

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7510**

# EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR DESLIZAMIENTOS EN EL CENTRO POBLADO YACUPE

Departamento: Amazonas

Provincia: Bagua

Distrito: La Peca



JUNIO  
2024

## EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR DESLIZAMIENTOS EN EL CENTRO POBLADO YACUPE

**Distrito La Peca  
Provincia Bagua  
Departamento Amazonas**



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

*Equipo de investigación:*

*Cristhian Chiroque Herrera*

*Luis León Ordáz*

*Elvis Alcántara Quispe*

### **Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). *Evaluación de peligro geológico por deslizamientos en el centro poblado Yacupe*. Distrito La Peca, provincia Bagua, departamento Amazonas. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7510, 44p.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>DEFINICIONES</b> .....	3
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>1.1. Objetivos del estudio</b> .....	5
<b>1.2. Antecedentes y trabajos anteriores</b> .....	6
<b>1.3. Aspectos generales</b> .....	8
1.3.1. Ubicación .....	8
1.3.2. Accesibilidad .....	8
<b>2. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	10
<b>2.1 Unidades litoestratigráficas</b> .....	10
2.1.1 Formación Pullucana/Quilquiñan (KsP-ft/re).....	10
2.1.2 Formación Cajamarca (Ki-c).....	10
2.1.3 Formación Celendín (Ks-ce).....	11
2.1.4 Formación Fundo El Triunfo/Rentema (KsP-ft/re).....	11
2.1.5 Depósitos cuaternarios.....	12
<b>3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b> .....	14
<b>2.2 Modelo Digital de Elevación (MDE)</b> .....	14
<b>2.3 Pendientes del terreno</b> .....	14
<b>3.3 Unidades geomorfológicas</b> .....	15
3.3.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional .....	16
<b>3.3.1.1 Unidad de montaña</b> .....	16
3.3.2 Geoformas de carácter depositacional y agradacional .....	17
<b>3.3.2.1 Unidad de piedemonte</b> .....	18
<b>4. PELIGROS GEOLÓGICOS</b> .....	19
<b>3.4 Peligros geológicos por movimientos en masa</b> .....	19
3.4.1 Deslizamientos de tipo rotacional inactivos relictos:.....	20
<b>Deslizamiento rotacional inactivo relicto 1 (DIR-1)</b> .....	20
<b>Deslizamiento rotacional inactivo relicto 2 (DIR-2)</b> .....	20
<b>Deslizamiento rotacional inactivo relicto 3 (DIR-3)</b> .....	20
3.4.2 Deslizamientos de tipo rotacional activos (DRA) .....	22
<b>Deslizamiento rotacional activo 1 (DRA-1)</b> .....	22
<b>Deslizamiento rotacional activo 2 (DRA-2)</b> .....	24
<b>Deslizamiento rotacional activo 3 (DRA-3)</b> .....	24

<b>Deslizamiento rotacional activo 4 (DRA-4)</b> .....	24
<b>Deslizamiento rotacional activo 5 (DRA-5)</b> .....	25
<b>Deslizamiento rotacional activo 6 (DRA-6)</b> .....	25
<b>Deslizamiento rotacional activo 7 (DRA-7)</b> .....	25
<b>3.5 Factores condicionantes</b> .....	27
3.5.1 Geomorfológico.....	27
3.5.2 Litológico.....	27
3.5.3 Antrópico.....	29
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	30
<b>6. RECOMENDACIONES</b> .....	31
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	32
<b>ANEXO 1: MAPAS</b> .....	33
<b>ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN</b> .....	37

## RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, tipo deslizamiento, en el centro poblado Yacupe; perteneciente a la jurisdicción del distrito La Peca, provincia Bagua y departamento Amazonas. 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.

Según reporte de INDECI, el 15 de mayo del 2022, siendo las 16:20 horas, en el centro poblado Yacupe ocurrieron varios deslizamientos que afectaron trochas carrozables, viviendas y cultivos. Los deslizamientos se desarrollan sobre laderas de montañas estructurales, con afloramientos muy fracturados e intensamente meteorizados. Los fragmentos son desprendidos y depositados en laderas y cauces de quebradas.

Al noreste del área evaluada afloran calizas intercaladas con lutitas de la Formación Chúlec, que se encuentran en contacto con secuencias de calizas margosas en estratos de 1 a 2 m de espesor de la Formación Pullucana/Quilquiñan. Las rocas se encuentran muy fracturadas e intensamente meteorizadas.

Los deslizamientos identificados se desarrollan sobre calizas, lutitas, limolitas y calizas margosas de la Formaciones Cajamarca (Ki-c), estas secuencias limitan al sur con lutitas y limolitas abigarradas, con intercalaciones de calizas delgadas de la Formación Celendín (Ks-ce). Ambas Formaciones, aportan gran cantidad de sedimentos de naturaleza arcillosa que forman coberturas muy susceptibles a generar movimientos en masa.

Hacia el suroeste de Yacupe, afloran areniscas intercaladas con lutitas, margas y limolitas, además de conglomerados y areniscas conglomerádicas de la Formación Fundo El Triunfo/Rentema (KsP-ft/re), en contacto con margas, lutitas y limolitas intercaladas con areniscas, además, niveles blanquecinos de areniscas y limolitas de la Formación Sambimera (P-s/i). Estos afloramientos se encuentran cubiertos por depósitos coluvio-deluviales (Q-cd), conformados por gravas y bloques subangulosos a subredondeados, con matriz areno arcillosa, en capas medianamente compactas y porosas. Además, se han identificad depósitos coluviales (Q-co) conformados por bloques dispersos y cantos sueltos, distribuidos sobre laderas con pendientes moderadas.

Las montañas estructurales en rocas sedimentarias (RME-rs) tienen laderas con pendiente moderadas a muy fuertes (15°- >45) que, limitan con colinas estructurales en roca sedimentaria (RCE-rs) con laderas de pendiente moderadas a muy escarpadas (5°- 45°) y lomadas en roca sedimentaria (RL-rs) con terrenos de pendientes moderadas (5°-15°).

Los deslizamientos antiguos modelaron vertientes o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd) sobre los cuales hoy se asientan las viviendas del centro poblado Yacupe. Las vertientes con depósito de deslizamientos (V-dd), fueron originadas por el desplazamiento de grandes masas de rocas y suelos que se desarrollan sobre piedemontes aluviales (V-al).

Se delimitaron 3 deslizamientos antiguos o también llamados relictos en estado inactivo (DIR), en promedio alcanzaron hasta 1200 m de longitud y 800 m de ancho, el

desplazamiento del movimiento tiene una dirección de norte a sur y de noroeste-sureste. Mientras que, se identificaron 7 deslizamientos de tipo rotacional activos que afectan principalmente viviendas, terrenos de cultivos, vías de comunicación y canales de riego.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presentan las laderas donde se ubica el centro poblado Yacupe, se considera de **Peligro Alto** ante deslizamientos que podrían activarse ante lluvias intensas. Por tanto, deben reubicarse las viviendas ubicadas en la zona directa de afectación por deslizamientos activos o antiguos.

Se recomienda, reforestan la ladera afectada por los deslizamientos, prohibir actividades agrícolas y la reubicación de viviendas de la zona afectada.

## DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres.

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

**Buzamiento (Dip)** Angulo que forma la recta de máxima pendiente de un plano con respecto a la horizontal y puede variar entre 0° y 90°.

**Corona (crown):** Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

**Deslizamiento (slide)** Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de zonas relativamente delgadas con gran deformación cortante (Cruden y Varnes, 1996).

**Deslizamiento rotacional (rotational slide) sin: golpe de cuchara (Co).** Deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. La cabeza del movimiento puede moverse hacia abajo dejando un escarpe casi vertical, mientras que la superficie superior inclinarse hacia atrás en dirección al escarpe.

**Escarpe (scarp) sin.:** escarpa. Superficie vertical o semivertical 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 morfológico de ellos.

**Escarpe principal (main scarp)** En un deslizamiento se refiere a la parte superior vertical o semivertical del plano de falla que queda expuesta en superficie por el movimiento ladera abajo del cuerpo principal.

**Meteorización (weathering).** 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 (mass movement, landslide).** sin.: Fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

**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.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, institución 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 las entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas con presencia de elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud del Instituto Nacional de Defensa Civil, según OFICIO N° D000116-2022-INDECI-DDI-AMAZONAS, es en el marco de nuestras competencias que se realizó la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa de tipo “deslizamientos recientes y antiguos”, los cuales afectaron viviendas, vías de acceso, canales de riesgo, terrenos de cultivo y la pérdida de una vida humana.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los ingenieros Cristhian Chiroque, Luis León y Elvis Alcántara para realizar la evaluación de peligros geológicos, el 28 de marzo del 2023, los trabajos de campo estuvieron acompañados por autoridades locales del centro poblado Yacupe.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: etapa de pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET; etapa de campo a través de la observación, toma de datos (puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, 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, cartografiado e interpretación, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe

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

### 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 desarrollan en el centro poblado Yacupe.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa. No se estableció claramente en el informe
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante los peligros geológicos evaluados en la zona. Estas recomendaciones no están completas en el informe

## 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del INGEMMET relacionados a temas de geología y geodinámica externa de los cuales destacan los siguientes:

- A. Boletín N° 39, serie C: Riesgos Geológicos en la Región Amazonas, realizado por (Medina, et al. 2009); muestra el inventario de peligros geológicos en la región Cajamarca; además de la elaboración del mapa de susceptibilidad a movimientos en masa a escala 1:250 000, mediante la superposición de capas o mapas de factores condicionantes como la litología y las pendientes, mediante un geoprocésamiento en GIS (Tabla 1 y figura 1). En el mapa se muestra que, el centro poblado Yacupe tiene una susceptibilidad muy alta a alta ante la ocurrencia de movimientos en masa. En la zona evaluada afloran secuencias de lutitas y calizas muy fracturadas con intercalación de lutitas muy fracturadas e intensamente meteorizadas.

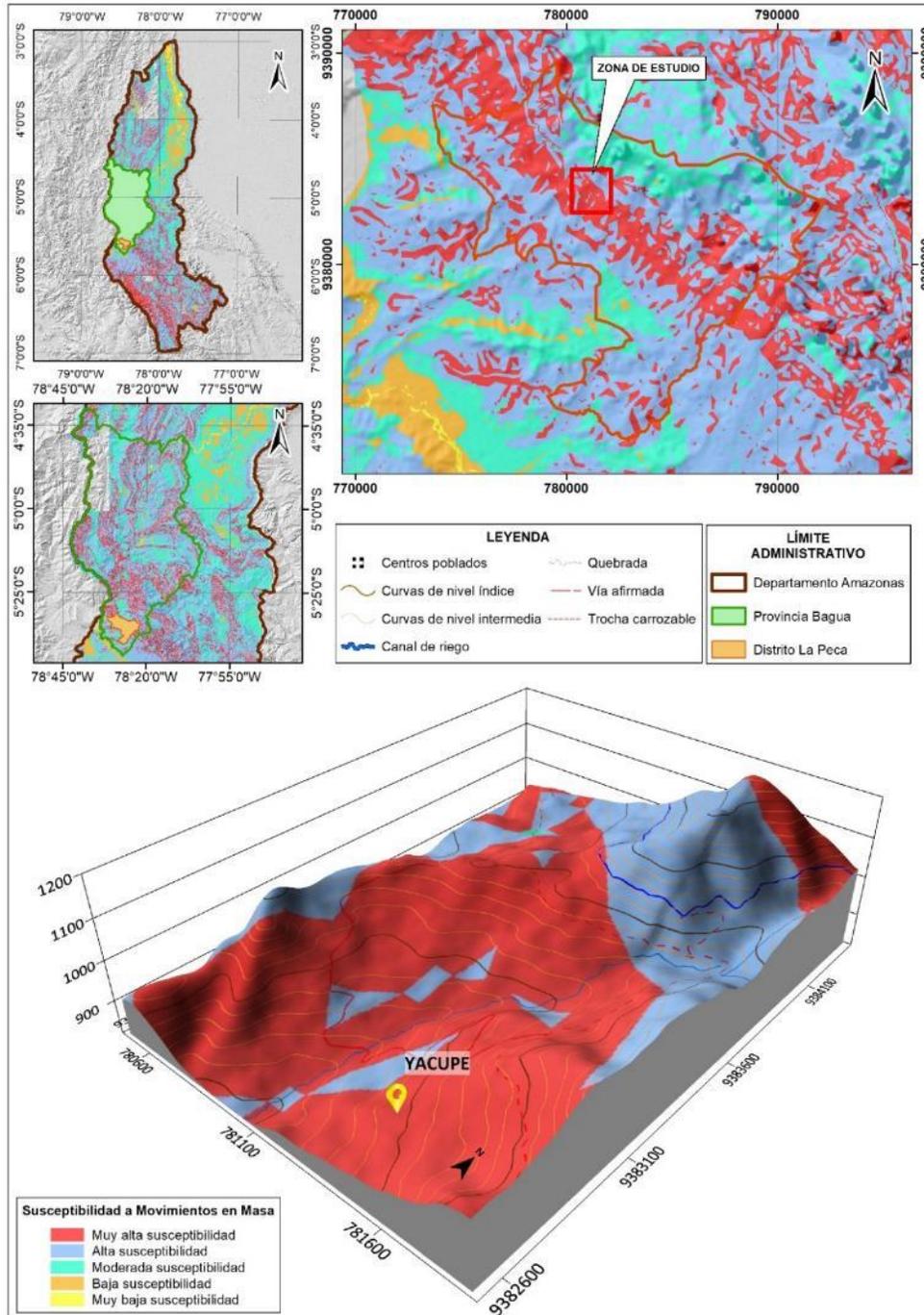
**Tabla 1.** Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa.

GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA		
GRADO	CARACTERÍSTICAS	RECOMENDACIONES
<b>MUY ALTA SUSCEPTIBILIDAD</b>	Principalmente áreas donde ocurrieron deslizamientos y erosión de laderas (cárcavas) en el pasado. Actualmente presentan reactivaciones de antiguos eventos por la modificación de sus taludes. Estos eventos son más recurrentes donde el sustrato rocoso es de mala calidad, conformado por rocas metamórficas (esquisto, pizarra y filita), sedimentarias (limolita, limoarcillita, arenisca, conglomerado y yeso) y depósitos de vertientes (coluvio-deluviales), las laderas tienen pendientes entre 25° y 45°, morfología con laderas estructurales de alta pendiente, colinas estructurales altas, piedemontes (detritos de vertiente, depósitos de deslizamiento antiguo, abanicos deluvio-coluviales). Estos terrenos presentan cobertura vegetal escasa o deforestada y áreas intervenidas por la expansión urbana y rural. Su distribución mayor está sobre el macizo del Complejo del Marañón extendido con dirección NO-SE, desde el distrito de Balsas hasta Campo Redondo.	En lo posible evitar el desarrollo de todo tipo de infraestructura. En conclusión, son zonas en donde todas las condiciones del terreno son muy favorables para generar movimientos en masa.
<b>ALTA SUSCEPTIBILIDAD</b>	Corresponden a las zonas donde el sustrato rocoso está compuesto por secuencias de limolita, limoarcillita, arenisca semicompactas, lutita, tufo volcánico; morfología de montaña de moderada y fuerte pendiente. Los terrenos presentan pendientes que varían entre 15° y 25°, en algunos casos hasta 45°. Son zonas donde la mayoría de condiciones del terreno son favorables para generar movimientos en masa, cuando se modifican sus taludes (ejemplo: carretera Naranjitos — Pedro Ruiz y Pedro Ruiz - Chachapoyas).	Restringir el desarrollo de infraestructura urbana, o de instalaciones destinadas a una alta concentración de personas. En el caso de proyectos de infraestructura vial, líneas de energía, minera, etc., se deberán realizar estudios geotécnicos de detalle.

- B. Boletín N° 56, Serie A, Carta Geológica Nacional: “Cuadrángulos de Bagua Grande, Jumbilla, Lonya Grande, Chachapoyas, Rioja, Leimebamba y Bolívar. Hojas: 12-g, 12-h, 13-g, 13-h, 13-i, 14-h y 15-h (1995).

El área de evaluación se ubica en el centro del cuadrángulo de Bagua Grande, hoja 12-g a escala 1: 100 000 que abarca gran parte del distrito de La Peca. En la zona de evaluación afloran calizas, lutitas, limolitas que limitan al sur con lutitas y limolitas

grises a verde, con intercalaciones de caliza delgadas de color gris de las Formaciones Cajamarca y Celendín respectivamente. Hacia el suroeste de la zona evaluada afloran areniscas intercaladas con lutitas, margas y limolitas, además de microconglomerados. Conglomerados y areniscas conglomerádicas en contacto con margas, lutitas y limolitas intercaladas con areniscas rojas, además, niveles blanquecinos de areniscas y limolitas de la Formaciones Fundo El Triunfo/Rentema y Sambimera Inferior.



**Figura 1.** Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa a escala 1:250 000 de la zona de evaluación (Medina, et al. 2009).

### 1.3. Aspectos generales

#### 1.3.1. Ubicación

El centro poblado Yacupe, pertenece al distrito La Peca, provincia Bagua y departamento Amazonas (figura 2); ubicado en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 17S) (tabla 2):

**Tabla 2.** Coordenadas del área de evaluación

Vértice	UTM - WGS84 - Zona 17S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	780556	9384014	5° 34' 2.611" S	78° 28' 3.550" W
2	781554	9384014	5° 34' 2.471" S	78° 27' 31.159" W
3	781554	9382816	5° 34' 41.466" S	78° 27' 30.991" W
4	780556	9382816	5° 34' 41.606" S	78° 28' 3.383" W
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</b>				
Coordenada principal	781070	9383384	5° 34' 23.043" S	78° 27' 46.783" W

#### 1.3.2. Accesibilidad

Se accede por vía terrestres desde la ciudad de Cajamarca mediante la siguiente ruta (tabla 3):

**Tabla 3.** Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cajamarca – Chota	Asfaltada	145	3 h 40 min
Chota – Cutervo	Asfaltada	66	2 h
Cutervo – Bagua	Asfaltada	137	3 h 15 min
Bagua – La Peca	Asfaltada	17.5	40 min

#### 1.3.3. Población

Según el Censo Nacional de Población y Vivienda realizado en el año 2017, el centro poblado Yacupe tiene un total de 55 personas en un total de 20 viviendas (tabla 4).

DEPARTAMENTO DE AMAZONAS								
CÓDIGO	CENTROS POBLADOS	ALTITUD (m s.n.m.)	POBLACIÓN CENSADA			VIVIENDAS PARTICULARES		
			Total	Hombre	Mujer	Total	Ocupadas 1/	Desocupadas
01	DEPARTAMENTO AMAZONAS		379 384	191 275	188 109	138 806	126 347	12 459
0102	PROVINCIA BAGUA		74 100	37 198	36 902	24 789	22 757	2 032
010206	DISTRITO LA PECA		6 260	3 223	3 037	2 151	2 048	103
0014	YACUPE	856	55	32	23	20	19	1

1/ Comprende viviendas con personas presentes, viviendas con personas ausentes y viviendas de uso ocasional.

Fuente: INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017.

**Tabla 4.** Población en el centro poblado Yacupe (Censos INEI, 2017).

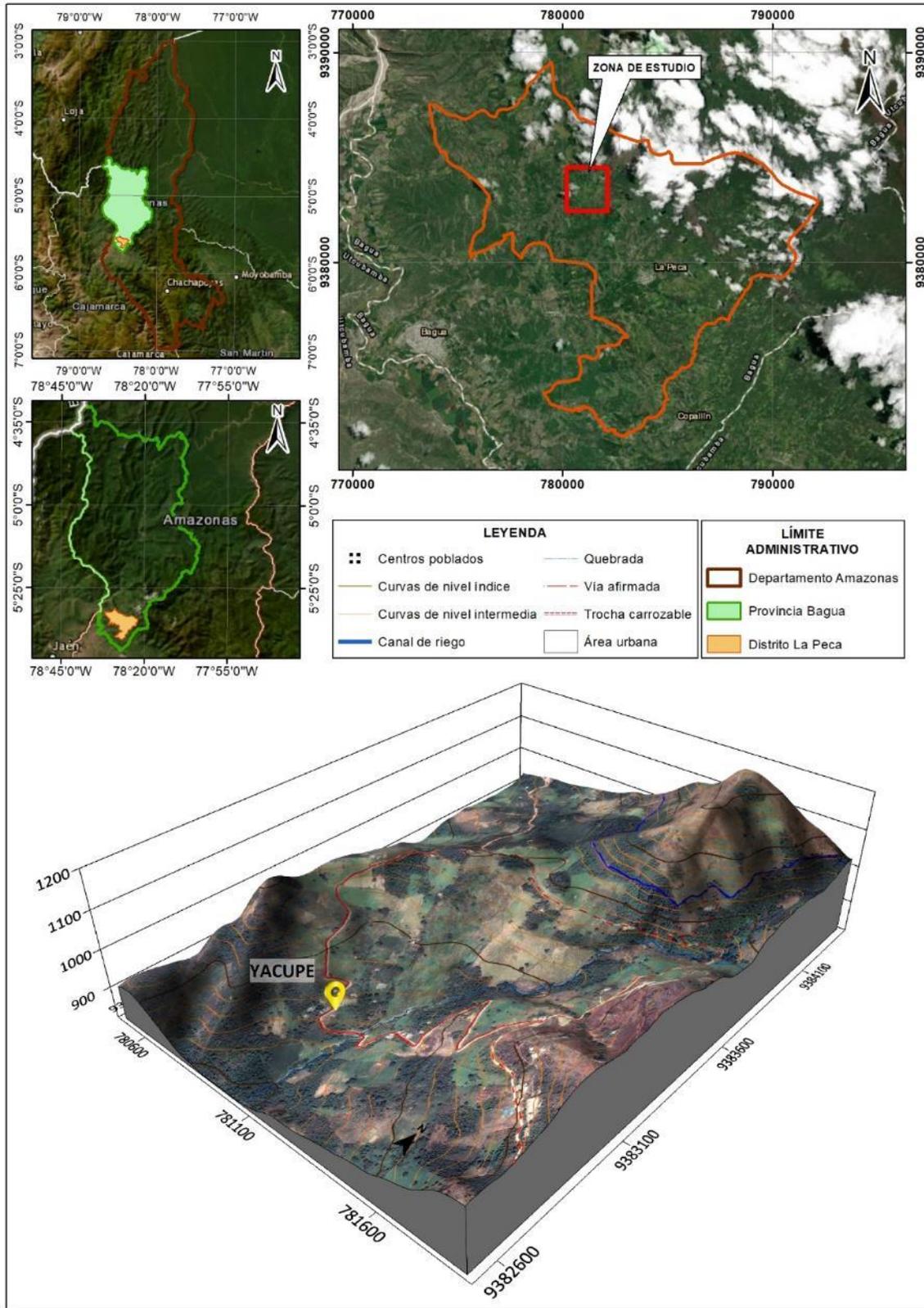


Figura 2. Ubicación del centro poblado Yacupe.

## 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis ingeniero - geológico realizado del centro poblado Yacupe, se desarrolló en base a la información recolectada en campo y al análisis del cuadrángulo geológico de Bagua hoja 12-g a escala 1:100 000 (Sánchez, A. (1995). Esta información fue actualizada en el año 2009, donde se elaboró el Mapa geológico del Cuadrángulo de Bagua Grande – Hoja 12-g-IV a escala 1:50 000. Se describen secuencias conformadas por calizas color beige, calizas grises parduscas, además de lutitas grises, limolitas gris verdosas y calizas margosas, estas secuencias limitan al sur con lutitas y limolitas grises a verde, a veces se encuentran abigarradas, con intercalaciones de caliza delgadas de color gris de las Formaciones Cajamarca y Celendín respectivamente que se muestran el Anexo como Mapa 1.

### 2.1 Unidades litoestratigráficas

A continuación, se describen las características litológicas locales de los afloramientos en la zona de estudio (figura 3):

#### 2.1.1 Formación Pulluicana/Quilquiñan (KsP-ft/re)

Está conformada por secuencias indiferenciadas de calizas grises, calizas margosas en estratos de 1 a 2 m., se extienden a 1 km al noreste del área urbana de Yacupe. Estas secuencias se encuentran muy fracturadas a fragmentadas e intensamente meteorizadas (fotografía 1).



**Fotografía 1.** Calizas grises en estratos menores a 2 m de espesor al noreste de Yacupe.

#### 2.1.2 Formación Cajamarca (Ki-c)

Son secuencia indiferenciada conformada por caliza beige, caliza gris parduscas, además de lutitas grises, limolitas gris verdosas y calizas margosas. Estas secuencias se encuentran muy fracturados a fragmentada e intensamente meteorizados, en el cuerpo del

deslizamiento se tienen filtraciones de agua evidenciadas en surgencias que se activan en temporada de lluvias, en superficie se observa la roca muy descompuesta y desintegrada (fotografía 2).

### 2.1.3 Formación Celendín (Ks-ce)

Estos afloramientos están conformados por lutitas y limolitas gris a verde, a veces se encuentran abigarradas, con intercalaciones de caliza delgadas grises. Estos afloramientos se observan en forma de franjas con dirección sureste a noroeste limitando al sur el área urbana del centro poblado Yacupe. La Formación Celendín se encuentra en contacto con la Formación Cajamarca por medio de una falla inversa inferida que, afecta la integridad físico mecánica de los afloramientos observándose muy fracturadas y meteorizadas (fotografía 2).



