

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7641

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR SAN PEDRO

Departamento: La Libertad
Provincia: Santiago de Chuco
Distrito: Quiruvilca



**JULIO
2025**

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR SAN PEDRO

(Distrito Quiruvilca, Provincia Santiago de Chuco, Departamento La Libertad)



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

Equipo técnico:

*Wilson Gomez Cahuaya
Guisela Choquenaira Gárate*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2025). Evaluación de peligros geológicos por deslizamiento en el sector San Pedro. Distrito Quiruvilca, provincia Santiago de Chuco, departamento La Libertad. Lima: Ingemmet, Informe Técnico N°A7641, 49 p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Objetivos del estudio	7
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	8
1.3. Aspectos generales	8
1.3.1. Ubicación.....	8
1.3.2. Población.....	9
1.3.3. Accesibilidad.....	10
1.3.4. Clima	11
2. DEFINICIONES	11
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	14
3.1. Unidades litoestratigráficas	14
3.1.1. Formación Chimú	14
3.1.2. Depósitos Cuaternarios	16
3.1.2.1. Depósitos coluvio-deluviales.....	16
3.1.2.2. Depósitos coluviales.....	17
3.1.2.3. Depósitos deluviales.....	18
3.1.2.4. Depósito proluvio-aluvial.....	19
3.1.2.5. Depósitos fluviales.....	19
3.1.2.6. Depósitos aluviales.....	19
3.2. Sección geológica-estructural del sector San Pedro.....	20
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	22
4.1. Pendiente del terreno	22
4.2. Unidades geomorfológicas	24
4.2.1. Montaña estructural en roca sedimentaria (ME-rs)	24
4.2.2. Vertiente con depósitos de deslizamiento (V-dd)	24
4.2.3. Vertiente Coluvio-deluvial (V-cd).....	25
4.2.4. Vertiente coluvial	26
4.2.5. Piedemonte aluvio-torrencial	26
4.2.6. Abanico proluvial	26
4.2.7. Terraza fluvial	27
4.2.8. Terraza aluvial	27
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	28
5.1. Movimientos en masa	28

5.1.1.	Deslizamiento activo (D1 y D2).....	32
5.1.2.	Derrumbes.....	35
5.1.3.	Flujo de detritos.....	35
5.2.	Otros peligros geológicos	36
5.2.1.	Erosión de ladera (Cárcavas)	36
5.3.	Peligros geohidrológicos	36
5.3.1.	Erosión fluvial	36
5.4.	Factores condicionantes.....	36
5.5.	Factores desencadenantes	37
5.6.	Análisis de la sección geológico-estructural A-B de los movimientos en masa en el sector San Pedro.....	37
6.	CONCLUSIONES.....	39
7.	RECOMENDACIONES.....	40
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	41
ANEXO 1:	MAPAS	42
ANEXO 2:	PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTIVAS.....	47

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos asociados a movimientos en masa en el sector San Pedro, ubicado en el distrito de Quiruvilca, provincia Santiago de Chuco y departamento de La Libertad. 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.

En el contexto geológico, el basamento rocoso en el sector San Pedro, está constituido por secuencias de areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas negras y carbonosas en estratos mediados que van de 15 a 30 cm de espesor, correspondiente a la Formación Chimú. Sus macizos presentan características físicas de resistencia media y se encuentran muy fracturados, identificándose hasta cuatro sistemas de discontinuidades y, además, superficialmente se hallan fuertemente meteorizados.

Los depósitos coluvio-deluviales descansan discordantemente sobre la Formación Chimú. Estos depósitos están conformados por acumulaciones inconsolidadas de fragmentos heterométricos envueltos en una matriz arcillo limosa y arenosa, que se adosan en la parte media superior de la ladera oeste del cerro Negro. Por su naturaleza suelta e incompetente, presentan una baja cohesión que ofrecen poca resistencia a la erosión, lo que las convierten en zonas muy susceptibles a movimientos en masa.

Desde el punto de vista geomorfológico, los procesos de remoción en masa se desarrollaron sobre una morfología montañosa estructurada y moldeada en roca sedimentaria, de relieve accidentado, con pendientes pronunciadas que varían de moderado, fuertes y muy fuertes que oscilan entre 15° a 45°. Mientras que, las geoformas de Vertiente con depósito de deslizamiento y Vertiente Coluvio-deluviales se emplazan sobre la ladera media a alta al oeste del cerro Negro, el cual, presentan pendientes muy fuertes que oscilan entre 25° a 45°. Estas condiciones morfológicas del terreno han propiciado la generación y evolución de los movimientos en masa.

Como principal peligro geológico, se han identificado dos deslizamientos contiguos, donde el deslizamiento denominado D1 afecta la parte media de la ladera occidental del cerro Negro; presenta una geometría circular elongada algo apretada entre sus flancos. Su escarpe principal nace en la cota 3716 m s.n.m y con una geometría semicircular y continua de ~516 m de longitud, donde, expone un salto que va de 2 a 4 m de desnivel. Por su parte, el deslizamiento D2 se desarrolla adyacente al D1, sobre la parte superior de la ladera occidental del cerro Negro. Su escarpe se origina en la cota 3753 m s.n.m, con una geometría semicircular, irregular y continua de ~722 m de longitud y con un salto que va de 1 a 3 m de desnivel. Estos deslizamientos evidencian una intensa y reciente actividad geodinámica y representan un escenario de alta susceptibilidad a detonar ante eventos desencadenantes como precipitaciones intensas o actividad sísmica local, que afectaría la vida, medios de vida e infraestructura local de la población ubicada al pie de la ladera.

De acuerdo a las características y condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se considera al sector San Pedro como **Zona Crítica** y de **Peligro Alto** frente a la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes.

Finalmente, se recomienda a las autoridades competentes y tomadores de decisiones, implementar medidas para mitigar los peligros geológicos identificados; sugiriendo ante deslizamientos y derrumbes, la construcción de zanjas de coronación en la cabecera de

la zona de escarpe, con una sección de material impermeable (geomembranas o arcillas), sellar los agrietamientos a fin de evitar la infiltración de agua durante precipitaciones intensas, con el objetivo de derivar las aguas de escorrentía a otro cauce, y reforestar las laderas con especies nativas de raíces densas a fin de contribuir con una mayor resistencia y cohesión a los suelos incompetentes. Y, por último, se recomienda realizar el EVAR correspondiente.

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 la 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 del Gobierno Regional de La Libertad; según oficio N°067-2025-GRLL-GGR-ORDN-SGDC. Es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los Ingenieros Wilson Gomez Cahuaya y Guisela Choquenaira Gárate para realizar la evaluación de peligros geológicos respectiva en el sector San Pedro, el cual se efectuó el 26 de febrero del presente, en coordinación con los representantes del sector mencionado.

La evaluación técnica se ejecutó en 03 etapas: i) la etapa de pre-campo inició con la recopilación de antecedentes de estudios de geología, geodinámica externa y geomorfología por parte del INGEMMET; ii) etapa de campo 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) la etapa final de gabinete se realizó con 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, elaboración de mapas, figuras temáticas y finalmente redacción del informe final.

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

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en el sector San Pedro, Distrito Quiruvilca, Provincia Santiago de Chuco y Departamento La Libertad.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos.
- c) Proponer medidas de prevención y mitigación ante peligros geológicos evaluados.

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) Riesgo Geológico en la Región La Libertad INGEMMET (Medina et al., 2012). Donde señala que el sector San Pedro presenta susceptibilidad a movimientos en masa con grado que va de alto a muy alto (**Figura 1**).
- b) Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Hojas: 15-f, 15-g, 16-g, INGEMMET (Reyes L., 1980). Determina y describe las unidades geológicas cretácicas de origen sedimentario en el sector San Pedro y alrededores.

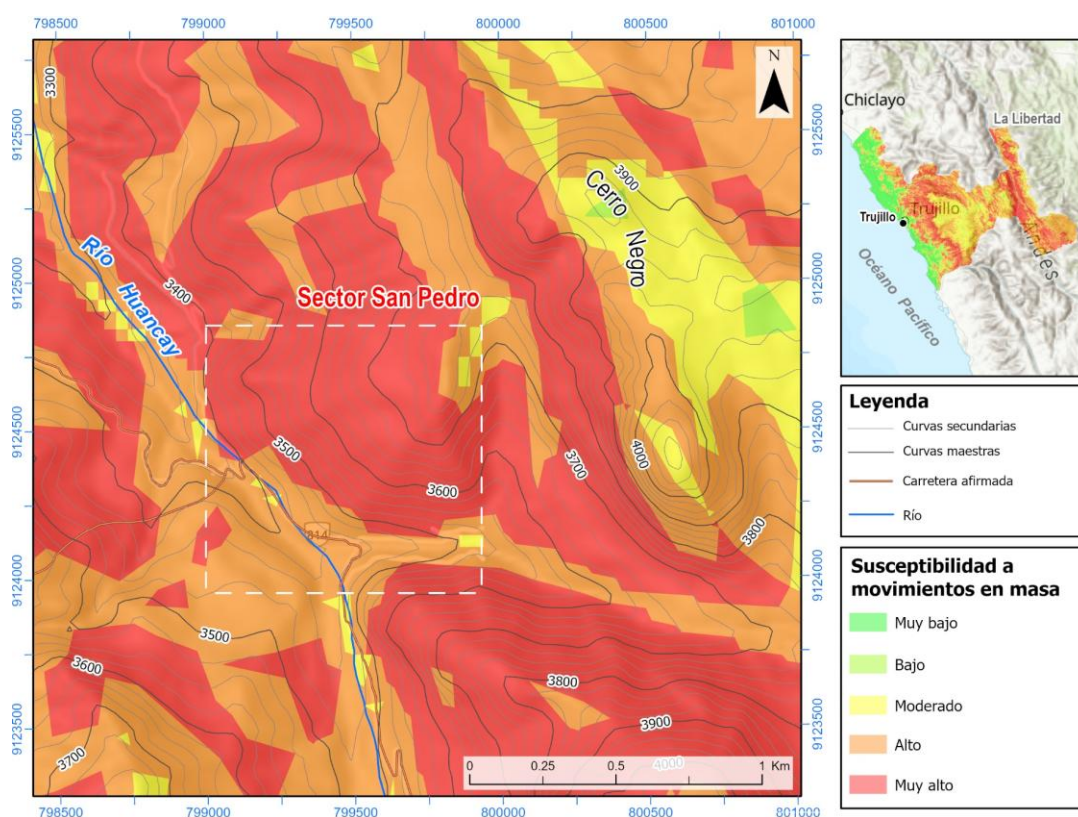


Figura 1. Susceptibilidad por movimientos en masa del sector San Pedro. Tomado de Medina et al., (2012).

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El sector San Pedro se ubica políticamente en el distrito de Quiruvilca, provincia Santiago de Chuco y Región La Libertad. Está comprendido entre las siguientes coordenadas UTM WGS 84: 799670 Este y 9124567 Norte y entre las coordenadas geográficas: Latitud, -7.912141° y Longitud, -78.283832° (**Figura 2**).

