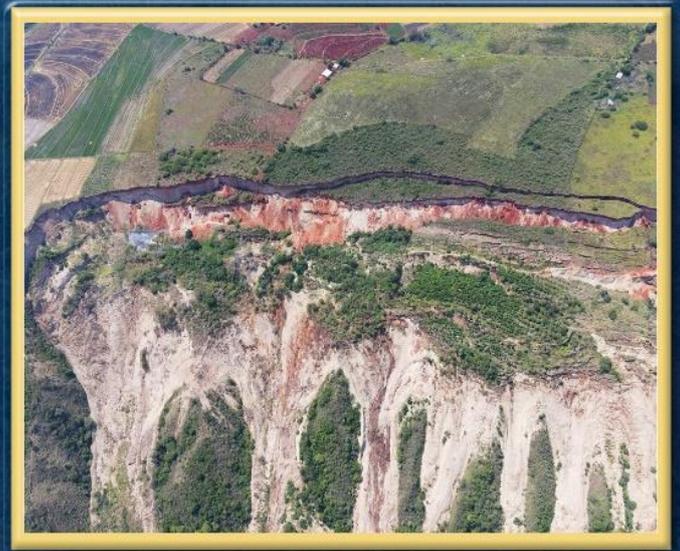
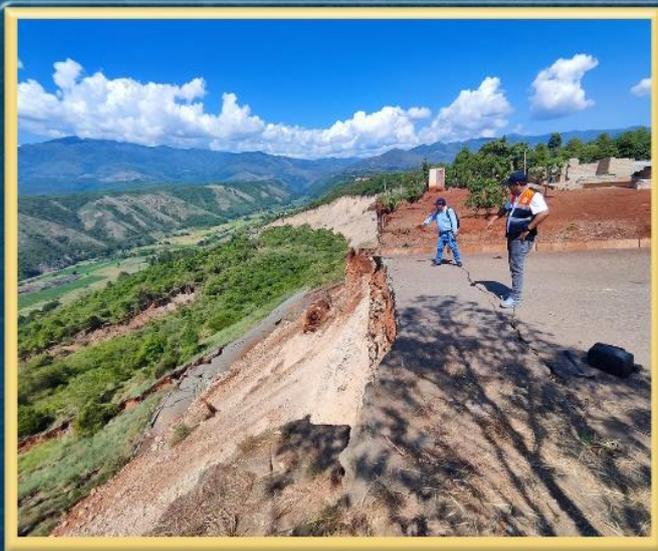


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7346

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTOS EN LOS CASERÍOS CUNÍA Y JUAN VELASCO ALVARADO

Departamento Cajamarca
Provincia San Ignacio
Distrito Chirinos



ENERO
2023

**EVALUACIÓN DEL PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTOS EN LOS
CASERÍOS CUNÍA Y JUAN VELASCO ALVARADO**

(Distrito Chirinos, provincia San Ignacio, 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

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). Evaluación del peligros geológicos por deslizamientos en los Caseríos Cunía y Juan Velasco Alvarado, distrito Chirinos, provincia San Ignacio, departamento Cajamarca. Lima: Ingemmet, Informe Técnico N° A7346, 55p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Objetivos del estudio	4
1.2. Antecedentes	4
1.3. Aspectos generales.....	5
1.3.1. Ubicación	5
1.3.2. Población	7
1.3.3. Accesibilidad.....	8
1.3.4. Clima.....	8
2. DEFINICIONES	9
3. ASPECTO GEOLÓGICO	11
3.1. Unidades litoestratigráficas	11
3.1.1. Formación Tamborapa (Qp-ta)	11
3.1.2. Depósitos cuaternarios	11
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	12
4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)	12
4.2. Pendiente del terreno	14
4.3. Unidades Geomorfológicas	16
4.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	16
4.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional.....	17
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	18
5.1. Deslizamiento del caserío Cunía.....	20
5.1.1. Descripción del deslizamiento DRA 1	20
5.1.2. Análisis longitudinal del deslizamiento principal	22
5.1.3. Características visuales y morfométricas	25
5.2. Deslizamientos del caserío Juan Velazco Alvarado.....	28
5.2.1. Descripción de los deslizamientos.....	28
5.2.2. Características visuales y morfométricas de los deslizamientos	30
5.3. Deslizamientos activos menores	31
5.4. Deslizamientos inactivos – latentes.....	32
5.5. Peligros geológicos en el terreno de acogida propuesto.....	36
6. CONCLUSIONES.....	39
7. RECOMENDACIONES	40
8. BIBLIOGRAFÍA.....	41
ANEXO 1. MAPAS	43
ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS	53

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por deslizamientos en los caseríos Cunía y Juan Velasco Alvarado, distrito Chirinos, provincia San Ignacio, departamento Cajamarca. 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 sector se tienen afloramientos de conglomerados muy fracturados y altamente meteorizados de la Formación Tamborapa, coberturados por depósitos coluvio deluviales, compuestos por bloques (7%), cantos (3%), gravas (5%), gránulos (5%), arenas (5%), limos y arcillas (75%). Al material se le considera de media a baja plasticidad.

Los deslizamientos se han generado sobre geformas de vertientes con depósitos de deslizamientos, adyacentes a laderas y lomadas en rocas sedimentarias; en terrenos con pendiente fuerte a muy fuerte (15° a 45°).

Se han cartografiado seis deslizamientos activos y cuatro inactivos – latentes, que abarcan un área de 126.7 hectáreas, y que han afectado 66 viviendas, una institución educativa, la vía de Emp. PE-5N – Chirinos en 1.9 km, tubería de agua potable en 1km, tendido de red de energía eléctrica en 1 km y terrenos de cultivo en 9.8 ha.

En el caserío Cunía, el deslizamiento activo abarca un área de 34.9 hectáreas, su escarpa tiene un ancho de 870 m y un salto de 60 m; mientras que en Juan Velasco Alvarado el deslizamiento de mayor dimensión ocupa un área de 35.5 hectáreas, presenta una escarpa principal con longitud de 1 070 m y un salto de 22 m.

El factor detonante corresponde a las precipitaciones pluviales intensas (como la sucedida el día 02/03/202, llovió a 79.8 mm/día) y la irrigación permanente de los terrenos de cultivos (arrozales).

Por las condiciones litológicas, geomorfológicas y geodinámicas, que presentan los terrenos con deslizamientos, se consideran como **Zona Crítica de Peligro Muy Alto**. El terreno propuesto para el reasentamiento de las viviendas afectadas y destruidas, está compuesto por arcillas de baja a mediana plasticidad y terrenos con pendiente moderada a fuerte (5° a 25°) que conforman una ladera en rocas sedimentarias; y se considera de **Peligro Medio** ante movimientos en masa, por lo que se requerirá la obligatoria implementación de medidas de mitigación y control.

Finalmente, se brindan las recomendaciones que se consideran importantes, para tomadas en cuenta, tanto por autoridades competentes y tomadores de decisiones. En estas se recomienda la reubicación de las viviendas en el cuerpo del deslizamiento, así como en la zona de reasentamiento y otras; construir drenes de coronación, impermeabilizar los canales de regadío, reforestar las laderas, prohibir el riego por inundación, monitorear la actividad de los deslizamientos y elaborar Evaluaciones de Riesgo (EVAR) para determinar medidas de control a largo plazo. En caso que se realicen cortes en talud, realizar estudios geotécnicos o de estabilidad con especialistas.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye 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, según Oficio N° D849-2022-GR-CAJ/ODN, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por deslizamientos en los caseríos Cunía y Juan Velasco Alvarado.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Luis Miguel León Ordáz y Elvis Rubén Alcántara Quispe, para realizar la evaluación de peligros geológicos en los caseríos Cunía y Juan Velasco Alvarado; llevado a cabo los días 5 y 6 de diciembre del 2022.

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

Este informe se pone en consideración del Gobierno Regional de Cajamarca, Municipalidad Provincial de San Ignacio, Municipalidad Distrital de Chirinos y sectores involucrados; donde se proporcionan los resultados de la inspección y recomendaciones para la reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos en los caseríos Cunía y Juan Velasco Alvarado, distrito Chirinos, provincia San Ignacio, departamento de Cajamarca.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos identificados en los trabajos de campo.

1.2. Antecedentes

Se han recopilado todos los informes y reportes que abarquen los aspectos geológicos y geodinámicos de la zona de estudio, los cuales se mencionan a continuación:

- En el Boletín N° 57 Serie A, Geología de los cuadrángulos de Río Santa Águeda, San Ignacio y Aramango (De la Cruz, 1995) describen la geología a una escala 1:100 000; señala que, en la zona de estudio, se tienen afloramientos de conglomerados de la Formación Tamborapa (Qp-ta). En el cartografiado geológico integrado a escala 1:50 000, versión 2021 (Ingemmet, 2021); por escala y detalle, se reafirma la presencia de la Formación Tamborapa.
- En el Boletín N° 39, 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 zona evaluada se sitúa sobre susceptibilidad alta ante la ocurrencia de movimientos en masa.
- En el Informe Técnico N° A6638 - Peligros geológicos en los sectores: C.E. Jorge Basadre Grohmann, Cunía, Higuera, Catahuas - Laguna Azul y San Ignacio. Región Cajamarca, provincia San Ignacio, distritos Chirinos, Huarango y San Ignacio (Núñez, S., 2013), determina, que el sector se encuentra en **Peligro Muy Alto** ante movimientos en masa, además concluye que una causa principal causa de los deslizamientos es la infiltración de aguas proveniente de los terrenos de cultivo (arrozales) y de canales de regadío sin revestimiento; por lo que se recomienda cambiar el tipo de cultivo de arrozales, revestir los canales de regadío, reubicar las viviendas expuestas al peligro, entre otras medidas.
- En el Informe Técnico N° A6885 Evaluación geológica – geodinámica de peligros por movimientos en masa en el caserío Cunía (Gómez, H., 2019), considera al caserío Cunía como zona crítica a movimientos en masa, siendo una de las causas principales la infiltración de agua proveniente del sistema de riego, como factor detonante las lluvias intensas; por lo que se recomendó cambiar el tipo de cultivos y reubicar las viviendas expuestas al peligro, entre otras medidas.
- En el Informe Técnico “Zonas de acogida para el reasentamiento poblacional del caserío Cunía” (León Ordáz & Vigo Becerra, 2019) se evaluaron 3 zonas propuestas como terrenos de acogida, las cuales presentan condiciones favorables, siempre y cuando se sigan las recomendaciones de realizar estudios geológicos – geotécnicos, evitar la instalación de cultivos y la deforestación, además de construir sistemas de drenaje pluvial adecuados.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área de evaluación corresponde a los caseríos Cunía y Juan Velasco Alvarado, distrito Chirinos, provincia San Ignacio, departamento Cajamarca (Figura 1), ubicada en las coordenadas UTM WGS 84 – Zona: 17S descritas en el Cuadro 1; además de las coordenadas centrales referenciales de los eventos identificados.

Cuadro 1. Coordenadas de las áreas de estudio.

N°	UTM – WGS 84 - ZONA 17S		Coordenadas Decimales (°)	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	742020	9406425	-5.366198	-78.816040
2	742020	9403175	-5.395577	-78.815933
3	738580	9403175	-5.395688	-78.846962
4	738580	9406425	-5.366308	-78.847069
Coordenada central de los movimientos en masa identificados				
Deslizamiento Cunía	740484	9404195	-5.386410	-78.829819
Deslizamiento Juan Velasco Alvarado	741875	9405766	-5.372155	-78.817329

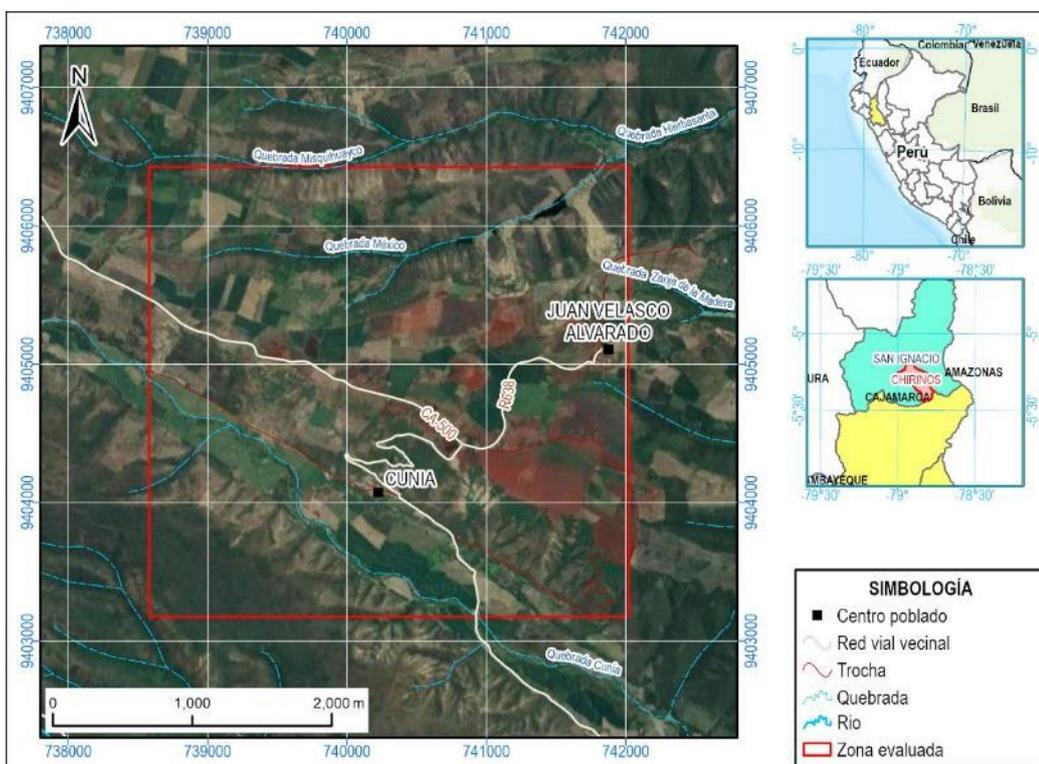


Figura 1. Ubicación de las áreas evaluadas.

El área de evaluación del terreno de acogida propuesto, asimismo, se ubica en el distrito Chirinos, provincia San Ignacio, departamento Cajamarca (Figura 2), ubicada en las coordenadas UTM WGS 84 – Zona: 17S descritas en el Cuadro 2; además de la coordenada central referencial del terreno.

Cuadro 2. Coordenadas de las áreas de estudio.

N°	UTM – WGS 84 - ZONA 17S		Coordenadas Decimales (°)	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	744800	9400500	-5.419668	-78.790772
2	744800	9399250	-5.430968	-78.790733
3	743600	9399250	-5.431007	-78.801559
4	743600	9400500	-5.419707	-78.801598
Coordenada central del terreno de acogida propuesto				
C	744214	9399978	-5.424403	-78.796043

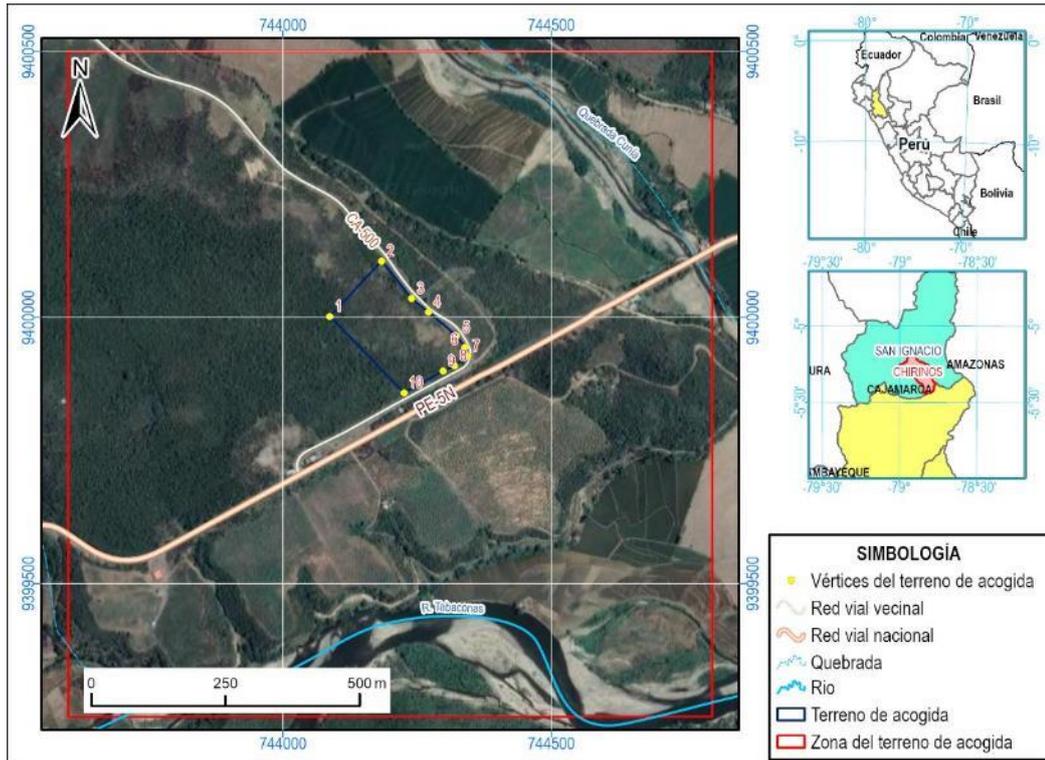


Figura 2. Ubicación del terreno de acogida propuesto.

