

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7536

EVALUACIÓN DEL PELIGRO GEOLÓGICO POR DESLIZAMIENTO EN LA LOCALIDAD DE LA PAUCA

Departamento: Cajamarca
Provincia: San Miguel
Distrito: Unión Agua Blanca



SETIEMBRE
2024

EVALUACIÓN DEL PELIGRO GEOLÓGICO POR DESLIZAMIENTO EN LA LOCALIDAD DE LA PAUCA

***Distrito Unión Agua Blanca
Provincia San Miguel
Departamento Cajamarca***



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

Equipo de investigación:

*Elvis Rubén Alcántara Quispe
Luis Miguel León Ordáz*

Referencia bibliográfica

León, L. (2024). "Evaluación del peligro geológico por deslizamiento en la localidad de La Pauca, Distrito Unión Agua Blanca, Provincia San Miguel, Departamento Cajamarca". INGEMMET, Informe Técnico N° A7536, 32p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Objetivos del estudio.....	4
1.2. Antecedentes.....	5
1.3. Aspectos generales	5
1.3.1. Ubicación	5
1.3.2. Accesibilidad	6
1.3.3. Población	6
1.3.4. Clima.....	7
2. DEFINICIONES	8
3. ASPECTO GEOLÓGICO.....	10
3.1. Unidades litoestratigráficas.....	10
3.1.1. Secuencia sedimentaria clástica Grupo Goyllarisquizga (Ki-g).....	10
3.1.2. Depósitos piroclásticos del Centro Volcánico Niepos (Pe-niE3)	11
3.1.3. Depósitos coluvio deluviales del Cuaternario	13
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	14
4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE).....	14
4.2. Unidades Geomorfológicas.....	15
4.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	15
4.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional	16
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	17
5.1. Deslizamiento rotacional activo de La Pauca DA1	17
5.1.1. Análisis longitudinal.....	18
5.1.2. Características visuales y morfométricas.....	21
5.2. Deslizamiento inactivo latente de La Pauca DI1	22
5.2.1. Análisis longitudinal.....	22
5.2.2. Características visuales y morfométricas.....	24
6. CONCLUSIONES.....	25
7. RECOMENDACIONES.....	26
8. BIBLIOGRAFÍA.....	27
ANEXO 1. MAPAS.....	28
ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS.....	32

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por deslizamiento, realizados en la localidad La Pauca, que pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Unión Agua Blanca, provincia San Miguel, departamento Cajamarca. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualización, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

Las unidades geológicas que afloran en la zona evaluada corresponden a flujos piroclásticos de la unidad Centro Volcánico Niepos - Evento 3, que conforman macizos rocosos muy fracturados y altamente meteorizados; que se encuentran cubiertos por suelos limo arcillosos de plasticidad media a alta, de origen coluvio deluvial; en la parte baja se aprecian afloramientos de areniscas medianamente fracturadas y moderadamente meteorizadas del Grupo Goyllarisquizga.

Las unidades geomorfológicas en la zona de estudio, son montañas en roca volcánica sedimentaria, con pendiente escarpada a muy escarpada; además de vertientes con depósito de deslizamiento en sectores cóncavos, producto de movimientos en masa.

Los procesos identificados en la localidad La Pauca corresponden a 2 deslizamientos de tipo rotacional de suelos: uno activo ubicado en el sector este (**DA1**), de 1.2 ha; y otro inactivo-latente situado al oeste de la localidad (**DI1**), de 0.9 ha.

Los deslizamientos han afectado a 2 viviendas, 1 institución educativa (821381), 1040 m² de terrenos de cultivo, 60 m de camino de herradura y un cable de corriente eléctrica en la parte baja.

Como factor detonante, se considera a las precipitaciones pluviales extremas y prolongadas, como las registradas los días 9 y 13, de marzo del 2023 de 79 y 75.2 mm/día respectivamente, en la estación Lives, San Miguel.

Se concluye que el área de impacto del deslizamiento activo **DA1** es considerado de **Muy Alto peligro** a la ocurrencia a movimientos en masa, mientras que el área de impacto del deslizamiento inactivo latente **DI1** es considerado de **Moderado a Alto peligro**.

Finalmente, se brindan las recomendaciones para las autoridades competentes y tomadores de decisiones, como la reubicación de las viviendas afectadas, impermeabilización de los canales de regadío, sustitución del sistema de riego por inundación, por métodos tecnificados, monitoreo del avance de los deslizamientos y capacitación a la población, docentes y alumnos de la IE 821381, en Gestión del Riesgo de Desastres.

1. INTRODUCCIÓN

El INGEMMET, mediante la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) y el “Servicio de asistencia en evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye 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 solicitud remitida por el Gobierno Regional de Cajamarca Oficio N° D640-2023-GR.CAJ/ODN, es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos por deslizamiento en la localidad La Pauca, cuya ocurrencia es periódica y latente durante las temporadas de lluvias, el último evento ocurrido en marzo del 2023.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los ingenieros Luis León y Elvis Alcántara, quienes realizaron la evaluación de peligros en la localidad mencionada el día 9 de mayo del 2024.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: etapa de pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET y foto interpretación de la zona; etapa de campo a través de la observación, toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografía geológica, recopilación de información y testimonios de población local afectada; y para la etapa final de gabinete se realizó el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, cartografía e interpretación, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de Unión Agua Blanca, Municipalidad Provincial de San Miguel, Gobierno Regional de Cajamarca, 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, entre otros, 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.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se presentan en la localidad La Pauca, eventos que pueden comprometer la seguridad física de personas, obras de infraestructura y vías de comunicación.
- b) Emitir recomendaciones para mitigar los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

1.2. Antecedentes

Existen trabajos previos y publicaciones del INGEMMET, que incluye a la localidad La Pauca, relacionados a temas de geología y geodinámica externa, de los cuales destacan los siguientes:

- Boletín N° 31 Serie A, “Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y San Miguel” (Reyes, 1980) donde se describen las unidades geológicas a una escala 1:100 000; describiendo en la zona brechas piroclásticas andesíticas de la Formación Llama. En el cartografiado geológico integrado a escala 1:50 000, (Ingemmet, versión 2022) por detalle, se describen depósitos piroclásticos dacíticos del Centro Volcánico Niepos - Evento 3.
- El Boletín N° 44 Serie C, Estudio de Riesgo geológico en la región Cajamarca (Zavala & Rosado, 2011) presenta un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, a escala 1:250 000; donde la localidad La Pauca se sitúa en una zona de susceptibilidad de media ante la ocurrencia de movimientos en masa.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada corresponde a la localidad La Pauca que pertenece al distrito de Unión Agua Blanca, provincia San Miguel, departamento Cajamarca (figura 1), ubicada en las coordenadas UTM WGS 84 – Zona: 17S descritas en el tabla 1, además de las coordenadas centrales referenciales del evento identificado.

Tabla 1. Coordenadas de las áreas de estudio.

N°	UTM – WGS 84 - ZONA 17S		Coordenadas geográficas (°)	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	715490	9218425	-7.066711	-79.049088
2	715490	9217985	-7.070689	-79.049072
3	715090	9217985	-7.070704	-79.052696
4	715090	9218425	-7.066726	-79.052712
Coordenada central de los peligros identificados				
C	715382	9218243	-7.068358	-79.050064

