



PERÚ

Ministerio
de Energía y Minas



SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7623

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA COMUNIDAD DE LLACUABAMBA

Departamento: La Libertad

Provincia: Pataz

Distritos: Parcoy



MAYO
2025

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLOGICOS EN LA COMUNIDAD DE LLACUABAMBA

Distrito de Parcoy, provincia Pataz, departamento La Libertad

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

Equipo de técnico:

*Guisela Choquenaira Garate
Wilson Gómez Cahuaya*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2025). *Evaluación de peligros geológicos en la comunidad de Llacuabamba. Distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de La Libertad*: Ingemmet, Informe Técnico A7623, 43p.

INDICE

| | |
|--|-----------|
| 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 | 7 |
| 1.3.4. Clima | 8 |
| 2. DEFINICIONES | 10 |
| 3. ASPECTOS GEOLOGICOS..... | 12 |
| 3.1. Unidades Litoestratigráficas | 12 |
| 3.2. Depósitos superficiales | 13 |
| 3.2.1. Depósito coluvio deluvial (Q-cd)..... | 13 |
| 3.1.1. Depósito coluvial (Q-d) | 13 |
| 3.1.1. Depósito deluvial (Q-d) | 15 |
| 3.1.2. Depósito aluvial (Q-al) | 15 |
| 4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS..... | 16 |
| 4.1. Pendientes del terreno..... | 16 |
| 4.2. Índice topográfico de Humedad (TWI) | 18 |
| 4.3. Unidades geomorfológicas | 19 |
| 4.3.1. Unidad de montaña | 20 |
| 4.3.2. Unidad de piedemonte | 21 |
| 5. PELIGROS GEOLOGICOS..... | 23 |
| 5.1. Avalancha de rocas (IL) | 23 |
| 5.2. Derrumbes activos 1 y 2 | 25 |
| 5.2.1. Zona de derrumbe 1 | 25 |
| 5.2.2. Zona de derrumbe 2 | 27 |
| 5.3. Peligros geohidrológicos | 31 |
| 5.3.1. Erosión fluvial..... | 31 |
| 5.4. Factores condicionantes | 32 |
| 5.5. Factores desencadenantes | 33 |
| 5.6. Factores Antrópicos | 33 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 35 |
| 7. RECOMENDACIONES..... | 37 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA:..... | 38 |
| ANEXO 1 | 39 |

RESUMEN

El presente informe detalla la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa y geohidrológicos realizada en la comunidad de Llacuabamba, distrito Parcoy, 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 contexto geológico, en el cerro Alto Blanco afloran rocas volcánicas, constituidas por lavas andesíticas y tobas atribuidas a la Formación Tres Lagunas; mientras que, hacia el suroeste, por rocas intrusivas del Batolito de Pataz. Ambas unidades conforman macizos rocosos con características físicas de mediano a muy fracturados y de moderada a alta meteorización, lo que, disminuye su resistencia al corte y favorece la ocurrencia de movimientos en masa. En las partes bajas de las laderas, se tiene depósitos coluvio-deluviales, considerados como suelos inestables e incompetentes, poco compactos y con baja cohesión, lo que, las convierten en áreas muy susceptibles a la erosión y remoción de masas, principalmente en épocas de intensas precipitaciones.

Desde el punto de vista geomorfológico, las laderas donde se produjeron múltiples derrumbes al este de Llacuabamba presentan pendientes mayores a 45°. Estas condiciones topográficas además favorecen la escorrentía superficial, incrementando la capacidad de erosión del agua para arrastrar material suelto, lo que conlleva al aumento de la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa, así como, derrumbes y avalanchas de rocas y detritos.

De igual modo, en la ladera suroeste del cerro Alto Blanco se evidencia movimientos en masa antiguos, tipo avalanchas y derrumbes inactivos latentes, que abarcan alrededor de 200 hectáreas. El 19 de febrero de 2025, al noroeste de Llacuabamba ocurrieron derrumbes que afectaron alrededor de 42 hectáreas, viviendas del barrio Rosario y parte de la vía de acceso al pueblo de Llacuabamba.

Las lluvias intensas que se registraron en el mes de febrero (hasta 375.9 mm acumulados) posiblemente contribuyeron a la saturación del suelo y aumentó la presión interna del terreno, ocasionando nuevas zonas de derrumbes. Asimismo, se ha identificado grietas de hasta 30 cm de abertura, situadas en la zona posterior a la superficie de arranque de los derrumbes, lo que, podría más adelante, dar lugar a la ocurrencia de derrumbes de mayor magnitud.

Además, el incremento del caudal del río Llacuabamba a su paso por el barrio Rosario, ha intensificado los procesos de erosión fluvial en ambas márgenes, siendo más intenso en la margen izquierda. Esta socavación lateral compromete la estabilidad del pie del talud, debilitando su soporte natural y generando condiciones favorables para la ocurrencia de derrumbes.

Los factores antrópicos, como la construcción de viviendas en zonas inestables y aledaños al cauce del río Llacuabamba, así como obras de infraestructura sobre antiguos depósitos de derrumbes y vertimiento de aguas residuales en el cuerpo del derrumbe producido en el barrio Rosario, incrementan negativamente las condiciones estructurales del terreno.

Finalmente, se concluye que el sector entre la calle Rosario hacia el río Llacuabamba y un tramo de la vía de acceso a Llacuabamba, se considera como **Zona Crítica** y de **Peligro Muy Alto** ante la ocurrencia de derrumbes y deslizamientos por su alta susceptibilidad a nuevos movimientos en masa. En ese contexto, se recomienda la reubicación de las viviendas catalogadas como zonas críticas, monitoreo sistemático y sistemas de drenaje.

1. INTRODUCCIÓN

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

Atendiendo la emergencia suscitada el 19 de febrero el presente año en el poblado de Llacuabamba, y en el marco del D.S. N° 021-2025-PCM, y nuestras competencias se realizó una evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa. La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Guisela Choquenaira y Wilson Gómez, para realizar la evaluación de peligros geológicos, el día 22 de febrero del 2025.

La evaluación técnica se realizó en tres etapas: etapa de Pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET; etapa de campo a través de la observación, toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografía, recopilación de información y testimonios de población local afectada; etapa final de gabinete, donde se realizó el procesamiento de toda la información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, cartografiado e interpretación final, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del presente informe.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad distrital de Parcoy e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – Sinagerd, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - CENEPRED, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664. A fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en el Barrio Rosario y alrededores de la comunidad de Llacuabamba que compromete viviendas e infraestructura.
- b) Determinar los factores condicionantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel regional, en la zona de estudio se tiene la siguiente información:

- A. Boletín N° 50 de la Serie C, “Riesgo Geológico en la región la Libertad”, elaborado por Medina, et al., (2012). El estudio contiene información sobre los peligros geológicos registrados en el departamento de La Libertad y los factores que condicionan su ocurrencia. Los autores identifican un total de 2653 ocurrencias, de los cuales los flujos

alcanzan un total de 56.1 %, seguidos por caídas, tales como desprendimientos de rocas y derrumbes (21.9 %) y deslizamientos (15.4 %).

El estudio también analiza la susceptibilidad a movimientos en masa, donde el área de estudio se encuentra en zona de alta a muy alta susceptibilidad a movimientos en masa (figura 1).

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.

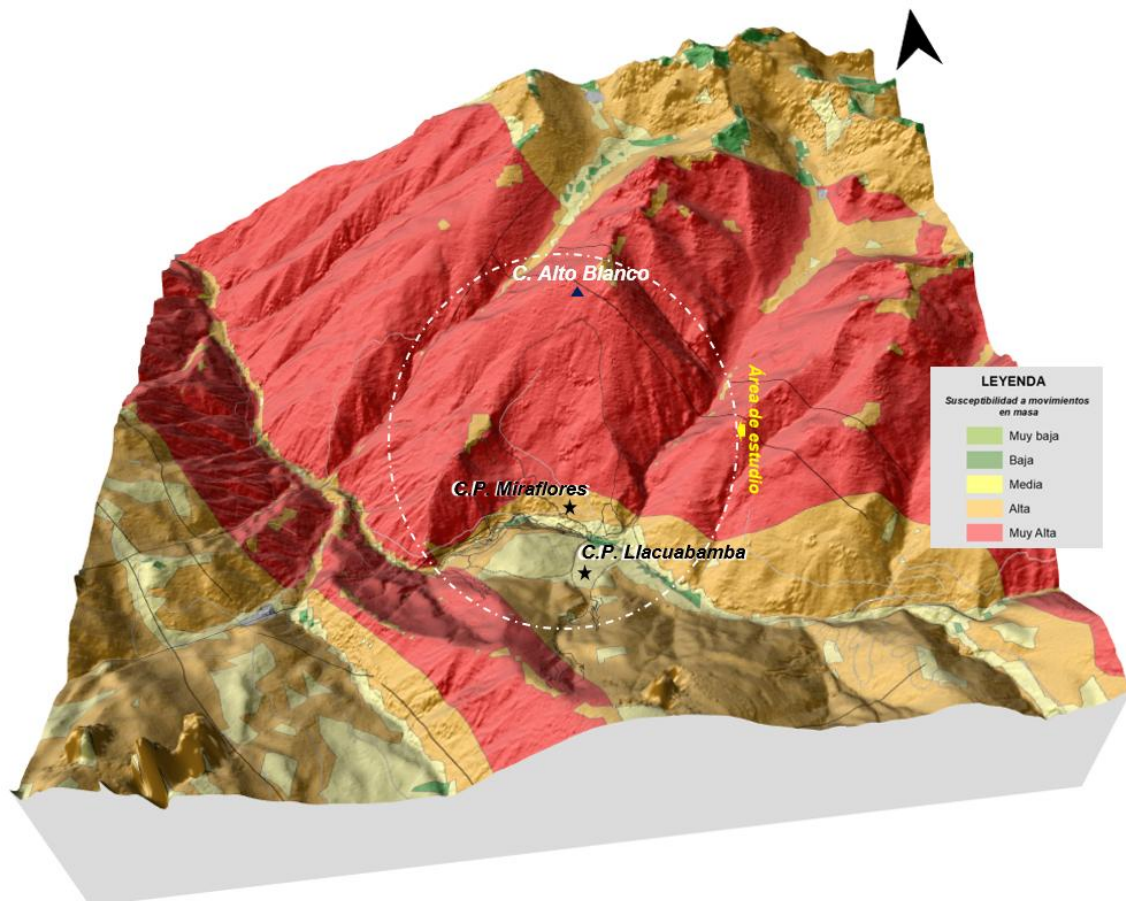


Figura 1. Susceptibilidad a movimientos en masa en la comunidad de Llacuabamba. Fuente: Medina, et al., 2012.

- B. Informe técnico N°A6548: “Zonas críticas en la Región La Libertad” (Medina & Luque, 2008). Este informe pone énfasis en las zonas o áreas consideradas como críticas, con peligros potenciales, para incluirlos en los planes o las políticas regionales sobre prevención y atención de desastres. En este sentido, los autores catalogan el área de Retamas y alrededores como una zona crítica susceptible a la ocurrencia de derrumbes y flujos de detritos. Así mismo, se señala que, en caso de ocurrir un flujo, afectaría a las viviendas asentadas dentro del cauce de la quebrada Patacocha, en los poblados Parcoy y Retamas.
- C. Boletín N° 60, Serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari” escala 1:100 000 (Wilson et al., 1995). Describe la geología de la zona de estudio y alrededores que

corresponde principalmente a rocas intrusivas del Paleozoico Superior, el cual consiste de dioritas a granodioritas con facies anfibolíticas, relacionado al Batolito de Pataz.

- D. Gómez, et al, 2013 (inédito): Mapa geológico del cuadrángulo de Pataz (hojas: 16h1, 16h2, 16h3 y 16h4) a escala 1:50,000. Realizan el cartografiado geológico y la correlación de las unidades del carbonífero y rocas plutónicas de Batolito de Pataz.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

La comunidad de Llacuabamba, se encuentra ubicada en la margen izquierda del río del mismo nombre, a 13 km al sureste de Retamas. Políticamente pertenece al distrito Parcoy, provincia Pataz, departamento La Libertad (figura 2); en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18s) (tabla 1):

Tabla 1. Coordenadas del área evaluada.

| N° | UTM - WGS84 - Zona 18L | | Geográficas | |
|--|------------------------|---------|-------------|--------------|
| | Este | Norte | Latitud | Longitud |
| 1 | 228513 | 9113242 | 8° 0'53.61" | 77°27'46.65" |
| 2 | 230370 | 9112582 | 8° 1'15.44" | 77°26'46.17" |
| 3 | 229190 | 9110587 | 8° 2'20.12" | 77°27'25.07" |
| 4 | 227866 | 9111335 | 8° 1'55.52" | 77°28'8.14" |
| <i>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</i> | | | | |
| C | 228800 | 9111599 | 8° 1'47.11" | 77°27'37.60" |

1.3.2. Accesibilidad

Se accede por vía terrestre desde la ciudad de Lima (Ingemmet-sede central), a través de la siguiente ruta (cuadro 1):

Cuadro 1. Rutas y accesos al área evaluada.

| Ruta | Tipo de vía | Distancia (km) | Tiempo estimado |
|--------------------------|---------------------|----------------|-----------------|
| Lima – Trujillo | Carretera asfaltada | 557 | 8h 50 minutos |
| Trujillo– Huamachuco | Carretera asfaltada | 181 | 4h |
| Huamachuco - Chagualito | Trocha carrozable | 141 | 4h 30 minutos |
| Chagualito - Llacuabamba | Trocha carrozable | 58 | 2h 30 minutos |

1.3.3. Población

A partir de la data disponible del sistema de Información geográfica del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017), la distribución poblacional de Llacuabamba asciende alrededor de 10 mil habitantes. <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>.

Según Díaz, 2020, en los últimos siete años hubo un crecimiento poblacional debido a la migración de trabajadores en busca de empleo en la minería artesanal, quienes arribaron a la comunidad de Llacuabamba; en la mayoría de los casos con su familia (esposa e hijos). La causa del aumento de la población es la formalización de minería artesanal, realizada en el

año 2011 entre la empresa MARSA y la comunidad campesina de Llacuabamba. Este crecimiento poblacional generó el asentamiento de la población sobre depósitos de derrumbes, avalanchas y deslizamientos antiguos.

