

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7428

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA LADERA SUROESTE DEL CERRO CHACHAS, PARTE BAJA DEL CENTRO POBLADO PUEBLO LIBRE

Departamento La Libertad
Provincia Pataz
Distrito Huancaspata



SETIEMBRE
2023

**EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN
LA LADERA SUROESTE DEL CERRO CHACHAS, PARTE BAJA DEL CENTRO
POBLADO PUEBLO LIBRE**

Distrito Huancaspata, provincia Pataz, departamento La Libertad

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

Equipo de investigación:

Ángel Gonzalo Luna Guillén

Mauricio Núñez Peredo

Norma Luz Sosa Senticala

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en la ladera suroeste del cerro Chachas, parte baja del centro poblado Pueblo Libre, distrito Huancaspata, provincia Pataz, departamento La Libertad*. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7428, 44 p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	5
1.3. Aspectos generales	7
1.3.1. Ubicación	7
1.3.2. Accesibilidad.....	7
1.3.3. Población.....	9
1.3.4. Clima	9
2. DEFINICIONES	11
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	13
3.1. Unidades litoestratigráficas	13
3.1.1. Complejo Maraón (Ki-chi).....	13
3.1.2. Depósito coluvio-deluvial (Qh-cd).....	15
3.1.3. Depósito proluvial (Qh-pl).....	16
3.1.4. Depósito fluvial (Qh-fl).....	17
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	19
4.1. Pendientes del terreno.....	19
4.2. Unidades geomorfológicas	21
4.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	21
4.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional	21
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	23
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa.....	23
5.1.1. Deslizamientos activos	23
5.1.2. Deslizamientos suspendidos.....	25
5.1.3. Movimientos complejos	27
5.1.4. Flujos de detritos	27
5.1.5. Cárcavas	28
5.1.6. Derrumbes	29
5.2. Factores condicionantes.....	31
5.3. Factores desencadenantes	33
6. CONCLUSIONES	34
7. RECOMENDACIONES.....	35
8. BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXO 1: MAPAS.....	39

RESUMEN

El presente informe técnico, es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa realizado en la ladera suroeste del cerro Chachas, por debajo del C.P. Pueblo Libre, ubicado en la margen izquierda del río Conyartuna, perteneciente a la jurisdicción del distrito Huancaspata, provincia Pataz, departamento La Libertad. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

En el área evaluada, se presenta un substrato metamórfico conformado por filitas con alto grado de fracturamiento y meteorización que generan suelos residuales limo - arcillosos de fácil erosión. La roca metamórfica presenta fracturas y discontinuidades que debilitan su resistencia y cohesión facilitando el desprendimiento y la rotura de la roca, especialmente cuando están sometidas a presiones y tensiones.

Sobre el substrato se observan depósitos coluvio-deluviales susceptibles a generar movimientos en masa por diversos factores. En primer lugar, la presencia de la matriz limo arcillosa de consistencia blanda le confiere al depósito una baja competencia, Esto sumado a la presencia de infiltraciones de agua por la poza de oxidación en mal estado del C.P. y el grado de pendientes (entre 15° y 25°). Pueden generar movimientos en masa, ya que la infiltración aumenta la presión de poros, disminuye la resistencia al corte, aumenta la masa saturada y puede generar presiones hidráulicas que debilitan la estabilidad de la ladera.

Las geoformas identificadas son montañas modeladas en roca metamórfica (margen izquierda del río Conyartuna). La ladera suroeste, por debajo del C.P. Pueblo Libre, presenta pendientes >45° desde la base del río, disminuyendo progresivamente a medida que incrementa su elevación a valores fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25° a 45°), conformando vertientes con depósitos coluvio deluviales. Estos son evidencias de movimientos en masa pasados y recientes que indican la dinámica y la inestabilidad en la ladera. Además, se han identificado procesos de carcavamientos con profundidades mayores a 10 m, que se originaron debido al flujo de agua a lo largo de las pendientes y pueden ampliarse y profundizarse con el tiempo, aumentando la erosión y la probabilidad de movimientos en masa.

Dentro de los movimientos en masa identificados se tienen: 03 deslizamientos rotacionales activos, 02 deslizamientos rotacionales suspendidos, 03 movimientos complejos, evidencias de flujos de detritos, carcavamientos y derrumbes de menores dimensiones que los anteriores. La reactivación periódica en el cuerpo de los deslizamientos catalogados como: Da_1, Da_2, Da_3, Ds_1, Ds_2, indican que los eventos aún están activos y puede aumentar su magnitud con el tiempo. Esto implica que la ladera continúa siendo inestable y puede experimentar desplazamientos adicionales, lo que representa un peligro constante para el C.P. Pueblo Libre ubicado encima, si las escarpas empiezan a tomar un comportamiento retrogresivo.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas en la ladera suroeste del cerro Chachas, por debajo del C.P. Pueblo Libre se considera a esta de **Peligro Alto** a movimientos en masa.

Finalmente es necesario tomar en cuenta las recomendaciones estructurales y no estructurales citadas en el presente informe como: a) Establecer restricciones de uso del suelo, prohibir el desarrollo urbano en las áreas afectadas por los deslizamientos; b) establecer una zona de amortiguamiento para asegurar que haya suficiente distancia entre la ladera y las estructuras urbanas; c) reubicación de la poza de oxidación con evidencias de filtraciones, considerar la implementación de diferentes sistemas de drenaje para manejar el exceso de aguas superficiales y subterráneas, etc.

1. INTRODUCCIÓN

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

Atendiendo el Oficio N° 00149-2022-GRILL-CR-DCRPA-LRP del Gobierno Regional de La Libertad, la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, designó a los Ingenieros: Ángel Gonzalo Luna Guillen, Norma Luz Sosa Senticala y Mauricio Núñez Peredo, realizar la evaluación de peligros geológicos, llevados a cabo el 25 de mayo del 2023, en coordinación con autoridades de la municipalidad distrital de Huancaspata, con acompañamiento de moradores del sector.

La evaluación técnica, se realizó con la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, complementado con datos obtenidos durante el trabajo de campo, puntos de control GPS, fotografías terrestres, fotografías áreas con dron, así como la cartografía geológica y geodinámica, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe, se pone a consideración de la Municipalidad departamental de La Libertad, Distrito Huancaspata, y entidades encargadas de la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que se presentan en el centro poblado de Pueblo Libre; los cuales comprometen la seguridad física de las poblaciones, infraestructuras y medios de vida.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos por movimientos en masa identificados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional en los alrededores del sector evaluado se tienen:

- A) Boletín N° 16, Serie A, Carta Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari” (Wilson et al., 1963). describe el Complejo Marañón, principal unidad litoestratigráfica en el área de estudio.
- B) Boletín N° 50, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Riesgo Geológico en la Región La Libertad” (Medina et al., 2012). contiene el inventario de peligros geológicos en la región La Libertad. Así mismo, de acuerdo con el mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:250 000 se evidencia que el C.P. Pueblo Libre se encuentra en una zona “Alta Susceptibilidad” (figura 1), con la

recomendación de restringir el desarrollo de infraestructura urbana, o instalaciones destinadas a una alta concentración de personas y en el caso de proyectos de infraestructura vías, líneas de energía, etc. Se deberán realizar estudios geotécnicos.

Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa, como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

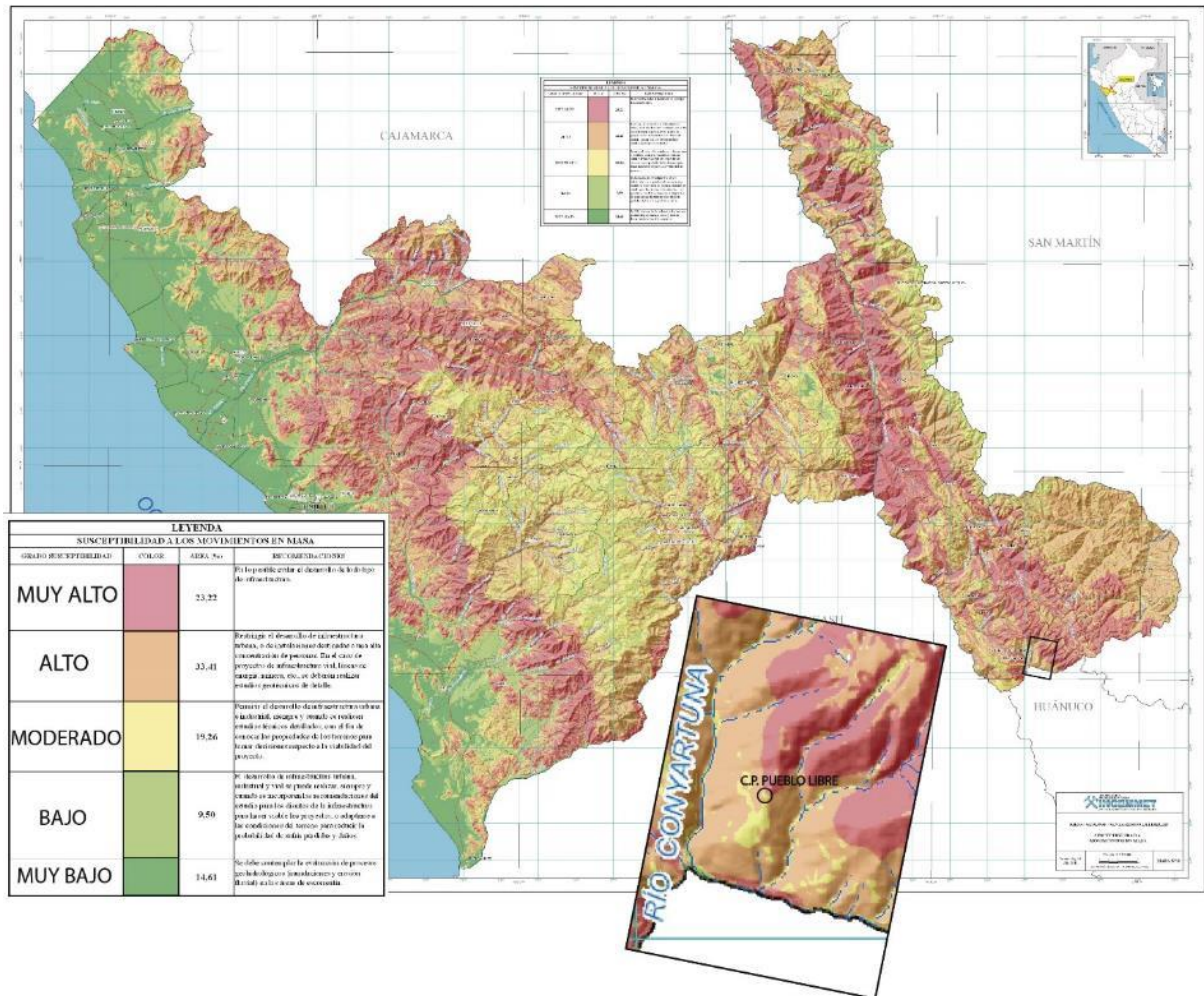


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa del departamento de La Libertad (Fuente: Medina., et al 2012).

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

Geográficamente el área evaluada (C.P. Pueblo Libre), se ubica en la ladera suroeste de ladera cerro Chachas, margen derecha del río Conyartuna.

Políticamente pertenece al distrito Huancaspata, provincia Pataz y departamento La Libertad. El área de la elaboración de mapas se estima en 380 ha (figura 2).

Las coordenadas límites del área de inspección se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas del área que cubre el sector de estudio en el centro poblado Pueblo Libre.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Sur	Latitud	Longitud
1	250264 m E	9063423 m S	-8.466302°	-77.268305°
2	252803 m E	9063400 m S	-8.466643°	-77.245258°
3	252857 m E	9064956 m S	-8.452583°	-77.244686°
4	250259 m E	9064912 m S	-8.452844°	-77.268272°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	251207 m E	9064148 m S	-8.459799°	-77.259707°

1.3.2. Accesibilidad

El acceso se realiza por vía terrestre desde la ciudad de Lima, a través de vías asfaltadas, trochas carrozables y caminos vecinales, siguiendo la ruta y accesos del cuadro 1.

