

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7357

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR DESLIZAMIENTOS EN EL CENTRO POBLADO SAN LUIS GRANDE

Departamento Cajamarca
Provincia San Pablo
Distrito San Luis



ENERO
2023

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR DESLIZAMIENTOS EN EL CENTRO POBLADO SAN LUIS GRANDE

Distrito San Luis, provincia San Pablo, departamento Cajamarca.

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

Equipo de investigación:

Cristhian Chiroque Herrera

Luis León Ordaz

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). *Evaluación de peligro geológico por deslizamientos en el centro poblado San Luis Grande*. Distrito San Luis, provincia San Pablo, departamento Cajamarca. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7357, 33 p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1.1. Objetivos del estudio	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	2
1.3. Aspectos generales	5
1.3.1. Ubicación.....	5
1.3.2. Accesibilidad.....	5
2. DEFINICIONES	7
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	8
3.1. Unidades litoestratigráficas	8
3.1.1. Formación Chimú (Ki-chi).....	8
3.1.2. Formación Farrat (Ki-fa).....	8
3.1.3. Formación Inca (KP-gd-to).....	8
3.1.4. Depósitos cuaternarios.....	10
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	11
4.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)	11
4.2. Pendientes del terreno	11
4.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	12
4.2.1.1. Unidad de montaña	12
4.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional.....	13
4.2.2.1. Unidad de piedemonte	13
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	15
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	15
5.1.1. Deslizamientos antiguos.....	15
5.1.2. Deslizamientos recientes.....	16
5.2. Factores condicionantes	18
Litológico-estructural.....	18
Geomorfológico.....	18
5.3. Factores desencadenantes	19
5.4. Daños por deslizamiento	20
5.4.1. Trocha carrozable (camino rural).....	20
6. CONCLUSIONES	22

7. RECOMENDACIONES	23
8. BIBLIOGRAFÍA	24
ANEXO 1: MAPAS	25
ANEXO 2: ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	29

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos del centro poblado San Luis Grande; perteneciente a la jurisdicción del distrito de San Luis, provincia San Pablo, departamento de Cajamarca. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos, para los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

En el área de evaluación en la ladera sur del centro poblado San Luis se observan deslizamientos antiguos y recientes (como el ocurrido el 11 de junio del 2021), además se aprecian bloques de areniscas de con tamaños hasta de 1 m, distribuidos de forma dispersa, que se encuentran inestables. Estos depósitos coluvio-deluviales cubren secuencias de areniscas y lutitas intercaladas con limoarcillitas pardo amarillentas, altamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas, de la Formación Chimú.

Dichas laderas son usadas como terrenos de cultivos, cuyo proceso de riego y lluvias en la zona, sobresaturan los materiales; y generándose agrietamientos, hundimientos y desplazamientos laterales que afectan la tubería de conducción de agua potable.

El deslizamiento reciente de mayor dimensión (DR-01), corresponde al localizado en la comunidad de San Luis, a pocos metros de la vía de acceso al centro poblado San Luis Grande, que abarca aproximadamente un total de 7.3 ha. Su escarpe principal tiene una longitud de 375 m; mientras que, el escarpe secundario llega a 238 m; todo el cuerpo del deslizamiento tiene una longitud de 609 m y ancho de 180 m, afecta terrenos de cultivos y una trocha carrozable de 245 m. En la parte alta de la corona se identificaron grietas paralelas de 50 m de largo, que indican movimientos retrogresivos que pueden formar nuevas zonas de falla.

Por otro lado, el deslizamiento reciente (DR-04), ubicado a 470 m al oeste del área urbana de San Luis Grande, abarca un total de 12 ha, cuyo cuerpo del deslizamiento tiene una longitud de 590 m y ancho de 210 m, y afecta terrenos de cultivos. Finalmente, los deslizamientos de menor tamaño se ubican al sur del área urbana de San Luis, a 320 m y 502 m de distancia; además de sectores con erosión de laderas que forman extensas cárcavas que afectan suelos conformados por materiales poco consolidados.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presentan las laderas oeste y sur del centro poblado San Luis Grande, se consideran de **Peligro Alto**.

Se recomienda, realizar la compactación y banqueteo de las zonas afectadas, además de, la revegetación y restricción de cultivos sobre las áreas deslizadas, así como en los alrededores se deben establecer perímetros con técnicas de riego por aspersión.

INTRODUCCIÓN

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

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de San Luis, según Oficio N° 005-2021-MDSL-CGRCH/GM, es en el marco de nuestras competencias que se realizó la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa de tipo deslizamiento”, ocurridos en el mes de junio de 2021, los cuales afectaron 38 ha de terrenos de cultivos y 256 m de vías de acceso.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los ingenieros Cristhian Chiroque y Luis León para realizar la evaluación de peligros geológicos, el 6 y 7 de abril del 2022, los trabajos de campo estuvieron acompañados por personal de la oficina de INDECI de la Municipalidad de San Luis Grande.

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

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de San Luis y las instituciones encargadas de la gestión de riesgos de desastres, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos ocurridos en el centro poblado San Luis Grande, procesos geodinámicos que afectaron principalmente a terrenos de cultivo y vías de acceso.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante los peligros geológicos evaluados en la zona.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

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

- A. Boletín N° 44, serie C: “Riesgo Geológico en la Región Cajamarca”. Realizado por Zavala, B. et al 2011, muestra el inventario de peligros geológicos en la región Cajamarca; además de la elaboración del mapa de susceptibilidad a movimientos

en masa a escala 1:250 000, mediante la superposición de capas o mapas de factores condicionantes como la litología y las pendientes, mediante un geoprocetamiento en GIS (figura 01). En el mapa se muestra que, el centro poblado San Luis Grande tiene una susceptibilidad alta a muy alta ante la ocurrencia de movimientos en masa.

- B. Boletín N° 31, serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Hojas: 15-f, 15-g, 16-g (1980).

El área de evaluación se ubica al extremo noroeste de la hoja 15-f a escala 1:1 00,000 que abarca gran parte de los distritos de la provincia de San Pablo hacia el sur del departamento Cajamarca. En la parte alta del cerro Sangal afloran secuencias de areniscas y cuarcitas blancas correspondientes a la Formación Farrat; por las características litológicas estos afloramientos forman escarpas y cumbres agudas y alargadas, desde donde se originaron grandes deslizamientos que modelaron el relieve actual.

En la ladera media y baja de la comunidad San Luis Grande afloran areniscas, cuarcitas y lutitas que originan secuencias arcillosas cubiertas por depósitos aluviales originadas por antiguos deslizamientos o aluviones.

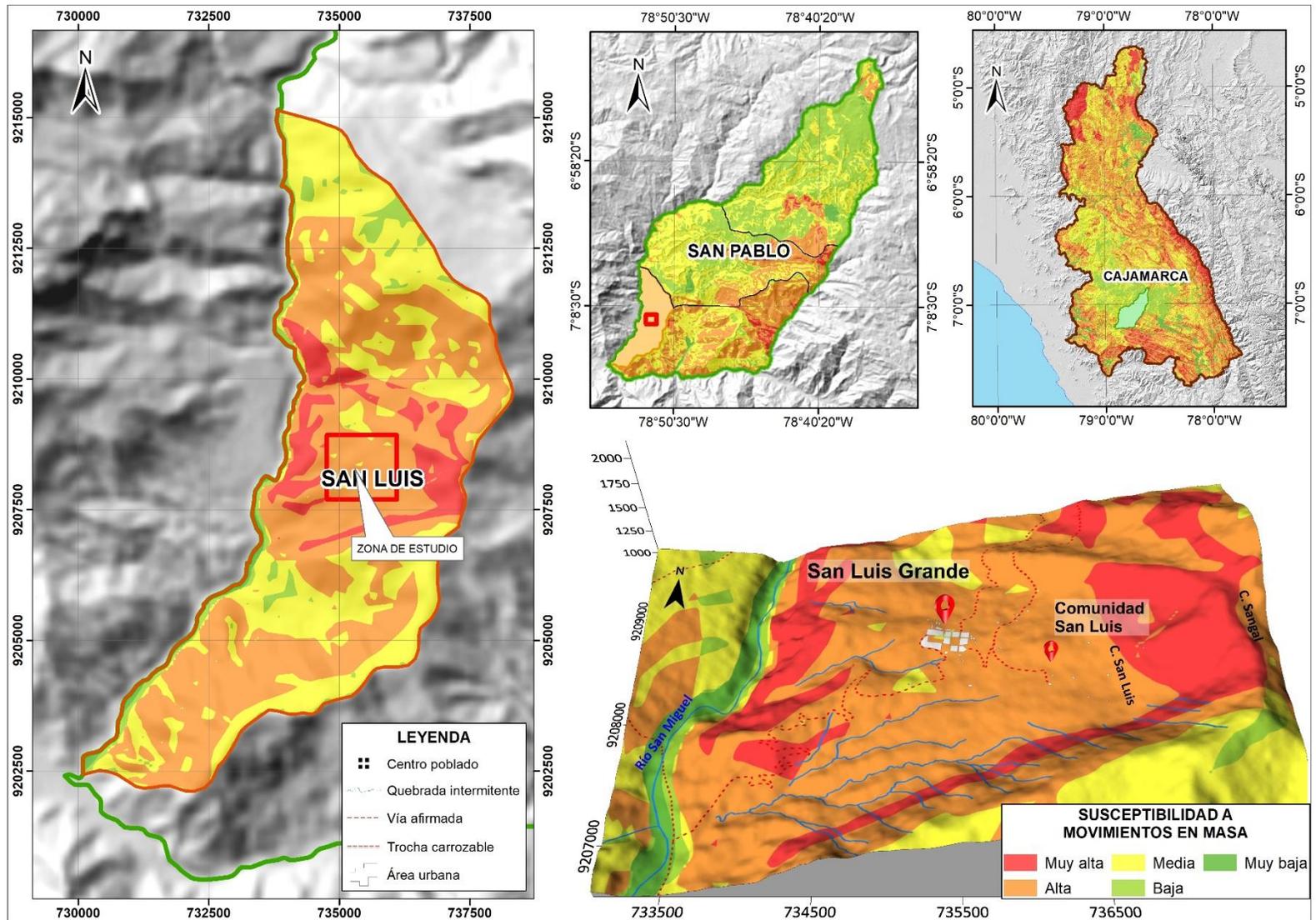


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa a escala 1:250 000 de la zona de evaluación (Zavala et al., 2011).