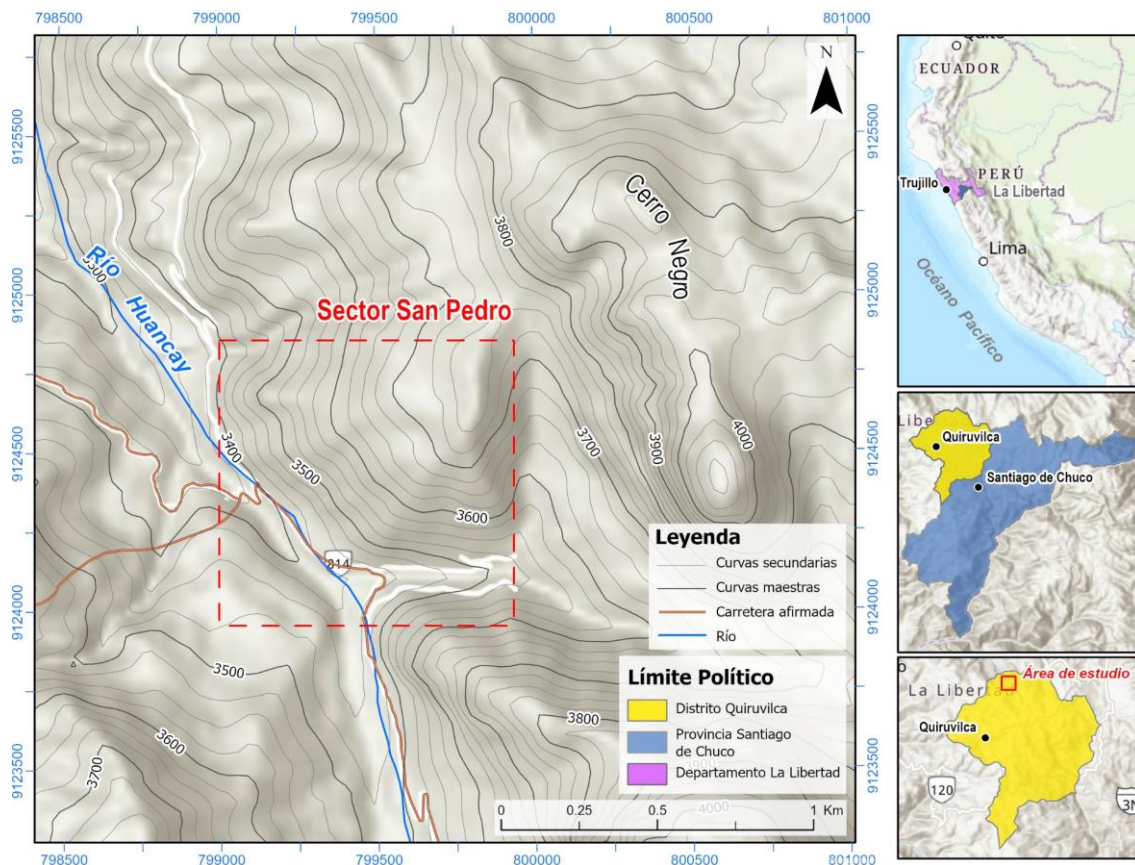


Figura 2. Ubicación de la zona evaluada en el sector San Pedro, distrito Quiruvilca, provincia Sánchez Carrión y departamento La Libertad.

1.3.2. Población

De acuerdo con la información del XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas del 2017 (INEI), la población total susceptible a movimientos en masa en el sector San Pedro es de 172 habitantes distribuidas en 42 viviendas (**Figura 3**).

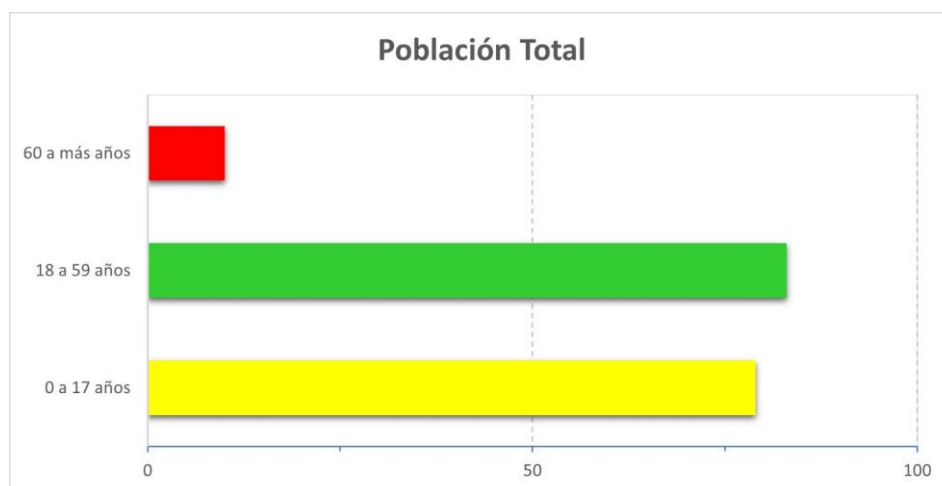


Figura 3. Distribución poblacional asentada del Sector San Pedro expuesta a peligro geológico (<https://censo2017.inei.gob.pe/>). Fuente: Elaboración propia.

1.3.3. Accesibilidad

Para acceder al área de evaluación, desde la sede principal del INGEMMET, ubicada en el distrito de San Borja, Lima, se sigue la ruta que se presenta en la siguiente tabla y figura.

Tabla 1. Ruta y acceso a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de Vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Ciudad de Lima (INGEMMET) – Distrito Quiruvilca	Asfaltada	683	10 a 52 min
Distrito Quiruvilca – Laguna El Toro	Asfaltada	10	20 min
Laguna El Toro – Caserío San Pedro	Trocha carrozable	14	16 min

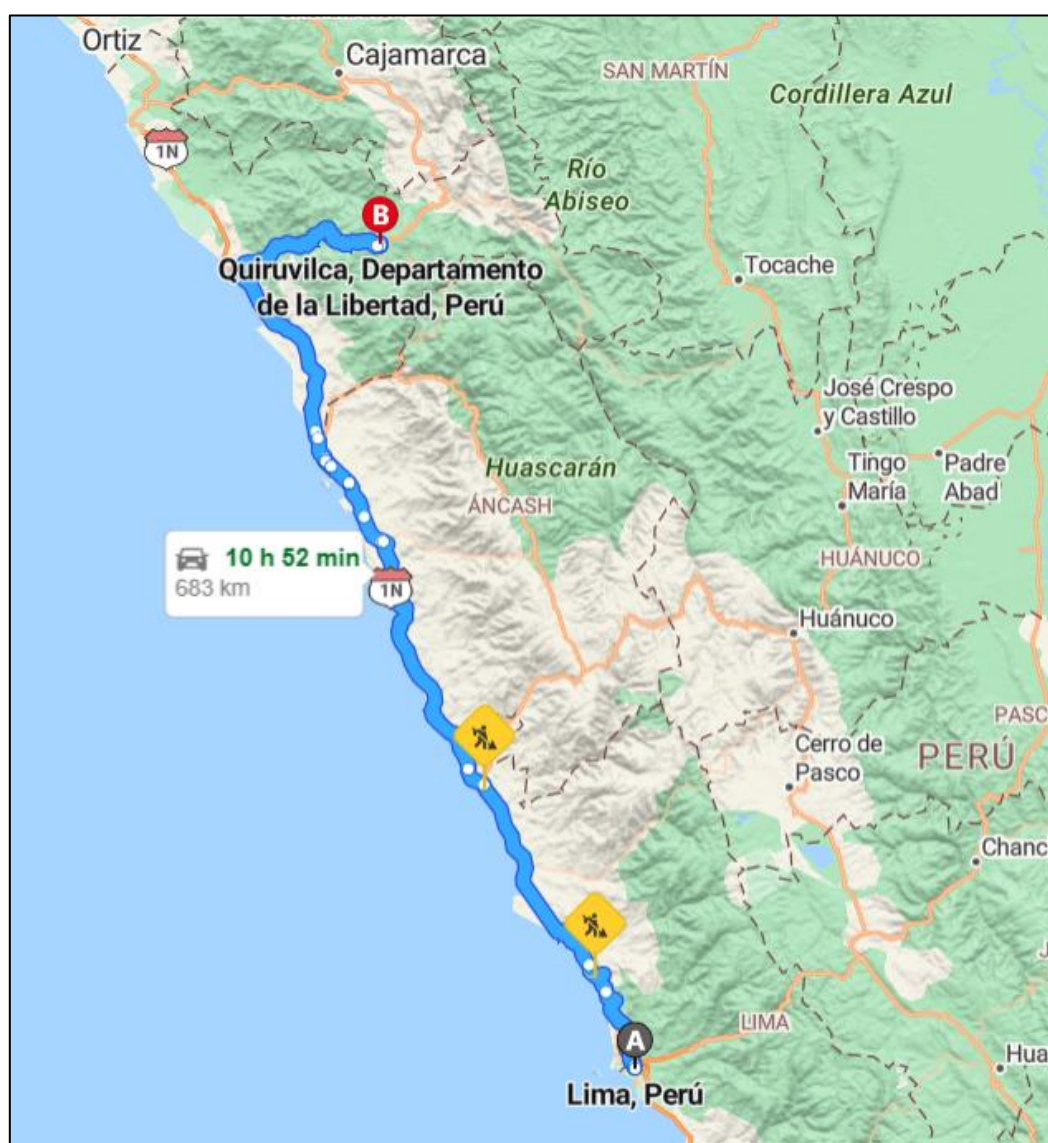


Figura 4. Mapa de accesibilidad al sector San Pedro, distrito Quiruvilca, Provincia Sánchez Carrión, departamento La Libertad. Fuente: Bing Maps.

1.3.4. Clima

Respecto a las precipitaciones, se tiene datos recopilados y disponibles de la estación Quiruvilca (Senamhi), en la que se tiene datos más puntuales en la zona evaluada que corresponden a los años 2024 (enero a abril), el cual muestra que las precipitaciones más altas y anómalas registradas corresponden a los meses de enero y marzo, fecha en que reportaron movimientos en masa en el sector San Pedro (**Figura 5**).

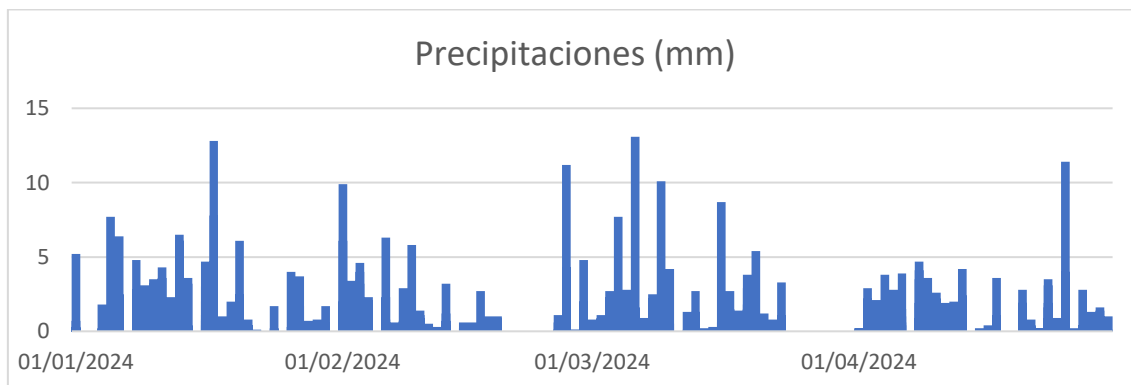


Figura 5. Precipitaciones diarias registradas en la estación Quiruvilca (Senamhi). Fuente: Elaboración propia.

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, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres.

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

- **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.
- **Arcilla:** Suelo 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.

- **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.
- **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.
- **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.
- **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.
- **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:** Fenómeno de remoción en masa (Colombia, Argentina), proceso de remoción en masa (Argentina), remoción en masa (Chile), 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 geológico:** 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.

- **Susceptibilidad:** La susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno) y los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.
- **Zonas críticas:** Son zonas o áreas con peligros potenciales de acuerdo a la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados), que muestran una recurrencia, en algunos casos, entre periódica y excepcional. Algunas pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y puede ser necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

De acuerdo con la Carta Geológica Nacional, en el sector San Pedro, afloran rocas sedimentarias, representadas por las unidades litoestratigráficas: Formación Chicama, Formación Chimú, Formación Santa, Carhuaz y Depósitos Cuaternarios.

3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades que intervienen directamente con los procesos de movimientos en masa en el sector San Pedro, corresponden a la Formación Chimú del Grupo Goyllarisquiza y los Depósitos Cuaternarios que descansan discordantemente, los cuales se detallan a continuación.

3.1.1. Formación Chimú

En el sector San Pedro esta unidad fue reconocida por Reyes (1980) en los alrededores del cerro Negro. Sin embargo, en el presente informe se ha reconoció a la Formación Chimú, cuyos afloramientos se observan principalmente en la ladera oeste del cerro Negro.

