

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7538

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR CAÍDA DE ROCAS EN EL SECTOR IZCUCHACA

Departamento: Huancavelica
Provincia: Huancavelica
Distrito: Izcuchaca



SETIEMBRE
2024

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR CAÍDA DE ROCAS EN EL SECTOR IZCUCHACA

*Distrito Izcuchaca
Provincia Huancavelica
Departamento Huancavelica*



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

Equipo de investigación:

Mauricio A. Núñez Peredo

Julio C. Lara Calderón

Referencia bibliográfica

Núñez, M. & Lara, J. (2024). Evaluación de peligro geológico por caída de rocas en el sector Izcuchaca. Distrito Izcuchaca, provincia Huancavelica, departamento Huancavelica. Lima: Ingemmet, Informe Técnico N°A7538, 52 p.

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
2. DEFINICIONES	7
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	8
2.1. Unidades litoestratigráficas	9
2.1.1. Formación Chúlec	9
2.1.2. Depósitos cuaternarios	10
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	12
4.1. Pendientes del terreno	12
4.2. Índice topográfico de humedad	13
4.3. Unidades geomorfológicas	14
4.3.1. Unidad de montañas	14
4.3.2. Unidad de vertiente	15
4.3.3. Unidad de terraza inundable	16
5. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	16
5.1. Caída de rocas.....	17
5.1.1. Características visuales.....	17
5.1.2. Análisis de perfil transversal	20
5.1.3. Caracterización geomecánica.....	21
5.1.4. Análisis cinemático	22
5.1.5. Factores condicionantes.....	24
5.1.6. Factores detonantes desencadenantes	25
5.1.7. Daños por peligros geológicos.....	26
6. SIMULACIÓN DE CAÍDA DE ROCAS EN SOFTWARE ESPECIALIZADO.....	28
6.1. Metodología.....	28
6.2. Resultados.....	29
7. CONCLUSIONES.....	35
8. RECOMENDACIONES.....	36

9. BIBLIOGRAFÍA.....	37
ANEXO 1: MAPAS.....	38
ANEXO 2: FICHAS DE CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	43
ANEXO 3: ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN EN LA ZONA EVALUADA.....	46

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por caída de rocas realizado en el sector Izcuchaca, distrito de Izcuchaca, provincia Huancavelica, departamento Huancavelica. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualización, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

En el área de estudio afloran rocas sedimentarias de la Formación Chúlec constituida por calizas intercaladas con limolitas y limoarcillitas. Geotécnicamente, el substrato rocoso se presenta fuertemente fracturado con cuatro a más sistemas de fracturas, muy abiertas (>5.0 mm) y sin relleno visible, que dejan bloques separados del sustrato rocoso y susceptible a caídas. La superficie del macizo se muestra altamente meteorizada.

La subunidad geomorfológica donde se ubica el arranque de las caídas de roca corresponde a una ladera de montaña estructural modelada en roca sedimentaria. La ladera presenta variaciones de pendientes mayormente superiores a 35° orientadas hacia el nor-noreste; por ello, sus relieves son susceptibles a caídas de rocas y/o derrumbes.

Geodinámicamente, el área evaluada presenta múltiples evidencias de caída de rocas proveniente de las laderas del Cerro Ccehccamarca, colindante al sector Izcuchaca, con bloques angulosos a subangulosos de roca con tamaños entre 0.35 a 0.80 m, los cuales llegaron afectar varias viviendas ubicadas al pie de la ladera. Además, de acuerdo con los testimonios de los pobladores, en las últimas dos décadas se han observado caídas de roca esporádicas y recurrentes a lo largo del año, principalmente en épocas de lluvias; con tamaños de roca variable entre 0.20 m a 0.60 m, que llegan afectar viviendas, incluso con reportes de llegada hasta la vía férrea.

Los resultados de las simulaciones realizadas¹, muestran que los bloques de roca situados en la ladera este del Cerro Ccehccamarca, darán lugar a episodios de caída de rocas que pueden llegar afectar un estimado de 20 viviendas del sector Izcuchaca, incluyendo la vía férrea; con rebotes máximos que varían entre 8.0 m a 19.8 m y velocidades entre 29.4 m/s y 37 m/s.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas descritas, las viviendas ubicadas al pie de ladera del Cerro Ccehccamarca, se encuentran en **Zona Crítica** y de **Peligro Alto** ante la ocurrencia de caída de rocas, debido que se encuentran dentro de la zona de alcance máximo y rebotes de rocas; los cuales pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas y/o sismos.

Finalmente, se brinda algunas recomendaciones correctivas generales a fin de que las autoridades competentes lo pongan en práctica como son: Reubicar las viviendas que se encuentren en el talud superior de la vía férrea, implementar medidas de mitigación estructural frente a caída de rocas, implementar campañas de reforestación, elaborar un plan de contingencias ante caídas de rocas, entre otras.

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

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) el “Servicio de asistencia técnica en 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 las solicitudes de la Municipalidad Provincial de Huancavelica y la Municipalidad Distrital de Izcuchaca según Oficios N°302-2024-ALC/MPH, N°145-2024-SGRD-AL/MPH y N°200-2024-A/MDI; 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 sector Izcuchaca.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los ingenieros geólogos Mauricio Núñez Peredo y Julio Lara Calderón, para realizar la evaluación de peligros geológicos respectiva, en el sector mencionado en el párrafo anterior, los días 17 y 18 de julio del año en curso. Los trabajos de campo se realizaron previa coordinación con el alcalde, gerente general y subgerente de infraestructuras y desarrollo urbano del Distrito de Izcuchaca.

La evaluación técnica se realizó en tres 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 de la Municipalidad Provincial de Huancavelica, Municipalidad Distrital de Izcuchaca 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 el sector Izcuchaca.
- 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 el distrito de Izcuchaca, se localizan en zonas de susceptibilidad alta a muy alta.

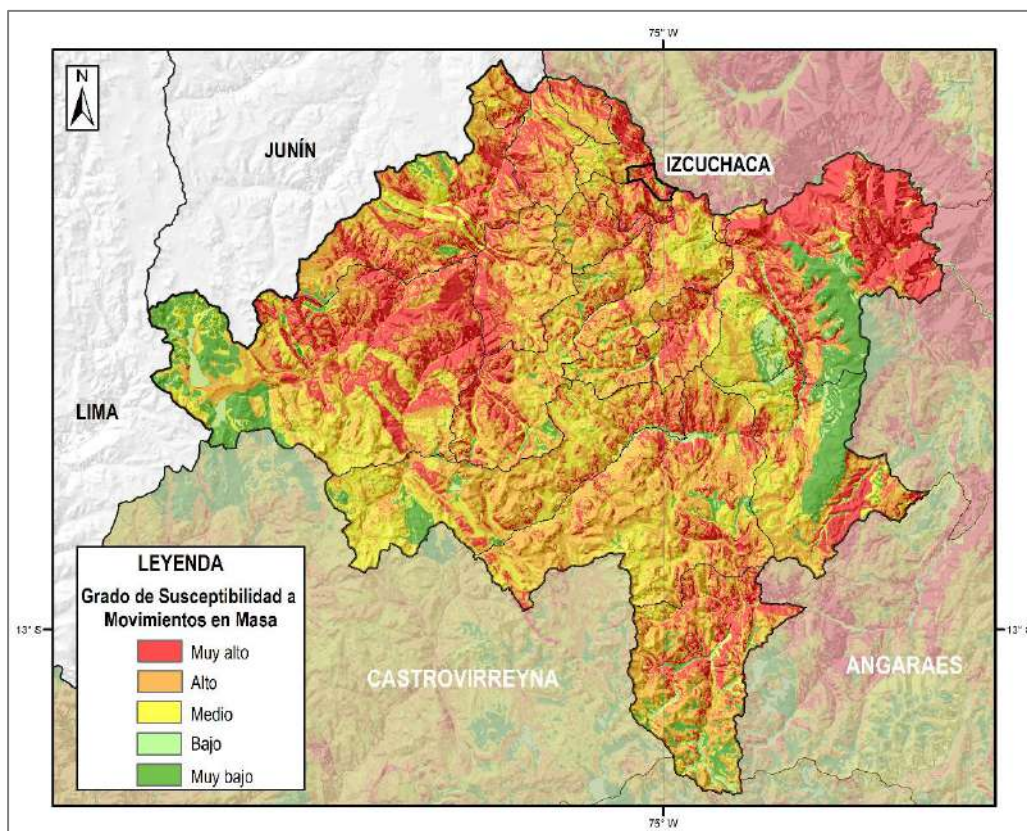


Figura 1: Susceptibilidad por movimientos en masa de la provincia de Huancavelica.
Fuente: Vílchez *et al.*, 2019.

- B) Boletín, Serie A, Carta Geológica Nacional: “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Pampas (25-n) (Cerrón & Ticona, 2003). Describe la geología regional a escala 1:50, 000 de la zona evaluada, donde se exponen principalmente rocas sedimentarias de la Formación Chúlec.
- C) Boletín Serie A, Carta Geológica Nacional: “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Huancavelica (26-n) (Romero & Torres, 2003). Describe la geología regional a escala 1:50, 000 de la zona evaluada.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El sector Izcuchaca se ubica en la ladera norte del cerro Ccehccamarca, margen derecha del río Mantaro. Políticamente pertenece al distrito Izcuchaca, provincia y departamento de Huancavelica (figura 2).

Las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S) se muestran en la tabla 1 que a continuación se detalla:

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	499705.6264	8618674.497	-12.49531431°	-75.00270922°
2	501026.5058	8618676.98	-12.4952917°	-74.99055273°
3	501029.1024	8617295.587	-12.50778371°	-74.99052837°
4	499708.223	8617293.105	-12.50780632°	-75.00268545°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
	500334.8958	8617870.483	-12.50258505°	-74.99691776°

1.3.2. Población

Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, el sector Izcuchaca presenta una población censada de 557 habitantes distribuidos en un total de 246 viviendas particulares.

Tabla 2: Distribución poblacional en el sector Izcuchaca.

DISTRITO	POBLADO	POBLACIÓN	VIVIENDAS
Izcuchaca	Izcuchaca	557	246

1.3.3. Accesibilidad

El acceso se realizó por vía terrestre desde la sede central de Ingemmet, mediante la siguiente ruta (tabla 3):

Tabla 3. Ruta de acceso.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – La Oroya	Asfaltada	181	5 horas 30 min
La Oroya – Huancayo	Asfaltada	123	2 horas 25 min
Huancayo – Izcuchaca	Asfaltada	68	1 hora 40 min

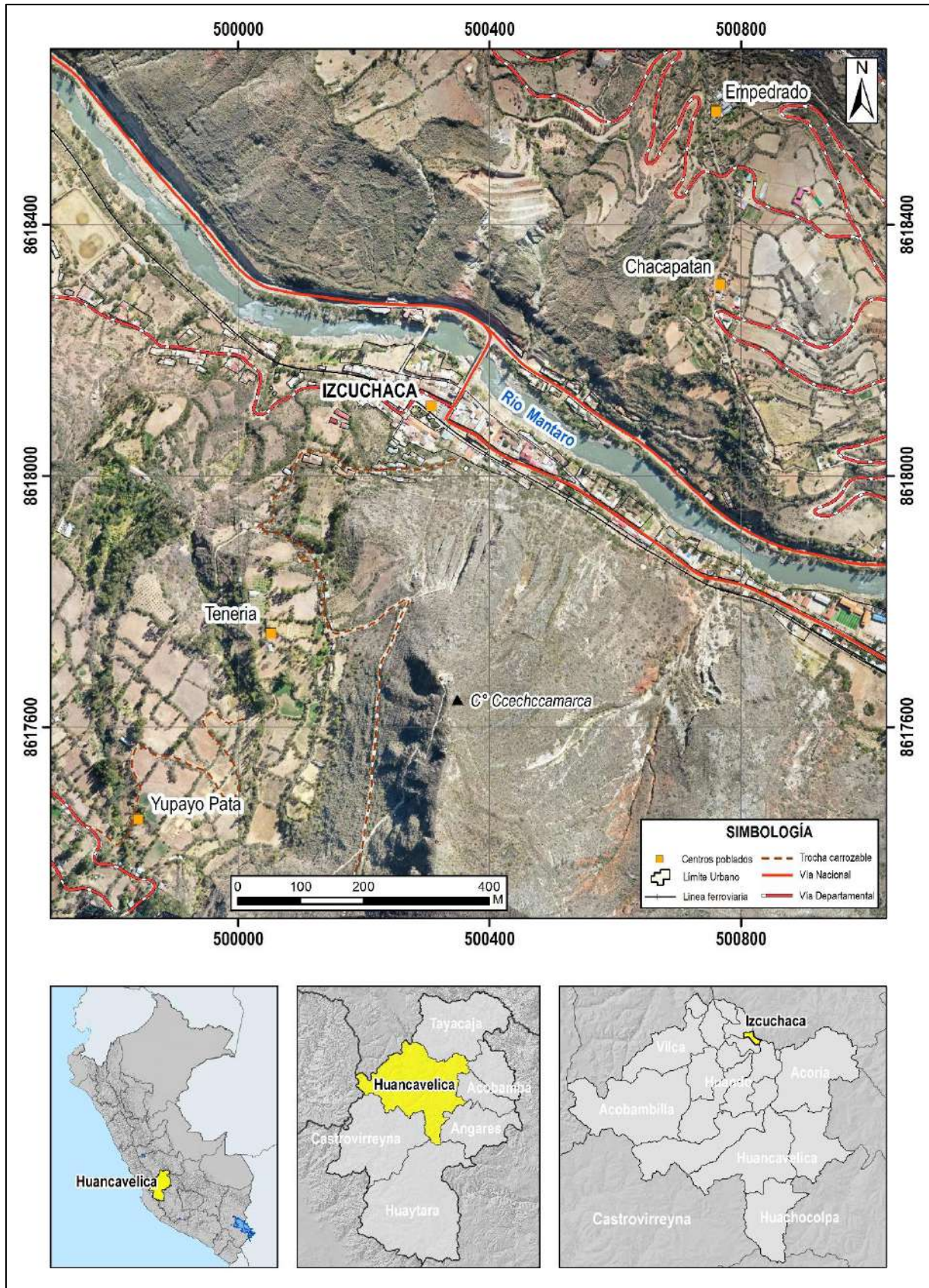


Figura 2: Ubicación del Sector Izcuchaca. Distrito Izcuchaca, provincia y departamento de Huancavelica.

1.3.4. Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), el distrito Izcuchaca, 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 enero 2021 – julio 2024 fue de 33.9 mm, (figura 3).

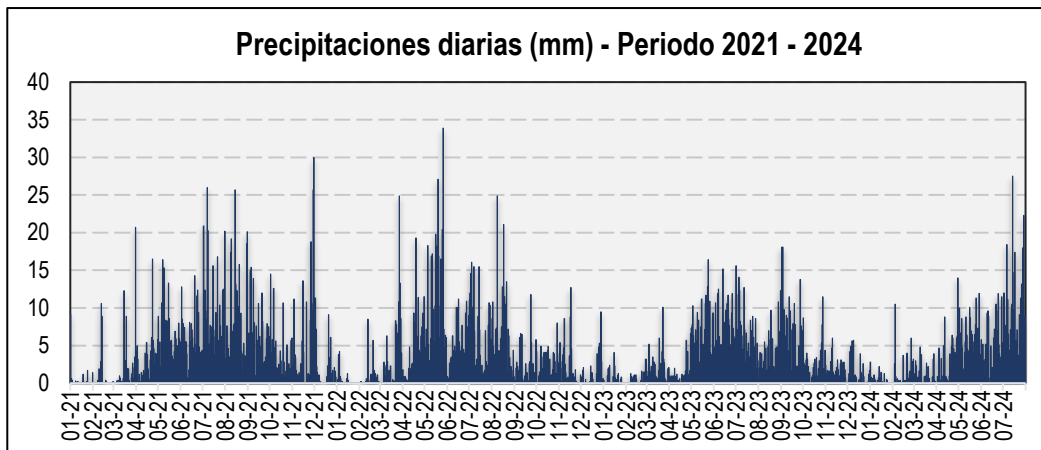


Figura 3. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2021-2024. La figura permite analizar la frecuencia de las anomalías en las precipitaciones pluviales que inducen al desarrollo de la erosión del suelo. Fuente: Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/10220101>.

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 67.2% durante casi todo el año, (Servicio aWhere).

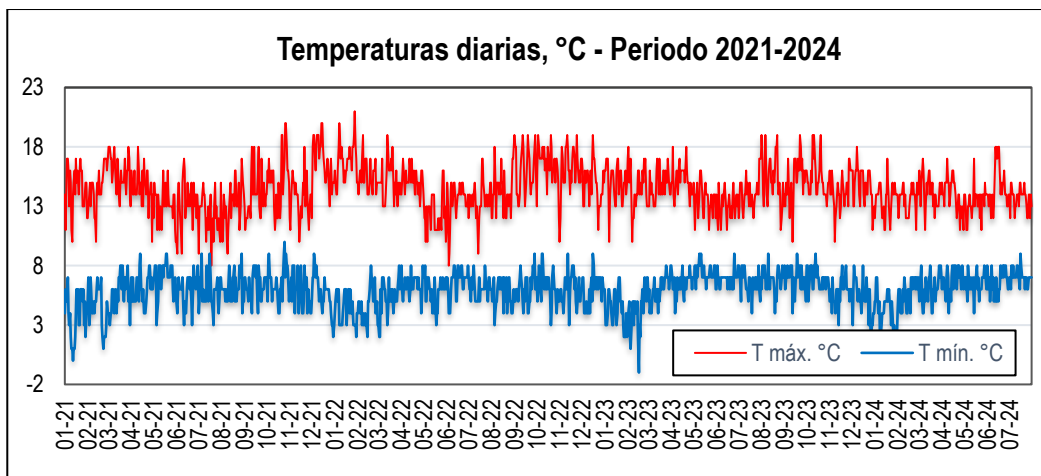


Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo 2021-2024. La figura permite analizar la variedad, saltos extremos de temperatura, duración y regularidad. Fuente: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/10220101>.

