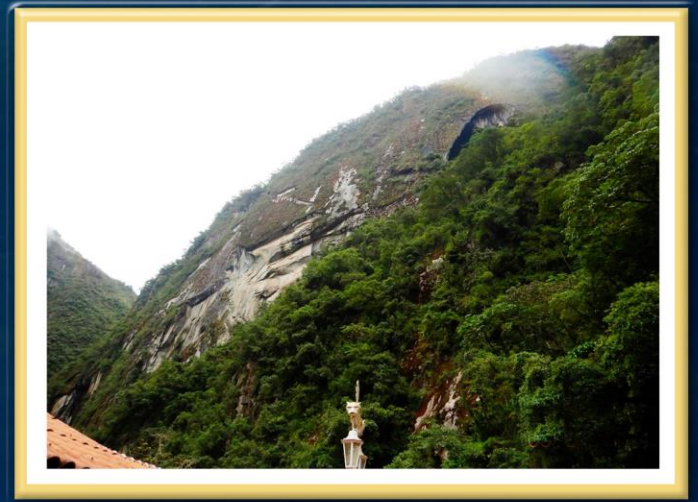


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7338

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR CAÍDA DE ROCAS EN EL SECTOR MEDIA NARANJA

Departamento Cusco
Provincia Urubamba
Distrito Machupicchu



DICIEMBRE
2022

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR CAÍDA DE ROCAS EN EL SECTOR MEDIA NARANJA.

(Distrito Machupicchu, provincia Urubamba, departamento Cusco)

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

Equipo de investigación:

David Prudencio

Guisela Choquenaira

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Evaluación de peligros geológicos por caída de rocas en el sector Media Naranja. Distrito Machupicchu, provincia Urubamba, departamento Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7338, 25p.

INDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivos del estudio	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	2
1.3. Aspectos generales	3
1.3.1. Ubicación	3
1.3.2. Accesibilidad	4
1.3.3. Clima	4
2. DEFINICIONES	5
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	6
3.1. Unidades litoestratigráficas	6
3.1.1. Macizo de Machupicchu	6
3.1.2. Depósitos superficiales	6
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	7
4.1. Pendientes del terreno	7
4.2. Unidades geomorfológicas	7
4.2.1. Unidad de montañas	7
4.2.2. Unidad de piedemonte	7
5. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS	8
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	8
5.2. Caída de rocas.	8
5.2.1. Características visuales del evento	12
5.2.2. Factores condicionantes	13
5.2.3. Factores detonantes o desencadenantes	13
6. CONCLUSIONES	14
7. RECOMENDACIONES	15
8. BIBLIOGRAFÍA	16
ANEXO 1: MAPAS	18
ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES	22

ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN 24

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, tipo caídas de rocas, realizados en el sector Media Naranja, perteneciente a la jurisdicción distrital de Machupicchu, provincia Urubamba, 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 en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

En la ladera sur del cerro Putucusi, se aprecian rocas intrusivas de composición graníticas del Macizo de Machupicchu, se encuentran ligeramente meteorizadas y poco a medianamente fracturada, donde se produjeron caídas de rocas, generando bloques de hasta 2 m; además, se presenta una reactivación de este peligro, principalmente sobre el depósito coluvial.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional (montañas en rocas intrusiva) y geoformas de carácter depositacional y agradacional, que configuran geoformas de piedemonte (vertiente con depósitos de deslizamiento y vertiente aluvio-torrencial) originada por la ocurrencia de movimientos antiguos.

El principal factor condicionante para la caída de rocas es la ladera que presenta pendientes de escarpado a muy escarpado (25° - $>45^{\circ}$).

En el sector de Media Naranja se tienen procesos de caída de rocas antiguas y recientes, generadas a lo largo del tiempo, teniendo como detonantes lluvias intensas y/o prolongadas o sismos. Dichos eventos afectaron al edificio del Poder judicial, un parque infantil municipal y la vía férrea en un tramo de 50 m; además, podría afectar al hotel Sumaq ubicado junto al local del Poder Judicial.

Por lo mencionado anteriormente, se concluye que el área de estudio es de **peligro Alto** a la ocurrencia de caídas de rocas, sujetos a desencadenarse con lluvias estacionales (octubre a marzo), movimientos sísmicos y/o vibración que genera el paso del tren por el sector.

Finalmente, se brinda algunas recomendaciones, las cuales deben ser tomadas por las autoridades competentes, tales como realizar la EVAR correspondiente, implementación de sistemas de cables y mallas metálicas anclados a las laderas, además de barreras dinámicas y desquinche de las rocas sueltas.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la municipalidad distrital de Machupicchu, según oficio N° 220 - 2019 - A - MDM, en el marco de nuestras competencias, se realizó la evaluación de peligros geológicos por “caída de rocas”, con ocurrencias recurrentes en años pasados, durante épocas de lluvias. Para lo cual la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros David Prudencio Mendoza y Guisela Choquenaira Garate, para realizar la inspección técnica respectiva, para los trabajos de campo se contó con el acompañamiento del personal de la Oficina de Gestión de Riesgos Distrital.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS y fotografías), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de Machupicchu y entidades encargadas en la Gestión del Riesgo de Desastres, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se presentan en el sector Media Naranja.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Emitir recomendaciones viables y ejecutables a fin de reducir, prevenir y/o mitigar los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados. Todos ellos determinados en el presente informe.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del Ingemmet, que incluyen el sector de Media Naranja, relacionados a temas de geología y geodinámica externa, de los cuales destacan los siguientes:

- A) En el informe “Evaluación geodinámica en el tramo leonera baja – Machupicchu Pueblo, Cusco” (Delgado, et al., 2010), se estudia el centro urbano de Machupicchu pueblo, por estar expuesto a diversos peligros geológicos originados principalmente por precipitaciones pluviales, que dañan la infraestructura y el desarrollo económico.

Dentro de sus resultados presenta al sector Media Naranja, con peligro de caída de rocas, mostrado en su mapa de inventario de peligros geológicos.

- B) Boletín N° 74, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligros Geológicos en la Región Cusco” (Vílchez et al., 2020). Realiza un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa (escala 1: 500 000), el cual muestra al sector Media Naranja en susceptibilidad Alta.
- C) El Boletín N° 127, serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Quillabamba y Machupicchu” (Carlotto, et Al., 1999) y en la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Río Picha (25-p), Timpia (25-q), Chuanquiri (26-p), Quillabamba (26-q) Quebrada Honda (26-r), Parobamba (26-s), Pacaypata (27-p), Machupicchu (27-q), Urubamba (27-r), Calca (27-s), Chontachaca (27-t), Quincemil (27-u), Ocongate (28-t), Corani (28-u) Y Ayapata (28-v)”, escala 1: 100,000, (Sánchez, et al, 2003); describe la información relacionada a los cambios más resaltantes sobre estratigrafía, rocas ígneas y la geología estructural del área de dicho cuadrángulo, las cuales son de naturaleza intrusiva y sedimentaria en el sector de estudio.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada se encuentra en la ladera sur del cerro Putucusi, margen derecha del río Vilcanota, a 100 m al oeste del centro poblado Machupicchu. Políticamente, el sector Media Naranja pertenece al distrito de Machupicchu, provincia Urubamba, departamento Cusco (figura 1); cuyas coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S) siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM - WGS84 - Zona 19L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	768283	8544865	-13.150836°	-72.525200°
2	768283	8544352	-13.155470°	-72.525153°
3	767642	8544352	-13.155527°	-72.531063°
4	767642	8544865	-13.150893°	-72.531109°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	767822	8544540	-13.153813°	-72.529420°