Litología. En el sector San Pedro, la Formación Chimú presenta dos secuencias bien marcadas, la parte inferior aflora en la ladera oeste del cerro Negro hacia el pie del talud. Se trata de areniscas cuarzosas gris blanquecinas de grano medio a fino en estratos tabulares algo ondulados con espesores que van de 15 a 30 cm. Estas secuencias se intercalan con lutitas negras carbonosas en estratos delgados de 10 a 15 cm de espesor (**Fotografía 1**).

En este sector, sus macizos presentan características físicas de resistencia media (al golpe del martillo) que oscilan entre 50 a 150 Mpa, asimismo, estas rocas se encuentran muy fracturadas, identificándose hasta cuatro sistemas de discontinuidades. Estas fracturas presentan espaciamientos que van de 10 a 40 cm y con aberturas de 1 a 2 mm, en el que, superficialmente se hallan fuertemente meteorizados (**Fotografía 1**).

Por otro lado, la secuencia superior de la Formación Chimú, aflora en la parte media superior de la ladera del cerro Negro. Se caracteriza por presentar areniscas cuarzosas gris blanquecinas en estratos medianos. Estos macizos se hallan muy fracturados y superficialmente presentan una moderada meteorización (**Fotografía 2**).

Estructuralmente, los estratos de la Formación Chimú inferior se inclinan en contra de la pendiente al pie de la ladera, sin embargo, en la cresta se inclinan fuertemente en favor de la pendiente, dando lugar a la formación de una estructura tipo sinclinal con flancos abiertos. Esta estructura ha sido originada por una tectónica a lo largo de su historia geológica, lo que en superficie se manifestó a través de discontinuidades, fracturas, foliaciones y esquistosidad local, que han propiciado la inestabilidad de la ladera y relacionado con el origen de procesos de movimientos en masa (**Fotografías 3 y 4**).



Fotografía 1. Areniscas masivas gris amarillentas en estratos medianos de 10 a 20 cm de espesor. Este macizo de encuentran muy fracturado y meteorizado, ubicado en al pie del talud del cerro Negro. Vista mirando al Este.



Fotografía 2. Afloramiento de areniscas cuarzosas gris blanquecinas de la Formación Chimú superior ubicado en la parte media superior de la ladera del cerro Negro. Nótese, los estratos inclinados en favor de la pendiente. Vista panorámica mirando al sur.



Fotografía 3. Estratos de la Formación Chimú superior fuertemente inclinados en favor de la pendiente. Vista panorámica mirando al sur.



Fotografía 4. Estratos con inclinación en contra de la pendiente, ubicados al pie del talud del cerro Negro. Vista panorámica mirando al Este en dirección del cerro Negro.

3.1.2. Depósitos Cuaternarios

3.1.2.1. Depósitos coluvio-deluviales

En el sector San Pedro, estos depósitos se alojan en la ladera oeste del cerro Negro. Se trata de secuencias inconsolidadas provenientes de suelos residuales de la Formación Chimú y de depósitos de antiguos deslizamientos, combinados con procesos gravitacionales y de dinámica deluvial.

Estos depósitos están conformados por fragmentos heterométricos de formas subangulosas a subredondeadas dispuestos en una matriz arcillo limosa y arenosa. Por su naturaleza suelta e incompetente, se caracterizan por tener una baja cohesión que ofrecen una baja resistencia a la erosión, lo que las convierten en zonas susceptibles a movimientos en masa (**Fotografías 5 y 6**).



Fotografía 5. Depósitos coluvio-deluviales provenientes de deslizamientos antiguos que fueron acumulados por en la parte media superior de la ladera oeste del cerro Negro. Vista panorámica mirando al norte.



Fotografía 6. Detalle de los depósitos coluvio-deluviales acumulados al pie de la ladera oeste del cerro Negro. Vista mirando al sureste.

3.1.2.2. Depósitos coluviales

Estos depósitos afloran en la parte media de la ladera oeste del cerro Negro. Están conformados por fragmentos heterométricos de formas angulosas y subangulosas que reflejan poco transporte y que fueron acumulados y envueltos en una matriz areno arcillosa (**Fotografía 7**).



Fotografía 7. Detalle de los depósitos coluviales acumulados en la parte media de la ladera oeste del cerro Negro. Vista mirando al noreste.

3.1.2.3. Depósitos deluviales

Estos depósitos se alojan en la parte media baja de la ladera oeste del cerro Negro. Se caracterizan por tratarse de materiales que fueron arrastrados por escorrentía superficial y estacionarios confinados a épocas de precipitaciones. Estos depósitos son acumulados de manera caótica y disarmónica mal seleccionados que terminan depositándose en pendiente bajas formando pequeños abanicos. Su litología consiste de fragmentos heterométricos constituidos principalmente por areniscas cuarzosas de la Formación Chimú (**Fotografía 8**).



Fotografía 8. Depósitos proluviales alojados en la parte baja de la ladera oeste del cerro Negro. Vista panorámica mirando al este.

3.1.2.4. Depósito proluvial-aluvial

Estos depósitos se alojan al pie de la ladera oeste del cerro Negro, margen derecha del río Huancay. Se trata de acumulaciones de gravas y fragmentos heterométricos subangulosas a subredondeadas envueltos en una matriz areno arcillosa, provenientes de antiguos huaicos que se depositaron a manera de un abanico sobre la vertiente del río Huancay (**Fotografía 9**).



Fotografía 9. Al fondo de la imagen se observa un depósito proluvial-aluvial acumulado al pie del talud y a la margen derecha del río Huancay en el sector San Pedro. Vista mirando al norte.

3.1.2.5. Depósitos fluviales

Se trata de acumulaciones a lo largo del cauce del río Huancay. Están constituidos esencialmente de bloques, bolones y gravas de variedad litológica, y se encuentran envueltos en una matriz areno limosa (**Fotografía 10**).

3.1.2.6. Depósitos aluviales

Se trata de materiales acumulados de sedimentos, bloques y gravas transportados y depositados por la acción de la escorrentía superficial de los ríos. En el sector San Pedro, se hallan en las márgenes del río Huancay, están constituidas principalmente por fragmentos heterométricos de formas subredondeadas a redondeadas envueltos en una matriz areno limosa (**Fotografía 10**).



Fotografía 10. Depósitos aluviales dispuestos sobre la margen del río Huancay y depósitos fluviales a lo largo del cauce del río en el sector San Pedro. Vista panorámica mirando al noreste.

3.2. Sección geológica-estructural del sector San Pedro

Para tener una mejor visión geológico-estructural se realizó una sección estructural que abarca desde el río Huancay hasta cerro Negro. Aquí se muestra los aspectos estructurales que condicionaron aparentemente la ocurrencia de procesos de movimientos en masa en el sector San Pedro (**Figura 8**).

En la sección se observa estructuras mayores, es decir fallas inversas antiguas que provocaron el cabalgamiento de la Formación Chicama sobre la Formación Chimú, como resultado, provocó la deformación de los estratos de la Formación Chimú, dando lugar a la formación de un sinclinal asimétrico con el flanco oriental muy inclinado hacia el oeste. En la ladera oeste del cerro Negro, estos estratos se inclinan fuertemente en favor de la pendiente, lo que condicionó posteriormente el origen de los movimientos en masa, así como, deslizamientos que se emplazaron en el mismo sentido del buzamiento de los estratos y de la pendiente (**Figura 8**).

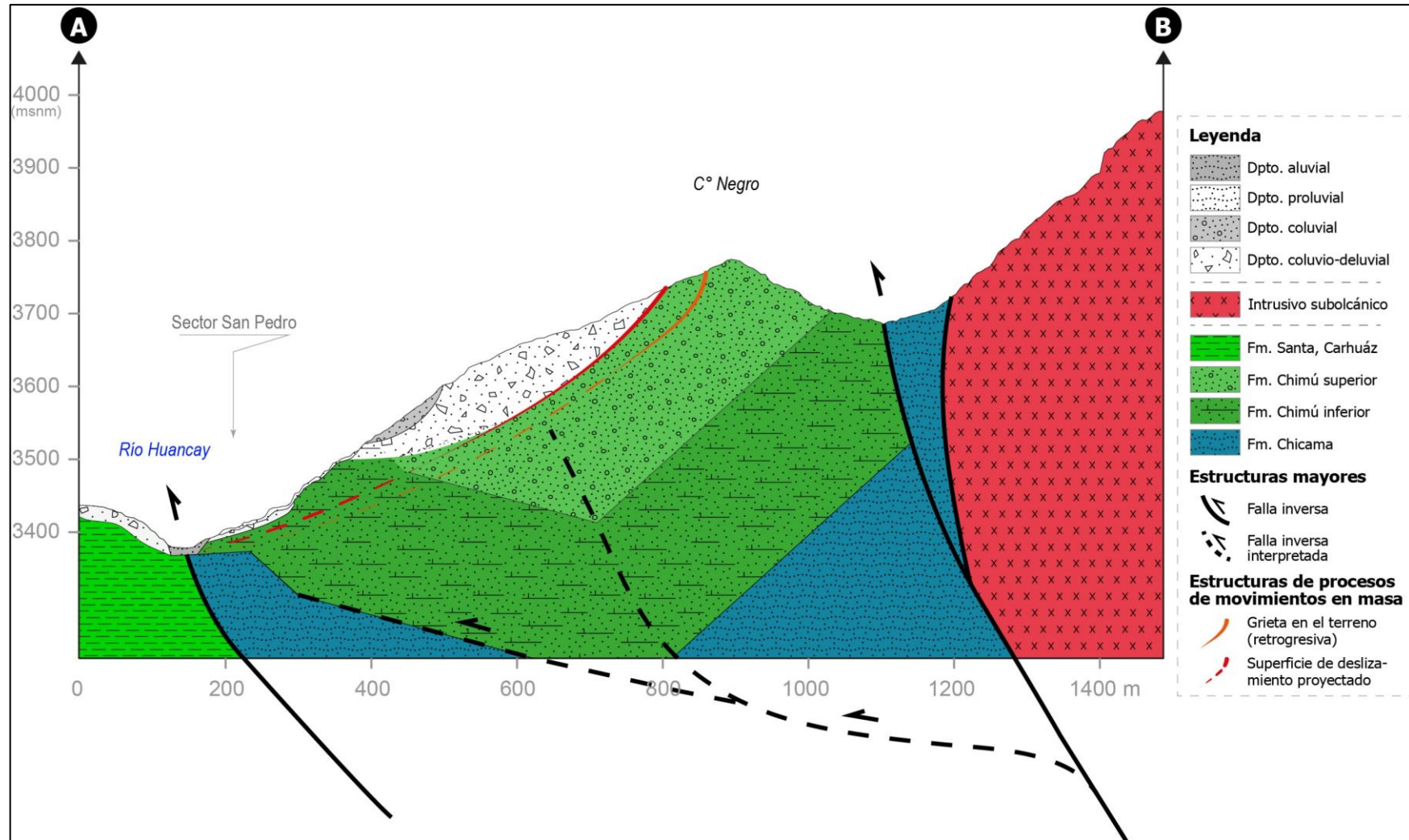


Figura 6. Sección geológico-estructural A-B del sector San Pedro, donde se observa la interacción de estructuras geológicas con los procesos de movimiento en masa en la ladera oeste del cerro Negro.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendiente 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 de 0° a 1° considerados terrenos llanos; 1° a 5° terrenos inclinados con pendiente suave; 5° a 15° pendiente moderada; 15° a 25° pendiente fuerte; 25° a 45° pendiente muy fuerte a escarpado; finalmente, mayor a 45° terreno como muy escarpado (**Tabla 2**).

Para el sector San Pedro, se elaboró un mapa de pendientes a partir de un modelo de elevación digital (DEM) de resolución de 5 m/píxel proveído por CONIDA (**Anexo 2: Mapa de pendientes**).

El área muestra un relieve accidentado en la ladera oeste del cerro Negro, con pendientes moderado que van de 5° a 15° localizadas en la cabecera de cerro. Por el lado oeste, presenta pendientes fuertes que van de 15° a 25°. Las pendientes muy fuertes, se localizan en la parte media y baja de la ladera oeste del cerro Negro, cerca del pie del talud se observa movimientos en masa como derrumbes con pendientes que oscilan entre 25° a 45° (**Fotografías 11 y 12**).

