

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

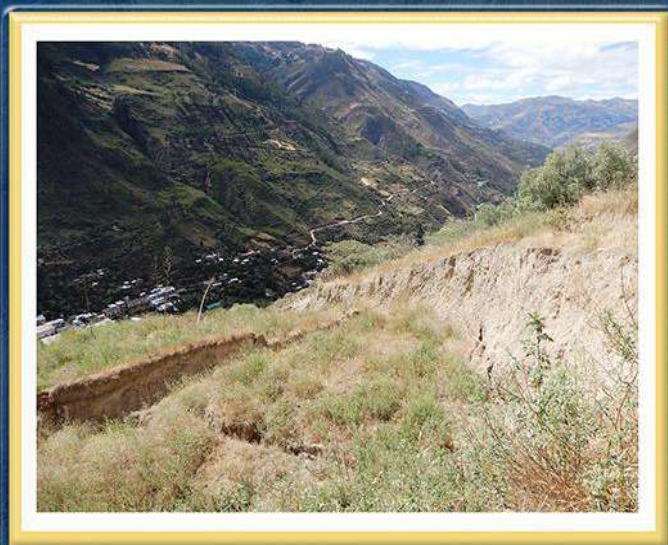
Informe Técnico N° A7715

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR SANTA ROSA-PAUCA

Departamento: Ancash

Provincia: Sihuas

Distrito: Sihuas



DICIEMBRE
2025

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR SANTA ROSA-PAUCA

(Distrito Sihuas, Provincia Sihuas, Departamento Ancash)



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

Equipo Técnico:

*Wilson Gómez Cahuaya
Guisela Choquenaira Garate*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2025). *“Evaluación de peligros geológicos por deslizamiento en el sector Santa Rosa-Pauca”*. Distrito Sihuas, Provincia Sihuas y Departamento Ancash, informe técnico N° A7715, Ingemmet 44p.

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Objetivos del estudio	4
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	5
1.3. Aspectos generales.....	5
1.3.1. Ubicación.....	5
1.3.2. Población.....	6
1.3.3. Accesibilidad.....	6
1.3.4. Clima	7
2. DEFINICIONES	7
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	9
3.1. Unidades litoestratigráficas.....	10
3.1.1. Grupo Goyllarisquizga	10
3.1.2. Depósitos Cuaternarios	11
3.1.2.1. Depósitos coluvio-deluviales (Q-cd).....	11
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	13
4.1. Pendientes del terreno	13
4.2. Unidades geomorfológicas.....	15
4.2.1. Montaña estructural en roca sedimentaria (ME-rs)	15
4.2.2. Vertiente coluvio-deluvial (V-cd)	15
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	17
5.1. Movimientos en masa	19
5.1.1. Deslizamiento antiguo	19
5.1.2. Deslizamiento activo.....	20
5.1.2.1. Factores condicionantes.....	24
5.1.2.2. Factores desencadenantes.....	24
6. CONCLUSIONES.....	25
7. RECOMENDACIONES.....	26
8. BIBLIOGRAFÍA.....	28
ANEXO 1: MAPAS.....	29
ANEXO 2: PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTIVAS.....	33
ANEXO 3: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	39

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos asociados a movimientos en masa en el sector Santa Rosa-Pauca, ubicado en el distrito de Sihuas, provincia Sihuas y departamento de Ancash. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico cumple con la función de brindar asistencia en materia de peligros geológicos a los tres niveles de gobierno, es decir: local, regional y nacional.

La geología local en el sector Santa Rosa-Pauca está dominada por un substrato rocoso constituido por rocas sedimentarias del Grupo Goyllarisquizga. La litología está conformada de calizas, areniscas y lutitas en estratos que van de 0.15 a 0.6 m de espesor. Estos macizos rocosos presentan características físicas de resistencia media-baja, que oscilan entre los 25 a 100 Mpa, además, se encuentran muy fracturados y superficialmente se hallan moderada a fuertemente meteorizadas. Los depósitos coluvio-deluviales están conformadas por acumulaciones inconsolidadas de fragmentos heterométricos de bolones y gravas envueltos en matriz limo arenosa, provenientes de antiguos deslizamientos, caracterizados por sus propiedades geomecánicas poco cohesivas y de baja resistencia a la erosión, lo que favorecen la generación, desarrollo y reactivación de movimientos en masa.

Desde el punto de vista geomorfológico, los procesos por movimientos en masa se desarrollaron sobre una morfología montañosa, labrada en roca sedimentaria, caracterizada por un relieve abrupto, con pendientes que varían entre 15° a 45°. Las geoformas de vertientes coluvio-deluviales se emplazan sobre laderas medias, al este del cerro Copcho, Estas condiciones morfológicas del terreno han propiciado la evolución y reactivación del deslizamiento de Santa Rosa-Pauca.

Los resultados de la evaluación muestran un deslizamiento que, por sus características morfológicas del terreno, los escarpes y grietas situadas en el escarpe principal y en el cuerpo, se trataría de un movimiento en masa en estado activo. Este afecta un área de 3.2 ha. Su escarpe principal presenta una geometría semicircular, con flancos cerrados que recorre ~280 m de longitud. Presenta un salto variable que va desde 2.5 hasta 4 m con respecto a la vertical, el cual reflejan una clara inestabilidad del terreno que ponen en peligro a las viviendas situadas en la corona y a los pobladores al pie de la ladera de la población de Sihuas.

De acuerdo con las características y condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta el área evaluada, se considera al sector Santa Rosa-Pauca como **Peligro Alto** ante la ocurrencia de deslizamientos.

Por último, se brindan las recomendaciones para las autoridades competentes y tomadores de decisiones. La construcción de canales de drenaje/coronación con una sección de material impermeable (como geomembranas o arcillas), sellar los agrietamientos a fin de evitar la infiltración de aguas de escorrentía durante lluvias intensas, prohibición de construcción de nuevas viviendas e infraestructura en el área de ocurrencia de deslizamientos, finalmente, se recomienda realizar un EVAR.

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 “Servicio de asistencia técnica en evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 16)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Provincial de Sihuas, según Oficio N° 088-2025-MPS/A., en el marco de nuestras competencias se realiza la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el Anexo Santa Rosa-Pauca.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Geólogos Wilson Gómez Cahuaya y Guisela Choquenaira Garate, para realizar la evaluación de peligros geológicos en el anexo antes mencionado, el cual, se efectuó en coordinación con los representantes de Gestión de Riesgo y Desastres de la Municipalidad del Distrital de Sihuas.

La evaluación técnica se ejecutó en tres etapas: i) Gabinete I (Pre-campo), recopilación de antecedentes de estudios de geología, geodinámica externa y geomorfología por parte del INGEMMET; ii) Campo, que consistió en la observación geológica, toma y medición de datos estructurales (levantamiento fotogramétrico con dron, captura de imágenes fotográficas), cartografiado al detalle, recopilación de información y testimonios de población local afectada; iii) Gabinete II, se realizó el procesamiento digital e interpretación de toda la data extraída en campo, que involucra fotointerpretación cartográfica geológica y geodinámica para la identificación de procesos de movimientos en masa a través de imágenes satelitales, que ofrece la plataforma Google Earth y Sentinel 2, elaboración de mapas, figuras temáticas y finalmente redacción del informe final.

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

1.1. Objetivos del estudio

El presente estudio tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en el Anexo de Santa Rosa-Pauca del distrito de Santa Rosa-Pauca, provincia Sihuas y departamento de Ancash.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes de la ocurrencia de peligros geológicos.
- c) Proponer y recomendar medidas de prevención y reducción ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del Ingemmet, que incluyen sectores aledaños a las zonas de evaluación (informes técnicos) y otros estudios regionales relacionados a la geología y geodinámica externa (boletines), de los cuales destacan los siguientes:

- A) Wilson, J.; Reyes, L. & Garayar, J. (1967). Geología de los cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari. Describen las principales unidades jurásicas y cretácicas, al borde este de la Cordillera del Occidental del Perú a escala 1:100 000.
- B) Boletín N°34, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Riesgos Geológicos en la región Áncash” de Zavala & Vélchez (2009). Este trabajo presenta un inventario 2129 peligros geológicos, y según el mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:250 000, el Anexo Santa Rosa-Pauca se encuentra en zona de susceptibilidad alta a muy alta.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El sector Santa Rosa-Pauca pertenece políticamente al distrito Sihuas, provincia Sihuas del departamento de Ancash. Morfoestructuralmente, se ubican en el borde este de la Cordillera Occidental del Perú (**Figura 2**).

El área estudiada se enmarca dentro de las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S).



Figura 1. Ubicación del sector Santa Rosa-Pauca resaltada sobre una imagen satelital mostrando el área urbana de Sihuas.

1.3.2. Población

Según el censo 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, la localidad de Santa Rosa-Pauca se caracteriza por tener una población heterogénea donde cada familia tiene características que le hacen particular.

La población expuesta a peligro se encuentra asentada en el cuerpo del deslizamiento inactivo latente. Sin embargo, alrededor de 05 habitantes distribuidas en 03 viviendas se encuentran afectadas por la influencia del deslizamiento activo.

1.3.3. Accesibilidad

El acceso se realiza por vía terrestre desde la ciudad de Lima, mediante la siguiente ruta (**Tabla 1**):

Tabla 1. Ruta de acceso.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Ingemmet (Lima) – Distrito Sihuas (Ancash)	Asfaltada y vía afirmada	660	13 horas 40 min

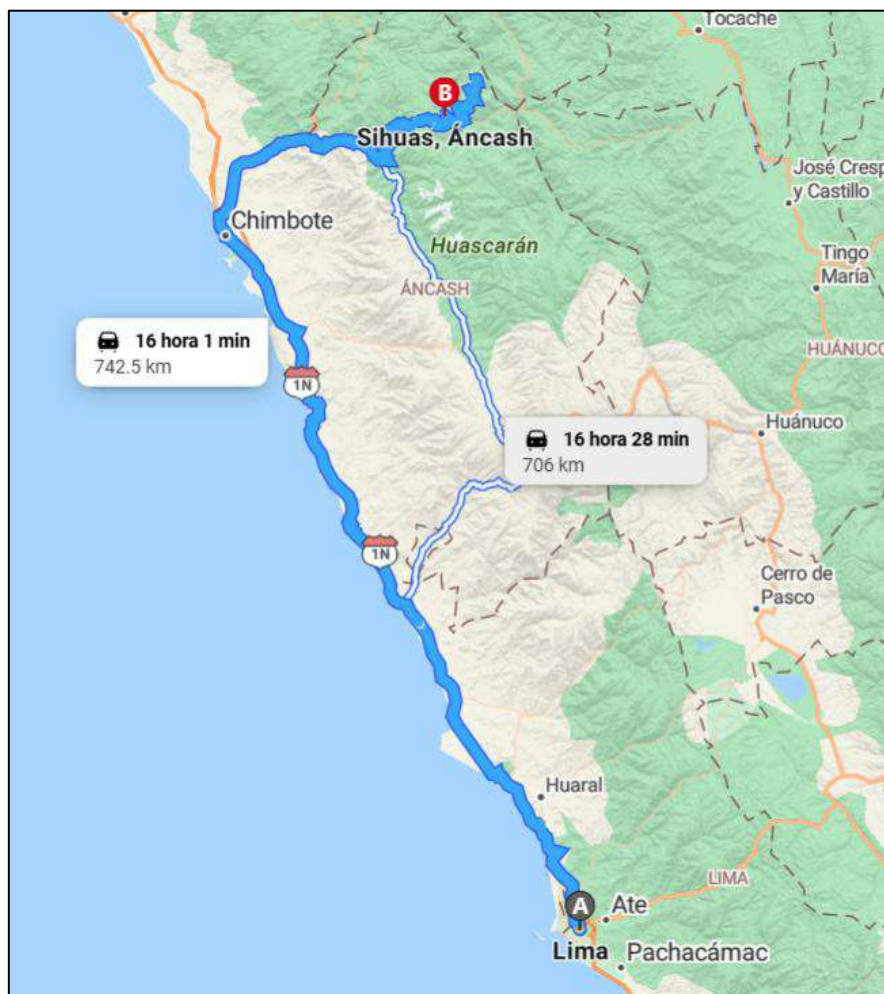


Figura 2. Mapa de ruta de accesibilidad desde Ingemmet (Lima) hasta el anexo de Santa Rosa-Pauca (Ancash). Fuente: <https://www.bing.com/maps?cp=-10.620752%7E-76.024929&lvl=7.7>.