**Fotografía 2.** Calizas, lutitas y limolitas de las Formaciones Cajamarca y Celendín.

### 2.1.4 Formación Fundo El Triunfo/Rentema (KsP-ft/re)

Estos afloramientos están conformados por areniscas intercaladas con lutitas, margas y limolitas rojas, además de microconglomerados; en afloramientos fracturados y medianamente meteorizados. Además de, conglomerados y areniscas conglomerádicas. Estos afloramientos se observan en forma de franjas con dirección suroeste a noreste limitando el área urbana del centro poblado Yacupe (fotografía 3).



**Fotografía 3.** Afloramientos ubicados al noroeste de la Formación Fundo El Triunfo/Rentema.

#### 2.1.5 Depósitos cuaternarios Depósito coluvio deluvial (Q-cd)

Son acumulaciones sucesivas y alternadas de materiales de origen coluvial y deluvial, los cuales no es posible diferenciarlos. Los depósitos coluviales se encuentran formados por acumulaciones ubicadas al pie de taludes escarpados, se tienen bloques de formas angulosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea. Conforman taludes de reposo poco estables; dentro de este tipo de depósito se encuentran los materiales generados por movimientos en masa de tipo deslizamientos, derrumbes, etc. (fotografía 4).



**Fotografía 4.** Vista de los depósitos coluvio deluviales donde se asienta el área urbana de Yacupe.

En la zona de evaluación este tipo de depósito se distribuye en la quebrada Yacupe que desciende de este a oeste.

Depósito coluvial (Q-co)

Son depósitos que se encuentran acumulados al pie de laderas, como material de escombros no consolidados, heterométricos constituidos por bolos (10%), cantos (20%), gravas (10%), gránulos (35%) de formas subangulosas a angulosas; además de arenas (25%). Estos depósitos se distribuyen en el área del deslizamiento que afectó el centro poblado Ambasal (fotografía 5).



Fotografía 5. Vista de los depósitos coluviales originadas por el deslizamiento en el CP. Yacupe.

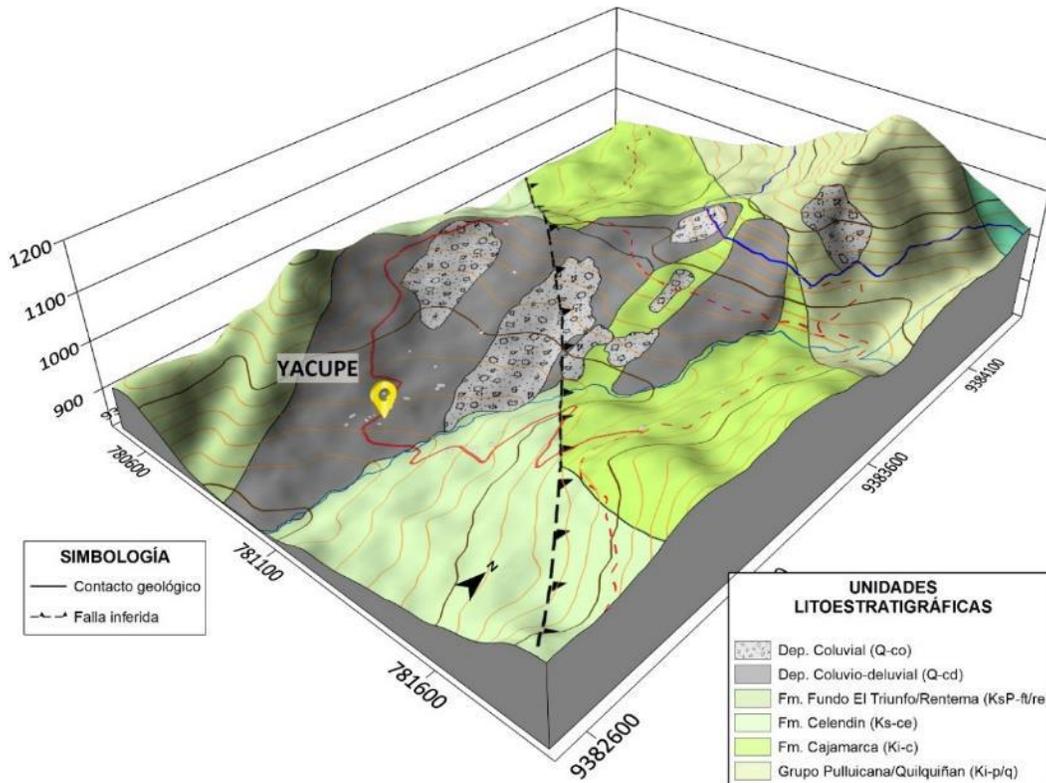


Figura 3. Afloramientos de rocas identificadas en la zona de evaluación. Todo mapa debe tener simbología

### 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Se realizó el levantamiento fotogramétrico con drones, de donde se obtuvo el modelo digital de elevaciones, pendientes y ortofoto con una resolución (GSD) de 5 cm por pixel, esta información se complementó con un MDT extraído del servicio ALOS PALSAR de 12.5 m/pix. Además, se realizó la revisión de imágenes satelitales y el análisis de la morfometría del relieve en los trabajos de campo.

#### 2.2 Modelo Digital de Elevación (MDE)

El área de evaluación alcanza hasta 1160 m s.n.m, al norte del centro poblado Yacupe, mientras que, las cotas más bajas se ubican al sur del área urbana de Yacupe aguas abajo del río del mismo nombre con 810 m de altitud. Los peligros geológicos como los deslizamientos antiguos o recientes se distribuyen sobre una ladera con elevaciones entre 1060 m s.n.m. y 860 m s.n.m, en la zona de arranque y pie de las zonas de piedemonte coluvio-deluvial (figura 4). En las laderas se desarrolla actividad agrícola por ende es irrigada por canales de riego sin revestir, se identificaron sequias, en la parte superior o corona de los derrumbes y deslizamientos.

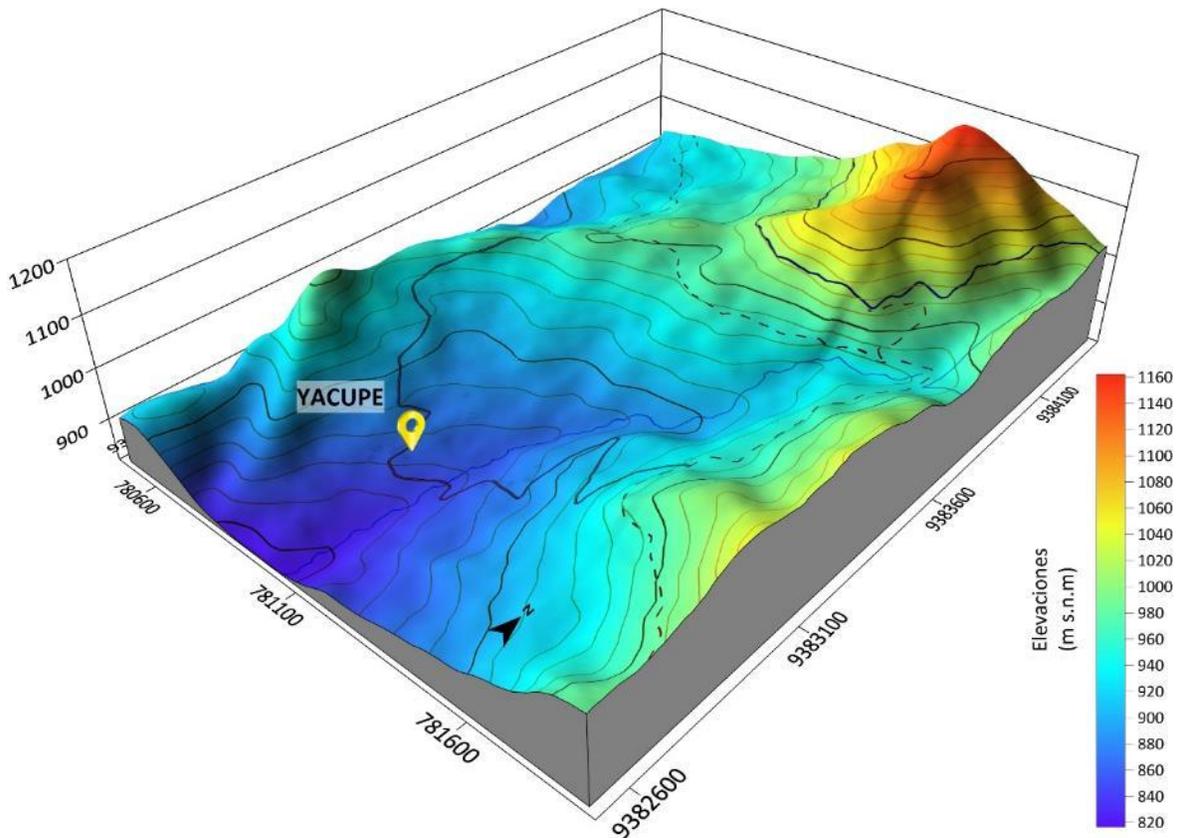


Figura 4. Mapa de elevaciones en el área de evaluación.

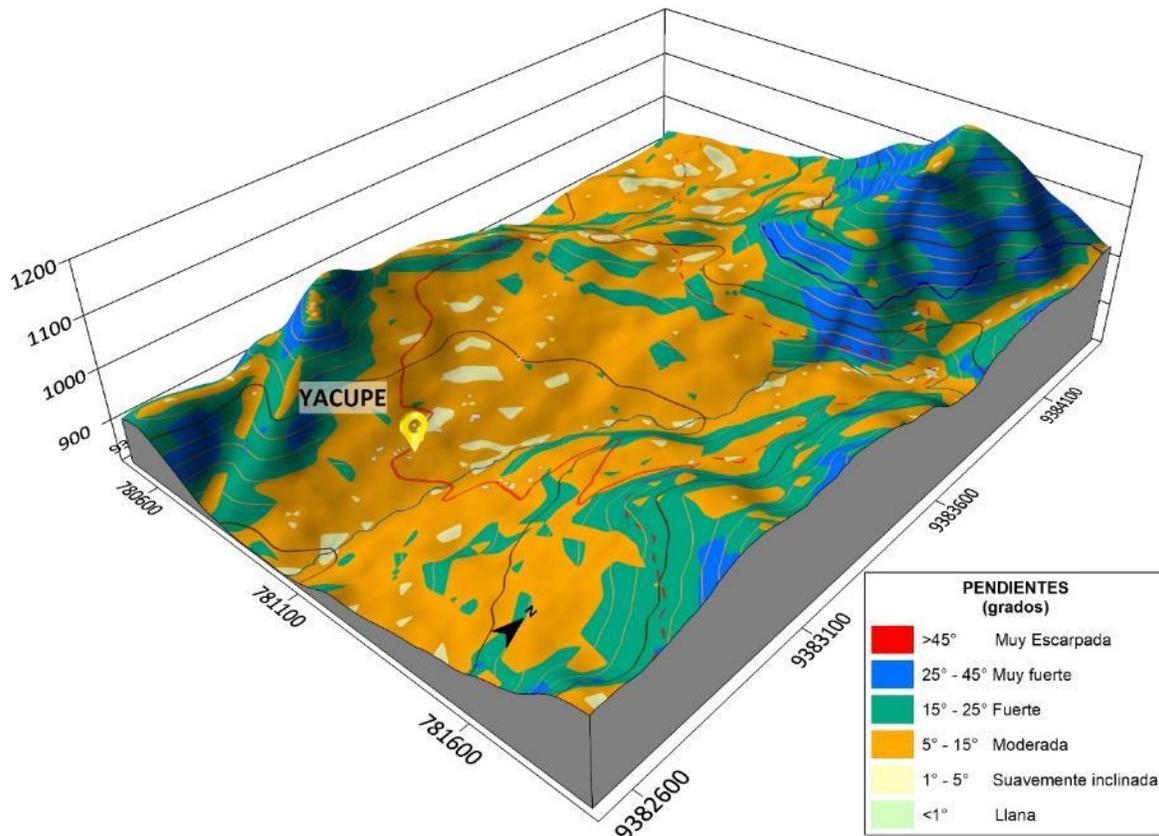
#### 2.3 Pendientes del terreno

Los relieves con pendientes escarpadas pueden condicionar la ocurrencia de movimientos en masa y controlar el modelamiento de las geoformas que conforman el relieve actual. En ese sentido, se elaboró el mapa de pendientes para identificar zonas de aporte y recepción

de materiales provenientes de deslizamientos y que condicionan los peligros geológicos recientes.

El área de evaluación abarcó un total de 137 ha, mediante el modelo digital de elevaciones, se elaboró el mapa de pendientes, que fue rasterizado y luego reclasificado para el cálculo de áreas, expresado en porcentaje por cada rango de pendiente (figura 5).

Se determinó que, el área de evaluación presenta laderas con pendientes llanas a suavemente inclinadas ( $0^\circ - 5^\circ$ ) solo abarcan el 6% (8 ha), en estos rangos se desarrollan zonas agrícolas. Los relieves con pendientes moderadas a fuertes ( $5^\circ - 25^\circ$ ) alcanzan las 91 ha (66%), donde se ubican los deslizamientos formando piedemontes coluvio-deluviales. Las pendientes muy fuertes a muy escarpadas ( $25^\circ - 90^\circ$ ) abarcan la mayor parte del área de estudio 37 ha (27 %) relieves distribuidos en montañas, lomadas y colinas donde se ubican las zonas de arranque de los movimientos en masa identificados.