Tabla 2. Rango de pendientes del terreno.

RANGOS DE PENDIENTES DE TERRENO		
Pendiente	Rango	Descripción
0° - 1°	Muy baja	Comprende terrenos planos o llanos como mesetas formadas en la cresta del cerro Negro.
1° - 5°	Baja	Terrenos planos con ligera inclinación que se distribuye en la cresta del cerro Negro y terrazas en el valle del río Huancay.
5° - 15°	Media	Situadas en la parte media superior de ladera oeste del cerro Negro. Corresponden terrenos algo ondulados con relieves suaves que formaron los depósitos de acumulación de los antiguos de deslizamientos y zonas de hundimientos en los deslizamientos activos.
15° - 25°	Fuerte	Pendientes que se distribuyen principalmente en el borde oeste de la ladera del cerro Negro. Estos relieves con inclinación fuerte se observan en la parte superior de la ladera, la superficie se caracteriza por presentar terrenos ondulados.
25° - 45°	Muy fuerte	Se presentan en la parte media y al pie del talud del cerro Negro. El relieve se moldea producto de derrumbes debido a la escorrentía superficial y al cambio brusco de pendiente.
>45°	Muy escarpado	Muestra relieve con paredes subverticales al oeste del cerro Negro, constituido principalmente por rocas intrusivas y los estratos superpuestos de manera subhorizontal que formaron paredes subverticales en la parte baja del talud. Están relacionadas con caída de rocas y derrumbes.



Fotografía 11. Relieve muy accidentado en la ladera oeste del cerro Negro con pendientes que van de moderado a muy fuertes que oscilan entre 15° a 45°. Vista mirando al norte.



Fotografía 12. Pendientes muy fuertes que oscilan entre 25° a 45° en la parte media baja de la ladera oeste del cerro Negro. Vista mirando al sur.

4.2. Unidades geomorfológicas

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

Geoforma moldeada en roca sedimentaria atribuida a la Formación Chimú; la cual se extiende de manera significativa y ampliamente en el sector San Pedro, donde el relieve predominante es de tipo montañoso. Hacia la ladera oeste, se presenta con una morfología algo escalonada y ondulada, resultado de procesos geológicos antiguos.

Hacia la cima, la ladera montañosa de Cerro Negro tiene un desnivel de aproximadamente 352 m desde el pie del talud, es decir, su base el río Huancay. Su origen se debe principalmente a fases de exhumación, levantamiento y cabalgamiento que involucró procesos tectónicos y erosivos que dieron como resultante una topografía agreste y accidentada.

Por su parte, la ladera suroeste aloja depósitos residuales dispuestos en pendientes moderadas, fuertes a muy fuertes que, en la actualidad representan zonas inestables y sujetas a procesos de movimientos en masa (**Fotografía 13**).



Fotografía 13. Unidad geomorfológica de montaña estructural modelada en roca sedimentaria. Al fondo se observa el río Huancay. Vista panorámica mirando al este.

4.2.2. Vertiente con depósitos de deslizamiento (V-dd)

Esta geoforma se localiza en la parte media superior de la ladera oeste de cerro Negro, su morfología se caracteriza por ocupar áreas extensas con morfología tipo depresión y hundida que en promedio presentan pendientes moderadas que oscilan entre 5° a 15°. Esta morfología fue heredada de procesos de deslizamientos recientes y que representan zonas de altamente inestables con susceptibilidad a derrumbes y deslizamientos (**Fotografías 14 y 15**).



Fotografía 14. Vertiente con depósitos de deslizamiento alojados en la parte media superior del cerro Negro. Nótese la zona de depresión. Vista panorámica al oeste.



Fotografía 15. Geoformas de vertiente con depósito de deslizamiento en la parte superior de la ladera oeste del cerro Negro. Nótese, el escarpe que limita el depósito. Vista panorámica mirando al noreste.

4.2.3. Vertiente Coluvio-deluvial (V-cd)

En el sector San Pedro, estas geoformas se emplazan en la parte media y baja de la ladera oeste del cerro Negro.

Se trata de materiales coluviales combinadas con la dinámica deluvial constituida por secuencias inconsolidadas dispuestas sobre laderas con pendientes muy pronunciadas, el cual, se caracterizan por presentar baja cohesión y que ofrecen poca resistencia a la erosión y son fácilmente removidas por escorrentía superficial, lo que les convierte en zonas inestables asociadas a procesos de remoción en masa, así como, derrumbes, flujos y erosión en cárcavas (**Fotografía 16**).



Fotografía 16. Unidad de vertiente coluvial (relacionado con depósitos de derrumbes) y coluvio-deluvial dispuestas en la parte media y baja respectivamente sobre la ladera oeste del cerro Negro en el sector San Pedro. Vista mirando al este.

4.2.4. Vertiente coluvial

Estas geoformas involucran procesos gravitacionales en la ladera media del cerro Negro. Estos materiales son acumulados sobre terrenos con pendientes muy fuertes que oscilan entre 25° a 45° y que están relacionados a derrumbes principalmente (**Fotografía 16**).

4.2.5. Piedemonte aluvio-torrencial

Son depósitos de material inconsolidado que alcanzan su mayor desarrollo en terrenos con pendientes fuertes y moderados a suaves. Están conformadas por acumulaciones de sedimentos y gravas transportados por corrientes de aguas estacionales.

En el sector San Pedro, se observa en la parte media baja de la ladera oeste del cerro Negro, los materiales transportados provienen de depósitos coluviales que fueron acarreados por la escorrentía superficial y canalizados sobre las cárcavas de mediana extensión y pequeños surcos que disectan la ladera (**Fotografías 8 y 16**).

4.2.6. Abanico proluvial

Esta geoforma se emplaza al pie de la ladera oeste del cerro Negro, margen derecha del río Huancay. Se originó producto de la depositación en estructura tipo “abanico” de un antiguo huaico que descendió de las partes altas de cerro Negro.

Actualmente, en la parte frontal de la estructura se desarrollan procesos de erosión fluvial que se incrementan considerablemente en épocas de fuerte precipitación, lo que implica áreas susceptibles que por socavación van generando desprendimientos de rocas y suelos, sobre los que se acerca peligrosamente a las viviendas asentadas al pie del talud (**Fotografía 17**).



Fotografía 17. Al fondo, se observa una geoforma de abanico proluvial alojada al pie de la ladera, sobre el cuál, se asentaron parte de la población de San Pedro. Vista mirando al norte.

4.2.7. Terraza fluvial

Son geoformas que se caracterizan por presentarse a lo largo del cauce del río Huancay. Están constituidas esencialmente por fragmentos heterométricos que son transportados por la corriente fluvial y se depositan formando terrazas bajas que conforman zonas de llanura de inundación (**Fotografía 18**).

4.2.8. Terraza aluvial

Son geoformas de origen deposicional, formada por la depositación rápida de materiales transportados por los ríos o flujo de que activan estacionalmente. Sus depósitos conforman a manera de terrazas localizadas en las márgenes del río Huancay.

En esta unidad geomorfológica se observan procesos de erosión fluvial, que, al socavar los terrenos adyacentes de terraza aluvial, provocan desprendimiento de material, donde se intensifican en épocas de precipitaciones intensas y excepcionales (**Fotografía 18**).



Fotografía 18. Geoformas de terrazas aluvial y fluvial a lo largo del río Huancay en el sector San Pedro. Nótese la erosión fluvial que ejerce el río a la margen derecha. Vista mirando sureste.

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 el presente informe, se describen los principales peligros geológicos detalladas en el sector San Pedro, correspondientes a movimientos en masa, geohidrológicos y otros peligros geológicos.

5.1. Movimientos en masa

La caracterización de los movimientos en masa en esta área, se realizó en base al análisis a detalle de los rasgos geológicos, geomorfológicos, y de geodinámica durante los trabajos de campo y gabinete, en donde, se identificaron y cartografiaron los diferentes tipos de movimientos en masa a través de la toma de datos estructurales que conlleva esta misma, basado principalmente en la observación y caracterización morfométrica in situ; de igual modo se tomaron capturas de imágenes y fotografías a nivel de terreno, complementada con el análisis de imágenes satelitales de la plataforma Google Earth y Sentinel 2.

Para caracterizar los movimientos en masa, se generaron mapas ráster de Red Relief Image Map (RRIM), a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM) de 5 m de resolución proveído por CONIDA. 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 9**).

En la figura 9, se resalta los rasgos morfométricos y geológicos que un DEM convencional no proporciona. En este análisis, se observa en la imagen la interacción

de la dinámica de los deslizamientos activos, principal peligro latente para los pobladores situadas al pie de la ladera oeste del cerro Negro en el sector San Pedro.

De acuerdo a la imagen RRIM, se observa una zona con depresión y hundida que resaltan al relieve. Se trata de un deslizamiento, denominado (D1), que afecta la parte media superior de la ladera del cerro Negro, su escarpe tiene una morfología cóncava y apretada en sus flancos que se prolongan al pie de la ladera. La dinámica del movimiento es lento y progresivo en dirección suroeste hacia el río Huancay (**Figura 9A**).

Por otro lado, se resalta una zona de escarpe situada en la parte superior de la ladera, se trata de un deslizamiento (D2) más extenso y que involucra al parecer gran parte la ladera oeste del cerro Negro. Su escarpe principal se prolonga hasta la quebrada local afluente al río Huancay, mientras que por el flanco izquierdo se prolonga afectando la corona del D1. Según la morfología del depósito, las grietas y la geometría del deslizamiento, tendría una dinámica de movimiento en dirección noroeste (**Figuras 9A**).

Asimismo, se distinguen procesos gravitacionales de remoción de masa, tipo derrumbes, flujo de detritos y erosión fluvial (**Figuras 9A y B**); todos ellos condicionados por la pendiente del terreno y la dinámica fluvial ejercida por la acción del río Huancay.

