

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7564

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DERRUMBES Y CAÍDA DE ROCAS EN LOS SECTORES LEÓN PAMPA Y PUENTE DURAND

Departamento: Huánuco

Provincia: Huánuco

Distrito: Chinchao



**DICIEMBRE
2024**

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DERRUMBES Y CAÍDA DE ROCAS EN LOS SECTORES LEÓN PAMPA Y PUENTE DURAND

(Distrito Chinchao, Provincia Huánuco, Departamento Huánuco)



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

Equipo de técnico

*Wilson Gomez Cahuaya
Griselda Luque Poma
Ricky Gonzales Salas*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2024). "Evaluación de peligros geológicos por derrumbes y caída de rocas en los sectores León Pampa y Puente Durand". Distrito Chinchao, provincia y departamento Huánuco, informe técnico N° A7564, Ingemmet 51p.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Objetivos del estudio.....	4
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	4
1.3. Aspectos generales.....	5
1.3.1. Ubicación.....	5
1.3.2. Población.....	7
1.3.3. Accesibilidad.....	7
1.3.4. Clima	7
1.3.5. Zonificación sísmica	9
2. DEFINICIONES	10
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	12
2.1. Unidades litoestratigráficas	13
2.1.1. Grupo Pucará.....	13
2.1.2. Depósitos cuaternarios	15
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	17
4.1. Pendientes del terreno.....	17
4.2. Unidades geomorfológicas	18
4.2.1. Montaña Estructural en Roca Sedimentaria (RME-rs).....	18
4.2.2. Vertiente Coluvio-deluvial (V-cd).....	20
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	20
5.1. Movimientos en masa en el sector León Pampa	21
5.2. Movimientos en masa en el sector Puente Durand.....	28
6. CONCLUSIONES.....	40
7. RECOMENDACIONES.....	41
8. BIBLIOGRAFÍA.....	43
ANEXO 1: MAPAS.....	44

RESUMEN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 16)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico.

Los sectores León Pampa y Puente Durand se localizan dentro de una franja de dirección preferencial NNO-SEE, compuesta por brechas calcáreas y calizas del Grupo Pucará y sus estratos buzan en el mismo sentido de la pendiente. Estas rocas presentan moderada meteorización y fracturamiento, dispuesto en dos familias de discontinuidades, que representan zonas inestables propensas a la ocurrencia o reactivación de movimientos en masa. También afloran dos depósitos coluvio-deluviales, que descansan discordante a las calizas del Grupo Pucará. Se trata de acumulaciones de bloques y bolones calcáreos de 0.2 a 1.8 m de diámetro, dispuestos aisladamente en una matriz de material incompetente, conformado de gravas, arenas y limoarcillas poco cohesivas, que ofrecen baja resistencia a la erosión.

En los sectores evaluados se identificaron las unidades geomorfológicas de montaña estructural labrada y modelada en roca sedimentaria, con relieve más o menos escalonada en pendientes fuertes a escapadas, que oscilan entre 35° a 50°. En casos puntuales, como en la parte alta de Puente Durand, forman paredes encañonadas con pendientes subverticales, que son fuente de bloques inestables propensos a caída. También se identificaron vertientes coluvio-deluviales, en laderas con pendientes que oscilan entre 25° a 45°, que condicionaron el relieve y la generación de derrumbes y caída de rocas.

Los peligros geológicos identificados en los sectores evaluados son caída de rocas y derrumbes. En el caso de caída de rocas, estas representan un peligro latente y de acuerdo a los resultados de simulaciones realizadas (Software RocFall v.4.0 – Rocscience), muestran que en el sector León Pampa, los bloques podrían tener un alcance máximo de 325 a 400 m, velocidad de impacto máximo de 38.5 m/s, 9.5 m de altura de rebote y finalmente con un máximo de energía cinética de 299982 kJ. Mientras que, en el sector Puente Durand, tendrían un alcance máximo de 490 m, velocidad máxima de 57.4 m/s, altura de rebote máximo de 18.8 m y energía cinética de 267712 KJ.

De acuerdo a las características geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presentan los sectores evaluados, se considera a los sectores León Pampa Baja y Puente Durand como **Zonas Críticas** y de **Peligro Alto** por caída de rocas y derrumbes, que pueden afectar los pobladores asentados al borde de la carretera central. Asimismo, representan peligro latente para los transeúntes que usan la vía asfaltada Huánuco-Tingo María.

Por último, se brindan las recomendaciones para las autoridades competentes y tomadores de decisiones, así como, la instalación de mallas ancladas y red de anillos y la reforestación de laderas afectadas por caída de rocas y derrumbes, implementar el Sistema de Alerta Temprana (SAT) y finalmente, realizar el EVAR correspondiente.

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 “Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 16)”, 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 Huánuco, según Oficio N°253-2024-GRH/GGR. Es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa y otros peligros geológicos en los sectores de León Pampa y Puente Durand.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los ingenieros Wilson Gomez Cahuaya, Griselda Luque Poma y al Bach. Ricky Gonzales Salas para realizar la evaluación de peligros geológicos respectiva, en los sectores antes mencionado, el cual, se efectuó en coordinación con las autoridades locales del distrito de Chinchao.

La evaluación técnica se ejecutó en 03 etapas: la etapa de pre-campo empezó con la recopilación de antecedentes de estudios de geología, geodinámica externa y geomorfología por parte del INGEMMET; etapa de campo se realizó el 31-mayo y el 02-junio del año en curso y consistió en la observación geológica, toma y medición de datos estructural, cartografiado al detalle, recopilación de información y testimonios de población local afectada; y para la etapa final de gabinete se realizó el procesamiento digital e interpretación de toda la data extraída en campo, que involucra fotointerpretación cartográfica geológica y geodinámica para la identificación de procesos de movimientos en masa a través de imágenes satelitales que ofrece la plataforma Google Earth y Sentinel 2, elaboración de mapas, figuras temáticas y finalmente redacción del informe final.

1.1. Objetivos del estudio

El presente estudio tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en los sectores de León Pampa y Puente Durand del distrito de Chinchao, provincia de Huánuco y departamento de Huánuco.
- 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.

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 la geología y geodinámica externa (boletines), de los cuales destacan los siguientes:

- A) Boletín N°34, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Estudio de Riesgos Geológicos en la Región Huánuco” de Zavala & Vilches (2006). Este estudio

presenta un mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:250 000, donde los sectores de León Pampa y Puente Durand se encuentran en zonas de susceptibilidad alta a muy alta (**Figura 1**).

- B) Boletín N°80 serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Aguaytia 19I, Pano (20I) y Pozuzo (21I)” de De La Cruz et al., (1996). Describe, reconoce y correlaciona las principales unidades litoestratigráficas en el borde este de la Cordillera del Oriental del centro del Perú a escala 1:100,000.

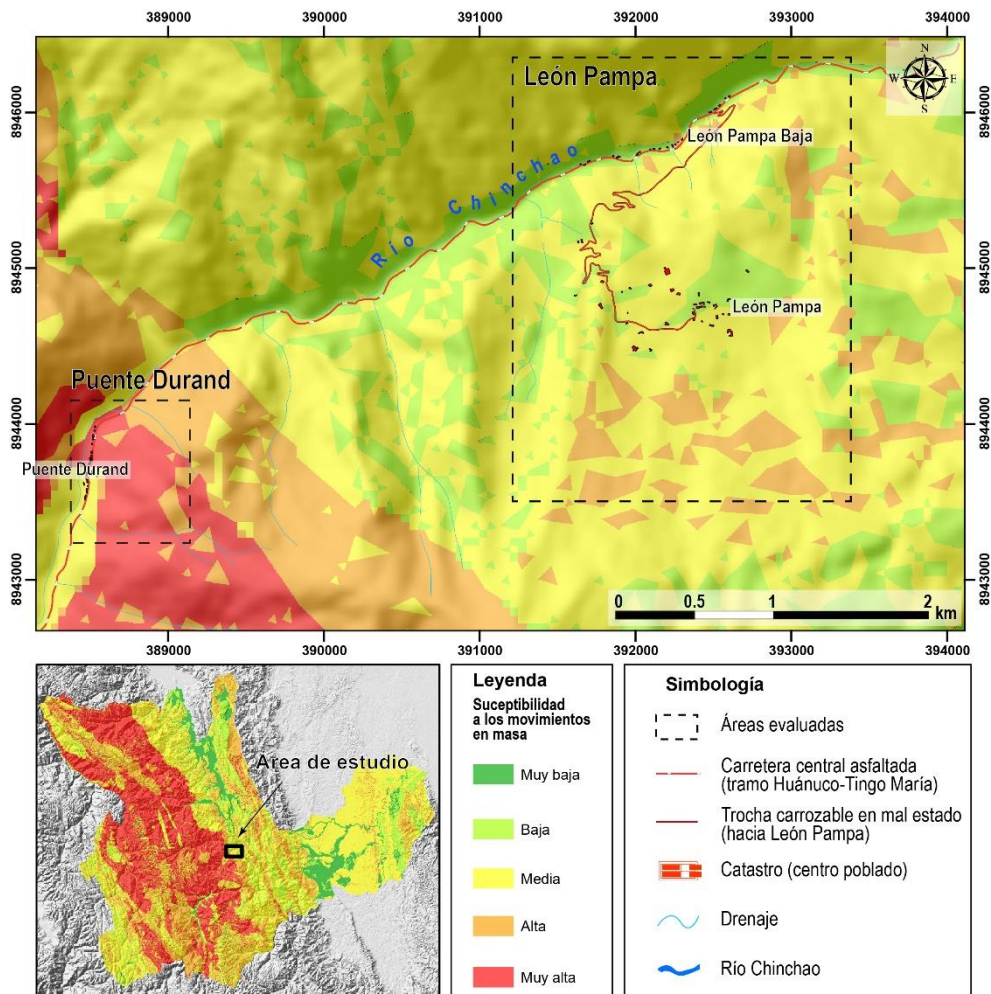


Figura 1: Los valores de susceptibilidad por movimientos en masa en los sectores León Pampa y Puente Durand del distrito de Chinchao, fueron tomados de Zavala & Vilchez (2006). Fuente: Elaboración propia.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

Los sectores de León Pampa y Puente Durand, pertenecen políticamente al distrito de Chinchao, provincia y departamento de Huánuco. Morfoestructuralmente, se ubican en el borde este de la Cordillera Oriental del Centro del Perú (**Figura 2**).

Los sectores estudiados se enmarcan dentro de las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S):

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio que comprende los sectores León Pampa y Puente Durand.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Longitud	Latitud
1	387224.44	8946704.20	-76.02751°	-9.52710°
2	395081.53	8946704.20	-75.95593°	-9.52730°
3	395081.53	8941340.50	-75.95606°	-9.57581°
4	387224.44	8941340.50	-76.02765°	-9.51561°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA				
León Pampa	388849.00	8943507.00	-76.01279°	-9.55606°
Puente Purand	391842.00	8945375.00	-75.98548°	-9.53924°

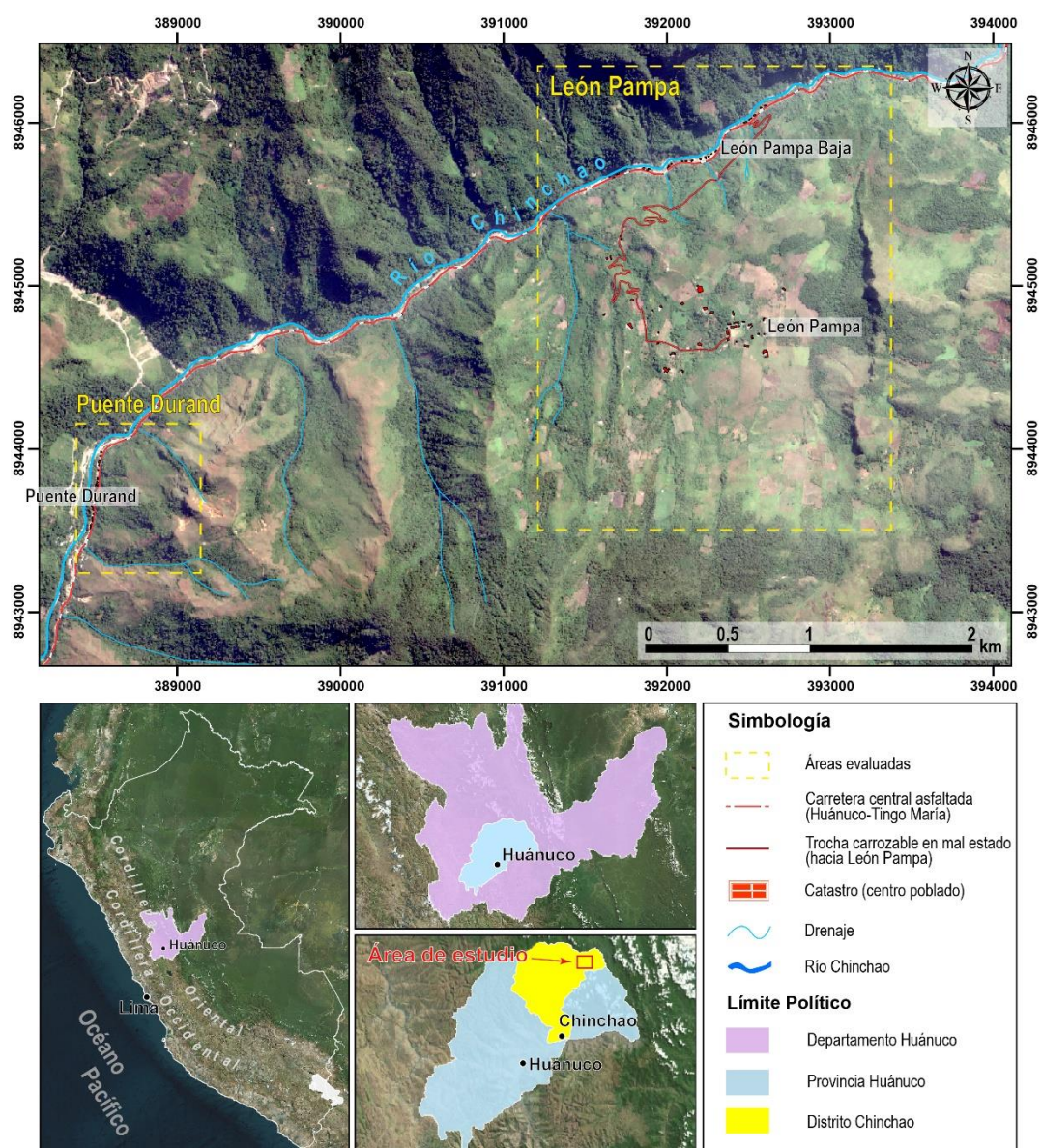


Figura 2. Mapa de ubicación de las áreas evaluadas. Sectores de León Pampa y Puente Durand.

1.3.2. Población

De acuerdo con la información del XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas del 2017, los centros poblados de San Luis de León Pampa y Puente Durand presentan las siguientes características.

Tabla 2. Distribución poblacional de los sectores León Pampa y Puente Durand.

Descripción	Puente Durand	San Luis de León Pampa
Población	480	100
Viviendas	80	60
Agua	No	No
Desagüe	No	No
Energía Eléctrica	Sí	Sí
Acceso	Carretera asfaltada	Camino de herradura / Trocha carrozable

Por otro lado, el poblado de Puente Durand, contiene, 02 centros educativos, el N°084, nivel inicial – jardín (código 21708275) y el N°32055, nivel primario, código 32055. En tanto, el poblado San Luis de León Pampa, contiene 01 centro educativo, el N°32063, nivel primario, código 21749362. Asimismo, cuenta con un establecimiento de salud sin internamiento con código único IPRESS 00000978.

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 – Acomayo	Asfaltada	393	9 horas 40 min
Acomayo– C.P Puente Durand	Asfaltada y afirmada	53.2	1 hora 25 min
Acomayo – C.P León Pampa	Asfaltada/Trocha	53.5	1 hora 35 min

1.3.4. Clima

De manera general y de acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), los sectores León Pampa y Puente Durand presentan dos tipos de climas de los 38 definidos en la clasificación a nivel nacional. Muestran una variación de climas de templado muy lluvioso húmedo todo el año, a templado moderadamente frío lluvioso con humedad alta en todas las estaciones del año.

Tabla 4. Tipo de climas en los sectores evaluados.

Simbología	Descripción
A (r) B'	Muy Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año (Templado)
B (r) B'	Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año (Templado)

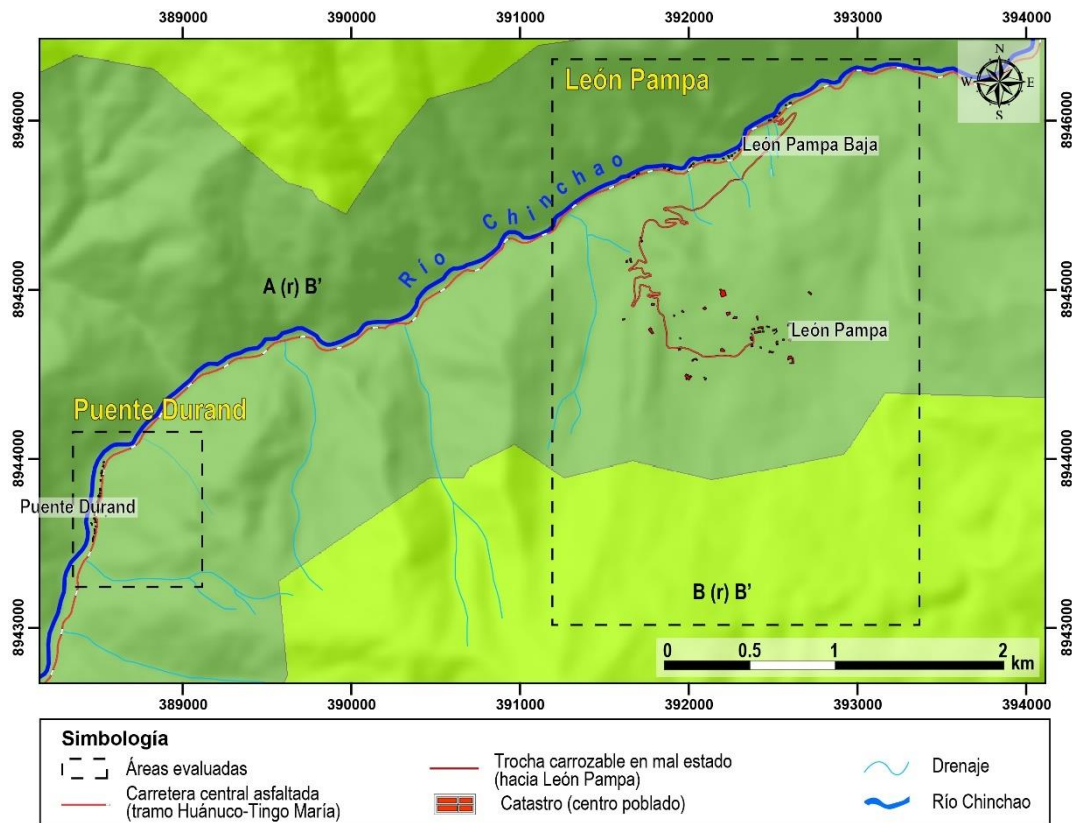


Figura 3. Mapa de tipos de climas según Senamhi (2020). Sectores de León Pampa y Puente Durand.

