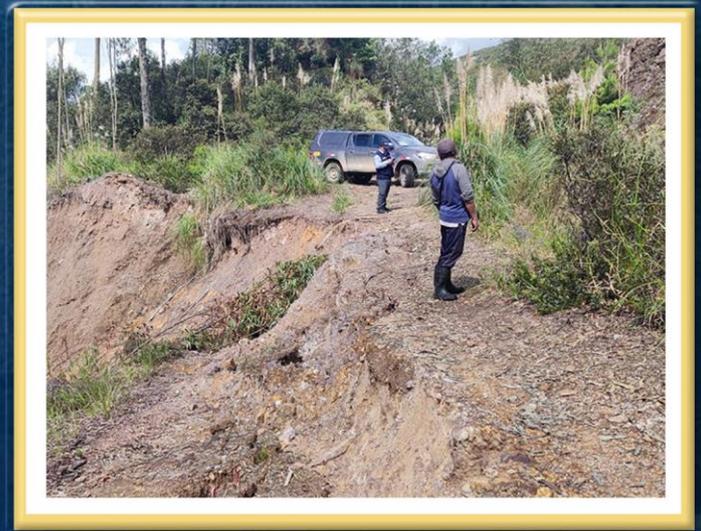


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7279

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LOS CENTROS POBLADOS PAMPA CUYOC (LLAPA) Y LUCMILLO (SAN SILVESTRE DE COCHÁN)

Departamento Cajamarca
Provincia San Miguel
Distritos Llapa y San Silvestre de Cochán



JULIO
2022

**EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN
LOS CENTROS POBLADOS PAMPA CUYOC (LLAPA) Y LUCMILLO (SAN
SILVESTRE DE COCHÁN)**

Distritos Llapa y San Silvestre de Cochán

Provincia San Miguel

Departamento Cajamarca

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

Equipo de investigación:

Elvis Rubén Alcántara Quispe

Luis Miguel León Ordáz

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en los centros poblados Pampa Cuyoc (Llapa) y Lucmillo (San Silvestre de Cochán), Distritos Llapa y San Silvestre de Cochán, provincia San Miguel, departamento Cajamarca. Lima: Ingemmet, Informe Técnico N° A7279, 51p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivos del estudio.....	2
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Aspectos generales	4
1.3.1. Ubicación	4
1.3.2. Población	5
1.3.3. Accesibilidad	5
1.3.4. Clima.....	6
2. DEFINICIONES	8
3. ASPECTO GEOLÓGICO	11
3.1. Unidades litoestratigráficas.....	11
3.1.1. Centro Volcánico Chicche-Hueco Grande	11
3.1.2. Depósitos cuaternarios.....	14
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	17
4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE).....	17
4.2. Pendiente del terreno.....	19
4.3. Unidades Geomorfológicas.....	20
4.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	20
4.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional	21
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	23
5.1. Deslizamientos del cerro Chicche (Pampa Cuyoc).....	23
5.1.1. Descripción del deslizamiento Sur.....	25
5.1.2. Análisis longitudinal del deslizamiento.....	28
5.1.3. Características visuales y morfométricas.....	30
5.2. Peligros geológicos en cerro Vizcachas (Lucmillo).....	31
5.1.1. Descripción del evento	32
5.1.2. Análisis longitudinal del deslizamiento.....	33
5.1.3. Características visuales y morfométricas.....	35
5.3. Derrumbes y erosiones de laderas.....	37
6. CONCLUSIONES	38
7. RECOMENDACIONES	40
8. BIBLIOGRAFÍA	41
ANEXO 1. MAPAS	43
ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS	47

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en los centros poblados Pampa Cuyoc, distrito de Llapa y Lucmillo, distrito de San Silvestre de Cochán, provincia San Miguel, departamento Cajamarca. Con este trabajo el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

En el centro poblado Pampa Cuyoc, se han cartografiado dos deslizamientos activos en la parte alta del cerro Chicche; el principal, al sur, ha afectado a 200 m de trocha local y 3 hectáreas de terrenos forestales; su actividad progresiva, a modo de derrumbe o flujo, podría afectar a seis viviendas y diez hectáreas de terrenos. Este deslizamiento ha generado una geoforma de vertiente con depósito de deslizamiento con pendiente muy fuerte o escarpada (25° a 45°); la litología está representada por rocas piroclásticas muy fracturadas, meteorizadas y alteradas hidrotermalmente, mientras que los suelos conforman un depósito coluvio-deluvial de arenas poco cohesivas, no consolidadas y muy susceptibles a movimientos en masa; el factor detonante para este deslizamiento fueron las precipitaciones pluviales de intensidad extrema (cercanas a 100 mm/día) de inicios del mes de marzo del 2022.

En el centro poblado Lucmillo, el día 30 de marzo del 2022 se produjo un movimiento complejo del tipo deslizamiento-flujo en el cerro Vizcachas, que afectó 70 m de la vía Lucmillo – San Silvestre Bajo, 5 hectáreas de terrenos y acabó con la vida de 7 animales de ganado; el movimiento inició como deslizamiento y ha generado una geoforma de vertiente con depósito de deslizamiento con pendiente muy fuerte o escarpada (25° a 45°); pero, ladera abajo se comportó como flujo, generando una geoforma de piedemonte proluvial o vertiente aluvio-torrencial con pendiente muy escarpada ($>45^\circ$); llegando hasta el fondo del valle del río Yanahuanga; la litología está representada por rocas andesíticas muy meteorizadas; mientras los suelos conforman un depósito coluvio-deluvial de arcillas expansivas de alta plasticidad; el factor detonante para este movimiento complejo fueron las precipitaciones pluviales de intensidad extrema (cercanas a 50mm/día) de fines del mes de marzo del 2022.

El área impactada por el deslizamiento sur del cerro Chicche, centro poblado Pampa Cuyoc, y por el movimiento complejo del cerro Lucmillo, centro poblado Lucmillo, por las condiciones litológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se consideran como de **Peligro Muy Alto y Zonas Críticas**.

Finalmente se brindan las recomendaciones que se consideran importantes, sean tomadas en cuenta, tanto por las autoridades competentes y por los tomadores de decisiones en las áreas evaluadas. En el centro poblado Pampa Cuyoc se recomienda desviar el agua superficial con tubería o mangueras, para luego reconstruir los drenes colmatados y colapsados, también establecer un sistema de alerta temprana, cambiar los sembríos forestales de eucaliptos a otras especies más adecuadas, realizar la evaluación de riesgos EVAR a escala local y evitar la deforestación en las laderas. En el centro poblado Lucmillo se recomienda construir drenes de coronación, reforestar las laderas y restringir el riego por inundación.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla, a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo las solicitudes remitidas por el Gobierno Regional de Cajamarca, según Oficios N° D258-2022-GR.CAJ/ODN y N° D309-2022-GR.CAJ/ODN, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por movimientos los alrededores del centro poblado de Pampa Cuyoc.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Elvis Rubén Alcántara Quispe y Luis Miguel León Ordáz, para realizar la evaluación de peligros geológicos en los centros poblados Pampa Cuyoc y Lucmillo; los trabajos de campo se realizaron el día 18 y 19 de mayo del 2022.

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

Este informe se pone en consideración del Gobierno Regional de Cajamarca, municipalidades distritales de Llapa y San Silvestre de Cochán, municipalidad provincial de San Miguel, sectores involucrados y de la unidad minera Sipán; donde se proporcionan los resultados de la inspección y recomendaciones para la reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por deslizamiento.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia del deslizamiento.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante los peligros geológicos identificados durante los trabajos de campo.

1.2. Antecedentes

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

- Boletín N° 38 Serie A, Geología de los Cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo, Chepén (Wilson, 1984); donde se describe la geología a una escala 1/100,000, se señalan que en la zona de estudio se tienen afloramientos de brechas piroclásticas andesíticas y tobas ácidas de la Formación Llama (P-II) como basamento rocoso de la zona. Sin embargo, con el cartografiado geológico integrado a escala 1/50,000, versión 2021 (INGEMMET, 2021); por escala y detalle se diferencian tres secuencias volcano-estratigráficas del Centro Volcánico Chicche - Huevo Grande, constituido por flujos de cenizas, piroclásticos y de lavas andesíticas.
- En Boletín N° 39, Serie C, Estudio de Riesgo Geológico en la Región Cajamarca (Zavala & Rosado, 2011), se elabora un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, a escala 1/250 000; cuyos centros poblados en estudio se sitúan sobre zonas con susceptibilidad media a la ocurrencia de movimientos en masa.
- Finalmente, en el Reporte preliminar de emergencia N° 038 - 31/03/2022 (COER-Cajamarca, 2022) se registran y describen los principales eventos como el movimiento complejo ocurrido el día miércoles 30 de marzo del 2022 a las 16:30 horas, sobre el Vizcachas, distrito de San Silvestre de Cochán, cuyo suceso llegó a afectar a los medios de vida del centro poblado de Pampa Cuyoc (Figura 1), distrito de Llapa.



Figura 1. Imagen de la ocurrencia de flujos de detritos del 30 de marzo del 2022 en el centro poblado de Pampa Cuyo. **Fuente:** COER-Cajamarca.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área de evaluación corresponde a los alrededores del centro poblado de Pampa Cuyoc y Lucmillo, que abarcan terrenos de los distritos de Llapa y San Silvestre de Cochán, provincia San Miguel, departamento Cajamarca (Figura 2), ubicada en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 – Zona: 17S:

Cuadro 1. Coordenadas del área de evaluación.

N°	UTM – WGS 84 - ZONA 17S		Coordenadas Decimales	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	747800	9235250	-6.913314°	-78.757462°
2	747800	9232500	-6.938171°	-78.757324°
3	745350	9232500	-6.938276°	-78.779488°
4	745350	9235250	-6.913418°	-78.779602°
Coordenada central de la zona evaluada en el Centro poblado Pampa Cuyoc				
C	745578	9234633	-6.918982°	-78.777512°
Coordenada central de la zona evaluada en el Centro poblado Lucmillo				
C	747597	9233443	-6.929652	-78.759201

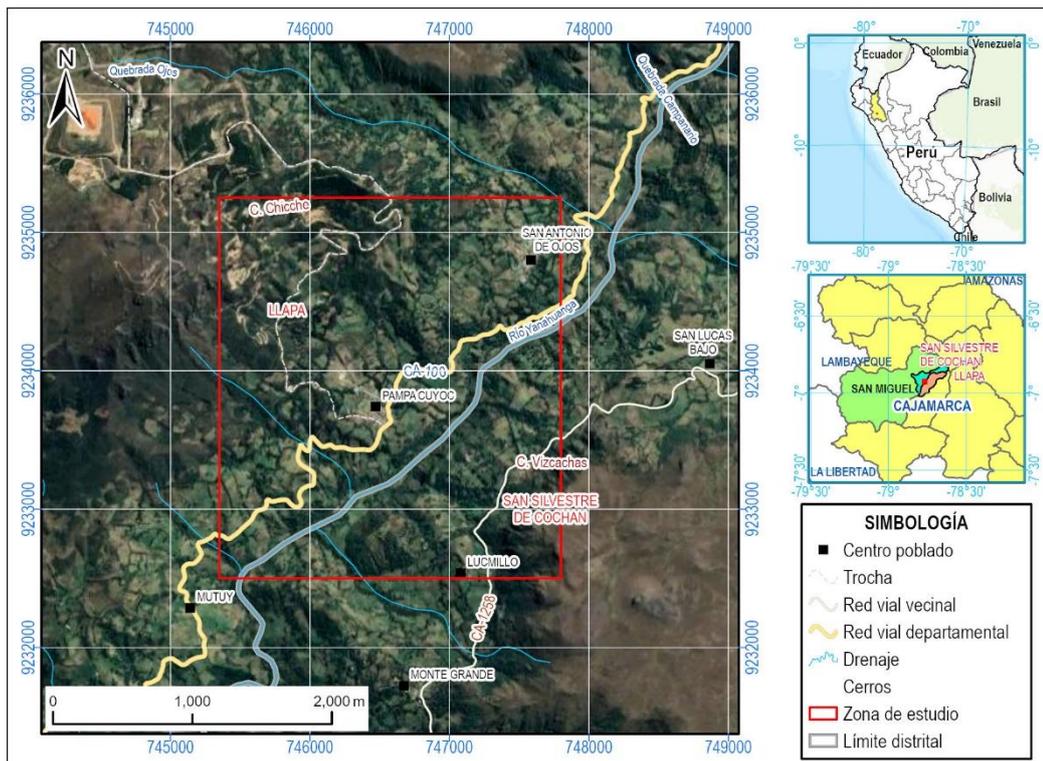


Figura 2. Ubicación del centro poblado de Pampa Cuyoc, distritos de Llapa y San Silvestre de Cochán, provincia de San Miguel, departamento de Cajamarca.

1.3.2. Población

De acuerdo a la información del XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas o Censo peruano de 2017 del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018), el centro poblado de Pampa Cuyoc tiene una población de 235 habitantes (51% hombres y 49% mujeres) distribuidos en 94 viviendas (85% ocupadas) con red pública de agua, energía eléctrica y desagüe; mientras Lucmillo posee una población de 74 habitantes (50% hombres y 50% mujeres) distribuidos en 25 viviendas (100% ocupadas) con red pública de agua y energía eléctrica pero no desagüe.

Además, Pampa Cuyoc (Figura 3) cuenta con tres instituciones educativas: inicial, primaria y secundaria (Minedu, 2022); y un centro de salud de categoría I-1 (Minsa, 2022) mientras Lucmillo solo cuenta con un Jardín inicial.



Figura 3. Vista del centro poblado Pampa Cuyoc desde un dron, donde se destacan las instituciones educativas y el establecimiento de salud local.

