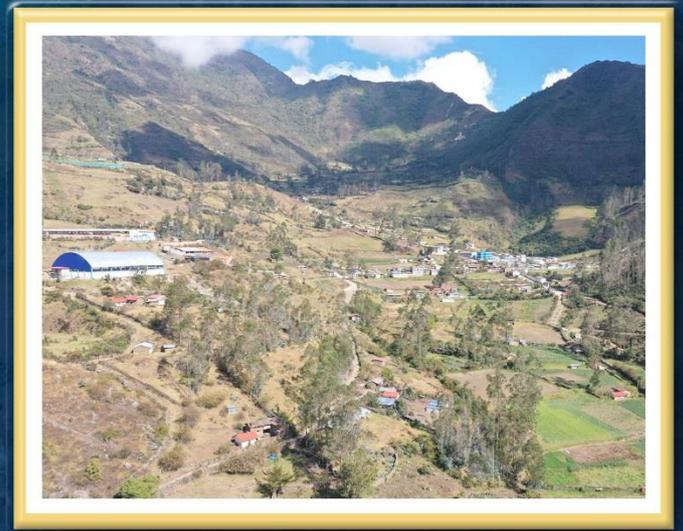


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7469

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR MILLPO Y ALREDEDORES

Departamento Huancavelica
Provincia Tayacaja
Distrito Cochabamba



ENERO
2024

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR MILLPO Y ALREDEDORES

(Distrito Cochabamba, provincia Tayacaja, departamento Huancavelica)

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

Equipo de investigación:

Mauricio A. Núñez Peredo

Norma L. Sosa Senticala

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). "Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Millpo y alrededores". Distrito Cochabamba, provincia Tayacaja, departamento Huancavelica", informe técnico N°A7469, Ingemmet 41p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Objetivos del estudio	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	2
1.3. Aspectos generales.....	4
1.3.1. Ubicación.....	4
1.3.2. Población.....	4
1.3.3. Accesibilidad.....	4
1.3.4. Clima	6
1.3.5. Zonificación sísmica	7
2. DEFINICIONES	8
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	10
3.1. Unidades litológicas.....	10
3.1.1. Complejo metamórfico de la Cordillera Oriental	10
3.1.2. Grupo Cabanillas (D-ca).....	10
3.1.3. Monzogranito Huachocolpa	11
3.1.4. Depósitos cuaternarios.....	11
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	13
4.1. Pendientes del terreno	13
4.2. Unidades geomorfológicas.....	14
4.2.1. Subunidad de montañas en rocas metamórficas (M-rm):.....	14
4.2.2. Subunidad de montañas en rocas sedimentarias (M-rs):.....	14
4.2.3. Subunidad de montañas en rocas intrusivas (M-ri):.....	15
4.2.4. Subunidad de vertiente coluvio-deluvial (V-cd):	15
4.2.5. Subunidad de vertiente coluvial (V-c):	16
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	17
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	17
5.1.1. Deslizamientos Inactivos-latentes.....	17
5.1.2. Deslizamientos reactivados	19
5.1.3. Deslizamientos activos	20
5.2. Otros peligros geológicos	23
5.2.1. Erosión en cárcavas activas.....	24
6. FACTORES DE INESTABILIDAD DE LADERAS.....	29
6.1. Factores condicionantes.....	29
6.2. Factores detonantes o desencadenantes	29

6.3. Factores antrópicos	29
7. CONCLUSIONES.....	30
8. RECOMENDACIONES.....	31
9. BIBLIOGRAFÍA.....	32
ANEXO 1: MAPAS.....	33

RESUMEN

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

El sector de Millpo y alrededores, del distrito de Cochabamba, presenta principalmente suelos inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales y coluviales), compuestos principalmente por fragmentos líticos angulosos a subangulosos, con diámetros que varían de 0.02 a 0.30 m. Estos están envueltos en una matriz de limos y arcillas, medianamente consolidados, producto de la meteorización de rocas intrusivas y removidos por deslizamientos antiguos y la acción de las aguas de escorrentía.

La principal geoforma identificada corresponde a una vertiente, con pendientes de fuerte a muy fuerte (15°- 45°), conformado por depósito de deslizamiento, originado principalmente por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes. Su composición litológica es homogénea, con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados, de corto a mediano recorrido. Estas características intrínsecas, facilitan la infiltración de las aguas pluviales y la sobresaturación del suelo por las aguas de escorrentía; por consiguiente, favorece la erosión de laderas.

Se han identificado varios procesos de movimientos en masa, desde antiguos, reactivados y activos, que deben su origen principalmente a las condiciones intrínsecas del terreno, las precipitaciones pluviales y factores antrópicos, como canales de riego sin revestimiento, mal sistema de riego y el uso inadecuado del agua de escorrentía de la misma población.

El principal evento identificado en el sector Millpo, es la cárcava activa EC-01, la cual tiene un área de influencia de ~8.0 ha; una longitud de hasta 635 m, un ancho de 110 m en la zona más amplia y una profundidad de 50 m aproximadamente. La erosión retrogresiva de la cárcava EC-01, ha generado en su margen izquierda, un deslizamiento activo (DA-02), que pone en riesgo viviendas ubicadas muy cerca del escarpe principal.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y dinámicas mencionadas anteriormente, el sector Millpo, se considera como **Zona Crítica** y de **Peligro Alto** a la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y erosión en cárcavas, susceptibles a reactivarse durante lluvias intensas y/o prolongadas.

Finalmente, se brindan algunas recomendaciones a fin de que las autoridades competentes implementen el reasentamiento de las viviendas que se encuentren al borde de la escarpa principal del deslizamiento activo DA-02 y las viviendas aledañas a la cárcava activa EC-01. También recomendamos realizar la captación y la derivación del canal de regadío, así como las aguas de escorrentía que se encuentren cerca de la erosión en cárcava; estas aguas deberán ser conducidas por medio de infraestructuras de drenaje pluvial y/o canales revestidos, hacia cauces naturales (quebradas), ubicadas lejos de las zonas inestables, entre otros.

1. INTRODUCCIÓN

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

Atendiendo la solicitud del Gobierno Regional de Huancavelica, según Oficio N°189-2023/GOB.REG.HVCA/GR-ORDNSCGRDyDS; es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa y otros peligros geológicos en el sector Millpo, del distrito de Cochabamba.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Mauricio Núñez Peredo y Norma Sosa Senticala, realizar la evaluación de peligros geológicos respectiva, la cual se realizó el día 08 de agosto del 2023 en coordinación con las autoridades locales del distrito de Cochabamba.

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

Este informe se pone a consideración del Gobierno Regional de Huancavelica y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

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

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

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

- A) Boletín N°69, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro Geológico en la región Huancavelica” (Vílchez *et al.*, 2019). Este estudio detalla la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa (deslizamientos, flujos de detritos, etc.), peligros geohidrológicos (inundación y erosión fluvial) y los denominados otros peligros geológicos (hundimientos y erosión de laderas). En la región Huancavelica identificaron 1740 ocurrencias de peligros geológicos, entre las que destacan con un mayor número de ocurrencias los derrumbes, flujos de detritos, caídas de rocas, deslizamientos, etc. También identificaron 45 zonas críticas en toda la provincia de Huancavelica.

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

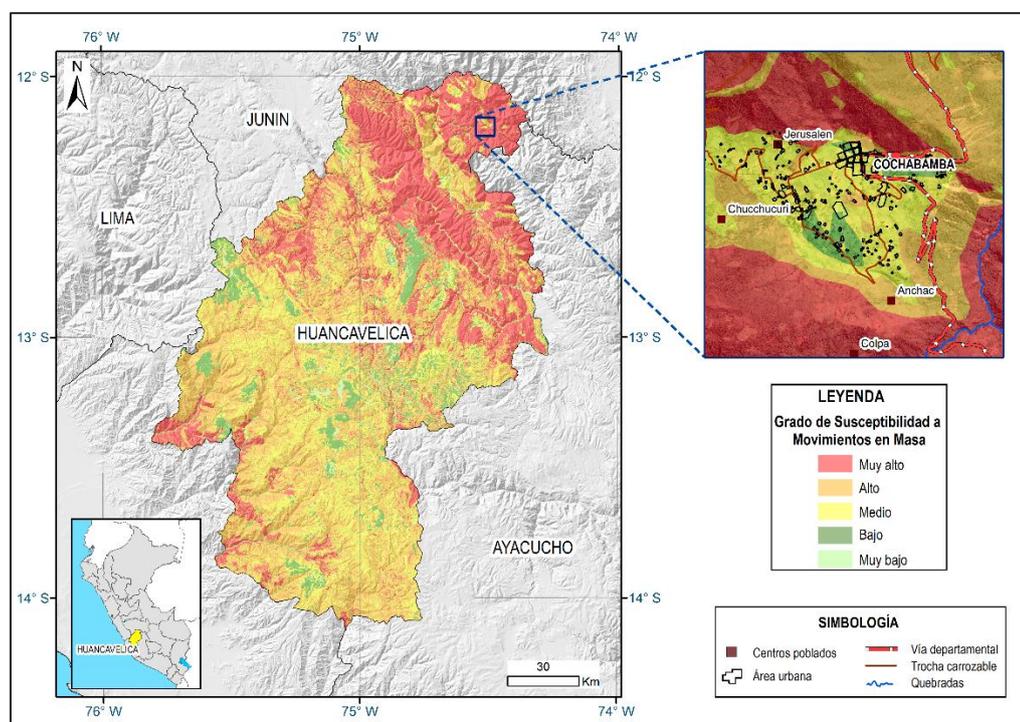


Figura 1: Susceptibilidad por movimientos en masa de la localidad de Cochabamba y alrededores. **Fuente:** Vílchez *et al.*, 2019

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

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El sector Millpo se ubica en la margen izquierda de la quebrada San Antonio. Políticamente pertenece al distrito Cochabamba, provincia Tayacaja, departamento de Huancavelica (figura 2).

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

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	554015.6519	8652320.561	-12.19060053°	-74.50345621°
2	554017.6065	8650946.481	-12.20302619°	-74.50341511°
3	551880.5081	8650943.441	-12.20308839°	-74.52306096°
4	551878.5535	8652317.521	-12.19066269°	-74.52310115°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
	553546.2813	8651806.604	-12.19525594°	-74.50776226°

1.3.2. Población

Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, la localidad de Cochabamba presenta una población censada de 905 habitantes distribuidos en un total de 394 viviendas particulares.

Tabla 2: Distribución poblacional en la localidad de Cochabamba.