Respecto a las precipitaciones pluviales, se tiene datos recopilados de la estación Carpish, que es la más cercana a los sectores evaluados. Según datos meteorológicos del (SENAMHI) se tiene datos de precipitación diaria de los años 2018 (noviembre a diciembre), 2019 (enero a abril), 2020 (agosto a diciembre), 2021 (agosto a diciembre), 2022 (enero a abril), 2023 y 2024 (enero a abril), el cuál muestra que las más altas y precipitaciones anómalas superando los 60 mm se dio en marzo de 2019 y se reactivaron para los años 2022 y 2023 (**Figura 4**).

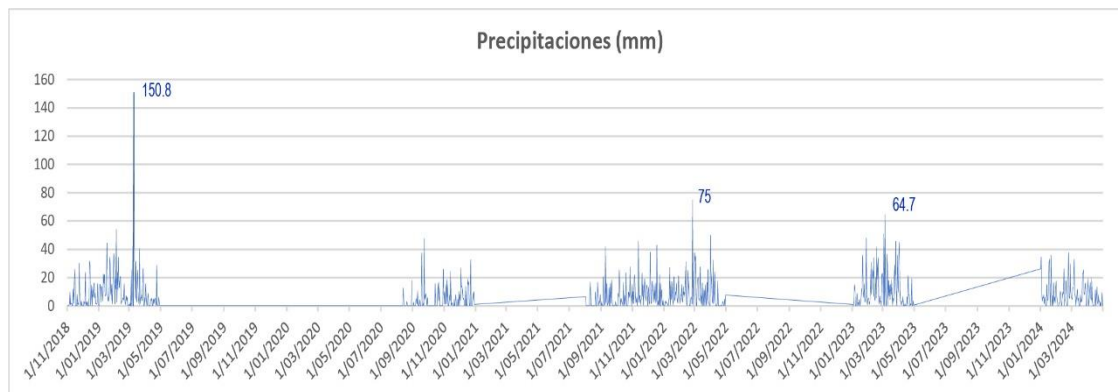


Figura 4. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del año 2018 al 2024.

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>.

Sin embargo, para un análisis más general se muestra en la figura 5, las precipitaciones (mm) superior a 30 mm, el cuál muestra que las más altas concentraciones se dieron en los años 2019 y principalmente se los últimos años entre 2022 y 2023. Posiblemente, las reactivaciones de los movimientos en masa identificados en los sectores León Pampa y Puente León se debieron a estos últimos. **(Figura 5).**

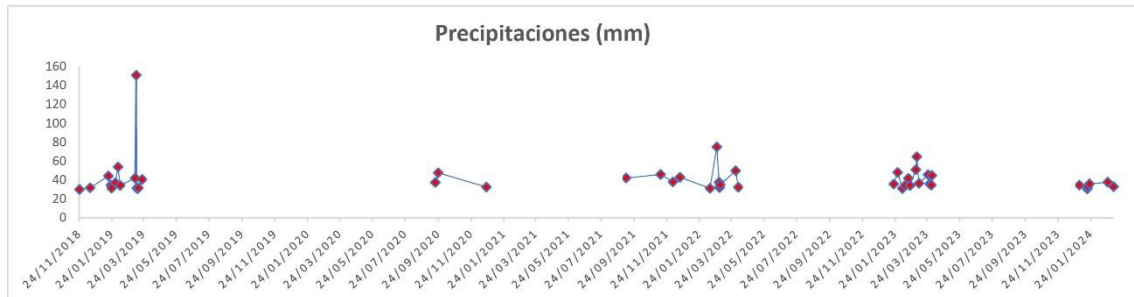


Figura 5. Precipitaciones diarias superiores a 30 (mm) entre los años 2018 al 2024. Fuente de datos: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>.

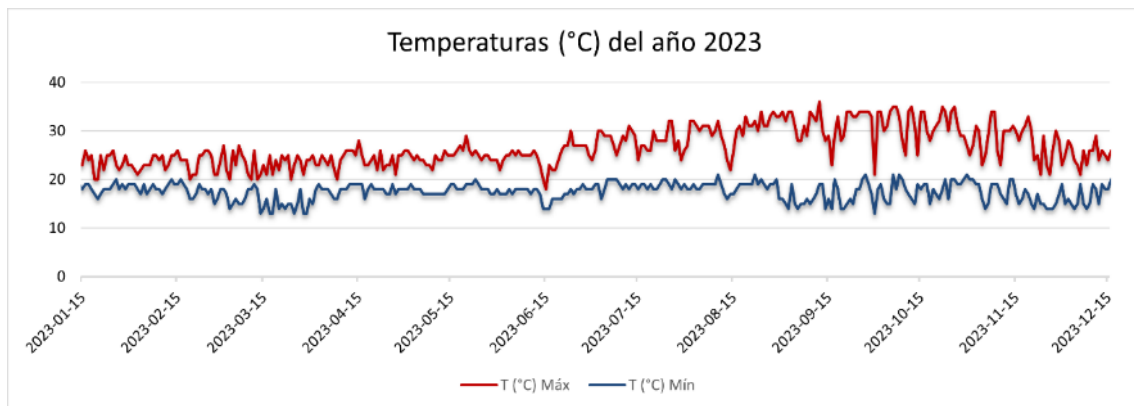


Figura 6. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del año 2023.

1.3.5. Sismos

Para estudios de movimientos en masa en los sectores León Pampa y Puente Durand se ha analizado la base de datos del IGP, donde se plotea la distribución espacial de los epicentros de sismos ocurridos entre los años 1960 a junio del 2024. Asimismo, se plotea las fallas regionales y locales provenientes de la Carta Geológica Nacional (Geocatmin-Ingemmet). El cual, se observa que los sismos superficiales (menores a 30 km) que varían entre magnitudes que van de 4 a 5, podrían estar relacionados a las fallas regionales de dirección NNO (líneas azules) y a los lineamientos con tendencia hacia el NE (líneas negras).

Las disparadas sísmicas podrían estar relacionados a la ocurrencia de movimientos en masa, sobre todo a los eventos que involucran gran volumen de material y extensos, como es el caso del deslizamiento antiguo emplazado en el sector León Pampa. Por otro lado, podrían desencadenar inestabilidad de bloques sueltos o propensos a caída. **(Tabla 5 y Figura 7).**

Tabla 5. Sismos según su profundidad

Tipo	Profundidad (km)
Superficiales	0 a 30
Intermedios	30 a 100
Profundos	> 100

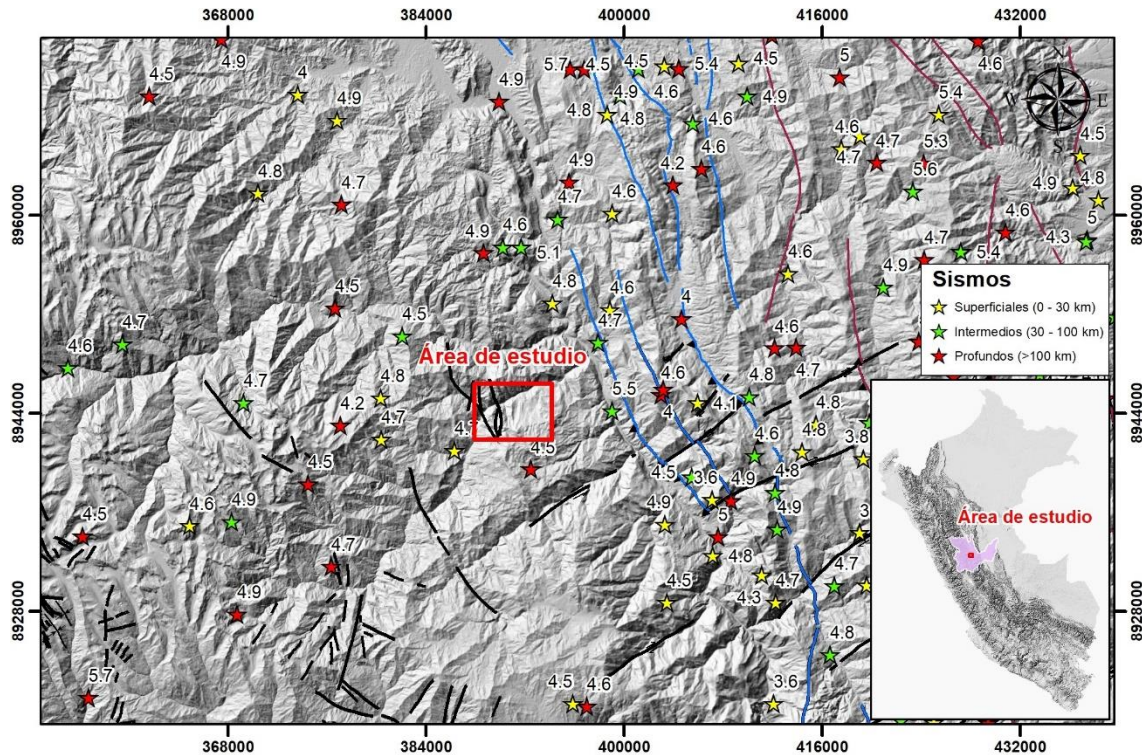


Figura 7. Sismos que podrían estar relacionados a los movimientos en masa en los sectores León Pampa y Puente Durand. Los datos fueron descargados de la plataforma del IGP (<https://ultimosismo.igp.gob.pe/descargar-datos-sismicos>). Fuente: elaboración propia.

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.

CORONA (crown). Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento de ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

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.

DESLIZAMIENTO (slide): Son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud (Cruden, 1991). Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc.

EROSIÓN DE LADERAS: Se manifiesta a manera de láminas, surcos y cárcavas en los terrenos. Un intenso patrón de estos tipos de erosiones se denomina tierras malas o bad lands. Este proceso comienza con canales muy delgados cuyas dimensiones, a medida que persiste la erosión, pueden variar y aumentar desde estrechas y poco profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad.

ESCARPE (scarp). Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

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.

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

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, 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

Para la descripción de las unidades litoestratigráficas, se utilizó la base de la Carta Geológica Nacional del INGEMMET.

En tanto, según el análisis geológico, los sectores León Pampa y Puente Durand se localizan dentro de una franja de dirección preferencial NNO-SEE compuesta por secuencias de rocas carbonatadas del Grupo Pucará del Triásico-Jurásico y depósitos del Cuaternarios del Holoceno.

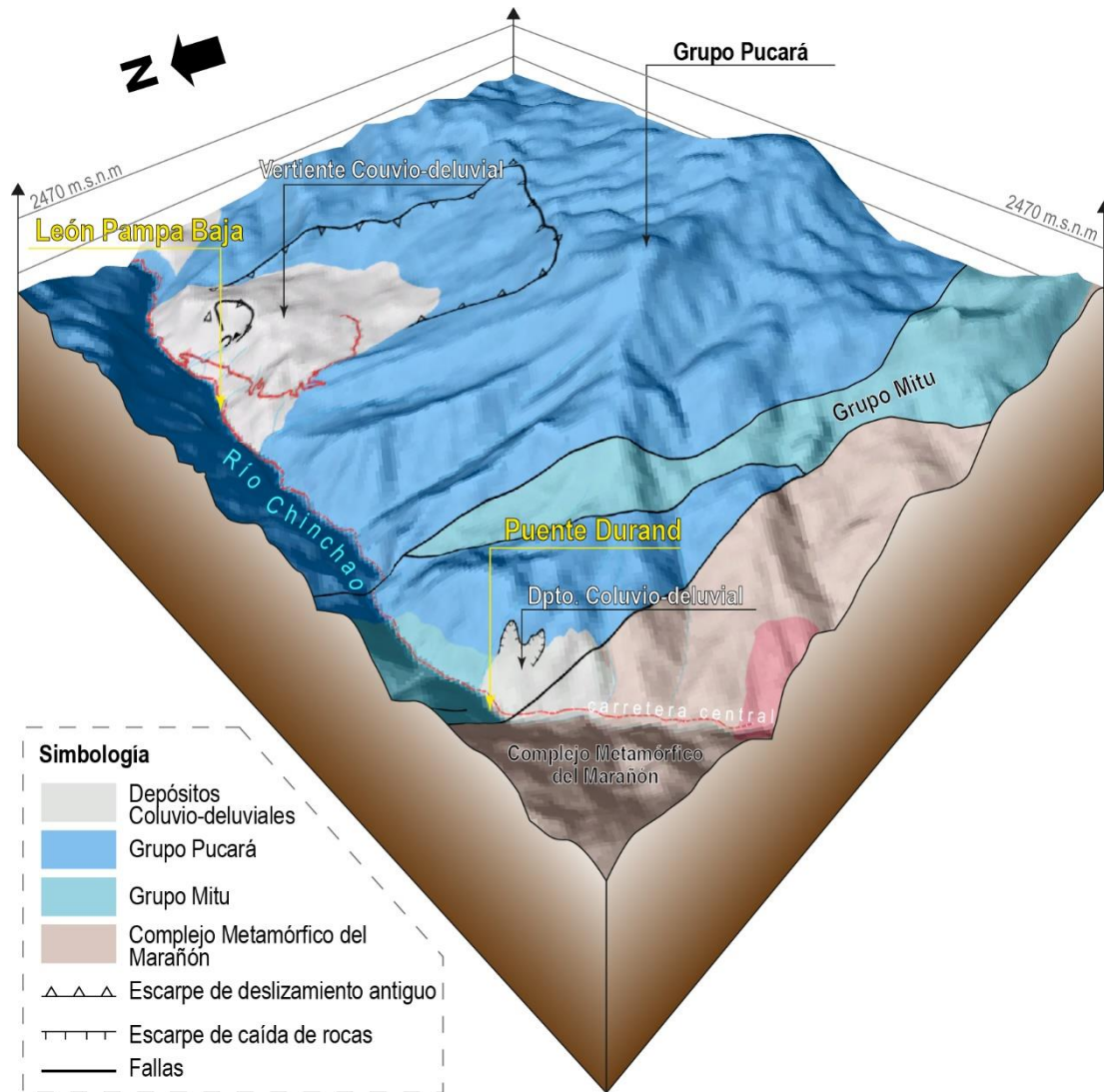


Figura 8. Mapa geológico de los sectores León Pampa y Puente Durand. Donde se observa los grupos Mitu y Pucará sobre rocas del Complejo Metamórfico del Marañón.

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas están representadas por el Grupo Pucará, cubiertos por depósitos cuaternarios que se describen a continuación.

2.1.1. Grupo Pucará

Fue definido por McLaughlin (1924) en el Centro del Perú. Esta unidad, aflora en los sectores León Pampa y Puente Durand, en ambas sobre la carretera central, tramo Huánuco-Tingo María y en las partes altas de la ladera norte que da hacia la vertiente del río Chinchao. Asimismo, el Grupo Pucará conforma el substrato rocoso, previamente deformado, fracturado y meteorizado, el cual fue afectado por la actividad tectónica y geodinámica de laderas.

En el sector León Pampa Baja, en la margen derecha del río Chinchao, aflora una secuencia de calizas masivas de color gris oscuro con tonalidades violáceas en estratos tabulares algo ondulados que van de 0.20 a 0.8 m de espesor, intercalado finamente

con capas centimétricas de lutitas y limoarcillitas negras. Estructuralmente, estos estratos se encuentran fuertemente inclinados en favor de la pendiente.

En este punto, se ha identificado un macizo compuesto principalmente por dos familias de discontinuidades, en el cual, de manera dominante destaca los planos de estratificación que buzan concordante a la pendiente ($D1 = N248^\circ/48^\circ$), mientras que, las fracturas secundarias tienden a ser casi ortogonales al buzamiento del $D1$ y que se inclinan en contra de la pendiente ($D2 = N127^\circ/53^\circ$). En general, según la clasificación de rocas ISRM (1981), el macizo presenta una moderada meteorización y está medianamente fracturado a muy fracturado (**Figura 9**).



Figura 9. Calizas fracturadas y meteorizadas del Grupo Pucará en la margen derecha del río Chinchao. UTM E 390808 y N 8945175.

En el sector Puente Durand, en la margen derecha del río Chinchao, afloran calizas en estratos medianos que van de 0.15 a 0.3 m de espesor. Estas rocas se encuentran deformadas y muy fracturadas que apenas se distinguen los planos de estratificación.

Estas secuencias se prolongan hacia la parte alta del poblado, donde configuran zonas y bloques inestables y sueltos propensos a generar caída de rocas (**Figura 10**).