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:

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.

ALUVIAL: Génesis de la forma de un terreno o depósito de material debida a la acción de las corrientes naturales de agua.

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.

CAÍDA DE ROCAS: Tipo de caída producido cuando se separa una masa o fragmento de rocas y el desplazamiento es a través del aire o caída libre, a saltos o rodando.

COLUVIAL: Forma de terreno o material originado por la acción de la gravedad.

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.

FORMACIÓN GEOLÓGICA: Unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por presentar propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

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, huaicos, 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 los mapas geológicos de los cuadrángulos de Pampas (25n-III) (Cerrón & Ticona; 2002) y Huancavelica (26n-IV) (Romero & Torres; 2003), a escala 1: 50,000; así como la referencia de las memorias descriptivas de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Pampas (25n) y Huancavelica (26n), 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 litoestratigráficas

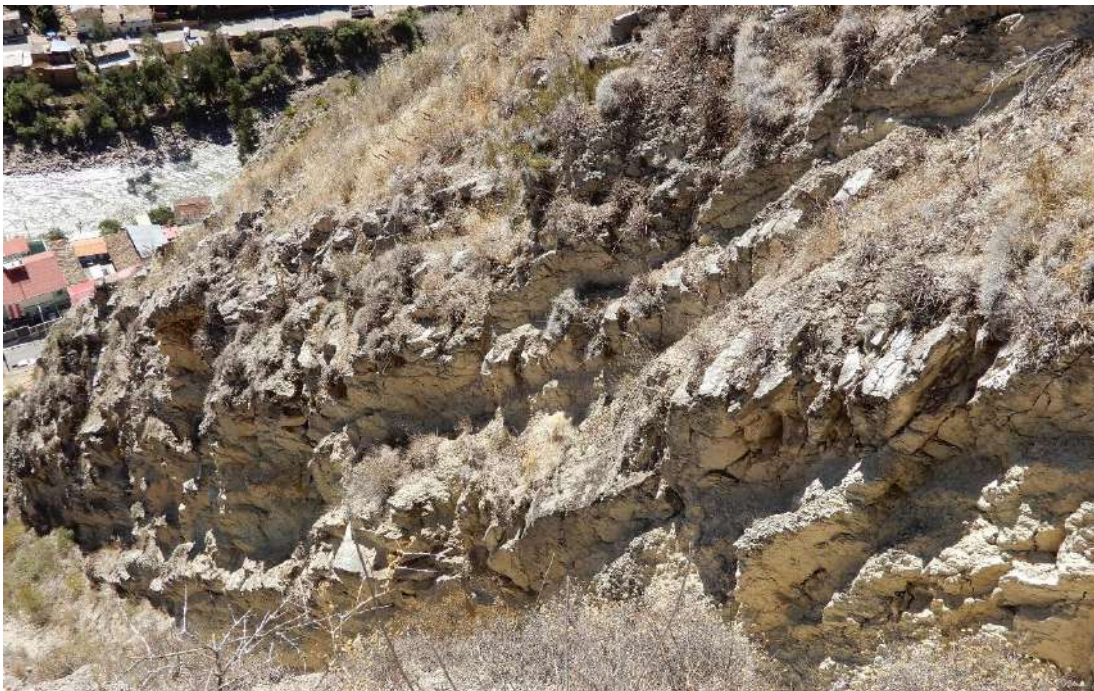
La unidad litoestratigráfica que aflora en el área de estudio corresponde a la Formación Chúlec del Cretácico Inferior. Esta unidad se encuentra cubierta por depósitos recientes, entre coluviales, coluvio-deluviales, aluviales y fluviales, que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad, (anexo 1: Mapa 01).

2.1.1. Formación Chúlec

Está constituida por rocas sedimentarias tipo caliza mudstone¹ de color beige, en estratos variables de 0.5 a 1.5 m de espesor (fotografía 1), intercaladas con niveles delgados de limolitas y limoarcillitas fuertemente fracturados (fotografías 2).

La caliza presenta textura micrítica en capas medias subtabulares y con abundantes vetillas de calcita. Las limolitas son de color crema en capas medianas a delgadas con estructura masiva intercaladas con limoarcillitas rojizas y esporádicos niveles de yeso (Cerrón & Ticona, 2003).

Geotécnicamente, las calizas presentan una resistencia alta (50-100 Mpa); muy fracturadas, con espaciamentos próximos a medianamente separadas entre sí (0.06 a 0.6 m); no persistentes (< 3 m), aberturas abiertas a muy abiertas (1.0 a >5.0 mm), algo rugosas a rugosas y sin relleno visible. Superficialmente el macizo rocoso se muestra altamente meteorizado.



Fotografía 1. Vista del substrato rocoso constituido por caliza mudstone de coloración beige, de la Formación Chúlec. Superficialmente el macizo rocoso se encuentra fuertemente fracturado, con espaciamentos próximos entre sí, aberturas abiertas a muy abiertas y sin relleno visible. Coordenadas referenciales UTM WGS-84, 18S: E: 500354; N: 8617831.

¹ **Calizas mudstone:** Roca masiva de composición calcárea o carbonatada que presenta una textura micrítica de matriz soportada y una granulometría menor a 2 mm (Dunham, 1962).



Fotografía 2. Vista de la intercalación de calizas con niveles delgados de limolitas, característico de la Formación Chúlec. Se muestra fuertemente fracturado y altamente meteorizado. Coordenadas referenciales UTM WGS-84, 18S: E: 500347; N: 8617845.

2.1.2. 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 la acción de las aguas de escorrentía.

Estos depósitos están compuestos principalmente por fragmentos líticos de rocas sedimentarias (areniscas y calizas), subangulosos a subredondeados con diámetros que varían entre 0.02 a 0.43 m envueltos en matriz arcilloso -limo arenoso (fotografía 3), producto de la meteorización de las rocas sedimentarias y removidos por procesos de movimientos en masa antiguos y la filtración de aguas de escorrentía superficial.

b. Depósito coluvial (Q-co)

Son depósitos inconsolidados, compuestos por bloques de roca sueltos, angulosos a subangulosos, heterométricos (hasta 2.0 m) y de naturaleza litológica homogénea (fotografía 4). Los bloques más gruesos se depositan en la base y los tamaños menores disminuyen gradualmente hacia el ápice (fotografía 4). Carecen de matriz, son sueltos sin cohesión y su grado de compacidad es bajo. Conforman taludes de reposo poco estables y se encuentran acumulados al pie del talud.



Fotografía 3. Vista de depósito coluvio-deluvial (Q-cd), formado por fragmentos líticos, angulosos a subangulosos, heterométricos de hasta 0.48 m de diámetro, envueltos en matriz arcilloso -limo arenoso. Coordenadas referenciales UTM WGS-84, 18S: E: 500200; N: 8618163.



Fotografía 4. Vista de depósito coluvial (Q-c), formado por bloques de roca de hasta 2.0 m de diámetro, conforman taludes de reposo poco estables. Coordenadas referenciales UTM WGS-84, 18S: E: 500408; N: 8617972.

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 0.70 m de resolución obtenido a través de fotogrametría (dron).

En general el área de estudio presenta laderas de montaña muy fuertes a muy escarpadas (35° a 60°) principalmente en laderas que circunscriben el poblado de Izcuchaca (figura 5). Este rango de pendientes es el resultado de la intensa acción erosiva del agua de escorrentía superficial, que ha tallado profundamente en la roca sedimentaria a lo largo del tiempo, creando una topografía escarpada y de pendiente pronunciada.

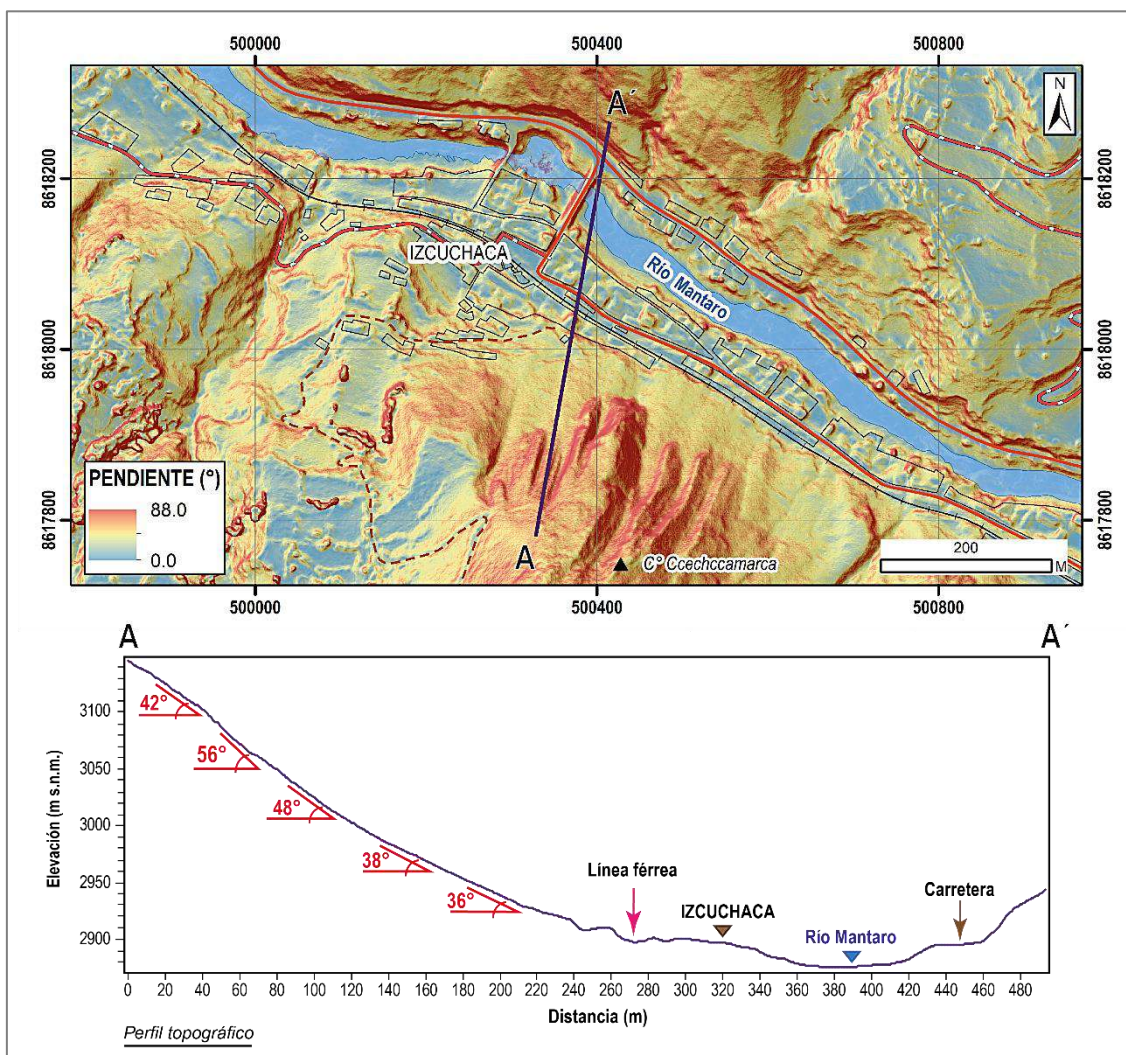


Figura 5. Vista de la inclinación de las laderas colindantes al poblado de Izcuchaca, mostrando pendiente muy fuerte a muy escarpadas (25° a 60°).

4.2. Índice topográfico de humedad

El índice topográfico de humedad (TWI) permite identificar los lugares potenciales donde se concentra la humedad o las zonas de acumulación de aguas de escorrentía superficial.

La obtención de este indicador fue realizada mediante una secuencia de análisis de modelos digitales de terreno (MDT) de alta resolución y precisión (obtenido de la fotogrametría del dron) y procesados en SAGA GIS.

Es así, que la zona de caída de rocas reportado el pasado 03 de junio y mostrado en la figura 6 en círculo entrecortado rojo; presenta una mayor cantidad de acumulación de agua, que discurren desde la zona de arranque y en varias direcciones hacia el poblado de Izcuchaca; lo que sugiere que, en incrementos de precipitaciones pluviales, la posibilidad de un incremento de la inestabilidad y producirse nuevos desprendimientos es alta.

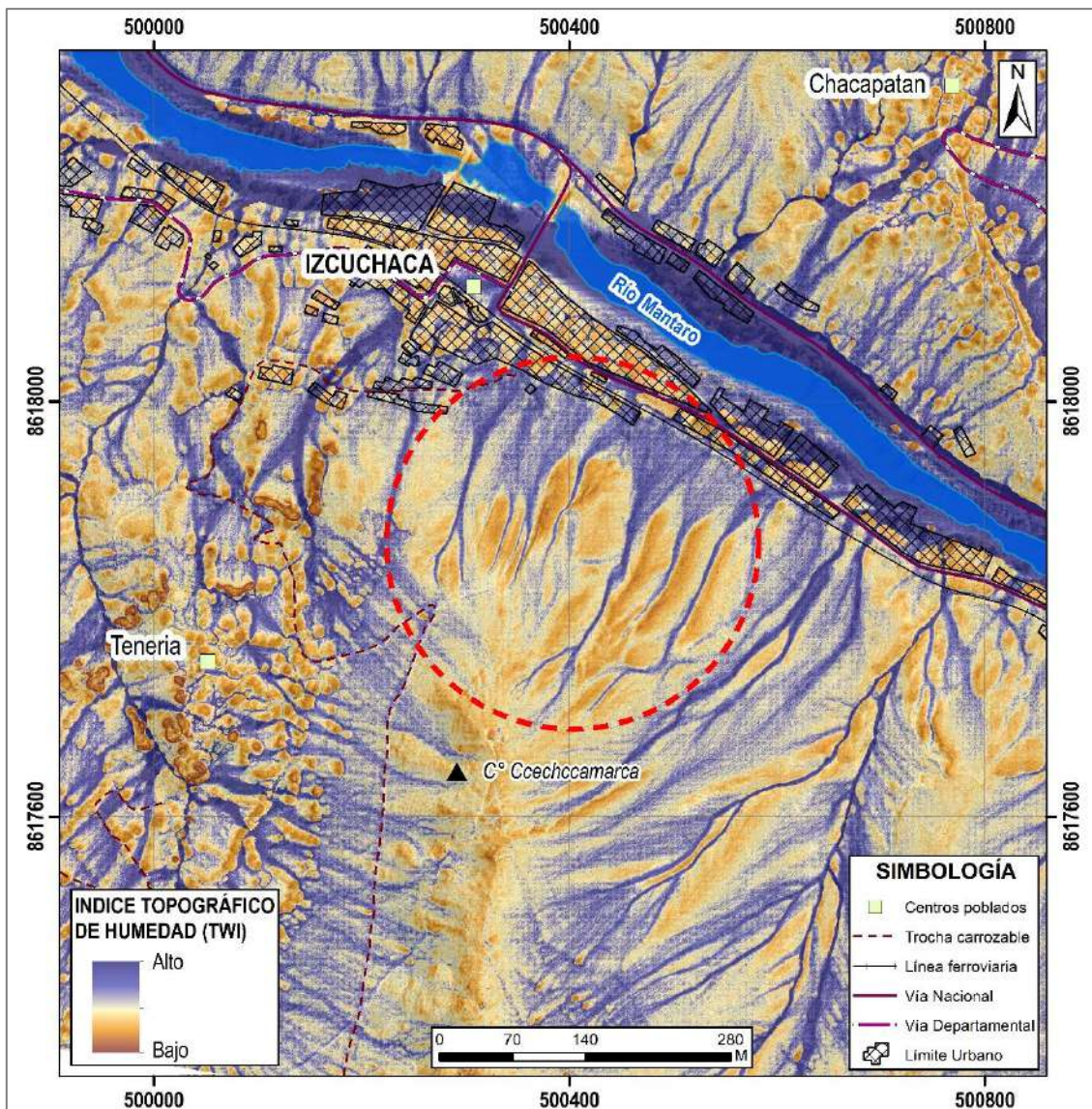


Figura 6. Índice topográfico de humedad (TWI) en el sector de Izcuchaca y alrededores. La zona de caída reportada el último 03 de junio del 2024, se muestra en el círculo entrecortado color rojo.

4.3. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades y subunidades geomorfológicas en el área de estudio se utilizó el criterio principal de homogeneidad relativa y la caracterización de aspectos de origen del relieve. Asimismo, para la delimitación de las subunidades, se consideró los límites de las unidades litoestratigráficas (afloramiento y substrato rocoso, así como depósitos superficiales).

En el Anexo 1: Mapa 03 se presentan las subunidades geomorfológicas identificadas en la zona evaluada y alrededores; identificándose las siguientes geoformas:

4.3.1. Unidad de Montañas

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

Subunidad de Montaña estructural en roca sedimentaria (ME-rs):

Corresponde a geoformas modeladas en rocas sedimentarias de la Formación Chúlec; compuestas por calizas intercaladas con niveles delgados de limolitas y limoarcillitas; fuertemente fracturadas y plegadas, formando la estructura de un sinclinal, que pasa por la margen derecha del río Mantaro al este de Izcuchaca (fotografía 5).

Esta subunidad presenta una topografía abrupta, con pendientes del terreno fuerte a muy escarpado (15° a $>45^\circ$), por ello son relieves susceptibles a la ocurrencia de caídas de rocas y/o derrumbes.



Fotografía 5. Vista de la subunidad de montaña estructural modelada en roca sedimentaria (ME-rs). Sus relieves se encuentran asociadas a procesos dominantes de caídas de rocas y derrumbes. Coordenadas referenciales UTM WGS-84, 18S: E: 500350; N: 8617735.

4.3.2. Unidad de vertiente

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:

Subunidad con depósito de deslizamiento (V-dd):

Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa antiguos, de tipo deslizamiento (figura 7). Los paisajes originados por estos procesos gravitacionales varían desde pequeñas a grandes dimensiones, probablemente detonados por lluvias excepcionales o asociados a eventos sísmicos importantes.