**Figura 5.** Pendientes en el centro poblado Yacupe.

### 3.3 Unidades geomorfológicas

La cartografía geomorfológica y la delimitación de unidades geomorfológicas se realizó utilizando el criterio principal de homogeneidad relativa y la caracterización de aspectos de origen del relieve (erosión o acumulación), individualizando cuatro tipos generales y específicos del relieve en función de la altura relativa, diferenciándose planicies, colinas, lomeríos, piedemontes y montañas (Zavala, B. et al 2011).

A continuación, se mencionan las principales unidades y subunidades geomorfológicas identificadas y que conforman el relieve en la zona de estudio. Tomando como base el mapa geomorfológico de Cajamarca, a escala 1/ 250 000 (Zavala, B. et al 2011), se realizó el ajuste y definición de las unidades mediante la información obtenida en campo (Anexo 1: Mapa 2).

### 3.3.1 Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Las 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 estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005):

#### 3.3.1.1 Unidad de montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 m de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semiredondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas y que presenta un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968, citado por Villota. 2005, p. 43).

**Subunidad de montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs):** Esta unidad geomorfológica se distribuye ampliamente al norte y noreste entre caserío El Palto y el centro poblado Yacupe, están conformados por calizas con intercalaciones de lutitas negras que modelan relieves con pendientes fuertes a muy escarpadas. Las montañas se distribuyen en gran parte del área de evaluación, conforman relieves que alcanzan hasta los 2120 m s.n.m hacia el este (figura 6).

**Subunidad de colina estructural en roca sedimentaria (RCE-rs):** Se distribuye al sur y suroeste del centro poblado Yacupe, están conformados por areniscas intercaladas con lutitas, margas y limolitas que modelan relieves con pendientes moderadas afectadas por una falla inversa que origina zonas de debilidad donde los contactos se muestran muy fracturados y meteorizados. Las colinas se distribuyen en proximidad al área urbana de Yacupe alcanzando hasta entre 825 m y 915 m de altitud (figura 6).

**Subunidad de lomada en roca sedimentaria (RL-rs):** Se distribuye ampliamente al este y oeste del centro poblado Yacupe, están conformados por lutitas y limolitas gris a verde con intercalaciones de caliza grises que modelan relieves con pendientes moderadas a fuertes. Las lomadas se distribuyen en gran parte del área de evaluación, donde se asienta el área urbana de Yacupe (figura 7).



**Figura 6.** Montaña estructural en roca sedimentaria hacia el fondo, al frente se delimita una colina estructural en roca sedimentaria.



**Figura 7.** Montaña en roca volcánico-sedimentaria hacia el fondo de la imagen y montañas en roca sedimentaria al frente de la imagen.

### 3.3.2 Geformas de carácter depositacional y agradacional

Las geformas de carácter depositacional y agradacional son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como el agua de escorrentía, los glaciares, las corrientes marinas, las mareas y los vientos. Estos tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

### 3.3.2.1 Unidad de piedemonte

Superficie inclinada al pie de los sistemas montañosos, formada por caídas de rocas o por el acarreo de material aluvial arrastrado por corrientes de agua estacional y de carácter excepcional.

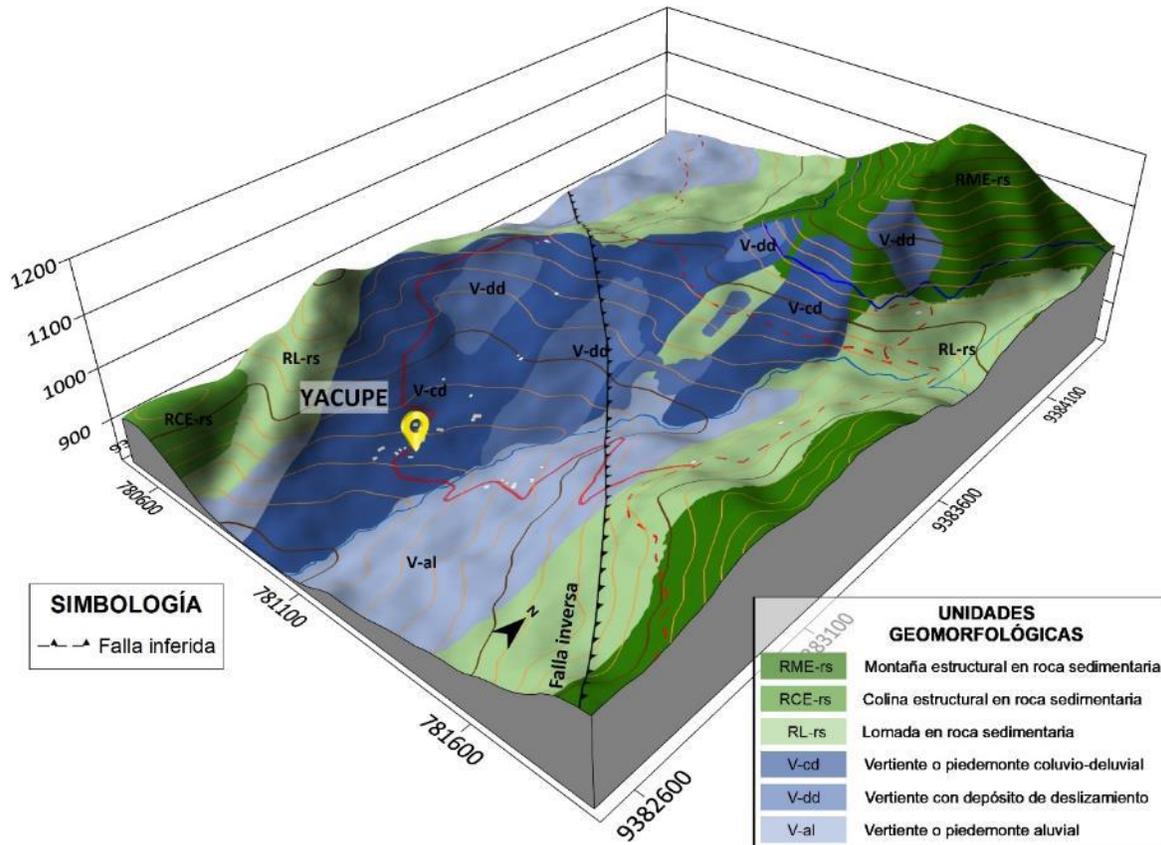
**Subunidad de vertiente o piedemonte coluvio deluvial (V-cd):** Son unidades conformadas por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial. Se encuentran interestratificadas y no es posible separarlas como unidades individuales: Esta unidad se encuentra depositada al pie de las laderas de montañas o acantilados (Vílchez et al., 2019). Se formó por la acción de movimientos en masa antiguos (gravitacionales y fluvio-gravitacionales), presentan pendientes moderadas a fuertes ( $5^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ). Geodinámicamente, este tipo de depósitos se pueden asociar a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo complejos, deslizamientos y flujo de detritos (figura 8).

**Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd):** Esta geoforma es el resultado de la acumulación de materiales movilizados debido al deslizamiento, modifican localmente la forma de las laderas con pendientes fuertes a muy escarpadas. El deslizamiento ocurrido el 23 de marzo del 2017, transportó gran cantidad de materiales conformados por bolos, cantos y gravas en una matriz arenosa que alcanzó 270 m de largo (figura 9).

**Subunidad vertiente o piedemonte aluvial (V-al):** Se encuentra posicionada al pie de estribaciones andinas o sistemas montañosos y se encuentra ligeramente inclinada y extendida. Está conformada por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales o excepcionales, que pueden formar abanicos (Vílchez et al., 2019). En el área de evaluación, esta subunidad se distribuye hacia el área urbana del centro poblado Yacupe desde los 915 hasta 840 m de altitud (figura 9).



**Figura 8.** Piedemonte coluvio-deluvial con pendientes moderadas a muy fuertes.



**Figura 9.** Geformas delimitadas en el centro poblado Yacupe. Todo mapa debe tener simbología

#### 4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los principales peligros geológicos identificados en el centro poblado Yacupe, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos, diferenciados por su actividad (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). Estos procesos son resultado del modelamiento del terreno, condicionado por afloramientos de rocas incompetentes, sedimentos poco consolidados y susceptibles a la generación de movimientos en masa (Anexo 1: Mapa 3).

##### 3.4 Peligros geológicos por movimientos en masa

En las inmediaciones del centro poblado Yacupe se identificaron 03 deslizamientos antiguos (DAN) y 07 deslizamientos de tipo rotacional activos (DRA); en los cuales se identifica y delimita los escarpes antiguos y recientes que afectaron principalmente terrenos de cultivos y parte del área urbana de la zona evaluada.

Para caracterizar los eventos geodinámicos ocurridos en el centro poblado Yacupe, se realizaron trabajos de campo en donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través de la cartografía geológica y geodinámica basada en la observación y descripción

morfométrica in situ, la toma de datos GPS, fotografías a nivel del terreno, fotografías aéreas y fotogrametría con dron.

#### 3.4.1 Deslizamientos de tipo rotacional inactivos relictos:

##### **Deslizamiento rotacional inactivo relicto 1 (DIR-1)**

Se ubica al norte del área urbana de Yacupe, abarca un área 404 580 m<sup>2</sup> y un volumen aproximado de 606,870 m<sup>3</sup>, se ha desarrollado sobre lutitas y limolitas con intercalaciones de caliza delgadas, estas capas se encuentran muy meteorizadas y fracturadas con rellenos coluvio deluviales.

El deslizamiento (DIR-1) tiene un largo de 1168 m y ancho de 795 m, el escarpe principal se estima un largo de 1070 m, la zona de arranque se ubica a 975 m de altitud desde donde se emplazan depósitos coluvio deluviales conformados por bloques subangulosos que muestran un corto recorrido hasta la zona de depositación (figura 11).

##### **Deslizamiento rotacional inactivo relicto 2 (DIR-2)**

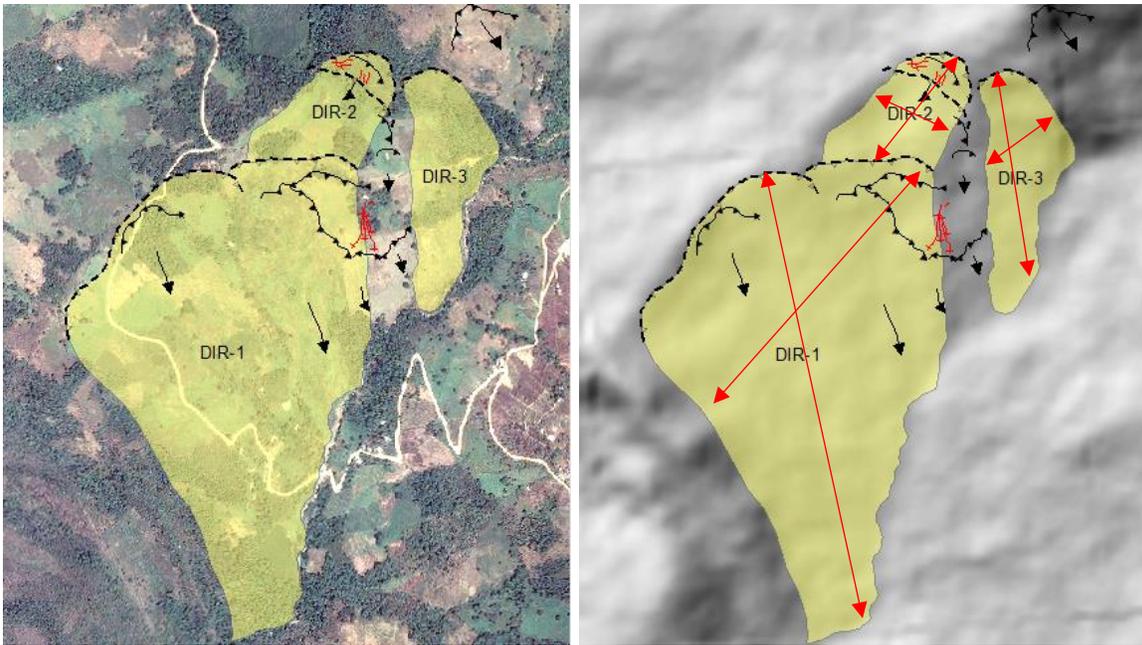
Se ubica en la parte alta del área de evaluación, abarca un área 51 000 m<sup>2</sup> y un volumen aproximado de 91 800 m<sup>3</sup>, se ha desarrollado sobre caliza beige, caliza gris parduscas, además de lutitas grises, limolitas gris verdosas y calizas margosas, estas capas se encuentran muy meteorizadas y fracturadas con rellenos coluvio deluviales.