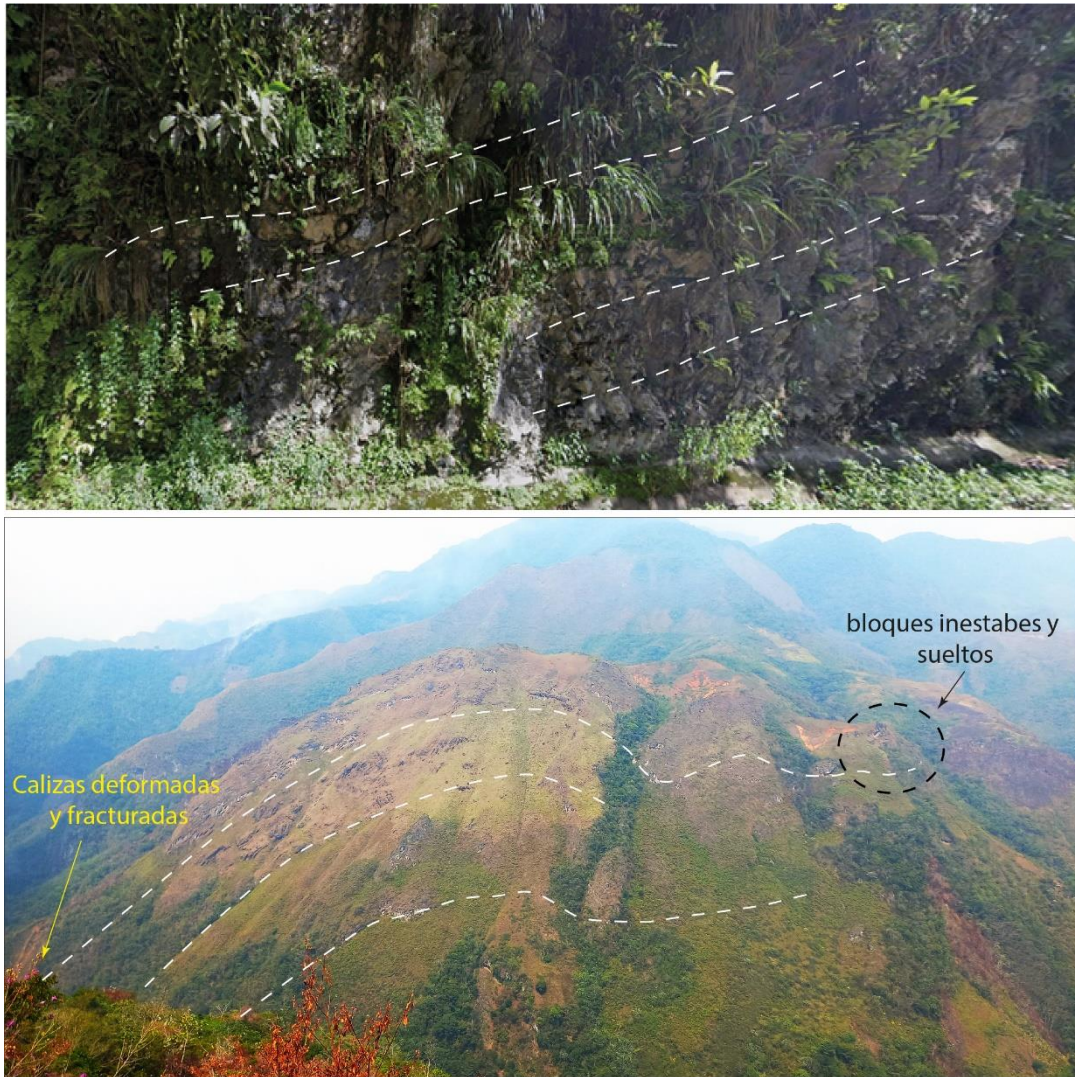


Figura 10. Arriba, secuencias de calizas muy fracturadas pertenecientes al Grupo Pucará. UTM 389734 E, 8944723 N. Abajo, calizas que se prolongan a la parte alta del poblado Puente Durand. Vista panorámica mirando al sureste, imagen que fue proporcionada por el proyecto GR35 de la DGR-INGEMMET.

2.1.2. Depósitos cuaternarios

a. Depósitos coluvio-deluviales (Q-cd)

Estos depósitos se alojan en la parte baja de la montaña. Se trata de secuencias inconsolidadas con fragmentos heterométricos de calizas y brechas calcáreas dispuestos en una matriz limo-arenosa.

En el sector León Pampa, están conformados esencialmente por depósitos de deslizamientos antiguos que se combinan con procesos gravitacionales y de dinámica deluvial. Se caracteriza por formar paquetes potentes de bloques subredondeados de 0.5 a 1.5 m de diámetro, dándole un aspecto de “megaconglomerado de clasto soportado” adheridos uno entre sí. Estos paquetes fueron acumulados de manera subhorizontal creando frentes con paredes subverticales que posteriormente fueron

erosionados y fracturados dejando bloques inestables y sueltos, tendidos sobre suelos poco cohesivos alojados en una pendiente promedio de 35° a 45° . Actualmente, estas zonas representan un peligro por caída de rocas en la localidad de León Pampa Baja (Figura 11).

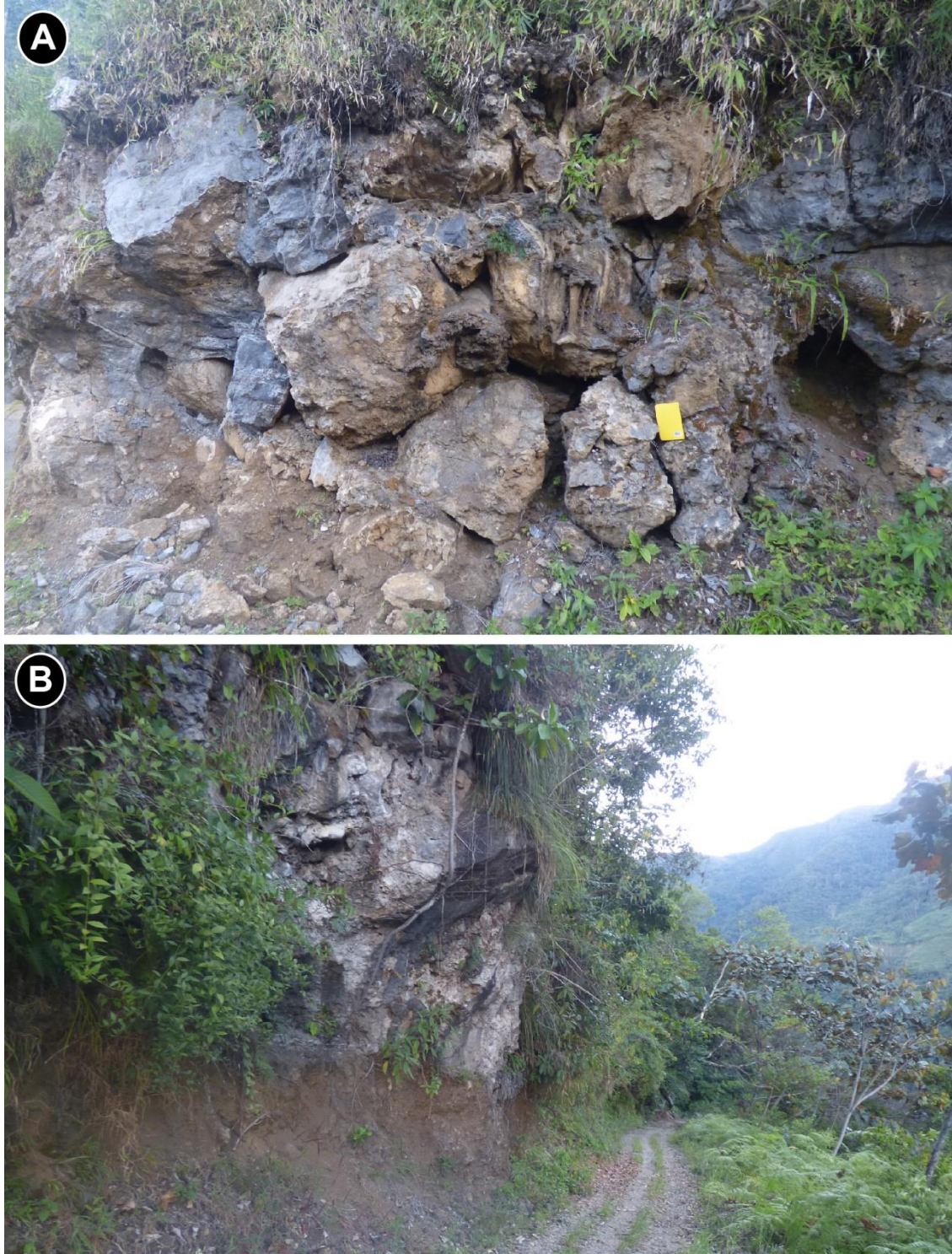


Figura 11. Depósitos coluvio-deluviales en el trayecto de la trocha carrozable que va de León Pampa Baja hacia León Pampa. A) Bloques subredondeados de calizas que van de 0.5 a 1.5 m de diámetro. B) Paquetes de bloques de calizas sobre suelos limoarcillosos y detritos poco cohesivos.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

El análisis de la pendiente del terreno es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, ya que actúa como factor condicionante y dinámico en la propagación de las mismas.

Se consideraron seis rangos de pendientes que van de 0°-1° considerados terrenos llanos; 1°a 5° terrenos inclinados con pendiente suave; 5°a 15° pendiente moderada; 15°a 25° pendiente fuerte; 25°a 45° pendiente muy fuerte a escarpado; finalmente, mayor a 45° terreno como muy escarpado.

Para los sectores León Pampa y Puente Durand se elaboró un mapa de pendientes a partir de un modelo de elevación digital (DEM) de resolución 12.5 m del satélite ALOS PALSAR (**Figura 12**).

El centro poblado Puente Durand se encuentra asentado en un área topográficamente amplia con una pendiente muy baja (<1°) a inclinación suave (1° a 5°), susceptible y/o vulnerable a caída de grandes bloques de rocas provenientes de la parte alta de la montaña, en la margen derecha del río Chinchao. Los bloques muy fracturados y meteorizados se encuentran en una ladera de pendiente muy fuerte a escarpada (38° a 48°), con zonas puntuales de pendientes muy escarpado a abrupto (>45°) (**Figura 12 y 13**).

Por su parte, el centro poblado San Luis de León Pampa, se asienta en una zona de pendiente moderada (5° a 15°). Su acceso es mediante una trocha carrozable, obstruida por derrumbes, el cual, su zona de arranque se encuentra en una pendiente muy fuerte a escarpada (25° a 45°), además, presenta bloques movidos y muy fracturados en pendientes de muy escarpado a abrupto (> 45°) (**Figuras 12 y 13**).



Figura 12. Pendientes promedio del terreno en los sectores León Pampa y Puente Durand. En ambos sectores se observan los bloques propensos a caída, dispuestos en pendientes fuertes y escarpados a abruptas.

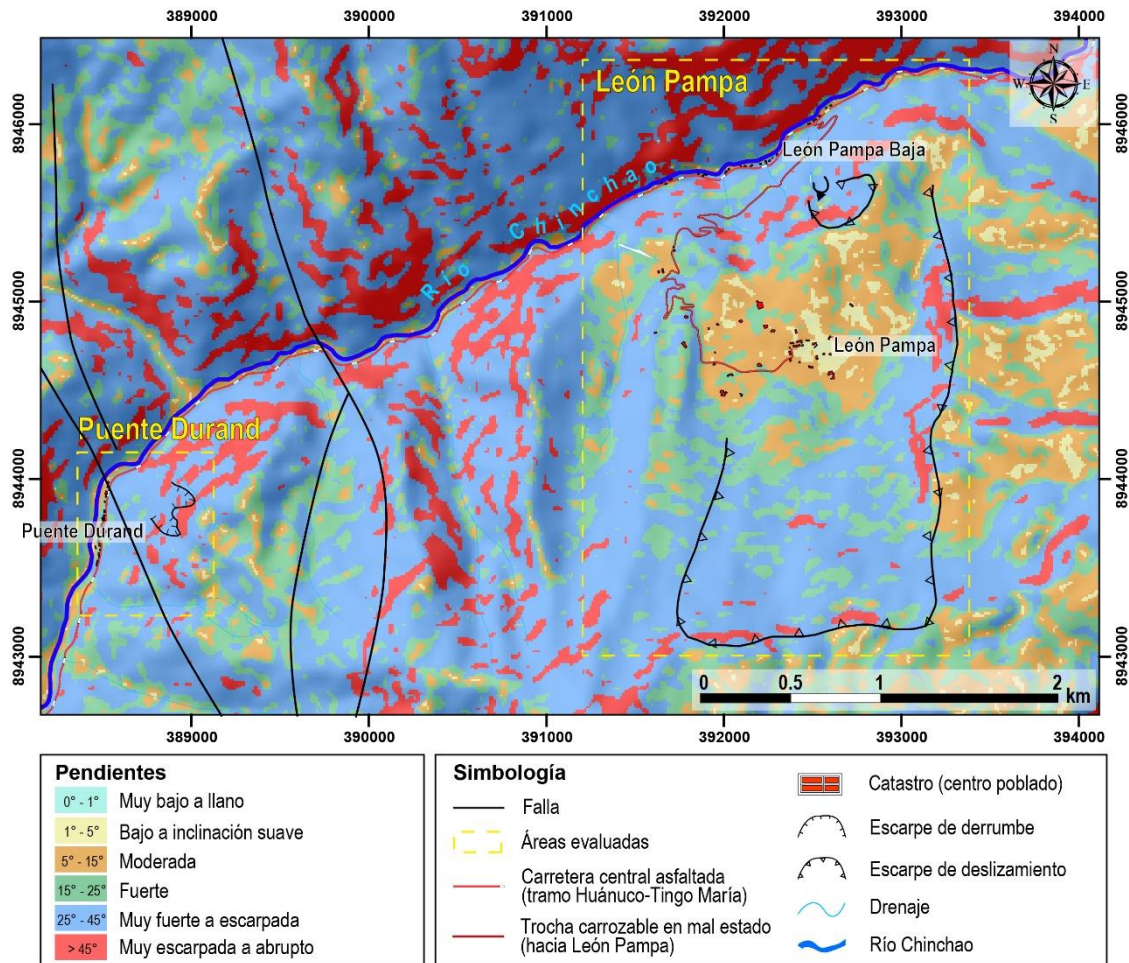


Figura 13. Mapa de pendientes en los sectores evaluados de León Pampa y Puente Durand a partir de un DEM de 12.5 m de resolución del satélite ALOS PALSAR.

4.2. Unidades geomorfológicas

En la zona de estudio se tienen dos unidades geomorfológicas: a) Montaña Estructural en Roca Sedimentaria (degradacional); b) Vertiente coluvio-deluvial (agradacional). Sigue una descripción de estas:

4.2.1. Montaña Estructural en Roca Sedimentaria (RME-rs)

Geoforma ocupada por los sectores evaluados de León Pampa y Puente Durand. Se extiende a lo largo de una franja de dirección andina NNO-SSE. Esta unidad está conformada por rocas sedimentarias del Grupo Pucará. Sus laderas se caracterizan por presentar un relieve accidentado con pendientes escarpados, el cual se encuentra disectado transversalmente por el río Chinchao, formando en algunos casos paredes subverticales que propiciaron los deslizamientos, caída de rocas y derrumbes (**Figura 14**).

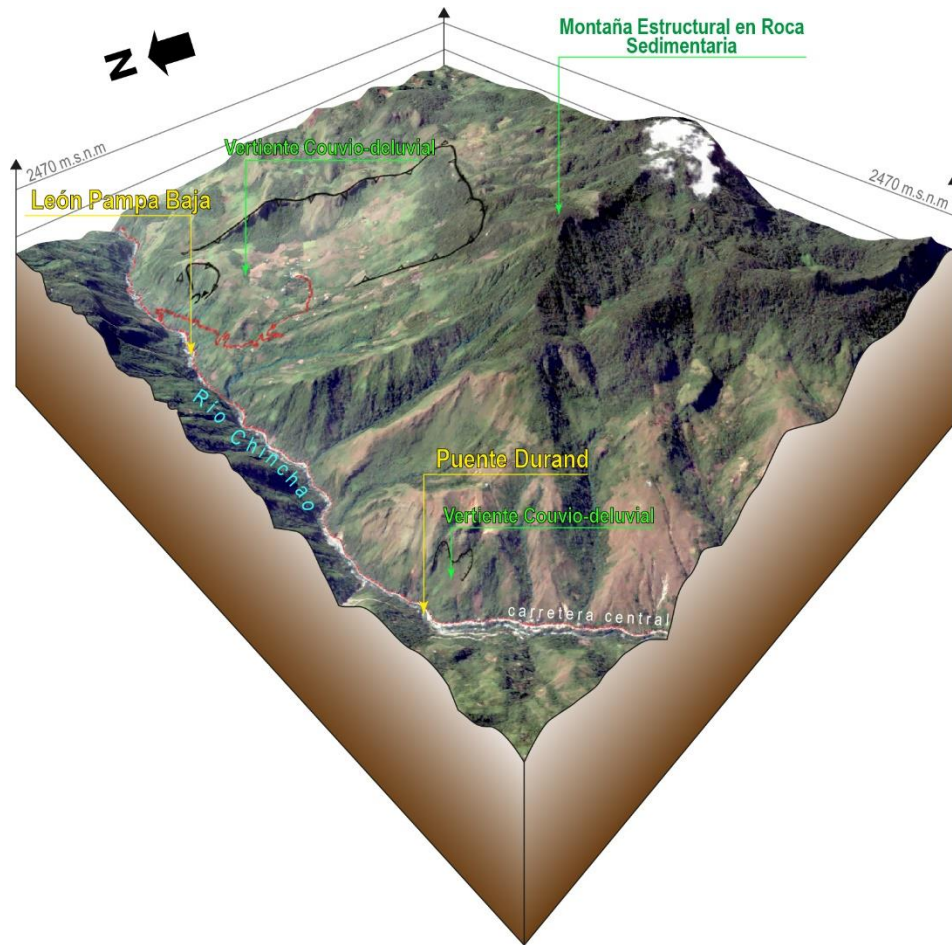


Figura 14. Unidades geomorfológicas en los sectores León Pampa y Puente Durand. Nótese la incisión del valle fluvial del río Chinchao.