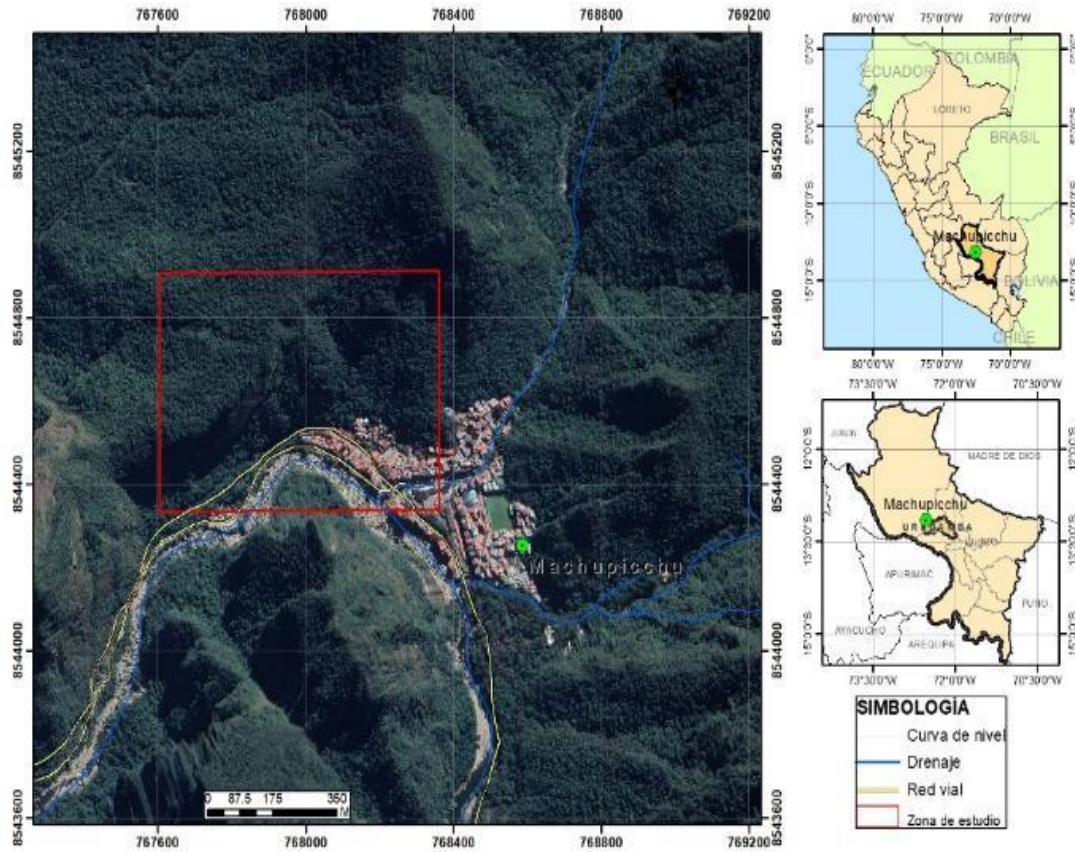


Figura 1. Mapa de ubicación.

1.3.2. Accesibilidad

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

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Cusco – Ollantaytambo	Asfaltada	77	1 h 43 min
Ollantaytambo - Machupicchu	Vía férrea	32	1 h 30 min

1.3.3. Clima

De acuerdo al mapa climático del SENAMHI (2018), y detallando la información local, se puede observar que, el sector Media Naranja mayormente presenta un clima lluvioso con invierno seco templado. Presenta una frecuencia de precipitación entre los meses de diciembre a marzo, cuyas lluvias acumuladas anuales son de 1200 mm a 1800 mm, además, se presentan friajes en los meses de junio a setiembre con temperaturas mínimas de 7°C a 11°C y máximas entre 17°C y 23°C, con humedad atmosférica relativa de inviernos secos.

Esta clasificación climática es sustentada con información meteorológica recolectada de aproximadamente 20 años a partir de la cual se formulan “Índices Climáticos” de acuerdo a la clasificación climática por el método de Thornthwaite.

2. DEFINICIONES

Se describen algunas definiciones usadas en el informe:

Agrietamiento: Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

Derrumbe 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. Se le conoce también como desprendimiento de rocas, suelos y/o derrumbes.

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.

Flujos: Es un tipo de 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 deslizamiento o una caída. Los flujos pueden ser canalizados (huaicos) y no canalizados (avalanchas).

Formación geológica: Es una unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por unas propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

Fractura: Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

Meteorización: 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.

Movimientos en masa: Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. En el territorio peruano, los tipos más frecuentes corresponden a caídas, deslizamientos, flujos, reptación de suelos, entre otros.

Peligro o amenaza geológica: Es un proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

Reptación de suelos: Movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. Puede ser de tipo estacional, cuando se asocia al cambio climático o de humedad y verdadero cuando hay desplazamiento continuo

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base la geología de los cuadrángulos de Quillabamba y Machupicchu (Carlotto, et.al., 1999) y la revisión y actualización de los cuadrángulos de Río Picha (25-p), Timpia (25-q), Chuanquiri (26-p), Quillabamba (26-q) Quebrada Honda (26-r), Parobamba (26-s), Pacaypata (27-p), Machupicchu (27-q), Urubamba (27-r), Calca (27-s), Chontachaca (27-t), Quincemil (27-u), Ocongate (28-t), Corani (28-u) Y Ayapata (28-v) (Sánchez y Zapata, 2003), donde se tienen principalmente rocas intrusivas y depósitos Cuaternarios. La geología se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo.

3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona inspeccionada y alrededores corresponden a afloramientos de rocas intrusivas, y depósitos superficiales como los depósitos aluviales, proluviales y de deslizamiento que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad (Anexo 1 - Mapa 1).

3.1.1. Macizo de Machupicchu

Este afloramiento circunda en la zona de estudio, tiene forma alargada con dirección N-S, las rocas son masivas con textura fanerítica de grano grueso, de tonos claros y está compuesta principalmente por ortoclasas, plagioclasas, cuarzo y hornblenda.

Este pulso tiene rocas de diferente naturaleza petrográfica, la que se encuentra en la zona de estudio son granitos, que se presentan ligeramente meteorizados y poco a medianamente fracturada, en sectores es maciza.

Este afloramiento muestra fracturas que presentan hasta tres familias principalmente: NO-SE, NE-SO, producto del enfriamiento del magma durante la consolidación de este (Carlotto, et.al. 1999).