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada, abarca el área urbana de San Luis Grande y alrededores de la Comunidad de San Luis, en una radio de intervención de 800 m. Políticamente, pertenece al distrito de San Luis, provincia San Pablo, departamento de Cajamarca (figura 02); ubicado en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 17S) (cuadro 1; punto DR-1 de referencia promedio del evento de deslizamiento reciente):

Cuadro 1. Coordenadas del área de evaluación

N°	UTM - WGS84 - Zona 17L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	734704	9208684	-7.1539	-78.8748
2	736262	9208684	-7.1539	-78.8607
3	736262	9207421	-7.1653	-78.8606
4	734704	9207421	-7.1654	-78.8747
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
DR-1	735852	9208003	-7.1601	-78.8643

1.3.2. Accesibilidad

Se accede por vía terrestre desde la ciudad de Cajamarca mediante la siguiente ruta:

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cajamarca – San Pablo	Asfaltada	69.4	2 h 15 min
San Pablo – Chilete – desvío San Luis	Vía asfaltada/afirmada	16	30 min

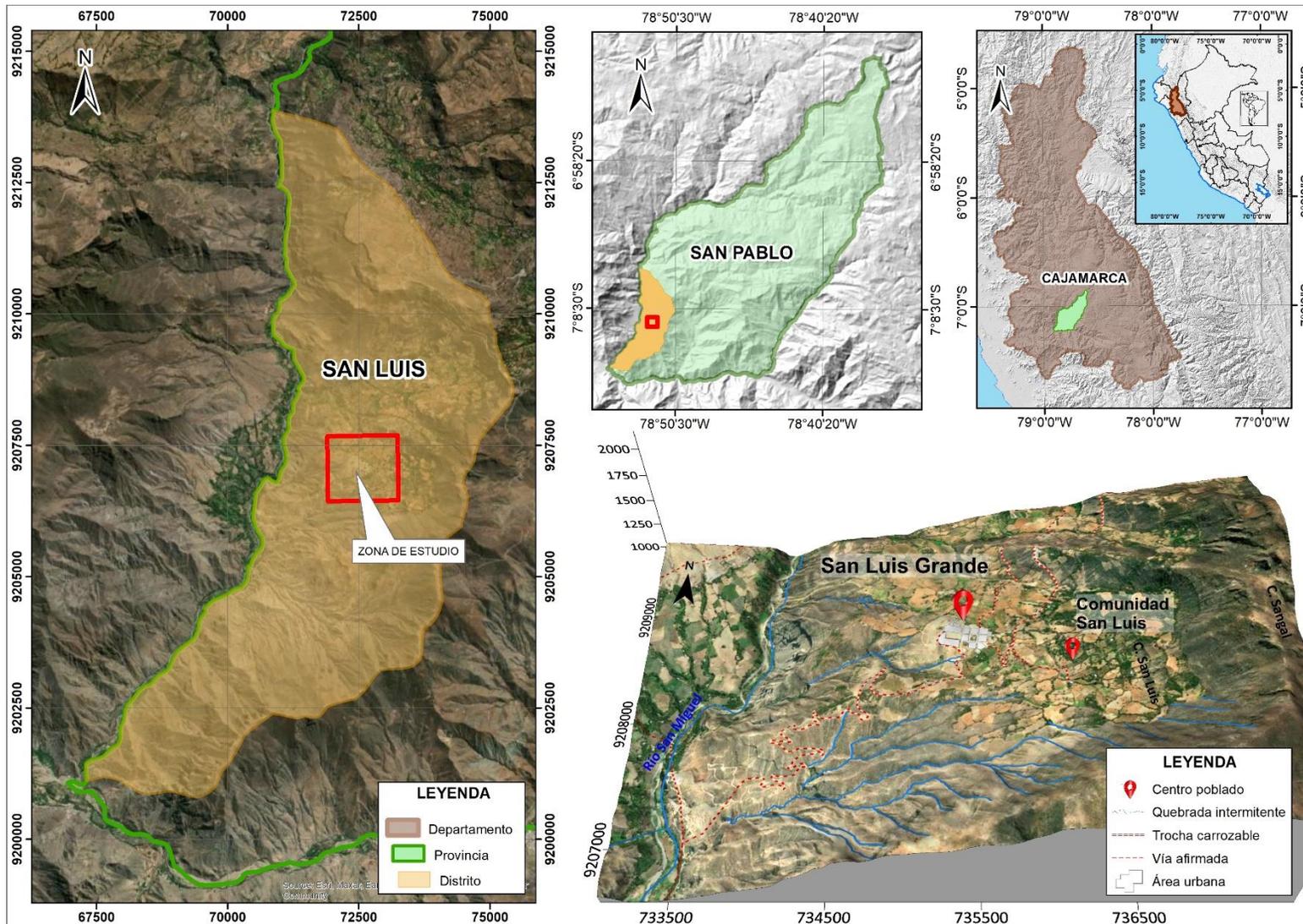


Figura 2. Ubicación del centro poblado San Luis Grande y la comunidad San Luis.

2. DEFINICIONES

En el presente glosario se describen los términos establecidos en la “Guía para la evaluación de amenazas” elaborada como parte del Proyecto Multinacional Andino – Movimientos en masa en la Región Andina GEMA, del PMA:

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

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

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

EROSIÓN (erosión) Parte del proceso denudativo de la superficie terrestre que consiste del arranque y transporte de material de suelo o roca por un agente natural como el agua, el viento y el hielo, o por el hombre. De acuerdo con el agente, la erosión se puede clasificar en eólica, fluvial, glaciar, marina y pluvial. Por su aporte, de acuerdo a las formas dejadas en el terreno afectado se clasifica como erosión en surcos, erosión en cárcavas y erosión laminar.

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

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

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

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

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.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El contexto geológico y litoestratigráfico, se desarrolla en base a la información recolectada en campo y al análisis del cuadrángulo geológico de Cajamarca hoja 15-f a escala 1:100 000 (Reyes, L. 1980). Esta información fue actualizada en el año 2007, donde se elaboró el Mapa geológico del Cuadrángulo de Cajamarca – Hoja 15-f-IV a escala 1:50 000. En ambos cuadrángulos, se describen afloramientos de las Formaciones Farrat y Chulec, conformados por areniscas, cuarcitas y lutitas; además, de coberturas Cuaternarias clasificadas como depósitos coluvio- deluviales. Para complementar el mapa geológico, se realizó la interpretación de imágenes satelitales (Sentinel-2 L2A), fotos aéreas y observaciones de campo, cuyos resultados se presentan en el Anexo como mapa 1.

3.1. Unidades litoestratigráficas

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

3.1.1. Formación Chimú (Ki-chi)

Estos afloramientos se distribuyen de oeste a este en gran parte del área de evaluación, están conformados por areniscas blanquecinas intercaladas con lutitas pardo amarillentas, los estratos presentan buzamientos favorables hacia la pendiente de los relieves afectados.

Se destaca que, estas secuencias se encuentran cubiertas por depósitos recientes de naturaleza coluvio-deluvial originada por antiguos deslizamientos que modelaron las formas del relieve, sobre los cuales se desarrollan actividades agrícolas que humedecen y saturan los suelos.

3.1.2. Formación Farrat (Ki-fa)

Aflora en la parte alta del cerro Sangal y la Comunidad San Luis en contacto con rocas de las Formaciones Inca y Chimú, las rocas están conformadas por areniscas cuarzosas con intercalaciones de limo-arcillitas. La Formación Farrat, se caracteriza por formar escarpas y cumbres agudas y largas.

Estos afloramientos son la fuente de los bloques de roca arenisca que se distribuyen en gran parte de las laderas norte y sur del centro poblado San Luis Grande.

3.1.3. Formación Inca (KP-gd-to)

Son afloramientos conformados por intercalaciones de limo-arcillitas de grano medio a grueso con areniscas de grano fino, tienen un espesor menor a 50 m y afloran en forma de una franja con dirección noroeste a sureste, limitada al este y oeste por afloramientos de la Formación Farrat y Chimú respectivamente (figura 03).

Los afloramientos descritos se encuentran muy meteorizados, forman coberturas arcillosas que se mezclan con materiales coluvio-deluviales más recientes, estos materiales se encuentran poco consolidados y susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.