Las coordenadas de los vértices del terreno de acogida evaluado se muestran en el cuadro 3 y se grafican en la figura 2.

Cuadro 3. Coordenadas de las áreas de estudio.

PUNTO	ESTE	NORTE	LATITUD	LONGITUD
1	744088	9400002	-5.424193	-78.797180
2	744184	9400106	-5.423248	-78.796318
3	744240	9400035	-5.423886	-78.795807
4	744271	9400010	-5.424113	-78.795525
5	744323	9399966	-5.424513	-78.795059
6	744339	9399944	-5.424706	-78.794914
7	744344	9399927	-5.424861	-78.794869
8	744320	9399910	-5.425021	-78.795082
9	744298	9399899	-5.425116	-78.795281
10	744226	9399858	-5.425488	-78.795937

1.3.2. Población

De acuerdo a la información del XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas o Censo peruano de 2017 (INEI, 2018), el caserío de Cunía, tiene una población de 98 habitantes, distribuidos en 36 viviendas, con acceso a red pública de agua y energía eléctrica pero no desagüe. Mientras en el caserío Juan Velasco Alvarado se tiene una población de 124 y 68 viviendas con red pública de agua y energía eléctrica pero no desagüe, de igual manera.

1.3.3. Accesibilidad

El acceso hasta la localidad evaluada, se realiza por vía terrestre desde la ciudad de Cajamarca, a través de las vías nacionales PE-3N y PE-5N, y de la vía vecinal CA-500 (CA-610 según D.S. N° 011-2016-MTC) (tramo Emp. PE-5N-Hawai-Cunia-El Tablón), tal como se detalla en la siguiente ruta (Cuadro 4, Figura 3):

Cuadro 4. Rutas y acceso a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de Vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cajamarca – Cunia (Chirinos, San Ignacio)	Asfaltada	373	8 horas 52 minutos

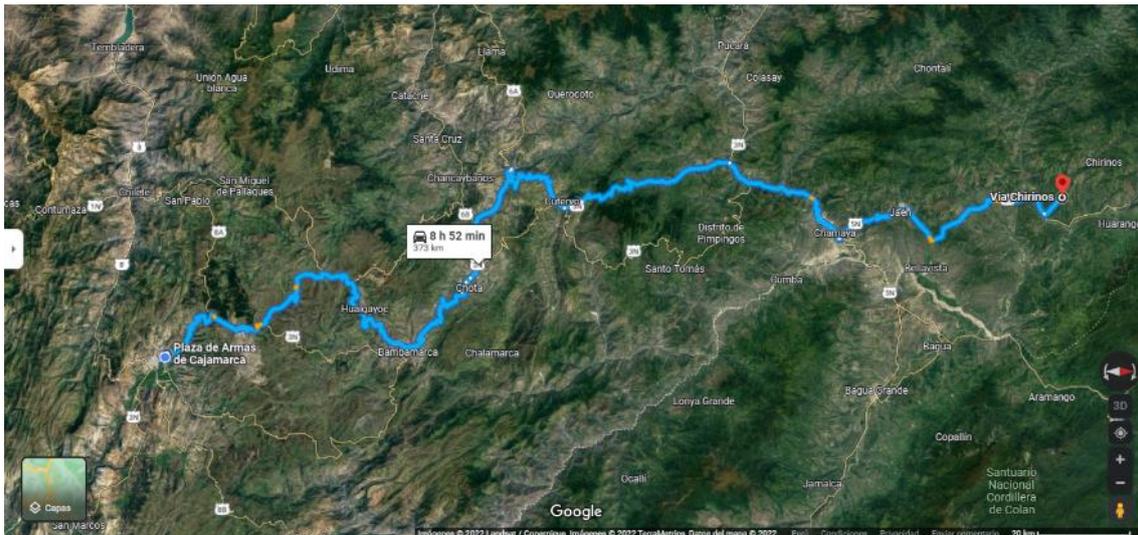


Figura 3. Ruta de acceso desde la Cajamarca hasta el caserío Cunia. **Fuente:** Google Maps.

1.3.4. Clima

Según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite - (Senamhi, 2020), la zona de estudio posee un clima Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año, templado (B (r) B'), con una temperatura máxima promedio entre 25°C a 29°C, una temperatura mínima promedio entre 11°C y 17°C y una precipitación anual entre 1200 mm a 3000 mm.

Durante el mes de marzo del 2022, el sector evaluado percibió precipitaciones de hasta 79.8 mm/día (Gráfico 1) considerados por el Senamhi como Extremadamente Lluvioso, para la provincia de Jaén (Senamhi, 2014).

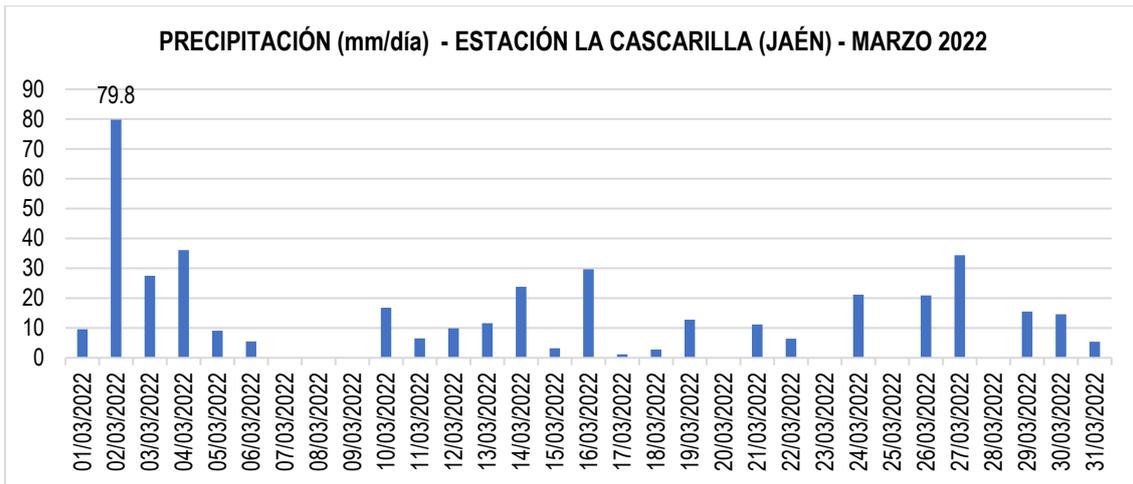


Gráfico 1. Precipitación diaria durante marzo del 2022 en la Estación La Cascarilla (Jaén). **Fuente:** Senamhi.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a las entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, que no son necesariamente geólogos; por ello se desarrollan algunas definiciones relevantes, considerando como base el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA, 2007), los términos y definiciones se detallan a continuación:

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

Arcilla: Suelo para ingeniería 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.

Condicionante: Se refiere a todos aquellos factores naturales o antrópicos que condicionan o contribuyen a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituyen el evento detonante del movimiento.

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 de tensión o de 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 & 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 un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe.

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.

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.

Fractura: Estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

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.

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.

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

La descripción geológica se desarrolló en base al Boletín N° 57 Serie A, Geología de los cuadrángulos de Río Santa Águeda, San Ignacio y Aramango (De la Cruz, 1995); y el reciente cartografiado geológico integrado a escala 1:50 000, versión 2021 (Ingemmet, 2021); complementados y validados con trabajos en campo, análisis de imágenes satelitales, y fotogrametría con dron para caracterizar y delimitar las diferentes unidades litológicas considerando su grado de resistencia y susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Mapas 1 y 7).

3.1. Unidades litoestratigráficas

Corresponde a conglomerados poco consolidados del cuaternario (Formación Tamborapa) y depósitos inconsolidados de origen aluvial, coluvio-deluvial y fluvial.

3.1.1. Formación Tamborapa (Qp-ta)

Esta unidad está conformada por conglomerados de fragmentos de rocas intrusivas, areniscas cuarzosas rojas, areniscas feldespáticas con matriz limosa de color amarillo y lentes de limo arcillosas rojas.

En la zona de estudio se presenta muy fracturada y de altamente a completamente meteorizada (Fotografía 1), debido a su reciente periodo de formación geológica, lo que ha impedido que se compacte y consolide.



Fotografía 1. Vista de un corte de carretera en la Formación Tamborapa, estando el macizo muy fracturado y completamente meteorizado. **Ubicación:** E: 741806; N: 9403590; Z: 743.

3.1.2. Depósitos cuaternarios

Depósito aluvial (Q-a)

Son depósitos de gravas, arenas, limos y arcilla con bloques de formas subangulosos a angulosos de diferente composición, transportados por flujos estacionales o antiguos. En el área evaluada encontramos estos depósitos formando terrazas y en las zonas de quebradas.

Depósito fluvial (Q-fl)

Corresponde a depósitos de gravas y arenas bien gradadas transportadas y depositadas por fuentes permanentes de agua, por lo que se ubican en las riberas de los ríos principales y quebradas permanentes. En las áreas evaluadas la encontramos en las proximidades de la Quebrada Cunía y Río Tabaconas.

Depósito coluvio deluvial (Q-cd)

Son depósitos de suelos acumulados por diversos movimientos en masa, donde el principal agente de transporte ha sido la gravedad y la sobresaturación de los materiales; su composición va de bloques en una matriz de arcillas y limos.

En la zona evaluada se ubican tanto en los suelos depositados por los deslizamientos antiguos como en los recientes (Fotografía 2).



Fotografía 2. Vista de los suelos coluvio-deluviales depositados en la parte baja del deslizamiento Cunía. **Ubicación:** E: 740157; N: 9404132; Z: 630.

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 utiliza imágenes y modelos digitales de elevación detallados obtenidos de levantamientos fotogramétricos con dron, desarrollados en agosto del 2022, 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)

Las zonas evaluadas del caserío Cunía y Juan Velasco Alvarado (Figura 4) presenta altitudes que van desde 600 m a 800 m, en los cuales se distinguen ocho niveles altitudinales con la finalidad de visualizar la extensión con respecto a la diferencia de alturas; el área con mayor pendiente corresponde a terrenos entre altitudes 725 y 800 m, con pendiente promedio de entre escarpada (25° a 45°) a muy escarpada ($>45^\circ$), correspondiendo los depósitos coluvio deluviales y a una geoforma de vertiente con depósito de deslizamiento.

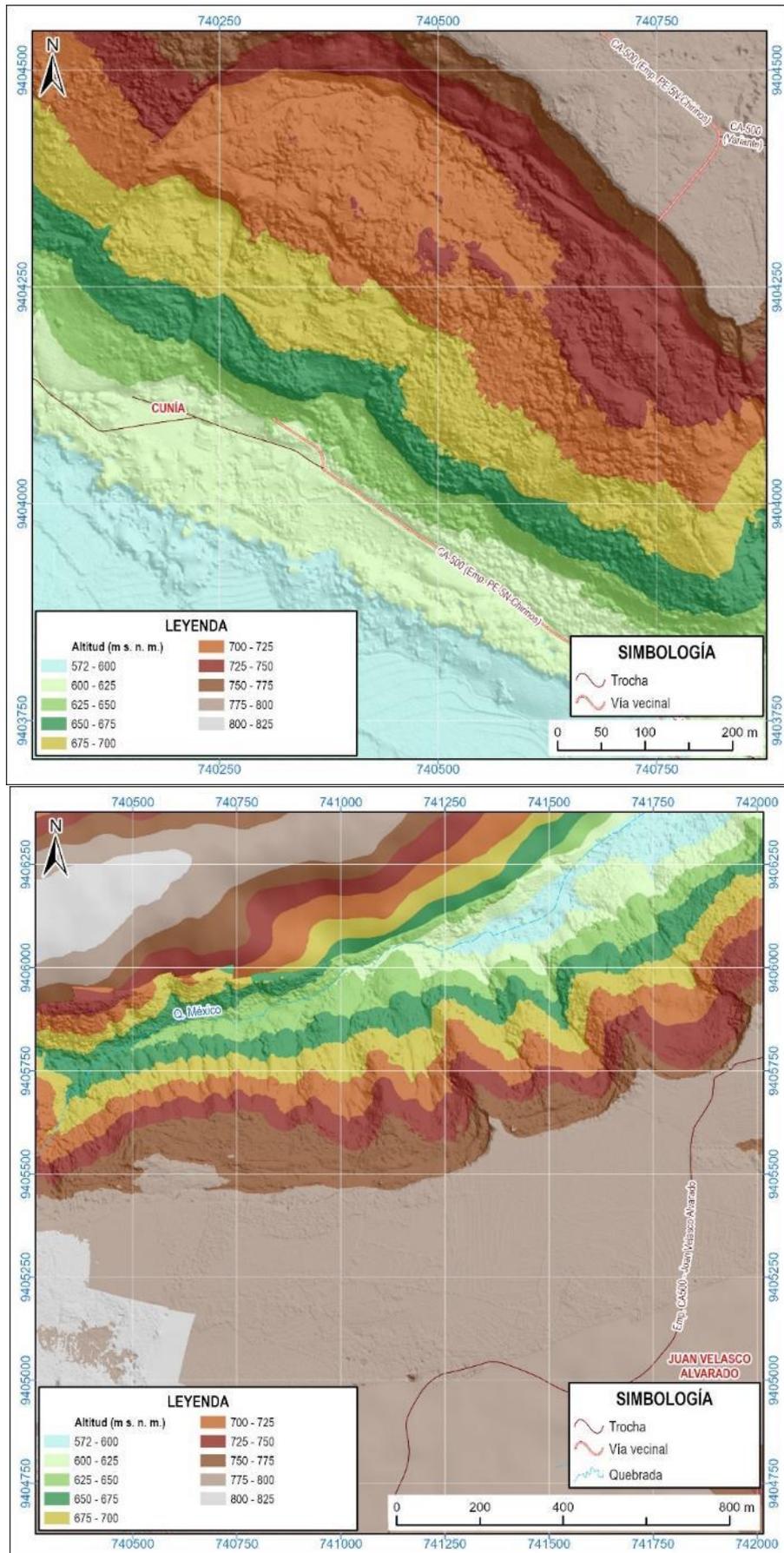


Figura 4. Modelo digital de elevaciones del caserío Cunía (arriba) y Juan Velasco Alvarado (abajo).

Mientras, la zona evaluada del terreno de acogida presenta altitudes que van de 500 m a 560 m, en los cuales se distinguen tres niveles altitudinales (Figura 5), el área con mayor pendiente corresponde a terrenos entre altitudes 520 m y 540 m, con pendiente promedio de moderada (5° a 15°) a fuerte (15° a 25°), correspondiendo a la Formación Tamborapa y a una geoforma de ladera en roca sedimentaria.

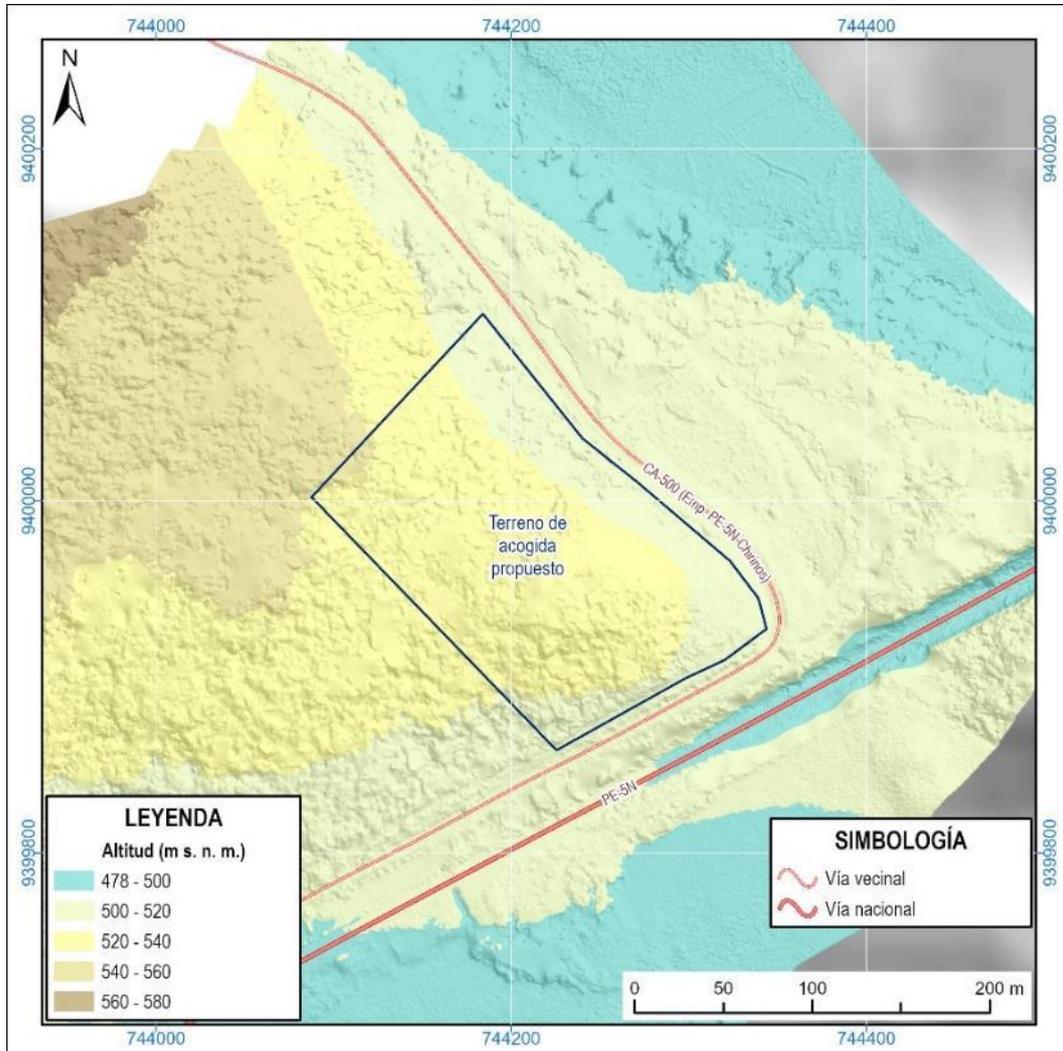


Figura 5. Modelo digital de elevaciones de la zona del terreno de acogida.