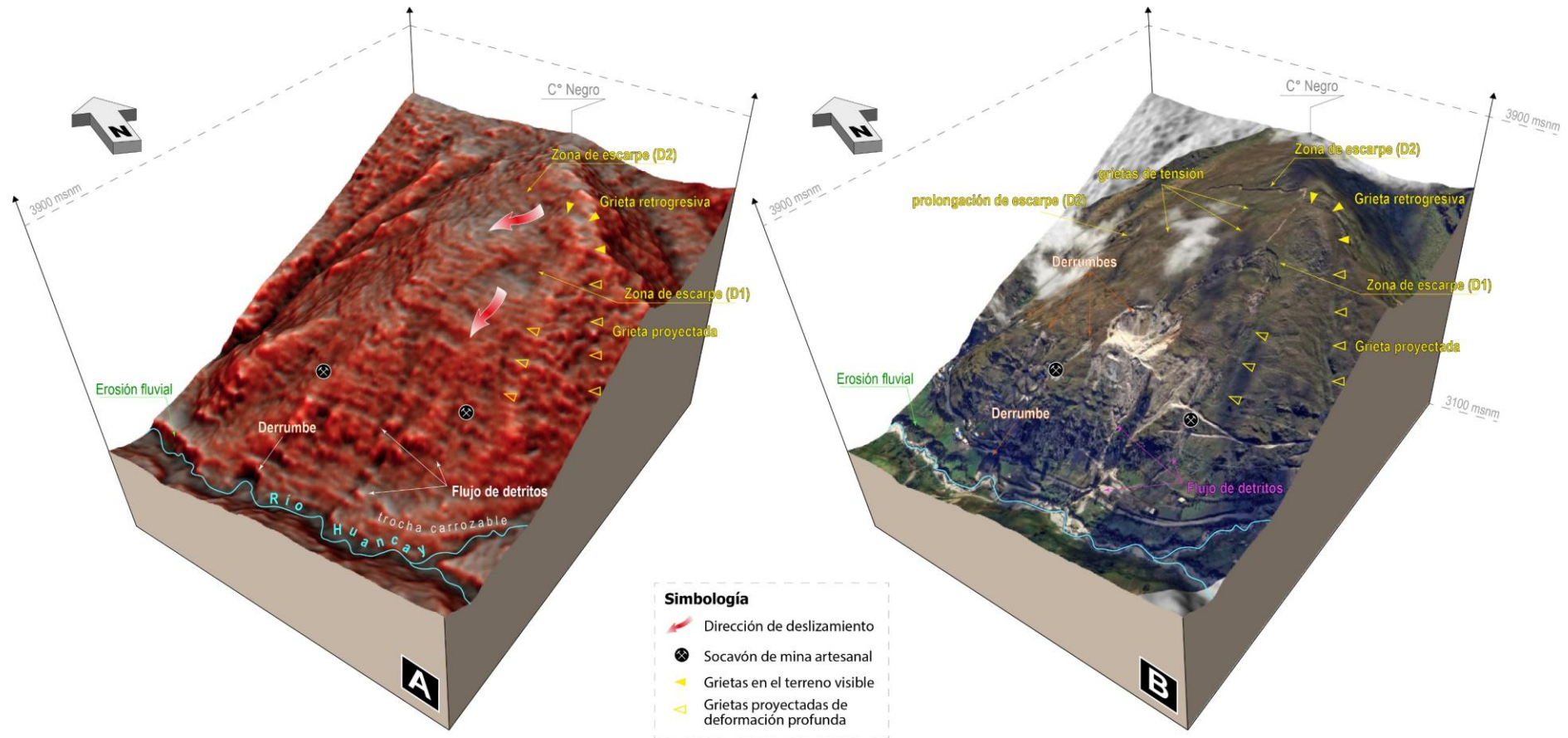


Figura 7. Block diagrams tridimensional donde se muestra los procesos de movimientos en masa en el sector San Pedro. A) ráster RRIM en tonalidad rojo, donde resalta las características morfológicas del terreno. B) Imagen satelital donde se observa los deslizamientos emplazados en la parte media superior de la ladera oeste del cerro Negro. La imagen satelital corresponde a la fecha de julio 2024, extraída de Google Earth.

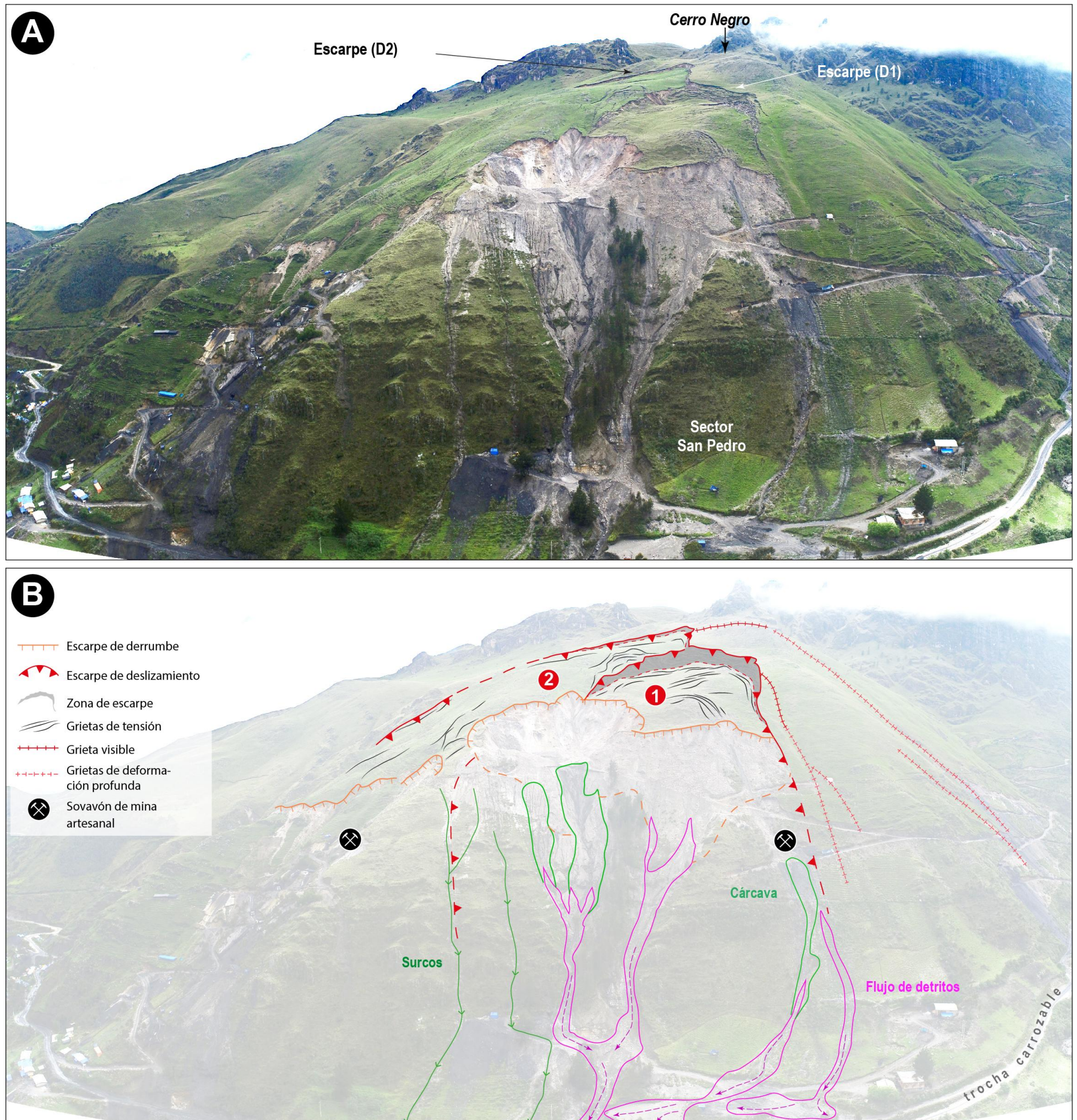


Figura 8. Procesos de movimientos en masa en la ladera oeste del cerro Negro. A) Imagen tomada con dron en dirección mirando hacia el este. B) Cartografía sobre la imagen donde se refleja la actividad geodinámica activa de la ladera con pendiente muy pronunciada. Se muestran la interacción de los deslizamientos D1 y D2 que afectan la parte media superior de la ladera, así también, los derrumbes, flujo de detritos, erosión de ladera (cárcavas y surcos) que afectan la parte inferior de la ladera en el sector San Pedro.

5.1.1. Deslizamiento activo (D1 y D2)

En la ladera media superior del cerro Negro, se desarrollan deslizamientos que involucran y movilizan material coluvio-deluvial, así como parte del macizo rocoso perteneciente a la Formación Chimú. Estas rocas presentan evidencias claras de haber sido previamente afectadas por una intensa actividad tectónica que dio lugar a una deformación frágil, que en superficie se manifestaron a través de fracturas, discontinuidades y foliaciones. Estas estructuras han debilitado el substrato rocoso, condicionando su estabilidad y favoreciendo la ocurrencia de movimientos en masa (**Figura 8**).

Se ha identificado dos deslizamientos contiguos (D1 y D2) que presentan diferentes características de deformación, desarrollo y evolución en el tiempo, el cual se describen a continuación.

El deslizamiento denominado D1 se emplaza en la parte media del cerro Negro, presenta una geometría circular elongada un tanto apretada entre sus flancos. En la zona proximal (hundimiento) presenta un ancho de ~108 m, mientras que en la distal (acumulación) tiene un ancho de 232 m, y el desnivel del escarpe principal al pie alcanza una altura de 165 m (**Figura 10**).

El escarpe principal del D1 nace en la cota 3716 msnm y presenta una geometría semicircular y continua que recorre ~516 m de longitud, asimismo, presenta un salto que va de 2 a 4 m de desnivel con respecto a la vertical (**Figura 10 y fotografía 21**). Los escarpes secundarios tienen formas semicirculares, irregulares y discontinuas que se disponen semiparalelas al escarpe principal, y presentan saltos que van de 0.5 a 2 m expresando una morfología característica de tipo escalonada. En conjunto, la interacción del escarpe principal con los secundarios delimita una zona de escarpe con configuración morfológica de “*lunar creciente*” cuya deformación del terreno alcanza un ancho de 2 a 40 m con respecto a la horizontal (**Figura 10 y fotografías 19 y 20**).

Por otra parte, se evidencian múltiples grietas transversales que se disponen de manera escalonada en el cuerpo del deslizamiento D1, estas grietas sugieren un proceso activo y deformación progresiva del terreno, lo que podría acelerarse ante las condiciones desencadenantes como las precipitaciones prolongadas.

El deslizamiento D2 se instala en la parte superior de la ladera oeste del cerro Negro, se ubica inmediatamente superior y adyacente al D1. El D2 se extiende y afecta en gran parte la ladera, presenta una geometría de elipsoide elongado con un ancho de ~107 m en su zona proximal y 298 m en su zona más distal (**Figura 10 y fotografía 22**).

Su escarpe principal se origina en la cota 3753 m s.n.m, tiene una geometría semicircular, irregular y continua de ~722 m de longitud. Presenta un salto que va de 1 a 3 m de desnivel. Los escarpes secundarios están confinados al escarpe principal y conforman una delgada zona de deformación (**Fotografía 23**).

Las grietas de tensión atraviesan de manera transversal y se ubican en el cuerpo del deslizamiento D2, en cuál, indican una deformación lenta pero continua del terreno. Estas grietas sugieren un mecanismo de movimiento en dirección noroeste ladera abajo.



Fotografía 19. Zona de escarpe del deslizamiento D1 ubicado en la ladera media del cerro Negro. Nótese, en ancho de deformación superficial escalonado del deslizamiento. Vista panorámica mirando al norte.



Fotografía 20. Flanco izquierdo del deslizamiento D1. Se observa el escarpe principal y los escarpes secundarios dispuestos de manera escalonada. Vista mirando al este.



Fotografía 21. Salto prominente del escarpe principal ubicado en el flanco izquierdo del deslizamiento D1. En este sector, el salto tiene ~2 m de desnivel. Vista mirando al suroeste.



Fotografía 22. Deslizamiento D2 emplazado en la ladera superior del cerro Negro. Nótese, al fondo de la imagen el salto prominente que llega a 3 m de desnivel del escarpe principal.



Fotografía 23. En la parte superior del deslizamiento D2, se observa el escarpe principal. En el flanco izquierdo se registra una grieta retrogresiva que se extiende sobre la ladera del cerro Negro. Vista panorámica mirando al este.

5.1.2. Derrumbes

Estos eventos se localizan en la parte media de la ladera oeste del cerro Negro, el cual, afectan terrenos inestables provenientes de eventos más antiguos y depósitos coluvio-deluviales que se disponen sobre la ladera con pendientes pronunciadas con inclinación de laderas que oscila entre 25° a 45° (**Figura 10**).

El derrumbe de mayor extensión se ubica en la parte más distal del deslizamiento D1, se trata de desprendimientos de material que involucra el depósito del D1. La geometría del derrumbe tiene una morfología semicircular alargada. Su superficie de ruptura se origina en la cota 3625 msnm y tiene una forma irregular, sinuosa y continua que logra alcanzar una longitud de ~445 m (**Fotografía 24**).

El área total de la zona afectada por el derrumbe se aproxima a 2.6 ha. Las características de este depósito es de tipo canchal y flujo de desplazamiento lento, debido a la saturación del suelo removido, el cual representan fuentes de flujos de detritos que son acarreados por esorrentía y canalizados en cárcavas ladera abajo (**Figura 10**).



Fotografía 24. Superficie de ruptura o de arranque del derrumbe que afecta la zona distal del deslizamiento D1, ubicado en la ladera media del cerro Negro. Vista mirando al este.

5.1.3. Flujo de detritos

Se trata de eventos menores, de pequeña magnitud y extensión, que se originan en la ladera media-baja del cerro Negro. Estos flujos son provocados por el arrastre de material proveniente del derrumbe que se sitúa en la parte superior, el cuál son

removidos por escorrentía superficial y canalizados en cárcavas angostas y surcos (**Figura 10**).