DISTRITO	POBLADO	POBLACIÓN	VIVIENDA
COCHABAMBA	Cochabamba	905	394

1.3.3. Accesibilidad

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

Tabla 3. Ruta de acceso.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – Huancayo	Asfaltada	307	7 horas 05 min
Huancayo – Colcabamba	Asfaltada	125	3 horas 20 min
Colcabamba – Tintay Puncu	Asfaltada-afirmada	100	3 horas 45 min
Tintay Puncu – Cochabamba	Trocha carrozable	5	0 horas 20 min

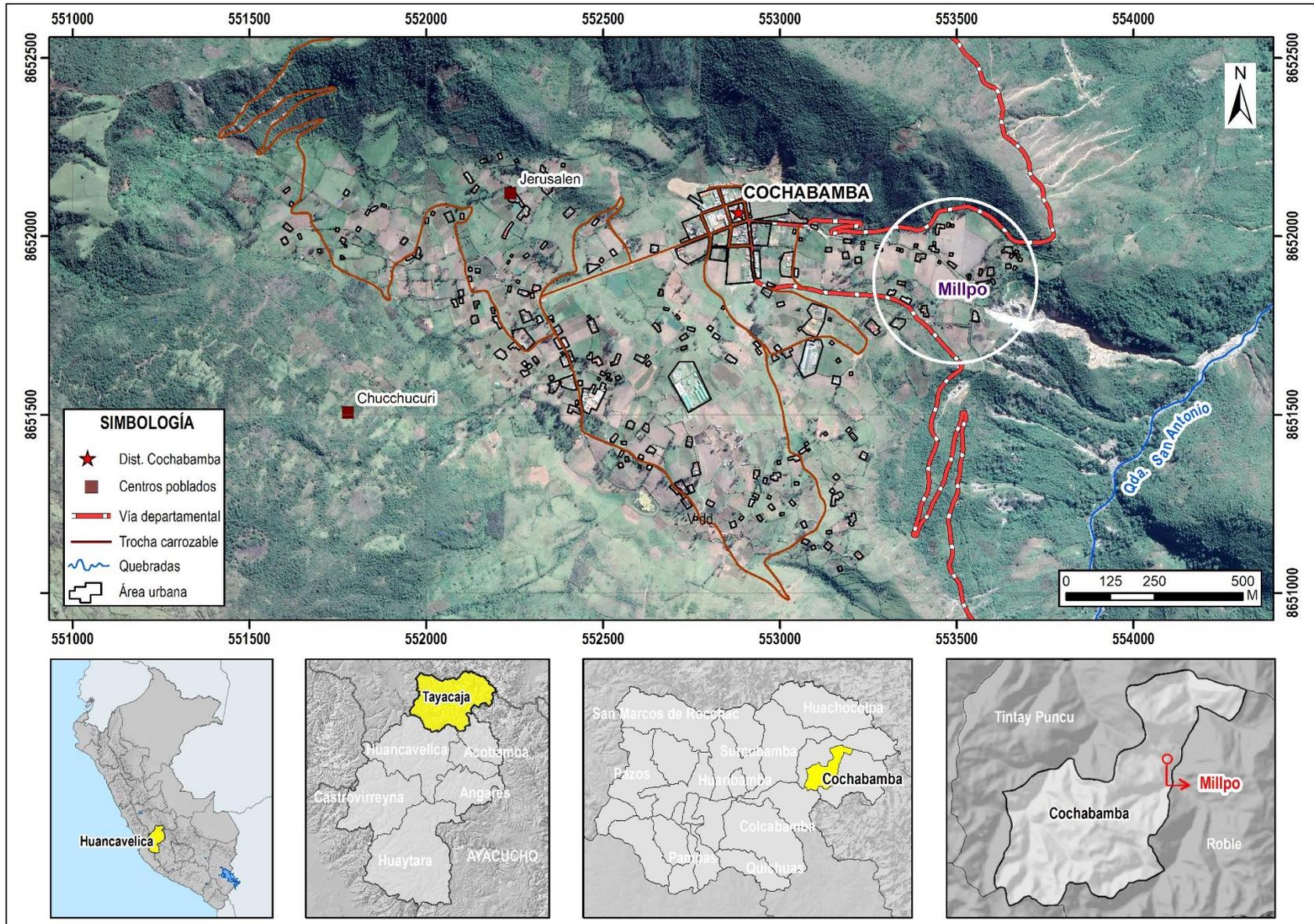


Figura 2: Mapa de ubicación del sector Millpo. Distrito Cochabamba, provincia Tayacaja, departamento Huancavelica.

1.3.4. Clima

Según la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), el distrito de Cochabamba presenta un clima templado muy lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como húmeda.

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

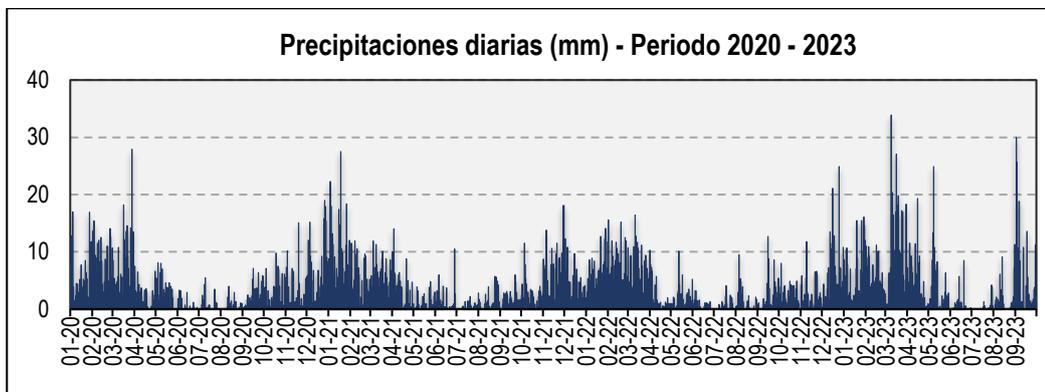


Figura 3. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2020-2023. La figura permite analizar la frecuencia de las anomalías en las precipitaciones pluviales que inducen al desarrollo de la erosión del suelo. Fuente: Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/9686593>.

La temperatura anual oscila entre un máximo de 21.0°C en verano y un mínimo de -1.0°C en invierno (figura 4). Así mismo, presenta una humedad promedio de 67.5% durante casi todo el año, (Servicio aWhere).

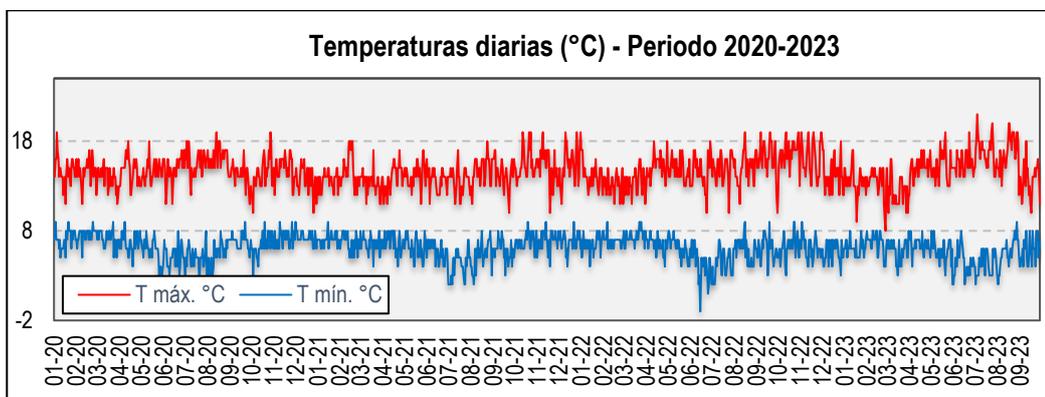


Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo 2020-2022. La figura permite analizar la variedad, saltos extremos de temperatura, duración y regularidad. Fuente: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/9686593>.

1.3.5. Zonificación sísmica

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

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

Tabla 4. Factores de zona Z.

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

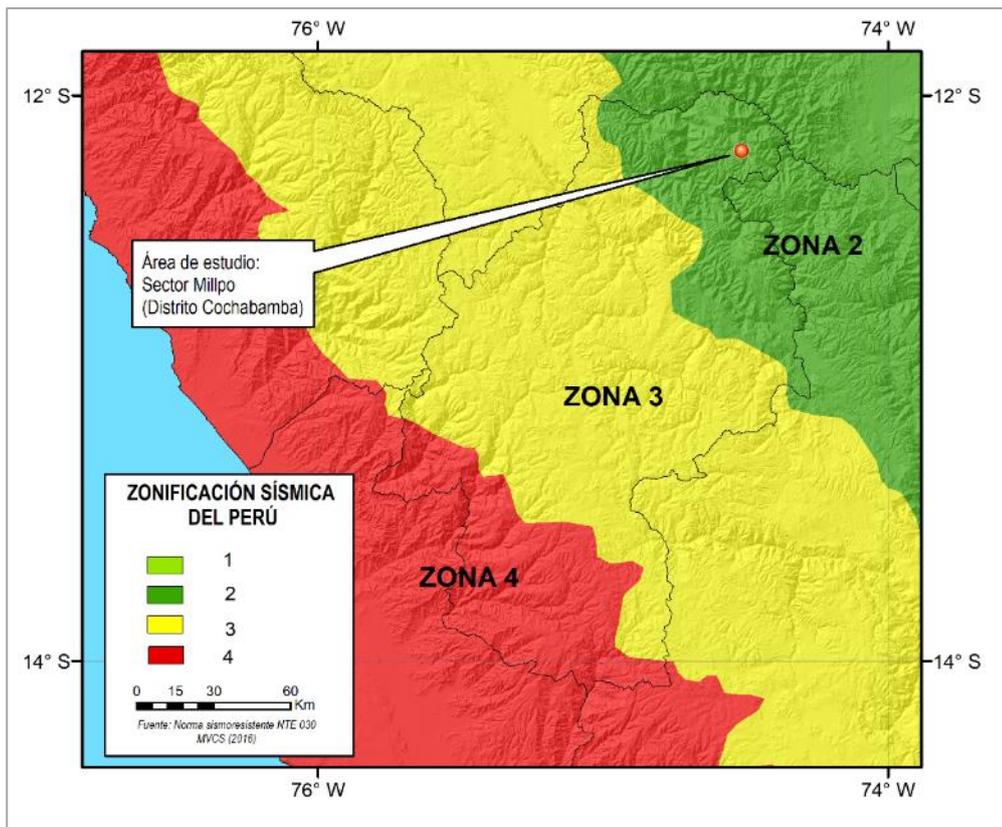


Figura 5. Zonificación sísmica del Perú.

Fuente: Norma sismorresistente NTE 030 MVCS, 2016.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos; es por ese motivo, considerando como base el libro de “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), se desarrolla algunas definiciones relevantes en términos sencillos como son:

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

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

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

CÁRCAVA: Tipo de erosión concentrada en surcos que se forma por el escurrimiento de las aguas sobre la superficie de las laderas.

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: Es un movimiento, ladera abajo, de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Varnes (1978) clasifica los deslizamientos según la forma de la superficie de falla por la cual se desliza el material, en traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales, a su vez, pueden ser planares y/o en cuña.

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 O 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.

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

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

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

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

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

MOVIMIENTO EN MASA: Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. Los tipos más frecuentes son: caídas, deslizamientos, flujos, vuelcos, expansiones laterales, reptación de suelos, entre otros. Existen movimientos extremadamente rápidos (más de 5 m por segundo) como avalanchas y/o deslizamientos, hasta extremadamente lentos (menos de 16 mm por año) a imperceptibles como la reptación de suelos.

PELIGROS GEOLÓGICOS: Son procesos o fenómenos geológicos que podrían ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud. Daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y servicios, trastornos sociales y económicos o daños materiales. Pueden originarse al interior (endógenos) o en la superficie de la tierra (exógenos). Al grupo de endógenos pertenecen los terremotos, tsunamis, actividad y emisiones volcánicas; en los exógenos se agrupan los movimientos en masa (deslizamientos, aludes, desprendimientos de rocas, derrumbes, avalanchas, aluviones, huaicos, flujos de lodo, hundimientos, entre otros), erosión e inundaciones.