1.3.4. Clima

De manera general y de acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), el anexo de Santa Rosa-Pauca y alrededores presenta tres tipos de climas de los 38 definidos en la clasificación a nivel nacional. Se caracteriza por presentar una variación de climas que va de templado a lluvioso entre otoño e invierno.

Respecto a las precipitaciones, nos muestran que, el sector Santa Rosa-Pauca, posee datos de precipitación diaria de los años del 2025 (enero a abril), el cual muestra que las precipitaciones más altas y anómalas registradas corresponden a los meses entre febrero y marzo, meses donde las concentraciones más altas coinciden con las fechas en las que se reportaron reactivaciones de movimientos en masa en el sector de Santa Rosa-Pauca. (**Figura 3**).

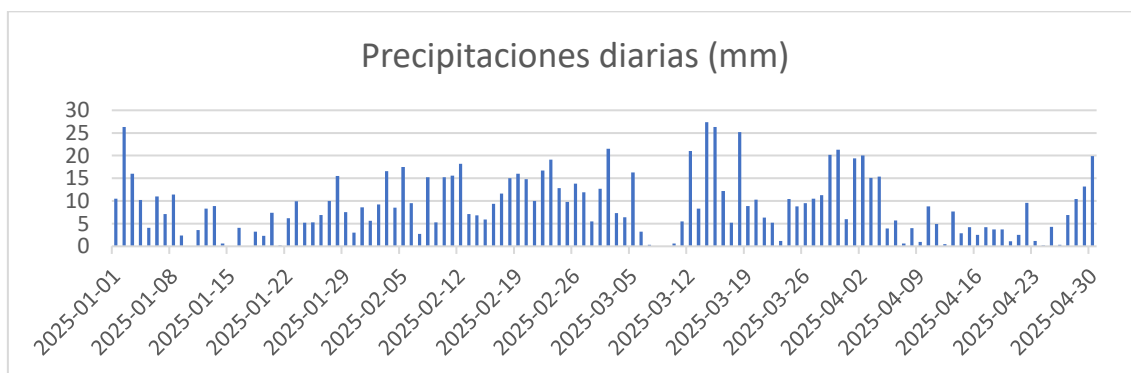


Figura 3. Precipitaciones diarias registrados en el sector Santa Rosa-Pauca. Fuente: Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history>.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos; es por ese motivo, considerando como base el libro de “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), se desarrolla algunas definiciones relevantes en términos sencillos como son:

Actividad. La actividad de un movimiento en masa se refiere a tres aspectos generales del desplazamiento en el tiempo de la masa de material involucrado: el estado, la distribución y el estilo de la actividad. El primero describe la regularidad o irregularidad temporal del desplazamiento; el segundo describe las partes o sectores de la masa que se encuentran en movimiento; y el tercero indica la manera como los diferentes movimientos dentro de la masa contribuyen al movimiento total. El estado de actividad de un movimiento en masa puede ser: activo, reactivado, suspendido, inactivo latente, inactivo abandonado, inactivo estabilizado e inactivo relicto (WP/WLI, 1993).

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

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

Caída. Tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de la superficie de un talud, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire, pero con algunos golpes, rebotes y rodamiento. Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. Algunos autores, como Corominas y Yague (1997) denominan colapso a los casos en que el material cae de manera eminentemente vertical.

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

Derrumbe. Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros. Se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados.

Deslizamiento. Son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud (Cruden, 1991). 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.

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

Factor condicionante. Se refiere al factor natural o antrópico que condiciona o contribuye a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituye el evento detonante del movimiento.

Factor detonante. Acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera, la sobrecarga de una ladera, entre otros.

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.

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).

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

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. Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. Los tipos más frecuentes son: caídas, deslizamientos, flujos, vuelcos, expansiones laterales, reptación de suelos, entre otros. Existen movimientos extremadamente rápidos (más de 5 m por segundo) como avalanchas y/o deslizamientos, hasta extremadamente lentos (menos de 16 mm por año) a imperceptibles como la reptación de suelos.

Peligros geológicos. Son procesos o fenómenos geológicos que podrían ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud. Daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y servicios, trastornos sociales y económicos o daños materiales. Pueden originarse al interior (endógenos) o en la superficie de la tierra (exógenos). Al grupo de endógenos pertenecen los terremotos, tsunamis, actividad y emisiones volcánicas; en los exógenos se agrupan los movimientos en masa (deslizamientos, aludes, desprendimientos de rocas, derrumbes, avalanchas, aluviones, huaicos, flujos de lodo, hundimientos, entre otros), erosión e inundaciones.

Reptación de suelos. Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

Susceptibilidad. Está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso de movimientos en masa determinado.

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

Zona crítica. Las zonas o áreas consideradas como críticas, presentan recurrencia en algunos casos periódica a excepcional de peligros geológicos y geohidrológicos; alta susceptibilidad a procesos geológicos que puede causar desastres y alto grado de vulnerabilidad.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

En este acápite se realizaron distintas mediciones en campo y finalmente apoyada con la información existente que proviene de la Carta Geológica Nacional del INGEMMET.

La zona evaluada se enmarca dentro de una extensa franja de dirección andina NO-SE, que, constituye el borde este de la Cordillera Occidental desde el punto de vista morfoestructural. Esta franja está ocupada por rocas sedimentarias, las cuales han sufrido un intenso proceso de deformación a lo largo de su historia geológica, que se manifestó a través de plegamientos y fallas acompañadas de fracturas que evidencian una intensa actividad tectónica pasada. Las unidades afectadas son las formaciones del Grupo Goyllarisquizga. Esta unidad, se encuentra tapizadas y cubiertas

discordantemente por una capa de suelos residuales y depósitos coluvio-deluviales dispuestas sobre una ladera pronunciada, cuya descripción se detallan más adelante.

3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que intervienen indirectamente en los procesos de movimientos en masa y además constituyen el basamento como parte del substrato rocoso es el Grupo Goyllarisquizga, así como también, los depósitos coluvio-deluviales y coluviales.

3.1.1. Grupo Goyllarisquizga

Esta unidad aflora extensamente en el área evaluada. Sus principales afloramientos se observan al este del cerro Copcho. Se trata de calizas intercaladas con areniscas y lutitas gris oscuras en estratos delgados que van de 15 a 60 cm de espesor. Estas rocas se observan superficialmente muy fracturadas y de moderado a fuertemente meteorizadas.



Fotografía 1. Afloramiento rocoso del Grupo Goyllarisquizga en las inmediaciones del sector Santa Rosa-Pauca. Se observa calizas intercaladas con lutitas, el cual conforma macizos muy fracturados y fuertemente meteorizados. Vista mirando al oeste.



Fotografía 2. Areniscas intercaladas con lutitas en estratos de 15 a 60 cm de espesor. Superficialmente se observan muy fracturados y moderadamente meteorizados.

3.1.2. Depósitos Cuaternarios

3.1.2.1. Depósitos coluvio-deluviales (Q-cd)

Estos depósitos se alojan en la parte media de la ladera este del cerro Copcho. Se trata de secuencias inconsolidadas, con fragmentos heterométricos y polimícticos constituidos de bolones, gravas y gravilla de calizas, areniscas y lutitas, envueltos en una matriz limo-arenosa pobremente gradada. Sus fragmentos tienen formas subangulosas a subredondeadas con diámetro de 5 a 40 cm, aunque esporádicamente se observan bloques con diámetro mayor de 40 cm (**Fotografías 3 y 4**).

Por sus características físicas y geomecánicas, estas secuencias forman suelos inconsolidados con baja cohesión y poco competentes, ofreciendo baja resistencia a la erosión, dispuestas sobre una ladera con pendiente fuerte. Esto implica terrenos inestables que las convierte en altamente susceptibles a procesos gravitacionales, así como deslizamientos y derrumbes.

Por otro lado, se analizó una muestra de suelo (ACT16-SL-25-006; N9052632, E210614), el cual, de acuerdo al resultado de laboratorio (**Anexo 3**), se trata de un suelo tipo grava limosa (GM) en clasificación SUCS, mientras que, de acuerdo a la clasificación AASHTO se trata de un suelo con fragmentos de roca, grava y arena. Además, presenta muy baja humedad (2.6%) y gravedad específica de 2.70, lo que sugiere una composición predominantemente de fragmentos rocosos.

Este tipo de suelo, refuerza la hipótesis, de que se hayan acumulado sobre la ladera proveniente principalmente de un antiguo deslizamiento, debido a su alto contenido de grava (**Fotografía 3**).



Fotografía 3. Depósitos coluvio-deluviales ubicados en la ladera media del cerro Cocho, en los alrededores del sector Santa Rosa-Pauca.



Fotografía 4. Depósito coluvio-deluvial dispuesto sobre la ladera media del cerro Copcho, cerca del sector Santa Rosa-Pauca.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

El análisis de la pendiente del terreno es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, ya que actúa como factor condicionante y dinámico en la propagación de las mismas.

Se consideraron seis rangos de pendientes que van terrenos llanos (0° - 1°), con pendiente suave (1° a 5°); pendiente moderada (5° a 15°); pendiente fuerte (15° a 25°); pendiente muy fuerte a escarpado (25° a 45°); finalmente, terreno como muy escarpado ($>$ a 45°).

Para la zona evaluada se elaboró un mapa de pendientes de acuerdo con el modelo de elevación digital (DEM) de 30 m de resolución. Los procesos de movimientos en masa (deslizamientos) originados en el sector Santa Rosa-Pauca oscilan entre las pendientes moderadas de 5° a 15° , fuertes de 15° a 25° y muy fuertes de 25° a 45° (**Figura 4**).

De acuerdo al mapa de pendientes, el sector Santa Rosa-Pauca se encuentra asentada sobre una pendiente que oscila entre 15° - 45° , y parte de su expansión urbana se desarrolló sobre una ladera con pendiente suave a moderado. Sus viviendas se disponen de manera escalonada por la morfología del terreno (**Figura 4 y fotografía 5**).



Fotografía 5. Morfología escalonada de la ladera este del cerro Copcho, donde se muestra en la parte inferior pendientes fuertes a muy fuertes en el sector Santa Rosa-Pauca. Vista panorámica mirando al oeste.