3.1.2. Depósitos superficiales

Depósito aluvial: Se observó en ambas márgenes del río Vilcanota formando pequeñas terrazas. Estos depósitos están constituidos por grandes bloques y gravas de composición granítica, con fragmentos pizarrosos y cuarcíticas envueltos en una matriz areno-arcillosa (Anexo 2 – Tabla 1).

Depósito proluvial: Se observó en los conos de deyección de los ríos Aguas Calientes y Alcamayo que forman al llegar al río Vilcanota. Este depósito está conformado por grandes bloques y gravas subredondeadas de composición granítica y cuarcitas envueltos en una matriz arenosa.

Depósito de deslizamiento: Se ubican al oeste del centro poblado de Machupicchu, como depósitos de materiales adosados a las laderas. Conformado por depósitos de deslizamientos, compuestos por bloques y gravas de rocas graníticas envueltas en una matriz areno limosa, con formas sub angulosa a angulosa (Anexo 2 – Tabla 2).

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

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

En el mapa 2, anexo 1, se presenta el mapa de pendientes, el cual se realizó con ayuda de un modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución; tomada del satélite Alos Palsar (USGS).

En este mapa, se aprecian laderas con pendientes muy fuertes (25°-45°) a muy escarpados (> 45°); además, podemos ver que el pueblo, la zona de deslizamientos (sector Media Naranja) y las cimas del cerro Putucusi presentan inclinaciones entre pendientes moderadas (5° - 15°) y pendientes fuertes (15° - 25°), lo que facilita que ocurran los desprendimientos de roca por efecto de gravedad (Anexo 1 - Mapa 2).

4.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual, en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez, M., et al, 2019) (Anexo 1 - Mapa 3).

4.2.1. Unidad de montañas

Consideran dentro de Unidad de Montañas a elevaciones del terreno con alturas mayores a 300 m con respecto al nivel de base local, diferenciándose la siguiente subunidad según el tipo de roca que la conforma y los procesos que han originado su forma actual.

Subunidad de montañas en rocas intrusiva (RM-ri): Esta área se ubica en el cerro Putucusi y los cerros que circunda al centro poblado.

Se consideran dentro de esta subunidad a rocas del Macizo de Machupicchu, las cuales están compuestas por rocas graníticas. Además, presentan pendientes muy fuertes a muy escarpados, por lo que están asociadas a la ocurrencia de caídas de rocas y derrumbes.

4.2.2. Unidad de piedemonte

Se consideran formas de terrenos que constituyen la transición entre los relieves montañosos accidentados y zonas planas, predominan los terrenos generados por fuerzas de desplazamiento como depósitos coluviales antiguos y recientes, relacionados a repentinos cambios de pendiente.

Subunidad de vertiente con depósitos de deslizamientos (V-dd): Son zonas de acumulaciones en ladera de materiales inconsolidados a ligeramente consolidados, su composición litológica es homogénea y proviene de procesos de movimientos en masa de tipo deslizamiento, derrumbes de rocas y sus reactivaciones; Presenta morfología convexa y disposición circular a elongada de la zona de arranque.

En el sector Media Naranja podemos preciar esta subunidad, la cual presenta pendientes moderadas a fuertes en las cimas y de escarpadas a muy escarpadas en las laderas; por lo que son susceptible a caídas de rocas.

Subunidad de vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at): Son acumulaciones de sedimentos acarreados por el río Aguas Calientes, estas áreas presentan pendientes moderadas a fuertes y están relacionados a lluvias ocasionales, extraordinarias o muy excepcionales. En estos sectores normalmente se generan flujos de detritos.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS

Los procesos identificados en la zona evaluada corresponden a movimientos en masa de tipo caídas de rocas (derrumbes) (PMA: GCA, 2007). Estos eventos son resultado de procesos del modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

Estos movimientos en masa, tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el drenaje superficial-subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” de estos eventos las lluvias periódicas y extraordinarias que caen en la zona, (Anexo 1 - Mapa 4).

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Los trabajos de campo se realizaron con apoyo del personal de la Oficina de Gestión de Riesgos de la Municipalidad de Machupicchu. Los procesos identificados en la evaluación del sector Media Naranja son caídas de rocas antiguas y recientes, las cuales se han producido a lo largo de los últimos años. El ultimo evento, suscitado el año 2021 afectó a la vía férrea, el local del poder judicial dañando muros y ventanas, además de las rejas perimétricas del parque infantil municipal.

5.2. Caída de rocas.

El afloramiento rocoso sobre el que se genera la caída de rocas, presenta una pendiente que va de escarpado (25° - 45°) a muy escarpado (>45°), con tres familias principales de fracturas (cuadro 3); estas se aprecian ligeramente meteorizadas y poco a medianamente fracturada (figura 2).

Cuadro 3. Principales familias de fracturas

Familia	Azimut	Buzamiento
1	N 64°	57° NW
2	N 129°	34° SW
3	N 131°	53° SW

El proceso de caída antiguo es latente, por lo que el peligro es alto, donde el plano principal de fracturamiento está a favor de la pendiente, de tal manera que el material inestable dispuesto en la ladera sur del cerro Putucusi, pueda ceder cuesta abajo, sujetos a

desencadenarse por lluvias intensas, sismos y/o meteorización biológica (crecimiento de las raíces de los árboles) (figura 3).

Así mismo, a la altura de los depósitos coluviales, se observó un evento reactivación de caída de rocas, con longitud de arranque de 50 m, abarcando un área de 0.3 ha aproximadamente, conformado por materiales de formas angulosas y de dimensiones similares (figura 4 y 5).

La dirección de caída de los bloques, pueden llegar a afectar a: el Hotel Sumaq, local del Poder Judicial (este ya fue afectado anteriormente por caídas), un parque de recreación infantil municipal y parte de la vía férrea; la cual dejaría incomunicado a la hidroeléctrica de Machupicchu. Los bloques dejados por la caída de rocas anteriores fueron limpiados luego de ocurrido el evento (figura 6).



Figura 2. Foto tomada hacia el oeste, se aprecia parte del afloramiento de roca del sector Media Naranja con pendientes muy escarpadas.



Figura 3. Vista tomada en coordenadas E 768107; N 8544511; Sector Media Naranja, se aprecia en la ladera bloques rocas sueltas propensas a ceder y el fracturamiento del macizo rocoso.