Figura 15. Relieve montañoso con morfología tipo estructural emplazada en rocas sedimentarias y Vertiente Coluvio-deluvial en pendientes escarpados $>45^\circ$. Vista mirando al noreste desde la parte alta del sector Puente Durand.

4.2.2. Vertiente Coluvio-deluvial (V-cd)

Estas geoformas se emplazan en la parte media de ladera norte que da hacia el río Chinchao. Están conformadas por depósitos de antiguos deslizamientos y derrumbes, entre los sectores León Pampa y Puente Durand. Se trata de secuencias inconsolidadas de material de origen coluvial y deluvial alojadas en pendientes escarpadas. Los principales eventos que se reactivaron en esta unidad fueron derrumbes y bloques rocosos, tendidos en superficies poco cohesivos y sobresaturados, susceptibles a generar caída de rocas (**Figura 14 y 15**).

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

En el área estudiada se identificaron y cartografiaron varios procesos de movimientos en masa, lo que configuran como peligros geológicos según la clasificación sugerida por el “Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007”.

En el presente informe, se describen los principales peligros geológicos entre los sectores León Pampa y Puente Durand, ambas localizadas en el trayecto de la carretera central Huánuco-Tingo María., Ambos sectores comparten características con rasgos geológico-estructurales, geomorfológicas y geodinámicas similares.

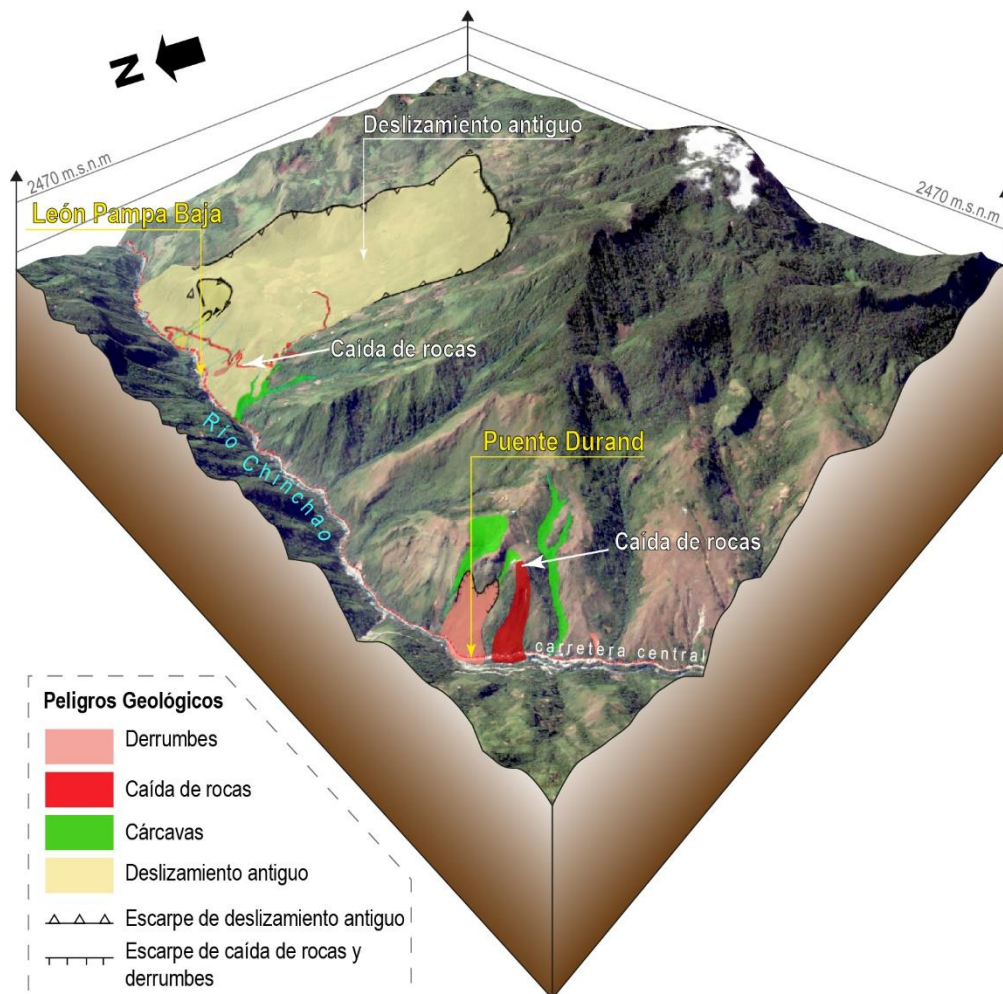


Figura 16. Mapa de peligros geológicos identificados en los sectores León Pampa y Puente Durand.

5.1. Movimientos en masa en el sector León Pampa

Los principales peligros geológicos identificados en los sectores evaluados son caída de rocas, derrumbes y deslizamientos que se detallan a continuación:

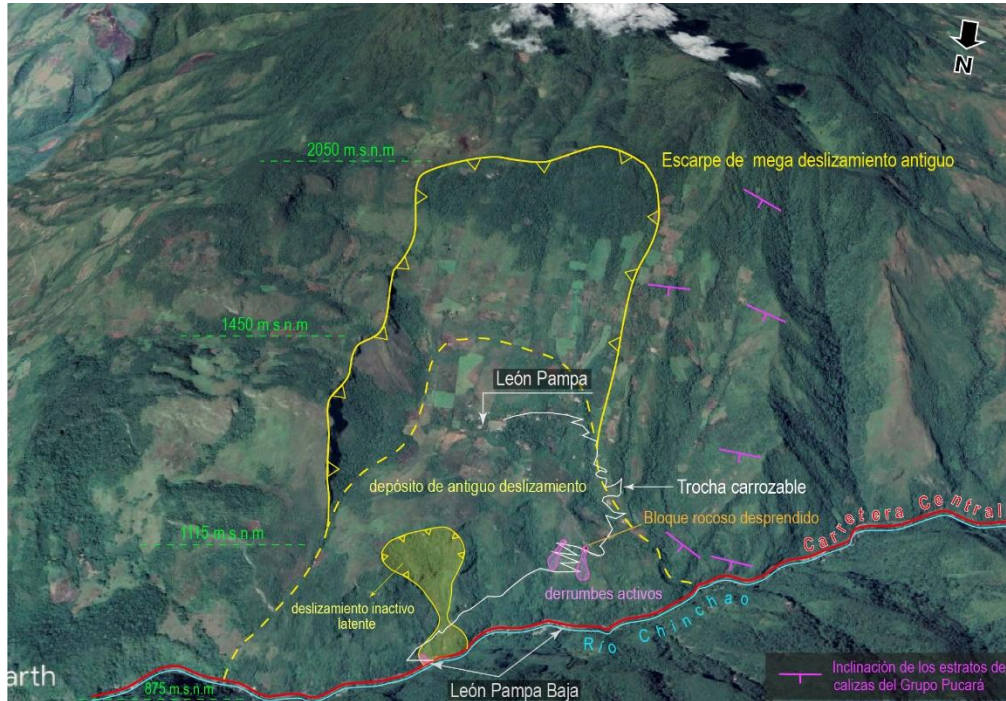


Figura 17. Movimientos en masa en el sector León Pampa y León Pampa Baja. Deslizamiento antiguo, deslizamientos inactivo latente, derrumbes y caída de rocas instalado en la margen derecha del río Chinchao. Imagen panorámica tomada de Google Earth. Vista mirando al sureste.

5.1.1. Deslizamiento antiguo

En la ladera de León Pampa, se instaló un mega deslizamiento que involucró gran volumen de calizas y brechas del Grupo Pucará, que previamente fueron afectados por la actividad tectónica y geodinámica externa que dieron lugar a la deformación, diaclasamiento y meteorización de sus estratos que buzcan en el mismo sentido de la pendiente (**Figuras 17 y 18A**).

El mecanismo del movimiento inició aparentemente como traslacional, debido a que el material se desplazó ladera abajo siguiendo los planos de estratificación. Sin embargo, según las geometría y geoforma del depósito final se trataría de un movimiento que desarrolló y evolucionó al tipo rotacional (**Figura 18B**).

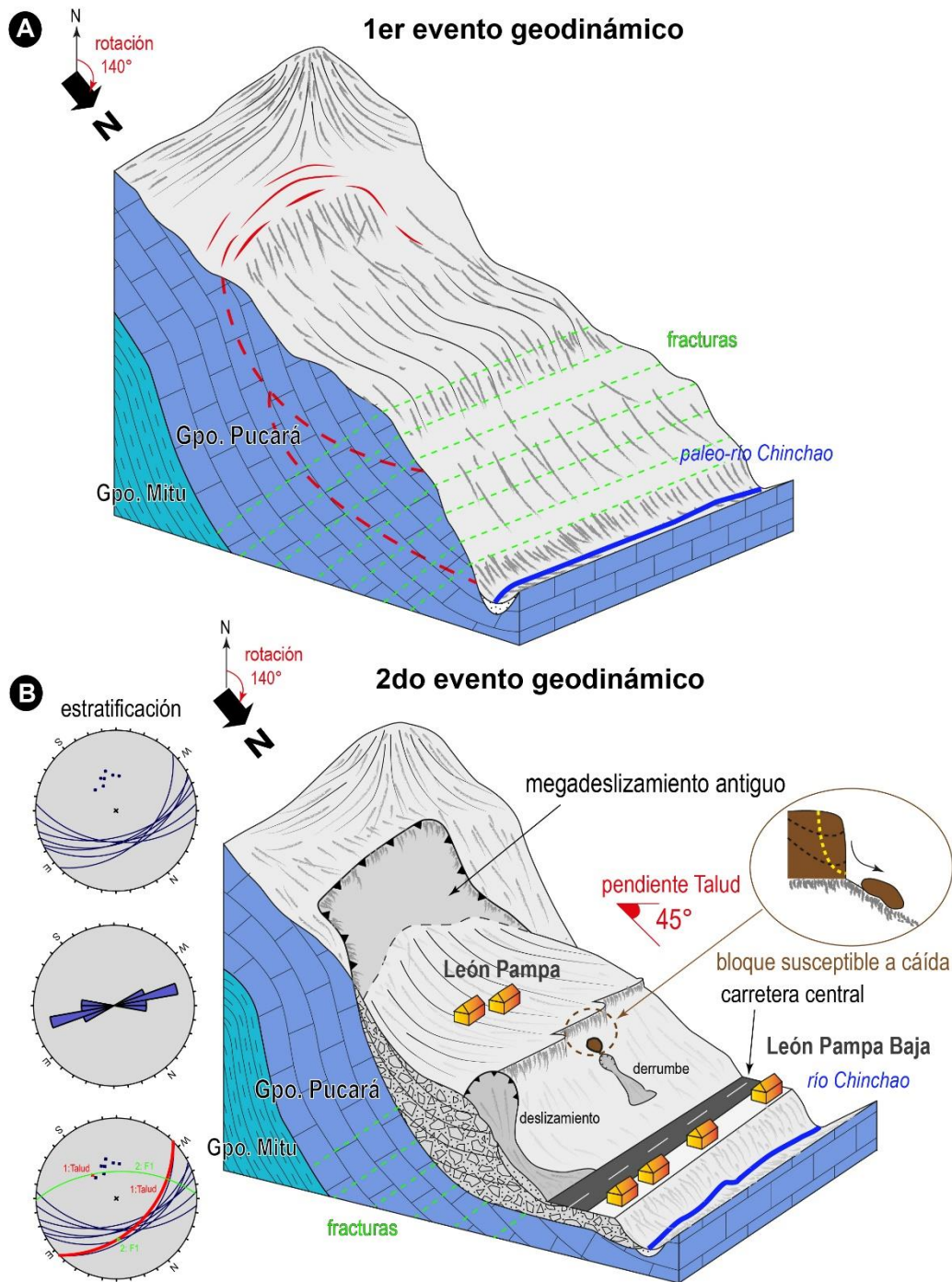


Figura 18. Blocks diagrama esquemáticos de los eventos geodinámicos en el sector León Pampa. A) Primer evento: paleorelieve con ladera de pendiente abrupta, nótese los planos de estratificación de las calizas del Grupo Pucará en favor de la pendiente. B) Segundo evento: mega deslizamiento que tuvo un movimiento complejo que inició aparentemente como traslacional siguiendo los planos de estratificación y que evolucionó a tipo rotacional.

La traza de su escarpe presenta formas tabulares, algo rectangulares de manera continua, dándole un aspecto rugoso que se distinguen en la ladera media y cerca de la cresta del cerro montañoso que dejó un desnivel de 600 m (**Figura 17 y 18**).

Este mega deslizamiento antiguo removió material y suelos residuales provenientes de las rocas de calizas y brechas calcáreas del Grupo Pucará, y los depositó ladera abajo

a manera de capas subhorizontales que se fueron apilando hasta formar un frente de pared o talud con pendiente subvertical (**Figura 18B**). Estas capas comprenden bloques subredondeados heterométricos que van de 0.2 a 1.2 m de diámetro, envueltos en una matriz areno-gravosa a limoarcillosa.

Actualmente, en la meseta del depósito del antiguo deslizamiento se asentó el poblado de León Pampa, mientras que, en la punta o pie del deslizamiento se asentó el poblado denominado León Pampa Baja. Este último, se encuentra afectado por derrumbes y está propenso a caída de rocas que ponen en peligro la vida y medios de vida de los pobladores ladera abajo (**Figura 18B**).

Finalmente, se desconoce la cronología del evento, sin embargo, según los rasgos geológico-estructurales y geoformas del terreno expresadas en superficie hacen suponer e interpretar tentativamente que ocurrieron en una escala de cientos a miles de años antes del presente. Asimismo, sus depósitos heredados conforman zonas de inestabilidad en la que actualmente se emplazan los movimientos en masa más recientes (**Figuras 17 y 18B**).

5.1.2. Caída de rocas

En la ladera norte que da hacia la vertiente del río Chinchao, que en promedio presenta una pendiente de $\sim 45^\circ$, se evidencia geoformas que sobresalen al relieve, a manera de crestas con paredes subverticales que se formaron producto de la acumulación de materiales que provienen de un antiguo deslizamiento (**Figuras 18B y 19**).

Posteriormente, en zonas puntuales, este talud subvertical sufrió fragmentación y ruptura debido a la baja competencia de su litología y del continuo proceso de erosión y meteorización, según evidencias del terreno. Uno de estos megabloques producto de la ruptura quedó tendido a pocos metros sobre un material inconsolidado y que en la actualidad presenta movimiento gravitacional que es materia de investigación del presente informe (**Figura 18B y 19**).

El mega bloque está ubicado en las coordenadas UTM-WGS84 (E:391844 y N:8945371), se encuentra en la margen izquierda de la trocha carrozable que va del anexo León Pampa Baja hacia la localidad de León Pampa. Este bloque está constituido de fragmentos heterométricos subredondeados que van de 0.2 a 1.8 m de diámetro adheridos unos entre sí, dando la apariencia de un “conglomerado de clasto soportado”, y tiene la forma más o menos de un prisma con 8 m de largo, 4 m de ancho y 4 m de altura. Su superficie se encuentra moderadamente meteorizada y presenta fracturas (**Figura 20**).

Este bloque descansa sobre suelos incompetentes y poco cohesivos de material suelto compuesto de gravas, arena y limoarcillas, emplazadas en una pendiente muy escarpada, el cual condicionan su desprendimiento y separación del suelo ladera abajo (**Figura 20C**).

En el terreno se evidencia que el bloque tuvo un desplazamiento de 4 a 6.5 m desde su posición original en sentido de la pendiente (**Figura 21 A y B**). El arranque dejó un escarpe de forma semicircular de 20 m de longitud y con un desnivel de 0.6 a 1.2 m (**Figura 21 C y D**).

Finalmente, la base en la que está asentada este bloque se encuentra socavado por un derrumbe y que destruyó parte de la trocha, lo cual, le convierte en una zona crítica y

altamente propenso a caer, lo que afectaría a los pobladores de León Pampa Baja (Figura 20 A).