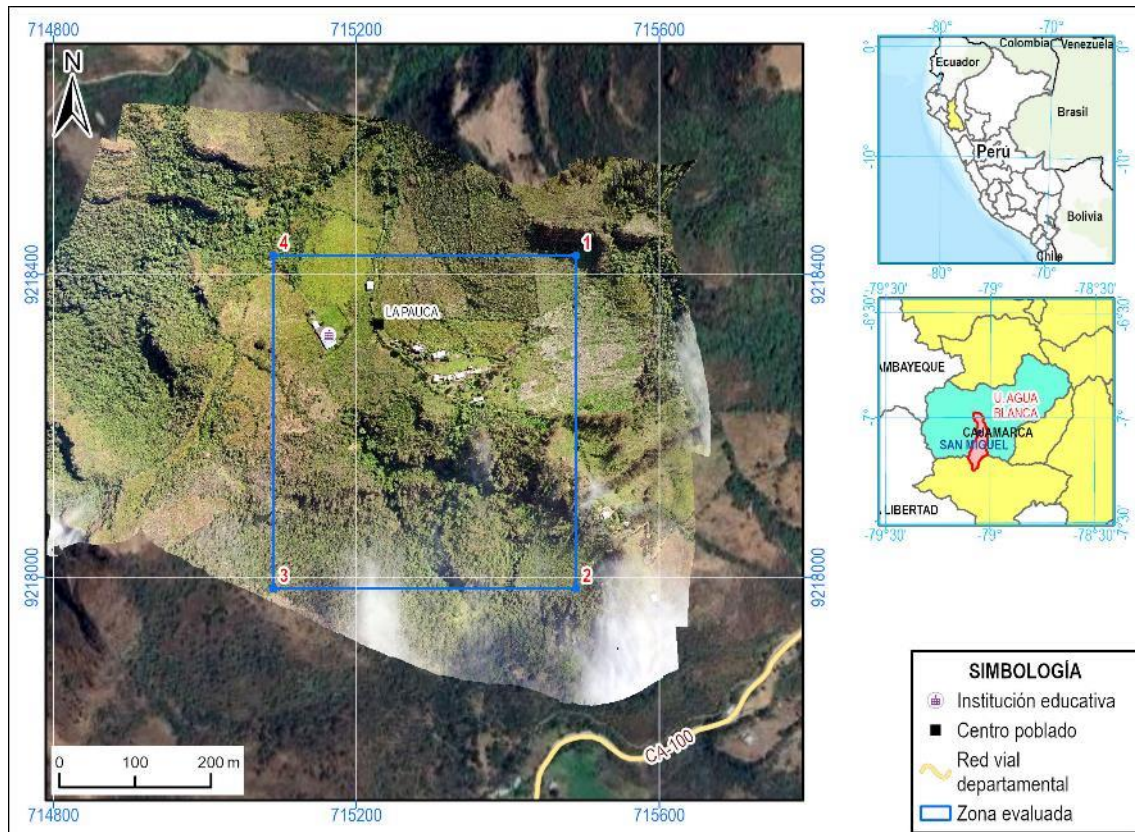


Figura 1. Ubicación del área evaluada (en línea azul).

1.3.2. Accesibilidad

El acceso desde la ciudad de Cajamarca se realiza a través de la vía nacional asfaltada PE-3N y PE-08A hasta la localidad de San Pablo, desde donde se toman las vías departamentales CA-103 y CA-100, hasta la localidad de Lives. Finalmente se sigue un camino de herradura hasta la localidad de La Pauca; tal como se detalla en la siguiente ruta (Tabla 2, figura 2):

Tabla 2. Rutas y acceso a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Ciudad de Cajamarca – San Pablo	Asfaltada	77	1 horas 40 minutos
San Pablo – Lives	Asfaltada/afirmada	76	3 horas
Lives – La Pauca	Camino de herradura	1	40 minutos

1.3.3. Población

De acuerdo a la información del XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas de 2017 (INEI, 2018), la localidad de La Pauca, tiene una población de 50 habitantes, distribuidos en 27 viviendas, con acceso a red pública de agua y energía eléctrica pero no de desagüe.

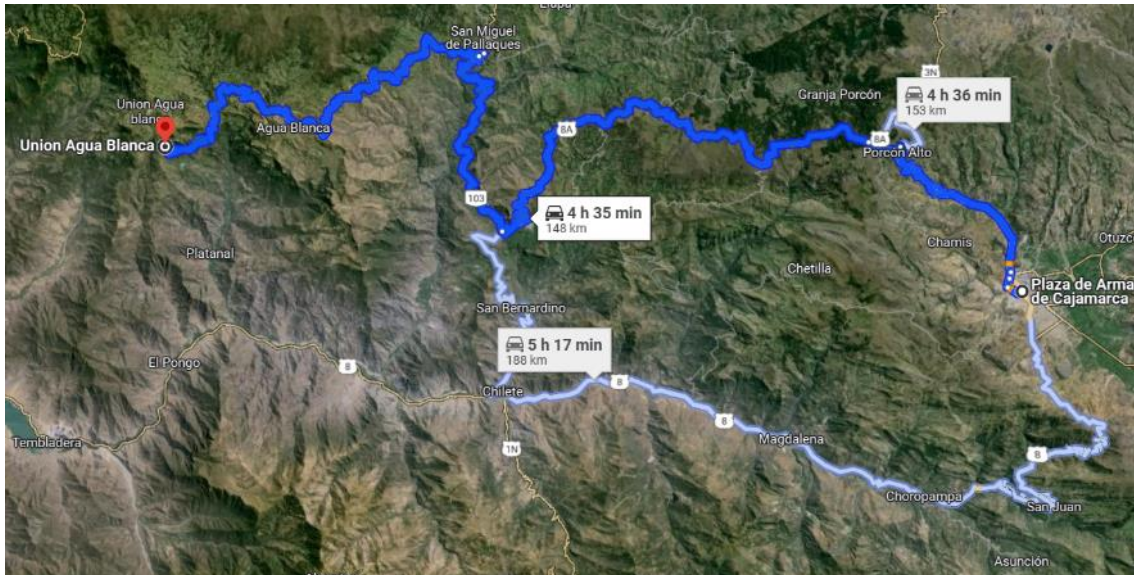


Figura 2. Ruta de acceso desde la ciudad de Cajamarca hasta la localidad de La Pauca. **Fuente:** Google Maps.

1.3.4. Clima

Según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite - (Senamhi, 2020), la zona de estudio posee un clima semiseco con invierno seco, templado (C (i) B'). La temperatura máxima promedio es de hasta 25°C, la temperatura mínima promedio desde 7°C y la precipitación anual entre 300 y 700 mm.

Entre los años 2019-2024, los meses de enero – marzo, el sector evaluado percibió precipitaciones máximas de hasta 79 mm/día (figura 3), considerados por el Senamhi, en su consolidado de umbrales de precipitación del 2014, como Extremadamente Lluvioso (Senamhi, 2014).

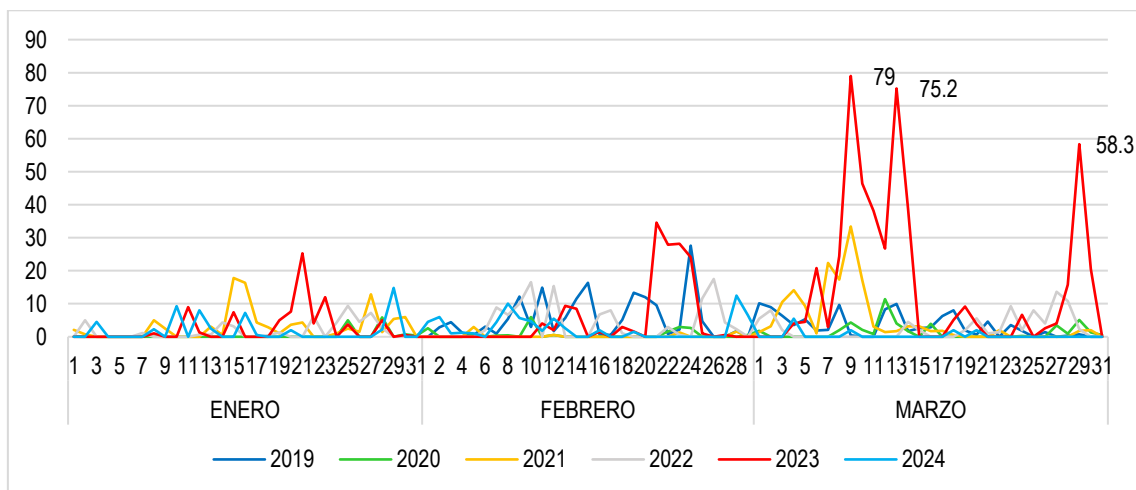


Figura 3. Precipitación diaria del mes de marzo entre los años 2019-2024, en la Estación Lives (San Miguel). **Fuente:** Senamhi.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado en geología, no necesariamente geólogos; en el cual se utilizan terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. Todas estas denominaciones tienen como base el libro: “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas”, desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA:GCA, 2007); donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

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.

Arcilla: Suelo con tamaño de partículas menores a 2 micras (0,002 mm) que contienen minerales arcillosos. Las arcillas y suelos arcillosos se caracterizan por presentar cohesión y plasticidad; muy influenciados por el agua en su comportamiento.

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

Coluvio-deluvial: Forma de terreno o depósito formado por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte), los cuales se encuentran interstratificados y por lo general no es posible diferenciarlos.

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 tracción.

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).

Deslizamiento rotacional: Tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal.

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.

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.

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

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

Ladera: Superficie natural inclinada de un terreno.

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: Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991). Estos procesos corresponden a caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, entre otros. Sin.: Remoción en masa y movimientos de ladera.

Peligro o amenaza geológica: Proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

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

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

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

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.

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

Velocidad: Para cada tipo de movimiento en masa se describe el rango de velocidades, parámetro importante ya que ésta se relaciona con la intensidad del evento y la amenaza que puede significar. De acuerdo con Cruden y Varnes (1996), las escalas de velocidades corresponden a: extremadamente lenta, muy lenta, lenta, moderada, rápida, muy rápida y extremadamente rápida.

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

3. ASPECTO GEOLÓGICO

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base la revisión y actualización del cuadrángulo de San Marcos (Reyes, 1980), y la reciente cartografía geológica a escala 1:50 000 (Ingemmet, 2022b), donde se tienen principalmente depósitos piroclásticos de composición dacítica y secuencias sedimentarias clásticas. La geología se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo (mapa 1).

