

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7429

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR LAS HABAS, CASERÍO ARCAYPATA

Departamento La Libertad
Provincia Pataz
Distrito Buldibuyo



SETIEMBRE
2023

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR LAS HABAS, CASERÍO ARCAYPATA.

Distrito Buldibuyo, provincia Pataz, departamento La Libertad

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

Equipo de investigación:

Ángel Gonzalo Luna Guillén

Norma Sosa Senticala

Mauricio Núñez Peredo.

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Las Habas, caserío Arcaypata, distrito Buldibuyo, provincia Pataz, departamento La Libertad.* Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7429, 50 p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Objetivos del estudio	6
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	6
1.3. Aspectos generales	8
1.3.1. Ubicación	8
1.3.2. Accesibilidad.....	8
1.3.3. Población.....	10
1.3.4. Clima	10
2. DEFINICIONES	12
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	14
3.1. Unidades litoestratigráficas	14
3.1.1. Grupo Pucará / Formación Condorsinga (TsJi-p/Ji-c)	14
3.1.2. Grupo Mitu (PET-m).....	15
3.1.3. Depósito coluvio-deluvial (Qh-cd).....	16
3.1.4. Depósito Aluvial (Qh-al).....	17
3.1.5. Depósito fluvial (Qh-fl).....	17
3.1.6. Depósito coluvial (Qh-co)	17
3.1.7. Depósito pluvial (Qh-pl)	17
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	21
4.1. Pendientes del terreno.....	21
4.2. Unidades geomorfológicas	22
4.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional	22
4.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional	22
4.2.3. Otras geoformas.	22
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	24
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa.....	24
5.1.1. Deslizamientos	24
5.1.2. Caídas	32
5.1.3. Flujos.....	35
5.1. Otros Peligros Geológicos	35
5.1.1. Erosión de laderas.	35
5.2. Factores condicionantes.....	40
5.3. Factores desencadenantes	41
6. CONCLUSIONES.....	42
7. RECOMENDACIONES.....	43
8. BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXO 1: MAPAS.....	46

RESUMEN

El presente informe técnico, es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa realizado en la ladera este del cerro Apushalla, denominado sector Las Habas y el caserío Arcaypata, pertenecientes a la jurisdicción del distrito Buldibuyo, provincia Pataz, departamento La Libertad. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

En el área evaluada, se presenta un substrato sedimentario conformado por calizas y areniscas calcáreas con alto grado de fracturamiento y meteorización, que generan suelos residuales limo - arcillosos de fácil erosión. La roca sedimentaria presenta fracturas y discontinuidades que debilitan su resistencia y cohesión facilitando el desprendimiento y rotura de la roca, especialmente cuando están sometidas a presiones y tensiones, evidencia de ellos son los bloques de roca (2 a 5 m de diámetro) sueltos ubicados sobre la ladera este del cerro.

Sobre el substrato se observan depósitos coluvio-deluviales producto de movimientos en masa y susceptibles a generar nuevos eventos por diversos factores, como, por ejemplo: la presencia de matriz limo arcillosa confiere al depósito una baja cohesión, lo que significa que las partículas individuales tienen poca capacidad para adherirse entre sí. Esto sumado al grado de pendientes (entre 15° y 25°) pueden generar movimientos en masa.

Las geoformas identificadas son montañas modeladas en roca sedimentaria (margen derecha del río Navibamba). Adosada a ella se encuentra un depósito coluvio-deluvial (sector Las Habas) con pendientes de terreno fuerte, sobre este se han identificado 01 deslizamiento y procesos de carcavamientos con profundidades mayores a 2 m y longitudes de hasta 117 m, que pueden ampliarse y profundizarse con el tiempo pudiendo generar nuevos deslizamientos.

En los pies de la vertiente coluvio-deluvial se halla el caserío Arcaypata (debajo del sector Las Habas), con terrenos de pendientes promedio de 5°, y por debajo de este se encuentran vertientes con depósitos de deslizamientos (margen derecha del río Navibamba). Estos son evidencias de movimientos en masa pasados y recientes (reactivaciones) que indican la dinámica y la inestabilidad actual de dicha ladera.

En la ladera este del cerro Apushalla, margen derecha del río Navibamba, se identificaron 03 deslizamientos activos, el primero de ellos Da-1 se ubica en el sector Las Habas, presenta un escarpe con salto de 2 m y ocupa un área de 0.65 ha; el segundo se ubica en la ladera adyacente al caserío Arcaypata (se considera el de menor envergadura), con un área de 0.16 ha; el tercero denominado Da-3, está en la ladera inferior entre el caserío Arcaypata y el río Navibamba, su escarpe presenta una longitud de 300 m y salto de 10 m, abarca un área de 14 ha, corresponde a un deslizamiento en proceso de reactivación.

Otros peligros identificados que pueden afectar al caserío de Arcaypata y al sector Las Habas, son procesos de erosiones en cárcavas y caída de rocas que provienen de la ladera este del Cerro Apushalla; eventos que tienen un potencial destructivo.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas en el caserío Arcaypata y el sector Las Habas se les considera de **Peligro Alto** a movimientos en masa, teniendo que implementar medidas de atenuación y mitigación inmediatas para salvaguardar a la población y medios de vida.

Finalmente es necesario tomar en cuenta las recomendaciones estructurales y no estructurales citadas en el presente informe como son: a) Establecer restricciones de uso del suelo, prohibir el desarrollo urbano en las áreas afectadas por los deslizamientos; b) establecer una zona de amortiguamiento para asegurar que haya suficiente distancia entre la ladera y las estructuras urbanas; c) considerar la implementación de diferentes sistemas de drenaje para manejar el exceso de aguas superficiales y subterráneas, etc.

1. INTRODUCCIÓN

El INGEMMET, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos y actividades de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT11)”, contribuye de esta forma con entidades del Estado en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo el Oficio N° 00149-2022-GRLL-CR-DCRPA-LRP del gobierno regional La Libertad, la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, designó a los Ingenieros: Ángel Gonzalo Luna Guillen, Norma Luz Sosa Senticala y Mauricio Núñez Peredo, realizar la evaluación de peligros geológicos, llevados a cabo el 27 de mayo del 2023, en coordinación con autoridades de la municipalidad distrital de Buldibuyo, con acompañamiento de moradores del sector.

La evaluación técnica, se realizó en 03 etapas: a) recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet; b) trabajo de campo como toma de datos geológicos, geodinámicos y geomorfológicos, puntos de control GPS, fotografías terrestres, fotografías aéreas con dron; c) elaboración de mapas geológicos, geomorfológico y cartografía peligros geológicos y la redacción del informe técnico.

Este informe, se pone a consideración del Gobierno Regional de La Libertad, municipalidad distrital de Buldibuyo, y entidades encargadas de la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la mitigación y 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) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que se presentan en el sector Las Habas del caserío Arcaypata; que comprometen la seguridad física de las poblaciones, infraestructuras y medios de vida.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos por movimientos en masa identificados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional en los alrededores del sector evaluado se tienen:

- A) Informe Técnico; N° A5712 “Peligros geológicos en el área de Tayabamba – Huaylillas – Buldibuyo. Provincia Pataz – Región La Libertad” (Zavala et al .,2003), describe que en el sector de Arcaypata afloran rocas metamórficas cubiertas por depósitos cuaternarios inconsolidados, además de deslizamientos antiguos evidenciados por la presencia de escarpes y la geomorfología.
- B) Boletín N° 16, Serie A, Carta Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari” (Wilson et al., 1995). describe

la Formación Condorsinga, que pertenece al Grupo Pucará conformada por la intercalación calizas y areniscas.

- C) Boletín N° 50, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Riesgo Geológico en la Región La Libertad” (Medina et al., 2012). contiene el inventario de peligros geológicos en la región La Libertad. Así mismo, de acuerdo con el mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:250 000 se evidencia que el caserío de Arcaypata se encuentra en una zona de “Alta Susceptibilidad” (figura 1).

Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa, como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

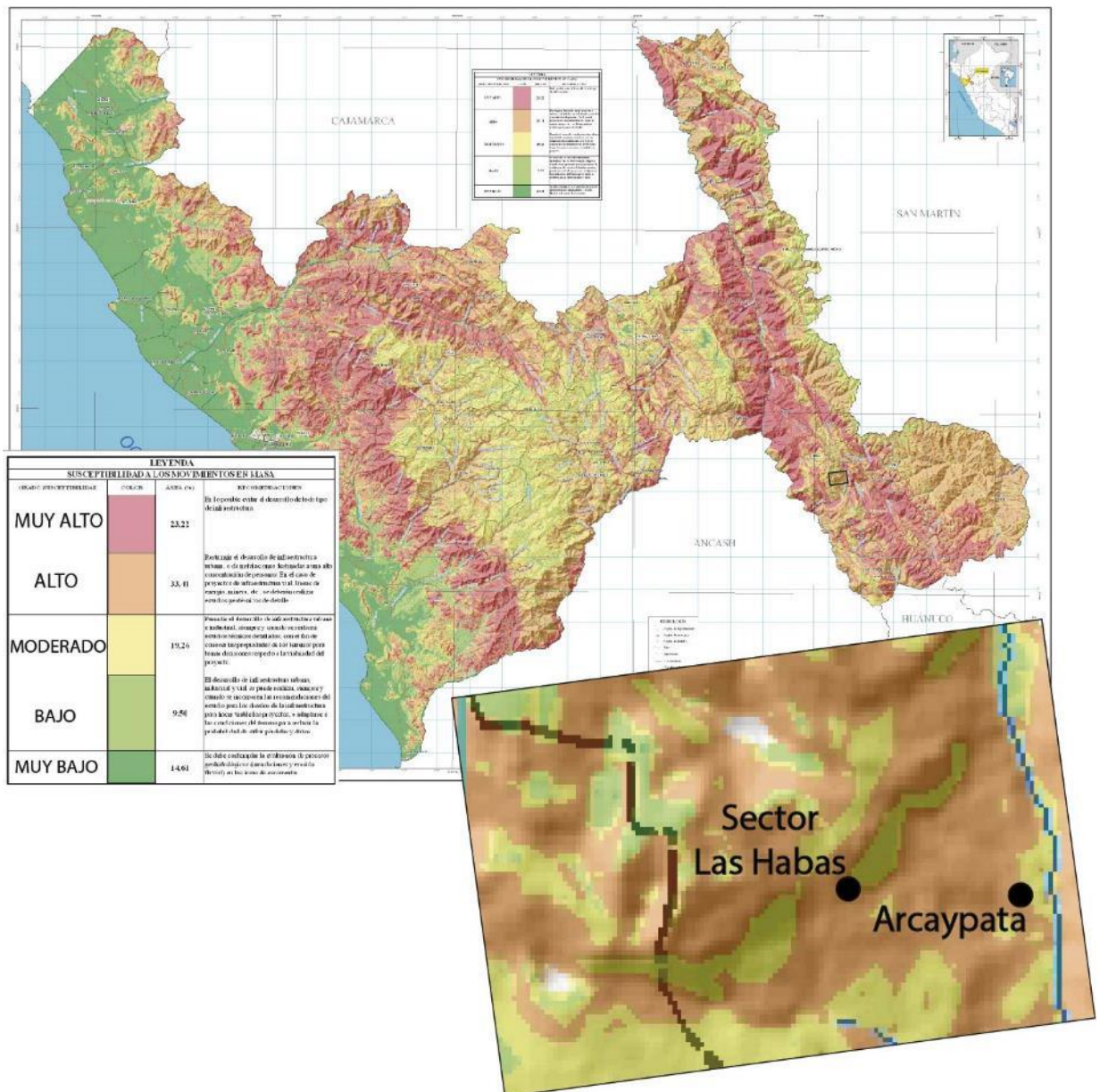


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa (Medina et al., 2012).

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

Geográficamente el área evaluada (Sector Las Habas), se ubica en la ladera suroeste del cerro Apushalla, margen derecha del río Navibamba.

Políticamente pertenece al caserío de Arcaypata, distrito Buldibuyo, provincia Pataz y departamento La Libertad.

Las coordenadas límites del área de inspección se detallan en las tablas 1 y figura 2.

Tabla 1. Coordenadas del área que cubre el área de inspección.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Sur	Latitud	Longitud
1	233828.62 m E	9094089.28 m S	-8.188267°	-77.415796°
2	233824.72 m E	9095124.85 m S	-8.178908°	-77.415775°
3	232151.26 m E	9095101.94 m S	-8.179024°	-77.430955°
4	232175.01 m E	9094091.04 m S	-8.188161°	-77.430795°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	232858.95 m E	9094444.95 m S	-8.185000°	-77.424572°

1.3.2. Accesibilidad

El acceso se realiza por vía terrestre desde la ciudad de Lima (la extensión de las rutas corresponde a la programación de otros sectores de inspección el departamento de la Libertad), a través de vías asfaltadas, trochas carrozables y caminos vecinales, siguiendo la ruta y accesos del cuadro 1.

Cuadro 1. Rutas y accesos a la zona de evaluación

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima-Chimbote	Carretera asfaltada	427 km	7 horas
Chimbote - Sihuas	Carretera asfaltada	260 km	9 horas
Sihuas - Buldibuyo	Carretera asfaltada/Trocha carrozable	192 km	6h 24 min
Buldibuyo – Caserío Arcaypata (Sector Las habas)	Vía afirmada	32 km	1 h 22min

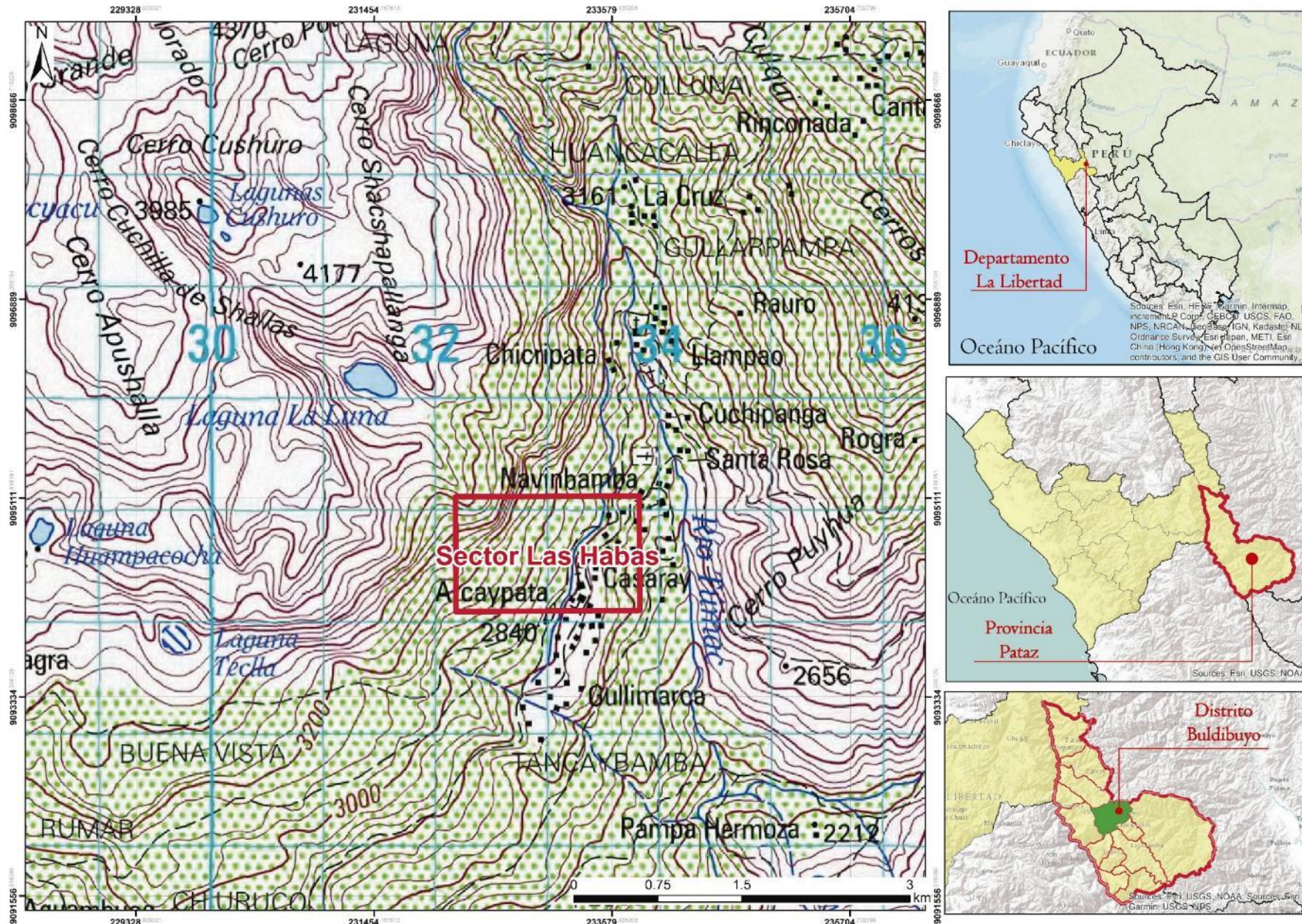


Figura 2. Mapa de ubicación del área de inspección, denominado sector Las Habas, en el distrito de Buldibuyo, provincia Patate, departamento de La Libertad.

1.3.3. Población

Según las cifras oficiales del XII Censo Nacional de Población y Vivienda (INEI 2017), el caserío de Arcaypata de clasificación: "Rural" y categoría "Anexo" identificado con código de ubigeo 130802 presenta alrededor de 70 viviendas de construcción rudimentaria. Sus actividades económicas están orientados a la agricultura, como cultivos de papa, maíz y frutales.

1.3.4. Clima

Según los datos meteorológicos del Senamhi (2020), en Buldibuyo, los veranos son frescos y nublados y los inviernos son cortos, fríos, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 5 °C a 18 °C y rara vez baja a menos de 2 °C o sube a más de 21 °C.

En cuanto a la cantidad de lluvia local en el caserío Arcaypata, según datos meteorológicos y pronóstico del tiempo del servicio de aWhere (que analiza los datos de 2 millones de estaciones meteorológicas virtuales en todo el mundo, combinándolos con datos ráster y de satélite), la precipitación máxima registrada en el periodo enero, 2022 -2023 (junio) fue de 52.7 mm el 28 de marzo del 2023.

Cabe recalcar que las lluvias son de carácter estacional, es decir, se distribuyen muy irregularmente a lo largo del año, produciéndose generalmente de noviembre a abril. Si comparamos los registros de este año con el del 2022 donde las precipitaciones diarias no superan los 48.6 mm, notaremos el incremento de las precipitaciones diarias en el 2023 (figura 3).