1.3.4. Clima

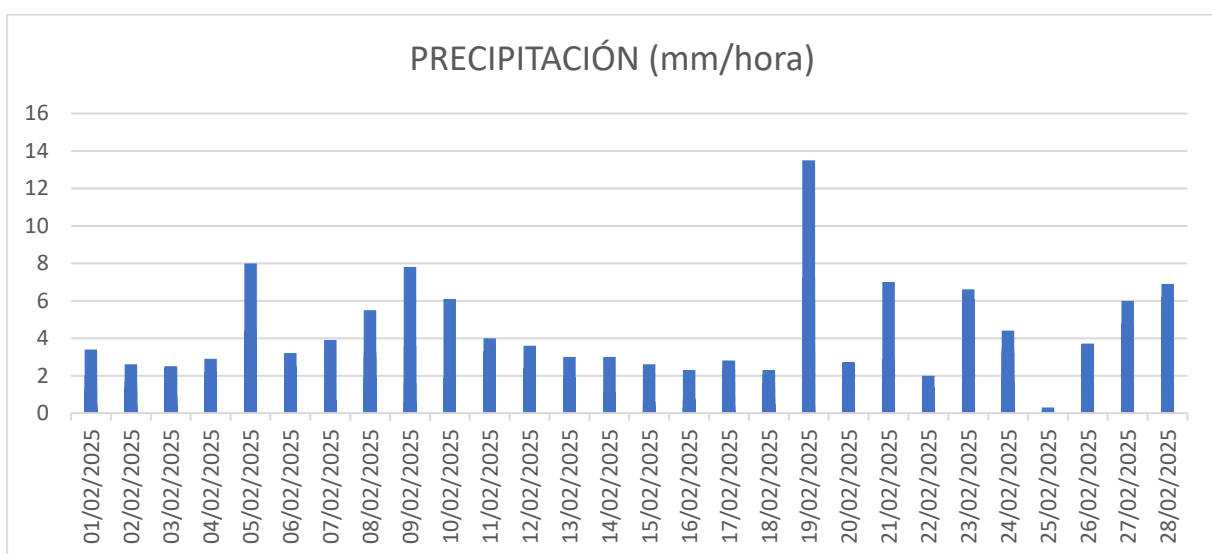
La comunidad de Llacuabamba ubicado a 3,100 msnm, presenta un clima con invierno seco semifrígido húmedo, y una época lluviosa, húmeda y fría, presentándose en las partes más altas, fuertes heladas con intenso frío, con una variación térmica durante el día y la noche (Thornthwaite, 1948).

En la zona de estudio se dispone de información meteorológica proveniente de dos estaciones pertenecientes a la empresa minera MARSA. Una de ellas se encuentra ubicada en la Unidad Operativa San Andrés, a una altitud de 3,999 m s.n.m., y la otra en la comunidad de Llacuabamba, específicamente en el barrio de Las Chilcas, a 3,232 m s.n.m.

Las precipitaciones más intensas se registran entre los meses de diciembre y marzo, lo que favorece la saturación de agua en el suelo, la reactivación de quebradas, el aumento del caudal de los ríos y la recarga de los acuíferos. Diciembre es el mes más lluvioso, alcanzando un promedio de 104 mm/mes en la estación de Las Chilcas. Sin embargo, entre mayo y septiembre se presenta una marcada ausencia de precipitaciones, conocida como la estación seca en la región, durante la cual se registran promedios mensuales acumulados de apenas 10 mm.

Durante el mes de febrero del presente año, se registraron precipitaciones acumuladas de hasta 375.9 mm según datos del SENAMHI (2025). El 19 de febrero se registró el pico de lluvias más alto del mes; mientras que, los días previos alcanzaron los 197.9 mm de lluvia (gráfico 1). Estos altos y prolongados niveles de pluviosidad provocaron posiblemente la sobresaturación del suelo, y que posteriormente ocasionó los derrumbes reportados en la zona de Llacuabamba.

Gráfico 1. Precipitación acumulada durante el mes de febrero el 2025.



Fuente: Senamhi, 2025.

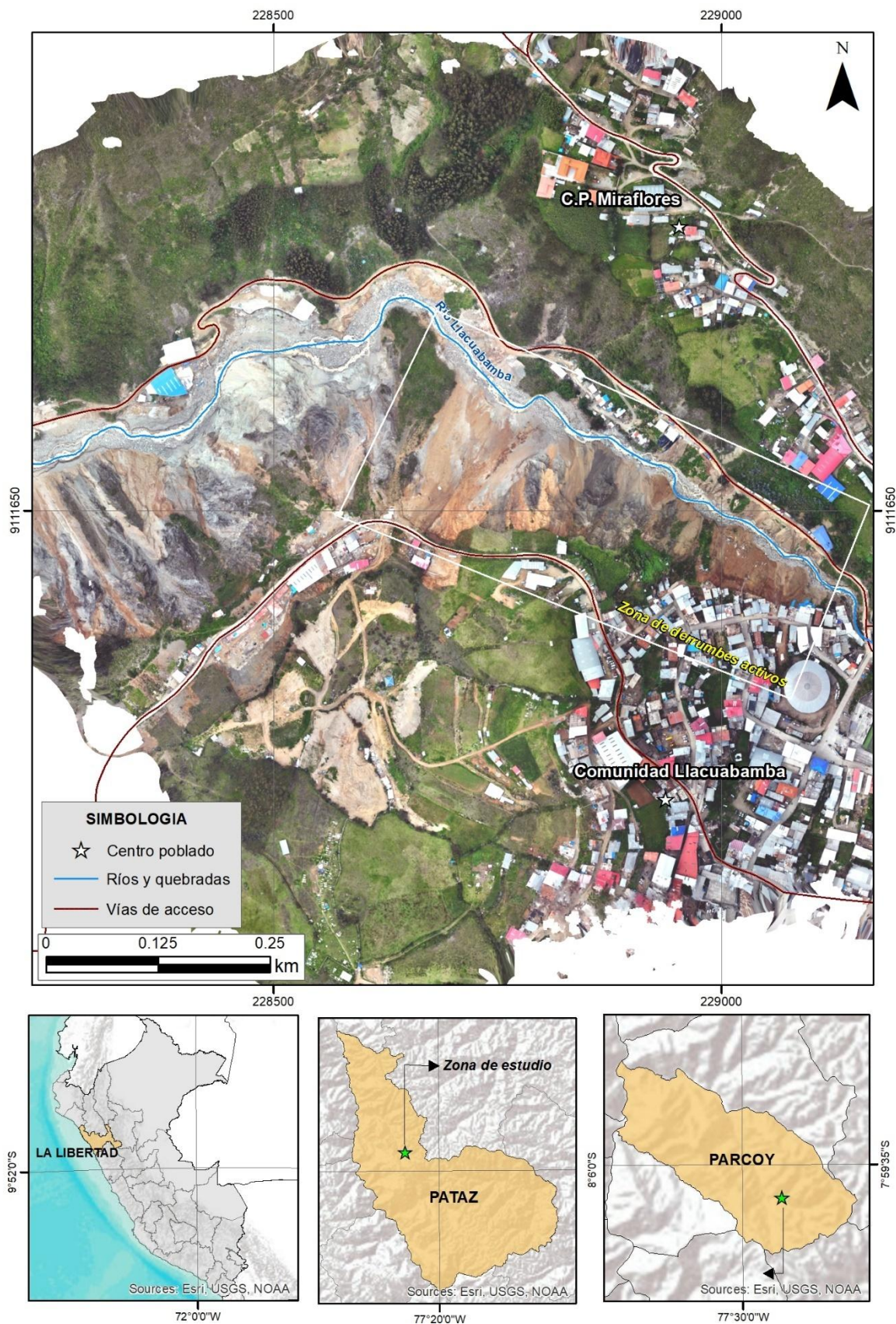


Figura 2. Ubicación de la localidad de Llacuabamba, perteneciente al distrito de Parcoy, provincia Patáz y departamento La Libertad. Fuente de la ortofoto: Municipalidad distrital de Parcoy.

2. DEFINICIONES

El presente glosario se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007):

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.

Avalancha: Las avalanchas de rocas son flujos de gran longitud extremadamente rápidos, de roca fracturada, que resultan de deslizamientos de roca de magnitud considerable (Hung et al., 2001). Pueden ser extremadamente móviles y su movilidad parece que crece con el volumen. Sus depósitos están usualmente cubiertos por bloques grandes, aun cuando se puede encontrar bajo la superficie del depósito material fino derivado parcialmente de roca fragmentada e incorporada en la trayectoria.

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 ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

Derrumbe: Desplome de una masa de roca, suelo o ambos por gravedad, sin presentar una superficie o plano definido de ruptura, y más bien una zona irregular. Se producen por lluvias intensas, erosión fluvial; rocas muy meteorizadas y fracturadas.

Deslizamiento: Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla (Cruden y Varnes, 1996). Según la forma de la superficie de falla se clasifican en traslacionales (superficie de falla plana u ondulada) y rotacionales (superficie de falla curva y cóncava).

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.

Erosión fluvial: Proceso natural por el cual las corrientes de agua desgastan y transportan materiales de las orillas y el lecho de los ríos, modificando el relieve terrestre. Este fenómeno se produce cuando la energía del agua supera la resistencia del material del cauce, lo que puede causar el desprendimiento de partículas y su transporte aguas abajo.

Escarpe: 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 derrumbes se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

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

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

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

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

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

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

Movimiento en masa Fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladera abajo de una masa de roca, detritos o de tierras (Cruden, 1991).

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

Run up: Se refiere a la altura máxima que alcanza el material en movimiento, como detritos o rocas, al ascender sobre una superficie (como una ladera o el borde de un río). Este concepto es crucial para comprender la magnitud y el alcance de un evento, ya que indica hasta dónde puede extenderse el impacto.

Susceptibilidad: La susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno) y los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.

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

Este informe describe la geología de la zona estudiada, elaborada a partir de datos recolectados en campo y complementada con la información de la Carta Geológica del cuadrángulo de Tayabamba, hoja 17-i (Wilson, 1977), a escala 1:100,000, (Gómez, inedito), Mapa geológico del cuadrángulo de Pataz (hojas: 16h1, 16h2, 16h3 y 16h4) a escala 1:50,000; donde se identificaron rocas intrusivas, volcanosedimentarias y depósitos cuaternarios. Mediante la cartografía geológica, el análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas, se integró la información en el mapa geológico que se muestra en (Mapa 1: Anexo 1).

3.1. Unidades Litoestratigráficas

En la zona de estudio afloran rocas de la Formación Tres Lagunas y el Batolito de Pataz. Asimismo, se identifican depósitos cuaternarios de origen coluvio-deluvial, coluvial, proluvial y aluvial, acumulados desde el Pleistoceno hasta el presente. No obstante, el presente informe se centra exclusivamente en los depósitos coluvio deluvial y coluviales afectados por movimientos en masa del 19 de febrero de 2025 (figura 3).

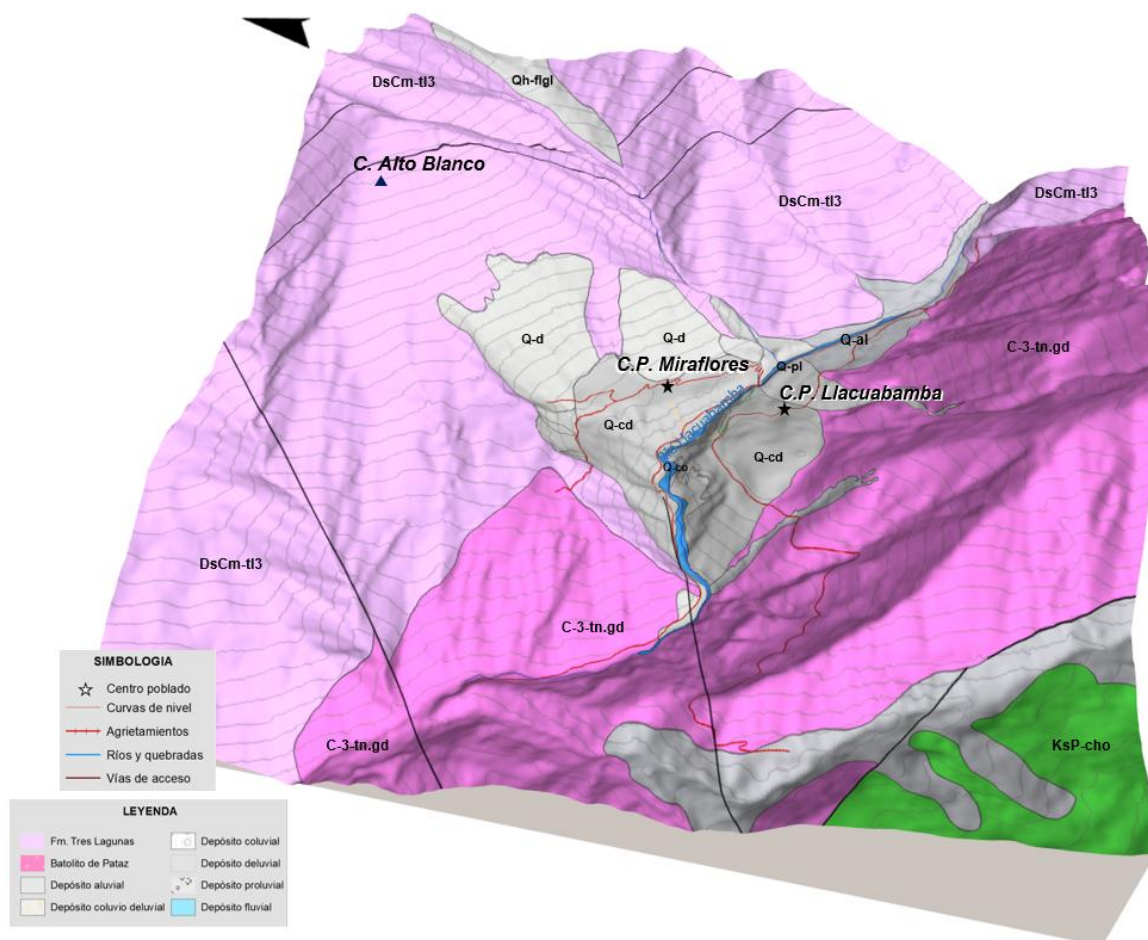


Figura 3. Block diagrama de la geología de la comunidad de Llacuabamba.