Generalmente su composición litológica es homogénea, con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados, son depósitos de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores de los valles. Su morfología es usualmente convexa y con disposición semicircular a elongada en relación a la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

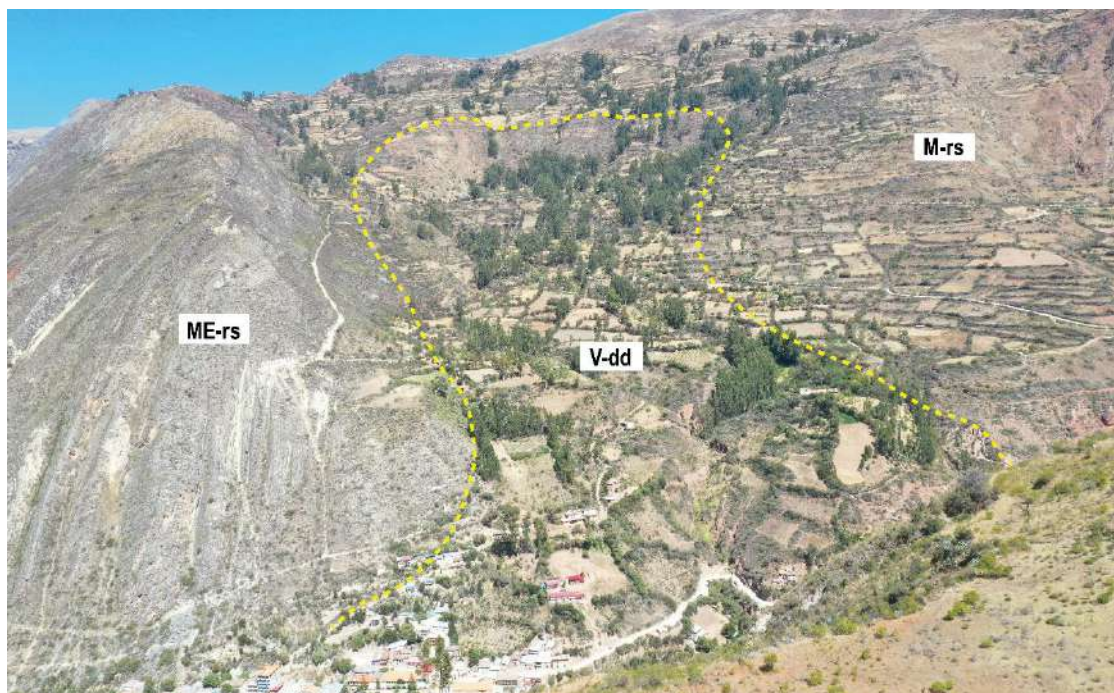


Figura 7. Vista de la subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd), originado por procesos de movimientos en masa antiguos. Coordenadas referenciales UTM WGS-84, 18S: E: 499864; N: 8617387-

Subunidad de vertiente coluvial (V-c):

Son depósitos inconsolidados acumulados en la vertiente de la montaña, en forma de taluds de detritos irregulares de origen coluvial, de edad reciente, que descienden cuesta abajo. Presentan una naturaleza litológica homogénea de granulometría variable con bloques de roca angulosos y grado de compacidad bajo, no consolidado.

Son representados por la escala de trabajo empleado, conforman materiales potencialmente inestables de las laderas que caen o ruedan por la fuerza de gravedad, con ayuda de las lluvias intensas o movimientos sísmicos.

4.3.3. Unidad de terraza inundable

Son superficies bajas, con pendientes suaves adyacentes a los fondos de valles principales y el mismo curso fluvial, sujetas a inundaciones recurrentes, ya sean estacionales o excepcionales en máximas avenidas. Morfológicamente se distinguen como terrenos planos compuesto de material no consolidado, removible.

Subunidad de terraza fluvial (T-f)

Se caracteriza por presentarse dentro del curso del río Mantaro. Litológicamente está compuesta por fragmentos rocosos heterogéneos (bolones, cantos gravas, arenas, etc.) que son transportados por la corriente fluvial, y se depositan formando terrazas bajas (figura 8), también conforman la llanura de inundación o el lecho del río.



Figura 8. Vista de la subunidad de terraza fluvial en la margen izquierda del río Mantaro. Coordenadas referenciales UTM WGS-84, 18S: E: 500428; N: 8618122.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en el área de estudio corresponden al tipo caída, subtipo caída de rocas (anexo 1: Mapa 4).

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 con 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 0.70 y 0.08 cm/pixel respectivamente, complementada con el análisis de imágenes satelitales.

Además de ello, la zona es considerada de alta a muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (Vílchez *et al.*, 2019):

5.1. Caída de rocas

El 03 de junio del presente año, se reportó la caída de rocas proveniente de las laderas del Cerro Ccehccamarca, colindante al sector Izcuchaca, con bloques angulosos a subangulosos, tamaños de roca variable entre 0.35 a 0.80 m, los cuales llegaron a afectar 20 viviendas ubicadas al pie de la ladera (Reporte SINPAD, con código N°202032).

Además, de acuerdo con el testimonio de los pobladores, en las últimas dos décadas se han observado caídas de roca esporádicas y recurrentes a lo largo del año, principalmente en épocas de lluvias; con tamaños de roca variable entre 0.20 m a 0.60 m, que llegan a afectar parte de las viviendas (paredes, pisos y techos), incluso con reportes de llegada hasta la vía férrea.

La ladera fuente tiene forma abrupta, con variaciones de pendiente, mayormente superiores a 35° orientadas hacia el nor-noreste; además, el área de estudio no presenta vegetación nativa; por el contrario, se observa cortes de talud para la construcción de nuevas viviendas.

El área susceptible a las caídas de rocas, está conformada por un macizo rocoso fuertemente fracturado, con cuatro a más sistemas de fracturas, muy abiertas (>5.0 mm) y sin relleno visible, que dejan bloques separados del sustrato rocoso (figura 9). Esta red de discontinuidades da lugar a una estructura de planos de debilidad que determina la forma y el tamaño de los elementos inestables. Además, su orientación respecto a la ladera, determina la dinámica de su inestabilidad.

Así mismo, los trabajos de campo permitieron identificar bloques de rocas en forma de canchales dispuestos al pie de ladera, con tamaños de roca variable entre 0.9 a 2.0 m de diámetro (fotografía 6). Estas características son indicativos que históricamente grandes bloques de roca se desprendieron a lo largo del talud.

Por último, se evidenció marcas de impacto de bloques desprendidos desde las zonas más alta de ladera, dejando cráteres de impacto en el terreno y huellas en postes de luz, con diámetros entre 0.4 m a 1.5 m (figura 10). Estas “marcas”, muestran una idea de la trayectoria del bloque rocoso desprendido.

5.1.1. Características visuales

Los procesos de caídas de rocas, identificados en el área de estudio, presentan las siguientes características:

- Arranque: Talud rocoso fracturado.
- Tipo de rotura: Planar y vuelco
- Zona de arranque: Ladera.
- Forma de zona de arranque: Irregular.
- Características del depósito: Bloques aislados
- Alcances máximos: ≈200-235 metros
- Tamaño máximo de bloque aislados: ≈2.0 m de longitud, ≈1.0 m de ancho y ≈1.20 m de profundidad.
- Masa de bloque desprendidos: ≈5.5 toneladas.
- Efecto principal: Podría afectar viviendas, hospedaje, comedor popular y vía férrea del distrito de Izcuchaca.
- La pendiente varía entre 45° a 65°.

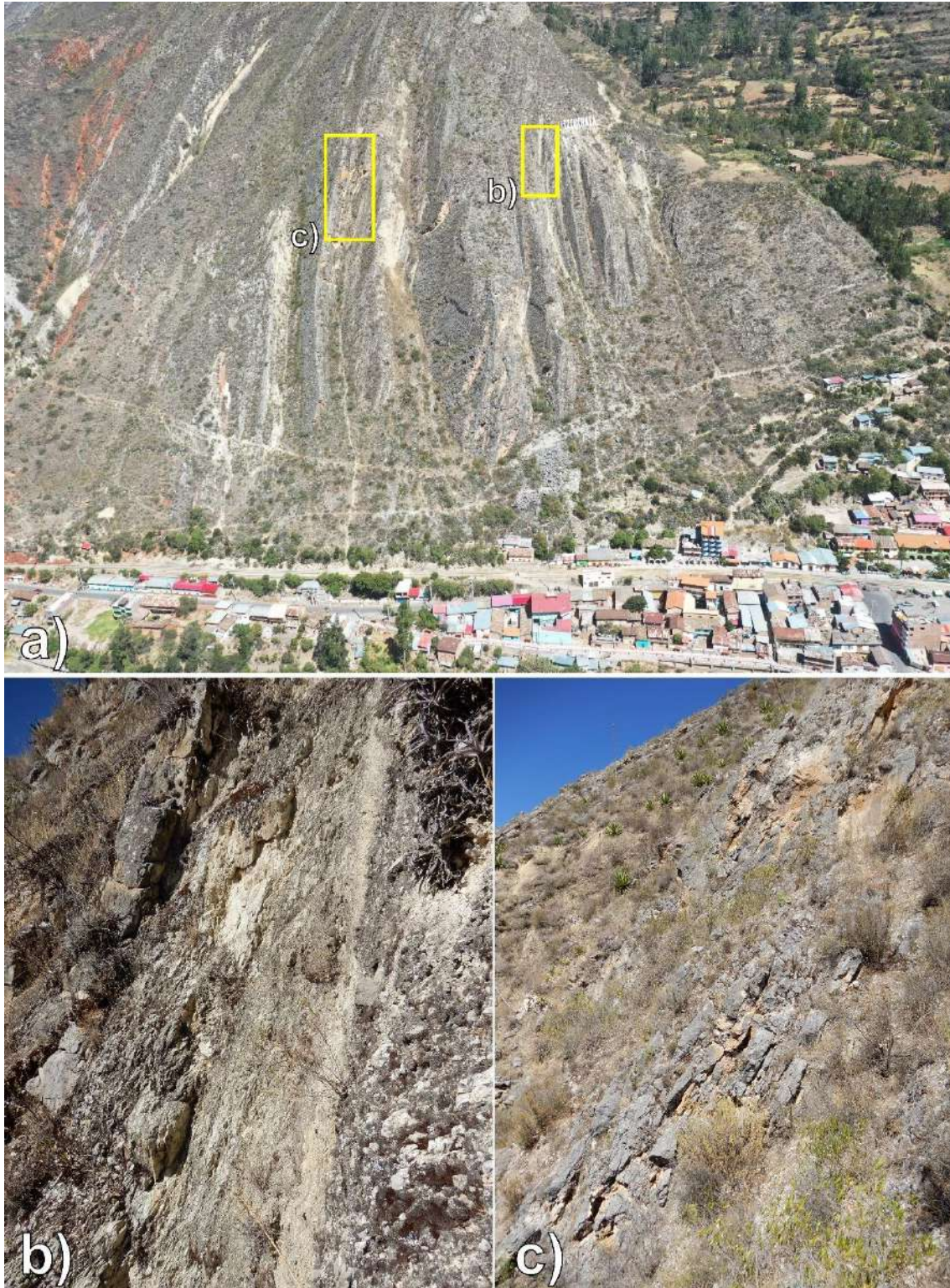


Figura 9. a) Vista de la ladera abrupta del Cerro Ccechccamarca, con pendientes mayores a 35°, conformada por calizas con niveles delgados de limolitas de la Formación Chúlec. b) y c) muestran los sectores con reportes de caídas de rocas, los cuales evidentemente han sido condicionados por la fuerte fracturación del macizo rocoso y la pendiente de la ladera.



Fotografía 6. Bloques de roca con tamaños de 0.9 a 2.0 m de diámetro dispuestos al pie de la ladera del Cerro Ccehcamarca.



Figura 10. En ambas fotografías se puede visualizar en líneas entrecortadas amarillas, las marcas de impacto de antiguos bloques desprendidos tanto en postes (A), como en huellas en el terreno (B).

5.1.2. Análisis de perfil transversal

En base al levantamiento fotogramétrico con dron se generó un modelo digital de terreno (MDT), obteniendo un perfil trasversal A-A' (figura 11), el que permitió caracterizar el evento ocurrido el 03 de junio del 2024.

El perfil transversal A-A' (ladera sureste del cerro Ccehccamarca) muestra el movimiento de la caída de roca, ubicado sobre los 3100 m s.n.m. y con un ángulo de arranque de 42° (pendiente del terreno). El bloque cae y se estrella en el techo del hospedaje "Vista alegre Izcuchaca" ubicado a 190 metros en línea horizontal.

Utilizando el criterio de Evans y Hungr (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.

Aplicando este criterio, se observa que 10 viviendas, el hospedaje y el comedor popular "Keiko Sofia Izcuchaca" se ubican dentro la zona de alcance máximo de las rocas, lo que permite indicar que, ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud, los bloques de rocas tienen alta probabilidad de caer y comprometer la seguridad física de viviendas y personas asentadas ladera abajo (figura 12).

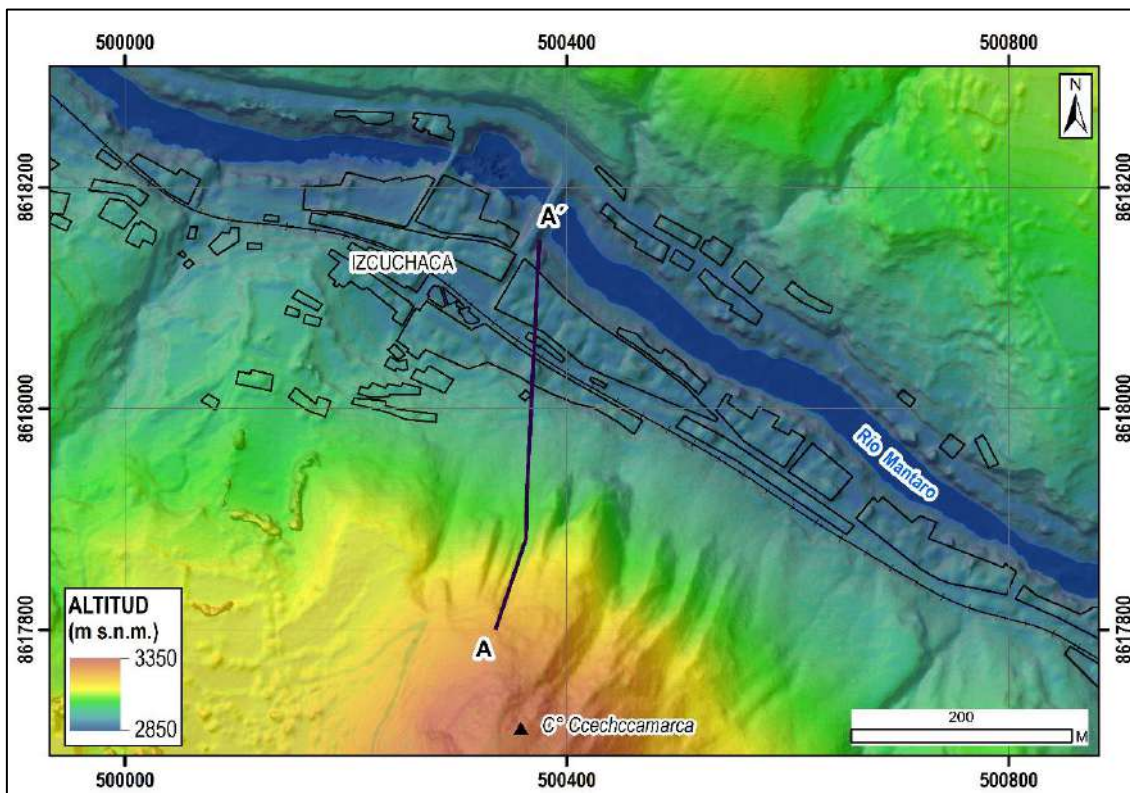


Figura 11. Ubicación del perfil A-A' trazado de acuerdo al registro del último evento registrado en junio del 2024 y su posible trayectoria; así mismo, se muestra las viviendas expuestas demarcadas en polígono color negro.

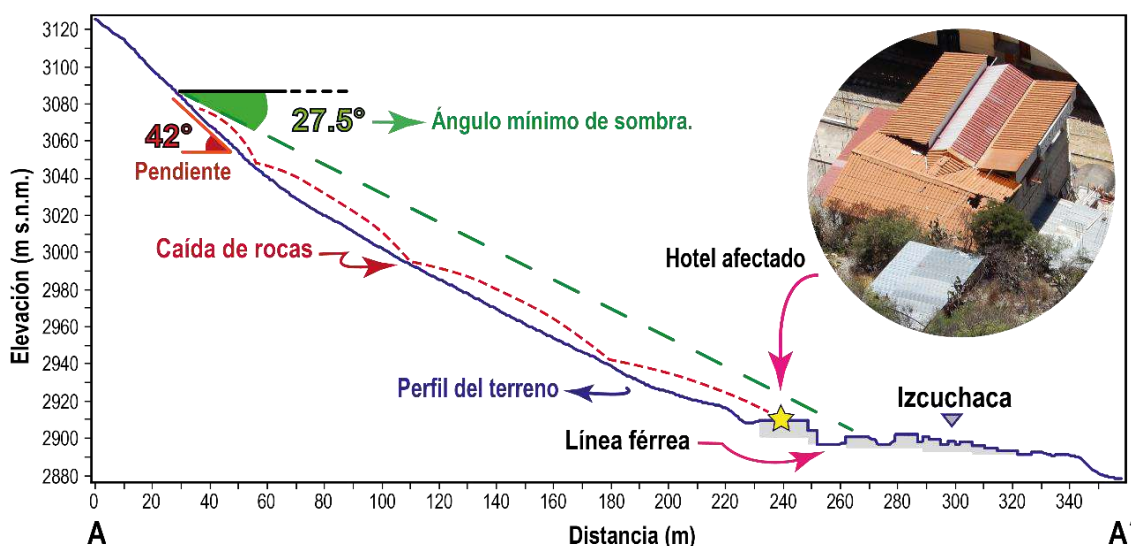


Figura 12. Perfil transversal del evento ocurrido en junio del 2024, mostrando un ángulo de arranque de 42° así como las viviendas expuestas. Así mismo se muestra el ángulo mínimo de sombra, como el alcance máximo que se debería considerar según el criterio de Criterio de Evans, S.G. y Hungr, O. (1993).