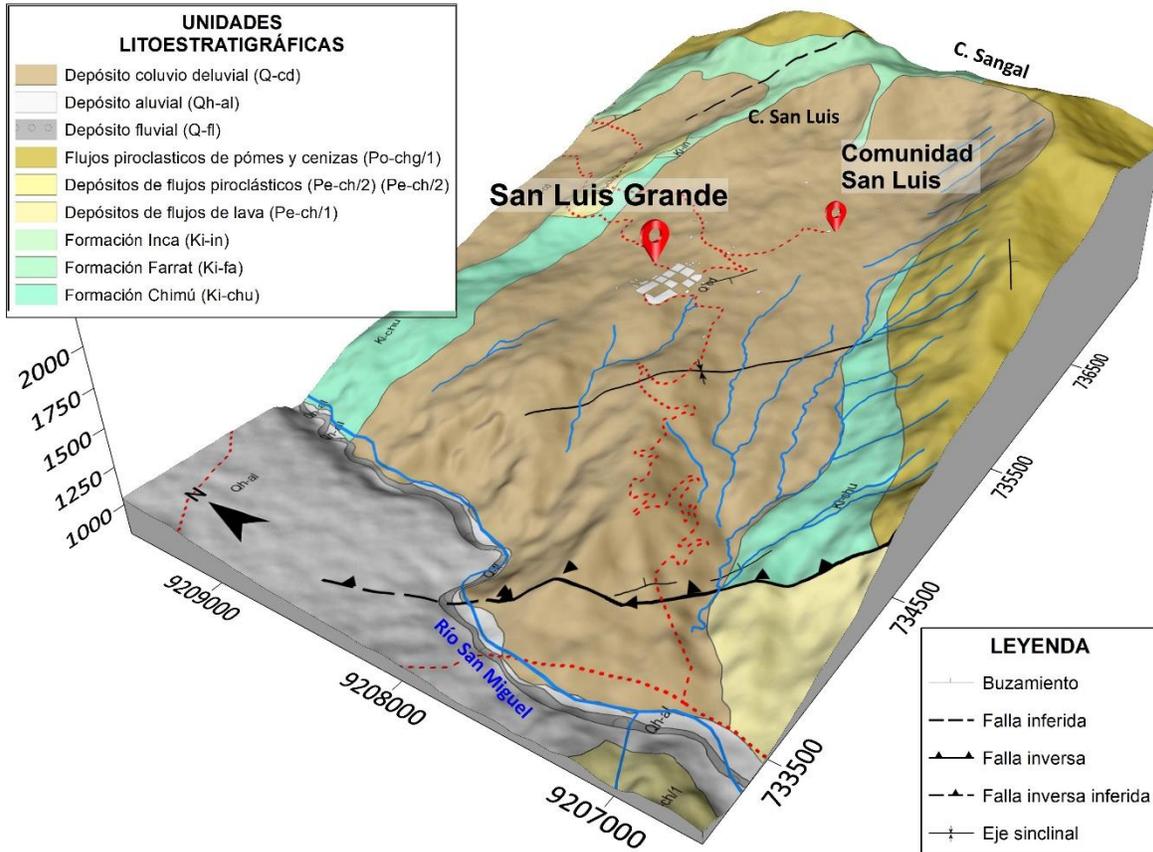


Figura 3. Modelo 3D con los depósitos y afloramientos de rocas identificadas en la zona de evaluación.



Fotografía 1. Depósito volcanoclástico ubicado en las inmediaciones de la zona evaluada.



Fotografía 2. Afloramiento de lutitas con intercalación de areniscas blanquecinas.

3.1.4. Depósitos cuaternarios

Depósitos aluviales (Q-al)

Están conformadas por bloques y cantos angulosos a subangulosos distribuidos de forma dispersa, muy poco clasificados y heterogéneos. Han sido depositados por la escorrentía y flujos de corto recorrido debido a la meteorización de rocas insitu.

Depósitos fluviales (Q-fl)

Los depósitos fluviales se encuentran distribuidos en el cauce del río San Miguel ubicado al oeste del centro poblado San Miguel. Estos depósitos están constituidos por gravas redondeadas y arenas de grano medio a grueso.

Depósitos coluvio-deluvial (Q-cd)

Son aquellos depósitos que se encuentran acumulados al pie de laderas, como material de escombros constituidos por bloques, cantos y gravas subangulosos a angulosos y matriz areno-limosa. Estos depósitos se distribuyen de este a oeste a media ladera en la Comunidad San Luis, sobre este tipo de materiales se desarrollan actividades agrícolas. Estos depósitos conforman los depósitos de movimientos de masa antiguos, como deslizamientos, avalanchas y derrumbes.



Fotografía 3. Depósito coluvio-deluvial originado por antiguos deslizamientos.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

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

4.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

Los deslizamientos antiguos inician desde lo alto de cumbres escarpadas que alcanzan hasta 2047 m s.n.m, los deslizamientos recientes se distribuyen desde los 1590 m s.n.m hasta los 875 m de altitud al pie del cauce del río San Miguel. El área urbana de San Miguel Grande se distribuye sobre relieves con elevaciones de 1379 a 1430 m s.n.m. (figura 4)

4.2. Pendientes del terreno

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

Del análisis, se determinó que, la parte alta del cerro Sangal presenta pendientes escarpadas (25° - 45°) donde se originaron grandes movimientos en masa clasificados como deslizamientos antiguos. Estos procesos originaron relieves con pendientes fuertes a moderadas (5° a 25°), donde se identificaron procesos de remoción en masa recientes. El área urbana del centro poblado San Luis Grande se ubica sobre relieves con pendientes moderadas (5° a 15°) (figura 4).

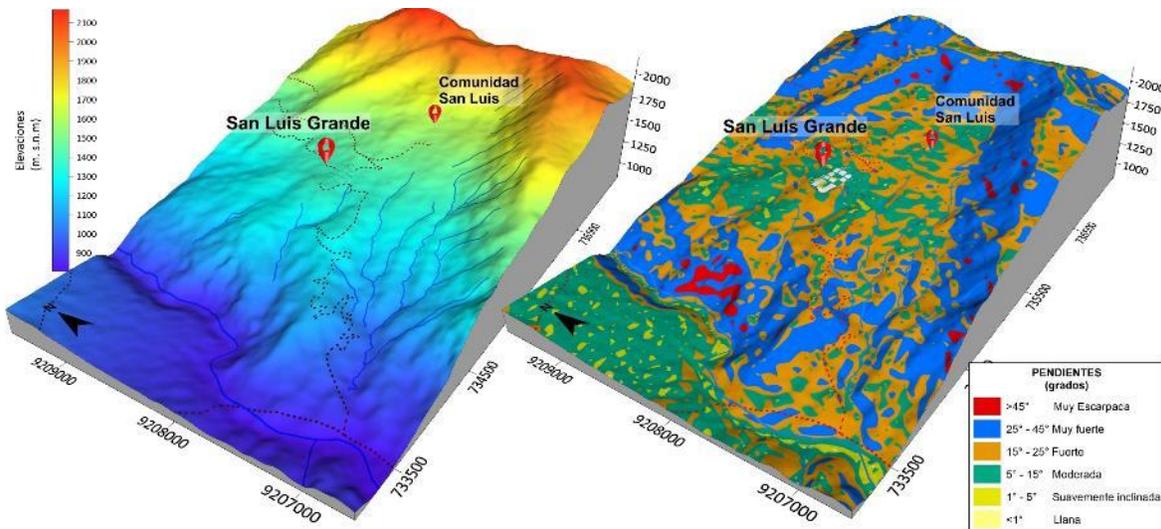


Figura 4. Rangos de elevaciones y pendientes del centro poblado San Luis Grande.

Unidades geomorfológicas

En la caracterización de las unidades geomorfológicas (Anexo 1: Mapa 2), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez *et al.*, 2020).

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

4.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Las geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005):

4.2.1.1. Unidad de montaña

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

Subunidad de montaña en roca volcánico-sedimentaria (RM-rvs): Estas geoformas se ubican al sur del centro poblado San Luis Grande y conforman relieves que alcanzan altitudes de hasta 2000 m s.n.m, presentan pendientes fuertes a muy escarpadas en rocas volcánicas conformadas por flujos piroclásticos de composición riolítica (figura 5).

Subunidad de montaña estructural en roca sedimentaria (RME-ri): Las montañas se encuentran conformadas por areniscas blanquecinas intercaladas con lutitas, esta geoforma se distribuye en gran parte del área de evaluación, presenta altitudes comprendidas entre 900 m s.n.m a 2010 m s.n.m, presentan pendientes fuertes a moderadas (5° a 25°) (figura 5).

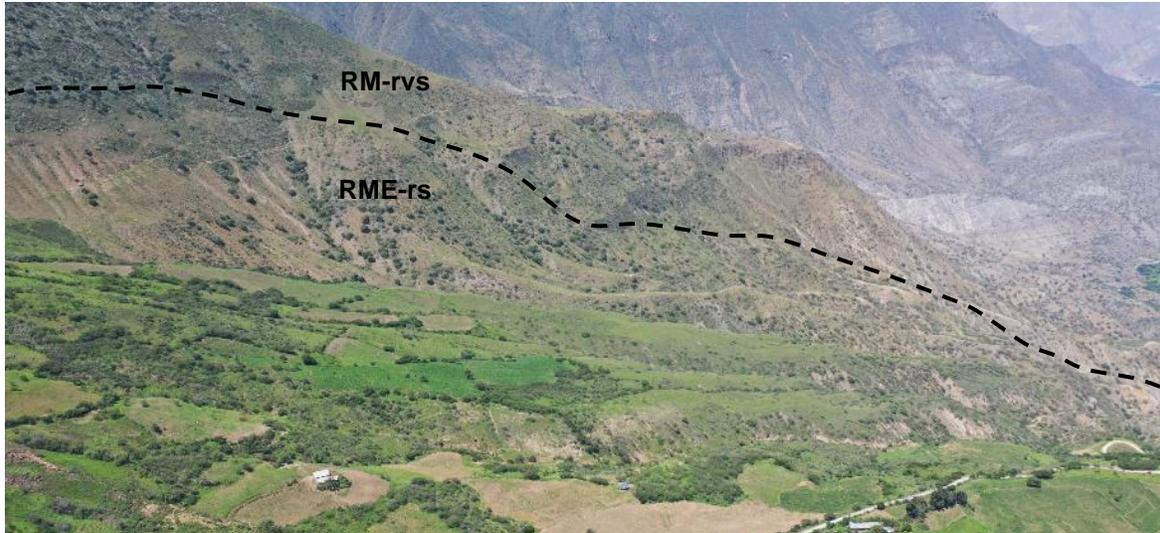


Figura 5. Montaña en roca volcánico-sedimentaria a 12 km al sur de la Comunidad de San Luis.