3.1.1. Formación Tres Lagunas (DsCm-tl3)

En el área de estudio afloran tobas líticas y de cristales de composición andesítica y dacítica sucedidas por lavas andesíticas de color gris verdoso a rojizo, con textura fluidal, expuestas en la ladera media y alta del cerro Alto Blanco. Este afloramiento se caracteriza por presentarse superficialmente de mediano a muy fracturado y moderadamente meteorizado.

3.1.1. Batolito de Pataz (C-3-tn.gd)

Las rocas atribuidas al Batolito de Pataz afloran principalmente en la margen izquierda del río Llacuabamba y, al pie de la ladera del cerro Alto Blanco. Se trata de un cuerpo plutónico de forma elongada con dirección NNO-SSE, paralela al lineamiento andino. Está conformada por granodioritas y tonalitas que, en conjunto, presentan características físicas que van de muy fracturadas y altamente meteorizadas, condiciones que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa, así como, avalanchas, deslizamientos y derrumbes.

3.2. Depósitos superficiales

3.2.1. Depósito coluvio deluvial (Q-cd)

Los depósitos inconsolidados de la zona, denominados coluvio-deluviales, corresponden a acumulaciones de fragmentos heterométricos transportados por procesos gravitacionales combinados con la dinámica deluvial, tales como derrumbes, caídas de rocas y avalanchas, así como por erosión asociada a la escorrentía pluvial. Estos materiales fueron movilizados desde las laderas de las montañas hacia zonas topográficamente más bajas, a través de procesos de movimientos en masa más antiguos.

El depósito principal corresponde a una antigua avalancha que afectó la ladera sur del cerro Alto Blanco. Este depósito está compuesto por bloques de hasta 5 m de diámetro, inmersos dentro de una masa constituida de gravas, arenas y limos (fotografías 1 y 2). Sobre este depósito se asentaron viviendas principalmente del poblado de Miraflores y el barrio Rosario, así como, la infraestructura local correspondiente al cementerio de Llacuabamba.

Este depósito presenta una estructura masiva, porosa y húmeda, que lo convierten en zonas inestables y poco competentes. Estas condiciones aumentan la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa, representando un peligro latente principalmente para las viviendas del barrio Rosario y las viviendas del poblado Llacuabamba asentadas muy próximas a laderas inestables.

Desde el punto de vista geodinámico, estos depósitos están asociados a procesos activos o potenciales de derrumbes, deslizamientos y erosión de laderas.

3.1.1. Depósito coluvial (Q-d)

Al pie del talud natural situado en la margen izquierda del río Llacuabamba, que, a su vez corresponde al depósito de una antigua avalancha de rocas que provino de la ladera sur del cerro Alto Blanco, se adosan depósitos coluviales. Estos depósitos se han acumulado por acción gravitacional, como resultado de remoción de masas que ocurrieron recientemente. Están compuestos principalmente por gravas (20%), arenas (40%) y limos (30%), con escasa presencia de bloques (10%). Presenta una coloración marrón rojiza, de textura suelta y de baja compacidad, lo que refleja un escaso grado de consolidación y una alta porosidad.

Desde el punto de vista geotécnico, estos depósitos coluviales conformar materiales poco competentes y con baja resistencia al corte, lo cual, los convierten en zonas susceptibles a la erosión, o a la ocurrencia de probables deslizamientos superficiales, especialmente bajo condiciones de saturación por lluvias, como el ocurrido el 19 de febrero.



Fotografía 1. Depósito coluvio-deluvial, heredado de una antigua avalancha de rocas que afectó gran parte la ladera sur del cerro Alto Blanco.



Fotografía 2. Depósito coluvio deluvial conformado por bloques, gravas, arenas, limos y un ligero contenido de arcillas.



Fotografía 3. Depósito coluvial, dispuesto al pie del talud, margen izquierda del río Llacuabamba, proveniente de la ocurrencia de derrumbes del 19 de febrero.

3.1.1. Depósito deluvial (Q-d)

En la parte alta del cerro Alto Blanco, se identifican depósitos deluviales originados a partir de materiales retrabajados que fueron heredados de una antigua avalancha de rocas. Estos depósitos se adosan en las laderas medias y alta del cerro Alto Blanco. Está conformado por una mezcla mal seleccionada de gravas, arenas y limos. Su distribución es de manera irregular y disarmónica acumulados en forma de mantos delgados que se extienden ladera abajo siguiendo la pendiente natural del terreno.

La génesis de este depósito está ligada principalmente a la acción de la escorrentía superficial durante eventos de lluvias intensas, que movilizan y redistribuyen los productos residuales de la avalancha antigua.

En el poblado Llacuabamba, estos depósitos se relacionan geodinámicamente, con avalancha de rocas, deslizamientos y derrumbes.

3.1.2. Depósito aluvial (Q-al)

Se dispone en ambas márgenes del río Llacuabamba en forma de terrazas, sobre la cual se encuentra asentada la población de la comunidad de Llacuabamba.

Geodinámicamente está asociada a erosión fluvial.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

La pendiente del terreno es un parámetro fundamental en la evaluación de procesos de movimientos en masa, ya que actúa como un factor tanto condicionante como dinámico en su generación. Su análisis permite identificar zonas potencialmente inestables, especialmente en terrenos montañosos y con antecedentes de remociones en masa.

En la zona de estudio se han identificado 5 rangos de pendientes que van de 1° a 5°, considerados como terrenos de pendiente baja; 5° a 15° pendiente moderada; 15° a 25° pendiente fuerte; 25° a 45° pendiente muy fuerte a escarpado; finalmente, mayor a 45° terreno con pendiente muy escarpado o abrupto.

La Figura 3 muestra el mapa de pendientes de la zona de estudio, elaborado a partir de un modelo digital de elevación (MDE) con resolución espacial de 0.7 m/px, generado mediante fotogrametría con dron (proporcionado por la Municipalidad Distrital de Parcoy). El análisis muestra que la vertiente coluvio-deluvial presenta pendientes entre muy fuerte (25°-45°) a abrupta (>45°), siendo estas últimas las áreas donde se localizaron las zonas de arranque de los derrumbes ocurridos en el mes de febrero del presente año (figura 3A y B). Mientras que, el depósito de run-up heredado por la antigua avalancha muestra en su cima una pendiente moderada (15°-25°), lo que evidencia una morfología suavizada producto del material acumulado.

Esta variabilidad topográfica es el resultado de la acción combinada de eventos geodinámicos antiguos, como avalanchas y derrumbes, que han dado como resultado un relieve con una morfología escarpada e irregular en la zona evaluada.

Los rangos de pendiente presentes en el área de estudio se detallan en el Cuadro 2, en función de lo representado en el mapa de pendientes local.

Cuadro 2. Rangos de pendiente identificados en el área evaluada.

| RANGO | DESCRIPCIÓN | SECTOR | UNIDAD GEOMORFOLÓGICA |
|---------|----------------------------------|--|--|
| 1°-5° | Pendiente Baja | Se localiza principalmente en el cauce del río Llacuabamba y en zonas planas de la cresta del depósito en estructura tipo <i>run-up</i> . | Vertiente coluvio deluvial. Terraza aluvial |
| 5°-15° | Pendiente moderada | Presente en la parte superior del depósito de <i>run-up</i> y en la zona urbana correspondiente al poblado de Llacuabamba. | Vertiente coluvio deluvial |
| 15°-25° | Pendiente fuerte | Aparece en menor proporción sobre el depósito de run-up y en la ladera media del cerro Alto Blanco | Vertiente coluvial |
| 25°-45° | Pendiente muy fuerte o escarpada | Se presenta al pie del depósito de <i>run-up</i> , formando conos depositados por derrumbes ocurridos recientemente; también en ladera superior del cerro Alto Blanco. | Ladera de montaña intrusiva Vertiente coluvio deluvial. Vertiente deluvial |
| >45° | Pendiente muy abrupta | Corresponde a zonas de arranque de derrumbes recientes, así como a vertientes coluvio deluviales localizadas al pie del cerro Alto Blanco. | Vertiente coluvio deluvial. Zonas de arranque de derrumbe. |

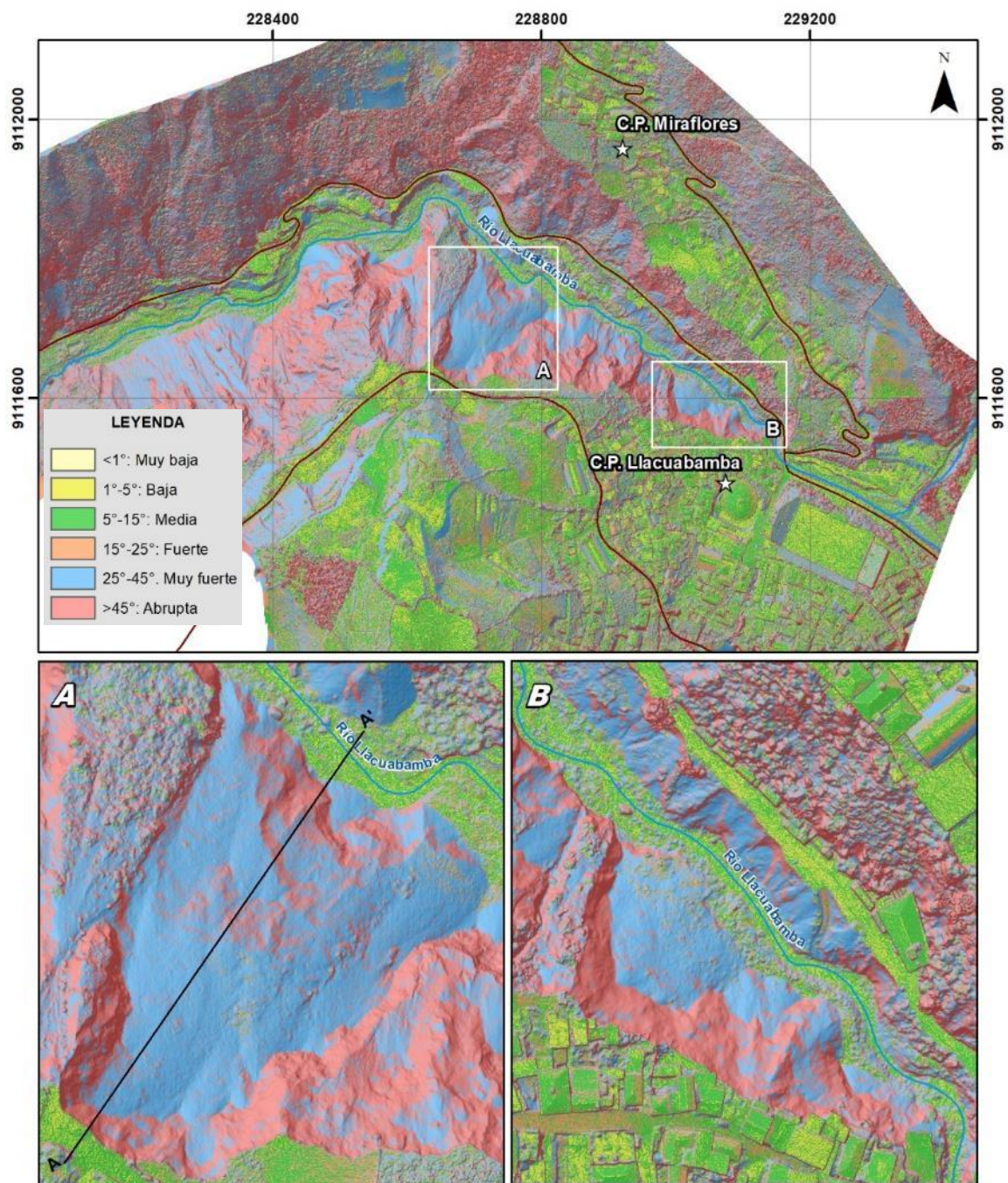


Figura 3. A) Rangos de pendiente de la zona evaluada (poblado de Llacuabamba). B) Variación de altitudes en el poblado de Hongos. Fuente DEM: Municipalidad distrital de Parcoy.

En el perfil longitudinal A–A', que atraviesa el derrumbe de mayor dimensión, se observa un claro cambio brusco de topografía y un relieve accidentado tipo encañonado, donde presenta pendientes que van de escarpada y abrupta. El perfil permite identificar transiciones marcadas en la pendiente, como las correspondientes al depósito de *run-up*, la zona de acumulación depositada por la avalancha antigua y posterior incisión y erosión, dando como resultado, zonas de pendientes pronunciadas tipo encañonado en dirección al río Llacuabamba.

La fuerte inclinación del terreno en estos sectores está relacionada con la ocurrencia de movimientos en masa, tal es el caso del derrumbe ocurrido recientemente el pasado 19 de febrero del presente (figura 4).