Para determinar el comportamiento geotécnico de los macizos rocosos circundantes al área de estudio se consideraron dos estaciones geomecánicas; además, con el fin de analizar los desprendimientos de rocas, se realizó un análisis cinemático de inestabilidades potenciales por proyección estereográfica.

5.1.3. Caracterización geomecánica

Con la información lito-estructural y la caracterización de la masa rocosa, se ha clasificado el macizo rocoso involucrado en las diferentes celdas de detalle del mapeo geotécnico utilizando los criterios de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR: Rock Mass Rating 1989). En general, el área de estudio presenta calidades de roca clasificadas como regulares (ver detalle en el anexo 2 y tabla 4).

Tabla 4. Resumen de las estaciones geomecánicas.

NRO. ESTACIÓN	TALUD DIP / DIP DIR	RMR TOTAL	DESCRIPCIÓN
E-01	68/062	53	REGULAR
E-02	65/060	52	REGULAR

El macizo rocoso presenta resistencia media (50-100 Mpa), grado de fracturación medio (50-75); además, las juntas se encuentran próximos a medianamente separadas (0.06-0.6 m), subpersistente (3-10 m); abiertas a muy abiertas (>5mm); ligeramente rugosas, sin relleno y superficialmente muy meteorizadas.

Es preciso indicar que la alternancia de materiales rocosos de diferente composición y estructura en el talud (calizas intercaladas con niveles de limolitas y limoarcillitas) se manifiesta en distintos grados de alteración, resistencia y comportamiento mecánico. Además, en un mismo tipo de roca como la caliza, su resistencia media (que influye en su calidad) disminuye debido al intenso fracturamiento (formando bloques pequeños a medios) tal y como se aprecia en las caras expuestas de la ladera.

5.1.4. Análisis cinemático

Con el fin de analizar los diferentes desprendimientos de materiales que se observaron en campo, se realiza un análisis cinemático para los taludes según los sets de discontinuidades definidos en cada estación geomecánica. Los modos de falla a analizar corresponden a falla planar, cuña y volcamiento de bloques.

En todos los análisis se utilizó un ángulo de fricción interna de 35°, definido por el software RocData, valor que se obtuvo de acuerdo a las observaciones de campo in situ y los valores obtenidos en las fichas geomecánicas.

En general, las 2 estaciones geomecánicas realizadas presentan dos tipos de rotura, tal y como se puede visualizar en la siguiente tabla resumen:

Tabla 5. Resumen del análisis cinemático.

NRO. ESTACIÓN	TALUD DIP / DIP DIR	UCS (MPa)	ϕ	ANÁLISIS CINEMÁTICO
E-01	68/062	87	35°	Falla por volcamiento
E-02	65/060	89	35°	Falla planar

- **La estación geomecánica 01**, presenta probabilidad de roturas por volcamiento, la cual se desarrolla a través de la intersección de las familias J1 y J2 (figura 13), que corresponden a discontinuidades con buzamientos paralelos a la cara del talud.

Las principales causas que generan la rotura por vuelco son: La altura del talud (≈ 250 m), geometría desfavorable de los estratos, sistema de fracturas ortogonales que dan lugar a una geometría de columnas divididas en bloques (**Fotografía 7**) y la concentración desfavorable de tensiones.

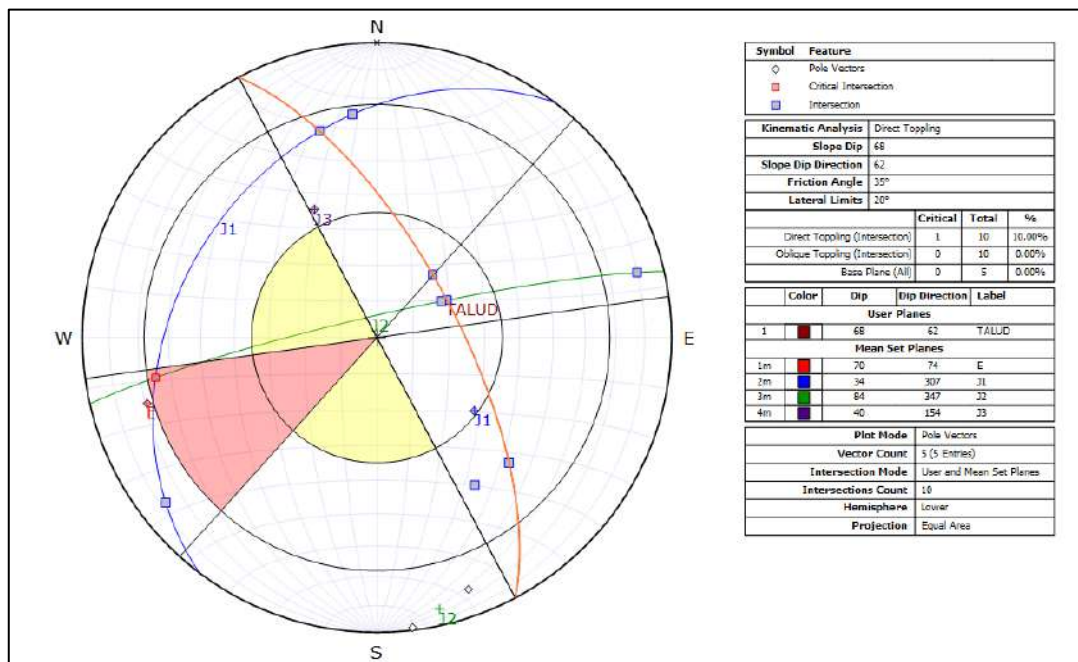


Figura 13. Análisis cinemático por volcamiento de la estación geomecánica E-01.



Fotografía 7. Vista de sistema de fracturas ortogonales muy abiertas, que dan lugar a una geometría de columnas divididas en bloques favoreciendo la rotura por volcamiento.

- **La estación geomecánica 02**, presenta probabilidad de rotura planar (figura 14), la cual se desarrolla a través del plano de estratificación con buzamiento a favor de la pendiente y favoreciendo la ruptura e inestabilidad del talud.

La evidencia de las roturas planares se muestra en la figura 15, con cicatrices de desprendimientos antiguos, claramente delimitados por planos bien marcados en la cara expuesta del talud.

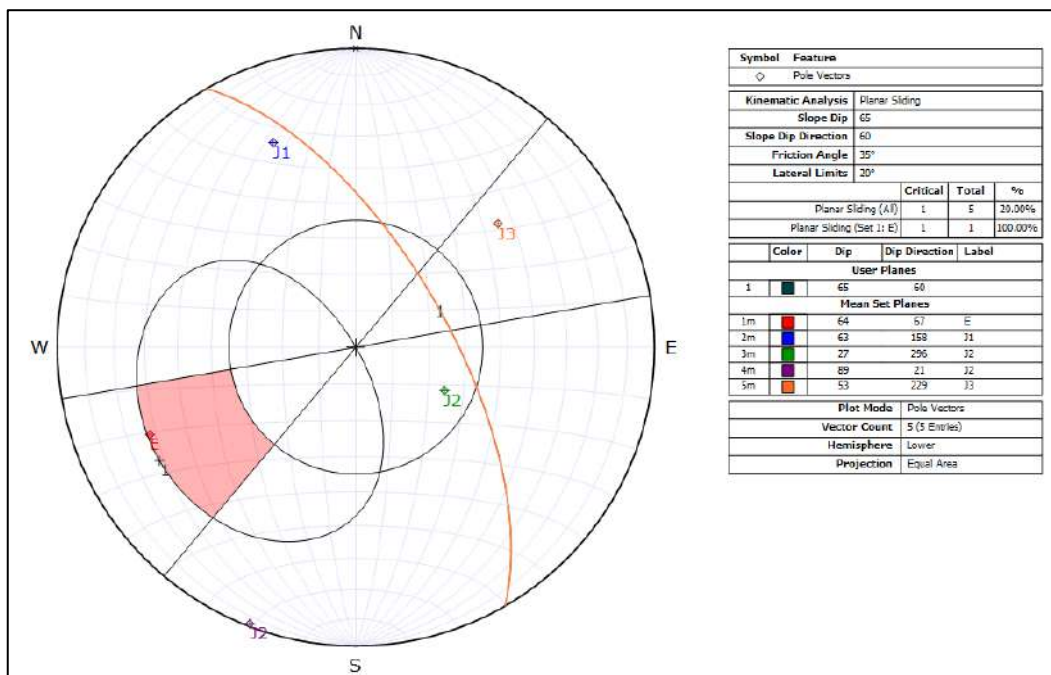


Figura 14. Análisis cinemático por rotura planar de la estación geomecánica E-01.



Figura 15. Evidencias de cicatrices de desprendimientos antiguos (líneas entrecortadas roja) que sugieren roturas planares con movimiento a favor del plano de estratificación.

5.1.5. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

- Características litológicas del área de estudio, conformado por calizas intercaladas con niveles delgados de limolitas y limoarcillitas de la Formación Chúlec. Geomecánicamente, el macizo rocoso se presenta muy fracturado con cinco familias de fracturas, algunas presentándose muy abiertas (>5mm) y sin relleno, que dejan bloques aislados medianamente separados (0.06-0.6 m) susceptibles a roturas de tipo planar y volcamiento. Superficialmente se presentan muy meteorizadas.
- Depósitos inconsolidados de tipo coluvial formado por bloques de roca con diámetros entre 0.9 a 2.0 m y gravas angulosas a subangulosos, acumulados al pie de la ladera dispuestos en forma de canchales.

Factor geomorfológico

- Configuración geomorfológica de la zona de estudio: Montañas estructurales modeladas en rocas sedimentaria, fracturadas y muy meteorizadas que generan laderas inestables.
- Pendiente entre muy fuerte a muy escarpada (35° a 60°) de las laderas del Cerro Ccechccamarca; 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 superficial.

5.1.6. Factores detonantes desencadenantes

a. GELIFRACCIÓN DE BLOQUES

La gelifracción es un proceso consistente en la fragmentación de las rocas debido a las tensiones producidas al congelarse agua contenida en sus grietas, fracturas y poros.

En este sentido, la acumulación de granizo y lluvia entre las fracturas favoreció el congelamiento y posterior expansión de agua en época seca, provocando la gelifracción de bloques, dando lugar a la separación y caída de rocas.

b. SISMOS:

Los sismos son uno de los factores más importantes que condicionan la ocurrencia de grandes movimientos en masa. De acuerdo a los niveles de zonificación sísmica en el Perú (figura 16); el área de estudio se ubica en la Zona 3 (Sismicidad Alta), determinándose aceleraciones de 0.35 g.

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, se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad (DS No. 003-2016-VIVIENDA).

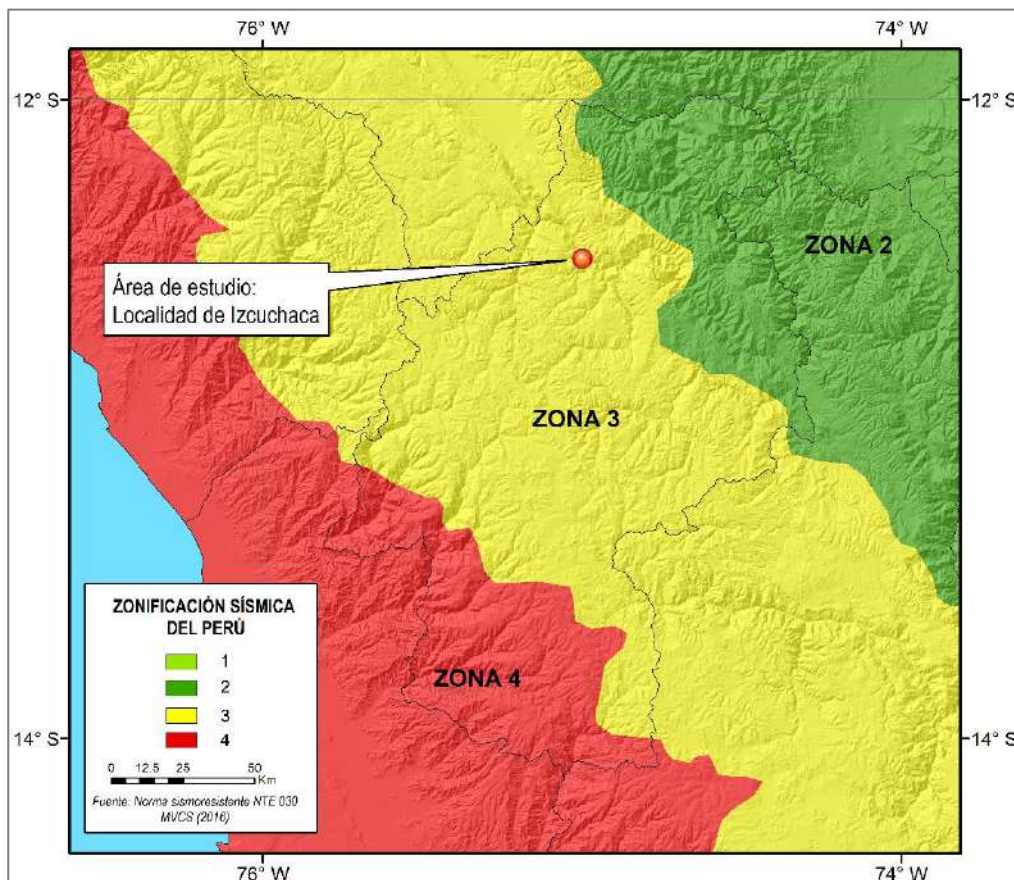


Figura 16. Zonificación sísmica del Perú.

Fuente: Norma sismorresistente NTE 030 MVCS, 2016.

c. PRECIPITACIONES:

Intensas precipitaciones pluviales y/o excepcionales, principalmente entre los meses de diciembre 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.

Así mismo; el drenaje superficial que, en incrementos de precipitaciones pluviales, discurren desde la zona de arranque y en varias direcciones hacia el poblado de Izcuchaca, aumenta la posibilidad de generar nuevos desprendimientos de rocas.

5.1.7. Daños por peligros geológicos

Los daños registrados del último evento (03 de junio del presente año) son la afectación directa de: techo del Hospedaje “Vista Alegre Izcuchaca”, tres viviendas y el comedor popular “Keiko Sofia Izcuchaca” (figura 17, 18, 19).

De generarse un evento similar, podría afectar viviendas asentadas en la parte baja, próximas a la ladera del Cerro Ccechccamarca, la línea férrea, dos hospedajes, el comedor popular, postes de tendido eléctrico, la comisaría PNP Izcuchaca, un tramo de la Vía Izcuchaca – Huancavelica y las personas que transitan por la vía.



Figura 17. A. Vestigio del impacto de la caída de roca en el techo de hospedaje “Vista Alegre Izcuchaca”. Coordenadas referenciales UTM WGS-84, 18S: E: 500368; N: 8618026. **B.** Techo de vivienda continúa al hospedaje y de igual forma, afectado por la caída de roca reciente. Coordenadas referenciales UTM WGS-84, 18S: E: 500373; N: 8618023.



Figura 18. Registro fotográfico de la afectación directa de techo (A) y patio (B) del comedor popular “Keiko Sofia Izcuchaca”. Coordenadas referenciales UTM WGS-84, 18S: E: 500409; N: 8618013.



Figura 19. Vestigios de caídas de rocas en pared (A) y techo (B) de vivienda. Coordenadas referenciales UTM WGS-84, 18S: E: 500428; N: 8618007.

6. SIMULACIÓN DE CAÍDA DE ROCAS EN SOFTWARE ESPECIALIZADO

Con el objetivo de analizar con mayor detalle la dinámica de las caídas de rocas en el sector Izcuchaca, fue necesario generar varias simulaciones, diseñadas en función del registro obtenido en la etapa de campo y los cuales se disponen principalmente en la ladera norte del Cerro Ccechccamarca.

Para ello se utilizó el software Rockfall de la compañía Rocscience con el fin de determinar los alcances máximos de los bloques de roca, la velocidad, altura máxima de rebote y la energía cinética total. La simulación se realizó en dos direcciones.

6.1. Metodología

El desarrollo de estos escenarios se realizó utilizando siete (7) secciones transversales de la ladera (figura 20), diseñados de acuerdo a la dirección probable caída y en base a los siguientes criterios:

- 1) Registros de caídas de rocas (marcas y huellas de impacto; afectaciones a la población).
- 2) Zonas susceptibles de caída (identificadas en la etapa de campo).
- 3) Orientación de la pendiente.
- 4) Análisis del índice topográfico de humedad (Ver figura 6).
- 5) Fotointerpretación de fotografías de dron.

Así mismo fue necesario conocer la densidad de la roca, que de acuerdo con González De Vallejo *et al*, (2002), las calizas presentan una densidad de 2.3 – 2.6 g/cm³ o 2300 a 2600 kg/m³. Con este valor, y un estimado de una roca con un diámetro mayor de 1.4 m (tamaño de roca promedio de los registrados de campo), se determinó la masa rocosa a simular en 2110 kg.