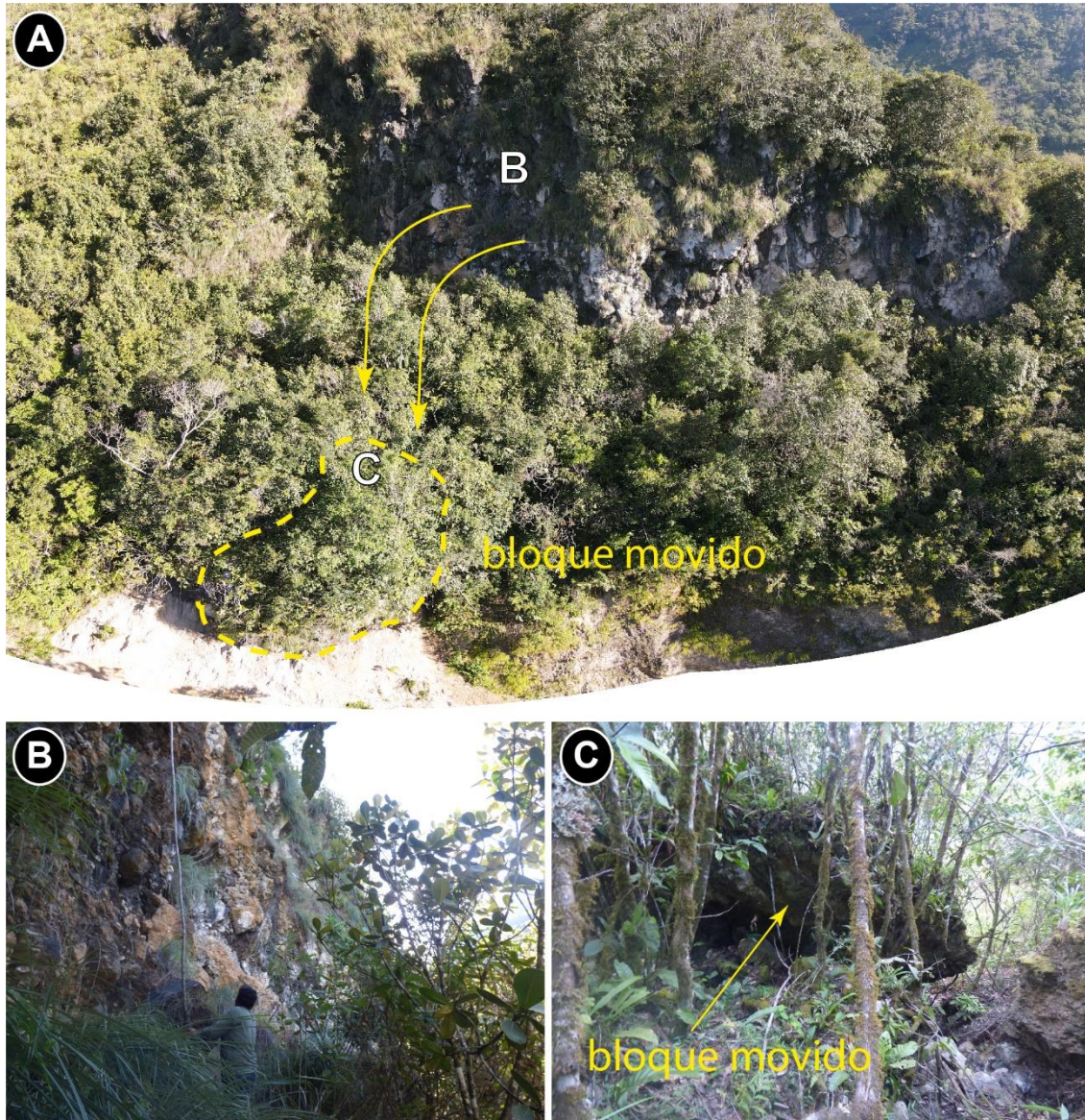


Figura 19. A) Depósito del megadeslizamiento antiguo que se acumuló formando paredes subverticales, desde donde se desprendió un bloque que se asentó a pocos metros. B) Detalle de la pendiente subvertical. C) Detalle del bloque desprendido, que evidencia movimiento y desplazamiento de su posición original.

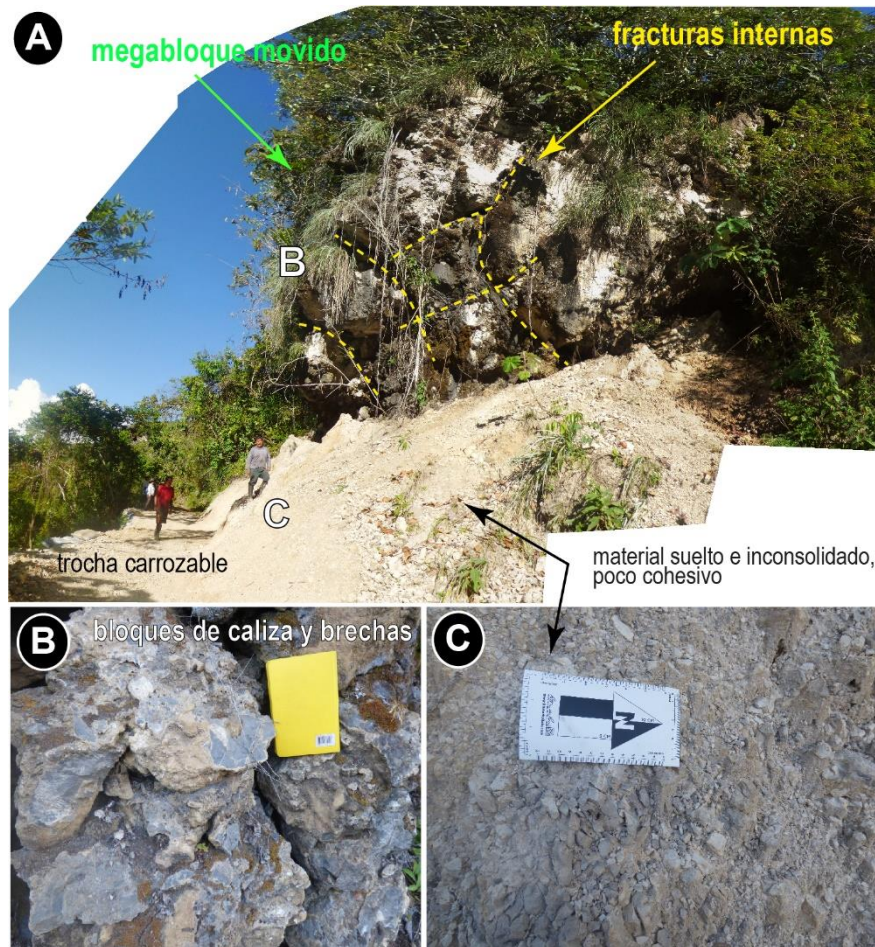


Figura 20. A) Bloque rocoso con fracturas, dispuesta sobre suelos inconsolidados e inestables, de gravas, arena y limoarcillas. B) Detalle del bloque, constituido de calizas y brechas calcáreas. C) Detalle del material inconsolidado.



Figura 21. A) y B) Bloque que se desplazó y dejó escarpes que van de 0.6 a 1.2 m de desnivel. C) y D) Bloque con desplazamiento de hasta 6.5 m ladera abajo.

5.1.2.1. Factores condicionantes

Los factores condicionantes para la ocurrencia de caída de rocas en la siguiente tabla.

Tabla 7. Factores condicionantes de los procesos de movimientos en masa. Caída de rocas.

Factores	Características asociadas
Litológico	- El bloque rocoso está constituido por la acumulación de bloques más pequeños de calizas y brechas adheridos unos entre sí. - Las propiedades geomecánicas de la caliza y los bloques de caliza, son catalogadas malas geotécnicamente por su solubilidad al agua y poca resistencia a la erosión. - Los pequeños bloques adheridos uno a otros deja espacios vacíos, donde se infiltra agua, causando fracturas y moderada meteorización. - Suelos residuales y depósitos coluvio-deluviales constituidos por gravas, arena y limoarcillas que ofrecen poca resistencia a la erosión, situados en la base del bloque rocoso. Lo que propicia el movimiento gravitacional del bloque.
Geomorfológicos	El mega deslizamiento antiguo dejó un depósito en la parte baja de ladera, tiene geoformas tipo crestas con paredes subverticales que son fuentes de bloques fragmentados propensos a generar caída de rocas.

5.1.2.2. Factores desencadenantes

Los principales factores desencadenantes que están asociadas a la ocurrencia de movimientos en masa se detallan a continuación.

Tabla 8. Factores desencadenantes por movimientos en masa.

Factores desencadenantes	Características asociadas
Precipitaciones	Intensas precipitaciones pluviales y/o excepcionales, principalmente entre los meses de diciembre a abril.
Reactivación del derrumbe (D1)	El avance retrogresivo del derrumbe (D1) que socava la base del bloque, hace que pierda cohesión del suelo.
Sismos	Ocurrencia de sismos superficiales podrían estar relacionados con la inestabilidad de laderas y bloques dispuestos en pendientes escarpados, tal como se muestra en las figuras 7 y 13.
Hidrológicos	Aguas de escorrentía superficial que activan pequeñas quebradas que surcan depósitos coluvio-deluviales y sobresaturan el suelo.
Antrópicos	Cortes y ensanchamiento de trocha que remueven material y desestabiliza la base en la que está asentado el bloque movido.

5.1.3. Derrumbes

Se localiza inmediatamente debajo del bloque rocoso anteriormente descrito. Se trata de un derrumbe (D1) que destruyó parte de la trocha carrozable, que va hacia la localidad de León Pampa. Asimismo, socava la base del bloque rocoso (**Figura 22**).

Su escarpe tiene forma semicircular de 30 m de longitud. El cuerpo principal del derrumbe (D1) tiene un ancho 15 m y afectó un área de 1.2 ha ladera abajo. El material desplazado tuvo un recorrido de 254 m de distancia desde su escarpe.

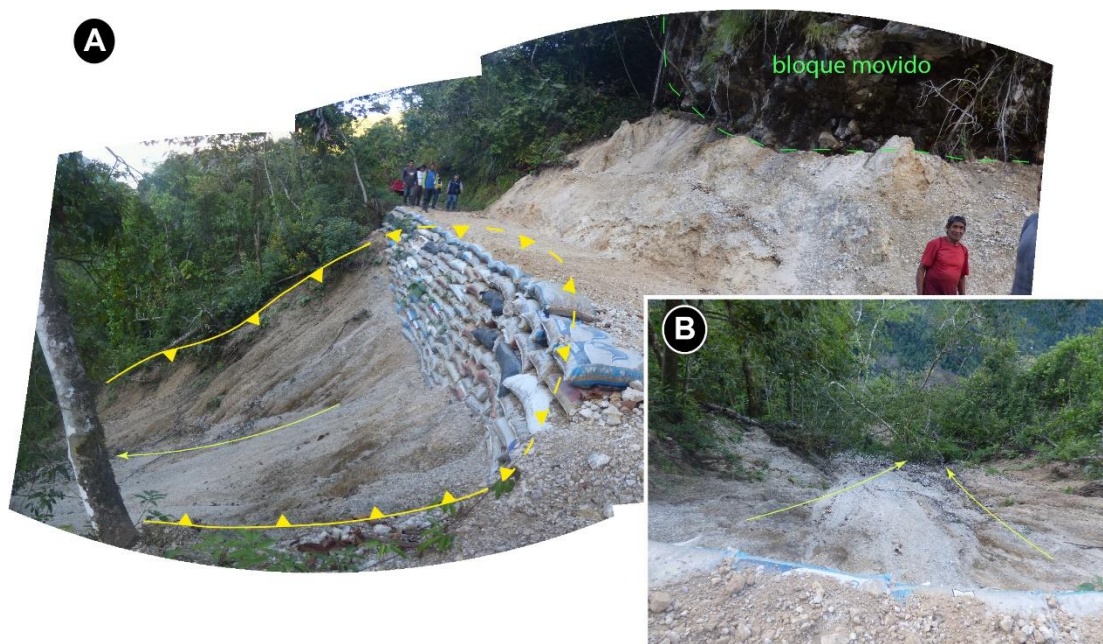


Figura 22. A) Derrumbe que destruyó parte de la trocha carrozable que se dirige hacia León Pampa. Asimismo, socava la base del bloque movido propenso a caída. B) Material desplazado ladera abajo.

Por otro lado, se registró otro derrumbe (D2) en la margen izquierda de la trocha, entre las coordenadas UTM-WGS84 E: 391941, N: 8945360. El movimiento inició en la cota 1124 m.s.n.m. y dejó un escarpe de forma semicircular de ~45 m, con un desnivel entre 4 a 12 m. Este derrumbe afectó un área de 0.7 h ladera abajo e involucró material coluvio-deluvial, que se deslizó cerca de 215 m desde su escarpe. En el mes de marzo de 2024 se reactivó a través de un derrumbe que afectó parte de su corona (**Figura 23**).

Por último, se registró un derrumbe (D3) de pequeña magnitud localizado en la entrada de la trocha carrozable, margen derecha de la carretera central Huánuco-Tingo María. Este evento removió e involucró material de la zona distal y lateral derecho de un antiguo deslizamiento. La geometría de su escarpe es semicircular de 39 m de longitud y compromete un área de 0.13 ha. El derrumbe fue provocado posiblemente por aguas de escorrentía superficial que saturaron el material coluvio-deluvial de arenas y limoarcillas dispuestas en una pendiente abrupta. (**Ver mapa de peligros geológicos en Anexos**).



Figura 23. Derrumbe antiguo que se reactivó de manera incipiente, parte de la corona, en el mes de marzo de 2024.

5.2. Movimientos en masa en el sector Puente Durand

Los derrumbes y caída de rocas suscitados en este sector, revelan una intensa actividad geodinámica a lo largo del tiempo, que se desarrollaron en la ladera oeste del cerro montañoso que da hacia el poblado de Puente Durand. Estos comprometieron secuencias de bloques rocosos constituidos de brechas y calizas del Grupo Pucará y depósitos coluvio-deluviales (**Figura 24**).

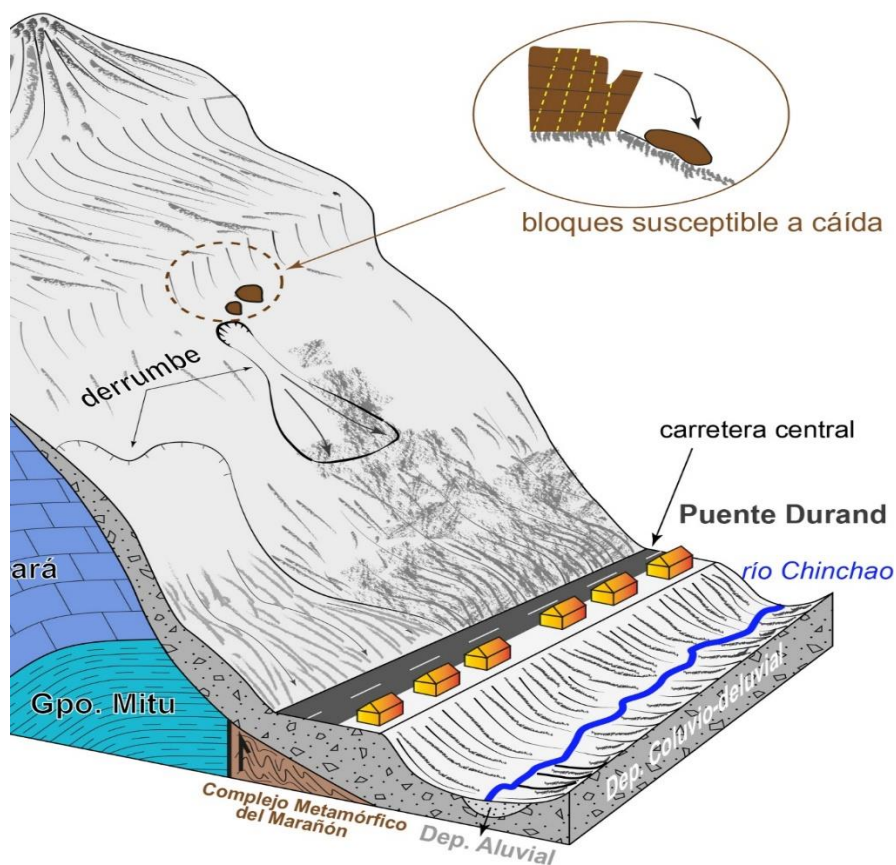


Figura 24.5. Block diagrama esquemático de los eventos de movimientos en masa identificados en el sector Puente Durand.



Figura 24. Peligros geológicos identificados en el sector Puente Durand. Vista panorámica mirando al sureste.

5.2.1. Caída de rocas

Estos eventos se registraron en las coordenadas E 388929 y N 8943510, situado en la parte alta del poblado Puente Durand. Se trata de megabloques que sobresalen al relieve accidentado, que en promedio presentan una pendiente escarpada mayor a 45°, originados por caída de rocas. En conjunto, estas características geodinámicas la convierten en zonas susceptibles a desprendimientos y caída de bloques rocosos, que podrían causar graves daños a la vida humana y a la infraestructura (**Figuras 24 y 25**).

Los bloques están conformados por calizas fracturadas y brechas calcáreas que fueron aparentemente fragmentados y desprendidos de un macizo rocoso situado a 50 m. Este macizo presenta fracturas que siguen los planos de estratificación subhorizontales, sin embargo, existen fracturas subverticales transversales a la estratificación que se inclinan en contra de la pendiente y que produjeron un mecanismo de ruptura tipo vuelco (**Figura 25A**). Los bloques quedaron tendidos en una ladera escarpada, constituida de material incompetente poco cohesivos, de suelos limorarcillosos que hacen que los bloques pierdan estabilidad y que muestran evidencia de movimientos recientes (**Figura 25 B y C**).

El bloque más crítico a caída presenta una morfología semiovalada a prismática, con dimensiones estimadas de 5 m de largo, 4 m de ancho y una profundidad de 2.5 m. La zona de arranque tiene forma semicircular de 15 m de longitud, y presenta una abertura que evidencia un desplazamiento de 2 a 3 m desde su posición original en el mismo sentido de la pendiente (**Figura 25C**). Además, presenta grietas en el terreno con abertura de ~15 cm y con saltos de 30 a 40 cm de desnivel, que pone en evidencia un movimiento lento pero continuo (**Figura 26**).