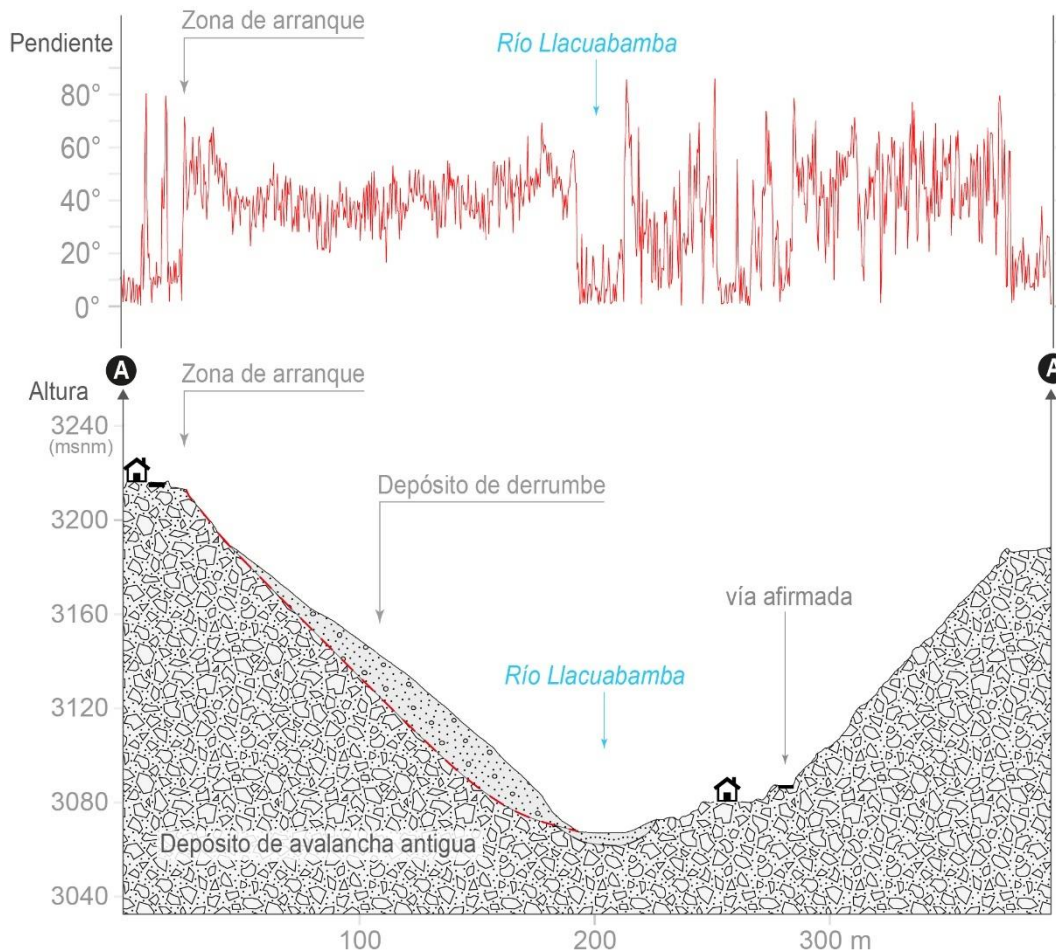


Figura 4. Perfil longitudinal topográfico A-A' interpretado en la zona de derrumbe ocurrido en febrero del presente año, muestra el relieve actual y modificado y el grado de pendiente de la zona de estudio.

4.2. Índice topográfico de Humedad (TWI)

El Índice Topográfico de Humedad (TWI) permite identificar los lugares potenciales donde se concentra la humedad o las zonas de acumulación de aguas de escorrentía superficial debido a la topografía. Este indicador viene a ser una medida derivada de los Modelos Digitales de Elevación (DEMs) que combina la pendiente del terreno y la acumulación del flujo de agua para determinar áreas potencialmente húmedas. Para el procesamiento se realizó con ayuda del programa SAGA GIS.

En las laderas que delimitan el área de estudio, se observaron durante la inspección varias zonas con mayor acumulación de agua que llegan a discurrir ladera abajo, hacia la confluencia con el río Llacuabamba, estas zonas de acumulación están controladas por la pendiente del terreno, donde aproximadamente el 80% presenta pendientes entre fuertes a escarpadas (figura 5).

En el poblado Miraflores, ubicada al pie del cerro Alto Blanco, se observa una menor presencia de zonas con alta saturación de humedad. Esta condición se relaciona con la densa cobertura vegetal y la presencia de árboles, los cuales favorecen la interceptación de la precipitación y disminuyen la escorrentía superficial, limitando así la infiltración directa y la saturación del suelo (figura 5A). Sin embargo, en las laderas escarpadas que dejaron los procesos por movimientos en masa, carecen completamente de cobertura vegetal, identificándose líneas con tonalidades azules que indican acumulación de humedad superficial (figura 5B).

Estas áreas húmedas identificadas en las laderas inestables, al estar expuestas, presentan una mayor susceptibilidad a la escorrentía concentrada, la cual favorece procesos erosivos y contribuye a la saturación del material superficial.

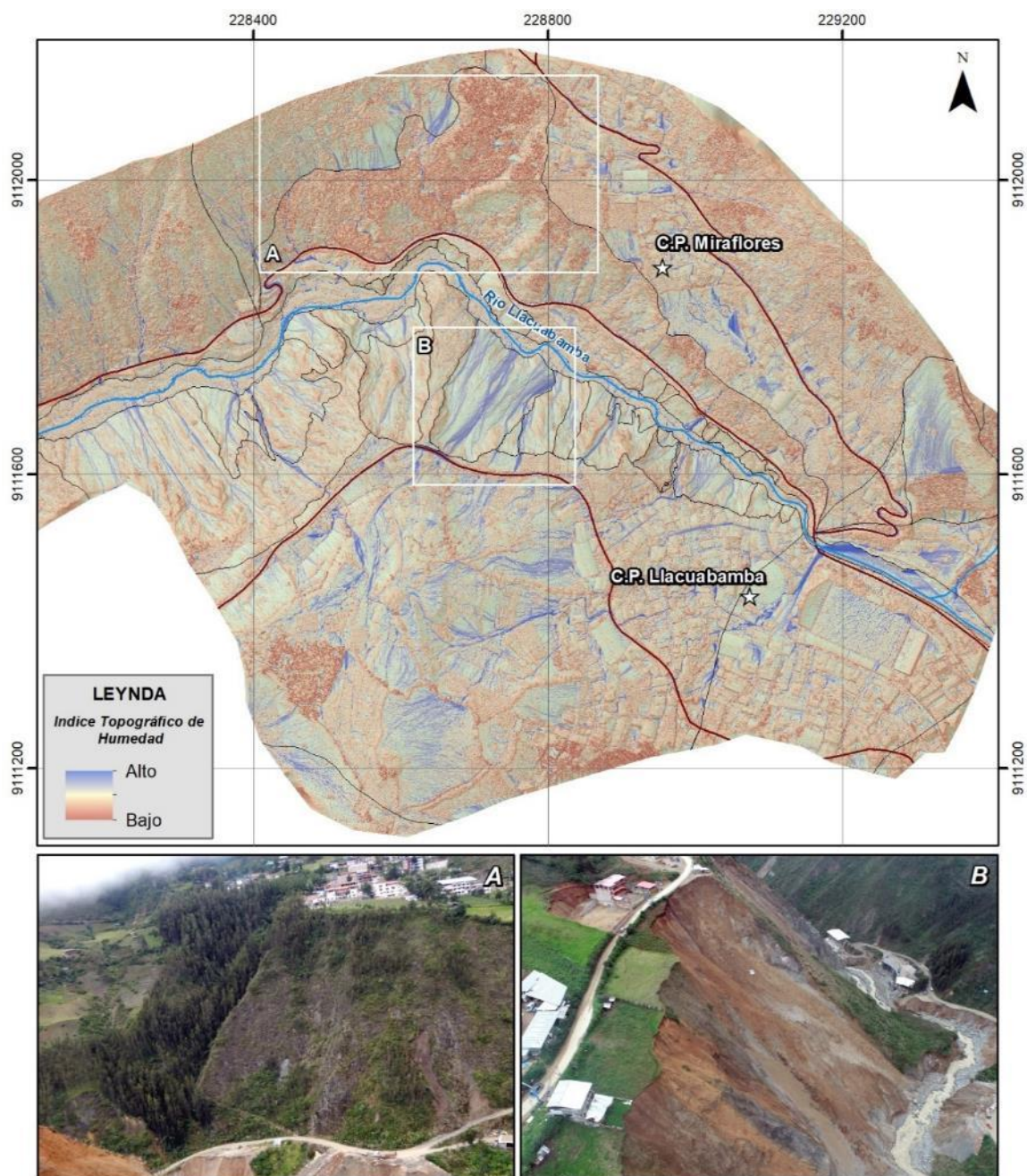


Figura 5. Mapa de Índice topográfico de Humedad (TWI). A) Análisis del TWI con cobertura vegetal. B) Análisis del TWI sin cobertura vegetal.

4.3. Unidades geomorfológicas

La identificación de unidades y subunidades geomorfológicas en el área de estudio, basada en criterios como la homogeneidad del terreno y el origen del relieve, es fundamental para comprender cómo se ha formado y cómo cambia el paisaje en esta región. Este análisis permite clasificar y describir con mayor detalle las diferentes zonas según sus características del terreno y tipo de rocas, lo cual es muy útil para evaluar peligros geológicos y apoyar la planificación del uso del suelo.

En el Mapa 3 (Anexo 1) se pueden observar las subunidades geomorfológicas reconocidas en el área. Asimismo, en la Figura 6 se muestra la configuración del relieve que corresponde a la comunidad de Llacuabamba.

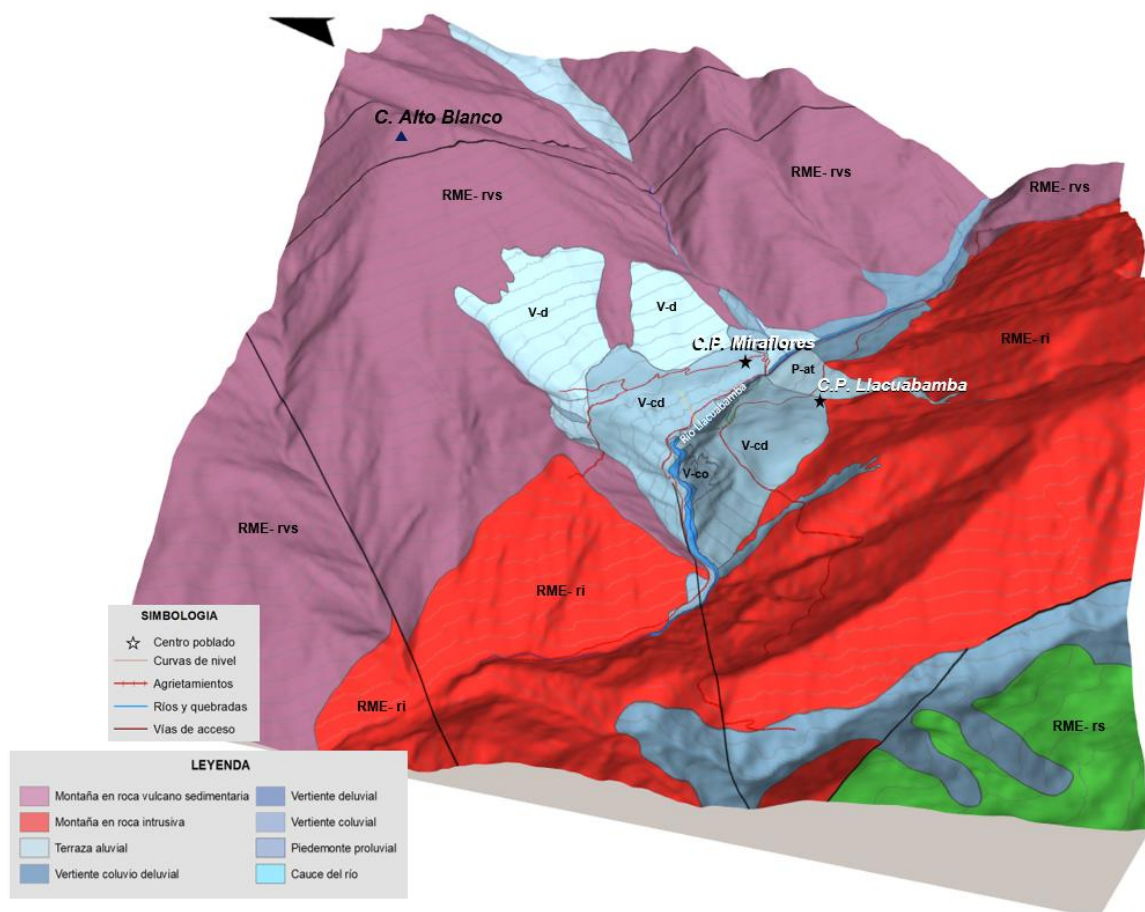


Figura 6. Unidades geomorfológicas expuestas en el poblado de Llacuabamba. RME-rvs. Montaña en roca volcánico sedimentaria, RM-ri: Montaña en roca intrusiva, V-co: Vertiente coluvial y V-cd. Vertiente coluvio deluvial y V-d: Vertiente deluvial.

4.3.1. Unidad de montaña

Esta es una de las unidades geomorfológicas más representativas en zonas de relieve abrupto o montañoso. Se caracteriza por presentar formaciones geológicas que superan los 300 m de altura en relación con el nivel de base local, como el fondo de valle. Dentro de esta unidad se incluyen diversas geoformas típicas del paisaje montañoso, tales como crestas, cumbres, laderas empinadas y valles intermontanos (fotografía 4). En el área de estudio, se han identificado las siguientes subunidades geomorfológicas:

Montaña en roca volcánico sedimentaria (ME-rvs): Relieve modelado sobre rocas volcánico - sedimentaria de la Formación Tres Lagunas, el cual, muestra características geomorfológicas particulares debido a su compleja composición litológica y a la acción de procesos geodinámicos. La cima del cerro Alto Blanco destaca por presentar formas alargadas y agudas, propias de procesos erosivos sobre materiales resistentes.

Las laderas del cerro tienen una configuración abrupta, resultado de antiguos eventos de remoción en masa, como avalanchas y derrumbes, que han modificado significativamente el modelado original del terreno. Este tipo de procesos gravitacionales, junto con la erosión superficial, han generado una topografía muy irregular.

En las partes más elevadas, las pendientes alcanzan valores muy fuertes (25° - 45°), e incluso extremadamente abruptos en algunos sectores, superando los 45°. Estas inclinaciones

pronunciadas constituyen un factor determinante en la inestabilidad del terreno, favoreciendo la ocurrencia de movimientos en masa.