1.3.3. Accesibilidad

El acceso se realiza por vía terrestre desde la ciudad de Cajamarca, a través de la vía asfaltada PE-3N hasta el empalme con la ruta PE-08A; para seguir al oeste hasta el sector La Peña Negra y luego a Pampa Cuyoc, tal como se detalla en la siguiente ruta (Cuadro 2, Figura 4):

Cuadro 2. Rutas y acceso a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de Vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cajamarca – Pampa Cuyoc	Asfaltada/afirmada	92.1	3 horas

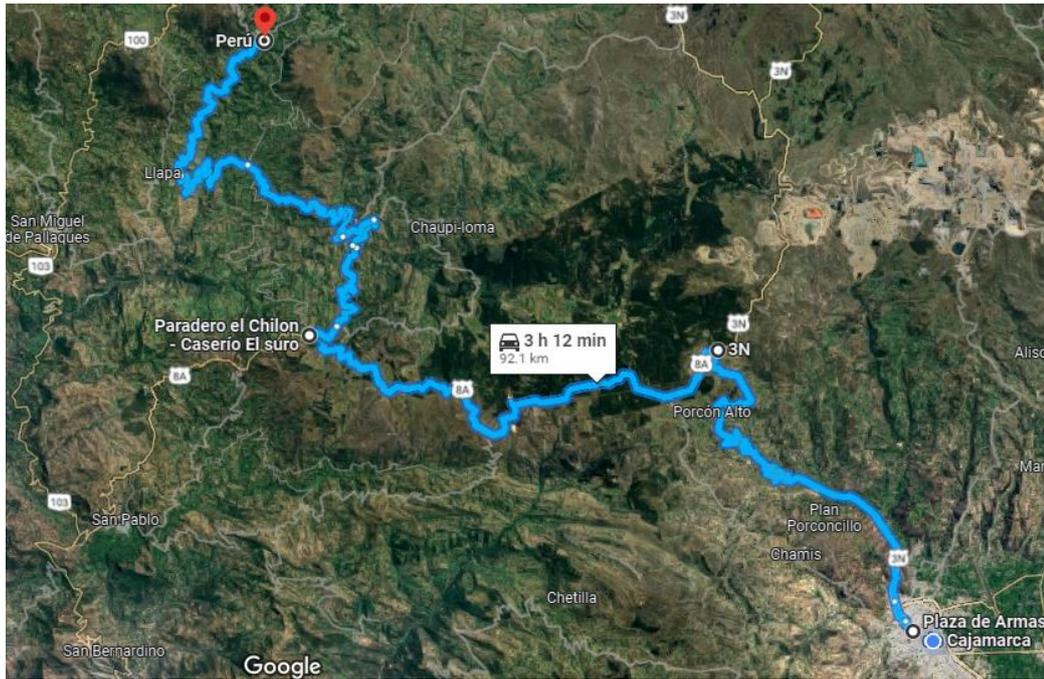


Figura 4. Ruta de acceso desde la ciudad de Cajamarca hasta el centro poblado de Pampa Cuyoc. **Fuente:** Google Maps.

1.3.4. Clima

Según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite - (Senamhi, 2020), la zona de estudio posee 2 climas (Figura 5):

- Lluvioso con otoño e invierno seco, Templado – B (o, i) B': en los terrenos del valle del río Yanahuanga; con temperatura máxima entre 19°C a 23°C y temperatura mínima de 3°C a 7°C; además de una precipitación anual entre 700mm y 1500mm, aproximadamente.
- Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año, Frío – B (r) C': en los terrenos más elevados de los cerros Chicche y Vizcachas; con una temperatura máxima entre 11°C y 17°C y una mínima de -1°C a 5°C, además de una precipitación anual entre 2000mm y 3000mm, aproximadamente.



Figura 5. Mapa de climática versión 2020 de la zona evaluada (línea roja). **Fuente:** Senamhi.

Durante la temporada de lluvias 2021/2022, según la estación Llapa (Figura 6), las lluvias con fuerte intensidad se dieron durante los meses de octubre, noviembre y diciembre; sin embargo, se normalizaron durante los primeros meses del año 2022, encontrándose sobre el promedio histórico, pero dentro del rango de dispersión.

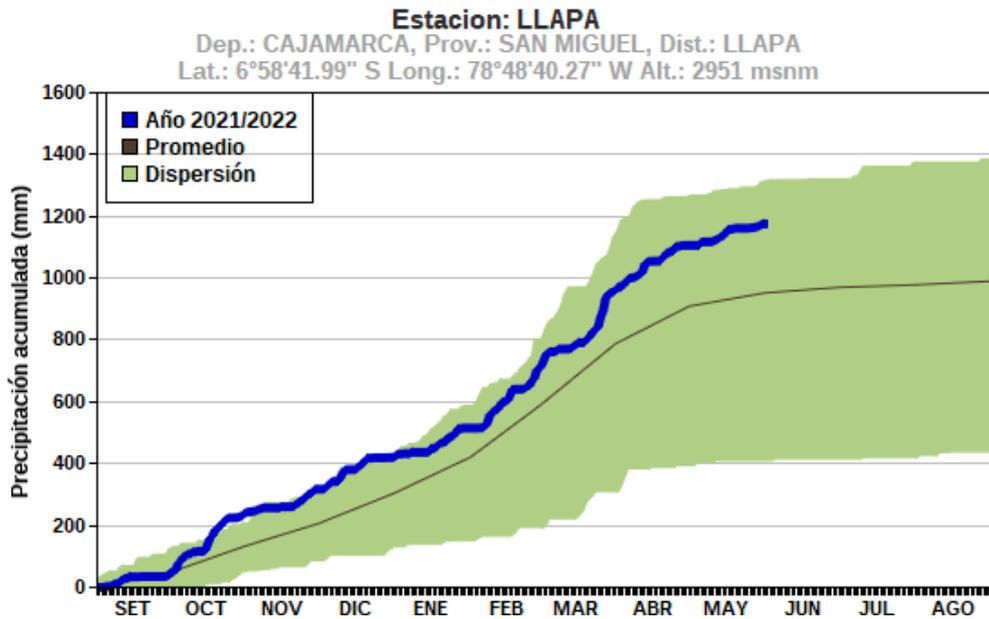
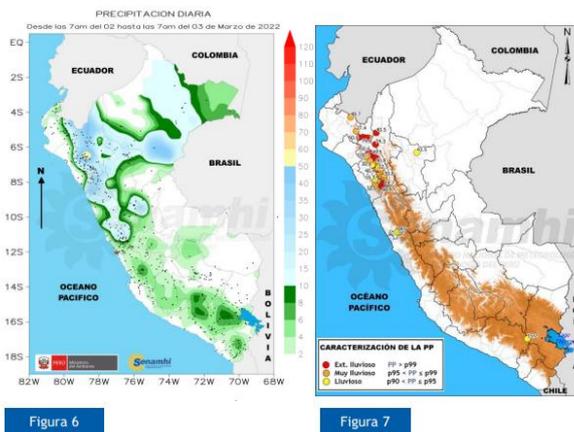


Figura 6. Gráfico de lluvia acumulada de la estación Llapa. Fuente: Senamhi.

En el mes de marzo del 2022, en el departamento de Cajamarca, se han registrado eventos extremos de precipitaciones como los ocurridos entre los días 2 y 3 (Figura 7), causando impactos en la población, viviendas, medios de vida, vías e infraestructuras públicas; por lo que se declaró el estado de emergencia (según Decretos Supremos 017 y 018 del 2022-PCM) a 81 distritos de este departamento. Localmente, en el poblado de Pampa Cuyoc y Lucmillo, entre los días 30 y 31 del mes de marzo del 2022, se registraron lluvias de intensidad extrema (Figura 8), que desencadenaron el movimiento complejo del cerro Vizcachas y la activación de los deslizamientos del cerro Chicche.



Cuadro 4: Caracterización de la precipitación a nivel nacional.

DEPARTAMENTO	ESTACION	PP (mm)	CLASIFICACION
AMAZONAS	ARAMANGO	40.5	Ext. lluvioso
AMAZONAS	EL-PALTO	74.3	Ext. lluvioso
CAJAMARCA	AUGUSTO-WEBERBAUER	40.4	Ext. lluvioso
CAJAMARCA	JESUS	37.3	Ext. lluvioso
CAJAMARCA	CHOTA	49.5	Ext. lluvioso
CAJAMARCA	CUTERVO	50.6	Ext. lluvioso
CAJAMARCA	BAMBAMARCA	31.4	Ext. lluvioso
CAJAMARCA	CHUGUR	100.7	Ext. lluvioso
CAJAMARCA	QUEBRADA-SHUGAR	40.8	Ext. lluvioso
CAJAMARCA	CHONTALI	103.1	Ext. lluvioso
CAJAMARCA	LA-CASCARILLA	79.8	Ext. lluvioso
CAJAMARCA	SALLIQUE	60.6	Ext. lluvioso
LA LIBERTAD	CACHICADAN	60.8	Ext. lluvioso
LA LIBERTAD	HUANGACocha	43.6	Ext. lluvioso

Se ha registrado un día «Ext. Lluvioso» en Amazonas, Cajamarca y La Libertad; además se presentó un día «Muy Lluvioso» en Cajamarca, La Libertad y Piura (Cuadro 4 y Figura 7).

Figura 7. Reporte de lluvias entre los días 2 y 3 de marzo del 2022, marcando niveles de lluvia de intensidad extrema a lo largo de todo el departamento de Cajamarca. Fuente Senamhi.

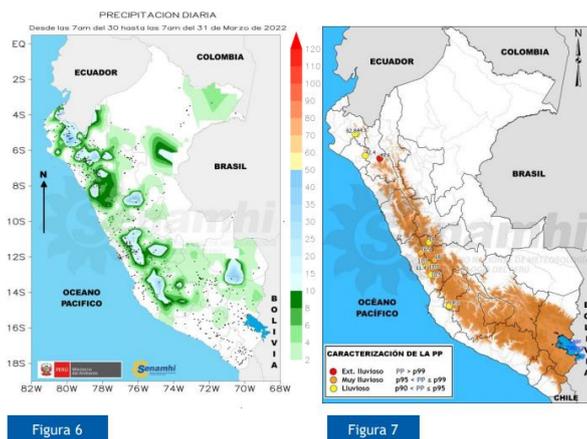


Figura 8. Reporte de lluvias entre los días 30 y 31 de marzo del 2022, marcando un nivel de lluvia de intensidad extrema en la estación Chota-Cajamarca. **Fuente** Senamhi.

Cuadro 4: Caracterización de la precipitación a nivel nacional.

DEPARTAMENTO	ESTACIÓN	PP (mm)	CLASIFICACIÓN
CAJAMARCA	CHOTA	49.6	Ext. lluvioso
JUNIN	LA-OROYA	18	Muy lluvioso
LIMA	SANTA-CRUZ	16.9	Muy lluvioso
LIMA	San-Mateo-de-Huanchor	11.3	Muy lluvioso
CAJAMARCA	TOCMOCHE	42.4	Lluvioso
HUANCAVELICA	SANTIAGO-DE-CHOCORVOS	14.2	Lluvioso
LIMA	MATUCANA	11.4	Lluvioso
LIMA	RIO-BLANCO	13.3	Lluvioso
LIMA	HUAÑEC	10.5	Lluvioso
PASCO	CERRO-DE-PASCO	18	Lluvioso
PIURA	HACIENDA-BIGOTE	44.5	Lluvioso
PIURA	MALACASI	62.8	Lluvioso

Se ha registrado un día «Ext. Lluvioso» en la estación Chota (Cajamarca) con 49.6 mm/día. Las precipitaciones se concentraron en la sierra norte y vertiente oriental centro (Cuadro 4 y Figura 7).

2. DEFINICIONES

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

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

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

Caída: Movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. El material se desplaza por el aire, golpeando, rebotando o rodando (Varnes, 1978). Se clasifican en caídas de rocas, suelos y derrumbes.

Coluvial: Forma de terreno o material originado por la acción de la gravedad.

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

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

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

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

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

Deslizamiento traslacional: Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella.

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 o escarpa: Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

Flujo: Movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Existen tipos de flujos como flujos de lodo, flujos de detritos (huaicos), avalanchas de rocas y detritos, crecida de detritos, flujos secos y lahares (por actividad volcánica).

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

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

Ladera: Superficie natural inclinada de un terreno.

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

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

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

Runup: Desplazamiento hacia arriba del pie de un deslizamiento que ocurre cuando la masa de este pega contra una ladera opuesta a la zona de arranque.

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

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

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

En el presente Glosario se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA, 2007) - Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas.

3. ASPECTO GEOLÓGICO

La descripción geológica se desarrolló en base al Boletín de la serie A, Carta Geológica Nacional, N°38 “Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo, Chepén” (Wilson, 1984); y el reciente cartografiado geológico integrado a escala 1/50,000, versión 2021 (INGEMMET, 2021); complementados y validados con trabajos en campo, análisis de imágenes satelitales, y fotogrametría con dron para caracterizar y delimitar las diferentes unidades litológicas considerando su grado de resistencia y susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Mapa 1).

3.1. Unidades litoestratigráficas

3.1.1. Centro Volcánico Chicche-Hueco Grande

Este centro volcánico tiene ubicado su centro eruptivo en la unidad minera Sipán, San Miguel; ha sido descrito como una secuencia de flujos lávicos, piroclásticos y de cenizas (Navarro et al., 2008) del Oligoceno-Mioceno (Figura 9) lo que hace correlativas, cronológicamente, u otras secuencias volcánicas del norte Peruano, pertenecientes al Grupo Calipuy (Navarro, 2014).

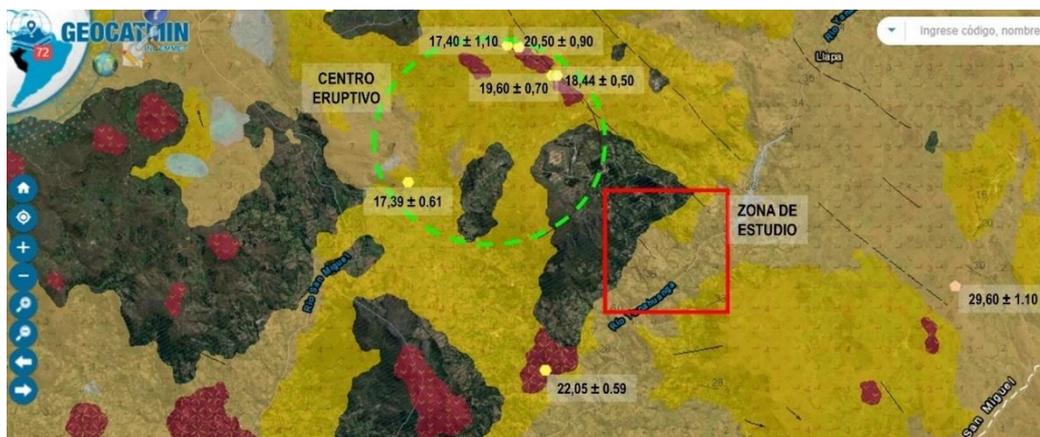


Figura 9. Geología a escala 1/50,000 y dataciones geocronológicas cercanas a la zona de estudio. **Fuente:** Ingemmet-Geocatmin.