4.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

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

4.2.2.1. Unidad de piedemonte

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

Subunidad de vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd): Son unidades conformadas por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial. Se encuentran interestratificados y no es posible separarlas como unidades individuales: Esta unidad se encuentra depositada al pie de las laderas de montañas o acantilados (Vílchez et al., 2019). Se formó por la acción de movimientos en masa antiguos (gravitacionales y fluvio-gravitacionales), presentan pendientes moderadas a fuertes (5°-25°).

Geodinámicamente, este tipo de depósitos se pueden asociar a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo complejos, deslizamientos y flujo de detritos (figura 6).



Figura 6. Vista del piedemonte coluvio-deluvial con pendientes fuertes a moderadas.

Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd): Esta geoforma es el resultado de la acumulación de materiales originados por procesos de movimientos en masa, antiguos y recientes, que pueden ser del tipo deslizamientos, flujos de detritos y/o movimientos complejos. Son de corto a mediano recorrido, relacionados a las laderas superiores adyacentes. Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa. El deslizamiento principal se ubica próximo a la Comunidad de San Luis afectando principalmente terrenos de cultivos y una trocha carrozable (figura 7).

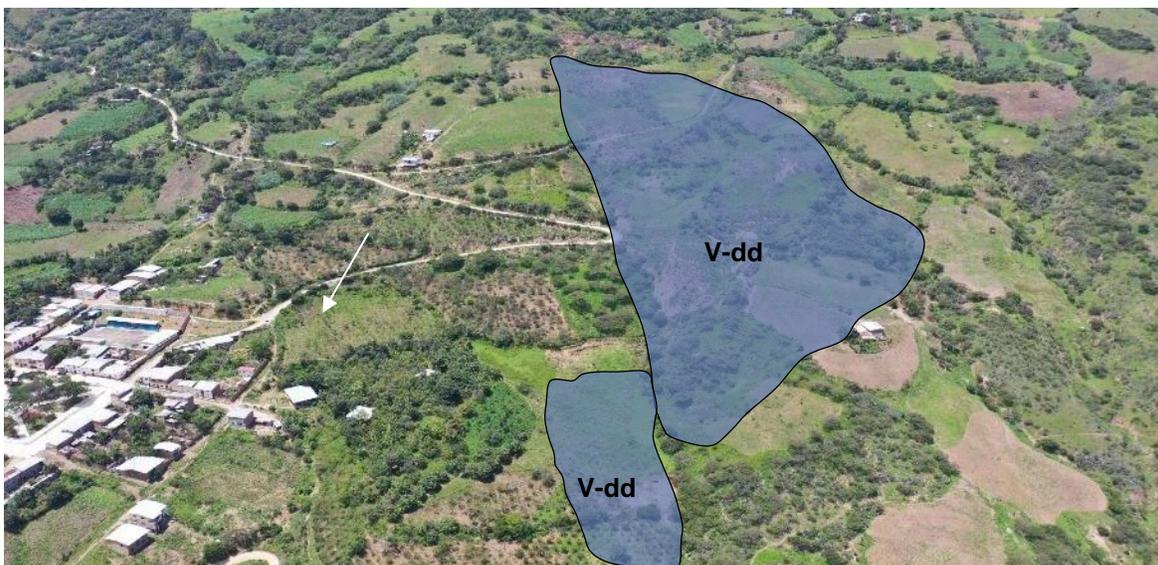


Figura 7. Vertiente con depósito del deslizamiento ocurrido en el mes de junio de 2021.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

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

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

5.1.1. Deslizamientos antiguos

Como evidencias del mismo, en los trabajos de campo, se observaron bloques de arenisca con diámetros de hasta 1 m, distribuidos de forma dispersa en las laderas norte y sur del cerro Sangal. Estos depósitos son propios de antiguos deslizamientos o aluviones, cuyo mecanismo se caracteriza por movilizar materiales de forma caótica afectando grandes extensiones de terreno (figuras 8, 9 y 10).



Figura 8. Bloques de arenisca de hasta 1 m de diámetro en la parte alta del cerro Sangal.

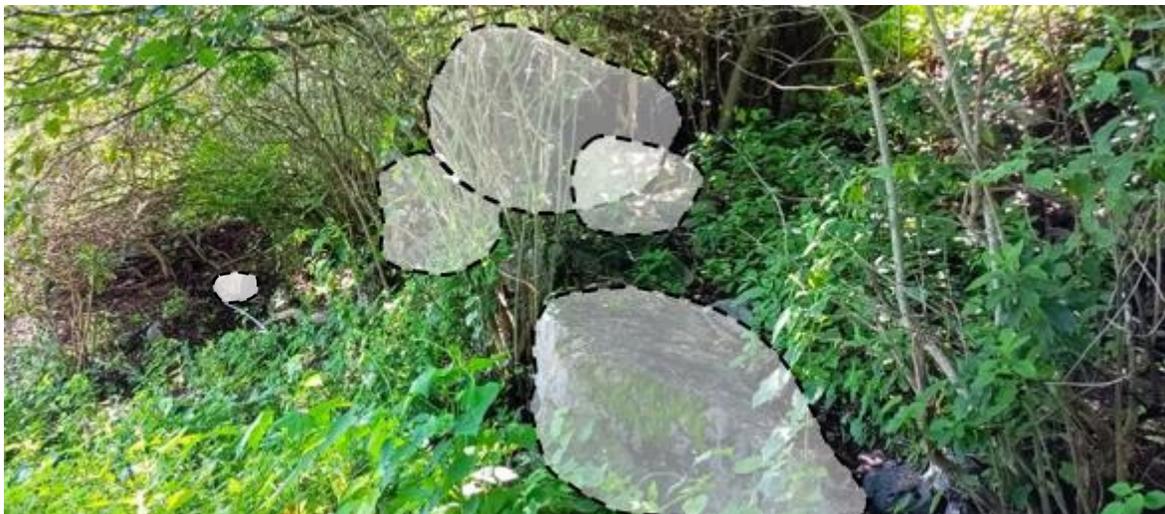


Figura 9. Bloques ubicados en la parte media de la ladera sur del cerro San Luis.

El escarpe principal del deslizamiento antiguo tiene una longitud aproximada de 1.5 km, y cuyo cuerpo de deslizamiento se extiende un largo de hasta 2.5 km y ancho de 1.5 km.



Figura 10. Bloques de rocas ubicados al norte del cerro San Luis hacia la vía de ingreso al centro poblado.

5.1.2. Deslizamientos recientes

Se identificaron 04 deslizamientos, que ocurrieron durante el mes de junio del 2021, las zonas afectadas están distribuidas al sur y suroeste del centro poblado San Luis Grande y la Comunidad de San Luis.

El principal deslizamiento reciente (DR-01) se ubica a 360 m al sur de San Luis Grande y 250 m al noroeste de la Comunidad de San Luis. El escarpe principal tiene forma irregular y continua, el nivel de arranque se ubica a 1537 m s.n.m. y se desplaza a 1411 m s.n.m., con un desnivel entre la corona y el escarpe de 2 m a 4 m de alto, alcanza una longitud total de 609 m afectando la trocha carrozable San Luis Grande-Comunidad (figura 11).



Figura 11. Vista aérea frontal del escarpe principal del deslizamiento reciente 01.

Los perfiles construidos en base al MDT obtenido de la fotogrametría con drone, arrojan saltos de falla con desniveles de 2 a 4 m, estos datos pueden ser verificados en las figuras 12 y 13.

El área total afectada alcanza las 7.3 ha, dejando terrenos de cultivos dañados, 256 m lineales de trocha carrozable deshabilitada. Las zonas y relieves inestables y susceptibles a generar nuevos deslizamientos pueden alcanzar las 10 ha, estimadas en base a los agrietamientos, condiciones geomecánicas de las rocas y tipos de coberturas muy saturadas.



Figura 12. Escarpe principal del deslizamiento reciente 01.

