

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7499

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR CAÍDA DE ROCAS EN EL CENTRO POBLADO DE SUNE GRANDE

Departamento: Huancavelica

Provincia: Tayacaja

Distrito: Tintay Puncu



ABRIL
2024

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR CAÍDA DE ROCAS EN EL CENTRO POBLADO DE SUNE GRANDE

(Distrito Tintay Puncu, provincia Tayacaja, departamento Huancavelica)

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

Equipo de investigación:

Mauricio A. Núñez Peredo

Norma L. Sosa Senticala

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). "Evaluación de peligros geológicos por caída de rocas en el centro poblado de Sune Grande". Distrito Tintay Puncu, provincia Tayacaja, departamento Huancavelica, informe técnico N°A7499, Ingemmet 51p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Objetivos del estudio.....	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	3
1.3. Aspectos generales.....	4
1.3.1. Ubicación.....	4
1.3.2. Población.....	4
1.3.3. Accesibilidad.....	4
1.3.4. Clima	6
1.3.5. Zonificación sísmica	7
2. DEFINICIONES	8
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	9
2.1. Unidades litológicas	10
2.1.1. Complejo metamórfico de la Cordillera Oriental.....	10
2.1.3. Depósitos cuaternarios	12
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	13
4.1. Pendientes del terreno.....	13
4.2. Unidades geomorfológicas	14
4.2.1. Subunidad de montañas en rocas intrusivas (M-ri):.....	14
4.2.2. Subunidad de montañas en rocas metamórficas (M-rm):.....	15
4.2.3. Subunidad de piedemonte coluvio-deluvial (P-cd):	16
4.2.4. Subunidad de piedemonte coluvial (P-c):.....	16
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	17
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa.....	18
5.2. Caída de rocas	18
5.2.1. Características visuales.....	22
5.2.2. Análisis de perfil transversal	22
5.2.3. Factores condicionantes.....	24
5.2.4. Factores detonantes o desencadenantes	24
5.2.5. Daños por peligros geológicos.....	24
5.3. Simulación de caída de rocas	26
5.3.1. Metodología.....	26
5.3.2. Resultados	27
6. CONCLUSIONES.....	29
7. RECOMENDACIONES.....	30

8. BIBLIOGRAFÍA.....	31
ANEXO 1: MAPAS.....	32
ANEXO 2: SIMULACIONES DE CAÍDAS DE ROCAS.....	37
ANEXO 3: ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN EN LA ZONA EVALUADA.....	42

RESUMEN

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 el área de estudio afloran rocas de origen metamórfico, compuesto por esquistos de tonalidad gris oscura, los cuales destacan por su exfoliación pronunciada y su intenso fracturamiento, donde se han identificado 4 sistemas de discontinuidades principales. El macizo rocoso se encuentra moderadamente meteorizado.

Las geoformas identificadas son montañas modeladas en rocas intrusivas y metamórficas, piedemonte conformado por depósitos de vertiente coluvio-deluvial y coluvial. Las laderas de montañas presentan pendientes variables de fuerte a muy fuerte (15° a 45°).

El área evaluada presenta varios bloques inestables, ya sea como bloques individuales separados del macizo rocoso, o bloques sueltos acumulados en las laderas, susceptibles a generar caídas y/o derrumbes, comprometiendo la seguridad física de viviendas y personas ubicadas ladera abajo.

El principal sector crítico, susceptible a desprenderse, se ubica a 340 m hacia el oeste de la plaza principal del centro poblado Sune Grande, en la ladera este del cerro Llactajuruy. Desde dicha ladera, de acuerdo al testimonio de los pobladores, se generó la caída de un bloque de roca con diámetro de 1.20 m en febrero del 2021.

El macizo rocoso se encuentra meteorizado y con fracturas abiertas; lo que se evidencia por un bloque aislado con una separación de 10 cm. Este bloque, de forma prismática, presenta una longitud de 4.8 m, un ancho de 1.6 m y una profundidad de 2.0 m aproximadamente, que hacen un volumen de ~15.36 m³. Este bloque es susceptible a desprenderse.

Los resultados de las simulaciones realizadas¹, muestran que los bloques de rocas situados en la ladera este del Cerro Llactajuruy, darán lugar a episodios de caída de rocas que pueden llegar afectar las viviendas ubicadas laderas abajo, estimándose alcances máximos entre 320 m a 380 m, velocidades máximas de 34 m/s y con fuerzas cinéticas de impacto de hasta 1500 KJ.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y dinámicas mencionadas anteriormente, el centro poblado de Sune Grande se considera como **Zona Crítica** y de **Peligro Alto** a la ocurrencia de caída de rocas y derrumbes hacer reactivados con lluvias intensas y/o prolongadas y/o sismos.

Finalmente, se brindan recomendaciones a fin de que las autoridades competentes pongan en práctica, como realizar el desquinche de las rocas sueltas que puedan generar procesos de caída de rocas, instalar mallas ancladas, barreras dinámicas, red de anillos, entre otros, utilizados en forma independiente o combinada, con el fin de

¹ Para el modelamiento se uso el Software RocFall v.4.0 - Rocscience

reducir el peligro frente a la caída de rocas, implementar un sistema de monitoreo visual y constante de la zona, entre otros.

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 (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud del Gobierno Regional de Huancavelica, según Oficio N°141-2023/GOB.REG.HVCA/GR-ORDNSCGRDyDS; es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa y otros peligros geológicos en el centro poblado de Sune Grande.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Mauricio Núñez Peredo y Norma Sosa Senticala, para realizar la evaluación de peligros geológicos respectiva, en el sector previamente mencionado, la cual se realizó en coordinación con las autoridades locales del centro poblado de Sune Grande.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: etapa 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, cartografiado e interpretación, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración del Gobierno Regional de Huancavelica e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – Sinagerd, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - 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. A fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en la localidad de Sune Grande.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes de la ocurrencia de peligros geológicos.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del Ingemmet, que incluyen sectores aledaños a las zonas de evaluación (informes técnicos) y otros estudios regionales relacionados a temas de geología y geodinámica externa (boletines), de los cuales destacan los siguientes:

- A) Boletín N°69, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro Geológico en la región Huancavelica” (Vílchez *et al.*, 2019). Este estudio se inventario 1740 ocurrencias de movimientos en masa en toda la región, donde las caídas de rocas muestran la mayor ocurrencia (37.96%).

Así mismo, se muestra el mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:250 000 (figura 1) donde la localidad de Sune Grande y alrededores, se localizan en zonas de susceptibilidad alta a muy alta.

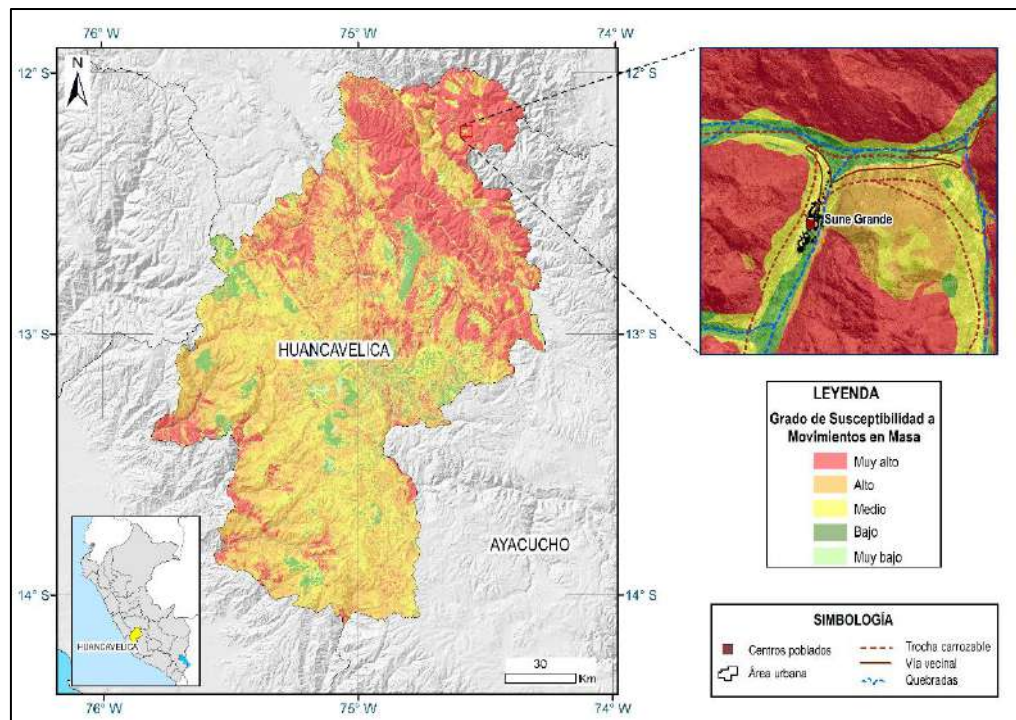


Figura 1: Susceptibilidad por movimientos en masa en la localidad de Sune Grande y alrededores. **Fuente:** Vílchez *et al.*, 2019

- B) Boletín, Serie A, Carta Geológica Nacional: “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Pampas (25-n) (Cerrón & Ticona, 2003). Describe las unidades litológicas a escala 1:50 000, donde se exponen principalmente rocas metamórficas de edad neoproterozoica de naturaleza gneis, anfibolita y esquistos.
- C) Boletín N°12 serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología del cuadrángulo de Pampas” (Guizado, & Landa, 1964). Describe la geología regional presente en la zona evaluada.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El centro poblado de Sune Grande se ubica hacia la margen derecha del Cerro Llactajulluy. Políticamente pertenece al distrito Tintay Puncu, provincia Tayacaja, departamento de Huancavelica (figura 2).

Cuenta con las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S):

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	544987.3677	8648967.697	-12.22105746°	-74.58640083°
2	544996.2601	8647835.411	-12.23129661°	-74.58630316°
3	543985.5497	8647827.473	-12.23138221°	-74.59559538°
4	543976.6574	8648959.760	-12.22114305°	-74.59569269°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
	544447.9111	8648386.900	-12.22631702°	-74.59135226°

1.3.2. Población

Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, la distribución poblacional en el distrito de Tintay Puncu asciende a 3010 habitantes y 1379 viviendas censadas; sin embargo, el poblado de Sune Grande alberga una población de 106 habitantes y 52 viviendas (tabla 2).

Tabla 2. Distribución poblacional del Centro Poblado de Sune Grande.

DISTRITO	POBLADO	POBLACIÓN	VIVIENDA
TINTAY PUNCO	Sune Grande	106	52

1.3.3. Accesibilidad

El acceso se realizó por vía terrestre desde la ciudad de Lima, mediante la siguiente ruta (tabla 3):

Tabla 3. Ruta de acceso.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – Huancayo	Asfaltada	307	7 horas 05 min
Huancayo – Colcabamba	Asfaltada	125	3 horas 20 min
Colcabamba – Sune Grande	Asfaltada	71	2 horas 40 min

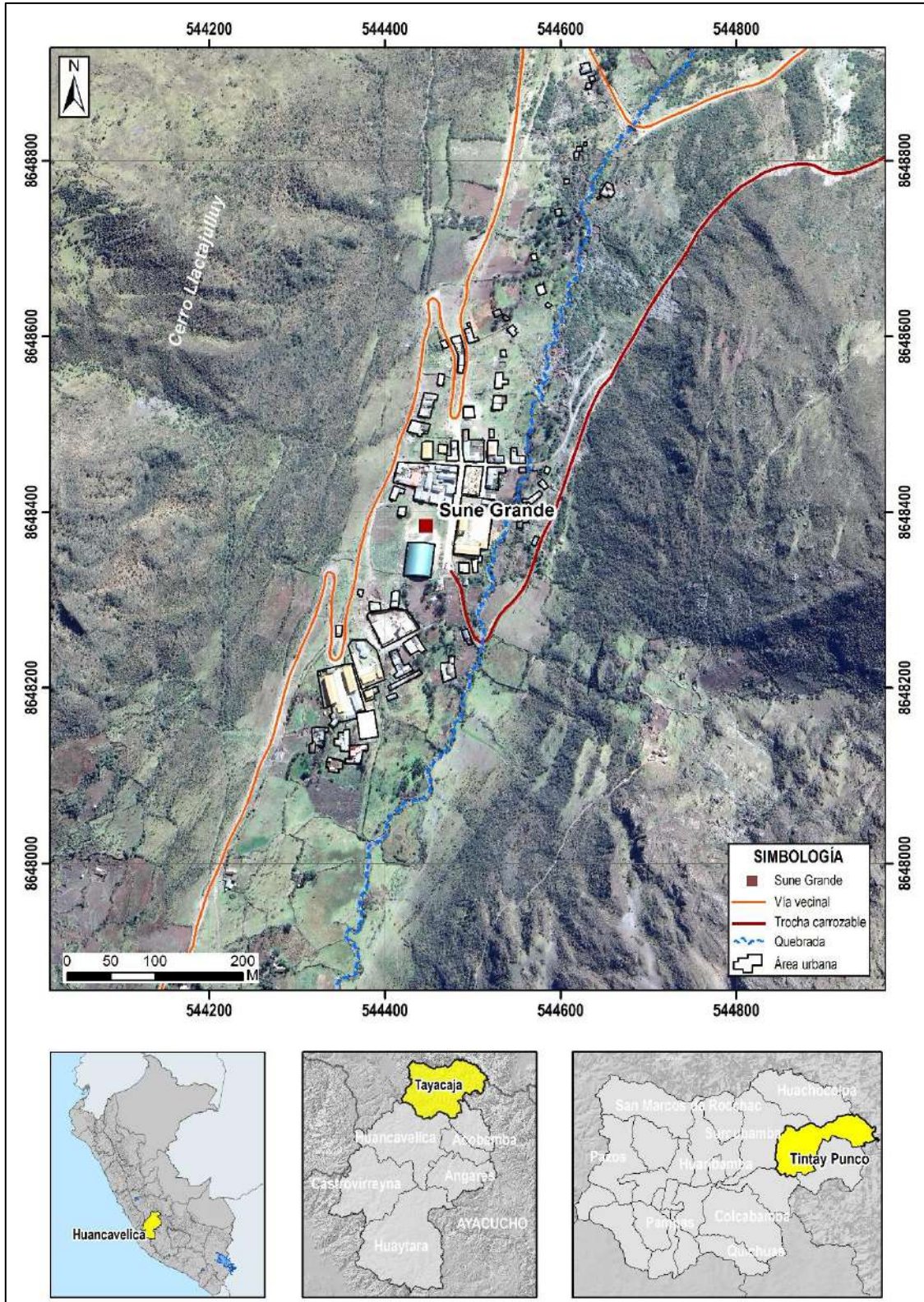


Figura 2: Ubicación del centro poblado de “Sune Grande”. Distrito Tintay Punco, provincia Tayacaja, departamento Huancavelica.

1.3.4. Clima

Según la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), la localidad de Sune Grande presenta un clima frío, lluvioso, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.

En cuanto a la cantidad de lluvia, según datos meteorológicos y pronóstico del tiempo del servicio de aWhere (que analiza los datos de 2 millones de estaciones meteorológicas virtuales en todo el mundo, combinándolos con datos raster y de satélite), la precipitación máxima registrada en el periodo 2020-2023 fue de 33.9 mm, (figura 3). Cabe recalcar que las lluvias son de carácter estacional, es decir, se distribuyen muy irregularmente a lo largo del año, produciéndose generalmente de diciembre a abril.