Litoestratigráficamente, se distinguen seis secuencias, que, en la zona de estudio, se muestran hasta los tres primeros eventos:

Centro Volcánico Chicche - Hueco Grande - Evento 1 (Po-chhgE1)

Corresponde a depósitos de flujos piroclásticos de cenizas, rico en cristales, gris blanquecinos, intercalados con flujos de cenizas gris violáceos. tienen un espesor aproximado de 250m (Navarro & Monge, 2008). En la zona evaluada se ubican en el la parte baja del valle del río Yanahuanga, donde su baja resistencia geológica hace que se muestren lomadas de relieve suave y con abundante vegetación (Figura 10).

Sus macizos rocosos se encuentran perturbados (muchas familias de discontinuidades, con espaciamiento menores a 10cm y una persistencia mayor a 10m) y con discontinuidades de mala a muy mala calidad (paredes lisas y rellenas con arcillas) por lo que muestran un GSI (Hoek, 2007) de 22 (Figura 12).

Centro Volcánico Chicche - Hueco Grande - Evento 2 (Po-chhgE2)

Litológicamente está compuesta por depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas, gris verdoso, fragmentos líticos monomíctico; intercalados con flujos de cenizas, grises. su espesor aproximado es de 220m (Navarro & Monge, 2008)

Sobre esta unidad están asentados los centros poblados de Pampa Cuyoc y San Antonio de Ojos, su mayor resistencia geológica hace que, en el flanco este del río Yanahuanga se generen acantilados escarpados (Figura 10).

Sus macizos rocosos son muy blocosos (con 4 a más familias de discontinuidades, espaciamiento de entre 0.6 y 1m y una persistencia mayor a 10m) y con discontinuidades de regular a mala calidad (paredes lisas y sin relleno suabe), teniendo en promedio un GSI (Hoek, 2007) de 37 (Figura 12).

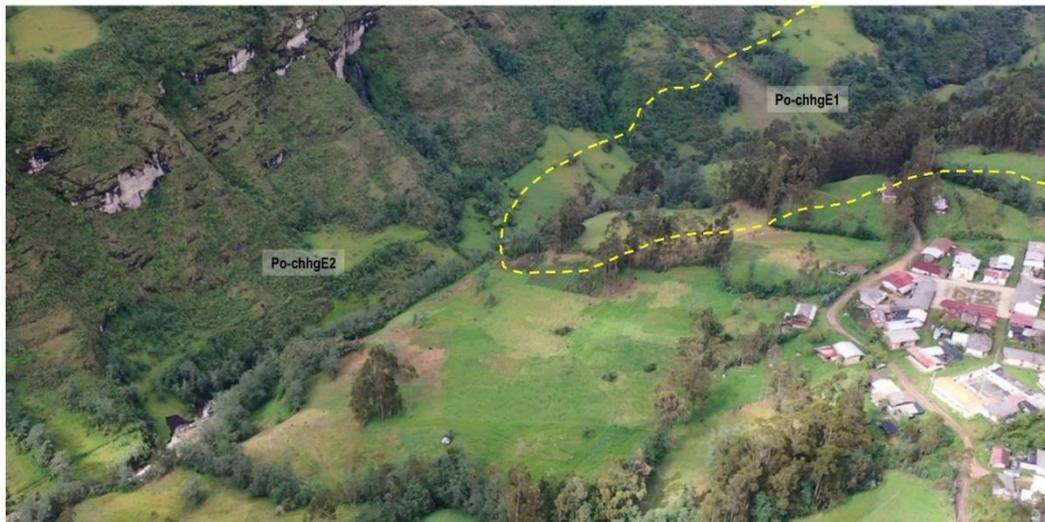


Figura 10. Vista desde un dron, tomada el 19 de mayo del 2022, del contraste de relieves en los eventos 1 y 2 del Centro Volcánico Chicche - Hueco Grande, en el fondo del valle del río Yanahuanga, teniendo al centro poblado de Pampa Cuyoc en la parte inferior derecha de la imagen.

Centro Volcánico Chicche - Hueco Grande - Evento 3 (Nm-chEhgE3)

Corresponde a intercalaciones de flujos piroclásticos de bloques y cenizas, gris verdosos; flujos de lava andesítica, gris azulina, afírica; y flujos piroclásticos de cenizas. Espesor aproximado de 180m (Navarro & Monge, 2008).

Se ubica en la parte alta de las montañas en ambas márgenes del río Yanahuanga, genera relieves escarpados con gran cantidad de afloramientos rocosos y poca vegetación (Figura 11).

Sus macizos rocosos son muy blocosos (con 4 a más familias de discontinuidades, espaciamiento de entre 1 y 2m y una persistencia mayor a 10m) y con discontinuidades de mala a muy mala calidad (paredes suaves y rellenas con arcillas); tiene un promedio de GSI (Hoek, 2007) de 32 (Figura 12).



Figura 11. Vista del relieve muy escarpado correspondiente al evento 3 del Centro Volcánico Chicche – Hueco Grande (Nm-chEhgE3) en el cerro Vizcachas (izquierda) y muestras de mano de un flujo de lavas andesíticas encontradas en esta unidad.

<p>ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI) PARA ROCAS FRACTURADAS (Hoek y Marinos, 2000)</p> <p>Para la litología, estructura y condiciones superficiales de las discontinuidades, estimar el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Citando un rango de 33 a 37 es más realístico que un GSI de 35. Note que las tablas no se aplican a fracturas estructuralmente controladas. Cuando los planos estructurales débiles planares están en una orientación desfavorable con respecto de la cara excavada, estas dominarán el comportamiento de todo el macizo rocoso. La resistencia de cizalla de las superficies en las rocas son propensas a deteriorarse como el resultado de cambios en el contenido de humedad, se reducirá si hay presencia de agua. Cuando se trabaja con rocas en las categorías de debil a muy pobre, se debería hacer un desplazamiento hacia la derecha. La presión del agua es tratada con análisis de esfuerzos efectivos</p>		CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES				
ESTRUCTURA		MUY BUENA	BUENA	REGULAR	MALA	MUY MALA
		Superficies muy rugosas, inalteradas y frescas	Superficies rugosas, ligeramente intemperizadas, con patinas de óxidos de hierro	Superficies lisas, moderadamente intemperizadas y/o alteradas	Superficies lisas y cizalladas, muy intemperizadas con revestimientos o rellenos compactos o fragmentos angulares	Superficies lisas y cizalladas, muy intemperizadas con revestimientos o rellenos arcillosos blandos
		DECRESE LAS CONDICIONES SUPERFICIALES →				
<p>INTACTA O MASIVA. Espécimen de roca intacta o roca in-situ masiva con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas. Esp. 100cm</p>	150	90	80		N/A	N/A
<p>BLOCOSA. Macizo rocoso inalterado bien trabado, definido por bloques cúbicos formados por 3 familias de discontinuidades. Esp. 30cm</p>	80	70	60			
<p>MUY BLOCOSA. Macizo rocoso trabado, parcialmente perturbado, definido por bloques angulares de varias caras formado por 4 o más familias de discontinuidades. Esp. 10cm</p>	40		50			
<p>BLOCOSA/PERTURBADA/DEFORMADA Plegada, bloques angulares de muchas familias de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificación o esquistocidad. Esp. 3cm</p>	5		40			
<p>DESINTEGRADA. Pobremente trabada, macizo rocoso muy fracturado con mezcla de fragmentos de roca angulares y redondeados Esp. 1cm</p>	2				30	
<p>LAMINADA/ CIZALLADA. Ausencia de blocosidad debido a espaciados cercanos de debil esquistocidad o planos de cizalla</p>		N/A	N/A			10
		DISMINUYE LA TRABAZON DE LAS PIEZAS DE ROCA ↓				

Figura 12. Estructura y calidad de las discontinuidades de los macizos rocosos: En verde la calidad de los macizos rocos de la unidad Po-chhgE1, en rojo los de la unidad Po-chhgE2 y en azul a los de la unidad Nm-chEhgE3. **Fuente:** Índice Geológico de Resistencia GSI (Hoek, 2007).

3.1.2. Depósitos cuaternarios

Depósito proluvial (Q-pl)

Son el resultado de la acumulación del material transportado por corrientes torrenciales (flujos) muy esporádicas, generando depósitos de suelos heterogéneos de estructura caótica, con fragmentos de gravas, bloques sub angulosos a redondeados en una matriz de limos y arcillas sueltos. En la zona estudiada, se ubican en la parte baja del movimiento complejo del cerro Vizcachas (Figura 13).



Figura 13. Vista del depósito proluvial producto del flujo de detritos en el cerro Vizcachas, el mismo que embalsó al río Yanahuanga en marzo del 2022.

Depósito coluvio-deluvial (Q-cd)

Son producto del deslizamiento de suelos y detritos a corta distancia, por lo que su composición es homogénea y mantienen, en ciertos lugares, los rasgos de la ladera original; granulométricamente están conformados por arenas y limos, con esporádicos bloques angulosos a sub redondeados, cubiertos por una delgada capa de materia de suelos con gran cantidad de materia orgánica. En la zona se ubican tanto en el cerro Vizcachas (Figura 14) y Chicche (Figura 15), donde tres deslizamientos activos han provocado estos depósitos, a corta distancia de la ladera afectada.



Figura 14. Vista del depósito coluvio-deluvial producto del deslizamiento del cerro Vizcachas.



Figura 15. Vista de un depósito coluvio-deluvial producto del deslizamiento de material suelto en el cerro Chicche.

Depósito coluvial (Q-cl)

Son depósitos producto de derrumbes originados por lluvias intensas o por la acción misma del hombre; estos depósitos están compuestos por bloques angulosos, gravas y arenas, con poca cantidad de finos. En la zona, se ubican en el cerro Chicche, principalmente, donde antiguamente se desarrollaban actividades de minería a cielo abierto (unidad minera Sipán), por lo que las laderas del cerro fueron excavadas para conformar los taludes y vías de tránsito de las maquinarias. Actualmente, estos materiales son ambiente de nuevos movimientos en masa.

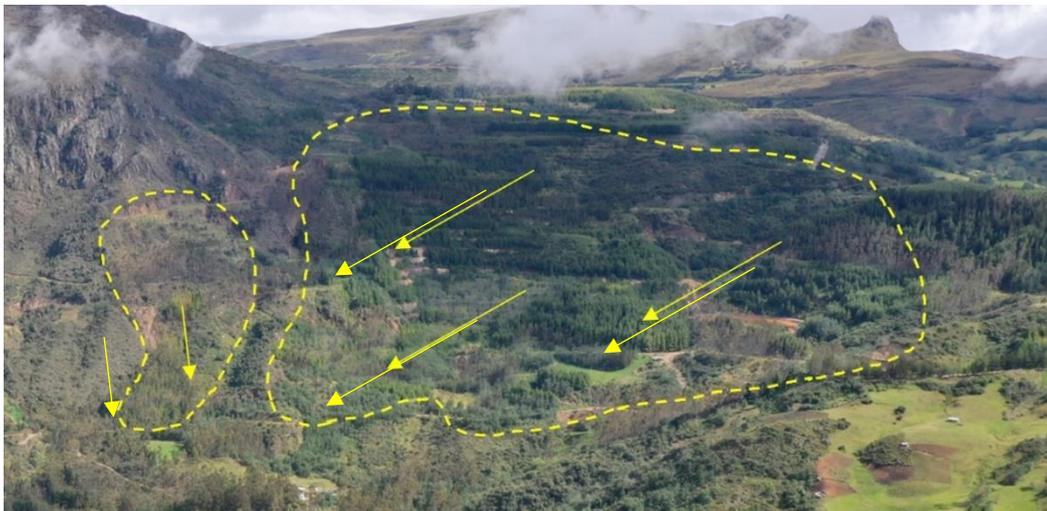


Figura 16. Vista al cerro Chicche donde antiguamente se desarrollaban actividades de minería a cielo abierto que generaron depósitos coluviales extensos, los mismos que en la actualidad son lugar de generación de otros movimientos en masa como deslizamientos.

Depósito aluvial (Q-al)

Son depósitos de suelos arrastrados por escorrentías estacionales, que, actualmente, se ubican en terrazas abandonadas del río Yanahuanga; su composición es de arenas y gravas bien gradadas, con bloques redondeados en secuencias cíclicas, que indican los eventos de avenidas pasadas.

Estos materiales se encuentran inconsolidados y son de fácil erosión.

Depósito fluvial (Q-fl)

Se ubican en las zonas inundables por el río Yanahuanga, donde arenas, limos se asientan constantemente, además de bloques redondeados, durante épocas de grandes avenidas debidas a intensas precipitaciones.

Estos depósitos son de fácil remoción.

Como característica local, se tiene cartografiada una extensa zona de alteración hidrotermal en el cerro Chicche (Figura 17), consistente en flujos piroclásticos alterados a sílice masiva de alta resistencia geológica, además de sectores de argílica avanzada en sus límites con las rocas sin alteración.



Figura 17. Vista de un macizo rocoso alterado hidrotermalmente (sílice masiva) en el cerro Chicche (izquierda) y detalle a la matriz original totalmente borrada por dicha alteración (derecha).

En el cerro Vizcachas también se ha identificado sectores de alteración hidrotermal y presencia de óxidos rellenando fracturas (Figura 18), como en el escarpe del deslizamiento que aguas abajo se volvió un flujo el mes de marzo del 2022.



Figura 18. Vista de óxidos rellenando fracturas producto de la alteración de los sulfuros hidrotermales originales en el cerro Vizcachas.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Además de la cartografía regional de geomorfología, a escala 1:250 000 del boletín de riesgos geológicos de la región Cajamarca, se utiliza un Modelo digital de elevaciones de fuente SRTM (NASA, 2020) optimizada a un detalle de 12.5m (AlosPalsar, 2011); e imágenes y modelos digitales de elevación detallados obtenidos de dos levantamientos fotogramétricos con dron, desarrollados en mayo del 2022 (Figura 19), lo cual permitirá estudiar el relieve, pendientes y demás características; con el fin de tener una visión de la zona, a mayor detalle (escala 1/5,000) (Figura 22).