Montaña en roca intrusiva (ME-ri): Relieve modelado sobre rocas intrusivas pertenecientes al Batolito de Pataz, el cual da origen a un paisaje montañoso de topografía accidentada. Este tipo de rocas se relaciona a montañas con cimas ligeramente subredondeadas. Al pie de esta montaña se encuentra asentada la población de Llacuabamba.

Las laderas presentan pendientes fuertes a muy fuertes, en muchos casos superiores a los 45°, lo que incrementa la susceptibilidad del terreno a procesos de remoción en masa, especialmente en zonas donde la fracturación o la meteorización de la roca es más intensa.



Fotografía 4. Vista hacia el sureste de montañas modeladas en rocas intrusivas y vulcano sedimentarias que circundan al poblado de Llacuabamba.

4.3.2. Unidad de piedemonte

Vertiente coluvio deluvial (V-cd): Esta unidad corresponde a paisajes formados principalmente por procesos gravitacionales y la acción del agua. Pueden variar en tamaño, desde pequeños movimientos de tierra hasta grandes deslizamientos, y probablemente se originaron por lluvias intensas o prolongadas, o por actividad sísmica.

En el área de estudio, estas formas del relieve se distribuyen en las partes bajas de las laderas que delimitan el río Llacuabamba, caracterizados por la acumulación de material suelto debido a la ocurrencia de eventos antiguos. Estos se desarrollan sobre pendientes que van desde fuertes (15°–25°) hasta muy fuertes (25°–45°).

Desde el punto de vista geodinámico, esta unidad está asociada a procesos como derrumbes, avalanchas de rocas y deslizamientos.

Actualmente, el poblado de Miraflores y parte de las viviendas de Llacuabamba se encuentran asentados sobre esta vertiente inestable, lo cual representa un peligro frente a nuevos posibles movimientos en masa.

Vertiente coluvial: (V-co): Ubicado al pie de las laderas que bordean el río Llacuabamba, este depósito corresponde a acumulaciones recientes de material, originadas por los derrumbes ocurridos el 19 de febrero de 2025. Son evidencias claras de procesos de remoción en masa recientes y se disponen siguiendo el curso del río, ocupando zonas bajas del relieve.

Vertiente deluvial: (V-d): Esta subunidad se ubica en la parte alta de la ladera del cerro Alto Blanco, conforma un relieve escarpado, caracterizado por laderas abruptas y pendientes que varían de fuerte a muy fuerte. Su morfología está influenciada por la acumulación de materiales transportados por gravedad, lo que contribuye a la inestabilidad del terreno y a la susceptibilidad a movimientos en masa.



Fotografía 5. Subunidad de vertiente coluvio deluvial y coluvial, dispuestas en la parte baja de las laderas que delimitan el río Llacuabamba.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en la comunidad de Llacuabamba y Miraflores (ubicado al frente), corresponden a movimientos en masa de tipo derrumbes, avalancha de rocas, flujo de detritos y deslizamientos; así como también peligros geohidrológicos tipo erosión fluvial y otros peligros geológicos de erosión de ladera en cárcavas (figura 7). El paisaje resultante de estos peligros es producto del proceso de modelamiento del terreno, influenciado por las características del macizo rocoso, los depósitos de eventos antiguos y la intervención antrópica (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007) (Anexo 1: Mapa 4).

En este ítem se describe a detalle los movimientos en masa primigenios que anteceden a los derrumbes ocurridos recientemente el 19 de febrero del presente año.

5.1. Avalancha de rocas (IL)

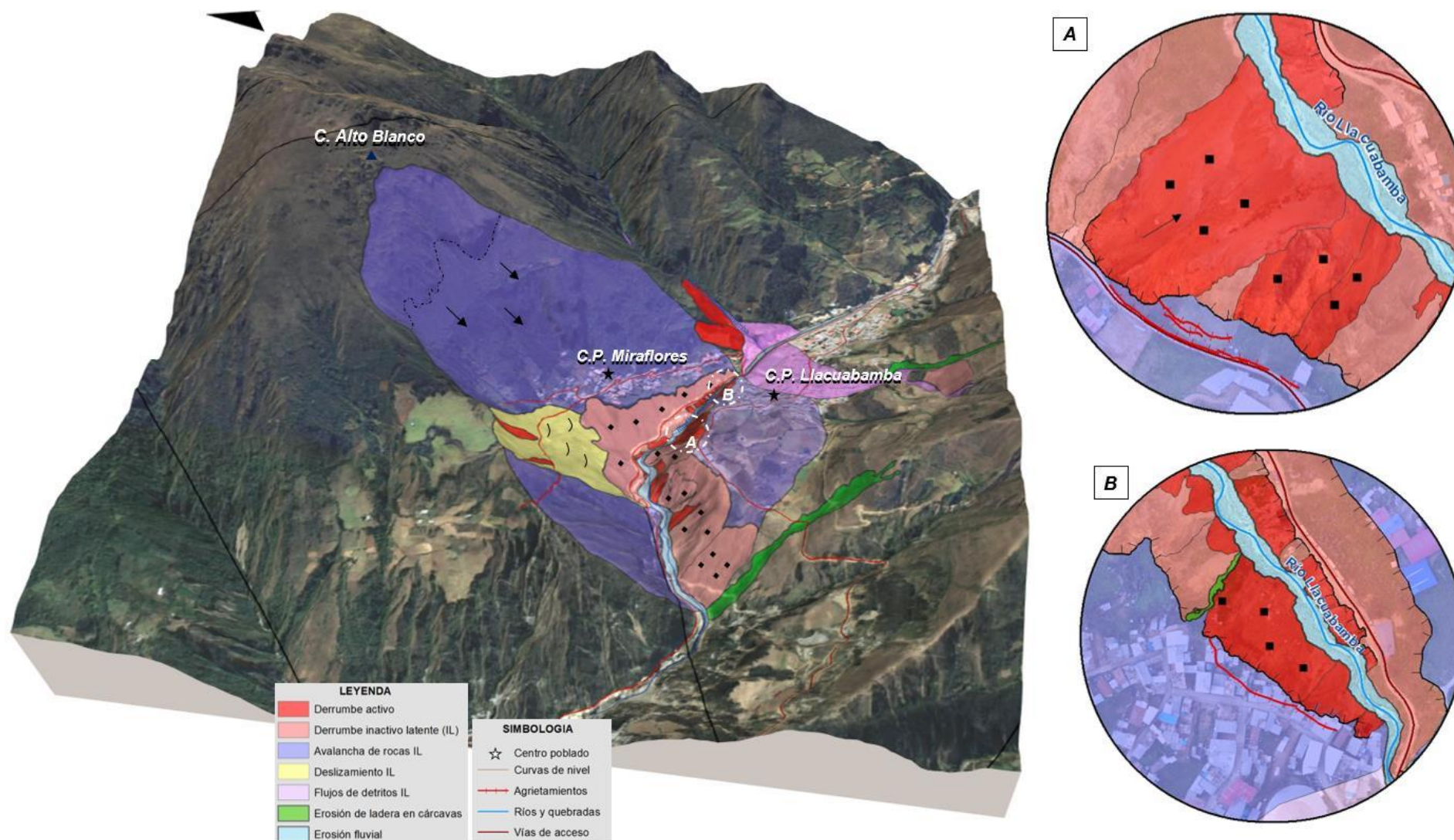
Este evento se desarrolló en la ladera suroeste del cerro Alto Blanco, afectando una superficie de ~145 hectáreas. La longitud total del evento, desde la zona de arranque (zona proximal) ubicada a una altitud de 3965 m s.n.m. hasta el pie de la avalancha (zona distal), alcanza los 2 km, presentando un ancho máximo de ~1 km en la zona media. Debido a las evidencias geomorfológicas en el terreno se interpreta que, durante su trayectoria, la masa movilizada impactó contra la ladera opuesta, generando un movimiento tipo '*run-up*' o denominado ascenso retrógrado del flujo, alcanzando una altura estimada de 250 m.

La zona de arranque de la avalancha se origina en una secuencia volcánica compuesta por lavas de andesitas y basaltos, dispuestas en capas gruesas, en algunos casos con evidencia de un metamorfismo incipiente. Estas lavas se encuentran intercaladas con niveles de rocas volcanoclásticas, las cuales se encuentran de moderado a muy fracturados en superficie. Esta configuración litológica, junto con la presencia de discontinuidades, habría contribuido a la inestabilidad del talud y el desencadenamiento del evento.

Debido al comportamiento dinámico del evento, se infiere que el material transportado por la avalancha ocasionó un represamiento temporal del río Llacuabamba. Como resultado, aguas arriba se formó una laguna, y con el transcurso del tiempo, fue progresivamente colmatado por sedimentos. Como evidencia de ello, se observa acumulaciones de material formando terrazas bajas, donde actualmente se asentaron una parte de la población de Llacuabamba.

El depósito heredado de *run-up* presenta una morfología en estructura tipo lomada con una cresta subredondeada y laderas empinadas, modelada por procesos erosivos a lo largo del tiempo (tipo hummocks); constituido por bloques heterométricos que, en algunos casos logran superar los 5 m de diámetro principalmente de naturaleza volcánico-clástico e intrusiva, inmersos en una matriz heterogénea de gravas, arenas, limos y en menor proporción de arcillas. Hacia lado oriental de este depósito se ha desarrollado progresivamente el crecimiento urbano del poblado Llacuabamba, mientras que, en la parte alta o cima se ha establecido el cementerio, junto con algunas viviendas dispersas.

En el flanco norte del depósito de *run-up*, en dirección hacia el río Llacuabamba, se identificaron múltiples derrumbes que se originaron posteriormente al evento antiguo (avalancha de rocas). En la actualidad, varios de estos derrumbes se reactivaron de manera localizada (figura 7A y B). Asimismo, se observan procesos activos de erosión en ladera, evidenciados por el desarrollo de cárcavas que contribuyen a la degradación progresiva de la ladera en este sector.



5.2. Derrumbes activos 1 y 2

Hacia el norte del depósito de *run-up* se han producido múltiples derrumbes (fotografía 6), los cuales, según la cartografía in situ, abarcan una superficie de ~42 hectáreas. Dentro de esta área se han identificado derrumbes inactivos latentes (IL), que se extienden al alrededor de ~30 hectáreas, así también, derrumbes activos, que abarcan una extensión ~12 hectáreas. Esta clasificación permite priorizar áreas con mayor susceptibilidad a reactivaciones, especialmente ante factores detonantes como precipitaciones intensas o sismos.

En el mes de febrero del presente año, como consecuencia de las lluvias intensas y prolongadas registradas durante dicho periodo, se activaron dos zonas. Estos eventos reactivados ponen en evidencia la alta inestabilidad del terreno ante factores climáticos anómalos



Fotografía 6. Múltiples derrumbes producido en el lado norte del depósito run up (se exponen viviendas en el acantilado)

A continuación, se describe las dos zonas de derrumbes activos:

5.2.1. Zona de derrumbe 1

Este derrumbe se desplazó en dirección noreste, abarcando un área de ~2 hectáreas y removilizó un volumen estimado de ~72 000 m³. El evento se originó en una ladera con pendiente muy fuerte, que supera los 45° (figura 8). El material removido y depositado al pie del talud está constituido por gravas y cantos de hasta 30 cm de diámetro envueltos en una matriz areno-limosa, lo que sugiere depósito con una estructura heterogénea.

Características visuales del derrumbe 1

- Estado de actividad: Activo
- Superficie de rotura inferida: No presenta
- Forma de la zona de arranque: Semicircular
- Longitud de la zona de arranque: 130 m.
- Desnivel entre la zona de arranque y el pie del derrumbe: 170 m
- Ancho promedio de derrumbe: 112 m.
- Área de derrumbe reactivado: ~2 ha

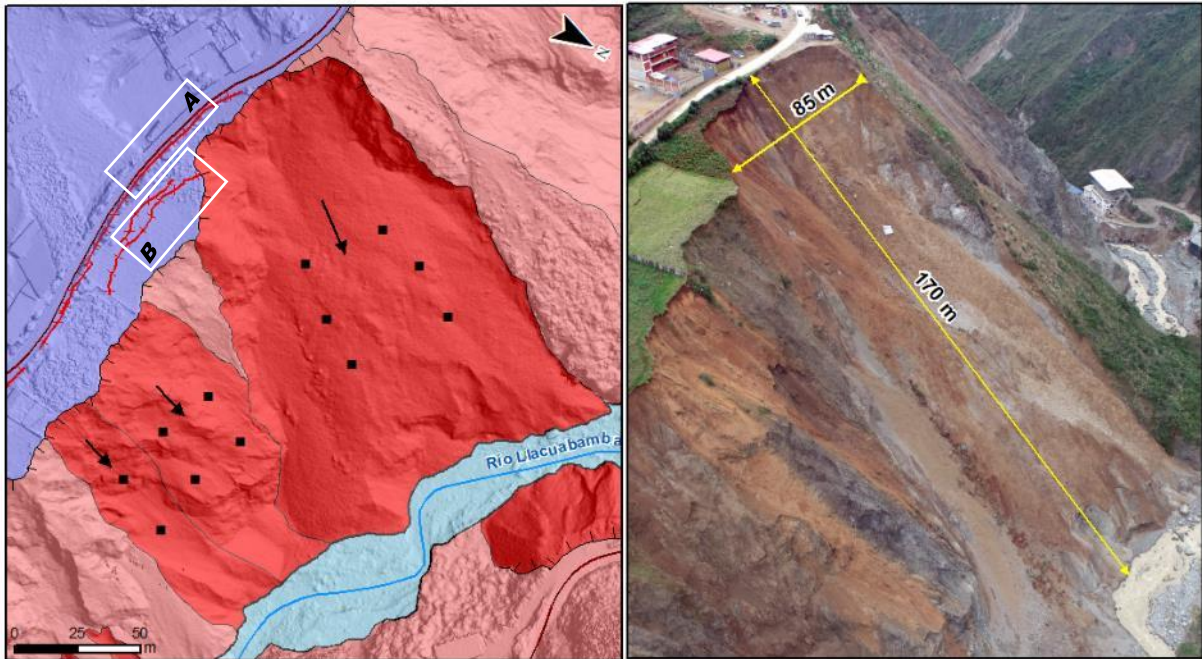


Figura 8. Vista de la zona de derrumbes 1, producida en ladera de pendiente muy fuerte. En la zona de arranque presenta un ancho de 85 m.