4.2. Pendiente del terreno

En los caseríos Cunía y Juan Velasco Alvarado, los deslizamientos, se han desencadenado en terrenos con pendiente muy fuerte o escarpada (25° a 45°); mientras, actualmente, los escarpes de los deslizamientos han configurado terrenos con pendiente muy escarpada (>45°) (Figura 7, Mapa 2).

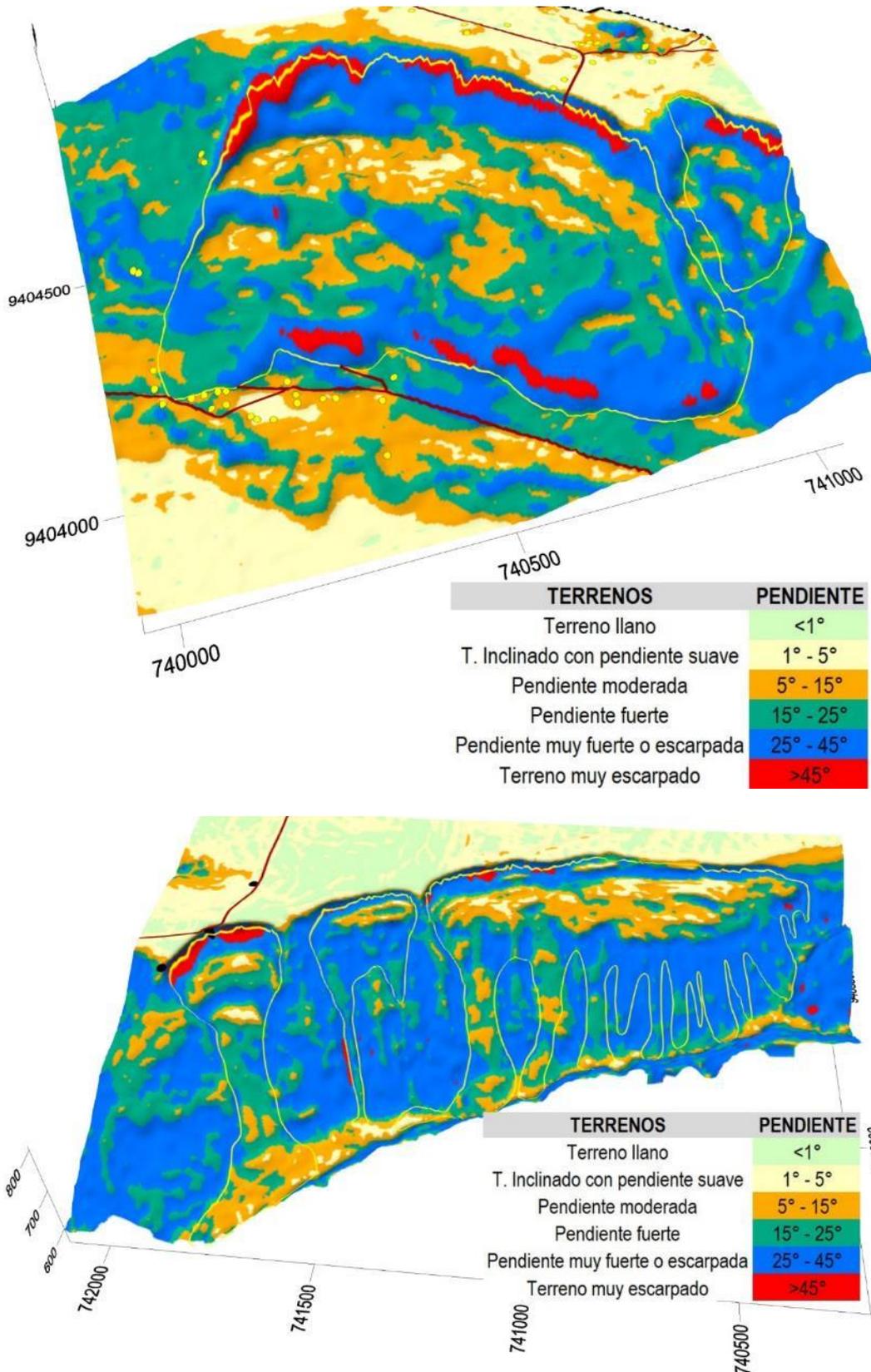


Figura 6. Modelo 3D de las pendientes del terreno de los caseríos Cunía (arriba) y Juan Velasco Alvarado (abajo) afectados por los movimientos en masa (en línea amarilla) las vías vecinales se muestran en color guinda.

La zona de acogida propuesta presenta pendientes moderadas (5° a 15°) a fuertes (15° a 25°), teniendo sectores bien localizados de pendientes muy fuertes o (25° a 45°) o suaves (1° a 5°), tal como se aprecia en la figura 7 y Mapa 8.

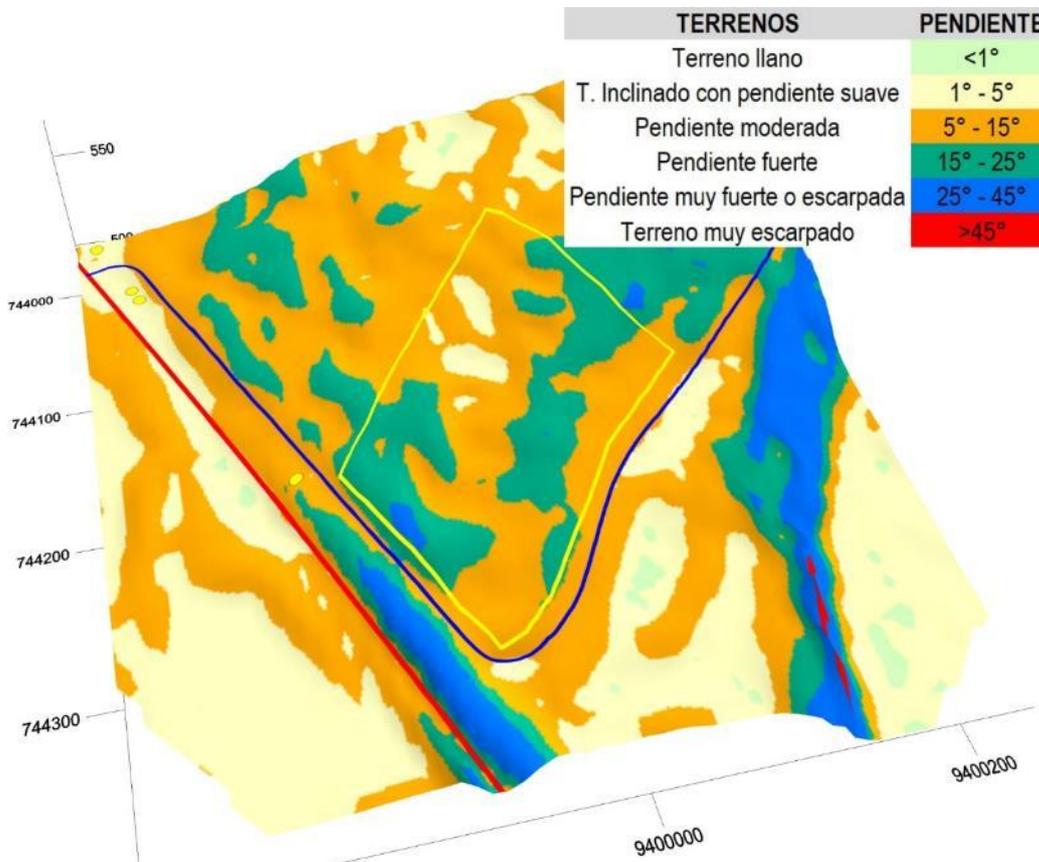


Figura 7. Modelo 3D de las pendientes del terreno de acogida propuesta (en línea amarilla); la vía nacional PE-5N se muestra en trazo rojo y la vía vecinal a Chirinos en color azul.

4.3. Unidades Geomorfológicas

De acuerdo a su origen, se distinguen geoformas tanto de carácter tectónico degradacional y erosional (lomada y ladera en roca sedimentaria), como de carácter deposicional y agradacional (vertiente con depósito de deslizamiento, piedemonte aluvial, terraza baja aluvial y llanura o planicie inundable); las geoformas se grafican en la Figura 8 y en los Mapas 3 y 9.

4.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Unidad de Lomada

Corresponde a las geoformas con alturas menores a los 300 m respecto al nivel de base local; las lomadas tienen cimas más amplias, redondeadas y alargadas, con gradientes entre 8% y 16 % (Villota, 2005).

- **Sub unidad de lomada en roca sedimentaria (L-rs)**

Se presentan como superficies altas amplias y llanas que vienen siendo utilizadas para el cultivo intensivo de arrozales, café y frutales; las quebradas y ríos han generado terrazas bajas que separan a las diferentes lomadas.

- **Sub unidad de ladera en roca sedimentaria (LA-rs)**

Se ha considerado esta unidad para diferenciar a las laderas de las lomadas con pendiente fuerte a muy fuerte, de sus cimas con pendiente de llana a suave; son terrenos cubiertos con abundante vegetación de arbustos.

4.3.2. 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 vertiente o piedemonte con depósito de deslizamiento (V-dd)**

Conforma las laderas con movimientos en masa recientes que han acumulado suelos coluvio deluviales, arrastrados desde la parte alta de las lomadas a las terrazas bajas.

- **Subunidad de piedemonte aluvial (P-a)**

Conforma el fondo de las quebradas intermitentes del caserío Juan Velasco Alvarado donde las escorrentías estacionales vienen acumulando suelos de granulometría variada.

Unidad de Planicies

- **Subunidad de Terraza Baja Aluvial (TB-a)**

Corresponden a terrenos compuestos por depósitos aluviales antiguos, ubicados en los fondos de los valles y que poseen una pendiente llana ($<1^\circ$) o suave (1° a 5°), utilizados ampliamente en el cultivo de arroz.

- **Subunidad de Llanura o planicie inundable (PI-i)**

Son terrenos que se ubican en las inmediaciones de los cauces de quebradas permanentes y ríos, donde las aguas discurren durante las épocas de mayores avenidas, por lo que la vegetación está ausente y sus componentes gruesos son redondeados, por la gran distancia de recorrido que han sufrido.

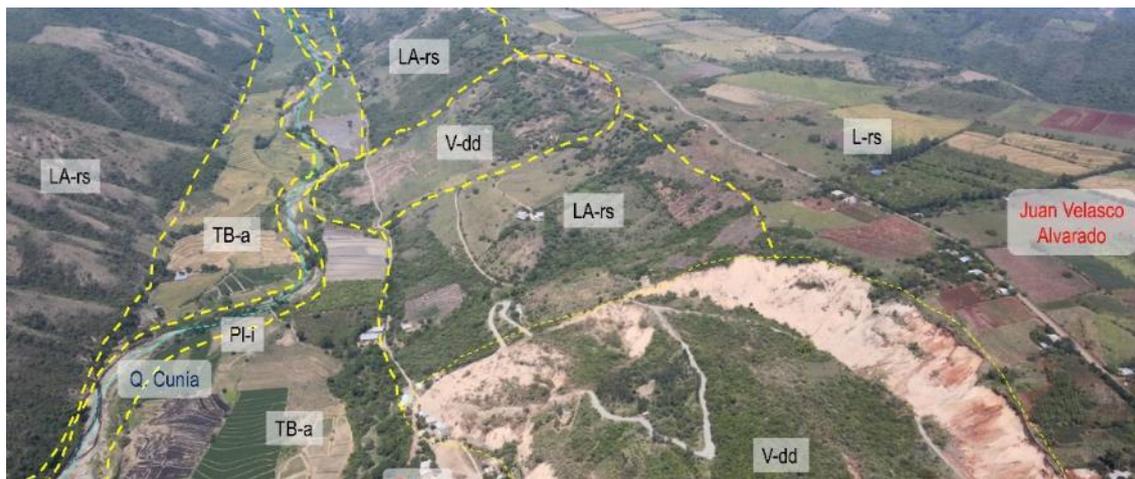


Figura 8. Vista de las geoformas de los caseríos Cunía y Juan Velasco Alvarado: Lomada en roca sedimentaria (L-rs), ladera en roca sedimentaria (LA-rs), vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd), terraza baja aluvial (TB-a) y planicie inundable (PI-i).

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

En el caserío Cunía (Mapas 4, 5 y 6), el 25/11/2022, se generó un deslizamiento rotacional que involucro un área de 34.9 ha que afecto viviendas, una institución educativa y vías locales (Figura 9); actualmente el evento se encuentra activo, incrementando el área de afectación tanto hacia la parte posterior de la corona, así como en la parte baja del mismo.

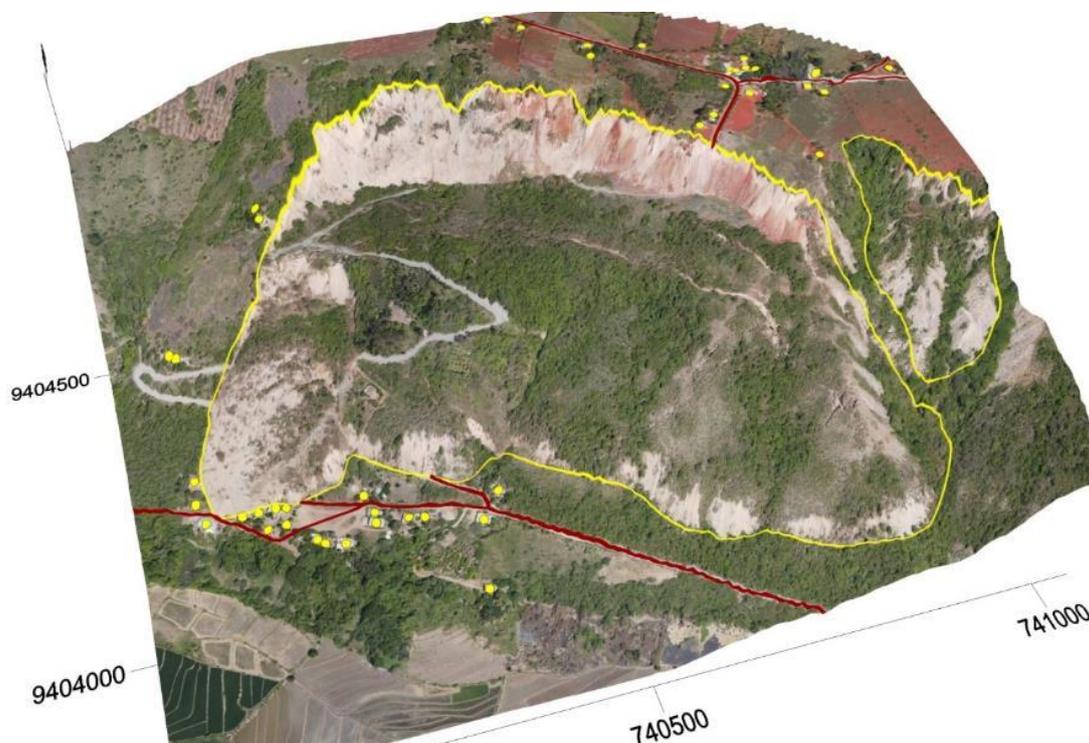


Figura 9. Se muestra el modelo 3D del deslizamiento activo del caserío Cunía (en línea amarilla), las vías vecinales se aprecian en líneas guindas y las viviendas en puntos amarillos.

En el caserío Juan Velasco Alvarado (Mapa 6) se presentan tres deslizamientos activos que suman un área de 52 hectáreas de afectación en terrenos de cultivo, viviendas y terrenos naturales (Figura 10).

