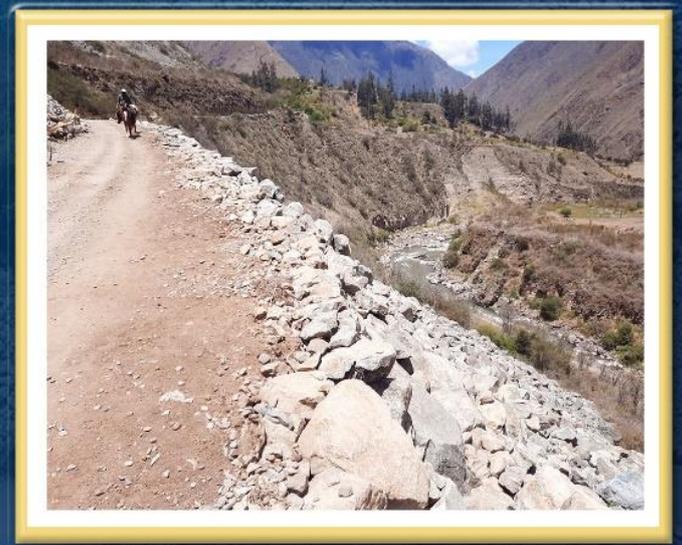


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7385

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL TRAMO CARPAMAYO - MESCAY (CERRO ÑAUPADERRUMBE)

Departamento Cusco
Provincia Urubamba
Distrito Ollantaytambo



MAYO
2023

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL TRAMO CARPAMAYO - MESCCAY (CERRO ÑAUPADERRUMBE)

Distrito Ollantaytambo, provincia Urubamba, departamento Cusco

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

Equipo de investigación:

*Gael Araujo Huamán
Gonzalo Luna Guillén*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el tramo Carpamayo - Mesccay (Cerro Ñaupaderrumbe). Distrito Ollantaytambo, provincia Urubamba, departamento Cusco*. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7385, 38 p.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Objetivos del estudio	6
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	6
1.2. Aspectos generales.....	6
1.2.1. UBICACIÓN	6
1.2.2. POBLACIÓN.....	8
1.2.3. ACCESIBILIDAD	8
1.2.4. CLIMA	8
1.2.5. USOS DE SUELO	8
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	11
2.1. Unidades litoestratigráficas	11
2.1.1. BATOLITO DE MACHUPICCHU	12
2.1.2. DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS	12
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	16
3.1. Pendientes del terreno.....	16
3.2. Unidades geomorfológicas.....	18
3.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEGRADACIONAL Y DENUDACIONAL	19
3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL.....	19
4. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA	22
4.1. Caracterización del Peligros por Movimientos en Masa.....	22
4.1.1. AÑO 2022: REACTIVACIÓN DEL EVENTO.....	24
4.1.2. PERFILES TRANSVERSALES (A-A') Y LONGITUDINALES (B-B') EN EL ÁREA DE ESTUDIO:28	
4.2. Factores condicionantes y desencadenantes.....	32
4.2.1. FACTORES CONDICIONANTES	32
4.2.2. FACTORES DESENCADENANTES	32
5. CONCLUSIONES.....	33
6. RECOMENDACIONES	34
7. BIBLIOGRAFÍA.....	35

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, en el tramo Carpamayo – Mesccay (cerro Ñaupaderrumbe), distrito Ollantaytambo, provincia Urubamba y departamento Cusco, situados geográficamente en el flanco izquierdo del río Urubamba.

Con este trabajo el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), realiza la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (Actividad 11)”. Con ello cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

En el área de estudio afloran rocas intrusivas de tipo granito, cuyos afloramientos están ligeramente meteorizados y fracturados que condicionan el desprendimiento de bloques de roca de hasta 5 m de diámetro (Batolito de Machupicchu). Además, depósitos no consolidados de origen coluvial y coluvio deluvial constituidos por fragmentos pizarrosos con material fino de areno-limosa y/o limo-arcillosa; así como depósitos aluviales y fluviales ubicados al pie de taludes, márgenes y lechos de río.

Las unidades geomorfológicas están conformadas por montañas de rocas intrusivas, con vertientes coluviales y coluvio deluviales, modeladas sobre pendientes muy fuertes a abruptas (25° a $>45^\circ$); de igual forma se han identificado geoformas fluviales (terrazza alta aluvial y cauce del río), sobre pendientes medias a fuertes (5° a 25°). Los principales agentes formadores de estos depósitos son: meteorización, gravedad, movimientos sísmicos y movimientos en masa como avalanchas y caídas (derrumbes y caída de rocas).

Los peligros geológicos reconocidos, en la ladera del cerro Ñaupaderrumbe y en la vía Carpamayo – Mesccay, comprenden movimientos en masa de tipo derrumbes y flujos (avalancha de rocas y flujos de detritos). Los flujos de detritos se activaron en febrero y 11 de julio del 2022 respectivamente, cubriendo tramos (15 m y 45 m) del camino Inka Piscacucho a Machupicchu. Por el cual transitan a diario más de 500 turistas y es la única vía de conexión para los pobladores de al menos siete comunidades aledañas. . El área de estudio se considera en **peligro Alto** a la ocurrencia de movimientos en masa.

El presente informe se pone a disposición de las autoridades, para que sus conclusiones y recomendaciones, sean usadas en los planes de gestión de riesgos de desastres.

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 Ollantaytambo, según oficio N°644-2022-A -MDO, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos, tipo flujos (avalancha de rocas y flujo de detritos), suscitados entre febrero y julio de 2022. Según el testimonio de la autoridad de Mescsay, el evento bloqueó un tramo de la trocha Carpamayo a Mescsay por espacio de un mes imposibilitando el transporte y abastecimiento de alimentos a los centros poblados de Yahuarhuaca, Carpamayo, Mescsay, Jaccas, Quishuarpata, Chaquimayo Tunas Mocco, Cusichaca y Chacama, teniendo que realizar la apertura a pala por aproximadamente un mes y medio.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los ingenieros Gael Araujo y Gonzalo Luna, realizar una evaluación técnica de peligros geológicos en la ruta Carpamayo a Mescsay, llevándose a cabo el 03 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, etapas de campo a través de la observación, toma de datos de campo (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada, y la etapa final de gabinete a través del procesamiento de información terrestre y aérea, fotointerpretación de imágenes satelitales, elaboración de mapas/figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de Ollantaytambo 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 ocurridos entre los sectores Carпамayo y Mescay (cerro Ñaupaderrumbe).
- b) Emitir conclusiones y recomendaciones que contribuyan a la formulación de planes de prevención y/o mitigación del riesgo de desastre por movimientos en masa.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

- A) En el boletín N°74, serie C: Peligros Geológicos en la región Cusco (Vílchez et al., 2020), presenta un mapa de susceptibilidad regional a escala 1:250 000, en la cual se muestra la descripción de los niveles de susceptibilidad y pendientes de los peligros geológicos frente a movimientos en masa en el Cusco. Teniendo, en el distrito de Ollantaytambo, departamento Cusco, niveles de susceptibilidad alta a muy alta a la ocurrencia de movimientos en masa.
- B) El boletín N° 65, de la Carta Geológica Nacional. Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. Hojas 27-r y 27-s (Carlotto et al., 1996) y el boletín N°74, serie C: Peligros Geológicos en la Región Cusco describen las unidades geológicas presentes en la zona evaluada.

1.2. Aspectos generales

1.2.1. UBICACIÓN

El área de estudio del tramo Carпамayo - Mescay (conocido también como camino Inka Piscacucho a Machupicchu), se ubica en el bajo talud del cerro Ñaupaderrumbe flanco derecho del río Urubamba.

Políticamente, se encuentra circunscrito en el distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba y región del Cusco (figura 1), con las coordenadas UTM WGS84 y geográficas mostradas en el tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	780785	8535789	-13.231°	-72.409°
2	780575	8535685	-13.232°	-72.411°
3	780641	8535331	-13.235°	-72.410°
4	780845	8535339	-13.235°	-72.408°
COORDENADA REPRESENTATIVA				
C	780716	8535669	-13.232°	-72.409°

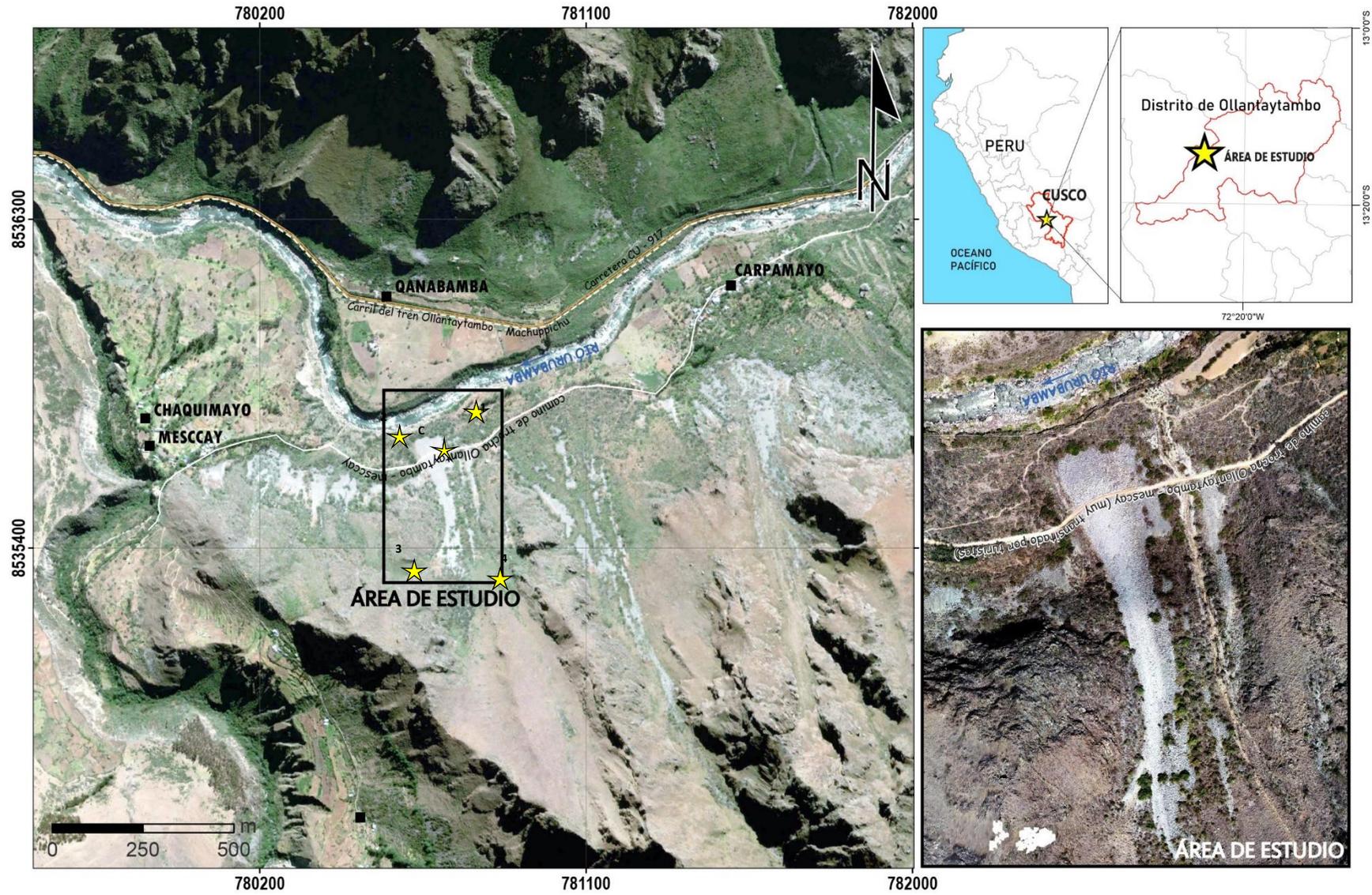


Figura 1. Ubicación del sector evaluado.