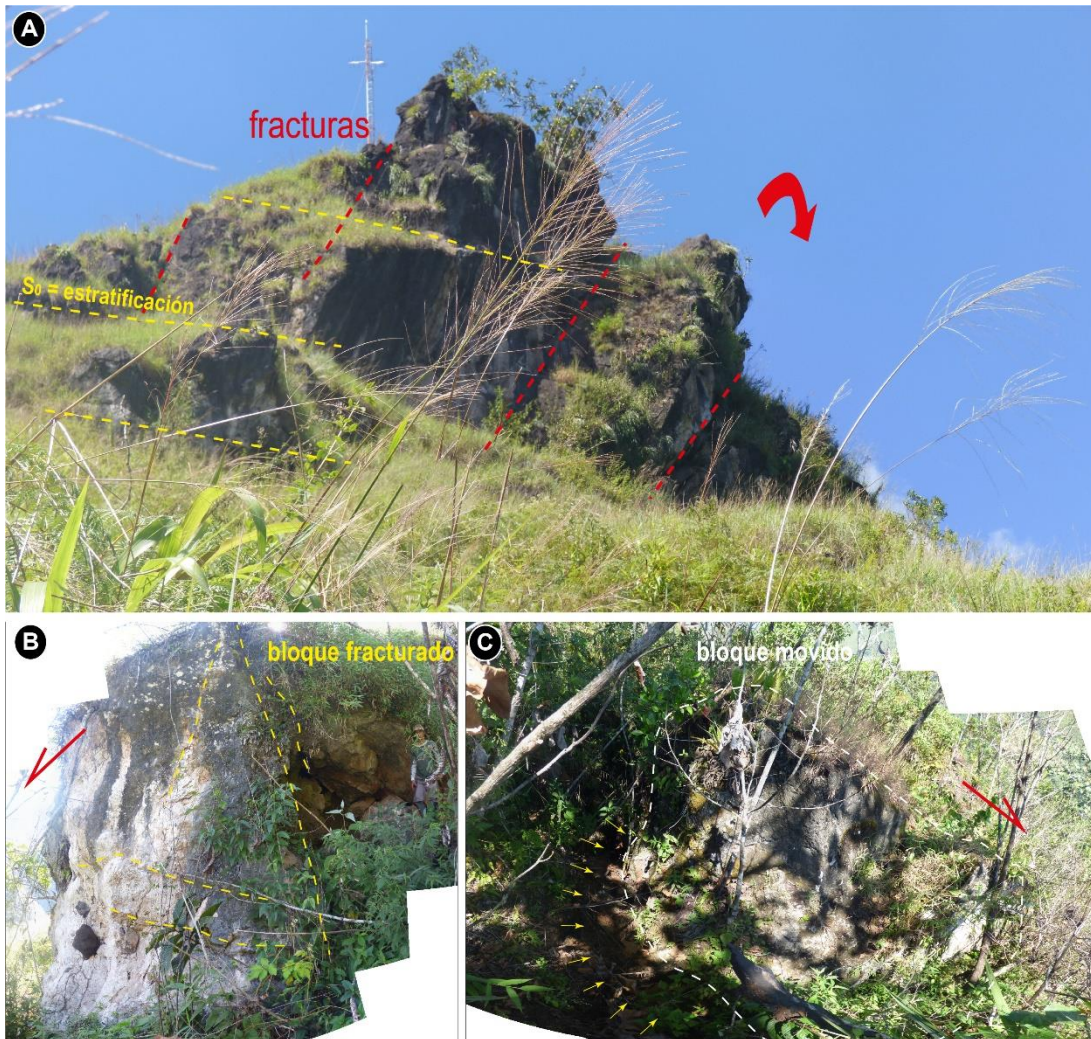


Figura 25. A) Bloques rocosos susceptibles a caída situados en la parte alta de la ladera de Puente Durand. B) Bloque con fracturas ubicado en las coordenadas UTM-WGS84 (E_388929, N_8943510) a una altura de 1327 m.s.n.m. C) Bloque (E: 388941 y N: 8943497) con evidencia de desplazamiento de ~2 m, además, presenta una morfología prismática de 5 m de largo, 4 m de ancho y 2.5 m de profundidad, susceptible a caída.



Figura 26. Grietas de tracción en el terreno con abertura de ~15 cm y saltos que van de 30 a 40 cm de desnivel, situados a pocos metros de los bloques propensos a caída.

5.2.1.1. Factores condicionantes

Los factores condicionantes que están relacionados a los procesos de caída de rocas se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 9. Factores condicionantes de los procesos de movimientos en masa.

Factores	Características asociadas
Litológico	- La roca fuente en capas subhorizontales constituido de calizas y brechas del Grupo Pucará que se encuentran fracturadas, dando aparentemente un mecanismo de ruptura tipo vuelco, que dejaron bloques tendidos ladera abajo. - Las propiedades geomecánicas de la caliza son catalogadas malas geotécnicamente, por su solubilidad al agua y poca resistencia a la erosión. - Los pequeños bloques adheridos uno a otros deja espacios vacíos donde se infiltra agua, causando fracturas e intensa meteorización. - Suelos residuales y depósitos coluvio-deluviales constituidos por arena y limoarcillas, que ofrecen poca resistencia a la erosión en la base del bloque rocoso.
Geomorfológicos	- La roca fuente forma paredes subverticales, en montaña estructural, en roca sedimentaria, con pendientes escarpados y abruptas que oscilan entre 40° a 60°. - Vertiente coluvio-deluviales constituida por material incompetente poco cohesivos de suelos arenosos y limoarcillosos, adosados en laderas escarpadas con pendientes de 40° a 48°.

5.2.1.2. Factores desencadenantes

Tabla 10. Factores desencadenantes de movimientos en masa.

Factores desencadenantes	Características asociadas
Precipitaciones	Intensas precipitaciones pluviales y/o excepcionales, principalmente entre los meses de diciembre a abril, que contribuyen a la saturación del material coluvio-deluvial.
Sismos	Ocurrencia de sismos superficiales podrían estas relacionados con la inestabilidad de laderas y bloques dispuestos en pendientes escarpados, tal como se muestra en las figuras 7 y 13.

5.2.2. Derrumbe

Este evento se produjo en la ladera escarpada del sector Puente Durand (UTM-WGS-84 E:388840 y N: 89434939). El derrumbe se inició en la cota 1270 m.s.n.m. e involucró material coluvio-deluvial y bloques rocosos que se desprendieron ladera abajo (**Figura 24 y 27**).

El movimiento tuvo un carácter violento, que produjo caída de rocas que lograron llegar a la población asentada abajo y a la carretera asfaltada, según testimonios de los pobladores. Uno de los bloques impactó y destruyó una vivienda alojada en la margen

izquierda de la carretera. Asimismo, en su trayecto dejó un pequeño cráter de 1.5 de diámetro (**Figura 24**).



Figura 27. Zona de arranque del derrumbe que involucró material coluvio-deluvial en la parte alta del sector Puente Durand.

5.3. Simulaciones de caída de rocas en los sectores León Pampa y Puente Durand

Para conocer con más detalle las características físicas de la caída de rocas, se realizaron 2 simulaciones, en función de los bloques inestables identificados en la etapa de campo y los cuales se disponen principalmente en los sectores León Pampa y Puente Durand.

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

5.3.1. Análisis transversal del perfil

Los perfiles muestran la trayectoria del movimiento de la caída de rocas que se suscitaron en los sectores León Pampa y Puente Durand. En el caso de Puente Durand, se tiene evidencia de un bloque con morfología de una esfera de 2 m de diámetro que impactó y destruyó parte de una vivienda alojada al costado de la carretera, asimismo, dejó un cráter de 1.5 m de diámetro en la plataforma asfáltica (**Figura 28**).

Para ello, nos basamos en el criterio de Evans & Hungr (1993) que, a partir de 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 caídos. Lo cual, se observa que las viviendas de los sectores León Pampa y Puente Durand caen dentro de la zona de alcance máximo ante una eventual caída de rocas (**Figura 28**).

Los antecedentes anteriormente descritos y tomando el criterio de Evans & Hungr (1993), nos permiten estimar la dirección de la trayectoria de los bloques inestables altamente susceptibles en el caso hubiera de ocurrir caída o desprendimiento.

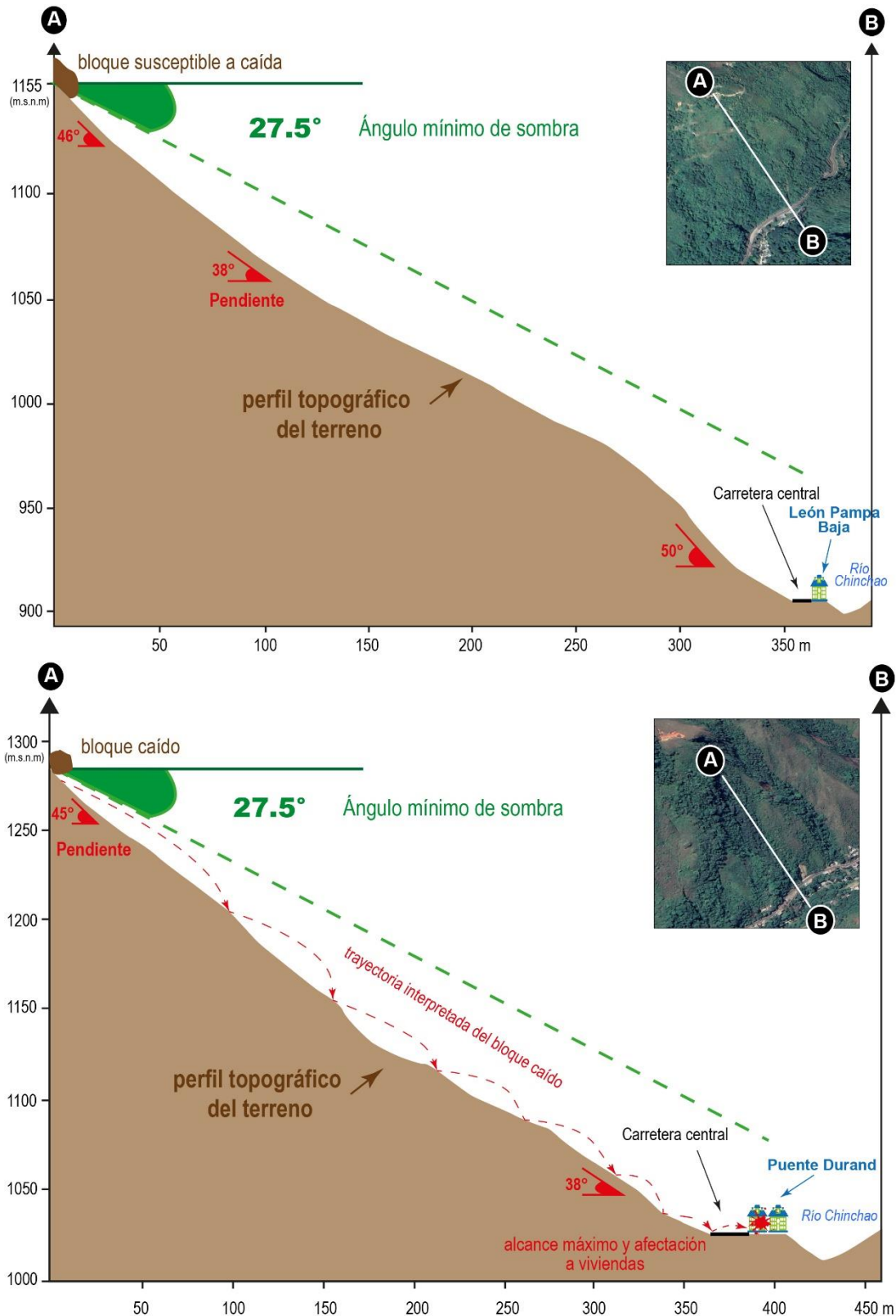


Figura 28. Perfil transversal de los eventos ocurridos en los sectores de León Pampa (arriba) y Puente Durand (Abajo) y el alcance máximo de caída de roca. Asimismo, se muestra el alcance máximo que se debería considerar según el criterio de Evans & Hungr (1993).

5.3.1. Metodología

El desarrollo de los escenarios se realizó utilizando dos perfiles o secciones transversales a la ladera donde descansan los bloques rocosos, uno en el sector León Pampa y el otro en Puente Durand, ambos altamente susceptibles a la ocurrencia de caída de rocas. Para ello, se obtuvieron perfiles a partir de un modelo de elevación (DEM) Alos Palsar de 12.5 m de resolución.

Estos perfiles se exportaron al software Rockfall para realizar las simulaciones en función de las características físicas del terreno y área inestable que propicia la caída de bloques. El software generó modelos de caídas de una zona referencial y sus alcances más distales, realizando 100 tipos de caída de un modelo definido de bloque rocoso por cada perfil planteado.

Por su parte, en ambos sectores se simularon a partir de un bloque que litológicamente se compone de rocas de calizas. Para ello, fue necesario la densidad de la roca, que de acuerdo a Goodman (1989), Rahn (1986), Walthan (1999), Farmer (1968), las calizas presentan una densidad de 2.3 a 2.7 g/cm³ equivalente a 2700 kg/m³. Con este valor se pudo estimar la masa de los bloques que en el caso del sector León Pampa tiene 34500 kg y para el sector Puente Durand los bloques a simular tienen 11286 kg (este bloque en base al que impactó en la vivienda y carretera) y el bloque movido de 135000 kg de masa.

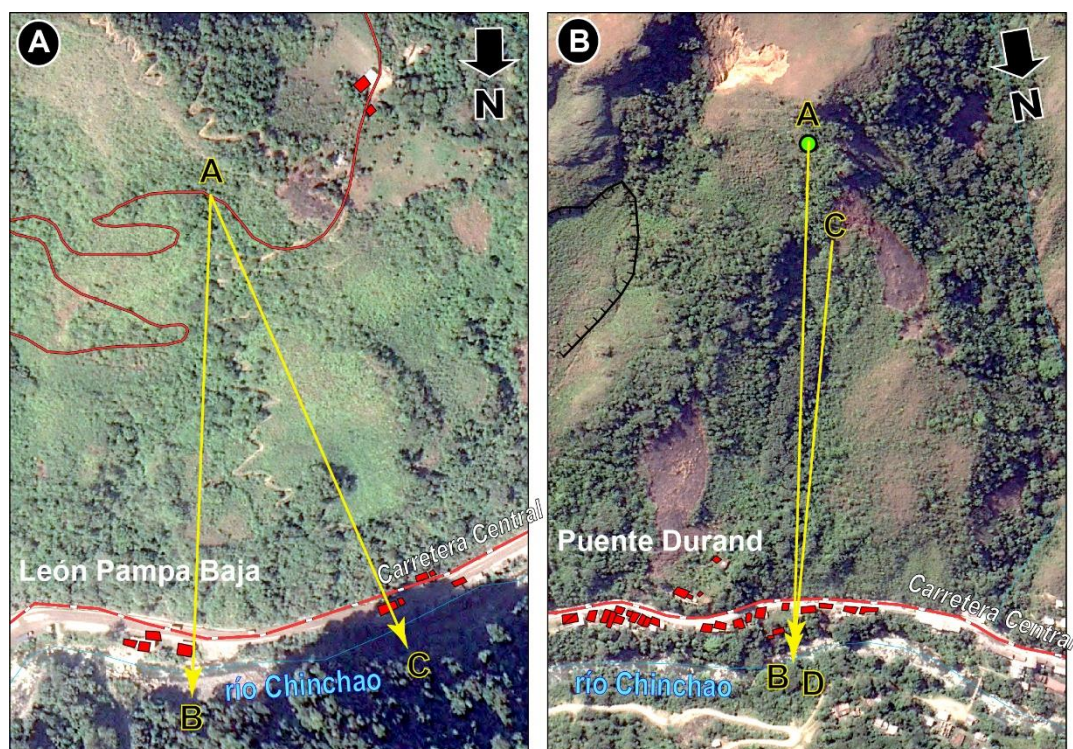


Figura 29. Perfiles que se generaron para las simulaciones de caída de rocas. A) Sector León Pampa Baja. B) Sector Puente Durand.

5.3.2. Resultados

Los resultados a partir de las simulaciones muestran que los bloques altamente susceptibles a caída de los sectores evaluados, de ocurrir un desprendimiento y caída

podrían llegar a afectar viviendas situadas en la parte baja, es decir, los sectores de León Pampa Baja y Puente Durand.

Las velocidades de caída, rebote y la fuerza cinética de impacto dependen de la pendiente de la ladera, la masa y el volumen de las rocas, el cual muestra los siguientes resultados:

Para el sector León Pampa:

Modelamiento del perfil A-B

- Energía cinética total máxima : 299982 KJ
- Altura de rebote máximo : 9.5 m
- Velocidad máxima : 38.5 m/s

Modelamiento del perfil A-C

- Energía cinética total máxima : 453548 KJ
- Altura de rebote máximo : 3.4 m
- Velocidad máxima : 47 m/s

Para el sector Puente Durand

- **Modelamiento del perfil A-B (Bloque)** (estimado a partir del antecedente que destruyó la vivienda)
 - Energía cinética total máxima : 19012.8 KJ
 - Altura de rebote máximo : 12.7 m
 - Velocidad máxima : 53.2 m/s
- **Bloque 2 (bloque movido)**
 - Energía cinética total máxima : 267712 KJ
 - Altura de rebote máximo : 18.8 m
 - Velocidad máxima : 57.4 m/s

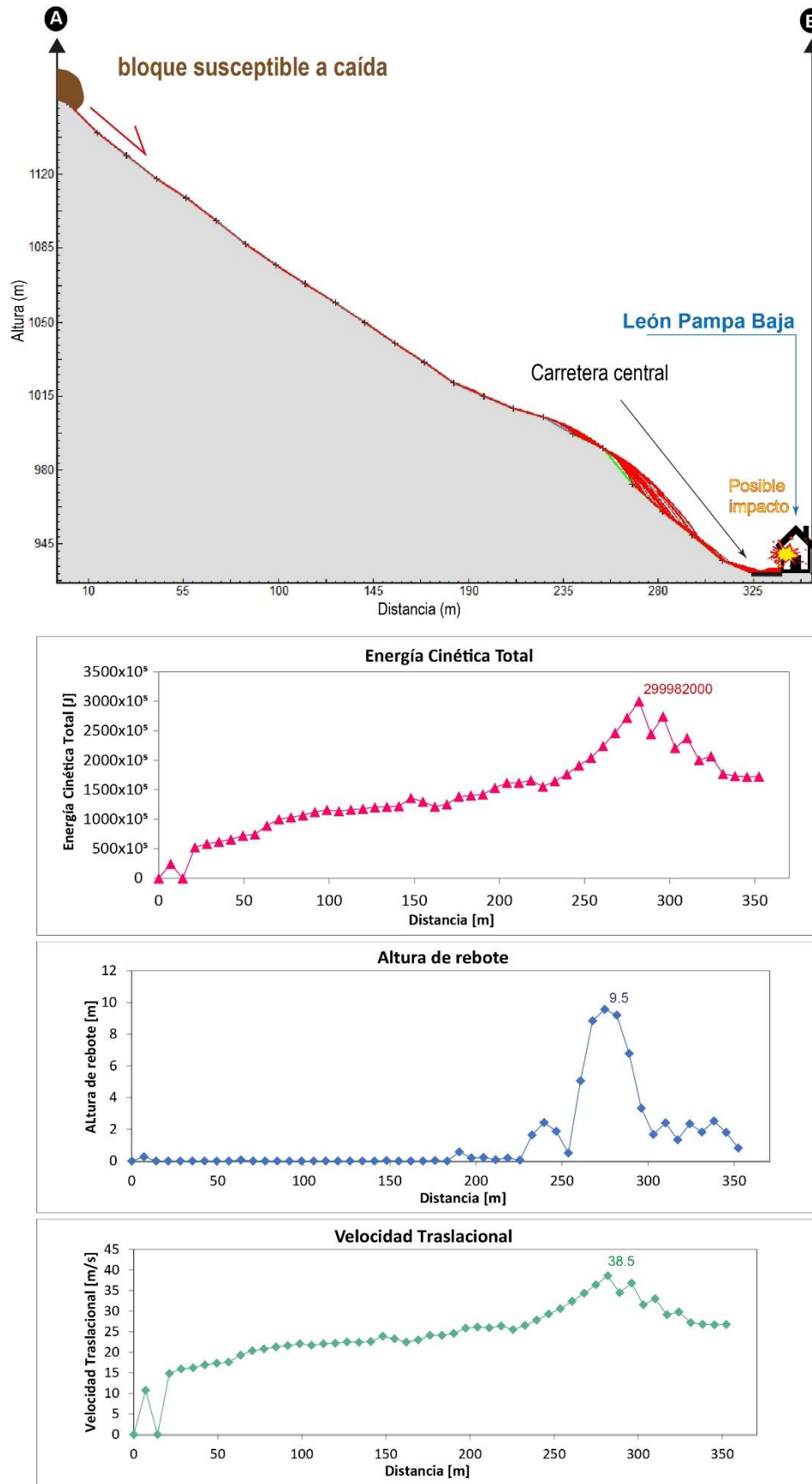


Figura 30. Modelamiento de caída de roca del perfil A-B del sector León Pampa. Se muestra los valores máximos energía cinética, altura de rebote y velocidad.