Sus depósitos alcanzan zonas más bajas y se extienden a manera de pequeños abanicos que afectan incipientemente zonas de cultivo y trocha carrozable al pie de la ladera. Estos eventos están confinados al material proveniente de los derrumbes y se intensifican en épocas de fuerte precipitación (**Figura 10 y fotografías 8 y 16**).

5.2. Otros peligros geológicos

5.2.1. Erosión de ladera (Cárcavas)

La ocurrencia de estos procesos, se manifiestan a través de cárcavas, lo cuales aprovecharon en desarrollarse a lo largo de incisiones generadas producto de la escorrentía superficial.

En el contexto geodinámico, estas cárcavas se localizan inmediatamente en la parte inferior a la zona de derrumbe, se deben principalmente al ensanchamiento de los surcos con escorrentía superficial que erosionan depósitos inconsolidados y residuales alojados en una pendiente muy fuerte. No obstante, podrían incrementar su capacidad erosiva durante precipitaciones anómalas y prolongadas y aumentar el volumen de los flujos, que podrían alcanzar a las viviendas y un tramo de trocha carrozable (**Figura 10**).

5.3. Peligros geohidrológicos

5.3.1. Erosión fluvial

Estos eventos de inestabilidad están confinados principalmente al socavamiento lateral que ejerce el río Huancay sobre terrenos inconsolidados e incompetentes alojados en las márgenes fluviales.

En el sector San Pedro, se han identificado dos procesos de erosión fluvial, una se ubica en la parte nororiental de la zona evaluada, donde se observa un marcado socavamiento lateral que afecta un antiguo depósito de flujo de detritos adosado al pie de la ladera. Este frente erosivo, se extiende a lo largo de ~320 m de longitud y presenta indicios de un avance retrogresivo que se propaga peligrosamente en dirección hacia las viviendas asentadas en las inmediaciones, que apenas las separa ~35 m de distancia (**Fotografía 17**).

Por su parte, se registra este mismo proceso al sur del sector San Pedro. Se trata de un frente erosivo de ~208 m de longitud que afecta depósitos aluviales. La distancia entre el socavamiento lateral con las viviendas asentadas es de ~30m (**Fotografía 18**).

5.4. Factores condicionantes

Los factores condicionantes que están relacionados a los procesos de movimientos en masa, es decir, la ocurrencia del deslizamiento, derrumbes entre otros, se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 2. Factores condicionantes de los procesos de movimientos en masa.

Factores	Características asociadas
Litológico	El substrato rocoso está constituido por secuencias deformadas de areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas negras carbonosas en estratos medianos, las cuales se encuentran muy fracturadas y meteorizadas. Estos macizos rocosos se caracterizan por presentar secuencias

	incompetentes altamente inestables asociadas a los movimientos en masa. Suelos residuales y depósitos coluvio-deluviales inconsolidados poco resistentes y de poca cohesión que se emplazan en la ladera media y superior dispuestas en pendientes fuertes a muy fuertes, lo cual las convierten en zonas inestables propicias a la generación de deslizamientos.
Geomorfológico	- Morfología accidentada con pendientes que van de fuerte a muy fuerte. - Geoforma de montaña estructural en roca sedimentaria.

5.5. Factores desencadenantes

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

Tabla 3. Factores desencadenantes por movimientos en masa.

Factores	Características asociadas
Precipitaciones	Intensas precipitaciones pluviales y/o excepcionales, principalmente entre los meses de noviembre a abril.
Hidrológico	Presencia de aguas de escorrentía superficial que discurren en la parte media y alta de la ladera y sobre el cuerpo de los deslizamientos.
Antrópico	- Cortes de carretera y ensanchamiento de las trochas en la parte media baja de la ladera del cerro Negro. - Socavón de mina artesanal ubicada en la parte media de la ladera que probablemente contribuye a la inestabilidad del terreno.

5.6. Análisis de la sección geológico-estructural A-B de los movimientos en masa en el sector San Pedro

La sección A-B revela una accidentada topografía con un relieve algo escalonado y ondulado que evidencia una intensa actividad geodinámica instalada en la ladera oeste del cerro Negro. Además, el terreno expone pendientes que varían de moderado, fuertes a muy fuertes, lo que favorece la inestabilidad de la ladera.

El substrato rocoso, está representado por una secuencia de areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas negras carbonosas atribuidas a la Formación Chimú. Los depósitos coluvio-deluviales descansan de manera discordante sobre la Formación Chimú (**Figuras 8 y 11**).

Estructuralmente, estas rocas fueron afectadas por una intensa actividad tectónica a lo largo de su historia geológica, el cual dieron lugar a la formación de estructuras de fallas inversas que fueron responsables de que la Formación Chicama cabalgue sobre la Formación Chimú, provocando una estructura tipo sinclinal con el flanco oriental bien inclinado en favor de la pendiente. Este proceso dio lugar a la formación de montañas que posteriormente fueron denudados y moldeados al relieve actual (**Figura 11**).

Los deslizamientos tienen un fuerte control estructural, en el que, el escarpe principal se desarrolla en el mismo sentido de buzamiento de los estratos de la Formación Chimú. Esta deformación sugiere un mecanismo de movimiento que inicia con una superficie se deslizamiento tipo traslacional y que evoluciona al tipo de rotacional (**Figura 11**).

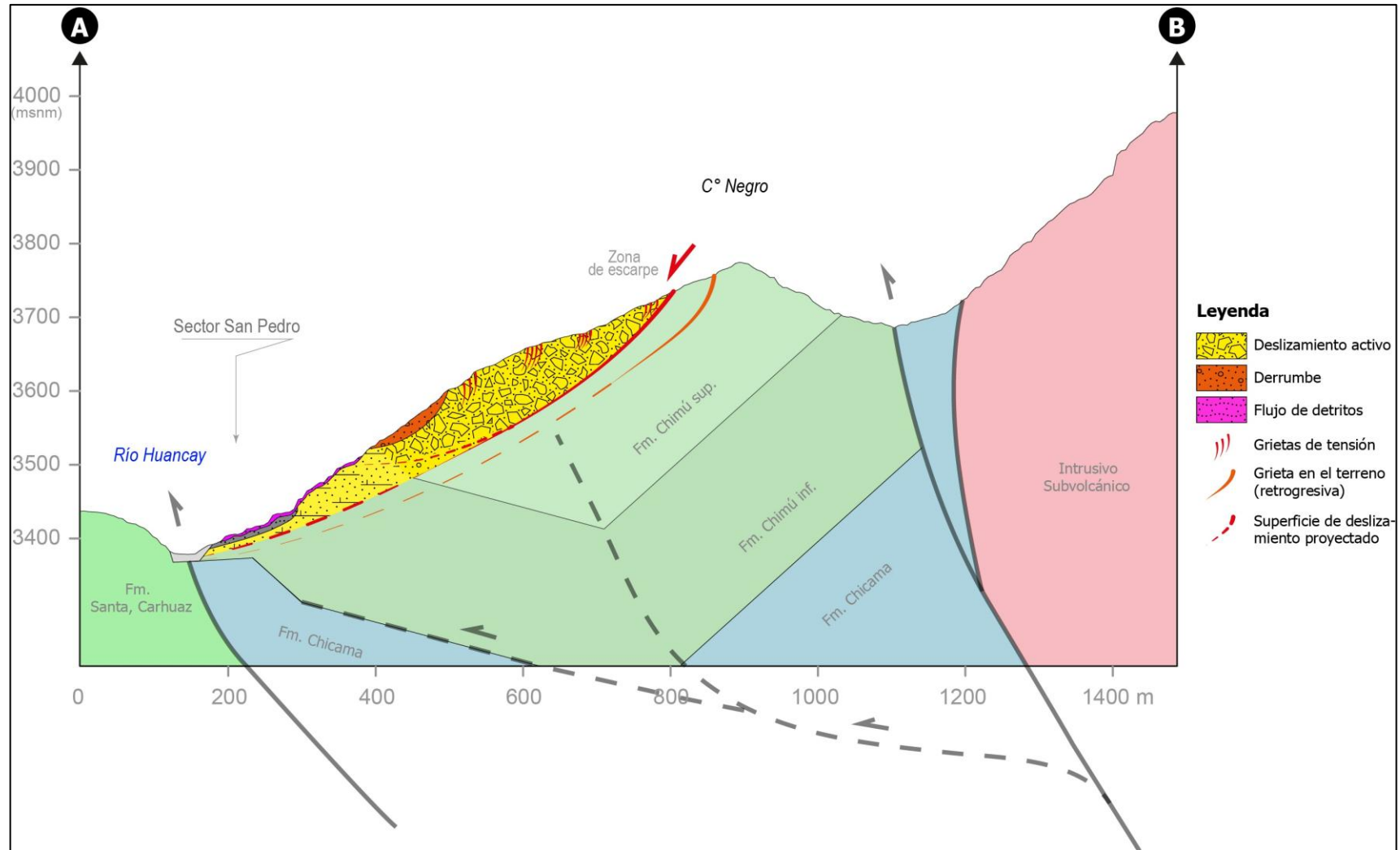


Figura 9. Sección geológico-estructural A-B donde se observa e interpreta la interacción de las estructuras con los procesos de movimientos en masa en el sector San Pedro. Nótese, el control estructural del deslizamiento, donde el plano del deslizamiento se inclina en el mismo sentido de los estratos.

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 San Pedro, el basamento rocoso está constituido por secuencias de areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas negras y carbonosas en estratos mediados que van de 15 a 30 cm de espesor atribuidas a la Formación Chimú. Sus macizos rocosos presentan características físicas de resistencia media (al golpe del martillo) que oscilan entre 50 a 150 Mpa, y se encuentran muy fracturadas, identificándose hasta cuatro sistemas de discontinuidades con espaciamientos que van de 10 a 40 cm y con aberturas de 1 a 2 mm, en el que, superficialmente se hallan fuertemente meteorizados, lo que las convierte en susceptibles a remoción en masa.
- 2) Los depósitos coluvio-deluviales descansan discordantemente sobre la Formación Chimú. Estas secuencias están conformadas por acumulaciones inconsolidadas de fragmentos heterométricos envueltos en una matriz arcillo limosa y arenosa, adosadas en la parte media superior de la ladera oeste del cerro Negro. Por su naturaleza suelta e incompetente, baja cohesión, y poca resistencia a la erosión, las convierten en zonas altamente susceptibles a movimientos en masa.
- 3) Geomorfológicamente, los procesos por movimientos en masa se desarrollaron sobre una morfología montañosa estructurada en roca sedimentaria, caracterizada por un relieve accidentado, con pendientes pronunciadas que varían de moderado, fuertes y muy fuertes que oscilan entre 15° a 45°. Así mismo, las geoformas de Vertiente con depósito de deslizamiento y Vertiente Coluvio-deluviales emplazadas sobre la ladera media alta oeste del cerro Negro, presentan zonas con pendientes muy fuertes que oscilan entre 25° a 45°. Estas condiciones morfológicas del terreno han propiciado la generación y evolución de los movimientos en masa.
- 4) En la ladera media superior del cerro Negro, se desarrollan deslizamientos que involucran y movilizan material coluvio-deluvial, así como parte del macizo rocoso perteneciente a la Formación Chimú.
- 5) Se han identificado dos deslizamientos contiguos que presentan diferentes características de deformación, desarrollo y evolución en el tiempo. El deslizamiento denominado D1 se emplaza en la parte media del cerro Negro, presenta una geometría circular elongada un tanto apretada entre sus flancos. El desnivel del escarpe principal al pie alcanza una altura de 165 m. Su escarpe principal del D1 nace en la cota 3716 msnm y presenta una geometría semicircular y continua que recorre ~516 m de longitud, asimismo, presenta un salto que va de 2 a 4 m de desnivel con respecto a la vertical. El deslizamiento D2 se instala en la parte superior de la ladera oeste del cerro Negro, se ubica inmediatamente superior y adyacente al D1. Su escarpe principal se origina en la cota 3753 msnm, tiene una geometría semicircular, irregular y continua de ~722 m de longitud. Presenta un salto que va de 1 a 3 m de desnivel. Los escarpes secundarios están confinados al escarpe principal y conforman una delgada zona de deformación.
- 6) De acuerdo a las características y condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se considera al sector San Pedro como **Zona Crítica** y de **Peligro Alto** frente a la ocurrencia de deslizamientos principalmente.