En base a los datos satelitales se puede estimar que las altas precipitaciones pluviales del mes de marzo entre 40 y 53 mm (precipitación máxima en 24 hrs), fue el factor detonante para la generación del deslizamiento (figuras 5).

La temperatura anual oscila entre un máximo de 46.0 °C en verano y un mínimo de -1.0 °C en invierno (figura 3). Así mismo, presenta una humedad promedio de 33.44% durante casi todo el año, (Servicio aWhere).

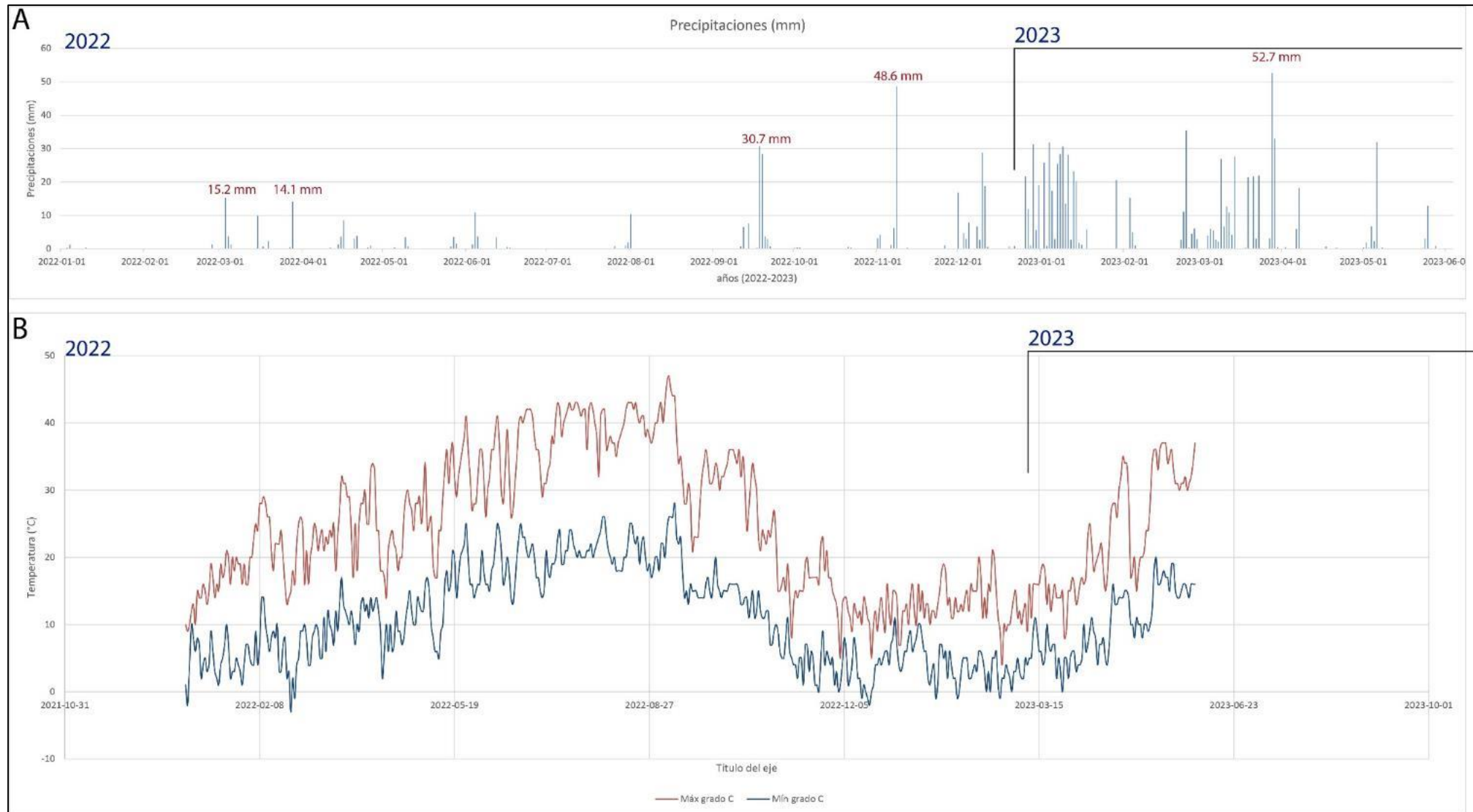


Figura 3. A) precipitación en el caserío Arcaypata y B) temperaturas en el caserío Arcaypata (periodo 2022-2023).
 Fuente: análisis espacial de datos meteorológicos AWERE.

2. DEFINICIONES

Considerando que el presente informe de evaluación técnica está dirigido a las autoridades, personal no especializado y tomadores de decisiones que no son necesariamente geólogos; es por ese motivo que se desarrolla algunas definiciones relevantes en términos sencillos como son:

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

Corona: zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladero abajo. sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

Deslizamiento: son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” (cruden, 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (brabb y harrod, 1989). los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc.

Los desplazamientos en masa se dividen en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación. esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear (suarez j., 2009).

Deslizamiento rotacional: Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava; presentan una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal.

La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es auto estabilizante, y éste ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas. (Suarez, 2009).

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.

Erosión de laderas: Se manifiesta a manera de láminas, surcos y cárcavas en los terrenos. Un intenso patrón de estos tipos de erosiones se denomina tierras malas o bad lands. Este proceso comienza con canales muy delgados cuyas dimensiones, a medida que persiste la erosión, pueden variar y aumentar desde estrechas y poco profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad.

Escarpe: sin.: 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.

Fractura: corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan

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 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 ladero abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

Reptación de suelos: la reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. la reptación puede ser de tipo estacionaria, cuando se asocia a cambios meteorológicos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

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

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

Suelo residual: Suelo derivado de la meteorización o descomposición de la roca in situ. No ha sido transportado de su localización original, también llamado suelo tropical.

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

Zonas críticas: Son zonas o áreas con peligros potenciales de acuerdo con 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.

Estado de los movimientos en masa

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

Abandonado: Estado de actividad de un movimiento en masa en el cual la causa de la inestabilidad del movimiento ha dejado de actuar (WP/WLI, 1993).

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

Suspendido: Movimiento en masa que se desplazó durante el último ciclo anual de las estaciones climáticas, pero que en el momento no presenta movimiento (Varnes, 1978).

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

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico, se desarrolló en base al boletín N° 16, “Geología de los cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari”, en específico la hoja 17-i (cuadrángulo de Tayabamba), el boletín de “Riesgos geológicos en la región La Libertad “y los mapas a escala 1:100 000 y 50 000 publicados en el portal geo-científico del GEOCATMIN, complementando con datos de campo, con lo que finalmente se elaboró el mapa geológico (Anexo 1-mapa 1).

3.1. Unidades litoestratigráficas

Comprenden rocas sedimentarias del Grupo Pucará (Formación Condorsinga), cubierta parcialmente por depósitos cuaternarios.

A continuación, se describe brevemente la composición y características litológicas de los depósitos y formaciones identificadas en los trabajos de campo:

3.1.1. Grupo Pucará / Formación Condorsinga (TsJi-p/Ji-c)

El Grupo Pucará, está compuesto de calizas y niveles de chert, parte de ella considerada como una unidad inferior (Formación Condorsinga) está compuesta, litológicamente, por areniscas calcáreas, de entre 10 a 40 m. de grosor, derivadas de las Formaciones infrayacentes (generalmente el Gpo. Mitu) con intercalaciones clásticas y conglomerados (Wilson et al.,1995).

Localmente se observan areniscas rojizas con alto grado de meteorización (A5), que llega a conformar suelos residuales areno-arcillosos, estas areniscas infrayacen a rocas calcáreas con alto grado de fracturamiento (F4), que genera bloques tabulares que caen por acción de la gravedad.

Cuadro 2. Clasificación de la meteorización de las formaciones identificadas en el área de estudio (Grado de meteorización de rocas ISRM,1981)

GRADO DE METEORIZACIÓN				
NOMBRE	DESCRIPCIÓN			CLASIFICACIÓN
A1	Roca fresca	No hay signos visibles de meteorización, ligera decoración	-	
A2	Ligeramente meteorizado	Decoloración en la roca y en superficie de discontinuidades (fracturas).	<10%	
A3	Moderadamente meteorizada	Menos de la mitad del material rocoso esta descompuesto o desintegrado a suelo.	10-50%	Calizas de la Formación Condorsinga
A4	Altamente meteorizado	Más del 50% esta descompuesto y/o desintegrado a suelo, roca fresca o descolorida esta presente como testigos descompuestos.	50-60%	
A5	Completamente meteorizado	Todo el material rocoso esta descompuesto y/o meteorizado. La estructura original del macizo rocoso esta aun en parte intacta.	>90%	Areniscas calcáreas de la Formación Condorsinga
A6	Suelo residual	Todo el material rocoso esta convertido en suelo. La estructura	100%	

Cuadro 3. Clasificación del fracturamiento de las formaciones identificadas en el área de estudio (Grado de fracturamiento de rocas ISRM,1981)

INTENSIDAD DE FRACTURAMIENTO				
NOMBRE	SEPARACIÓN	DESCRIPCIÓN		CLASIFICACIÓN
F1	>3 m	Maciza	Fracturas espaciadas entre si	
F2	3-1 m	Poco fracturada	Fracturadas espaciadas a veces no distinguibles	
F3	1-0.3 m	Medianamente fracturado	Espaciamiento regular entre fracturas	
F4	0.3-0.05 m	Muy fracturado	Fracturas muy proximas entre si, se separan en bloques tabulares	Calizas y areniscas de la Formación Condorsinga
F5	< 0.05 m	fragmentado	La roca se muestra astillosa y se se sepran en lajas con facilidad	

3.1.2. Grupo Mitu (PET-m)

Conjunto de areniscas, conglomerados y volcánicos de coloración rojiza a morada (Wilson et al.,1995). Localmente este conjunto litológico está conformado por areniscas rojizas, se encuentra en la margen izquierda del río Navibamba.

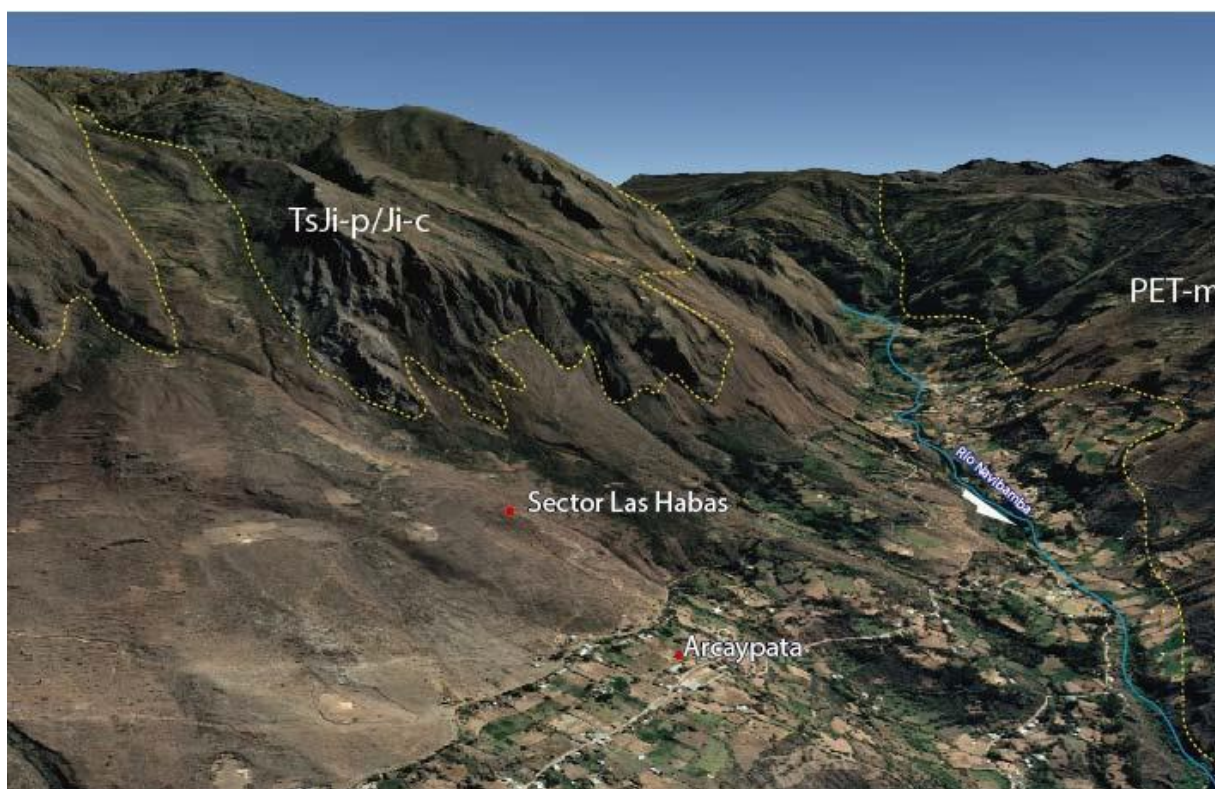


Figura 4. Grupos litológicos adyacentes al área de estudio (caserío Arcaypata/sector Las Habas), donde: TSji/Ji-c corresponde al Grupo Pucará/Formación Condorsinga y PET-m corresponde al Grupo Mitu.

3.1.3. Depósito coluvio-deluvial (Qh-cd)

Depósito conformado por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial, interestratificados, imposibles de separarlos como unidades individuales. Se encuentran acumulados al pie de laderas de montañas o acantilados de valles (Vílchez et al., 2019).

En el área evaluada se observan secuencias de materiales coluvio-deluviales y de escombros originados a partir de ocurrencias de movimientos en masa.

Estos depósitos están constituidos por secuencias de gravas, limo-arcillosas con arenas, también se observan cantos y bloques con diámetro de hasta 2 m, de composición calcárea; estos depósitos se encuentran medianamente saturados (época de lluvias) y poseen mediana a alta plasticidad (figura 5).

De acuerdo con la clasificación tentativa S.U.C.S, la composición del depósito se les puede denominar como gravas limosas (GM).

El terreno se encuentra saturado por el constante riego, además se tienen canales no revestidos que permite la infiltración de agua al subsuelo.



Figura 5. Depósito coluvio-deluvial en el sector Las Habas, obsérvese los bloques dentro del cuerpo del deslizamiento.



Figura 6. Depósito coluvio-deluvial en el sector Las Habas, se observa el salto de escarpe del deslizamiento que se encuentra erosionado.

3.1.4. Depósito Aluvial (Qh-al)

Se encuentra inconsolidados, son producto de acumulaciones de procesos fluviales, ubicados en las márgenes de los ríos, forman terrazas con alturas de hasta 5 m, se encuentran desarrolladas en la margen izquierda del río Navibamba.

3.1.5. Depósito fluvial (Qh-fl)

Depósitos porosos no consolidados distribuidos en los valles (cauce del río Navibamba) están conformados por bloques, gravas y arenas redondeadas.

3.1.6. Depósito coluvial (Qh-co)

El depósito se halla conformado por bloques de calizas con diámetros variados entre 0.5 a 2 m, el 50 % de ellos se encuentran arraigados en su base con la matriz del depósito coluvio-deluvial, mientras que el restante del porcentaje son bloques sueltos (figura 7).

3.1.7. Depósito pluvial (Qh-pl)

Depósitos no consolidados conformados por bloques, gravas y arenas subredondeadas a subangulosas en los cauces de quebradas y cárcavas de la ladera este del cerro Apushalla (sector Las Habas). Ver figura 8.

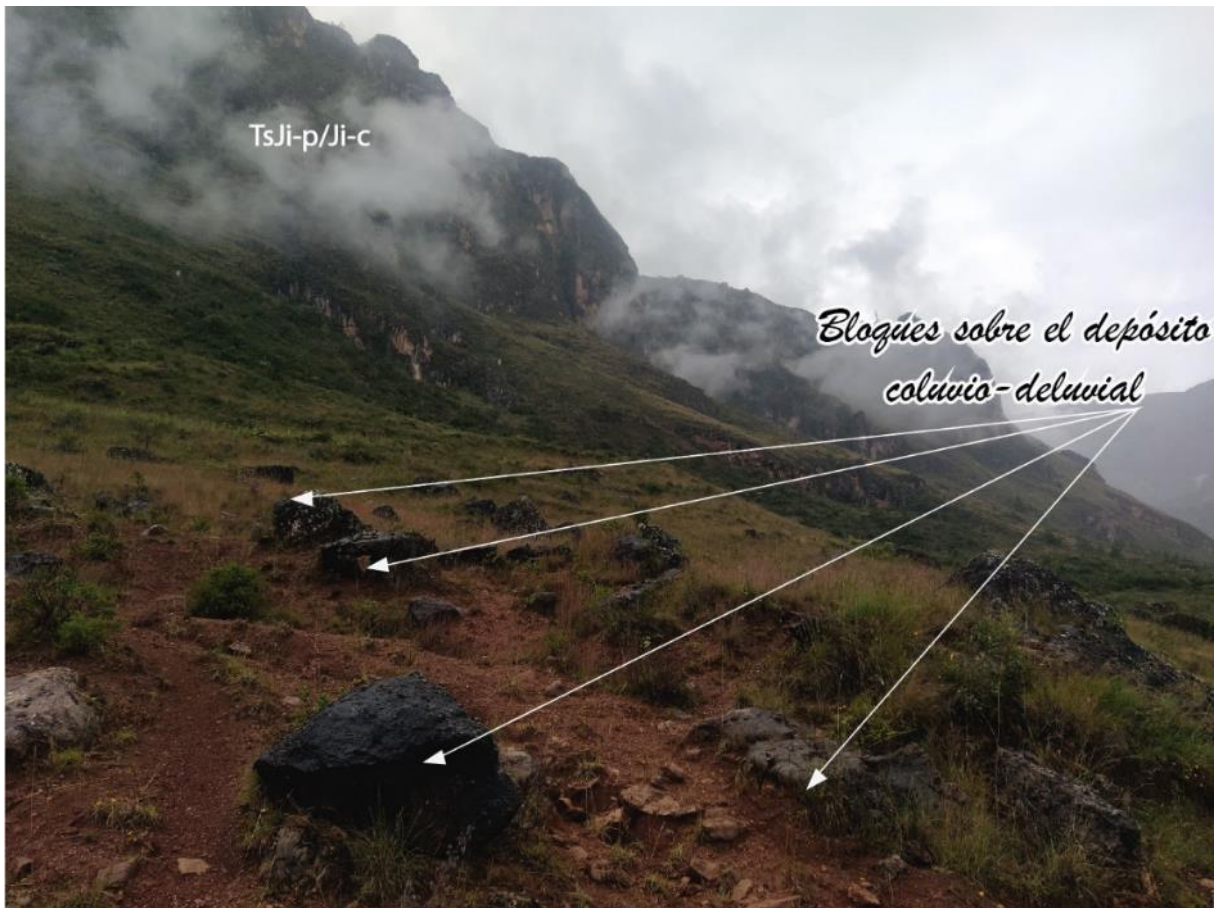


Figura 7. Sobre el depósito coluvio-deluvial, se tienen bloques sueltos producto de caída de rocas, (ladera este del cerro Apushalla), sector Las Habas.