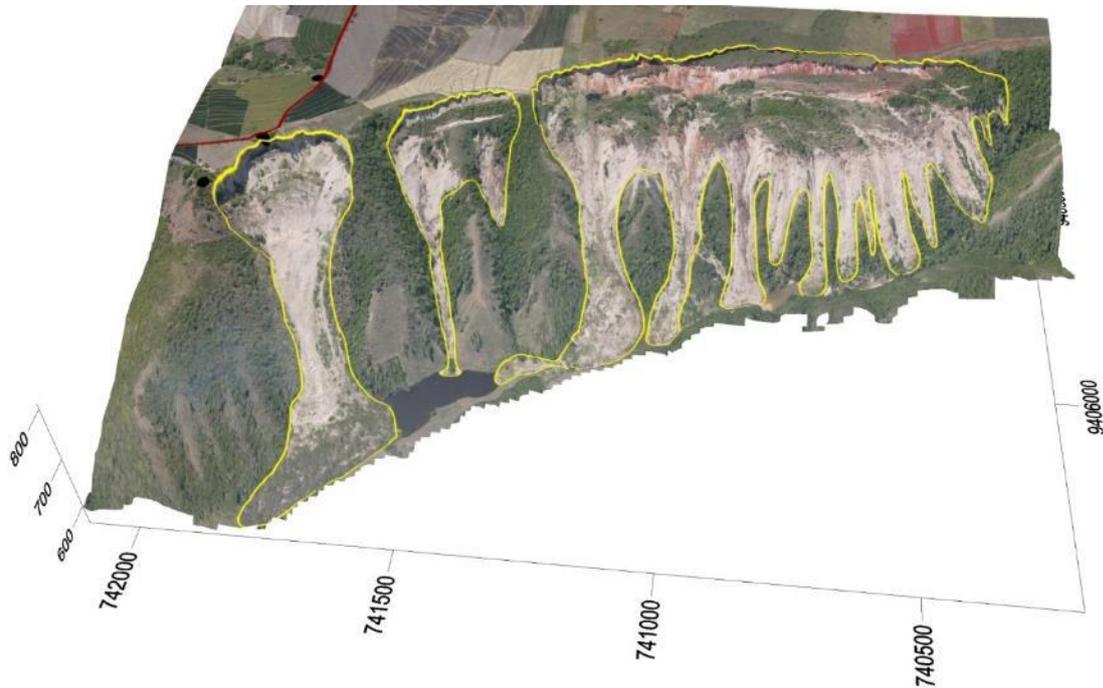


Figura 10. Modelo 3D de los deslizamientos activos en el caserío Juan Velasco Alvarado (en línea amarilla), la vías vecinales se muestran en trazos guindas y las viviendas en puntos negros.

En la figura 11 se muestra la parte alta de los caseríos Cunía y Juan Velasco Alvarado con terrenos de cultivos de arroz, los cuales necesitan abundante agua para su desarrollo, la infiltración del agua al subsuelo está desestabilizando las laderas (por el aporte permanente de agua que alimenta la capa freática); en el caserío Cunía se encuentran a 300 m de la corona del deslizamiento activo, mientras en el caserío Juan Velasco Alvarado los deslizamientos activos han llegado a impactar directamente a los arrozales.



Figura 11. Vista de la parte alta de los caseríos Cunía y Juan Velasco Alvarado, donde los cultivos de arroz se encuentran a 300m.

5.1. Deslizamiento del caserío Cunía

5.1.1. Descripción del deslizamiento DRA 1

El deslizamiento Cunía (DRA1), se encuentra sobre una ladera con pendiente fuerte a muy fuerte (Figura 12), debido a la sobresaturación permanente de los terrenos cultivos de arroz (alta exigencia hídrica) y las precipitaciones intensas de marzo del 2022. Su reactivación ha afectado viviendas e infraestructuras públicas (vías vecinales, institución educativa, casa comunal).



Figura 12. Deslizamiento Cunía (DRA1) el 06/12/2022 (arriba) y terreno pre deslizamiento el 08/07/2021 (abajo).

En marzo del 2018 se produjo un deslizamiento de 2.9 hectáreas en la parte intermedia de la ladera (Figura 13) que afectó a la vía vecinal a Chirinos y poniendo en peligro a las viviendas del caserío Cunía; este deslizamiento se mantuvo activo durante los años posteriores, incrementando el salto vertical inicial de 6 m hasta los 15 m en 2019 (Fotografía 3).



Figura 13. Deslizamiento de marzo 2018 en el caserío Cunía. **Fuente:** (Gómez Velásquez, 2019).



Fotografía 3. Vista del escarpe del deslizamiento Cunía en diciembre del 2019. **Fuente:** Gobierno Regional de Cajamarca.

Sin embargo, el deslizamiento del 2022 se generó en la parte alta de la ladera, con un escarpe con longitud de 870 m y salto de 60 m, envolviendo al deslizamiento 2018 y destruyó gran parte del caserío Cunía (Figura 14).

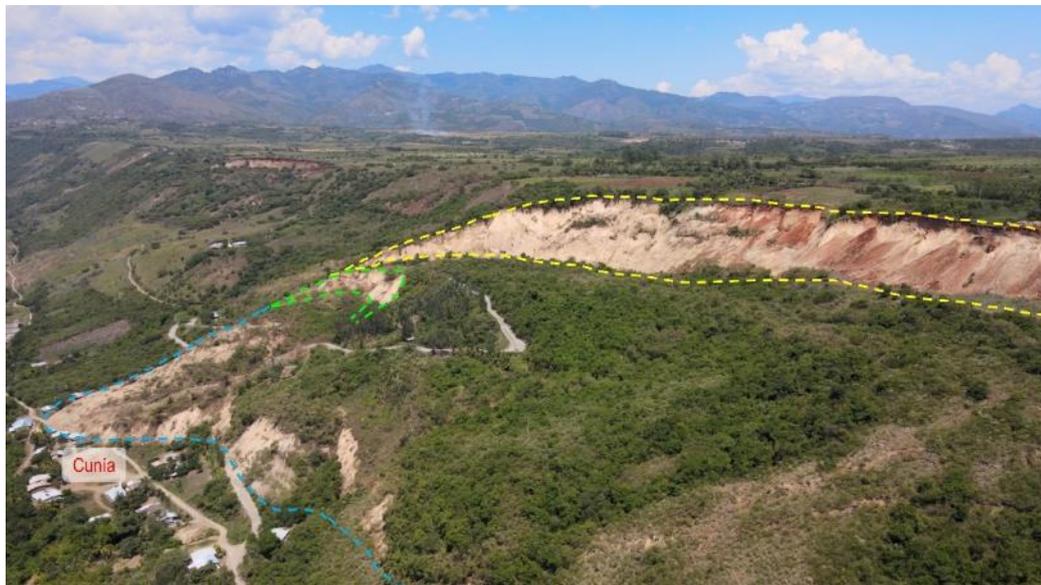


Figura 14. Deslizamiento Cunía del 2022, donde se aprecia el escarpe principal (en amarillo), el escarpe del deslizamiento 2018 (en verde) y el alcance del mismo (en celeste).

5.1.2. Análisis longitudinal del deslizamiento principal

En el perfil longitudinal A-A' (Figura 15), se aprecia la extensión del deslizamiento Cunía, comparando la morfometría del 2022 y la del 2019, anterior al deslizamiento, ambas superficies obtenidas por fotogrametría con drones. En esta interpretación se presenta claramente la zona de hundimiento (depresión) y la de acumulación, en esta última donde se encontraban las viviendas e infraestructuras afectadas del caserío Cunía.

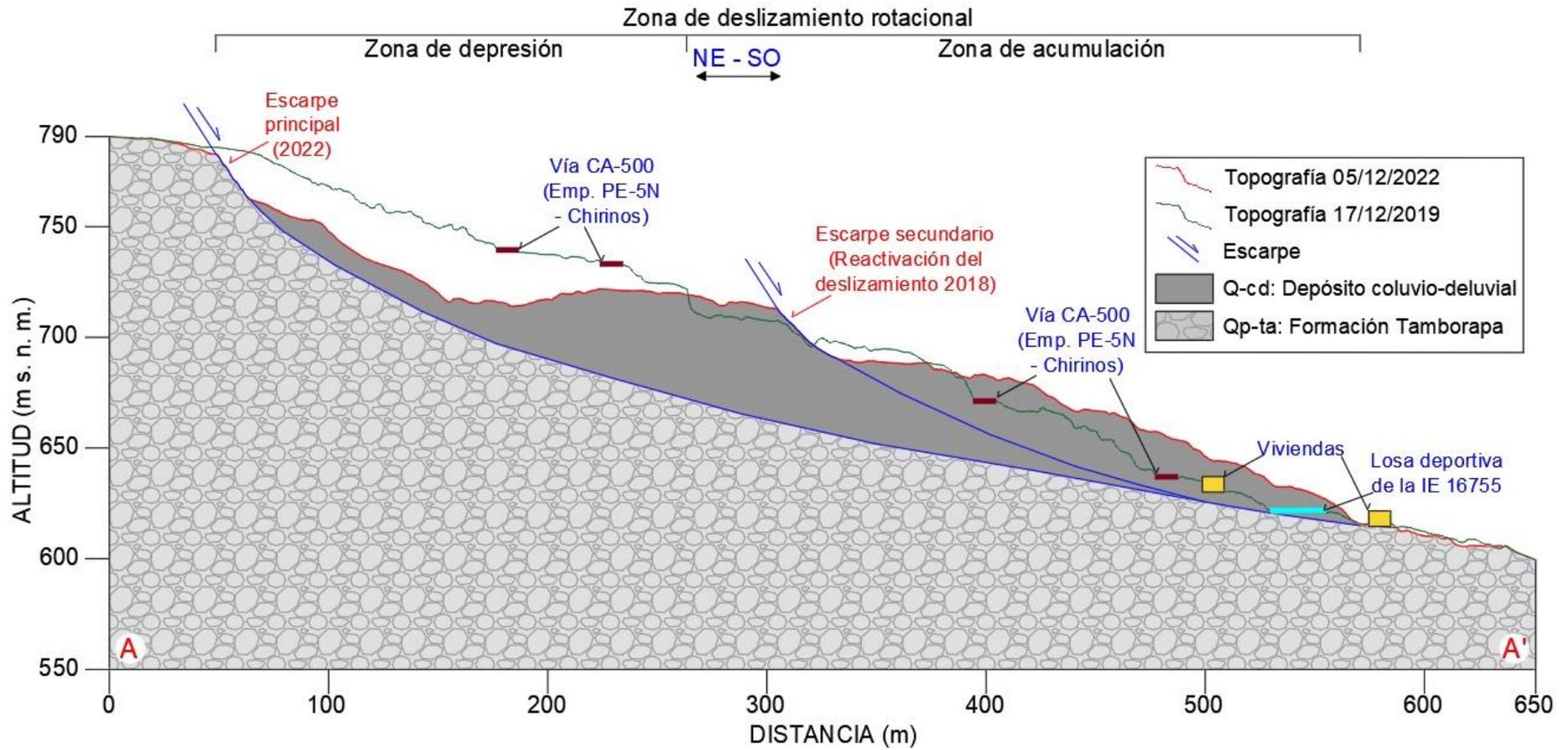


Figura 15. Perfil longitudinal A-A', del deslizamiento Cunía.

En la parte alta del deslizamiento Cunía se han registrado grietas de tracción, reflejando el avance del movimiento en forma retrogresiva, que podrían afectar viviendas y terrenos ubicados en la parte (Figura 16); mientras que en la parte baja el material removido se continúa acumulando, por lo que se espera que la afectación al caserío Cunía continúe (Figura 17).



Figura 16. Parte alta del deslizamiento Cunía, donde se aprecia el escarpe principal (en amarillo) y grietas de tracción detrás de la corona (en verde).



Figura 17. Parte baja del deslizamiento Cunía, donde se aprecia el escarpe reactivado del deslizamiento 2018 (en verde) y el escarpe actual (en amarillo).

5.1.3. Características visuales y morfométricas

- Tipo de movimiento: deslizamiento rotacional
- Estado: Activo
- Estilo: Múltiple (El cuerpo principal tiene un área de 34.9 hectáreas, mientras el deslizamiento reactivado del 2018, ubicado dentro del cuerpo principal, tiene 4.3 hectáreas)
- Distribución (avance): Retrogresivo-avanzando
- Velocidad: Rápido (algunos metros al día, según comentario de los pobladores del caserío Cunía).
- Deformación del terreno: Escalonado
- Composición: Suelos coluvio deluviales de arcillas de baja plasticidad (CL); compuestos por bloques (7%), cantos (3%), gravas (5%), gránulos (5%), arenas (5%), limos (30%) y arcillas (45%); teniendo sus clastos gruesos forma esférica-redondeada (Cuadro 5).
- Se cuenta con información de laboratorio en cuanto a los suelos superficiales (Ramos Díaz, 2019) donde se indica que los suelos del caserío Cunía corresponden a arcillas y limos inorgánicos de baja plasticidad (Cuadro 6).

Cuadro 5. Descripción de formaciones superficiales. **Ubicación:** E: 740118; N: 9404134; Z: 620.

TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL		GRANULOMETRÍA (%)		FORMA		REDONDES	
<input type="checkbox"/>	Eluvial	<input type="checkbox"/>	Lacustre	<input type="checkbox"/>	Esférica	<input checked="" type="checkbox"/>	Redondeado
<input checked="" type="checkbox"/>	Deluvial	<input type="checkbox"/>	Marino	<input checked="" type="checkbox"/>	Discoidal	<input type="checkbox"/>	Sub redondeado
<input checked="" type="checkbox"/>	Coluvial	<input type="checkbox"/>	Eólico	<input type="checkbox"/>	Laminar	<input type="checkbox"/>	Anguloso
<input type="checkbox"/>	Aluvial	<input type="checkbox"/>	Orgánico	<input type="checkbox"/>	Cilíndrica	<input type="checkbox"/>	Sub anguloso
<input type="checkbox"/>	Fluvial	<input type="checkbox"/>	Artificial				
<input type="checkbox"/>	Proluvial	<input type="checkbox"/>	Litoral				
<input type="checkbox"/>	Glaciar	<input type="checkbox"/>	Fluvio glaciar				
		7	Bolos				
		3	Cantos				
		5	Gravas				
		5	Gránulos				
		5	Arenas				
		30	Limos				
		45	Arcillas				

PLASTICIDAD		ESTRUCTURA		TEXTURA		CONTENIDO DE		% LITOLOGÍA	
<input type="checkbox"/>	Alta plasticidad	<input checked="" type="checkbox"/>	Masiva	<input checked="" type="checkbox"/>	Harinoso	<input type="checkbox"/>	Materia orgánica	<input type="checkbox"/>	Intrusivos
<input checked="" type="checkbox"/>	Med. plasticidad	<input type="checkbox"/>	Estratificada	<input type="checkbox"/>	Arenoso	<input type="checkbox"/>	Carbonatos	<input type="checkbox"/>	Volcánicos
<input type="checkbox"/>	Baja plasticidad	<input type="checkbox"/>	Lenticular	<input type="checkbox"/>	Áspero	<input type="checkbox"/>	Sulfatos	<input type="checkbox"/>	Metamórficos
<input type="checkbox"/>	No plástico							<input checked="" type="checkbox"/>	Sedimentarios

COMPACIDAD				CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.					
SUELOS FINOS		SUELOS GRUESOS		SUELOS GRUESOS		SUELOS FINOS			
Limos y Arcillas		Arena	Gravas	GW	SW	ML	MH		
<input checked="" type="checkbox"/>	Blanda	<input type="checkbox"/>	Suelta	<input type="checkbox"/>	SP	<input checked="" type="checkbox"/>	CL	<input type="checkbox"/>	CH
<input type="checkbox"/>	Compacta	<input type="checkbox"/>	Med. consolidada	<input type="checkbox"/>	SM	<input type="checkbox"/>	OL	<input type="checkbox"/>	OH
<input type="checkbox"/>	Dura	<input type="checkbox"/>	Consolidada	<input type="checkbox"/>	SC	<input type="checkbox"/>	PT		
		<input type="checkbox"/>	Muy densa						
			Muy consolidada						

Cuadro 6. Clasificación de los suelos de la variante Cunía – Chirinos. **Fuente:** Ramos Díaz, 2019.

Progresiva	04+000	03+000	02+000	00+940	00+000
Calicata N°	C-1	C-3	C-5	C-8	C-10
Muestra	M-1	M-1	M-1	M-1	M-1
% Que pasa N° 10	91.26	75.50	83.44	60.13	65.96
% Que pasa N° 40	84.55	65.01	69.55	54.15	54.20
% Que pasa N° 200	78.33	58.51	56.48	45.50	41.97
Límite Líquido (%)	41	41	35	31	30
Índice de Plasticidad (%)	14	15	11	8	6
Contenido de Humedad (%)	6.42	18.90	20.02	20.47	16.19
Densidad Natural (g/cm ³)	1.53	1.66	1.83	1.72	1.73
Clasificación A.A.S.H.T.O.	A-7-6 (4)	A-7-6 (7)	A-6 (4)	A-4 (1)	A-4 (0)
Clasificación S.U.C.S.	CL	CL	CL	ML	ML

Morfometría:

- Área: 348 744 m²
- Perímetro: 2 584 m
- Diferencia de alturas corona a la punta: 169 m
- Longitud horizontal corona a punta: 562 m
- Ángulo de corona a punta: 16.7°
- Dirección del movimiento: N211° (NE-SO)
- Ancho de la superficie de falla: 870 m
- Salto principal: 60 m
- Volumen de masa deslizada estimada: 10.2 hectómetros cúbicos.

Factores condicionantes

- Litología y naturaleza incompetente de materiales, compuesto por arcillas y limos de baja plasticidad media, sobre conglomerados muy fracturadas y completamente meteorizadas de la Formación Tamborapa (Qp-ta).
- Ladera de pendiente fuerte (15° a 25°) a muy fuerte (25° a 45°), que conforman geoformas de vertientes con depósito de deslizamientos.
- Ausencia de drenajes adecuados.
- Material coluvio deluvial saturado de agua, más la pendiente del terreno, incrementa la inestabilidad del terreno

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales de intensidad extrema, como la registrada en la estación La Cascarilla (Jaén) el 02/03/202 (79.8 mm/día), Gráfico 1.
- Antrópico: infiltración de agua proveniente de la irrigación por inundación de los terrenos de cultivo de arroz (Fotografía 4) y canales de regadío sin revestimiento (Fotografía 5).