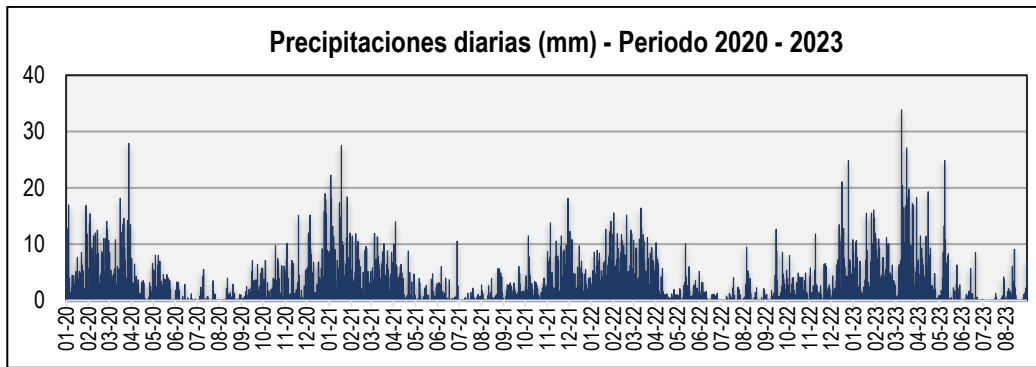


Figura 3. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2020-2023. La figura permite analizar la frecuencia de las anomalías en las precipitaciones pluviales que inducen al desarrollo de la erosión del suelo. Fuente: Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/9645112>.

La temperatura anual oscila entre un máximo de 21.0°C en verano y un mínimo de -1.0°C en invierno (figura 4). Así mismo, presenta una humedad promedio de 67.70% durante casi todo el año, (Servicio aWhere).

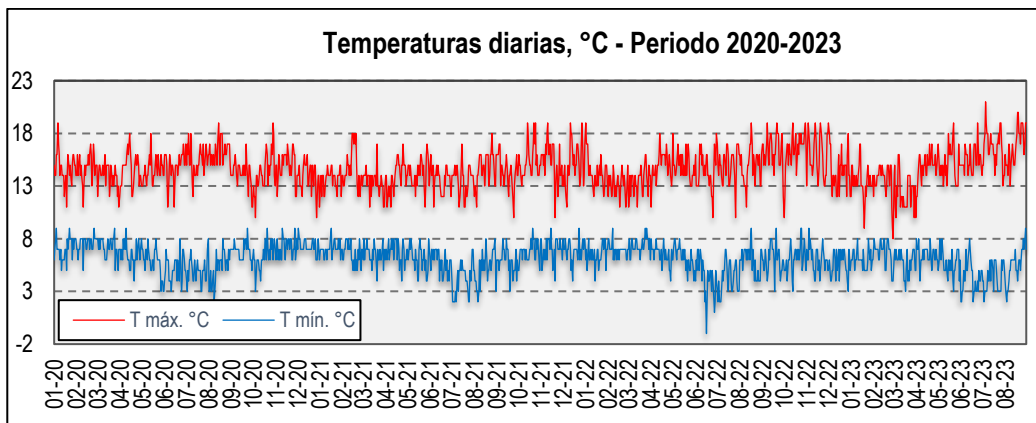


Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo 2020-2022. La figura permite analizar la variedad, saltos extremos de temperatura, duración y regularidad. Fuente: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/9645112>.

1.3.5. Zonificación sísmica

De acuerdo a los niveles de zonificación sísmica en el Perú (figura 5); el área de estudio se ubica en la Zona 2 (sismicidad Intermedia), determinándose aceleraciones de 0.25 g.

La zonificación propuesta, se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y atenuación de estos con la distancia epicentral, así como la información neotectónica. A cada zona se asigna un factor Z según se indica en el cuadro 3. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad (DS No. 003-2016-VIVIENDA).

Tabla 3. Factores de zona Z.

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

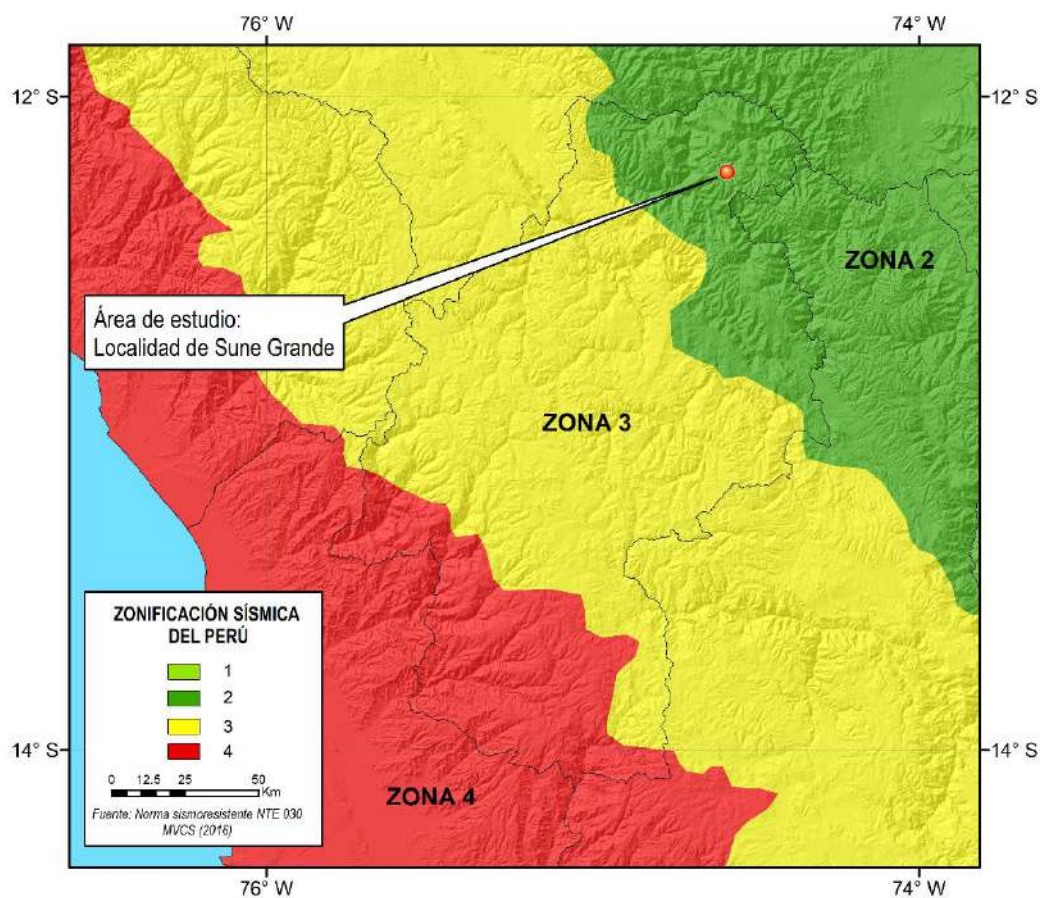


Figura 5. Zonificación sísmica del Perú.

Fuente: Norma sismorresistente NTE 030 MVCS, 2016.

2. DEFINICIONES

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; es por ese motivo, considerando como base el libro de “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), se desarrolla algunas definiciones relevantes en términos sencillos como son:

ACTIVIDAD: La actividad de un movimiento en masa se refiere a tres aspectos generales del desplazamiento en el tiempo de la masa de material involucrado: el estado, la distribución y el estilo de la actividad. El primero describe la regularidad o irregularidad temporal del desplazamiento; el segundo describe las partes o sectores de la masa que se encuentran en movimiento; y el tercero indica la manera como los diferentes movimientos dentro de la masa contribuyen al movimiento total. El estado de actividad de un movimiento en masa puede ser: activo, reactivado, suspendido, inactivo latente, inactivo abandonado, inactivo estabilizado e inactivo relicto (WP/WLI, 1993).

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

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

CAÍDA: Tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de la superficie de un talud, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire, pero con algunos golpes, rebotes y rodamiento. Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. Algunos autores, como Corominas y Yague (1997) denominan colapso a los casos en que el material cae de manera eminentemente vertical

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

FACTOR CONDICIONANTE: Se refiere al factor natural o antrópico que condiciona o contribuye a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituye el evento detonante del movimiento.

FACTOR DETONANTE: Acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera, la sobrecarga de una ladera, entre otros.

INACTIVO: Estado de actividad de un movimiento en masa en el cual la masa de suelo o roca actualmente no presenta movimiento, o que no presenta evidencias de movimientos en el último ciclo estacional (WP/WLI, 1993).

INACTIVO LATENTE: Movimiento en masa actualmente inactivo, pero en donde las causas o factores contribuyentes aún permanecen (WP/WPI, 1993).

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.

MOVIMIENTO 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.

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, huacos, flujos de lodo, hundimientos, entre otros), erosión e inundaciones.

SUSCEPTIBILIDAD: Está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso de movimientos en masa determinado.

TALUD: Superficie artificial inclinada de un terreno que se forma al cortar una ladera, o al construir obras como por ejemplo un terraplén.

ZONA CRÍTICA: Las zonas o áreas consideradas como críticas (Fidel et al., 2006), presentan recurrencia en algunos casos periódica a excepcional de peligros geológicos y geohidrológicos; alta susceptibilidad a procesos geológicos que puede causar desastres y alto grado de vulnerabilidad.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología local, se desarrolló teniendo como base el mapa geológico del cuadrángulo de Pampas (25-n-III), a escala 1: 50,000 (Cerrón & Ticona, 2002); así como la referencia del Boletín N°A12: "Geología del cuadrángulo de Pampas (Guizado & Landa, 1964) y la memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Pampas (25-n) a escala 1:50, 000 (Cerrón & Ticona, 2003), publicados por Ingemmet.

De igual manera, esta información se complementó con trabajos de interpretación de imágenes de satélite, vuelos de dron y observaciones de campo.

2.1. Unidades litológicas

Las unidades litológicas que afloran en el área de estudio son principalmente de origen metamórfico de edad Proterozoico e intrusivo. Estas unidades se encuentran cubiertas por depósitos recientes coluvio-deluvial, coluvial y de origen glaciario, que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad, (anexo 1: Mapa 01).

2.1.1. Complejo metamórfico de la Cordillera Oriental

Corresponde a una secuencia de rocas metamórficas que se presentan como un bloque levantado y limitado por fallas. Sus afloramientos se encuentran de manera continua con dirección NO-SE a lo largo de la Cordillera Oriental. Se presentan formando cadenas de cerros elevados y lomadas alargadas, de topografía abrupta.

Tomando como base las características litológicas y tipo de facie metamórfica, las rocas del Complejo Metamórfico han sido subdivididas en tres secuencias (Cerrón & Ticona, 2003), de las cuales, una aflora en la zona evaluada:

Gneis, anfibolita y esquistos (PE- gn/an/es): Las rocas de esta secuencia se presentan formando una cadena de cerros altos con cumbres agrestes conformada por pequeños picos. Los esquistos son las rocas más abundantes y se presentan con una coloración gris verdosa, bastante deformados, con dos direcciones predominantes de esquistosidad N 40° O y N 60° O y un bandeamiento bien marcado producidos por varias fases de deformación (Cerrón & Ticona, 2003).

En el área de estudio, principalmente afloran esquistos de tonalidad gris oscura, los cuales destacan por su exfoliación pronunciada y su pronunciado fracturamiento (fotografías 2 y 3). En general, estas rocas presentan una resistencia media (50-100 Mpa), medianamente a muy fracturadas (4 sistemas de discontinuidades principales), con espaciamientos próximas a medianamente separadas (0.10-0.30 m) y abiertas (1.0 – 5.0 mm); además la roca se muestra moderadamente meteorizado.

2.1.2. Dioritas (Ptr-di-su)

Hacia el este del área de estudio, aflora un cuerpo de naturaleza diorítica, de forma semicircular, formando unos conspicuos terrenos de laderas de fuerte pendiente. Se encuentra en contacto fallado con las rocas metamórficas descritas anteriormente.

La diorita es de tonalidad mesócrata, con cristales de grano medio, fanerítica, equigranular, bien desarrollados y de forma anhedrales, donde se distinguen feldespatos y menores porciones de hornblenda y biotita (Cerrón & Ticona, 2003).



Fotografía 1. Esquistos del Complejo Metamórfico de la Cordillera Oriental en el cerro Llactajulluy, que aflora hacia el oeste de la zona evaluada. Coordenadas referenciales UTM WGS-84, 18S: E: 54415; N: 8648457.



Fotografía 2. Vista a detalle de los esquistos, donde es posible apreciar las discontinuidades por esquistosidad y su pronunciado fracturamiento. Coordenadas referenciales UTM WGS-84, 18S: E: 544159.7; N: 8648462.4.

2.1.3. Depósitos cuaternarios

a. Depósito coluvio-deluvial (Q-cd):

Corresponde a una acumulación sucesiva y alternada de materiales de origen coluvial y deluvial, los cuales no es posible diferenciarlos. Se localizan en forma caótica al pie de laderas por acción de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía. Están compuestos por fragmentos líticos, angulosos a subangulosos con diámetros que varían de 0.02 a 0.25 m envueltos en una matriz areno arcillo-limoso, producto de alteración de los esquistos; además se presentan medianamente consolidados (fotografía 3).



Fotografía 3. Vista de depósitos coluvio-deluvial (Q-cd), formando por fragmentos líticos, angulosos a subangulosos, heterométricos, semiconsolidado, producto de la alteración de los esquistos.

b. Depósito coluvial (Q-cl):

Son depósitos inconsolidados, compuestos por fragmentos de roca angulosos, heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, en forma de conos o canchales. Los bloques más gruesos se depositan en la base y los tamaños menores disminuyen gradualmente hacia el ápice. Carecen o tienen escasa matriz, son sueltos sin cohesión. Conforman taludes de reposo poco estables y se encuentran acumulados al pie de taludes escarpados.

c. Depósito glacial (Q-gl):

Corresponde a depósitos inconsolidados de origen glacial que fueron transportados y redepositados por escorrentía pluvial. Corresponde a las acumulaciones heterométricas de gravas angulosas, bloques, guijarros y arena, dispuestas sin estratificación en una abundante matriz de limo y arcilla. Las masas de acumulación están formadas por detritos de gelifracción recientes.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

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

En el anexo 1: Mapa 02, se presenta el mapa de pendientes elaborado en base a información del modelo de elevación digital (DEM) de 0.15 m de resolución obtenido de sobrevuelos de dron (figuras 6).

De acuerdo a este mapa, la zona de evaluación se localiza en laderas de montañas cuyos rangos de pendientes van desde muy fuerte (25° a 45°) a muy escarpado ($>45^\circ$). Este rango de pendientes es el resultado de una intensa erosión y desgaste de la superficie terrestre (figuras 7).