Cuadro 1. Rutas y accesos a la zona de evaluación

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima-Chimbote	Carretera asfaltada	427 km	7 horas
Chimbote - Sihuas	Carretera asfaltada	260 km	9 horas
Sihuas - Huancaspata	Carretera asfaltada/Trocha carrozable	85 km	2 horas
Huancaspata – Pueblo Libre	Vía afirmada	32 km	40 min

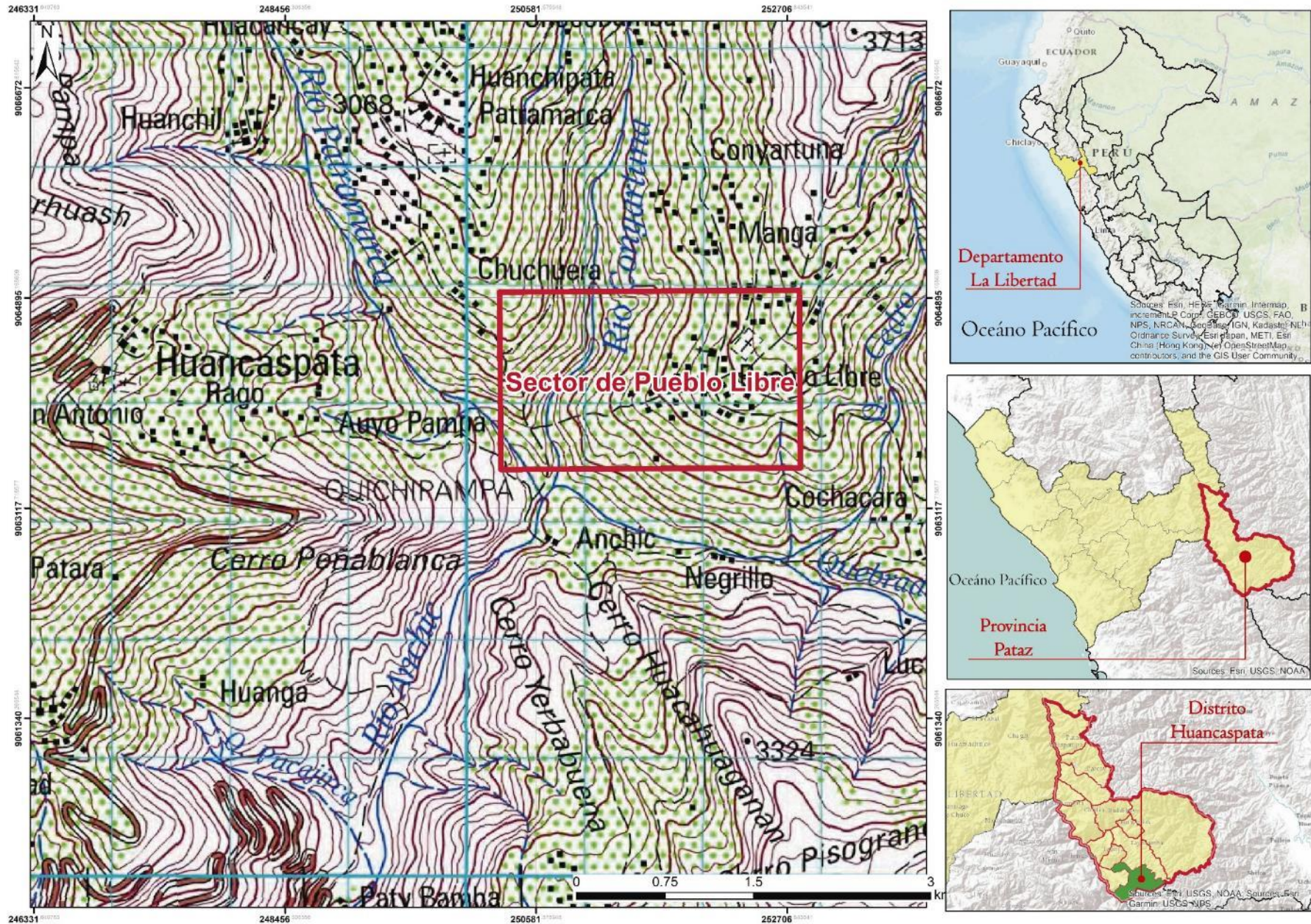


Figura 2. Mapa de ubicación del área de inspección, denominado CP.: Pueblo Libre, en el distrito Huancaspata, provincia Patate, departamento La Libertad.

1.3.3. Población

El centro poblado de Pueblo Libre no cuenta con categoría en el sistema de información geográfica del INEI (<http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>), en esta misma se indica que el código de ubigeo del Pueblo Libre es el 1308040020, y cuenta con 50 viviendas y un total de 250 habitantes entre hombres y mujeres, ver cuadro 2.

Cuadro 2. Características censales 2017, fuente: INEI

Descripción	Total
DEPARTAMENTO	LA LIBERTAD
PROVINCIA	PATAZ
DISTRITO	HUANCASPATA
CATEGORIA	-
POBLACIÓN	250
VIVIENDAS	50
AGUA POR RED PUBLICA	NO
ENERGÍA EN VIVIENDA	SI
DESAGÜE POR RED PUBLICA	SI
VÍA DE MAYOR USO	CAMINO DE HERRADURA/TROCHA
TRANSPORTE DE MAYR USO	AUTOMÓVIL
FRECUENCIA	DIARIO
IDIOMA DE MAYOR HABLA	CASTELLANO

1.3.4. Clima

En Huancaspata, los veranos son frescos y nublados y los inviernos son cortos, fríos, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 5 °C a 18 °C y rara vez baja a menos de 2 °C o sube a más de 21 °C.

En cuanto a la cantidad de lluvia local en el C.P. Pueblo Libre, 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 ráster y de satélite), la precipitación máxima registrada en el periodo enero, 2022 -2023 (junio) fue de 52.7 mm el 28 de marzo del 2023.

Cabe recalcar que las lluvias son de carácter estacional, es decir, se distribuyen muy irregularmente a lo largo del año, produciéndose generalmente de noviembre a abril. Si comparamos los registros de este año con el del 2022 donde las precipitaciones diarias no superan los 48.6 mm, notaremos el incremento de las precipitaciones diarias en el 2023 (figura 3).

La temperatura anual oscila entre un máximo de 46.0 °C en verano y un mínimo de -1.0 °C en invierno (figura 3). Así mismo, presenta una humedad promedio de 33.44% durante casi todo el año, (Servicio aWhere).

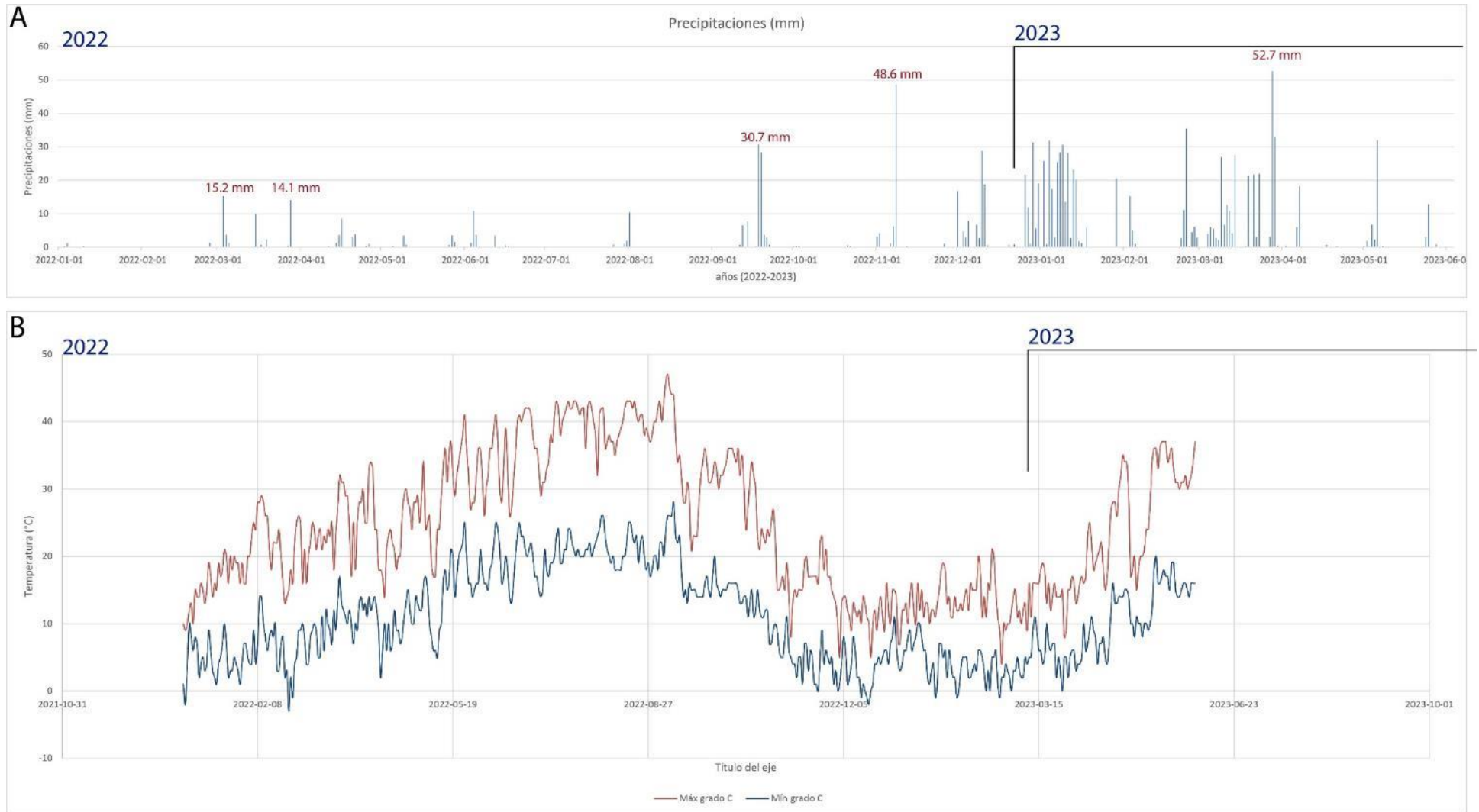


Figura 3. A) precipitación en el C.P. Pueblo Libre y B) temperaturas en el C.P. Pueblo Libre (periodo 2022-2023). Fuente: análisis espacial de datos meteorológicos AWERE.

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, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. Todas estas denominaciones tienen como base el libro: "Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas" desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

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

Corona: zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladero abajo. sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

Deslizamiento: son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud" (Cruden, 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Harrod, 1989). 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.

Los desplazamientos en masa se dividen en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación. esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear (Suarez, J., 2009).

Deslizamiento rotacional: Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava; presentan una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal.

La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es auto estabilizante, y éste ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas. (Suarez, J., 2009).

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.

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

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

Meteorización: se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. la meteorización puede ser física, química y biológica. los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

Movimiento en masa.: fenómeno de remoción en masa, proceso de remoción en masa, fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. movimiento ladero abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

Retrogresivo: Tipo de actividad de un movimiento en masa, en el cual la superficie de falla se extiende en la dirección opuesta al movimiento del material desplazado (Cruden y Varnes, 1996).

Saturación: El grado de saturación refleja la cantidad de agua contenida en los poros de un volumen de suelo dado. Se expresa como una relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos.

Suelo residual: Suelo derivado de la meteorización o descomposición de la roca in situ. No ha sido transportado de su localización original, también llamado suelo tropical.

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

Zonas críticas: Son zonas o áreas con peligros potenciales de acuerdo con la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados), que muestran una recurrencia, en algunos casos, entre periódica y excepcional. Algunas pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y puede ser necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres.

Estado de los movimientos en masa

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

Abandonado: Estado de actividad de un movimiento en masa en el cual la causa de la inestabilidad del movimiento ha dejado de actuar (WP/WLI, 1993).

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

Suspendido: Movimiento en masa que se desplazó durante el último ciclo anual de las estaciones climáticas, pero que en el momento no presenta movimiento (Varnes, 1978).

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).

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico, se desarrolló en base al boletín N° 16, “Geología de los cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari”, en específico la hoja 17-i (cuadrángulo de Tayabamba), el boletín de “Riesgos geológicos en la región La Libertad” y los mapas a escala 1:100 000 y 50 000 publicados en el portal geo-científico del GEOCATMIN, complementando con datos de campo, con lo que finalmente se elaboró el mapa geológico (Anexo 1-mapa 1).

3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas comprenden rocas metamórficas del complejo Marañón cubiertas parcialmente por depósitos Cuaternarios Holocenos coluvio-deluviales y proluviales.

A continuación, se describe brevemente la composición y características litológicas de los depósitos y formaciones identificadas en los trabajos de campo:

3.1.1. Complejo Marañón (Ki-chi)

Consiste en una secuencia potente de rocas metamórficas que afloran ampliamente en la Cordillera Central, consisten en esquistos micáceos y cloríticos, grises y verdosos, además de filitas y pizarras grisáceas (Wilson & Garayar 1967).



Figura 4. Obsérvense afloramientos del Complejo Marañón (filitas), cubiertas por depósitos proluviales en la ladera suroeste del cerro Chachas debajo del C.P. Pueblo libre.

Localmente se observaron filitas grises cubiertas por depósitos Cuaternarios (figura 4), estas con grado de fracturamiento mediano y meteorización entre moderado (parte alta de la ladera) y completo (parte baja de la ladera), ver figura 5, tablas 2 y 3.