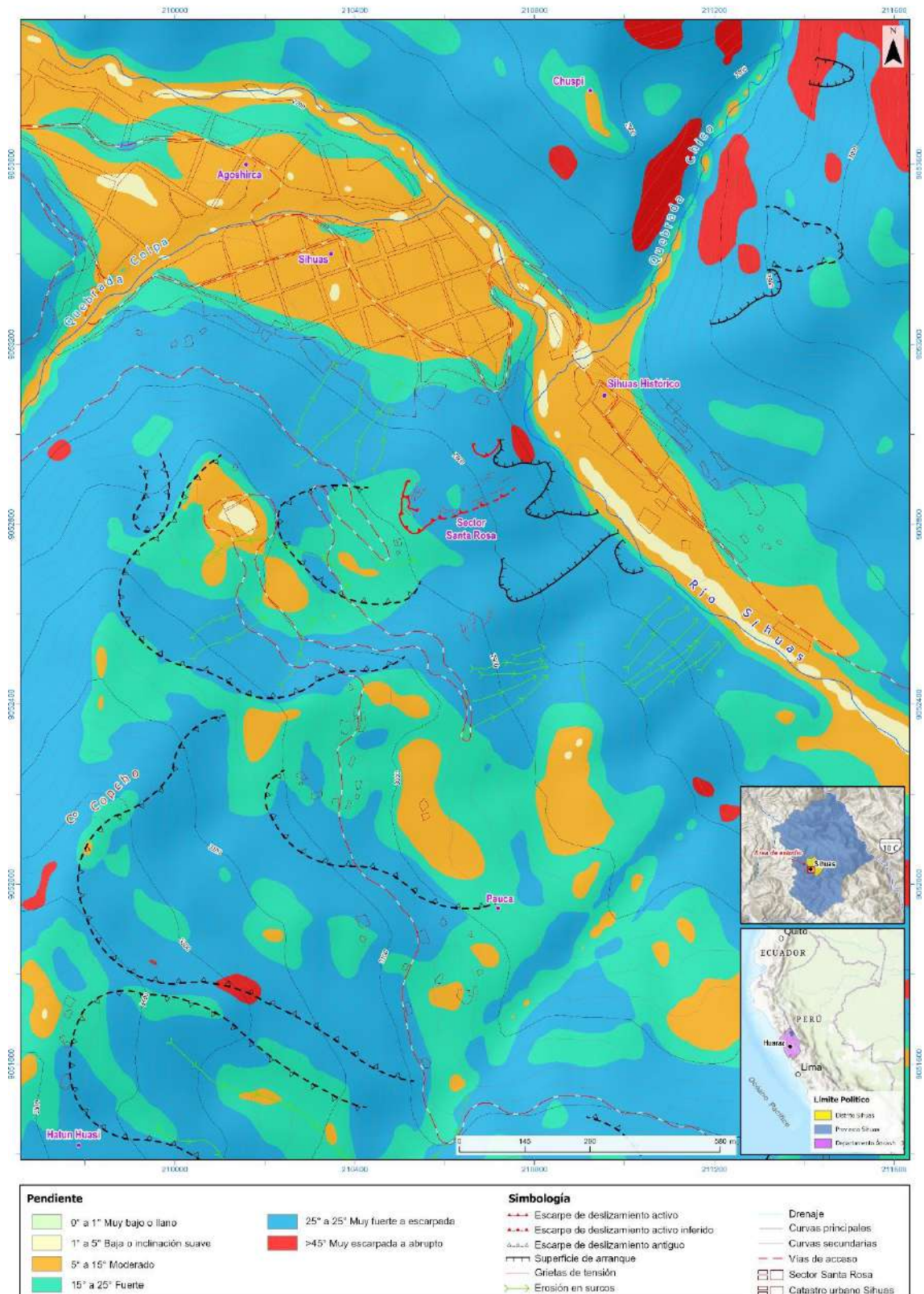


Figura 4. Mapa de pendientes del sector Santa Rosa-Pauca. Nótese, la relación indirecta de los escarpes de los deslizamientos con la pendiente fuerte a muy fuerte.

4.2. Unidades geomorfológicas

En la zona de estudio se identificaron dos unidades geomorfológicas: a) relieves montañosos modelados en rocas sedimentarias, que es de carácter degradacional y b) vertiente coluvial-deluvial y coluvial que son de carácter agradacional.

4.2.1. Montaña estructural en roca sedimentaria (ME-rs)

Relieve labrado en rocas sedimentarias del Grupo Goyllarisquizga, que se extiende ampliamente a lo largo de la ladera este del cerro Cpocho. La ladera presenta una morfología algo escalonada y ondulada, resultado de procesos geológicos antiguos.

Su cima, el cerro Copcho tiene un desnivel de ~800 m desde el pie de la ladera, es decir, el río Sihuas. Su origen se debe principalmente a fases de exhumación¹ y levantamiento que involucró procesos tectónicos y erosivos que dieron lugar a una topografía accidentada. La ladera aloja vertientes coluvio-deluviales dispuestas sobre pendientes fuertes a muy fuertes, que, en la actualidad representan zonas inestables y sujetas a procesos de reactivación de movimientos en masa.



Figura 5. Al fondo se observa un sistema montañoso labrada en roca sedimentaria en la parte superior del cerro Copcho, mientras que, vertiente coluvio-deluvial se muestra en la ladera este con pendientes de fuertes a muy fuertes. Vista panorámica mirando al suroeste.

4.2.2. Vertiente coluvio-deluvial (V-cd)

Estas geoformas se emplazan en la parte media a baja de la ladera norte del relieve montañoso en el sector Santa Rosa-Pauca. Estos depósitos han sido originados por la acumulación de materiales removidos por un deslizamiento que ocurrió en el pasado y

¹ Proceso geológico y tectónico que implica levantamiento y el ascenso de rocas de la corteza hacia la superficie (England & Molnar, 1990).

suelos residuales producto de la intensa meteorización de las areniscas y lutitas de las formaciones del Grupo Goyllarisquiza.



Figura 6. Vertiente coluvio-deluvial dispuesto en la ladera media del cerro Copcho en el sector Santa Rosa-Pauca. Vista mirando al suroeste.



Figura 7. Vertiente coluvio-deluvial derivado de deslizamientos antiguos, adosado sobre la ladera este del cerro Copcho. Vista mirando al norte.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

En el área estudiada se identificaron y cartografiaron procesos de movimientos en masa, lo que configuran como peligros geológicos según la clasificación sugerida por el “Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007”.

En contexto, para caracterizar los movimientos en masa tanto antiguos y recientes, se generó un mapa ráster de Red Relief Image Map (RRIM), a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM) de 30 m de resolución. Se trata de una técnica que representa visualmente el relieve de la superficie terrestre mediante una escala cromática usando colores con tonos rojos para simular variaciones en la altitud, esto permite resaltar características importantes del terreno (**Figura 8**).

En la figura 8, se resalta los rasgos morfométricos, morfológicos y geológicos que un DEM convencional no proporciona. En este análisis, se ha podido reconstruir la dinámica de los movimientos en masa tanto antiguos como activos, los cuales representan un peligro para los pobladores del sector Santa Rosa-Pauca.

De acuerdo con el RRIM, el primer evento geodinámico, es decir, deslizamientos antiguos y activos ocurridos en el pasado, afectó gran parte la ladera este del cerro Copcho, sus escarpes se interpretaron a partir de los rasgos morfológicos del relieve y la imagen satelital, el cual muestra una forma irregular que recorre de manera cóncava el cerro Copcho. En el depósito de los deslizamientos antiguos, se instala un deslizamiento activo que pone en evidencia la fuerte actividad geodinámica de la ladera del cerro Copcho (**Figura 8**).

El evento más reciente, se localiza en la parte más distal del depósito del antiguo deslizamiento, se trata de un deslizamiento que resulta de la deformación continua e intermitente del terreno, su escarpe y las grietas revelan la magnitud del evento que compromete la estabilidad estructural de la ladera oeste del cerro Copcho. (**Figura 8**).

Los resultados de la inspección en campo se detallan a continuación.

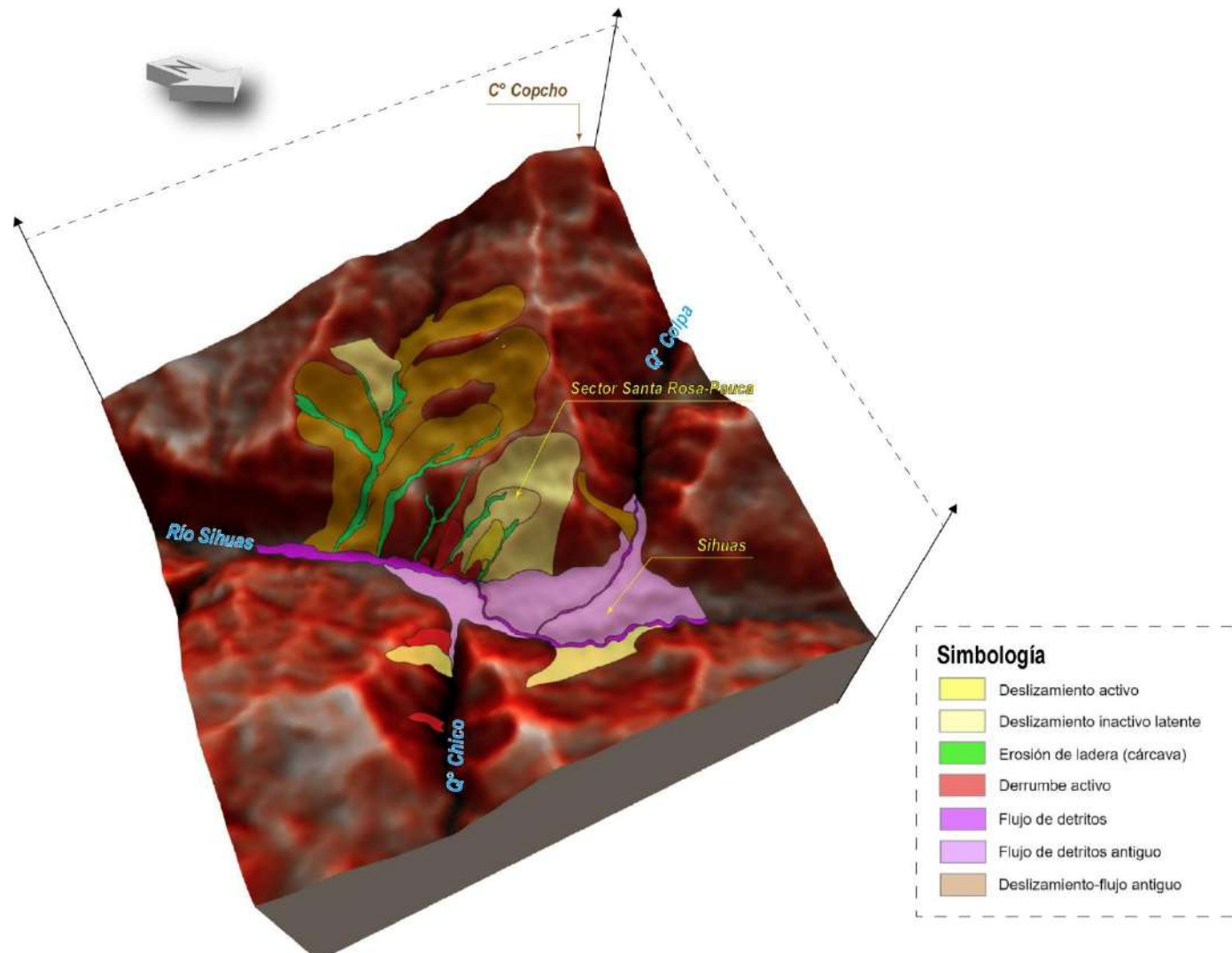


Figura 8. Block diagrama tridimensional donde se muestra la cartografía de los movimientos en masa en el sector Santa Rosa-Pauca.

5.1. Movimientos en masa

5.1.1. Deslizamiento antiguo

En la ladera este del cerro Copcho se produjo un megadeslizamiento que involucró gran volumen de rocas sedimentarias del Grupo Goyllarisquizga, que previamente fueron afectados por la actividad tectónica y geodinámica externa, que dio lugar a la formación de un sistema de diaclasas y fuerte meteorización de sus estratos y/o capas (**Anexo 1: Mapa Geológico**).

La geometría y los rasgos morfológicos del deslizamiento, sugieren un mecanismo de movimiento predominantemente del tipo rotacional con flancos abiertos, lo que indica una influencia directa con la estructura geológica y las condiciones geomecánicas de un basamento o substrato rocoso previamente triturado y deformado. Este proceso removilizó material residual, desplazándolo ladera abajo hasta depositarse en la zona media e inferior de la ladera este del cerro Copcho. En el depósito de este deslizamiento antiguo, con morfología irregular y agreste, con terrenos de pendientes fuertes a muy fuertes, se instala actualmente un deslizamiento activo (**Figura 9**).

