

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7301

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR FLUJOS EN LA COMUNIDAD DE LA SINRA

Departamento Cajamarca
Provincia Chota
Distrito Lajas



OCTUBRE
2022

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR FLUJOS EN LA COMUNIDAD DE LA SINRA

(Distrito Lajas, provincia Chota, 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 flujos en la comunidad de La Sinra*. (Distrito Lajas, provincia Chota, departamento Cajamarca). Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7301, 37p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
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 Chulec (Ki-ch).....	8
3.1.2. Formación Pariatambo (Ki-pt).....	8
3.1.3. Grupo Pulluicana (Ki-pu).....	8
3.1.4. Depósitos cuaternarios.....	9
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	10
4.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)	11
4.2. Pendientes del terreno	11
4.3. Unidades geomorfológicas	12
4.3.1. Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	12
4.3.1.1. Unidad de montaña	12
4.3.2. Geformas de carácter depositacional y agradacional.....	13
4.3.2.1. Unidad de piedemonte	13
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	15
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	15
5.1.1. Deslizamientos antiguos (DA).....	16
5.1.2. Flujo (FL-1).....	17
5.1.3. Flujo (FL-2).....	21
5.2. Factores condicionantes	22
Litológico-estructural	23
Geomorfológico	23
5.3. Daños por flujo	23
5.3.1. I.E. N° 10444 La Sinra.....	23
5.3.2. Viviendas.....	24

5.3.3. Vía de comunicación.....	24
6. CONCLUSIONES	25
7. RECOMENDACIONES	26
8. BIBLIOGRAFÍA	27
ANEXO 1: MAPAS	28
ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	32

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación geológica y geodinámica de la comunidad de La Sinra; perteneciente a la jurisdicción del distrito de Lajas, provincia Chota y departamento 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 (local, regional y nacional).

En La Sinra, se evaluó a detalle el flujo (FL-1), ocurrido el 04 de marzo del presente año, los materiales que descendieron a través de la ladera, destruyeron parte de la Institución Educativa N° 10444 La Sinra nivel primario, la trocha carrozable (La Sinra a Trigopampa) en un tramo de 100 m, dos viviendas y una persona fallecida.

Además, se identificaron 05 deslizamientos antiguos (DA) que formaron amplios piedemontes con relieves ondulados, sobre los cuales se ubican 02 flujos de tierra (FL). Además, se observan zonas con procesos de reactivación donde se cartografiaron grietas longitudinales, asentamientos y leves desplazamientos.

El flujo (FL-1), se ubica sobre depósitos coluvio-deluviales (Q-cd) conformados por gravas y clastos subangulosos con matriz areno arcillosa, que cubren calizas con intercalaciones de lutitas en estratos tabulares correspondientes al Grupo Pulluicana (Ki-pu), estos afloramientos se encuentran muy meteorizados y fracturados con buzamientos a favor de la pendiente.

La zona de evaluación se ubica sobre montañas y colinas estructurales en rocas sedimentarias (RMCE-rs) conformadas principalmente por calizas. Los piedemontes coluvio-deluviales (V-cd) fueron originados por antiguos deslizamientos, avalanchas y flujos, formaron laderas con pendientes moderadas a fuertes (5° a 25°) que abarcan más del 50% del área evaluada, donde se ubica la Comunidad La Sinra. Estas geoformas condicionan la ocurrencia de deslizamientos y flujos que alcanzan grandes longitudes debido a la morfometría del relieve.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presentan las laderas de montañas y piedemontes donde se ubica la Comunidad La Sinra, se considera de **Peligro Muy Alto** ante deslizamientos y flujos.

Se recomienda, la reubicación inmediata de las viviendas e infraestructuras ubicadas en el área de evaluación, considerándola como una **Zona Crítica** por los elementos expuestos. Además, implementar programas de monitoreo de las laderas inestables para regular el uso adecuado del área evaluada.

1. 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 Lajas, según Oficio N° 060-2022-MDL/ALC, es en el marco de nuestras competencias que se realizó la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa de tipo “flujos”, los cuales afectaron 02 viviendas, un colegio de nivel primario y la vía de acceso de la Sinra hacia Trigopampa.