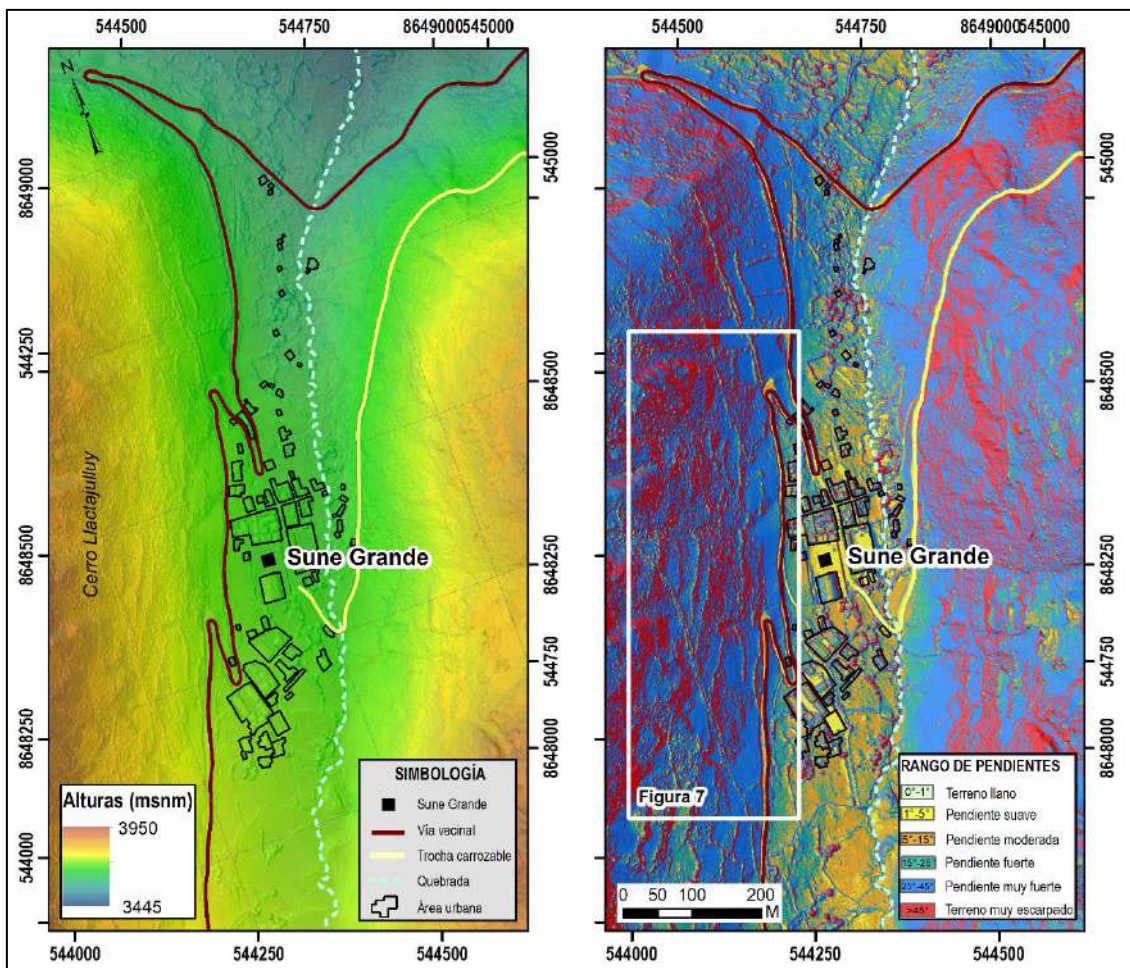


Figura 6. Izquierda: Alturas del terreno. Derecha: Pendientes de los terrenos; generados en base al modelo de elevación digital de 0.15 m de resolución, obtenidos del levantamiento fotogramétrico con dron.



Figura 7. Vista de la inclinación de las laderas colindantes al poblado de Sune Grade, donde se muestra pendientes muy fuerte a muy escarpadas (25° - $>45^\circ$).

4.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (Anexo 1: Mapa 03), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación con la erosión, denudación y sedimentación; además se usó como referencia el mapa geomorfológico regional a escala 1:250 000 elaborado por Ingemmet.

En la zona evaluada y alrededores se han diferenciado las siguientes geformas:

A) Unidad de montañas

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel base local; diferenciándose las siguientes subunidades según el tipo de roca que las conforman y los procesos que han originado su forma actual, (Villota, 2005).

4.2.1. Subunidad de montañas en rocas intrusivas (M-ri):

Corresponde a las cadenas montañosas modeladas en rocas intrusivas. Esta subunidad está conformada por montañas con laderas y crestas de topografía abrupta (25° - $>45^\circ$) con elevaciones que alcanzan los 4000 m s.n.m. Se encuentran constituidos por rocas intrusivas de composición intermedia a ácida, principalmente de tipo diorítico; estos se meteorizan y forman suelos arenosos y arcillosos (figura 8).

Geodinámicamente, se asocian a procesos de caída de rocas y derrumbes.



Figura 8. Vista de las subunidades de montaña modelada en roca intrusivas (M-ri) y montaña modelada en roca metamórfica (M-rm), hacia el este del poblado de Sune Grande.

4.2.2. Subunidad de montañas en rocas metamórficas (M-rm):

Corresponde a las cadenas montañosas en donde los procesos denudativos (fluvio-erosionales, glaciar y glaciofluvial) afectaron a las rocas metamórficas; estas montañas son antiguas y se halla expuestas hacia ambos márgenes del centro poblado (fotografía 4). Presentan laderas con pendientes moderadas a abruptas (15° a 45°), incluso llega a tener paredes semiverticalizadas de pendientes mayores a 45° , además presentan cumbres redondeadas a agudas que fueron afectadas por actividad glaciar, formando valles glaciares.

El patrón de drenaje es paralelo a subdendrítico, con valles profundos en forma de U. Geodinámicamente, están asociados a eventos de caídas de rocas y derrumbes.



Fotografía 4. Vista de la subunidad de montaña modelada en rocas metamórficas. Sus relieves se encuentran asociadas a procesos dominantes de caídas de roca y derrumbes.

B) Unidad de Piedemonte

Corresponde a la acumulación de material muy heterogéneo, constituido por bloques, cantos, arenas, limos y arcilla inconsolidados ubicado al pie de las cadenas montañosas; estos depósitos ocupan grandes extensiones. Se identificó las siguientes subunidades:

4.2.3. Subunidad de piedemonte coluvio-deluvial (P-cd):

Son depósitos inconsolidados, localizados al pie de laderas de montañas, resultantes de la acumulación de material de origen coluvial y deluvial. Los principales agentes formadores de esta subunidad son los procesos de erosión de suelos, la gravedad, las lluvias, el viento, agua de escorrentía superficial y son altamente susceptibles a sufrir procesos geodinámicos como derrumbes.

Están compuestos principalmente por fragmentos líticos de rocas metamórficas dioríticos, heterométricos. Estas geoformas se encuentran ampliamente desarrolladas en las laderas de montañas, con pendientes predominantes de muy fuerte a muy escarpado (25° - $>45^\circ$) y fáciles de remover.

4.2.4. Subunidad de piedemonte coluvial (P-c):

Corresponde a las geoformas originados por procesos gravitacionales, varían de pequeños a grandes dimensiones, probablemente detonados por lluvias excepcionales y/o prolongadas o actividad sísmica (figura 9).

Esta subunidad corresponde a la combinación de geoformas formadas por la acumulación de depósitos de movimientos en masa recientes y acumulaciones de material movilizado por la escorrentía superficial que se acumulan lentamente al pie de las montañas.



Figura 9. Vista de las subunidades piedemonte coluvial (P-c) originado por procesos gravitacionales y acumulados al pie de las montañas.

C) Unidad de crioforma periglacial acumulativa

4.2.5. Vertiente de gelifractos (VG)

Sub unidad geomorfológica formada por la acumulación gravitacional de detritos, los cuales son producidos por la meteorización mecánica (gelifracción) del substrato rocoso que conforman las paredes del valle típicamente en forma de U.

Estos materiales se encuentran formando talud de detritos, de granulometría variada; su pendiente es moderada a fuerte (5°-25°) y sobre la cual se tiene corrientes fluviales que están removiendo y transportando materiales depositados por el glaciar. Sobre esta subunidad se encuentra asentado el poblado de Sune Grande (figura 10).



Figura 10. Vista hacia el suroeste de las distintas subunidades geomorfológicas: La subunidad de vertiente de gelifractos (VG) y sobre la cual se asienta la población de Sune Grande; la subunidad de piedemonte coluvial (P-c) y coluvio-deluvial (P-cd) conformado por material inconsolidados localizados al pie de las subunidades de montañas en rocas intrusivas (M-ri) y metamórficas (M-rm).

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos activos e inactivos latentes identificados en la localidad de Sune Grande y alrededores corresponden a los subtipos agrupados en la clase de movimientos en masa de tipo caída de rocas (anexo 1: Mapa 4).

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

La caracterización de estos eventos, se realizó en base a la información obtenida durante los trabajos de campo, donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través del cartografiado geológico y geodinámico, basado en la observación y descripción morfométrica in situ; de igual modo se tomó datos GPS, fotografías a nivel de terreno y levantamiento fotogramétrico con dron, a partir del cual se obtuvo un modelo digital de terreno y un ortomosaico con una resolución de 0.15 y 0.05 cm/pixel respectivamente, complementada con el análisis de imágenes satelitales.

5.2. Caída de rocas

En las laderas superiores inmediatas al lado suroeste del centro poblado de Sune Grande, se han evidenciado varios bloques inestables (BI), ya sea como bloques individuales separados del macizo rocoso, o bloques sueltos acumulados en las laderas, susceptibles a desprenderse pendiente abajo, comprometiendo la seguridad física de viviendas y personas ubicadas ladera abajo. (figura 11).

Tabla 4. Ocurrencias de bloques inestables susceptibles a la ocurrencia de caída de rocas.

N°	COORDENADAS UTM			Ocurrencia
	Norte	Este	Cota	
BI 1	8648458	544159	3829	Bloque inestable
BI 2	8648462	544160	3852	Bloque inestable
BI 3	8648472	544163	3854	Bloque inestable
BI 4	8648467	544143	3562	Bloques inestables

El principal sector crítico, susceptible a desprenderse se ubica a 340 m hacia el oeste desde la plaza principal del centro poblado; el cual, de acuerdo con testimonio de los pobladores, en febrero del 2021 (figura 12), se generó la caída de un bloque de roca con diámetro de 1.20 m (figura 13), proveniente de la ladera este del cerro Llactajuruy que afectó un puesto de salud y postes de luz.

Así mismo, los pobladores mencionan que años anteriores se tenían caídas de rocas esporádicas provenientes de la misma ladera, pero de menor tamaño (0.38 m) y que no llegan a ocasionar mayores daños a población.

La ladera fuente tiene forma abrupta, con leves variaciones de pendiente, mayormente superiores a 45° orientadas hacia el SE; además el área presenta escasa vegetación nativa.

El macizo rocoso se encuentra meteorizado y con fracturas abiertas; lo que se evidencia por un bloque aislado con una separación de 10 cm. Este bloque, de forma prismática, presenta una longitud de 4.8 m, un ancho de 1.6 m y una profundidad de 2.0 m aproximadamente, que hacen un volumen de ~15.36 m³ (figura 14). Considerando el tipo de roca y su densidad (2,7), se estiman ~590 toneladas de material susceptible a caer.

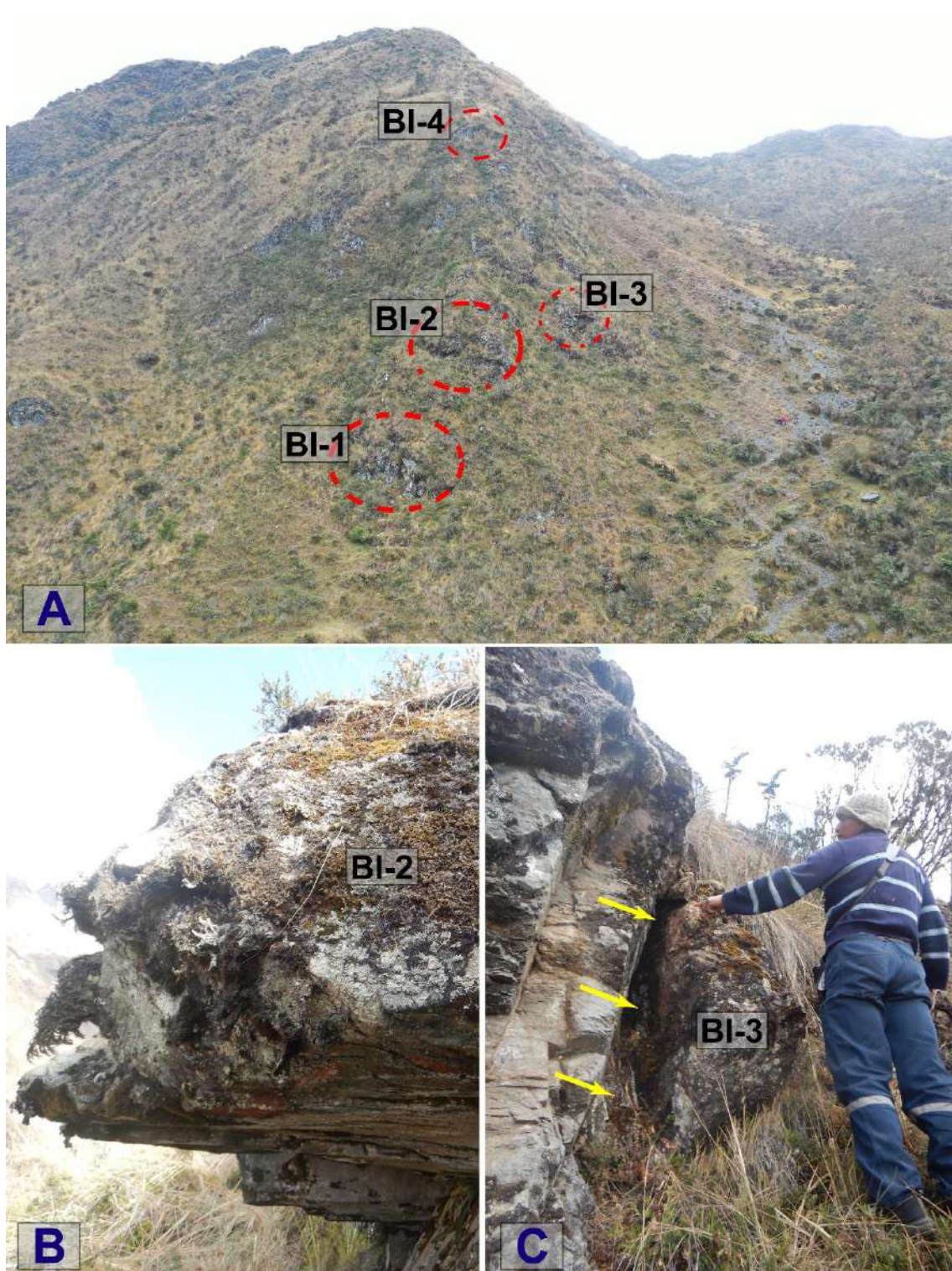


Figura 11. **A.** Vista de la ladera este del cerro Llactajuruy, donde se identificaron varios bloques inestables (BI), susceptibles a la ocurrencia de caídas de rocas. **B.** Se muestra un bloque inestable de 2.5 m de diámetro (**BI-2**) condicionado principalmente por el grado de fracturación del macizo rocoso. **C.** Bloque aislado y separado del macizo rocoso entre 20 y 30 cm, lo que genera un alto peligro a la población de Sune Grande ubicado ladera abajo.



Figura 12. Representación esquemática que muestra la caída de rocas de la ladera este del cerro Llactajuruy, que se originó en febrero del 2021. Se observa la fuente y posible trayectoria de rocas que afectaron el puesto de salud del centro poblado.



Figura 13. Bloque de roca de 1.20 m de diámetro, caído durante el evento de febrero del 2021. La roca se emplazó a 10 m de la posta medica después de su impacto.