En la parte superior de la superficie de ruptura del derrumbe, hacia la carretera asfaltada que da acceso a la comunidad de Llacuabamba, se distinguen agrietamientos con longitudes de hasta 160 m. Estas grietas muestran desplazamientos de 10 cm y aperturas que alcanzan los 25 cm (figura 9), lo que ponen en evidencia una cinemática del movimiento tipo retrogresivo de la zona de arranque principal, y ascendente del derrumbe que se acerca peligrosamente hacia la zona urbana del poblado Llacuabamba; aspectos que la convierte en una zona con alta probabilidad de evolucionar a otro con mayor magnitud si persisten las condiciones desencadenantes.



Figura 9. Agrietamientos longitudinales en la vía asfaltada de ingreso a Llacuabamba.

Así también, hacia el flanco derecho del derrumbe se produjeron grietas con aberturas de hasta 30 cm, y una profundidad visible de 1 m. De continuar el ensanchamiento de las grietas que reflejan un claro desplazamiento del terreno, afectaría el taller y la caseta de control situadas a la entrada del pueblo de Llacuabamba.



Figura 10. Grietas que evidencian el desplazamiento del terreno localizados en el flanco superior derecho del derrumbe.

5.2.2. Zona de derrumbe 2

Los derrumbes continuos registrados en el barrio Rosario se han originado sobre depósitos de eventos antiguos. De acuerdo con el cartografiado geodinámico in situ, estos eventos involucran un área aproximada de 0.8 hectáreas (figura 11). La recurrencia de estos derrumbes sugiere condiciones geotécnicas desfavorables del terreno, asociadas a la litología local poco competente, la pendiente del terreno que es muy fuerte y la interacción de factores antrópicos.

A continuación se describe las características visuales del derrumbe.

Características visuales del derrumbe 2

- Estado de actividad: Activo
- Forma de la zona de arranque: Irregular
- Longitud de la zona de arranque: 130 m.
- Desnivel entre la zona de arranque y el pie del derrumbe: 75 m
- Ancho promedio de evento: 110 m.
- Área de zona afectada: aproximadamente 0.6 ha
- El avance del movimiento: Retrogresivo

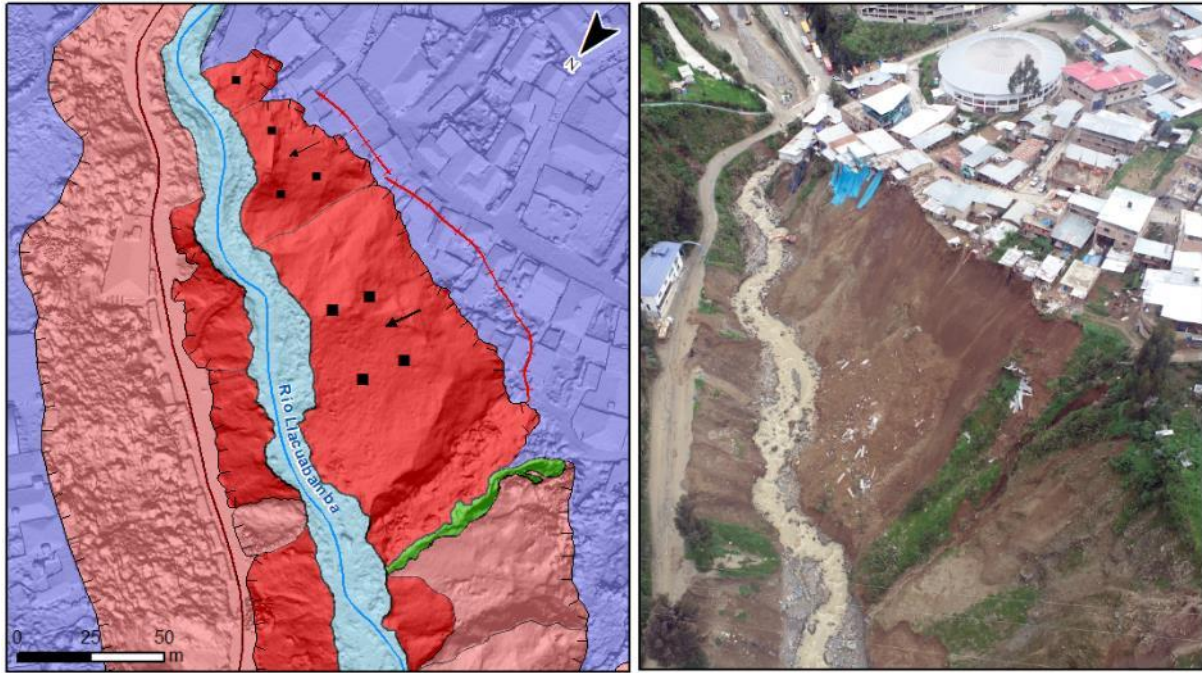


Figura 11. Derrumbes continuos desarrollados en el depósito del evento antiguo, sobre una pendiente muy fuerte del talud.

La ocurrencia de estos derrumbes ha dejado como resultado varias viviendas afectadas, algunas de ellas presentan grietas que comprometen estructuralmente sus paredes, mientras que, en otras las dejaron en condiciones críticas, a punto de colapsar (fotografía 7).

En el cuerpo del derrumbe se identificaron zonas húmedas, asociadas al vertimiento de aguas residuales. Esta condición antrópica podría estar contribuyendo significativamente a la inestabilidad del terreno, favoreciendo la continuidad y nuevamente reactivación del evento.



Fotografía 7. Vista de viviendas con paredes agrietadas, en el límite de la zona de arranque, las cuales están a punto de colapsar.

En la parte superior a la superficie de arranque del derrumbe se han registrado grietas de tensión que reflejan un desplazamiento del terreno de hasta 15 cm, así como una profundidad visible a 1 m, lo cual, evidencia que la ladera presenta una inestabilidad que aumenta de manera continua y latente. Esto indica que el material involucrado aún representa una zona potencialmente a removilización y que

podría ceder súbitamente ladera abajo ante condiciones estructurales del terreno desfavorables (figura 12).

Adicionalmente, en el sector del barrio Rosario se han identificado múltiples agrietamientos longitudinales a la dirección del movimiento. Estas grietas han generado rajaduras en las paredes y pisos de diversas viviendas (figura 13 A, B, C, D, E y F), afectando las estructuras de las construcciones y que representa un peligro para los habitantes (fotografía 13).



Figura 12. Grieta de tracción que reflejan un desplazamiento del terreno de hasta 15 cm de abertura situada en la parte superior de la zona de arranque del derrumbe, lo que, evidencia una zona potencialmente disponible a desplazarse ladera abajo.

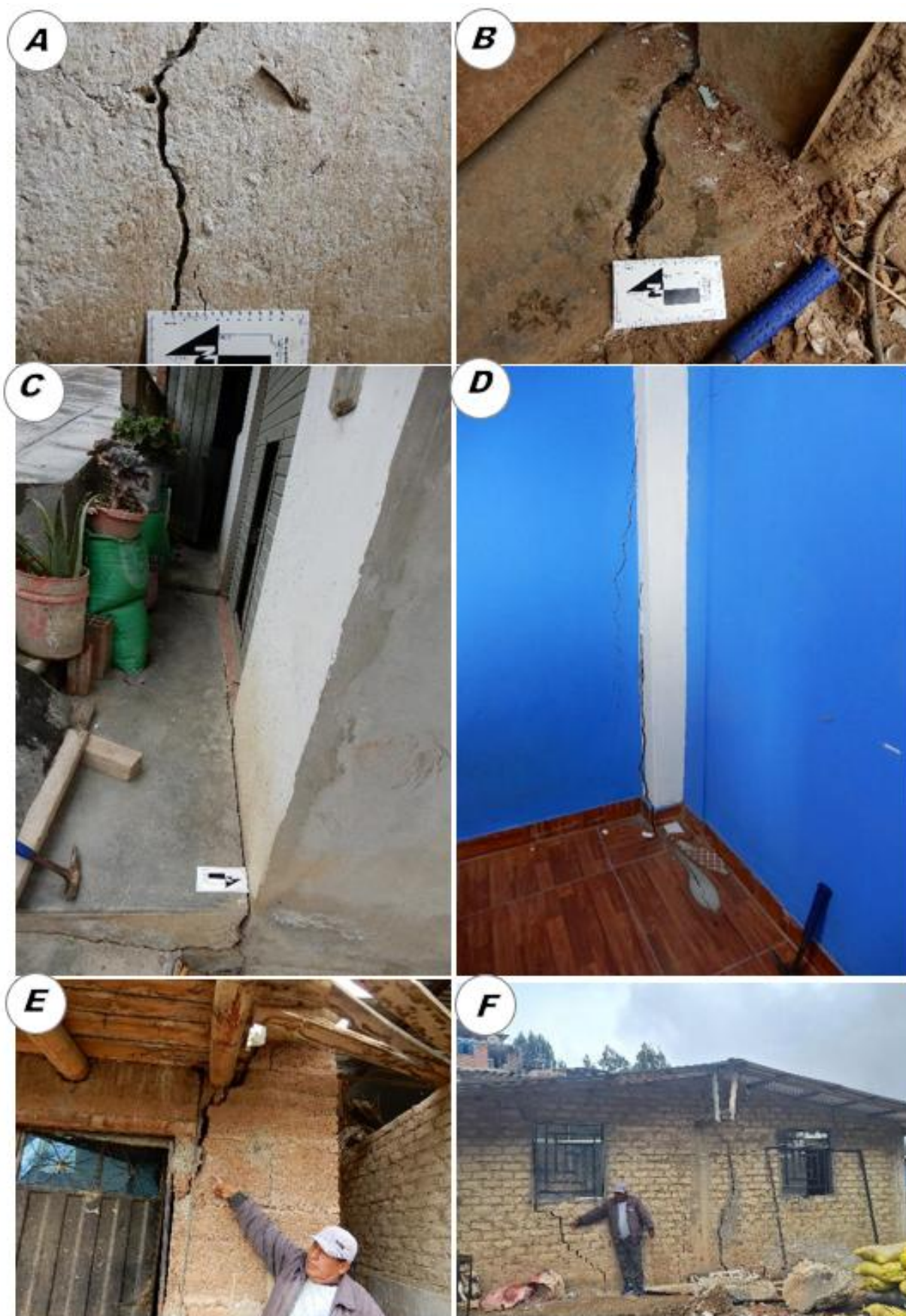


Figura 13. A, B, C, D, E, y F) Viviendas del barrio Rosario afectadas por derrumbes suscitados el 19 de febrero del 2025.



Fotografía 13. Viviendas construidas en la margen izquierda del río Llacuabamba. Vista panorámica mirando al sur.

5.3. Peligros geohidrológicos

5.3.1. Erosión fluvial

El incremento del caudal del río Llacuabamba, a su paso por el barrio Rosario ha intensificado los procesos de erosión fluvial en ambas márgenes, siendo más evidente en la margen izquierda. Esta socavación lateral compromete la estabilidad del pie del talud, debilitando su soporte natural y generando condiciones que propician y predisponen para la ocurrencia de los derrumbes (fotografía 14).



Fotografía 14. Procesos de erosión fluvial, socavan la margen izquierda del río Llacuabamba, en cual, contribuye con la inestabilidad del talud.

5.4. Factores condicionantes

Los factores condicionantes (cuadro 3) en el desarrollo y expansión de movimientos en masa y otros peligros geológicos en el poblado de Llacuabamba, son:

Cuadro 3. Factores condicionantes de los procesos por movimientos en masa y otros peligros.

| Procesos o causas naturales | Características | Peligros geológicos inducidos |
|---|---|--|
| Factores geológicos - geotécnicos inherentes (factores de sitio) | | |
| Litología del substrato-estructural | El afloramiento rocoso del cerro Alto Blanco está compuesto principalmente por lavas de tipo andesíticas y tobas, las cuales se encuentran con un grado de fracturamiento de moderado a alto y presentan meteorización moderada. Por otro lado, hacia el suroeste de Llacuabamba, afloran rocas intrusivas presentan características físicas que van de muy fracturado y altamente meteorizado, condiciones que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa, así como, avalanchas, deslizamientos y derrumbes. | Avalancha de rocas y deslizamientos y derrumbes. |
| Tipo de suelo (naturaleza del suelo) | Los suelos derivados de depósitos coluvio-deluviales ubicados en la parte baja de las laderas que bordean el río Llacuabamba presentan características que los hace susceptibles a la erosión y a los movimientos en masa. Se trata de suelos poco cohesivos e incompetentes, con estructura masiva y poco consolidados; condiciones que aumentan la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa, representando un peligro latente principalmente para las viviendas del barrio Rosario y las viviendas del poblado Llacuabamba asentadas muy próximas a laderas inestables. | Derrumbes y deslizamientos. |
| Depósito de eventos antiguos (avalancha de rocas) | Se identifican depósitos con laderas inestables, heredados de eventos antiguos, así como, derrumbes y avalanchas de rocas. Estas geoformas preexistentes han modelado y modificado el relieve, el cual, compromete actualmente la estabilidad natural del terreno, generando condiciones favorables para la ocurrencia de movimientos en masa. | Derrumbes y deslizamientos. |
| Pendiente del terreno | El análisis de la pendiente muestra que la vertiente coluvio-deluvial presenta pendientes entre muy fuerte (25°-45°) a abrupta (>45°), siendo estas últimas las áreas donde se localizaron las zonas de arranque de los derrumbes ocurridos en el mes de febrero del presente año. El depósito de run-up heredado por la antigua avalancha muestra en su cima una pendiente moderada (15°-25°), lo que evidencia una morfología suavizada producto del material acumulado. | Derrumbes, avalancha de rocas y erosión en cárcavas. |

5.5. Factores desencadenantes

Son aquellos eventos o condiciones que provocan o aceleran el proceso geológico de los movimientos en masa y peligros geohidrológicos. A continuación, se detallan los principales factores desencadenantes que influyen en la zona:

Cuadro 4. Factores desencadenantes de los procesos por movimientos en masa.

| Factores naturales del entorno geográfico | | |
|---|---|--|
| Climáticos e Hidrológicos | | |
| Precipitaciones pluviales | Durante el mes de febrero se registraron precipitaciones acumuladas de hasta 375.9 mm, según datos del SENAMHI. En los días previos al 19 de febrero, se alcanzaron los 197.9 mm de lluvia. Estos altos y prolongados niveles de pluviosidad provocan la saturación de los suelos y/o rocas, lo que incrementa las presiones internas del terreno. Al infiltrarse el agua por grietas, fracturas o discontinuidades geológicas, se reduce la resistencia del material y se genera una sobrecarga adicional debido al peso del agua, condiciones que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa (derrumbes en la zona de Llacuabamba). | Derrumbes, avalancha de rocas y erosión en cárcavas. |

5.6. Factores Antrópicos

Cuadro 5. Factores antrópicos que contribuyen a los procesos por movimientos en masa.

| Factores Antrópicos (humanos) | | |
|--|---|--|
| Ocupación inadecuada del terreno por el hombre | Se observa la presencia de viviendas construidas sobre el cauce del río Llacuabamba, lo que representa un alto nivel de exposición ante posibles avenidas o crecidas. Asimismo, se ha identificado la edificación de viviendas en los límites de zonas de arranque de los derrumbes descritos anteriormente. Esta ocupación del territorio en áreas de alto peligro incrementa significativamente la vulnerabilidad de la población frente a futuros deslizamientos, derrumbes o aluviones. | Derrumbes, avalancha de rocas y erosión en cárcavas. |
| Cambios en la geometría original de la ladera | La construcción de carreteras y trochas carrozables sobre depósitos de avalanchas o derrumbes inactivos, pero aún latentes, podría contribuir a desencadenar su reactivación. Estas intervenciones pueden modificar el equilibrio natural del terreno, especialmente si se altera el drenaje superficial. Al concentrar el flujo de agua en sectores específicos, se incrementa la erosión y se favorece la formación de cárcavas, tal como se observa en la localidad del barrio Rosario. Asimismo, los cortes de talud para la construcción de viviendas en zonas cercanas o colindantes con áreas inestables incrementan el peligro a exposición de movimientos en masa, ya que se relaciona con la inestabilidad del terreno. | Derrumbes, avalancha de rocas y erosión en cárcavas. |

| | | |
|---------------------------------------|---|--|
| <p>Sobrecarga en la ladera</p> | <p>La construcción de viviendas de hasta cuatro niveles en zonas muy próximas a los derrumbes inactivos latentes y activos genera una sobrecarga adicional sobre la ladera. Esta carga extra podría desestabilizar el terreno, especialmente en áreas comprometidas estructuralmente, lo que, aumenta considerablemente la exposición al peligro por reactivación de movimientos en masa.</p> | |
|---------------------------------------|---|--|

6. CONCLUSIONES

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

1. En el área de estudio afloran tobas de composición andesítica y dacítica, expuestas en la ladera media y alta del cerro Alto Blanco. Este afloramiento se caracteriza por presentarse superficialmente de mediano a muy fracturado y moderadamente meteorizado; hacia el suroeste afloran rocas intrusivas del Batolito de Pataz, conformada por granodioritas y tonalitas que, en conjunto presentan características físicas que van de muy fracturado y altamente meteorizado, condiciones que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa, así como, avalanchas, deslizamientos y derrumbes.
2. En las partes bajas del cerro Alto Blanco se tienen depósitos coluviales y coluviales, el primero compuesto por bloques de hasta 5 m de diámetro, inmersos dentro de una masa constituida de gravas, arenas y limos. Este depósito presenta una estructura masiva, porosa y húmeda, que lo convierten en zonas inestables y poco competentes. Estas condiciones aumentan la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa, representando un peligro latente principalmente para las viviendas del barrio Rosario y las viviendas del poblado Llacuabamba asentadas muy próximas a laderas inestables.
3. Las laderas del cerro Alto Blanco y las zonas en donde se produjeron los derrumbes recientes del 19 de febrero presentan pendientes fuertes (15° - 25°) a abruptas ($>45^{\circ}$), lo que favorece el flujo superficial del agua de lluvia, contribuyendo a la erosión y a la ocurrencia de movimientos en masa.
4. En la zona de estudio se han identificado avalanchas, deslizamientos antiguos, derrumbes que ocupan un área de 200 hectáreas y han alterado la estabilidad natural del terreno. Estas zonas son más susceptibles a reactivarse o producir nuevos eventos antes lluvias o sismos.
5. El 19 de febrero del presente año, se han desarrollado derrumbes al noroeste del poblado Llacuabamba, abarcan una superficie de ~42 ha. Dentro de esta área se han identificado derrumbes inactivos latentes (IL), que cubren alrededor de 30 hectáreas, así también, derrumbes activos, el cual, se extienden en un área de 12 ha. Estos eventos han afectado viviendas del barrio Rosario y parte de vía afirmada situada a la entrada de la comunidad de Llacuabamba.
6. En la parte superior de las zonas de arranque de los derrumbes se han identificado múltiples agrietamientos, con aberturas de terreno de hasta 30 cm, lo que, nos sugiere que podrían originarse derrumbes de mayor dimensión y magnitud, que, afectaría alrededor de 30 viviendas del barrio Rosario, dentro de ellas la caseta de control situada a la entrada de la comunidad de Llacuabamba, así también, el colapso y destrucción total de la vía afirmada.
7. Como factores desencadenantes, se relaciona con el factor climático durante el mes de febrero en el poblado de Llacuabamba y alrededores, donde se registraron precipitaciones acumuladas de hasta 375.9 mm. En los días previos al 19 de febrero,

se alcanzaron los 197.9 mm de lluvia. Estos altos y prolongados niveles de pluviosidad provocan posiblemente la saturación de los suelos y/o rocas, lo que, incrementó las presiones internas del terreno, ocasionando los derrumbes.

8. El factor antrópico, como la construcción de viviendas sobre del cauce del río Llacuabamba, así también, edificaciones sobre o cerca de zonas inestables a los derrumbes, vertimientos de gua residuales sobre las laderas inestables, cortes de talud en depósitos de eventos antiguos incrementa la susceptibilidad y exposición de los pobladores ante futuros eventos de movimientos en masa.
9. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se considera que las viviendas del barrio Rosario, a partir de la calle el Rosario, en dirección al río Llacuabamba; así también, un tramo de la vía situada a la entrada de la comunidad, 100 m a los laterales o flancos (antes y después) del derrumbe 1, son considerados como **Zona Crítica y Peligro Muy Alto** ante la ocurrencia de movimientos en masa.



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



Ing. GUISELA CHOQUENAIRA GARATE
Especialista en movimientos en masa
INGEMMET

7. RECOMENDACIONES

A continuación, se brindan recomendaciones con la finalidad de mitigar el impacto de peligros asociados a movimientos en masa y peligros geohidrológicos en la comunidad de Llacuabamba. Así mismo, la implementación de dichas recomendaciones permitirá darle mayor seguridad a las viviendas e infraestructura expuesta a los peligros antes mencionados.

NO ESTRUCTURALES

1. Reubicar viviendas construidas próximas al cauce del río Llacuabamba y aquellas ubicadas en el área de influencia directa de los derrumbes activos e inactivos latentes (zona crítica). Priorizar la evacuación de familias del barrio Rosario ubicadas en la zona de arranque del derrumbe 2.
2. Realizar monitoreo periódico de los agrietamientos y laderas inestables, especialmente en temporadas de lluvia. Estos pueden ser a través de puntos de control geodésico, visual para observar posibles desplazamientos del terreno, o mediante imágenes satélites o fotogrametría con drones.
3. Elaborar una Evaluación de Riesgos (EVAR) para determinar los elementos expuestos del Barrio Rosario, así como también de la vía de acceso a la comunidad de Llacuabamba.
4. Prohibir la construcción de viviendas en laderas con antecedentes de movimientos en masa; además, prohibir el vertido de aguas residuales sobre las laderas inestables.
5. Suspender inmediatamente el paso vehicular y peatonal por la vía situada a la entrada del poblado de Llacuabamba.
6. Las autoridades deben difundir a la comunidad en general, sobre la identificación de las zonas de peligro alto en sus jurisdicciones, a fin de hacerles participe con planes de preparación, evacuación y acción ante la ocurrencia de estos eventos, potenciales en magnitud e intensidad de peligrosidad.

ESTRUCTURALES

7. Implementar sistema de drenaje en el depósito de la avalancha, para captar las aguas de escorrentía pluvial y derivarlas al cauce del río Llacuabamba, de esa manera evitar saturación del terreno. Además, realizar zanjas de coronación en la parte superior de la zona de arranque de los derrumbes, especialmente en las áreas consideradas como zona crítica. El tipo y diseño debe realizarse previo estudio geotécnico.
8. Implementar defensa ribereña en ambos márgenes del río Llacuabamba, en un tramo de 800 m aguas abajo, desde el puente de entrada a Llacuabamba. Otra opción es realizar canalización del río Llacuabamba.

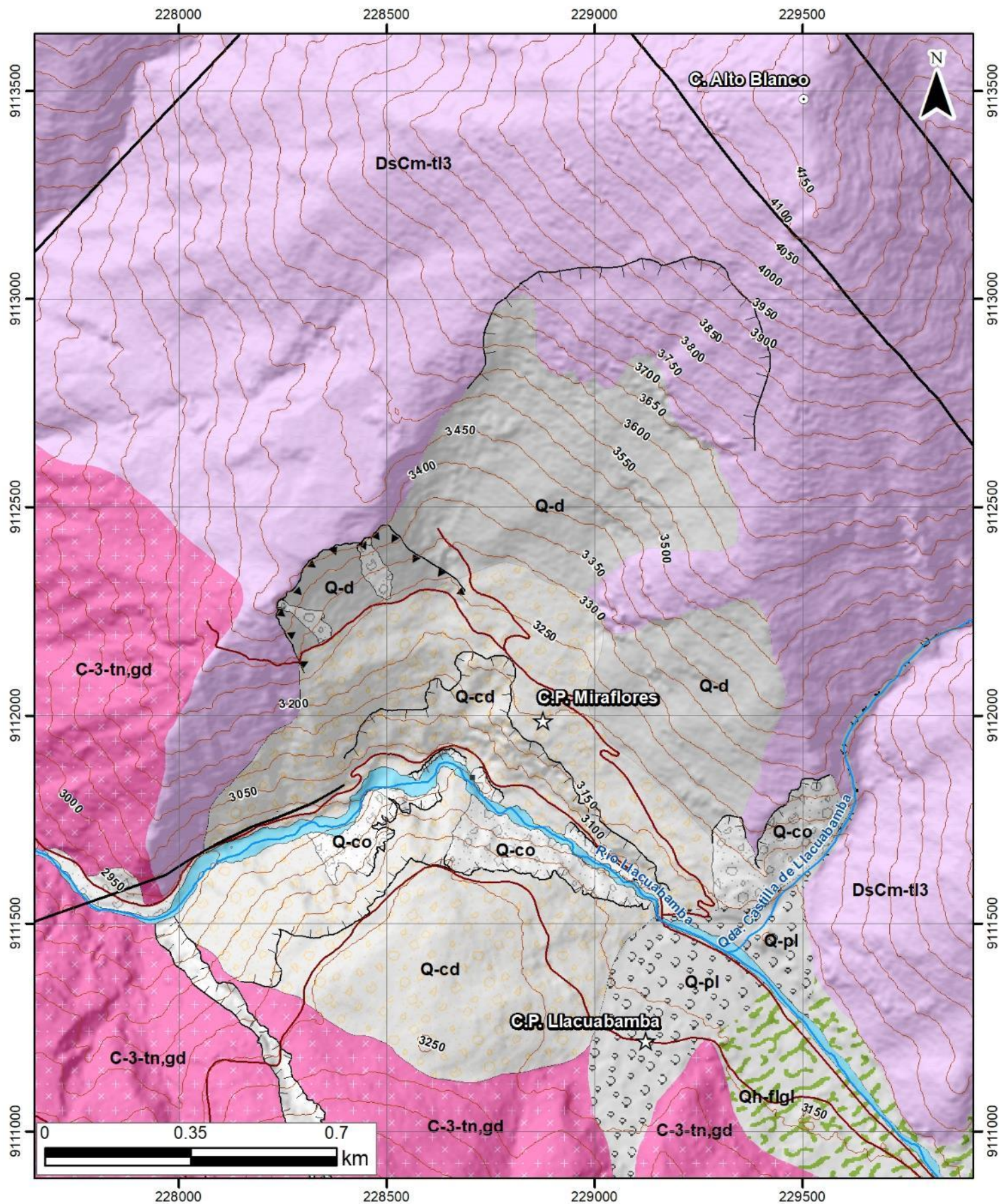
Nota. El tipo y diseño de las medidas estructurales vertidas en el presente informe deben tener un estudio geotécnico a detalle, antes de ejecutarlo.

8. BIBLIOGRAFÍA:

- Díaz, W. (2020). Factores que determinan el origen de la contaminación de suelos por arsénico en la comunidad de Llacuabamba, Pataz, mediante procedimientos secuenciales y alternos. Tesis para optar grado de Doctor en Ciencias Ambientales. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Gómez, W. (inédito). Mapa geológico del cuadrángulo de Pataz (hojas: 16h1, 16h2, 16h3 y 16h4) a escala 1:50,000. Cartografiado geológico y la correlación de las unidades del carbonífero y rocas plutónicas de Batolito de Pataz.
- 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.
- Medina, L.; Luque, G.; Pari, W. (2012) - Riesgo geológico en la región La Libertad. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 50, 238 p.
- Medina, L., Luque, G., (2008) – Zonas críticas en la Región La Libertad. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Informe Técnico N° A6548, 58p, 1 mapa. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2006>.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrológica, SENAMHI (2024) –Comportamiento de las precipitaciones en el ambito de Retamas, distrito de Parcoy, provincia de Pataz, La Libertad. Lima: Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica,
- Wilson, J., Reyes, L., Garayar, J., (1967) - Geología de los cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari. Hojas: 17-h, 17-i, 18-h, 18-i, 19-h, y 19-i. Servicio de Geología y Minería. Boletín Ingemmet, Serie A:
- Carta Geológica Nacional, N° 16, 95 p. Disponible en:
- <https://hdl.handle.net/20.500.12544/133>.