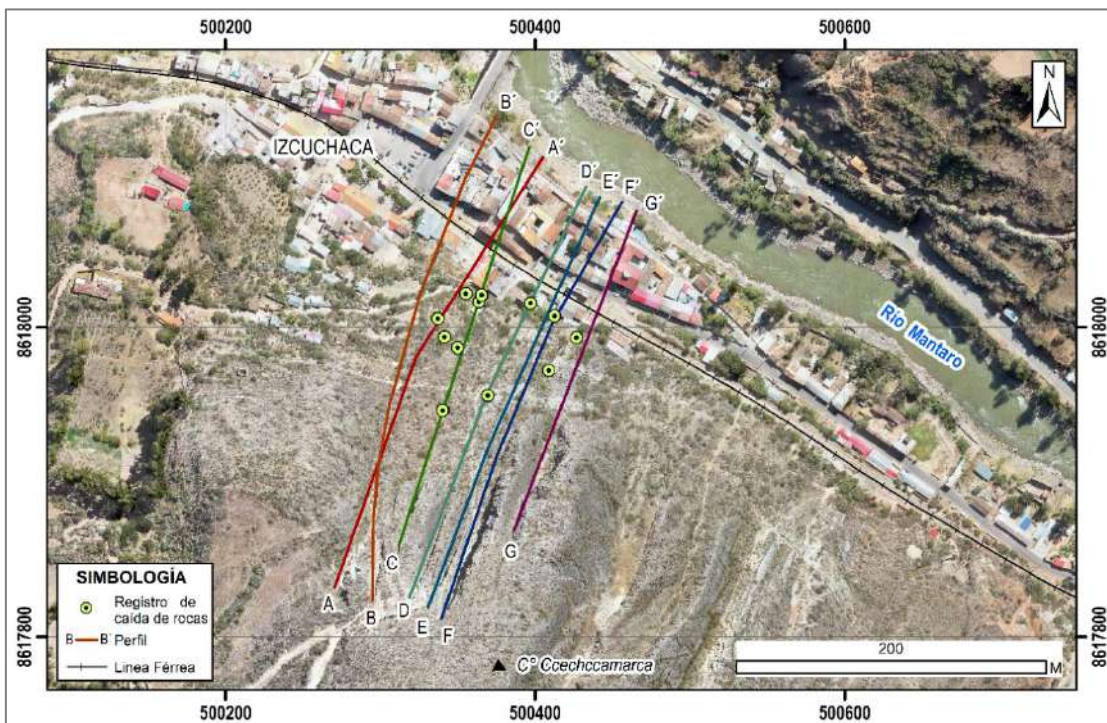


Figura 20. Ubicación de las secciones donde se generó las simulaciones de caída de rocas. Así mismo se muestra la ubicación del registro de caídas de rocas obtenida en la etapa de campo.

6.2. Resultados

Los resultados de la simulación muestran que las rocas desprendidas del cerro Ccehcamarca pueden llegar afectar varias viviendas del sector Izcuchaca, incluyendo la vía férrea; con rebotes máximos que varían entre 8.0 m a 19.8 m y velocidades entre 29.4 m/s y 37 m/s. El detalle de cada perfil simulado se describe a continuación:

▪ Sección A-A'

Tiene una distancia de 310 m. Los bloques simulados inician en una ladera con pendiente escarpada (43°), como parte de los afloramientos rocosos muy fracturados de la Formación Chúlec, seguido de una ladera de fuerte pendiente (37°), para finalmente extenderse sobre el casco urbano de Izcuchaca hasta las riberas del Río Mantaro (figura 21).

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 31 m/s (en áreas de mayor pendiente) desacelerando en contacto con bloques de roca en la ladera y obstáculos físico (viviendas).

La altura de rebote máxima es de 8.0 m, con fuerzas cinéticas de impacto de 1165 KJ y alcances máximos de hasta 250 m, desde el punto de partida.

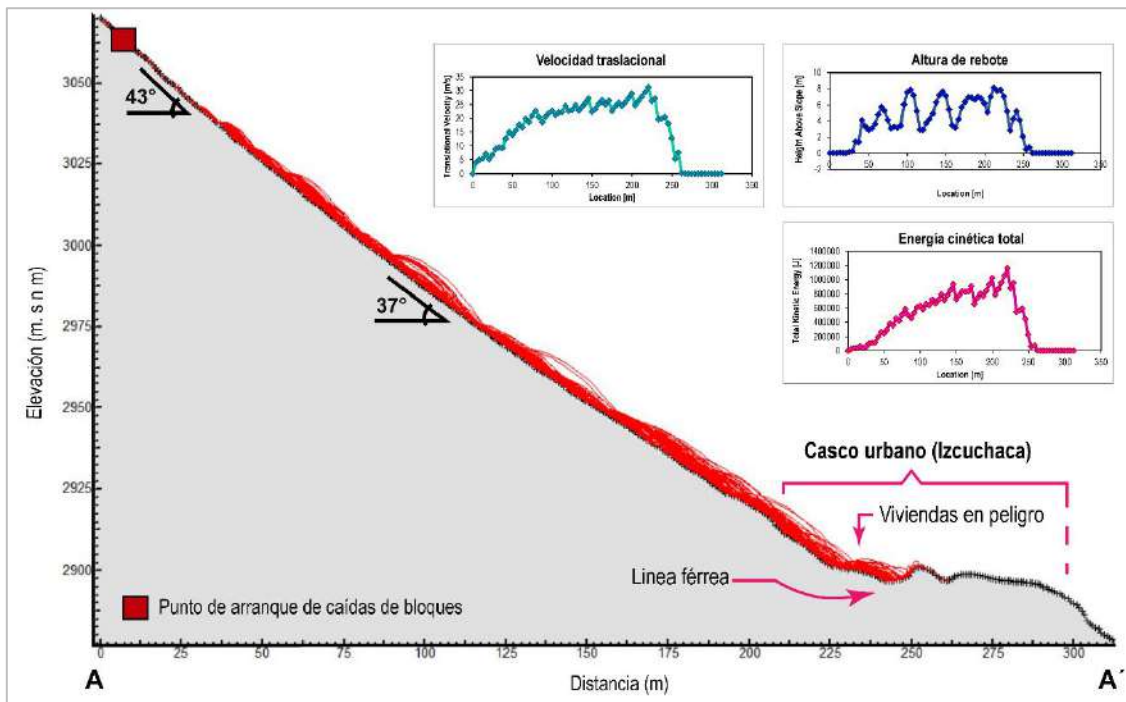


Figura 21. Simulación de caída de rocas de la Sección A-A'.

▪ Sección B-B'

Tiene una distancia de 328 m. Los bloques simulados inician en una ladera con pendiente muy escarpada (52°), seguido de una ladera de pendiente escarpada (35°), para finalmente extenderse sobre el casco urbano de Izcuchaca hasta las riberas del río Mantaro (figura 22).

A partir de la simulación realizada, las caídas de roca alcanzarían velocidades máximas de hasta 30.6 m/s, desacelerando en contacto con bloques de roca en la ladera y obstáculos físicos (viviendas). La altura de rebote máxima es de 10.9 m, fuerzas cinéticas de impacto de 1169 KJ y alcances máximos de hasta 265 m.

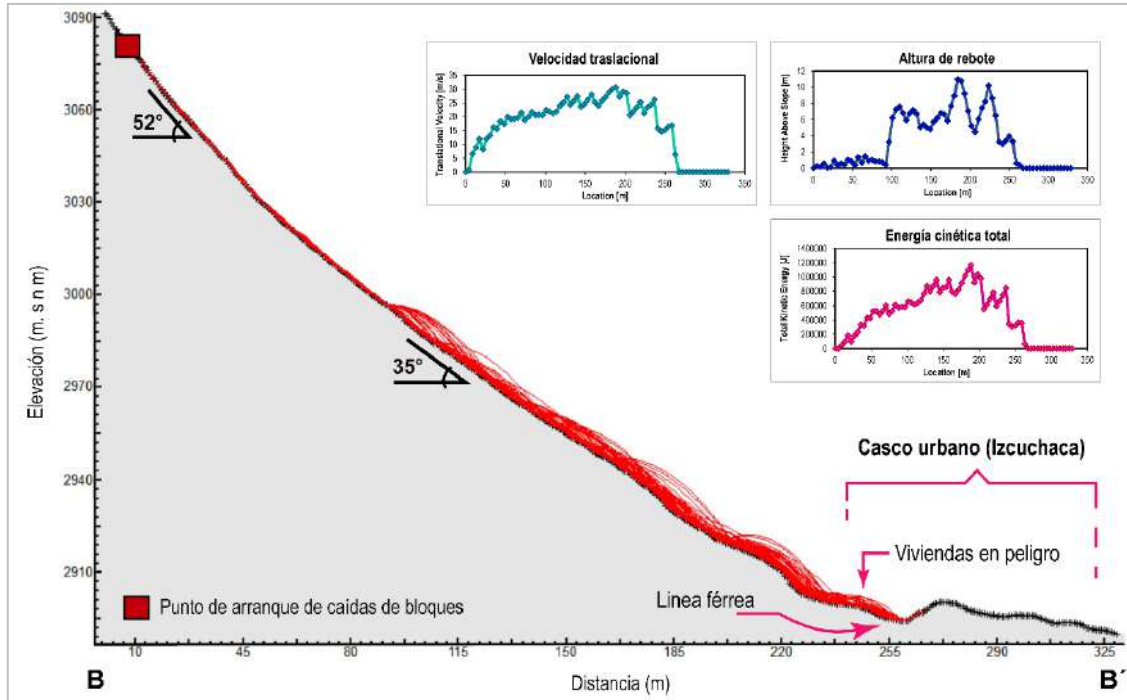


Figura 22. Simulación de caída de rocas de la Sección B-B'.

▪ **Sección C-C'**

Tiene una distancia de 272 m. Los bloques simulados inician en una ladera con pendiente muy escarpada (57°), seguido de una ladera de pendiente escarpada (37°), para finalmente extenderse sobre el casco urbano, hasta las riberas del Río Mantaro (figura 23).

La simulación indica que las caídas de rocas alcanzarían velocidades máximas de hasta 29.8 m/s, desacelerando en contacto con bloques de roca en la ladera y obstáculos físicos (viviendas). La altura de rebote máxima es de 11.5 m, fuerzas cinéticas de impacto de 1050 KJ y alcances máximos de hasta 209 m.

▪ **Sección D-D'**

Tiene una distancia de 290 m. Los bloques simulados inician en una ladera con pendiente muy escarpada (56°), seguido de una ladera de pendiente escarpada (38°), para finalmente extenderse sobre el casco urbano, hasta las riberas del Río Mantaro (figura 24).

La simulación indica que las caídas de rocas alcanzarían velocidades máximas de hasta 34.7 m/s, desacelerando en contacto con bloques de roca en la ladera y obstáculos físicos (viviendas). La altura de rebote máxima es de 15.4 m, fuerzas cinéticas de impacto máximas de 1398 KJ y alcances máximos de hasta 245 m.

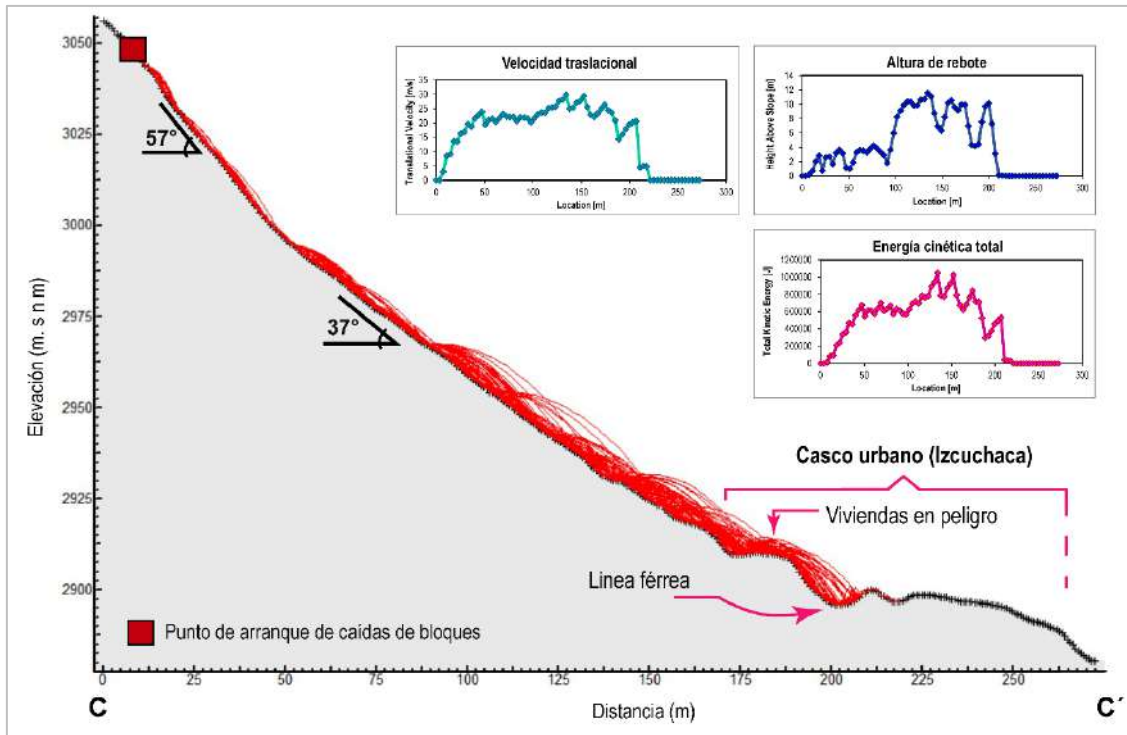


Figura 23. Simulación de caída de rocas de la Sección C-C'.

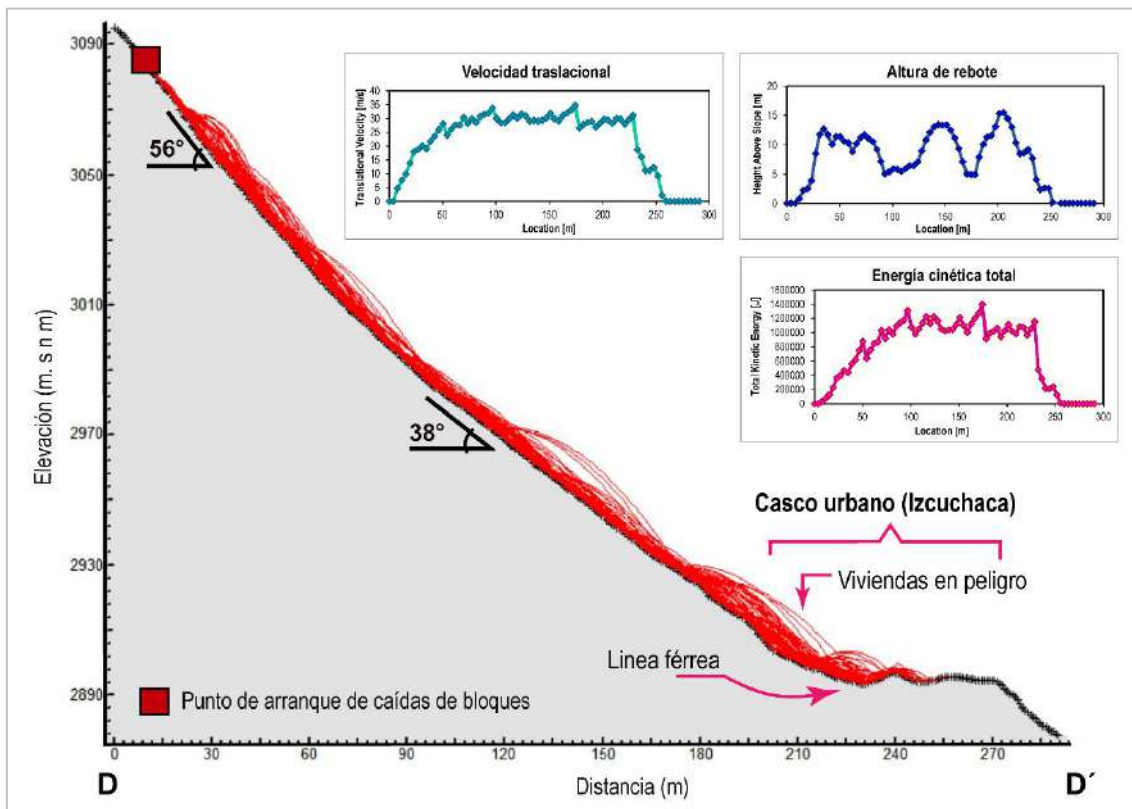


Figura 24. Simulación de caída de rocas de la Sección D-D'.

▪ **Sección E-E´**

Tiene una distancia de 288 m. Los bloques simulados inician en una ladera con pendiente muy escarpada (53°), seguido de una ladera de pendiente escarpada (39°), para finalmente extenderse sobre el casco urbano de Izcuchaca hasta las riberas del río Mantaro (figura 25).

La simulación indica que las caídas de rocas alcanzarían velocidades máximas de hasta 37 m/s, desacelerando en contacto con bloques de roca en la ladera y obstáculos físicos (viviendas). La altura de rebote máxima es de 17.6 m, fuerzas cinéticas de impacto máximas de 1636 KJ y alcances máximos de hasta 250 m.

▪ **Sección F-F´**

Tiene una distancia de 295 m. Los bloques simulados inician en una ladera con pendiente muy escarpada (58°), seguido de una ladera de pendiente escarpada (43°), para finalmente extenderse sobre el casco urbano de Izcuchaca hasta las riberas del río Mantaro (figura 26).

La simulación indica que las caídas de rocas alcanzarían velocidades máximas de hasta 33.5 m/s, desacelerando en contacto con bloques de roca en la ladera y obstáculos físicos (viviendas). La altura de rebote máxima es de 16.2 m, fuerzas cinéticas de impacto máximas de 1330 KJ y alcances máximos de hasta 252 m.

▪ **Sección G-G´**

Tiene una distancia de 221 m. Los bloques simulados inician en una ladera con pendiente muy escarpada (60°), seguido de una ladera de pendiente escarpada (39°), para finalmente extenderse sobre el casco urbano de Izcuchaca hasta las riberas del río Mantaro (figura 27).