Fotografía 4. Cultivos de arroz en la parte alta del caserío Cunía.



Fotografía 5. Canales sin revestimiento impermeable en la parte alta del caserío Cunía.

Daños ocasionados por el movimiento en masa (Fuente: SINPAD 160031)

- Viviendas: 27 destruidas, 20 inhabitables y 16 afectadas.
- Institución Educativa: 1 Institución educativa primara, N° 16755, destruida (Fotografía 6).
- Vías: 1 982 m de vía vecinal destruidos.
- Red de agua potable: 1 km destruido.
- Red de energía eléctrica: 1 km destruido.



Fotografía 6. Frente del deslizamiento en el caserío Cunía, lugar de acumulación de los suelos en remoción y de mayor afectación, como ambientes de la IE 16755.

5.2. Deslizamientos del caserío Juan Velasco Alvarado

5.2.1. Descripción de los deslizamientos

Al norte de la zona, en el caserío Juan Velasco Alvarado, se ha desarrollado tres deslizamientos sobre una ladera con pendiente fuerte a muy fuerte, de igual manera, debido a la sobresaturación permanente del terreno, por cultivos de alta exigencia hídrica (arroz) y las precipitaciones intensas, afectando extensa áreas de terrenos naturales, viviendas y vías locales.

- **Deslizamiento Rotacional Activo 2 – DRA 2**

El deslizamiento DRA 2 abarca 35.5 hectáreas y se reactivó en abril del 2021, duplicando su tamaño en relación a su estado en 2019 (Figura 18); presenta una escarpa principal de 1 070 m y un salto de 22 m.

El deslizamiento se encuentra sobre la margen izquierda de la quebrada México, sobre el cauce se han formado embalses, se tienen lagunas con longitudes de 20 m, en otros casos embalses de corta duración, donde no hay evidencias de lagunas.

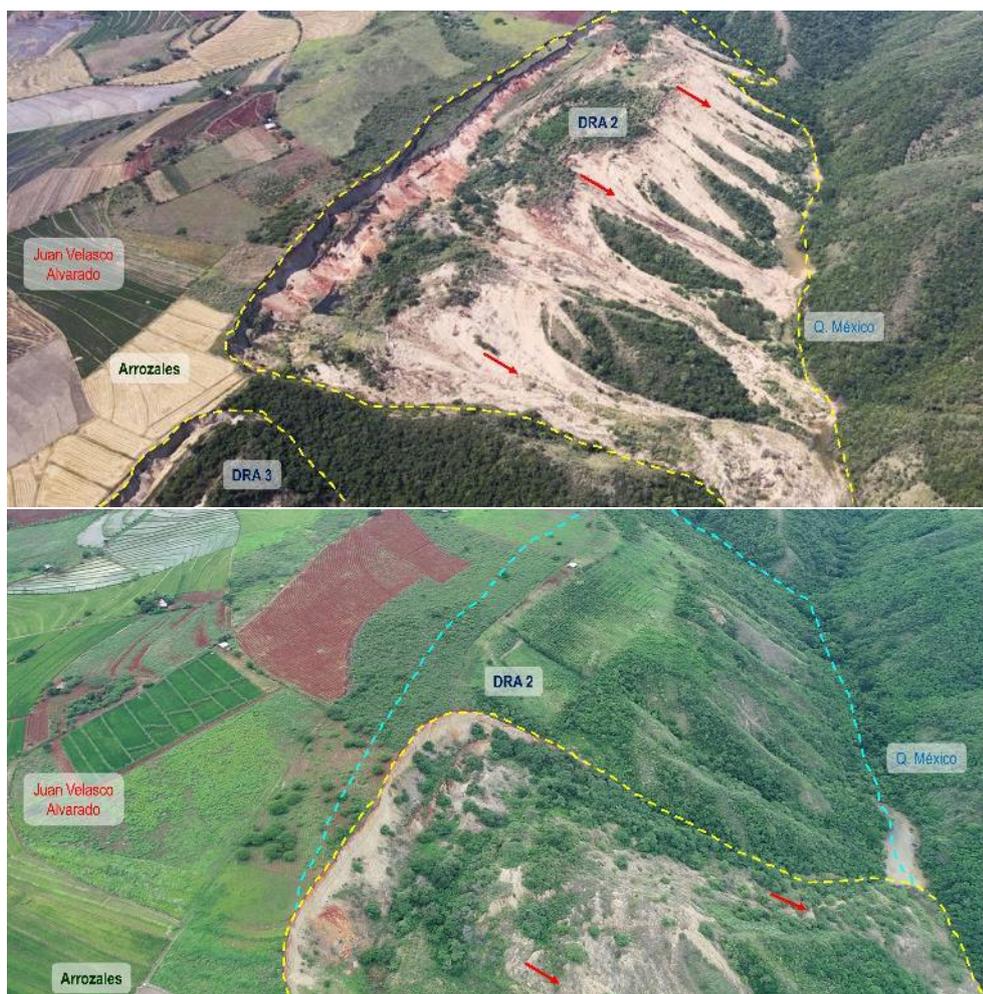


Figura 18. Deslizamiento DRA 2 en el caserío Juan Velasco Alvarado el 06/12/2022 (arriba) y su situación el 18/12/2019 (abajo).



Figura 19. Vista del escarpe del deslizamiento DRA 2 el 08/07/2021.

- **Deslizamiento Rotacional Activo 3 y 4 – DRA 3 y DRA 4**

El deslizamiento DRA 3 se ubica a solo 33 m al este del deslizamiento DRA 2 y abarca un área de 5.3 hectáreas, este deslizamiento se ha desencadenado el 2022, mientras el deslizamiento DRA 4 tiene un área de 11.1 hectáreas y ha sufrido continuas reactivaciones hasta el 2022, inclusive (Figura 20); están separados por tan solo 75 m.



Figura 20. Deslizamiento DRA 3 y DRA 4 en el caserío Juan Velasco Alvarado el 06/12/2022 (arriba) y sus situación el 18/12/2019 (abajo).

El salto de escarpe del deslizamiento DRA 3 es 14 m y del deslizamiento DRA 4 es 39 m (Figura 21), estando este último a 3 m de una vivienda, ahora inhabitable, y a 10 m de una vía vecinal.



Figura 21. Vista del escarpe del deslizamiento DRA 2 el 08/07/2021 desde un dron (arriba) y en superficie (abajo).

5.2.2. Características visuales y morfométricas de los deslizamientos

- Tipo de movimiento: Deslizamiento rotacional.
- Estado: Activo.
- Estilo: Múltiple (Cuerpos de diversas reactivaciones).
- Distribución (avance): Retrogresivo-avanzando.
- Velocidad: Rápido (algunos metros al día, según comentario de los pobladores del caserío Juan Velasco Alvarado).
- Deformación del terreno: Escalonado.
- Composición: Suelos coluvio deluviales de arcillas de baja plasticidad (CL), similares a los del caserío Cunía (Cuadro 5).

Morfometría:

Característica	DRA 2	DRA 3	DRA 4
Área (m ²)	355 450	53 662	111 580
Perímetro (m)	6 216	1 495	1 873
Diferencia de alturas corona a la punta (m)	151	172	175
Longitud horizontal corona a punta (m)	570	465	615
Ángulo de corona a la punta (°)	15	20.3	15.9
Dirección del movimiento (Azimut °)	345	338	332
Ancho de la superficie de falla (m)	1 070	288	285
Salto principal (m)	22	14	39

Factores condicionantes

- Litología y naturaleza incompetente de materiales, compuesto por arcillas y limos de plasticidad media, sobre conglomerados muy fracturadas y completamente meteorizadas de la Formación Tamborapa (Qp-ta).
- Ladera de pendiente fuerte (15° a 25°) a muy fuerte (25° a 45°), que conforman geoformas de vertientes con depósito de deslizamientos, muy susceptibles a movimientos en masa.
- Ausencia de drenajes adecuados.

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales de intensidad extrema.
- Antrópico: irrigación por inundación de los terrenos de cultivo (arrozales) y canales de regadío sin revestimiento.

Daños ocasionados por el movimiento en masa (Fuente: SINPAD 160031)

- Viviendas: 1 destruidas, 2 inhabitables.
- Terrenos de cultivo destruidos: 9.8 hectáreas.

5.3. Deslizamientos activos menores

Adicionalmente a los deslizamientos de mayores amplitudes descritos, también existen algunos deslizamientos de menor área; el primero (DRA 5) se ubica al oeste de la rampa que sigue la variante de la vía a Chirinos y tiene un área de 5 869 m²; mientras el segundo se encuentra a 75 m al este de la vía a Chirinos y abarca un área de 4 846 m².

Estos deslizamientos tienen similar composición y propiedades que sus semejantes de mayores dimensiones y su movimiento sigue un trayecto NE-SO, podrían incrementar sus dimensiones en caso no se elimine o limite el excedente de aguas subterráneas por regadíos en la cima de la ladera.



Figura 22. Vista de dos deslizamientos rotacionales de menor amplitud en el caserío Cunía

5.4. Deslizamientos inactivos – latentes

Corresponden a deslizamientos desencadenados y con reactivaciones desde 2012 en adelante (Núñez, S., 2013), pero que desde hace unos años no muestran señales de nuevos eventos de reactivación (Gómez, D., 2019) hasta el día de la evaluación en campo; sin embargo, no se descarta la posible reactivación (latente) en caso reaparezcan o incrementen los factores que los desencadenaron (cultivos de arroz en la cima y lluvias intensas).

Los de mayores dimensiones se ubican al oeste del caserío Cunía y abarcan una ladera de la lomada, estando sus coronas a pocos metros de la vía a Chirinos (Figura 23).

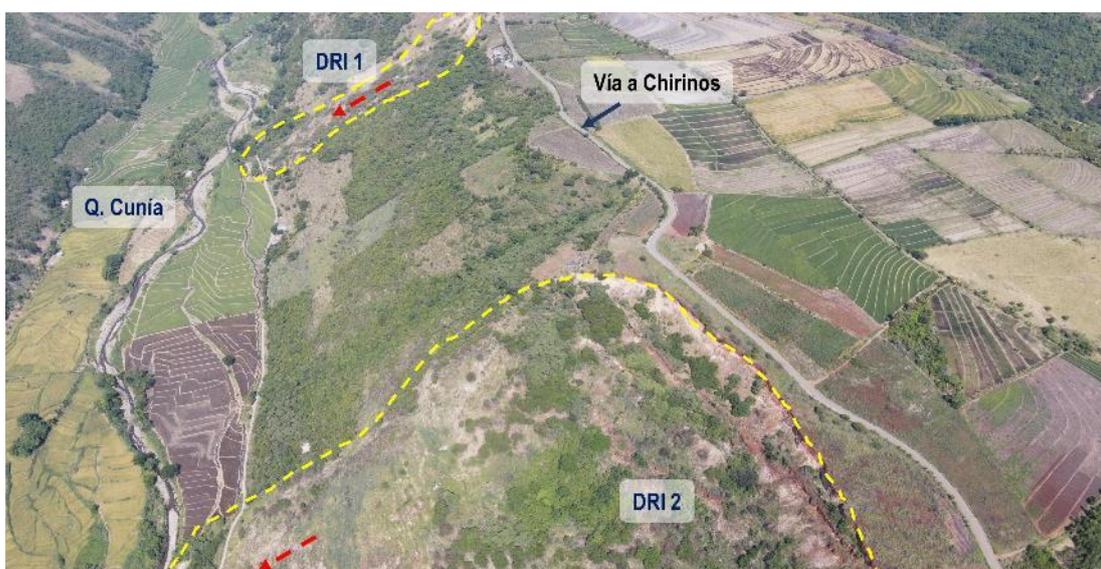


Figura 23. Vista de los deslizamientos inactivos DRI 1 y DRI 2 el 06/12/2022.

El DRI 1 tiene un área de 51 949 m² y su escarpa tiene un ancho de 215 m y un salto vertical de 35 m; mientras el DRI 2 tiene un área de 249 233 m² y tiene una escarpa de 512 m y salto de 26 m. Ambos deslizamientos solo han afectado terrenos naturales (Figura 24).



Figura 24. Vista de los deslizamientos inactivos DRI 1 y DRI 2 el 17/12/2019. **Fuente:** Gobierno Regional de Cajamarca.

El deslizamiento inactivo DRI 3 se ubica al este del caserío Cunía, entre los deslizamientos activos DRA 1 y DRA 5, recorre desde la cima de la ladera de lomada hasta su parte intermedia (Figura 25). Este deslizamiento tiene un área de 30 542 m², mientras su escarpa tiene una longitud de 210 m y un salto vertical de 22 m; además solo ha afectado a terrenos con cobertura vegetal nativa (Figura 26).



Figura 25. Vista al deslizamiento inactivo DRI 3, ubicado entre los deslizamientos DRA 1 y DRA 5 el 06/12/2022.



Figura 26. Vista del deslizamiento inactivo DRI 3 el 18/12/2019. **Fuente:** Gobierno Regional de Cajamarca.

El deslizamiento inactivo DRI 4 tuvo su última reactivación en diciembre del 2019; se ubica entre los deslizamientos activos DRA 5 y DRA 6, además está a 100 m al oeste de la variante de la vía a Chirinos (Figura 27).

Este deslizamiento abarca un área de 55 301 m² y su escarpa tiene una longitud de 165 m con salto vertical de 28 m (Figura 28); su afectación fue a terrenos con arbustos naturales, sin embargo, en su momento alcanzó a la variante de la vía a Chirinos (Figura 27).



Figura 27. Deslizamiento inactivo DRI 4 ubicado entre los deslizamientos activos DRA 5 y DRA 6 el 06/12/2022.



Figura 28. Vista del deslizamiento inactivo DRI 4 el 17/12/2019. **Fuente:** Gobierno Regional de Cajamarca.

Además de estos deslizamientos evaluados durante la etapa de campo del 2022, se tienen registros de otros deslizamientos ya relictos en la actualidad o ubicados fuera de la zona de evaluación priorizada (Gómez, H., 2019 y Núñez, S., 2013).

5.5. Peligros geológicos en el terreno de acogida propuesto

El terreno de acogida propuesto se ubica en las proximidades del empalme de la vía nacional PE-5N y la vía a Chirinos (Figura 29), teniendo el terreno una pendiente de moderada a fuerte (5° - 25°) y estando coberturado por pastos y arbustos naturales (Fotografía 7).

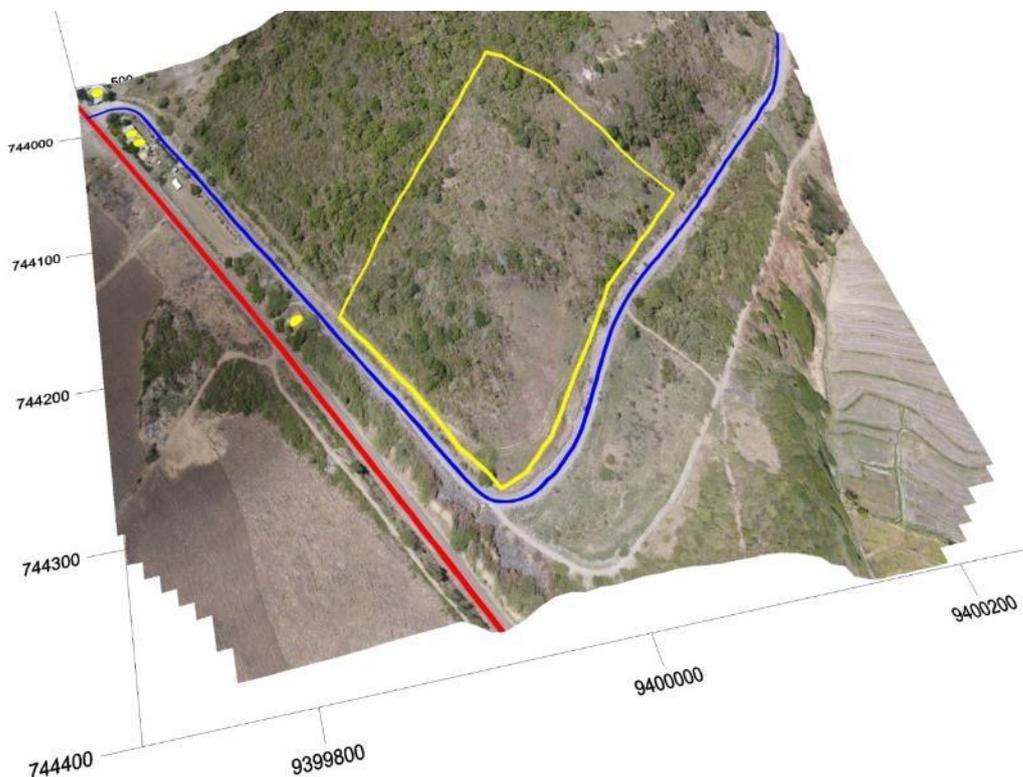


Figura 29. Modelo 3D del terreno de acogida propuesto (línea amarilla), mostrando además a la vía nacional PE-5N (línea roja), la vía a Chirinos (en línea azul) y algunas viviendas (puntos amarillos).



Fotografía 7. Vista de la ladera donde se ubica el terreno de acogida propuesto.

Como fuentes de peligro activas se tiene a la Quebrada Cunía al noreste, la que constantemente es objeto de flujos de detritos que discurren por su cauce (Figura 30), sin embargo, se ubica a 380 m del terreno y a una diferencia de alturas de 45 m; por lo que es casi improbable el impacto directo al terreno evaluado.