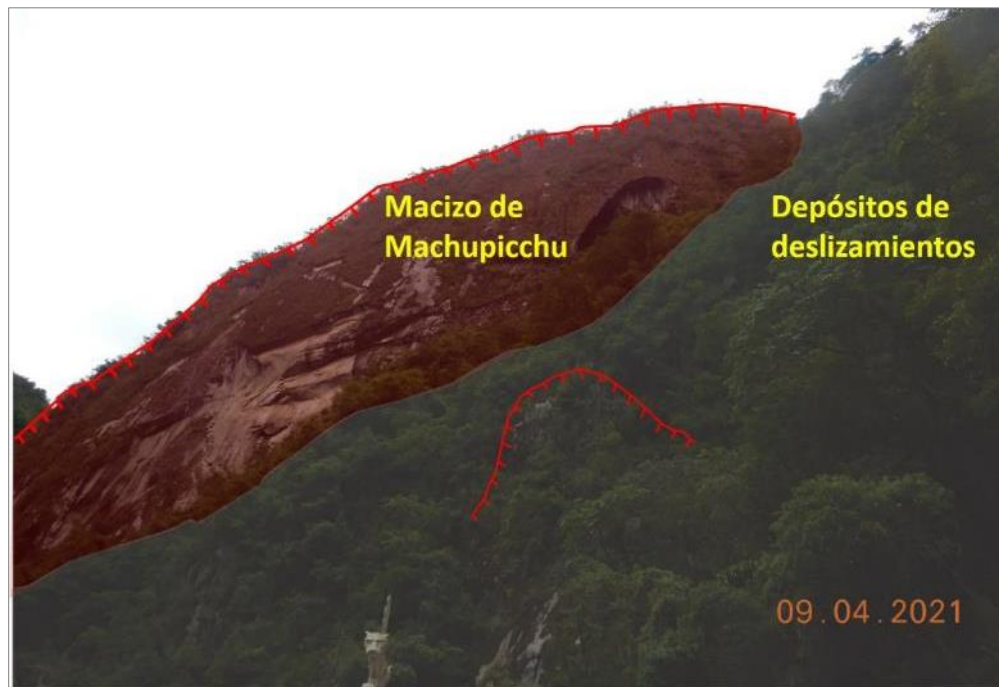


Figura 4. Vista tomada en coordenadas E 768016; N 8544529. Sector Media Naranja, muestra el escarpe antiguo de caídas de rocas y la reactivación.



Figura 5. Vista tomada en coordenadas E 768000; N 8544528. Sector Media Naranja, en la ladera se aprecia la roca fracturada (señal color rojo). En la parte baja se aprecia la reja del parque de niños y la construcción del Poder Judicial que fue afectado por la reactivación de caída de rocas (extraído de Google Earth).



Figura 6. Vista tomada en coordenadas E 768107; N 8544511. Se aprecia el Poder Judicial que fue afectado por caída de rocas, proveniente del cerro Putucusi.

5.2.1. Características visuales del evento

Cada año, en temporada de lluvias, se producen caída de rocas. La reactivación del ultimo evento genero bloques sueltos de 0.5 a 1 m de diámetro, que afectó al local del Poder Judicial dañando entrada y muros (Figura 7).

La caída de rocas antigua del sector Media Naranja tiene las siguientes características y dimensiones:

- Longitud de arranque: 500 m
- Forma de la superficie de rotura: irregular alargada.
- Diferencia de altura aproximada de la corona a la base del depósito: 212 m
- Dirección (azimut) del movimiento: N 131°
- Presencia de hasta tres familias de fracturas (medidas del afloramiento rocoso en la zona alta de donde caen las rocas).
- Volumen de los bloques sueltos hasta de 0.6 m³.
- Área de la zona afectada: 11 ha.



Figura 7. Bloques sueltos dispuestos a caer desde la ladera del cerro.

5.2.2. Factores condicionantes

- Control estructural de fracturas: Presencia de 3 familias principales de fracturas, con separaciones de hasta 3 cm y extraordinariamente hasta de 32 cm, dejando bloques sueltos dispuestos a ceder cuesta abajo.
- Presencia de humedad y vegetación arbustiva con raíces profundas que fracturan las rocas.
- Pendientes que van de escarpada a muy escarpada, estos generan esfuerzos en las rocas dispuestas en ladera.
- Presencia de depósitos de deslizamiento poco compactos en laderas escarpadas, y con presencia de bloques dispuestos a caer cuesta abajo.

5.2.3. Factores detonantes o desencadenantes

- Las lluvias extremas y periódicas que se dan normalmente en los meses de diciembre a marzo, estas saturan y sobrecargan los taludes al punto de desestabilizar y hacer ceder a las rocas fracturadas, además de generar escorrentía, removiendo el material de cuña que mantiene estable a las rocas en la ladera.
- Los sismos y el paso del tren pueden desencadenar caídas, por la vibración sobre las rocas sueltas.

6. CONCLUSIONES

- a) La reactivación de caída de rocas en la ladera sur del cerro Putuccusi, afectó el local del Poder Judicial, un parque de recreación infantil municipal y parte de la vía férrea; además, podría afectar al hotel Sumaq.
- b) En la localidad de Media Naranja, el sector de donde se produjeron las caídas de rocas antigua y reciente se califica como **peligro alto**, por su recurrencia y latencia anualmente, sujetos a reactivaciones en temporada de lluvias.
- c) La longitud de arranque de la caída de rocas es de 500 m, la forma de la superficie de rotura es irregular alargada, la altura es de 212 m.
- d) Los bloques generados por la caída de rocas son de formas angulosas y con tamaños comprendidos entre 0.5 a 2 m.
- e) Los factores condicionantes de las caídas son:
 - Presencia de rocas graníticas del macizo de Machupicchu con tres familias de fracturas, donde uno de los planos principales se encuentra a favor de la pendiente.
 - Las separaciones de las fracturas son de hasta 3 cm entre bloques del sustrato rocoso, considerado, como macizo de mala calidad.
 - Las pendientes que se presentan en el sector van de escarpadas (25°- 45°) a muy escarpadas (45 - 90°), lo que facilita la caída cuesta abajo.
 - Presencia de humedad y vegetación con raíces profundas que se penetran entre las fracturas las rocas y genera inestabilidad.
- f) Los factores desencadenantes de las caídas de rocas son lluvias intensas, sismos, el paso de tren (por la vibración que genera).ew

7. RECOMENDACIONES

- A) Realizar el desquinche manual de las rocas sueltas dispuestas en la ladera sur del cerro Putucusi, para evitar la reactivación de caída de rocas, estos trabajos se deben realizar con supervisión de profesional capacitado y con experiencia.
- B) En el macizo rocoso donde se presentaron las caídas de rocas, se debe evaluar la factibilidad de estabilización de los bloques rocosos mayores a 0.5 m^3 inestables y la dirección de caída de rocas.
- C) Reubicar las construcciones ubicadas en las zonas que puedan ser afectadas por las caídas.
- D) Instalar barreras dinámicas o estáticas en la ladera del sector Media Naranja, para contener eventuales caídas de rocas.
- E) En la ladera que presente bloques sueltos menores de 0.5 m^3 , se debe instalar mallas de guiado, formadas por alambre de acero, las que se deben tender en la zona de las reactivaciones de caídas, desde la cabecera hasta el pie. Este método sirve para guiar a los bloques en su caída, evitando que reboten y salten hacia afuera, y acumularlos en la base. Para tomar esta recomendación, es necesario que se realice un modelamiento.
- F) En la ladera con bloques inestables mayores a 0.5 m^3 , se puede realizar instalación de sistemas de cables y mallas metálicas fijados o anclados a las laderas. Para ello, primero se debe realizar un modelamiento.
- G) En conjunto con las recomendaciones se debe crear un sistema de alerta temprana para no permitir el tránsito de personas en momentos que se genere el evento y el post evento de caída, hasta que un personal calificado pueda determinar el final del evento.
- H) Realizar una evaluación de riesgos por peligros naturales (EVAR) a fin de evaluar costos y beneficios de la reubicación de las construcciones o de la implementación de mayores medidas estructurales para reducir el peligro.
- I) Realizar trabajo de sensibilización a las autoridades y responsables de la seguridad, para realizar construcciones seguras con medidas correctivas, según los resultados del EVAR.