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 7 y 8 de abril del 2022, los trabajos de campo estuvieron acompañados por personal de la oficina de INDECI de la municipalidad y pobladores pertenecientes a la comunidad de La Sinra.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: gabinete (se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet), cartografía de campo (análisis geológico-geomecánico de los afloramientos y estabilidad de laderas, cartografía geomorfológica y geodinámica, fotogrametría con drones, registro fotográfico georreferenciado), gabinete post campo (se realizó el procesamiento e interpretación de los datos para la redacción del informe técnico).

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de Lajas 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 por movimientos en masa que se desarrollan en la comunidad de La Sinra, procesos geodinámicos que afectaron una vivienda y la Institución Educativa N° 10444.
- 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 geoprocesamiento en GIS (Cuadro 1 y figura 1). En el mapa se muestra que, la comunidad de La Sinra tiene una susceptibilidad media a alta ante la ocurrencia de movimientos en masa. En la zona evaluada afloran calizas tabulares con intercalaciones de lutitas nodulares, en estratos muy fracturados y meteorizados con buzamientos a favor de la pendiente.

Cuadro 1. Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa.

LEYENDA		
CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	RECOMENDACIONES
SUSCEPTIBILIDAD ALTA: Confluyen la mayoría de las condiciones del terreno favorables a generar movimientos en masa, cuando se modifican sus taludes. Colindan con zonas de muy alta susceptibilidad		
<p>Substrato. Arenisca, cuarcita, conglomerado, limolita y arcillita roja; rocas intrusivas alteradas. Relieves de montaña o colina en rocas metamórficas y estructural-erosionables en rocas sedimentarias-volcánicas. Pendiente moderada a alta (15° a 25°, y mayores a 45°). Acuitardos intrusivos, sedimentarios y volcánicos-sedimentarios. Cobertura vegetal: Terrenos desprovistos de vegetación y áreas con intensa deforestación.</p>	<p>Distribución importante en la provincia de Chota, en gran parte de la zona de evaluada, abarcando el distrito de Lajas.</p>	<p>Restringir el desarrollo de Infraestructura urbana, o de instalaciones para una alta concentración de población. En el caso de infraestructura vial, líneas de energía, actividad minera, etc., se deberán realizar estudios geotécnicos al detalle.</p>
SUSCEPTIBILIDAD MEDIA: Presenta algunas condiciones favorables para producir movimientos en masa		
<p>Substrato sedimentario, caliza, lutitas y algunos cuerpos intrusivos. Relieves de montaña o colina en roca volcánica, altiplanicies aluviales sedimentarias, piedemontes. Pendientes entre 5-15°. Cobertura vegetal de bosque seco de valles interandinos y tipo sábana, matorral subhúmedo, y bosques húmedos de montañas y zonas urbanas. Acuitardos intrusivos y sedimentarios; acuíferos fisurados volcánicos, volcano sedimentarios y cársticos, acuíferos porosos consolidados</p>	<p>Se encuentra distribuida de forma dispersa en el área de evaluación.</p>	<p>Permitir el desarrollo de infraestructura urbana e industrial, siempre y cuando, se conozcan al detalle las propiedades de los terrenos, para poder tomar decisiones respecto a la viabilidad del proyecto.</p>

B. Boletín N° 38, serie A, Carta Geológica Nacional: "Geología de los cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo, Chepén". Hojas: 13-d, 13-e, 13-f, 14-d, 14-e, 14-f, 14-g, 15-d y 15-e (1984).

El área de evaluación se ubica al extremo norte del cuadrángulo de Chota, hoja 14-f a escala 1: 100 000 que abarca gran parte del distrito de Lajas. En gran parte de la zona de evaluación, abarcando desde el centro poblado de Lajas afloran calizas nodulares con intercalaciones de lutitas gris oscuras correspondientes al Grupo Pulluicana. Los afloramientos forman relieves montañosos con control estructural de fallas de tipo normal.