1.2.2. POBLACIÓN

Según las cifras oficiales del XII Censo Nacional de Población y Vivienda (INEI 2017), 240 pobladores conformaban los centros poblados de Yahuarhuaca, Carpamayo, Mescsay, Jaccas, Quishuarpata, Chaquimayo Tunas Mocco, Cusichaca y Chacama; sin embargo, el testimonio de la población indica que los centros poblados mencionados a la fecha ascienden en aproximadamente 500 habitantes, los mismos que fueron afectados por la interrupción de la trocha Piscacucho a Machupicchu en el 2022.

1.2.3. ACCESIBILIDAD

Teniendo como base la provincia del Cusco, el área de estudio es accesible por la ruta Cusco – Ollantaytambo – Chillca (km 82), a través de las carreteras ‘3S, CU-110 y 28S’ (ruta Huarcocondo – Pachar - Ollantaytambo) y se continua por la carretera CU-917 hasta llegar al KM 82 de Chillca, A partir de este sector se realiza una caminata de 3.5 km en dirección al mirador astronómico Salapunku, por el camino Inka Piscacucho a Machupicchu hasta llegar al área de estudio (Cuadro 1).

Cuadro 1. Rutas y accesos a las zonas evaluadas

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Cusco – Ollantaytambo – Km 82 (Chillca)	1) Carretera nacional 3S y CU-110 y 28B	106	2h 43min
Km82 de la CU-917 (Chillca) – Carpamayo – Área de estudio	caminata	3.5	44 min

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

1.2.4. CLIMA

- Temperaturas y precipitaciones

Según el Mapa climático Nacional del SENAMHI (2020), el área de estudio está representado por un clima tipo lluvioso, templado y con invierno seco. Alcanza temperaturas máximas promedio de 17°C a 23°C, y temperaturas mínimas promedio entre 7°C a 11°C. Asimismo, las precipitaciones anuales acumuladas varían de 1200 mm y 1800 mm.

1.2.5. USOS DE SUELO

Los pobladores del centro poblado de Mescsay, Carpamayo, Yahuarhuaca y alrededores usan sus terrenos para la siembra y cosecha de frutales, maíz, zapallo, palta trigo y choclo.

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. El lugar donde vives puede estar expuesto a estos procesos geológicos; si no conocemos los peligros, no estaremos preparados para afrontarlos. Para que los peligros no causen daños y muertes debemos conocerlos, estar alertas y preparados. En este sentido el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, INGEMMET, cuenta con equipos de trabajos multidisciplinarios, compuestos por geólogos, geodestas, geofísicos y geoquímicos, especializados en la identificación, evaluación y análisis de los peligros geológicos del territorio nacional.

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. Todas estas denominaciones tienen como base el libro: “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

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.
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.

DERRUMBE: Un tipo de caída, 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).

AVALANCHA DE ROCAS: Flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundos, muy rápidos a extremadamente rápidos. Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que al desplazarse sufre una considerable distorsión interna y toma la condición de flujo (Hungry *et al.*, 2001).

FLUJO DE DETRITOS: Flujo con predominancia mayor de 50% de material grueso (bloques, gravas), sobre los finos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.

ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO EN MASA

REACTIVADO: Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable o sin movimiento por algún periodo de tiempo

ACTIVO: Movimiento en Masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD

Este mapa muestra las áreas propensas a movimientos en masa (deslizamientos, huaicos, caída de rocas, etc.) en el territorio nacional. A menor escala junto con el mapa de peligros determinan las zonas críticas ante peligros geológicos. Se cuenta también con mapas regionales y por cuencas.

SISMOS

Los sismos son movimientos que se producen al interior de la tierra y liberan energía de manera violenta, se originan por: i) el contacto de placas tectónicas, por ejemplo, de las Placas de Nazca y Sudamericana; y ii) la deformación de la corteza en el interior del continente que da origen a las fallas activas.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El mapa y la descripción geológica regional a escala 1: 1000, se adaptó y complementó a lo desarrollado en el boletín 65 'cuadrángulo de Urubamba (hoja 27r)' elaborado por Carlotto, et al. 1996 y boletín Peligros Geológicos en la Región Cusco, elaborado por Vilchez et al. 2018.

2.1. Unidades litoestratigráficas

El área de estudio está conformada por rocas intrusivas del Batolito Machupicchu (PET-mach-gr), además de depósitos cuaternarios coluvio deluviales (Q-cd), coluviales (Q-co), aluviales (Q-al) y fluviales (Q-fl) (figura 2).

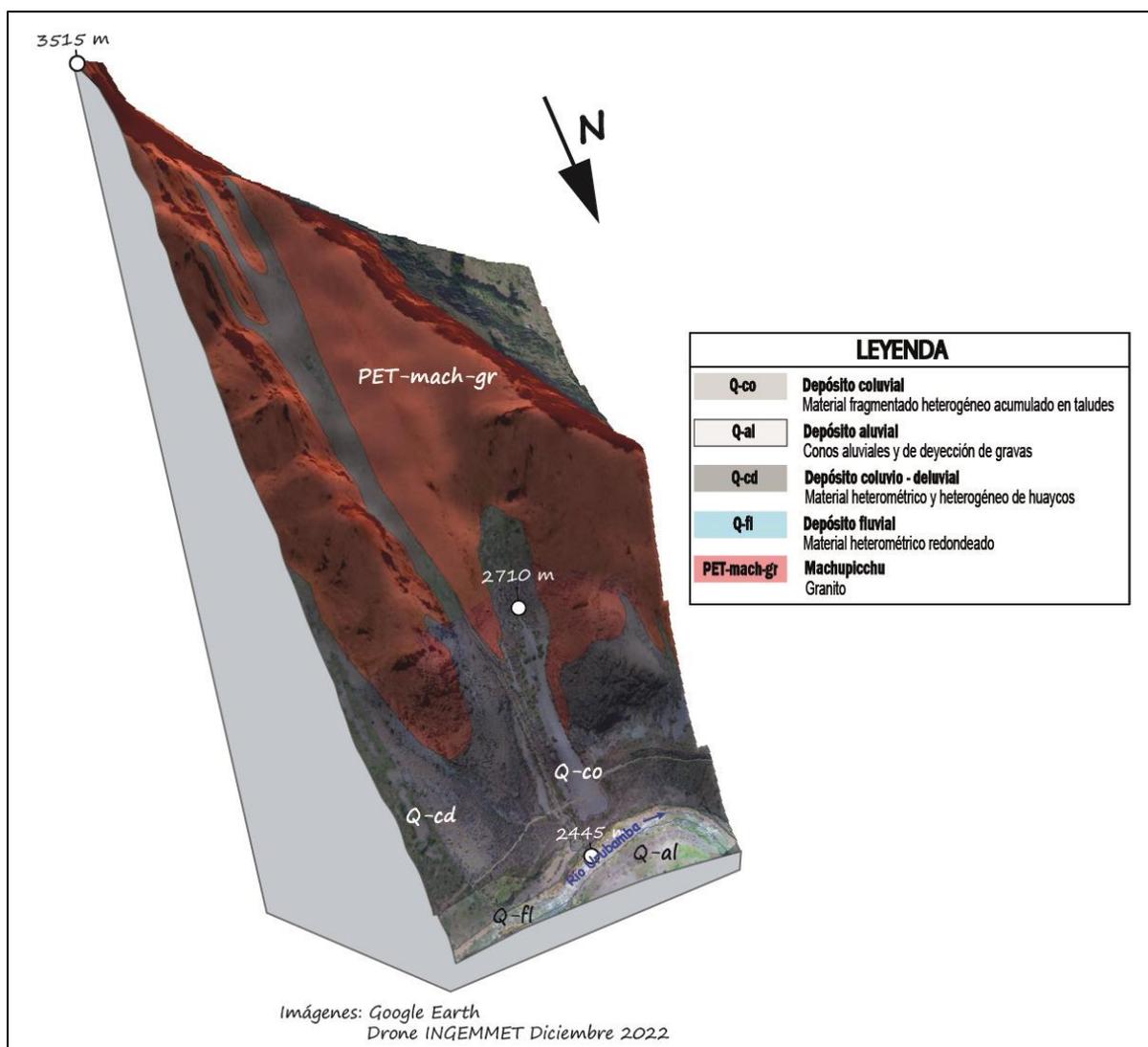


Figura 2. Geología del área de estudio

A continuación, se realiza una descripción detallada de la geología del área de estudio:

2.1.1. BATOLITO DE MACHUPICCHU

El batolito de Machupicchu aflora ampliamente en el área de estudio, es un enorme cuerpo intrusivo que representa el cerro Ñaupaderrumbe. Litológicamente está constituido por granitos (fotografía 1), el macizo muestra fracturamiento amplio que condiciona el desprendimiento de bloques de rocas con diámetros de 0.2 m a 4.5 m, sobre una pendiente abrupta (fotografía 2). Además, se encuentra ligeramente meteorizada, sobre todo entre las discontinuidades y/o fracturas.



Fotografía 1. Bloque de granito al pie del cerro Ñaupaderrumbe

2.1.2. DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

- DEPÓSITOS COLUVIALES (Q-co)

Se encuentran conformados por bloques rocosos heterométricos de granito, acumulados al pie de taludes escarpados, en forma de conos cuando es un solo depósito distribuidos a lo largo de una pendiente muy empinada a abrupta.

Forman piedemontes cuando hay varios depósitos ubicados consecutivamente. Los bloques angulosos más gruesos de hasta 4.5 m generalmente se depositan en la base y los bloques menores disminuyen gradualmente hacia el ápice con diámetros de 0.5 m en promedio. Carecen de relleno. Son sueltos, sin cohesión y conforman taludes de reposo poco estables (Vilchez M. et al. 2020). En la zona de estudio estos depósitos se originaron por eventos de avalancha de rocas los cuales están conformados por fragmentos de tamaños heterométricos, mezclados de forma caótica y sin cohesión.

En la zona de estudio los principales agentes formadores de estos depósitos coluviales son: meteorización, la gravedad, movimientos sísmicos, movimientos en masa (caída de rocas y avalanchas) (fotografía 2)



Fotografía 2. Vista de depósitos coluviales generados por avalancha de rocas sobre una pendiente abrupta, en el flanco izquierdo del río Urubamba.