Figura 8. Depósito proluvial, en las quebradas y cárcavas de la ladera este del cerro Apushalla, sector Las Habas.

Si realizamos un corte direccionado A-B (figura 9) del mapa geológico del anexo 1, veremos que Arcaypata y el sector Las Habas están localizadas sobre depósitos coluvio-deluviales conformado por procesos de erosión y deslizamientos antiguos, a la vez este depósito esta sobre un substrato rocoso calcáreo de la Formación Condorsinga (margen derecha del río Navibamba) y el Grupo Mitú en la margen izquierda del río.

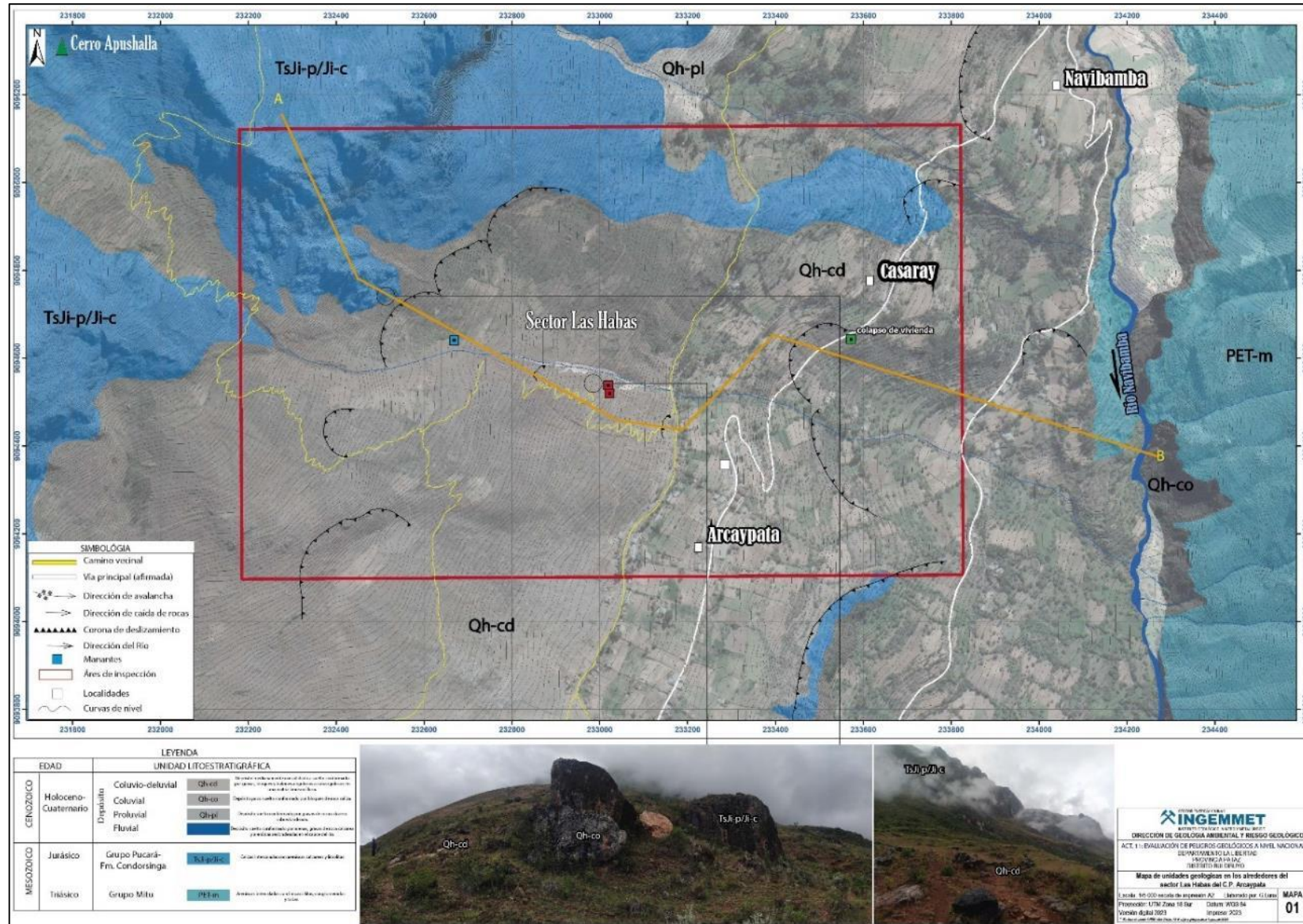


Figura 9. Mapa geológico del área de estudio (anexo 1), en este observamos el corte de perfil direccionado A-B.

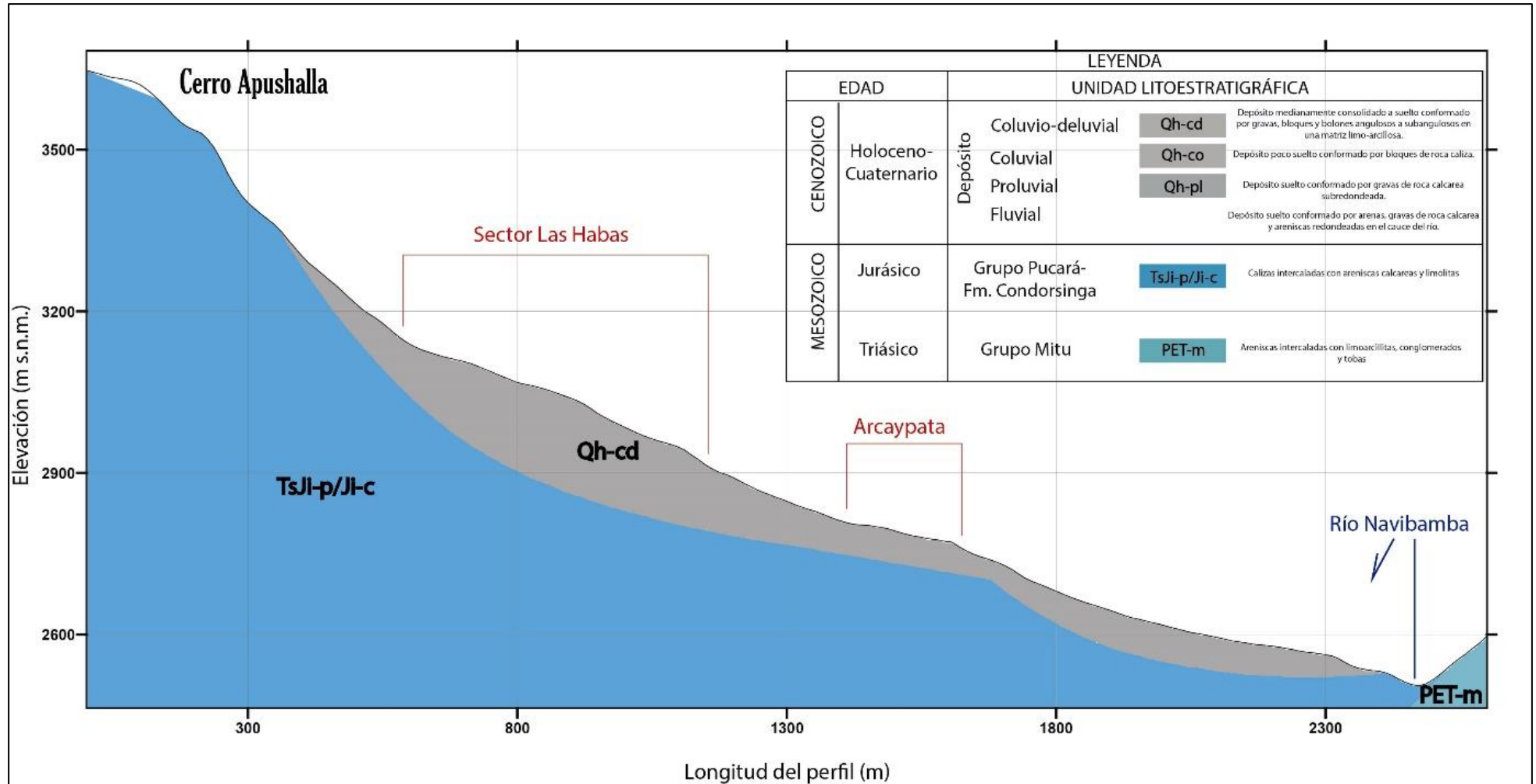


Figura 10. Perfil litológico simplificado A-B, del área de inspección

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

La pendiente es uno de los principales factores dinámicos, que contribuyen particularmente a los movimientos en masa (formadores de las geoformas de carácter depositacional o agradacional), ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez, 2002); por lo cual es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa (cuadro 4, figura 11).

Cuadro 4. Rango de pendientes del terreno.

RANGOS DE PENDIENTES		
Pendiente	Rango	Descripción
< 1°	Llano	No se encuentran muchos sectores con este rango de pendientes, solo se reflejan en las construcciones antrópicas como techos y patios del caserío Arcaypata.
1° a 5°	Inclinación suave	Este rango de pendientes se ubica principalmente en el caserío de Arcaypata corresponden a terrenos retrabajados para el asentamiento de viviendas, vías de acceso y áreas de cultivo cercanas al caserío.
5° a 15°	Moderado	Este rango de pendientes se encuentra en la margen derecha del río Navibamba, entre su cauce y el caserío Arcaypata, corresponde a áreas de deslizamientos antiguos (algunos en proceso de reactivación), con escarpas erosionadas y cubiertas por vegetación.
15° a 25°	Fuerte	Corresponde al sector Las Habas (deposito coluvio-deluvial) ubicado entre el caserío Arcaypata y el pie de la montaña en roca sedimentaria del cerro Apushalla.
25° a 45°	Muy fuerte	Este rango de pendiente predomina en la ladera este del cerro Apushalla, donde se desprenden bloques de roca caliza y caen sobre el depósito coluvio-deluvial.
>45°	Muy escarpado	Estas pendientes se presentan en las caras de desprendiendo de rocas y derrumbes principalmente en ladera este del cerro Apushalla.

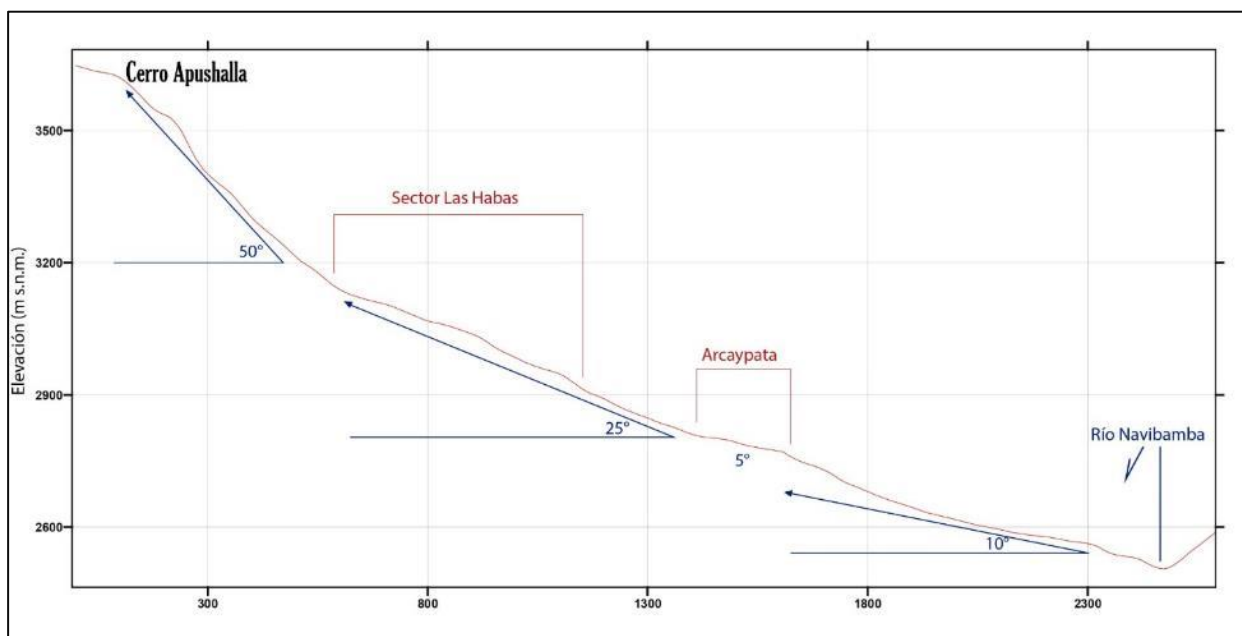


Figura 11. Perfil A-B del corte presentado en el mapa 2 anexo 1, muestra las pendientes del terreno en base a un DSM de 4 cm/px.

4.2. Unidades geomorfológicas

Para realizar su caracterización (mapa 3-anexo 1), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual; en base a aspectos del relieve en relación con la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez et al., 2019).

4.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Están representadas por las formas de terreno resultados del efecto progresivo de procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales (Villota, 2005).

Subunidad de montañas en roca sedimentaria (RM-rs): Está conformada por secuencias sedimentarias, representada por el cerro Apushalla, que presenta una altura promedio de 630 m desde la base local (río Navibamba).

Por el este limita con el río Navibamba, las vertientes coluvio-deluviales y los depósitos de deslizamiento.

Sus laderas presentan pendientes abruptas ($>45^\circ$), de formas irregulares correspondientes a procesos de disolución kárstica como lapiaces.

Subunidad de montañas en roca volcánico-sedimentaria (RM-rvs): Está conformada por secuencias litológicas volcánico-sedimentarias, por el oeste limita con el río Navibamba y depósitos coluviales, presenta una altura de aproximadamente 600 m, con ladera de pendiente fuerte ($25^\circ-45^\circ$).

4.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

Están representadas por formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores, aquí se tienen:

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd): Se forma por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial, se presentan a aproximadamente 1000 m longitudinales al oeste del río Navibamba teniendo como límite las laderas de la montaña en roca sedimentaria (sector Las Habas), presenta una forma convexa con una pendiente promedio de 25° , esta subunidad ha sufrido procesos de erosión generando cárcavas profundas (3 m), además gran parte de ella es usada como terrenos de cultivo..

Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd): Corresponde a las acumulaciones de laderas originadas por procesos de deslizamientos, antiguos y recientes. Corresponde a los eventos que cubrieron ladera este del cerro Apushalla, presenta zonas cóncavas en su parte alta y convexas en la parte baja, la mayoría de estas geoformas se observan en la margen derecha del río Navibamba, donde las pendientes de los terrenos son variables predominando pendientes fuertes ($25^\circ-45^\circ$).

Terraza aluvial (T-al): Se trata de superficies de pendiente moderada (5°), se presenta en la margen izquierda del río Navibamba con una altura aproximada de 10 m desde su cauce.

4.2.3. Otras geoformas.

Cárcavas (ca): Es una incisión producida sobre suelos y rocas del tipo arcillas con pendientes acusadas, por la acción del agua de escorrentía.

En el sector Las Habas se trata de hendiduras estrechas y profundas separados por aristas, excavadas por la erosión de aguas de escorrentía superficial en materiales blandos (matriz limosa) carentes de vegetación mayoritariamente presentes en la ladera este del cerro Apushalla.

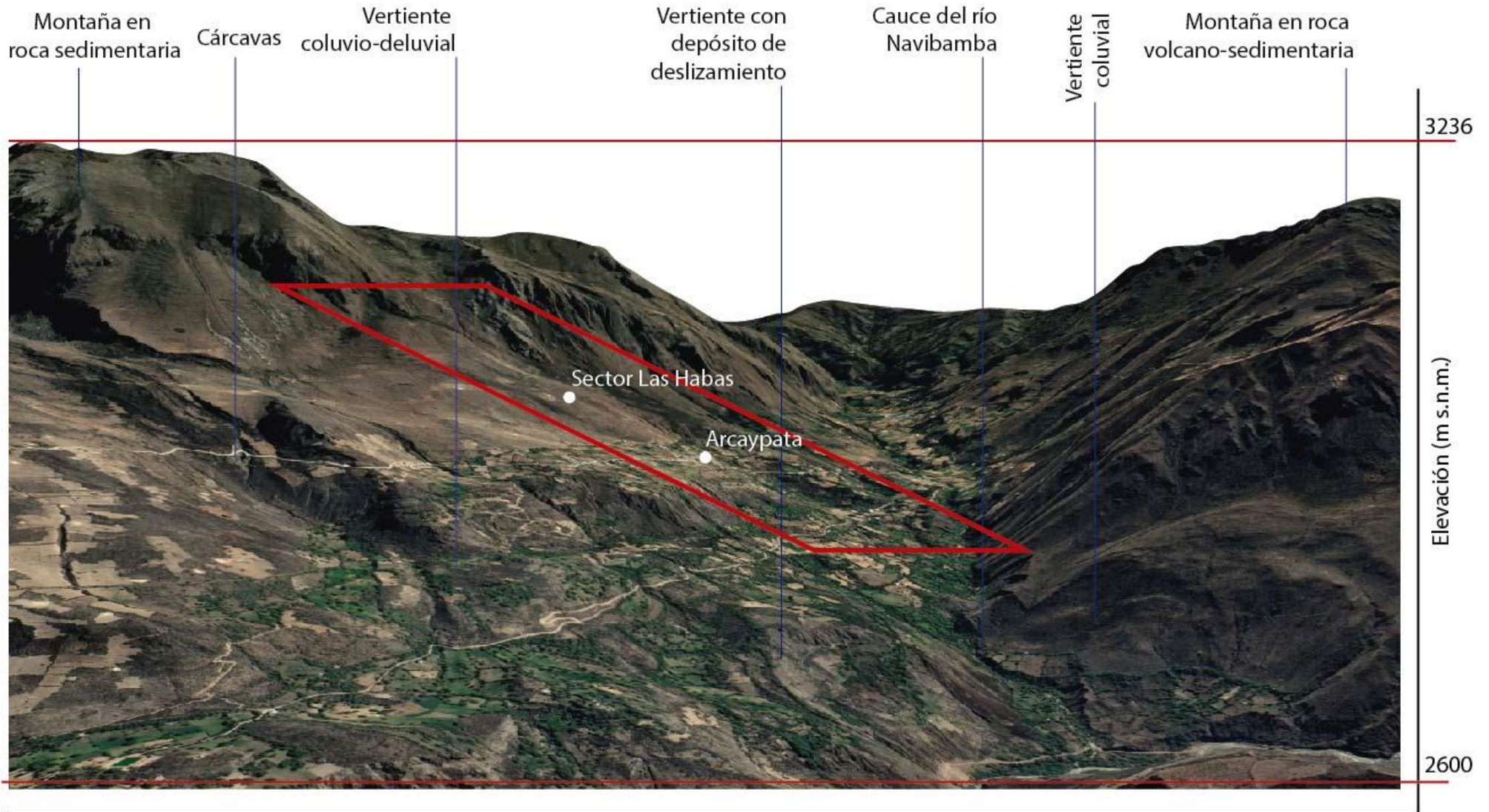


Figura 12. Vista 3D de las unidades geomorfológicas identificadas el área de inspección.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en el sector Las Habas y el caserío Arcaypata, corresponden a movimientos en masa activados sobre un depósito coluvio-deluvial.