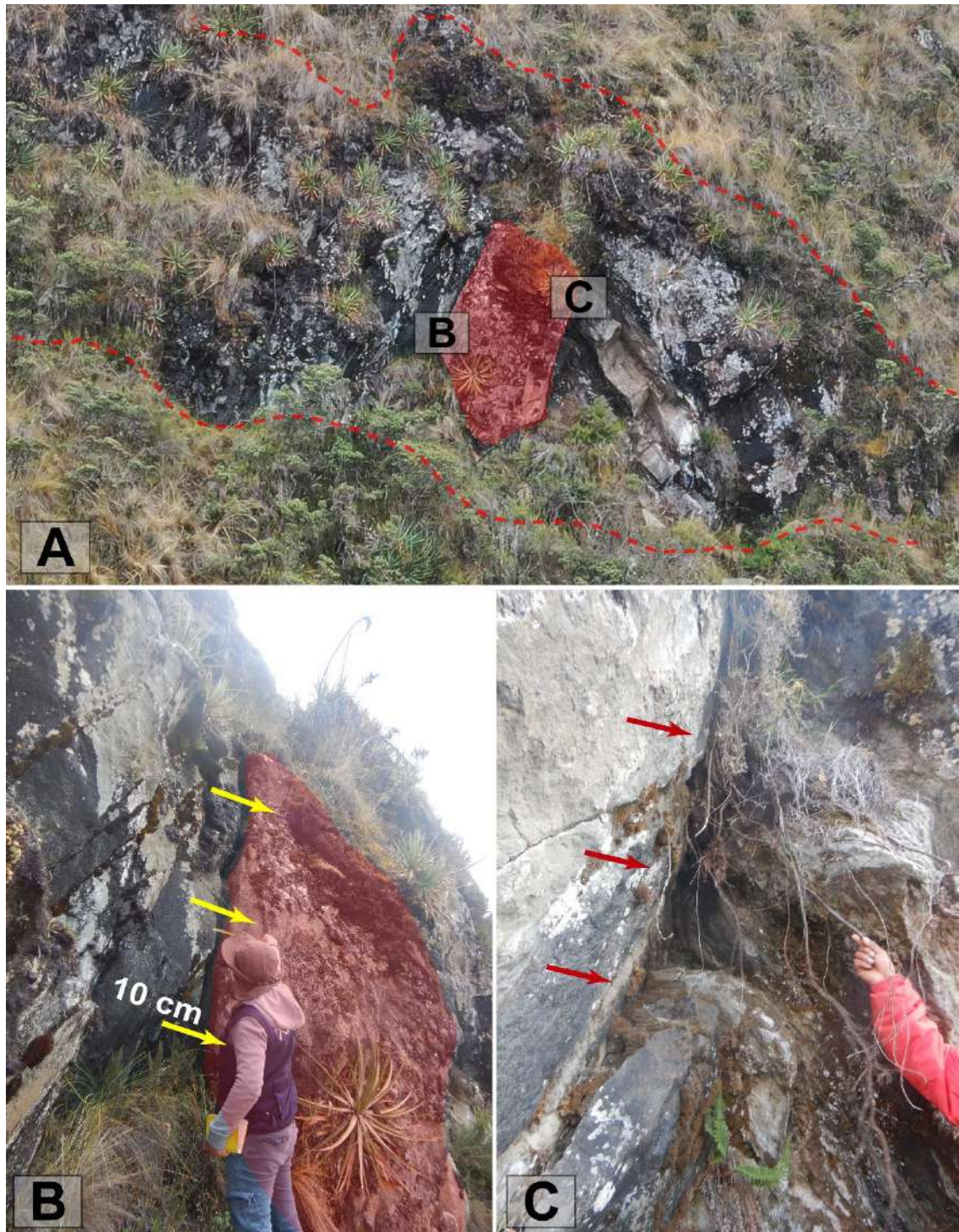


Figura 14. A. Se muestra el área fuente de caídas de rocas de marzo del 2021. En general el macizo rocoso se presenta muy fracturado con 4 sistemas de discontinuidades principales, generando un bloque prismático aislado (**BI-1**) zonificado en la figura en color rojo. **B.** Vista de perfil del bloque aislado separado del macizo rocoso en 10 cm y susceptible a caer. **C.** Se muestra en flechas el fracturamiento abierto que presenta el macizo rocoso, que permite la filtración del agua de escorrentía superficial

5.2.1. Características visuales

Las zonas de caídas de rocas, presentan las siguientes características:

- Arranque: Talud rocoso fracturado.
- Tipo de rotura: Cuña y vuelco
- Zona de arranque: Ladera.
- Forma de zona de arranque: Irregular, discontinua
- Características del depósito: Bloques aislados
- Alcance máximo: 290 metros
- Tamaño de bloques: 0.10 a 2.0 m de longitud
- Efecto principal: Pared de posta medica dañada.
- Bloques aislados que varían de 1.0 a 3.0 m de diámetro.
- La pendiente varía entre 35° a 55°

5.2.2. Análisis de perfil transversal

En base al levantamiento fotogramétrico con dron se generó un modelo digital de terreno (MDT), obteniendo un perfil trasversal (figura 15), el que permitió caracterizar el evento ocurrido en febrero del 2021.

El perfil transversal A-A' (sector Sune Grande), muestra el movimiento de la caída de roca sobre los 3840 m s.n.m. con una pendiente de arranque de 40°. El bloque cae y se estrella en la pared del centro de salud, ubicada sobre los 3640 m s.n.m., y a 280 metros en línea horizontal, haciendo que esta, se desvié y pierda su velocidad de caída.

Según el criterio de Evans, S.G. y Hungr, O. (1993), basado en métodos empíricos, sugiere usar el análisis de caída de rocas en un terreno inclinado un “ángulo mínimo de sombra de 27.5°”, con ello se podrá determinar un alcance máximo de los bloques de roca. De acuerdo a este criterio se observa que las viviendas del centro poblado de Sune Grande se ubica dentro la zona de alcance máximo de las rocas, lo que permite indicar que, ante la ocurrencia de nuevas caídas, los bloques tienen gran probabilidad de impactar contra a la población (figura 13).

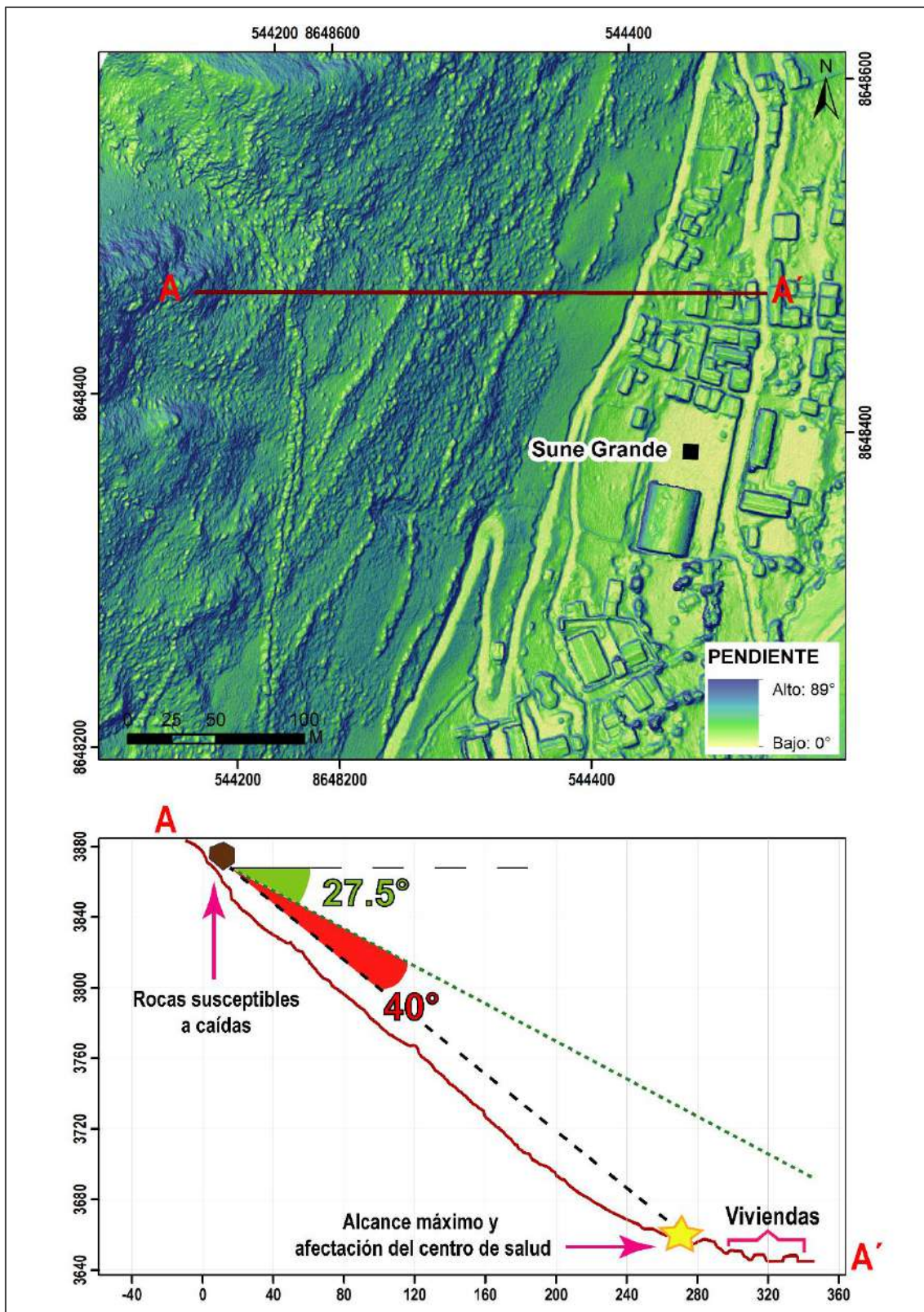


Figura 14. Perfil transversal del evento ocurrido en febrero del 2021 y el alcance máximo de caída de roca, el cual afectó el centro de salud del centro poblado de Sune Grande. Así mismo se muestra el alcance máximo que se debería considerar según el criterio de Criterio de Evans, S.G. y Hungr, O. (1993).

5.2.3. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

- Características litológicas del área (afloramiento de rocas metamórficas e intrusivas). Se consideran como rocas de calidad geotécnica mala, muy fracturada, alterada y meteorizada.
- Se tiene 4 sistemas de discontinuidades principales de fracturas que cruza el macizo rocoso, lo cual genera bloques con diámetros comprendidos entre 0.20 cm a 3 m.
- Se tiene fracturamiento a favor de la pendiente y abierto que permite la filtración del agua de escorrentía superficial.
- Depósitos inconsolidados de tipo coluvial y coluvio-deluvial de tipo arcillo-gravoso.

Factor geomorfológico

- Configuración geomorfológica de la zona de estudio: Montañas modeladas en rocas metamórficas e intrusivas, fracturadas y meteorizadas que generan laderas inestables.
- Pendiente promedio de la ladera de la montaña entre los 25° a <45° lo que permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.

5.2.4. Factores detonantes o desencadenantes

PRECIPITACIONES: Intensas precipitaciones pluviales y/o excepcionales, principalmente entre los meses de noviembre a abril.

El ingreso del agua proveniente de las precipitaciones pluviales en las fracturas que presenta el macizo rocoso, disminuye su resistencia y permite la aceleración del proceso de caída de rocas.

PRESENCIA DE AGUA SUBTERRÁNEA (OJOS DE AGUA) Se identificó la presencia de una surgencia de agua posiblemente condicionado por la infiltración de agua al subsuelo, provenientes de la parte superior del cerro Llactajuruy (fotografía 5); estas aguas saturan el terreno e inestabilizan las laderas.

SISMOS: La presencia de sismos de gran magnitud, que según el Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas (Alva & Meneses, 1984), el área de estudio se encuentra ubicada en la zona 2 que corresponde a sismicidad intermedia.

5.2.5. Daños por peligros geológicos

- El principal daño es la pared en puesto de salud de Sune Grande (figura 16), el cual recibió el impacto de la caída de rocas y luego afectó parte de la columna de esta infraestructura.
- De generarse un evento similar, al ocurrido en febrero del 2021, podría afectar viviendas asentadas en la parte baja como también podría afectar a personas que transitan por la vía. En sector se ubica próximos a las laderas del cerro Llactajuruy.



Fotografía 5. Surgencia de agua identificado en la ladera del cerro Llactajuruy, que, de acuerdo con testimonio de los pobladores, todo el año emana agua. Coordenadas referenciales UTM WGS-84, 18S: E: 544206; N: 8648158.



Figura 16. A. Centro de salud de Sune Grande afectado por la caída de una roca en marzo del 2021. B. Se observa el daño generado por el impacto de la roca en la columna. C. Bloque de roca emplazado a 12 m después del impacto.



Fotografía 6. Evidencia de caídas de rocas de aproximadamente 1.5 m de diámetro que afectaron zonas de pastizales. Coordenadas referenciales UTM WGS-84, 18S: E: 544440; N: 8648395.

5.3. Simulación de caída de rocas

Para conocer con más detalle las características físicas de las caídas de rocas, fue necesario generar 4 simulaciones, realizadas en función de los bloques inestables identificados en la etapa de campo y los cuales se disponen principalmente en la ladera occidental del centro poblado de Sune Grande.

Para ello se utilizó el software Rockfall v.4.0 de la compañía Rocscience, para conocer los alcances máximos de desplazamiento, la velocidad, la altura de rebote de rocas y la energía cinética total simuladas en dos direcciones.

5.3.1. Metodología

El desarrollo de estos escenarios se realizó utilizando cuatro secciones transversales de la ladera (figura 17), obtenidas de un modelo de elevación digital (DEM) de 0.15 m de resolución (sobrevuelos de dron) y la dirección de desplazamientos de los bloques desprendidos se realizó mediante los datos obtenidos en campo y la fotointerpretación de fotografías de dron.

Cada uno de estos perfiles se exportaron al software Rockfall para realizar simulaciones de caídas de rocas que se podrían generar, en función de las zonas susceptibles identificadas. El software generó modelos de caída de una zona referencial y sus alcances más lejanos, realizando 100 tipos de caídas de un modelo definido de roca por cada perfil planteado.

Además de ello, se trabajó con un solo tipo de litología (esquistos), dado que la totalidad de la ladera este del cerro Llactajuruy presenta afloramientos rocosos del Complejo Metamórfico de la Cordillera Oriental.

Así mismo fue necesario conocer la densidad de la roca, que de acuerdo con Goodman (1989), Rahn (1986), Walthan (1999) y Farmer (1968), los esquistos presentan una densidad de $2.5 - 2.8 \text{ g/cm}^3$ o 2500 a 2800 kg/m^3 . Con este valor, y un estimado de una roca con un diámetro de 1.2 m (bloque de roca registrado del último evento, febrero del 2021), se pudo determinar la masa rocosa a simular de 2442.90 kg (dato a simular).

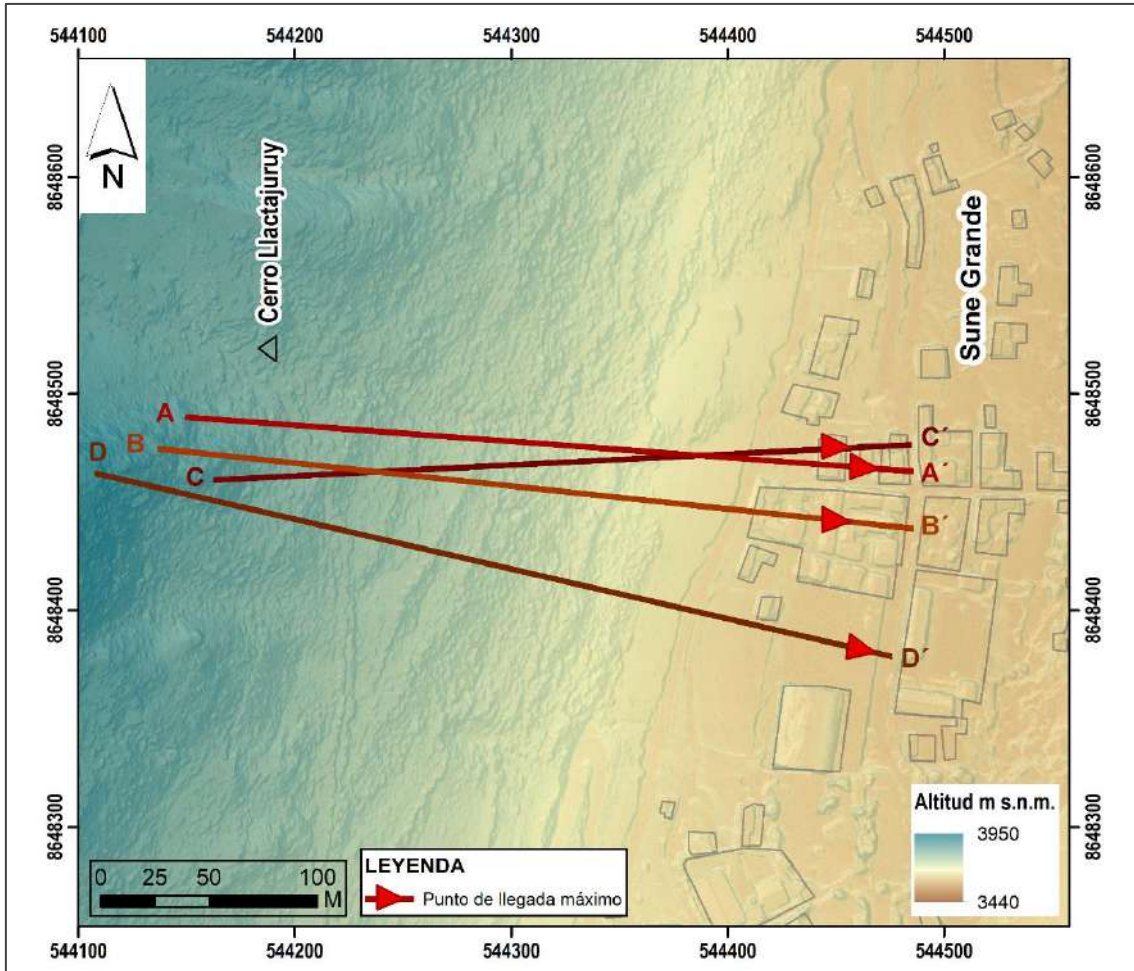


Figura 17. Ubicación de las líneas de perfil donde se generó las simulaciones de caída de rocas, en la ladera este del cerro Llactajuruy del centro poblado Sune Grande. Así mismo, se muestra el punto de llegada máxima por cada simulación de caída de rocas.