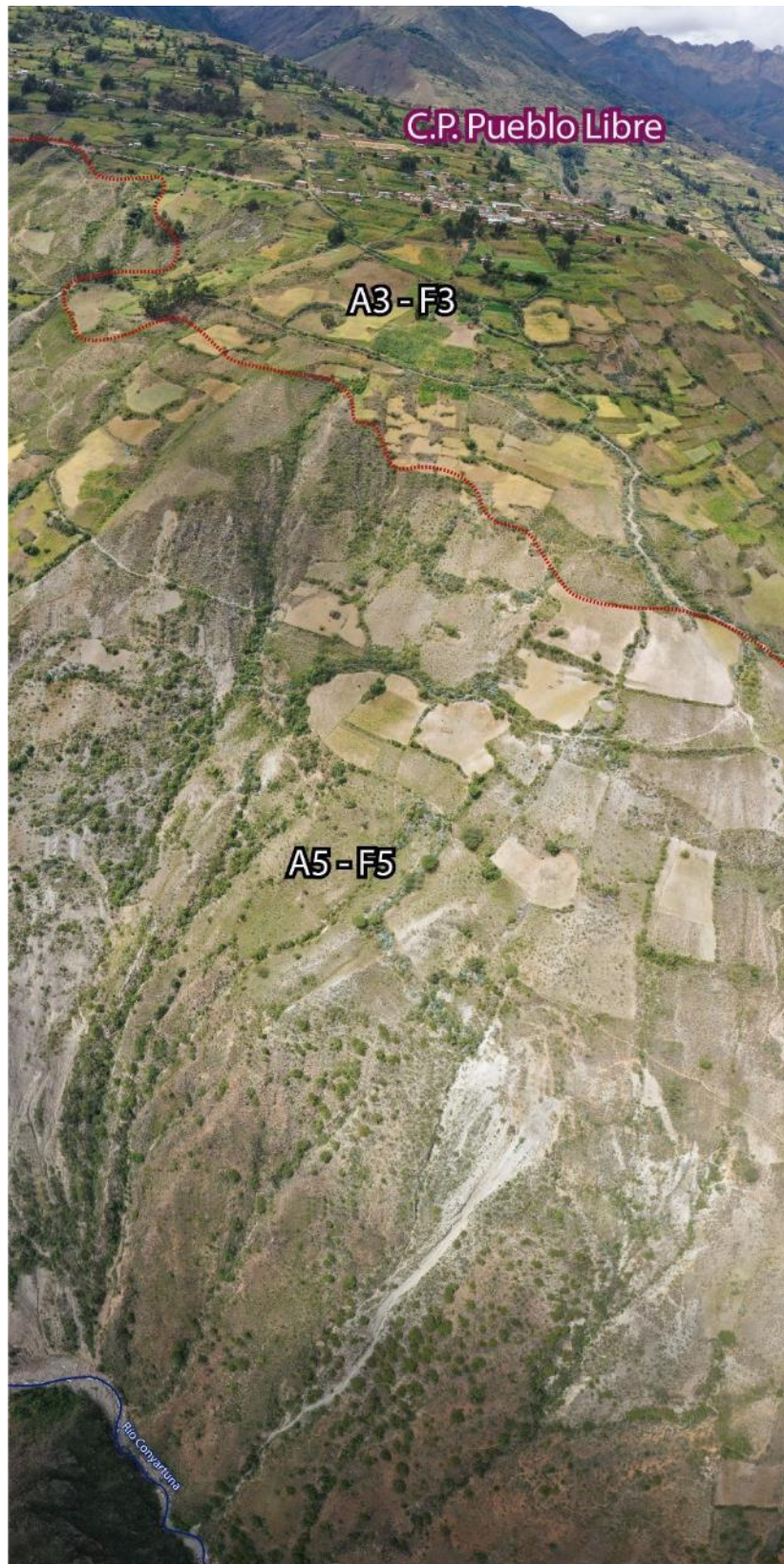


Figura 5. Ladera suroeste del cerro Chachas, por debajo del Centro poblado de Pueblo Libre, obsérvese las diferencias de meteorización y fracturamiento en la misma.

Tabla 2. Clasificación de la meteorización de las formaciones identificadas en el área de estudio (Grado de meteorización de rocas ISRM,1981)

GRADO DE METEORIZACIÓN				
NOMBRE	DESCRIPCIÓN			CLASIFICACIÓN
A1	Roca fresca	No hay signos visibles de meteorización, ligera decoración	-	
A2	Ligeramente meteorizado	Decoloración en la roca y en superficie de discontinuidades (fracturas).	<10%	
A3	Moderadamente meteorizada	Menos de la mitad del material rocoso esta descompuesto o desintegrado a suelo.	10-50%	X
A4	Altamente meteorizado	Más del 50% esta descompuesto y/o desintegrado a suelo, roca fresca o descolorida esta presente como testigos descompuestos.	50-60%	
A5	Completamente meteorizado	Todo el material rocoso esta descompuesto y/o meteorizado. La estructura original del macizo rocoso esta aun en parte intacta.	>90%	X
A6	Suelo residual	Todo el material rocoso esta convertido en suelo. La estructura	100%	

Tabla 3. Clasificación del fracturamiento de las formaciones identificadas en el área de estudio (Grado de fracturamiento de rocas ISRM,1981).

INTENSIDAD DE FRACTURAMIENTO				
NOMBRE	SEPARACIÓN	DESCRIPCIÓN		CLASIFICACIÓN
F1	>3 m	Maciza	Fracturas espaciadas entre si	
F2	3-1 m	Poco fracturada	Fracturadas espaciadas a veces no distinguibles	
F3	1-0.3 m	Medianamente fracturado	Espaciamiento regular entre fracturas	X
F4	0.3-0.05 m	Muy fracturado	Fracturas muy proximas entre si, se separan en bloques tabulares	X
F5	< 0.05 m	fragmentado	La roca se muestra astillosa y se se sepran en lascas con facilidad	

3.1.2. Depósito coluvio-deluvial (Qh-cd)

Este depósito es una acumulación de material suelto, que se desplazó y se depositó en la ladera suroeste de la montaña metamórfica (Cerro Chachas) debido a la acción gravitatoria y a la erosión. Está compuesto principalmente por bloques de filitas de aproximadamente 20 cm de diámetro, que se encuentran dispersos en una matriz de limo-arcilla.

Estos depósitos son susceptibles de generar movimientos en masa debido a varios factores. En primer lugar, la presencia de la matriz limo arcillosa confiere al depósito una baja cohesión, lo que significa que las partículas individuales tienen poca capacidad para adherirse entre sí. Esto facilita el deslizamiento y el flujo de material cuando se produce una perturbación, como por ejemplo una lluvia intensa o un sismo.

Sumados a la presencia de infiltraciones de agua (precipitaciones y pozas de oxidación sin mantenimiento) y el grado de pendientes en este depósito pueden generarse movimientos en masa. La infiltración aumenta la presión de poros, disminuye la resistencia al corte, aumenta la masa saturada y puede generar presiones hidráulicas. Estos factores debilitan la estabilidad

del suelo y pueden desencadenar deslizamientos, flujos de lodo o avalanchas de escombros. Es importante tener en cuenta estos riesgos al evaluar la estabilidad de la ladera y la construcción de obras, así tomar las medidas necesarias para prevenir y mitigar los posibles movimientos en masa.

Cabe resaltar que sobre este depósito existe una poza de oxidación que es una forma básica de tratamiento de aguas residuales que utiliza procesos de oxidación y descomposición biológica para tratar los desechos orgánicos presentes en el agua residual del C.P. de Pueblo Libre, esta consiste en una excavación poco profunda, generalmente impermeabilizada, donde se deposita el agua residual. El objetivo principal de esta es permitir que los microorganismos presentes en el agua residual descompongan la materia orgánica, reduciendo así su carga contaminante antes de que el agua sea liberada al medio ambiente. Sin embargo, esta poza se observa deteriorada y con evidencias de infiltraciones al depósito coluvio-deluvial lo que incide en la humedad y saturación de esta.



Fotografía 1. Pozo de oxidación ubicado en las coordenadas UTM, WGS 84, 18 s, siguientes X: 251799.41 & Y: 90642008.86.

3.1.3. Depósito proluvial (Qh-pl)

Este depósito es una acumulación de sedimentos formada por la acción gravitatoria aunada a la presencia de agua en una pendiente empinada. En este caso, el depósito está compuesto principalmente por arcillas, limos, arenas y bloques de hasta 10 cm de diámetro. La zona de aporte está ubicada en la ladera de alta pendiente del cerro Chachas, que desemboca en el río Conyartuna, la cual también muestra evidencia de flujo de detritos (huaicos en el pasado). (figura 7).

3.1.4. Depósito fluvial (Qh-fl)

Depósitos porosos no consolidados distribuidos en los valles (cauce del río Conyartuna) están conformados por bloques, gravas y arenas redondeadas. Es en este dónde desembocan las quebradas y cárcavas de la ladera suroeste del cerro Chachas (depósitos proluviales).

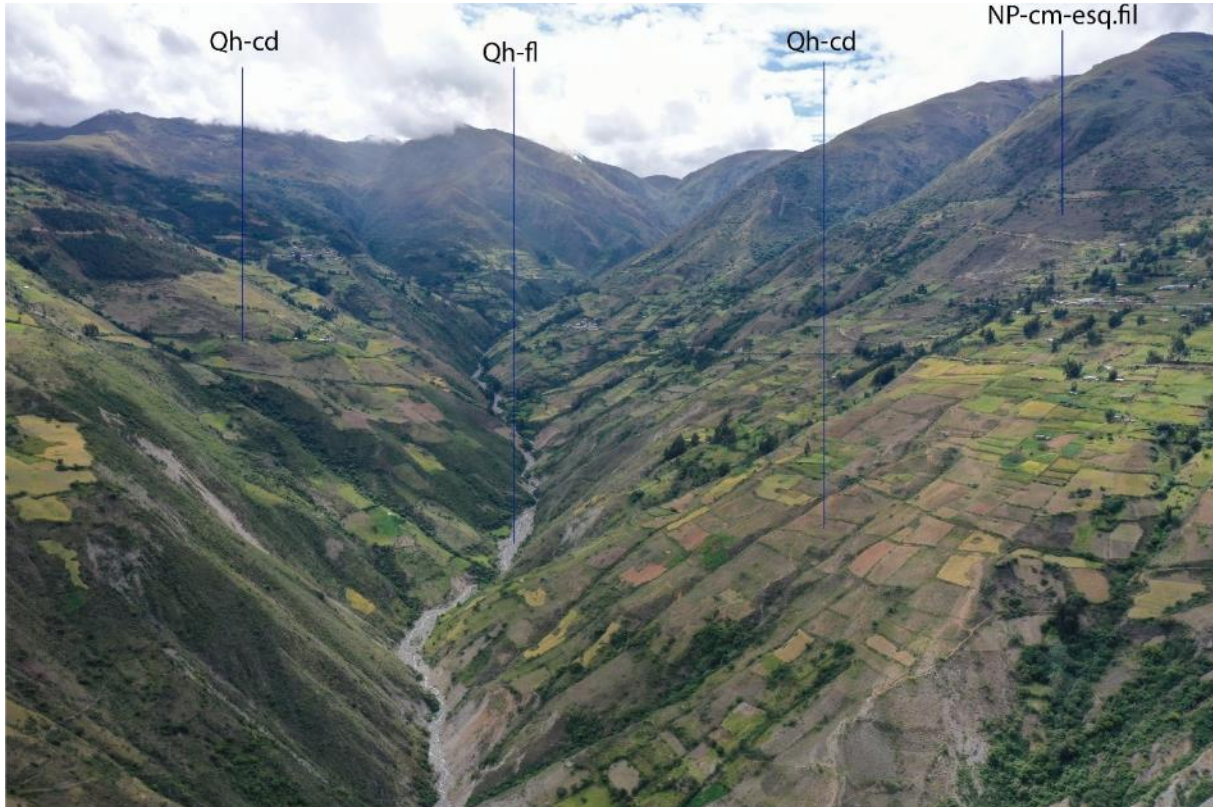


Figura 6: Se aprecia el Complejo Marañón (NP-cm-esq.fil) y los depósitos cuaternarios: coluvio-deluvial (Qh-cd), fluvial (Qh-fl) y proluvial adosado (Qh-pl), visibles mediante fotografías dron en la parte inferior del C.P. Pueblo Libre.

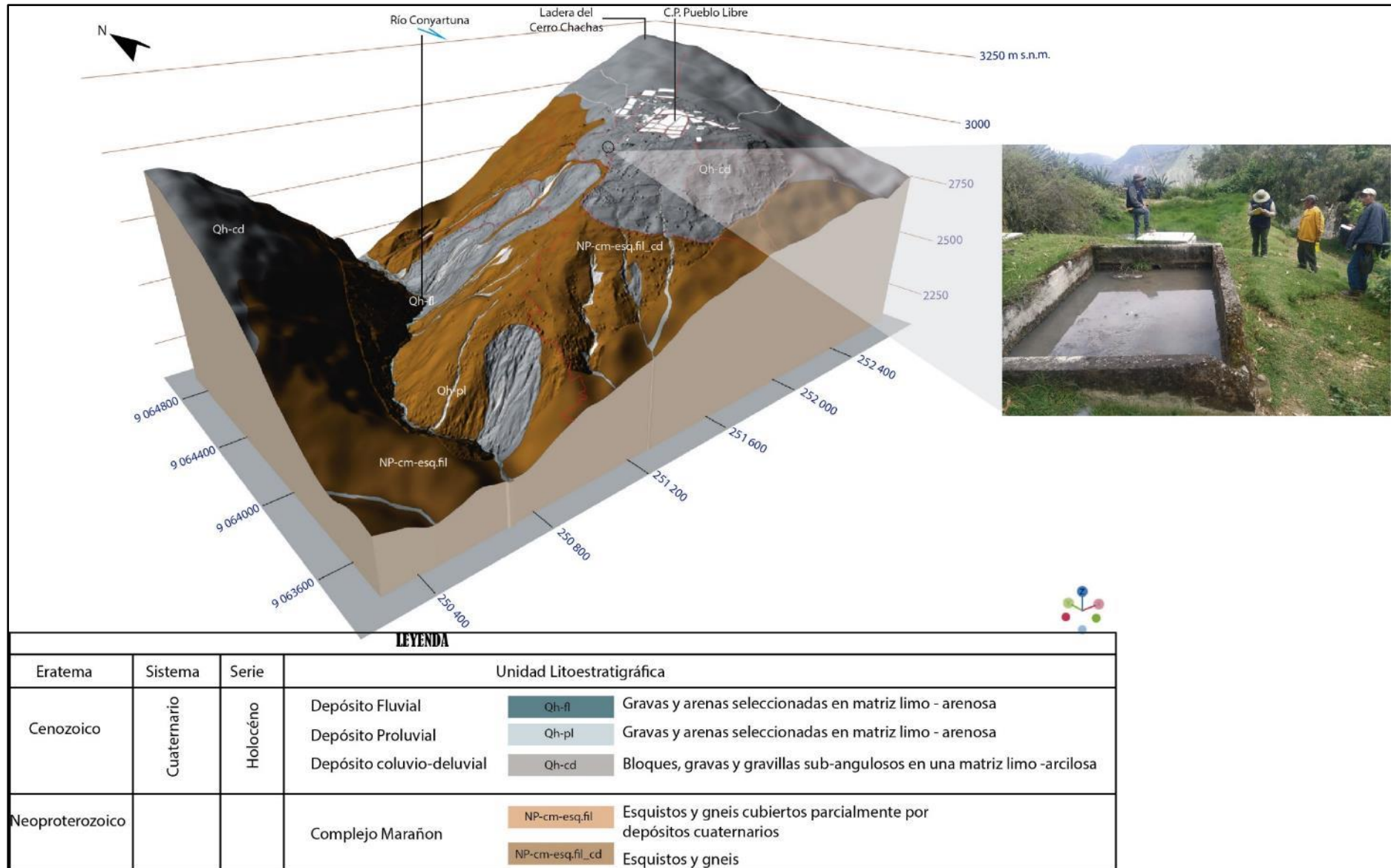


Figura 7. Vista 3D de las unidades litoestratigráficas identificadas en el área de inspección.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

La pendiente es uno de los principales factores dinámicos, que contribuyen particularmente a los movimientos en masa (formadores de las geoformas de carácter depositacional o agradacional), ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez, 2002); por lo cual es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

Cuadro 3. Rango de pendientes del terreno.