La caracterización de peligros geológicos, se realizó en base a la información obtenida de trabajos en campo; donde se clasificaron los tipos de movimientos en masa, basados en la observación, descripción litológica y morfométrica in situ de los mismos, así como la toma de puntos GPS, medidas con distanciómetro láser, fotografías a nivel de terreno y fotografías aéreas que sirvieron para la elaboración de ortomosaicos y modelos digitales de superficie sobre los cuales se realizó el cartografiado.

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

5.1.1. Deslizamientos

Se identificaron 03 deslizamientos activos en la ladera este del cerro Apushalla, margen derecha del río Navibamba.

Deslizamiento Da-1 (Deslizamiento activo)

Según la versión de los pobladores este deslizamiento empezó en abril del 2022, coincidiendo con lluvias intensas, y manifestándose en primera estancia a través de grietas perpendiculares a la pendiente de la ladera, y en el mes de marzo se habría conformado la escarpa principal, parte del material deslizado se habría canalizado por cárcava adyacente denominada localmente quebrada “Alto Las Habas”.

Características del deslizamiento:

- La corona superior se encuentra en la cota: 3024 m s.n.m.
- Longitud del escarpe: 40 m (figura 13)
- Salto del escarpe principal: 2 m (figura 14).
- Avance horizontal: 3.5 m.
- El pie de avance del deslizamiento se encuentra en la cota: 2960 m s.n.m.
- Diferencia entre la cota de la corona y pie de avance: 64 m
- Longitud del deslizamiento: 133 m.
- Ancho promedio del deslizamiento: 47 m.
- Área del deslizamiento: 0.65 ha.
- Volumen estimado: 408 000 m³.

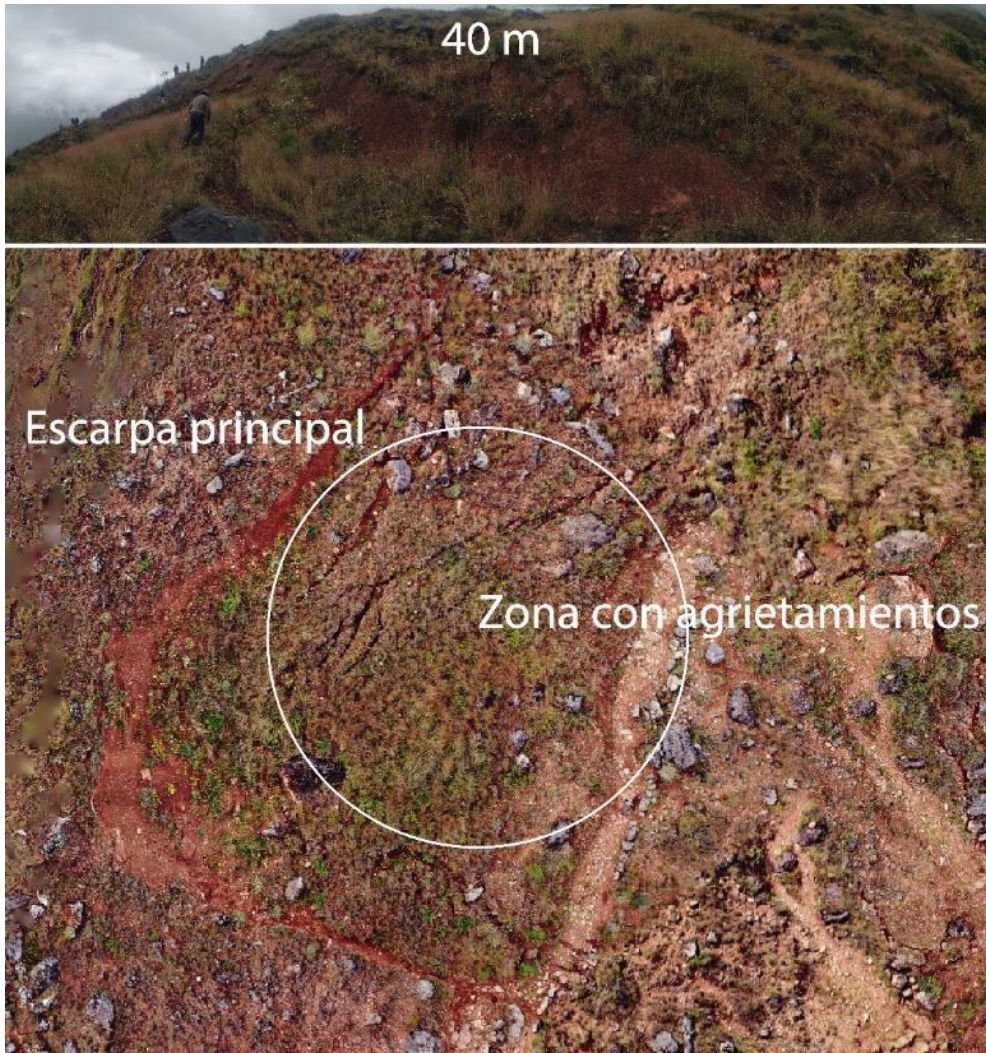


Figura 13. Escarpe principal del deslizamiento Da-1.



Figura 14. Escarpe principal del deslizamiento Da-1.

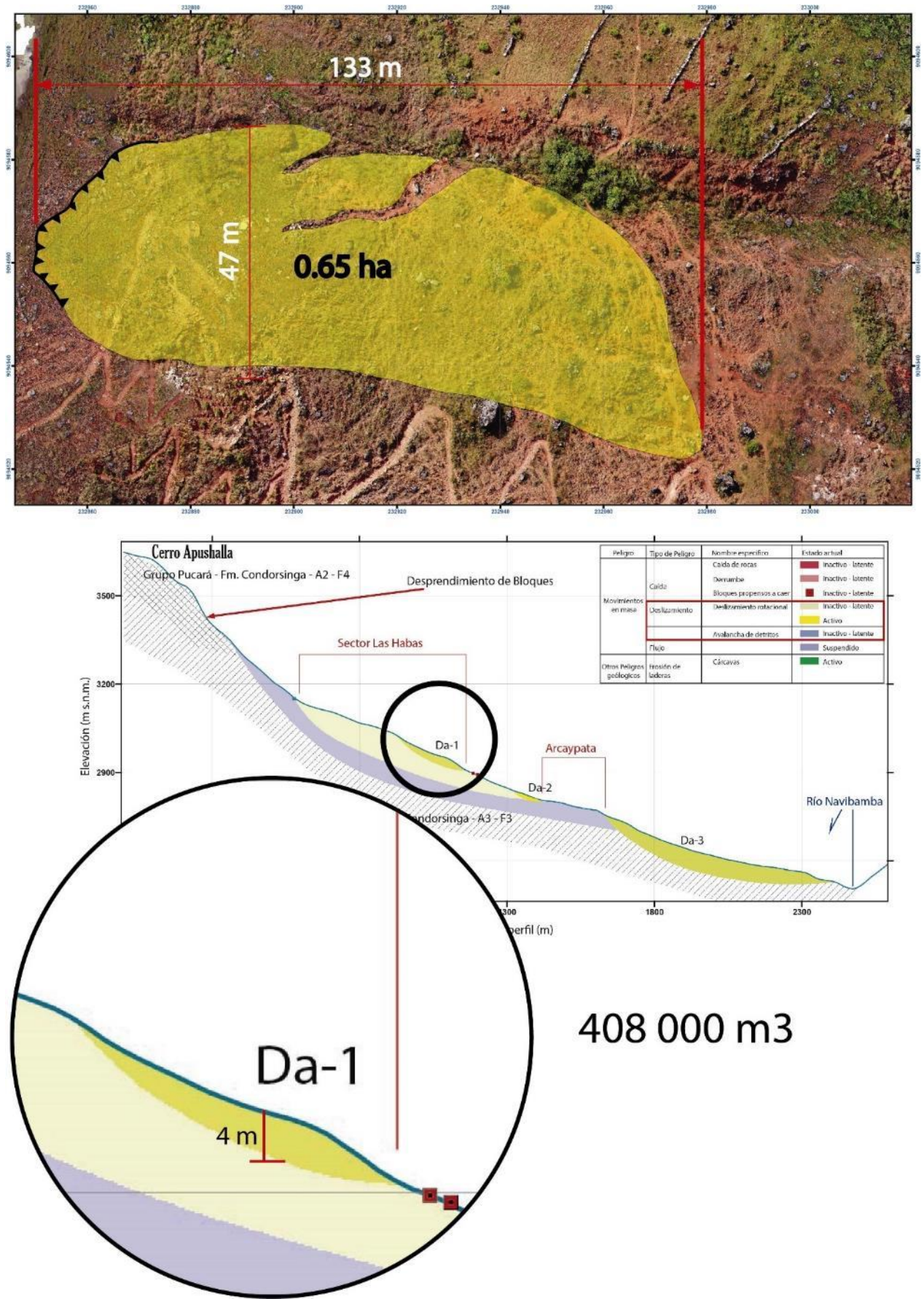


Figura 15. Medidas del deslizamiento Da-1.

Deslizamiento Da-2 (Deslizamiento activo)

Este deslizamiento se encuentra en el caserío Arcaypata, fue producido debido al corte de laderas para la expansión urbana, como medidas correctivas se pueden realizar blanqueamientos

Características del deslizamiento:

- La corona superior se encuentra en la cota: 2872 m s.n.m.
- Longitud del escarpe: 25 m (figura 13)
- Salto del escarpe principal: varia de un máximo 1 m a 0.5 m (figura 16).
- Avance horizontal: < 1 m.
- El pie de avance del deslizamiento se encuentra en la cota: 2861 m s.n.m.
- Diferencia entre la cota de la corona y pie de avance: 11 m
- Longitud del deslizamiento es de: 60 m.
- Ancho promedio del deslizamiento es 25 m.
- Área del deslizamiento: 0.16 ha.
- Volumen estimado: 2 000 m³.

Deslizamiento Da-3 (Deslizamiento activo)

Este deslizamiento fue identificado satelitalmente, se ubica en la margen derecha del río Navibamba, por debajo del caserío de Arcaypata.

Características del deslizamiento:

- La corona superior se encuentra en la cota: 2771 m s.n.m.
- Longitud del escarpe: 300 m .
- Salto del escarpe principal: varia de un máximo de 10 m a 5 m (figura 16).
- Avance horizontal: < 7 m.
- El pie de avance del deslizamiento se encuentra en la cota: 2538 m s.n.m.
- Diferencia entre la cota de la corona y pie de avance: 233 m
- Longitud del deslizamiento: 670 m.
- Ancho promedio del deslizamiento es 201 m.
- Área del deslizamiento: 14 ha.
- Volumen estimado: > =1,345,300 m³.

Este deslizamiento considerado activo, ha producido el colapso de una vivienda en las coordenadas UTM, WGS 84, 18 s: Este: 233572.m y Norte: 9094643 m S

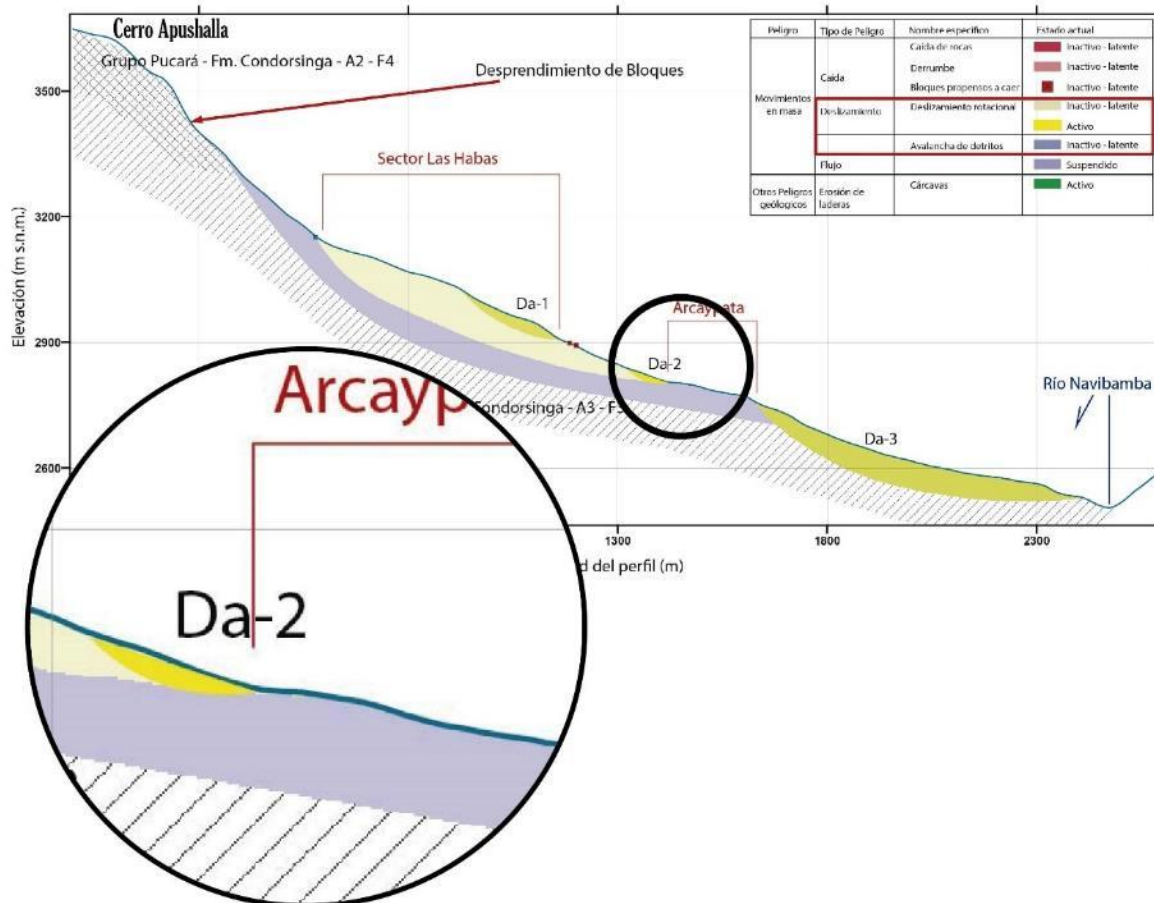


Figura 16. Medidas del deslizamiento Da-2.