- DEPÓSITOS COLUVIO DELUVIALES (Q-cd)

Formados por bloques rocosos heterométricos pequeños a medianos de 0.2 a 0.5 m (80%) envueltos en capas de suelo fino y/o arcillas arenosas (20%). Se deposita y cubre algunos sectores de las laderas de cerro Ñaupaderrumbe (fotografía 3). Estos depósitos han sido removidos por la escorrentía formada por precipitaciones pluviales (lluvia y granizo), la cual no se encuentra encauzada o ha sido transportada por torrentes de corto recorrido (Vilchez M. et al. 2020).



Fotografía 3. Vista de depósitos coluvio deluviales en el cerro Ñaupaderrumbe

- DEPOSITOS ALUVIALES (Q-al)

Está conformado por niveles de terrazas altas adyacentes al valle principal del río Urubamba (Fotografía 4).

Está compuesto por una mezcla de fragmentos heterométricos y heterogéneos (bolones, cantos, gravas, arenas, etc.), redondeados a subredondeados, transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias. Además, conforman terrazas y abanicos aluviales extensos. Tienen regular a buena selección y se presentan estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial (Vilchez M. et al. 2020).



Fotografía 4. Terrazas altas a ambos flancos del río Urubamba

- DEPÓSITOS FLUVIALES (Q-fl)

Constituyen los materiales del lecho de ríos o quebradas y terrazas bajas del río Urubamba. Son depósitos heterométricos constituidos por bolones, cantos y gravas subredondeadas en matriz arenosa o limosa, mezcla de lentes arenosos y areno-limosos. Son transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias.

Son depósitos inconsolidados a poco consolidado removibles por el curso actual del río y ubicados en su llanura de inundación, fácilmente removibles, cuya permeabilidad es alta (Fotografía 5).



Fotografía 5. Depósitos fluviales en las márgenes y curso del río Urubamba

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

Las pendientes en el área de estudio varían entre muy fuerte a abrupta (25° a >45°). Además, las terrazas altas y cauce del río Urubamba al pie del cerro Ñaupaderrumbe tienen pendientes que varían entre medias y fuertes (5° a 25°) (Figura 3).

El rango de pendientes del área de estudio y sus sectores aledaños se explica en el cuadro 2:

Cuadro 2. Descripción de pendientes mostradas en la figura 4. Fuente: Vílchez et al., 2020

PENDIENTES	DESCRIPCIÓN
<p>Media 5° a 15°</p>	<p>Conforman relieves inclinados, sus laderas presentan una susceptibilidad media a la ocurrencia de movimientos en masa. El lecho del río Urubamba presenta también una pendiente media en el rango de (5° a 7°). Mientras que la superficie de algunas terrazas altas a ambos flancos del río Urubamba presentan pendientes entre (5° a 15°) (figura 3).</p>
<p>Fuerte 15° a 25°</p>	<p>Conforman relieves inclinados, se les considera altamente susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa. La superficie de otras terrazas altas a ambos flancos del río Urubamba presentan pendientes fuertes (figura 3A).</p>
<p>Muy fuerte 25° a 45°</p>	<p>Caracterizado por presentar muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa. Está representado por la ladera del cerro Ñaupaderrumbe, la misma que muestra rellenos de depósitos cuaternarios en la intersección de ambas cumbres montañosas (figura 3).</p>
<p>Abrupto/ Muy Escarpado >45°</p>	<p>Son zonas abruptas. La ocurrencia de peligros dependerá de las condiciones de la presencia de suelo y de las condiciones físicas del afloramiento de granito del Batolito de Machupicchu. Además de detonantes como lluvia, granizo, sismos, ruido. Se les ha considerado con alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa. Está representado por las montañas del cerro Ñaupaderrumbe, y algunos sectores de su ladera (figura 3).</p>

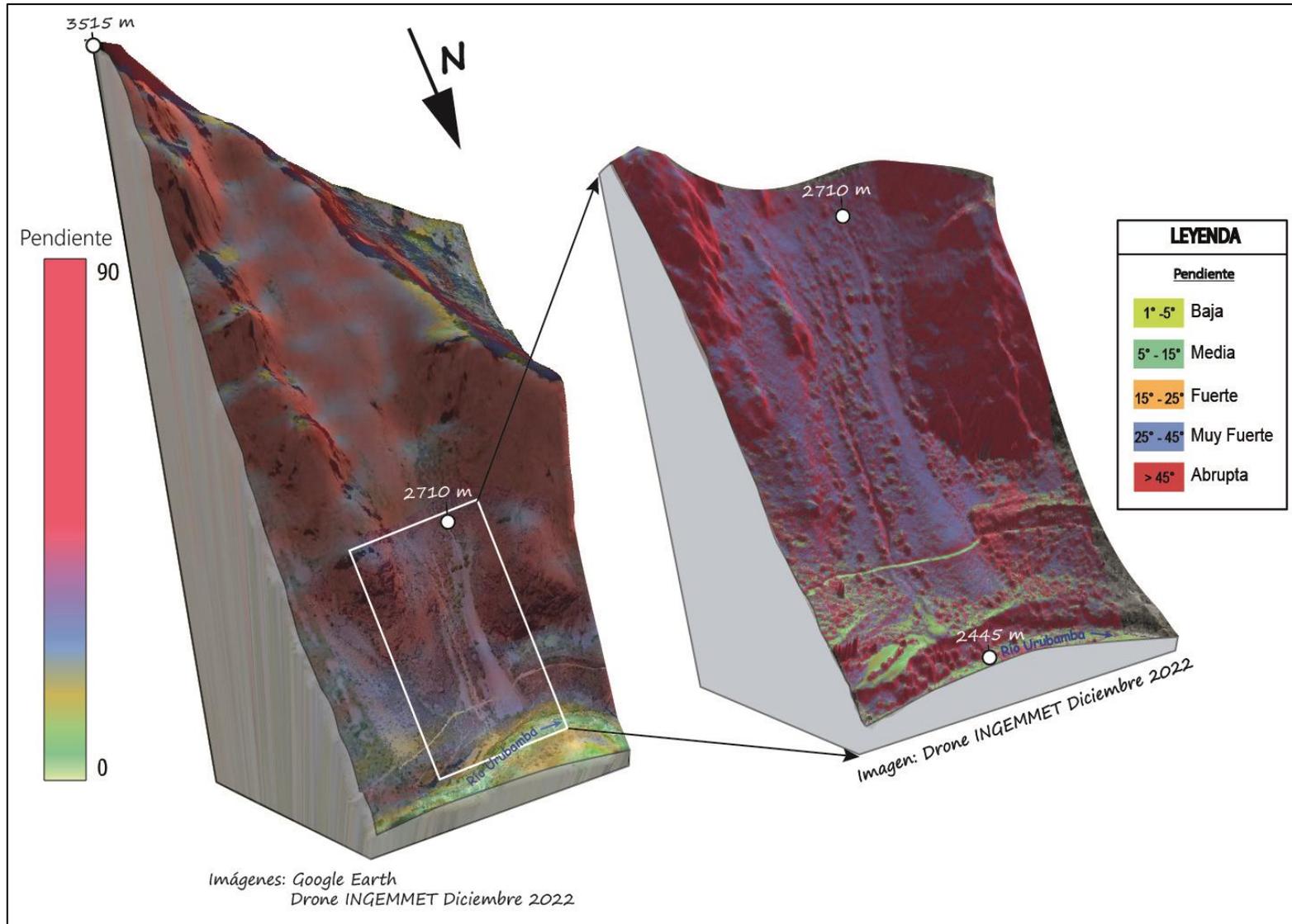


Figura 3. Vista 3D de la distribución de pendientes en el área de estudio

3.2. Unidades geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas cartografiadas en el área de estudio y alrededores está basado en la fotointerpretación de imágenes satelitales, trabajo de campo y la base de datos del mapa geomorfológico a escala 1:500 000 del boletín N° 74: Peligros Geológicos en la región Cusco.

El área de estudio, está representado por geformas de carácter degradacional o denudacional (montañas en roca intrusiva que sobrepasan los 3515 m s.n.m.); geformas de carácter deposicional o agradacional (vertiente coluvial de detritos, vertiente coluvio deluvial, vertiente con depósito de deslizamiento); y geforma fuvial (terrazza alta aluvial y cauce del río) (Figura 4 y anexo – figura 15).

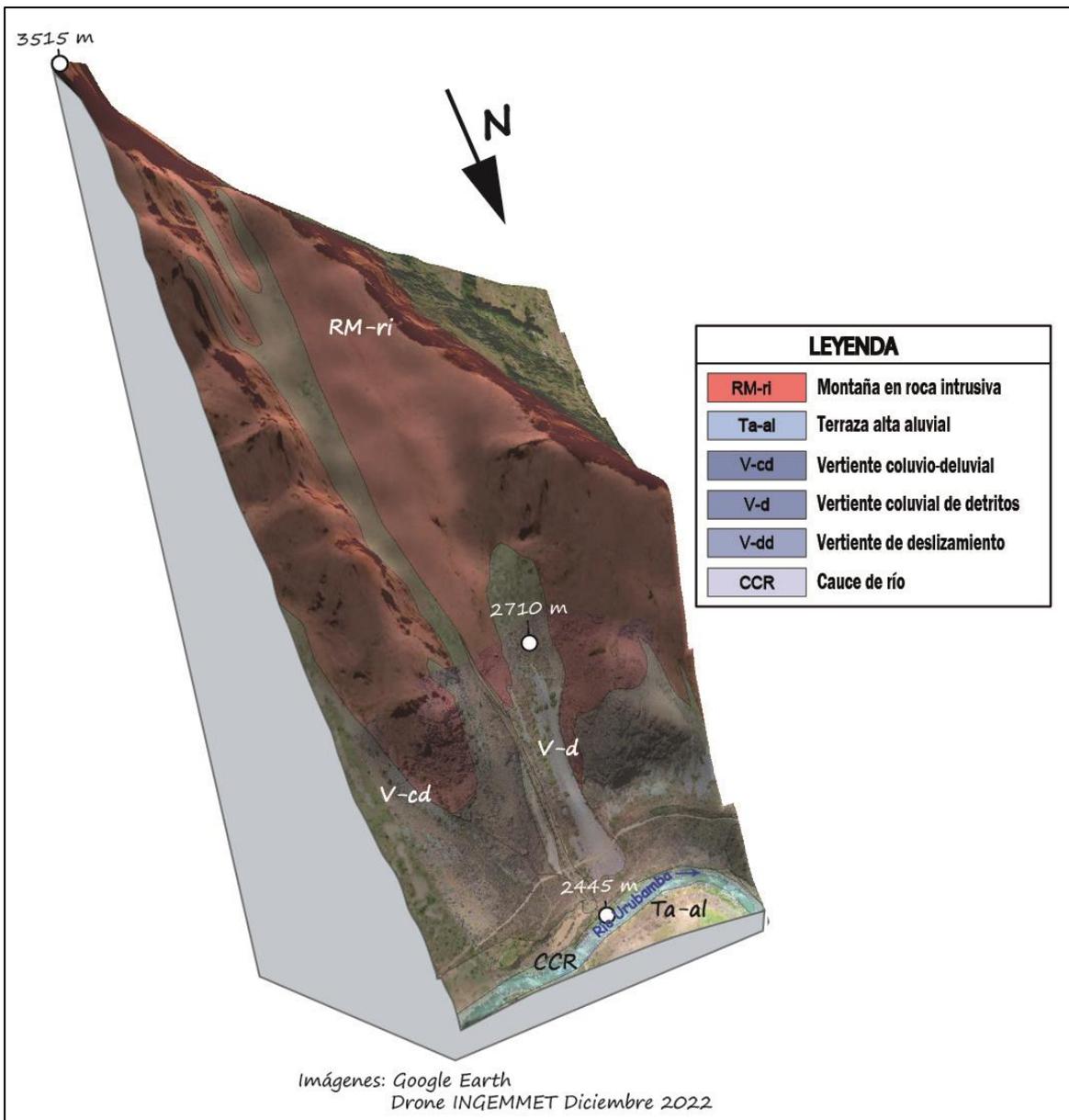


Figura 4. Vista 3D de la distribución de unidades geomorfológicas en el área de estudio