5.3.2. Resultados

Los resultados de la simulación muestran que las rocas desprendidas del cerro Yactajuruy pueden llegar afectar las viviendas del centro poblado de Sune Grande, con alcances máximos que varían entre los 320 m a 380 m. El detalle de cada perfil simulado se encuentra en el anexo 2.

Las velocidades de caída de rocas dependen de factores como la pendiente de la ladera, la masa y tamaño de las rocas. Según la simulación, las caídas de rocas alcanzarían velocidades máximas de hasta 34 m/s (en áreas de mayor pendiente) desacelerando en contacto con bloques de roca en la ladera o algún obstáculo físico (viviendas) hasta 1 m/s.

La altura de rebote varía entre los 20.0 m a 0.2 m y con fuerzas cinéticas de impacto entre los 1500 KJ a 1100 KJ.

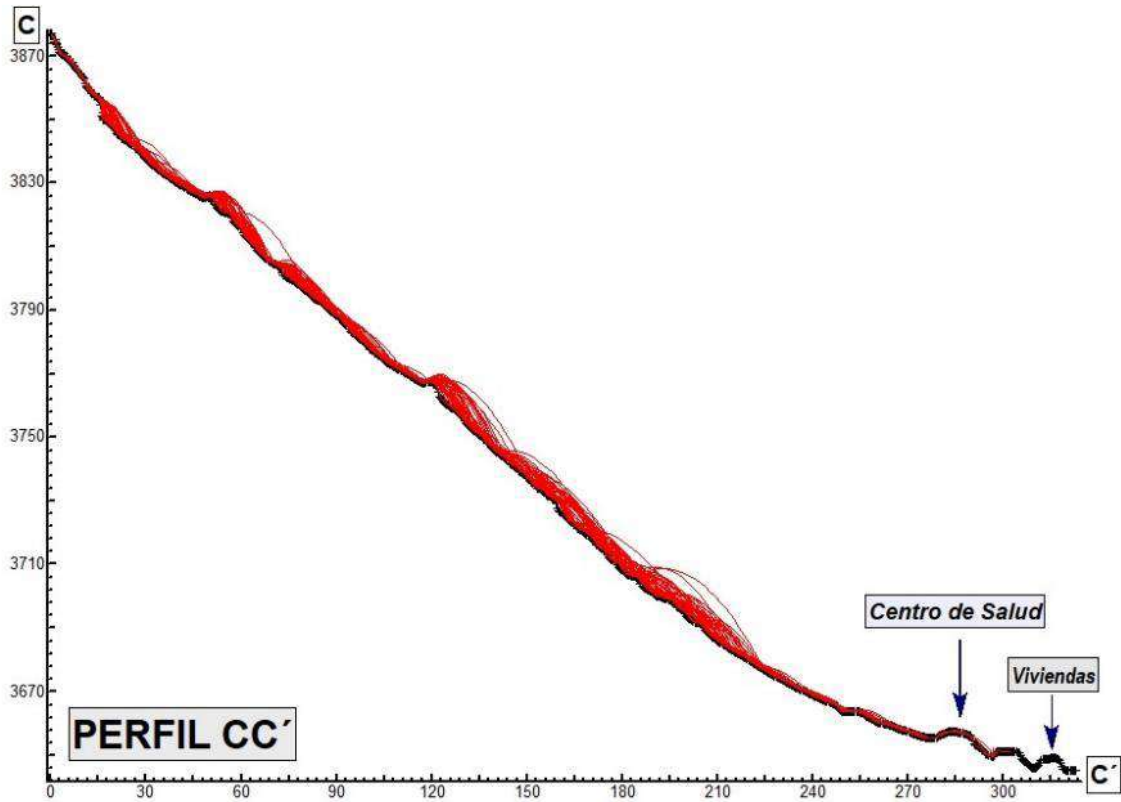


Figura 18. Modelamiento de caída de rocas del perfil CC', donde se muestra en líneas continuas rojas, los posibles rebotes y alcances máximos de las rocas, los cuales pueden llegar afectar las viviendas del centro poblado Sune Grande.



Gráfico 1. Se muestra la velocidad de caída a lo largo del perfil CC' con valores máximos de hasta 27.3 m/s y mínimos de 0.1 m/s.



Gráfico 2. Se muestra la altura de rebote a lo largo del perfil CC' con valores máximos de hasta 13.5 m y mínimos de 0.2 m.

6. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica, geomorfológica de la zona de estudio, así como a los trabajos de campo, y la evaluación de peligros geológicos, emitimos las siguientes conclusiones:

- 1) El área evaluada presenta varios sectores con presencia de afloramientos rocosos muy fracturados, susceptibles a desprenderse pendiente abajo, comprometiendo la seguridad física de viviendas y personas ubicadas ladera abajo.
- 2) El principal sector crítico, susceptible a desprenderse, se ubica a 340 m hacia el oeste de la plaza principal del centro poblado Sune Grande, en la ladera este del cerro Llactajuruy. Desde dicha ladera, de acuerdo al testimonio de los pobladores, se generó la caída de un bloque de roca con diámetro de 1.20 m en febrero del 2021. Este bloque afectó la pared y columna del puesto de salud de Sune Grande.
- 3) El macizo rocoso crítico se encuentra meteorizado y muy fracturado. Presenta 4 sistemas de discontinuidades principales; así mismo se evidencia un bloque aislado con una separación de 10 cm. Este bloque, de forma prismática, presenta una longitud de 4.8 m, un ancho de 1.6 m y una profundidad de 2.0 m aproximadamente, que hacen un volumen de ~15.36 m³ susceptible a desprenderse.
- 4) La ocurrencia de peligros geológicos por caída de rocas en la zona evaluada está condicionada por los siguientes factores:
 - Características litológicas, con afloramiento de rocas metamórficas e intrusivas. Estas se consideran como rocas de calidad geotécnica mala, meteorizado, y muy fracturado, con 4 sistemas de discontinuidades principales.
 - Fracturamiento a favor de la pendiente y abierto que permite la filtración del agua de escorrentía superficial.
 - Depósitos inconsolidados de tipo coluvial y coluvio-deluvial, de tipo arcillo-gravoso.
 - Pendiente promedio de la ladera de la montaña entre los 25° a <45°, lo que permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.
- 5) El factor desencadenante, se les atribuye a sismos, precipitaciones pluviales excepcionales y la presencia de agua subterránea (ojos de agua). El ingreso del agua proveniente de las precipitaciones pluviales en las fracturas del macizo rocoso, disminuye su resistencia y permite la aceleración del proceso de caída de rocas.
- 6) Los resultados de las simulaciones de caídas de roca realizadas en la ladera este del Cerro Llactajuruy, muestran que los bloques de rocas pueden tener alcances máximos entre 320 a 380 m y fuerzas cinéticas de impacto de hasta 1500 KJ. Debido a dichos alcances obtenidos, pueden ser afectadas las viviendas ubicadas laderas abajo.
- 7) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el centro poblado de Sune Grande es considerado como **zona crítica** y de **Peligro Alto** a la

ocurrencia de caída de rocas, que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas y/o sismos.

7. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que a continuación se brindan tienen por finalidad mitigar el impacto de peligros asociados a caídas de roca. Así mismo, la implementación de dichas recomendaciones permitirá darles mayor seguridad a las viviendas expuestas al peligro antes mencionado:

- 1) Realizar el desquinche de las rocas sueltas en las laderas del cerro Llactajuruy, que puedan generar procesos de caídas de rocas. Estos trabajos deben ser diseñados y dirigidos por profesionales con experiencia en el tema.
- 2) Instalar mallas ancladas, barreras dinámicas, red de anillos, muros de contención de concreto armado, entre otros, utilizados en forma independiente o combinada, con el fin de reducir el peligro frente a la caída de rocas (ver Anexo 3). Dichas obras deben ser realizadas por profesionales especializados.
- 3) Dado que las condiciones de inestabilidad en las laderas adyacentes a la localidad de Sune Grande son afectadas por caídas de rocas, el tránsito de personas y vehículos debe realizarse de forma cuidadosa, ya que nuevas reactivaciones pueden poner en riesgo su seguridad física. Esto puede realizarse señalizando la zona, con la colocación de un aviso o letrero que advierta del peligro.
- 4) Señalizar rutas de evacuación e identificar zonas seguras en caso de sismos.
- 5) Forestar las laderas con especies nativas, con la finalidad de evitar la erosión y futuras caídas de rocas; y prohibir la deforestación de la misma.
- 6) Implementar un sistema de drenaje para las zonas de acumulación de agua y escorrentía superficial, que eviten la infiltración de agua al subsuelo y saturación del mismo.
- 7) Realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR) por parte de las autoridades locales, a fin de evaluar los elementos expuestos a la generación de nuevos peligros geológicos.
- 8) Realizar charlas de sensibilización y concientización sobre las caídas de roca, a los pobladores de Sune Grande y alrededores.


MAURICIO ANTONIO NUÑEZ PEREDO
Ingeniero Geólogo
CIP N° 278509


ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

8. BIBLIOGRAFÍA

Alva, J.; Meneses, J. & Guzmán, V. (1984) - Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú (en línea). Congreso Nacional de Ingeniería Civil, 5, Tacna, 11 p. (consulta: 5 noviembre 2017). Disponible en: http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis17_a.pdf

Cerrón, F. & Ticona, P. (2003) – Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Pampas (25-n). Escala 1:50 000. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica, 21 p., 4 mapas. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2122>.

Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1966) - Landslide types and process, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washinton D. C., National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, p. 36-75.

Fuente de Datos Meteorológicos y Pronostico del tiempo del Servicio de Awhere. (2021). Disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/8404119>.

Guizado, J. & Landa, C. (1964) - Geología del cuadrángulo de Pampas (Hoja 25-n). Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín, 12, 75 p., 1 mapa.

Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2017) – Directorio Nacional de Centros Poblados. Censos Nacionales 2017: XII de Población; VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. (Consulta: Junio 2021). Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm.

Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016) - Decreto supremo N° 003-2016-VIVIENDA: Decreto supremo que modifica la norma técnica E.030 “diseño sismoresistente” del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada con decreto supremo N° 002-2014-VIVIENDA. El Peruano, Separata especial, 24 enero 2016, 32 p.

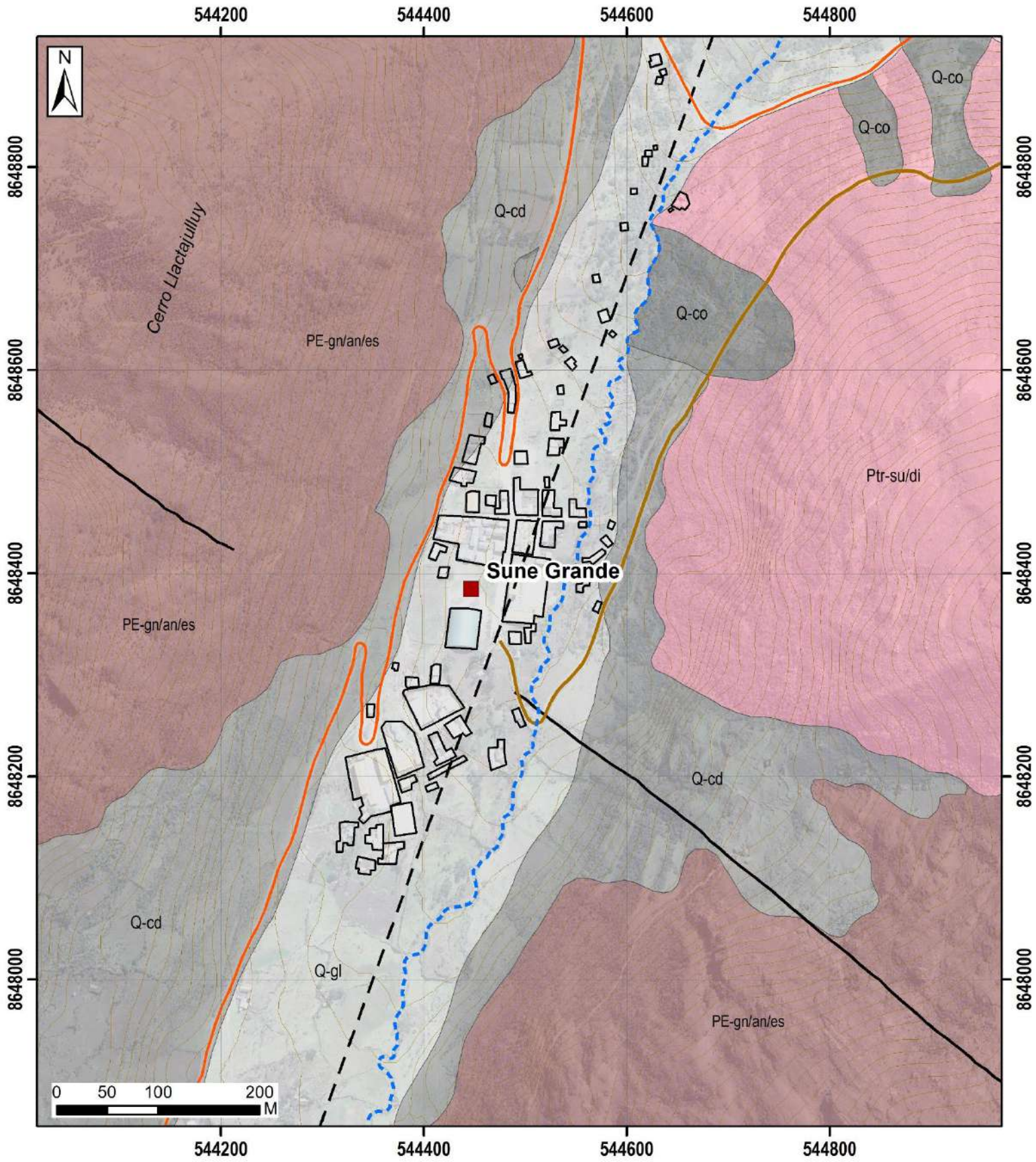
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Servicio Nacional de Meteorologica e Hidrológica, SENAMHI (2020) – Mapa de clasificación climática del Perú (Texto). Lima, Perú. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2185020/Climas%20del%20Per%C3%BA%3A%20Mapa%20de%20Clasificaci%C3%B3n%20Clim%C3%A1tica.pdf>.