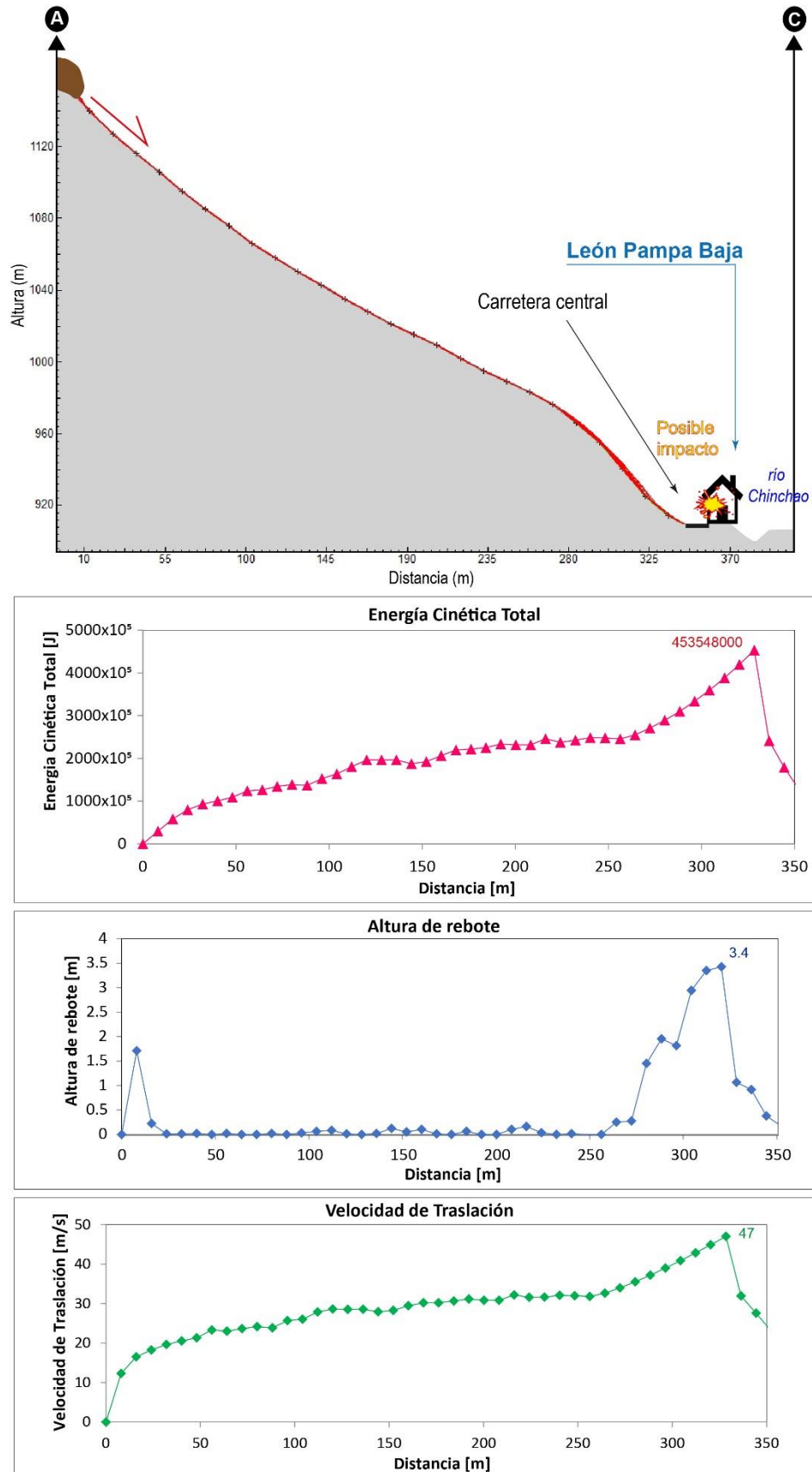


Figura 31. Modelamiento de caída de roca del perfil A-C del sector León Pampa. Se muestra los valores máximos energía cinética, altura de rebote y velocidad.

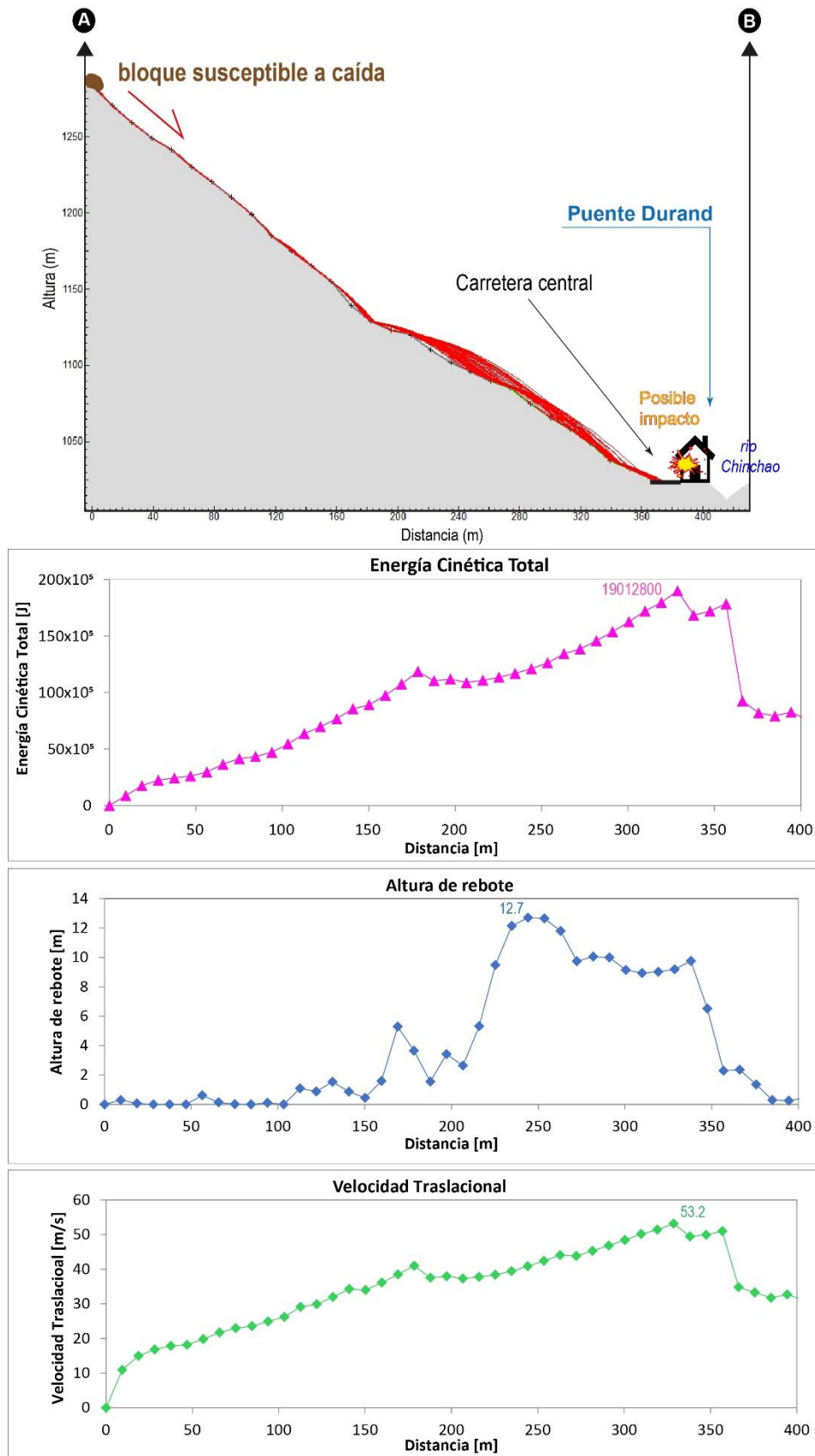


Figura 32. Modelamiento de caída de roca del perfil A-B de acuerdo al bloque que destruyó una vivienda en la carretera. Se muestra los valores máximos energía cinética, altura de rebote y velocidad.

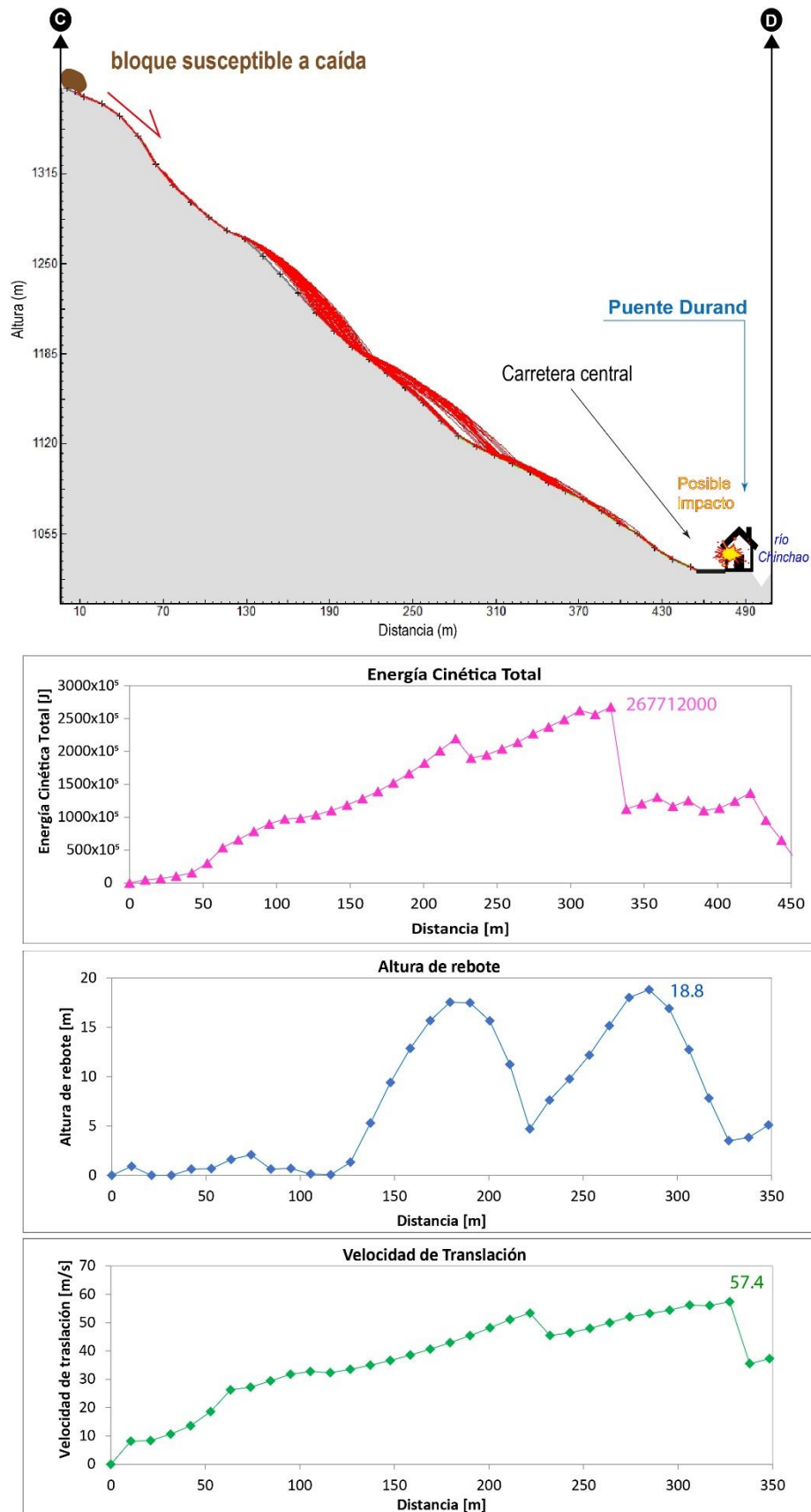


Figura 33. Modelamiento de caída de roca del perfil C-D del bloque movido. Se muestra los valores máximos energía cinética, altura de rebote y velocidad.

6. CONCLUSIONES

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

- 1) Los sectores León Pampa y Puente Durand se localizan dentro de una franja de dirección preferencial NNO-SEE compuesta por brechas calcáreas y calizas del Grupo Pucará y sus estratos buzcan en el mismo sentido de la pendiente. Estas rocas presentan una moderada meteorización y moderado fracturamiento dispuesto en dos familias de discontinuidades, el cual, representan zonas inestables propensas a la ocurrencia o reactivación de deslizamientos, derrumbes y caída de rocas.
- 2) Los depósitos coluvio-deluviales descansan discordante al Grupo Pucará, se trata de acumulaciones de bloques y bolones calcáreos de 0.2 a 1.8 m de diámetro, dispuestos aisladamente en una matriz de material incompetente conformado de gravas, arenas y limoarcillas poco cohesivas, que ofrecen baja resistencia a la erosión.
- 3) Geomorfológicamente, los sectores evaluados se emplazaron sobre montaña estructural labrada y modelada en roca sedimentaria con relieve más o menos escalonada en pendientes fuertes a escapadas, que oscilan entre 35° a 50° y en casos puntuales, como es en la parte alta de Puente Durand forman paredes encañonados con pendientes subverticales que son fuente de bloques inestables propensos a la ocurrencia de caída de rocas. Por su parte, las vertientes coluvio-deluviales se emplazan en una ladera con pendientes que oscilan entre 25° a 45°, que condicionaron el relieve y la generación de procesos gravitacionales.
- 4) Los resultados de simulaciones realizadas (Software RocFall v.4.0 – Rocscience) demuestran que futuras caídas de rocas podrían afectar a las viviendas. En el sector León Pampa, el bloque movido dará lugar a episodios de caída con estimaciones de alcance máximo de 325 a 400 m, velocidad de impacto máximo de 38.5 m/s, 9.5 m de altura de rebote y finalmente con un máximo de energía cinética de 299982 KJ. Mientras que, en el sector Puente Durand, tendrá un alcance máximo de 490 m, velocidad máxima de 57.4 m/s, altura de rebote máximo de 18.8 m y energía cinética de 267712 KJ.
- 5) Los peligros geológicos identificados en los sectores evaluados son caída de rocas y derrumbes que ponen en peligro la vida y los medios de vida de los pobladores que se asentaron ladera abajo.

En conjunto a todo lo anterior, se detalla los peligros geológicos asociados:

En el sector León Pampa:

De la caída de rocas

- A) Zona crítica y de peligro alto a la ocurrencia de caída de rocas para los pobladores que se asentaron al borde de la carretera central. De ocurrir el evento, comprometería viviendas y un tramo de 160 m de capa asfáltica de la carretera central y un riesgo para los transeúntes que usan la vía.

De los derrumbes

- A) Representan un peligro alto que comprometería la trocha carrozable que se dirige de León Pampa Baja al poblado de León Pampa, por lo que, dejaría aislada a cerca de 215 habitantes, así como, 02 instituciones educativas.

En el sector Puente Durand

De la caída de rocas

- A) Representa una zona crítica y un peligro alto por caída de rocas que comprometería población asentada y cerca de 20 viviendas alojadas al borde de la carreta central.
- B) Carretera central expuesta a peligro alto por caída de rocas que afectaría un tramo de 220 m de capa asfáltica y pone en riesgo a los transeúntes que usan la vía.

7. RECOMENDACIONES

A continuación, se brindan recomendaciones con la finalidad de mitigar el impacto de los peligros geológicos identificados en los sectores León Pampa y Puente Durand. En tanto, la implementación de estas mismas permitirá darle mayor seguridad a la población e infraestructura y medios de vida expuesta.