El deslizamiento (DIR-2) tiene un largo de 342 m y ancho 221 m, el escarpe principal se estima con una longitud de 256 m, la zona de arranque se ubica a 1050 m de altitud desde donde se emplazan depósitos coluvio deluviales conformados por bloques subangulosos que muestran un corto recorrido hasta la zona de depositación (figura 12).

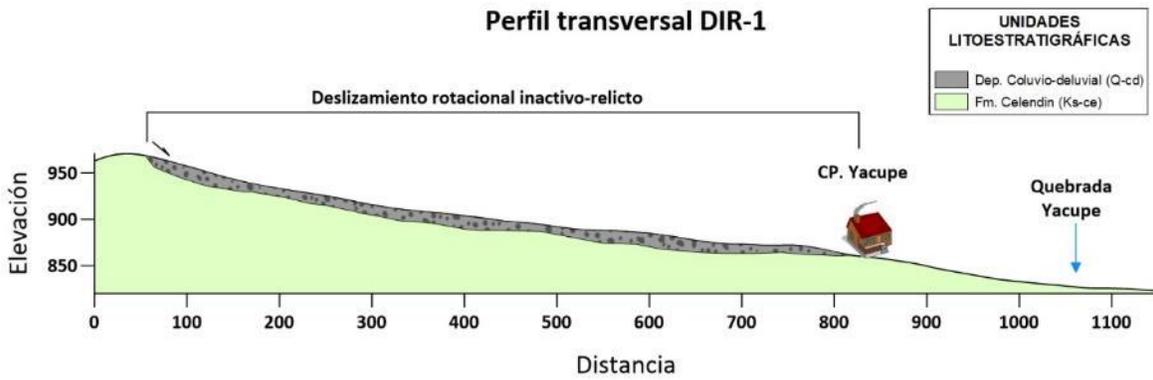
##### **Deslizamiento rotacional inactivo relicto 3 (DIR-3)**

Se ubica al noreste del área de evaluación, abarca un área 88 660 m<sup>2</sup> y un volumen aproximado de 106,392 m<sup>3</sup>, se ha desarrollado sobre caliza beige, caliza gris parduscas, además de lutitas grises, limolitas gris verdosas y calizas margosas, estas capas se encuentran muy meteorizadas y fracturadas con rellenos coluvio deluviales.

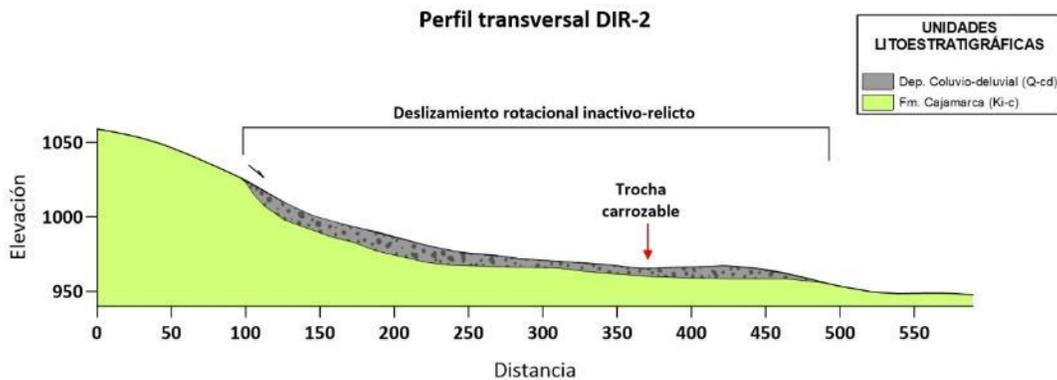
El deslizamiento (DIR-3) tiene un largo de 537 m y ancho de 234 m, el escarpe principal se estima con una longitud de 180 m, la zona de arranque se ubica a 1050 m de altitud desde donde se emplazan depósitos coluvio deluviales conformados por bloques subangulosos que muestran un corto recorrido hasta la zona de depositación (figura 13).



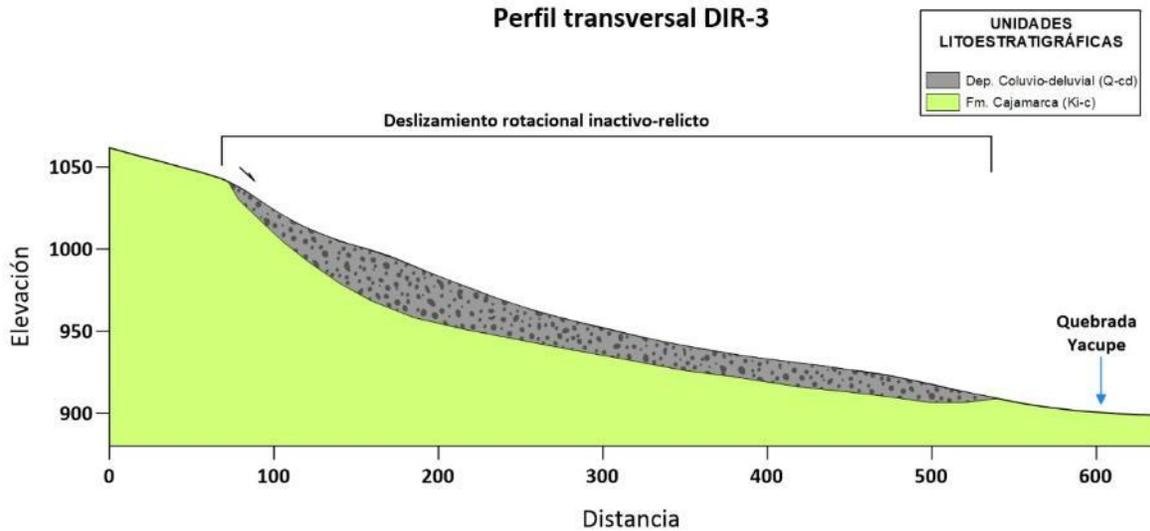
**Figura 10.** Vista aérea de los deslizamientos inactivos relictos DIR-1, 2 y 3 en el centro poblado Yacupe.



**Figura 11.** Sección transversal del deslizamiento inactivo relicto DIR-1.



**Figura 12.** Sección transversal del deslizamiento inactivos relictos DIR-2.



**Figura 13.** Sección transversal del deslizamiento inactivos relictos DIR-3.

### 3.4.2 Deslizamientos de tipo rotacional activos (DRA)

#### **Deslizamiento rotacional activo 1 (DRA-1)**

Abarca un área 98 334 m<sup>2</sup> y un volumen aproximado de 118 000 m<sup>3</sup>, el escarpe principal presenta una longitud de 360 m, se desarrolla sobre caliza beige, caliza gris parduscas, además de lutitas grises, limolitas gris verdosas y calizas margosas, estas capas se encuentran muy fracturadas e intensamente meteorizadas con rellenos coluvio deluviales; mientras que, el cuerpo del deslizamiento se mueve sobre sobre lutitas y limolitas con intercalaciones de caliza delgadas donde se observan los mayores daños por basculamientos, subsidencias y agrietamientos (figura 14).



**Figura 14.** Escarpe principal del deslizamiento DRA-1.

El deslizamiento DRA-1, tiene un escarpe irregular y semicircular en herradura, con una longitud de 290 m, con salto de 1 m, en la pared del escarpe se pueden apreciar estrías de falla generado por la ruptura al generarse el movimiento. Los escarpes secundarios del DRA-1 varían de 0.5 a 1.2 m, y el desnivel entre la escarpa y el pie es 90 m.

La parte superior o la zona de arranque, no ha sufrido desplazamientos ladera abajo, pero si deformaciones, que originan grietas por tracción o tensión que se emplazan de forma paralela o semiparalela al escarpe, afectando la trocha carrozable ubicada en el cuerpo del deslizamiento y 02 viviendas de concreto con daños estructurales en columnas, vigas y pisos (figuras 15 y 16).



**Figura 15.** Vivienda ubicada en el cuerpo del deslizamiento DRA-1. Los desplazamientos afectaron las estructuras, además de un mal proceso constructivo.



**Figura 16.** Grietas con aberturas mayores a 10 cm y 1 m de profundidad del deslizamiento DRA-1.

### Características visuales y morfométricas del DRA-1

- Tipo de movimiento: Deslizamiento rotacional en suelos.

- Estado: Activo.
- Tipo de avance: Retrogresivo.
- Velocidad: Moderado (algunos centímetros al mes), reportada por los pobladores.
- Deformación del terreno: Escalonado.
- Composición de los suelos coluvio deluviales de gravas con arcillas.

### **Morfometría del DRA-1**

- Área: 98 334 m<sup>2</sup>.
- Perímetro: 364 m.
- Volumen: 118 000 m<sup>3</sup>.
- Diferencia de alturas corona y pie de deslizamiento: 90 m.
- Longitud horizontal corona a punta del deslizamiento: 5406 m.
- Ángulo de corona al pie del deslizamiento: 35°.
- Dirección del movimiento: N140° (N-S).
- Ancho de la superficie de falla: 5 m.
- Salto principal: 1.5 m.

### **Deslizamiento rotacional activo 2 (DRA-2)**

Tiene un área 57 860 m<sup>2</sup> y un volumen aproximado de 69,432 m<sup>3</sup>, el escarpe principal se desarrolla sobre caliza beige, caliza gris parduscas, además de lutitas grises, limolitas gris verdosas y calizas margosas, estas capas se encuentran muy meteorizadas y fracturadas con rellenos coluvio.

El deslizamiento DRA-2, tiene un escarpe semicircular en herradura con longitud de 253 m, con salto de 0.5 m; en la pared del escarpe se aprecian estrías de falla, esto se debe a la fricción que se generó en el desplazamiento de las masas, el salto varía de 0.5 a 1 m, y el desnivel entre la escarpa y el pie es de 72 m.

### **Deslizamiento rotacional activo 3 (DRA-3)**

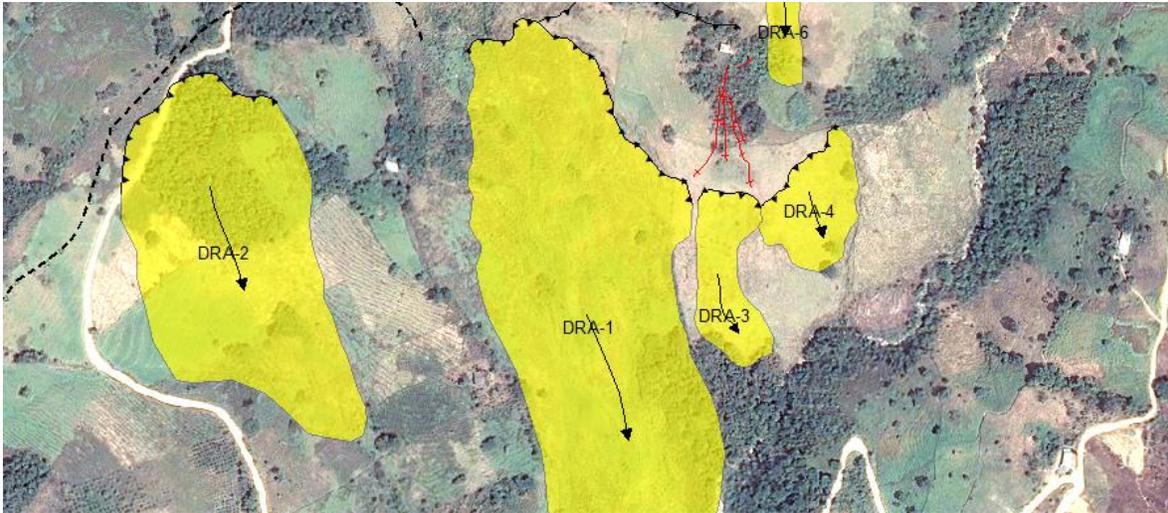
El deslizamiento tiene un área 9 393 m<sup>2</sup>, de forma alargada y un volumen aproximado de 14,089 m<sup>3</sup>, el escarpe principal se desarrolla sobre caliza beige, caliza gris parduscas, además de lutitas grises, limolitas gris verdosas y calizas margosas, estas capas se encuentran muy meteorizadas y fracturadas con rellenos coluvio deluviales.

El DRA-3, tiene un escarpe semicircular en herradura con una longitud de 78 m, con salto de 0.5 m, en la pared del escarpe se aprecian estrías de falla, esto se debe a la fricción que se dio al generarse el desplazamiento de la masa, el salto varía de 0.5 a 1 m, y el desnivel entre la escarpa y el pie es de 37 m.

### **Deslizamiento rotacional activo 4 (DRA-4)**

El DRA-4 tiene un área 9 143 m<sup>2</sup> y un volumen aproximado de 11,885 m<sup>3</sup>, el escarpe principal se desarrolla sobre caliza beige, caliza gris parduscas, además de lutitas grises, limolitas gris verdosas y calizas margosas, estas capas se encuentran muy meteorizadas y fracturadas con rellenos coluvial.