Vílchez, M.; Ochoa, M. & Pari, W. (2019). Peligro geológico en la región Huancavelica. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 69, 225 p., 9 mapas.

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

ANEXO 1: MAPAS



ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito coluvial	Q-co
			Depósito coluvio-deluvia	Q-cd
			Depósito glaciar	Q-gl
MESOZOICA	TRIÁSICO		Rocas intrusivas, Dioritas	Ptr-su/di
NEOPROTEROZOICA	PERMIANO		Complejo metamórfico de la Cordillera Oriental	PE-gn/an/es

SIMBOLOGÍA

- Sune Grande
- Falla normal
- Falla inferida
- Via vecinal
- Trocha carrozable
- Quebrada
- Curvas de nivel
- Área urbana

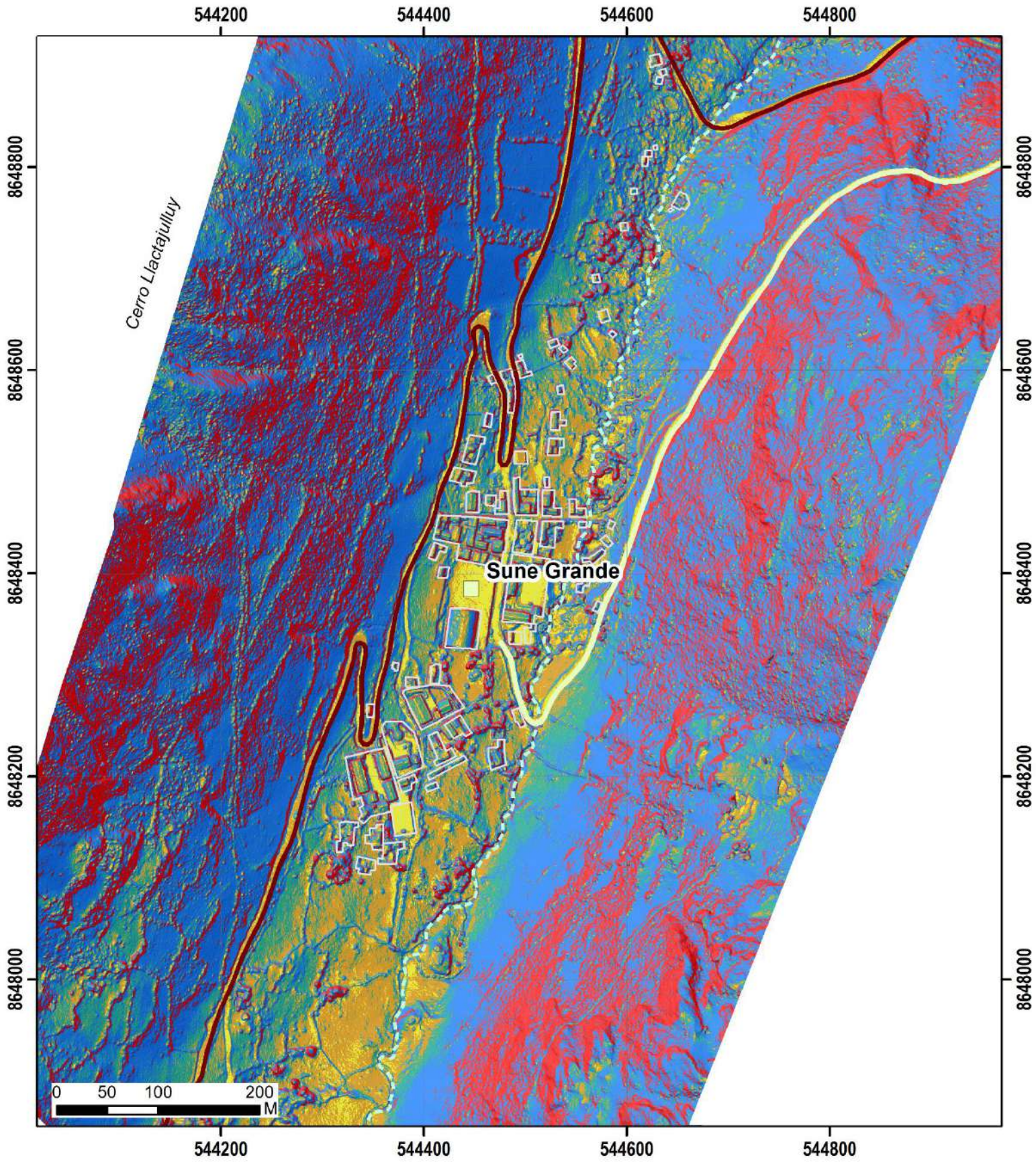

INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO: HUANCVELICA
 PROVINCIA: TAYACAJA
 DISTRITO: TINTAY PUNCU

GEOLÓGICO

Escala: 1/5,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	01
Versión digital 2023	Impreso: Setiembre, 2023	



RANGO DE PENDIENTES

0°-1°	Terreno llano
1°-5°	Terreno inclinado con pendiente suave
5°-15°	Pendiente moderada
15°-25°	Pendiente fuerte
25°-45°	Pendiente muy fuerte a escarpada
>45°	Terreno muy escarpado

SIMBOLOGÍA

	Sune Grande
	Vía vecinal
	Trocha carrozable
	Quebrada
	Área urbana

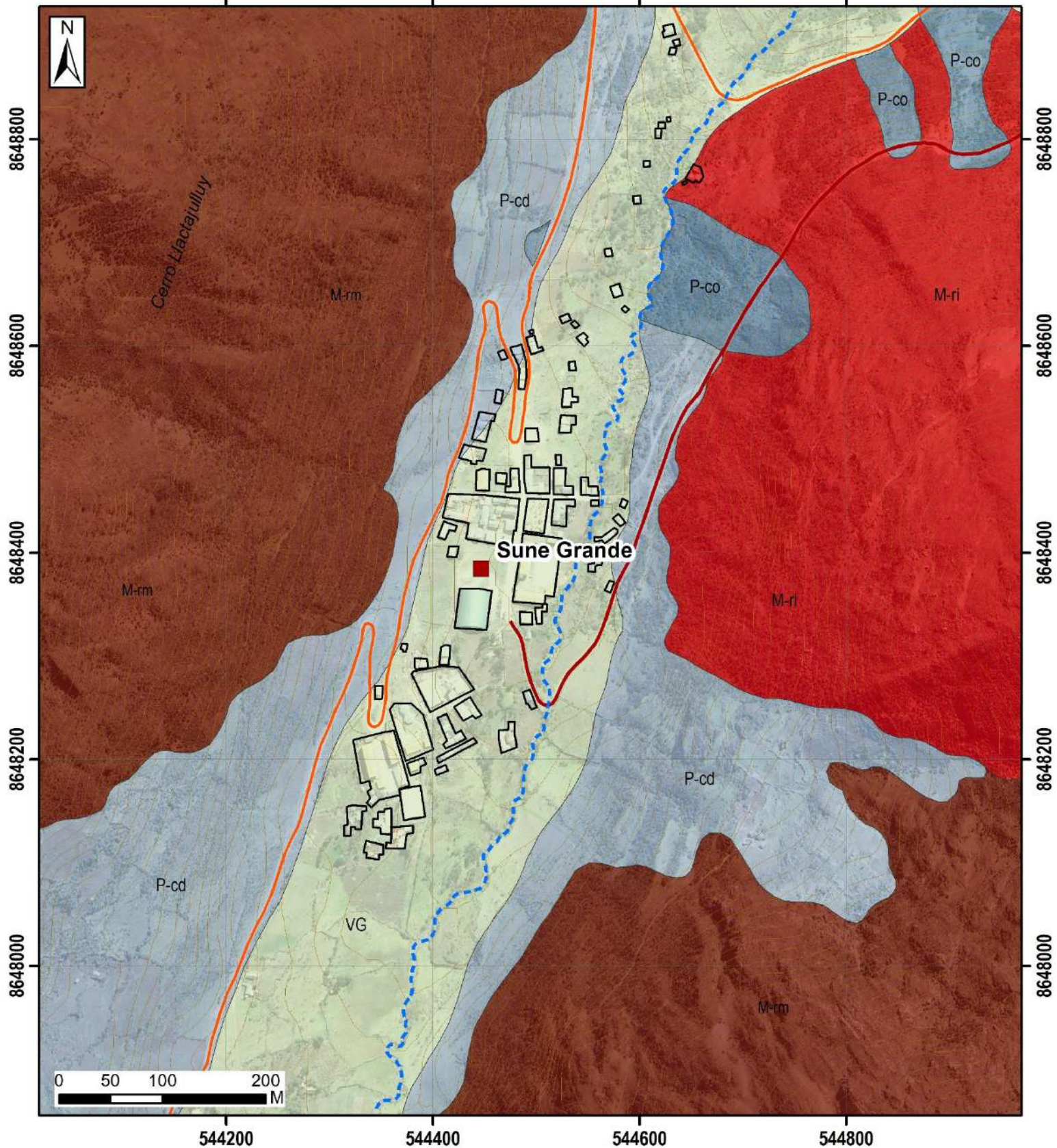
<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>		
<p>DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO</p>		
<p>DEPARTAMENTO: HUANCVELICA PROVINCIA: TAYACAJA DISTRITO: TINTAY PUNCU</p>		
PENDIENTES DEL TERRENO		
Escala: 1/5,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 02
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2023	Impreso: Setiembre, 2023	

544200

544400

544600

544800



UNIDAD	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	
MONTAÑA	Montaña en roca intrusiva	M-ri
	Montaña en roca metamórfica	M-rm
PIEDEMONTE	Piedemonte coluvial	P-c
	Piedemonte coluvio-deluvial	P-cd
CRIOFORMA PERIGLACIAL ACUMULATIVA	Vertiente de gelifractos	VG

SIMBOLOGÍA	
■	Sune Grande
—	Via vecinal
—	Trocha carrozable
- - -	Quebrada
—	Curvas de nivel
	Área urbana

 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO		
DEPARTAMENTO: HUANCAMELICA PROVINCIA: TAYACAJA DISTRITO: TINTAY PUNCU		
GEOMORFOLÓGICO		
Escala: 1/5,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 03
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2023	Impreso: Setiembre, 2023	

544200

544400

544600

544800



8648800

8648800

8648600

8648600

8648400

8648400

8648200

8648200

8648000

8648000

Sune Grande





544200

544400



544600

544800

LEYENDA

-  Caída de rocas, Activo
-  Caída de rocas, Inactivo-latente

TRAMA

-  Escarpa de caída de rocas antiguo
-  Escarpa de caída de rocas reciente

SIMBOLOGÍA

-  Sune Grande
-  Vía vecinal
-  Trocha carrozable
-  Quebrada
-  Área urbana



DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO: HUANCVELICA
PROVINCIA: TAYACAJA
DISTRITO: TINTAY PUNCU

PROCESOS DE MOVIMIENTOS EN MASA

Escala: 1/5,000

Elaborado por: Nuñez, M.

MAPA

Proyección: UTM Zona 18 Sur

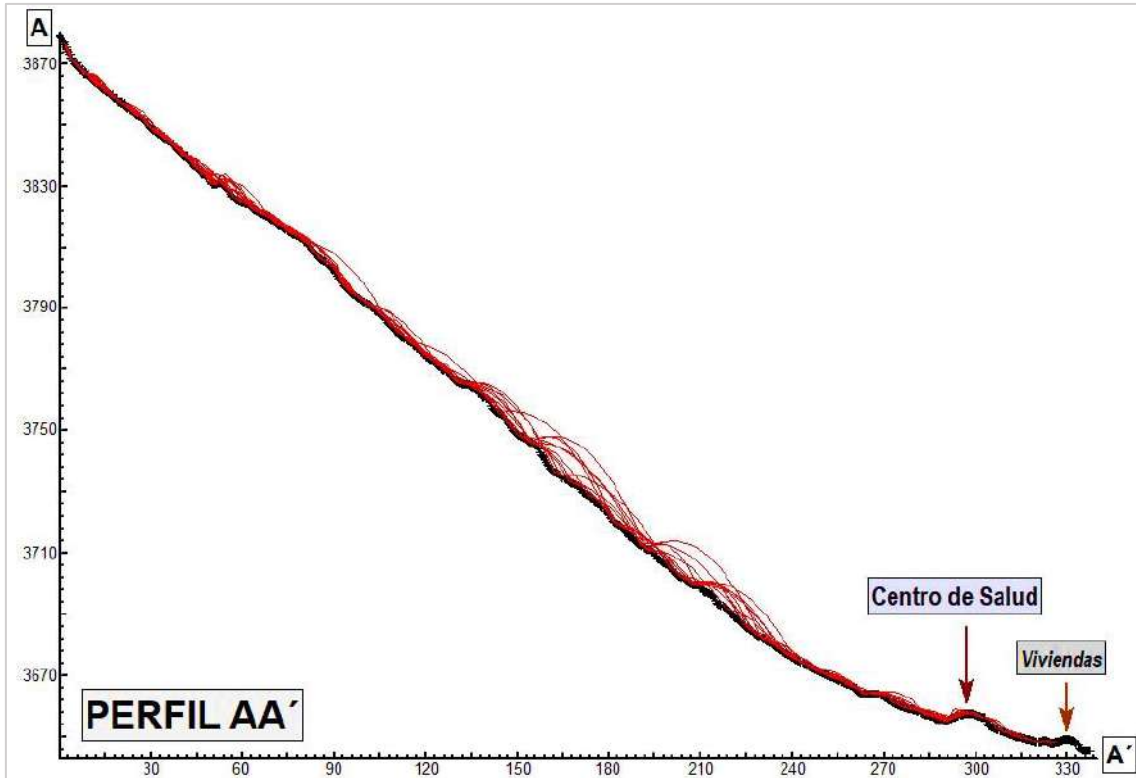
Datum: WGS 84

04

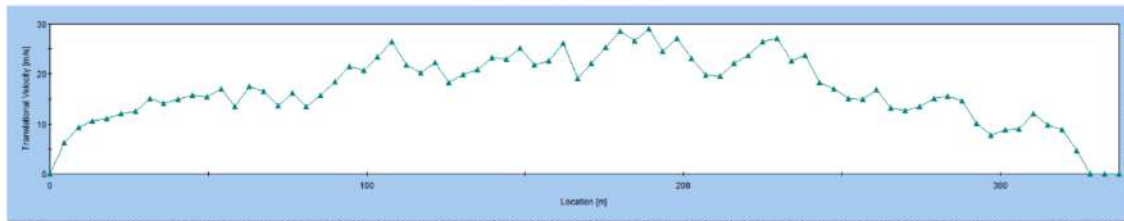
Versión digital 2023

Impreso: Setiembre, 2023

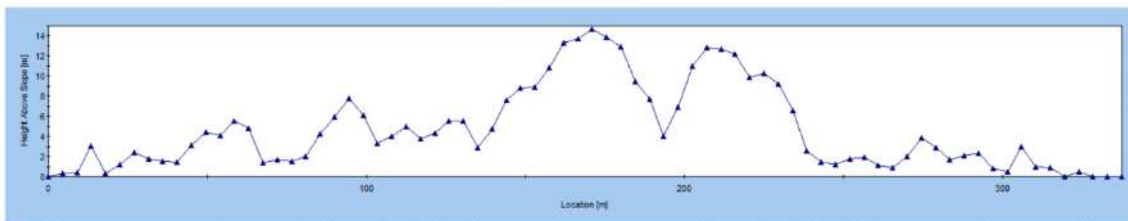
ANEXO 2: SIMULACIONES DE CAÍDAS DE ROCAS