El deslizamiento antiguo presenta una corona de forma irregular, con longitud de ~1.2 km. El escarpe principal y secundarios configuran una zona con una morfología escalonada y basculada con vergencia al sureste. La traza de su escarpe principal exhibe forma geométrica cóncava con una morfología irregular de aspecto rugoso que se distinguen en la cresta del cerro Copcho. El escarpe dejó una superficie subvertical con un desnivel de ~20 m con respecto a la vertical (**Figura 9 y fotografía 6**).



Fotografía 6. Deslizamiento antiguo (indican las flechas amarillas), donde actualmente se instala un deslizamiento activo hacia la parte distal. Vista mirando al sur.

5.1.2. Deslizamiento activo

En la parte media-baja de la ladera del cerro Copcho se instala un deslizamiento, que, por las características morfológicas del terreno y las grietas situadas en su escarpe principal, se trataría de un movimiento en estado activo (**Figura 9 y fotografía 7**).

En el cuerpo del deslizamiento, se han identificado grietas internas que ponen en evidencia el movimiento y desplazamiento progresivo del terreno ladera abajo. Además, se observa un moderado asentamiento en dirección de la pendiente, lo que indica una deformación intermitente del terreno confinada a un posible proceso de inestabilidad.

Los procesos de deslizamientos activos se desarrollan sobre depósitos coluvio-deluviales heredados de antiguos deslizamientos. Su escarpe principal tiene una morfología semicircular cóncava, de ~280 m de longitud y presenta un desnivel de hasta 4 m con respecto a la vertical (**Fotografías 8, 9 y 10**).

Metros más abajo presenta una grieta profunda de 1.5 m de abertura del terreno y una profundidad visible de hasta ~5 m, ubicada dentro de la masa deslizada, donde tiene ~20 m de longitud (**Fotografía 10**).

Las grietas dentro del cuerpo principal se concentran en el flanco derecho y en la zona de hundimiento del deslizamiento (**Figura 9**).

El deslizamiento revela la magnitud del evento, de materializarse un violento detonante, este deslizamiento podría embalsar el río Siguas y su posterior desembalse afectaría a la población asentada aguas abajo (**Figura 9 y fotografía 8**).

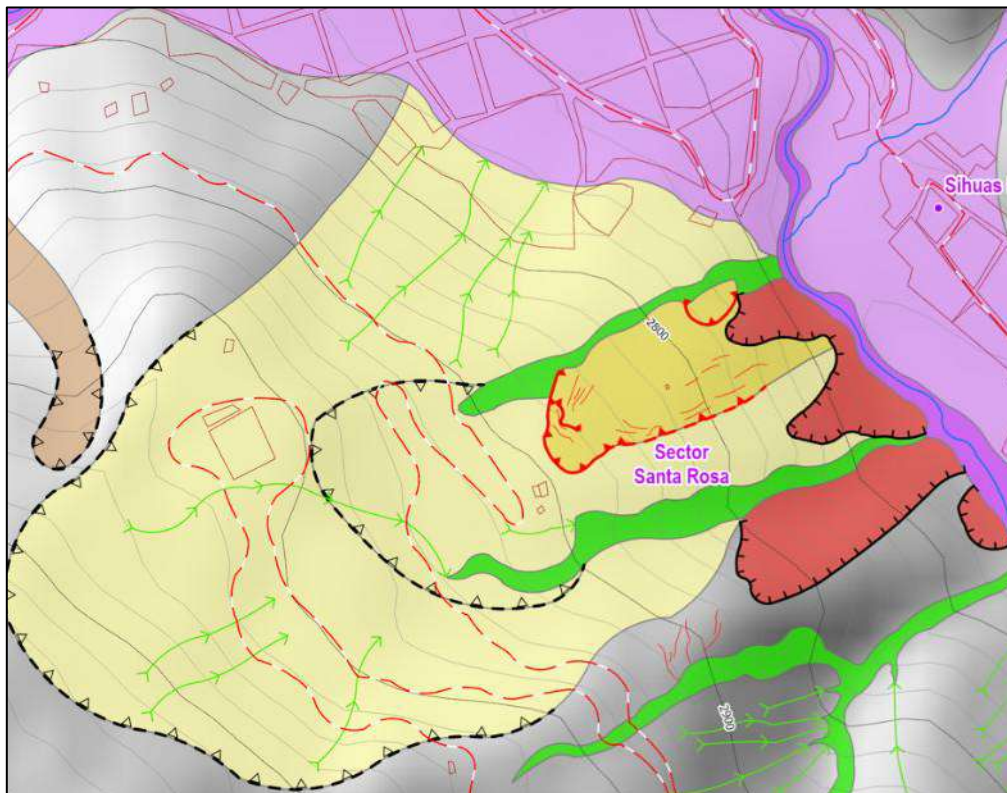
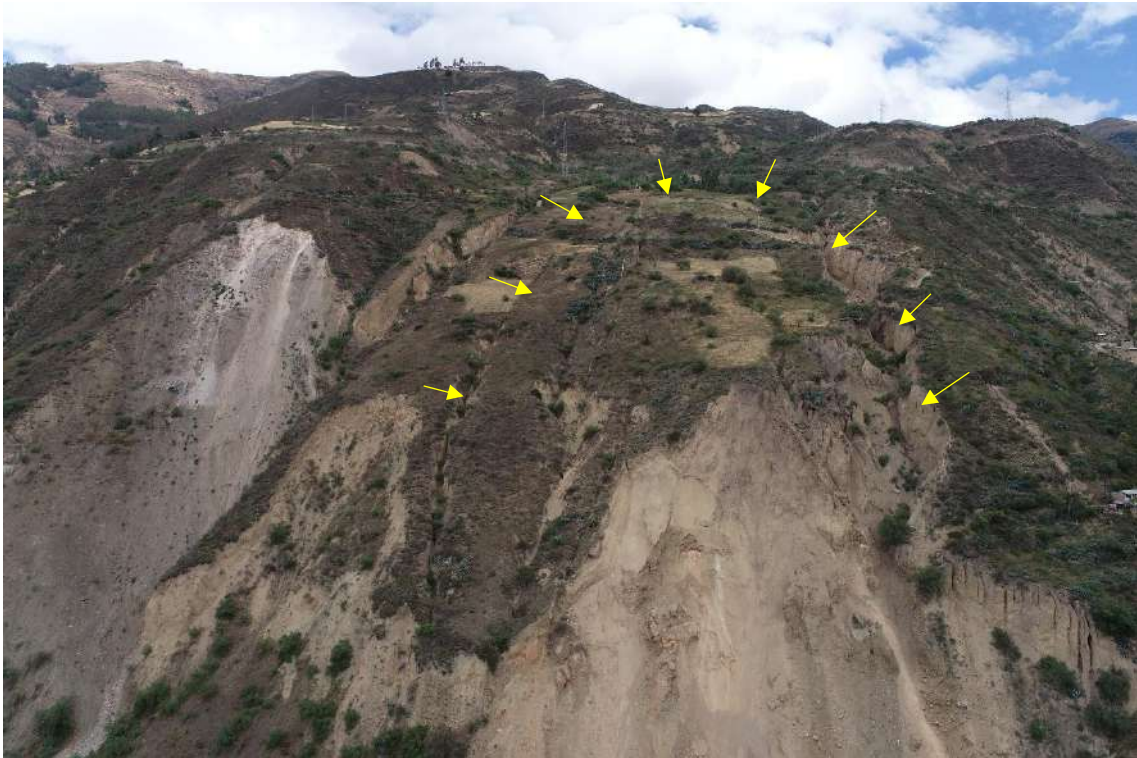


Figura 9. Extracto del mapa donde se muestra el deslizamiento antiguo y los procesos activos que involucra terrenos coluvio-deluviales en la ladera del cerro Copcho. Su escarpe principal del

deslizamiento activo está representado por la línea color rojo. Nótese, las viviendas encima del escarpe principal del deslizamiento en el sector Santa Rosa-Pauca.



Fotografía 7. Detalle del deslizamiento activo (las flechas amarillas indican la traza del escarpe principal) que afecta la ladera este del cerro Copcho e involucra terrenos coluvio-deluviales en el sector Santa Rosa-Pauca. Vista panorámica mirando al oeste.



Fotografía 8. Escarpe principal en la corona del deslizamiento activo en el sector Santa Rosa-Pauca. Presenta un salto de hasta ~4 m de desnivel. Vista mirando al sur.



Fotografía 9. Detalle del flanco derecho que se prolonga hacia el río Sihuas, así también se observa el escarpe secundario. Vista mirando al sur.



Fotografía 10. Salto de ~2.5 m del escarpe principal en el flanco derecho del deslizamiento activo. Vista mirando al oeste.



Fotografía 11. Grieta profunda de hasta 1.5 m de abertura y 5 m de profundidad visible ubicado en el cuerpo principal del deslizamiento.

Los daños ocasionados por el desplazamiento de la masa inestable del deslizamiento activo, provocaron un ligero desplazamiento de un poste de tendido eléctrico.



Fotografía 12. Ligero desplazamiento del poste de tendido eléctrico afectado por el movimiento de la masa inestable.

5.1.2.1. Factores condicionantes

Los factores condicionantes para la ocurrencia del deslizamiento se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 7. Factores condicionantes de los procesos de movimientos en masa.

Factores	Características asociadas
Litológico	- El substrato rocoso está constituido por secuencias deformadas de calizas, areniscas y lutitas de las formaciones del Grupo Goyllarisquizga que se encuentran muy fracturados y meteorizados. Estas rocas se caracterizan por presentar secuencias incompetentes altamente inestables asociadas al origen de los procesos gravitacionales. - Depósitos coluvio-deluvial inconsolidados poco resistentes y de baja cohesión provenientes de antiguos deslizamientos que se emplaza en la ladera este del cerro Copcho adosadas en pendientes moderados a muy fuertes de 15° a 45°, lo cual las convierten en zonas inestables propicias a la generación, desarrollo y reactivación de deslizamientos.
Geomorfológicos	- Los deslizamientos se instalan en la parte media de la ladera de montaña estructural labrada en roca sedimentaria. - El relieve con morfología escalonada algo ondulada presenta pendientes que van de moderado a muy fuerte que oscilan de 15° a 45°.

5.1.2.2. Factores desencadenantes

Los principales factores desencadenantes que están asociadas a la ocurrencia de movimientos en masa se detallan a continuación.

Tabla 8. Factores desencadenantes de los movimientos en masa.

Factores	Características asociadas
Precipitaciones	Intensas precipitaciones pluviales y/o excepcionales, principalmente entre los meses de enero a abril.
Hidrológicos	Aguas de escorrentía superficial que discurren la parte media alta de la ladera y desembocan en el cuerpo del deslizamiento inactivo latente. Asimismo, surcan depósitos coluvio-deluviales y sobresaturan el terreno inestable.
Sismos	La ocurrencia de sismos superficiales podría estar relacionados con la inestabilidad de laderas dispuestas sobre laderas con pendientes muy pronunciadas.
Antrópicos	- Cortes de carretera y ensanchamiento de las trochas en la zona del cuerpo del deslizamiento activo e inactivo latente. - Canales sin revestimiento ubicados en la cabecera de la masa del cuerpo del deslizamiento. - Uso de suelo inadecuado y riego no tecnificado que sobresatura el terreno en el cuerpo del deslizamiento.