RANGOS DE PENDIENTES		
Pendiente	Rango	Descripción
< 1°	Llano	No se encuentran muchos sectores con este rango de pendientes, solo se reflejan en las construcciones antrópicas como techos y patios.
1° a 5°	Inclinación suave	Parte del C.P. Pueblo Libre se encuentra sobre este rango de pendiente, compuesta por calles y terrenos de cultivo, que se encuentra por encima de la ladera. Usualmente con una inclinación menor igual a 5° grados. Este terreno no es propenso a generar movimientos en masa significativos., porque la fuerza gravitacional actúa sobre una pendiente suave. Sin embargo, es importante tener en cuenta que hay otros factores que pueden influir en la estabilidad de estos terrenos, independientemente de su inclinación. Algunos de estos factores incluyen la composición del suelo, la presencia de estructuras geológicas, la vegetación, la exposición a eventos climáticos extremos y la actividad humana, entre otros.
5° a 15°	Moderado	El sector de Pueblo Libre se encuentra sobre está pendiente, como también las áreas de cultivo colindantes al área urbana.
15° a 25°	Fuerte	La ladera suroeste del cerro Chachas se encuentra sobre este rango de pendiente, que corresponde a la zona urbana del C.P. Pueblo Libre y la primera corona de deslizamiento Ds-1. Está pendiente es propensa a generar movimientos en masa, especialmente cuando se ve afectada por la infiltración de aguas (caso de precipitaciones locales y la infiltración de la poza de oxidación).
25° a 45°	Muy fuerte	Es la pendiente predominante en la ladera suroeste del cerro Chachas, limitada entre el río Conyartuna y la corona deslizamiento Ds-1. En esta pendiente se observa la presencia de infiltración de aguas. La erosión del agua puede debilitar la estabilidad de la ladera. En cuanto al río Conyartuna, el flujo de agua constante puede socavar la base del talud y aumentar la presión hidrostática en el suelo, lo que debilita su resistencia y aumenta el riesgo de deslizamientos.
>45°	Muy escarpado	Este rango de pendientes se presenta en la ladera suroeste del cerro Chachas, corresponde a zonas de escarpe de deslizamientos y arranque de flujos y derrumbes.

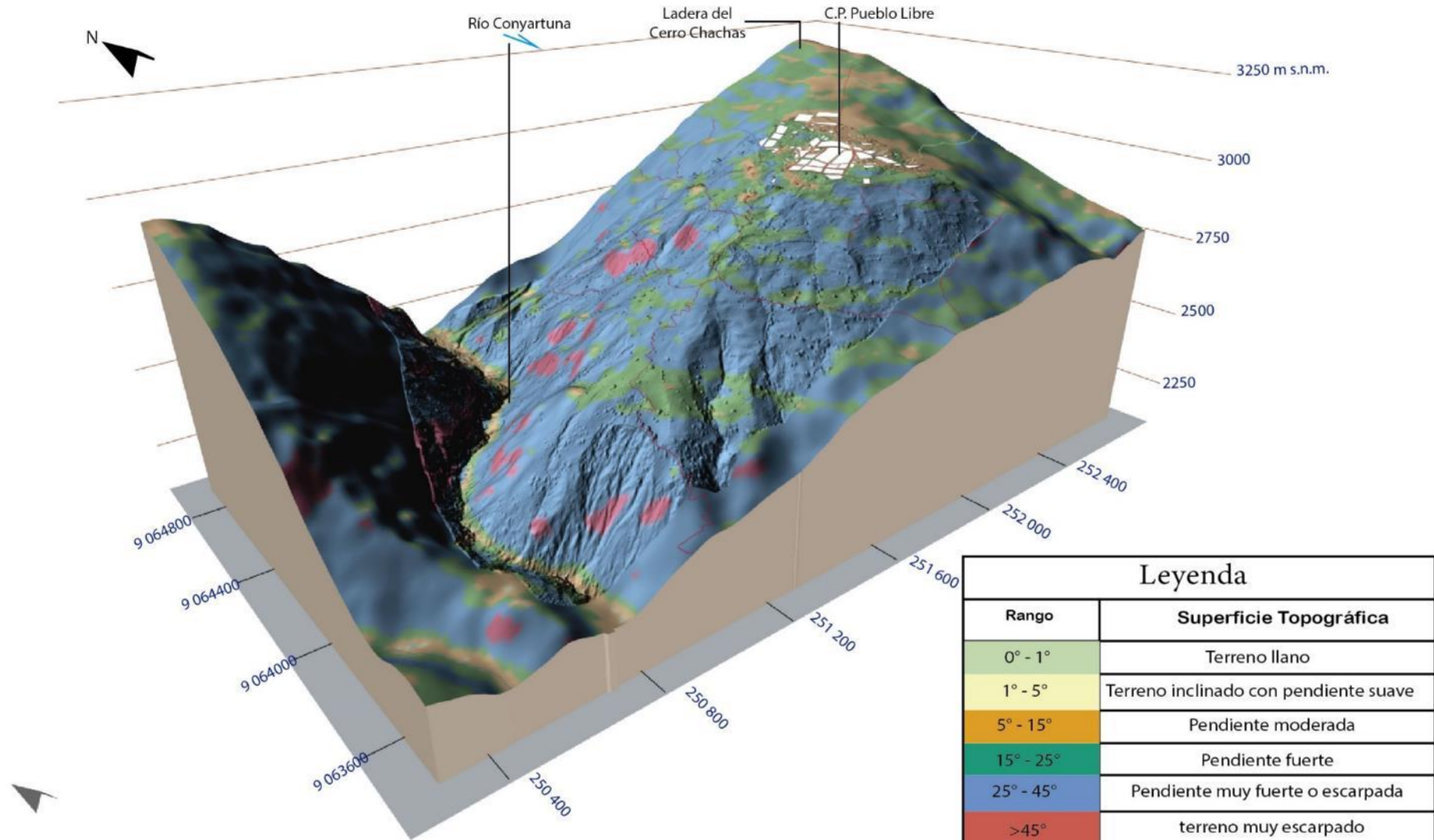


Figura 8. Vista 3D de los rangos de pendientes en el terreno identificados en los alrededores del C.P. Pueblo Libre.

4.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas (mapa 3-anexo 1), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual; en base a aspectos del relieve en relación con la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez et al., 2019).

4.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Están representadas por las formas de terreno resultados del efecto progresivo de procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales (Villota, 2005).

Subunidad de montañas en roca metamórfica (RM-rm): Esta subunidad está conformada por secuencias litológicas metamórficas y tiene una altura de 1000 m (desde el cauce del río), presenta una forma cóncava, con pendientes variables. así desde su base se observan pendientes $>45^\circ$ que descienden hasta 15° de manera ascendente por la ladera hasta su primera lomada donde se ubica el C.P. Pueblo Libre.

Esta montaña exhibe una topografía abrupta y escarpada, con pendientes empinadas y cambios bruscos de elevación. Las pendientes más empinadas, cercanas a los 90 grados, se manifiestan en áreas de acantilados o cortes verticales en la roca.

Esta afectada por procesos de carcavamientos.

4.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

Están representadas por formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores, aquí se tienen:

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd):

Esta se caracteriza geomorfológicamente por la presencia de acumulaciones de sedimentos sueltos en una pendiente muy fuerte a abrupta desde el río Conyartuna hasta el C.P. Pueblo Libre. Es común encontrar evidencias de movimientos en masa anteriores en esta vertiente. Estos movimientos incluyen deslizamientos, flujos de detritos o desprendimientos de rocas que le dan formas cóncavas y convexas al depósito. Estas manifestaciones pasadas indican la dinámica y la inestabilidad de la vertiente.

Vertiente aluvio torrencial (V-at): Este tipo de vertiente se formó por lluvias intensas y eventos de precipitaciones torrenciales. Estas vertientes son propensas a experimentar flujos de agua rápidos y violentos (huaicos y/o movimientos complejos), acompañados de la erosión y transporte de grandes cantidades de sedimentos. Actualmente se observan surco y canales cóncavos en forma de "V", que descienden hacia el río Conyartuna, con pendientes muy fuertes (25° a 45°) a escarpadas ($>45^\circ$).

Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd): Corresponden a Depósitos de escombros y deslizamientos: son evidencias de movimientos en masa pasados y recientes, como deslizamientos rotacionales, desprendimientos de rocas o avalanchas, están presentes en la ladera suroeste de la montaña. Estos eventos dejaron depósitos con acumulaciones de material de forma cóncava en la corona/escarpe; y convexa en el cuerpo, además se encuentran materiales sueltos de suelo y/o rocas que se vienen desprendido y deslizando cuesta abajo en el tiempo.

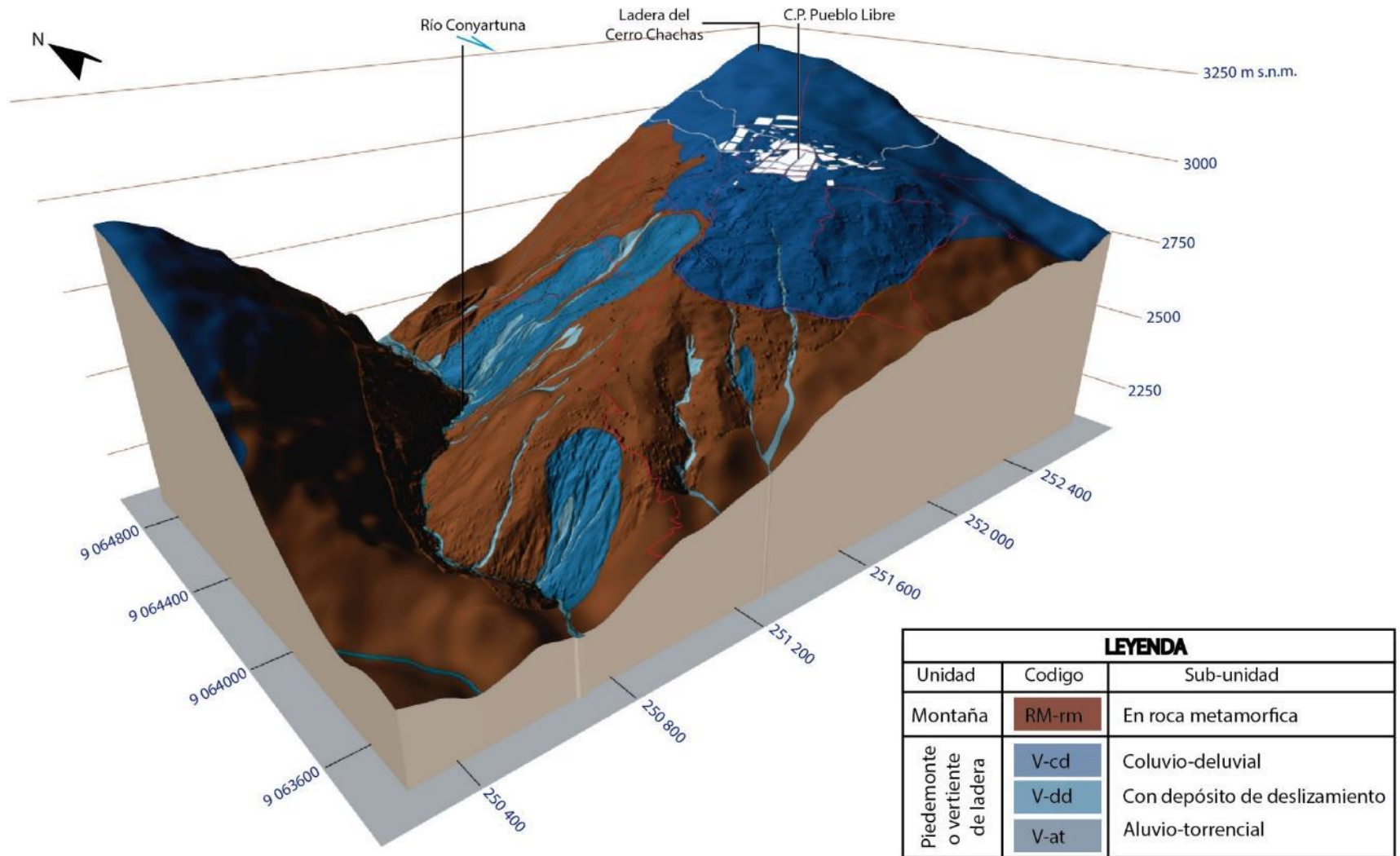


Figura 9. Vista 3D de las unidades geomorfológicas identificadas en los alrededores del C.P. Pueblo Libre.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en los alrededores del C.P. Pueblo Libre, corresponden a movimientos en masa activados sobre un depósito coluvio-deluvial, adosado a la ladera suroeste del cerro Chachas.