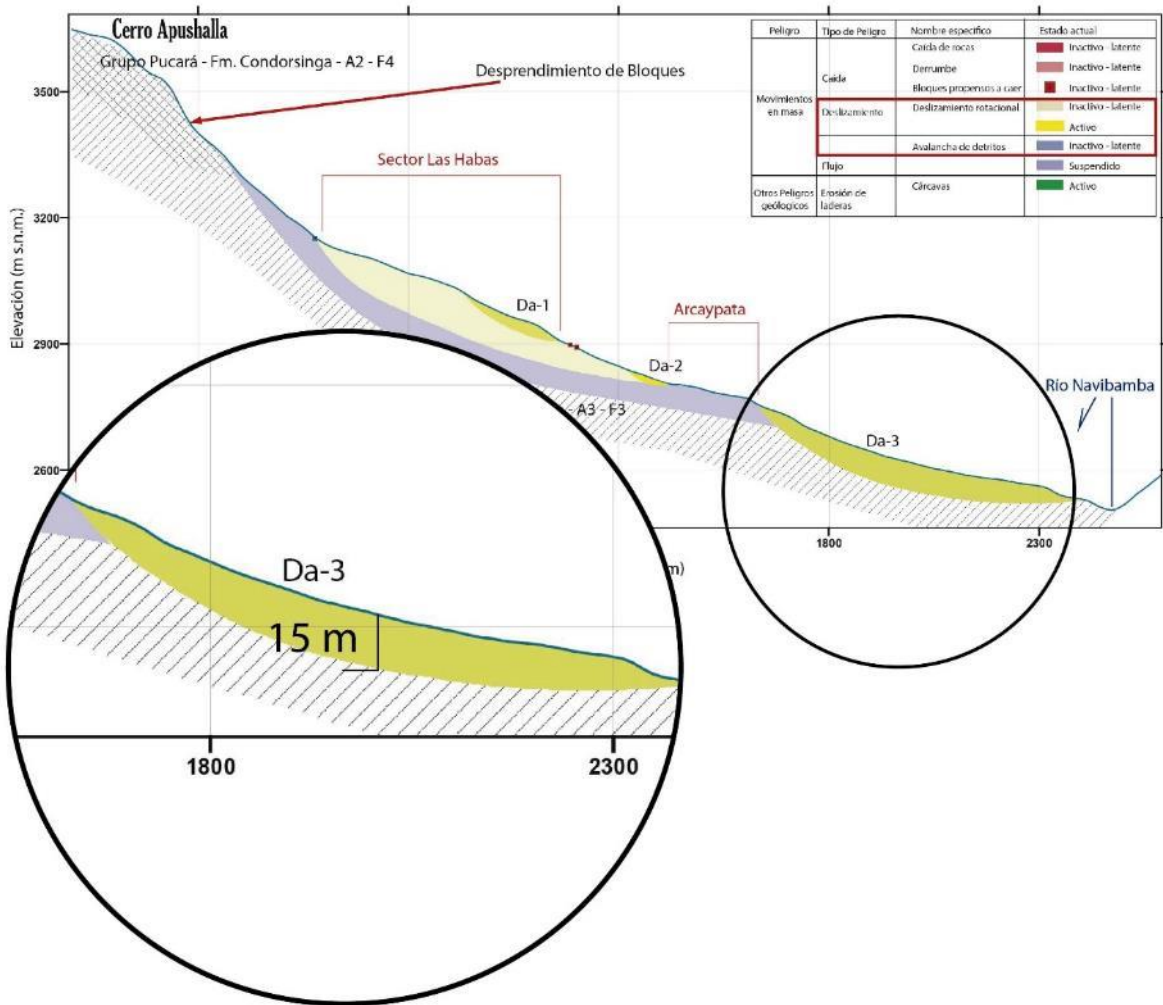
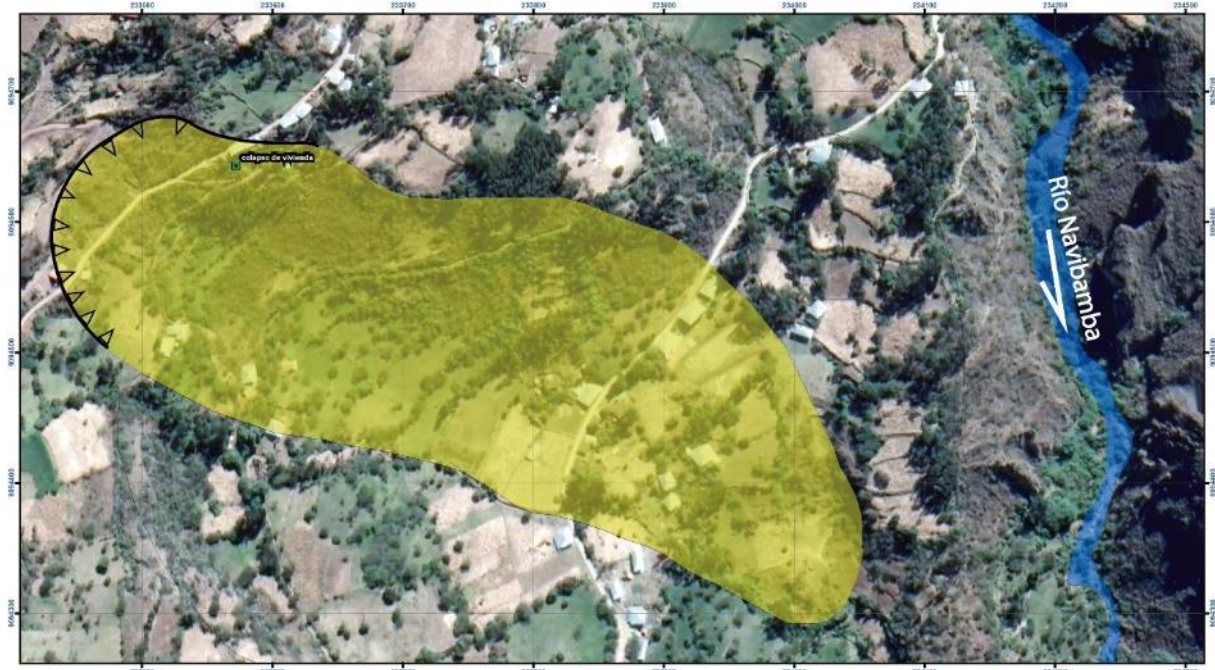


Figura 17. Medidas del deslizamiento Da-3.



Figura 18. Medidas del deslizamiento Da-3.

Se debe tener en cuenta que entre en caserío de Arcaypata (extremo oeste) y el cauce del río Navibamba existen numerosos deslizamientos antiguos con longitudes de escarpas métricas. Estos deslizamientos podrían alterar la estabilidad del terreno y aumentar la probabilidad de futuros deslizamientos, especialmente durante períodos de intensas lluvias u otros factores desencadenantes (figura 19).

La reactivación de estos deslizamientos antiguos conlleva un peligro para el caserío Arcaypata si nuevas viviendas se ubican en áreas vulnerables expuestas a ellas, por ello es recomendable mantener distancia de la escarpa principal e iniciar procesos de mitigación como forestación,



Figura 19. Posibles evidencias de reactivaciones que llegan a Arcaypata, caída de muros de contención cercano a la plaza e iglesia del caserío.

5.1.2. Caídas

Caída de rocas:

El sector las Habas es un área propensa a caída de rocas, que pueden provenir de la montaña Apushalla (ladera este). Ver figura 20.

Unas de las causas para la generación de la caída de rocas, es ladera con pendientes escarpadas que incrementan la velocidad de caída y fuerza de impacto. Otro es que la caliza se encuentra fracturada, presenta grietas y fisuras que generan bloques sueltos.

Los depósitos de caída de rocas, en el sector Las Habas, tienen diámetros variados entre 2 y 4 metros, lo que implica que pueden caer bloques de diferentes tamaños y pesos. Los bloques de mayor tamaño tendrían un impacto más significativo y pueden representar un mayor peligro debido a su potencial destructivo (figuras 20, 22 y 23).

Otros factores que pueden provocar la caída de rocas en este sector son:

- Erosión: La erosión debilita la estabilidad de las rocas y puede hacer que se desprendan. Factores como la acción del agua, el viento, el cambio de temperaturas, la congelación-descongelación y la presencia de vegetación pueden contribuir a la erosión.
- Precipitaciones intensas: Las lluvias fuertes pueden saturar el suelo, incrementar la presión de agua en las fisuras de las rocas y aumentar el riesgo de desprendimiento.

Estos factores combinados hacen que el sector sea propenso a caída de rocas, y es fundamental tomar medidas de seguridad adecuadas, como la instalación de barreras de contención o la restricción del acceso a la zona.



Figura 20. Evidencia de caída de rocas reciente e impactos en bloques anteriores.

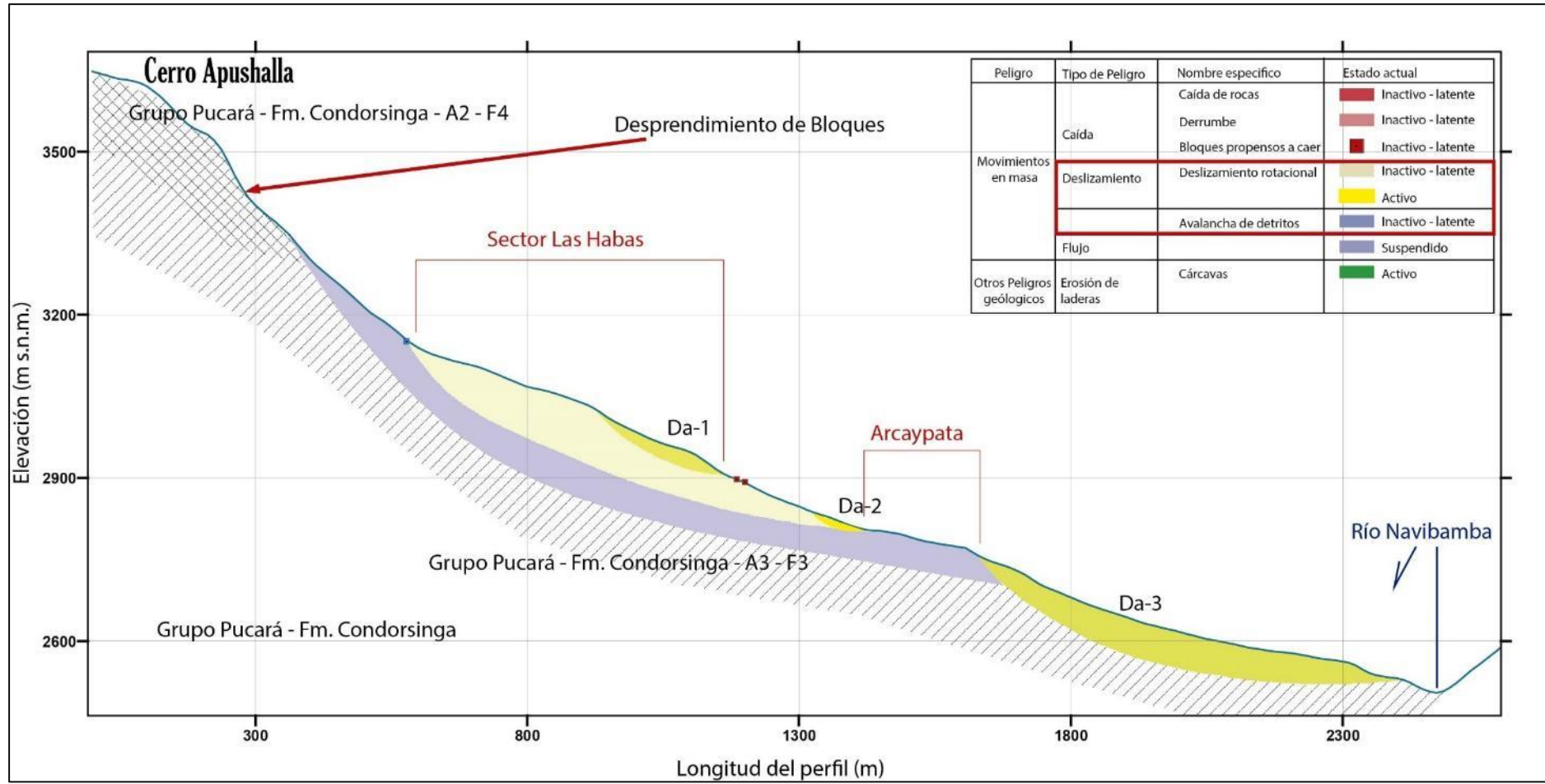


Figura 21. Muestra la zona de desprendimiento de bloques de roca y su posterior caída.

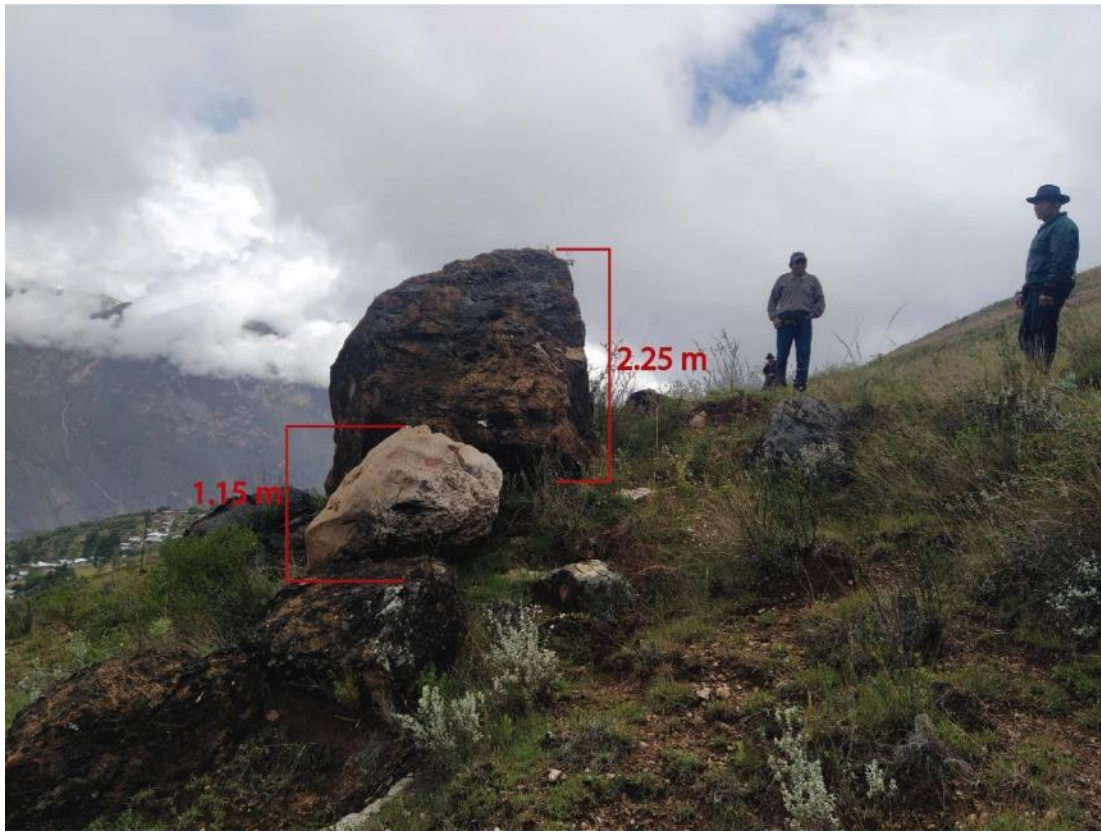


Figura 22. Muestra diámetros de bloques caídos de depósitos en el sector Las Habas, por encima del caserío de Arcaypata.



Figura 23. Muestra diámetros máximos de bloques caídos de depósitos en el sector Las Habas, por encima del caserío de Arcaypata.

Derrumbes:

Estos eventos se presentan en la margen izquierda del río Navibamba, se refieren a desprendimientos de tierra y rocas que ocurren en la ladera oeste de una montaña, está compuesta principalmente por rocas volcánico sedimentarias (Gpo. Mitu). Estos derrumbes se caracterizan por tener alturas máximas de hasta 15 metros.

Las rocas volcánico sedimentarias son el resultado de la acumulación de material volcánico y sedimentos depositados en capas a lo largo del tiempo. Estas rocas pueden ser relativamente frágiles y propensas a la descomposición y la erosión.

5.1.3. Flujos

Avalancha de rocas y detritos

Se ha registrado eventos antiguos de avalanchas de rocas en la ladera este del cerro Apushalla. Estos eventos hacen referencia a episodios pasados, que produjeron desprendimientos masivos de rocas en esa área específica.

Por las condiciones estructurales, en este caso las rocas calizas son susceptibles, por presentar fracturamiento (muy alto con aperturas de 3 cm), otro factor es que debido a su composición soluble en agua. A lo largo del tiempo, estas características geológicas han contribuido a la inestabilidad de la ladera y han propiciado la ocurrencia de avalanchas de rocas. Es importante tener en cuenta los eventos antiguos de avalanchas de rocas y detritos al planificar y desarrollar actividades en la ladera este del cerro Apushalla.

5.1. Otros Peligros Geológicos

5.1.1. Erosión de laderas.

La formación de cárcavas en la ladera este del cerro Apushalla, donde existe material coluvio-deluvial limo arcilloso, se caracteriza por la presencia de depresiones o surcos en el terreno, con amplitudes que varían entre 2 y 7 metros y longitudes de 117 m (figuras 24-26).

El material coluvio-deluvial limo arcilloso se refiere a la acumulación de sedimentos transportados por la gravedad y los procesos de deslizamiento en la ladera. Estos sedimentos están compuestos principalmente por limo y arcilla, además de gravas y bloques de roca, lo que los hace propensos a la erosión y a la formación de cárcavas.

La formación de erosiones de ladera en esta área esta condicionada por varios factores:

- Escorrentía superficial: El agua de lluvia u otros flujos de agua pueden correr por la superficie de la ladera, generando surcos y cárcavas a medida que erosionan y arrastran los sedimentos limo arcillosos.
- Inestabilidad del terreno: La presencia de sedimentos coluvio-deluviales indica que el terreno ya ha experimentado procesos de movimiento de masas. La inestabilidad del terreno puede conducir a la formación de surcos o cárcavas a medida que los sedimentos son arrastrados y erosionados por la acción del agua.

- Pendiente pronunciada: Si la ladera tiene una pendiente empinada, aumenta la velocidad del agua de escorrentía y la erosión resultante, lo que puede acelerar la formación de cárcavas.
- Ciclos de humedad y sequedad: Estos ciclos pueden contribuir a la formación de cárcavas. El agua puede infiltrarse en los sedimentos arcillosos, provocando su expansión, y luego, durante períodos secos, la contracción puede resultar en grietas y desmoronamientos que amplifican la formación de cárcavas.

La presencia de cárcavas en la ladera este del cerro Apushalla puede representar un peligro para la estabilidad del terreno y para las estructuras y áreas cercanas. Estas depresiones pueden crecer con el tiempo y provocar el colapso de porciones de la ladera.

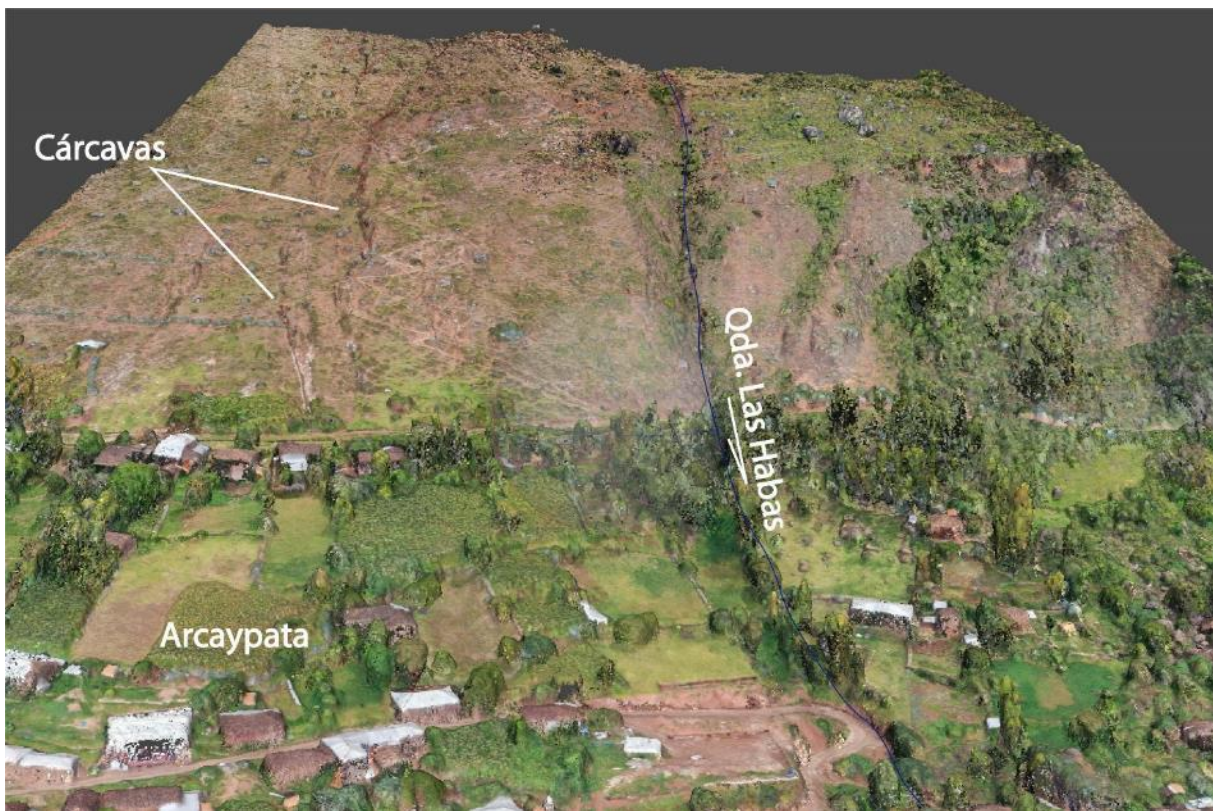


Figura 24. Cárcavas en la ladera este del cerro Apushalla (sector Las Habas), por encima del caserío Arcaypata.