6. CONCLUSIONES

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

- 1) En el sector Santa Rosa-Pauca, el substrato rocoso está constituido por rocas sedimentarias del Grupo Goyllarisquizga. Cuya litología está compuesta de calizas, areniscas y lutitas en estratos que van de 0.15 a 0.6 m de espesor. Estos macizos rocosos presentan características físicas de resistencia media-baja, que oscilan entre los 25 a 100 Mpa, además, se encuentran muy fracturados y superficialmente se hallan moderada a fuertemente meteorizadas.
- 2) Los depósitos coluvio-deluviales están conformados por acumulaciones inconsolidadas de fragmentos heterométricos de bolones y gravas envueltos en matriz limo arenosa, provenientes de antiguos deslizamientos, caracterizados por sus propiedades geomecánicas poco cohesivas y de baja resistencia a la erosión, lo que favorecen la generación, desarrollo y reactivación de movimientos en masa.
- 3) Desde el punto de vista geomorfológico, los procesos por movimientos en masa se desarrollaron sobre una morfología montañosa labrada en roca sedimentaria, caracterizada por un relieve abrupto, con pendientes que varían de entre 15° a 45°. Las geoformas de vertientes coluvio-deluviales se emplazan sobre laderas medias al este del cerro Copcho, Estas condiciones morfológicas del terreno han propiciado la evolución y reactivación del deslizamiento de Santa Rosa-Pauca.
- 4) Se identificó un deslizamiento que, por sus características morfológicas del terreno, los escarpes y grietas situadas en el escarpe principal y en el cuerpo se trataría de un movimiento en estado activo. Compromete un área de 3.2 ha. Su escarpe principal tiene una geometría semicircular con flancos cerrados que recorre ~280 m de longitud. Presenta un salto variable que va desde 2.5 hasta 4 m con respecto a la vertical, el cual reflejan una clara inestabilidad del terreno que ponen en peligro a las viviendas situadas en la corona y a los pobladores al pie de la ladera de la población de Sihuas.
- 5) Los factores desencadenantes se atribuyen principalmente a las intensas y/o prolongadas precipitaciones, específicamente entre los meses de enero a abril, periodo en el que se produce la mayor infiltración y acumulación hídrica. Así también, a los canales sin revestir que sirven como conductos naturales para el uso de riego inadecuado que saturan el suelo poco competente, el cual reducen la resistencia al corte ubicados en la cabecera del cuerpo del deslizamiento. Los sismos superficiales y locales podrían desestabilizar y acelerar los procesos geodinámicos.
- 6) De acuerdo con las características y condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se considera al sector Santa Rosa-Pauca como **Peligro Alto** frente a la ocurrencia de deslizamientos.

7. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que a continuación se brindan tienen por finalidad mitigar el impacto de los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en el sector de Santa Rosa-Pauca.

No estructurales: Transversales a autoridades y población

- 1) Elaborar la Evaluación de Riesgos (EVAR) por deslizamiento con los insumos (mapas a detalle) presentados en el presente informe, con la finalidad de determinar el nivel de riesgo de los elementos expuestos en el sector Santa Rosa-Pauca. Este informe deberá determinar las medidas correctivas definitivas que atenúen el peligro.
- 2) En un plazo inmediato, reubicar temporalmente a los pobladores del sector Santa Rosa-Pauca ubicadas encima de la corona del deslizamiento activo. Esto con el objetivo de salvaguardar la seguridad física de los pobladores.
- 3) Incluir los peligros geológicos identificados por el Ingemmet en los planes específicos de la Gestión del Riesgo de Desastres de la Municipalidad Distrital de Sihuas.
- 4) Identificar rutas de evacuación y zonas seguras ante la ocurrencia de peligros geológicos, especialmente deslizamientos. Posteriormente, implementar simulacros de evacuación, con la finalidad de contar con una respuesta rápida y adecuada en situaciones de emergencia.
- 5) Implementar Sistemas de Alerta Temprana-SAT en coordinación con el INDECI, para la inmediata información de ocurrencia de peligros geológicos o procesos de reactivación de los mismos en caso enfrentara la población de Santa Rosa-Pauca.
- 6) Control del agua superficial y subterránea con el objetivo de disminuir sus efectos y las fuerzas que producen el movimiento del deslizamiento y aumentar las fuerzas de resistencia de la ladera.
- 7) Suspender definitivamente el riego por inundación en zonas agrícolas. Implementar riego más tecnificado corroboradas por el Ministerio de Agricultura.
- 8) Sellar los agrietamientos con materiales arcillosos a fin de evitar la infiltración del agua durante lluvias intensas.
- 9) Reforestar la ladera con especies nativas y de raíces densas a fin de dar una mayor resistencia y cohesión a los suelos incompetentes.
- 10) Prohibir la construcción de nuevas viviendas o infraestructura en zonas afectadas por deslizamientos activos.
- 11) Implementar un sistema de monitoreo permanente mediante instrumentación (puntos de control topográficos, extensómetros, inclinómetros, piezómetros, pluviómetros comunitarios) complementado con registros periódicos de agrietamientos y asentamientos. Este sistema debe estar vinculado a un SAT, que permita anticipar posibles reactivaciones cercanas a la población para la toma de decisiones oportunas que salvaguarden la seguridad de la población.

Estructurales

Con fines de estabilización de la ladera:

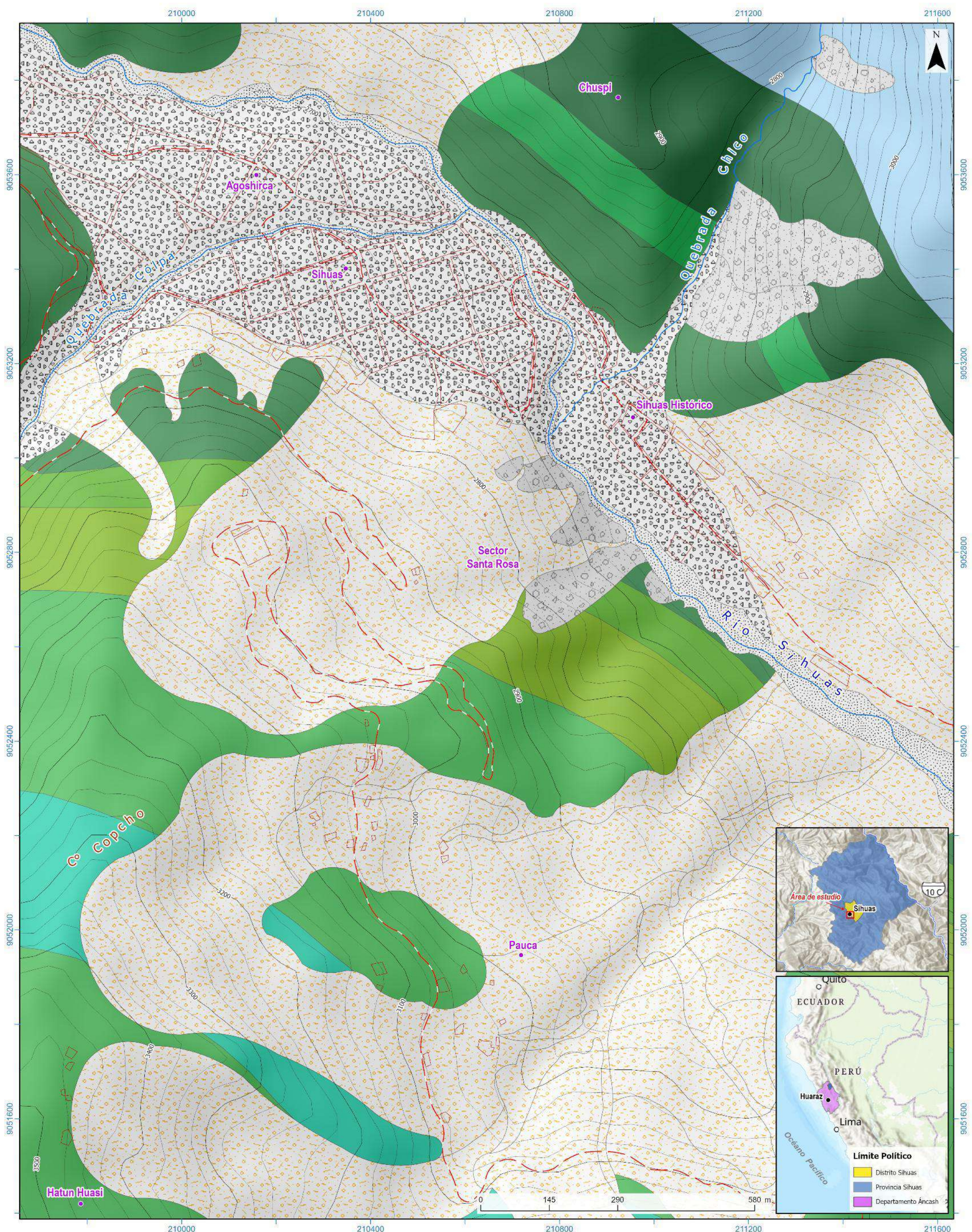
La estabilización de los deslizamientos activos y potencialmente inestables, es un trabajo relativamente complejo que requiere de metodologías especializadas de diseño y construcción, es por ello, que las medidas de mitigación que se recomiendan en el presente informe deben ser ejecutados por profesionales especialistas entendidos en la materia.

- 1) Implementar un sistema de drenaje a fin de disminuir la saturación del terreno en el cuerpo de los deslizamientos y alrededores.
- 2) Construir drenajes tipo espina de pez, con canales de mangueras flexibles o tuberías de PVC. Un primer canal en la parte superior con la finalidad de interceptar el escurrimiento en la zona de mayor pendiente (cambio de pendiente); el segundo canal en la parte media con la finalidad de evitar la infiltración de las aguas en la masa que actualmente se viene desplazando, las que podría detener en parte el avance de los deslizamientos. Los canales deben desembocar a un canal longitudinal con la finalidad de conducir el agua de escorrentía hacia río Sihuas.
- 3) Construir zanjas de coronación (impermeabilizadas) ubicadas en la cabecera del deslizamiento, a fin de coleccionar las aguas de las lluvias y drenarlas hacia una quebrada alterna o por canales de derivación, con el objetivo de evitar que estas se infiltren en las grietas y escarpes.
- 4) Construir zanjas de desvíos de aguas en los flancos del deslizamiento con la finalidad de coleccionar las aguas de las lluvias y las transporte hacia la parte externa del deslizamiento, de manera que no se vea afectado el deslizamiento.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Cobbing, E.J.; Sánchez, A.; Martínez, W. & Zárate, H. (1996). Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca. Hojas: 20-h, 20-i, 20-j, 21-i, 21-j. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 76, 297 p.
- Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslide's investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- Evans, S. G., y Hungr, O., (1993). The analysis of rock fall hazard at the base of talus slope: Canadian Geotechnical Journal, v. 30p.
- England, P. & Molnar, P. (1990). Surface uplift, uplift of rocks, and exhumation of rocks. Geology, v18, p. 1173-1177. DOI:10.1130/0091-7613(1990)018<1173:SUUORA>2.3.CO;2.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2000). Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 1. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 23, 330 p.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2017). Directorio Nacional de Centros Poblados. Censos Nacionales 2017: XII de Población; VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.
- ISRM (1981). Suggest method for the quantitative description of discontinuities in rock masses: International Journal of Rock Mechanics, Min. Sci. & Geomech. Abstr. V. 18, p. 85-110.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENAMHI (2020). Mapa de clasificación climática del Perú (Texto). Lima, Perú.
- Suárez Díaz, J. (2007). Deslizamientos - Técnicas de Remediación (1a ed.). Erosion.com.
- WP/WLI, (1993). A suggest method for describing the activity of a landslide: Bulletin of the International Association of Engineering Geology, N°47. p. 53-57.
- Zavala, B.; & Vílchez, M. (2009). Estudio de Riesgos Geológicos en la Región Ancash. Boletín N°34, Serie C. INGEMMET.