3.1. Unidades litoestratigráficas

Comprenden unidades sedimentarias clásticas del Cretácico y depósitos cuaternarios inconsolidados, producto de movimientos en masa.

3.1.1. Secuencia sedimentaria clástica Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)

Corresponde a una secuencia de rocas sedimentarias clásticas de origen continental, que van de areniscas a lutitas, muy fracturadas y altamente meteorizadas. Su extensión se limita a las partes bajas de la zona de estudio, teniendo solo esporádicos afloramientos rocosos como el que se muestra en la fotografía 1.



Fotografía 1. Estratos de limolitas del Grupo Goyllarisquizga encontrados en las partes bajas de la zona. **Ubicación:** E: 715522, N: 9218096, Z: 2352.

3.1.2. Depósitos piroclásticos del Centro Volcánico Niepos (Pe-niE3)

Esta unidad está conformada por depósitos piroclásticos de pómez y cenizas, soldada, gris blanquecina a amarillenta, de composición dacítica. Su espesor promedio es 250 m (Ingemmet, 2022a).

Esta unidad se ubica a lo largo de toda la localidad de La Pauca, donde sus macizos rocosos se muestran muy fracturados y altamente meteorizados. Posee color anaranjado, debido a la oxidación de sus componentes ferruginosos (fotografía 2).



Fotografía 2. Macizo rocoso de depósitos piroclásticos del Centro Volcánico Niepos - Evento 3 en la localidad de La Pauca. **Ubicación:** E: 715137, N: 9218251, Z: 2451.

La resistencia geológica de sus macizos rocosos es baja, reflejado en una resistencia a la compresión uniaxial (tabla 3) entre 5 y 25 MPa y un Índice Geológico de Resistencia (Hoek, 2007) entre 25 y 35 (figura 4).

Tabla 3. Estimaciones de la resistencia a la compresión uniaxial. **Fuente:** Hoek, 2007

Grado	Término	Estimación en campo de la resistencia	Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)
R6	Extremadamente fuerte	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	>250
R5	Muy fuerte	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100-250
R4	Fuerte	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo	50-100
R3	Medianamente fuerte	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25-50
R2	Débil	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5-25
R1	Muy débil	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1-5
R0	Extremadamente débil	Se raya con la uña	0.25-1



Figura 4. Estructura y calidad de las discontinuidades del macizo rocoso de la unidad Centro Volcánico Niepos - Evento 3, GSI promedio de entre 25 a 35. **Fuente:** Tabla del Índice Geológico de Resistencia GSI (Hoek, 2007).

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Además de la cartografía regional de geomorfología, a escala 1:250 000 del boletín de riesgos geológicos de la región Cajamarca, se utilizó imágenes y modelos digitales de elevación detallados, obtenidos de levantamientos fotogramétricos con dron en abril del 2024 por el Ingemmet, lo cual permitirá estudiar el relieve, pendientes y demás características; con el fin de describir subunidades a detalle (escala 1/5 000).

4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)

La localidad La Pauca presenta elevaciones que van desde los 2 100 m hasta los 2 550 m (figura 5). El área con mayor pendiente ($>45^\circ$) corresponde a terrenos entre altitudes 2 250 y 2 400 m, con pendiente promedio de escarpada a muy escarpada ($>25^\circ$), correspondiente a una geofoma de montaña en roca volcánico sedimentaria y litología de flujos piroclásticos de la unidad Centro Volcánico Niepos - Evento 3.

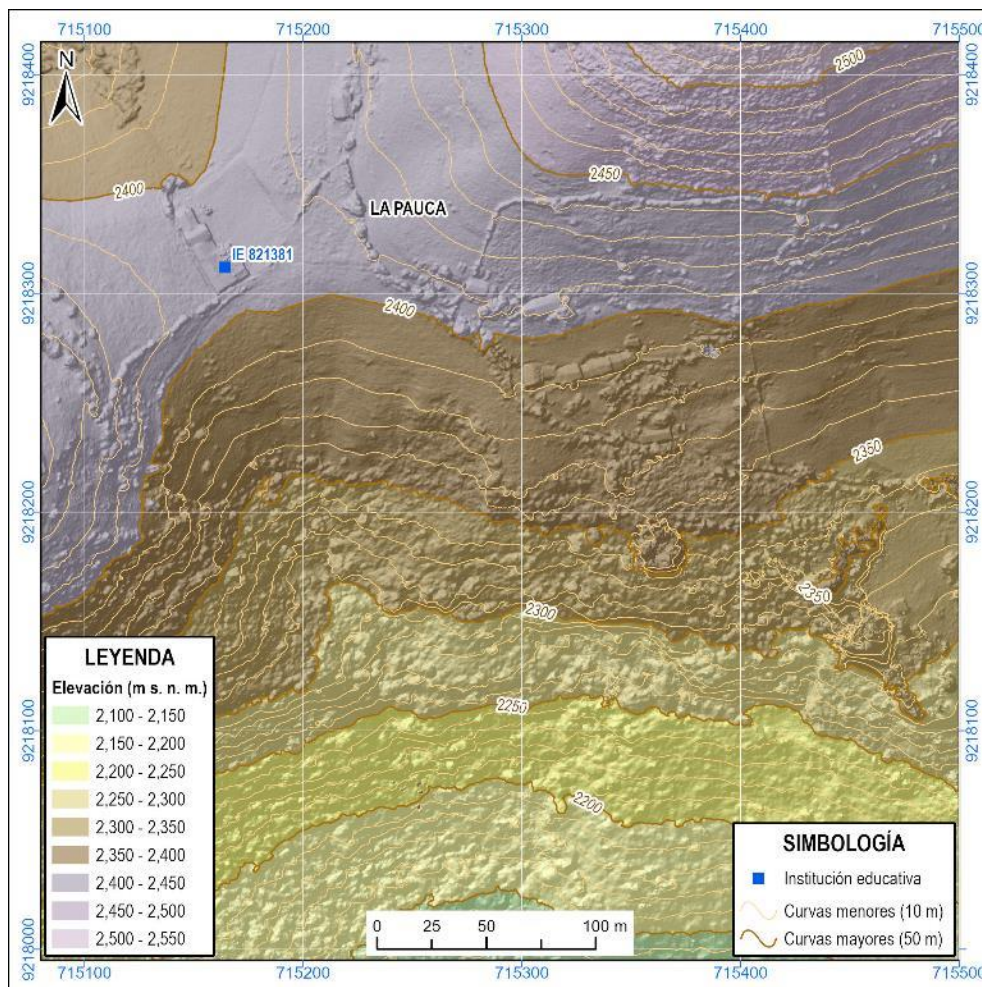


Figura 5. Modelo digital de elevaciones del área evaluada.

La pendiente varía de baja pendiente (1 a 5°) en las laderas medias, a escarpadas y muy escarpadas ($>25^\circ$) en las laderas bajas y altas (figura 6; mapa 2).

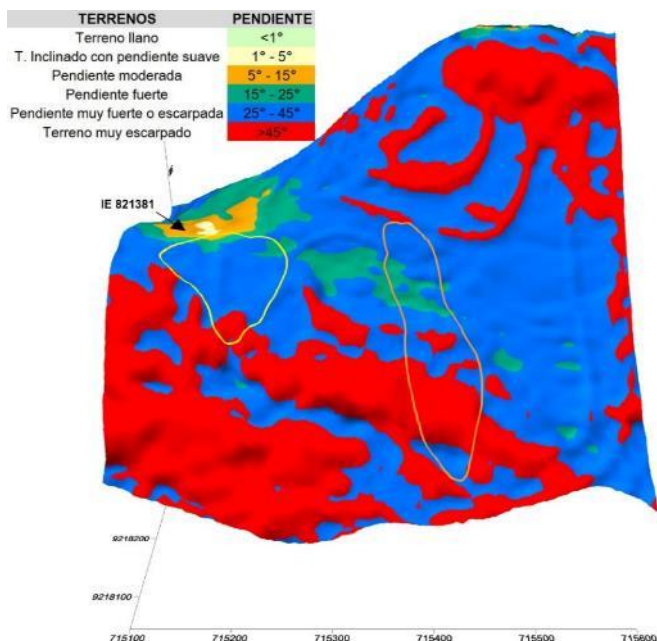


Figura 6. Modelo 3D de las pendientes de la localidad La Pauca, el sector con deslizamiento activo está delimitado en línea naranja y con deslizamiento inactivo latente con línea amarilla.

4.2. Unidades Geomorfológicas

De acuerdo a su origen, se distinguen geformas tanto de carácter tectónico degradacional y erosional (montaña en roca volcánico sedimentaria y montaña estructural en roca sedimentaria), como de carácter deposicional y agradacional (vertiente con depósito de deslizamiento); se grafican en la figura 7 y en el mapa 3.