Figura 30. Vista del terreno de acogida propuesto y la posición de la Quebrada Cunía.

Otra fuente de peligro es el Río Tabaconas, ubicado al sur del terreno de acogida propuesto, conforma una fuente permanente de agua y debido a su gran caudal provoca inundaciones y erosiones fluviales en sus riberas; aun así, se ubica a 415 m de la zona y a una diferencia de alturas de 50 m, por lo que también no llegaría a impactar al terreno evaluado.



Figura 31. Vista del terreno de acogida propuesto y la posición del Río Tabaconas.

Descartando una posible afectación por fuentes de peligros activos, debido a la pendiente inclinada del terreno y su composición de suelos de arcillas, podría ser lugar de erosión de laderas si no se aplicasen las medidas adecuadas de control de escorrentías superficiales, tales como canales de coronación impermeabilizados, reforestación de laderas, prohibición de riego para cultivos y construcción de muros de contención, en caso se hicieran cortes profundos para habilitación urbana.

Factores condicionantes ante erosión de laderas

- Litología y naturaleza incompetente de materiales, compuesto por arcillas y limos de baja plasticidad media a baja (Cuadro 7), sobre conglomerados muy fracturadas y completamente meteorizadas de la Formación Tamborapa (Qp-ta).
- Composición: Suelos coluvio deluviales de arcillas de media a baja plasticidad (CL); compuestos por bloques (10%), cantos (5%), gravas (5%), gránulos (5%), arenas (5%), limos (30%) y arcillas (40%); teniendo sus clastos gruesos forma esférica-redondeada (Cuadro 5).
- Ladera de pendiente moderada a fuerte (5° a 25°) y que conforman geoformas de ladera en rocas sedimentarias.
- Ausencia de drenajes adecuados.

Cuadro 7. Descripción de formaciones superficiales. **Ubicación:** E: 744343; N: 9399918; Z: 533.

TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL		GRANULOMETRÍA (%)		FORMA		REDONDES	
<input type="checkbox"/>	Eluvial	<input type="checkbox"/>	Lacustre	10	Bolos	<input type="checkbox"/>	Esférica
<input checked="" type="checkbox"/>	Deluvial	<input type="checkbox"/>	Marino	5	Cantos	<input checked="" type="checkbox"/>	Redondeado
<input checked="" type="checkbox"/>	Coluvial	<input type="checkbox"/>	Eólico	5	Gravas	<input type="checkbox"/>	Sub redondeado
<input type="checkbox"/>	Aluvial	<input type="checkbox"/>	Orgánico	5	Gránulos	<input type="checkbox"/>	Anguloso
<input type="checkbox"/>	Fluvial	<input type="checkbox"/>	Artificial	5	Arenas	<input type="checkbox"/>	Sub anguloso
<input type="checkbox"/>	Proluvial	<input type="checkbox"/>	Litoral	30	Limos		
<input type="checkbox"/>	Glaciar	<input type="checkbox"/>	Fluvio glaciar	40	Arcillas		

PLASTICIDAD		ESTRUCTURA		TEXTURA		CONTENIDO DE		% LITOLOGÍA	
<input type="checkbox"/>	Alta plasticidad	<input checked="" type="checkbox"/>	Masiva	<input checked="" type="checkbox"/>	Harinoso	<input type="checkbox"/>	Materia orgánica	<input type="checkbox"/>	Intrusivos
<input checked="" type="checkbox"/>	Med. plasticidad	<input type="checkbox"/>	Estratificada	<input type="checkbox"/>	Arenoso	<input type="checkbox"/>	Carbonatos	<input type="checkbox"/>	Volcánicos
<input type="checkbox"/>	Baja plasticidad	<input type="checkbox"/>	Lenticular	<input type="checkbox"/>	Áspero	<input type="checkbox"/>	Sulfatos	<input type="checkbox"/>	Metamórficos
<input type="checkbox"/>	No plástico							<input checked="" type="checkbox"/>	Sedimentarios

SUELOS FINOS		COMPACIDAD				CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.						
Limos y Arcillas		ARENA		GRAVAS		SUELOS GRUESOS			SUELOS FINOS			
<input checked="" type="checkbox"/>	Blanda	<input type="checkbox"/>	Suelta	<input type="checkbox"/>	Suelta	GW	<input type="checkbox"/>	SW	<input type="checkbox"/>	ML	<input type="checkbox"/>	MH
<input type="checkbox"/>	Compacta	<input type="checkbox"/>	Densa	<input type="checkbox"/>	Med. consolidada	GP	<input type="checkbox"/>	SP	<input checked="" type="checkbox"/>	CL	<input type="checkbox"/>	CH
<input type="checkbox"/>	Dura	<input type="checkbox"/>	Muy Densa	<input type="checkbox"/>	Consolidada	GM	<input type="checkbox"/>	SM	<input type="checkbox"/>	OL	<input type="checkbox"/>	OH
					Muy consolidada	GC	<input type="checkbox"/>	SC	<input type="checkbox"/>	PT		

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales de intensidad extrema.



Fotografía 8. Muestra de los suelos ubicados en la zona del terreno de acogida. **Ubicación:** E: 744343; N: 9399918; Z: 533.

6. CONCLUSIONES

- a. En los caseríos Cunía y Juan Velasco Alvarado, se han cartografiado seis deslizamientos rotacionales activos y cuatro inactivos – latentes, que abarcan un área de 126.7 hectáreas, y que afectó 66 viviendas, una institución educativa, vía Emp. PE-5N – Chirinos en 1.9 km, tubería de agua potable en 1 km, tendido de red de energía eléctrica en 1 km y terrenos de cultivo en 9.8 ha.
- b. Los deslizamientos se han desarrollado sobre suelos arcillo-limosos de baja a media plasticidad, provenientes de procesos de remoción en masa sobre los conglomerados muy fracturados y altamente meteorizados de la Formación Tamborapa.
- c. El deslizamiento rotacional ocurrido el 25/11/2022, en el caserío Cunía abarca un área de 34.9 hectáreas, su escarpa tiene un ancho de 870 m y un salto de 60 m; mientras el deslizamiento del caserío Juan Velasco Alvarado ocupa un área de 35.5 hectáreas, una escarpa con longitud de 1 070 m y un salto de 22 m.
- d. Las geoformas corresponden a vertientes con depósitos de deslizamientos ubicados en laderas de lomadas en rocas sedimentarias, estos terrenos tienen pendientes de fuertes a muy fuerte (15° a 45°); mientras que la cima de la lomada, denominada como Tablón Colorado, tiene una pendiente de llana a suave (<5°), similar a las terrazas bajas aluviales y planicies inundables ubicadas en las partes bajas.
- e. El factor detonante fueron las precipitaciones pluviales intensas (de hasta 79.8 mm/día el día 02/03/2022) y la irrigación inadecuada de los terrenos de cultivos consistentes en arrozales con riego por inundación permanente.
- f. El material que conforman los depósitos coluvio deluviales corresponden a suelos arcillo limosos de baja a media plasticidad (CL) con alto contenido de carbonatos y materia orgánica; compuestos por bloques (7%), cantos (3%), gravas (5%), gránulos (5%), arenas (5%), limos (30%) y arcillas (45%); teniendo sus clastos gruesos forma discoidal y redondeados.
- g. Las áreas de impacto por deslizamiento, cartografiados en los caseríos Cunía y Juan Velasco Alvarado, por las condiciones litológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se consideran como **Zona Crítica de Peligro Muy Alto**.
- h. El terreno de acogida propuesto es susceptible a erosión de laderas debido a su pendiente de moderada a fuerte (5° a 25°), compuesto por suelos de plasticidad media a baja (CL) y geomorfología de ladera en roca sedimentaria, considerándose así como de **Peligro Medio** ante movimientos en masa; por lo que se requerirá la implementación de medidas estructurales y no estructurales de mitigación del peligro para hacerlo apto para la reubicación de los pobladores damnificados de los caseríos Cunía y Juan Velasco Alvarado.

7. RECOMENDACIONES

En las zonas impactadas por deslizamientos

- a. Construir drenes de coronación sobre los deslizamientos evaluados, con una sección de concreto armado u otro material impermeable (como geomembranas o arcillas), a fin de evitar filtraciones (Anexo 2A – Figura 32), además de programar continuos trabajos de mantenimiento en estos.
- b. Mejorar e impermeabilizar los canales de regadío existentes.
- c. Reforestar las laderas con especies nativas y de raíces densas (Anexo 2b – figura 33 y fotografía 9).
- d. Reubicar las viviendas afectadas y por seguridad involucrar a las viviendas que se encuentran próximas a los deslizamientos.
- e. Prohibir el riego por inundación en las partes altas de los caseríos de Cunía y Juan Velasco Alvarado.
- f. Monitorear la posible reactivación de los deslizamientos.
- g. Elaborar estudios EVAR con el fin de determinar medidas de control a largo plazo y delimitar posibles zonas con riesgo muy alto no mitigable.

En la zona del terreno de acogida propuesto

- a. Construir drenes de coronación y perimetrales impermeabilizados alrededor de todo el terreno.
- b. Planificar un sistema de drenaje pluvial impermeabilizado interior a la zona de habilitación urbana proyectada.
- c. Reforestar las laderas con especies nativas y prohibir la deforestación.
- d. Prohibir el cultivo de especies con gran demanda hídrica (que requiera riego por inundación).
- e. En caso que se realicen cortes en talud, realizar estudios geotécnicos o de estabilidad con especialistas.


LUIS MIGUEL LEON ORDAZ
Ingeniero Geólogo
Reg.CIP. N° 215610


Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

8. BIBLIOGRAFÍA

- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslides types and processes. *Landslides Investigation and Mitigation: Washington D.C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report, 247*, 36–75.
- de la Cruz, J. (1995). *Geología de los cuadrángulos de Río Santa Águeda, San Ignacio y Aramango. Hojas: 10-f, 11-f y 11-g. INGEMMET, Boletín N° 57, Serie A: Carta Geológica Nacional*. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/178>
- Gómez Velásquez, D. (2019). *Informe Técnico N° A6885 Evaluación geológica – geodinámica de peligros por movimientos en masa en el caserío Cunía. Región Cajamarca, provincia San Ignacio, distrito Chirinos, paraje Cunía*. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2109>
- 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. (2021). *Mapas geológicos integrados 50k ver 2021*. <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- León Ordáz, L. M., & Vigo Becerra, L. D. (2019). *Zonas de acogida para el reasentamiento poblacional del caserío Cunía, distrito Chirinos, provincia de San Ignacio - región Cajamarca*. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/4270>
- Núñez Juárez, S. (2013). *Informe Técnico N° A6638 - Peligros geológicos en los sectores: C.E. Jorge Basadre Grohmann, Cunía, Higuierón, Catahuas - Laguna Azul y San Ignacio. Región Cajamarca, provincia San Ignacio, distritos Chirinos, Huarango y San Ignacio*. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1502>
- PMA. (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.
- Ramos Díaz, J. K. (2019). *Estudio de mecánica de suelos del terreno de fundación del Proyecto “Rehabilitación y apertura de la vía alterna Cunía - Tablón Colorado del distrito de Chirinos - Provincia de San Ignacio - Región Cajamarca”*.
- 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>

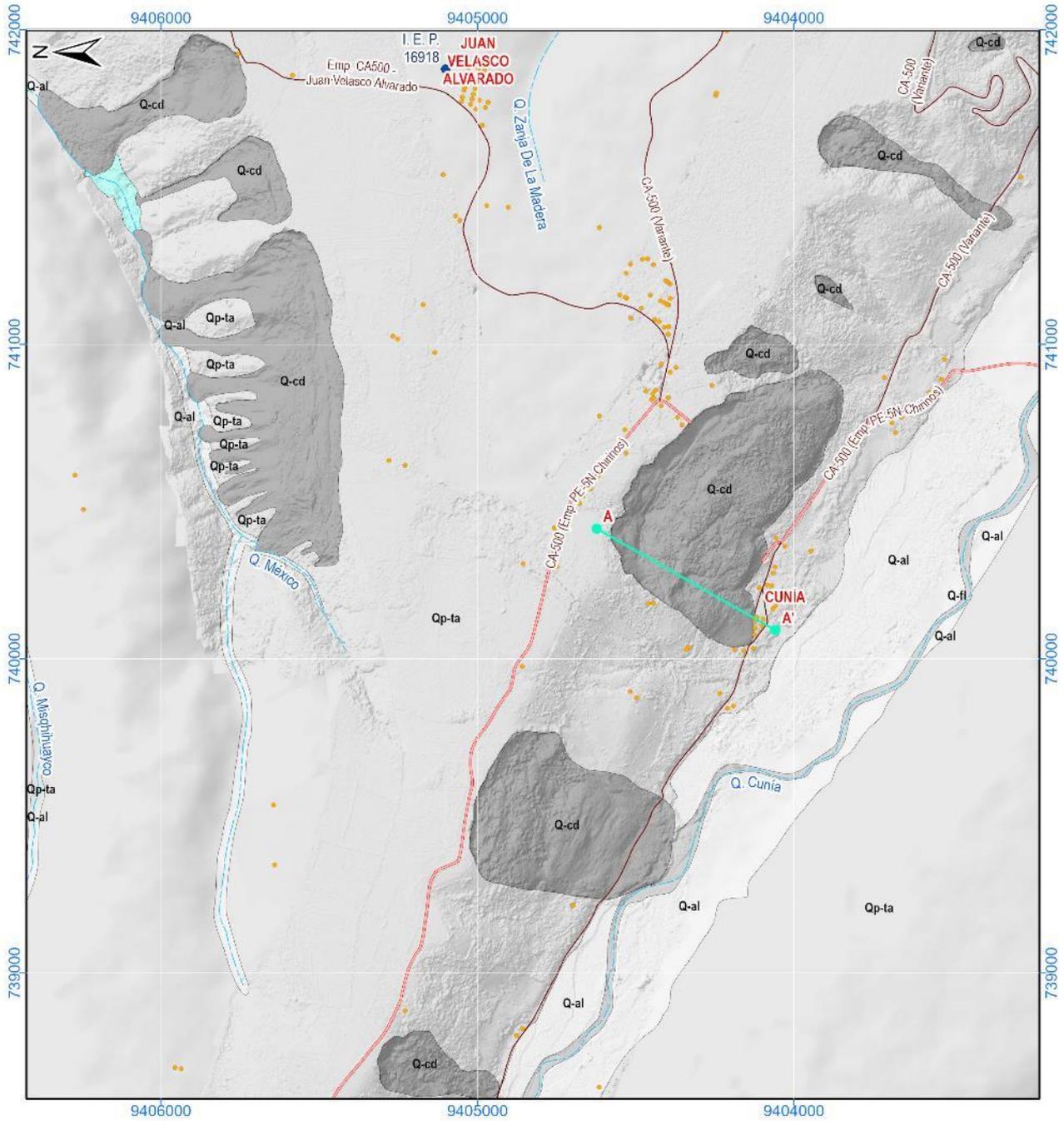
Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales* (Ltda, Ed.; 1a ed.). Publicaciones UIS.

Suárez Díaz, J. (2007). *Deslizamientos - Técnicas de Remediación* (1a ed.). Erosion.com.