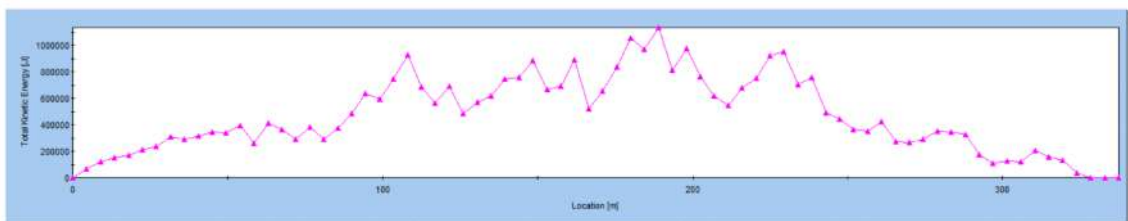
VELOCIDAD TRANSACIONAL

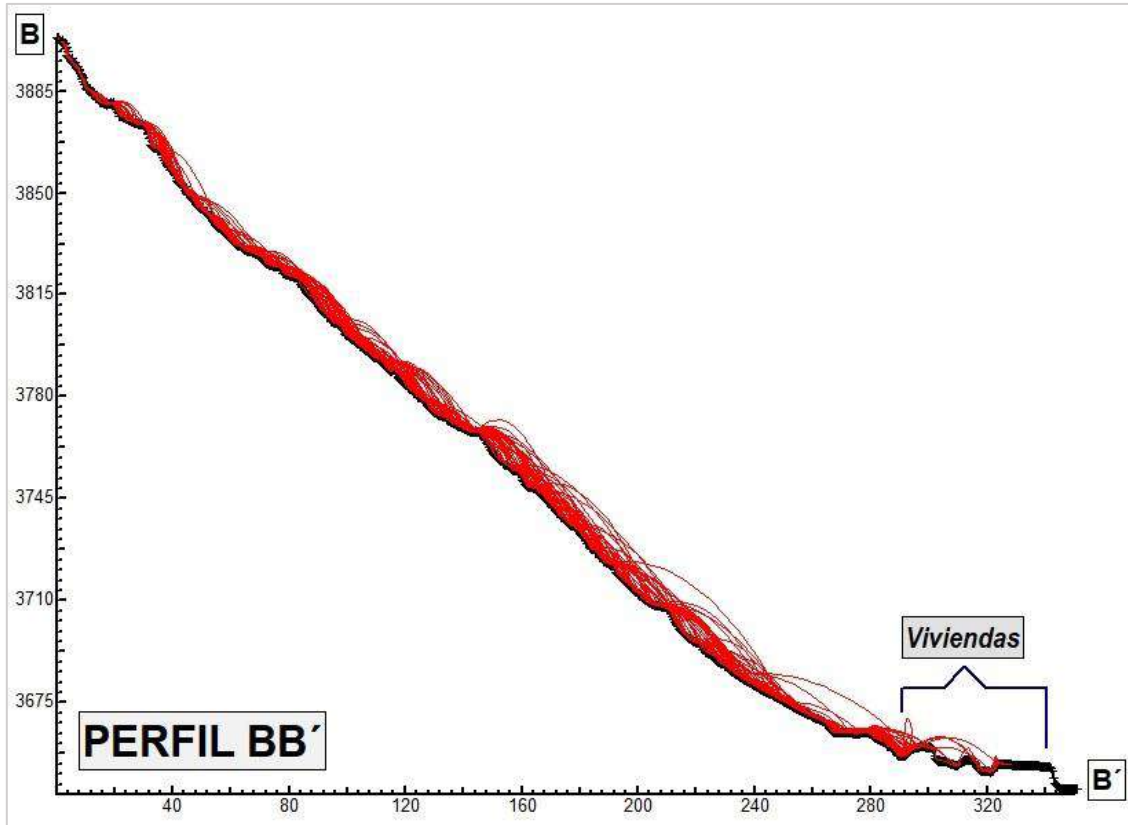


ALTURA DE REBOTE

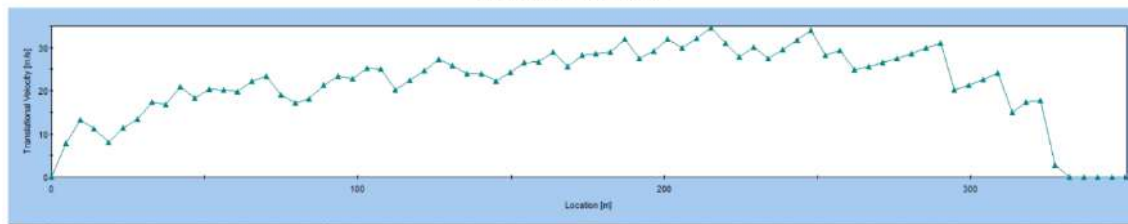


ENERGÍA CINÉTICA TOTAL

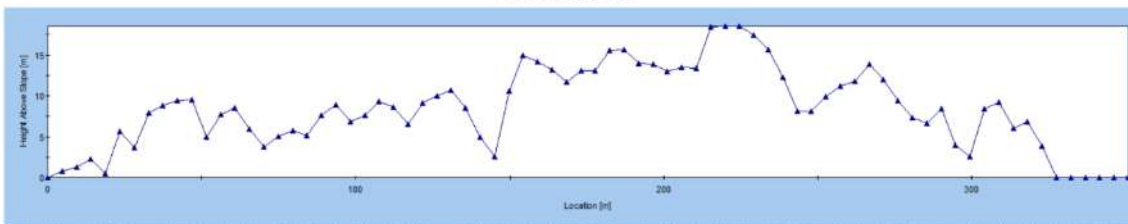




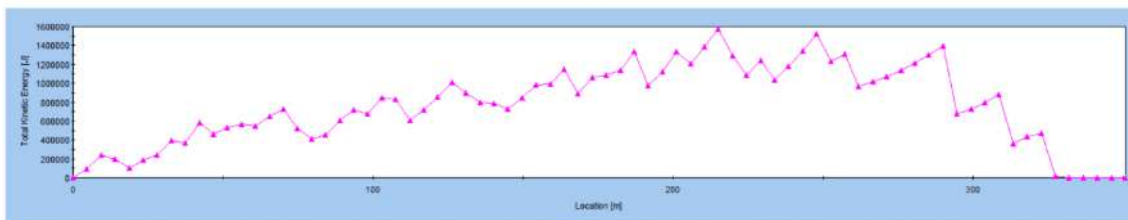
VELOCIDAD TRASLACIONAL

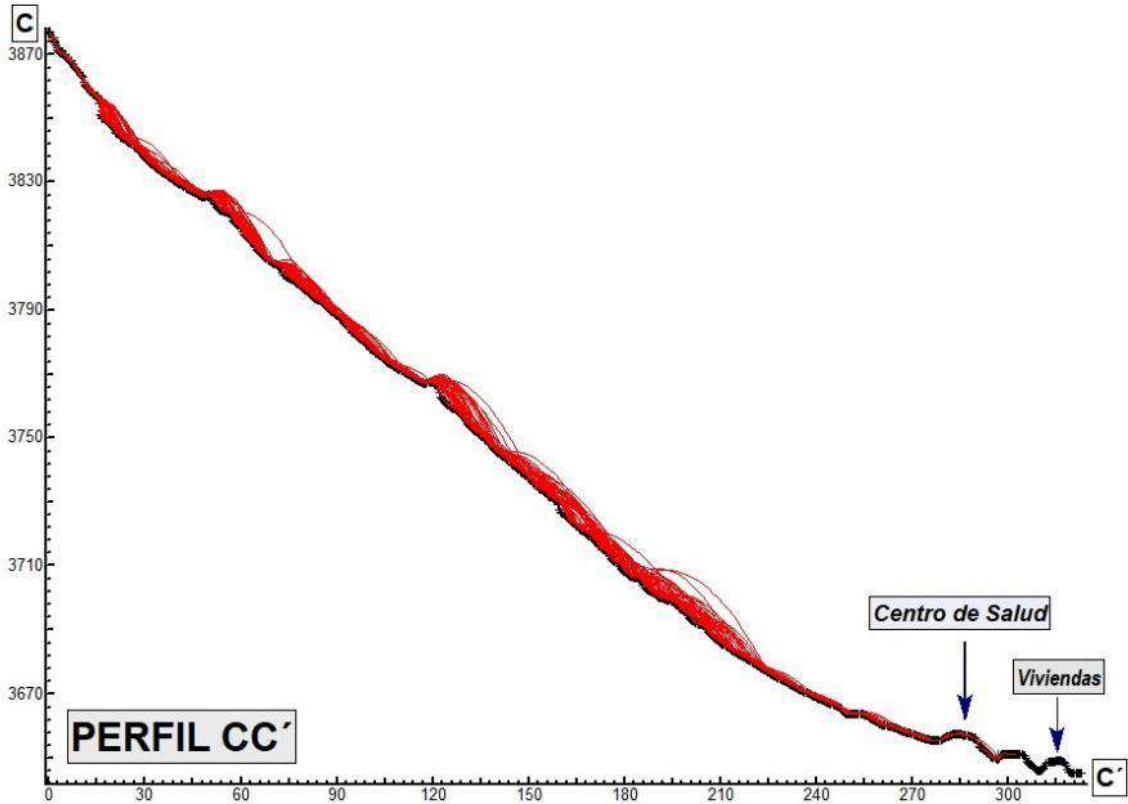


ALTURA DE REBOTE

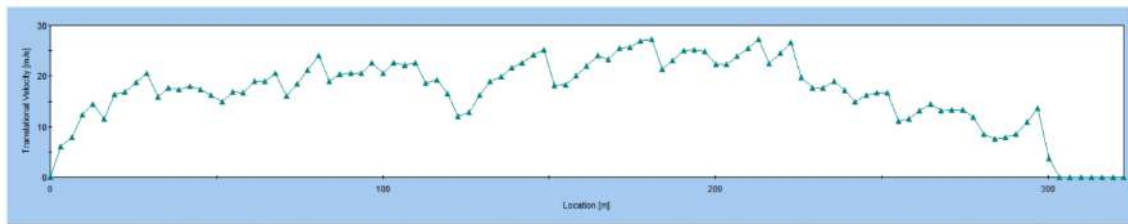


ENERGÍA CINÉTICA TOTAL

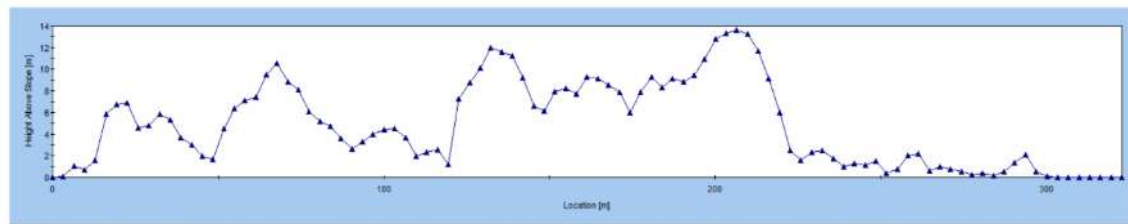




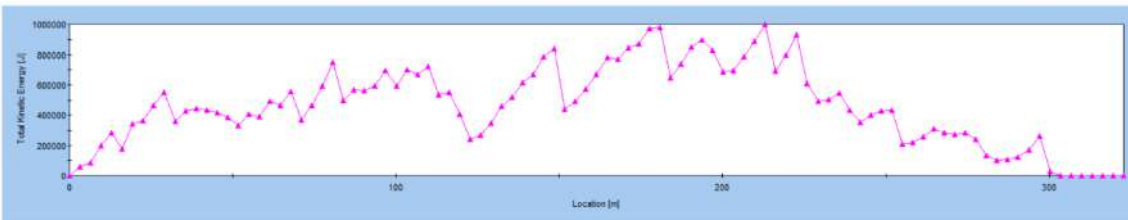
VELOCIDAD TRANSLACIONAL

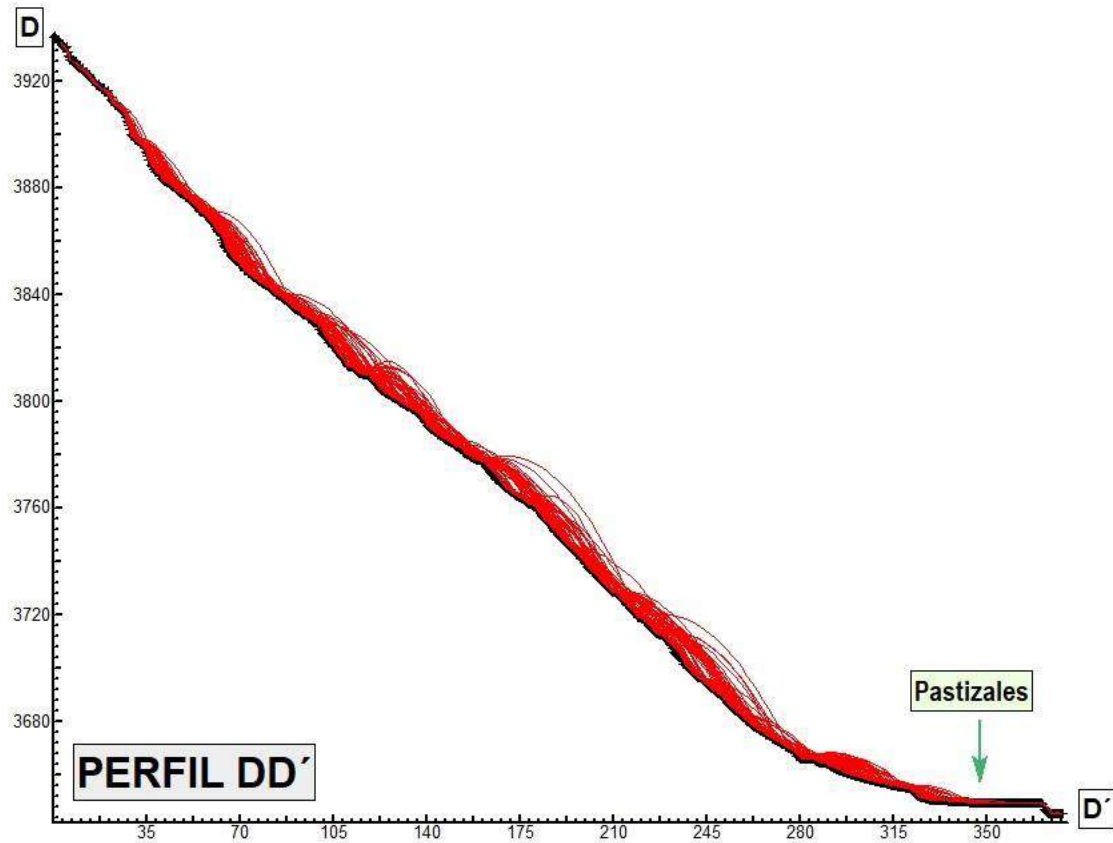


ALtura de Rebote

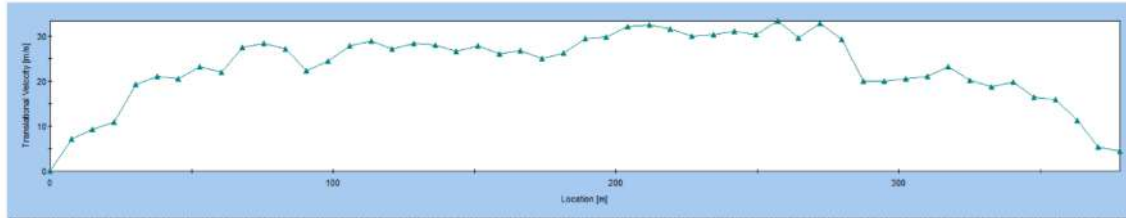


ENERGÍA CINÉTICA TOTAL

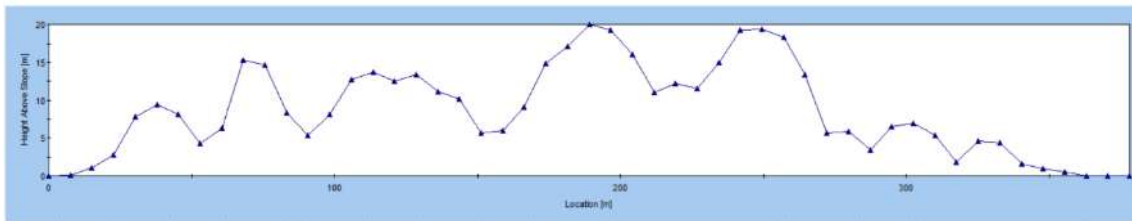




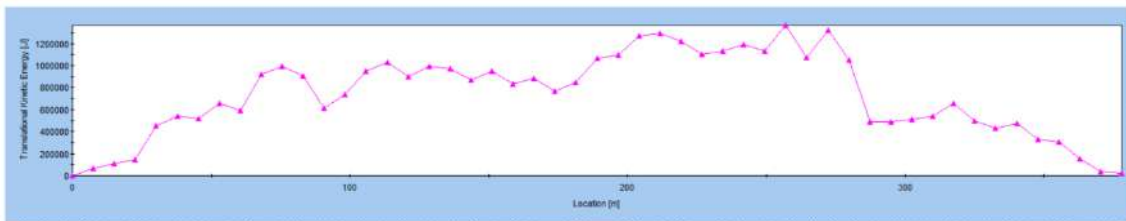
VELOCIDAD TRANSACIONAL



AL TURA DE REBOTE



ENERGÍA CINÉTICA TOTAL



**ANEXO 3: ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN EN LA
ZONA EVALUADA.**

A partir de la evaluación geológica-geodinámica realizada, se dan algunas propuestas de intervención de forma general para la zona evaluada. Se debe considerar como medidas de prevención y mitigación ante futuros eventos que puedan causar desastres en las laderas del cerro, el no permitir la expansión urbana hacia las laderas.