4.2.1. Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales. Estos procesos conducen a la modificación parcial o total de ellos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

Unidad de montaña

Corresponde a unidades mayores a los 300 m respecto al nivel de base local. Se reconocen como cimas o cumbres agudas, subagudas, semi redondeadas, redondeadas o tubulares y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza (levantamiento, glaciación, entre otros). Sus laderas presentan pendiente promedio superior al 17° (Villota, 2005).

- Sub unidad de montaña en roca volcánico sedimentaria (M-rvs)

Corresponde a las partes medias y altas de la zona evaluada, con relieve ondulado y suave, debido a la alta susceptibilidad a erosión y meteorización de las rocas piroclásticas de estos sectores. Está cubierta por abundante vegetación de arbustos.

- **Sub unidad de montaña estructural en roca sedimentaria (M-rs)**

Corresponde al sector bajo de la zona evaluada, donde las rocas infrayacentes tienen una mayor resistencia geológica, generando grandes barrancos con pendiente muy escarpada, con abundantes afloramientos rocosos.

4.2.2. Geformas de carácter depositacional y agradacional

Son el resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos determinados por fuerzas de desplazamiento y por agentes móviles; tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra mediante el depósito de materiales sólidos resultante de la denudación de terrenos más elevados.

Unidad de Piedemonte

- **Subunidad de piedemonte o vertiente coluvial de detritos (V-d)**

Corresponden a zonas con forma cóncava donde se han desarrollado movimientos en masa de tipo deslizamiento, generando la acumulación de suelos de varios metros de espesor, donde abunda la vegetación y humedad.



Figura 7. Geformas cartografiadas en la localidad La Pauca: Montaña en roca volcánico sedimentaria (M-rvs), montaña estructural en roca volcánica (ME-rs) y vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd).

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada (figura 8), corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos rotacionales en suelos (PMA:GAC 2007). Estos procesos son resultado del modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

Estos movimientos en masa, tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son la geomorfología de la zona, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelo, el drenaje superficial–subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona, así como la sismicidad.

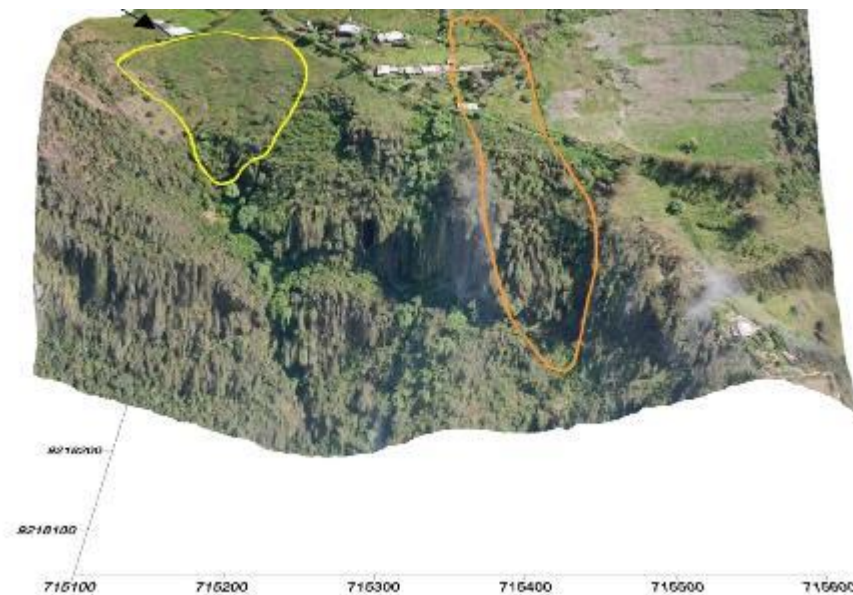


Figura 8. Vista de la localidad de La Pauca, donde se delimita el deslizamiento rotacional activo (en línea anaranjada) y el deslizamiento rotacional inactivo latente (en línea amarilla).

5.1. Deslizamiento rotacional activo de La Pauca DA1

Este movimiento en masa se desencadenó a mediados del mes de marzo del 2023, luego de intensas precipitaciones pluviales de hasta 79 mm/día (9 de marzo) y 75.2 mm/día (13 de marzo; figura 3).

El deslizamiento afectó a 2 viviendas, terrenos de cultivo en 1 040 m², y 60 m del camino de herradura, que es el acceso principal a la localidad de La Pauca, tal como se muestra en la figura 9.

En la actualidad se encuentra aún activo, produciendo constantemente nuevos agrietamientos en los terrenos, debido a la falta de implementación de medidas de control adecuadas.

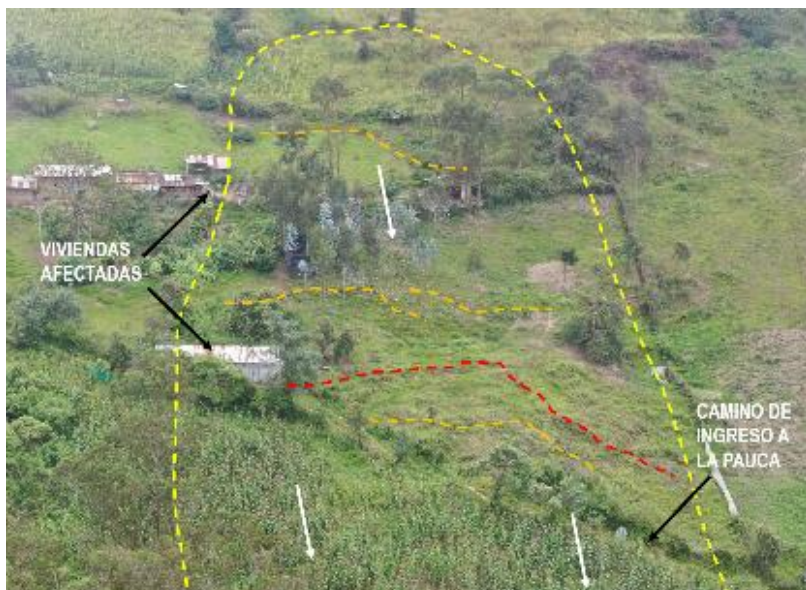


Figura 9. Vista del sector de La Pauca afectado por un deslizamiento rotacional activo, que compromete viviendas, terrenos de cultivo y el acceso principal a La Pauca. Se aprecia el cuerpo del deslizamiento (en línea amarilla), un escarpe secundario (en línea roja) y agrietamientos transversales (en línea naranja).

5.1.1. Análisis longitudinal

En la figura 10 se muestra el perfil longitudinal a lo largo del cuerpo del deslizamiento rotacional activo, donde se aprecia la pendiente escarpada a muy escarpada ($>25^\circ$) que presenta la ladera de montaña, principalmente en la parte baja de la zona.

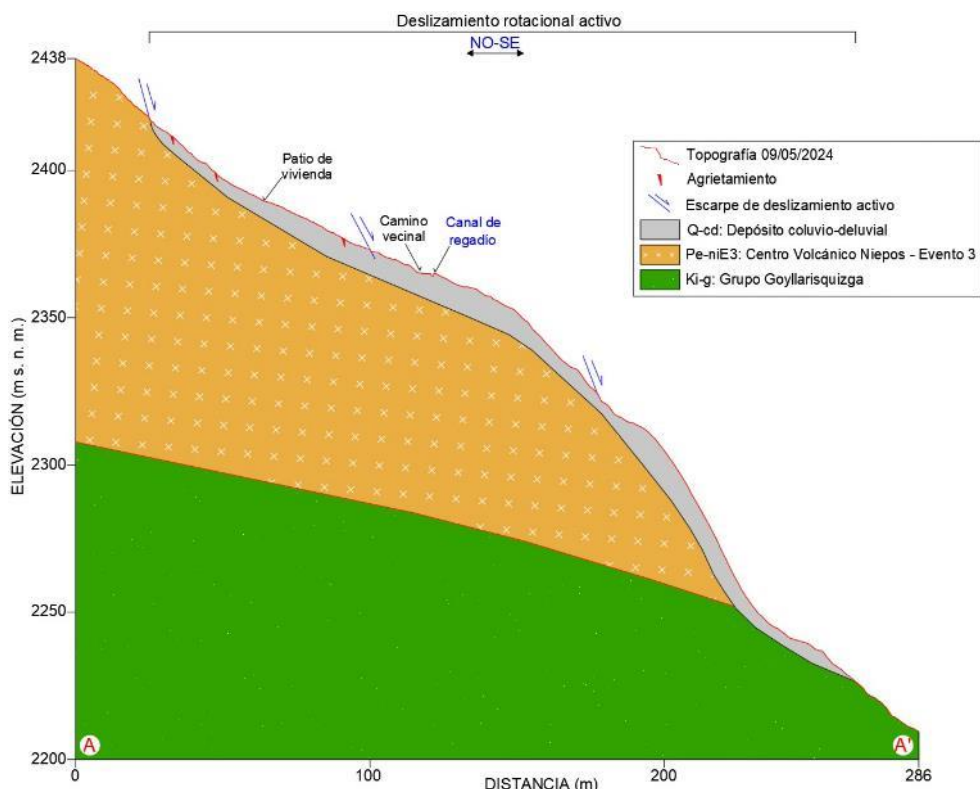


Figura 10. Perfil A-A', donde se aprecia la pendiente escarpada de la montaña donde se ha generado el deslizamiento rotacional de La Pauca, además se indica las partes del deslizamiento y la ubicación de los elementos afectados.