REACTIVADO: Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable o sin movimiento por algún periodo de tiempo.

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

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

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

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

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

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

3.1. Unidades litológicas

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

3.1.1. Complejo metamórfico de la Cordillera Oriental

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

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

Esquistos, metasedimentarios y mármol (PE-em/es/cu):

Se distribuyen en una franja alargada con rumbo NO-SE. Estas rocas se presentan como un conjunto metamórfico de bajo grado, compuesta principalmente por metasedimentitas donde se puede observar aun la estratificación compuesta por niveles de areniscas; presentan muscovitas bien desarrolladas, de color gris amarillenta, grano medio intercaladas con filitas, grano fino, completan esta secuencia esquistos micáceos intercalados con una gruesa secuencia de mármol en capas gruesas de más de un metro de grosor.

3.1.2. Grupo Cabanillas (D-ca)

Se distribuye ampliamente a manera de franja alargada con dirección NO-SE. Litológicamente, está compuesto por limoarcillitas oscuras pizarrosas con estructura lutácea en capas delgadas, bastante fisibles, intercaladas con capas delgadas de areniscas de grano fino a medio y limoarcillitas en capas gruesas a masivas de tonalidad verdosa. Las rocas sedimentarias de este grupo son del Devónico inferior (Cerrón & Ticona, 2003).

3.1.3. Monzogranito Huachocolpa

Este cuerpo de naturaleza monzogranítica, afloran al NE del área de estudio. Se presenta a manera de stock de forma elíptica, intruyendo a las pelitas del Grupo Cabanillas y a secuencias metamórficas hacia el este (Cerrón & Ticona, 2003).

Macroscópicamente, la roca presenta una textura gruesa, con cristales subhedrales, inequigranulares, bien desarrollados de color blanco lechoso, producto de la gran cantidad de cuarzo (figura 6).

En general, estas rocas intrusivas presentan una resistencia media (50-100 Mpa), en sectores se presenta medianamente fracturadas; además la roca se muestra moderadamente meteorizada.

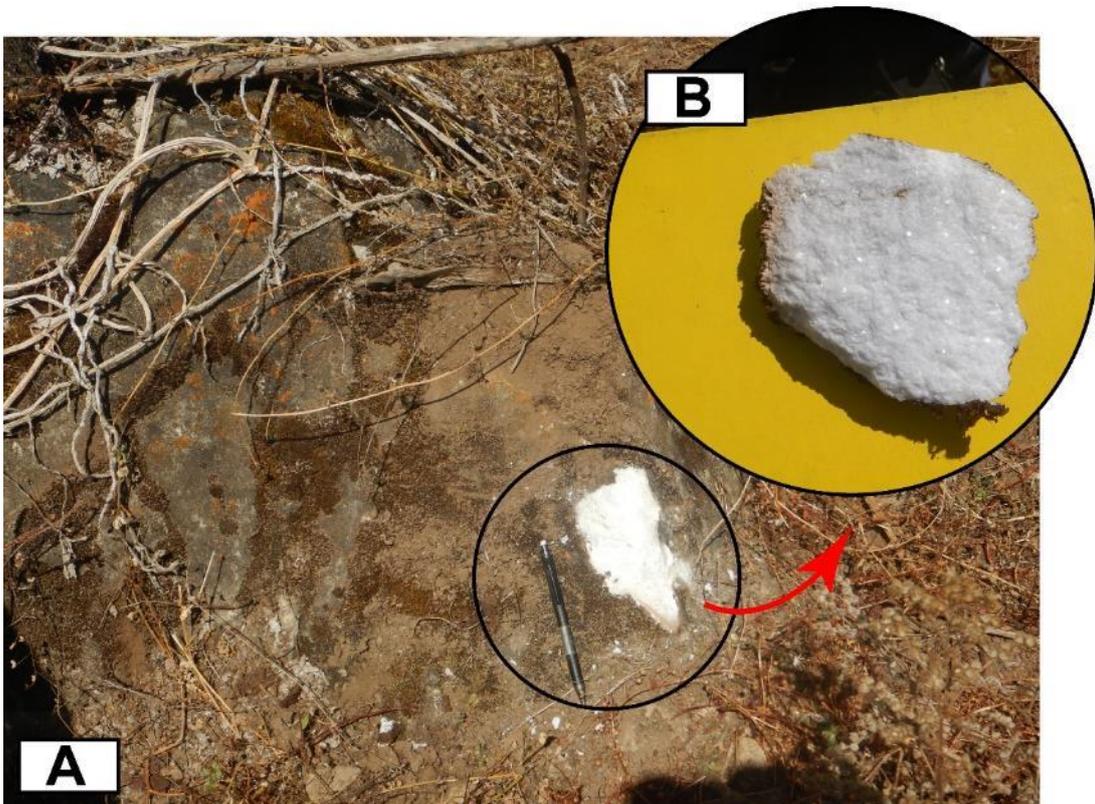


Figura 6. A. Vista de una roca intrusivas de naturaleza monzogranítico, observado en los alrededores de la zona evaluada. B. Muestra de mano, donde se evidencia la textura gruesa y los cristales bien desarrollados de color blanco lechoso, producto de la gran cantidad de cuarzo que presenta la roca.

3.1.4. Depósitos cuaternarios

a. Depósito coluvio-deluvial (Q-cd):

Corresponde a una acumulación sucesiva y alternada de materiales de origen coluvial y deluvial, los cuales no es posible diferenciarlos. Se localizan en forma caótica al pie de laderas por acción de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía. Están compuestos por fragmentos líticos, angulosos a subangulosos

con diámetros que varían de 0.02 a 0.30 m envueltos en una matriz de limos y arcillas, medianamente consolidados.

En conjunto, por su naturaleza son susceptibles a la erosión pluvial, remoción y generación de flujos de detritos (huaicos), y cuando son el resultado de antiguos movimientos en masa son susceptibles a reactivaciones detonadas por precipitaciones pluviales o al realizar modificaciones en sus taludes naturales.

b. Depósito coluvial (Q-co):

Son depósitos inconsolidados, compuestos por fragmentos de roca angulosos, heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, en forma de canchales (fotografía 1). Los bloques más gruesos se depositan en la base y los tamaños menores disminuyen gradualmente hacia el ápice. Carecen de relleno, son sueltos sin cohesión. Conforman taludes de reposo poco estables; se encuentran acumulados al pie de taludes escarpados; generalmente corresponde a depósitos de derrumbes, caídas de rocas y deslizamientos.



Fotografía 1. Vista de depósitos coluvial (Q-co), formando por fragmentos de roca angulosos, heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, en forma de canchales. Carecen de relleno, son sueltos sin cohesión.

c. Depósito fluvial (Q-fl)

Son depósitos heterométricos constituidos por bolos, cantos y gravas subredondeadas en matriz arenosa o limosa, mezcla de lentes arenosos y arenolimosos. Son transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias en el fondo de los valles y depositados en forma de terrazas o playas, removibles por el curso actual del río y ubicados en su llanura de inundación.

Son depósitos inconsolidados a poco consolidados hasta sueltos, fácilmente removibles, cuya permeabilidad es alta. En la zona de estudio se encuentra este tipo de depósito en el lecho de la quebrada San Antonio.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

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

En el anexo 1: Mapa 02, se presenta el mapa de pendientes elaborado en base a información de un modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución obtenido del conjunto de datos Alos Palsar que se proporciona a través del proyecto: “Sistema de Información y Datos de Ciencias de la Tierra” (ESDIS) de la NASA.

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

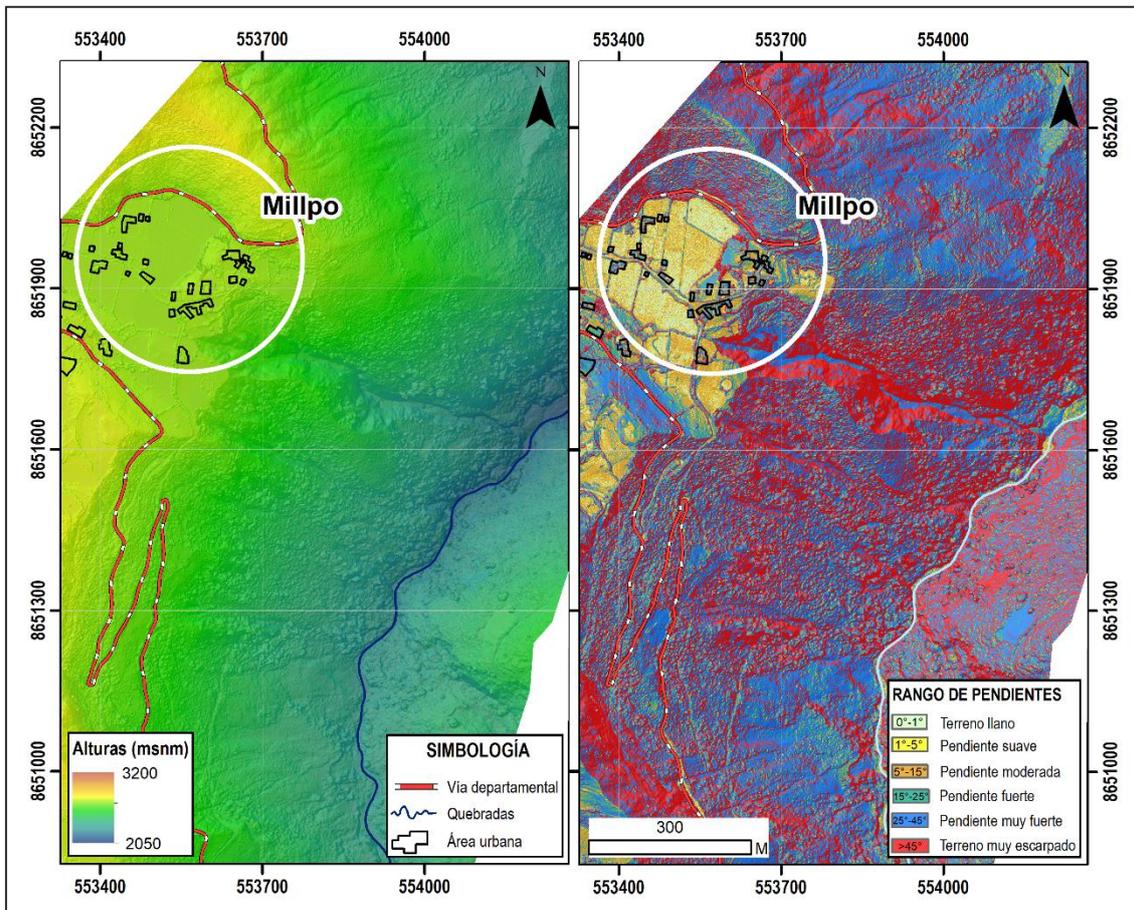


Figura 7. Alturas del terreno (Izquierda) y pendientes del terreno (derecha); generado en base al modelo de elevación digital, resultado del levantamiento fotogramétrico con dron.