ANEXO 1: MAPAS
MAPAS DEL SECTOR SANTA ROSA-PAUCA



Unidades litoestratigráficas

- Depósitos Proluviales
- Depósitos Coluviales
- Depósitos Coluvio-deluviales
- Depósitos Fluviales
- Formación Pariatambo

- Formación Chúlec
- Formación Inca
- Grupo Goyllarisquiza**
- Formación Farrát
- Formación Santa

- Formación Carhuaz
- Formación Chimú
- Formación Chicama

Simbología

- Drenaje
- Curvas principales
- Curvas secundarias
- Vías de acceso
- Sector Santa Rosa



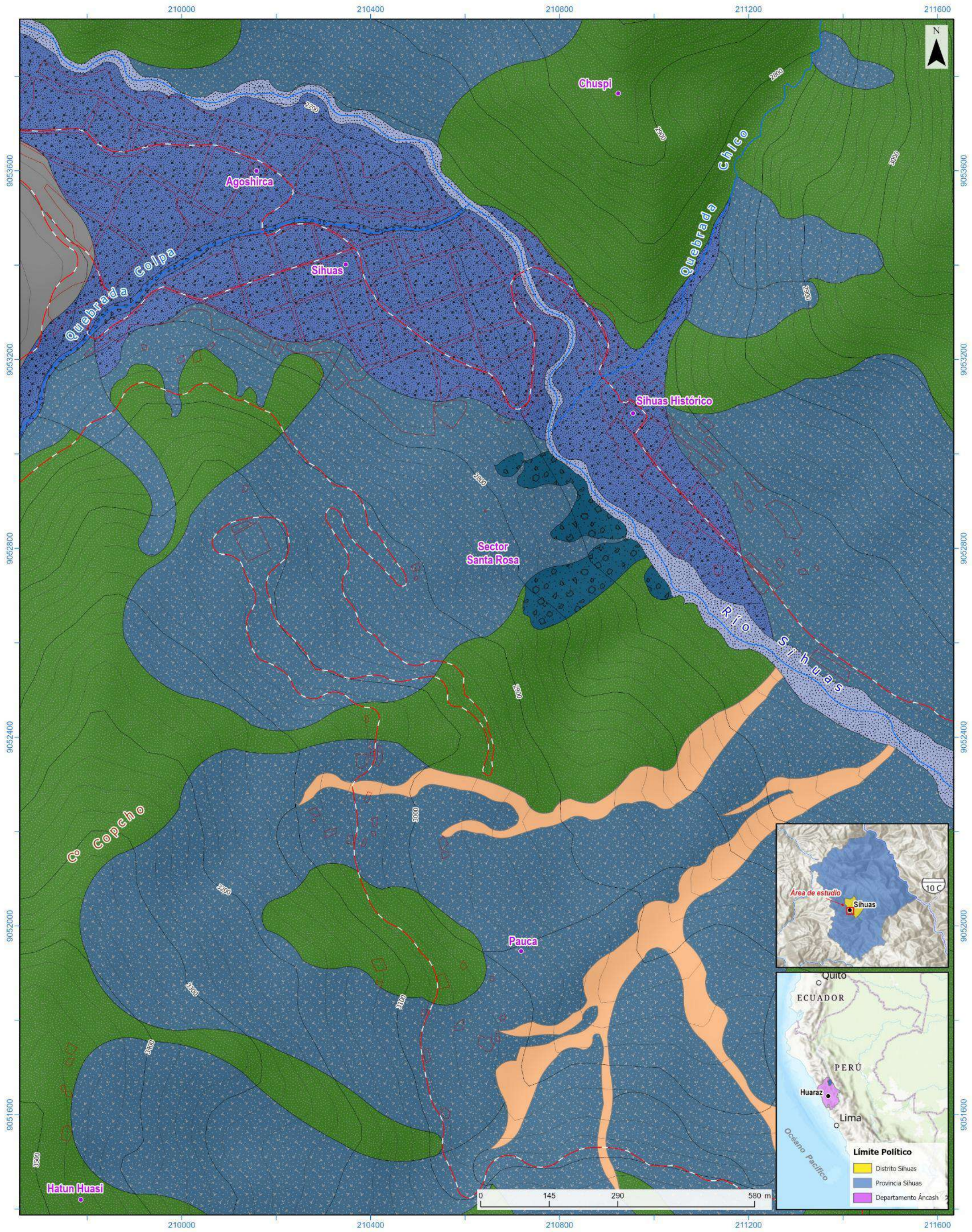
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

ACT16: Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional

Mapa Geológico

Datum: UTM WGS84, Zona 18s
Versión digital: año 2025, Versión impresa: 2025

01



Unidades geomorfológicas

- Montaña estructural en roca sedimentaria
- Vertiente coluvio-deluvial
- Vertiente coluvial
- Piedemonte proluvio-aluvial

- Abanico proluvia
- Terraza fluvial
- Cárcava

Simbología

- Drenaje
- Curvas principales
- Curvas secundarias
- Vías de acceso
- Sector Santa Rosa



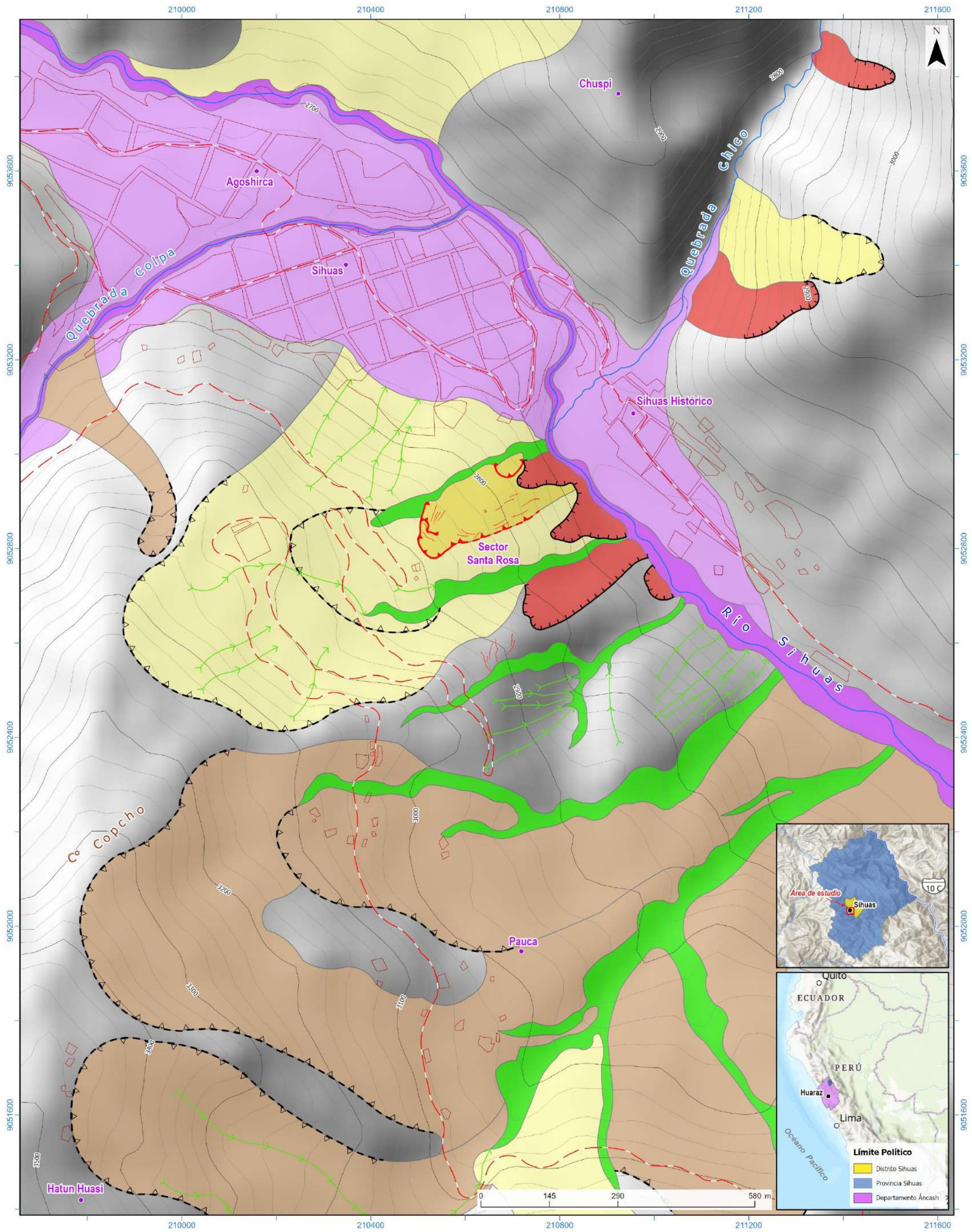
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

ACT16: Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional

Mapa Geomorfológico

Datum: UTM WGS84, Zona 18s
Versión digital: año 2025, Versión Impreso: 2025

02



Cartografía de peligros geológicos

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Deslizamiento activo | Flujo de detritos |
| Deslizamiento inactivo latente | Flujo de detritos antiguo |
| Erosión de ladera (cárcava) | Deslizamiento-flujo antiguo |
| Derrumbe activo | |

Simbología

- | | |
|--|--------------------|
| Escarpe de deslizamiento activo | Drenaje |
| Escarpe de deslizamiento activo inferido | Curvas principales |
| Escarpe de deslizamiento antiguo | Curvas secundarias |
| Superficie de arranque | Vías de acceso |
| Grietas de tensión | Sector Santa Rosa |
| Erosión en surcos | |

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

**DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL
Y RIESGO GEOLÓGICO**

ACT16: Servicio de asistencia técnica en la
evaluación de peligros geológicos a nivel nacional

**Cartografía de peligros
Geológicos**

Datum: UTM-WGS84, Zona 18s
Versión digital: año 2025, Versión impresa: 2025

03

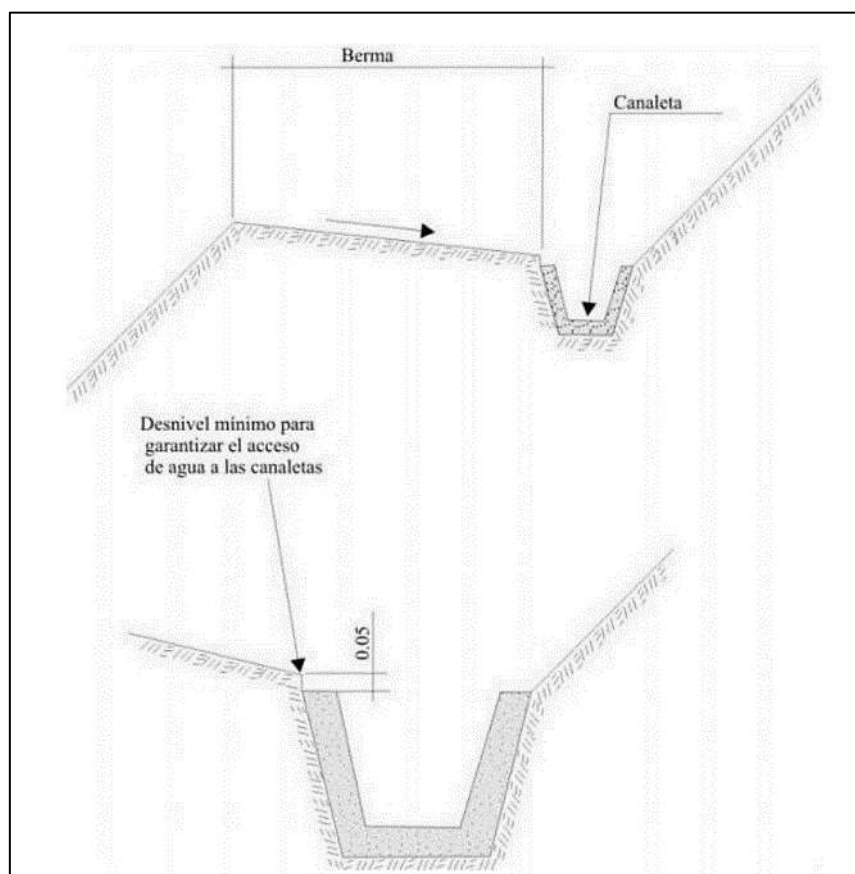
ANEXO 2: PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTIVAS

Para deslizamientos

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

a. Drenaje Superficial

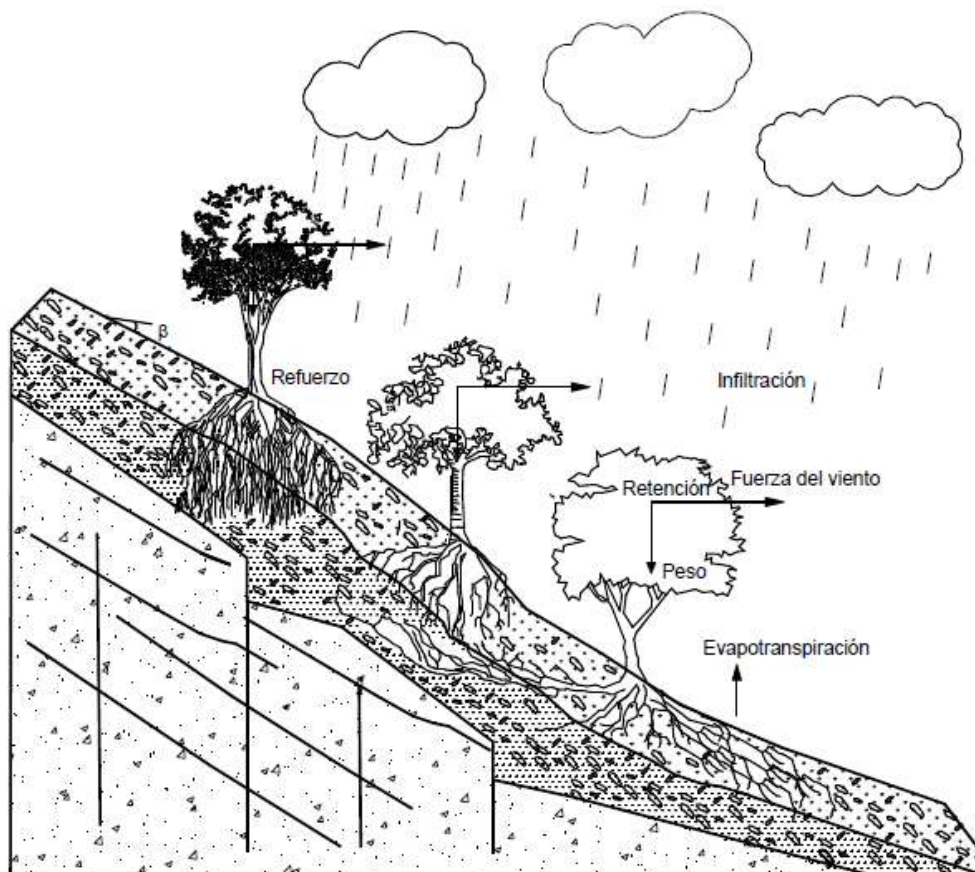
Las zanjas construidas permiten la recolección de aguas superficiales, captan la escorrentía tanto de la ladera, como de la cuenca de drenaje arriba del talud y desvía el agua a las quebradas adyacentes al cuerpo de la zona afectada, evitando su infiltración, captando el agua de escorrentía, llevándola a un sitio lejos del movimiento. Éstas deben ser construidas en la parte superior de la zona en movimiento (**Anexo 2.1**). 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.



Anexo 2.1. Detalle una canaleta de drenaje superficial (zanjas de coronación). Tomado de INGEMMET (2000).

b. Revegetación

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



Anexo 2.2. Estabilización de taludes utilizando vegetación. Fuente: Suarez, Díaz (2007).



Anexo 2.3. Ejemplo de bioingeniería con arbusto (vetiver) en taludes de materiales sueltos.

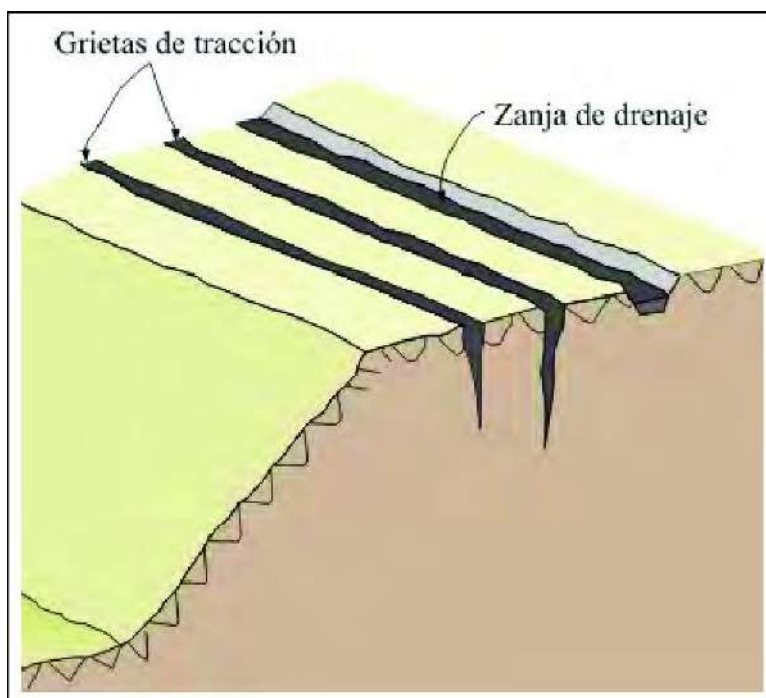
Zanjas de coronación

Las zanjas de coronación, ubicadas en la corona, encima de la corona y superficies de ruptura o en la parte superior de un talud, cumplen la función de interceptar y canalizar eficientemente y de manera adecuada las aguas de pluviales, evitando su infiltración y luego debilitar el talud. Estas estructuras no deben construirse demasiado próximos al borde superior del talud, ya que podría contribuir a la inestabilidad y desequilibrio del talud, lo que actuaría como factor desencadenante ante nuevos deslizamientos o desarrollo de nuevas superficies de falla de movimientos en masa (**Anexo 2.4**).

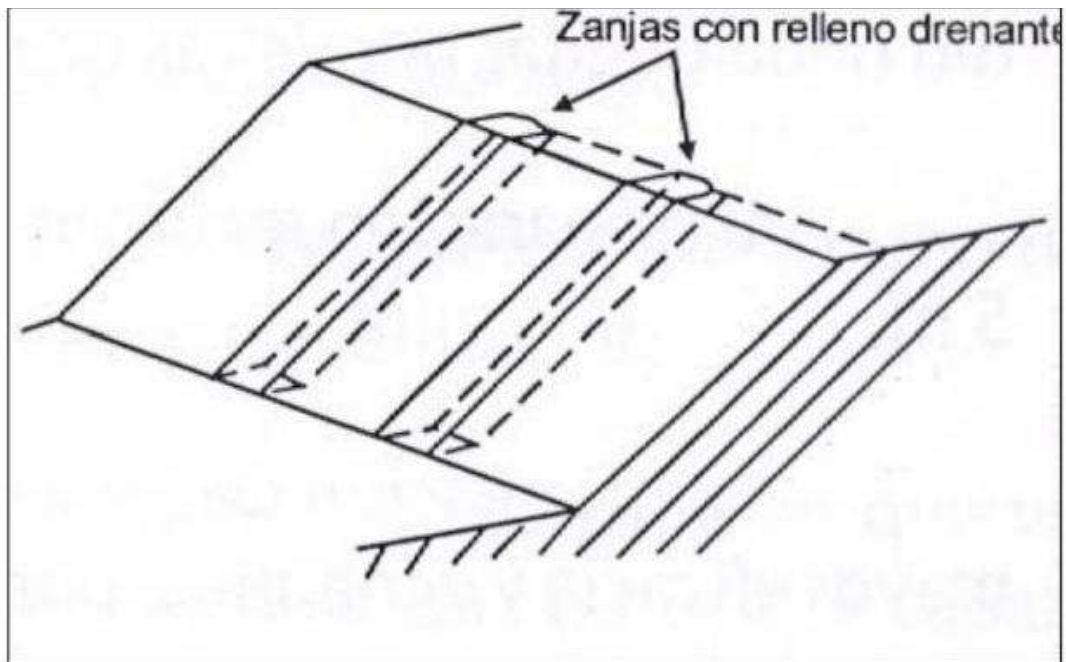
Es fundamental realizar un mantenimiento periódico que debe efectuarse en las zanjas de coronación, con el objetivo de garantizar su funcionamiento eficazmente y prevenir obstrucciones o deterioros que puedan comprometer la estabilidad del talud. La acumulación de sedimentos, colapso parcial de las paredes o la misma erosión interna pueden alterar su capacidad de drenaje, lo que aumentaría significativamente su infiltración y afectar la resistencia del suelo.

Pueden ser de dos tipos:

- **Zanjas de talud.** Son las que siguen la línea de máxima pendiente del talud y son aplicables cuando los deslizamientos están situados a poca profundidad (**Anexo 2.5**).
- **Zanjas horizontales.** Son paralelas al talud y se sitúan próximos al hombro del talud. Son útiles los drenes en forma de “*espina de pescado*” (**Anexo 2.6 y 2.7**), que combinan una zanja drenante según la línea de máxima pendiente con zanjas secundarias (espinas) ligeramente inclinadas que convergen en la espina central. Su construcción y mantenimiento en zonas afectadas debe tener buena vigilancia.



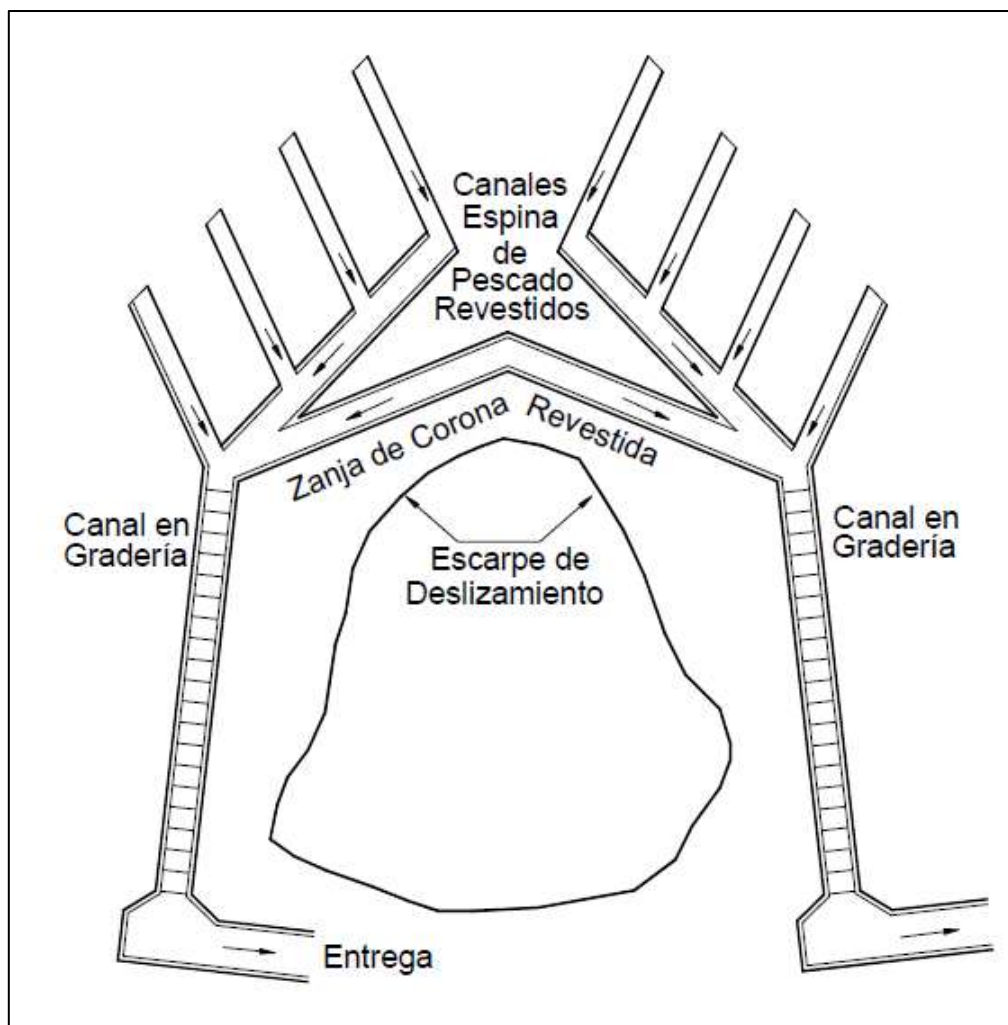
Anexo 2.4. Zanjas o canales de coronación para deslizamientos. Tomado de INGEMMET (2000).