Figura 19. Imagen de puntos de dos sobrevuelos fotogramétricos: a la izquierda vuelos para caracterizar el movimiento complejo del cerro Vizcachas y a la derecha en el cerro Chicche.

4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)

En la zona de estudio se presentan elevaciones que van desde los 2 834 hasta los 3 550 m, en los cuales se distinguen catorce niveles altitudinales, con la finalidad de visualizar la extensión con respecto a la diferencia de alturas. De todas ellas; el área con mayor pendiente está comprendida entre los 2 950 y 3 150 m, la cual comprende un promedio mayor a 45°, correspondiendo a depósitos proluviales con geoforma de piedemonte proluvial o aluvio-torrencial, referente en el cerro Vizcachas (Figura 20).

Por otro lado, en el cerro Chicche, las mayores pendientes se ubican entre los 3 300 y 3400 m, con pendientes cercanas a los 45°, correspondiendo a depósitos coluvio-deluviales y relieve de vertiente con depósito de deslizamiento (Figura 21).



Figura 20. Vista de la ladera con mayor pendiente (mayor a 45°) del cerro Vizcachas, donde el material movilizado por el deslizamiento se convirtió en flujo de detritos.



Figura 21. Vista al sector con mayor pendiente (cercano a 45°) cerro Chicche.

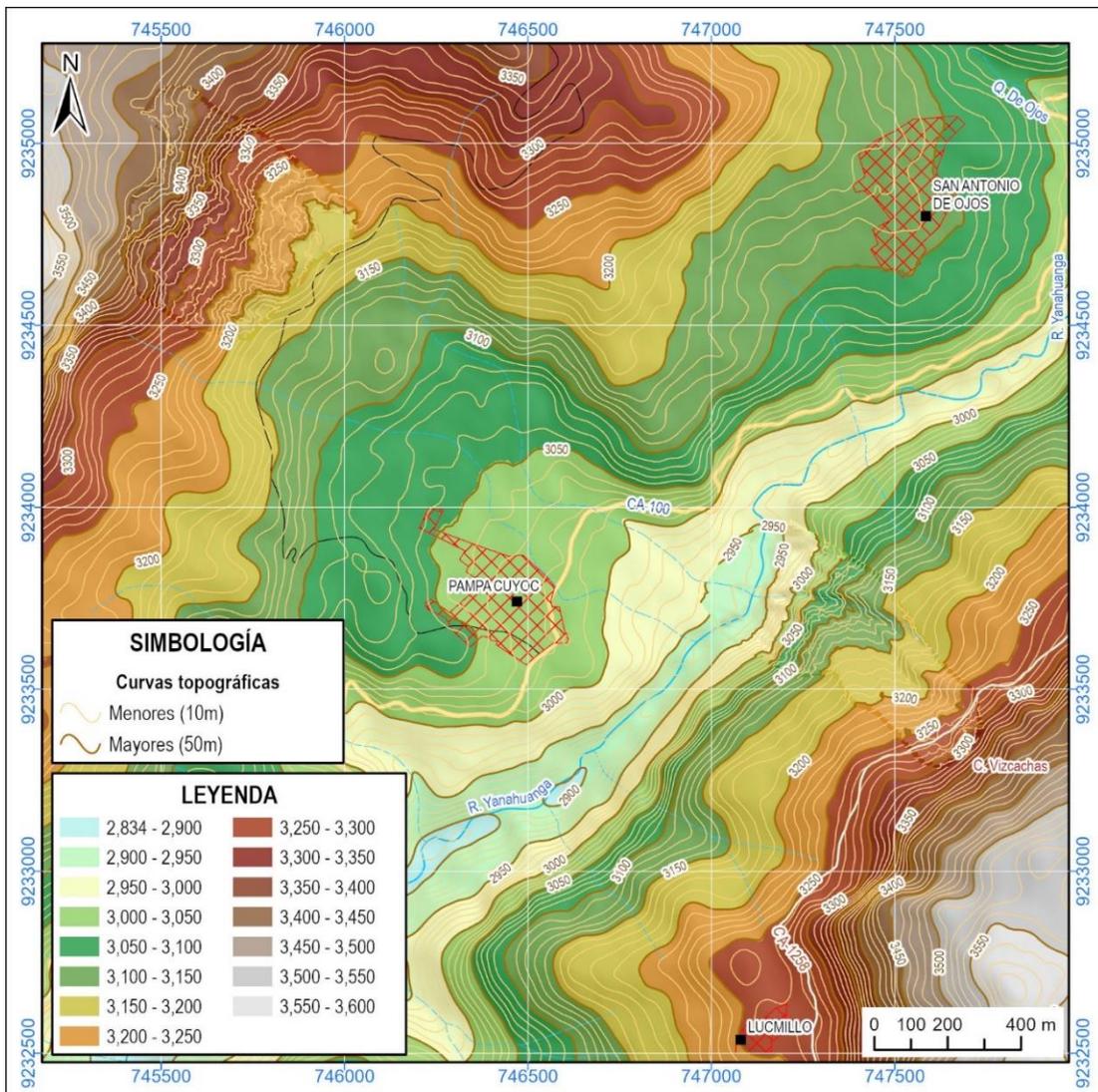


Figura 22. Modelo digital de elevaciones de la zona estudiada.

4.2. Pendiente del terreno

La pendiente es uno de los factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa, ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable, es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa como factor condicionante.

Los movimientos en masa cartografiados, se ubican en terrenos con pendiente muy escarpada (mayor a 45°) y de escarpados a fuerte pendiente (de 25° a 45°). Sin embargo, en los terrenos con pendiente fuerte (de 15° a 25°) y moderada (de 5° a 15°) también se encuentran formando el cuerpo o depositaciones gravitacionales (deslizamientos). Finalmente, los terrenos con pendiente suave (de 1° a 5°) y llana (menor a 1°) son espacios donde los movimientos en masa acumulan su material transportado (Figura 23).



Figura 23. Vista de pendientes del terreno a lo largo del cerro Vizcachas, nótese la zona de arranque en pendiente escarpada a muy escarpada, su descenso por pendiente fuerte y moderada, finalizando en el fondo del valle del río Yanahuanga, con pendiente suave y llana.

4.3. Unidades Geomorfológicas

De acuerdo a su origen, se distinguen geoformas tanto de carácter tectónico degradacional y erosional (montaña estructural en rocas volcano-sedimentarias y lomada en rocas volcano-sedimentarias), como de carácter deposicional y agradacional (Vertiente con depósito de deslizamiento, vertiente coluvial, piedemonte proluvial o aluvio-torrencial, terraza aluvial y terraza fluvial); las geoformas del cerro Chicche se presentan en la Figura 24, del cerro Vizcachas en la Figura 25 y del valle del río Yanahuanga en la Figura 26; además están representadas en el Mapa 03 y se describen a continuación.

4.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Unidad de Montaña

Corresponde geoformas que alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local (Villota, 2005) donde se reconocen cumbres y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza.

En el área de evaluación de acuerdo a su morfología y origen se subdivide en:

- **Sub unidad de montaña estructural en rocas volcano-sedimentarias (ME-rvs)**

Se presenta en las partes altas de los cerros Vizcachas y Chicche, donde la mayor resistencia geológica de las rocas basales ha generado un relieve muy escarpado, con abundantes afloramientos rocosos y vegetación limitada a pastos y arbustos.

Unidad de Lomada

Estas geoformas presentan menor altura que una montaña (menos de 300 metros desde el nivel de base local), presentan similar altura que las colinas, pero con cimas más amplias, redondeadas y alargadas, con gradientes entre 8 % y 16 % (Villota, 2005).

- **Sub unidad de Lomada en rocas volcano-sedimentarias (C-rvs)**

Esta geoforma se ubica en la parte media y fondo del valle del del río Yanahuanga, donde existen rocas con menor resistencia geológica, resultando en un relieve más suave con abundante vegetación forestal y arbustiva.

4.3.2. Geformas de carácter depositacional y agradacional

Unidad de Piedemonte

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

Corresponde a las zonas de acumulaciones en ladera originadas por procesos de movimientos en masa de limitada distancia de transporte. Su composición litológica es homogénea; con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados, de corto a mediano recorrido. Su morfología es usualmente convexa y su composición es semicircular a elongada en relación la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

En la zona de estudio, podemos encontrar esta unidad tanto en el cerro Vizcachas y Chicche, donde existen deslizamientos recientes.

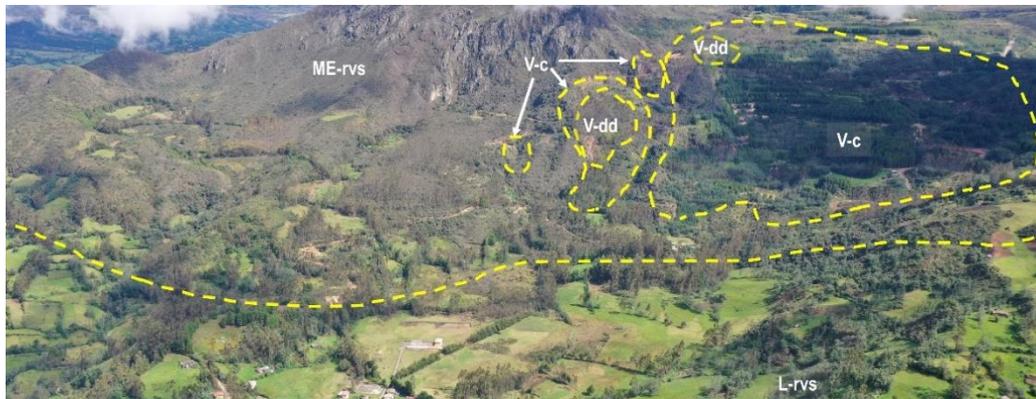


Figura 24. Vista panorámica desde un dron del cerro Chicche: montaña estructural en rocas volcano-sedimentarias (ME-rvs), lomada en rocas volcano-sedimentarias (L-rvs), vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd) y vertiente coluvial (V-c).



Figura 25. Vista del cerro Vizcachas: montaña estructural en rocas volcano-sedimentarias (ME-rvs), lomada en rocas volcano-sedimentarias (L-rvs), vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd) y vertiente coluvial (V-c) y piedemonte proluvial o aluvio-torrencial (P-pral).

- **Subunidad de vertiente o piedemonte coluvial (V-c)**

Esta geoforma se ubica en laderas convexas del cerro Chicche donde existen materiales removidos por la acción de la gravedad, principalmente, además por los mismos trabajos de minería a cielo abierto realizados en las últimas décadas, existiendo materiales finos hasta grandes bloques, que se han desprendido con mayor libertad ladera abajo que en los deslizamientos.

- **Subunidad de piedemonte proluvial o aluvio-torrencial (P-pral)**

En la zona estudiada, esta geoforma se ubica en los terrenos donde los flujos de detritos han acumulado material muy heterogéneo y con estructura caótica, debido a la alta energía durante su recorrido ladera abajo, principalmente en el cerro Vizcachas donde el reciente movimiento complejo aún está activo y continúa depositando materiales en su trayecto.

Unidad de Planicie

- **Subunidad de Terraza aluvial (T-al)**

Son terrenos ligeramente inclinados, se encuentran en las proximidades del cauce del río Yanahuanga (Figura 26). Su composición litológica es resultado de la acumulación de fragmentos de roca de diferente granulometría (bloques, gravas con matriz de arenas y limos). Sobre estos terrenos se desarrollan extensas zonas de cultivo y pastoreo.

- **Subunidad de Terraza fluvial (T-fl)**

Son depósitos dejados por las corrientes actuales del río Yanahuanga (Figura 26), cuando disminuye la pendiente y la capacidad de carga de sedimentos. Litológicamente está compuesto por fragmentos rocosos heterogéneos (bolos, catos gravas, arenas, etc.) que son transportados por la corriente del río a grandes distancias, se depositan formando terrazas bajas, también conformado la llanura de inundación o el lecho de los ríos.



Figura 26. Vista del fondo y valle del río Yanahuanga y las geoformas circundantes: terraza fluvial (T-f) y terraza aluvial (T-a); además de las geoformas de lomada en rocas volcánico-sedimentarias (L-rvs) y piedemonte proluvial o aluvio-torrencial (V-pral).

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

En el cerro Chicche se han cartografiado dos deslizamientos rotacionales activos que ocurren en suelos coluviales y antropógenos, originados por las actividades extractivas de la unidad minera Sipán (unidad en fase de cierre desde el año 2000); debido a la falta de mantenimiento a los drenajes los suelos se saturaron y provocaron la aparición de grietas

En el cerro Vizcachas se ha cartografiado el movimiento complejo que se originó el 30 de marzo del 2022 producto de precipitaciones pluviales de intensidad extremas, el cual inició como deslizamiento, pero se volvió un flujo de detritos debido a la pendiente muy escarpada del terreno; el mismo que acarreó una gran cantidad de suelos, detritos y rocas hasta el fondo del valle, donde embalsó al río Yanahuanga y produjo la muerte de animales de los pobladores de Pampa Cuyoc (Mapa 4).

5.1. Deslizamientos del cerro Chicche (Pampa Cuyoc)

La reforestación equivocada con eucalipto, mal mantenimiento de los drenes y las intensas precipitaciones, han ido formando derrumbes y deslizamientos (Figura 27).