La caracterización de peligros geológicos, se realizó en base a la información obtenida de trabajos en campo; donde se clasificaron los tipos de movimientos en masa, basados en la observación, descripción litológica y morfométrica in situ de los mismos, así como la toma de puntos GPS, medidas con distanciómetro láser, fotografías a nivel de terreno y fotografías aéreas que sirvieron para la elaboración de ortomosaicos y modelos digitales de superficie sobre los cuales se realizó el cartografiado.

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

5.1.1. Deslizamientos activos

Se identificaron cuatro deslizamientos activos en la ladera suroeste del cerro Chachas, por debajo del C.P. Pueblo Libre (2950 m s.n.m.) estos se encuentran entre las cotas 2781 m s.n.m y el cauce del río Conyartuna (2356 m s.n.m.)

Tabla 4. Ubicación relativa de los deslizamientos activos identificados en el área de inspección.

Deslizamientos	Tipo	Este (m)	Sur (m)	Elevación media (m s.n.m)
Da_1	Rotacional	251448.6	9064468.6	2725
Da_2	Rotacional	251211.5	9064510.8	2498
Da_3	Rotacional	252625.4	9062902.2	2616

Deslizamiento Da_1

- La corona superior se encuentra en la cota: 2776 m s.n.m.
- Longitud del escarpe: 220 m
- Salto del escarpe principal: varía de un máximo de 10 m a mínimos de 5 m. aprox.
- El pie de avance del deslizamiento se encuentra en la cota: 2393 m s.n.m.(al nivel del cauce del río Conyartuna).
- La diferencia entre la cota de la corona y pie de avance es de: 383 m
- La longitud del deslizamiento es de: 580 m.
- El ancho promedio del deslizamiento es: 225 m.
- Área del deslizamiento: 10 ha.

Deslizamiento Da_2

- La corona superior se encuentra en la cota: 2620 m s.n.m.
- Longitud del escarpe: 105 m
- Salto del escarpe principal: varía de un máximo de 7 m aprox.
- El pie de avance del deslizamiento se encuentra en la cota: 2393 m s.n.m. (al nivel del cauce del río Conyartuna).
- La diferencia entre la cota de la corona y pie de avance es de: 227 m
- La longitud del deslizamiento es de: 380 m.
- El ancho promedio del deslizamiento es: 160 m.
- Área del deslizamiento: 4 ha.

En el caso del deslizamiento rotacional (Da_1) ubicado en ladera con reactivación en su mismo cuerpo (Da_2) (figura 10), representa un alto peligro para el Centro Poblado situado encima de ellos (ubicados longitudinalmente a 465 m lineales del C.P. Pueblo Libre y a una diferencia de alturas de 174 m) del mismo. Por las siguientes razones:

- La reactivación en el mismo cuerpo del deslizamiento rotacional indica que el movimiento aún está en curso y puede aumentar su magnitud con el tiempo. Esto implica que la ladera continúa siendo inestable y puede experimentar desplazamientos adicionales, lo que representa un peligro constante para el CP ubicado en la parte alta, si este empieza a tomar un comportamiento retrogresivo.
- Las filtraciones de agua provenientes de una poza de oxidación pueden infiltrarse en el suelo y/o la roca de la ladera y acumularse en su interior. A medida que se acumula agua, la presión hidrostática aumenta, lo que puede reducir la resistencia efectiva del suelo y aumentar la posibilidad de un deslizamiento que afecte áreas de cultivo y caminos vecinales.



Figura 10. Muestra los deslizamientos activos Da_1 y Da_2, ubicados longitudinalmente a 465 m lineales del C.P Pueblo Libre y a una diferencia de alturas de 174 m entre el poblado y la corona principal.

Deslizamiento Da_3

- La corona superior se encuentra en la cota: 2660 m s.n.m.
- Longitud del escarpe: 50 m
- Salto del escarpe principal: varía de un máximo de 3 m aprox.
- El pie de avance del deslizamiento se encuentra en la cota: 2560 m s.n.m.
- La diferencia entre la cota de la corona y pie de avance es de: 100 m
- La longitud del deslizamiento es de: 154 m.
- El ancho promedio del deslizamiento es: 38 m.
- Área del deslizamiento: 0.5 ha.

Este deslizamiento se ubica a 645 m lineales del C.P. Pueblo Libre y a una diferencia altitudinal de 290 m.



Figura 11. Muestra el deslizamiento Da_3 ubicados longitudinalmente a 645 m lineales del C.P Pueblo Libre y a una diferencia de alturas de 290 m de este.

5.1.2. Deslizamientos suspendidos

Estos deslizamientos son activados durante las épocas de lluvia intensa o prolongada. Este tipo de deslizamiento se caracteriza por ser temporal y activarse únicamente cuando las condiciones climáticas son propicias para ello, así se han identificado 02 deslizamientos (Ds_1 y Ds_2) en la ladera suroeste del cerro Chachas los cuales se describen a continuación:

Tabla 5. Ubicación relativa de los deslizamientos suspendidos identificados en el área de inspección.

Deslizamientos	Tipo	Este (m)	Sur (m)	Elevación media (m s.n.m)
Ds_1	Rotacional	252678.4	9064995.6	2876
Ds_2	Rotacional	252092.1	9063135.0	2542

Deslizamiento Ds_1

- La corona superior se encuentra en la cota: 2876 m s.n.m.
- Longitud del escarpe: 500 m (escarpe erosionado).
- Salto del escarpe principal: varia de un máximo de 15 m aprox.
- El pie de avance del deslizamiento se encuentra en la cota: 2384 m s.n.m.
- La diferencia entre la cota de la corona y pie de avance es de: 492 m
- La longitud del deslizamiento es de: 714 m.
- El ancho promedio del deslizamiento es: 211 m.
- Área del deslizamiento: 14.4 ha.



Figura 12. Muestra el escarpe del deslizamiento rotacional suspendido Ds_1, ubicado por debajo del C.P. Pueblo Libre.

Deslizamiento Ds_2

- La corona superior se encuentra en la cota: 2542 m s.n.m.
- Longitud del escarpe: 250 m (escarpe erosionado).

- Salto del escarpe principal: varía de un máximo de 20 m aprox.
- El pie de avance del deslizamiento se encuentra en la cota: 2276 m s.n.m.
- La diferencia entre la cota de la corona y pie de avance es de: 266 m
- La longitud del deslizamiento es de: 358| m.
- El ancho promedio del deslizamiento es: 175 m.
- Área del deslizamiento: 5.2 ha.

La presencia de una cantidad significativa de agua en el suelo y roca que conforman el cuerpo del deslizamiento desencadena el movimiento, ya que actúa como un lubricante reduciendo la fricción entre las capas del material detrítico-involucradas. Durante la época de lluvias, los deslizamientos suspendidos se activan y comienza a desplazarse. A medida que las lluvias cesan y el suelo se seca, el deslizamiento puede detenerse o desacelerarse significativamente. El ciclo de activación y detención se repite en cada temporada de lluvias.

Además, el tipo de depósito donde se desarrollaron los deslizamientos activos y suspendidos es considerado de peligro debido a varias razones. En primer lugar, la presencia de arcillas y limos en la composición del depósito confiere una baja resistencia y cohesión al material. Estos sedimentos finos son fácilmente erosionables y tienen una mayor capacidad para fluir cuando se ven sometidos a la acción del agua o a fuerzas externas, como los terremotos o cargas adicionales

5.1.3. Movimientos complejos

Los movimientos complejos se refieren a eventos geológicos en los que se combinan diferentes tipos de movimientos en masa en un mismo cuerpo, como es el caso de deslizamientos seguidos por un flujo de detritos. Estos eventos ocurren en los cuerpos de deslizamientos suspendidos y tienen características particulares. A continuación, se describe cómo se dan estos movimientos y sus características:

Movimientos Complejo Mc_1, Mc_2 y Mc_3.

Estos procesos comenzaron con la reactivación parcial de los deslizamientos Da_1, Da_2 y Ds_2, de tipo rotacional. Esta fase implicó el desplazamiento de una porción del material detrítico por un plano de deslizamiento rotacional, influenciado por factores como la gravedad, la presencia de agua, la pendiente del terreno y la naturaleza geológica de la zona (deslizamientos previos).

Después del deslizamiento inicial, se produjo un flujo de detritos, este se caracterizó por la movilidad y el transporte de materiales sueltos, como sedimentos, bloques de rocas, tierra y agua que se depositaron por su recorrido hasta llegar al río Conyartuna, posteriormente se produjo una combinación de movimientos en masa.

El flujo de detritos se superpone al deslizamiento inicial, generando un fenómeno complejo en el que se produce el transporte y la deformación de los materiales. El flujo de detritos siguió la trayectoria del deslizamiento inicial hasta llegar al cauce del río Conyartuna.

Tabla 6. Ubicación relativa de los Movimientos complejos identificados en el área de inspección.

Deslizamientos	Tipo	Este (m)	Sur (m)	Elevación media (m s.n.m)
Mc_1	Complejo	251226.1	9064525.5	2504
Mc_2	Complejo	251270.1	9064476.7	2544
Mc_3	Complejo	250858.6	9063699.9	2370

5.1.4. Flujos de detritos

Los flujos de detritos descendientes desde la ladera suroeste del cerro Chachas involucraron el transporte de materiales sueltos, como rocas, tierra, sedimentos y agua, cuesta abajo. Estos flujos se generaron en laderas con deslizamientos previos debido a diversas razones. A continuación, se describen algunos de los procesos involucrados en su generación:

- Fueron desencadenados por eventos o factores externos, como lluvias intensas, sismos u otros eventos que aumentaron la presión de agua y generaron vibraciones en la ladera. Estos factores debilitaron aún más el material suelto y desencadenaron su movimiento cuesta abajo.
- La pendiente pronunciada de la ladera fue el factor clave en la generación de flujos de detritos. La gravedad actuó sobre el material suelto, ejerciendo una fuerza descendente que facilitó su movimiento. A medida que el material se desplazó, arrastro más sedimentos y rocas a lo largo de su trayectoria, aumentando el volumen y la velocidad del flujo que llegó al río Conyartuna.

Además, según la versión de los pobladores y las evidencias en campo (hace más de 30 años) se infiere de un represamiento y posterior desembalse, que generó un flujo de detritos a lo largo del río Conyartuna, como evidencia de ello se ve material detrítico (bolones de hasta 1 m de diámetro, gravas y gravillas) adosadas en las márgenes del río.

También se debe tener en cuenta que La conexión entre el depósito proluvial y el río aumenta el peligro. Cuando se producen lluvias intensas o eventos de crecida del río, el agua puede infiltrarse en el depósito y generar un exceso de presión, lo que debilita aún más la estabilidad de la ladera y aumenta la posibilidad de movimientos en masa.

5.1.5. Cárcavas

Estos procesos se han identificado en la ladera suroeste del cerro Chachas, por la acción combinada de factores geológicos y climáticos. Estas características erosivas representan un peligro debido a su capacidad para aumentar la inestabilidad de la ladera y generar movimientos en masa. A continuación, se describen cómo se producen las cárcavas y los peligros asociados:

- Estos procesos se formaron por la erosión hídrica. Cuando llueve intensamente, el agua fluye por la superficie de la ladera, formando pequeños canales de escurrimiento. Con el tiempo, estos canales se profundizan y ensanchan, formando cárcavas. La erosión puede ser acelerada por la presencia de pendientes pronunciadas, materiales fácilmente erosionables (suelos residuales y coluvio-deluviales) y una cobertura vegetal insuficiente.
- El agua es el principal agente causante de las cárcavas en la ladera. Durante las lluvias intensas y/o prolongadas, el agua fluye rápidamente, arrastrando sedimentos y creando surcos en el terreno. Esta acción erosiva se ve reforzada por la presencia de grietas o fisuras preexistentes en la roca metamórfica, lo que facilita el desprendimiento y la erosión del material.
- A medida que las cárcavas se forman y se profundizan, la ladera se vuelve más inestable. La erosión elimina el soporte y la protección del suelo y la roca, debilitando la estructura de la montaña metamórfica. Esto puede desencadenar movimientos en masa, como deslizamientos o desprendimientos de rocas, aumentando el peligro para las áreas cercanas.

Es importante tener en cuenta que las cárcavas no se detienen automáticamente una vez que se han formado, sino que continúan expandiéndose y profundizándose con cada evento de lluvia intensa y/o prolongada.

5.1.6. Derrumbes

La ladera suroeste del cerro Chachas presenta pendientes muy fuertes a escarpadas, más la influencia de la gravedad sobre los materiales sueltos, se aumenta la probabilidad de caídas. Esto también se puede atribuir a la roca metamórfica que presenta estructuras geológicas, como, fracturas y discontinuidades, que debilitan su resistencia y cohesión. Estas pueden facilitar el desprendimiento y la rotura de la roca, especialmente cuando están sometidas a presiones y tensiones generando derrumbes.