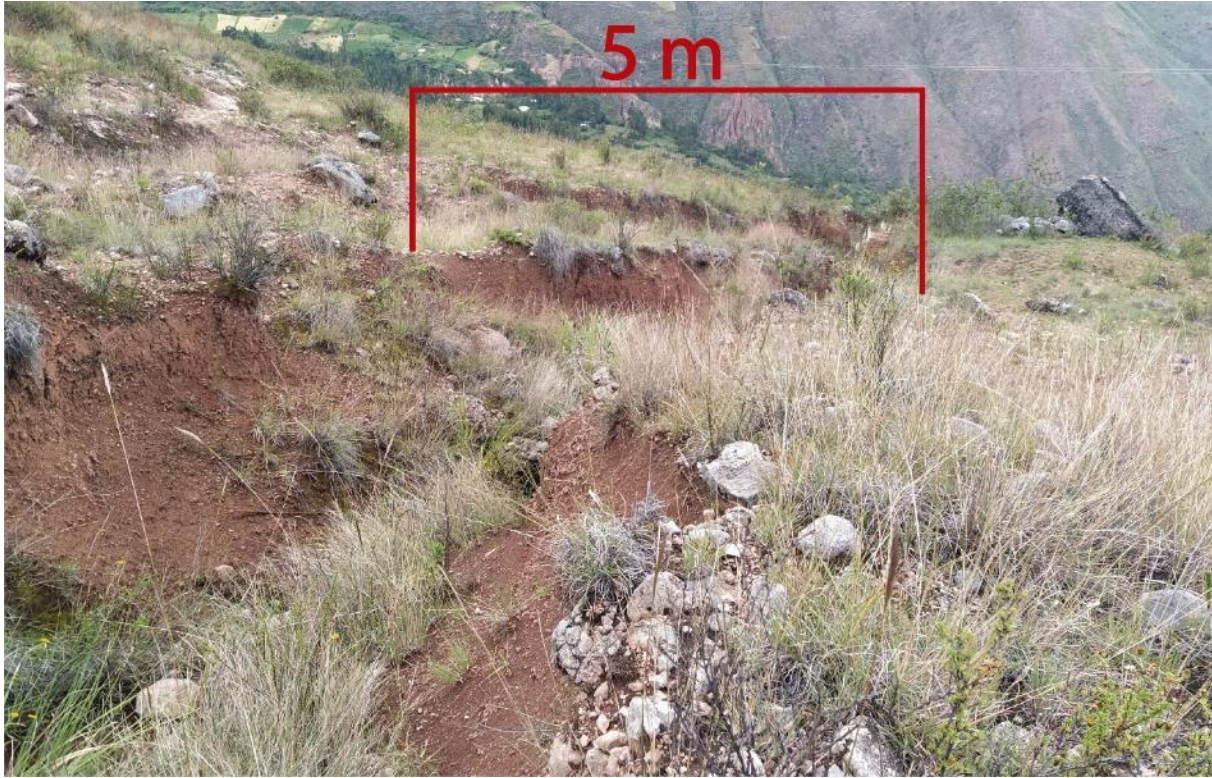


Figura 25. Cárcavas con anchos de 5 m y profundidad de 2 m.

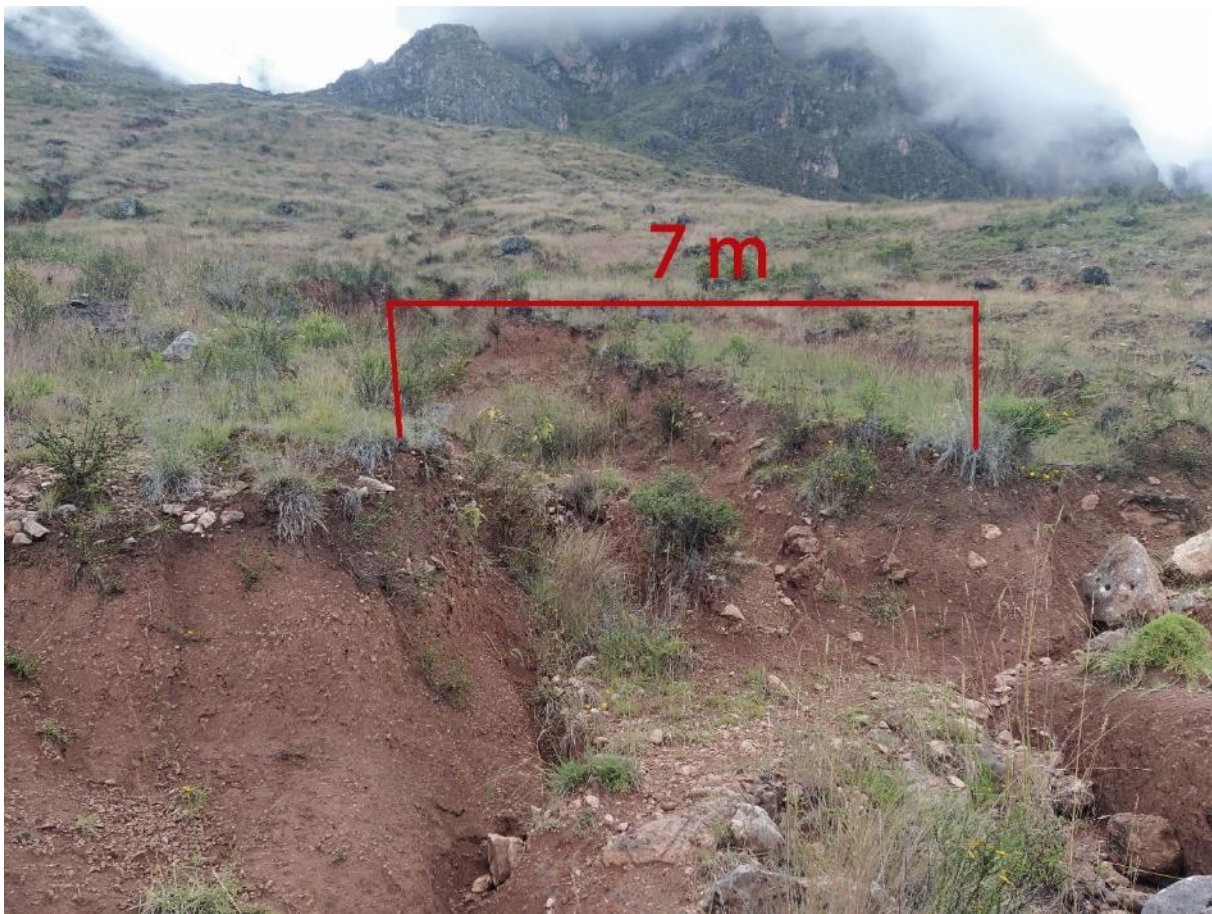


Figura 26. Cárcavas con anchos de 7 m y profundidad de 2.5 m.

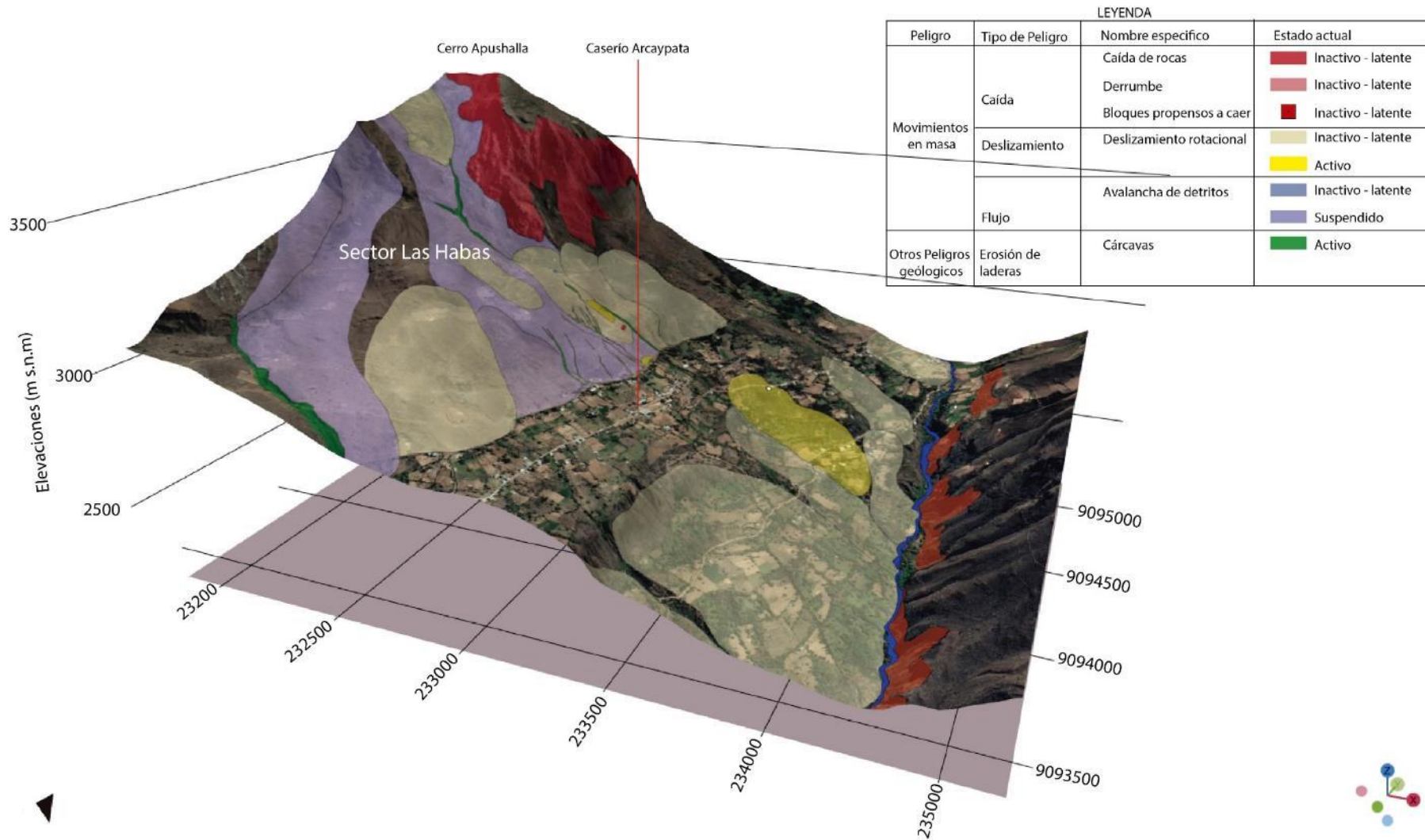


Figura 27. Representación 3D de los peligros identificados en el área de estudio.

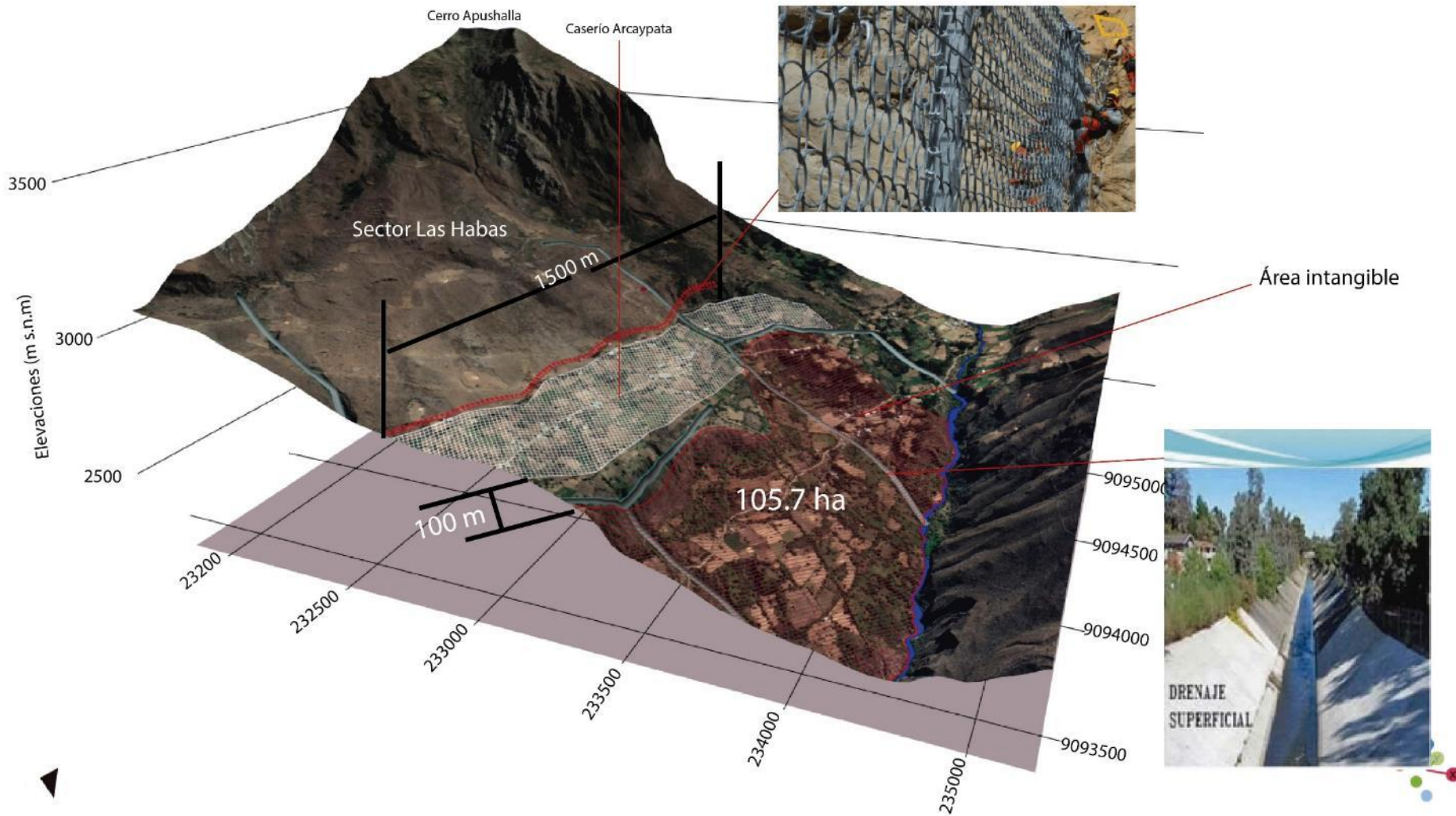


Figura 28. Representación esquemática de medidas de mitigación que deben efectuarse para asegurar la estabilidad del terreno en el caserío Arcaypata.

5.2. Factores condicionantes

La ocurrencia de movimientos en masa en el sector Las Habas y caserío Arcaypata están condicionados principalmente por la geomorfología del área, sus características geológicas y actividades antrópicas. Dentro de las características intrínsecas que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa en el sector evaluado se tienen:

Factor geomorfológico y de relieve

- Las pendientes pronunciadas facilitan el efecto de la gravedad sobre el terreno, cuanto más empinada es la pendiente, mayor es la fuerza gravitatoria que actúa sobre el suelo y rocas sueltas, lo que aumenta la posibilidad de que se desplacen cuesta abajo. Teniendo en cuenta que las laderas del cerro Apushalla presentan pendientes escarpada a muy escarpada, lo hace muy susceptible a la generación de procesos en movimientos en masa. Esta configuración es similar en ladera este, por debajo del caserío de Arcaypata.
- Las pendientes empinadas permiten que la gravedad ejerza una mayor fuerza sobre las rocas. Cuanto más pronunciada es la pendiente, mayor es la inclinación que tienen las rocas hacia la dirección descendente. Esta fuerza gravitacional puede superar la resistencia de las rocas y provocar su caída desde la ladera este del cerro Apushalla.
- En las pendientes fuertes del sector Las Habas, el agua de lluvia tiende a fluir rápidamente cuesta abajo en forma de escorrentía superficial. A medida que el agua fluye, puede erosionar y transportar partículas de suelo y sedimentos, debilitando la estructura del terreno y generando cárcavas en el proceso.

Factor litológico

- El material coluvio-deluvial, al ser una mezcla de sedimentos transportados y depositados por la gravedad, puede ser fácilmente erosionable y propenso a generar deslizamientos y cárcavas. Esta mezcla de sedimentos incluye partículas de diferentes tamaños, como arena, limo, arcilla, rocas sueltas e incluso bloques en la matriz así:
 - La presencia de partículas finas como el limo y la arcilla en el material coluvio-deluvial le confiere una menor cohesión y resistencia. Estas partículas son más susceptibles a ser arrastradas por el agua debido a la gravedad, lo que aumenta el riesgo de erosión y formación de cárcavas.
 - El material coluvio-deluvial suelto y no compactado, hace que sea más propenso a desplazamientos y movimientos en respuesta a la gravedad y la erosión, lo que puede conducir a deslizamientos y cárcavas.
 - La presencia de bloques de roca en el material coluvio-deluvial agrega complejidad al comportamiento del terreno. Los bloques pueden actuar como obstáculos en la escorrentía del agua, creando diferencias en el flujo y la erosión. Además, pueden tener diferentes características de estabilidad y erosión en comparación con el resto del material, lo que puede agravar la susceptibilidad a deslizamientos y cárcavas en ciertas áreas.
- Las rocas calizas que conforman la ladera este del cerro Apushalla son relativamente blandas y propensas a la fractura y desintegración en comparación con otros tipos de

rocas. Las fracturas existentes en las rocas calizas pueden debilitan la estructura general de la ladera y facilitar la caída de rocas.

- Las rocas calizas presentan fracturas y fisuras debido a procesos geológicos, como la disolución y la erosión química. Estas grietas y fisuras (de hasta 3 cm, algunas con relleno de calcita) proporcionan puntos de debilidad donde las rocas pueden separarse y caer.
- Las rocas calizas son susceptibles a la disolución por la acción del agua. Cuando el agua penetra por sus grietas y fisuras, puede disolver la matriz cementante y debilitar aún más la estructura de las rocas. Esto puede conducir a la caída de rocas en pendientes escarpadas.