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 sector San Pedro.

Transversales a autoridades y población

- 1) Incluir los peligros geológicos identificados por el Ingemmet en los planes específicos de la gestión del riesgo de desastres de la Municipalidad distrital de Quiruvilca.
- 2) Identificar rutas de evacuación y zonas seguras ante la ocurrencia de peligros geológicos. Posteriormente, implementar simulacros de evacuación y simulaciones, con la finalidad de contar con una respuesta rápida y adecuada en situaciones de emergencia.
- 3) Implementar Sistemas de Alerta Temprana-SAT en coordinación con el INDECI, para la inmediata información de ocurrencia de peligros geológicos en el sector San Pedro.
- 4) Elaborar evaluaciones de riesgo (EVAR) con la finalidad de determinar las medidas de control de riesgo a implementarse frente a los peligros. Es necesario esta medida en el sector San Pedro, donde estos peligros pueden ocurrir y causar daños a la infraestructura, así como, vías de acceso, viviendas, entre otros.

Ante deslizamientos y derrumbes

- a) Construir canales de drenaje/coronación con una sección de material impermeable (como geomembranas o arcillas), a fin de evitar filtraciones, además de continuos trabajos de mantenimiento de estos.
- b) Implementar un sistema de drenaje a fin de disminuir la saturación del terreno en el cuerpo de los deslizamientos y alrededores.
- c) Prohibir la construcción de viviendas u otra infraestructura en áreas de ocurrencia de deslizamientos y derrumbes ubicados al pie de la ladera.
- d) Sellar los agrietamientos a fin de evitar la infiltración del agua durante lluvias intensas.
- e) Reforestar las laderas con especies nativas y de raíces densas a fin de dar una mayor resistencia y cohesión a los suelos superficiales, principalmente en la parte media superior de la ladera oeste del cerro Negro.
- f) Construir zanjas de coronación en la cabecera del escarpe del deslizamiento inactivo latente para derivar las aguas de escorrentía superficial a otro cauce.



Ing. Guisela Choquenaira Garate

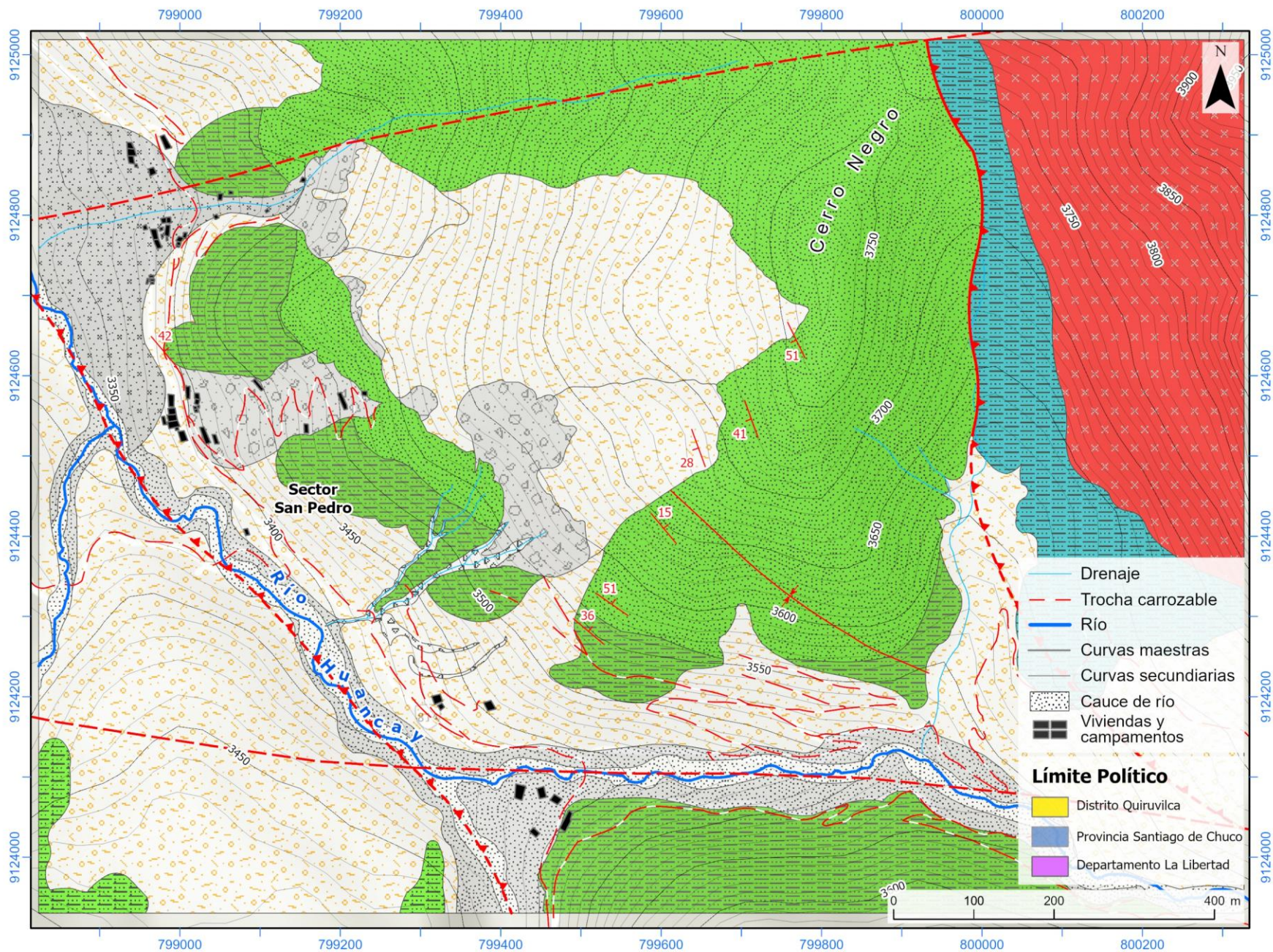


Ing. BILBERTO ZAVALA CARRIÓN
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

8. BIBLIOGRAFÍA

- Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., 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.
- 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.
- 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
- 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.
- Reyes, L. (1980). Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Hojas: 15-f, 15-g, 16-g. INGEMMET, Boletín N° 31, Serie A: Carta Geológica Nacional.
- 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.
- Medina, L.; Luque, G.; Pari, W. (2012). Riesgo geológico en la región La Libertad. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 50, 238 p.

ANEXO 1: MAPAS
MAPAS DEL SECTOR SAN PEDRO



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

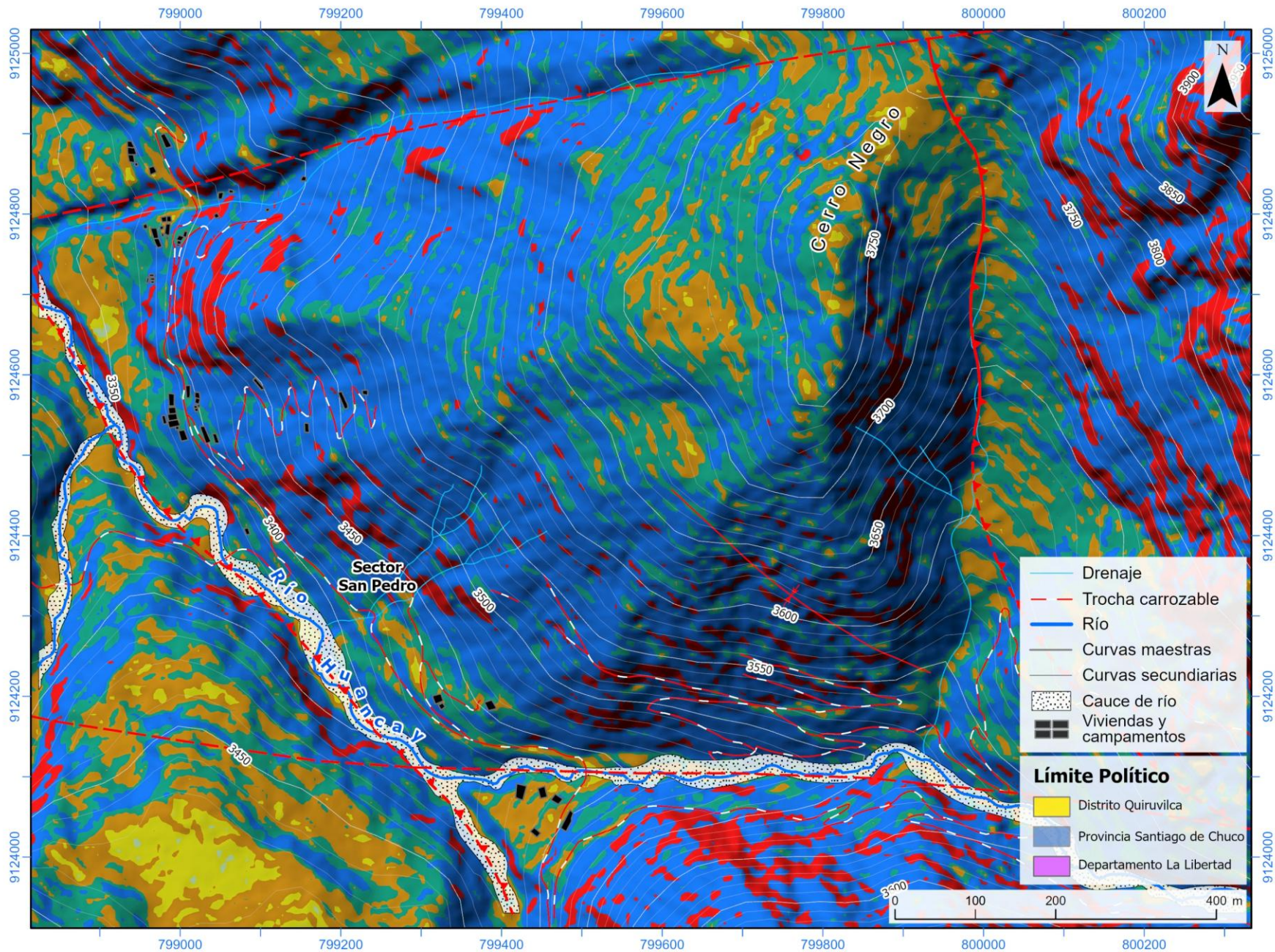
**DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL
Y RIESGO GEOLOGICO**

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

Mapa Geológico

Datum: UTM-WGS84, Zona 17s
Versión digital: año 2025. Versión impresa: 2025

01



Pendientes

0° - 1°	Muy bajo o llano	15° - 25°	Fuerte
1° - 5°	Baja o inclinación suave	25° - 45°	Muy fuerte a escarpada
5° - 15°	Moderada	> 45°	Muy escarpada o abrupto