4.2. Unidades geomorfológicas

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

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

A) Unidad de montañas

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

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

Corresponde a las cadenas montañosas donde los procesos denudativos (fluvio-erosionales) afectaron rocas metamórficas (fotografía 2). Estas montañas presentan laderas con pendientes fuerte a muy fuerte (15° a 45°).

Por la configuración geomorfológica de estas, se les considera susceptibles a derrumbes, deslizamientos y erosión de laderas.



Fotografía 2. Vista de subunidad geomorfológica de montañas, modeladas en rocas metamórficas, susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa como deslizamientos.

4.2.2. Subunidad de montañas en rocas sedimentarias (M-rs):

Estas geformas, litológicamente están formadas por rocas sedimentarias de tipo limoarcillitas oscuras pizarrosas, areniscas de grano fino a medio y limoarcillitas de tonalidad verdosa (fotografía 3).

Estas montañas presentan laderas con pendientes moderadas a muy fuerte (15° a 45°), incluso llegan a tener paredes semiverticalizadas de pendientes mayores a 45°.



Fotografía 3. Vista de subunidad geomorfológica de montañas modelas en rocas sedimentarias, cuyas laderas presentan pendientes moderadas a muy fuerte (15° a 45°).

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

Corresponde a la subunidad geomorfológica de montañas modeladas en afloramientos de rocas intrusivas de naturaleza monzogranítica, reducidos por procesos denudativos, se encuentran conformando elevaciones alargadas y de pendiente alta a muy alta.

Por su configuración geomorfológica, se les considera susceptibles a caídas de rocas, derrumbes, deslizamientos y erosión de laderas.

B) Unidad de Vertiente

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

4.2.4. Subunidad de vertiente coluvio-deluvial (V-cd):

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

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

4.2.5. Subunidad de vertiente coluvial (V-c):

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

Esta subunidad corresponde a la combinación de geoformas formadas por la acumulación de depósitos de movimientos en masa (prehistóricos, antiguos y recientes) y acumulaciones de material movilizado por la escorrentía superficial que se acumulan lentamente.

4.2.6. Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

Zonas de acumulaciones en ladera originadas por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes. Generalmente su composición litológica es homogénea; con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados, de corto a mediano recorrido. Su morfología es usualmente convexa y su disposición es semicircular a elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

Estas geoformas se observaron cómo cuerpos de deslizamientos antiguos y recientes (figura 8) depositadas en las laderas superiores, donde las pendientes van de fuerte a muy fuerte (15°- 45°).

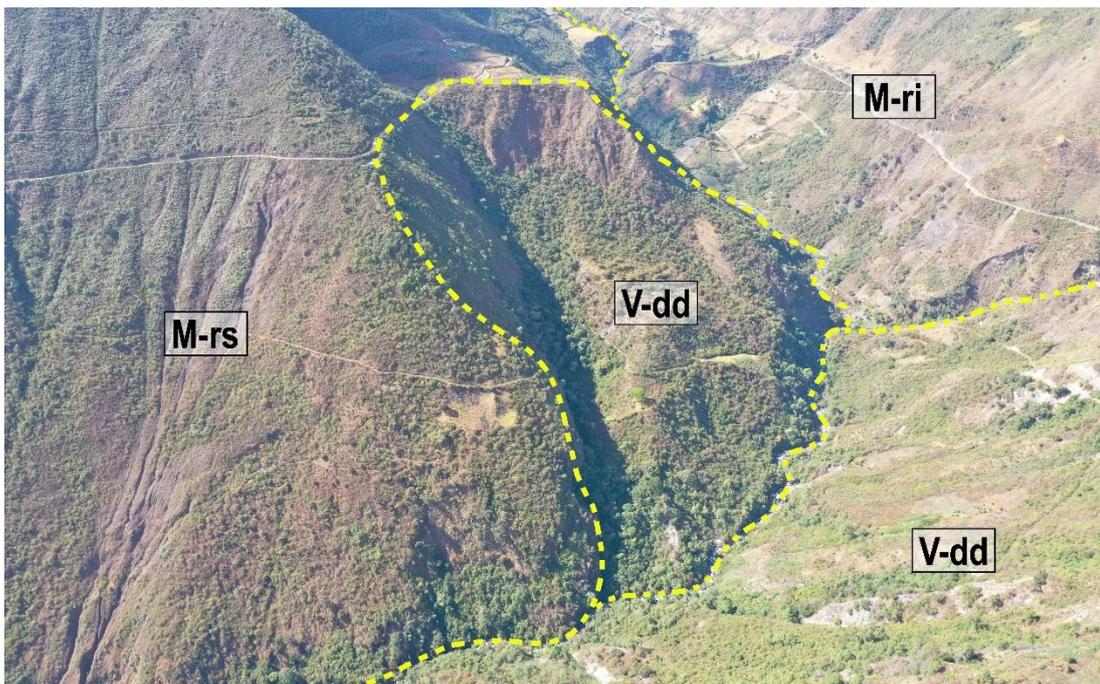


Figura 8. Vista de las subunidades de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd), observados como dos cuerpos de deslizamiento recientes, depositados hacia ambas márgenes de la quebrada San Antonio.

4.2.7. Subunidad de terraza fluvial (T-f)

Superficies bajas, adyacentes a los fondos de valles principales y al mismo curso fluvial, sujetas a inundaciones recurrentes, ya sean estacionales o excepcionales. Morfológicamente se distinguen como terrenos planos compuestos de material gravo-arenoso con limos, no consolidado y removible con cada subida estacional del caudal de la quebrada San Antonio.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en el sector Millpo y alrededores del distrito de Cochabamba, corresponden a movimientos en masa, tipo deslizamientos, derrumbes y otros peligros geológicos de tipo erosión en cárcava; activos (DA), reactivados (DR) e inactivos latentes (DIL) (anexo 1: Mapa 4).

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

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

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

A continuación, se describen, según su tipo y actividad los siguientes:

5.1.1. Deslizamientos Inactivos-latentes

Al noroeste y suroeste de Millpo y Cochabamba, se han identificado, por medio de la interpretación de imágenes satelitales, la presencia de grandes depósitos de movimientos en masa, tipo deslizamiento rotacional (figura 9), con escarpes antiguos visibles, cuya masa desplazada muestra avances con dirección preferente al noreste y sureste, hacia el cauce de la Quebrada San Antonio.

Estos movimientos corresponden a masas deslizadas que se suscitaron en el pasado y en la actualidad mantienen las condiciones que los han generado; los cuales han comprometido suelos de naturaleza coluvio-deluvial y la porción superficial y fracturada del substrato rocoso conformada por esquistos y filitas del Complejo metamórfico de la Cordillera Oriental.

El terreno sobre el cual se asienta la población de Cochabamba, está conformado por un evento de considerable magnitud, cuenta con un escarpe principal erosionado y varias reactivaciones a lo largo del tiempo (tabla 5) y en cuyos depósitos actualmente se viene desarrollado actividades de cultivo y poblacional.

Tabla 5. Ubicación y área de los deslizamientos inactivo-latentes identificado en el área estudio.

Tipo de peligro geológico	Actividad	Área (ha)	Código	Coordenadas	
				Este	Norte
Deslizamiento rotacional	Inactivo latente	167.70	DIL-01	552483.937	8651201.7
	Inactivo latente	62.69	DIL-02	551918.236	8652262.39
	Inactivo latente	102.80	DIL-03	552666.302	8652441.03
	Inactivo latente	6.33	DIL-04	554370.804	8651076.83

El principal evento (**DIL-1**) se ubica al suroeste, con un área de aproximadamente 168 ha. La topografía irregular y cóncava-convexa que presenta la ladera, permitió identificar la presencia de una cicatriz de deslizamiento antiguo, de aproximadamente 2000 m de ancho (figura 9).

La geometría de la corona del movimiento tiene forma semicircular y elongada, abierta hacia sus dos extremos. La masa deslizada empieza con un ancho promedio de 2500 m, y una longitud de 2000 m aproximadamente, la cual se movilizó sobre una superficie de falla aparentemente rotacional, cuyo vector de desplazamiento presenta una dirección preferente al noreste (en dirección a la población de Cochabamba).

La existencia de este deslizamiento antiguo se evidencia por la morfología de la ladera, el cual presenta una topografía ondulada; además, de un escarpe principal de forma irregular y continua con una longitud de ≈ 2200 m, saltos verticales no visibles y pendientes del terreno entre 35° a 55°

Este deslizamiento presenta en la actualidad una reactivación en su cuerpo (**DR-01**), condicionados principalmente por la fuerte pendiente y los factores intrínsecos propios del terreno (substrato rocoso de mala calidad, naturaleza de suelo incompetente, material de remoción antiguo, susceptible y la morfología del terreno).



Figura 9. Vista panorámica del deslizamiento inactivo-latente **DIL-01**, demarcado por la presencia de una cicatriz de deslizamiento antiguo y erosionado de ≈ 2200 m de longitud y cuyo movimiento muestra una dirección preferente al noreste, en dirección a la población de Cochabamba. Hacia su margen izquierda se puede visualizar una reactivación **DR-01**, como un evento posterior y condicionado principalmente por los factores intrínsecos propios del terreno.

5.1.2. Deslizamientos reactivados

Dentro del área de estudio, hacia las laderas que bordean la población del distrito de Cochabamba, se han identificado hasta cuatro procesos de movimientos en masa de tipo deslizamiento, que han sido producto de reactivaciones a partir de otros eventos antiguos y dispuestos sobre estos mismos.

La ubicación y el área que ocupan estos eventos, se detallan en la siguiente tabla 6; así mismo, se muestran en el anexo 1: Mapa 4.

Tabla 6. Ubicación y área de los deslizamientos reactivados identificado en el área estudio.

Tipo de peligro geológico	Actividad	Área (ha)	Código	Coordenadas	
				Este	Norte
Deslizamiento rotacional	Reactivado	98.55	DR-01	551547.42	8651474.90
	Reactivado	15.59	DR-02	551344.70	8652171.54
	Reactivado	10.89	DR-03	553741.88	8650784.86
	Reactivado	6.32	DR-04	554145.97	8650907.28

Así estos deslizamientos se pueden agrupar en aquellos suscitados en la margen izquierda (DR-01, 02 y 03) y derecha de la quebrada San Antonio (DR-04).

El principal deslizamiento reactivado (**DR-01**) se ubica al oeste de la zona de evaluación, con un área de aproximadamente 99 ha, cuya masa deslizada se adosa a la ladera y el cual estaría afectando terrenos de cultivos que se desarrollan sobre esta (figura 10).

La geometría de la corona del movimiento reactivado tiene un escarpe principal de forma irregular y continua con una longitud de 1300 m, un ancho de 890 m y una distancia entre la corona y pie de 1370 m, desplazada sobre una superficie de terreno con una pendiente entre 25° a 45°. La masa deslizada se moviliza sobre una superficie de falla rotacional con una velocidad aparentemente lenta y un vector de movimiento con dirección preferentemente al este (con tendencia hacia la población de Cochabamba).