Transversales a autoridades y población

- 1) Incluir los peligros geológicos identificados por el Ingemmet en los planes específicos de la gestión del riesgo de desastres de la Municipalidad distrital de Chinchao.
- 2) Identificar rutas de evacuación y zonas seguras ante la ocurrencia de peligros geológicos. Posteriormente, implementar simulacros de evacuación y simulaciones, con la finalidad de contar con una respuesta rápida y adecuada en situaciones de emergencia.
- 3) Implementar Sistemas de Alerta Temprana-SAT en coordinación con el INDECI, para la inmediata información de ocurrencia de peligros geológicos en caso enfrentara la población de San Isidro.
- 4) Elaborar evaluaciones de riesgo (EVAR) con el fin de determinar las medidas de control de riesgo definitivas frente a los peligros. Es necesario esta medida en sectores de León Pampa y Puente Durand donde estos peligros puedan ocurrir y causar daños a la infraestructura, así como, vías de acceso, viviendas, colegios, áreas de cultivo, entre otros.

En el sector León Pampa y Puente Durand

Ante caída de rocas

- a) Dada las condiciones de los bloques rocosos susceptibles a generar caída de rocas, se recomienda instalar mallas ancladas y red de anillos utilizados de manera independiente o combinada. Estas acciones deber ser realizados por profesionales especializados (**Anexo 2**)

- b) Forestar las laderas con especies nativas, con el objetivo de mitigar la erosión y futuras caídas, asimismo, prohibir la deforestación de la misma.
- c) Implementar un sistema de drenaje para las zonas de acumulación de agua y escorrentía superficial que eviten la infiltración de agua y la sobresaturación del suelo.

Ante derrumbes

- a) Realizar la estabilización de taludes a través de la reforestación con plantas nativas y construir zanjas de coronación en la cabecera del escarpe para derivar las aguas de escorrentía a otro cauce.



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


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

8. BIBLIOGRAFÍA

De la Cruz, Julio., Valencia, M., Boulaugger, Elmer. (1996). Geología de los cuadrángulos de Aguaytía (19I), Pano (20I) y Pozuzo (21). Boletín N° 80. Serie A. Carta Geológica Nacional. INGEMMET.

Fuente de Datos Meteorológicos y Pronostico del tiempo del Servicio de Awhere. Disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com>

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.

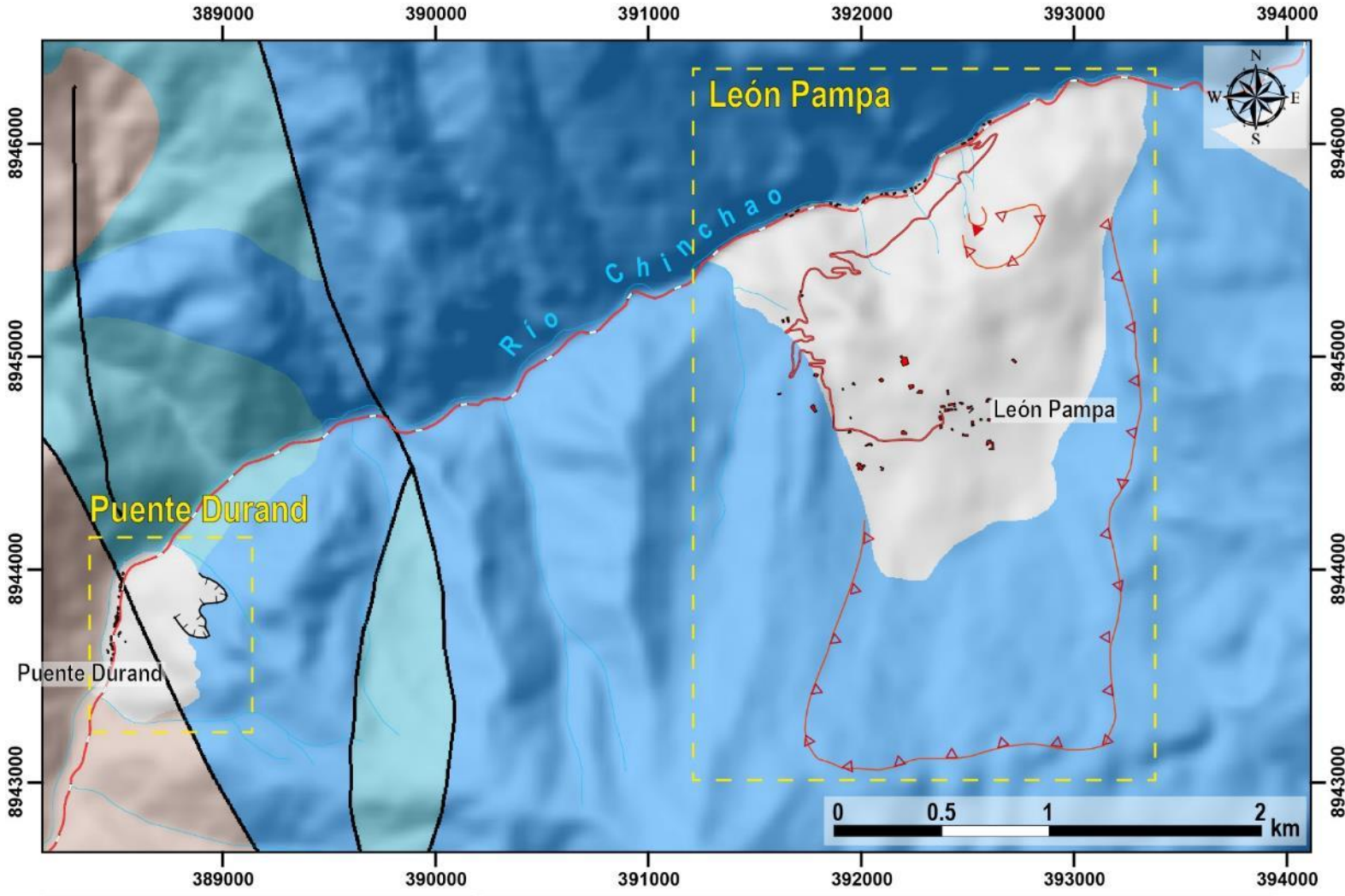
McLaughlin, D.H. (1924). Geology and physiography of the Peruvian Cordillera, Departments of Junin and Lima. Geological Society of America Bulletin, 35(3): 591-632.

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 Meteorología e Hidrología, SENAMHI (2020). Mapa de clasificación climática del Perú (Texto). Lima, Perú.

Zavala, B.; & Vilches, M. (2006). Estudio de Riesgos Geológicos en la Región Huánuco. Boletín N°34, Serie C. INGEMMET.

ANEXO 1: MAPAS
MAPAS DE LOS SECTORES LEON PAMPA Y PUENTE DURAND



Unidades litoestratigráficas

- Depósitos Coluvio-deluviales
- Grupo Pucará
- Grupo Mitu
- Complejo Metamórfico del Marañón

Simbología

- Falla
- Áreas evaluadas
- Carretera central asfaltada (tramo Huánuco-Tingo María)
- Trocha carrozable en mal estado (hacia León Pampa)
- Catastro (centro poblado)
- Escarpe de derrumbe
- Escarpe de deslizamiento
- Drenaje
- Río Chinchao

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

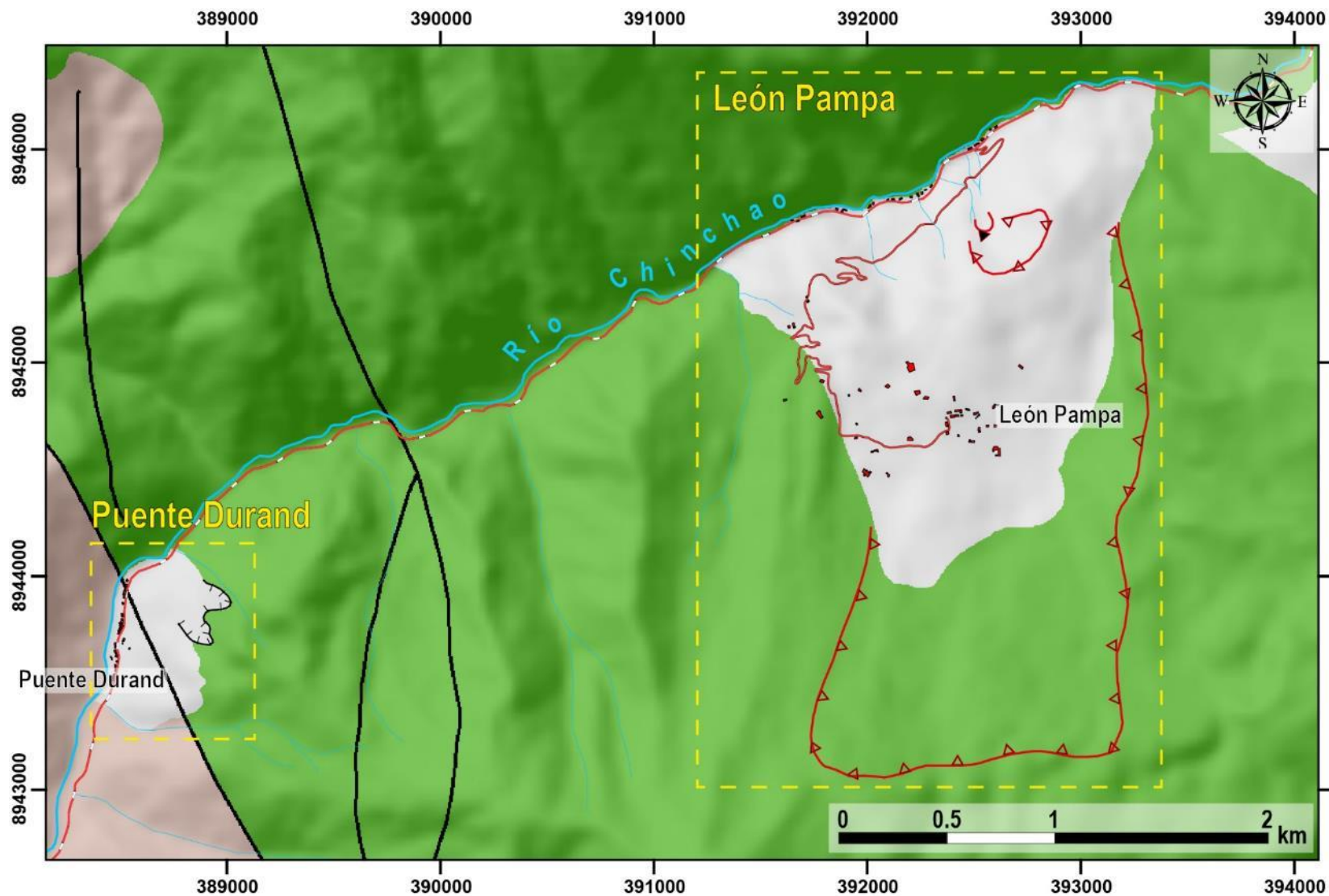
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

ACT11: Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional

**Mapa geológico
León Pampa y Puente Durand**

Datum: UTM-WGS84, Zona 18s
Versión digital: año 2024. Versión impreso: 2024

01



Unidades geomorfológicas

- V-cd Vertiente Coluvio-deluvial
- RME-rs Montaña Estructural en Roca Sedimentaria
- RM-m Montaña en Roca Metamórfica

Simbología

- Falla
- Áreas evaluadas
- Carretera central asfaltada (tramo Huánuco-Tingo María)
- Trocha carrozable en mal estado (hacia León Pampa)
- Catastro (centro poblado)
- Escarpe de derrumbe
- Escarpe de deslizamiento
- Drenaje
- Río Chinchao

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

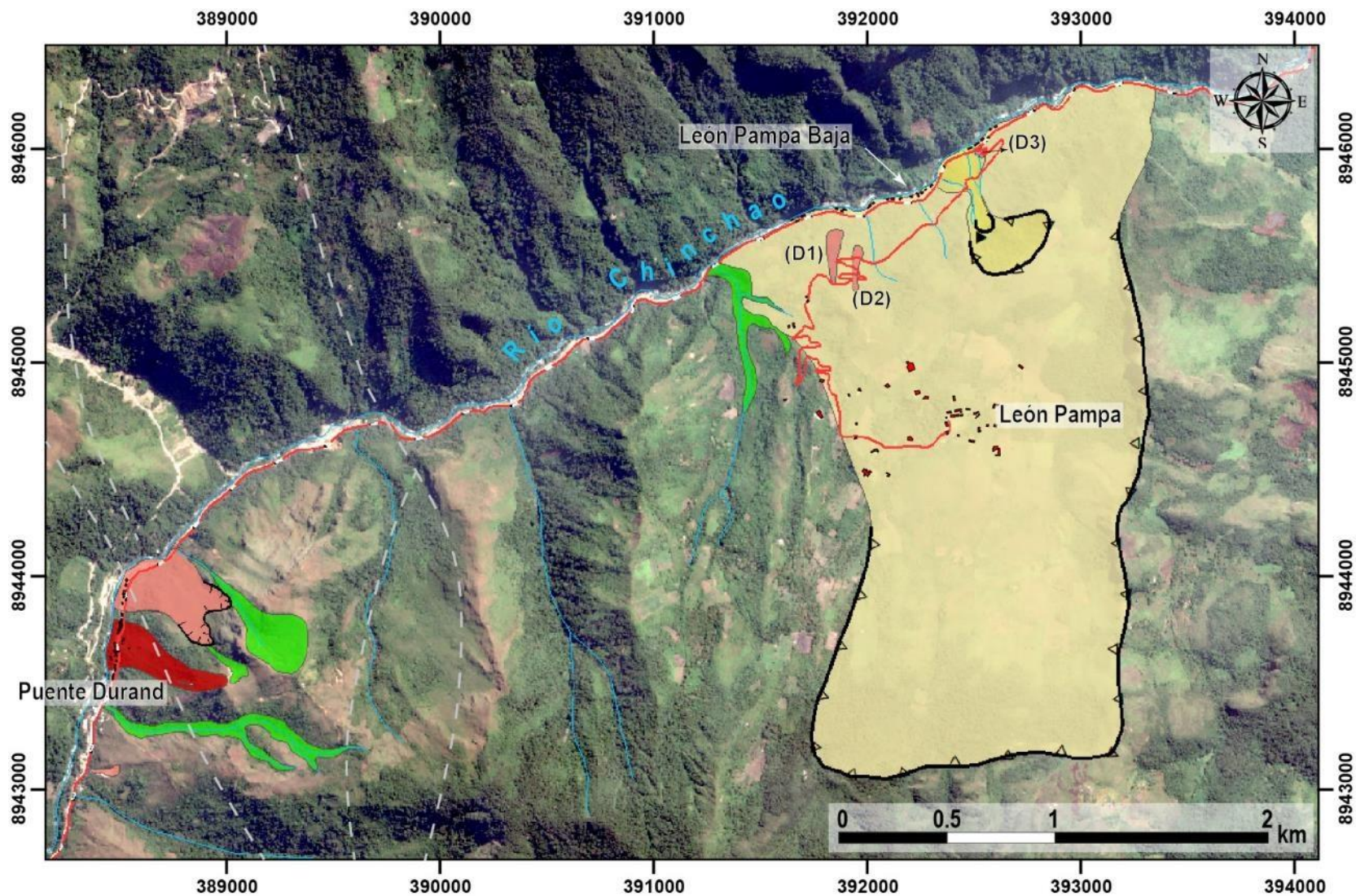
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

ACT11: Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional

Mapa geomorfológico
León Pampa y Puente Durand

Datum: UTM-WGS84, Zona 18s
 Versión digital: año 2024. Versión impreso: 2024

02



Peligros Geológicos

- Caída de rocas
- Derrumbe
- Erosión de ladera (cárcava)
- Deslizamiento inactivo latente
- Deslizamiento antiguo

Simbología

- Falla
- Escarpe de derrumbe
- Escarpe de deslizamiento
- Trocha carrozable en mal estado (hacia León Pampa)
- Carretera central asfaltada (tramo Huánuco-Tingo María)
- Catastro (centro poblado)
- Drenaje
- Río Chinchao

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

ACT11: Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional

Cartografía de peligros geológicos
León Pampa y Puente Durand

Datum: UTM-WGS84, Zona 18s
Versión digital: año 2024. Versión impreso: 2024

03

ANEXO 2:
ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN ANTE CAÍDA DE
ROCAS

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 34**). 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 o bloques subsuperficiales 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 34. Ejemplo de implementación de mallas ancladas para el control de caída de rocas o bloques rocosos.

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 35**).

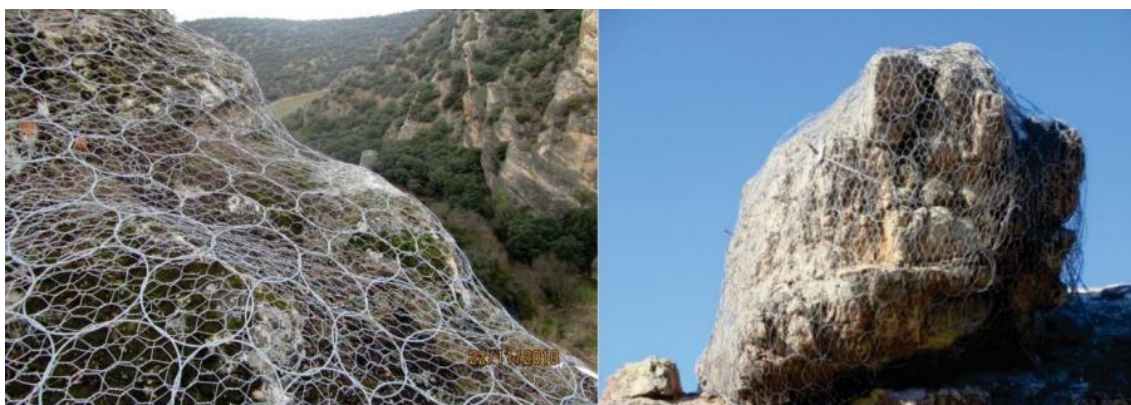


Figura 35. Ejemplo de estabilización de rocas o bloques rocosos con red de anillos.