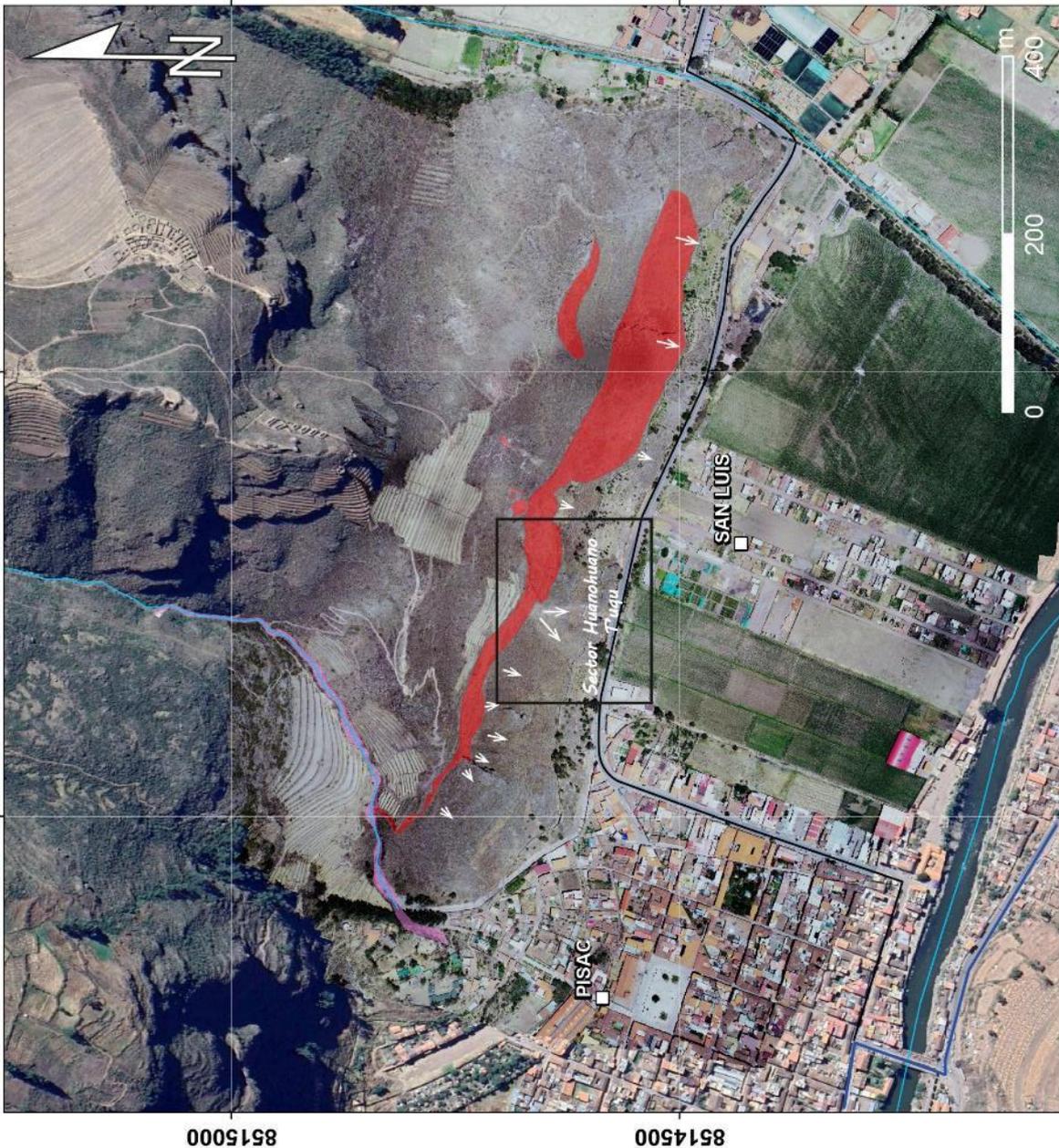
Mapa 1. Mapa geológico. Fuente: Carlotto V, et al. 2005 y Soberón D., et al. 2021.



Mapa 2. Mapa de pendientes. Base. Dron diciembre 2022



Mapa 3. Mapa geomorfológico en el área de estudio. Fuente: Modificado de Vilchez et al., 2020



<b>LEYENDA</b>	
	Caída de rocas
	Flujo de detrito
<b>SIMBOLOGÍA</b>	
	Área de estudio
	Carretera departamental
	Vía vecinal
	Carretera nacional
	Dirección de caída de rocas
<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS                  INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO                  EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA                  EN EL SECTOR HUANOHUANO T'UQU (PAMPA)                  DISTRITO PÍSCAC, PROVINCIA DE CALCA Y DEPARTAMENTO DE CUSCO</p>	
<b>PELIGROS GEOLÓGICOS</b>	
Elaborado por: INGENMET	MAPA <b>4</b>
Datado: UTM WGS84	
Zona 19 S	
Escala: 1: 6,000	

Mapa 4. Peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Huanahuano T'uqu