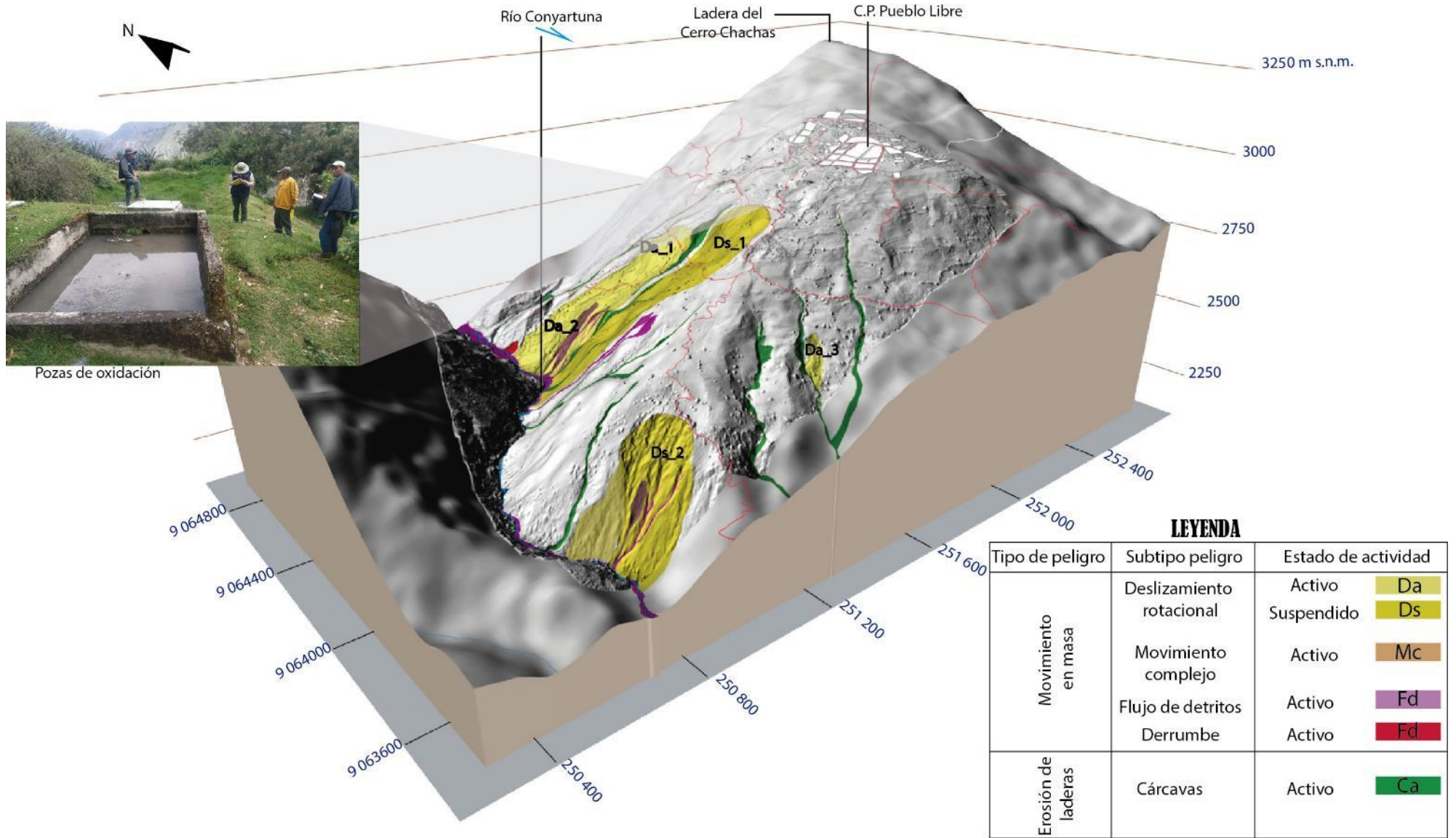


Figura 13. Muestra los peligros identificados en la ladera suroeste del cerro Chachas por debajo del C.P. Pueblo Libre.

5.2. Factores condicionantes

La ocurrencia de movimientos en masa en la ladera suroeste del cerro Chacas están condicionados principalmente por la geomorfología del área, sus características geológicas y actividades antrópicas. Dentro de las características intrínsecas que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa en el sector evaluado se tienen:

Factor geomorfológico y de relieve

- La ladera de alta pendiente (25°-45°) proporciona un entorno propicio para la ocurrencia de movimientos en masa. La fuerza gravitatoria influye en una pendiente empinada, aumenta la posibilidad de deslizamientos, derrumbes y movimientos complejos. La carga adicional proveniente de la erosión de la ladera y la acumulación de agua en el suelo también pueden aumentar la presión interna y debilitar la estabilidad del depósito, favoreciendo la ocurrencia de movimientos en masa.
- Otro factor importante es la inclinación de la pendiente donde se encuentra el depósito coluvio-deluvial (25°). ya que la fuerza gravitatoria puede superar la resistencia interna del depósito, lo que aumenta el riesgo de movimientos en masa. Además, la presencia de una cobertura vegetal escasa en la pendiente puede hacer que el material esté expuesto a la erosión hídrica, lo que debilita aún más su estabilidad.
- En una pendiente muy fuerte a escarpada, los materiales del suelo y las rocas fracturadas tienden a tener menor cohesión y mayor susceptibilidad a la deformación.
- Los suelos sueltos o poco cohesionados, como las arcillas expansivas y los limos sueltos, son particularmente propensos a deslizamientos o derrumbes en pendientes pronunciadas. Además, con las evidencias de deslizamientos activos, es probable que los materiales sean inestables y estén sujetos a movimientos futuros.
- La vegetación desempeña un papel importante en la estabilidad de la ladera. En pendientes entre 25 y 45 grados, la vegetación densa y enraizada actúa como una especie de manto protector, evitando la erosión y mejorando la cohesión del suelo. Sin embargo, si la vegetación se ve afectada por factores como la deforestación, la ladera puede volverse más vulnerable a los movimientos en masa.

Factor litológico

- En el área evaluada, se presenta un substrato rocoso metamórfico conformado por filitas con alto grado de fracturamiento y meteorización, que generan suelos residuales limo - arcillosos de fácil erosión. La roca metamórfica (substrato de la ladera suroeste del cerro Chachas) que presenta estructuras geológicas, como, fracturas y discontinuidades, debilitan su resistencia y cohesión. Estas debilidades estructurales pueden facilitar el desprendimiento y la rotura de la roca, especialmente cuando están sometidas a presiones y tensiones.
- La presencia de bloques de filitas dentro del depósito introduce heterogeneidades en su estructura. Estos bloques son más rígidos y resistentes que la matriz circundante, lo que crea zonas de debilidad dentro del depósito. Cuando se aplican fuerzas externas, como la presión del agua infiltrada o el

peso adicional de la vegetación, estas zonas de debilidad pueden romperse y provocar el deslizamiento o el colapso de todo el depósito.

Factor Hidrológico

- Relacionados a las pozas de Oxidación:

Descarga de agua acumulada: A medida que el agua infiltrada se acumula en el suelo saturado. El agua busca salida a través de los poros del suelo, generando de esta manera presiones hidráulicas, lo que actúa como fuerzas adicionales para desencadenar movimientos en masa.

- Relacionados a precipitaciones pluviales

Infiltración de agua: Cuando llueve o se tiene una fuente de agua, el agua puede infiltrarse al suelo. Esto aumenta la probabilidad de saturación del terreno.

Incremento de la presión de poros: A medida que el agua se infiltra en el suelo, se acumula en los espacios entre las partículas del suelo, creando una presión de poros. Esta presión va a debilitar la cohesión entre las partículas y reducir la fricción interna del suelo, aumentando la posibilidad de movimientos en masa.

Aumento de la masa saturada: La infiltración continua de agua puede saturar el suelo en la pendiente, lo que aumenta su peso y reduce aún más la resistencia al corte. El suelo saturado se vuelve más débil y propenso a movimientos en masa.

Disminución de la resistencia al corte: La presión de poros generada por la infiltración de agua sobre el suelo disminuye la resistencia al corte. La cohesión entre las partículas se ve afectada y la fricción entre ellas disminuye, lo que debilita la estabilidad del suelo en la pendiente.

Factor Antrópico

- Poza de Oxidación:

Una poza de oxidación en sí misma no es propensa a generar movimientos en masa. Sin embargo, en ciertos casos como este, un mal funcionamiento de la poza de oxidación sumados a una mala gestión de los residuos sólidos asociados contribuye indirectamente a la generación de movimientos en masa. Aquí se presentan algunos escenarios donde podría existir una conexión indirecta:

- Desestabilización del suelo circundante: Si la poza de oxidación no está correctamente impermeabilizada (como es el caso) o presenta fugas, el agua residual tratada se infiltra en el suelo circundante. Esto puede llevar a un aumento en la humedad del suelo y potencialmente debilitar su estabilidad, especialmente en pendientes cercanas a la poza.

- Erosión del suelo: Si hay problemas de diseño o mantenimiento en la poza de oxidación, como una mala canalización o una liberación incontrolada de efluentes tratados, el flujo de agua erosiona el suelo en las áreas circundantes. Esto puede resultar en la pérdida de suelo y la exposición de pendientes inestables propensas a movimientos en masa.
- Carga de residuos sólidos: Si los residuos sólidos generados en la poza de oxidación, como lodos o desechos sólidos no tratados adecuadamente, no se gestionan de manera adecuada, podrían acumularse y sobrecargar la estructura de la poza. Esta sobrecarga podría ejercer presión sobre el suelo circundante, aumentando el riesgo de deslizamientos o colapsos en pendientes cercanas.

5.3. Factores desencadenantes

En una ladera inestable de pendiente alta, se pueden desencadenar deslizamientos y otros movimientos en masa. Estos factores actúan de manera combinada, aumentando la probabilidad que ocurran peligros geológicos. A continuación, se mencionan algunos de los principales desencadenantes tomados en cuenta en este caso:

- Lluvias intensas: Las precipitaciones abundantes y prolongadas pueden saturar el suelo y aumentar la presión del agua en la ladera. Esto reduce la resistencia del suelo y aumenta la posibilidad de deslizamientos. El agua también puede infiltrarse por las grietas que presenta el terreno, de esta manera debilita la cohesión del material y facilita la generación del movimiento.
- Cambios en la humedad del suelo: Las fluctuaciones en el contenido de humedad del suelo (por incrementos de riego y/o infiltraciones de la poza de oxidación u otros) pueden ser desencadenantes de movimientos en masa. La sequía prolongada seguida de lluvias intensas, puede llevar a un rápido cambio de condiciones y una mayor inestabilidad del suelo. Cabe resaltar que las precipitaciones en el mes de enero del 2023 fueron relativamente bajas a comparación de las de abril del mismo año en el C.P. Pueblo Libre.
- Actividad sísmica: Los sismos pueden desencadenar deslizamientos en la ladera. Las ondas sísmicas pueden causar la ruptura de la cohesión de los materiales.

Es importante destacar que estos factores pueden interactuar entre sí, creando un efecto sinérgico y aumentando la posibilidad de movimientos en masa en la ladera inestable de alta pendiente.

6. CONCLUSIONES

1. El depósito cuaternario coluvio deluvial compuesto por bloques de filitas (≤ 30 cm) en una matriz limo arcillosa (que cubre la ladera suroeste del cerro Chachas) es susceptible de generar movimientos en masa debido a: 1) La baja cohesión de la matriz, 2) La presencia de zonas de debilidad causadas por los bloques rígidos, y 3) La inclinación pronunciada de la pendiente. Estos factores aumentan la probabilidad de generar deslizamientos y derrumbes, cuando se produzcan perturbaciones externas o se alcancen ciertos umbrales de esfuerzo y tensión desencadenados por lluvias y/o sismos.
2. Se tiene evidencia de procesos de flujo de detritos (depósitos proluviales) antiguos que provienen desde la ladera suroeste del cerro Chachas, se prolongan hasta por debajo del C.P. Pueblo Libre y llegan hasta el río Conyartuna. Esto sugiere que las condiciones para el flujo de detritos ya están presentes en el área y que existe una mayor probabilidad de que se repita en el futuro.
3. Las pendientes variables y empinadas, combinadas con la presencia de movimientos en masa pasados, indican que el terreno es inestable y puede experimentar eventos similares en el futuro. Esto representa una amenaza para la seguridad de las personas y las estructuras cercanas.
4. La poza de oxidación en mal estado genera infiltraciones en el terreno aumentando la humedad del suelo y potencialmente debilitando su estabilidad. Es importante destacar que estos escenarios dependen de una serie de condiciones específicas y un manejo inadecuado de la poza de oxidación. En general, si se implementan adecuadas medidas de diseño, construcción, mantenimiento y gestión de residuos sólidos, una poza de oxidación no debería generar directamente movimientos en masa. Sin embargo, es fundamental llevar a cabo una evaluación adecuada de los riesgos geotécnicos y tomar las medidas necesarias para garantizar la estabilidad del terreno en las áreas cercanas a las instalaciones de tratamiento de aguas residuales.
5. Los deslizamientos suspendidos representan un peligro latente para el área de inspección ya que durante las épocas de lluvia pueden causar daños a áreas de cultivo y caminos vecinales, así como representar una amenaza para la seguridad de las personas que transitan por esas áreas.
6. Los movimientos complejos que combinan deslizamientos y flujos de detritos en cuerpos de deslizamientos antiguos representan un peligro geológico significativo, por que favorecen la erosión del suelo y la rápida formación de cárcavas que crecen retrogresivamente pudiendo alcanzar en algún momento al C.P. Pueblo Libre.
7. El factor desencadenante para la reactivación los movimientos en masa descritos fueron las precipitaciones pluviales, que en el mes de abril alcanzaron máximos diarios de 52.7 mm.
8. Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas en la ladera suroeste del cerro Chachas, por debajo del C.P. Pueblo Libre se considera a esta de **Peligro Alto** a movimientos en masa.