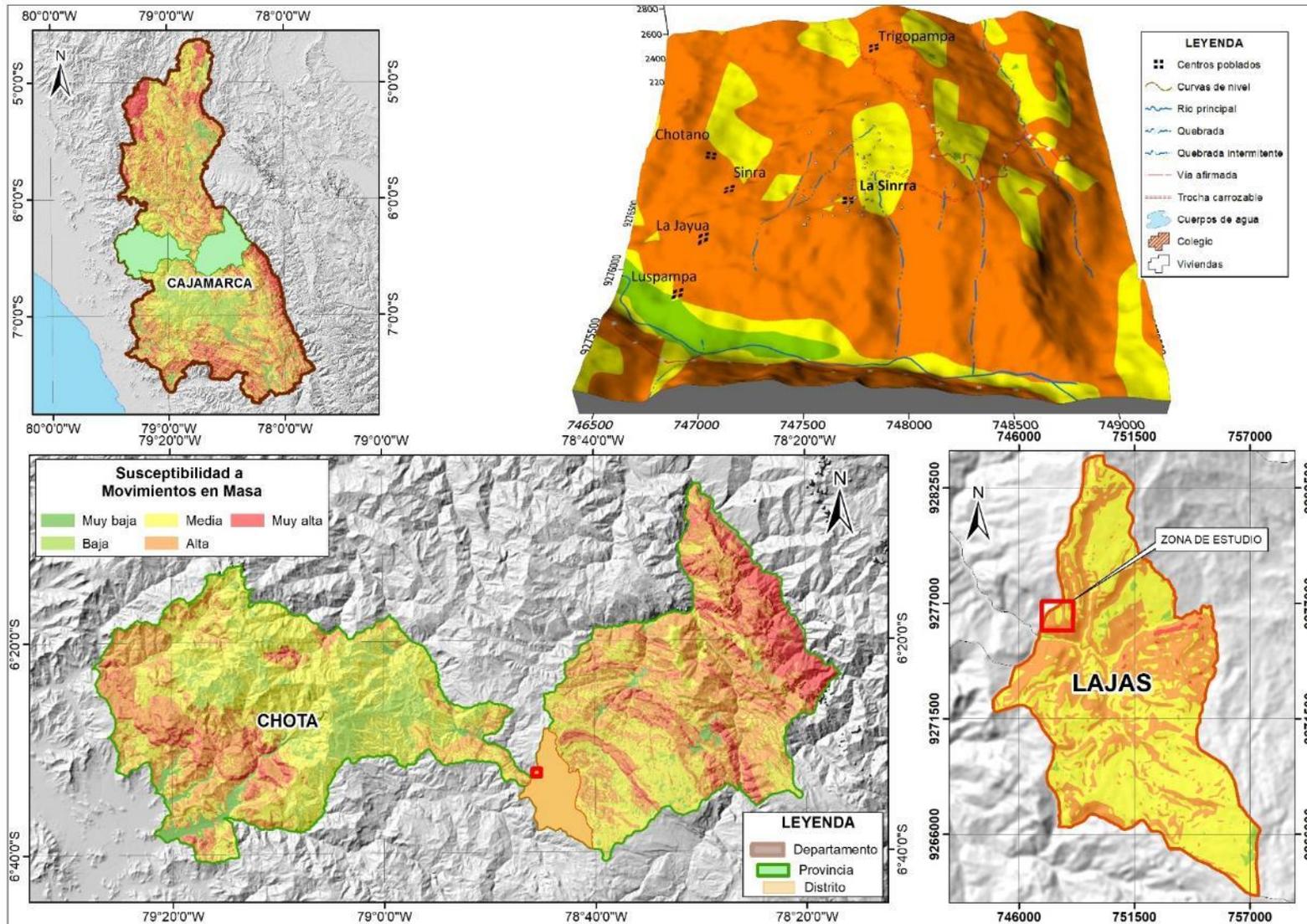


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa a escala 1:250 000 de la zona de evaluación (Zavala y Rosado, 2011).