En la parte alta de la zona se aprecia el escarpe principal con un salto vertical de hasta 1.5 m, con agrietamientos que poseen aperturas de hasta 0.5 m (figura 11), mientras que en las partes medias se pueden apreciar diversos agrietamientos secundarios, como el del límite lateral izquierdo que ha afectado a una vivienda (figura 12).



Figura 11. Escarpe principal del deslizamiento con salto vertical de hasta 1.5 m.



Figura 12. Agrietamiento del límite lateral izquierdo que afecta a una vivienda.

En la parte central de la zona se puede apreciar una vivienda afectada dentro del cuerpo del deslizamiento y un escarpe secundario con un salto vertical de hasta 1 m, que afecta terrenos de pastoreo (figura 13).

En la parte baja del deslizamiento se ha reportado la afectación de un cable de corriente eléctrica que abastece de este servicio a la localidad de La Pauca, producto de la caída de un árbol de eucalipto por el movimiento del deslizamiento ladera abajo (figura 14).



Figura 13. Vivienda dentro del cuerpo central del deslizamiento, donde se existe una vivienda afectada (arriba) y un escarpe secundario de hasta 1 m de salto vertical (abajo). El cuerpo principal del deslizamiento está delimitado en línea amarilla y el escarpe secundario en línea roja.



Figura 14. Cable de corriente eléctrica afectado por la caída de un árbol producto del deslizamiento, ubicado en la parte baja del cuerpo del mismo.

5.1.2. Características visuales y morfométricas

- Tipo de movimiento: Deslizamiento rotacional en suelos.
- Estado: Activo.
- Estilo: Único.
- Distribución: Retrogresivo.
- Deformación del terreno: Escalonado.
- Velocidad: Moderado (alcanza algunos centímetros al mes).
- Composición: Suelos coluvio deluviales de composición limo arcillosa de plasticidad media a alta (tabla 4).

Morfometría

- Área: 1.1 ha.
- Perímetro: 527 m.
- Diferencia de alturas corona-punta: 193 m.
- Desplazamiento horizontal: 239 m.
- Pendiente promedio: escarpada a muy escarpada (39°)
- Dirección del movimiento: N166 (NO-SE).
- Salto vertical de la escarpa principal: 1 a 1.5 m.
- Apertura del escarpe principal: 0.5 m
- Longitud del escarpe principal: 64 m.

Factores condicionantes

- Litología y naturaleza incompetente de materiales, compuesto por suelos poco consolidados de composición limo arcillosa de moderada a alta plasticidad.
- Ladera de moderada escarpada a muy escarpada (>25°), que conforman geoforma de vertiente con depósito de deslizamiento.
- Abundante humedad propia de la zona.

Factores antrópicos

- Cultivos estacionarios de alta demanda hídrica (maizales).
- Canales de regadío sin recubrimiento impermeabilizante.

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales extremas y prolongadas, como las registradas los días 9 y 13, de marzo del 2023 de 79 y 75.2 mm/día, respectivamente, en la estación Lives, San Miguel (figura 3).

Daños ocasionados y probables

- 2 viviendas afectadas.
- Terrenos de cultivo afectados en 1 040 m²
- Camino de herradura en 60 m (principal acceso a la localidad de La Pauca.
- Un cable de corriente eléctrica que alimenta de este servicio a la localidad de La Pauca comprometido por la caída de un eucalipto, producto del deslizamiento.

5.2. Deslizamiento inactivo latente de La Pauca DI1

Corresponde a un movimiento en masa tipo deslizamiento rotacional en suelos que no muestra actividad constante, sin embargo, ha generado agrietamientos en algunas infraestructuras de la IE 823181, debido a la tracción que genera el lento movimiento ladera abajo del deslizamiento, en una zona con forma cóncava de pendiente escarpada (figura 15).



Figura 15. Vista de la zona influencia del deslizamiento inactivo latente de La Pauca y su proximidad a la IE 823181.

5.2.1. Análisis longitudinal

En la figura 16 se muestra un perfil longitudinal elaborado en el deslizamiento rotacional inactivo latente; se aprecia la IE 821381 en la parte alta y el cuerpo del movimiento en masa, en una ladera con pendiente escarpada.

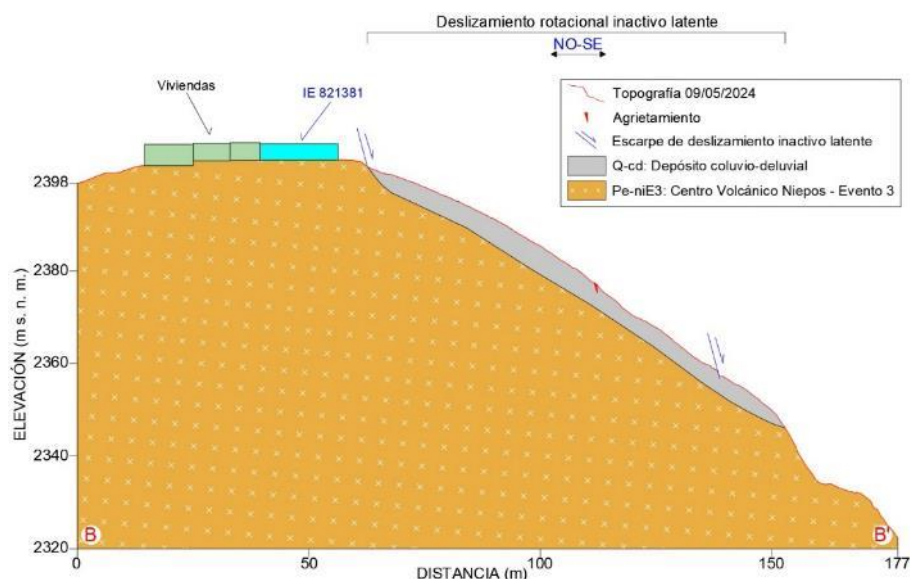


Figura 16. Perfil B-B', donde se muestra la distribución del deslizamiento rotacional inactivo latente, y la cercanía de la IE 821381 a su corona, en la parte alta.

En la fotografía 4 se muestra a la IE 821381, además de agrietamientos en sus paredes producto del movimiento ladera debajo del deslizamiento rotacional próximo; sin embargo, según testimonio de los pobladores, estos agrietamientos no son constantes, debido a su naturaleza inactiva-latente de este movimiento en masa.



Fotografía 4. Vista de la IE 821381 y algunos agrietamientos en su infraestructura debido a la tracción de suelos producto del lento movimiento de los suelos.

En la fotografía 5 se muestra una cara libre de la superficie de falla del deslizamiento inactivo latente de La Pauca, diferenciando el macizo rocoso de flujos piroclásticos infrayacente y los suelos coluvio deluviales que están en proceso de deslizamiento.



Fotografía 5. Superficie de deslizamiento visto al este del deslizamiento rotacional inactivo latente.
Ubicación: E: 715136; N: 9218252, Z: 2451

5.2.2. Características visuales y morfométricas

- Tipo de movimiento: Deslizamiento rotacional en suelos.
- Estado: Inactivo-latente.
- Estilo: Único
- Distribución: Retrogresivo
- Deformación del terreno: Escalonado
- Velocidad: Lento (alcanza algunos centímetros al año).
- Composición: Suelos coluvio deluviales de composición limo arcillosa de plasticidad media a alta (tabla 4).

Morfometría

- Área: 0.9 ha.
- Perímetro: 362 m.
- Diferencia de alturas corona-punta: 79 m.
- Desplazamiento horizontal: 108 m.
- Pendiente promedio: escarpada a muy escarpada (36°)
- Dirección del movimiento: N179 (N-S).
- Salto vertical de la escarpa principal: 0.5 m.
- Apertura del escarpe principal: 0.1 m
- Longitud del escarpe principal: 179 m.

Factores condicionantes

- Litología y naturaleza incompetente de materiales, compuesto por suelos poco consolidados de composición limo arcillosa de moderada a alta plasticidad.
- Ladera de moderada escarpada a muy escarpada (>25°), que conforman geoforma de vertiente con depósito de deslizamiento.