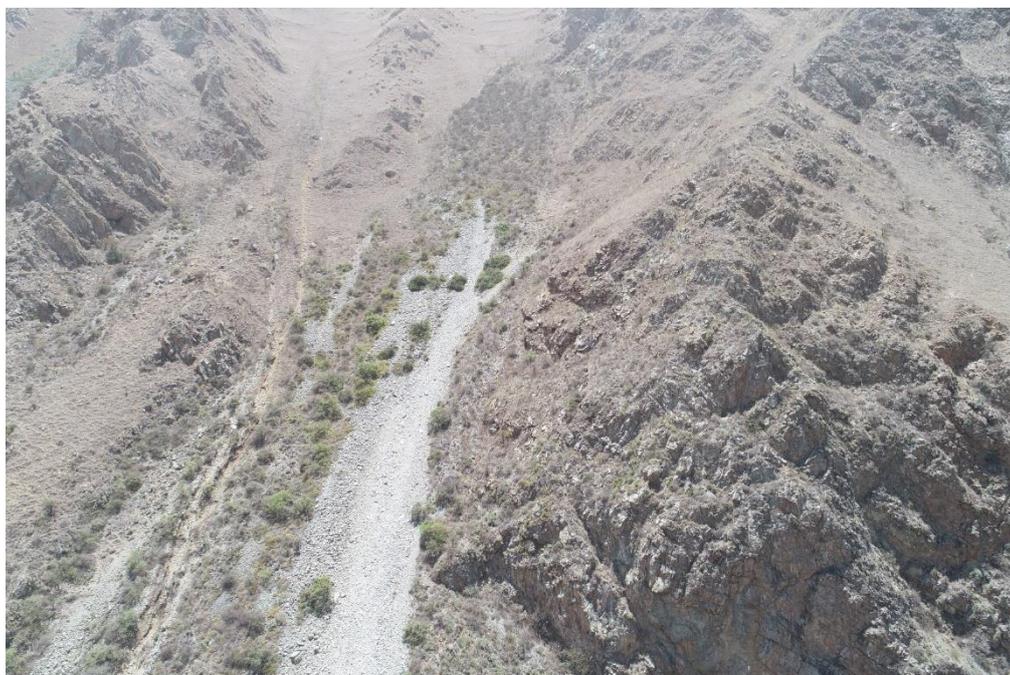
3.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEGRADACIONAL Y DENUDACIONAL

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

3.2.1.1. Montañas en roca intrusiva (RM-i)

Esta subunidad geomorfológica corresponde a cadenas montañosas afectadas por procesos denudativos que dan origen a geoformas de vertientes coluviales de detritos y coluvio deluviales (ver figura 4). Litológicamente corresponden a rocas intrusivo del batolito Machupicchu (ver figura 2).

Las montañas en roca intrusiva tienen laderas con pendientes abruptas ($> 45^\circ$) (fotografía 6). Los procesos erosivos de estas geoformas han generado flujo de detritos, avalanchas y caída de rocas en lo largo de la ladera del cerro Ñaupaderrumbe.



Fotografía 6. Vista de montañas en roca intrusiva

3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL

Están representadas por relieves formados por depósito o acumulación de sedimentos en piedemontes o vertientes.

3.2.2.1. Vertiente coluvial de detritos

En el cerro Ñaupaderrumbe la ladera es abrupta. Por la acumulación de fragmentos de roca (entre 50 y 80%) se tiene escasa vegetación.

Los fragmentos de roca son resultantes de la meteorización física por gelifracción o termofracción de los materiales que los constituyen. Estos fragmentos,

deprendidos de los escarpes, se desplazan en caída libre o rodando cuesta abajo. Van formando aglomeraciones de bloques sueltos que adoptan una forma semicónica. Así, pues, se les denomina conos cuando se presentan como un depósito único, y talud de detritos cuando se presentan como varios conos acomodados de forma sucesiva (Vilchez, et al. 2020).

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 deslizamiento 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).

Esta subunidad está representada derrumbes antiguos sobre los cuales se ascientan flujos de detritos y avalanchas de rocas, distribuidas sobre una pendiente abrupta, con bloques sin cohesión (Fotografía 7).



Fotografía 7. Vista de vertiente coluvial de detritos, representada por una avalancha de rocas

3.2.2.2. Vertiente coluvio – deluvial

Unidad formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial. Se encuentran interestratificados y no es posible separarlos como unidades individuales. En el área de estudio al igual que la vertiente coluvial, cubre la ladera del cerro Ñaupaderrumbe.

Los depósitos coluvio deluviales se conforman por bloques rocosos heterométricos pequeños a medianos, de naturaleza litológica homogénea, envueltos en capas de suelo fino y arcillas arenosas con inclusiones. No presenta un cauce inicial claro, sin embargo, su flujo dibuja un recorrido a favor de la pendiente del cerro Ñaupaderrumbe.

Esta subunidad está representada por flujos de detritos y avalanchas antiguas y recientes (fotografía 8), distribuidas sobre una geoforma de quebrada antigua. Los principales agentes formadores son los procesos de erosión de suelos: la gravedad, precipitaciones normales y/o excepcionales y el viento.



Fotografía 8. Vista de vertiente coluvio deluvial, se observa flujo de detritos

3.2.2.3. Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

Esta unidad corresponde a acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa antiguos en el lado izquierdo fuera del área de estudio (Mapa 2, anexo).

Son considerados como depósitos coluvio deluviales (Mapa 1, anexo). Actualmente está disectado por un río principal que desemboca en el río Urubamba (Mapa 2, anexo).

4. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

4.1. Caracterización del Peligros por Movimientos en Masa

En el área de estudio se han identificado y cartografiado movimientos en masa tipo derrumbes y flujos (avalancha de rocas y flujo de detritos) (Figura 5 y 6); presentadas en las laderas del cerro Ñaupaderrumbe y al pie del mismo (Figura 5 y Mapa 3, anexo)

Los movimientos en masa tipo flujos cubren derrumbes antiguos a lo largo de laderas del cerro Ñaupaderrumbe (Figura 6), cuyas pendientes varían de muy fuertes a abruptas (25° a $> 45^\circ$) (Figura 3 y 4). Además se identificaron derrumbes en el flanco izquierdo del río Urubamba (Figura 6).

La avalancha de rocas, presenta una longitud de 370 m y ancho promedio de 54 m, que se extiende desde los afloramientos rocosos del cerro Ñaupaderrumbe hasta la terraza alta aluvial en el flanco izquierdo del río Urubamba; además se han identificado avalanchas de rocas de menores dimensiones.

A solo 40 m del flanco derecho de la avalancha de rocas se observa un flujo de detritos de longitud 610 m y ancho promedio de 9 m (Figura 5C).

Según imágenes y registros antecedentes, la avalancha de rocas ya existía antes de julio de 2005 y el flujo de detritos fue detonado entre el 25 y 28 de noviembre de 2020, observándose también evidencias de canales delgados (Figura 5A y 5B). Estos últimos, afectaron el camino Inka Piscacucho a Machupicchu.



Figura 5. Vista multitemporal de la zona de estudio entre julio 2019 y noviembre 2020.

Con el paso del tiempo, la parte alta del flujo de detritos, es cubierta por escasa vegetación dando la apariencia de un evento estabilizado ; sin embargo, la reactivación de nuevos movimientos en masa a lo largo del trayecto es altamente probable.