El deslizamiento DRA-4, tiene un escarpe irregular y alargado con longitud de 128 m con salto de 1 m. En la pared del escarpe se aprecian estrías de falla, esto se debe al desplazamiento de la masa del deslizamiento, en la zona de ruptura. El salto varía de 0.5 a 1 m, y el desnivel entre la escarpa y el pie es de 28 m (figura 17).



**Figura 17.** Deslizamientos activos en las proximidades del centro poblado Yacupe.

#### **Deslizamiento rotacional activo 5 (DRA-5)**

El DRA-5 tiene un área 15 968 m<sup>2</sup> y un volumen aproximado de 22,355 m<sup>3</sup>, el escarpe principal se desarrolla sobre caliza beige, caliza gris parduscas, además de lutitas grises, limolitas gris verdosas y calizas margosas, estas capas se encuentran muy meteorizadas y fracturadas con rellenos coluvial.

El deslizamiento DRA-5, tiene un escarpe alargado con longitud de 121 m y salto de 0.5 m. En la pared del escarpe se aprecian estrías, esto se debe a la fricción que se genera al despasarse o generarse el deslizamiento. Se identificaron escarpes secundarios que varían de 0.5 a 1.2 m, y el desnivel entre la escarpa y el pie es de 60 m.

#### **Deslizamiento rotacional activo 6 (DRA-6)**

El DRA-6 tiene un área 6 193 m<sup>2</sup> y un volumen aproximado de 7,741 m<sup>3</sup>, el escarpe principal se desarrolla sobre caliza beige, caliza gris parduscas, además de lutitas grises, limolitas gris verdosas y calizas margosas, estas capas se encuentran muy meteorizadas y fracturadas con rellenos coluvial.

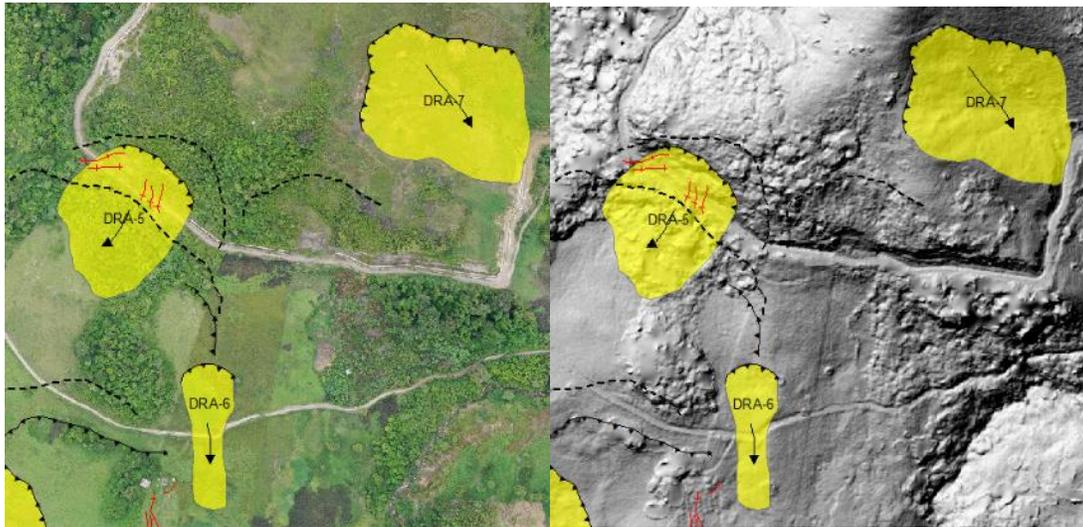
El deslizamiento DRA-6, tiene un escarpe semicircular en forma de herradura con longitud de 76 m y salto de 0.3 m. En la pared del escarpe se aprecian estrías de falla debido al movimiento. Fueron identificados escarpes secundarios que varían de 0.25 a 0.5 m, y el desnivel entre la escarpa y el pie es de 28 m.

#### **Deslizamiento rotacional activo 7 (DRA-7)**

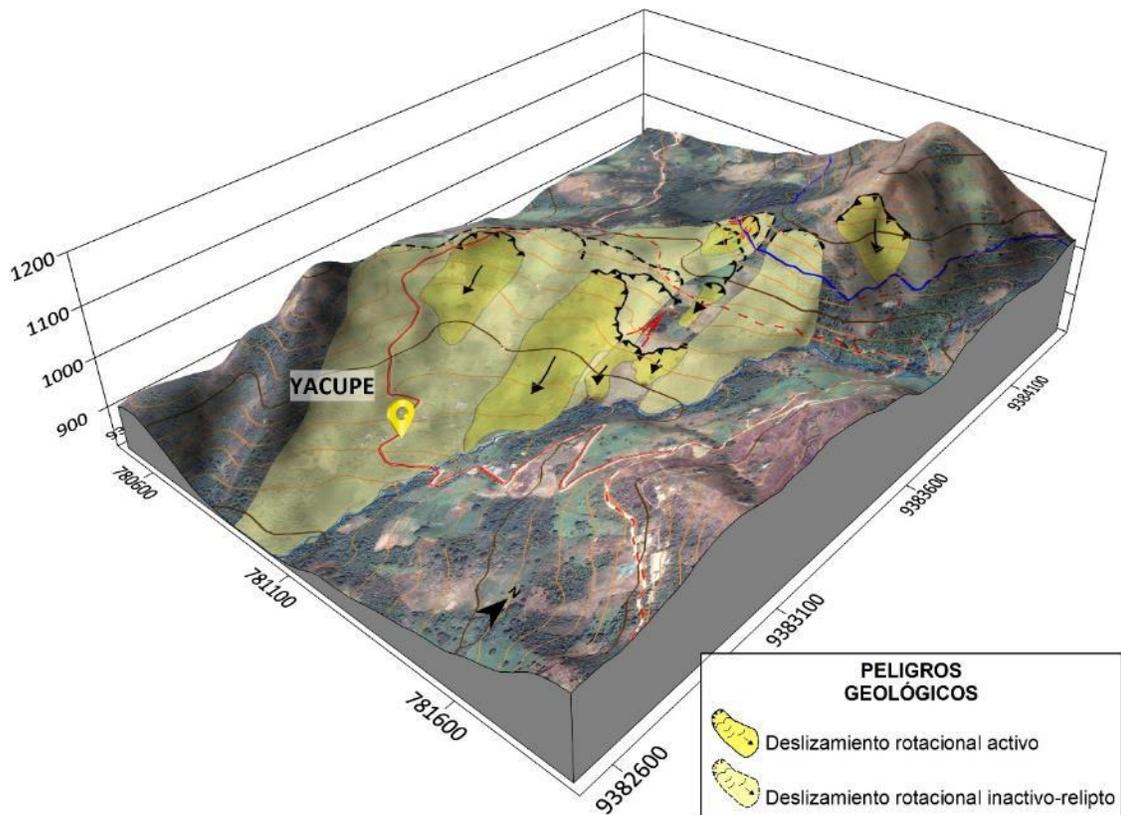
El DRA-4 tiene un área 9 143 m<sup>2</sup> y un volumen aproximado de 11,885 m<sup>3</sup>, el escarpe principal se desarrolla sobre caliza beige, caliza gris parduscas, además de lutitas grises,

limolitas gris verdosas y calizas margosas, estas capas se encuentran muy meteorizadas y fracturadas con rellenos coluvial.

El deslizamiento DRA-4, tiene un escarpe irregular y alargado con longitud de 128 m y salto de 1 m. En la pared se aprecian estrías de falla, esto se debe a la fricción que se genera al desplazarse una masa sobre la otra. El salto varía de 0.5 a 1 m, y el desnivel entre la escarpa y el pie es de 33 m (figura18).



**Figura 18.** Deslizamientos activos en las proximidades del centro poblado Yacupe.

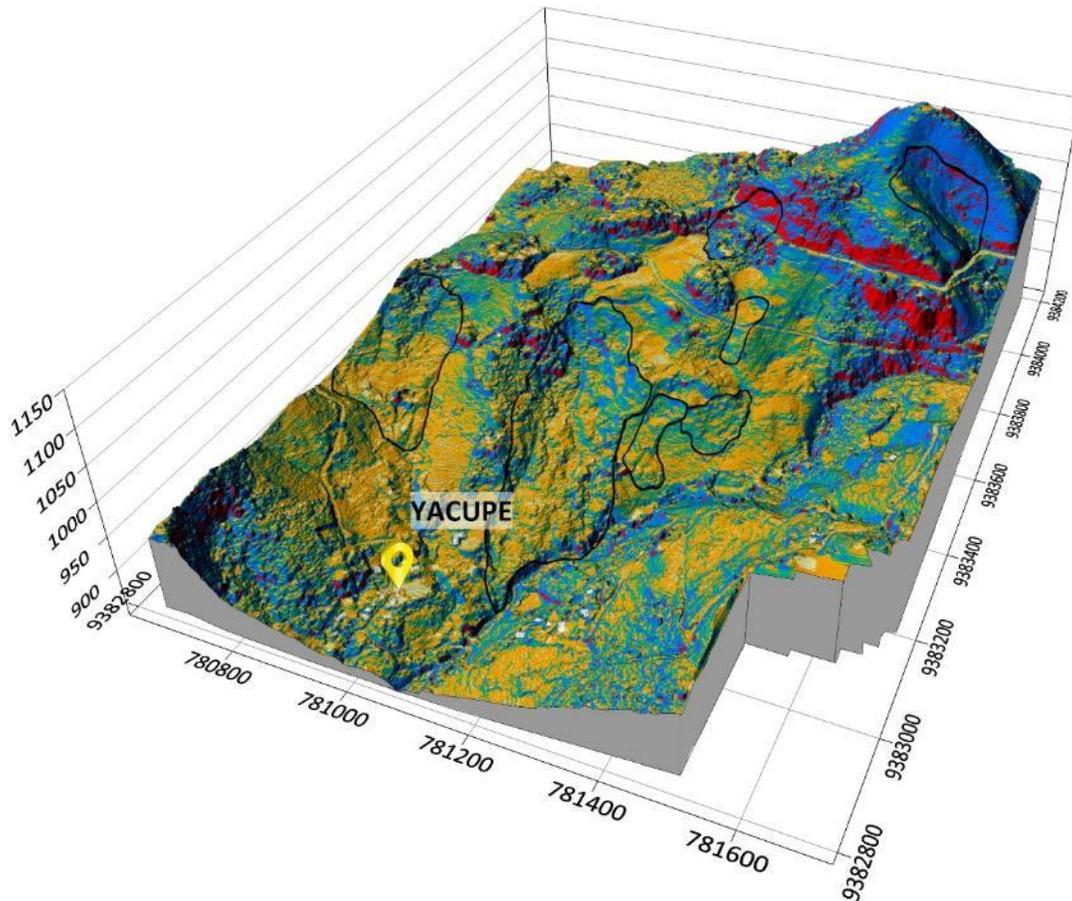


**Figura 19.** Peligros geológicos identificados en el centro poblado Yacupe.

### 3.5 Factores condicionantes

#### 3.5.1 Geomorfológico

Las montañas estructurales en rocas sedimentarias configuran laderas con pendientes moderadas a fuertes ( $5^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ) que abarcan el 66% del área de estudio (91 ha), mientras que, las pendientes muy fuertes ( $25^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ) alcanzan el 23% (32 ha) del total evaluado. Por tanto, el 89% de las laderas tienen pendientes que condicionan la ocurrencia de movimientos en masa (colores naranja y azul), donde se cartografiaron deslizamientos relictos (DRA) y deslizamientos recientes activos (DRI), (figura 20).



**Figura 20.** Rangos de pendientes que condicionan la ocurrencia de movimientos en masa.

#### 3.5.2 Litológico

En el área de evaluación afloran calizas beige, caliza gris parduscas, además de lutitas grises, limolitas gris verdosas y calizas margosas de la Formación Cajamarca (Ki-c) en contacto con lutitas y limolitas gris a verde, a veces se encuentran abigarradas, con intercalaciones de caliza delgadas grises de la Formación Celendín (Ks-ce).