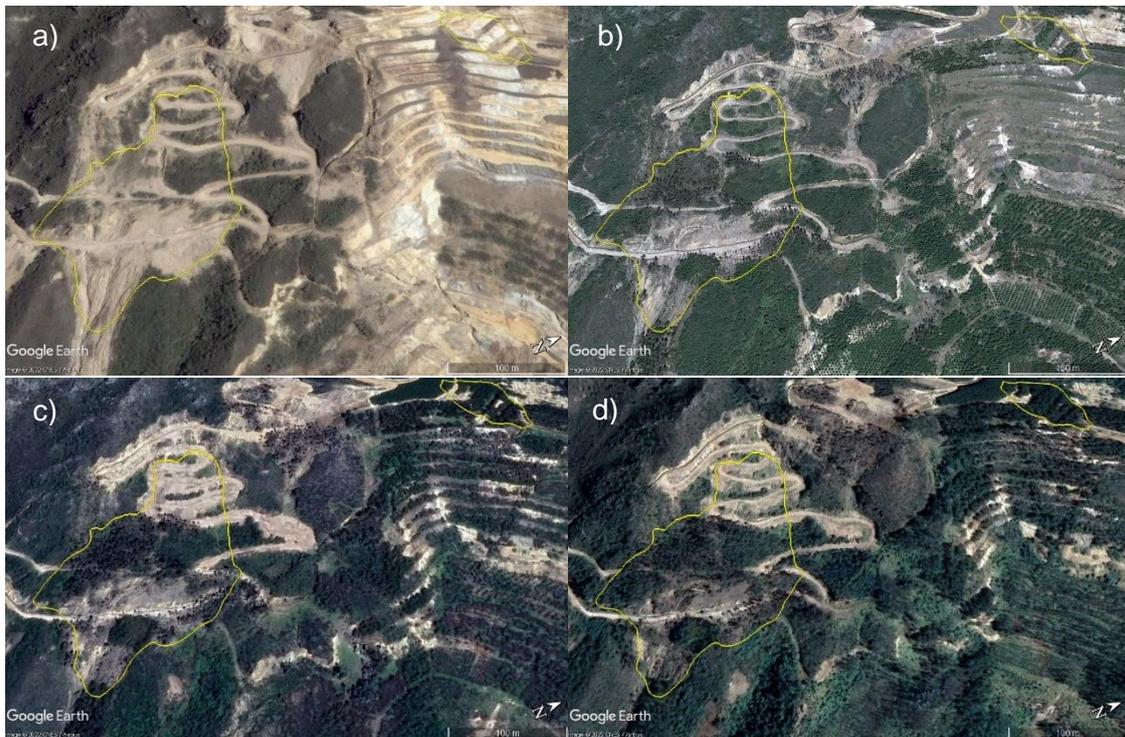


Figura 27. Imágenes satelitales de los deslizamientos (polígonos amarillos) del cerro Chicche: a) mayo del 2004, se aprecian los taludes aun sin tratamiento; b) noviembre del 2011, ya se aprecia la reforestación de las laderas; c) octubre del 2017 y d) agosto del 2019, con reactivación de movimientos en masa. **Fuente:** Google

En la Figura 28 sobre el ortomosaico generado en mayo del 2022, se muestra una vista actual a los deslizamientos del cerro Chicche.

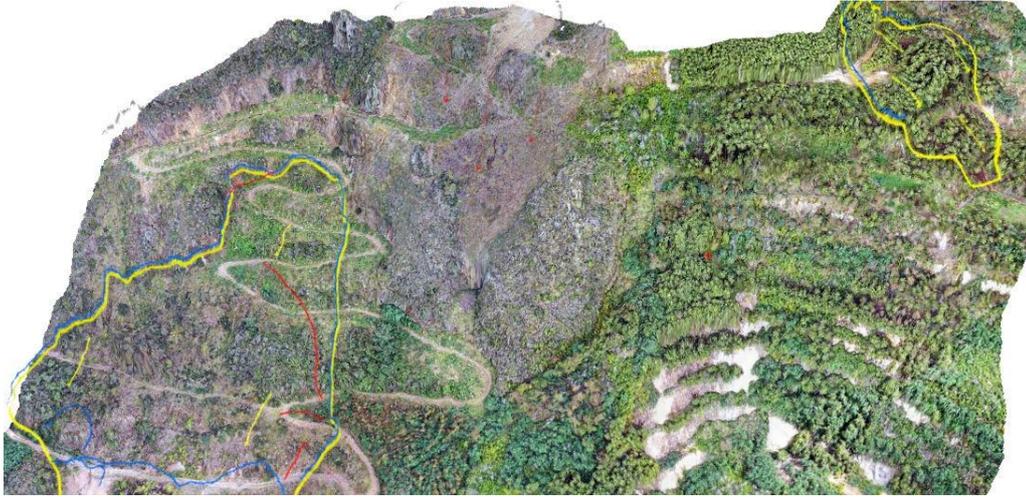


Figura 28. Vista del ortomosaico elaborado en mayo del 2022, los dos deslizamientos, expresado en escarpes (en línea azul) y grietas de tracción (en línea roja) recientes.

El deslizamiento norte (Figura 29) cubre un área de 321m² y afecta a plantaciones forestales y un tramo de 60m trocha de ingreso a la unidad minera Sipán; el flanco izquierdo (a) se muestra en la Figura 29 y el derecho (b) en la Figura 30.



Figura 29. Vista desde un dron del deslizamiento norte del cerro Chicche.

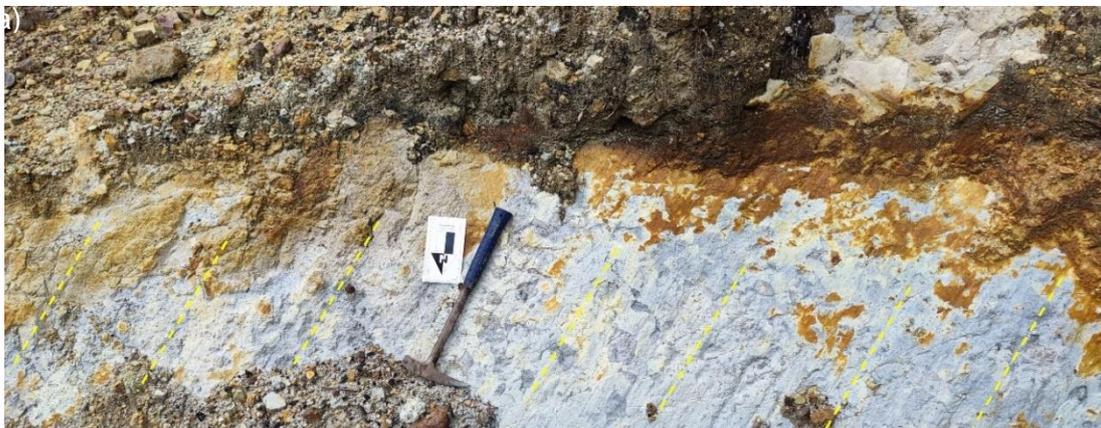


Figura 30. Flanco izquierdo del deslizamiento norte. La ubicación de la foto se muestra en la Figura 29.



Figura 31. Flanco derecho del deslizamiento norte. La ubicación de la foto se muestra en la Figura 29.

5.1.1. Descripción del deslizamiento Sur

En los trabajos de campo de mayo del 2022, se notaron que los escarpes y grietas de tracción internas están activas; por lo que existe peligro de un deslizamiento mayor, pudiendo alcanzar a seis viviendas del centro poblado de Pampa Cuyoc y afectar a diez hectáreas de terrenos (Figura 32).



Figura 32. Vista del centro poblado de Pampa Cuyoc, desde la parte final del deslizamiento sur del cerro Chicche; además se muestra el movimiento complejo del cerro Vizcachas.

En la Figura 33 se nota como dicho evento abarca más de tres hectáreas de ladera del cerro Chicche, el cual está cubierto por depósitos coluviales producto de las actividades antrópicas de la unidad minera Sipán (Figura 27a).



Figura 33. Vista desde un dron del deslizamiento principal del cerro Chicche (línea roja), donde se aprecian escarpes secundarios (línea amarilla) y grietas de tracción (líneas verdes).

Asimismo, con las Figura 34, 34 y 35 se muestra la parte alta del deslizamiento, escarpes y agrietamientos, respectivamente; siendo aún inferiores al metro de diferencia de alturas de salto.

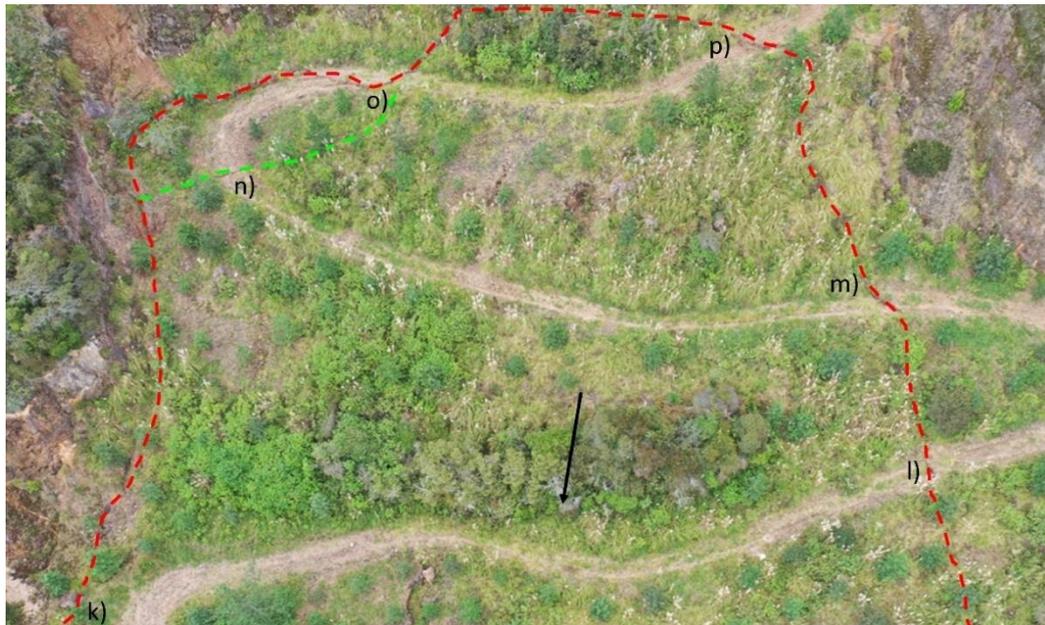


Figura 34. Vista desde un dron de la parte alta del deslizamiento principal del cerro Chicche.



Figura 35. Detalle de los escarpes y agrietamientos del deslizamiento principal del cerro Chicche (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j), la ubicación de estas fotografías se presenta en la Figura 32.



Figura 36. Detalle de los escarpes y agrietamientos del deslizamiento principal del cerro Chicche (k, l, m, n, o, p), la ubicación de estas fotografías se muestra en la Figura 34.

5.1.2. Análisis longitudinal del deslizamiento

Se ha elaborado el Perfil A-A' (Mapa 1 y 4) para poder analizar la cinemática del deslizamiento (Figura 37), donde se interpreta al basamento firme de rocas alteradas hidrotermalmente, señalando que, los depósitos coluviales son los que han comenzado a deslizarse y formando derrumbes (Figura 38 - 2) debido a la alta sobresaturación de los materiales, producto a la presencia de escorrentías superficiales (Figura 38 - 1) y colmatación de drenes con material y la falta de mantenimiento.

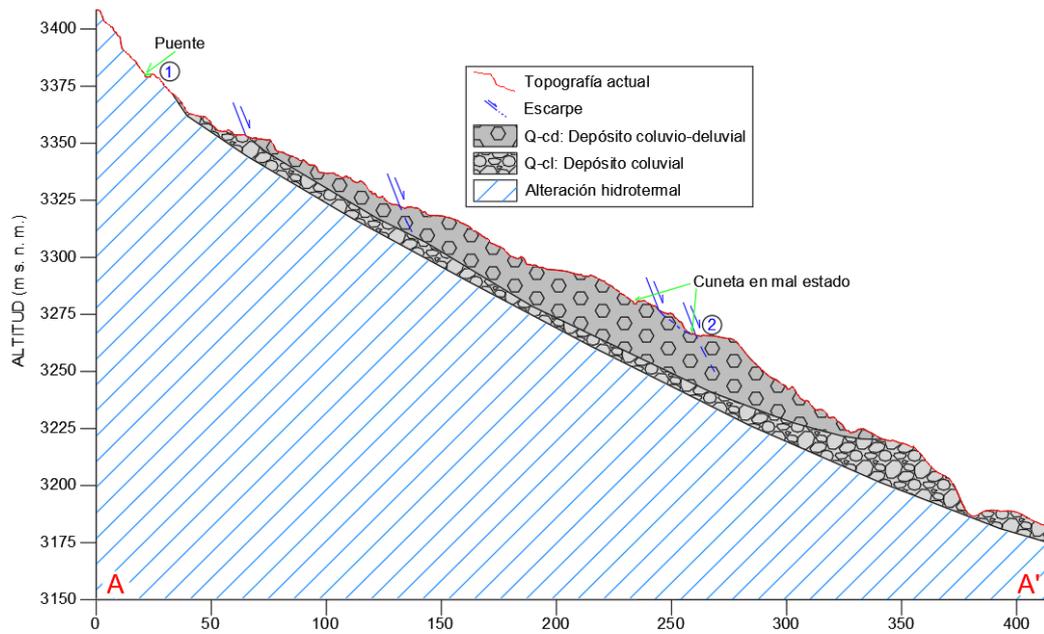


Figura 37. Perfil longitudinal A-A' del deslizamiento principal del cerro Chicche.



Figura 38. Análisis longitudinal del deslizamiento, arriba: aflente de escorrentía superficial natural que es desviado a través de un dren en mal estado; abajo: vista de un dren colmatado por el movimiento de la ladera. La ubicación de esta fotografía se presenta en la Figura 37.

- Presencia de un sistema de drenaje colmatado, colapsado y con escaso mantenimiento (Figura 39a).
- Plantaciones de eucaliptos no aptas para la estabilización de laderas (Figura 39b), que causan una meteorización biológica y mecánica por sus raíces al macizo rocoso y suelos; además impide que otras plantas puedan crecer en sus inmediaciones por su efecto alelopático y empobrecimiento nutricional de los suelos (Daba, 2016); por lo que se recomienda siempre plantarlos con otras especies que contrarresten estos efectos (Deng et al., 2021).



Figura 39. Vista de factores condicionantes del deslizamiento: dren colmatado por el material en movimiento y cuneta mal implementada como aliviadero del drenaje (izquierda) y eucaliptos en proceso de colapso (derecha).

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales de intensidad extrema (cerca de 100mm/día – Figura 7).

Daños ocasionados por el movimiento en masa

- Colapso de 200m la calzada de la trocha local.
- Afectación de 3 hectáreas de terrenos forestales.