7. RECOMENDACIONES

No estructurales

1. Realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR), a fin de evaluar los elementos expuestos en la ladera suroeste del cerro Chachas por debajo del C.P. Pueblo Libre.
2. Respetar las restricciones de uso del suelo que prohíben y limitan el desarrollo urbano en las áreas de mayor peligro. (ver mapa 3D N° - anexo 1).
3. Promover la educación y concientización sobre los peligros geológicos y los riesgos asociados con los movimientos en masa identificados en la ladera suroeste del cerro Chachas. Informar a la población sobre las medidas de seguridad y los protocolos de respuesta en caso de emergencia (que deba tomar las autoridades competentes). Fomentar la participación comunitaria en la gestión del riesgo y promover la adopción de medidas preventivas.
4. Establecer sistemas de monitoreo geotécnico para detectar cambios en la estabilidad de la ladera y activar alertas tempranas en caso de movimientos o condiciones peligrosas. Estos sistemas pueden incluir instrumentos de medición, como inclinómetros, piezómetros y estaciones meteorológicas, que proporcionen datos en tiempo real para evaluar el comportamiento de la ladera.
5. Restringir el sembrío de cultivos que requieran riego por inundación (alfalfa y otros que necesiten abundante agua) en la ladera suroeste del cerro Chachas (áreas de pendiente mayor a 25°), caso se requiera cultivar la ladera deberá seguir como mínimo las siguientes pautas**:
 - Plantar cultivos en líneas de contorno, siguiendo la curvatura natural de la ladera, ayuda a reducir la erosión y la escorrentía del agua. Esto implica cultivar a lo largo de líneas horizontales a través de la pendiente, en lugar de en líneas verticales. Los cultivos en contorno ayudan a retener el agua y los nutrientes en el suelo, minimizando la erosión.
 - Evitar prácticas agrícolas destructivas, como la tala indiscriminada de árboles, la quema de vegetación o el uso excesivo de maquinaria que pueda dañar la estructura del suelo y provocar deslizamientos.
 - Implementar medidas de control de erosión, como barreras vivas (estas se pueden implementar aun sin tener el objetivo principal de cultivar), cercas de protección y terrazas de infiltración, para reducir la escorrentía y la erosión del suelo. Estas medidas ayudan a retener el suelo en su lugar.
6. Mantener una cobertura vegetal constante en la ladera es esencial para proteger el suelo de la erosión. Se recomienda plantar cultivos de cobertura o vegetación perenne que tengan sistemas de raíces densos y profundos, lo que ayuda a estabilizar el suelo.

Estructurales

1. Dado que la poza de oxidación actual se encuentra en mal estado y se evidencia la infiltración de sus aguas a la ladera, provocando la saturación del terreno y posible generación de movimientos en masa, es recomendable tomar medidas para reubicarla, teniendo en cuenta:
 - Realizar una evaluación exhaustiva de posibles sitios alternativos para reubicar la poza de oxidación. Buscando áreas que cumplan con los criterios ambientales y de salud necesarios para el tratamiento adecuado de los residuos.

- Realizar un estudio geotécnico detallado de los sitios propuestos para asegurarse de que no presenten riesgos de movimientos en masa o inestabilidad del terreno. Considerando aspectos como la pendiente, la composición del suelo y la hidrología.
 - Una vez seleccionado un sitio adecuado, diseñar y construir una nueva poza de oxidación siguiendo las normas y regulaciones ambientales y sanitarias correspondientes (Mientras se lleva a cabo la reubicación, es importante asegurarse de que la poza de oxidación existente esté siendo gestionada de manera adecuada. Esto implica realizar mantenimiento regular, monitorear los niveles de agua y evitar el desbordamiento o infiltración no controlada.).
2. Es necesario por partes de las autoridades locales explorar alternativas de tratamiento de aguas residuales que puedan ser más adecuadas para el nuevo sitio de ubicación. Esto puede incluir sistemas de tratamiento más avanzados, como biodigestores, humedales artificiales o sistemas de filtración.
3. Se debe considerar la implementación de diferentes sistemas de drenaje para manejar el exceso de aguas superficiales y subterráneas en la ladera suroeste del cerro Chachas: como pueden ser:
- Zanjas de drenaje (excavaciones lineales en la ladera) que permitan recoger y desviar el agua hacia áreas seguras (quebradas y al río Conyartuna). Se pueden construir zanjas en forma de V o U, revestidas con materiales permeables como grava o geotextiles para facilitar el drenaje. Estas zanjas ayudan a interceptar y desviar el flujo de agua antes de que se acumule y cause inestabilidad en la ladera.
 - Pozos de drenaje profundos en la ladera para captar y drenar el agua subterránea. Estos pueden estar revestidos con materiales permeables y equipados con tuberías de drenaje, para conducir el agua hacia áreas seguras o sistemas de recolección (pueden estar conectadas a las zanjas de drenaje anteriormente señalados).
 - Sistemas de drenaje subsuperficial (Estos sistemas implican la instalación de tuberías de drenaje subterráneas a diferentes profundidades en la ladera para recolectar y desviar el agua subterránea). Estas tuberías pueden estar conectadas a pozos de drenaje o a sistemas de recolección que llevan el agua hacia áreas de descarga seguras.

** Es fundamental tener en cuenta que la seguridad de la población debe ser la prioridad principal al planificar el crecimiento urbano cerca de laderas con evidencias de movimientos en masa. La colaboración entre autoridades locales, expertos en geología y urbanismo, y la comunidad en general es esencial para implementar estas recomendaciones y garantizar un desarrollo sostenible y seguro.*

*** Es importante recordar que cada ladera es única, y las prácticas agrícolas adecuadas pueden variar según las condiciones locales. Se recomienda realizar un estudio detallado de la ladera y consultar con expertos en el campo para desarrollar un plan de cultivo específico que garantice la estabilidad del terreno y promueva una agricultura sostenible.*

**** Es importante destacar que la efectividad de los sistemas de drenaje puede variar según las características específicas de la ladera y los patrones de lluvia locales. Por lo tanto, es recomendable contar con la asesoría de expertos en ingeniería geotécnica y de drenaje para determinar el sistema más adecuado y seguro para la ladera en cuestión.*

Además, es fundamental realizar un monitoreo regular para asegurarse de que los sistemas de drenaje estén funcionando correctamente y realizar mantenimiento periódico para garantizar su eficiencia a lo largo del tiempo.



Norma Luz Sosa Senticala
Especialista en peligros geológicos
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

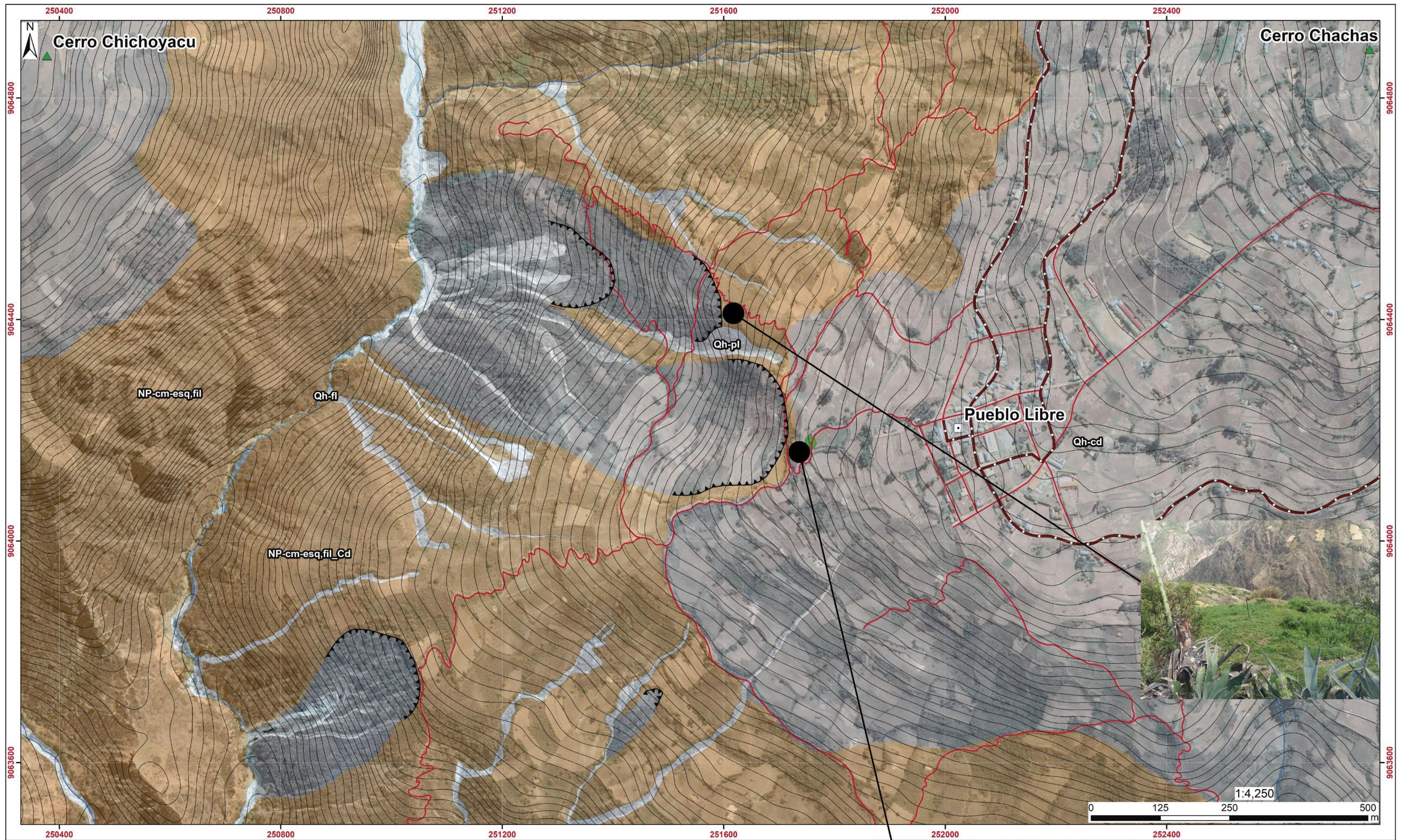


.....
ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

8. BIBLIOGRAFÍA

- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- Fuente de Datos Meteorol3gicos y Pronostico del tiempo del Servicio de Awhere. (2021). Disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/7508240>.
- Mejía Fernández (1998) – Hidrología e hidráulica, manual para el control de la erosión Manizales Colombia 1998. P 111-112
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en masa en la regi3n andina: una guía para la evaluaci3n de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicaci3n Geol3gica Multinacional, 4. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>
- Valdivia y Latorre (2003) Memoria descriptiva de la revisi3n y actualizaci3n del cuadrángulo de Abancay (28-q)- Escala 1:50 000 <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2166>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2010a) – Guía climática turística (en línea). Lima: SENAMHI, 216 p. (consulta: 03 junio 2015). Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>.
- Suárez, J. (1996) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigaci3n sobre Erosi3n y Deslizamientos, 282 p.
- Varnes, J. (1978) - Slope movements types and processes. In: SCHUSTER, L. & KRIZEK, J. Ed, Landslides analysis and control. Washington D.C. National Academy Press Transportation Research Board Special Report 176, p.

ANEXO 1: MAPAS



LEYENDA

Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósito Fluvial	Qh-fl Gravas y arenas seleccionadas en matriz limo - arenosa
			Depósito Proluvial	Qh-pl Gravas y arenas seleccionadas en matriz limo - arenosa
			Depósito coluvio-deluvial	Qh-cd Bloques, gravas y gravillas sub-angulosos en una matriz limo - arcilosa
Neoproterozoico			Complejo Marañon	NP-cm-esq.fil Esquistos y gneis cubiertos parcialmente por depósitos cuaternarios
				NP-cm-esq.fil_cd Esquistos y gneis

SIMBOLOGIA

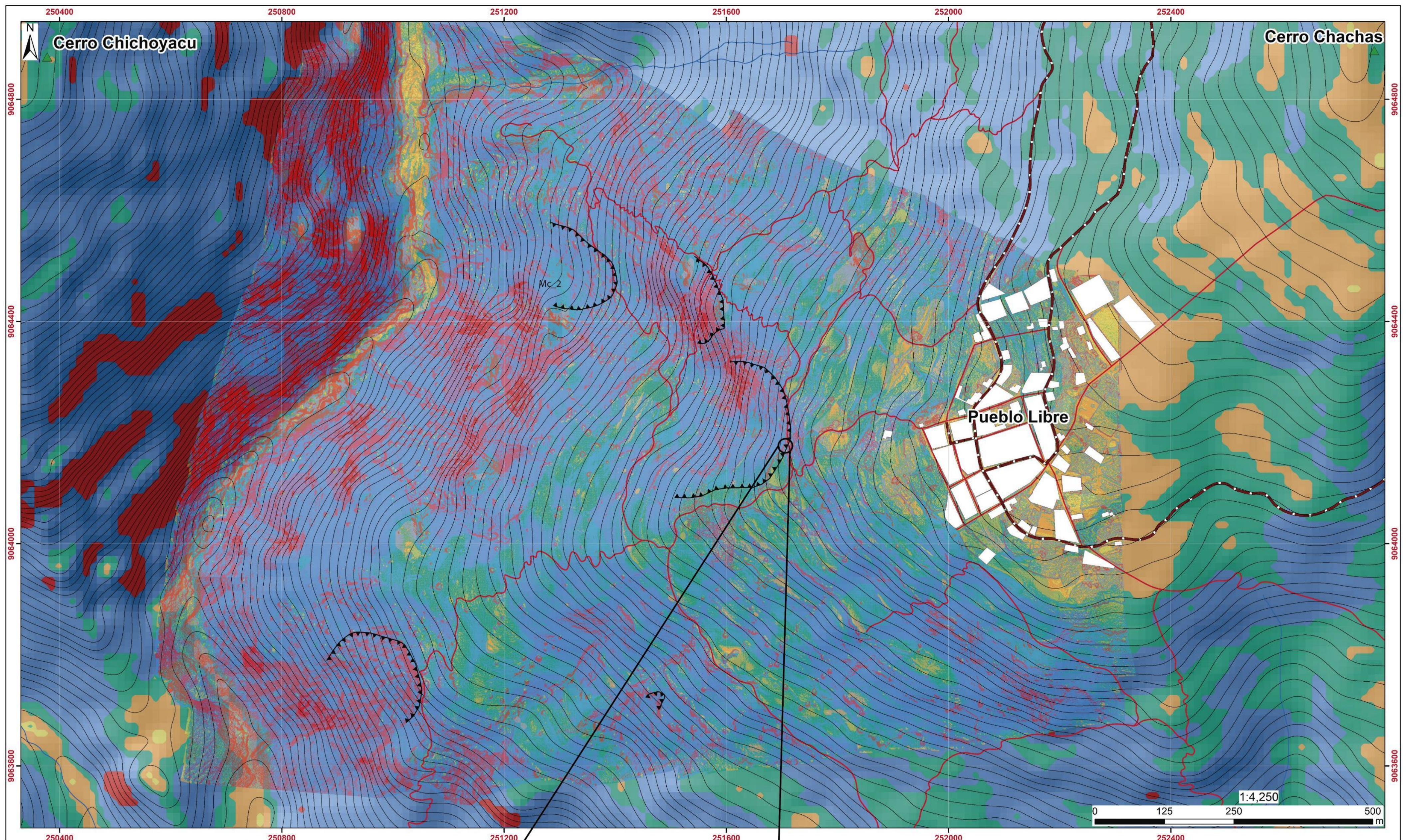
- Cerros principales
- Curvas de nivel (10 m)
- Caminos vecinales
- Vías principales (trochas carrozables)
- C.P. Pueblo Libre
- Corona de deslizamiento