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.*

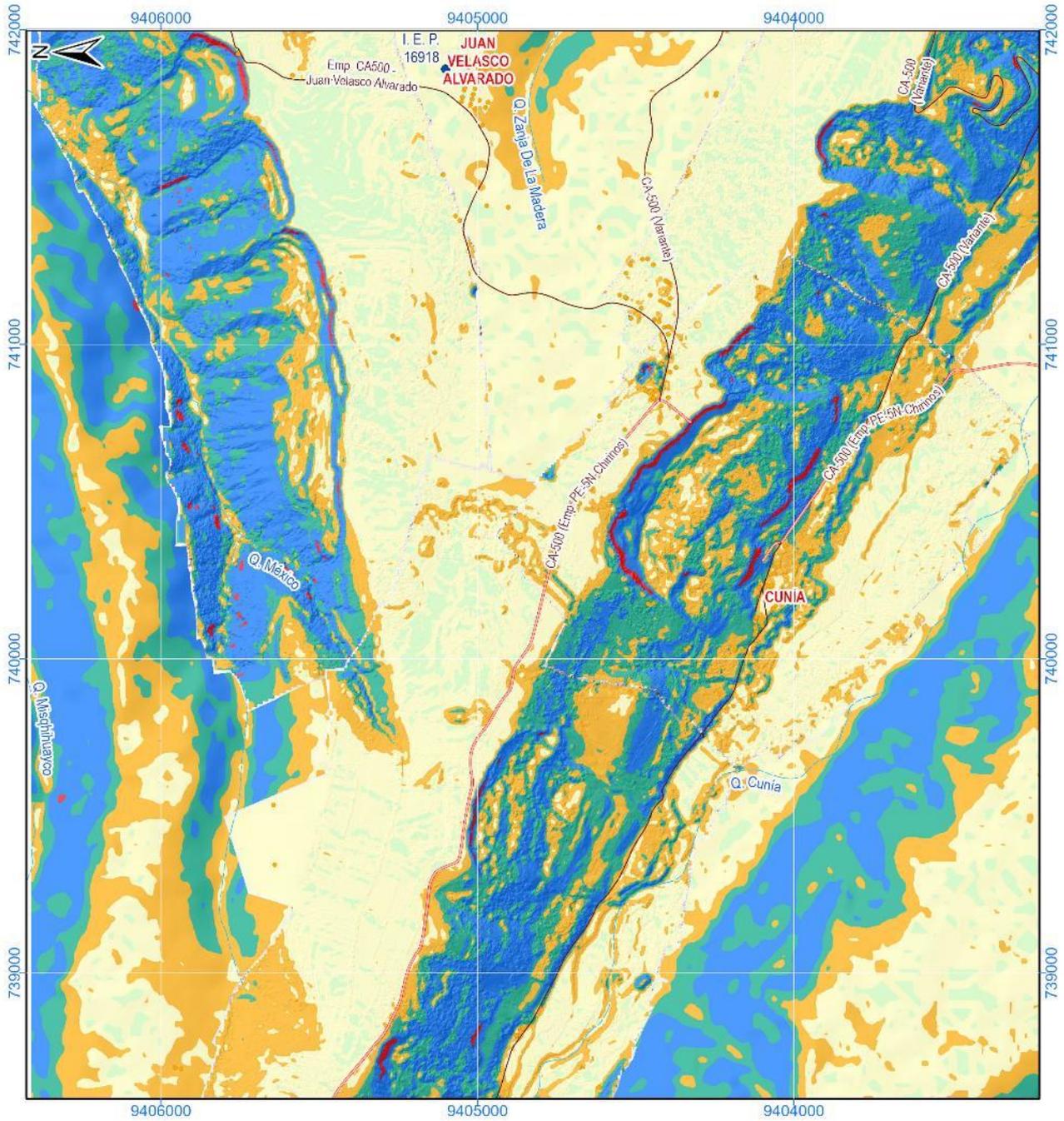
ANEXO I. MAPAS



SIMBOLOGÍA	
	Trocha
	Via vecinal
	Quebrada
	Institución educativa
	Vivienda
	Línea de perfil

LEYENDA	
	Cuerpo de agua
	Q-fl: Depósito fluvial
	Q-cd: Depósito coluvio-deluvial
	Q-al: Depósito aluvial
	Qp-ta: Formación Tamborapa

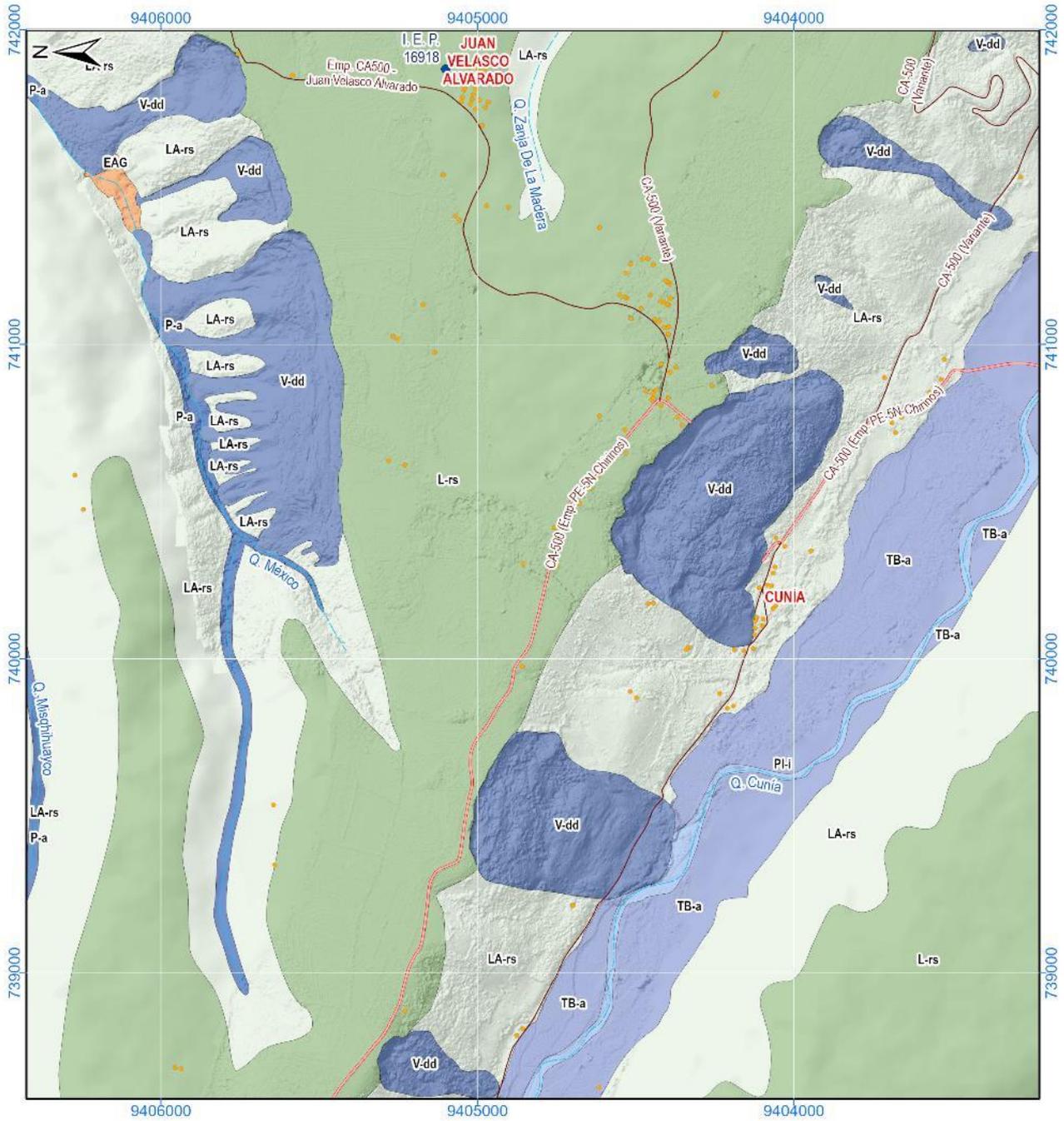
SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN IGNACIO - CHIRINOS		
MAPA GEOLÓGICO		
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León	MAPA 1
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84	
Escala: 1/20,000	Versión digital: 2022	



SIMBOLOGÍA	
	Trocha
	Vía vecinal
	Quebrada
	Institución educativa
	Vivienda

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

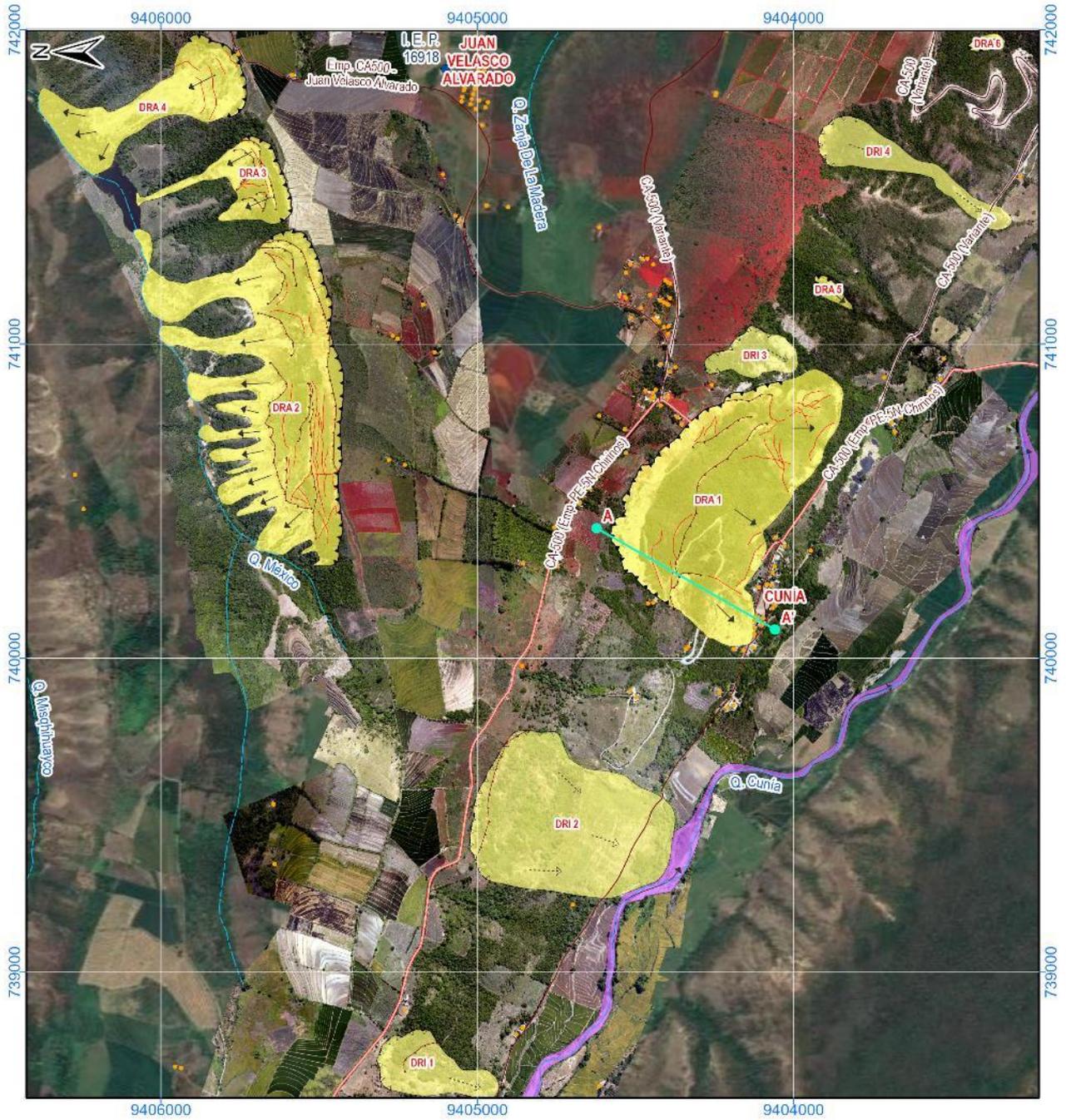
SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL	
CAJAMARCA - SAN IGNACIO - CHIRINOS	
MAPA DE PENDIENTES	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/20,000	Versión digital: 2022
MAPA 2	



SIMBOLOGÍA	
	Trocha
	Vía vecinal
	Quebrada
	Institución educativa
	Vivienda

LEYENDA	
	L-rs: Lomada en roca sedimentaria
	LA-rs: Ladera en roca sedimentaria
	V-dd: Vertiente con depósito de deslizamiento
	P-a: Piedemonte aluvial
	TB-a: Terraza baja aluvial
	PI-i: Llanura o planicie inundable
	EAG: Embalse de agua

SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL	
CAJAMARCA - SAN IGNACIO - CHIRINOS	
MAPA GEOMORFOLÓGICO	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/20,000	Versión digital: 2022
MAPA 3	

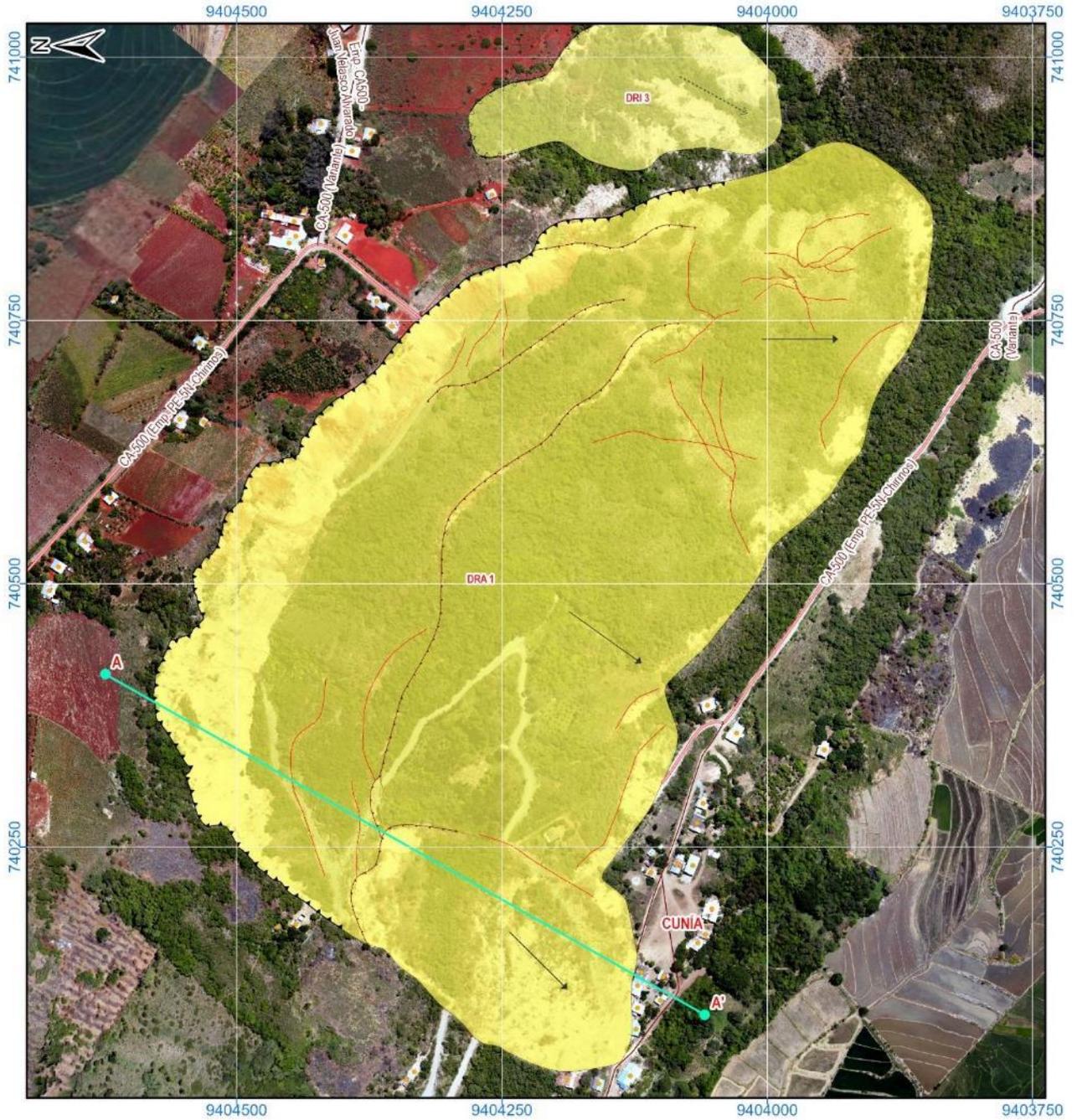


SIMBOLOGÍA	
	Trocha
	Vía vecinal
	Quebrada
	Institución educativa
	Vivienda
	Agrietamiento
	Escarpe de deslizamiento activo
	Escarpe de deslizamiento inactivo
	Escarpe secundario
	Dirección de movimiento inactivo
	Dirección de movimiento activo o suspendido
	Línea de perfil

LEYENDA	
	Deslizamiento rotacional activo
	Deslizamiento rotacional inactivo-latente
	Flujo de detritos suspendido



 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN IGNACIO - CHIRIVOS	
MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/20,000	Versión digital: 2022
MAPA 4	



SIMBOLOGÍA	
	Trocha
	Vía vecinal
	Vivienda
	Agrietamiento
	Escarpe de deslizamiento activo
	Escarpe de deslizamiento inactivo
	Escarpe secundario
	Dirección de movimiento inactivo
	Dirección de movimiento activo o suspendido
	Línea de perfil

LEYENDA	
	Deslizamiento rotacional activo
	Deslizamiento rotacional inactivo-latente