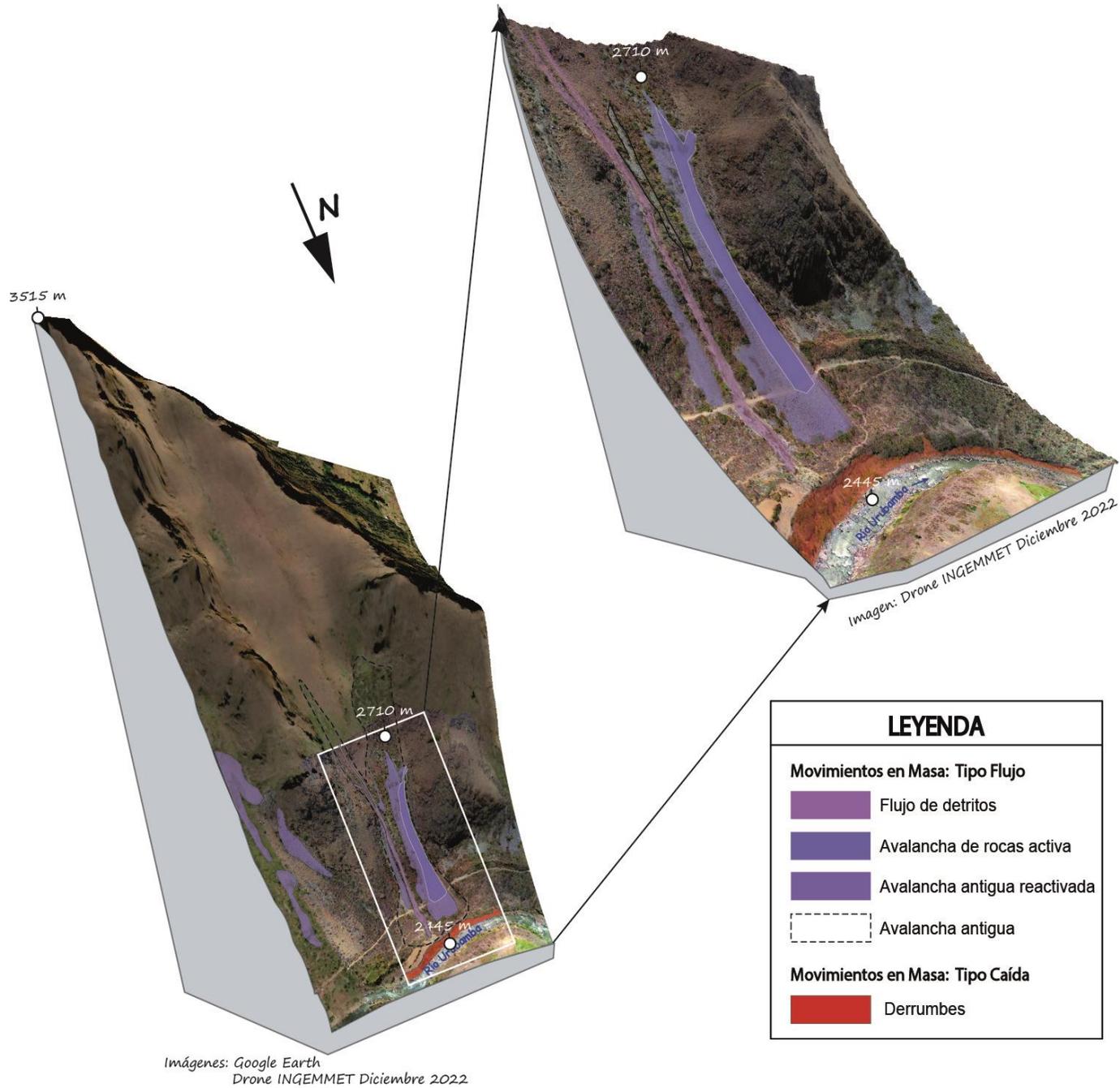


Figura 6. Vista 3D del área de estudio. Cartografiado de movimientos en masa

4.1.1. AÑO 2022: REACTIVACIÓN DEL EVENTO

- En febrero de 2022, las precipitaciones excepcionales sólidas de granizos, reactivaron el flujo de detritos del 2020. Este evento cubrió 15 m del camino Inka Piscacucho a Machupicchu imposibilitando el acceso para más de 500 turistas y más de 200 pobladores a diario (Figura 7). Posteriormente, el 11 de julio de 2022 a las 3:00 pm, se reactivó la avalancha de rocas (figura 7C) desde los afloramientos de roca intrusiva en el cerro Ñaupaderrumbe hasta cubrir 45 m del camino Inka Piscacucho a Machupicchu. El evento no causó pérdidas de vidas humanas, debido a que grupos de turistas accedieron a la ruta hasta las 2:00 pm (una hora antes de la ocurrencia del evento). Sin embargo, de desencadenar nuevamente eventos similares, estos amenazan con cobrar vidas humanas.
- Flujo de detritos: El flujo se reactivó y se extendió una longitud de 500 m (Figura 8A y 8B). En la traza que dejó el flujo se observan bloques medianos a pequeños de 5 cm a 30 cm en un 80% de concentración, respecto a la matriz limosa que lo envuelve en un 20% (Figura 8C). Profundizó 1 m a lo largo de su recorrido, daño la apariencia de la formación de una pseudo-quebrada. En el flanco izquierdo del flujo se observan bloques de granito subangulares de 1.5 m producto de avalanchas en el área de estudio (Figura 8D).

- Avalancha de rocas:

Se extendió una longitud de 105 m y ancho promedio de 26 m sobre el depósito de la avalancha antigua (Figura 9A y 9B). Cubrió 45 m del camino Inka Piscacucho a Machupicchu. Este cierre de trocha afectó el transporte y traslado de alimentos fuera y dentro de los centros poblados de Yahuarhuaca, Carpamayo, Mesccay, Jaccas, Quishuarpata, Chaquimayo Tunas Mocco, Cusichaca y Chacama. El cierre de trocha fue de un mes y medio hasta la intervención de pobladores, quienes retiraron manualmente los bloques de la avalancha en un mes más, botando los bloques de avalancha hacia la parte baja del camino Inka (Figura 9B y 9C).

La avalancha se extendió a lo largo de una ladera de pendientes muy fuertes a abruptas (25° a $>45^\circ$). Bloques de granito angulares a subangulares de 0.5 m a 1.5 m se superponen sin cohesión a lo largo de la superficie (Figura 9D)



Figura 7. Vista multitemporal de la zona de estudio en el 2022.

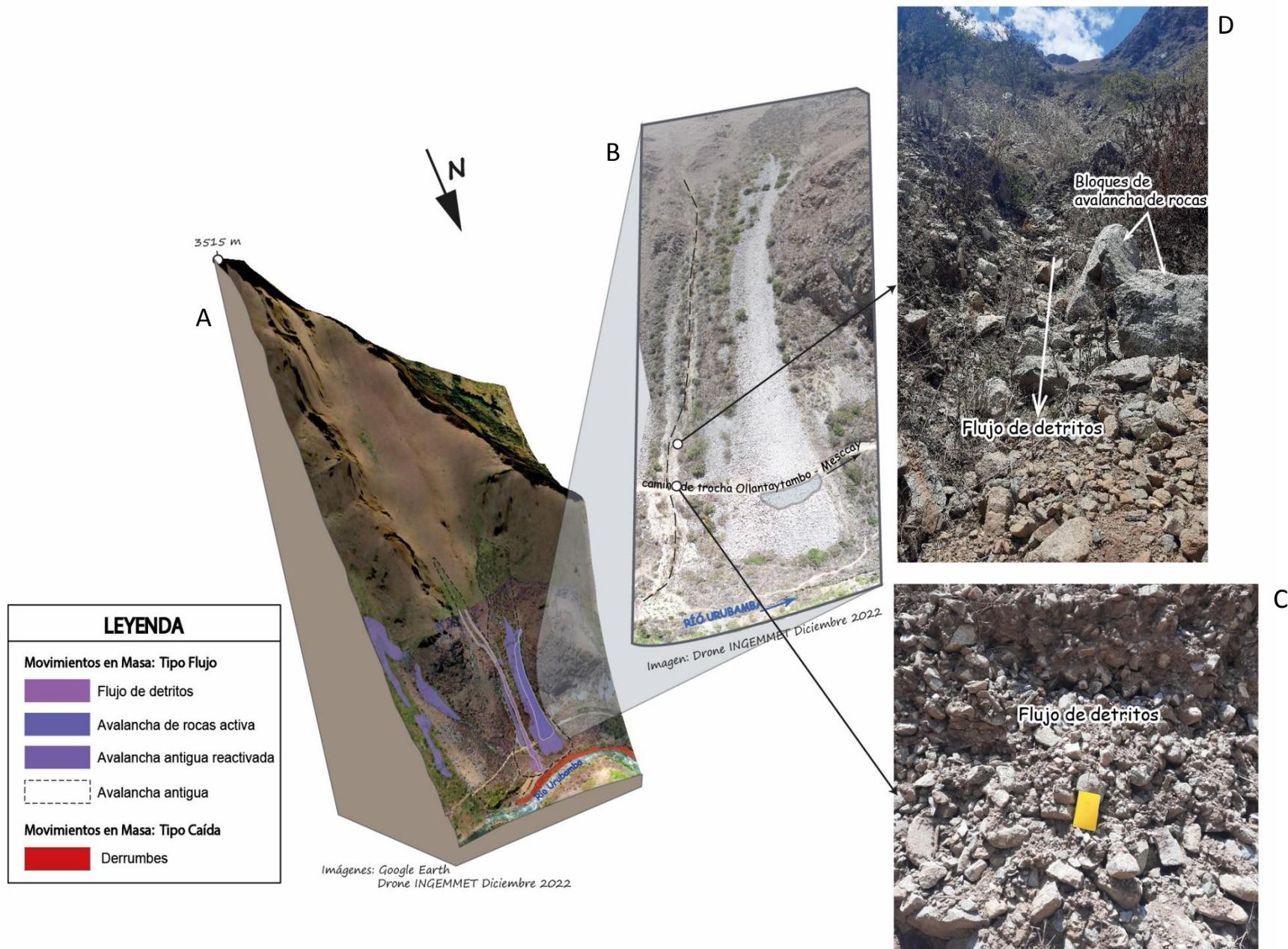


Figura 8. Block diagrama para ilustrar el flujo de detritos y su activación

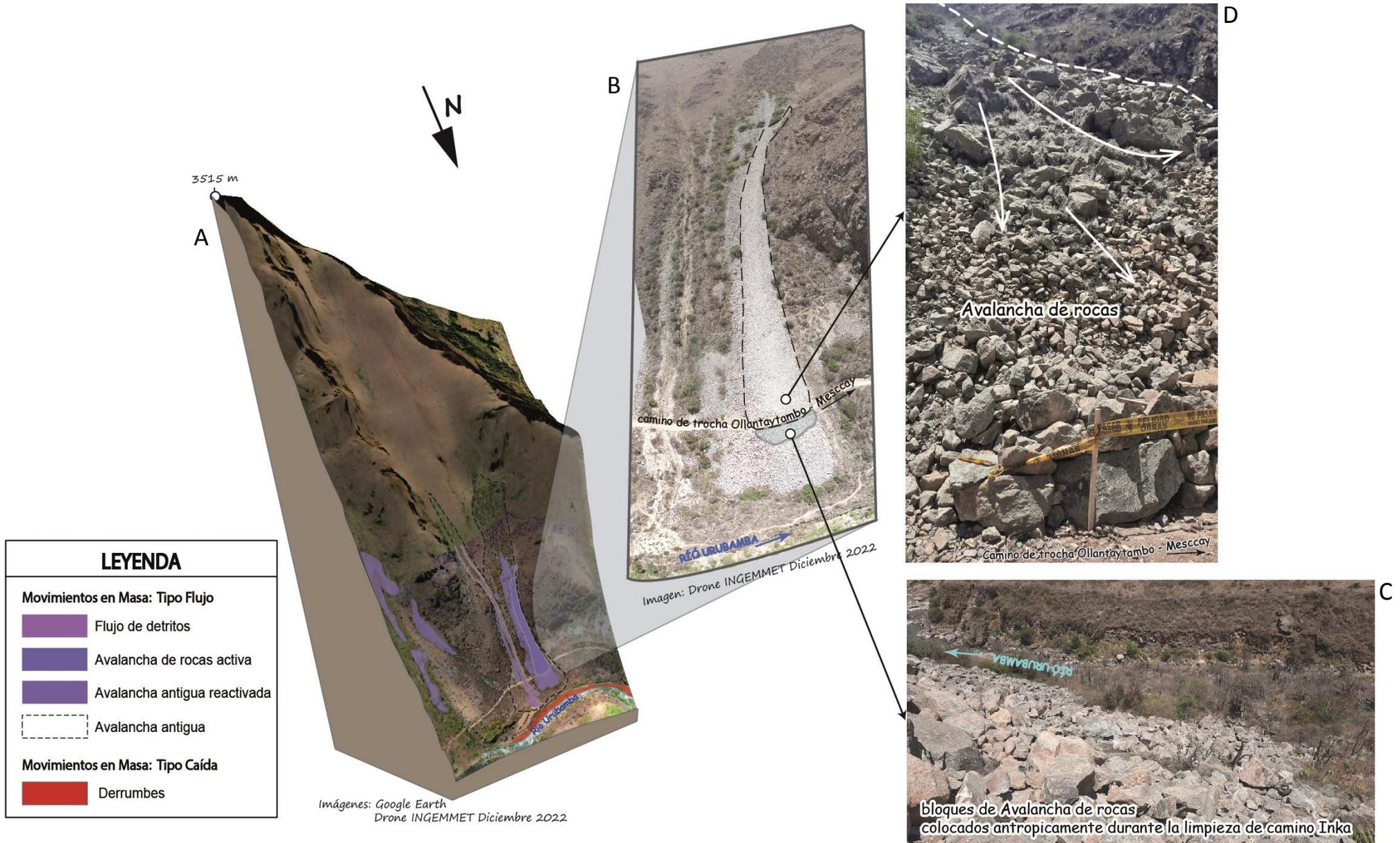


Figura 9. Block diagrama para ilustrar la avalancha de rocas y su activación

4.1.2. PERFILES TRANSVERSALES (A-A') Y LONGITUDINALES (B-B') EN EL ÁREA DE ESTUDIO:

Los flujos reactivados entre febrero y julio del 2022 a consecuencia de precipitaciones extremas y el cambio de temperaturas lluviosa y seca, se desencadenaron sobre laderas con pendientes fuertes y abruptas (25° a $>45^\circ$). Dichos flujos yacen sobre depósitos coluvio deluviales formados en la intersección de montañas por denudación de afloramientos de rocas ígneas en el cerro Naupederrumbe.