Factores antrópicos

- Cultivos estacionarios de alta demanda hídrica (maizales).
- Canales de regadío sin recubrimiento impermeabilizante.

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales extremas y prolongadas, como las registradas los días 9 y 13, de marzo del 2023 de 79 y 75.2 mm/día, respectivamente, en la estación Lives, San Miguel (figura 3).

Daños ocasionados y probables

- 1 institución educativa primaria 821381 afectada.

6. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica y geomorfológica de la localidad La Pauca, así como a los trabajos de campo, y la evaluación de peligros geológicos, se emiten las siguientes conclusiones.

- a. La localidad La Pauca está ubicada en laderas de montañas con pendiente escarpada a muy escarpada (rango de valores), donde se presentan deslizamientos que afectan viviendas y, a su vez, ponen en peligro a la vida y salud de los pobladores.
- b. Litológicamente, en las zonas afectadas por deslizamientos, predominan flujos piroclásticos de la unidad Centro Volcánico Niepos - Evento 3, que conforman macizos rocosos muy fracturados y altamente meteorizados; mientras que los deslizamientos generan depósitos coluvio deluviales de suelos coluvio deluviales de limos arcillosos de plasticidad media a alta.
- c. La geomorfología, de los sectores afectados por deslizamientos en la localidad La Pauca, representa una montaña en roca volcánica sedimentaria con pendiente escarpada a muy escarpada, además de vertientes con depósito de deslizamiento en sectores cóncavos, producto de movimientos en masa.
- d. Se han identificado 2 deslizamientos rotacionales en suelos; uno activo (**DA1**), ubicado al este, de 1.2 ha, con un escarpe principal de 63 m y un salto vertical de 1 a 1.5 m. Este presenta agrietamientos que han afectado 2 viviendas, 1 040 m² de terrenos de cultivo, un tramo de 60 m de camino de herradura y un cable de corriente eléctrica en la parte baja.
- e. El deslizamiento al oeste de la zona se encuentra actualmente inactivo (**DI1**), pero genera agrietamientos en los terrenos durante temporadas de lluvias. Posee un área de 0.9 ha, un escarpe de 179 m y 0.5 de salto vertical. Viene afectando infraestructuras de la institución educativa primaria 821381.
- f. El factor detonante ha sido precipitaciones pluviales extremas y prolongadas, como de los días 9 y 13 de marzo del 2023, de 79 y 75.2 mm/día respectivamente, registradas en la estación Lives, San Miguel.
- g. De acuerdo al análisis en el área de impacto del deslizamiento activo **DA1**, por las condiciones geomorfológicas y geodinámicas, se considera de **Peligro Muy Alto**; mientras que el área de impacto del deslizamiento inactivo latente **DI1** se considera de **Peligro Moderado a Alto**.

7. RECOMENDACIONES

Las medidas correctivas que a continuación se brindan tienen por finalidad mitigar el impacto de peligros asociados a deslizamientos. Así mismo, la implementación de dichas medidas permitirá darle mayor seguridad a la infraestructura expuesta a los peligros evaluados.

- a) Reubicar las viviendas afectadas por el deslizamiento DA1, a un sector que presente las condiciones físicas de seguridad adecuadas.
- b) Impermeabilizar los canales de regadío que surcan los cuerpos de los deslizamientos y sus inmediaciones, con concreto u otro material adecuado (figura 17).
- c) Cambiar el regadío por inundación en los terrenos de cultivo impactados por deslizamiento, a métodos tecnificados como aspersión o goteo.
- d) Monitorear el avance de los deslizamientos mediante la instalación de hitos topográficos y la lectura periódica de las coordenadas de los mismos.
- e) Rehabilitar el cable de corriente eléctrica afectado en la parte baja, utilizando las medidas de seguridad adecuadas, a fin de evitar accidentes.
- f) Capacitar a la población, docentes y alumnos de la IE 921381 en Gestión del Riesgo de Desastres; ejecutar simulacros ante deslizamiento, que contemplen la evacuación ordenada a zonas seguras, en caso de emergencias.



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

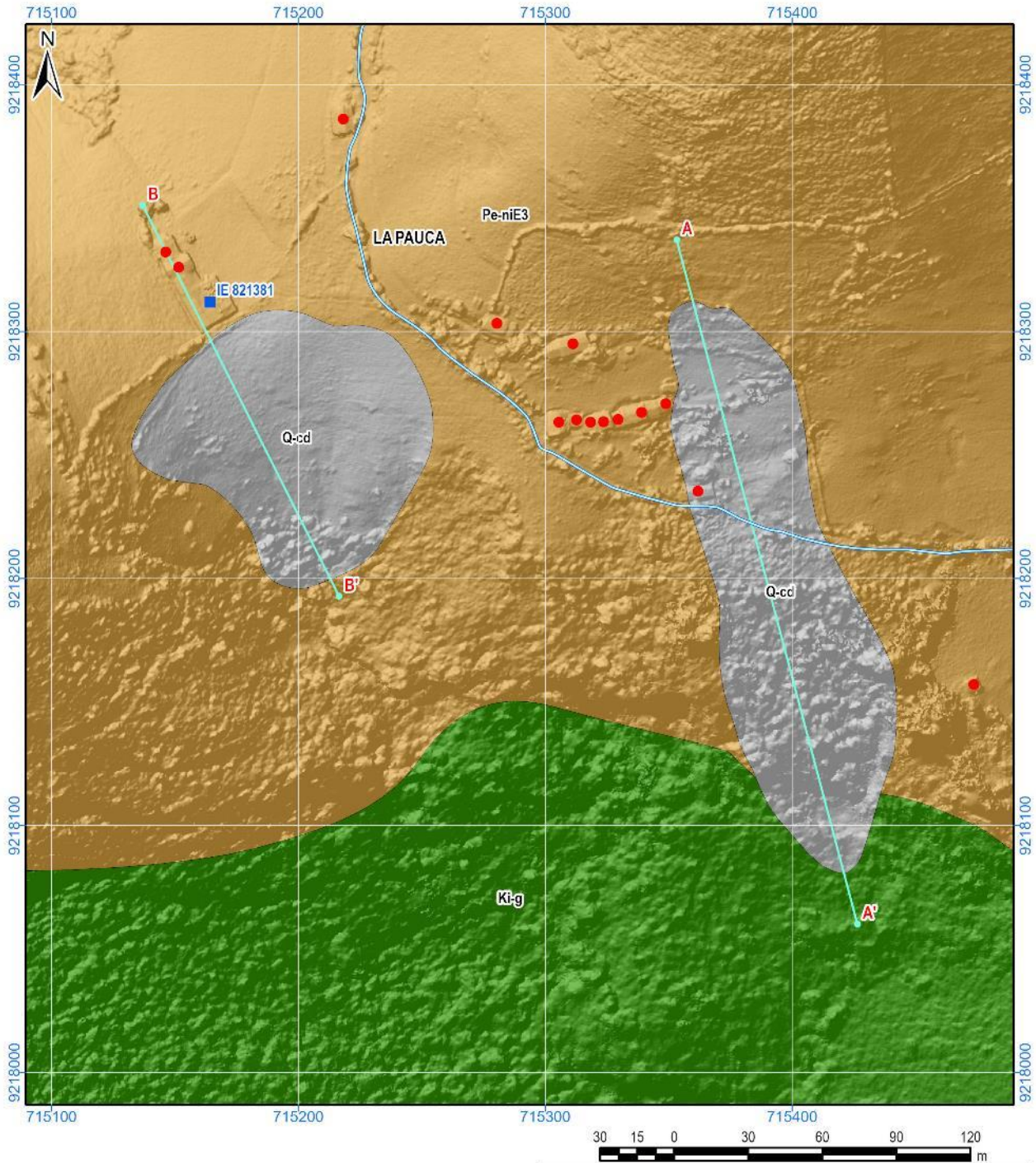


Ing. BILBERTO ZAVALA CARRIÓN
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

8. BIBLIOGRAFÍA

- Hoek, E. (2007). Rock Mass Properties. En *Practical Rock Engineering* (2a ed., pp. 190–236). Rocscience.
- INEI. (2018). *Directorio Nacional de Centros Poblados Censos Nacionales 2017*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm
- Ingemmet. (2022a). *GEOCATMIN: Mapa geológico integrado del Perú a escala 1:50 000 versión al 2022*. <https://metadatos.ingemmet.gob.pe:8443/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/28a132a0-d527-4e47-bbdd-737ca05f7c79>
- Ingemmet. (2022b). *Mapas geológicos integrados 50k ver 2022*. <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- PMA:GCA. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas* (1a ed.). Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas.
- Reyes, L. (1980). *Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca (15-f), San Marcos (15-g) y Cajabamba (16-g) Boletín A 31 Serie A*. Ingemmet (1a ed.). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - Ingemmet.
- Senamhi. (2014). *Umbrales y precipitaciones absolutas*.
- Senamhi. (2020). *Climas del Perú - Mapa de Clasificación Climática Nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales* (Ltda, Ed.; 1a ed.). Publicaciones UIS.
- Villota, H. (2005). *Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de Tierras* (2a ed.). Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Zavala, B., & Rosado, M. (2011). *Riesgo Geológico en la Región Cajamarca. Ingemmet Boletín N° 44, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2480>