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área de evaluación abarca la comunidad de La Sinra, donde se ubica la Institución Educativa N° 10444, viviendas y vías de acceso. Políticamente, pertenece al distrito de Lajas, provincia Chota y departamento de Cajamarca (figura 2); ubicado en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 17S) (cuadro 2):

Cuadro 2. Coordenadas del área de evaluación

N°	UTM - WGS84 - Zona 17L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	747388	9277012	-6.5358	-78.7628
2	748282	9277012	-6.5358	-78.7548
3	748281	9275784	-6.5468	-78.7547
4	747387	9275785	-6.5469	-78.7628
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
FL-1	748110	9276480	-6.5406	-78.7563

1.3.2. Accesibilidad

Se accede por vía terrestres desde la ciudad de Cajamarca mediante la siguiente ruta (cuadro 3):

Cuadro 3. Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cajamarca – Hualgayoc	Asfaltada	89	2 h 40 min
Hualgayoc - Lajas	Asfaltada	68	1 h 30 min
Lajas – La Sinra	Vía afirmada	5.7	30 min

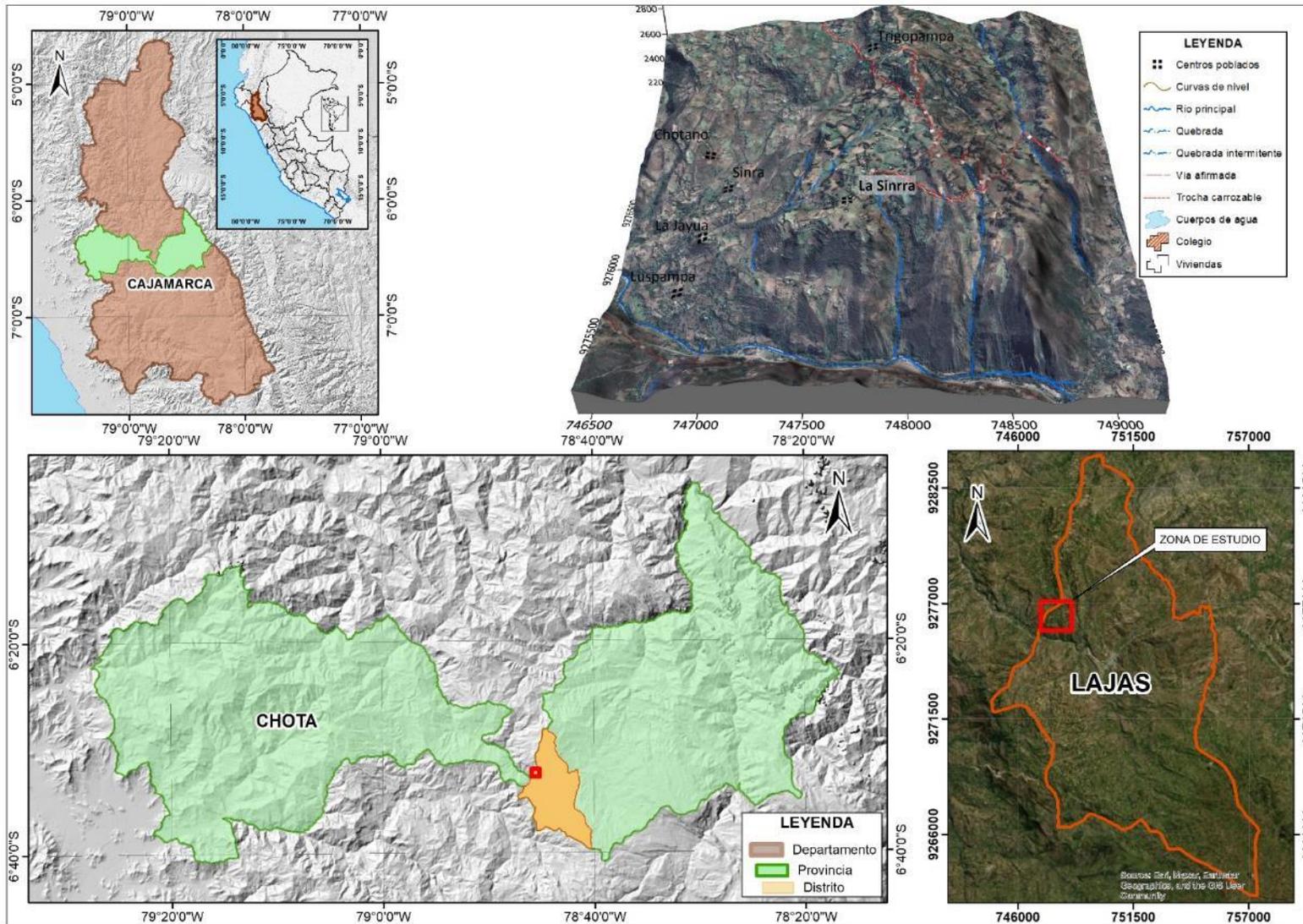


Figura 2. Ubicación de la comunidad La Sinra.