INGEMMET

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL
 DEPARTAMENTO LA LIBERTAD
 PROVINCIA PATAZ
 DISTRITO HUANCASPATA

Geología de la ladera suroeste del cerro Chachas, por debajo del C.P. Pueblo Libre

Escala: 1/4 250 escala de impresión A2 Elaborado por: G.Luna **MAPA 01**
 Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84
 Versión digital 2023 Impreso: 2023
* En base al modelo DTM: Alto Patate 10.5 miljos y fotogrametría Triangulación BOES



Leyenda

Rango	Superficie Topográfica
0° - 1°	Terreno llano
1° - 5°	Terreno inclinado con pendiente suave
5° - 15°	Pendiente moderada
15° - 25°	Pendiente fuerte
25° - 45°	Pendiente muy fuerte o escarpada
>45°	terreno muy escarpado

SIMBOLOGÍA

	Cerros principales
	Curvas de nivel (10 m)
	Caminos vecinales
	Vías principales (trochas carrozables)
	C.P. Pueblo Libre
	Corona de deslizamiento

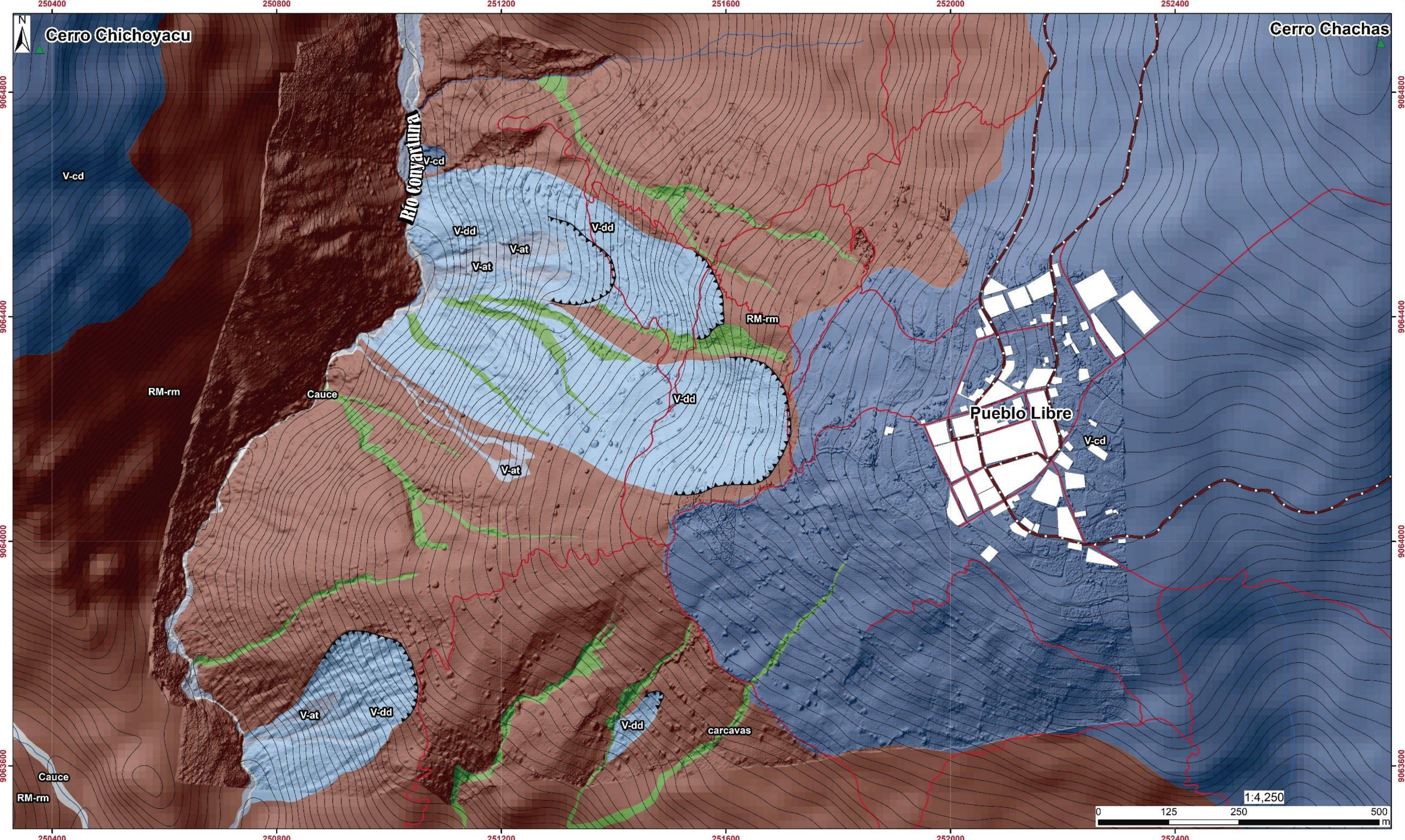


SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL
 DEPARTAMENTO LA LIBERTAD
 PROVINCIA PATAZ
 DISTRITO HUANCASPATA

Pendientes del terreno en la ladera suroeste del cerro Chachas, por debajo del C.P. Pueblo Libre

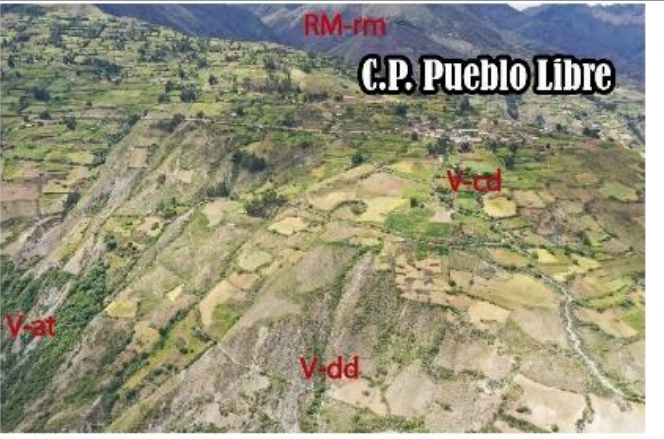
Escala: 1/4 250 escala de impresión A2 Elaborado por: G.Luna **MAPA 02**
 Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84
 Versión digital 2023 Impreso: 2023

* En base al modelo DSM, Altim. Puntos 10.3 m/sr. y fotogrametría Toposcan 1003



LEYENDA		
Unidad	Codigo	Sub-unidad
Montaña	RM-rm	En roca metamorfica
Piedemonte o vertiente de ladera	V-cd	Coluvio-deluvial
	V-dd	Con depósito de deslizamiento
	V-at	Aluvio-torrencial
Otros	Ca	Cárcavas

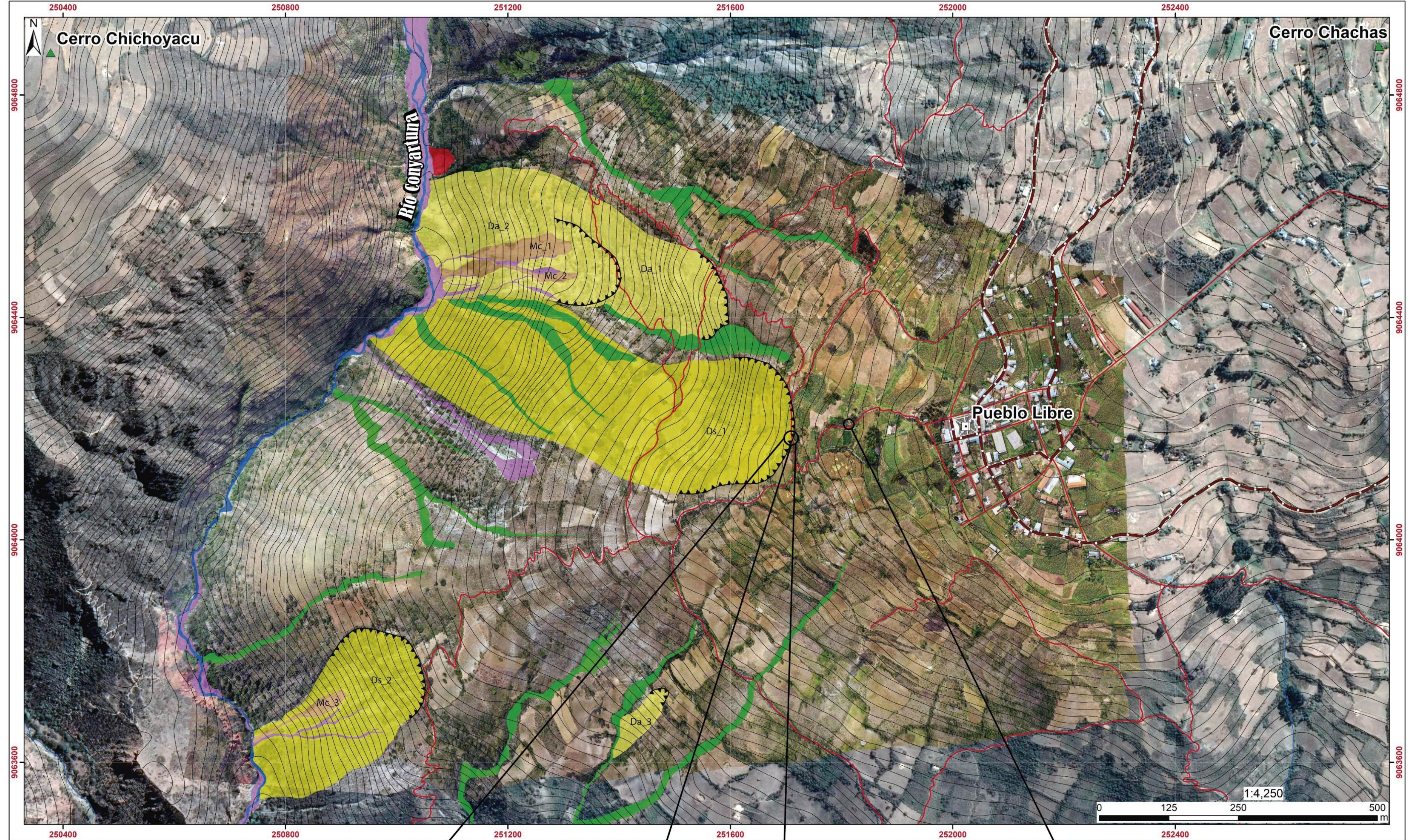
SIMBOLOGÍA	
▲	Cerros principales
~	Curvas de nivel (10 m)
~	Caminos vecinales
- -	Vías principales (trochas carrozables)
□	C.P. Pueblo Libre
.....	Corona de deslizamiento



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL
 DEPARTAMENTO LA LIBERTAD
 PROVINCIA PATAZ
 DISTRITO HUANCASPATA

Geomorfología de la ladera suroeste del cerro Chachas, por debajo del C.P. Pueblo Libre

Escala: 1/4 250 escala de impresión A2 Elaborado por: G.Luna **MAPA 03**
 Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84
 Versión digital 2023 Impreso: 2023
* Se basa en el modelo DTM Altim. Digital 10.5 m/sr y fotogrametría Copernicus 0.2m



LEYENDA

Tipo de peligro	Subtipo peligro	Estado de actividad
Movimiento en masa	Deslizamiento rotacional	Activo Da
		Suspendido Ds
	Movimiento complejo	Activo Mc
	Flujo de detritos	Activo Fd
Erosión de laderas	Derrumbe	Activo Fd
	Cárcavas	Activo Ca

SIMBOLOGÍA

	Cerros principales
	Curvas de nivel (10 m)
	Caminos vecinales
	Vías principales (trochas carrozables)
	C.P. Pueblo Libre
	Corona de deslizamiento



Escarpa del deslizamiento Ds_1



Filtraciones



Escalonamientos detras de la escarpa principal Ds_1



Pozas cépticas



Ladera suroeste del cerro Chachas

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL
 DEPARTAMENTO LA LIBERTAD
 PROVINCIA PATAZ
 DISTRITO HUANCASPATA

Cartografía de peligros geológicos en la ladera suroeste del cerro Chachas por debajo del C.P. Pueblo Libre

Escala: 1/4 250 escala de impresión A2 Elaborado por: G.Luna
 Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84
 Versión digital 2023 Impreso: 2023

MAPA 04

Mapa 3D – de delimitaciones de uso urbano, según los peligros identificados en la aldera oeste del cerrp Chachas..