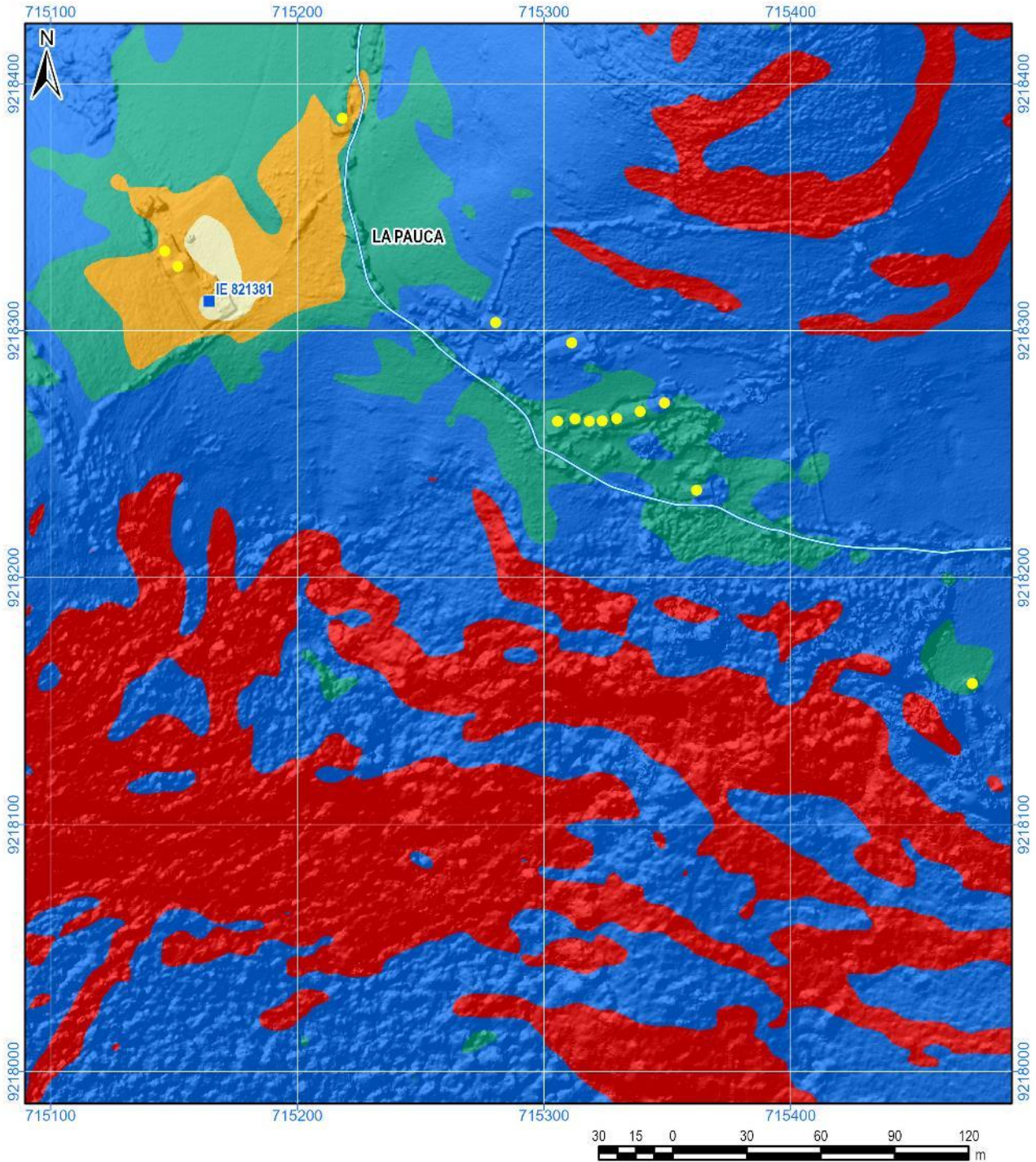
ANEXO 1. MAPAS



SIMBOLOGÍA	
■	Institución educativa
●	Viviendas
	Canal de riego
	Línea de perfil

LEYENDA	
	Q-cd: Depósito coluvio deluvial
	Pe-niE3: Centro Volcánico Niepos - Evento 3
	Ki-g: Grupo Goyllarisquizga

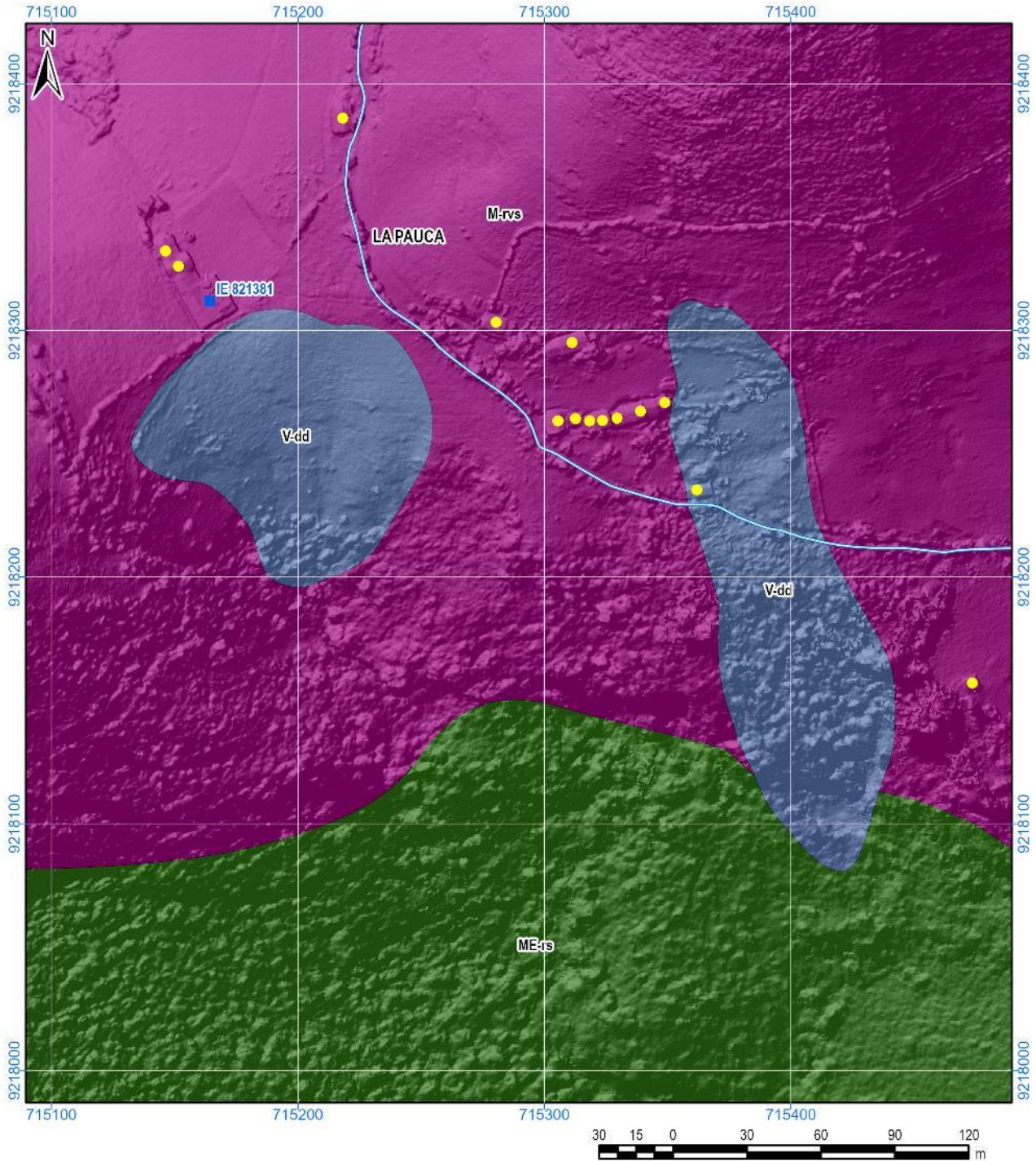
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN MIGUEL - UNION AGUA BLANCA	
GEOLOGÍA DE LA LOCALIDAD DE LA PAUCA	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/2,500	Versión digital: 2024
MAPA 1	



SIMBOLOGÍA	
■	Institución educativa
●	Viviendas
	Canal de riego

LEYENDA	
	1°-5°: Terreno inclinado con pendiente suave
	5°-15°: Pendiente moderada
	15°-25°: Pendiente fuerte
	25°-45°: Pendiente muy fuerte o escarpada
	>45°: Terreno muy escarpado