Nota: Todas estas recomendaciones deben ser ejecutadas por profesionales especialistas en el tema.

Ing. Guisela Choquenaira Garate

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

8. BIBLIOGRAFÍA

Carlotto, V., Cardenas, J., Romero, D., Valdivia, W., y Tintaya, D., et al. (1999) - Geología del Cuadrángulo de Quillabamba y Machupicchu 26-q y 27-q. 1:100 000. INGEMMET. 317p., 2 mapas.

Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 247, p. 36-75.

Delgado, F. (2010). Evaluación geodinámica en el tramo leonera baja – machupicchu pueblo, cusco [XV Congreso Peruano de Geología]. Sociedad Geológica del Perú, Cusco, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2974>

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2003) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 3. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 28, 373 p.

Highland, L.M., y Bobrowsky, Peter, 2008, Manual de derrumbes. Guía para entender todo sobre los derrumbes: Reston, Virginia, Circular 1325 del Sistema Geológico de los EUA, 129 p .

Luis Fonseca, R. (2010) Aplicación de membranas flexibles para la prevención de riesgos naturales. Ed. Roper. Madrid, 752pp.

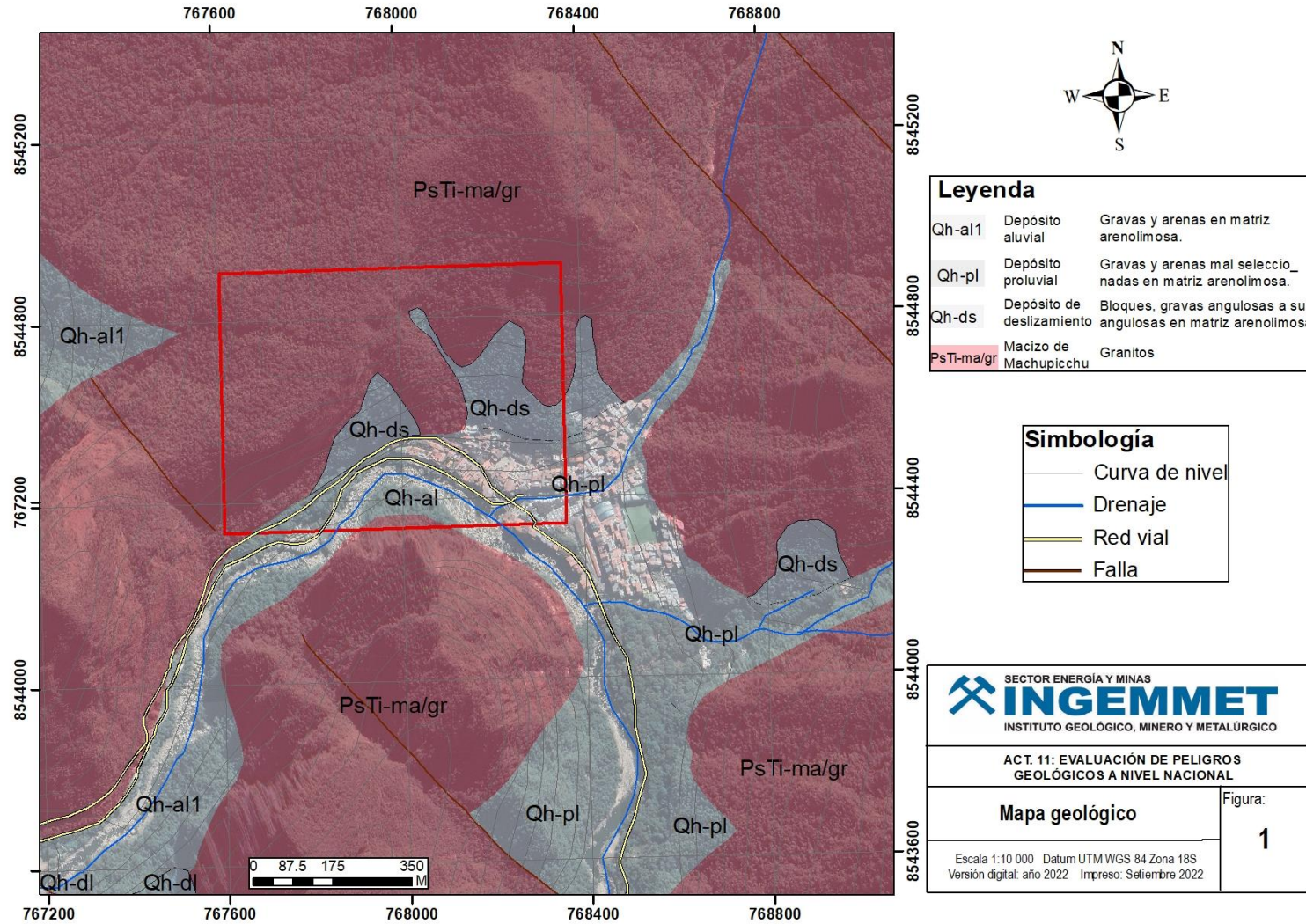
Sanchez, A., y Zapata, A., (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Río Picha (25-p), Timpia (25-q), Chuanquiri (26-p), Quillabamba (26-q) Quebrada Honda (26-r), Parobamba (26-s), Pacaypata (27-p), Machupicchu (27-q), Urubamba (27-r), Calca (27-s), Chontachaca (27-t), Quincemil (27-u), Ocongate (28-t), Corani (28-u) Y Ayapata (28-v)", escala 1: 100,000. INGEMMET. 38p.