Con el objetivo de mostrar el relieve de la zona de estudio, que identifican las zonas montañosas y su zona de denudación (depósitos coluvio – deluviales antiguos), se realizaron dos perfiles transversal y longitudinal (Figura 11 y 13).

El perfil A - A': Corta transversalmente los depósitos de avalancha de rocas antigua y reactivadas, dispuestas sobre depósitos coluvio deluviales antiguos (Figura 11).

La cabecera de la avalancha antigua se encuentra a 2740 m s.n.m. y se extendió 370 m hasta la terraza aluvial alta del flanco izquierdo del río Urubamba (lugar donde también se ubica una trocha vecinal de ancho 1 m) (Figura 11). Se observa una diferencia de alturas de 235 m entre el pie y la cabecera de la avalancha, mostrando la ladera con pendiente muy fuertes de 39° .



Figura 10. Trocha vecinal a pocos metros del flanco izquierdo del río Urubamba

Es importante mencionar también que la trocha vecinal usada alternativamente por los pobladores se encuentra a solo 1.5 m del flanco izquierdo del río Urubamba (60° a 70°) (figura 10). En temporada de lluvia excepcional el agua pluvial puede erosionar el flanco izquierdo o el río puede cargarse al punto de socavar su flanco izquierdo. En cualquiera de los casos, la trocha vecinal puede ser destruida en temporada de lluvias excepcionales.

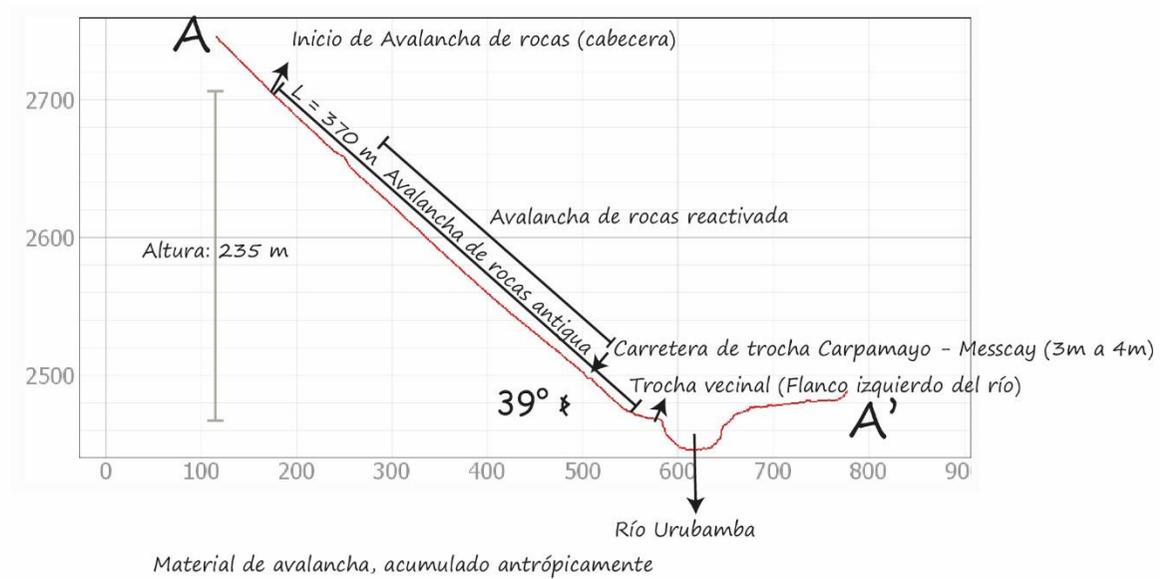
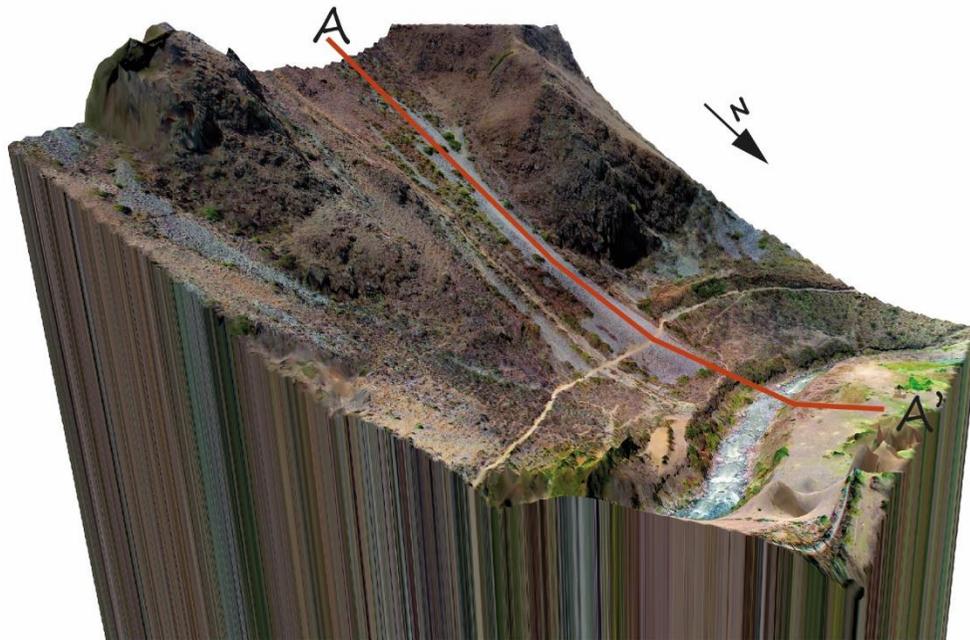


Figura 11. Perfil A – A', corte longitudinal paralela a la avalancha de rocas antigua

El perfil B-B':

Muestra la depresión existente entre ambas montañas en roca intrusiva, depresión medianamente rellena por depósitos coluvio deluviales producto de denudación de las montañas (Figura 13). Sobre este lugar que se extienden las avalanchas de rocas y flujos generados en la parte alta del cerro Ñaupaderrumbe.

Este corte se observa que la avalancha antigua tiene un ancho de 34 m. El flujo de detritos representado por dos flujos menores en la parte superior tiene 3.5 m y 6.5 m respectivamente (Figura 12 y 13).