La simulación indica que las caídas de rocas alcanzarían velocidades máximas de hasta 29.4 m/s, desacelerando en contacto con bloques de roca en la ladera y obstáculos físicos (viviendas). La altura de rebote máxima es de 19.8 m, fuerzas cinéticas de impacto máximas de 979 KJ y alcances máximos de hasta 167 m.

En base a los resultados de cada sección simulada, se generó un mapa de ubicación (figura 28), donde se muestra el punto de llegada máximo por cada sección simulada; así mismo, se demarca en un polígono color rojo el área de peligro muy alto a caída de rocas, que corresponde principalmente a las viviendas ubicadas dentro de la zona de alcance máximo y rebotes de rocas.

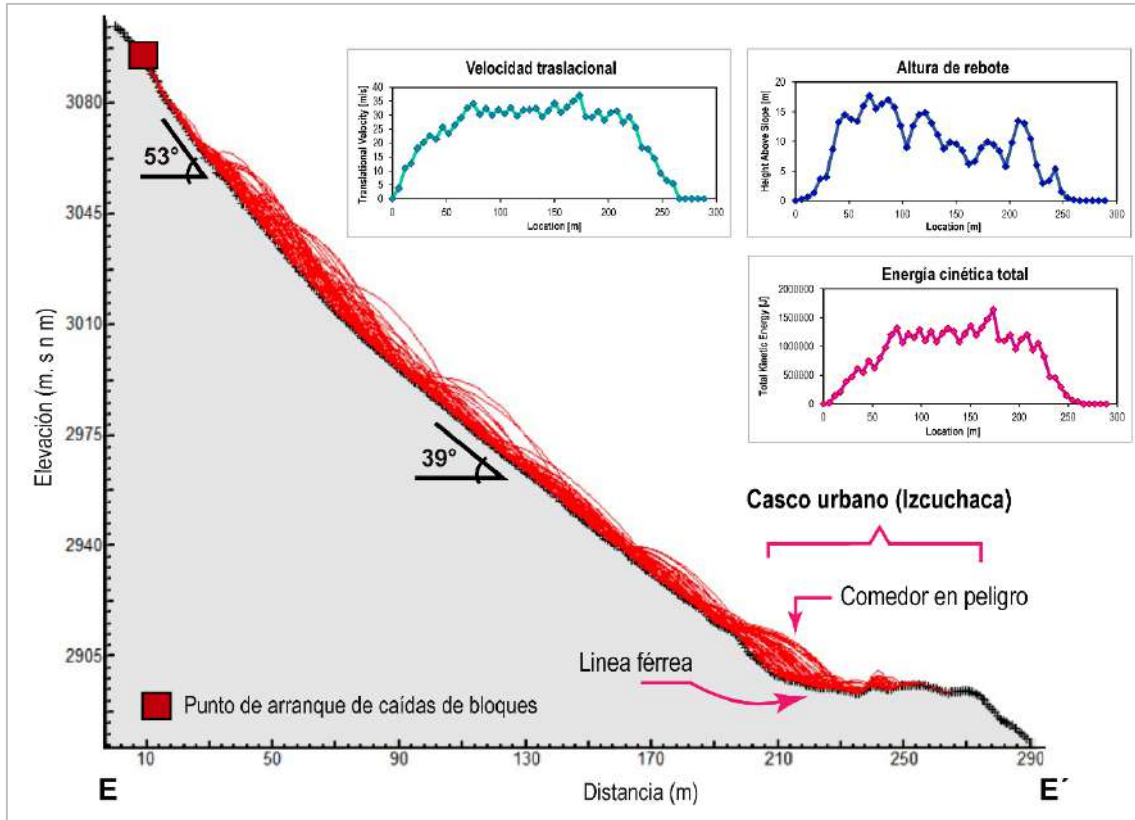


Figura 25. Simulación de caída de rocas de la Sección E-E'.

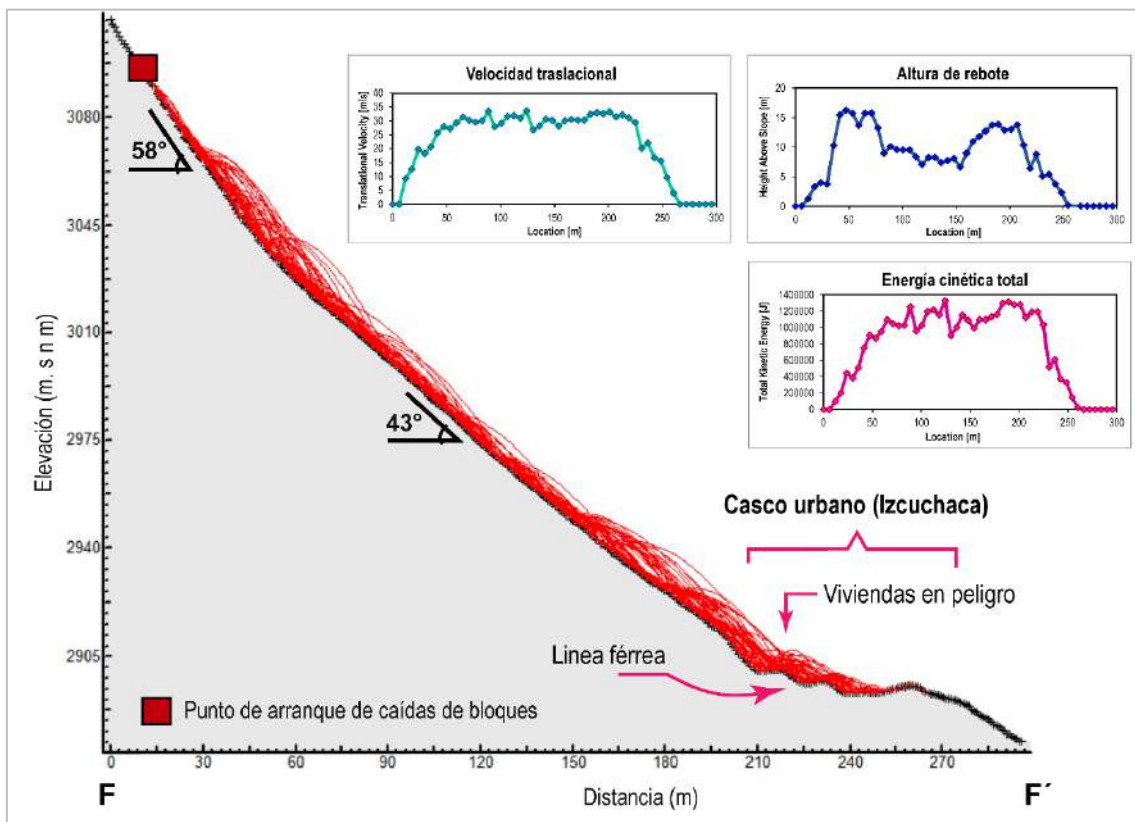


Figura 26. Simulación de caída de rocas de la Sección F-F'.

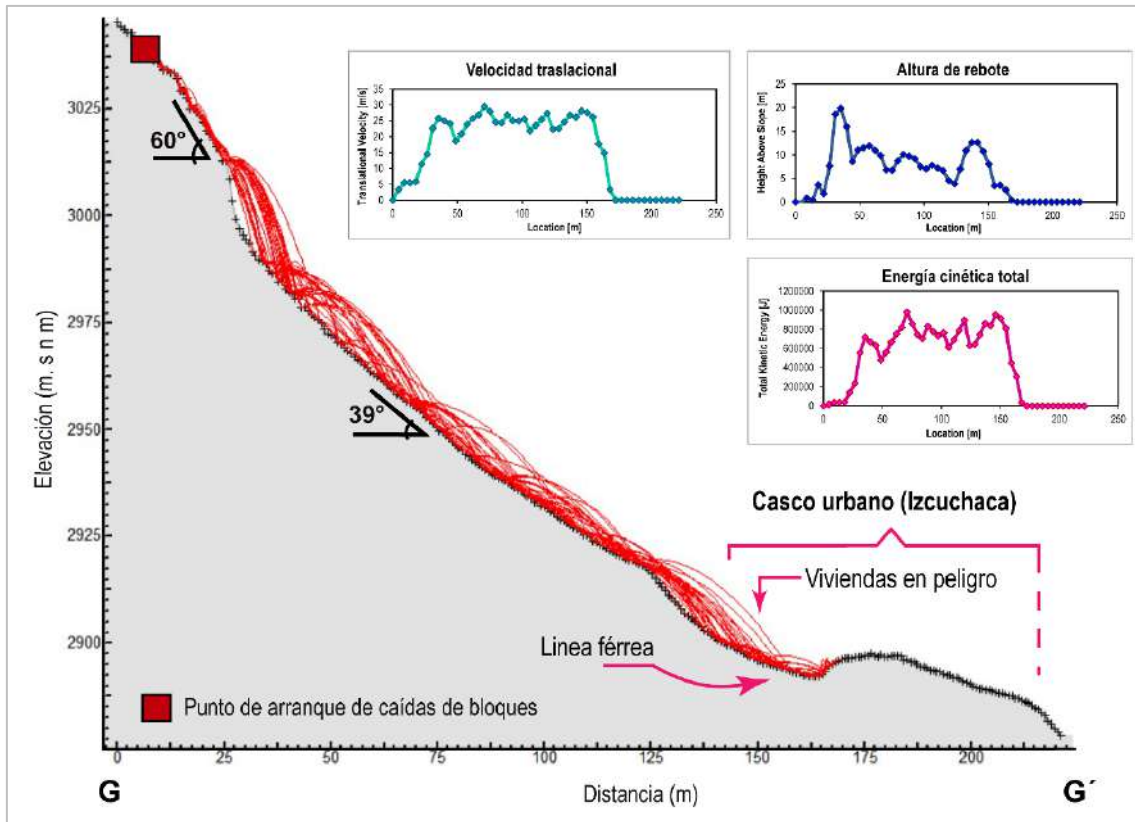


Figura 27. Simulación de caída de rocas de la Sección G-G'.

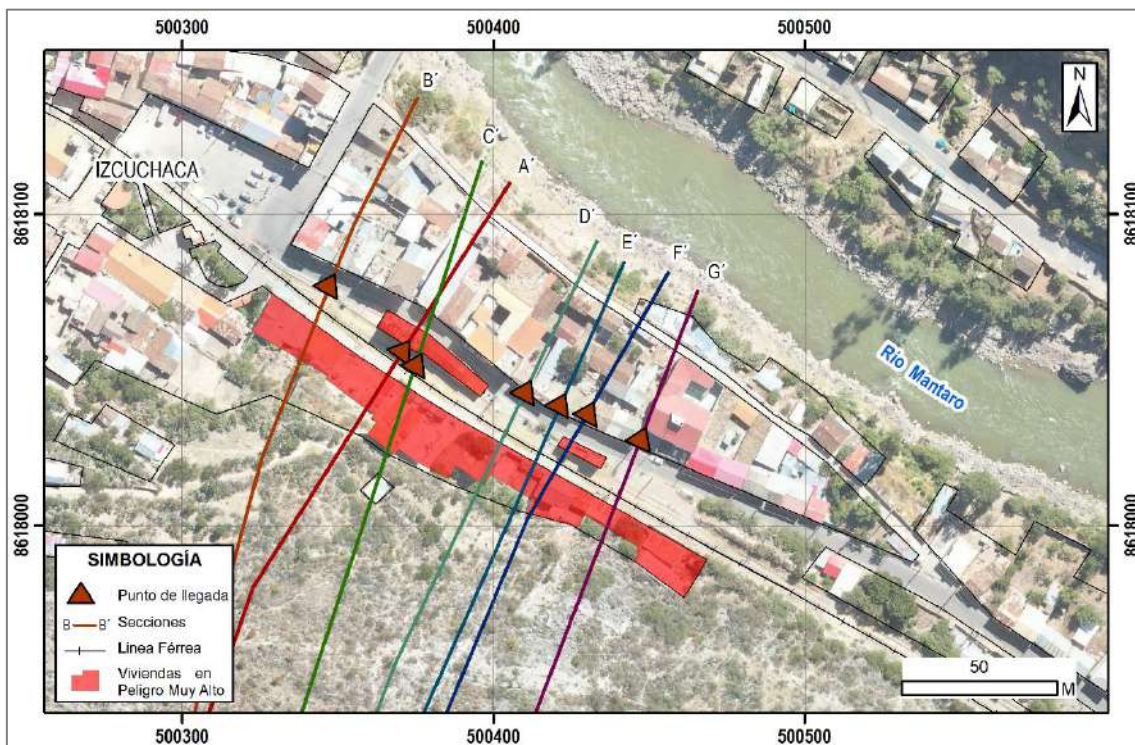


Figura 28. Ubicación de los puntos de llegada máxima por cada simulación y el área, demarcada en color rojo, susceptible a caídas de rocas y de peligro muy alto.

7. CONCLUSIONES

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

- 1) El área de estudio presenta varias evidencias de caída de rocas proveniente de las laderas del Cerro Ccechccamarca, colindante al sector Izcuchaca, con bloques angulosos a subangulosos, tamaños de roca variable entre 0.35 a 0.80 m, los cuales llegaron afectar varias viviendas ubicadas al pie de la ladera.
- 2) Litológicamente, predominan calizas tipo mudstone, en estratos de 0.5 a 1.5 m de espesor, subtabulares; intercaladas con niveles delgados de limolitas y limoarcillitas fuertemente fracturados de la Formación Chúlec. Superficialmente, estas rocas se muestran altamente meteorizado.
- 3) Geotécnicamente, el área susceptible a la caída de rocas, está conformada por un macizo rocoso fuertemente fracturado, con cuatro a más sistemas de fracturas, muy abiertas (>5.0 mm) y sin relleno visible, que dejan bloques separados del sustrato rocoso.
- 4) La geomorfología del área de estudio, contempla relieves formados por montañas estructurales en rocas sedimentarias con variaciones de pendientes mayormente superiores a 35° orientadas hacia el nor-noreste; por ello son relieves susceptibles a la ocurrencia de caídas de rocas y/o derrumbes.
- 5) El análisis cinemático realizado en las laderas del Cerro Ccechccamarca, muestra probabilidades de rotura de tipo planar y volcamiento. Estos son condicionados por planos de debilidad con buzamiento a favor de la pendiente, altura del talud (≈ 250 m), geometría desfavorable de los estratos, sistema de fracturas ortogonales que dan lugar a una geometría de columnas divididas en bloques y la concentración desfavorable de tensiones.
- 6) Los resultados de la simulación muestran que las rocas desprendidas del cerro Ccechccamarca pueden llegar afectar un estimado de 20 viviendas del sector Izcuchaca, incluyendo la vía férrea; con rebotes máximos que varían entre 8.0 m a 19.8 m y velocidades entre 29.4 m/s y 37 m/s.
- 7) El factor desencadenante, se atribuye a sismos y precipitaciones pluviales excepcionales. 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.
- 8) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta el área estudio; las viviendas ubicadas al pie de ladera del Cerro Ccechccamarca, se encuentran en **Zona Crítica** y de **Peligro Alto** ante la ocurrencia de caída de rocas, debido que se encuentran dentro de la zona de alcance máximo y rebotes de rocas; los cuales pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas y/o sismos.

8. RECOMENDACIONES

En base a la evaluación de peligros geológicos realizada en el presente informe, se brindan las siguientes recomendaciones:

- 1) **Reubicar** las viviendas ubicadas en el talud superior de la vía férrea, las cuales se encuentran en **zonas de Peligro Alto** asentada al pie de la ladera del Cerro Ccehccamarca, debido a que se encuentran dentro de la zona de alcance máximo y rebotes de caída de rocas.
- 2) Implementar medidas de mitigación estructural frente a caída de rocas. Estos pueden ser: instalación de geomallas ancladas, barreras dinámicas, red de anillos, 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 que deben evaluar primeramente la capacidad portante de la roca.
- 3) Implementar trabajos de desquinchado de los bloques sueltos de forma controlada. El trabajo debe ser realizado y dirigido por profesionales especializados en el tema para evitar accidentes.
- 4) Construir muros de contención de concreto armado para mitigar los efectos de las caídas de rocas y derrumbes, previo estudio de mecánica de suelos para determinar la capacidad portante.
- 5) Implementar campañas de reforestación desarrollados al pie de la ladera, a fin de proteger los suelos de la erosión y crear una barrera viva natural que reduzca el movimiento o detenga a los bloques caídos. Trabajo que debe ser diseñado e implementado con personal especializado en el tema
- 6) Prohibir la construcción de nuevas viviendas y/o algún tipo de infraestructura en las laderas colindantes al Cerro Ccehccamarca. Además, no permitir cortes de taludes en la ladera.
- 7) Elaborar un plan de contingencias ante caídas de rocas; además, se debe señalar las rutas de evacuación y las zonas seguras en caso de activación de caídas de rocas a causa de sismos. Ejecutar simulacros de evacuación.
- 8) Realizar la evaluación de riesgos por caída de rocas (EVAR) por parte de las autoridades locales, a fin de determinar medidas de control adicionales.
- 9) Realizar actividades de sensibilización y concientización del peligro al que se encuentran expuestos los pobladores del sector Izcuchaca y alrededores.



MAURICIO ANTONIO NUÑEZ PEREDO
Ingeniero Geólogo
CIP N° 278509



Ing. GILBERTO ZAVALA CARRIÓN
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

9. BIBLIOGRAFÍA

Bieniawski, Z.T. (1989) - Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering. New York: John Wiley & Sons, 251 p.

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

Fuente de Datos Meteorológicos y Pronostico del tiempo del Servicio de Awhere. (2021). Disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/10036911>.

González De Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica, Ed. Pearson – Prentice Hall, Madrid, España.

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.

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.