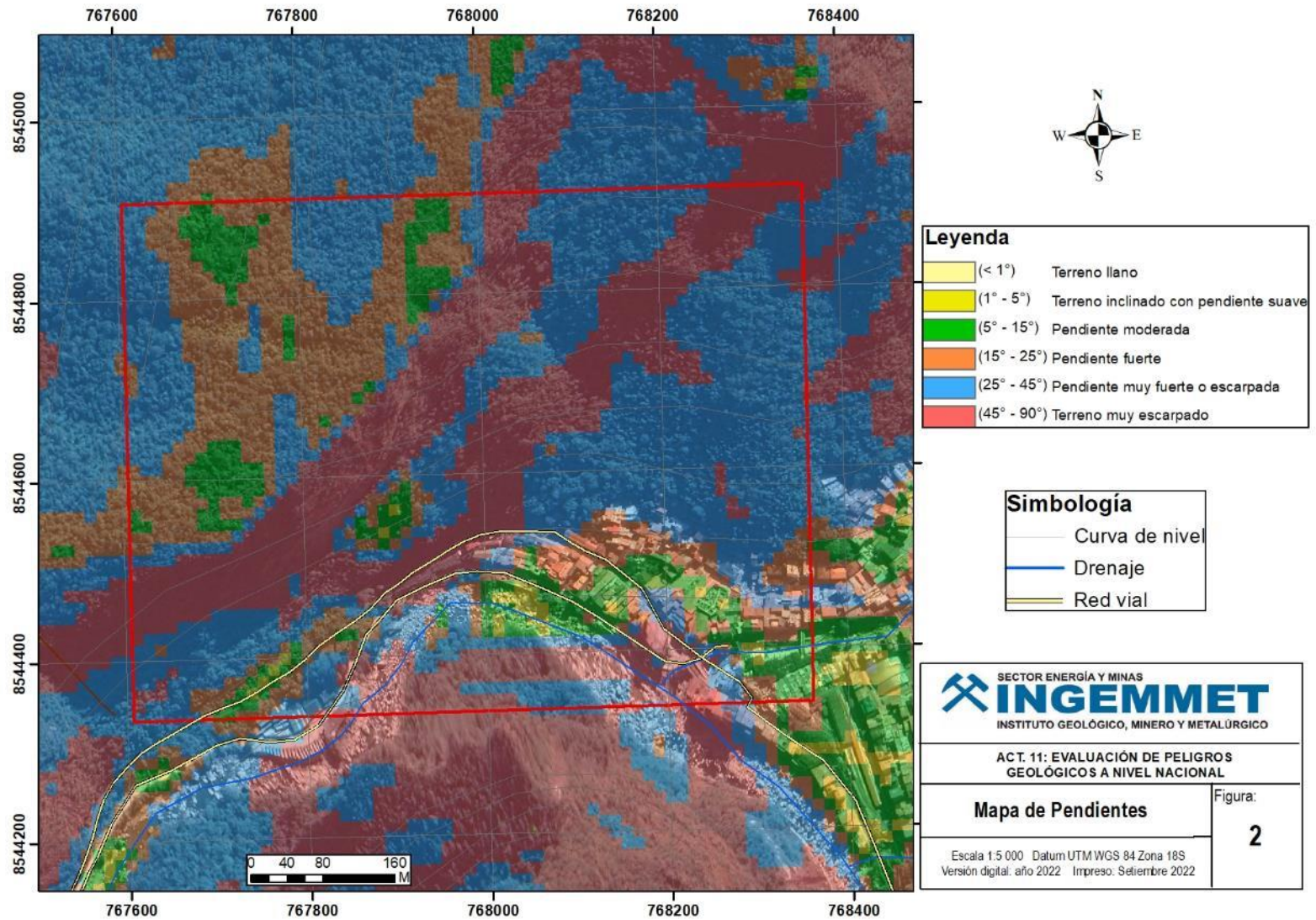
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4.

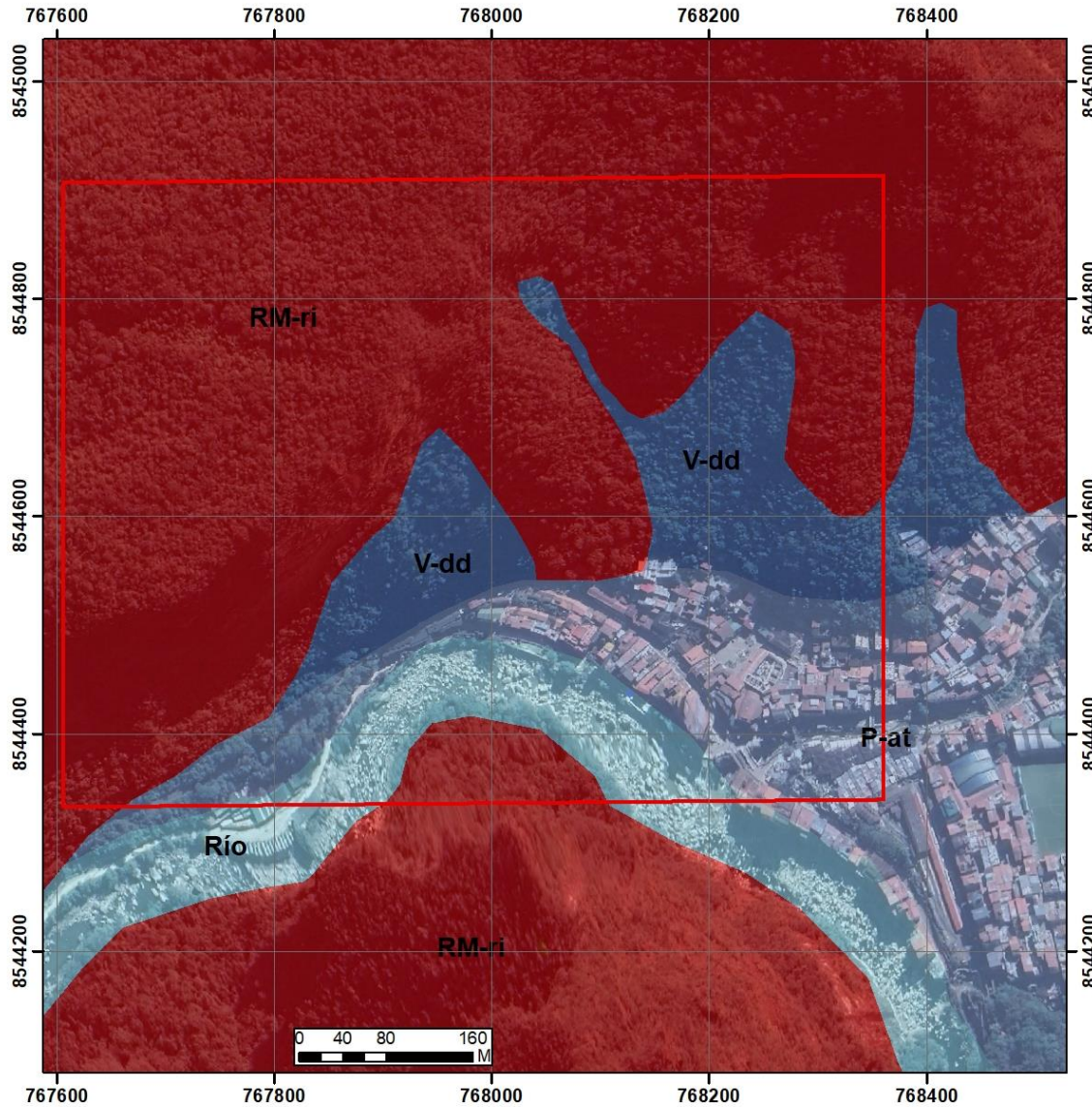
SENAMHI. (1988). Mapa de clasificación climática del Perú. Método de Thornthwaite. Eds. SENAMHI Perú, 50pp.

Vílchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Peña, F. (2020) - Peligro geológico en la región Cusco. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 74, 155 p.