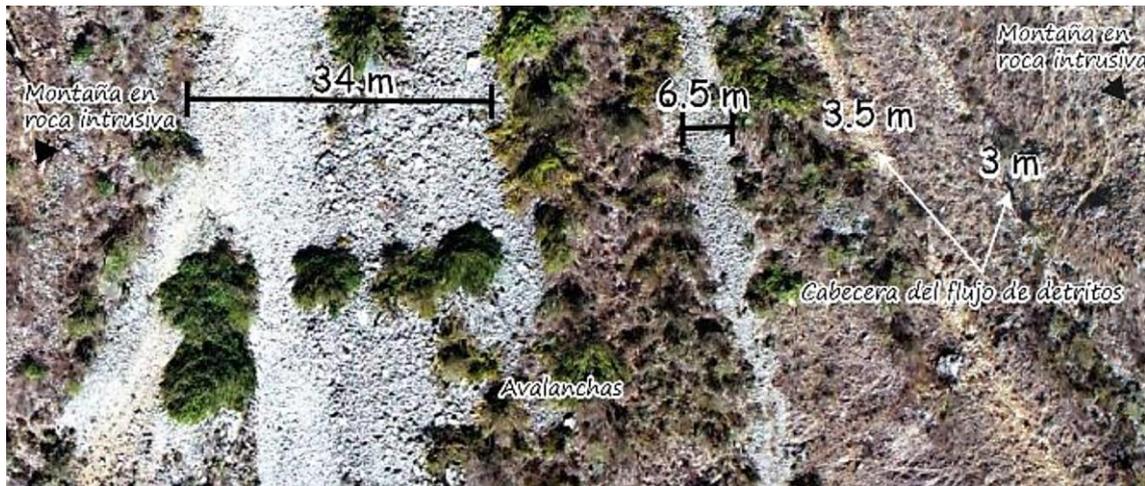


Figura 12. Vista transfersal de avalanchas y flujo de detritos

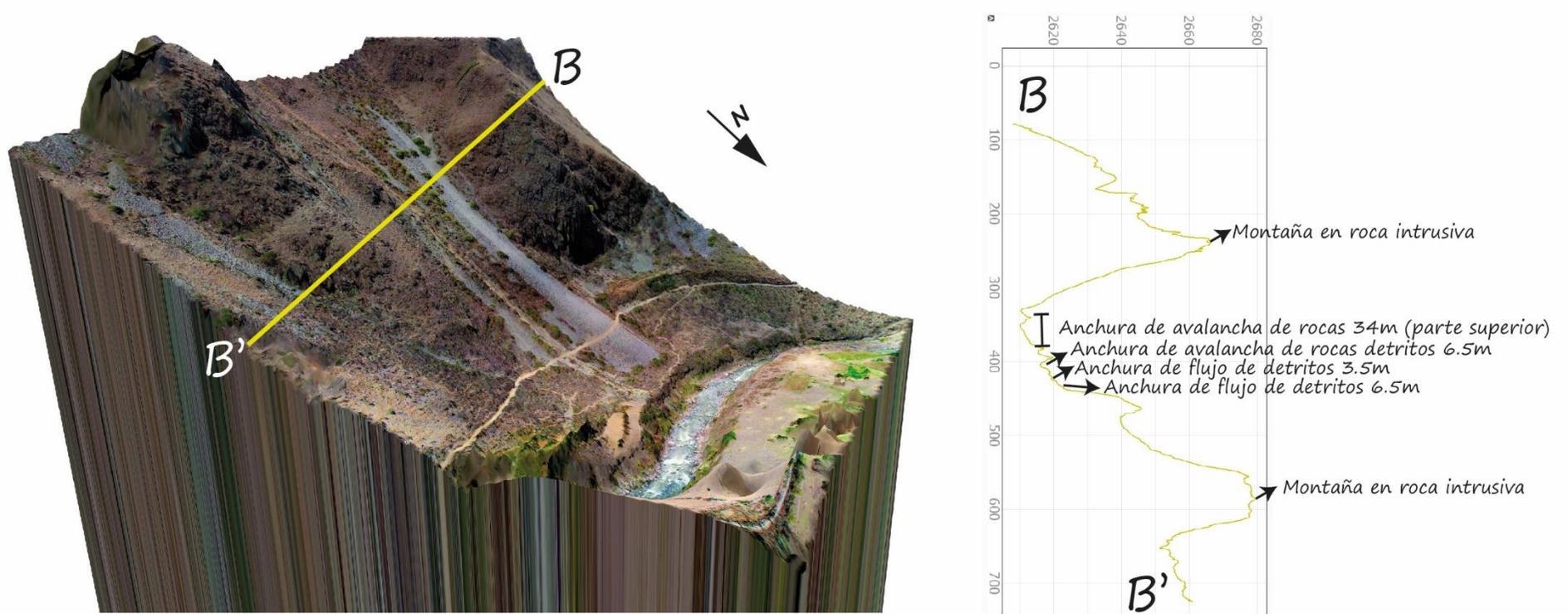


Figura 13. Perfil B– B', corte transversal del área de estudio

4.2. Factores condicionantes y desencadenantes

4.2.1. FACTORES CONDICIONANTES

- **GEOLOGÍA:** Las unidades geológicas que conforman el área de estudio son rocas intrusivas del Batolito de Machupicchu (granito), ligeramente meteorizados a fracturados, cubierto por depósitos coluviales, coluvio - deluviales, aluviales y fluviales acumulados en laderas empinadas y lechos de río, generados por intemperismo, gravedad, movimientos sísmicos y movimientos en masa (flujo de detritos, caída de rocas y avalancha de detritos)
- **GEOMORFOLOGÍA:** Las unidades geomorfológicas que conforman el área de estudio son montañas en rocas intrusivas, vertientes coluviales y deluviales en la parte alta. Y terraza aluvial alta y cauce de río en la parte baja.
- **PENDIENTE:** La zona de estudio está conformada por pendientes fuertes y abruptas (25° a >45°).

4.2.2. FACTORES DESENCADENANTES

- **LLUVIAS INTENSAS:** El área de estudio registra precipitaciones anuales acumuladas entre 1200 mm a 1500 mm, siendo considerando un clima lluvioso con invierno seco, que ayuda a saturar al terreno, trayendo inestabilidad de la ladera.
- **GELIFRACCIÓN:** La fragmentación de las rocas intrusivas en las montañas del cerro Ñaupaderrumbe, causa avalanchas de rocas en periodos secos (junio y julio). Esta fragmentación se da por el ingreso de agua a las fracturas, agua que después se convertirá en hielo y origina grandes tensiones que aumentan las grietas y fragmenta la roca en temporada de lluvia, cuando la temporada de seca llega, se produce un deshielo dando lugar al desencadenamiento de avalanchas de rocas.
- **SISMOS:** 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.

5. CONCLUSIONES

- a) En el área de estudio afloran rocas intrusivas de Batolito de Machupicchu (granito), cuyos afloramientos están ligeramente meteorizados y el macizo presenta fracturas que condiciona el desprendimiento de bloques de roca de más de 4.5 m de diámetro. Además, la presencia de unidades no consolidadas como: depósitos coluviales, coluvio deluviales (fragmentos pizarrosos con material fino de areno-limosa y/o limo-arcillosa), aluviales y fluviales entre montañas denudacionales, pie de taludes y lechos de río.
- b) Las unidades geomorfológicas del área de estudio son montañas de rocas intrusivas, vertientes (vertientes coluviales, coluvio deluviales y de deslizamiento) dispuestas sobre terrenos con pendientes muy fuertes a abruptas (25° a $>45^\circ$) y geoformas fluviales (terrazza alta aluvial y cauce del río), sobre pendientes medias a fuertes (5° a 25°).
- c) Los peligros geológicos por movimientos en masa reconocidos son derrumbes y flujos (avalancha de rocas y flujos de detritos); cuyos principales factores detonantes son las lluvias intensas y procesos de gelifracción.
- d) El flujo de detritos y la avalancha de rocas desencadenados el pasado febrero y julio del 2022, son movimientos reactivados provenientes de otros más antiguos. Su reactivación afectó un tramo de 15 m y 45 m del camino Inka Piscacucho a Machupicchu; por esta vía transitan a diario más de 500 turistas y población de 7 comunidades aledañas. Además, es el único acceso de tránsito y traslado para el abastecimiento de alimentos a más de 7 comunidades.
- e) Las lluvias intensas de febrero de 2022, generaron el flujo de detritos; sin embargo es en julio de 2020 se reactivó una avalancha de rocas de longitud 105 m con ancho promedio de 26 m, sobre una pendiente muy fuerte a abrupta. Los bloques de avalancha de 0.5 a 1.5 m se encuentran superpuestos entre sí y pueden generar desplazamiento que vuelvan a cerrar el camino Inka, altamente transitada por turistas y población local. Por lo tanto, el área de estudio es de **peligro alto** a la reactivación de estos eventos u otros nuevos en temporada de lluvia intensa y/o excepcional y sismos.
- f) Los perfiles transversales y longitudinales del área de estudio muestran que los movimientos en masa identificados se extienden a lo largo de unas depresiones rellenadas con depósitos coluvio deluviales antiguos originados por procesos denudacionales de las montañas de rocas intrusivas.
- g) La trocha vecinal ubicada a solo 2 m del flanco izquierdo del río Urubamba puede ser destruida por erosión y socavamiento del flanco izquierdo en temporada de lluvia intensa.

6. RECOMENDACIONES

- A) Realizar la limpieza de la avalancha de rocas, empezando desde la parte alta y culminar en la parte baja. Estos bloques de granito pueden usarse para la colocación de gaviones en el flanco izquierdo del río Urubamba.
- B) Reforestar la ladera del cerro Ñaupaderrumbe una vez realizada la limpieza de bloques; así como el cauce que dejó el flujo de detritos.
- C) De no realizarse trabajos de limpieza se recomienda colocar mallas y/o muros que soporten el empuje de los bloques, previo un estudio geotécnico.
- D) De no desarrollarse mínimamente las acciones descritas anteriormente, se debe considerar restringir el paso de turistas y población en temporada de lluvia intensa para reducir la vulnerabilidad frente a la reactivación del flujo de detritos; sin embargo, para reducir el impacto de bloques de las avalancha de rocas, se deben realizar algunos trabajos de limpieza.
- E) Monitoreo visual permanentemente de la separación y desprendimiento de bloques en los afloramientos rocosos de las montañas del cerro Ñaupaderrumbe.
- F) Prohibir el uso de la trocha vecinal en temporada de lluvia intensa y recarga excepcional del río Urubamba.


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


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

7. BIBLIOGRAFÍA

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, 2007.

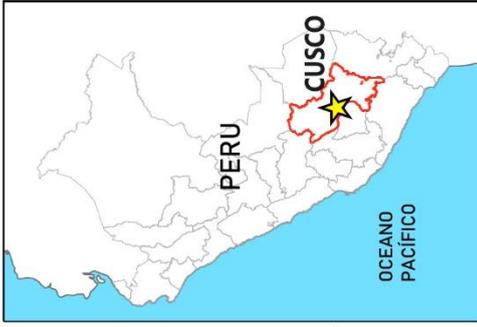
SENAMHI, 2020. Climas del Perú. Mapa de Clasificación Climática Nacional. Resumen Ejecutivo. 7 p.

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

Carlotto V., Cárdenas J. & Chávez R. (1996). Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca, hojas 27-r y 27-s. Boletín N° 65. Serie A: Carta Geológica Nacional. INGEMMET. 255p

Villota, H. (2005) - Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras. 2. Ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.

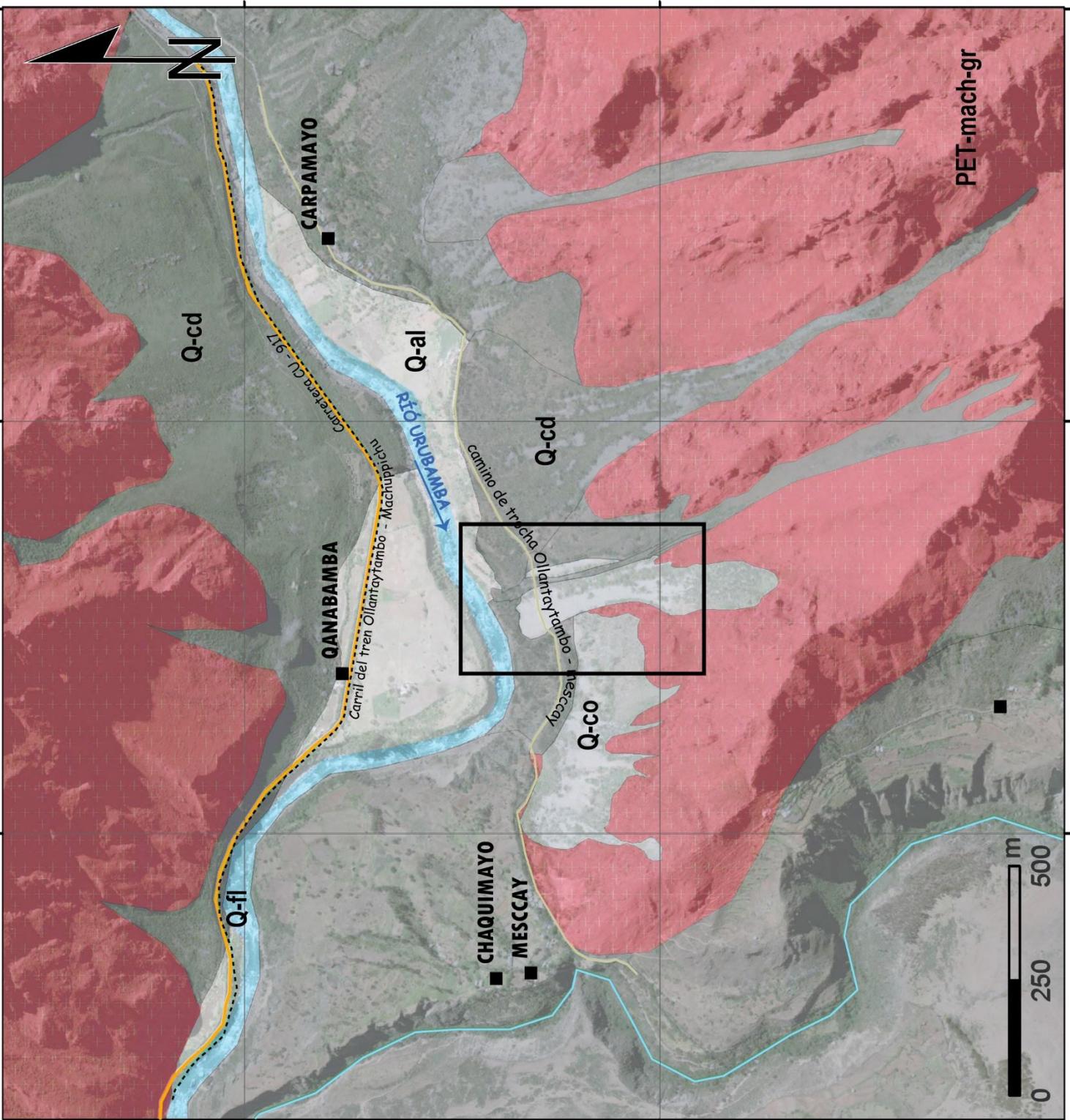
ANEXOS



782000

781100

780200



782000

781100

780200

8536300

8535400

LEYENDA	
Q-co	Depósito coluvial Material fragmentado heterogéneo acumulado en taludes
Q-al	Depósito aluvial Conos aluviales y de deyección de gravas
Q-cd	Depósito coluvio - deluvial Material heterométrico y heterogéneo de huaycos
Q-fl	Depósito fluvial Material heterométrico redondeado
PET-mach-gr	Machupicchu Granito