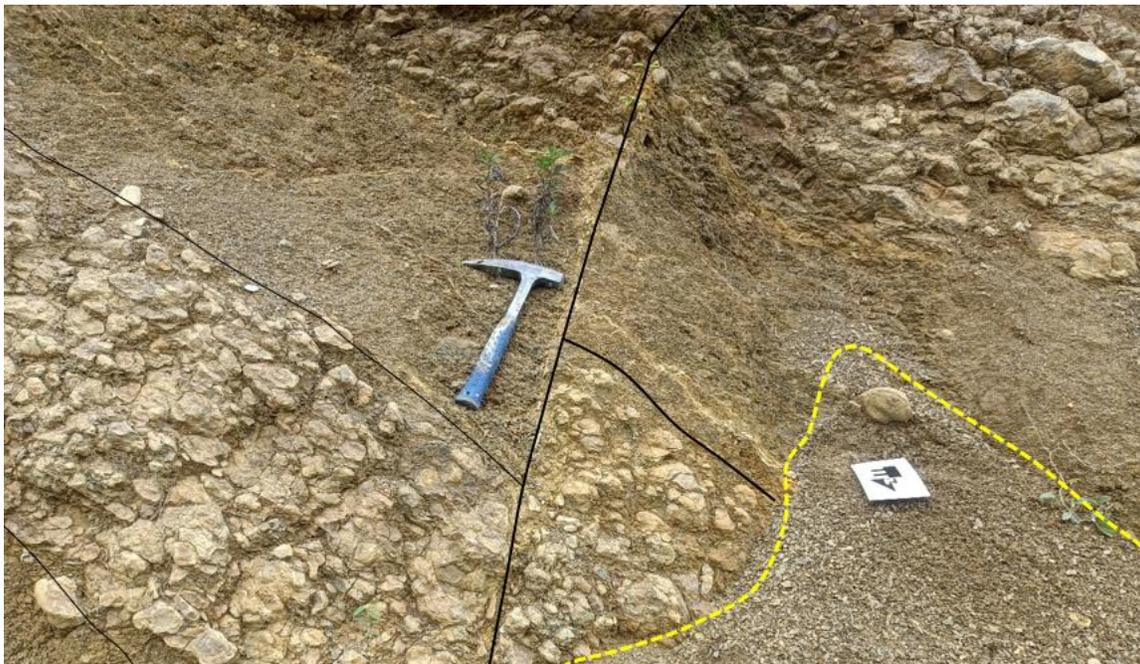
Este tipo de rocas tienen condiciones geomecánicas desfavorables, caracterizadas por el fuerte fracturamiento y ligeramente húmedas. En los cortes de ladera, se diferenciaron los grados de meteorización de acuerdo con la profundidad, las rocas más superficiales se encuentran moderadamente meteorizada. El factor estructural también está influenciado

por la presencia de una falla inversa con dirección noroeste a sureste que afecta afloramientos, causando que la roca se encuentre fragmentada, con buzamientos a favor de la pendiente, en las laderas donde se identificaron los deslizamientos antiguos (figuras 21 y 22).

Los materiales de cobertura coluvio-deluvial se encuentran poco consolidados, en mayor porcentaje conformados por una granulometría gruesa: bolos (15%), cantos (15%), gravas (10%), gránulos (45%) de formas subangulosas a subredondeada; todo envuelto en una matriz arenosa (20%).



**Figura 21.** Afloramientos de calizas y lutitas en las inmediaciones del centro poblado Yacupe.



**Figura 22.** Falla inversa que afecta afloramientos de calizas, lutitas y limoarcillitas en las inmediaciones del área de evaluación.

### 3.5.3 Antrópico

En el centro poblado Yacupe, existe una importante intervención antrópica través de la actividad agrícola con el cultivo de sembrío de plátano y pastizales con riego por inundación, esto contribuye con la saturación del terreno.

La construcción de vías de acceso sin ningún control técnico ingenieril, desestabiliza laderas con coberturas de naturaleza arcillosa, no compactas y con evidencia de ocurrencia de deslizamientos antiguos.

Los canales de riego se encuentran afectados por deslizamientos recientes originando grietas y sumideros. Esto está contribuyendo con la saturación del terreno, como también un aumento de peso de masa inestable.

Las precipitaciones drenan agua hacia dichas infraestructuras que almacenan filtran agua hacia el subsuelo sobresaturando sedimentos (figuras 23 y 24).



**Figura 23.** Canales sin revestir que se utilizan para el riego por inundación.



**Figura 24.** Canal de concreto con presencia de grietas en la parte alta de la zona evaluada.

## 5. CONCLUSIONES

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

- a. En el centro poblado Yacupe afloran calizas margosas intercaladas con lutitas y limolitas muy fracturadas e intensamente meteorizadas de la Formaciones Cajamarca (Ki-c), en contacto con lutitas y limolitas abigarradas, con intercalaciones de calizas delgadas de la Formación Celendín (Ks-ce).
- b. Ambas litologías muestran condiciones geomecánicas desfavorables, aportando gran cantidad de sedimentos de naturaleza arcillosa que forman coberturas muy susceptibles a generar movimientos en masa.
- c. Las coberturas recientes tienen una componente granular de naturaleza coluvio-deluvial (bolos, cantos, gravas y gravillas) en una matriz arcillosa, poco compactas, porosas y deleznales. Los deslizamientos identificados se desarrollan sobre calizas, lutitas, limolitas y calizas margosas de la Formaciones Cajamarca (Ki-c), estas secuencias limitan al sur con lutitas y limolitas abigarradas, con intercalaciones de calizas delgadas de la Formación Celendín (Ks-ce). Ambas Formaciones, aportan gran cantidad de sedimentos de naturaleza arcillosa que forman coberturas muy susceptibles a generar movimientos en masa.
- d. El área evaluada se ubica sobre un piedemonte coluvio-deluvial (V-cd), con terrenos de pendientes moderadas a fuertes ( $5^{\circ}$  a  $25^{\circ}$ ), originadas por antiguos deslizamientos provenientes de montañas estructurales en roca sedimentaria (RME-rs) y colinas y lomadas en roca sedimentaria (RCL-rs), con laderas de pendientes fuertes a muy escarpadas ( $15^{\circ}$  a  $45^{\circ}$ ).
- e. Se identificaron 03 deslizamientos antiguos (inactivos-relictos) (DIR) que, abarcan un área de 54.4 ha. Estos tienen las zonas de arranque en la parte alta del cerro Porvenir, entre 950 y 1050 m de altitud, desplazándose hasta 810 m ladera abajo próximos al área urbana de Yacupe.
- f. Se cartografiaron 07 deslizamientos rotacionales activos que abarcan un área de 21.7 ha, muestran actividad desde el año 2012, las activaciones recientes están relacionadas al fenómeno El Niño Costero 2017 y al Ciclón Yacu. El deslizamiento más importante DRA-1, tiene una longitud de 650 m y ancho de 233 m, con un escarpe principal con longitud de 290 m, este deslizamiento alcanza un área de 9.8 ha.
- g. Las precipitaciones extraordinarias, la presencia de canales de riego con revestimiento de concreto en mal estado y la actividad agrícola, generan una sobresaturación del terreno, esto trae un aumento de peso de la masa inestable, sumado con la pendiente del terreno (moderada a fuerte  $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ). La masa inestable pierde cohesión, lo que va

generar que se desplazase cuesta abajo, de esta manera se va a reactivar el deslizamiento.

- h. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta el área de evaluación, se considera que el centro poblado Yacupe, tiene **Peligro Alto** ante la ocurrencia de deslizamientos activos.

## 6. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que a continuación se brindan tienen por finalidad mitigar el impacto de los peligros geológicos. Así mismo, la implementación de estas recomendaciones permitirá darle mayor seguridad a la infraestructura expuesta a los peligros antes mencionados.

- a. Reubicar las viviendas destruidas y evitar nuevos asentamientos en las zonas afectadas por los deslizamientos identificados.
- b. Realizar la reforestación de las laderas afectadas por deslizamientos antiguos en el cerro Porvenir, con la finalidad de reducir el impacto de los materiales desplazados ladera abajo, protegiendo el área urbana de Yacupe.
- c. Construir drenes de coronación y perimetrales impermeabilizados alrededor de todos los terrenos afectados por deslizamientos.
- d. Implementar un programa de monitoreo de las laderas del cerro Porvenir en el centro poblado Yacupe y alrededores afectados ante deslizamientos, el monitoreo debe realizar durante todo el año con mayor incidencia en la temporada de lluvias.
- e. Se debe considerar, el cambio del tipo de cultivo, riego tecnificado y uso controlado del agua para riego, ya que la zona tiene muy alta susceptibilidad a movimientos en masa. Con la finalidad de no saturar a los terrenos.
- f. Sensibilizar a la población a través de talleres y charlas con el objetivo de concientizar en gestión del riesgo de desastres-GRD.
- g. Realizar un estudio de evaluación de riesgo (EVAR), este debe ser realizado por un evaluador de riesgos acreditado por CENEPRED.

## BIBLIOGRAFÍA

Ingemmet. (2021). Mapas geológicos integrados 50k ver 2021. <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>

Medina Allca, L., Vilchez Mata, M., & Dueñas Bravo, S. (2009). Riesgo Geológico en la Región Amazonas. Ingemmet Boletín N° 39, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.

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

Sánchez Fernández, A. (1995). Geología de los Cuadrángulos de Bagua Grande, Jumbilla, Lonya Grande, Chachapoyas, Rioja, Leymebamba y Bolívar. Ingemmet Boletín N° 56 Serie A.

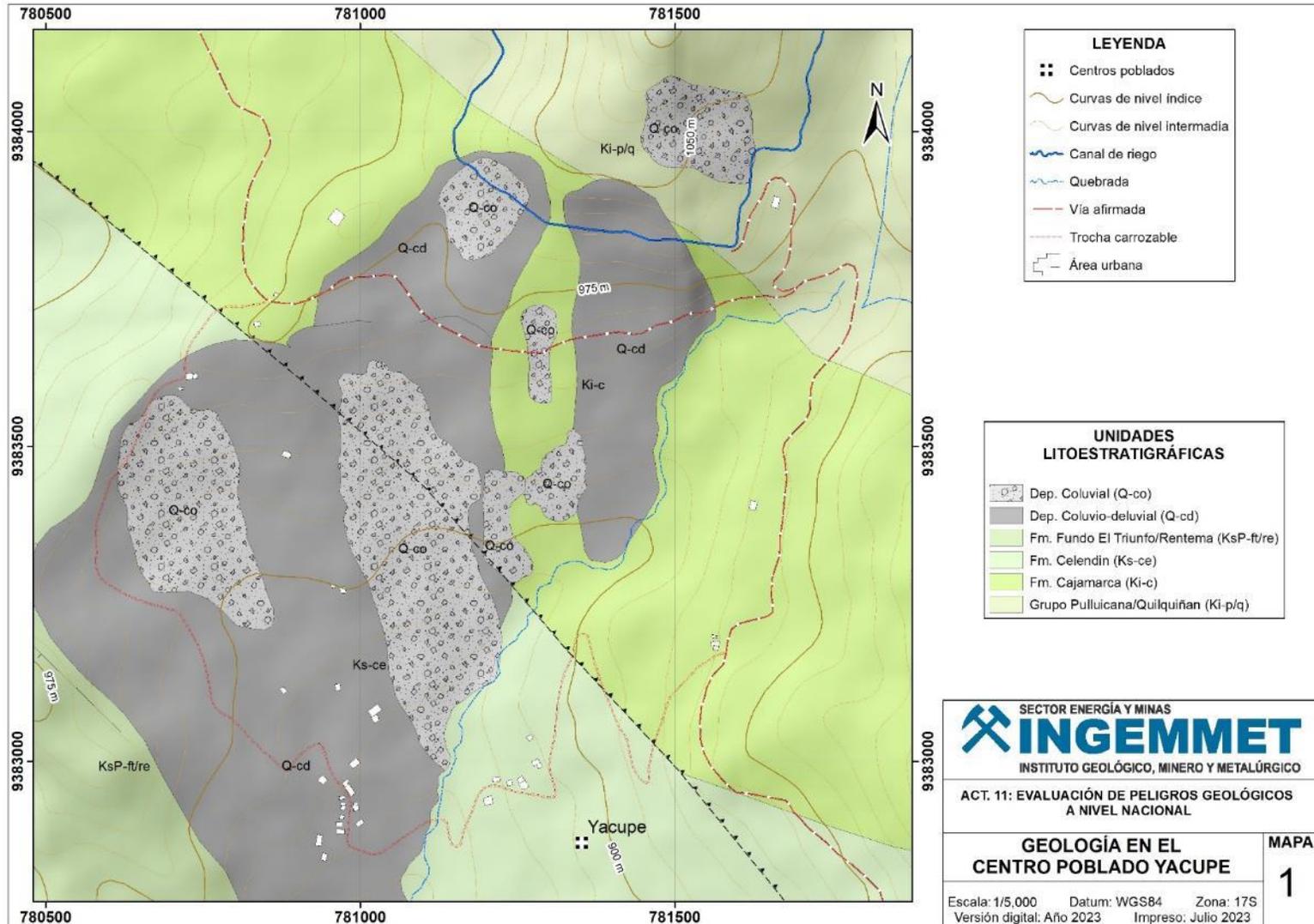
Suarez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN.

Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

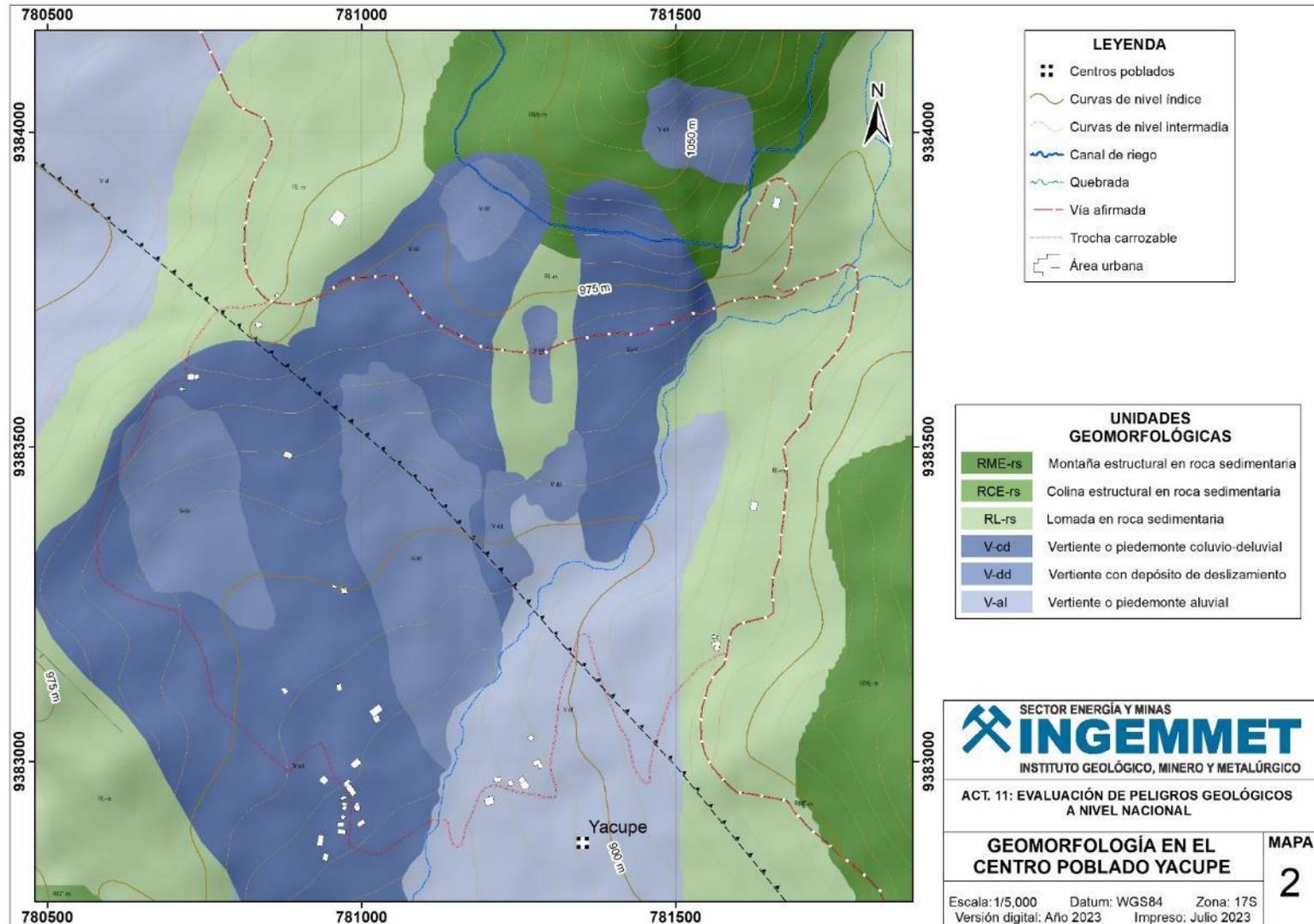
  
LUIS MIGUEL LEON ORDAZ  
Ingeniero Geólogo  
Reg. CIP. N° 215610

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

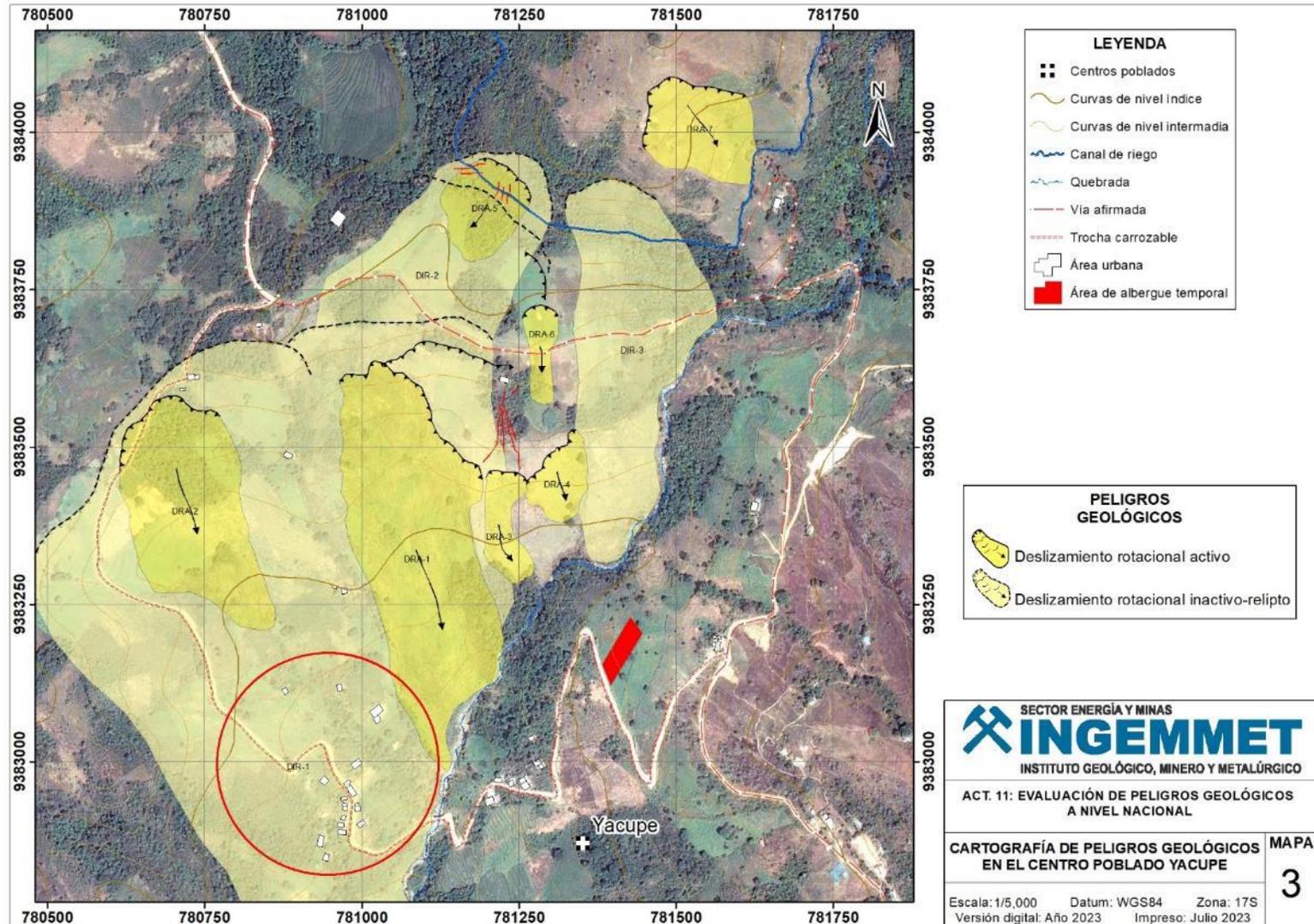
# ANEXO 1: MAPAS



Mapa 1. Geología del área evaluada.



Mapa 2. Geomorfología del área evaluada.

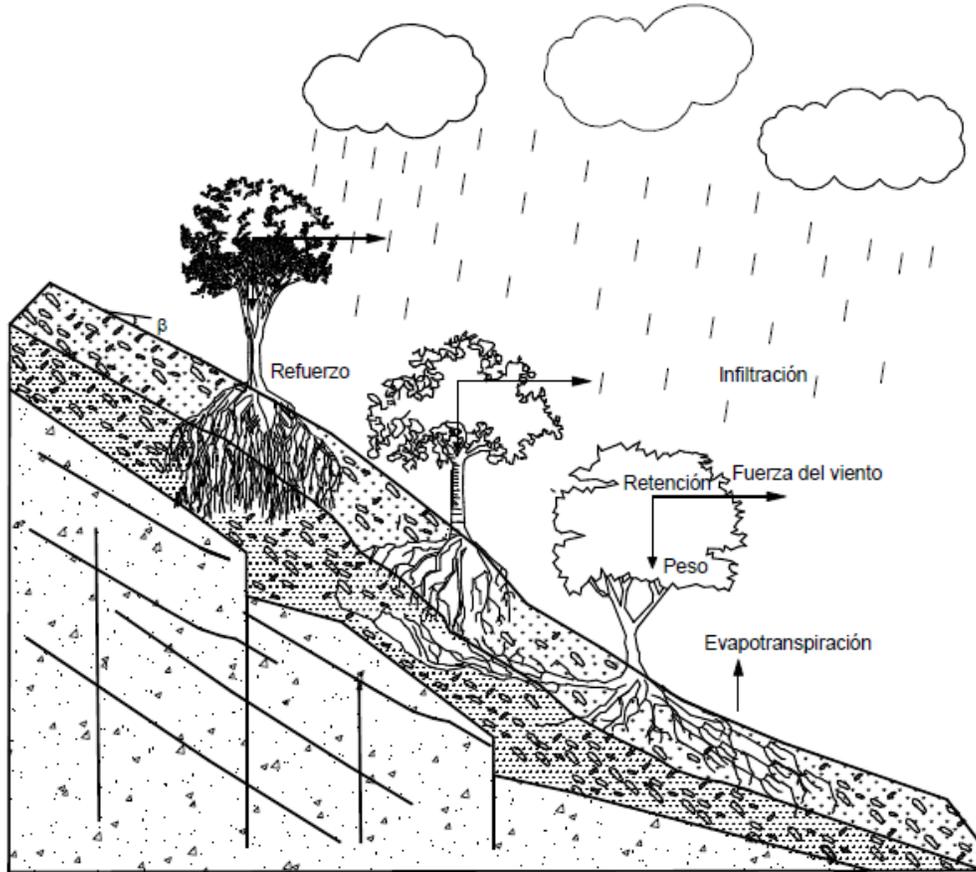


Mapa 3. Cartografía de peligros geológicos del área evaluada.

## **ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN**

## 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 movimientos en masa poco profundos (Suárez Díaz, 2007).



**Figura 25.** Estabilización de taludes utilizando vegetación. Fuente: Suarez, Díaz 2007.



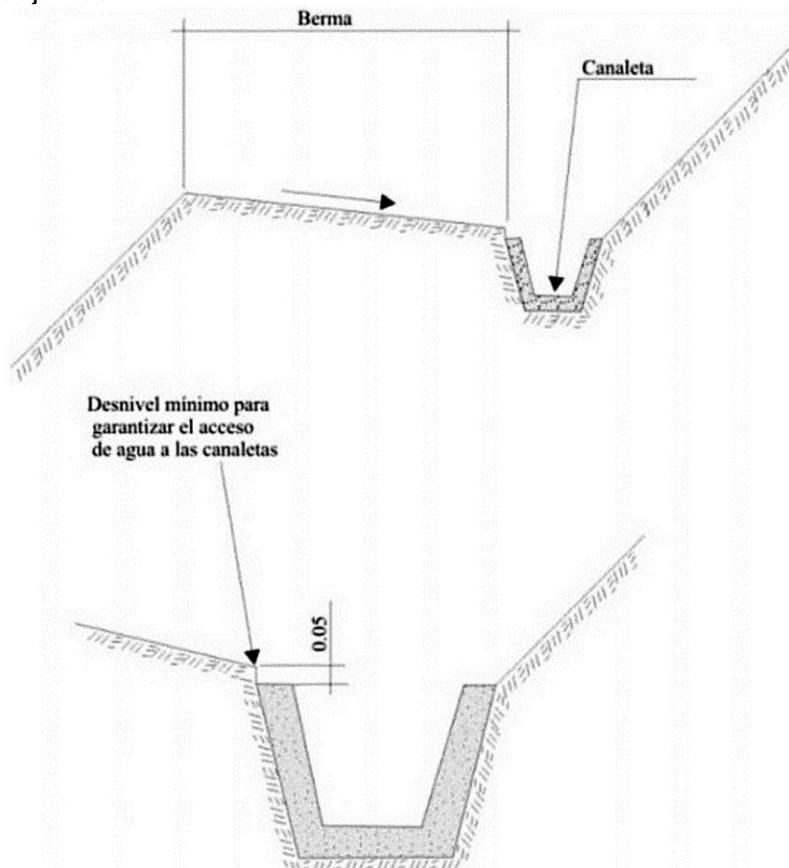
**Figura 26.** Ejemplo de bioingeniería con arbusto (vetiver) en taludes de materiales sueltos.

## Para deslizamientos y reptación de suelos

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 desestabilizante 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 27). 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 27.** Detalle una canaleta de drenaje superficial (zanjas de coronación). Tomado de INGEMMET (2000).