ANEXO 1: MAPAS







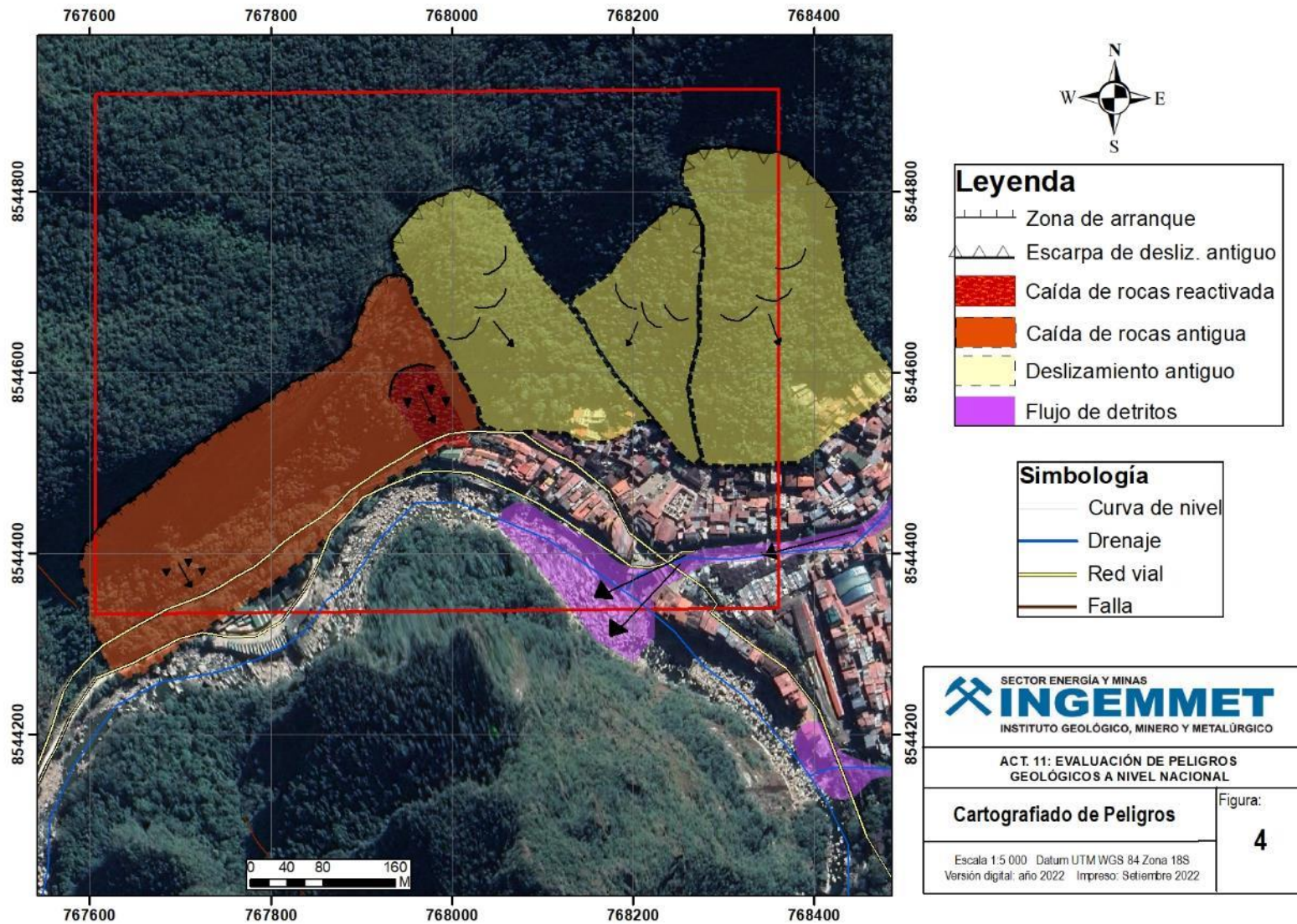
Leyenda

- RM-ri Montaña en roca intrusiva
- V-dd Vertiente con depósito de deslizamiento
- P-at Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial
- Río Cauce del río

Simbología

- Curva de nivel
- Drenaje
- Red vial

SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO	
ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL	
Mapa geomorfológico	Figura: 3
Escala 1:5 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18S Versión digital: año 2022 Impreso: Setiembre 2022	



ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES

DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES								
		TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL	<input type="checkbox"/>	Eluvial	<input type="checkbox"/>	Lacustre		
			<input type="checkbox"/>	Deluvial	<input type="checkbox"/>	Marino		
			<input type="checkbox"/>	Coluvial	<input type="checkbox"/>	Eólico		
			<input checked="" type="checkbox"/>	Aluvial	<input type="checkbox"/>	Orgánico		
			<input type="checkbox"/>	Fluvial	<input type="checkbox"/>	Artificial		
			<input type="checkbox"/>	Proluvial	<input type="checkbox"/>	Litoral		
			<input type="checkbox"/>	Glaciar	<input type="checkbox"/>	Fluvio glaciar		
GRANULOMETRÍA		FORMA	REDONDES		PLASTICIDAD			
	%							
<input type="checkbox"/>	10	Bolos	<input checked="" type="checkbox"/>	Esférica	<input checked="" type="checkbox"/>	Redondeado	<input type="checkbox"/>	Alta plasticidad
<input type="checkbox"/>	15	Cantos	<input type="checkbox"/>	Discoidal	<input checked="" type="checkbox"/>	Subredondeado	<input type="checkbox"/>	Med. Plástico
<input type="checkbox"/>	20	Gravas	<input checked="" type="checkbox"/>	Laminar	<input type="checkbox"/>	Anguloso	<input type="checkbox"/>	Baja Plasticidad
<input type="checkbox"/>	15	Gránulos	<input type="checkbox"/>	Cilíndrica	<input type="checkbox"/>	Subanguloso	<input checked="" type="checkbox"/>	No plástico
<input type="checkbox"/>	25	Arenas						
<input type="checkbox"/>	15	Limos						
<input type="checkbox"/>		Arcillas						
ESTRUCTURA		TEXTURA	CONTENIDO DE		%	LITOLOGÍA		
<input checked="" type="checkbox"/>	Masiva	<input type="checkbox"/>	Harinoso	<input type="checkbox"/>	Materia Orgánica	80	Intrusivos	
<input type="checkbox"/>	Estratificada	<input type="checkbox"/>	Arenoso	<input type="checkbox"/>	Carbonatos		Volcánicos	
<input type="checkbox"/>	Lenticular	<input checked="" type="checkbox"/>	Aspero	<input type="checkbox"/>	Sulfatos		Metamórficos	
						20	Sedimentarios	
COMPACIDAD								
SUELOS FINOS				SUELOS GRUESOS				
Limos y Arcillas		Arenas		Gravas				
<input checked="" type="checkbox"/>	Blanda	<input checked="" type="checkbox"/>	Suelta	<input checked="" type="checkbox"/>	Suelta			
<input type="checkbox"/>	Compacta	<input type="checkbox"/>	Densa	<input type="checkbox"/>	Med. Consolidada			
<input type="checkbox"/>	Dura	<input type="checkbox"/>	Muy Densa	<input type="checkbox"/>	Consolidada			
				<input type="checkbox"/>	Muy Consolidada			
CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.								
SUELOS GRUESOS				SUELOS FINOS				
<input type="checkbox"/>	GW	<input type="checkbox"/>	GC	<input type="checkbox"/>	ML	<input type="checkbox"/>	CH	
<input checked="" type="checkbox"/>	GP	<input type="checkbox"/>	SW	<input type="checkbox"/>	CL	<input type="checkbox"/>	OH	
<input type="checkbox"/>	GM	<input type="checkbox"/>	SP	<input type="checkbox"/>	OL	<input type="checkbox"/>	PT	
<input type="checkbox"/>	SM	<input type="checkbox"/>	SC	<input type="checkbox"/>	MH			