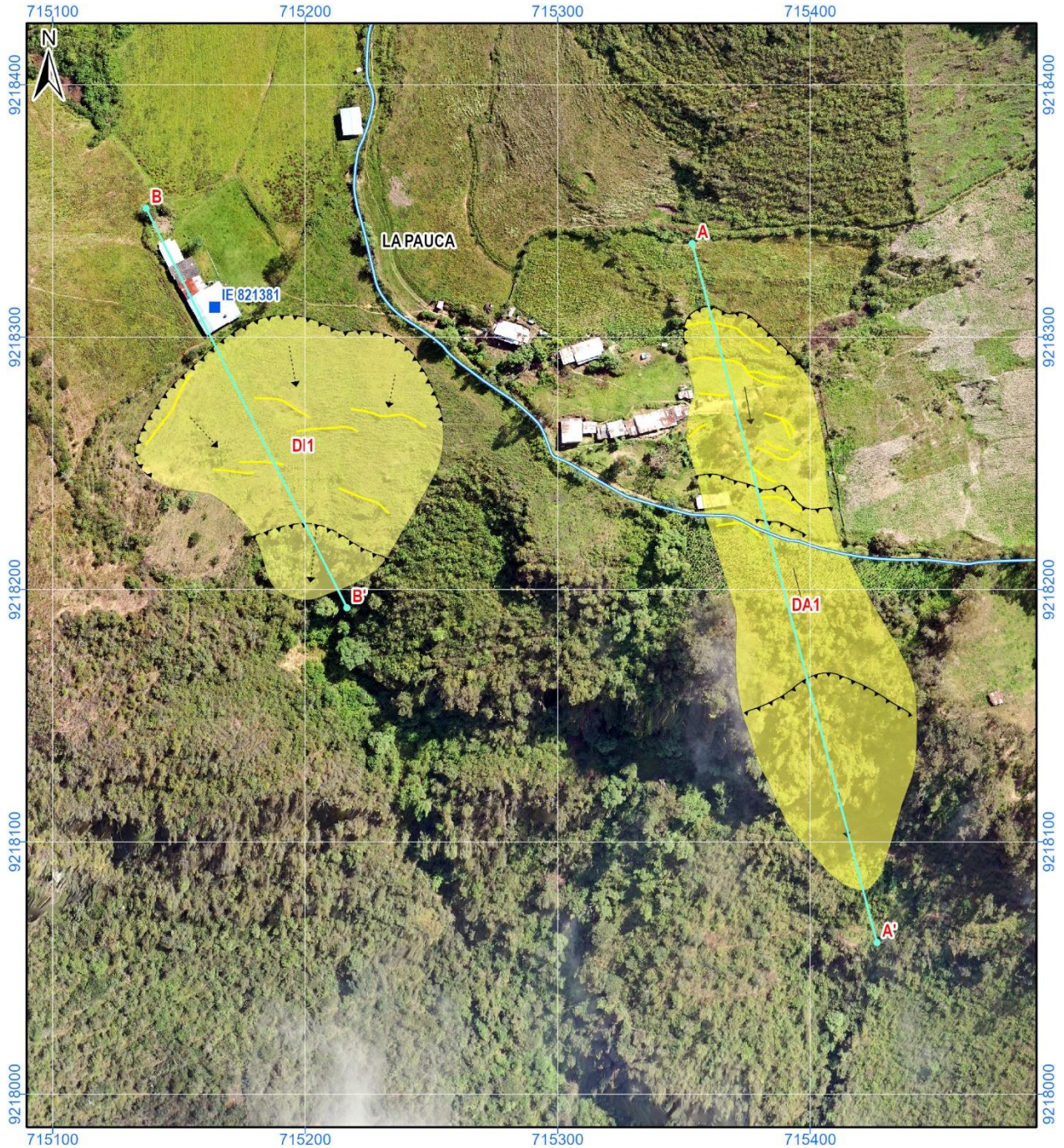
 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL	
CAJAMARCA - SAN MIGUEL - UNION AGUA BLANCA	
PENDIENTES DEL TERRENO EN LA LOCALIDAD DE LA PAUCA	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/2,500	Versión digital: 2024
MAPA 2	



SIMBOLOGÍA	
	Institución educativa
	Viviendas
	Canal de riego

LEYENDA	
	M-rvs: Montaña en roca volcánico sedimentaria
	ME-rs: Montaña estructural en roca sedimentaria
	V-dd: Vertiente con depósito de deslizamiento

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN MIGUEL - UNION AGUA BLANCA		
GEOMORFOLOGÍA DE LA LOCALIDAD DE LA PAUCA		
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León	MAPA 3
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84	
Escala: 1/2,500	Versión digital: 2024	



SIMBOLOGÍA	
	Institución educativa
	Canal de riego
	Línea de perfil
	Agrietamiento
	Escarpe de deslizamiento activo
	Dirección de movimiento activo
	Escarpe de deslizamiento inactivo
	Dirección de movimiento inactivo

LEYENDA	
	Deslizamiento rotacional activo
	Deslizamiento rotacional latente



 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN MIGUEL - UNIÓN AGUA BLANCA	
CARTOGRAFÍA DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA LOCALIDAD DE LA PAUCA	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/2,500	Versión digital: 2024
MAPA 4	

ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS

Para deslizamientos

En la zona evaluada para la mitigación de los peligros geológicos, se debe controlar la infiltración del agua hacia afuera del cuerpo de los movimientos en masa. Los métodos de estabilización de los deslizamientos, que contemplan el control del agua, tanto superficial como subterránea, son muy efectivos y generalmente más económicos que la construcción de grandes obras de contención, desactivan y disminuyen la presión de los poros, considerada el principal elemento desestabilizantes en laderas. El drenaje reduce el peso de la masa y al mismo tiempo aumenta la resistencia de la ladera (Suárez Díaz, 1998). Las medidas de drenaje recomendadas son:

a. Drenaje Superficial

Las zanjas construidas permiten la recolección de aguas superficiales, captan la escorrentía tanto de la ladera, como de la cuenca de drenaje arriba del talud y desvía el agua a las quebradas adyacentes al cuerpo de los movimientos en masa, evitando su infiltración, captando el agua de escorrentía, llevándola a un sitio lejos del movimiento en masa. Éstas deben ser construidas en la parte superior al escarpe principal del deslizamiento (Figura 17). En las obras construidas - zanjas de drenaje es necesario impermeabilizar la caja hidráulica captando y evitando totalmente la infiltración de las aguas de escurrimiento la ladera, según las imágenes adjuntas.

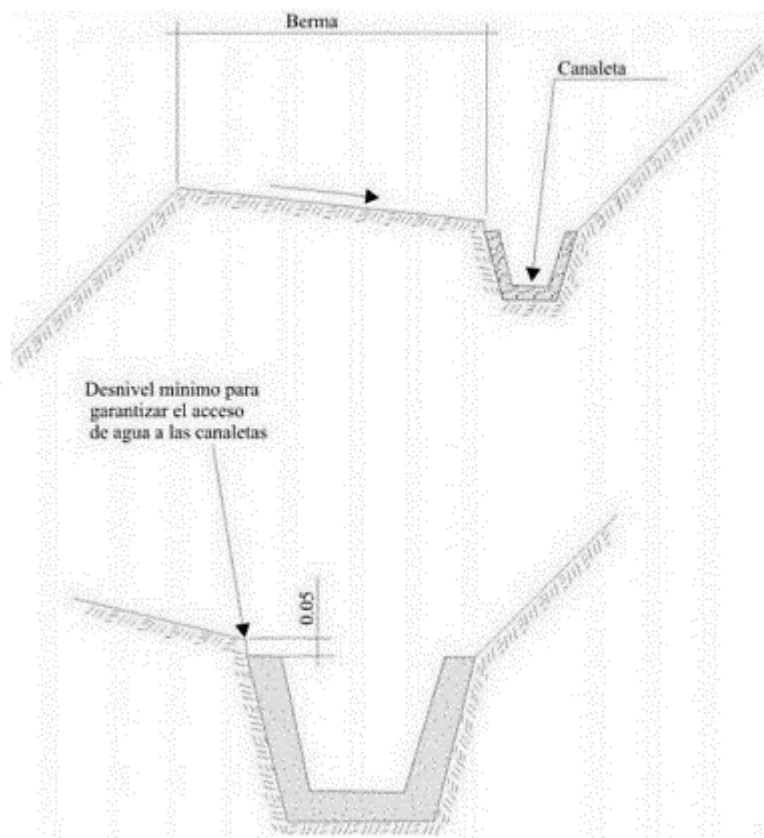


Figura 17. Detalle una canaleta de drenaje superficial (zanjas de coronación). Tomado de INGEMMET (2000).