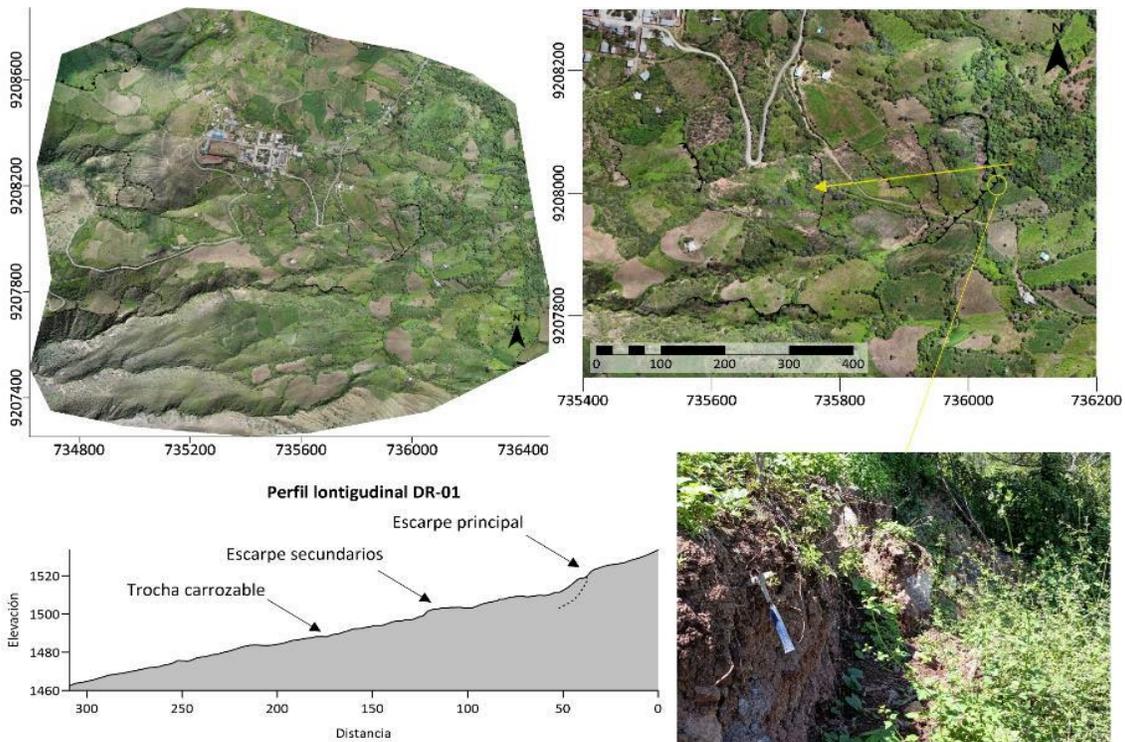


Figura 13. Esquemas planta y perfil longitudinal del deslizamiento reciente 01, estimación de los saltos de falla del escarpe principal y los escarpes secundarios.

Cuerpo del deslizamiento

Está conformado por el material desplazado de la posición original en la ladera y abarca la masa desplazada y la zona de acumulación. La forma del emplazamiento y transporte está controlada por la geomorfología original de las cuencas de aporte y recepción (figura 14).



Figura 14. Vista aérea del deslizamiento reciente 01.

5.2. Factores condicionantes

Litológico-estructural

En los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos, Cajabamba y alrededores, se encuentran evidencias de cuatro etapas de deformación, que iniciaron en el Cretáceo tardío y que continuaron durante el Cenozoico, todos ellos correspondientes a los movimientos ocurridos durante el Ciclo Andino. Estas fases de deformación, se evidencian en discordancias, pliegues y demás estructuras, materializadas en zonas de deformación.

En la zona de evaluación existe un pliegue sinclinal cuyo eje de plano axial tiene una orientación noroeste a sureste, los estratos de la Formación Chimú (Ki-chu) se encuentran orientados hacia el flanco descendente del sinclinal, con buzamientos a favor de la pendiente (65°SO), este factor influye en la cinemática del deslizamiento.

Además, la litología de la zona está conformada por depósitos provenientes de movimientos en masa antiguos, cubriendo secuencias de areniscas y lutitas muy meteorizadas y fracturadas. La descomposición de este tipo de rocas, forma sedimentos arcillosos y materiales poco compactos que fallan al sobresaturarse.

Geomorfológico

Los flancos de los pliegues que corresponden a las Formaciones Farrat y Chimú, sufrieron la erosión de sus charnelas, originando largas filas de paredes escarpadas y cumbres agudas como las que se pueden observar en la parte alta del cerro Sangal (figura 15).

Perfil longitudinal San Luis Grande

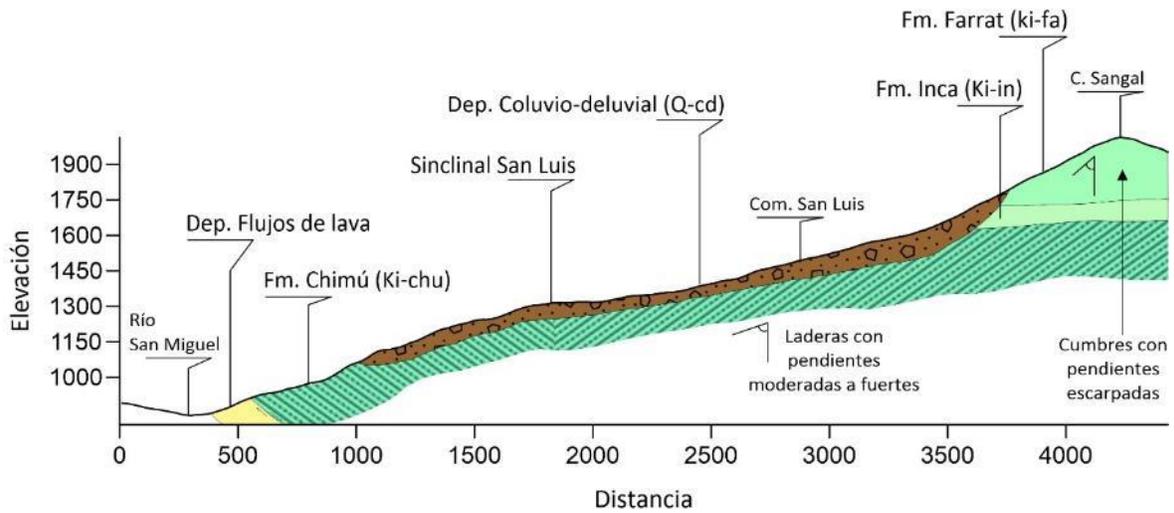


Figura 15. Sección geológica longitudinal de la zona evaluada.

5.3. Factores desencadenantes

El principal factor desencadenante de los movimientos en masa, son las precipitaciones pluviales; sin embargo, los deslizamientos, derrumbes o flujos no ocurren inmediatamente después de las lluvias; pero si contribuyen a desestabilizar laderas produciendo daños en estructuras como canales, acequias y conexiones de agua potable o riego.

Se recopiló la información de la estación meteorológica más cercana al área de estudio, accediendo al servidor del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI); en cuya estación meteorológica de San Pablo ubicada a 6.8 km al noreste del centro poblado San Luis Grande (cuadro 3), muestra que entre enero y junio del año 2021, ocurrieron lluvias intensas que alcanzaron los 525.1 mm solo en el primer semestre del año, el pico máximo mensual se registró en el mes de marzo con 265.2 mm, para los meses de abril, mayo y junio las precipitaciones descendieron de 81 a 8.7 mm.

Cuadro 3. Ubicación de la estación meteorológica próxima al área de estudio.

Estación: HUARMACA					
Departamento:	CAJAMARCA	Provincia:	SAN PABLO	Distrito:	SAN PABLO
Latitud:	7°7'3.89" S	Longitud:	78°49'51" W	Altitud:	2325 m s.n.m.
Tipo:	Convencional - Meteorológica				

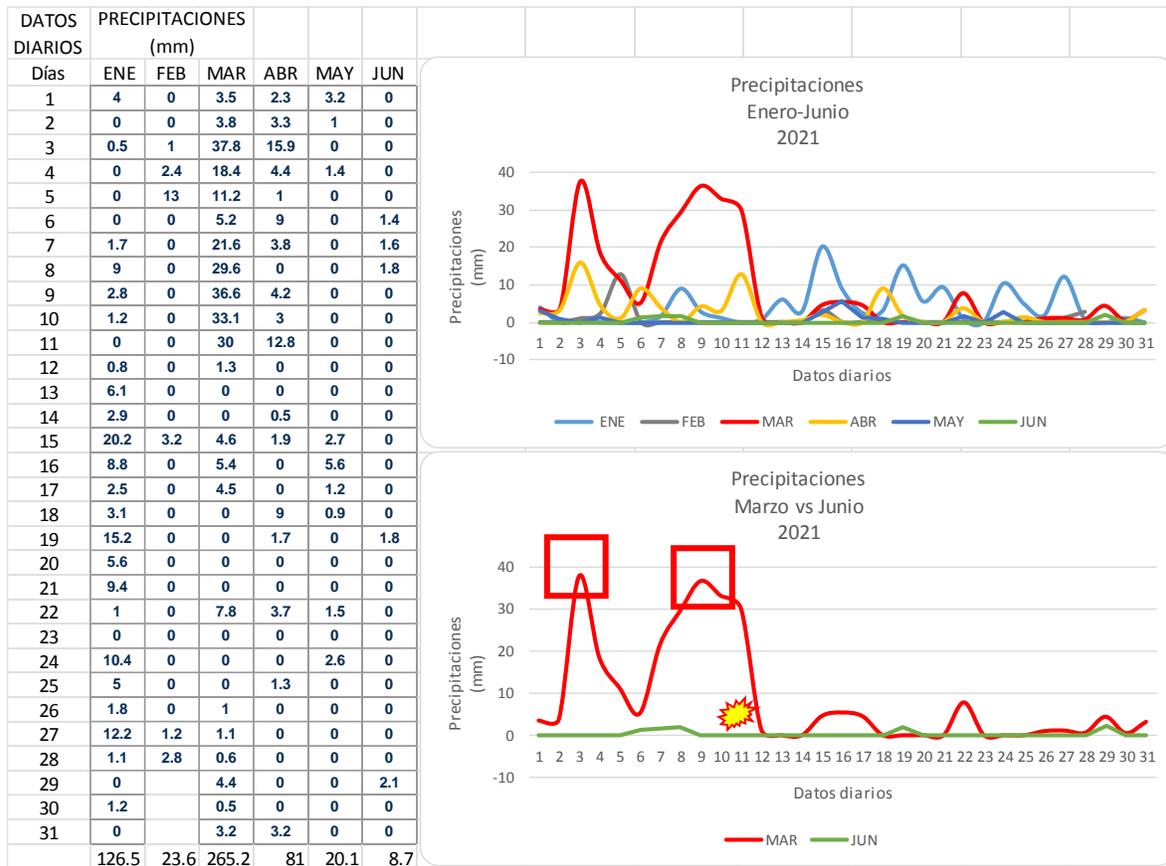


Gráfico 01. Precipitaciones registradas entre enero y junio del 2021.