SIMBOLOGÍA	
	Área de estudio
	Carretera departamental
	Dirección de flujo
	Ruta de tren

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL TRAMO CARPAMAYO - MESCCAY (CERRO NAUPARRUMBE), DISTRITO OLLANTAYTAMBO, PROVINCIA URUBAMBA Y DEPARTAMENTO DE CUSCO

MAPA GEOLOGICO

Elaborado por: INGENMET
Datum: UTM WGS84
Zona: 18 S

MAPA **1**

Escala: 1: 12.000

0 250 500 m

782000

781100

780200

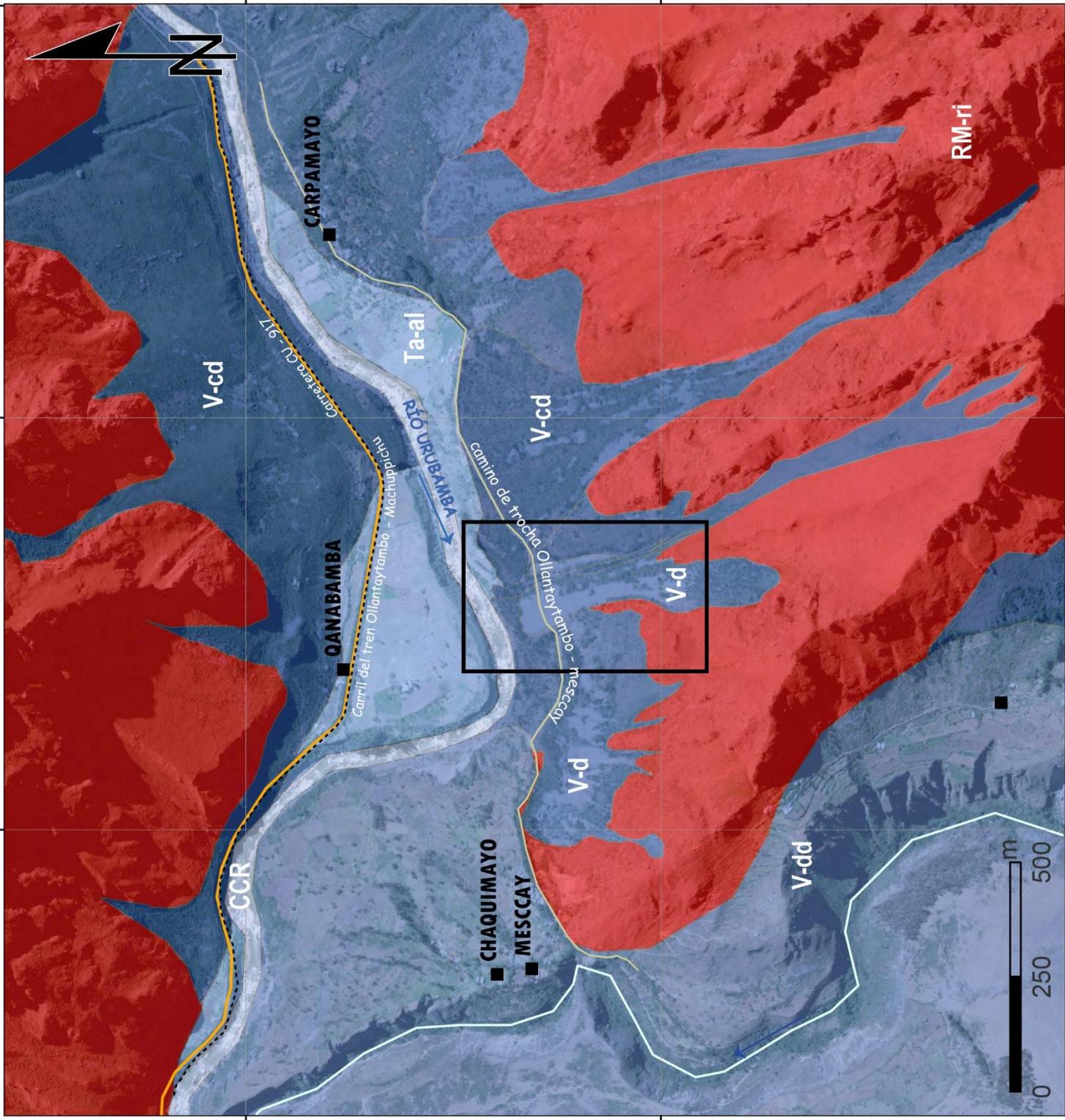
8536300

8535400

782000

781100

780200



LEYENDA

- RM-ri** Montaña en roca intrusiva
- Ta-al** Terraza alta aluvial
- V-cd** Vertiente coluvio-deluvial
- V-d** Vertiente coluvial de detritos
- V-dd** Vertiente de deslizamiento
- CCR** Cauce de río

SIMBOLOGÍA

- Área de estudio
- Carretera departamental
- Dirección de flujo
- Ruta de tren



EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLOGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL TRAMO CARPAMAYO - MESCCAY (CERRO NAUPADERUMBE), DISTRITO OLLANTAYRAMBO, PROVINCIA URUBAMBA Y DEPARTAMENTO DE CUSCO

MAPA GEOMORFOLOGICO

Elaborado por: INGENMET

Datam: UTM WGS84

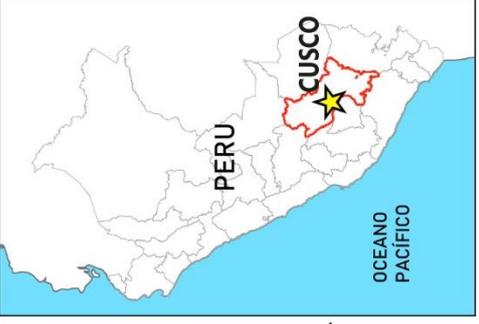
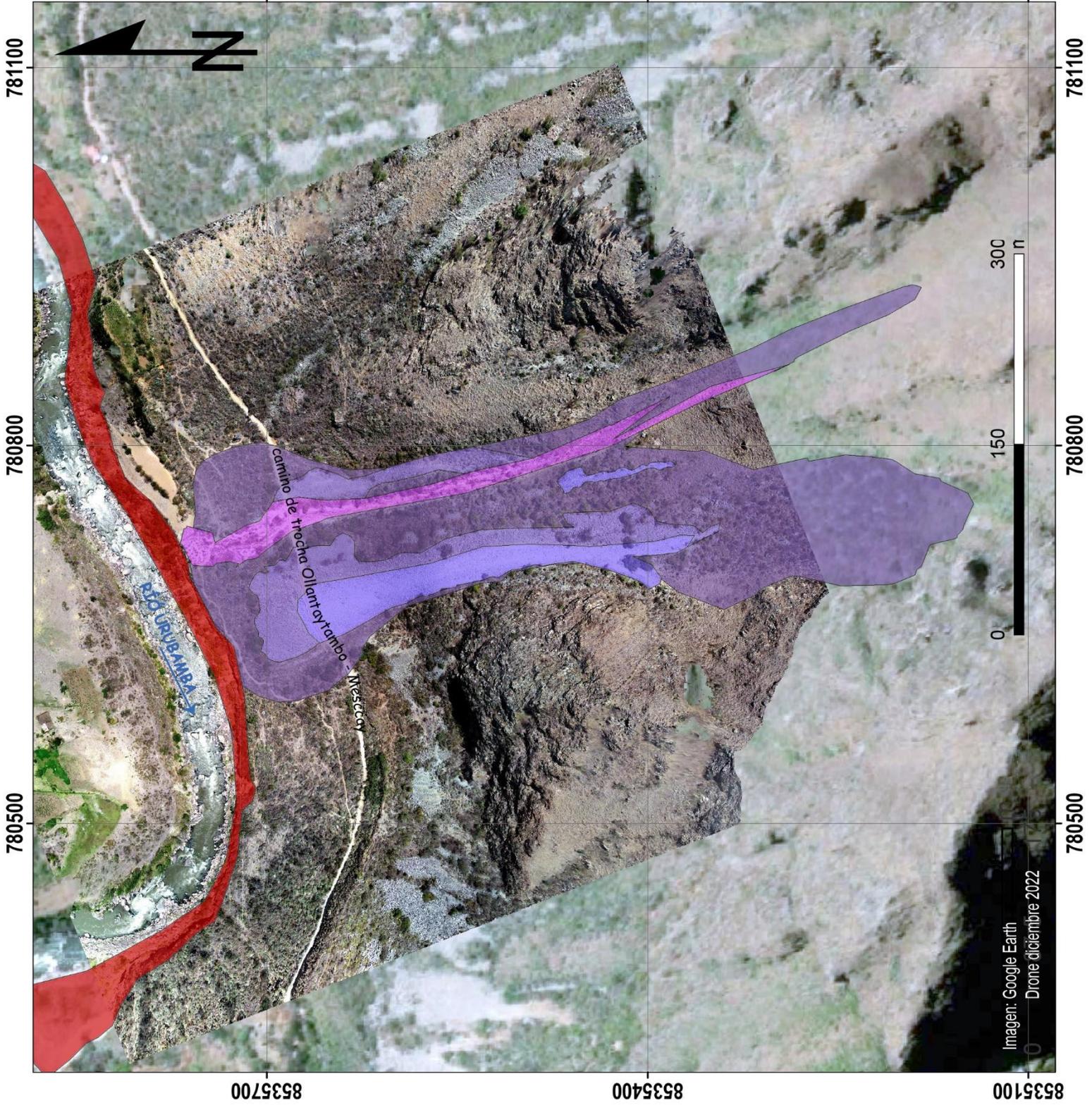
Zona: 18 S

Escala: 1:12,000



MAPA

2



LEYENDA	
Movimientos en Masa: Tipo Flujo	
	Flujo de detritos
	Avalancha de rocas activa
	Avalancha antigua reactivada
	Avalancha antigua
Movimientos en Masa: Tipo Caída	
	Derrumbes

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL TRAMO CARPAMAYO - MESCCAY (CERRO NAUPADERRUMBE), DISTRITO OLLANTAYTAMBO, PROVINCIA URUBAMBA Y DEPARTAMENTO DE CUSCO

MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS

Elaborado por: INGENMET	MAPA	3
Datum: UTM WGS84		
Zona: 18 S		

Escala: 1:4,200

0 150 m