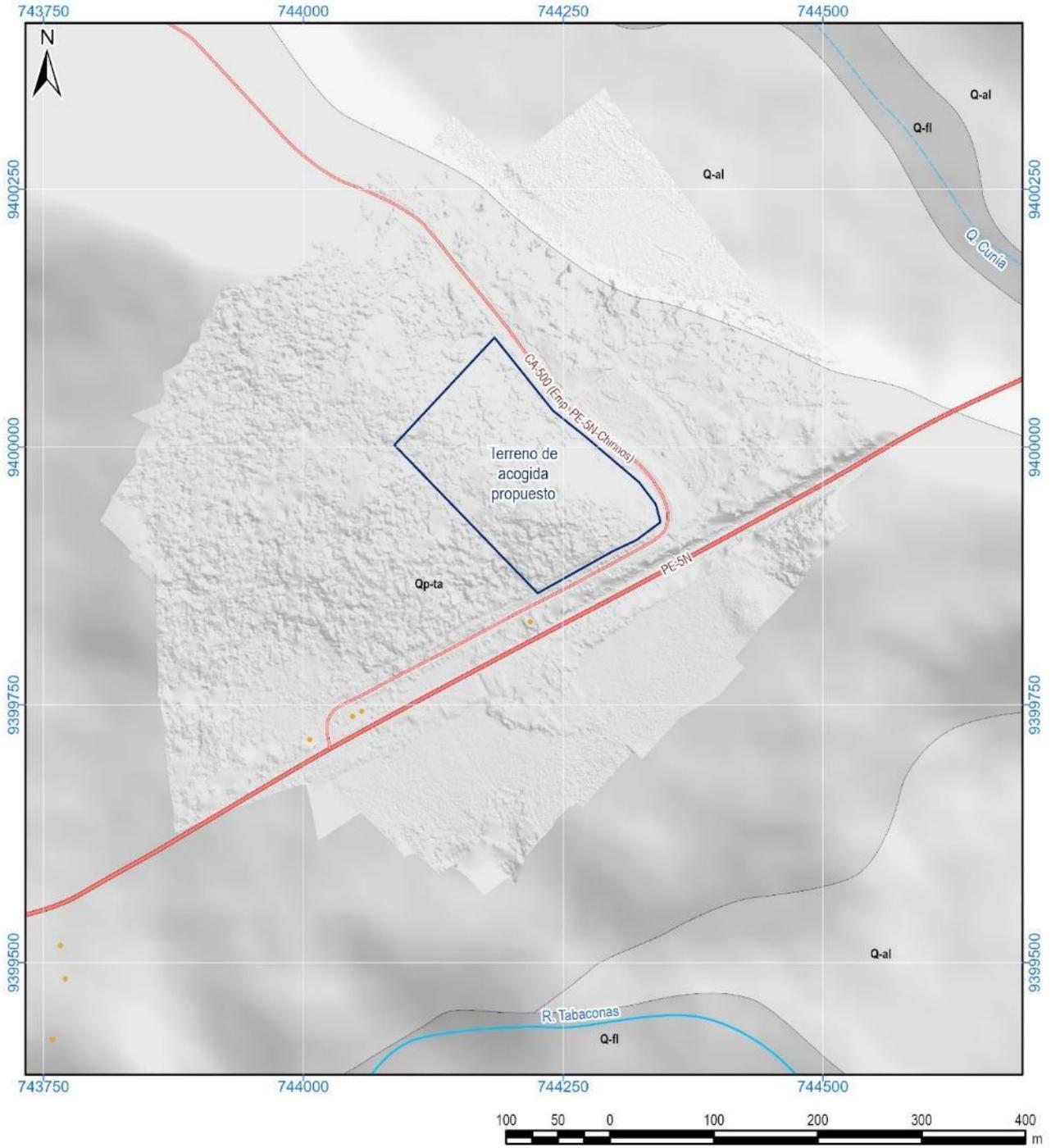
SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN IGNACIO - CHIRINOS	
MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS - CUNIA	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/6,000	Versión digital: 2022
MAPA 5	



SIMBOLOGÍA	
	Trocha
	Quebrada
	Institución educativa
	Vivienda
	Agrietamiento
	Escarpe de deslizamiento activo
	Escarpe secundario
	Dirección de movimiento activo o suspendido

LEYENDA	
	Deslizamiento rotacional activo

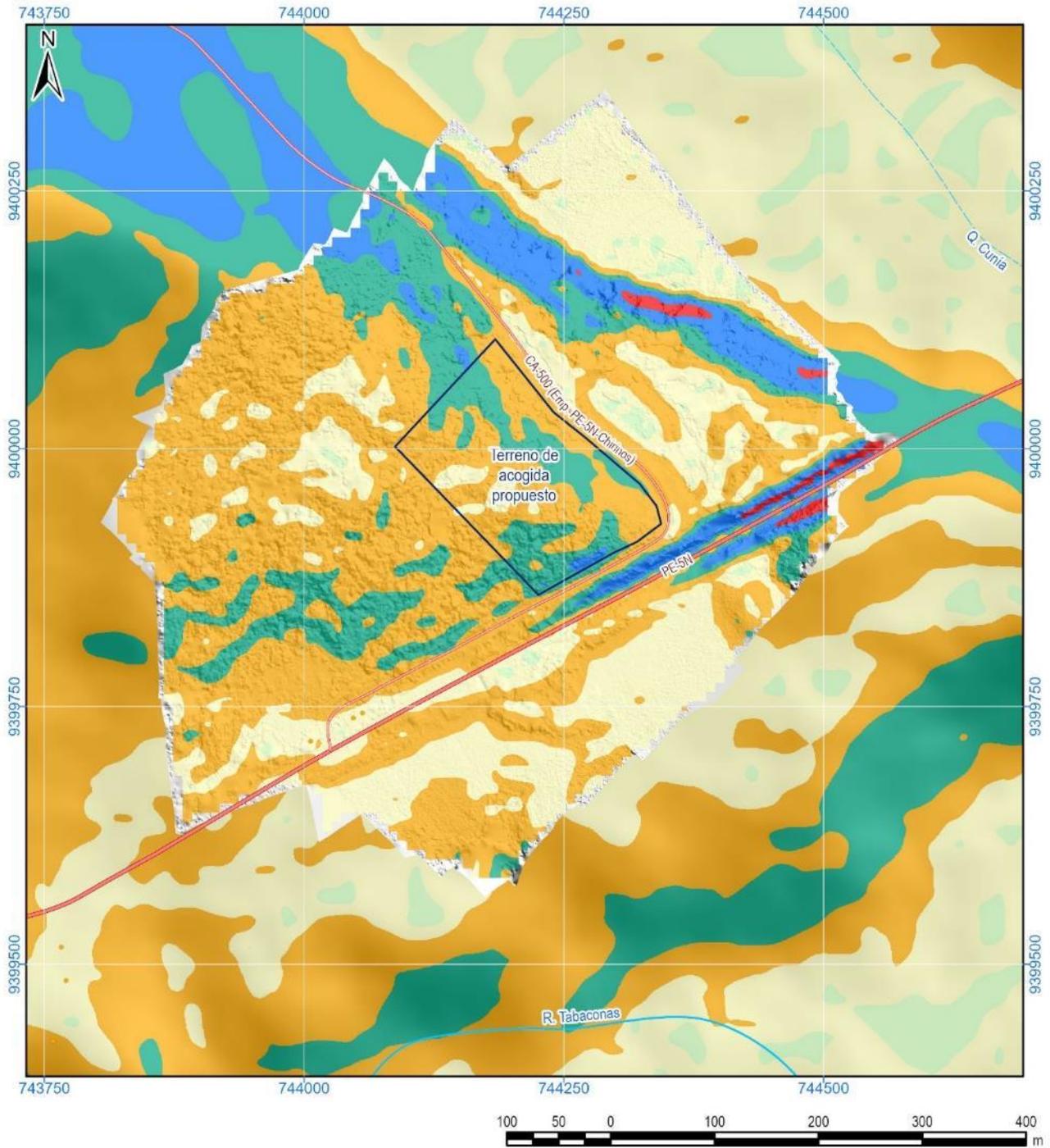
SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN IGNACIO - CHIRINOS	
MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS - JUAN VELASCO ALVARADO	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/10,000	Versión digital: 2022
MAPA 6	



SIMBOLOGÍA	
	Vivienda
	Vía vecinal
	Vía nacional
	Quebrada
	Río
	Terreno de acogida propuesto

LEYENDA	
	Q-fl: Depósito fluvial
	Q-al: Depósito aluvial
	Qp-ta: Formación Tamborapa

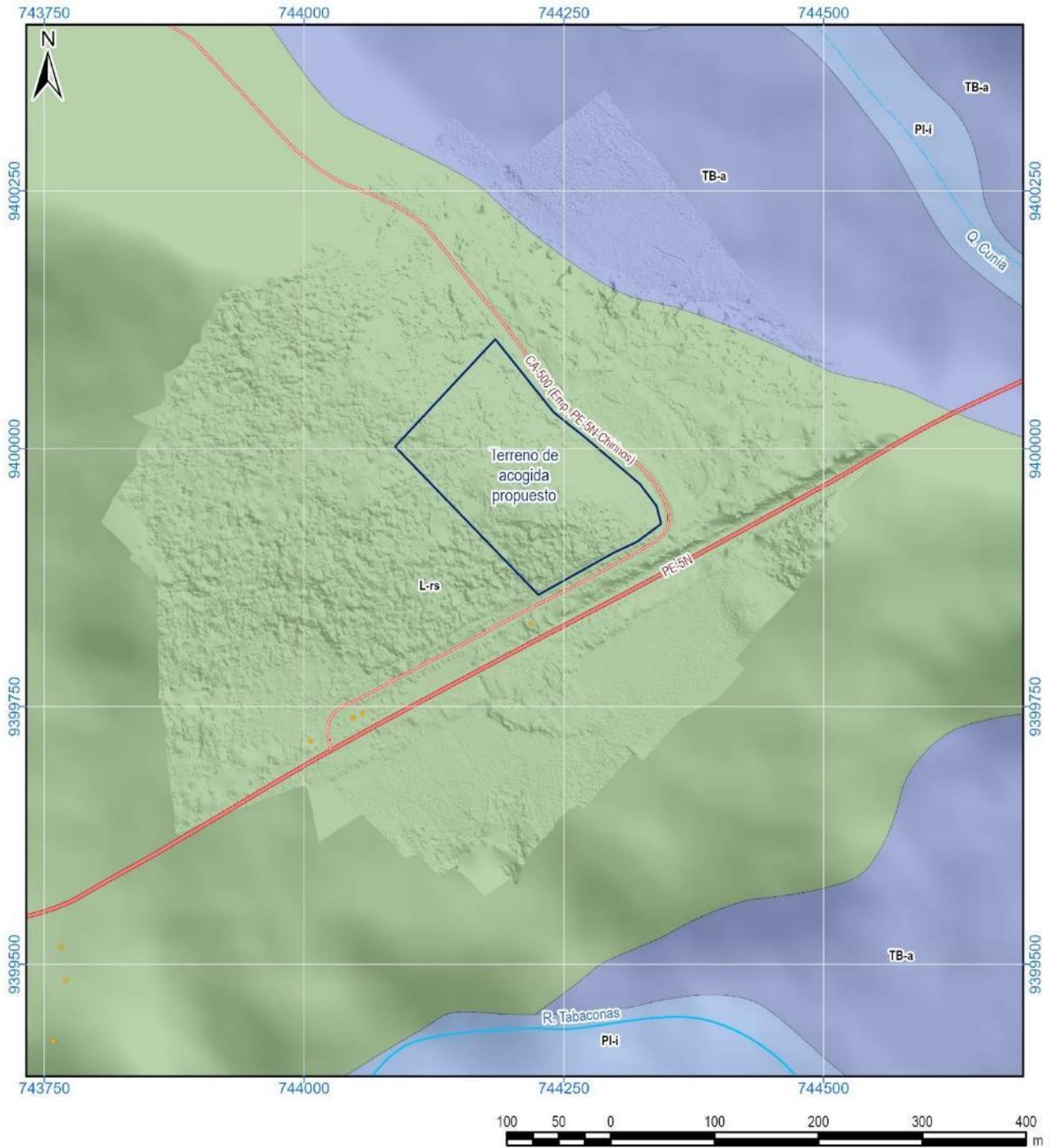
 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN IGNACIO - CHIRINOS	
MAPA GEOLÓGICO	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/6,000	Versión digital: 2022
MAPA 7	



SIMBOLOGÍA	
	Vivienda
	Vía vecinal
	Vía nacional
	Quebrada
	Río
	Terreno de acogida propuesto

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

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN IGNACIO - CHIRINOS	
MAPA DE PENDIENTES	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/6,000	Versión digital: 2022
MAPA 8	



SIMBOLOGÍA	
	Vivienda
	Vía vecinal
	Vía nacional
	Quebrada
	Río
	Terreno de acogida propuesto

LEYENDA	
	L-rs: Lomada en roca sedimentaria
	TB-a: Terraza baja aluvial
	PI-i: Llanura o planicie inundable

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN IGNACIO - CHIRINOS	
MAPA GEOMORFOLÓGICO	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/6,000	Versión digital: 2022
MAPA 9	



SIMBOLOGÍA	
	Vivienda
	Vía vecinal
	Vía nacional
	Quebrada
	Río
	Dirección de movimiento activo o suspendido
	Terreno de acogida propuesto

LEYENDA	
	Flujo de detritos suspendido
	Inundación fluvial suspendida

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN IGNACIO - CHIRINOS	
MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/6,000	Versión digital: 2022
MAPA 10	

ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS

Para los deslizamientos

En la zona evaluada para la mitigación de los peligros geológicos, se debe controlar la infiltración del agua hacia afuera del cuerpo de deslizamiento. 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 deslizamiento, evitando su infiltración, captando el agua de escorrentía, llevándola a un sitio lejos del deslizamiento. Éstas deben ser construidas en la parte superior al escarpe principal del deslizamiento (Figura 32). 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.

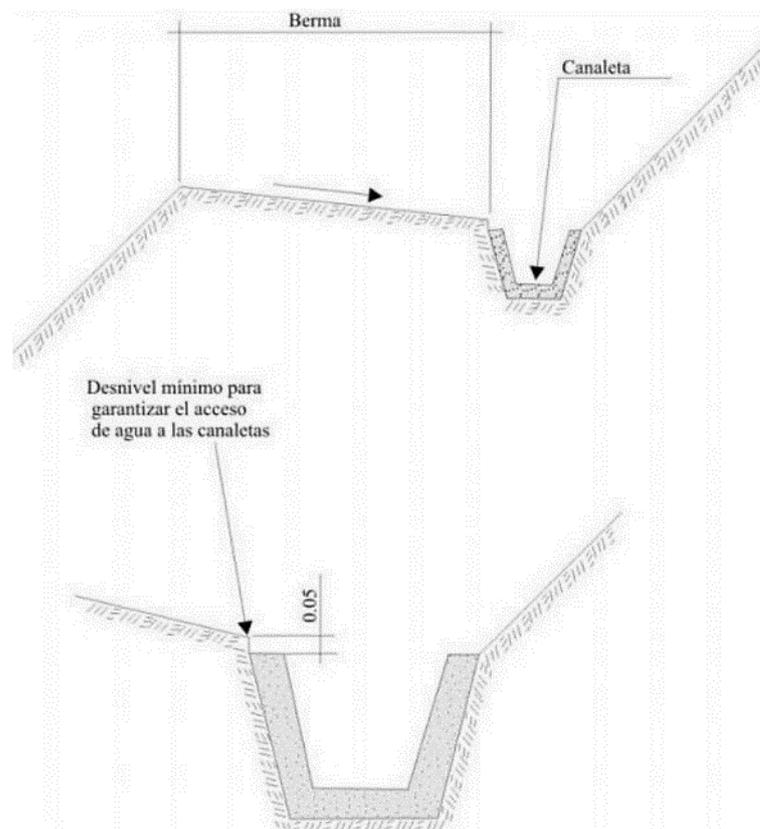


Figura 32. Detalle una canaleta de drenaje superficial (zanjas de coronación). Tomado de INGEMMET (2000).

b. Revegetación y bioingeniería

Los árboles y arbustos de raíz profunda aportan una resistencia cohesiva significativa a los mantos de suelo más superficiales y al mismo tiempo, facilitan el drenaje subterráneo, reduciendo en esta forma la probabilidad de deslizamientos poco profundos (Suárez Díaz, 2007).

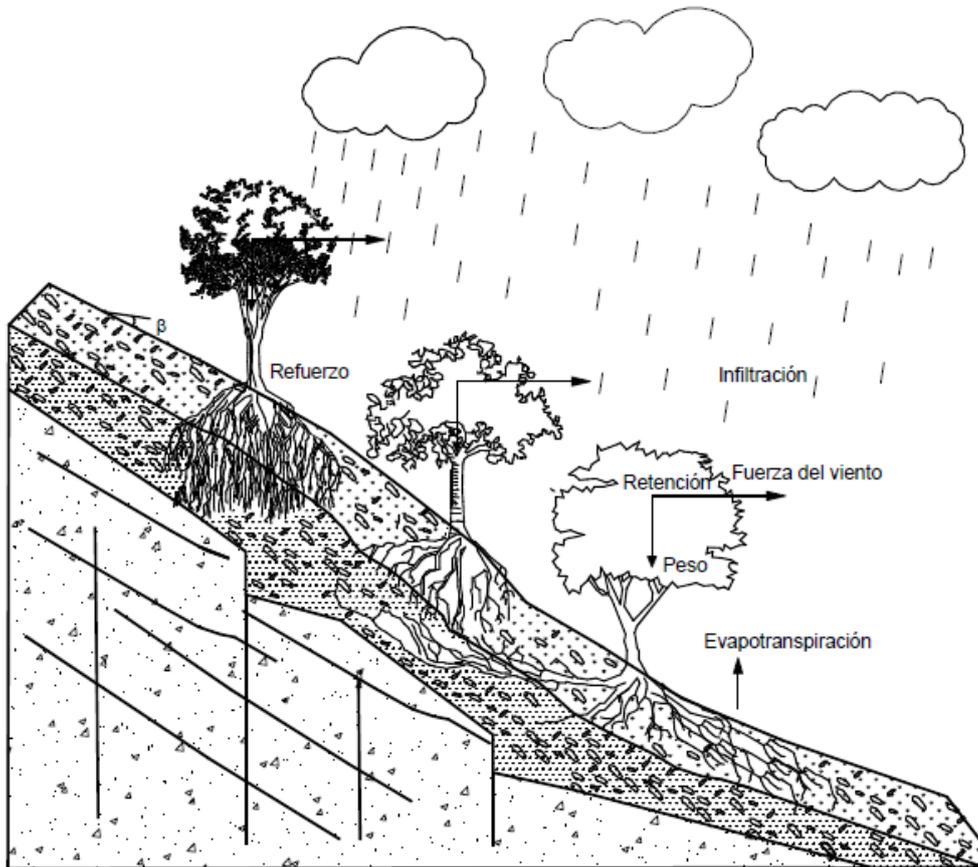


Figura 33. Estabilización de taludes utilizando vegetación. **Fuente:** Suarez, Díaz 2007.



Fotografía 9. Ejemplo de bioingeniería con arbusto (vetiver) en taludes de materiales sueltos.