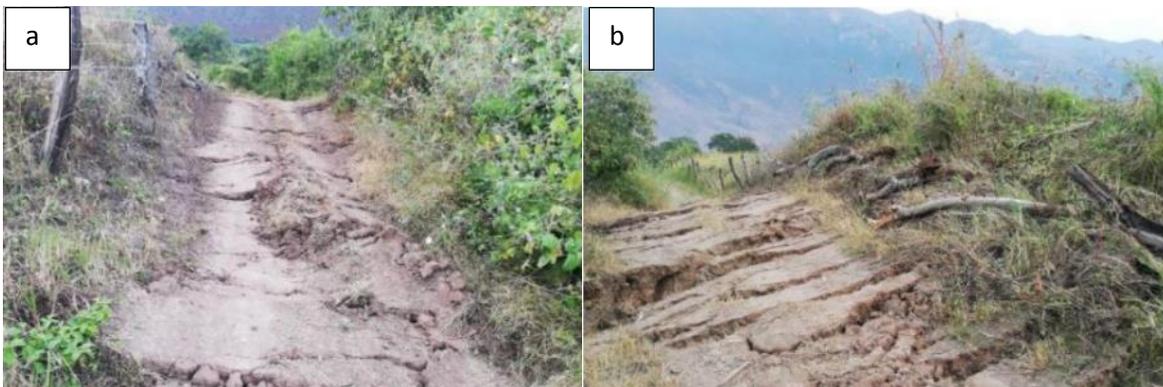
Dichos picos de precipitación, desestabilizaron de forma gradual la ladera sur donde se produjeron agrietamientos, hundimientos y desplazamientos laterales, afectando una tubería de conducción de agua potable, y que causaron fugas de agua al subsuelo sobresaturando los materiales y sedimentos.

5.4. Daños por deslizamiento

A continuación, se describen los daños reportados por la oficina de INDECI - Municipalidad Distrital de San Luis:

5.4.1. Trocha carrozable (camino rural)

El deslizamiento ha producido daños importantes en un camino rural que conecta el área urbana de San Luis Grande con la Comunidad de San Luis. El tramo afectado alcanza un total de 245 m de largo, y la trocha se desplazó 22 m ladera debajo de este a oeste (fotografía 4)¹.



Fotografía 4a y 4b. Camino rural afectado por deslizamiento (INDECI, 2021).

Además, el desplazamiento de los terrenos ha ocasionado daños y pérdidas de cultivos, calculados aproximadamente en un total de 19 has afectadas.

¹Reporte complementario N° 3063 – 15/6/2021 / COEN – INDECI

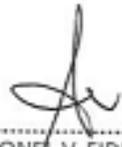
6. CONCLUSIONES

1. En el contexto geológico regional, existen pliegues y fallas geológicas que fueron resultado de las deformaciones ocurridas en el ciclo andino. Las areniscas y lutitas afloran en el flanco descendiente de un pliegue de tipo sinclinal, el buzamiento se inclina a favor de la pendiente, estas estructuras influyen en la dinámica de los deslizamientos identificados.
2. Morfológicamente, el área de evaluación se divide en una zona de aporte, que presenta relieves con pendientes fuertes a muy escarpadas (25° a $>45^\circ$), formando montañas estructurales en rocas sedimentarias (RME-rs). La zona de recepción denominada como vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd), tiene pendientes moderadas a fuertes (5° a 25°), estos relieves fueron modelados por antiguos deslizamientos.
3. En la ladera norte y sur del cerro San Luis, se identificaron depósitos que contienen bloques con diámetros hasta de 1 m, que fueron originados por el emplazamiento de antiguos deslizamientos provenientes del cerro Sangal, donde afloran areniscas y limoarcillitas muy fracturadas y meteorizadas de la Formación Farrat (Ki-fa). Ya en la parte media y baja del cerro San Luis, afloran areniscas y lutitas muy fracturadas y meteorizadas de la Formación Chimú (Ki-chu), que fueron cubiertas por deslizamientos antiguos, originando los depósitos coluvio-deluviales (Q-cd), que están conformados por arenas limosas inconsolidadas y porosas con presencia de bloques y cantos angulosos, además se identificaron secuencias arcillosas medianamente húmedas.
4. Los deslizamientos evaluados se desarrollan sobre materiales inconsolidados y medianamente húmedos. El deslizamiento reciente (DR-01), se ubica a 360 m al sureste del centro poblado San Luis Grande, alcanzó a tener un largo de 460 m y ancho de 175 m de ancho afectó terrenos de cultivos (7 ha), el movimiento ladera abajo destruyó 245 m lineales de un camino comunal.
Los deslizamientos de menor magnitud se ubican a 500 m de San Luis Grande, afectan principalmente terrenos de cultivo.
5. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta la ladera sur del cerro San Luis, se considera que, los terrenos de cultivos y las viviendas próximas a los deslizamientos tienen **Peligro Alto**.

7. RECOMENDACIONES

1. Reubicar las viviendas ubicadas en la proximidad de los deslizamientos evaluados, teniendo en consideración el mapeo de peligros geológicos, donde debe establecerse un perímetro de no asentamiento de hasta 100 m de distancia.
2. Replantear el trazo de la trocha o camino rural afectado por el deslizamiento DR-01, ya que pasa por depósito de deslizamientos que podrían reactivarse ante lluvias intensas.
3. Los agrietamientos en la parte superior de la corona del deslizamiento principal, indican procesos retrogresivos que podrían generar nuevos deslizamientos, por lo que se recomienda un monitoreo mediante extensómetros caseros, control topográfico en periodos mensuales y semanales en temporada de lluvia.
4. Debido a la presencia de canales, acequias y conexiones de agua potable, se recomienda reparar los daños en estas estructuras e impermeabilizar a través de tuberías flexibles y membradas de PVC.
5. Terracear y compactar las áreas afectadas por los deslizamientos, así como, las zonas con presencia de grietas, estableciendo un perímetro de intangibilidad donde se prohíba el uso de riego por inundación.
6. Implementar un cambio en el tipo de cultivo, riego tecnificado y el uso controlado del agua para el riego por inundación, ya que la zona tiene una alta susceptibilidad a movimientos en masa.
7. Prohibir la tala de árboles y la quema de cultivos ubicados en la parte alta y media de los cerros Sangal y San Luis.


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


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

8. BIBLIOGRAFÍA

AlosPalsar. (2011). Modelo Digital de Elevaciones Alos Palsar 26527. 1. <https://search.asf.alaska.edu/>

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.

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 (2021) – SENAMHI. (consulta: 03 de abril 2021). <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>.

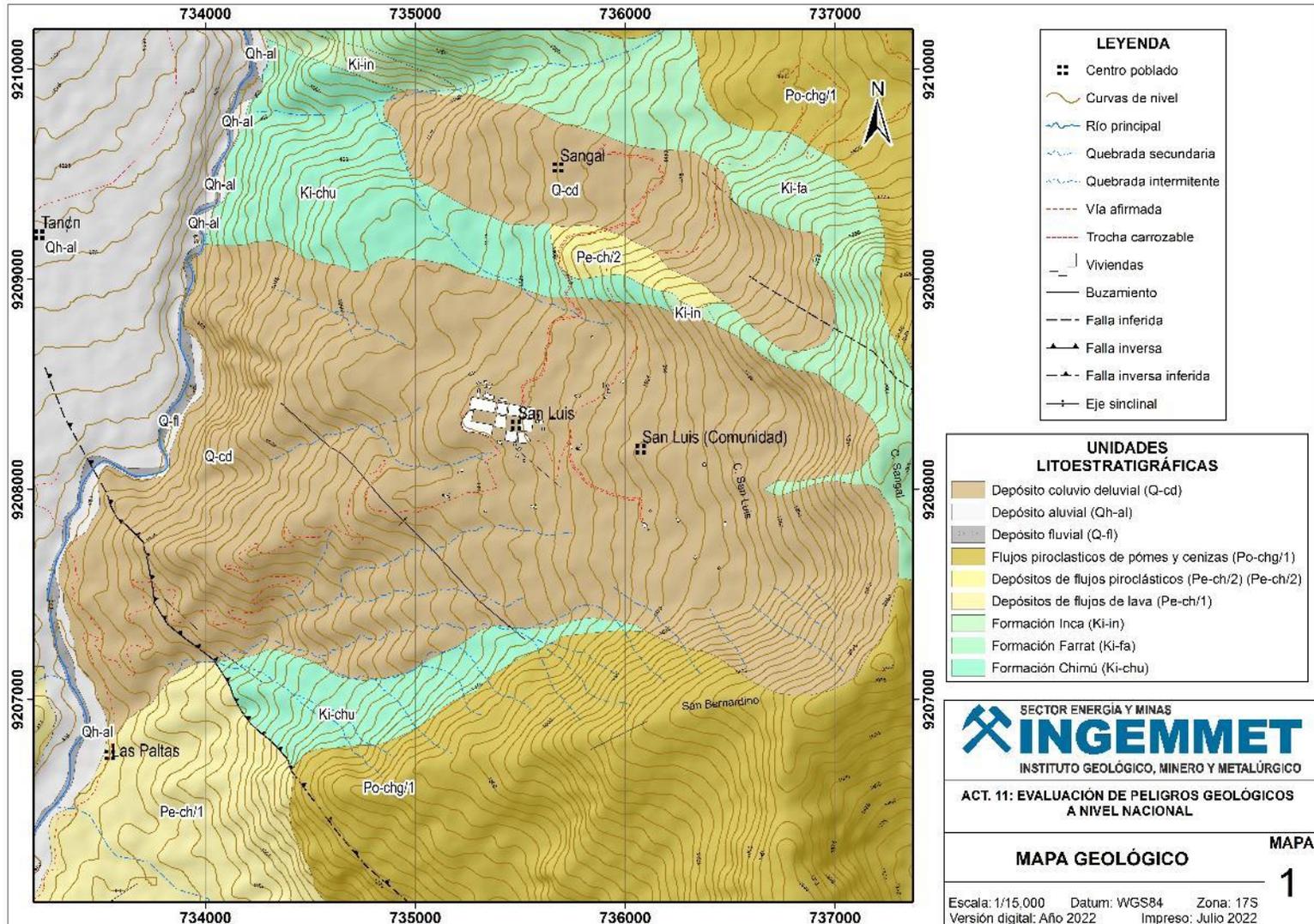
Suarez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN.

Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176.

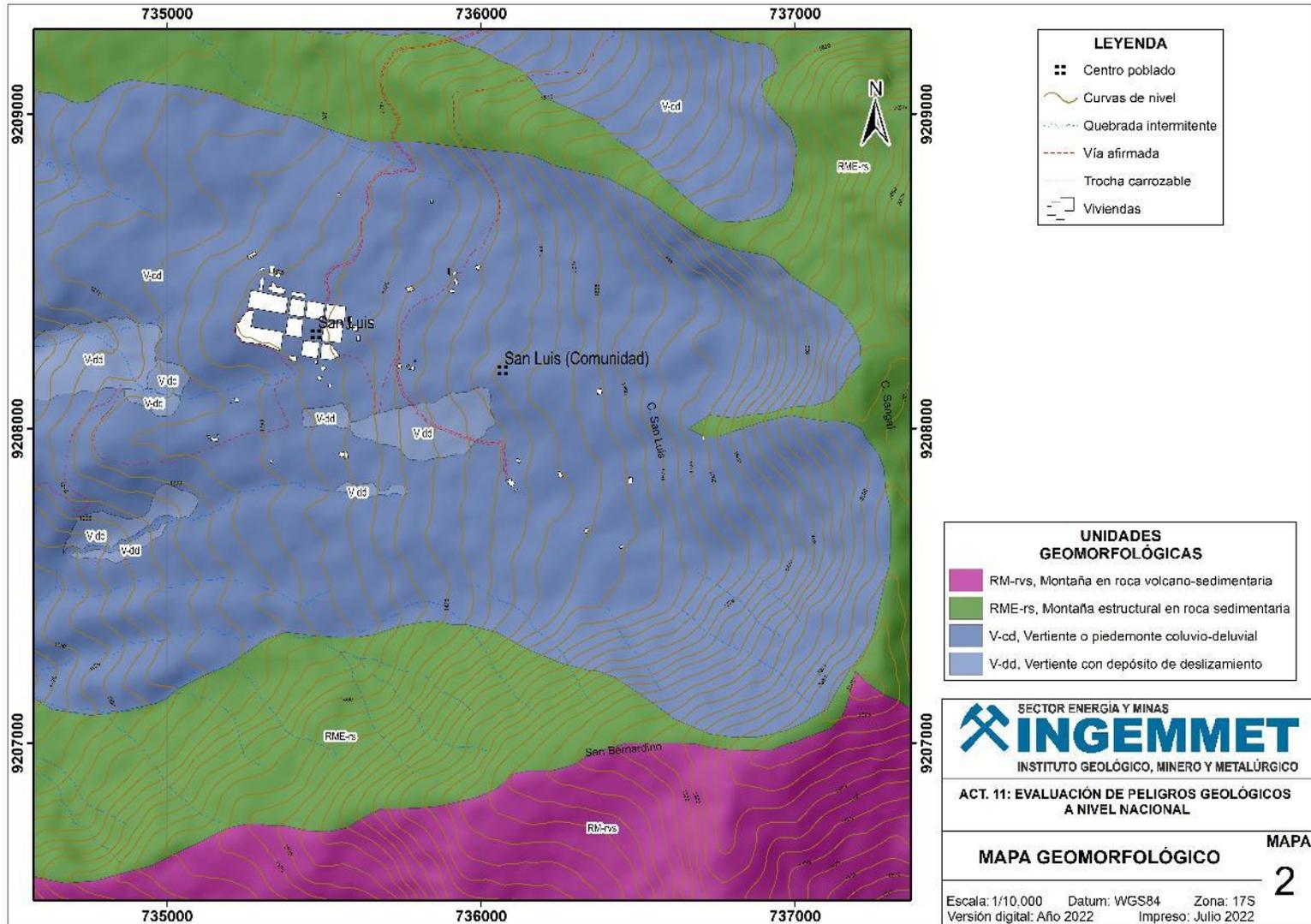
Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

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

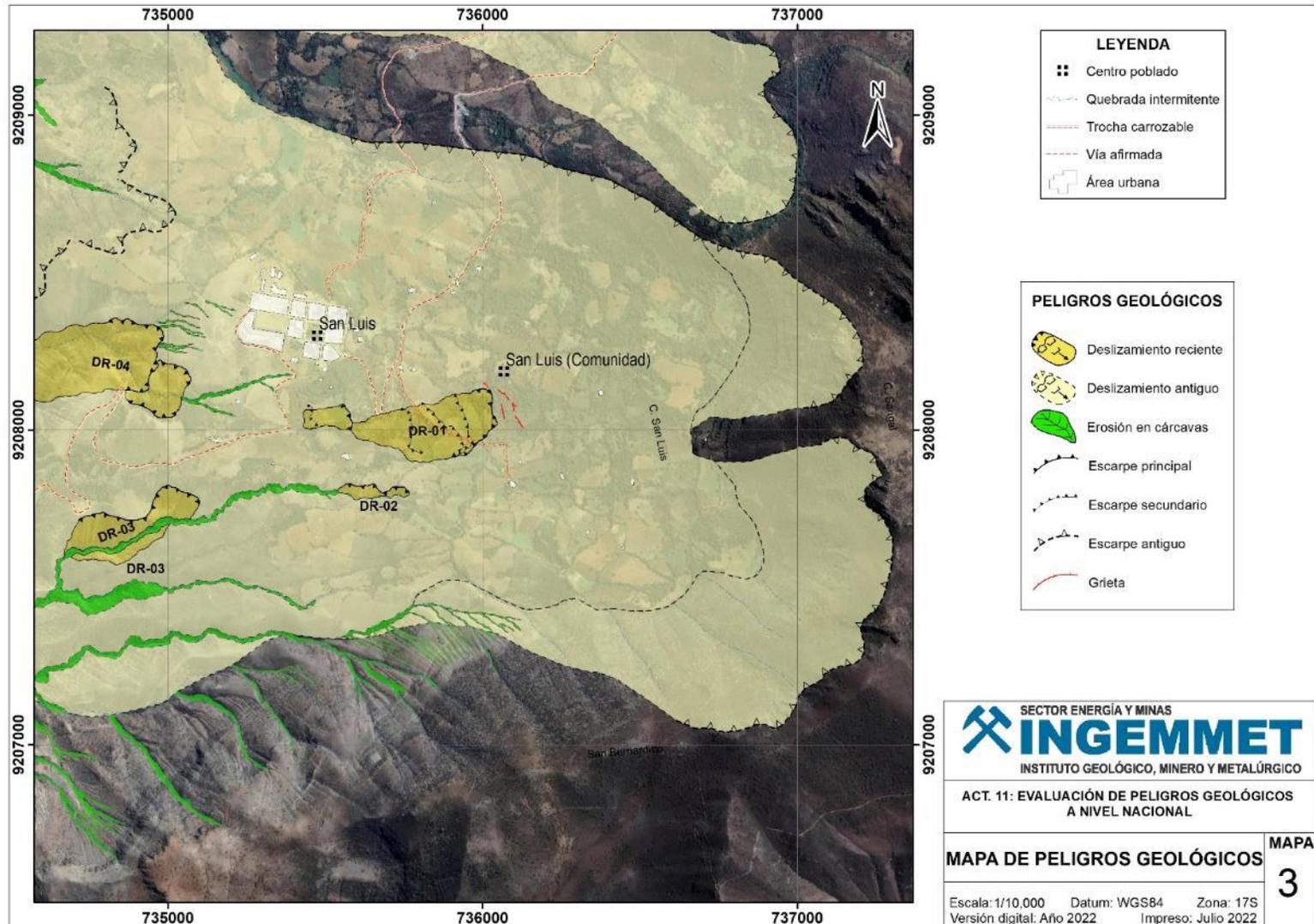
ANEXO 1: MAPAS



Mapa 1. Mapa geológico del área evaluada.