5.2. Peligros geológicos en cerro Vizcachas (Lucmillo)

El 30 de marzo del 2022 a las 16:30 horas, producto de las intensas precipitaciones pluviales registradas, se generó un deslizamiento que por la pendiente escarpada del terreno y la sobresaturación se comportó como un flujo de detritos colina abajo, llegando al río Yanahuanga donde el material se acumuló y se produjo un embalse del río (Figura 40, 40 y 41) provocando la muerte de ganado vacuno perteneciente a pobladores del centro poblado Pampa Cuyoc, pérdida de terrenos de cultivo y de aproximadamente 50m de la vía Lucmillo – San Lucas Bajo (COER-Cajamarca, 2022).

5.1.1. Descripción del evento

Por las características observadas en campo, el proceso corresponde a un movimiento complejo, tipo deslizamiento-flujo (Figura 40).

El escarpe principal del deslizamiento tiene una longitud de 22m, mientras que la longitud del deslizamiento es de 233m y del flujo es de 419m, 120m de los cuales alcanzaron cruzar al margen oeste del río Yanahuanga.



Figura 40. Vista panorámica del movimiento complejo.



Figura 41. Vista cenital de la zona de deslizamiento en la parte alta.

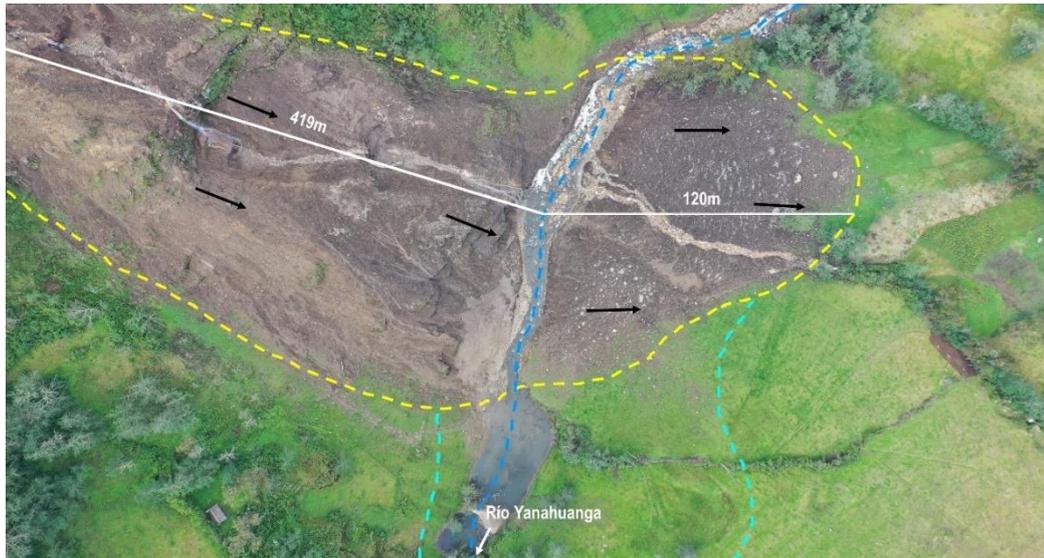


Figura 42. Parte baja del movimiento, donde el flujo de detritos se acumuló, en el cauce del río Yanahuanga (línea azul discontinua), lo que produjo un embalse (línea celeste discontinua).

5.1.2. Análisis longitudinal del deslizamiento

Se ha tomado el Perfil B-B'-B'' (Mapa 1 y 4) para poder analizar la cinemática del deslizamiento (Figura 43), donde se interpreta al basamento de rocas volcanoclásticas del paleógeno-neógeno.

En la parte alta (1), zona de deslizamiento, el material se ha comportado como un deslizamiento traslacional sobre una superficie de lavas andesíticas alteradas hidrotermalmente del Evento 3 del centro volcánico Chicche-Hueco Grande (Figura 44), este movimiento, debido a la alta presencia de agua subterránea (2) (Figura 45) y de escorrentía superficial (flujo de detritos), el cual en su avance fue erosionando la ladera, aportando más material, el mismo que se acumuló en el río Yanahuanga (3), obturando el cauce y generando un Runup de aproximadamente 30 m e incluso pasó varias decenas de metros hacia la colina opuesta (Figura 46).

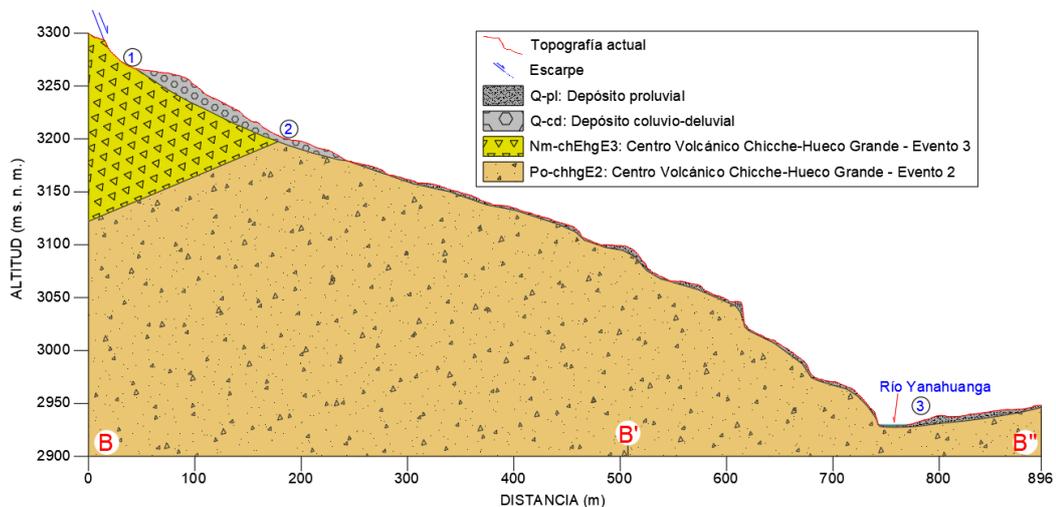


Figura 43. Perfil longitudinal B-B' del movimiento complejo del cerro Vizcachas.



Figura 44. Detalle de la zona de movimiento donde se aprecia la superficie de deslizamiento, conformado por las andesitas alteradas hidrotermalmente. La ubicación de esta fotografía se la Figura 43 (1).



Figura 45. Vista del sector final del deslizamiento en la parte alta del movimiento, donde se aprecia la zona de surgencia de agua. La ubicación de esta fotografía se presenta en la Figura 43 (2).



Figura 46. Vista detallada de la parte baja del flujo, donde se aprecia el avance del material hacia la colina opuesta y la zona de embalse. La ubicación de esta fotografía se presenta en la Figura 43 (3).

5.1.3. Características visuales y morfométricas

- Tipo de movimiento: movimiento complejo (PMA, 2007) deslizamiento-flujo
- Estado: Activo
- Estilo: Único
- Distribución: Avanzando
- Velocidad: Moderado (Moderada a Extremadamente rápida, el día del evento llegó a más de 5m/s; según las evidencias fílmicas del evento – Figura 1).
- Composición: Suelos arcillosos de alta plasticidad con bloques (Cuadro 4).
- Deformación del terreno: Escalonado

Morfometría:

- Área: 91 430 m²
- Perímetro: 2 013 m
- Diferencia de alturas corona a la punta: 343 m
- Longitud horizontal corona a punta: 872 m
- Ángulo de corona a punta: 21.5°
- Dirección del movimiento: N305°
- Ancho de la superficie de falla: 178 m

Cuadro 4. Descripción de formaciones superficiales – Movimiento complejo cerro Vizcachas.

TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL				GRANULOMETRÍA (%)		FORMA		REDONDES	
	Eluvial		Lacustre	5	Bolos		Esférica		Redondeado
X	Deluvial		Marino	10	Cantos	X	Discoidal	X	Sub redondeado
X	Coluvial		Eólico	5	Gravas		Laminar		Anguloso
	Aluvial		Orgánico	5	Gránulos		Cilíndrica		Sub anguloso
	Fluvial		Artificial	5	Arenas				
X	Proluvial		Litoral	10	Limos				
	Glaciar		Fluvio glaciar	60	Arcillas				

PLASTICIDAD		ESTRUCTURA		TEXTURA		CONTENIDO DE		% LITOLOGÍA	
X	Alta plasticidad	X	Masiva	X	Harinoso	X	Materia orgánica		Intrusivos
	Med. plasticidad		Estratificada		Arenoso		Carbonatos	X	Volcánicos
	Baja plasticidad		Lenticular		Áspero		Sulfatos		Metamórficos
	No plástico							X	Sedimentarios

COMPACIDAD						CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.						
SUELOS FINOS			SUELOS GRUESOS			SUELOS GRUESOS			SUELOS FINOS			
Limos y Arcillas			Arena			Gravas			ML			
X	Blanda		X	Suelta			Suelta			CL	X	MH
	Compacta			Densa	X		Med. consolidada			OL		OH
	Dura			Muy Densa			Consolidada			PT		
							Muy consolidada					

Factores condicionantes

- Depósito coluvio-deluvial inconsolidado, conformado por arcillas de alta plasticidad y cohesión, que se encuentra sobre una superficie de flujos de lavas andesíticas, alterados de intensidad leve a moderada hidrotermalmente (Figura 47).

- Geformas de vertiente coluvio-deluvial, con ladera de pendiente muy escarpada mayor a 45°.
- Ladera deforestada y con abundante agua subterránea.



Figura 47. Vista de los depósitos coluvio-deluviales (Q-cd) situados sobre las lavas andesíticas (Nm-chEhgE3), sobre los cuales se desarrolló la superficie de falla del deslizamiento traslacional (en línea amarilla discontinua).



Figura 48. Detalle de la superficie de falla del deslizamiento traslacional, donde se aprecian óxidos hidrotermales (Ox) como relleno de discontinuidades.

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales de intensidad extrema (cerca de 50mm/día – Figura 8).

Daños ocasionados

- Muerte de 7 animales de ganado vacuno.
- Destruyó la vía vecinal CA-1258, en un tramo de 70m, sector Lucmillo-San Lucas Bajo.
- Pérdida de 5 hectáreas de cultivos y de pastoreo.

5.3. Derrumbes y erosiones de laderas

Existen derrumbes activos a lo largo de las laderas de alta pendiente del cerro Vizcachas (Figura 49), activadas con las intensas lluvias del año 2022, dicho material puede servir de aporte para los flujos de detritos, sujetos a las condiciones climáticas y temporadas de lluvias.

Por otro lado, debido a la pendiente muy escarpada del cerro Vizcachas, existen sectores con continua caída de rocas y detritos, por lo que se les considera como sectores con erosión en laderas (Figura 49); en estos sectores se debe impedir el establecimiento de viviendas como la construcción de infraestructuras públicas.



Figura 49. Vista del cerro Vizcachas donde se aprecia el área afectada por el movimiento complejo, además se delimitan las áreas con erosión en ladera y derrumbes activos.

6. CONCLUSIONES

6.1. Centro poblado Pampa Cuyoc

- a. En el centro poblado Pampa Cuyoc, distrito de Llapa, se han cartografiado dos deslizamientos activos en la parte alta del cerro Chicche; el principal, al sur, ha afectado a 200 m de trocha local y 3 hectáreas de terrenos forestales; sin embargo, de desencadenarse a modo de derrumbe o flujo podría afectar a seis viviendas y diez hectáreas de terrenos del centro poblado.
- b. La litología está representada por rocas piroclásticas muy fracturadas, meteorizadas y alteradas hidrotermalmente; mientras que el deslizamiento ha generado un depósito coluvio-deluvial conformado por suelos arenosos poco cohesivos, inconsolidados y muy susceptibles a movimientos en masa.
- c. El deslizamiento ha generado una geoforma de vertiente con depósito de deslizamiento con pendiente muy fuerte o escarpada (25° a 45°); y está rodeada por una geoforma de vertiente coluvial con pendiente fuerte (15° a 25°).
- d. Los factores condicionantes del deslizamiento son:
 - Litología y naturaleza incompetente de materiales, compuesto por flujos piroclásticos alterados hidrotermalmente y altamente fracturados, y depósitos de gravas y bloques en una matriz de arenas no cohesivas ni consolidadas.
 - Presencia de ladera con pendiente muy fuerte o escarpada de 25° a 45° y geoformas de vertiente con depósito de deslizamiento y coluvio-deluvial, muy susceptibles a erosionarse.
 - Presencia de un sistema de drenaje colmatado, colapsado y con escaso mantenimiento.
 - Plantaciones de eucaliptos no aptas para la estabilización de laderas.
- e. El factor detonante fueron las precipitaciones pluviales de intensidad extrema (cercanas a 100mm/día) de inicios del mes de marzo del 2022.
- f. El área impactada por el deslizamiento sur del cerro Chicche por las condiciones litológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se considera como de **Peligro Muy Alto y Zona Crítica**.

6.2. Centro poblado Lucmillo

- a. En el centro poblado Lucmillo, distrito de San Silvestre de Cochán, el día 30 de marzo del 2022 se produjo un movimiento complejo del tipo deslizamiento-flujo en el cerro Vizcachas que ha afectado 70 m de la vía Lucmillo-San Silvestre Bajo, 5 hectáreas de terrenos y acabó con la vida de 7 animales de ganado.
- b. La litología está representada por rocas andesíticas muy meteorizadas; mientras que los suelos representan un depósito coluvio-deluvial de arcillas expansivas de alta plasticidad.

- c. El movimiento inició como deslizamiento y ha generado una geoforma de vertiente con depósito de deslizamiento con pendiente muy fuerte o escarpada (25° a 45°); pero, ladera abajo se comportó como flujo, generando una geoforma de piedemonte proluvial o vertiente aluvio-torrencial con pendiente muy escarpada ($>45^\circ$); llegando hasta el fondo del valle del río Yanahuanga.
- d. Los factores condicionantes del movimiento complejo son:
- Depósito coluvio-deluvial incompetente e inconsolidado, conformado por arcillas de alta plasticidad y cohesión, dispuestos sobre una superficie de flujos de lavas andesíticas muy meteorizadas.
 - Geoformas de vertiente coluvio-deluvial, con ladera de pendiente muy escarpada mayor a 45° .
 - Ladera deforestada y con abundante agua subterránea.
- e. El factor detonante fueron las precipitaciones pluviales de intensidad extrema (cerca de 50mm/día) de fines del mes de marzo del 2022.
- f. El área afectada por el movimiento complejo, por las condiciones litológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se considera como de **Peligro Muy Alto** y **Zona Crítica**.