Tabla: 01: Descripción de depósitos aluviales

DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES							
		TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL	<input type="checkbox"/>	Eluvial	<input type="checkbox"/>	Lacustre	
			<input type="checkbox"/>	Deluvial	<input type="checkbox"/>	Marino	
			<input checked="" type="checkbox"/>	Coluvial	<input type="checkbox"/>	Eólico	
			<input type="checkbox"/>	Aluvial	<input type="checkbox"/>	Orgánico	
			<input type="checkbox"/>	Fluvial	<input type="checkbox"/>	Artificial	
			<input type="checkbox"/>	Proluvial	<input type="checkbox"/>	Litoral	
			<input type="checkbox"/>	Glaciar	<input type="checkbox"/>	Fluvio glaciar	
GRANULOMETRÍA		FORMA		REDONDES		PLASTICIDAD	
	%						
<input type="checkbox"/>	Bolos	<input type="checkbox"/>	Esférica	<input type="checkbox"/>	Redondeado	<input type="checkbox"/>	Alta plasticidad
<input type="checkbox"/>	40 Cantos	<input type="checkbox"/>	Discoidal	<input type="checkbox"/>	Subredondeado	<input checked="" type="checkbox"/>	Med. Plástico
<input type="checkbox"/>	20 Gravas	<input type="checkbox"/>	Laminar	<input checked="" type="checkbox"/>	Anguloso	<input type="checkbox"/>	Baja Plasticidad
<input type="checkbox"/>	20 Gránulos	<input type="checkbox"/>	Cilíndrica	<input checked="" type="checkbox"/>	Subanguloso	<input type="checkbox"/>	No plástico
<input type="checkbox"/>	10 Arenas						
<input type="checkbox"/>	10 Limos						
<input type="checkbox"/>	Arcillas						
	ESTRUCTURA	TEXTURA	CONTENIDO DE		%	LITOLOGÍA	
<input type="checkbox"/>	Masiva	<input type="checkbox"/>	Harinoso	<input type="checkbox"/>	Materia Orgánica	<input type="checkbox"/>	70 Intrusivos
<input type="checkbox"/>	Estratificada	<input type="checkbox"/>	Arenoso	<input type="checkbox"/>	Carbonatos	<input type="checkbox"/>	Volcánicos
<input checked="" type="checkbox"/>	Lenticular	<input checked="" type="checkbox"/>	Aspero	<input type="checkbox"/>	Sulfatos	<input type="checkbox"/>	Metamórficos
						<input type="checkbox"/>	30 Sedimentarios
	COMPACIDAD						
	SUELOS FINOS			SUELOS GRUESOS			
	Limos y Arcillas		Arenas	Gravas			
<input type="checkbox"/>	Blanda	<input checked="" type="checkbox"/>	Suelta	<input checked="" type="checkbox"/>	Suelta		
<input type="checkbox"/>	Compacta	<input type="checkbox"/>	Densa	<input type="checkbox"/>	Med. Consolidada		
<input type="checkbox"/>	Dura	<input type="checkbox"/>	Muy Densa	<input type="checkbox"/>	Consolidada		
				<input type="checkbox"/>	Muy Consolidada		
	CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.						
	SUELOS GRUESOS			SUELOS FINOS			
<input type="checkbox"/>	GW	<input type="checkbox"/>	GC	<input type="checkbox"/>	ML	<input type="checkbox"/>	CH
<input type="checkbox"/>	GP	<input type="checkbox"/>	SW	<input type="checkbox"/>	CL	<input type="checkbox"/>	OH
<input checked="" type="checkbox"/>	GM	<input type="checkbox"/>	SP	<input type="checkbox"/>	OL	<input type="checkbox"/>	PT
<input type="checkbox"/>	SM	<input type="checkbox"/>	SC	<input type="checkbox"/>	MH		

Tabla: 02: Descripción de depósitos de deslizamiento.

ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

A continuación, se describen algunas propuestas de medidas estructurales generales para mitigar la zona afectada, estas medidas estructurales tienen el objetivo de minimizar los daños frente a la ocurrencia de eventos geodinámicos y deberán estar sustentadas en estudios de ingeniería.

- Barreras estáticas: Constituidas con elementos metálicos, se comportan de forma acertada ante impactos de muy baja energía, su principio de funcionamiento está basado en el empleo de soluciones potentes basado en elementos rígidos y de gran inercia que se oponen al paso de las rocas. Para energías superiores a los 50 kJ son inadecuadas y resultan literalmente arrasadas por el paso de las rocas.
- Barreras dinámicas: Es una barrera que, al igual que la anterior, se coloca perpendicular al eje de la trayectoria probable del material caído, con el objeto de interceptarlo y evitar que llegue a la parte baja del talud (figura 8). En este caso se pone una estructura de elevada deformabilidad, gracias a la cual se puede absorber una elevada cantidad de energía sin que los esfuerzos en los diferentes elementos de la misma sean excesivamente elevados.

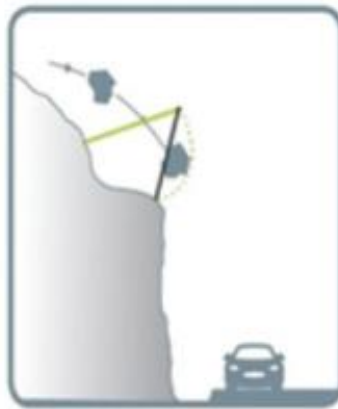


Figura 8. Esquema de una barrera dinámica (Luis Fonseca, 2010).

- Desquinche manual: Consiste en Remover las piedras y material suelto de los taludes, teniendo en cuenta las medidas de seguridad establecidas, se ejecuta con diversas actividades para regularizar y estabilizar el talud, con herramientas manuales, en forma localizada.
- Mallas de guiado: Son formadas por alambre de acero, las que se deben tender en la zona de las reactivaciones de caídas, desde la cabecera hasta el pie. Este método Sirve para guiar a los bloques en su caída, evitando que reboten y salten hacia afuera, y acumularlos en la base (figura 9).



Figura 9. Esquema de una Malla de Guiado (Luis Fonseca, 2010).

- Sistemas de cables y mallas metálicas: estos son fijados o anclados a las laderas. Consiste en la colocación de una malla metálica, de doble o triple torsión, sobre la que se superponen una serie de cables formando una retícula, anclados a la roca en sus extremos y tensionados.