Algunas medidas específicas para los procesos registrados en el área de estudio se muestran a continuación:

Para bloques que sobresalen en el talud y no están sueltos.

Debido a que algunos de los bloques se encuentran directamente sobre las viviendas, se recomienda "asegurarlos". Para ello se debe implementarse lo siguiente:

- 1) Construir un muro alrededor del bloque, con una altura que cubra hasta más de la mitad los bloques de mayor dimensión, (ver figuras 19, 20 y 21).
- 2) La base del muro debe estar cimentada sobre roca fresca. Las varillas de fierro que se van a fijar al muro, deberán ser introducidas en el substrato hasta medio metro (llegar a roca fresca).
- 3) Hacer un enmallado para la construcción de un muro, teniendo como base las varillas fijadas.
- 4) Una vez terminado el enmallado del muro, se empieza a vaciar el concreto, hasta formar el muro con un ancho aproximado de 1 m.
- 5) Una vez terminado el muro, se rellanará con concreto el espacio dejado entre el muro y el bloque, formando una cuña. Antes de comenzar estas actividades se debe reubicar y/o desocupar las viviendas, por fines preventivos, porque podría generarse un rodamiento de las rocas sueltas.

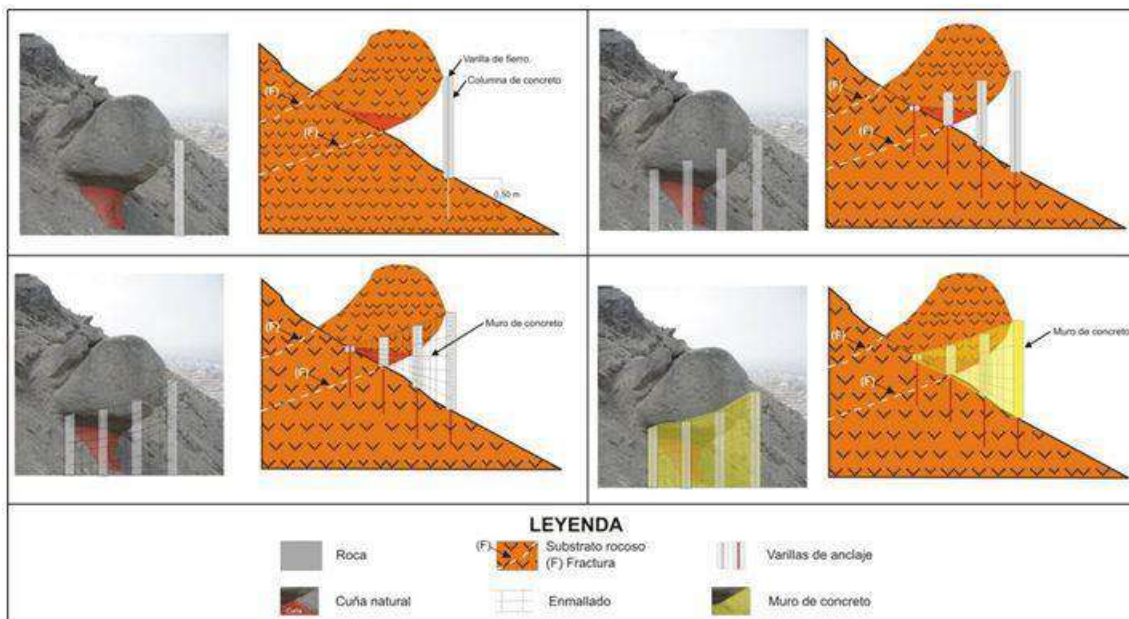


Figura 19. Muro en base del bloque para proteger viviendas aledañas.

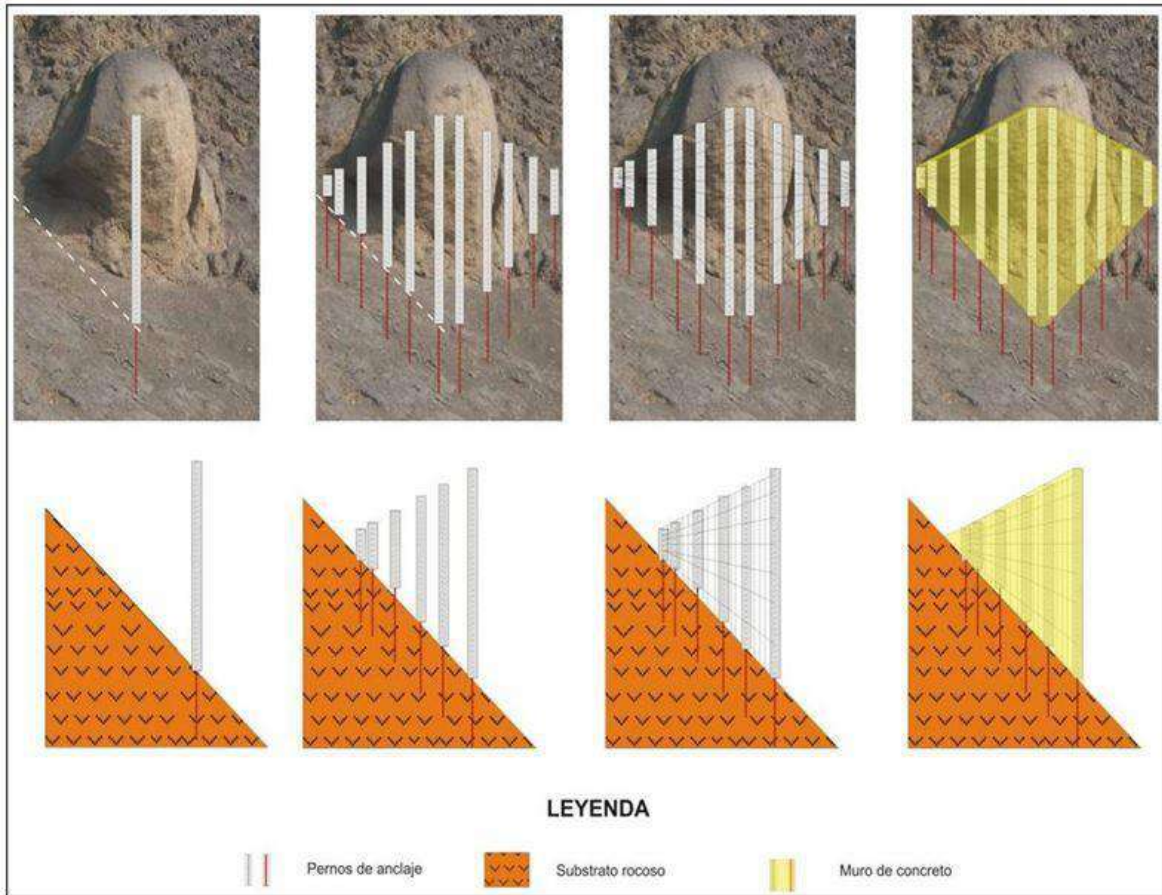


Figura 20. Esquema explicativo del bloque de roca.

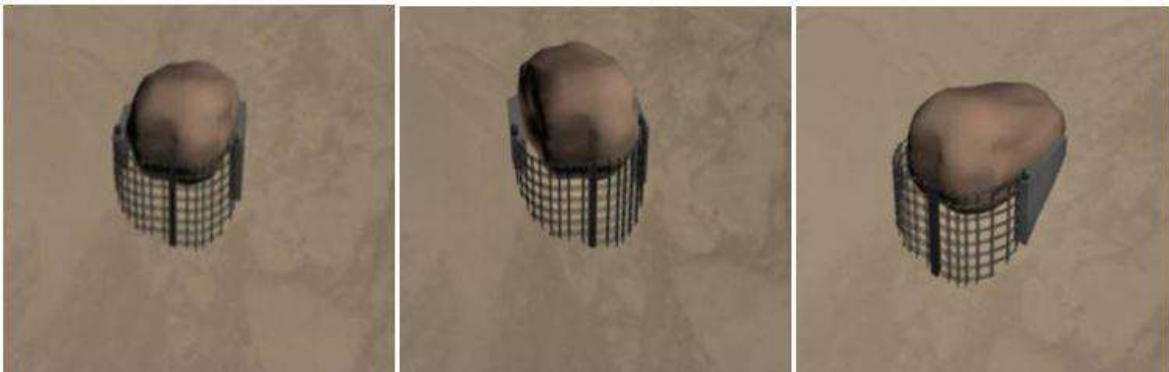


Figura 21. Se indica cómo quedaría el sostenimiento final.

Para los bloques sueltos

- 1) Desatar los bloques inestables de la ladera.
- 2) Fragmentar los bloques inestables que tengan dimensiones menores a 1.50 m, en base al sistema de dilatación y contracción. Este proceso consiste en quemar la roca y una vez que alcance una alta temperatura (color rojo), agregar agua. Esto ocasionará una contracción muy violenta, dando como resultado su fragmentación.

3) En la ladera con bloques inestables y con buena cobertura de suelo, se puede estabilizar de la siguiente manera: hacer una excavación en la parte inferior del bloque, con la finalidad que este pierda estabilidad y caiga hacia la parte excavada (figura 22).

4) Para fines de prevención, al momento de desatar los bloques sueltos, es muy probable que estos se desplacen cuesta abajo, por lo que es necesario poner en alerta a los pobladores de las viviendas e infraestructuras ubicadas en la falda de la ladera.

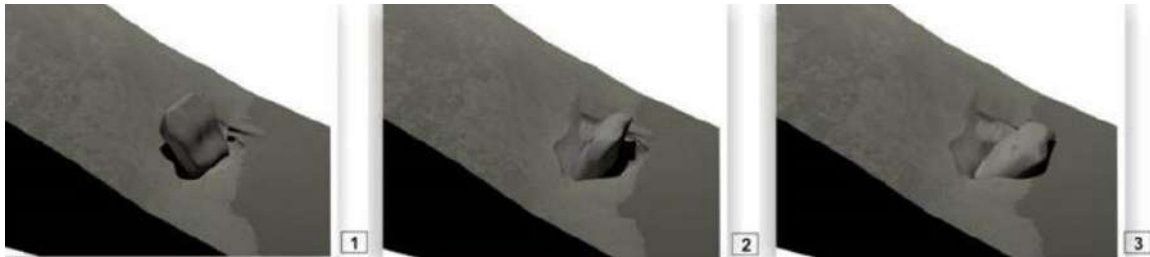


Figura 22: Tratamiento de un bloque suelto en suelo potente.

Se recomienda la construcción de zanjas o vallas simples de contención o la ubicación de redes (malla galvanizada) para captar los bloques más pequeños que se desprendan de las laderas superiores a la zona de corte.

Los macizos rocosos atravesados presentan características geológicas-geotécnicas complejas y heterogéneas con un elevado índice de fracturación que da lugar a un proceso permanente de caída de rocas de tamaños decimétricos hasta métricos.

Los sistemas propuestos son: mallas ancladas, barreras dinámicas y red de anillos, utilizados en forma independiente o combinada, según las características de cada contra talud:

Mallas ancladas: Es un sistema de protección frente a desprendimientos rocosos o que cubre la superficie afectada del talud/ladera por medio de una malla de alambre de acero galvanizado de triple torsión, reforzada con anclajes cortos dispuestos en una grilla, que además se vinculan diagonal y perimetralmente por los extremos con cables de acero (figura 23). Debe tenerse en cuenta que los anclajes de mallas protegen de la caída de bloques superficiales, pero no representan estabilidad para el caso de fallas de bloques grandes o movimientos de grandes masas de suelo o roca.

Todos estos elementos poseen recubrimiento anticorrosivo salvo los elementos de anclaje (bulones intermedios, los anclajes superiores, tuerca y placas de anclaje).

Las mantas de malla ancladas pueden utilizarse para impedir el movimiento de bloques pequeños (menos de 0.6 a 1 m de diámetro) o masas subsuperficiales delgadas de roca. Sin embargo, en ocasiones las mallas ayudan a atenuar el movimiento de grandes bloques. En principio la malla anclada actúa como una membrana alrededor de la masa o bloque inestable; a su vez pueden ser reforzadas con cables, los cuales se amarran a los anclajes.



Figura 23. Control de caída de rocas utilizando mallas ancladas.

Barreras dinámicas: Es un sistema de protección utilizado en taludes con riesgo de caída de rocas, diseñado específicamente para interceptar y retener las rocas en un punto de su trayectoria de caída, disipando la energía cinética del movimiento a través de la deformación plástica de determinados elementos del sistema diseñados a tal efecto, y de la actuación elástica de elementos diseñados con determinados grados de libertad respecto del impacto recibido.

En ciertas situaciones de riesgo de caída de roca, puede que no sea práctico instalar una malla de protección contra cortinas o estabilización de la superficie debido a problemas técnicos, topográficos, de acceso o económicos. En estos casos a menudo se proporciona una solución rentable mediante la instalación de barreras dinámicas de caída de rocas en la cara de la pendiente. Las barreras dinámicas de protección contra desprendimientos se caracterizan por su capacidad de absorción de impactos.

Por ello conforman un sistema muy eficaz y seguro para detener la caída de rocas y otras masas. Su configuración varía de acuerdo con la energía requerida en el impacto previsto (figura 24).



Figura 21. Ejemplo de barrera dinámica.

Red de anillos: es un sistema de protección utilizado en taludes con riesgo de caída grande rocas, el que, actuando directamente sobre la zona afectada, permita fijar in situ los bloques rocosos inestables, conteniendo los mismos y por tanto eliminando el riesgo de desprendimientos.

Está constituida por anillos de acero entrelazados entre sí, sin solución de continuidad y de elevada resistencia. Su configuración permite gran adaptabilidad a la morfología del talud en laderas irregulares. Los anillos trabajan en conjunto en la red, y por ello son ideales para soportar altas cargas e impactos de alta energía ya sea de forma concentrada y distribuida. La red es colocada con anclajes al terreno, conteniendo el macizo fracturado o con riesgo de desprendimiento, la resistencia de la red de anillos es muy elevada (figura 25).



Figura 25. Ejemplos de estabilización con red de anillos