Anexo 2.5. Zanjas de talud. Tomado de INGEMMET (2000).



Anexo 2.6. Drenaje tipo espina de pescado. Tomado de INGEMMET (2000).



Anexo 2.7. Esquema en planta de canales colectores espina de pescado. Tomado de Suarez Diaz (2007).

ANEXO 3: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

Anexo 3.1. Contenido de humedad de suelos

Anexo 3.2. Análisis granulométrico de suelos

Anexo 3.3. Gravedad específica de los sólidos del suelo

Anexo 3.1. Contenido de humedad de suelos

 Geocorp service S.A.C.	Laboratorio de suelos, rocas y agregados	Código: FR-LS-01
	CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS ASTM D2216	Revisión: 1 Fecha: 5/05/2024 Página: 1 de 1
Proyecto: Ad 16: servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional	Ubicación: Sigajas, Pauca	
Cliente: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)	Norte: 9052632	
Trial pits: Calicata	Este: 210614	
Muestra: ACT16-SL-25-006	Elevación: ---	
Profundidad: ---	Fecha de registro: 28/09/2024	

Registros de ensayos:

Temperatura de laboratorio (°C):	23.2
ID inventario de cliente:	L40.26
Tamaño máximo de partícula (visual):	1"
Clasificación SUCS (visual):	GP
Temperatura del horno (°C):	110 ± 5
Método:	A ± 1% ☒ B ± 0.1% ☐

Ensayo N°:	I		
Recipiente N°:	C-04		
Peso del recipiente (g):	17.6		
Peso del recipiente + suelo húmedo (g):	100.5		
Peso del recipiente + suelo seco (g) 12h a 16h:	98.4		
Peso del agua contenida (g):	2.1		
Peso del suelo seco (g):	80.8		
Contenido de humedad (%):	2.6		
Fecha y hora de ingreso al horno:	26/09/2025 17:00		
Fecha y hora de salida del horno:	27/09/2025 08:00		
Promedio de ensayos (%):	2.6		

Observaciones:

Información del método:

Tamiz	Método A		Método B	
	masa mínima de espécimen	precisión de balanza (g)	masa mínima de espécimen	precisión de balanza (g)
3"	5 kg	10	50 kg	10
1-1/2"	1 kg	10	10 kg	10
3/4"	250 g	0.1	2.5 kg	0.1
3/8"	50 g	0.1	500 g	0.1
No. 4	---	---	100 g	0.01
No. 10	---	---	20 g	0.01

Datos de equipos:

Horno:	HR-01 ☒	HR-02 ☐	
Taras:	Acero ☐	Alucin ☒	Aluminio ☐
Balanza:	BL-01 ☐	BL-02 ☐	BL-03 ☐
	BL-04 ☒	BL-05 ☐	BL-06 ☐

Ensayado: Enrique Matos Paucar	Revisado y autorizado: Wilbe S. Matos Enriquez
	
Responsable técnico	Responsable laboratorio

Anexo 3.2. Análisis granulométrico de suelos

	Laboratorio de suelos, rocas y agregados	Código: FR-LS-02
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO ASTM D6913	Revisión: 1 Fecha: 5/05/2024 Página: 1 de 2

Proyecto:	Act 16: servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológico	Ubicación:	
Cliente:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)	Norte:	9052632
Trial pit:	Calicata	Este:	210614
Muestra:	ACT16-SL-25-006	Elevación:	---
Profundidad:		Fecha de registro:	29/09/2024

Registros de ensayos:

Temperatura de laboratorio (°C):	23.2
ID inventario de diente:	140.26
Tamaño máximo de partícula (visual):	1"
Clasificación SUCS (visual):	GP
Temperatura del horno (°C):	110 ± 5
Procedimiento:	☐ Seco al aire ☐ seco al horno ☐ húmedo
Método:	☐ A. T.M. < 3/4" ☐ A. T.M. ≥ 3/4" ☒ B. T.M. < No. 4 ☐ T. simple ☐ T. compuesto ☐ T. simple

Información del método:

Tamaño máximo de partícula (para 99% retención)	Método A	Método B
Nº 40 (0.425 mm)	75 g	75 g
Nº 10 (2.000 mm)	50 g	100 g
Nº 4 (4.75 mm)	75 g	200 g
Nº 2 (10.0 mm)	100 g	---
Nº 1 (19.0 mm)	1.5 kg	---
1" (25.4 mm)	3 kg	---
1 1/2" (38.1 mm)	10 kg	---
2" (50.8 mm)	25 kg	---
3" (76.2 mm)	70 kg	---

Granulometría compuesta								
Fracción gruesa			Fracción media			Fracción fina		
Peso de fracción (g): 290.5			Peso de fracción (g): 500			Peso de fracción (g): 150		
Designación (ASTM E11)	Retenido máximo permisible (g)	Fracción gruesa (g)	Designación (ASTM E11)	Retenido máximo permisible (g)	Fracción media (g)	Designación (ASTM E11)	Retenido máximo permisible (g)	Fracción fina (g)
3"	2700		1/2"	1000	121.8	No. 10	180	24.1
2-1/2"	2400		3/8"	550	74.1	No. 20	115	26.8
2"	2000		No. 4	325	145.8	No. 30	100	7.5
1-1/2"	1500	146.7				No. 40	75	4.4
1"	1100	68.6				No. 60	60	4.4
3/4"	900	75.2				No. 100	40	7.7
						No. 200	20	4.6
						Fondo	-	0.06

	Secado	Fecha	Hora	Masa(g)
Fracción gruesa				
Fracción media	Masa húmeda	26/09/2025	10:30	500
	Secado 12h a 16h	27/09/2025	08:00	487.3
	Lavado y secado 12h a 16h	28/09/2025	17:00	421.26
Fracción fina	Masa húmeda	26/09/2025	17:30	150
	Secado 12h a 16h (M)	27/09/2025	08:00	146.2
	Lavado y secado 12h a 16h (Mo)	28/09/2025	14:00	79.56

Peso total de suelo:

Peso suelo húmedo natural(g): 6937
 Contenido de humedad (%): 2.6
 Peso suelo seco (g): 6761.3

Perdida por lavado (M-Mo): 66.1

Datos de equipos:

Tamices:	ASTM E11 Acero inoxidable 200mm fina/gruesa			
Horno:	HR-01 ☒	HR-02 ☐		
Taras:	Acero ☐	Alucín ☒	Aluminio ☐	
Balanza:	BL-01 ☐	BL-02 ☐	BL-03 ☐	
	BL-04 ☒	BL-05 ☐	BL-06 ☐	

Observaciones:

Presenta contenido orgánico

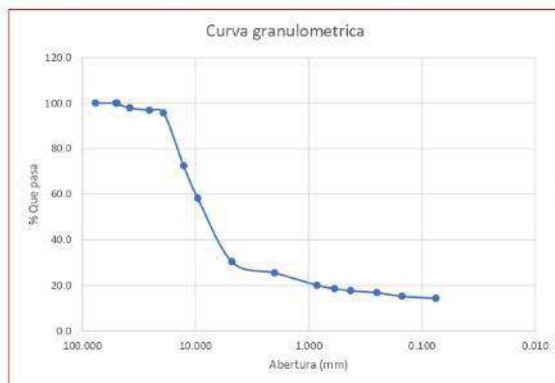
Ensayado: Enrique Matos Paucar	Revisado y autorizado: Wilbe S. Matos Enriquez
	
Responsable técnico	Responsable laboratorio

	Laboratorio de suelos, rocas y agregados	Código: FR-LS-02
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO ASTM D6913	Revisión: 1 Fecha: 5/05/2024 Página: 2 de 2

Proyecto:	Act 16: servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológico			Ubicación:	
Cliente:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)			Norte:	9052632
Trial pts:	Calicata			Este:	210614
Muestra:	ACT16-SL-25-006			Elevación:	---
Profundidad:	---			Fecha de registro:	29/09/2024

Peso total de la muestra seca(g): 6761.3

Designación (ASTM E11)	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% ACUMULADO	
				Retenido	Pasante
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0
2-1/2"	49.300	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.300	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	146.7	2.2	2.2	97.8
1"	25.400	68.6	1.0	3.2	96.8
3/4"	19.100	75.2	1.1	4.3	95.7
1/2"	12.700	1576.3	23.3	27.6	72.4
3/8"	9.525	959.0	14.2	41.8	58.2
Nº 4	4.760	1886.9	27.9	69.7	30.3
Nº 10	2.000	329.1	4.9	74.6	25.4
Nº 20	0.840	366.0	5.4	80.0	20.0
Nº 30	0.590	102.4	1.5	81.5	18.5
Nº 40	0.426	60.1	0.9	82.4	17.6
Nº 60	0.250	80.1	0.9	83.3	16.7
Nº 100	0.150	105.2	1.6	84.8	15.2
Nº 200	0.075	62.8	0.9	85.8	14.2
FONDO		0.8	0.0	85.8	14.2
M-Mo		962.0	14.2	100.0	0.0



D10(mm):
 D30(mm):
 D60(mm):
 Uniformidad (Cu):
 Curvatura (Cc):
 Límite líquido (LL)(%):
 Límite plástico (LP)(%):
 Índice plástico (IP)(%):

CLASIFICACIÓN SUCS

Grava limosa GM

Suelo de partículas gruesas. Suelo de partículas gruesas con finos (suelo sucio).

CLASIFICACIÓN AASHTO

A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena

Excelente a bueno como subgrado

Ensayado: Enrique Matos Paucar	Revisado y autorizado: Wilbe S. Matos Enriquez
 Responsable técnico	 WILBE S. MATOS ENRIQUEZ Gerente General GEOCORP SERVICE Ingenieros S.A.C. Responsable laboratorio

Anexo 3.3. Gravedad específica de los sólidos del suelo

	Laboratorio de suelos, rocas y agregados		Código: FR-LS-08
	GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DEL SUELO ASTM D 854		Revisión: 1 Fecha: 5/05/2024 Página: 1 de 1
Proyecto:	Act 16: servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geotécnicos		
Cliente:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)		Ubicación: Sigajas, Paucartambo
Trial pits:	Calicata	Norte:	9052632
Muestra:	ACT16-SL-25-006	Este:	210614
Profundidad:	—	Elevación:	—
		Fecha de	8/10/2025

TABLA DE CORRECCIÓN			Volumen matraz a 20°C	Temperatura del ensayo (°C)	Coefficiente K
Temperatura °C	α	V_w g/cm³	500.00	22	0.9996
16	1.0007	0.99997			
18	1.0004	0.99992			
20	1.0000	0.99983			
22	0.9996	0.99970			
24	0.9991	0.99932			
26	0.9986	0.99881			

Descripción	Ensayo
Matraz N°	M-02
Peso matraz + agua en el menisco(g), W1	736.54
Peso matraz + suelo + agua en el menisco(g), W2	799.44
Peso suelo seco(g), Ws	99.98
Peso de igual volumen de agua que ocupa los sólidos del suelo(g), Ww= (W1+Ws)-W2	37.08
$G_s(T1\text{ }^{\circ}\text{C}) = W_s/W_w$	2.70
$G_s(20^{\circ}\text{C}) = G_s(T1\text{ }^{\circ}\text{C}) * K$	2.70
Gs Total	2.70

Observaciones:

Ensayado: Enrique Matos Paucar	Revisado y autorizado: Wilbe S. Matos Enríquez
	 WILBE S. MATOS ENRIQUEZ Gerente General GEOCORP SERVICE Ingeniería S.A.C.
Responsable técnico	Responsable laboratorio