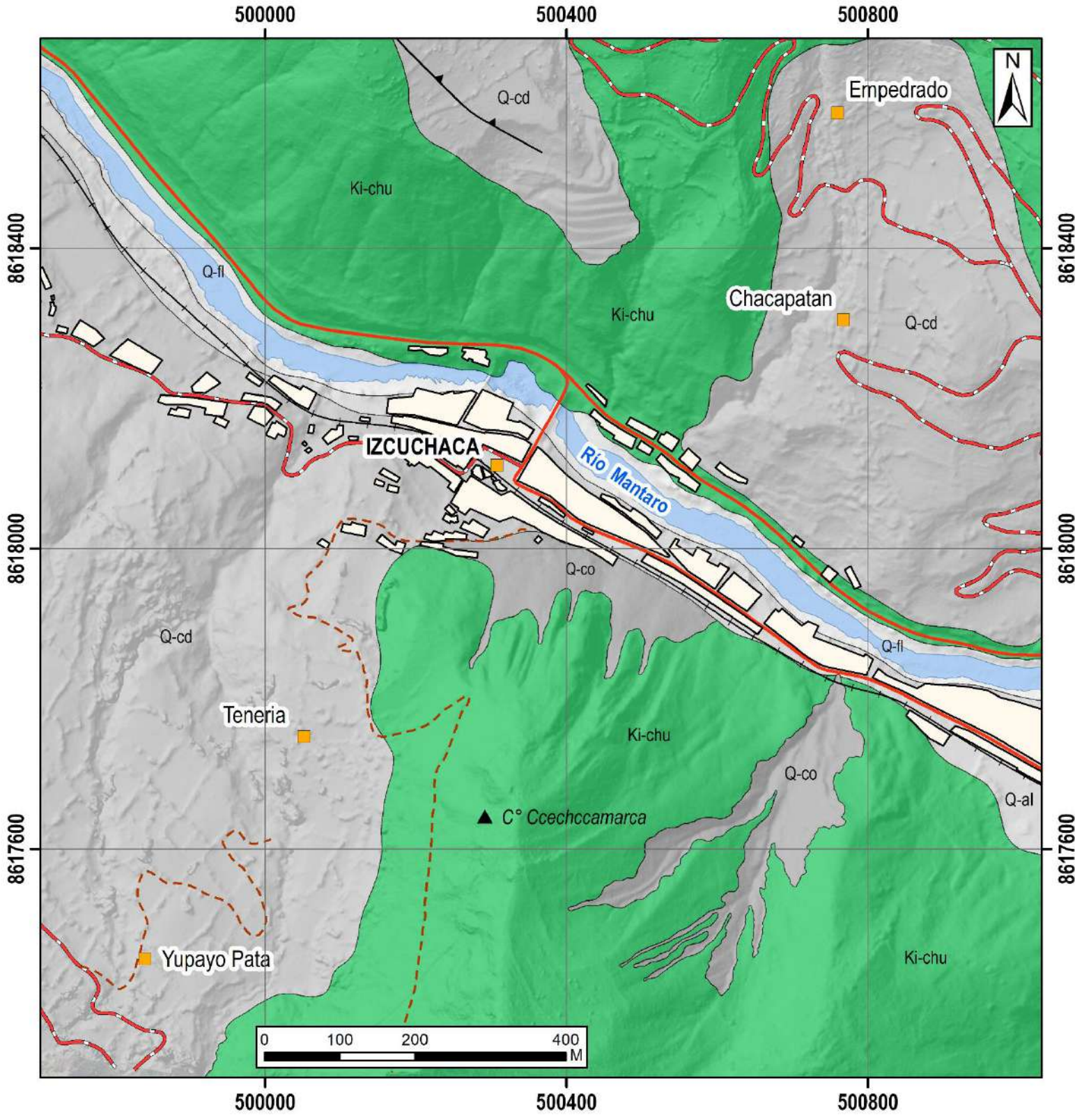
Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016) - Decreto supremo N° 003-2016-VIVIENDA: Decreto supremo que modifica la norma técnica E.030 “diseño sismoresistente” del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada con decreto supremo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

Romero, D. & Torres, V. (2003) – Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Huancavelica (26-n). INGEMMET, Boletín, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000), 30 p., 4 mapas. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2118>.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 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>.

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 LITOESTRATIGRÁFICAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito fluvial	Q-fl
			Depósito coluvial	Q-co
			Depósito coluvio-deluvial	Q-cd
			Depósito aluvial	Q-al
MESOZOICO	CRETÁCICO	INFERIOR	Formación Chúlec	Ki-chu

SIMBOLOGÍA	
	Centros poblados
	Falla inversa
	Línea ferroviaria
	Trocha carrozable
	Vía Nacional
	Vía Departamental
	Límite Urbano



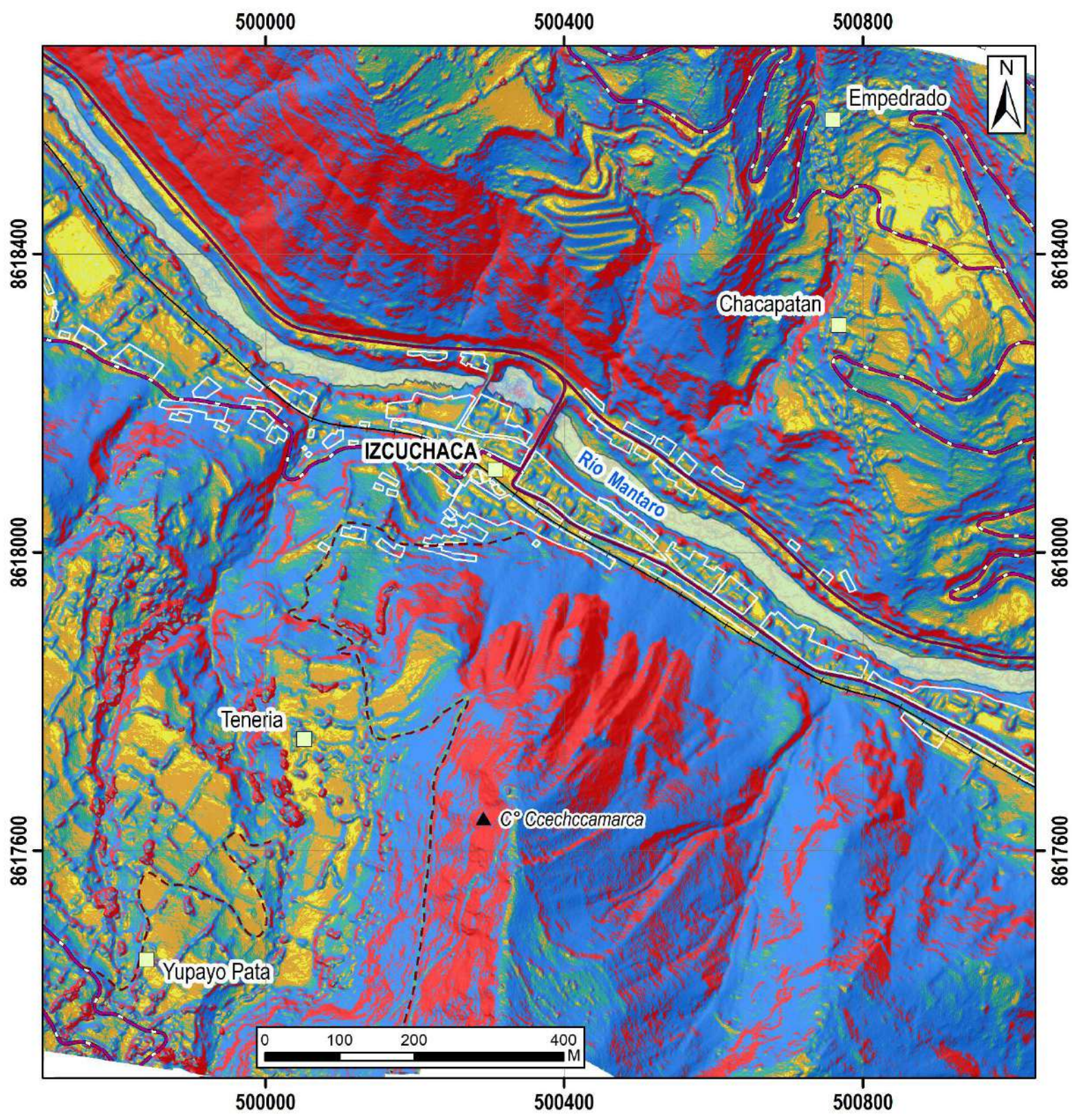
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

DEPARTAMENTO: HUANCAMELICA
 PROVINCIA HUANCAMELICA
 DISTRITO: IZCUCHACA

GEOLOGICO

Escala: 1/7,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 01
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2024	Impreso: Agosto, 2024	



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

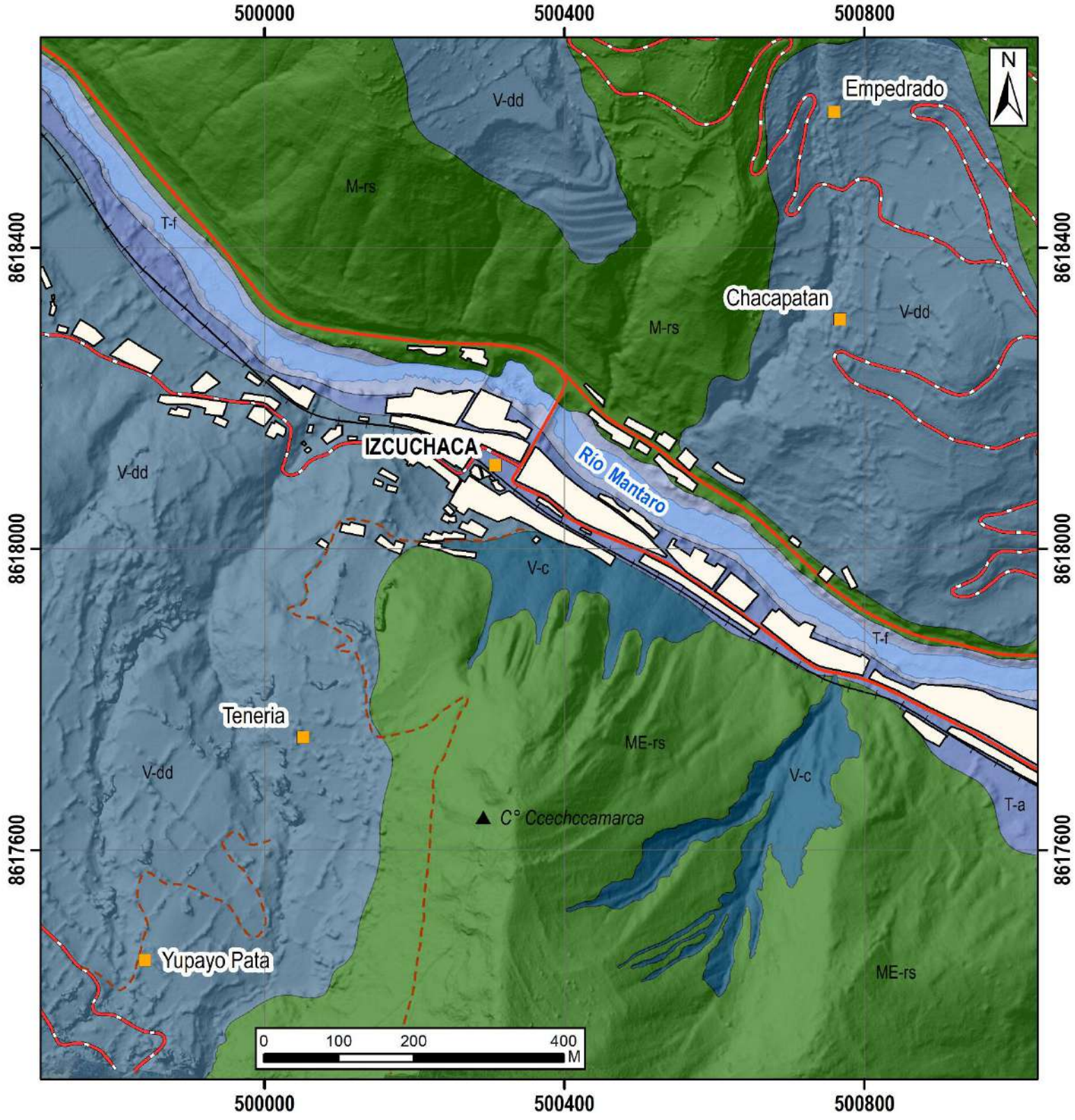
	Centros poblados
	Trocha carrozable
	Línea ferroviaria
	Vía Nacional
	Vía Departamental
	Límite Urbano

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 DEPARTAMENTO: HUANCAMELICA
 PROVINCIA HUANCAMELICA
 DISTRITO: IZCUCHACA

PENDIENTES DE LOS TERRENOS

Escala: 1/7,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 02
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2024	Impreso: Agosto, 2024	



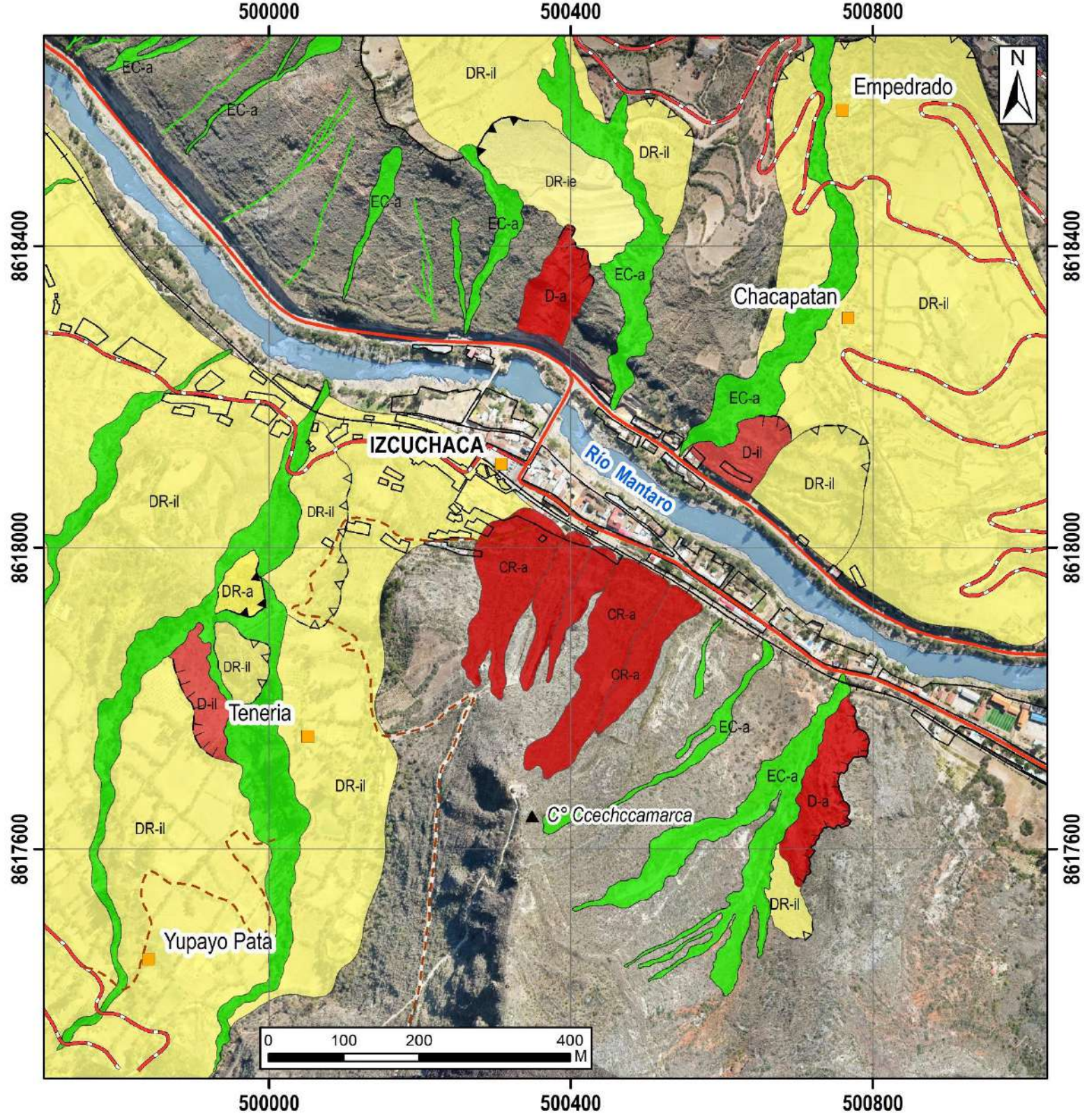
UNIDAD	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	
MONTAÑA	Montaña en roca sedimentaria	M-rs
	Montaña estructural en roca sedimentaria	ME-rs
VERTIENTE	Vertiente coluvial	V-c
	Vertiente con depósito de deslizamiento	V-dd
PLANICIE	Planicie aluvial	T-a
TERRAZA INUNDABLE	Terraza fluvial	T-f

SIMBOLOGÍA	
	Centros poblados
	Falla inversa
	Línea ferroviaria
	Trocha carrozable
	Vía Nacional
	Vía Departamental
	Límite Urbano


 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 DEPARTAMENTO: HUANCAMELICA
 PROVINCIA HUANCAMELICA
 DISTRITO: IZCUCHACA

GEOMORFOLÓGICO

Escala: 1/7,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 03
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2024	Impreso: Agosto, 2024	



LEYENDA

CR-a	Caída de rocas, Activo
D-a	Derrumbe, Activo
D-il	Derrumbe, Inactivo-latente
DR-a	Deslizamiento rotacional, Activo
DR-il	Deslizamiento rotacional, Inactivo-latente
DR-ie	Deslizamiento rotacional, Inactivo estabilizado
EC-a	Erosión en cárcava, Activo

TRAMA

	Escarpa de derrumbe antiguo
	Escarpa de derrumbe reciente
	Escarpa de deslizamiento antiguo
	Escarpa de deslizamiento activo

SIMBOLOGÍA

	Centros poblados		Trocha carrozable
	Limite Urbano		Via Nacional
	Línea ferroviaria		Via Departamental