Simbología

Falla inversa	Falla inferida
Falla inversa inferida	Sinclinal

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

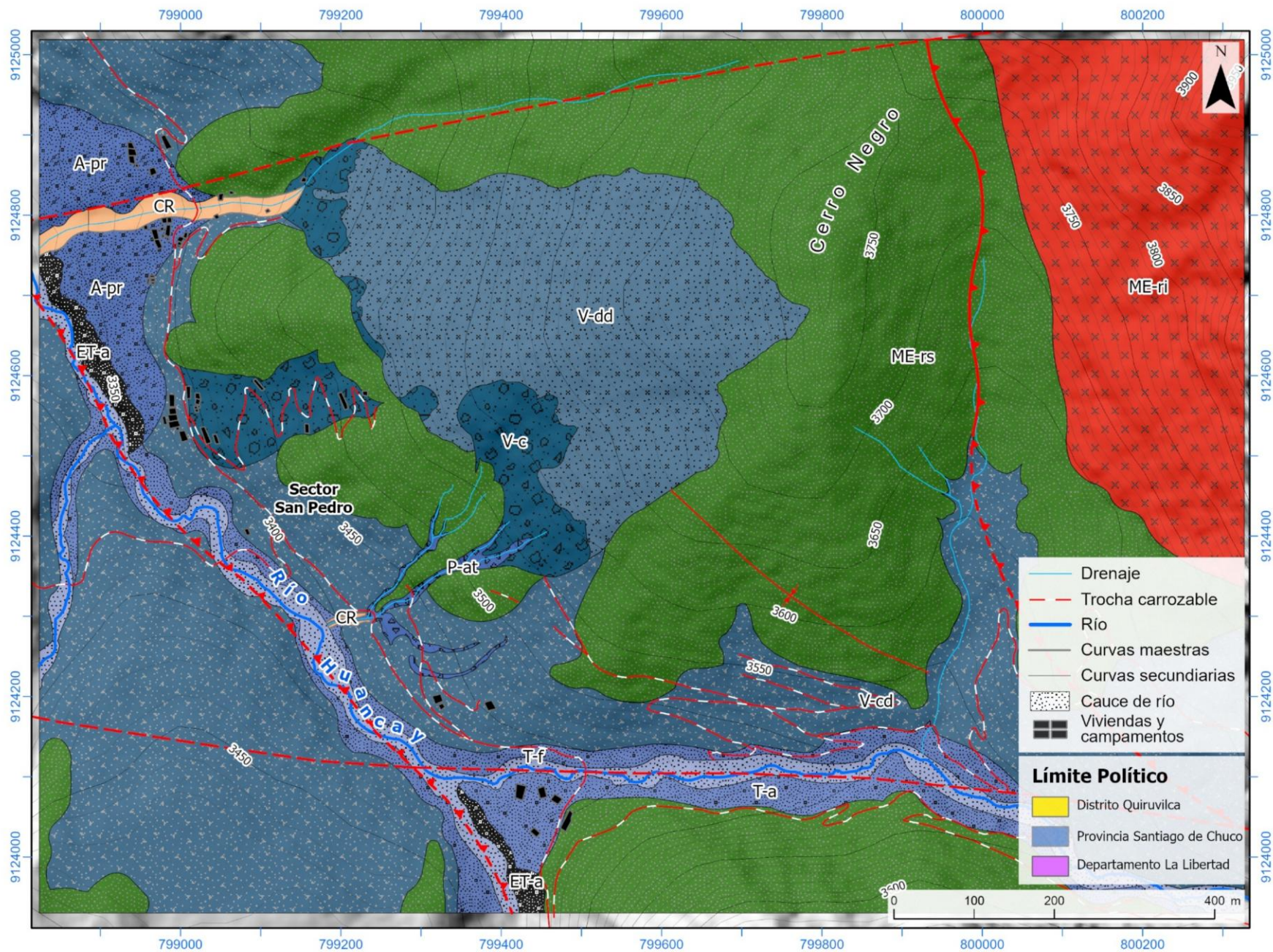
**DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL
Y RIESGO GEOLOGICO**

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

Mapa de Pendientes

Datum: UTM-WGS84, Zona 17s
Versión digital: año 2025. Versión impreso: 2025

02



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

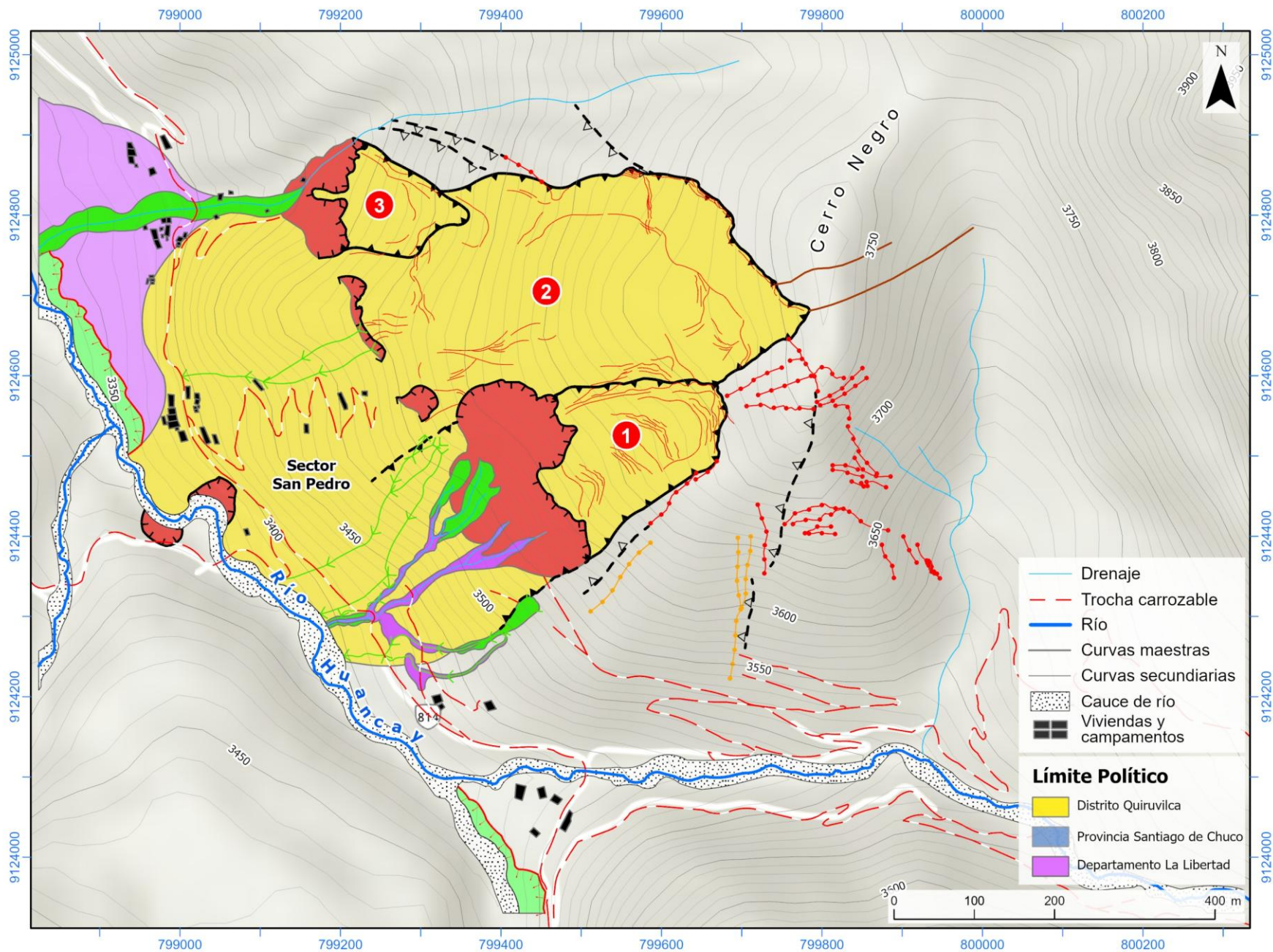
**DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL
Y RIESGO GEOLÓGICO**

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

Mapa Geomorfológico

Datum: UTM-WGS84, Zona 17s
Versión digital: año 2025. Versión impreso: 2025

03



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 17s
Versión digital: año 2025. Versión impreso: 2025

04

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 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 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 (**Figura 10**). 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.

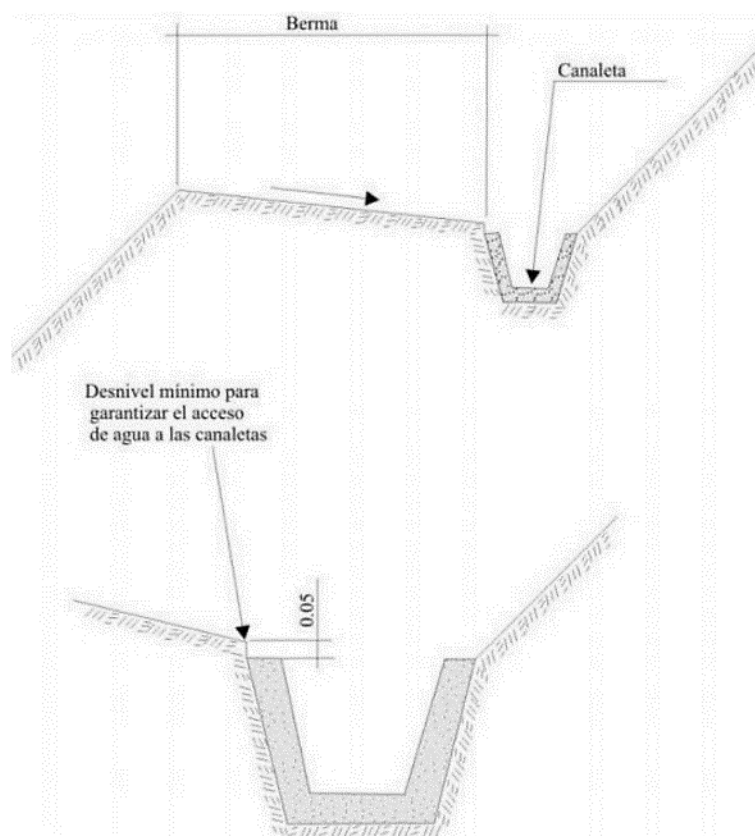


Figura 10. Detalle una canaleta de drenaje superficial (zanjas de coronación). Tomado de INGEMMET (2000).

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).

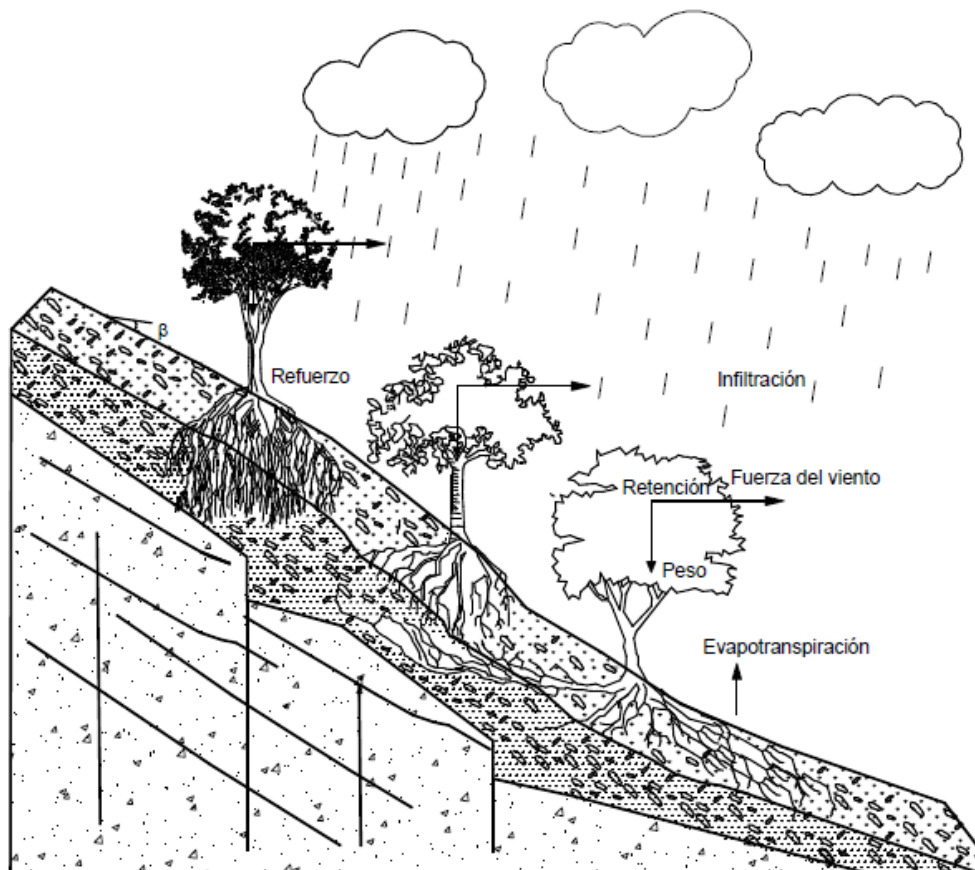


Figura 11. Estabilización de taludes utilizando vegetación. Fuente: Suarez, Díaz (2007).



Figura 12. Ejemplo de bioingeniería con arbusto (vetiver) en taludes de materiales sueltos.