7. RECOMENDACIONES

7.1. Centro poblado Pampa Cuyoc

- a. Desviar las aguas superficiales mediante tubos de PVC o mangueras flexibles, mientras el movimiento se mantenga activo. Alcanzado un nivel de estabilidad adecuado, reconstruir los drenes superficiales colmatados y colapsados del cerro Chicche, con una sección de concreto armado, a fin de evitar filtraciones (Anexo 2a – Figura 50), además de programar continuos trabajos de mantenimiento en estos y construcción los drenes de coronación adicionales que sean necesarios.
- b. Establecer un sistema de alerta temprana que contemple el monitoreo continuo del movimiento del deslizamiento, la comunicación a la población del centro poblado de Pampa Cuyoc. Para ello, se debe capacitar y hacer simulacros continuos sobre el peligro, reconocimiento de zonas críticas y seguimiento de las rutas de evacuación hasta puntos de encuentro y zonas seguras.
- c. Cambiar, progresivamente, las plantaciones forestales, tipo eucalipto, ubicadas dentro de los movimientos activos, con mejor capacidad de cohesión de suelos con el macizo rocoso, siendo especies nativas y de raíces densas (Anexo 2b – Figura 51 y 52).
- d. Realizar la evaluación del riesgo a escala local (EVAR) para establecer los niveles de riesgo y las medidas de control.
- e. Evitar la deforestación en las laderas y/o remoción de cobertura vegetal para uso de cultivos agrícolas.

7.2. Centro poblado Lucmillo

- a. Construir drenes de coronación con una sección de concreto armado, a fin de evitar filtraciones (Anexo 2a – Figura 50).
- b. Reforestar las laderas con especies nativas y evitar la deforestación de más zonas para actividades agrícolas o ganaderas.
- c. Restringir el riego por inundación y gestionar la implementación de métodos de riego tecnificado de menor demanda hídrica (riego por goteo o por aspersión).


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


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

8. BIBLIOGRAFÍA

- AlosPalsar. (2011). *Modelo Digital de Elevaciones Alos Palsar 26527*. 1. <https://search.asf.alaska.edu/>
- COER-Cajamarca. (2022). *Reporte preliminar de emergencia N° 038 - 31/03/2022. Deslizamiento en el distrito de San Silvestre de Cochán, provincia de San Miguel*.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslides types and processes. *Landslides Investigation and Mitigation: Washington D.C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report, 247*, 36–75.
- Daba, M. (2016). The Eucalyptus Dilemma: The Pursuit for Socio-economic Benefit versus Environmental Impacts of Eucalyptus in Ethiopia. *Journal of Natural Sciences Research*, 6(16), 11.
- Deng, H., Sen, L., Yang, J., & Mo, X. (2021). Stand Stability of Pure and Mixed-Eucalyptus Forests of Different Tree Species in a Typhoon-Prone Area. *Forest*, 12(458), 18.
- Hoek, E. (2007). Rock Mass Properties. In *Practical Rock Engineering* (2nd ed., pp. 190–236). Rocscience.
- INEI. (2018). *Centros Poblados*. Directorio Nacional de Centros Poblados Censos Nacionales 2017. https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm
- INGEMMET. (2021). *Mapas geologicos integrados 50k ver 2021*.
- Minedu. (2022). *ESCALE*. Estadística de Calidad Educativa ESCALE. <http://escale.minedu.gob.pe/padron-de-iiiee>
- Minsa. (2022). *RENIPRESS*. Registro Nacional de Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud. <http://app12.susalud.gob.pe/>
- NASA. (2020). *Modelo digital de Elevaciones SRTM v3*. NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Version 3.0 Global 1 Arc Second. <https://earthdata.nasa.gov/learn/articles/nasa-shuttle-radar-topography-mission-srtm-version-3-0-global-1-arc-second-data-released-over-asia-and-australia>
- Navarro, P. (2014). Correlación espacial, temporal y metalogenética del magmatismo cenozoico del Grupo Calipuy del norte del Perú en base a nuevas dataciones. *Boletín de La Sociedad Geológica Del Perú*, 109, 7–11.
- Navarro, P., Cereceda, C., & Rivera, M. (2008). Stratigraphy of the synorogenic Cenozoic volcanic rocks of Cajamarca and Santiago de Chuco, northern Peru. *7th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2008, Nice)*, 369–372.
- Navarro, P., & Monge, R. (2008). Períodos eruptivos del volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en la Cordillera Occidental del norte del Perú: segmento Cajamarca.

Congreso Peruano de Geología 14, Congreso Latinoamericano de Geología 13.
Lima, Perú, 6.

PMA. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas* (1st ed.). Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas.

Senamhi. (2020). *Climas del Perú - Mapa de Clasificación Climática Nacional*.

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

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

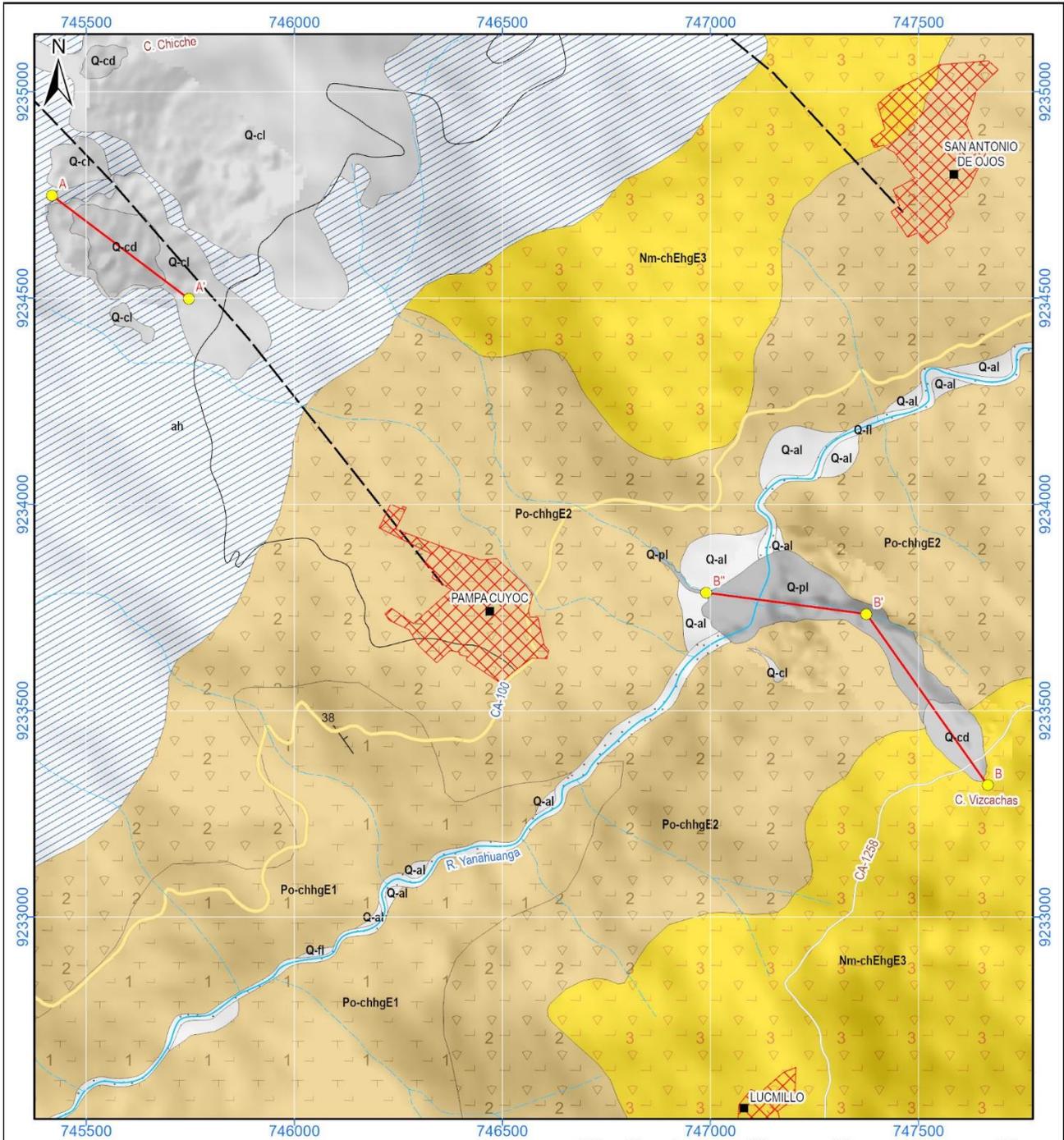
Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes. In *Special Report 176: Landslides: Analysis and Control* (Eds: Schuster, R.L and Krizek, R.J), *Transportation and Road Research Board*, 9–33.

Villota, H. (2005). *Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de Tierras* (2nd ed.). Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Wilson, J. (1984). *Geología de los Cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo, Chepén*. INGEMMET Boletín N° 38 Serie A (1st ed.).

Zavala, B., & Rosado, M. (2011). *Riesgo Geológico en la Región Cajamarca*. INGEMMET Boletín N° 44, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.

ANEXO 1. MAPAS

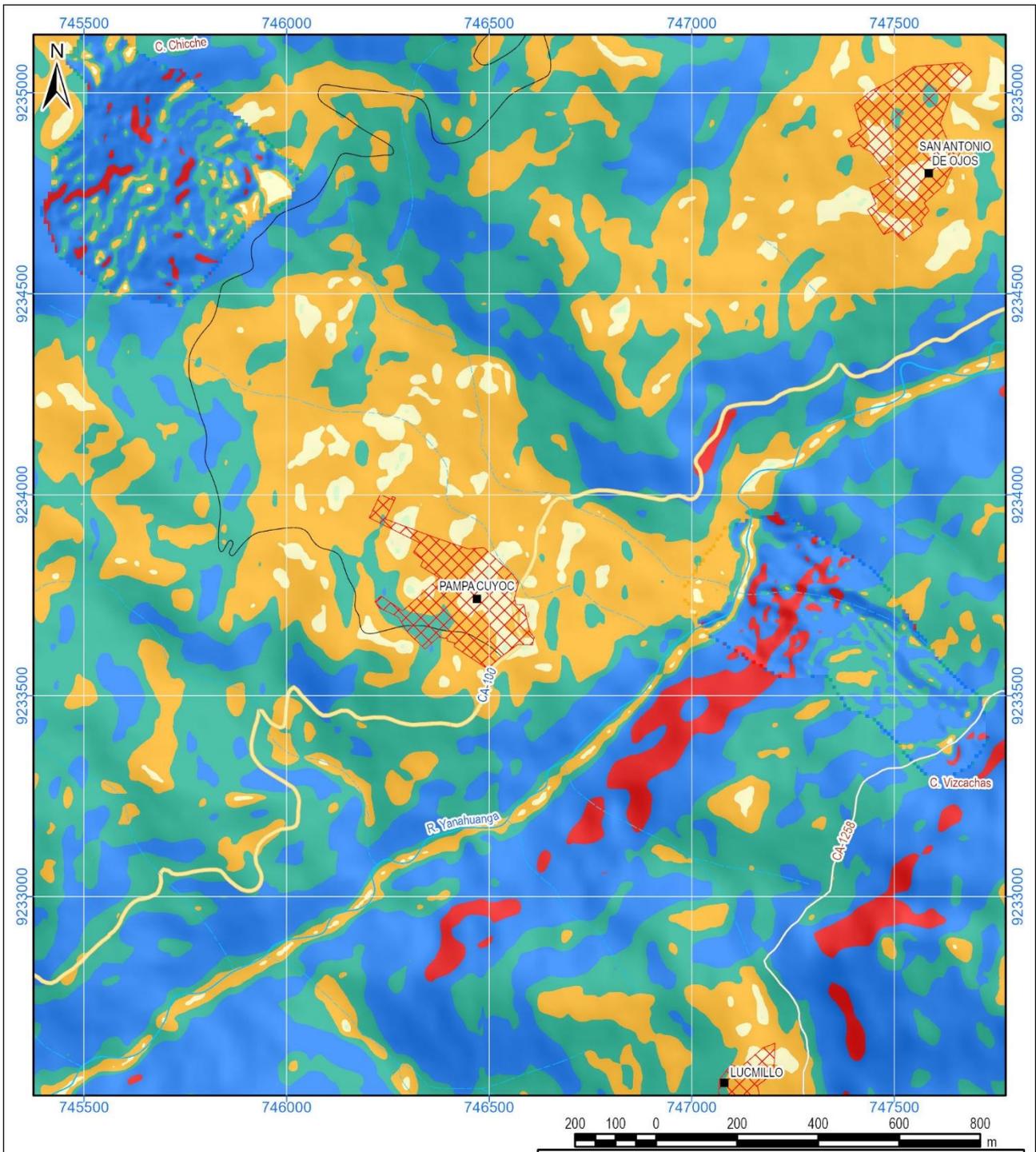


SIMBOLOGÍA	
	Centro poblado
	Trocha
	Red vial vecinal
	Red vial departamental
	Quebrada
	Río
	Falla con movimiento indefinido inferida
	Rumbo y buzamiento de estrato inclinado
	Línea de perfil

LEYENDA	
	Q-fl: Depósito fluvial
	Q-al: Depósito aluvial
	Q-cl: Depósito coluvial
	Q-cd: Depósito coluvio-deluvial
	Q-pl: Depósito proluvial
	ah: Alteración hidrotermal
	Nm-chEhgE3: Centro Volcánico Chicche-Hueco Grande - Evento 3
	Po-chhgE2: Centro Volcánico Chicche-Hueco Grande - Evento 2
	Po-chhgE1: Centro Volcánico Chicche-Hueco Grande - Evento 1



 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN MIGUEL - LLAPA, SAN SILVESTRE DE COCHAN	
MAPA GEOLÓGICO	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/15,000	Versión digital: 2022
MAPA 1	



SIMBOLOGÍA

- Centro poblado
- Trocha
- Red vial vecinal
- Red vial departamental
- Quebrada
- Río