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 DEPARTAMENTO: HUANCAMELICA
 PROVINCIA HUANCAMELICA
 DISTRITO: IZCUCHACA

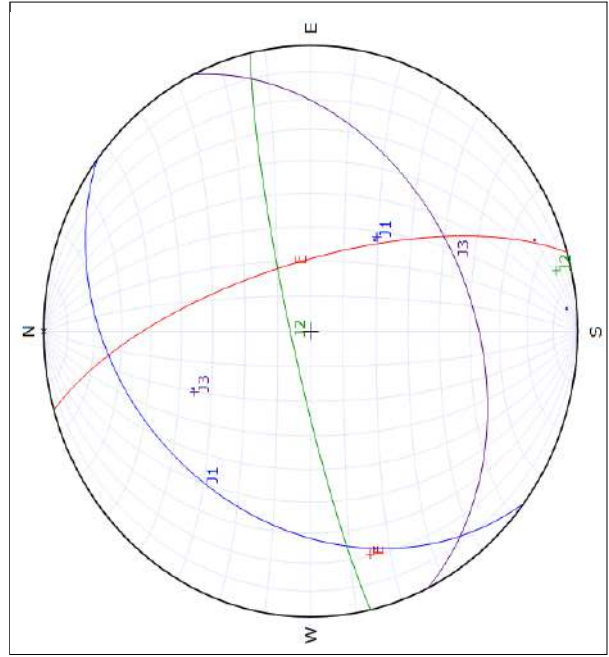
PROCESOS DE MOVIMIENTOS EN MASA

Escala: 1/7,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 04
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2024	Impreso: Agosto, 2024	

ANEXO 2: FICHAS DE CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

	<h2 style="margin: 0;">FORMATO</h2> <h3 style="margin: 0;">CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA</h3>
<p>Sector: Ladera norte de Cerro Ceechocamarca Distrito: Izcuchaca</p> <p>Ubicación: WGS-84, Zona 18S E: 500353; N: 8617911; 3015 m s.n.m.</p>	<p>Código: M2.1-F-079 Versión: :00 Fecha aprob.: 22/11/2021 Página: 1 de 1</p> <p>POR: M. NUÑEZ FECHA: 17/07/2024 HOJA: 1/2</p>

ESTACIÓN		ORIENTACIÓN DE LA CARA		TRAMO		VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R. 1989)	
E-01		DIP	DIP	DESDE	HASTA	PARÁMETRO	RANGO DE VALORES
		062		68			
TIPO DE ROCA		%		%			
A		100					
Ca							
TIPO ESTRUCC.	ORIENTACIÓN DIP DIR.	ESPACIAMIENTO (mm)	PERSISTENCIA (m)	ABERTURA (mm)	RUGOSIDAD	RELLENO TIPO	CONDICIÓN
E	74	0.20-0.60	10-20	0.1-1.0	Lig. Rugosa	--	--
J1	307	0.20-0.60	3-10	> 5	Lig. Rugosa	--	--
J3	347	0.20-0.60	3-10	> 5	Lisa	S	Suave
J4	154	0.60-2.00	3-10	> 5	Rugosa	--	--
FRECUENCIA DE AGUA		N° Fract. / ml.		FLUJO DE AGUA			
11/1							
R. COMPRESIÓN UNIAIXIAL (MPa)		ROD %		ESPACIAMIENTO (m)		PERSISTENCIA (m)	
>250		(15)		100-250		(12)	
90-100		(20)		75-90		(17)	
>2		(20)		0.6-2		(18)	
<1m long.		(6)		1-3 m Long.		(4)	
Contrada		(6)		<0.1mm apert.		(5)	
Muy rugosa		(6)		Rugosa		(5)	
Limpia		(6)		Duro < 5mm		(4)	
Sana		(6)		Lig. Alterada.		(5)	
Seco		(15)		Humedo		(10)	
				Med. Alterada.		(3)	
				Mojado		(7)	
				Flijo		(0)	
				Descompuesta		(0)	
				4E		4E	
				2		2	
				1		1	
				3		3	
				4B		4B	
				2		2	
				0		0	
				2		2	
				4A		4A	
				10		10	
				13		13	
				2		2	
				13		13	
				7		7	
				1		1	
				1		1	
				3		3	
				5		5	
				1		1	
				2		2	
				4E		4E	
				2		2	
				15		15	
				7		7	
				4		4	
				20		20	
				25-50		25-50	
				25-50		25-50	
				6		6	
				8		8	
				0.08-0.2		0.08-0.2	
				0.08-0.2		0.08-0.2	
				10		10	
				2		2	
				4A		4A	
				2		2	
				0		0	
				3		3	
				4C		4C	
				1		1	
				4D		4D	
				2		2	
				1		1	
				4D		4D	
				1		1	
				2		2	
				4E		4E	
				2		2	
				15		15	
				5		5	
				1		1	
				7		7	
				4		4	
				20		20	
				40-21		40-21	
				IV MUY MALA		IV MUY MALA	
				V MUY MALA		V MUY MALA	
				III		III	
				60-41		60-41	
				REGULAR		REGULAR	
				80-61		80-61	
				II BUENA		II BUENA	
				100-81		100-81	
				I MUY BUENA		I MUY BUENA	
				RMR		RMR	
				DESCRIPCIÓN		DESCRIPCIÓN	
				IV MUY BUENA		IV MUY BUENA	
				80-61		80-61	
				60-41		60-41	
				REGULAR		REGULAR	
				40-21		40-21	
				20-0		20-0	
				V MUY MALA		V MUY MALA	
				III		III	
				60-41		60-41	
				REGULAR		REGULAR	
				80-61		80-61	
				II BUENA		II BUENA	
				100-81		100-81	
				I MUY BUENA		I MUY BUENA	
				RMR		RMR	
				DESCRIPCIÓN		DESCRIPCIÓN	
				IV MUY BUENA		IV MUY BUENA	
				80-61		80-61	
				60-41		60-41	
				REGULAR		REGULAR	
				40-21		40-21	
				20-0		20-0	
				V MUY MALA		V MUY MALA	
				III		III	



GRADO	ÍNDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchilla. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO (ISRM)	ÍNDICE DE ALTERACIÓN DESCRIPCIÓN
I SANA	No aparecen signos de meteorización
II ALGO METEOR.	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización.
III METEORIZADA	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
IV MUY METEOR.	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
V COMPLETAM. METEOR.	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva intacta la estructura original del macizo rocoso.
VI SUELO RESID.	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo rocoso y la fábrica del material.

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	ABREVIACION DE TIPO DE RELENO
Ca Caliza	A Arcilla
	G Grava
	Q Cuarzo
	Y Yeso
	O Óxido

ABREVIACION DE TIPO DE ESTRUCTURAS	ESPACIAMIENTO (m)
J Juntas	< 0.06
F Falla	0.20 - 0.06
S Esquistosidad	0.60 - 0.20
E Estratificación	2.00 - 0.60
	> 2.00

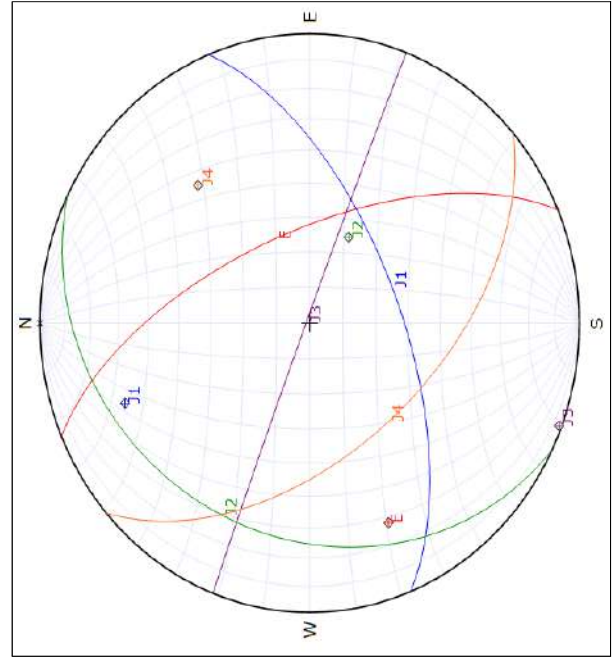
FORMATO	Código : M2.1-F-079
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	Versión : 00
	Fecha aprob. : 22/11/2021
	Página : 1 de 1

Sector: Ladera norte de Cerro Ceechcamarca Ubicación: WGS-84, Zona 18S POR: M. NUÑEZ

Dipartimento: Izcuchaca E: 500416; N: 9617935; 2946 ms.n.m. FECHA: 18/07/2024

HOJA: 2/2

N° ESTACION		ORIENTACIÓN DE LA CARA		TRAMO		VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R. 1989)																
E-02		DIP DIRECTION	DIP	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES					VALOR						
A		TIPO DE ROCA		FRECUENCIA FRACTURA																		
Ca		100		10/1																		
TIPO ESTRUCC.	DIP DIR.	ESPAJA MIENTO	PERSISTE NCA (m)	ABERTU RA (mm)	RUGO SIDAD	RELLENO TIPO	CONDICIÓN	ALTERA.	FLUJO DE AGUA	R. COMPRE UNIAJAL (MPa)	ROD %	ESPAJAMIENTO (m)	CONDICIÓN DE JUNTAS	RELLENO (4)	ALTERACIÓN (5)	AGUA SUBTERRÁNEA	Humedad (10)	Mojado (11)	25-50 (7)	25-50 (8)	<25(2) -<5(1) <1(0)	1
E	67	64	0.06-0.2	10-20	1-5	Rugosa	--	IV	Seco	100-250 (12)	90-100 (20)	<1m long. (6)	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	10-20 m (1)	10-20 m (1)	25-50 (7)	25-50 (8)	<25(2) -<5(1) <1(0)	7
J1	158	63	< 0.06	1-3	> 5	Lig. Rugosa	--	IV	Seco	75-90 (13)	75-90 (17)	>2 (20)	Muy rugosa (6)	Rugosa (6)	Lig. rugosa (3)	Lisa (1)	> 5 mm (0)	0.06-0.2 (6)	0.06-0.2 (6)	<-0.06 (5)	3	
J2	296	27	0.06-0.2	1-3	1-5	Lig. Rugosa	--	IV	Seco	0.6-2 (15)	0.6-2 (20)	<1-3 m Long. (4)	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Mod. Alterada. (5)	Mod. Alterada. (3)	Suave < 5 mm (1)	> 20 m (0)	0.06-0.2 (6)	0.06-0.2 (6)	<-0.06 (5)	8
J3	21	89	0.06-0.2	<1	1-5	Lig. Rugosa	--	IV	Seco	100-250 (12)	90-100 (20)	>2 (20)	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Mod. Alterada. (5)	Mod. Alterada. (3)	Suave < 5 mm (1)	> 20 m (0)	0.06-0.2 (6)	0.06-0.2 (6)	<-0.06 (5)	2
J4	229	53	0.20-0.60	1-3	1-5	Lig. Rugosa	--	IV	Seco	100-250 (12)	90-100 (20)	>2 (20)	Sana (6)	Lig. Alterada. (5)	Mod. Alterada. (3)	Mod. Alterada. (3)	Suave < 5 mm (1)	> 20 m (0)	0.06-0.2 (6)	0.06-0.2 (6)	<-0.06 (5)	13
										100-250 (12)	90-100 (20)	>2 (20)	Seco (15)	Humedad (10)	Mojado (11)	25-50 (7)	25-50 (8)	<25(2) -<5(1) <1(0)	25-50 (7)	25-50 (8)	<25(2) -<5(1) <1(0)	15
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 52																						
CLASE DE MACIZO ROCOSO																						
RMR 100 - 81 60 - 41 80 - 61 III REGULAR 40 - 21 IV MALA 20 - 0 III																						
DESCRIPCIÓN I MUY BUENA II BUENA III REGULAR IV MALA V MUY MALA																						



ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	Ca Caliza
ABREVIACION DE TIPO DE ESTRUCTURAS	J Juntas F Falla S Esquistosidad E Estratificación
ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO	A Arcilla G Grava Q Cuarzo Y Yeso O Óxido
ESPAJAMIENTO (m)	Muy próximas < 0.06 Próximas 0.20 - 0.06 Medianamente separadas 0.60 - 0.20 Separadas 2.00 - 0.60 Muy separadas > 2.00

GRADO (ISM)	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deztable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1.0 - 5.0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO (ISM)	INDICE DE ALTERACIÓN DESCRIPCIÓN
I SANA	No aparecen signos de meteorización
II ALGO METEOR.	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización.
III METEORIZADA	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
IV MUY METEOR.	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
V COMPLETA METEOR.	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva intacta la estructura original del macizo rocoso.
VI SUELO RESID.	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo rocoso y la fábrica del material.

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

Las medidas de control en las zonas con caída de rocas deben ser implementadas previa evaluación geotécnica de estabilidad de taludes por los profesionales adecuados, entre estas medidas se tiene:

Geomallas – cortinas de protección

Tienen como objetivo esperar colectar el material desprendido y reducir su energía de impacto al colocar una serie de obstrucciones a la trayectoria de cuerpo libre que tendría una partícula. Esto se puede lograr con Cortinas contra Caída de piedras, Vallas Dinámicas, Diques de colección entre otros. Si son adecuadamente ubicados pueden lograr un efecto muy evidente de reducción de daños a las instalaciones y vidas humanas (Mansilla Sánchez, 2020).

Las Cortinas de Protección Contra Caída de Piedras, es una técnica que emplea el uso de mallas flexibles de poliéster de gran resistencia para el control de las trayectorias cinéticas de las partículas pétreas en un rango discreto, producto de la constante obstrucción entre el talud y la malla de poliéster se logra caídas graduales y en distintos tiempos, lo que permite disipar la gran energía potencial inicial a un nivel fácilmente absorbible por el sistema.

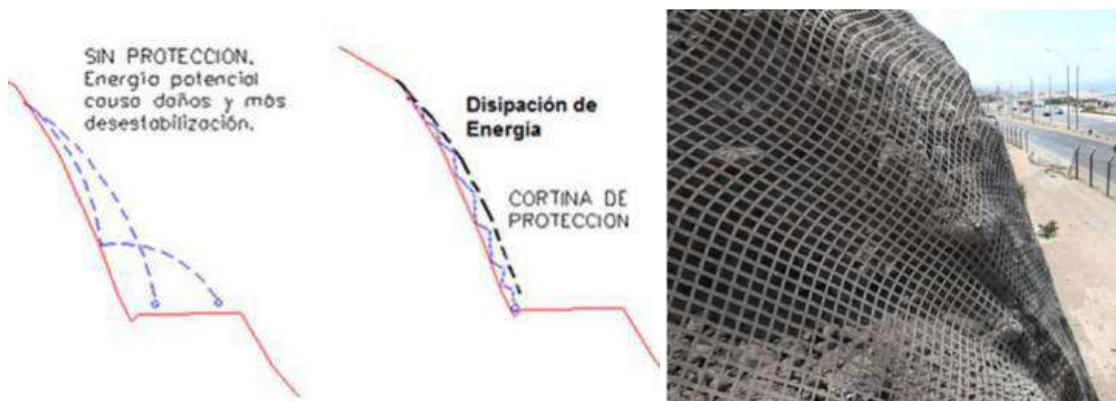


Figura 29. Esquema de la reducción de la energía con geomallas tipo cortinas de protección (izquierda) y fotografía de geomalla instalada en la Costa Verde, Lima (derecha). Tomado de Masilla Sánchez (2020).

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 30).



Figura 30. 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 31).



Figura 31. Ejemplos de estabilización con red de anillos

Revegetación y bioingeniería

Los árboles y arbustos muestran una resistencia adicional contra los bloques que son desprendidos de la ladera, sirviendo como un cerco vivo, además de servir para mantener la cohesión de los suelos y evitar su erosión por medio de agentes meteorológicos (Suárez Díaz, 2007).

El control de erosión con plantas debe considerar la utilización de plantas locales y de raíces densas.

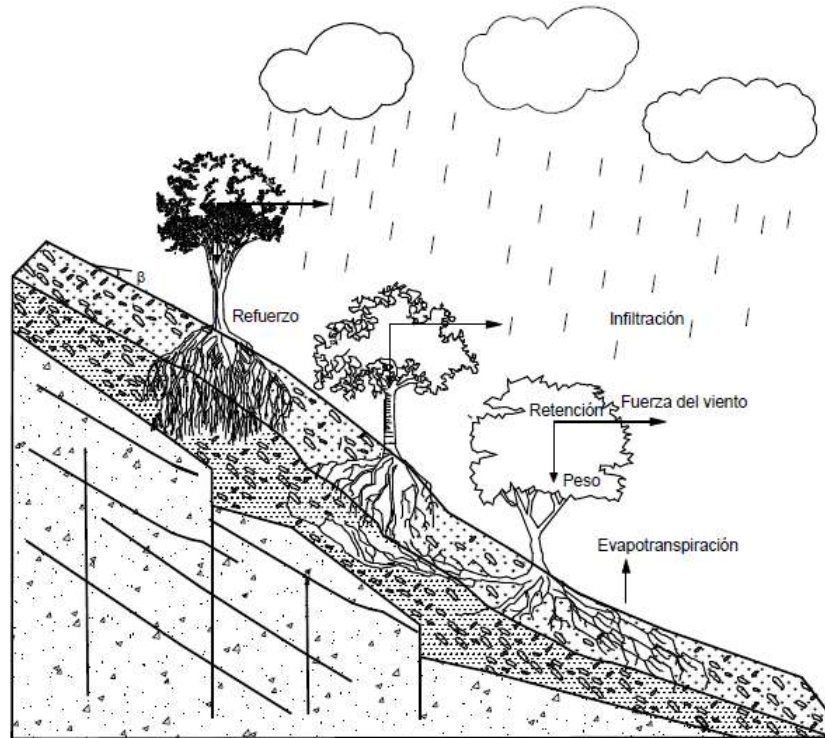


Figura 32. Estabilización de taludes utilizando vegetación. **Fuente:** Suarez, Díaz 2007.