ANEXO 1

MAPAS DEL POBLADO LLACUABAMBA



SIMBOLOGIA

- ☆ Centro poblado
- Curvas de nivel
- Fallas
- Ríos y quebradas
- Vías de acceso

LEYENDA

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| Fm. Tres Lagunas | Depósito coluvial |
| Batolito de Pataz | Depósito deluvial |
| Depósito fluvio glaciar | Depósito proluvial |
| Depósito coluvio deluvial | Depósito fluvial |

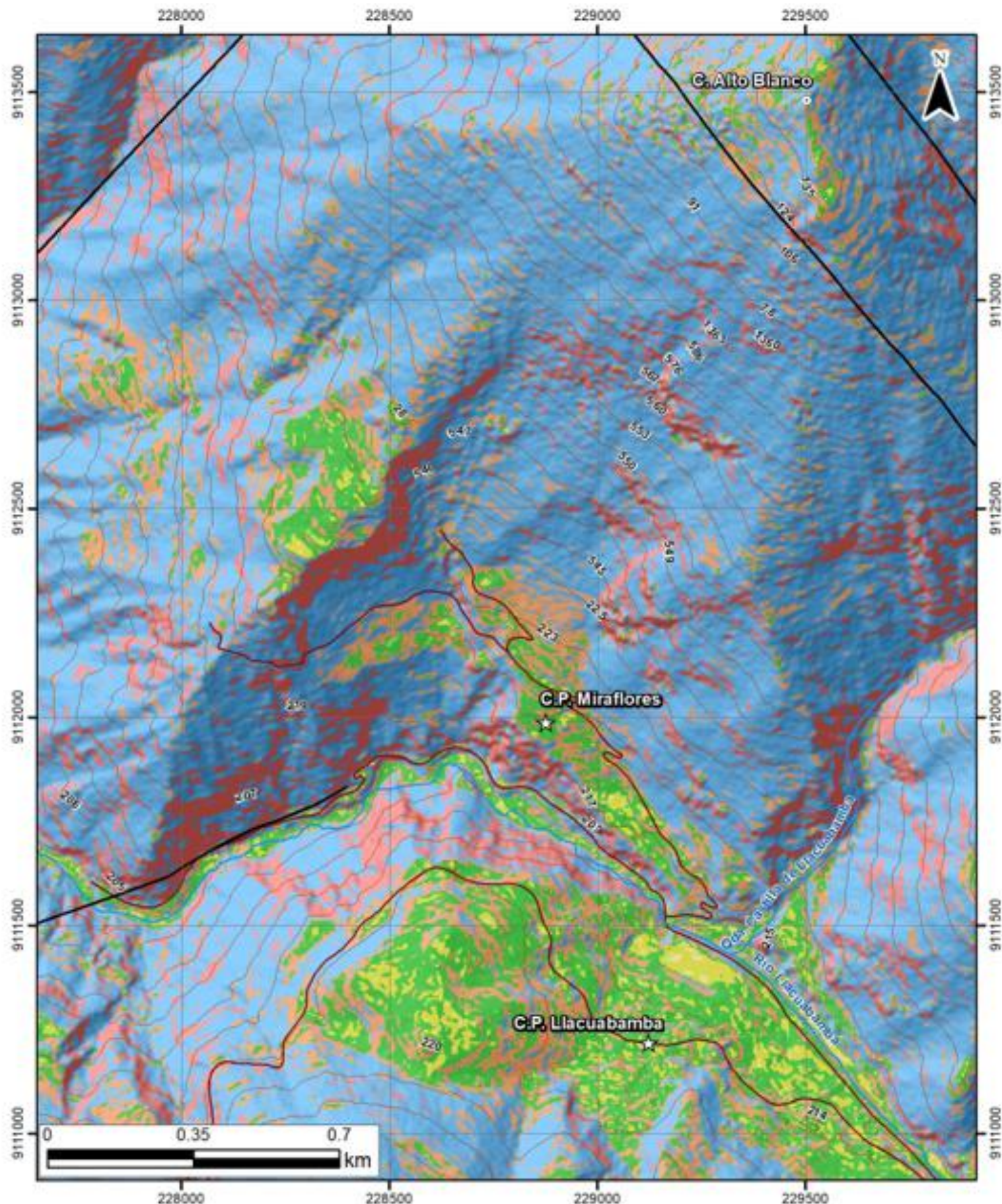


ACT. 16: SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA EN LA
EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

MAPA GEOLÓGICO

Escala 1:12 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18s
Versión digital: Año 2025

01



SIMBOLOGIA

- ☆ Centro poblado
- Curvas de nivel
- Fallas
- Ríos y quebradas
- Vías de acceso

LEYENDA

- <1°: Muy baja
- 1°-5°: Baja
- 5°-15°: Media
- 15°-25°: Fuerte
- 25°-45°: Muy fuerte
- >45°: Abrupta

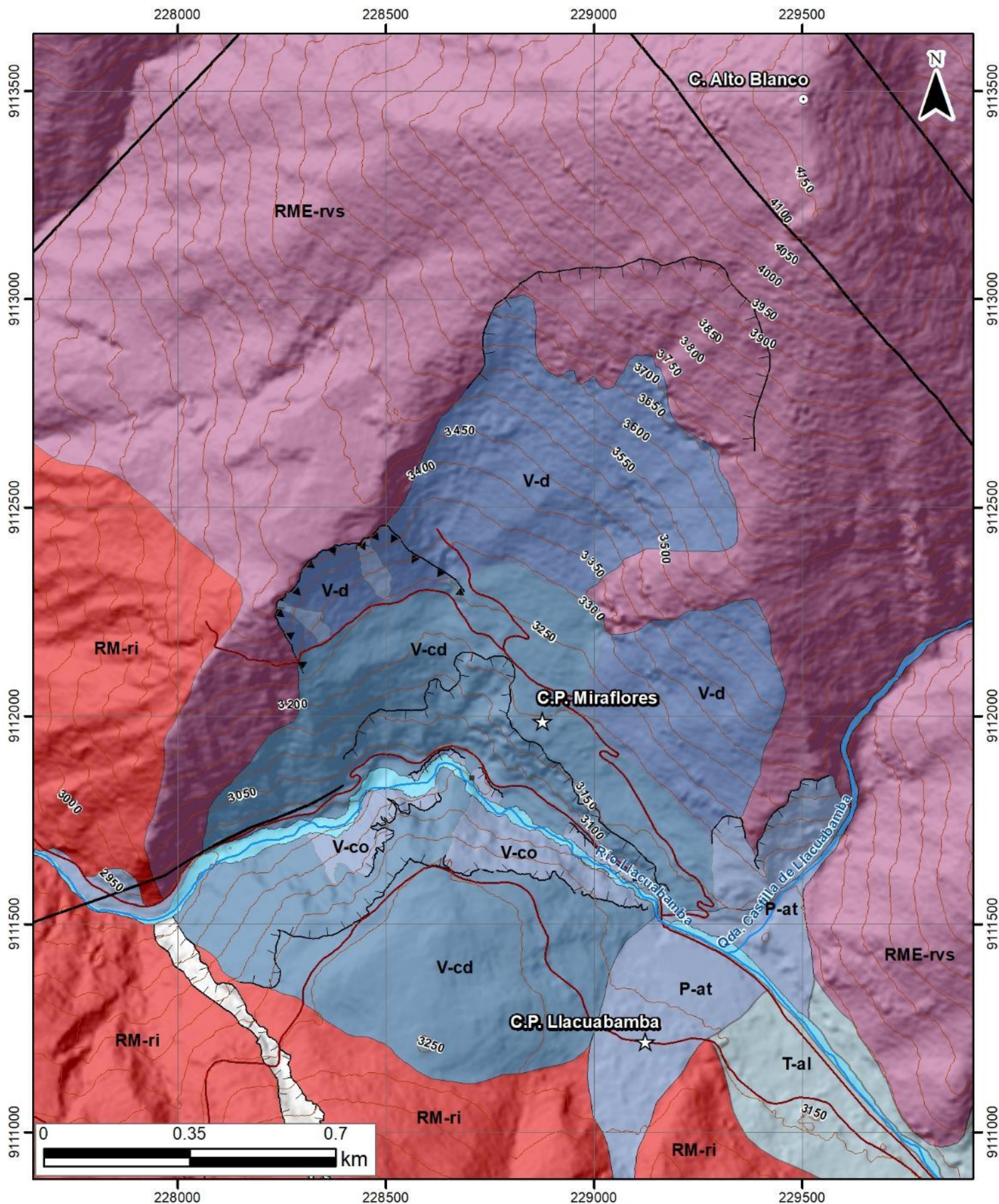
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

ACT. 16: SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA EN LA
 EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL









MAPA DE PENDIENTES

Escala 1:12 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18s
 Versión digital Año 2025

02



LEYENDA

- | | |
|--|--|
|  Montaña en roca vulcano sedimentaria |  Vertiente deluvial |
|  Montaña en roca intrusiva |  Vertiente coluvial |
|  Terraza aluvial |  Piedemonte proluvial |
|  Vertiente coluvio deluvial |  Cauce del río |

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

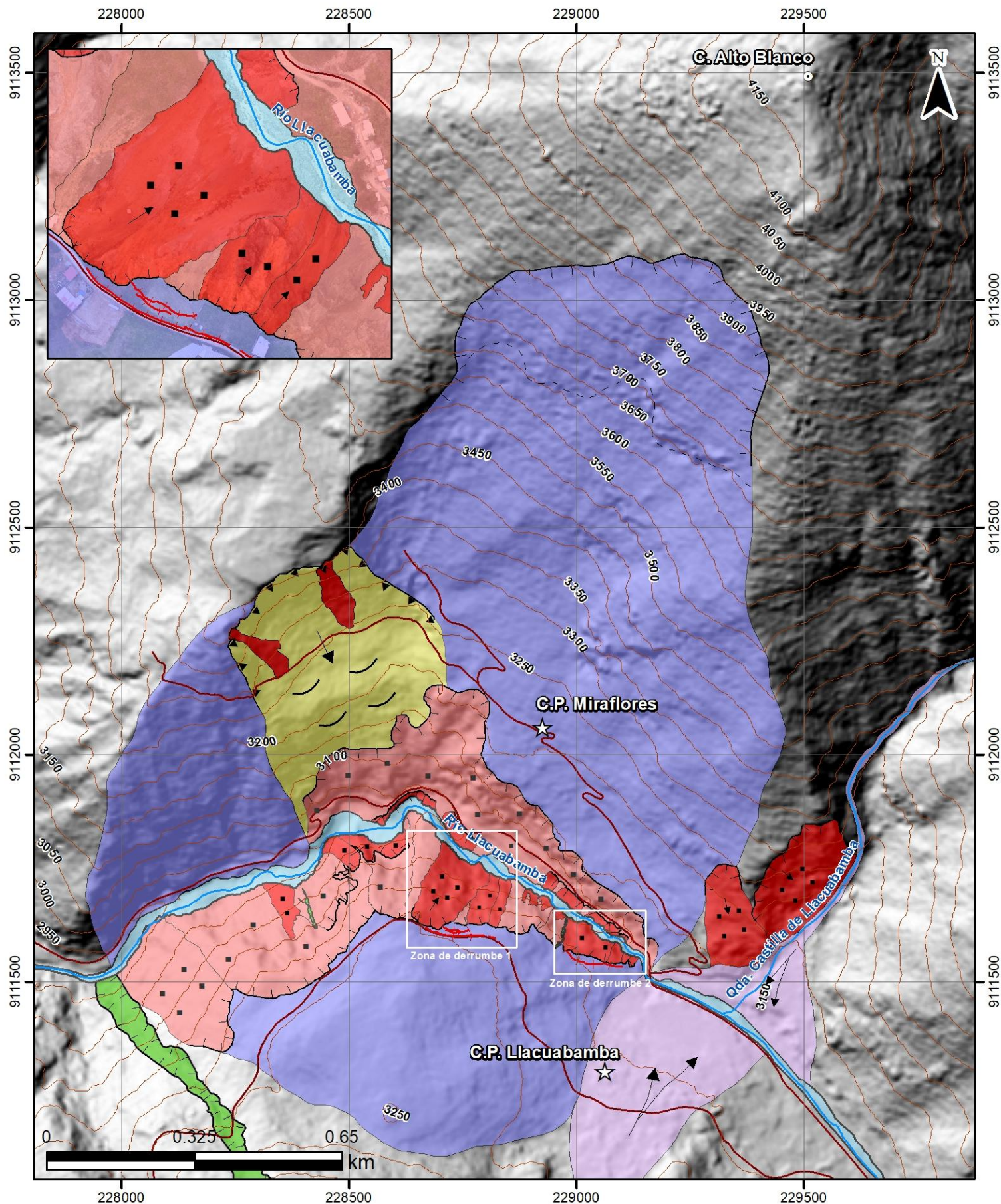
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

ACT. 16: SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA EN LA
 EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

MAPA GEOMORFOLÓGICO

Escala 1:12 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18s
 Versión digital: Año 2025

03



SIMBOLOGIA

- ☆ Centro poblado
- Curvas de nivel
- +++ Agrietamientos
- Ríos y quebradas
- Vías de acceso
- ▲ Escarpe
- Zona de arranque

LEYENDA

- Derrumbe activo
- Derrumbe inactivo latente (IL)
- Avalancha de rocas IL
- Deslizamiento IL
- Flujos de detritos IL
- Erosión de ladera en cárcavas
- Erosión fluvial

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

ACT. 16: SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA EN LA
 EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

**MAPA DE CARTOGRAFIA DE
 MOVIMIENTOS EN MASA**

Escala 1:10 000 Datum UTMWGS 84 Zona 18s
 Versión digital: Año 2025

04