Factor Hidrológico

- La presencia de agua en el suelo aumenta la presión intersticial en los poros, reduciendo la resistencia efectiva del suelo. Esto puede llevar a una disminución en la capacidad de carga del suelo y a la inestabilidad de este, en el sector Las Habas y en la ladera por debajo del caserío de Arcaypata (margen derecha del río Navibamba) lo que puede resultar en deslizamientos.
- Cuando el suelo se satura con agua, pierde su capacidad de drenaje adecuado. La sobresaturación del suelo puede reducir significativamente la cohesión y la resistencia al corte del suelo, lo que aumenta el riesgo de deslizamientos.

5.3. Factores desencadenantes

Se consideran la lluvia como factor desencadenante de deslizamientos, cárcavas y caída de rocas debido principalmente a:

- Deslizamientos: La lluvia puede saturar el suelo, reduciendo su capacidad de soporte y aumentando la presión del agua en los poros. Esto disminuye la resistencia del suelo y puede desencadenar deslizamientos. La infiltración de agua en el suelo puede lubricar las superficies de deslizamientos antiguos, facilitando el deslizamiento de las capas de suelo.
- Cárcavas: La lluvia intensa puede generar un flujo de agua concentrado que erosiona el suelo y crea cárcavas. El agua de lluvia fluye rápidamente por la pendiente, llevándose consigo partículas de suelo y excavando depresiones en el terreno. Estas cárcavas pueden aumentar de tamaño con cada evento de lluvia y afectar la estabilidad de la ladera.
- Caída de rocas: La lluvia puede afectar la estabilidad de las rocas. El agua se infiltra en las grietas y fisuras de las rocas, provocando su expansión y contracción debido a los ciclos de humedad y sequedad. Esto puede debilitar las rocas y aumentar la probabilidad de que se desprendan y caigan como resultado de la gravedad.

Es importante destacar que no solo la cantidad total de lluvia es relevante, sino también la intensidad y la duración del evento de lluvia. Las intensas y prolongadas tienen un mayor impacto en la estabilidad del suelo y las rocas, ya que generan una mayor escorrentía y aumentan la presión del agua en el terreno.

Además, se debe tener en cuenta que factores sísmicos, como propagación de ondas sísmicas en los diferentes materiales de la ladera (suelo y roca), pueden desencadenar la reactivación de deslizamientos y caída de rocas.

6. CONCLUSIONES

1. El caserío Arcaypata se encuentra sobre sustrato rocosos de calizas y areniscas calcáreas de la Formación Condorsinga, los afloramientos de esta se observan en la ladera este del cerro Apushalla, donde la caliza presenta alto grado de fracturamiento y evidencias de meteorización como lapiaces en sus caras.
2. El sustrato rocoso se encuentra cubierto por depósito coluvio-deluviales (gravas limosas), de mediana plasticidad y fácil erosión, en la matriz de este se observan bloques de hasta 1 m de diámetro, que repercuten negativamente en la cohesión del depósito generando así cárcavas en la ladera con depósitos proluviales. La formación de cárcavas en la ladera este del cerro Apushalla, se caracteriza por la presencia de depresiones o surcos profundos en el terreno, con un espesor que varía entre 2 y 7 metros y longitudes.
3. El grado de fracturamiento en la ladera este del cerro Apushalla, genera el desprendimiento y posterior caída de bloques de roca (deposito coluvial) sobre el sector Las Habas.
4. Las pendientes de los terrenos se distribuyen de manera irregular en el área de estudio, así desde el cauce del río Navibamba hasta los límites del caserío de Arcaypata se tienen terrenos con pendientes promedio de 10 ° a 15°, Arcaypata como tal se encuentra en terrenos con pendiente de 5°, y el sector conocido como Las Habas presenta pendientes de 25° (depósito coluvio-deluvial) adosado a la ladera este de la montaña en roca sedimentaria (cerro Apushalla) con pendientes de hasta 50°.
5. Se identificaron 03 deslizamientos activos en la ladera este del cerro Apushalla, margen derecha del río Navibamba, el primero de ellos Da-1 se ubica en el sector Las Habas, presenta un salto de escarpe de 2 m y ocupa y área de 0.65 ha, el segundo de 0.16 ha se ubica en la ladera adyacente al caserío Arcaypata (se considera el de menor envergadura), el tercero denominado Da-3, esta entre el caserío Arcaypata y el río Navibamba, presenta una longitud de escarpe de 300 m y salto de 10 m, este corresponde a un deslizamiento en proceso de reactivación.
6. Se debe tener en cuenta que: entre en caserío de Arcaypata (extremo oeste) y el cauce del río Navibamba existen numerosos deslizamientos antiguos con longitudes de escarpas métricas. Estos deslizamientos podrían alterar la estabilidad del terreno y aumentar la probabilidad de futuros deslizamientos, especialmente durante períodos de intensas lluvias u otros factores desencadenantes.
7. Otro de los peligros identificados que pueden afectar al caserío de Arcaypata y al sector Las Habas son caída de rocas provenientes de la ladera este del Cerro Apushalla. Las rocas caídas en el sector Las Habas tienen diámetros variados entre 2 y 4 metros, lo que implica que pueden caer bloques de diferentes tamaños y pesos. Los bloques de mayor tamaño tendrían un impacto más significativo y pueden representar un mayor peligro debido a su potencial destructivo
8. De igual manera se identificó la ocurrencia de avalanchas de rocas en la ladera este del cerro Apushalla, compuesto por rocas calizas, registrados como eventos antiguos - relictos. Estos eventos hacen referencia a episodios pasados en los que se produjeron desprendimientos masivos de rocas en esa área específica.
9. Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas en el caserío Arcaypata y el sector Las Habas se les considera de **Peligro Alto** a movimientos en masa, teniendo que implementar medidas de atenuación y mitigación inmediatas para salvaguardar a la población y medios de vida.

7. RECOMENDACIONES

No estructurales

1. Realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR), a fin de evaluar los elementos expuestos teniendo en cuenta el mapa de peligros presentados en el presente informe, esto determinara si es necesaria la reubicación de viviendas en la ladera entre la margen derecha del río Navibamba y el límite del caserío Arcaypata.
2. Una de las formas más efectivas de controlar las cárcavas es estabilizando el suelo en la zona afectada. Esto se puede lograr mediante técnicas como la revegetación, donde se plantan vegetación de raíces profundas para mejorar la estructura y estabilidad del suelo, para ello se deben buscar plantas nativas que no necesiten mucha agua.
3. Sellar las grietas identificadas con materiales arcillosos para evitar la infiltración de las aguas pluviales en el deslizamiento Da-1
4. Es esencial realizar un monitoreo regular de las áreas afectadas por cárcavas y deslizamientos para detectar cualquier cambio o progresión en el tiempo. Esto permitirá tomar medidas preventivas oportunas y ajustar las estrategias de control según sea necesario.
5. Implementar planes de monitoreo constante (coordinación comunal) para identificar posibles movimientos mayores en las masas deslizantes.
6. Implementar una planificación adecuada del uso del suelo y regular las actividades humanas en áreas propensas a los deslizamientos (ver figura 28). Esto puede implicar la implementación de zonas de restricción en áreas de alto peligro, la adopción de códigos de construcción que consideren la estabilidad del suelo y la promoción de prácticas de construcción adecuadas.

Estructurales

1. Implementar medidas para controlar la erosión del suelo en el sector Las Habas para prevenir la formación de nuevas cárcavas o la expansión de las existentes. Esto puede implicar la construcción de terrazas, la colocación de mantas o mallas de control de erosión en áreas vulnerables, o el uso de técnicas de conservación del suelo, como la labranza mínima.
2. Implementar planes de desquinche de bloques con diámetros mayores a 2 m, ubicados en la ladera este del cerro Apushalla, adicionalmente se recomienda colocar barreras dinámicas para proteger el caserío de Arcaypata (figura 28).
3. El agua es uno de los principales desencadenantes de las cárcavas. Para controlarlas, es importante gestionar adecuadamente el flujo de agua en la zona. Esto puede incluir la construcción de canales de drenaje, zanjas o terrazas para redirigir el agua lejos de las áreas afectadas y prevenir su acumulación.
4. Los drenajes superficiales y subterráneos son medidas eficaces para mitigar los deslizamientos al controlar el agua en el terreno. Aquí se describen ambos tipos de drenajes:

Drenajes superficiales:

- Canales y zanjas: Construir canales y zanjas para recoger y redirigir el agua superficial lejos de las áreas propensas a los deslizamientos. Estos canales pueden tener revestimientos de concreto u otros materiales para prevenir la erosión del suelo.
- Badenes y alcantarillas: Instalar badenes y alcantarillas en los caminos y vías de acceso para permitir el flujo del agua y evitar su acumulación. Esto ayuda a prevenir el debilitamiento del suelo y la formación de cárcavas.
- Terrazas: Construir terrazas o banquetas en las laderas para reducir la velocidad del agua y facilitar su infiltración en el suelo. Esto ayuda a controlar la erosión y evita la saturación del terreno.

Drenajes subterráneos:

- Drenajes de subsuelo: Instalar drenajes subterráneos, como tuberías perforadas o drenes de tubo corrugado, para recoger y canalizar el agua subterránea lejos de las áreas propensas a los deslizamientos. Estos drenajes pueden colocarse en zonas con alto contenido de agua, como el pie de las laderas.

Nota: Todas las medidas estructurales deben ser diseñadas y supervisadas por especialistas teniendo en cuenta estudios geotécnicos, hidrológicos, hidrogeológicos y de factibilidad que determinen las medidas exactas y ubicación final de los mismos.



Norma Luz Sosa Senticala
Especialista en peligros geológicos
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

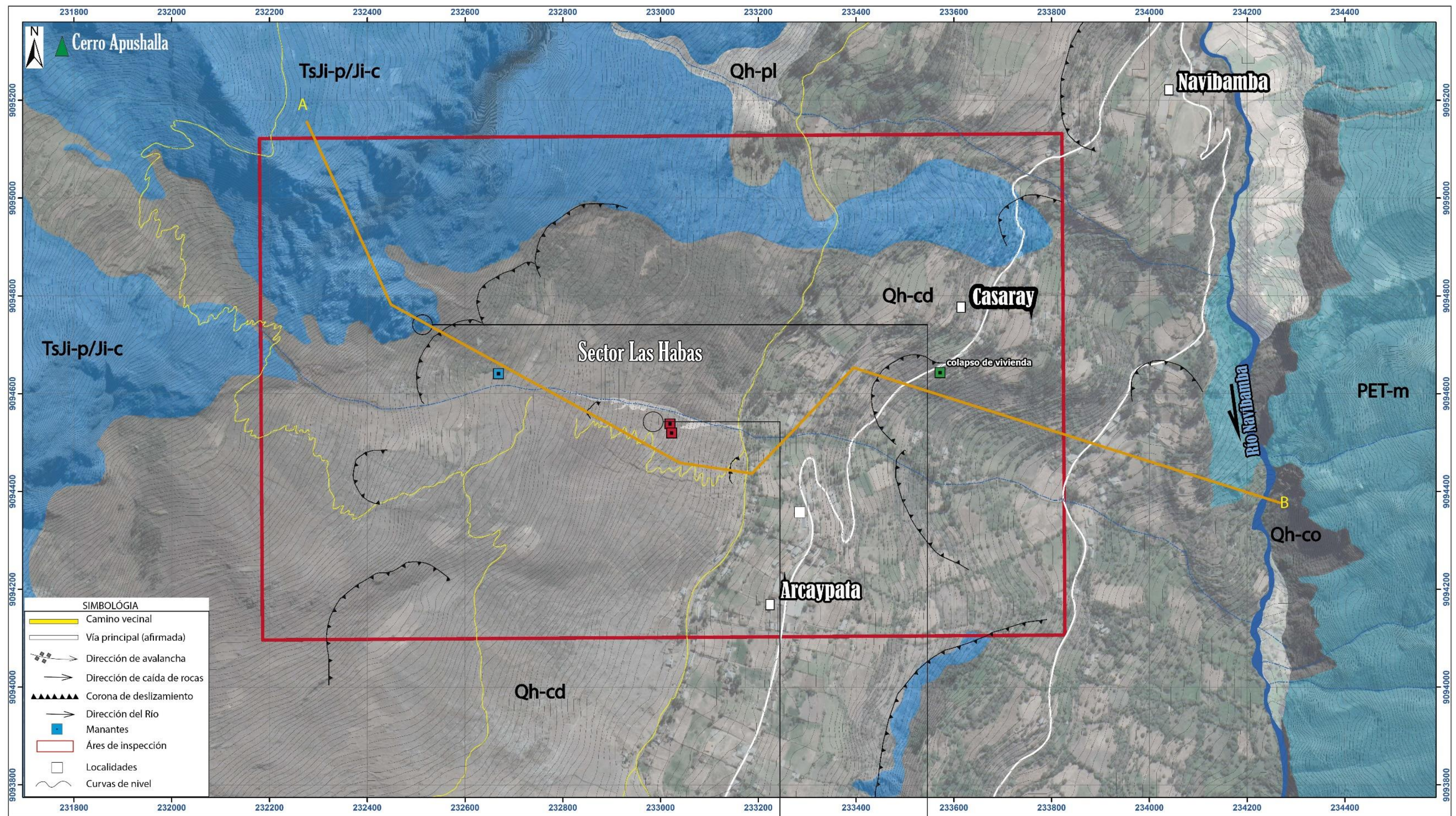


ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

8. BIBLIOGRAFÍA

- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- Davila y Celi (1994) – INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica; n° 12, Estudio Geodinámico de la Cuenca del río Huaura – Huaral, <https://hdl.handle.net/20.500.12544/267>
- Fuente de Datos Meteorológicos y Pronostico del tiempo del Servicio de Awhere. (2021). Disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/7508240>.
- Mejía Fernández (1998) – Hidrología e hidráulica, manual para el control de la erosión Manizales Colombia 1998. P 111-112
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>
- Valdivia y Latorre (2003) Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Abancay (28-q)- Escala 1:50 000 <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2166>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2010a) – Guía climática turística (en línea). Lima: SENAMHI, 216 p. (consulta: 03 junio 2015). Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>.
- Suárez, J. (1996) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos, 282 p.
- Varnes, J. (1978) - Slope movements types and processes. In: SCHUSTER, L. & KRIZEK, J. Ed, Landslides analysis and control. Washington D.C. National Academy Press Transportation Research Board Special Report 176, p.
- Villacorta, S.; Peña, F.; Jaimes, F.; Sosa, N.; Condori, E., et al. (2019). Evaluación integral de la cuenca del río Mariño (Abancay, Apurímac) para la prevención de desastres de origen geológico y geohidrológico. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 71, 175 p., 5 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2409>
- Zavala, B.; Vilchez M. & Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2003). Peligros geológicos en el área de Tayabamba – Huaylillas – Buldibuyo. Provincia Pataz – Región La Libertad. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A5712, 32 p.

ANEXO 1: MAPAS



SIMBOLÓGIA

- Camino vecinal
- Vía principal (afirmada)
- Dirección de avalancha
- Dirección de caída de rocas
- Corona de deslizamiento
- Dirección del Río
- Manantes
- Áreas de inspección
- Localidades
- Curvas de nivel

LEYENDA

EDAD		UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	
CENOZOICO	Holoceno-Cuaternario	Depósito Coluvio-deluvial	Qh-cd
		Depósito Coluvial	Qh-co
		Depósito Proluvial	Qh-pl
		Depósito Fluvial	TsJi-p/Ji-c
MESOZOICO	Jurásico	Grupo Pucará-Fm. Condorsinga	TsJi-p/Ji-c
	Triásico	Grupo Mitu	PET-m



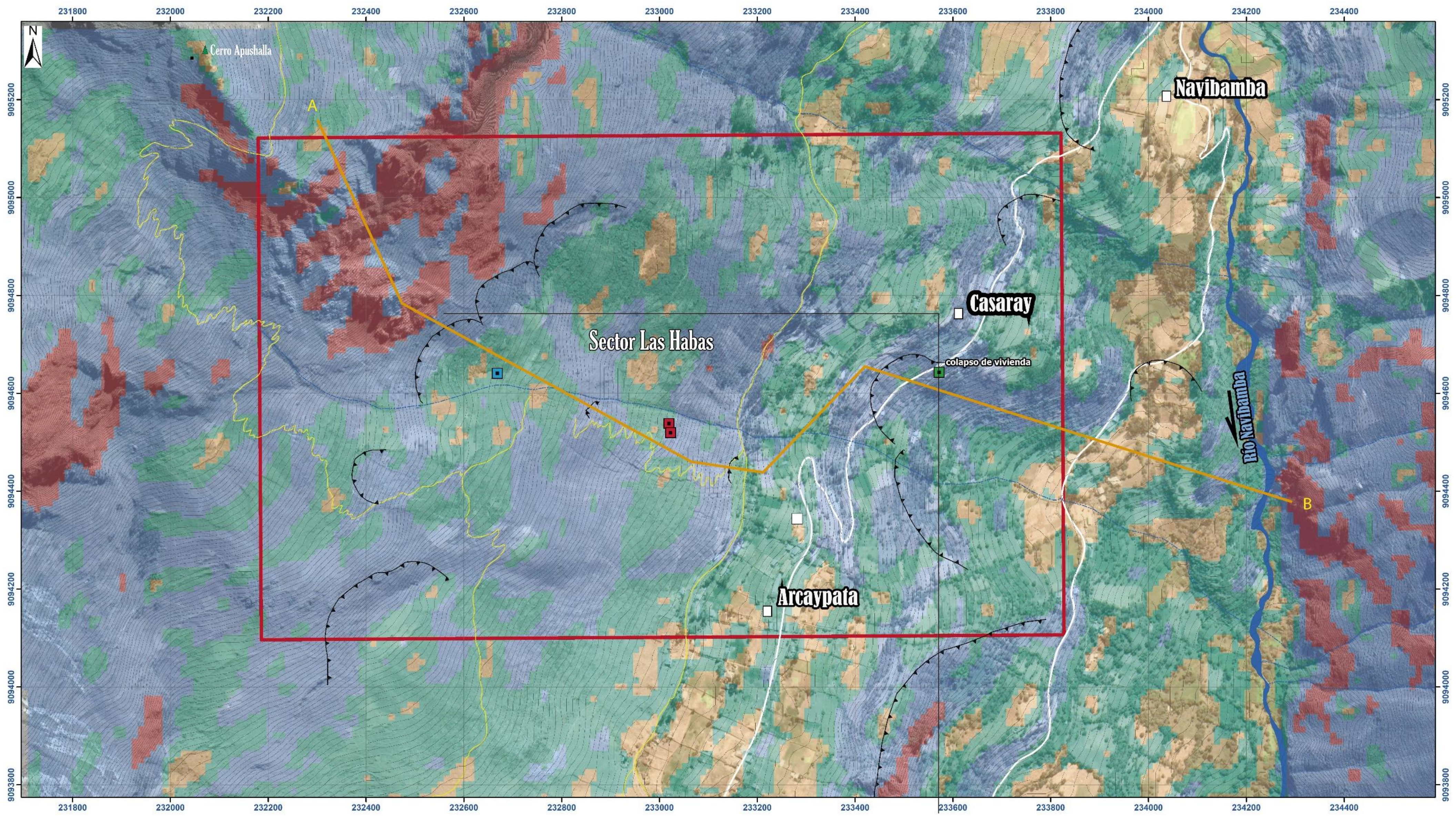
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLOGICOS A NIVEL NACIONAL
DEPARTAMENTO LA LIBERTAD
PROVINCIA PATATE
DISTRITO BULDIBUYO