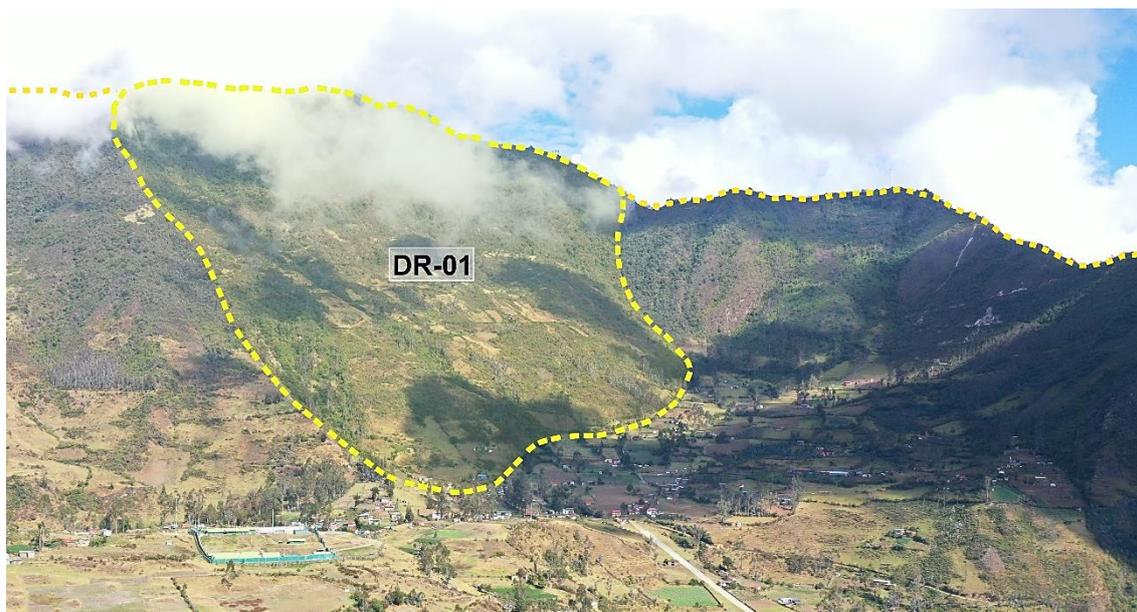


Figura 10. Vista del deslizamiento reactivado **DR-01**, con un área aproximada de 99 ha y caracterizado por un escarpe principal de forma irregular y continua de 1300 m de longitud. Actualmente se desarrolla actividades de cultivos sobre el cuerpo deslizado.

El deslizamiento reactivado (**DR-02**) parece ser un evento posterior y de menor magnitud, que inicia en la ladera al noroeste de la población, con un área de aproximadamente 15.59 ha y en cuyo depósito actualmente se viene desarrollando actividades agrícolas (figura 11).

La existencia de este deslizamiento, se evidencia por la morfología de la ladera, el cual presenta una superficie muy variada (escalonada a cóncavo-convexa), además de un escarpe principal de forma irregular y continua con una longitud de ≈ 470 m, un ancho de 390 m y una distancia entre la corona y pie de 520 m, desplazada sobre una superficie de terreno con una pendiente entre 35° a 55° .

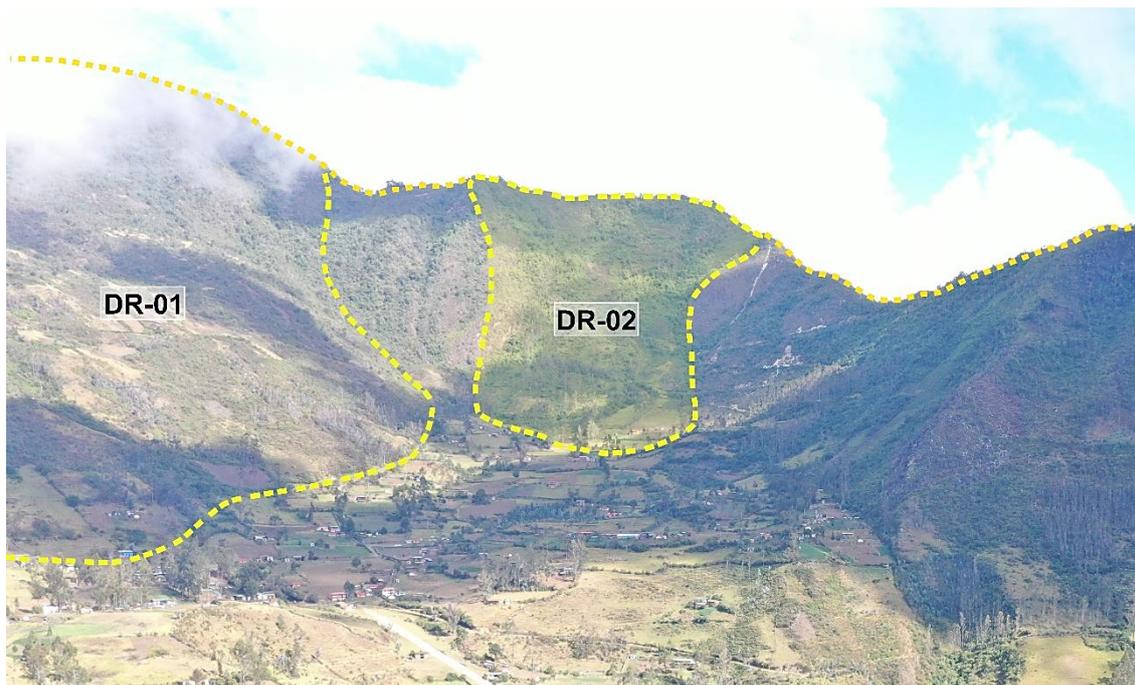


Figura 11. Vista del deslizamiento reactivado **DR-02**, con un área menor de aproximada de 15.59 ha y caracterizado por un escarpe principal de forma irregular y continua de ≈ 470 m de longitud. Actualmente se viene desarrollando actividades agrícolas sobre el cuerpo deslizado.

5.1.3. Deslizamientos activos

Las evidencias geomorfológicas-geodinámica vistas en campo, permitieron identificar hasta 3 deslizamientos activos; es decir que actualmente estos eventos se están moviendo, bien sea de manera continua o intermitente (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

La ubicación y el área que ocupan estos eventos, se detallan en la siguiente tabla 7; así mismo, se muestran en el anexo 1: Mapa 4.

Tabla 7. Ubicación y área de los deslizamientos activos identificado en el área estudio.

Tipo de peligro geológico	Actividad	Área (ha)	Código	Coordenadas	
				Este	Norte
Deslizamiento rotacional	Activado	34.26	DA-01	553622.57	8651154.23
	Activado	0.99	DA-02	553679.40	8651861.74
	Activado	0.76	DA-03	552999.87	8652211.12

El deslizamiento activo **DA-01** se ubica al sur del sector Millpo, caracterizado por presentar un escarpe principal de forma irregular y continua. Hacia la parte media e inferior del cuerpo del deslizamiento, se viene registrando varios procesos de erosión en cárcavas condicionados principalmente por la fuerte pendiente del terreno y las aguas de escorrentía pluvial.

La geometría de la corona del movimiento tiene forma semicircular y elongada, abierta hacia sus dos extremos. El escarpe principal tiene una longitud de 875 m, un ancho de 720 m y una distancia entre la corona y pie de 690 m, desplazada sobre una superficie de terreno con una pendiente muy fuerte (25°- 45°).

La masa deslizada se moviliza sobre una superficie de falla rotacional con una velocidad de movimiento aparentemente muy lenta y un vector de movimiento hacia el este, con dirección hacia la quebrada San Antonio (figura 12).

Los factores detonantes o desencadenantes como son las lluvias intensas y/o prolongadas, los canales de regadío sin revestir y la infiltración de las aguas de escorrentía; pueden acelerar el movimiento y como consecuencia podría afectar la vía departamental que pasa por el cuerpo del deslizamiento en un tramo de 1.5 km.

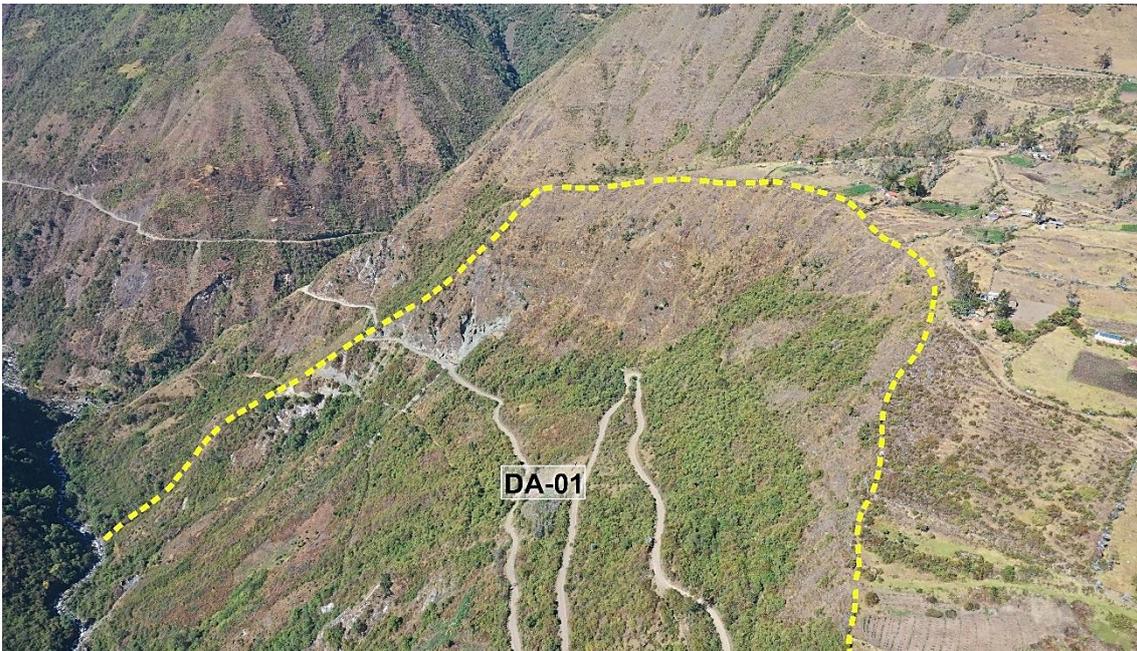


Figura 12. Vista del deslizamiento activo **DA-01**, ubicado al sur del sector Millpo, cuya masa deslizada se moviliza con una velocidad aparentemente muy lenta hacia la quebrada San Antonio. Este evento podría afectar la vía departamental ubicada en el cuerpo del deslizamiento.

El deslizamiento **DA-02** se ubica en el sector Millpo, ocupando un área menor, estimada en 0.99 ha. Se caracteriza por presentar un escarpe principal de forma semicircular y continua de 135 m de longitud, un ancho de 110 m y una distancia entre la corona y pie de 80 m.

Este evento se encuentra condicionado principalmente por el avance progresivo de la erosión en cárcava (**EC-01**) ubicado al pie del deslizamiento (figura 13); estos procesos activos van dejando áreas inestables del terreno circundante a estos, como es el caso de una vivienda que actualmente se encuentra ubicada a solo 1.5 m de la escarpa principal (figura 14).



Figura 13. Deslizamiento activo **DA-02**, ubicado en el sector Millpo, condicionado principalmente por el avance progresivo de la erosión en cárcava (**EC-01**) ubicado al pie deslizamiento y que pone en riesgo a viviendas ubicadas cerca del escarpe principal.