Mapa 2. Mapa geomorfológico del área evaluada.



Mapa 3. Cartografía de peligros geológicos del área evaluada.

ANEXO 2: ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

a. Geometría de la ladera

Abatimiento de la pendiente

La disminución de la pendiente de los taludes es uno de los métodos más utilizados para mejorar su estabilidad y en ocasiones es la primera opción a considerar. Al igual que con otros métodos, éste no es de uso universal y su efectividad puede variar de un sitio a otro. La disminución de la pendiente puede ser efectivo en deslizamientos rotacionales, pero generalmente tiene muy poco efecto o puede tener un efecto negativo en deslizamientos de traslación.

Al disminuir la pendiente del talud, se disminuyen las fuerzas actuantes y adicionalmente el círculo crítico de falla se hace más largo y más profundo aumentándose en esta forma el factor de seguridad. El abatimiento se puede lograr por corte o por relleno (figura 16). Al disminuir la pendiente del talud debe analizarse si al bajar la pendiente no se está facilitando la activación o reactivación de fallas profundas. En todos los casos es conveniente la realización de análisis de estabilidad para determinar los efectos reales de la disminución de la pendiente.

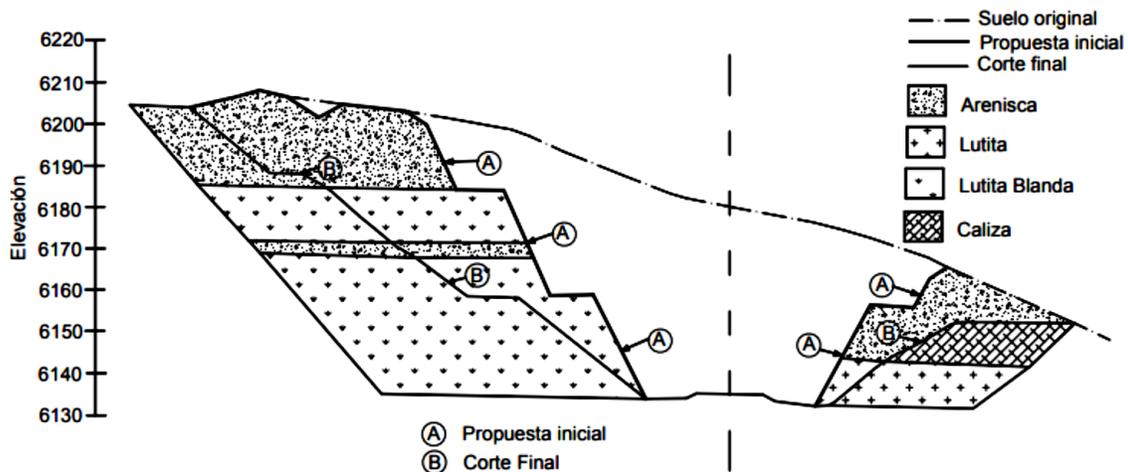


Figura 16. Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos (Gonzáles, 2002).

Las acciones que pueden realizarse sobre la geometría de un talud para mejorar su estabilidad son las siguientes:

- Eliminar la masa inestable o potencialmente inestable. Esta es una solución drástica que se aplica en casos extremos, comprobando que la nueva configuración no es inestable.
- Eliminar el material de la parte superior (descabezamiento) de la masa potencialmente deslizante. En esta área el peso del material contribuye más al deslizamiento y presenta una menor resistencia, dado que la parte superior de la superficie de deslizamiento presenta una máxima inclinación. Por ello la eliminación de escasas cantidades de material produce aumentos importantes del factor de seguridad.

Una de las técnicas más utilizadas para la estabilización de taludes es la conformación o diseño de la morfología del talud (cuadro 4). Al modificar la forma de la superficie del talud,

se puede lograr un equilibrio de masas, que reduzca las fuerzas que producen el movimiento y que aumente la longitud del círculo crítico de falla.

Cuadro 4. Métodos de conformación topográfica del talud

Método	Ventajas	Desventajas
Remoción de materiales de la cabeza del talud	Muy efectivo en la estabilización de los deslizamientos rotacionales.	En movimientos muy grandes, las masas que se van a remover tendrían una gran magnitud.
Abatimiento de la pendiente	Efectivo, especialmente en los suelos friccionantes.	No es viable económicamente, en los taludes de gran altura.
Terraceo de la superficie	Además de darle estabilidad al deslizamiento, permite construir obras para controlar la erosión.	Cada terraza debe ser estable independientemente
Colocación de bermas o contrapesos	Contrarrestan el momento de las fuerzas actuantes y, además, actúan como estructura de contención.	Se requiere una cimentación con suficiente capacidad de soporte.

Fuente: Suarez, 1996.

Terraceo del talud

El terraceo se puede realizar con el propósito de controlar la erosión y facilitar el establecimiento de la vegetación, o para aumentar el factor de seguridad.

La altura de las gradas es generalmente de 5 a 7 metros y cada grada debe tener una cuneta revestida para el control del agua superficial. El sistema de cunetas a su vez debe conducir a una estructura de recolección y entrega con sus respectivos elementos de disipación de energía. Las terrazas son muy útiles para control de aguas de escorrentía. Al construir las terrazas, el talud puede quedar dividido en varios taludes de comportamiento independiente, produciéndose taludes estables.

Para el diseño de bermas y pendientes se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- **Formación geológica.** A mayor competencia de la roca se permiten mayores pendientes y mayores alturas. Las areniscas, calizas y rocas ígneas duras y sanas, permiten taludes casi verticales y grandes alturas. Los esquistos y lutitas no permiten taludes verticales. Se deben colocar bermas anchas en los sitios de cambios bruscos de litología.
- **Meteorización.** Al aumentar la meteorización se requieren taludes más tendidos, menores alturas entre bermas y mayor ancho de las gradas. Los materiales muy meteorizados requieren de taludes inferiores a 1H: 1V, y en la mayoría de las formaciones geológicas no se permiten alturas entre bermas superiores a 7.0 metros y requieren anchos de berma de mínimo 4.0 metros.
- **Microestructura y estructura geológica.** A menos que las discontinuidades se encuentren bien cementadas, las pendientes de los taludes no deben tener ángulos superiores al buzamiento de las diaclasas o planos de estratificación. Entre menos espaciadas sean las discontinuidades se requieren pendientes menores de talud.

Para materiales muy fracturados se requieren taludes, alturas y bermas similares a los que se recomiendan para materiales meteorizados.

- **Niveles freáticos y comportamiento hidrológico.** Los suelos saturados no permiten taludes superiores a 2H: 1V, a menos que tengan una cohesión alta.
- **Sismicidad.** En zonas de amenaza sísmica alta no se deben construir taludes semiverticales o de pendientes superiores a 1/2H:1V, a menos que se trate de rocas muy sanas.
- **Factores antrópicos.** En zonas urbanas no se recomienda construir taludes con pendientes superiores a 1H: 1V y las alturas entre bermas no deben ser superiores a 5.0 metros.
- **Elementos en riesgo.** Los taludes con riesgo de vidas humanas deben tener factores de seguridad muy altos.

Uso de vegetación

El efecto de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes es muy debatido; el estado del uso actual deja muchas dudas e inquietudes y la cuantificación de los efectos de estabilización de las plantas sobre el suelo, no ha tenido una explicación universalmente aceptada. Sin embargo, la experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación, para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales (Suárez, 1998). Para poder analizar los fenómenos del efecto de la vegetación sobre el suelo se requiere investigar las características específicas de la vegetación en el ambiente natural que se esté estudiando. Entre los factores se sugiere analizar los siguientes:

- Volumen y densidad de follaje, tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la cobertura vegetal, presencia de varias capas diferentes de cobertura vegetal, tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia del sistema de raíces.
- El tipo de vegetación, tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales: En primer lugar, tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y, además, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.
- Como controlador de infiltraciones tiene un efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo al tomar el agua que requiere para vivir.

Factores que aumentan la estabilidad del talud:

1. Intercepta la lluvia
2. Aumenta la capacidad de infiltración
3. Extrae la humedad del suelo
5. Las raíces refuerzan el suelo, aumentando la resistencia al esfuerzo cortante
6. Anclan el suelo superficial a mantos más profundos
7. Aumentan el peso sobre el talud
8. Trasmitem al suelo la fuerza del viento
9. Retienen las partículas del suelo disminuyendo la susceptibilidad a la erosión

Muro	Ventajas	Desventajas
Reforzado	Los muros de concreto armado pueden emplearse en alturas grandes (superiores a diez metros), previo su diseño estructural y estabilidad. Se utilizan métodos convencionales de construcción, en los cuales la mayoría de los maestros de construcción tienen experiencia.	Requieren de buen piso de cimentación. Son antieconómicos en alturas muy grandes y requieren de formaletas especiales. Su poco peso los hace inefectivos en muchos casos de estabilización de deslizamientos de masas grandes de suelo.
Concreto simple	Relativamente simples de construir y mantener, pueden construirse en curvas y en diferentes formas para propósitos arquitectónicos y pueden colocarse enchanes para su apariencia exterior.	Se requiere una muy buena fundación y no permite deformaciones importantes, se necesitan cantidades grandes de concreto y un tiempo de curado, antes de que puedan trabajar.
Concreto ciclópeo	Similares a los de concreto simple. Utilizan bloques o cantos de roca como material embebido, disminuyendo los volúmenes de concreto.	El concreto ciclópeo (cantos de roca y concreto) no puede soportar esfuerzos de flexión grandes.