Mapa de unidades geológicas en los alrededores del sector Las Habas del caserío Arcaypata

Escala: 1/5 000 escala de impresión A2 Elaborado por: G.Luna **MAPA 01**
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84
Versión digital 2023 Impreso: 2023

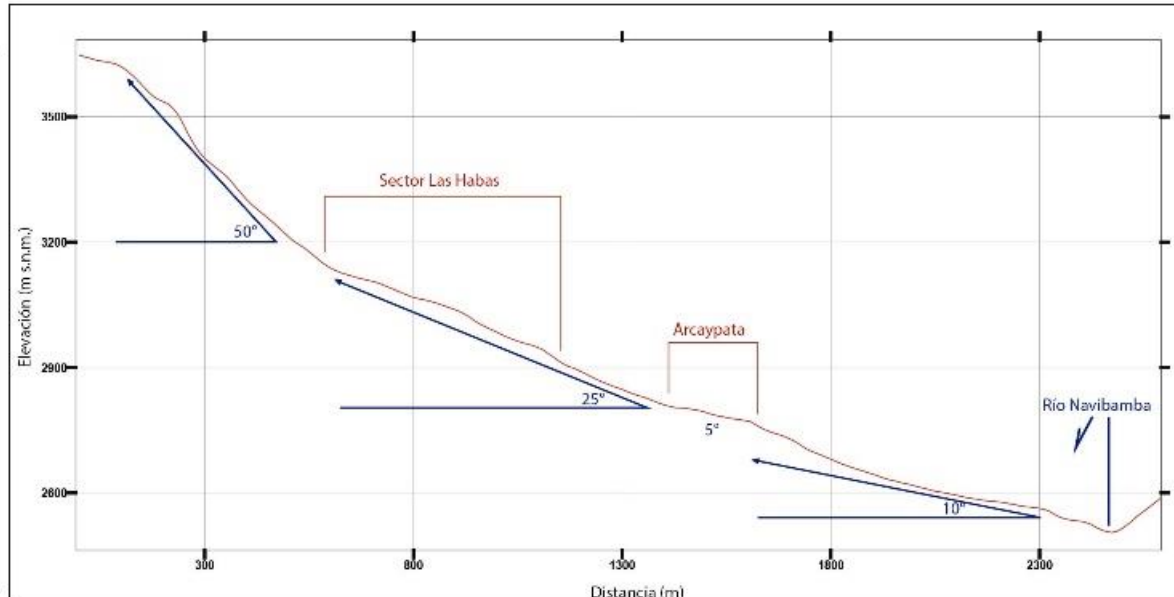


Leyenda

Rango	Superficie Topográfica
0° - 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

SIMBOLÓGIA

	Camino vecinal
	Vía principal (afirmada)
	Dirección de avalancha
	Dirección de caída de rocas
	Corona de deslizamiento
	Dirección del Río
	Manantes
	Áreas de inspección
	Localidades
	Curvas de nivel



INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

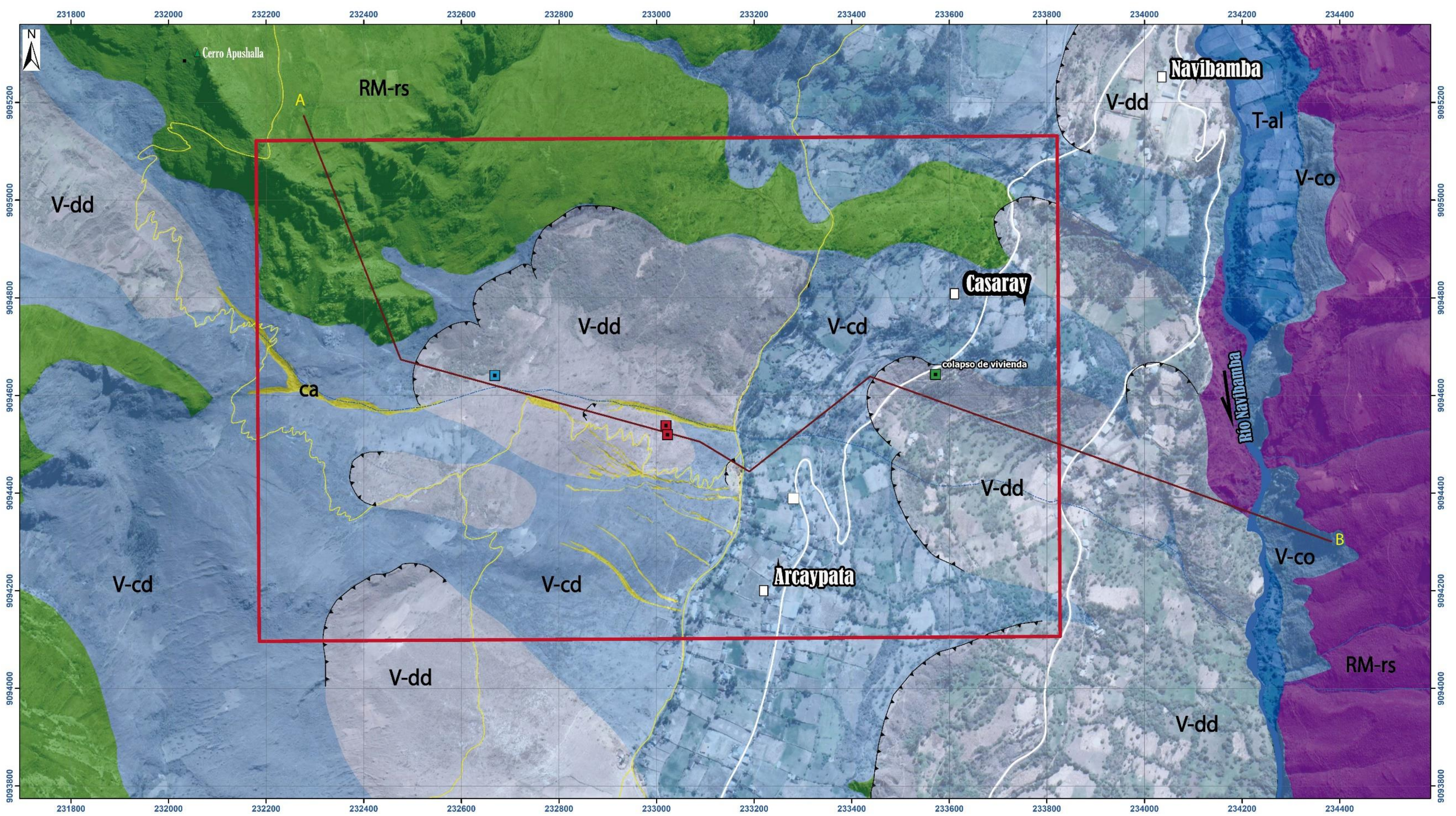
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL
DEPARTAMENTO LA LIBERTAD
PROVINCIA PATATE
DISTRITO BULDIBUYO

Pendientes del terreno en los alrededores del sector Las Habas del Caserío Arcaypata

Escala: 1/5 000 escala de impresión A2 Elaborado por: G. Luna
Proyección: UTM Zone 18 Sur Datum: WGS 84
Versión digital 2023 Impreso: 2023

MAPA 02

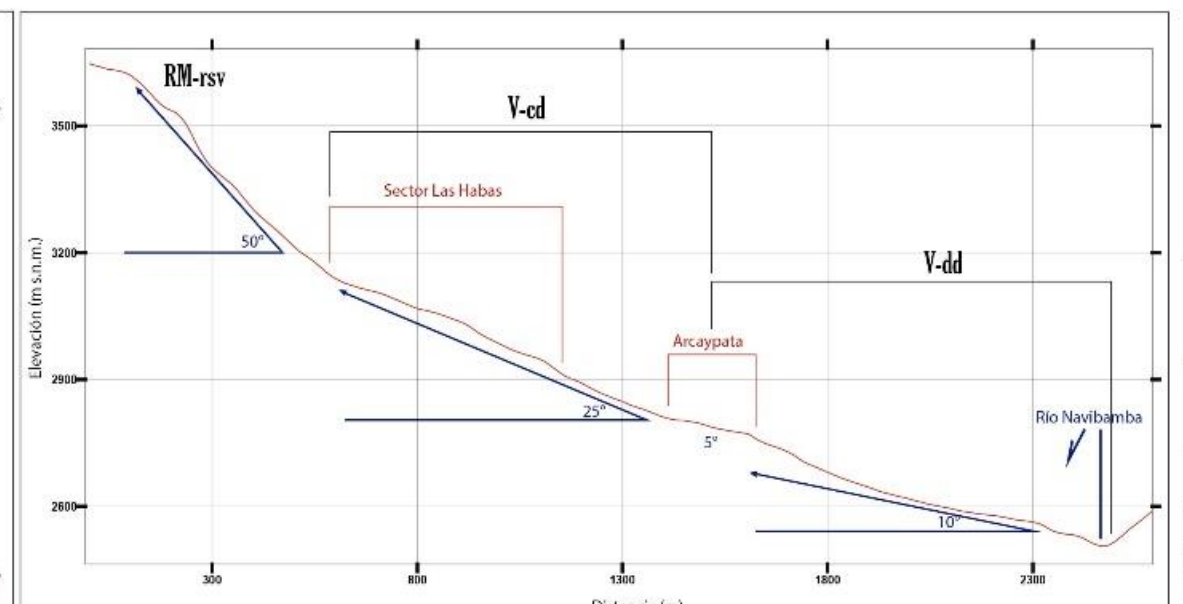
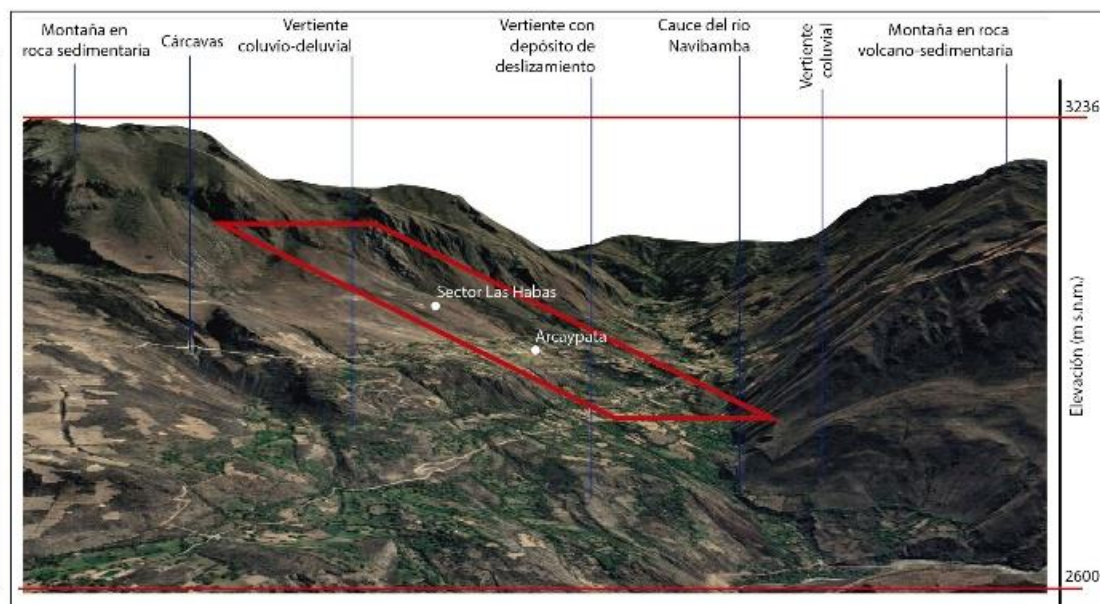


LEYENDA

Unidad Geomorfológica		Código
Montaña	En roca sedimentaria	
	En roca volcanosedimentaria	
Vertiente	Coluvio-deluvial	
	Coluvial	
Planicie	con depósito de deslizamiento	
	Terraza aluvial	
Otras	Cárcavas	

SIMBOLOGÍA

	Camino vecinal
	Vía principal (afirmada)
	Dirección de avalancha
	Dirección de caída de rocas
	Corona de deslizamiento
	Dirección del Río
	Manantes
	Áreas de inspección
	Localidades
	Curvas de nivel

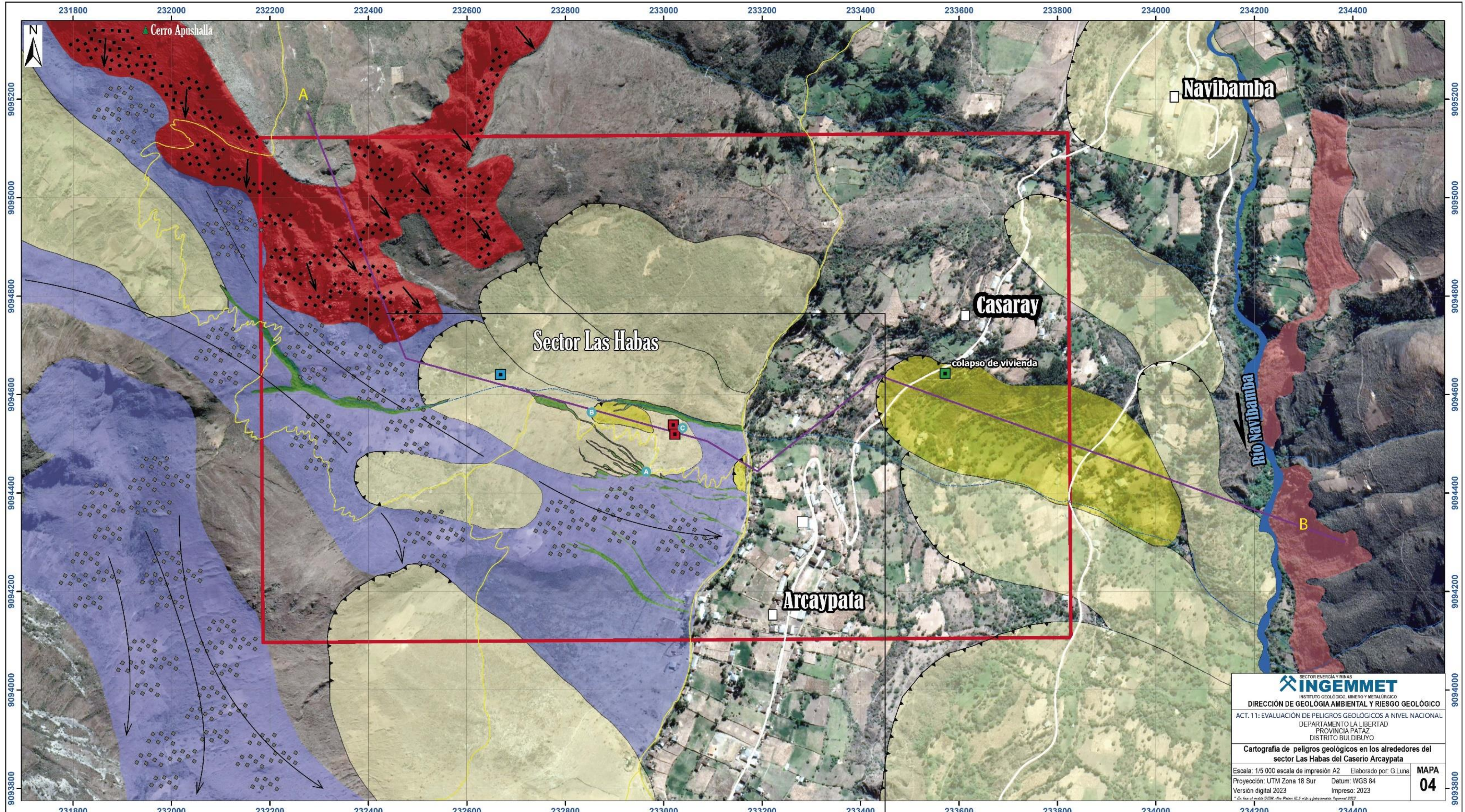


SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLOGICOS A NIVEL NACIONAL
 DEPARTAMENTO LA LIBERTAD
 PROVINCIA PATAZ
 DISTRITO BULDIBUYO

Cartografía de la geomorfología en los alrededores del sector Las Habas del caserío de Arcaypata

Escala: 1/5 000 escala de impresión A2 Elaborado por: G. Luna
 Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84
 Versión digital 2023 Impreso: 2023

MAPA 03



INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO
 ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLOGICOS A NIVEL NACIONAL
 DEPARTAMENTO LA LIBERTAD
 PROVINCIA PATATE
 DISTRITO BUI DIBUYO

Cartografía de peligros geológicos en los alrededores del sector Las Habas del Caserio Arcaypata

Escala: 1/5 000 escala de impresión A2 Elaborado por: G.Luna
 Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84
 Versión digital 2023 Impreso: 2023

MAPA 04

LEYENDA		SIMBOLÓGIA	
Peligro	Tipo de Peligro	Nombre específico	Estado actual
Movimientos en masa	Caída	Caída de rocas	Inactivo - latente
		Derrumbe	Inactivo - latente
		Bloques propensos a caer	Inactivo - latente
	Deslizamiento	Deslizamiento rotacional	Inactivo - latente
		Avalancha de detritos	Suspendido
Otros Peligros geológicos	Erosión de laderas	Cárcavas	Activo

SIMBOLÓGIA	
	Camino vecinal
	Vía principal (afirmada)
	Dirección de avalancha
	Dirección de caída de rocas
	Corona de deslizamiento
	Dirección del Río
	Manantes
	Áreas de inspección
	Localidades
	Curvas de nivel