Figura 14. Vivienda ubicada al borde de la escarpa principal del deslizamiento activo **DA-02**, la cual se encuentra a solo a 1.5 m.

Por las condiciones actuales que presenta el deslizamiento, es considerado como un movimiento activo y latente, con actividad retrogresiva hacia el nor-noroeste. Si bien es cierto el movimiento es de velocidad lenta, pero las lluvias intensas y/o prolongadas, los canales de regadío sin revestir; así como la infiltración de las aguas de escorrentía, puede acelerar su proceso; y, por lo tanto, las viviendas que se encuentren ubicadas cerca del borde de la escarpa principal se encuentran en peligro muy alto.

El deslizamiento **DA-03** se ubica cerca de la población de Cochabamba, a 185 m en dirección al noreste de la plaza principal (figura 15). Este evento se encuentra claramente diferenciado por la remoción del material deslizado al pie de la ladera, estimándose un área de influencia en aproximadamente 0.76 ha y afectado 40 m de un campo deportivo.

La geometría de la corona del movimiento tiene una forma elongada e irregular, abierta hacia sus dos extremos, el escarpe principal se muestra de forma irregular y continua con una longitud de 105 m, un ancho de 85 m y una distancia entre la corona y pie de 105 m saltos verticales no visibles y desplazada sobre una superficie de terreno con una pendiente fuerte a muy fuerte (25° a 35°).



Figura 15. Vista del deslizamiento DA-03, claramente diferenciado por la remoción del material deslizado al pie de la ladera y afectando parte del campo deportivo de Cochabamba.

5.2. Otros peligros geológicos

Las características geomorfológicas, litológicas y aspectos geodinámicos propios del área de estudio, la hacen susceptible de otros procesos geológicos, donde destacan la erosión de laderas tipo cárcavas.

5.2.1. Erosión en cárcavas activas

De este tipo se han identificado varios procesos de erosión en cárcavas, cerca al sector Millpo, que deben su origen principalmente a las condiciones intrínsecas del terreno, las precipitaciones pluviales que ocurren en esta zona y factores antrópicos como canales de riego sin revestimiento y el mal sistema de riego de la misma población.

Estos procesos de carcavamiento, presentan diferentes dimensiones y se encuentran afectando principalmente terrenos de cultivo. La ubicación y el área que ocupan estos eventos, se detallan en la siguiente tabla 8; así mismo, se muestran en el anexo 1: Mapa 4.

Tabla 8. Ubicación y área de los deslizamientos reactivados identificado en el área estudio.

Otros peligros geológicos	Actividad	Área (ha)	Código	Coordenadas	
				Este	Norte
Erosión en cárcava	Activo	8.00	EC-01	553753.15	8651758.68
	Activo	3.40	EC -02	553619.79	8651464.99
	Activo	7.17	EC -03	554183.00	8651052.77
	Activo	15.98	EC -04	553976.63	8652328.07
	Activo	5.25	EC -05	554455.53	8651433.77

La principal erosión en cárcava (**EC-01**) tiene un área de influencia en aproximadamente 8.0 ha, la cual es favorecida por la morfología de montañas modeladas en rocas metamórficas, la pendiente de las laderas que pueden superar los 45° y la naturaleza del suelo incompetente (fotografía 4).



Fotografía 4. Vista de la erosión en cárcava activa **EC-01**, condicionada por la fuerte pendiente de sus laderas (casi verticales), las precipitaciones pluviales y los factores antrópicos como son los canales de riego sin revestimiento y el mal sistema de riego de la misma población.

La erosión en el fondo y en los márgenes de la cárcava por el agua de escorrentía y los materiales abrasivos (fragmentos de roca o partículas de suelo) generan derrumbes en ambos lados de las cárcavas, lo que ocasiona el avance retrogresivo de las cárcavas y el ensanchamiento de éstas (fotografía 5).

En este sentido, la erosión retrogresiva de sus márgenes ha generado un ancho aproximado de 110 m en la zona más amplia, una profundidad máxima de 50 m y una longitud de hasta 635 m (fotografía 6).



Fotografía 5. Vista de la erosión en cárcava activa **EC-01**, con derrumbes en ambas márgenes, generando el avance retrogresivo y el ensanchamiento de estas en 110 m en la zona más amplia.



Fotografía 6. Se muestra mayor erosión en la margen derecha de la cárcava. Actualmente la zona se muestra demarcada prohibiendo el paso peatonal.

Al realizar una comparación multitemporal (figura 16) de una imagen satelital (2019) y el ortomosaico actual obtenido mediante sobrevuelos de dron (2023), se puede distinguir el avance progresivo de estos procesos de cárcavamiento; esta acción inestabiliza las laderas adyacentes, generando en la margen izquierda un deslizamiento activo (**DA-02**), que pone en riesgo viviendas asentadas muy cerca del escarpe principal (figura 17).

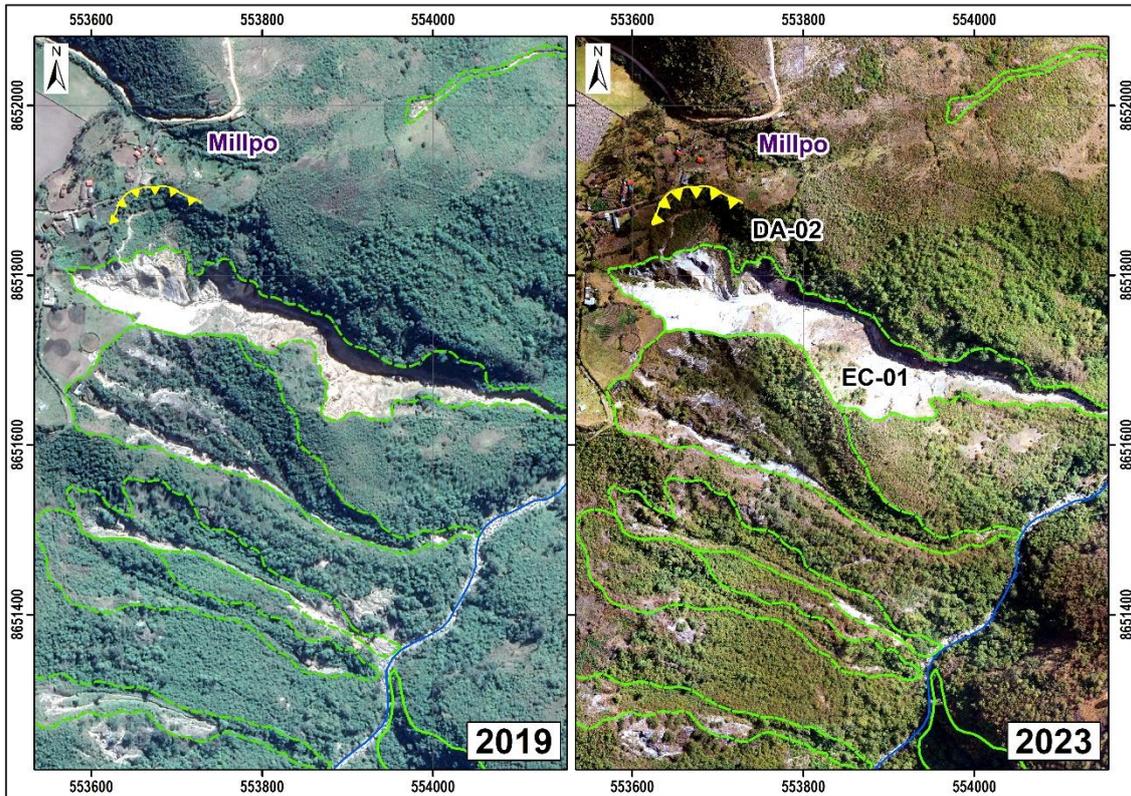


Figura 16. Comparación multitemporal de una imagen satelital (2019) y el ortomosaico actual, obtenido mediante sobrevuelos de dron (2023), donde se puede visualizar el avance de la erosión en cárcava.



Figura 17. Deslizamiento activo (DA-02), producto del avance retrogresivo de la erosión en cárcava (EC-01) y que pone en peligro a viviendas ubicadas cerca de la escarpa principal.

Un factor muy importante de mencionar es el manejo inadecuado del agua de escorrentía y el mal sistema de riego que aumentan la ocurrencia de estos procesos. Así por ejemplo se tiene un canal de regadío sin revestir de 1.2 m de ancho que se direcciona hacia la cárcava **EC-01** y que, de acuerdo con testimonios de los pobladores este se desborda en temporadas de lluvias (fotografía 6).

Otro factor, son las aguas de escorrentía drenadas hacia las laderas, como se observa en algunas viviendas las cuales direccionan sus desagües hacia las cárcavas lo que genera mayor erosión e inestabilidad en el terreno por saturación del suelo (fotografía 7); o el mal sistema de riego que se presenta en la zona (fotografía 8).



Fotografía 6. Canal de riego sin revestimiento de 1.2 m de ancho, cuyas aguas se direccionan a la cárcava activa CA-01, ubicada aguas abajo.



Fotografía 7. Manejo inadecuado del agua de escorrentía de viviendas del sector Millpo. Estas aguas discurren directamente a las laderas y generan mayor erosión e inestabilidad en el terreno por saturación del suelo.



Fotografía 8. Riego por inundación de los pobladores del sector de Millpo, acción que aumenta considerablemente la sobresaturación y la inestabilidad de la ladera.

6. FACTORES DE INESTABILIDAD DE LADERAS

6.1. Factores condicionantes

Factor litológico

- Suelos inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales y coluviales), compuestos principalmente por fragmentos líticos angulosos a subangulosos con diámetros que varían de 0.02 a 0.30 m envueltos en una matriz de limos y arcillas, medianamente consolidados, producto de la meteorización de rocas intrusivas y removidos por deslizamientos antiguos y la acción de las aguas de escorrentía.

Factor geomorfológico

- Vertientes con depósito de deslizamiento, originado principalmente por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes; su composición litológica es homogénea, con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados, de corto a mediano recorrido y con pendientes de fuerte a muy fuerte (15°- 45°). Estas características intrínsecas del área de estudio, facilita la infiltración de las aguas pluviales y la sobresaturación del suelo por las aguas de escorrentía; por consiguiente, favorece la erosión de laderas.

6.2. Factores detonantes o desencadenantes

- PRECIPITACIONES: Intensas precipitaciones pluviales y/o excepcionales, principalmente entre los meses de diciembre a abril, que en el último periodo 2020-2023 fue de aproximadamente 33.9 mm.
- SISMOS: La presencia de sismos de gran magnitud, que según el Mapa de distribución de Máximas Intensidades Sísmicas (Alva & Meneses, 1984), el área de estudio se encuentra ubicada en la zona 2 que corresponde a sismicidad intermedia.

6.3. Factores antrópicos

- Canal de regadío sin revestir de 1.2 m de ancho que direcciona sus aguas hacia la cárcava EC-01, el cual, en temporada de avenida, se desborda. Este canal genera mayor erosión e inestabilidad en el terreno por saturación del suelo,
- Inadecuado y/o carente sistema de desagüe que presentan algunas viviendas ubicadas alrededor la cárcava activa EC-01, las cuales direccionan sus aguas residuales hacia la ladera.
- Sistema de riego inadecuado (riego por inundación), acción que aumenta considerablemente la sobresaturación y la inestabilidad de la ladera.