LEYENDA

Pendientes del terreno

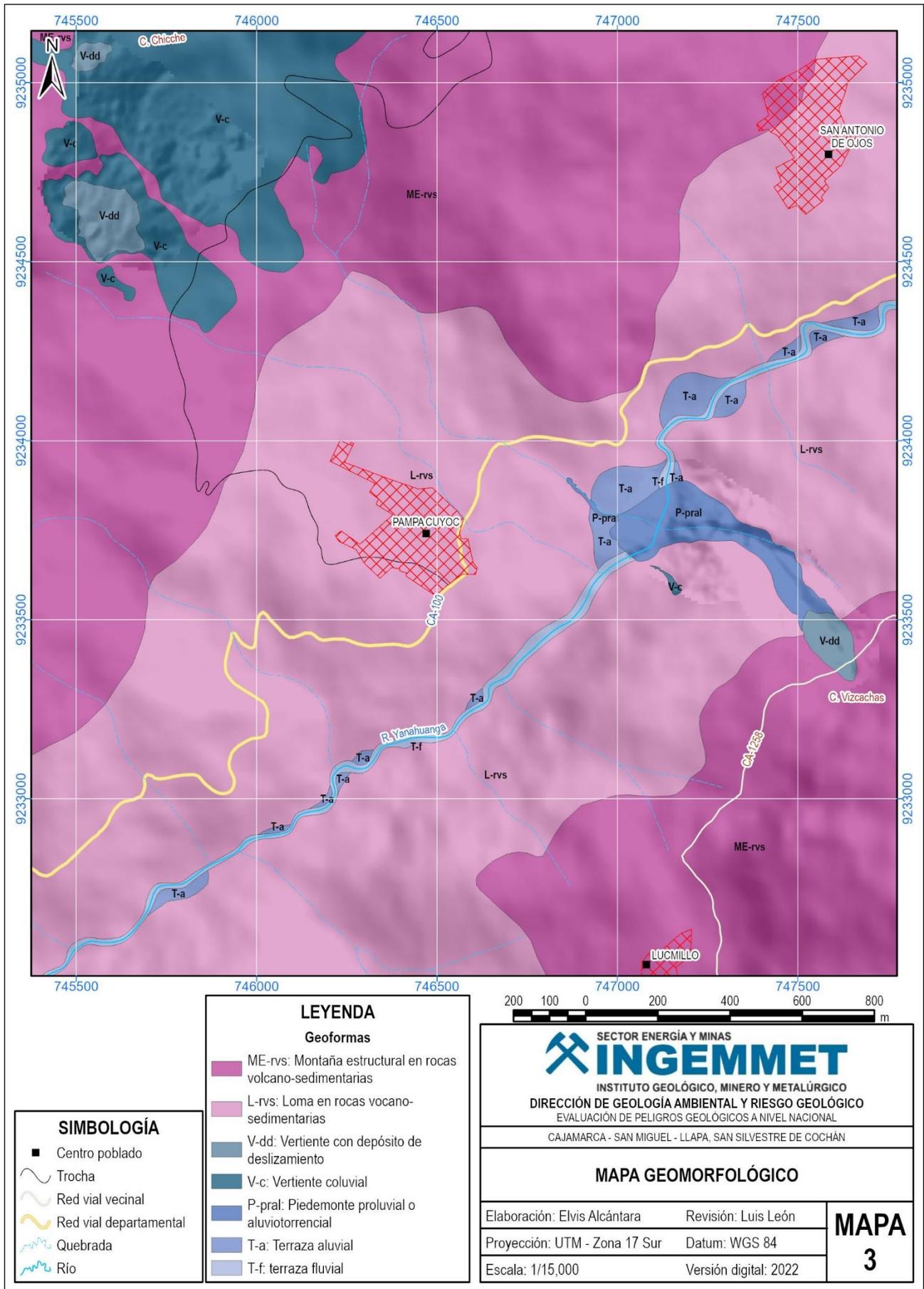
- <1°: Terreno llano
- 1°-5°: Terreno inclinado con pendiente suave
- 5°-15°: Pendiente moderada
- 15°-25°: Pendiente fuerte
- 25°-45°: Pendiente muy fuerte o escarpada
- >45°: Terreno muy escarpado

200 100 0 200 400 600 800
m

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL
CAJAMARCA - SAN MIGUEL - LLAPA, SAN SILVESTRE DE COCHÁN

MAPA DE PENDIENTES

Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León	MAPA 2
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84	
Escala: 1/15,000	Versión digital: 2022	



SIMBOLOGÍA

- Centro poblado
- ~ Trocha
- ~ Red vial vecinal
- ~ Red vial departamental
- ~ Quebrada
- ~ Río

LEYENDA

Geoformas

- ME-rvs: Montaña estructural en rocas volcano-sedimentarias
- L-rvs: Loma en rocas volcano-sedimentarias
- V-dd: Vertiente con depósito de deslizamiento
- V-c: Vertiente coluvial
- P-pral: Piedemonte proluvial o aluviotorrencial
- T-a: Terraza aluvial
- T-f: terraza fluvial

200 100 0 200 400 600 800 m

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

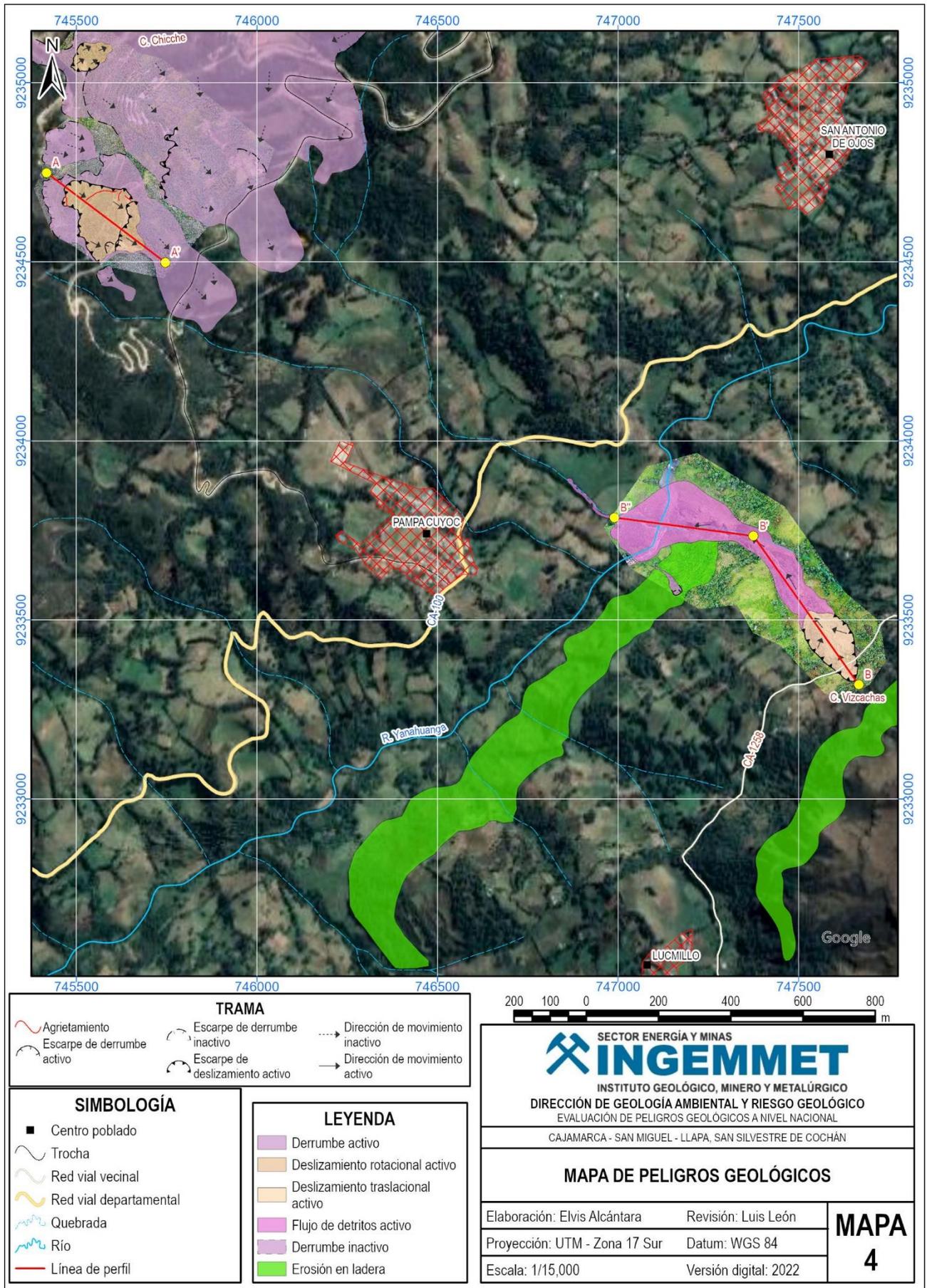
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

CAJAMARCA - SAN MIGUEL - LLAPA, SAN SILVESTRE DE COCHÁN

MAPA GEOMORFOLÓGICO

Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León	MAPA 3
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84	
Escala: 1/15,000	Versión digital: 2022	



ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS

Para los deslizamientos

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

a. Drenaje Superficial

Las zanjas construidas permiten la recolección de aguas superficiales, captan la escorrentía tanto de la ladera, como de la cuenca de drenaje arriba del talud y desvía el agua a las quebradas adyacentes al cuerpo de deslizamiento, evitando su infiltración, captando el agua de escorrentía, llevándola a un sitio lejos del deslizamiento. Éstas deben ser construidas en la parte superior al escarpe principal del deslizamiento (Figura 50). 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.

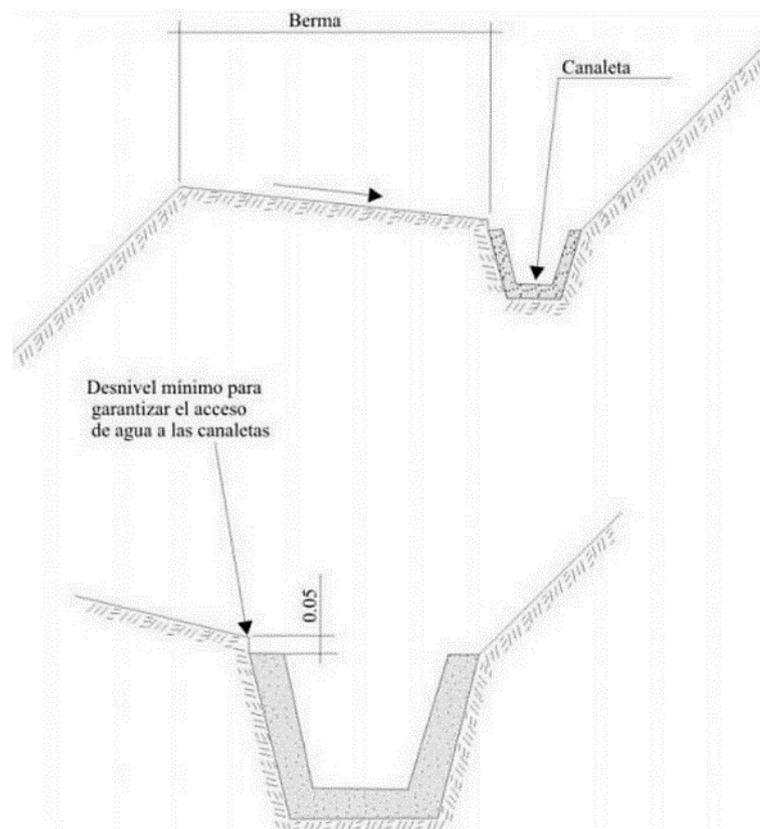


Figura 50. Detalle una canaleta de drenaje superficial (zanjas de coronación). Tomado de INGEMMET (2000).

b. Revegetación y bioingeniería

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

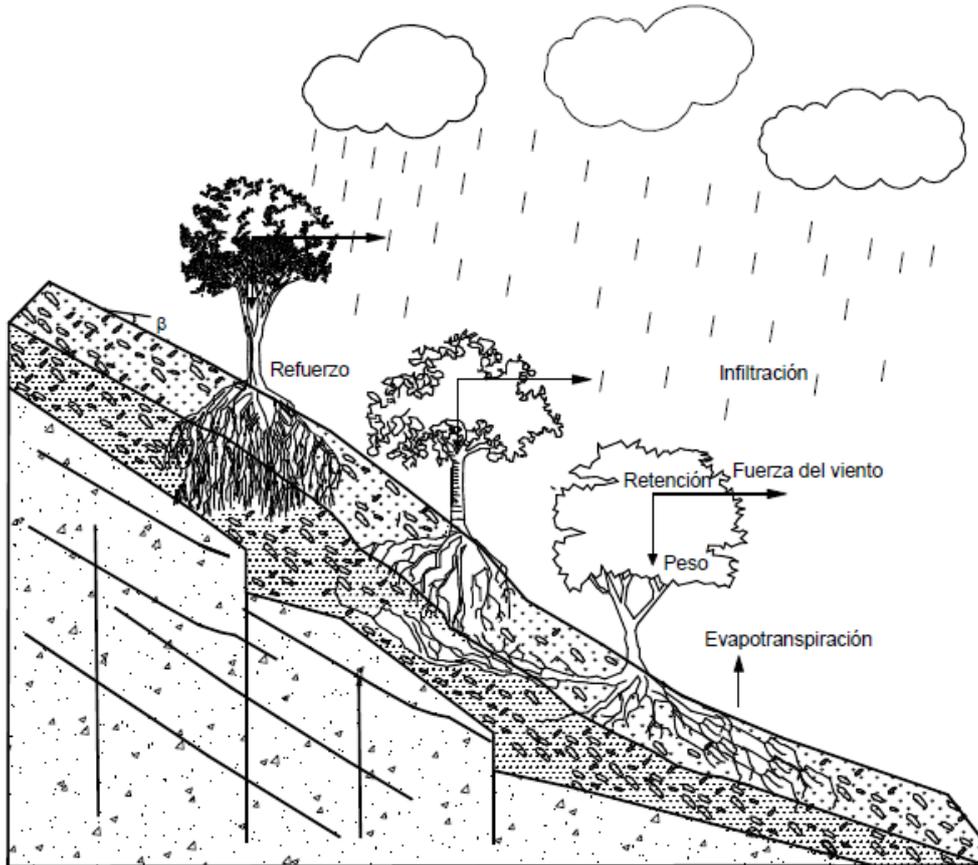


Figura 51. Estabilización de taludes utilizando vegetación. **Fuente:** Suarez, Díaz 2007.



Figura 52. Ejemplo de bioingeniería con arbusto (vetiver) en taludes de materiales sueltos.