7. CONCLUSIONES

- 1) Los procesos de movimientos en masa identificados en el sector de Millpo y alrededores del distrito de Cochabamba, corresponden a deslizamientos y erosión de laderas (cárcavas), antiguos, reactivados y activos. Siendo el principal evento identificado una cárcava activa EC-01, en cuya margen izquierda consecuentemente, ha generado un deslizamiento activo (DA-02). Este deslizamiento tiene un área de influencia de ~8.0 ha; una longitud de hasta 635 m, un ancho de 110 m en la zona más amplia y una profundidad de 50 m aproximadamente, que pone en riesgo viviendas ubicadas muy cerca del escarpe principal.
- 2) La ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa en la zona evaluada, está condicionada por los siguientes factores:
 - Presencia de suelos inconsolidados (depósitos coluvio-deluviales y coluviales), adosados a las laderas, producto de la meteorización de rocas intrusivas y removidos por procesos de movimientos en masa antiguos.
 - Vertientes con depósito de deslizamiento, con pendientes de fuerte a muy fuerte (15°- 45°). Esta unidad geomorfológica, facilita la infiltración de las aguas pluviales y la sobresaturación del suelo por las aguas de escorrentía; lo que permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad.
- 3) El factor desencadenante para la ocurrencia de la cárcava activa EC-01 en la localidad de Millpo, se le atribuye a las lluvias y a las filtraciones de agua del canal de regadío sin revestir, que humedecen el material coluvio-deluvial de la ladera, provocando la sobresaturación y pérdida de cohesión.
- 4) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el sector Millpo del distrito de Cochabamba, es considerado como **zona crítica** y de **Peligro Alto** a la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y erosión en cárcavas, que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas y/o prolongadas.

8. RECOMENDACIONES

- 1) Reubicar las viviendas que se encuentren al borde de la escarpa principal del deslizamiento activo DA-02 y las viviendas aledañas a la cárcava activa EC-01.
- 2) Restringir el tránsito peatonal en los alrededores de la cárcava y deslizamientos activos, señalizando con letreros preventivos.
- 3) Controlar y restringir la apertura de caminos de herradura, construcción de viviendas u otra actividad antrópica en los alrededores de los movimientos en masa cartografiados como activos.
- 4) Realizar la captación y la derivación del canal de regadío, así como las aguas de escorrentía que se encuentren cerca de la erosión en cárcava. Estas aguas deberán ser conducidas por medio de infraestructuras de drenaje pluvial y/o canales revestidos hacia cauces naturales (quebradas), ubicadas lejos de las zonas inestables. Estas medidas deben ser realizadas por especialistas.
- 5) Realizar la instalación de un sistema de tuberías de desagüe para las viviendas que no tengan, de esta manera evitar la infiltración de agua al subsuelo y saturación del mismo.
- 6) Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ella. De esta manera se generará su estabilidad, así como la disipación de la energía de las corrientes concentradas en los lechos de las cárcavas.
- 7) Cambiar el tipo de cultivos alrededor de la escarpa del deslizamiento activo DA-02 y zonas aledañas, que requieran de poca agua, para evitar la saturación del suelo. Tienen que ser coordinados con el Ministerio de Agricultura.
- 8) Realizar un monitoreo visual permanente de las zonas de erosión en cárcava y áreas aledañas. Este monitoreo puede ser participativo con pobladores, colocando, por ejemplo, estacas en las zonas de movimiento, como puntos de control. De esta manera se podrá conocer la “tasa de movimiento” y determinar las acciones futuras a implementarse en el sector Millpo.
- 9) Realizar charlas de sensibilización y concientización del peligro al que se encuentran expuestos los pobladores del sector Millpo y alrededores (distrito de Cochabamba).
- 10) Con apoyo de especialista acreditado, realizar la evaluación del riesgo (EVAR), de desastres por deslizamiento aplicando la normatividad vigente, para determinar las áreas de riesgo y tomar las acciones correspondientes.


ING. NORMA SOSA SENTICALA


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

9. BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

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

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

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

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

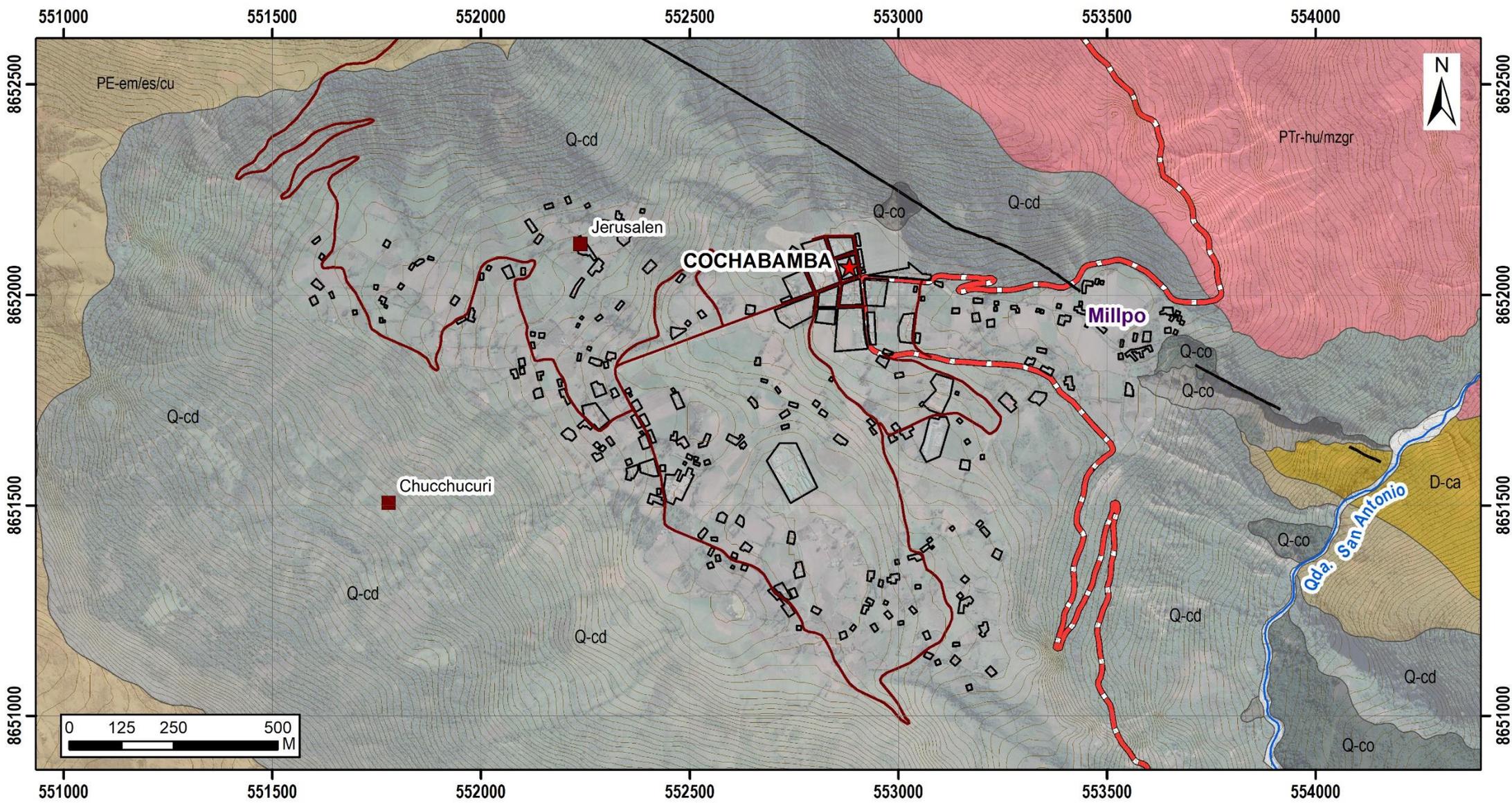
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

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

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

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

ANEXO 1: MAPAS



ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito fluvial	Q-fl
			Depósito coluvial	Q-co
			Depósito coluvio-deluvia	Q-cd
PALEOZOICA	PERMICO	INFERIOR	Rocas intrusivas (Meta monzogranitos)	PTr-hu/mzgr
	DEVÓNICO		Grupo Cabanillas	D-ca
NEOPROTEROZOICA			Complejo metamórfico de la Cordillera Oriental	PE-em/es/cu

SIMBOLOGÍA

	Dist. Cochabamba		Falla normal
	Centros poblados		Curvas de nivel
	Vía departamental		Quebradas
	Trocha carrozable		Área urbana

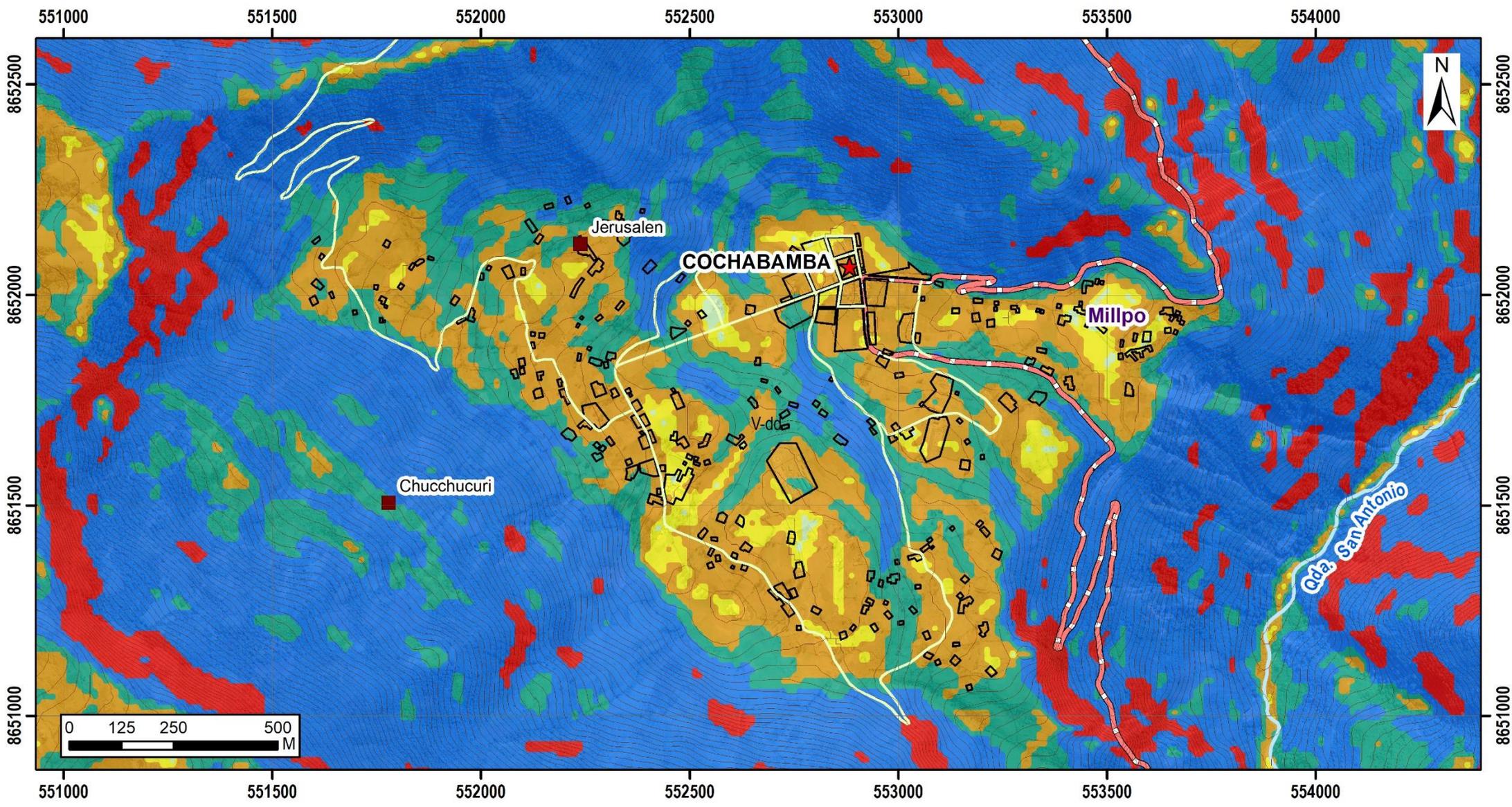
INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO: HUANCAMELICA
PROVINCIA: TAYACAJA
DISTRITO: COCHABAMBA

GEOLOGICO

Escala: 1/12,500	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	01
Versión digital 2023	Impreso: Octubre, 2023	



RANGO DE PENDIENTES

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

SIMBOLOGÍA

★	Dist. Cochabamba	~	Curvas de nivel
■	Centros poblados	~	Quebradas
—	Vía departamental	+	Área urbana
—	Trocha carrozable		

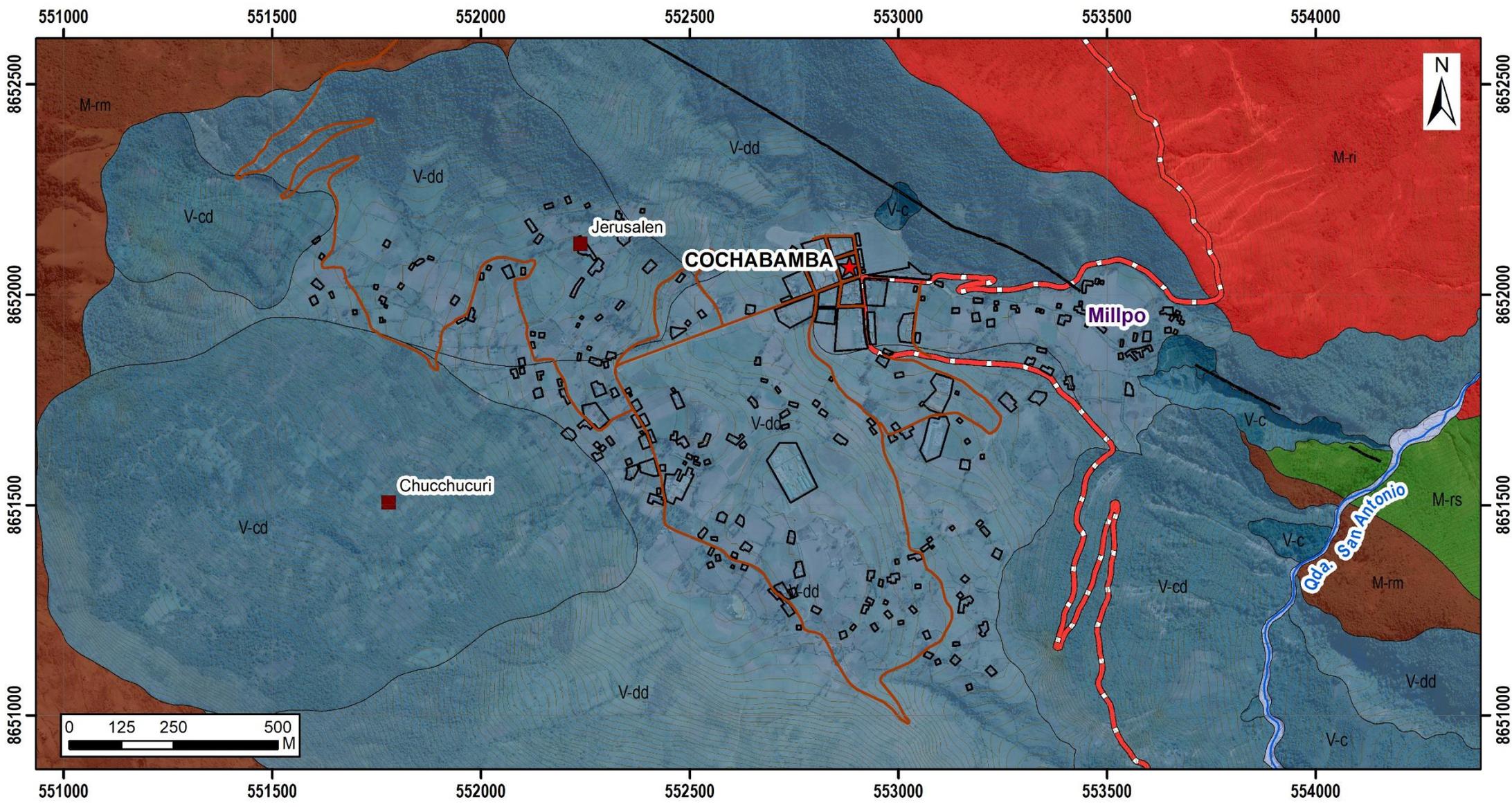


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO: HUANCAMELICA
 PROVINCIA: TAYACAJA
 DISTRITO: COCHABAMBA

PENDIENTES DEL TERRENO

Escala: 1/12,500	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 02
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2023	Impreso: Octubre, 2023	



UNIDAD	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	
MONTAÑA	Montaña en roca metamórfica	M-rm
	Montaña en roca intrusiva	M-ri
	Montaña en roca sedimentaria	M-rs
VERTIENTE	Vertiente coluvial	V-c
	Vertiente coluvio-deluvial	V-cd
	Vertiente con depósito de deslizamiento	V-dd
TERRAZA INUNDABLE	Terraza fluvial	T-f

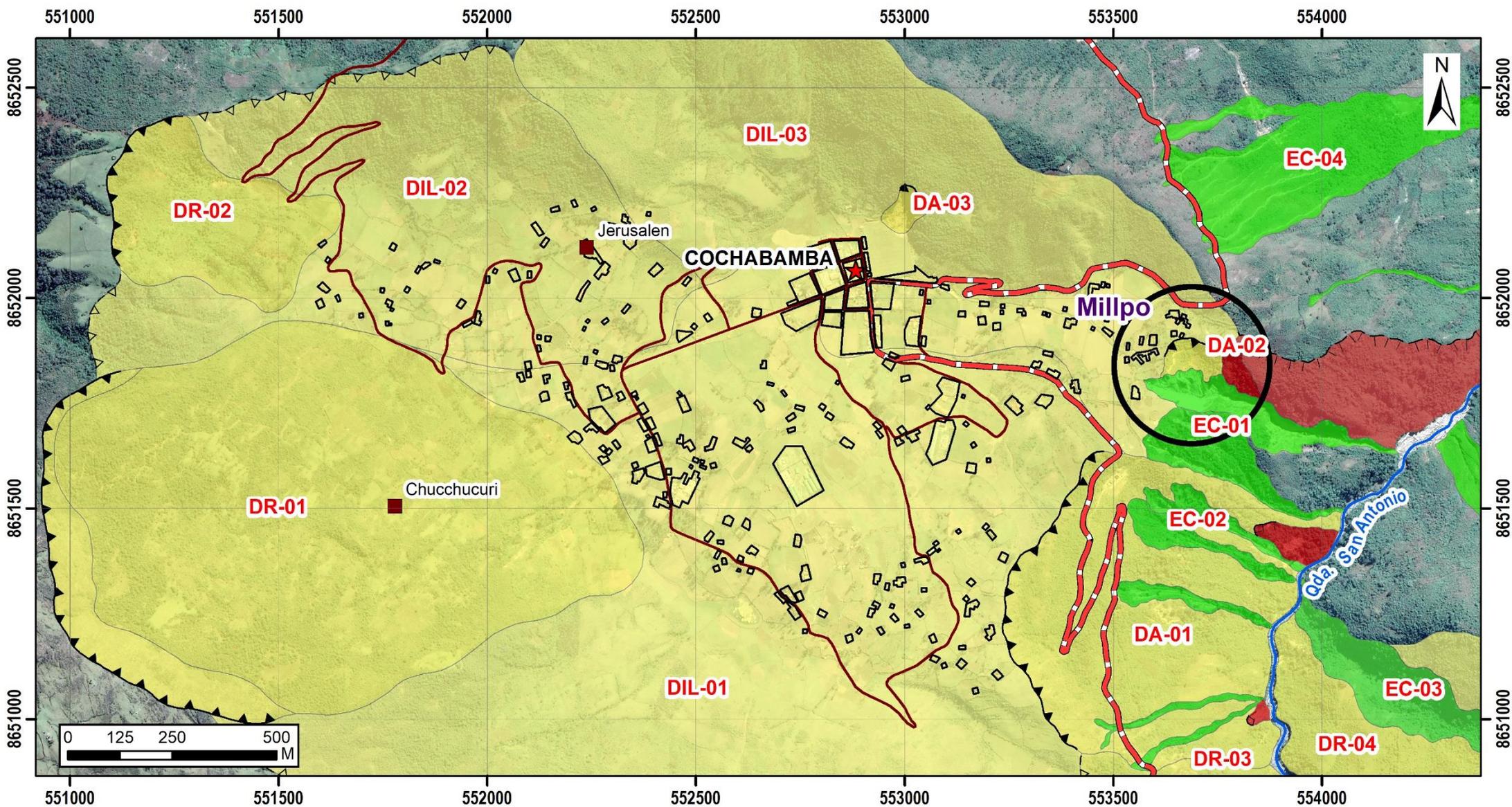
SIMBOLOGÍA

	Dist. Cochabamba		Falla normal
	Centros poblados		Curvas de nivel
	Vía departamental		Quebradas
	Trocha carrozable		Área urbana

INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 DEPARTAMENTO: HUANCAMELICA
 PROVINCIA: TAYACAJA
 DISTRITO: COCHABAMBA

GEOMORFOLÓGICO

Escala: 1/12,500	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 03
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2023	Impreso: Octubre, 2023	



LEYENDA

	Derrumbe, Activo
	Derrumbe, Inactivo-latente
	Deslizamiento, Activo
	Deslizamiento, Reactivado
	Deslizamiento, Inactivo-latente
	Erosión en cárcava, Activo

TRAMA

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

SIMBOLOGÍA

	Dist. Cochabamba		Centros poblados
	Via departamental		Quebradas
	Trocha carrozable		Área urbana

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO: HUANCAMELICA
 PROVINCIA: TAYACAJA
 DISTRITO: COCHABAMBA

PROCESOS DE MOVIMIENTOS EN MASA

Escala: 1/12,500	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 04
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2023	Impreso: Octubre, 2023	