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.

BUZAMIENTO (dip) Angulo que forma la recta de máxima pendiente de un plano con respecto a la horizontal y puede variar entre 0° y 90°.

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).

FLUJO DE TIERRA (earth flow) sin.: corriente de tierra (Ar) Movimiento intermitente, rápido o lento, de tierra arcillosa plástica (Hungry et al., 2001). Hungry et al. (2001) señalan que los flujos de tierra y los flujos de lodo pueden involucrar materiales de texturas similares pero que tienen diferencias significativas, particularmente en lo que se refiere a la velocidad del movimiento y el contenido de agua promedio.

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).

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

El análisis ingeniero - geológico realizado en la comunidad de La Sinra, se desarrolló en base a la información recolectada en campo y al análisis del cuadrángulo geológico de Chota hoja 14-f a escala 1:100 000 (Wilson, J. 1984). Esta información fue actualizada en el año 2007, donde se elaboró el Mapa geológico del Cuadrángulo de Cajamarca – Hoja 14-f-I a escala 1:50 000. En ambos cuadrángulos, se describen afloramientos de la Formación Pariatambo y del Grupo Pulluicana, conformados por calizas tabulares con intercalaciones de lutitas; además, de coberturas cuaternarias clasificadas como depósitos coluvio-deluviales. Para complementar el mapa geológico, se realizó la interpretación de imágenes satelitales, fotografías 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 (figura 3):

3.1.1. Formación Chulec (Ki-ch)

Estos afloramientos se ubican a 800 m al suroeste de la comunidad La Sinra, hacia la margen izquierda del río Chotano, están conformados por alternancia de calizas nodulares grises a paradas con lutitas calcáreas.

3.1.2. Formación Pariatambo (Ki-pt)

Aflora entre los sectores La Jayua y Luspampa hacia el sur del área de evaluación. La Formación Pariatambo está conformada por calizas de grano fino, capas delgadas y tabulares, se intercalan con lutitas negras calcáreas.

3.1.3. Grupo Pulluicana (Ki-pu)

Son afloramientos conformados por intercalaciones de calizas nodulares de grano medio con lutitas grises con nódulos calcáreos., afloran en gran parte del área de evaluación desde Trigopampa hasta la parte baja de la comunidad La Sinra, los estratos se presentan con buzamientos inclinados a favor de la pendiente (25°SO), fracturados y muy meteorizados con mamantes de agua y medianamente húmedas (fotografía 1).



Fotografía 1. Calizas nodulares con intercalaciones de lutitas del Grupo Pullucana (Ki-pu).

3.1.4. Depósitos cuaternarios

Depósitos aluviales (Q-al)

Están conformados por una mezcla heterogénea de gravas y cantos dispersos de forma redondeada a subredondeada y muy poco clasificados. Estos materiales presentan niveles y estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial, se ubican en ambas márgenes del río Chotano.

Depósitos coluvio-deluvial (Q-cd)

Son aquellos depósitos que se encuentran acumulados al pie de laderas, como material de escombros constituidos por gravas, cantos y bloques, de formas subangulosos a angulosos en matriz areno-limosa que han sufrido transporte. Estos depósitos se distribuyen en el área de deslizamiento-flujo, a través de la masa moviliza en la ladera del sector La Sinra (fotografía 2).



Fotografía 2. Vista de los depósitos coluvio deluviales cubriendo calizas muy fracturadas.

Depósito coluvial (Q-cd)

Son aquellos depósitos que se encuentran acumulados al pie de laderas, como material de escombros constituidos por bolos (10%), cantos (25%), gravas (15%), gránulos (10%) de formas subangulosas a angulosas; además de arenas (5%), limos (20%) y arcillas (15%). Estos depósitos se distribuyen en el área del flujo, a través de la masa moviliza en la ladera del sector La Sinra (fotografía 3).



Fotografía 3. Vista de los depósitos coluvio deluviales originadas por el flujo de tierra en La Sinra.

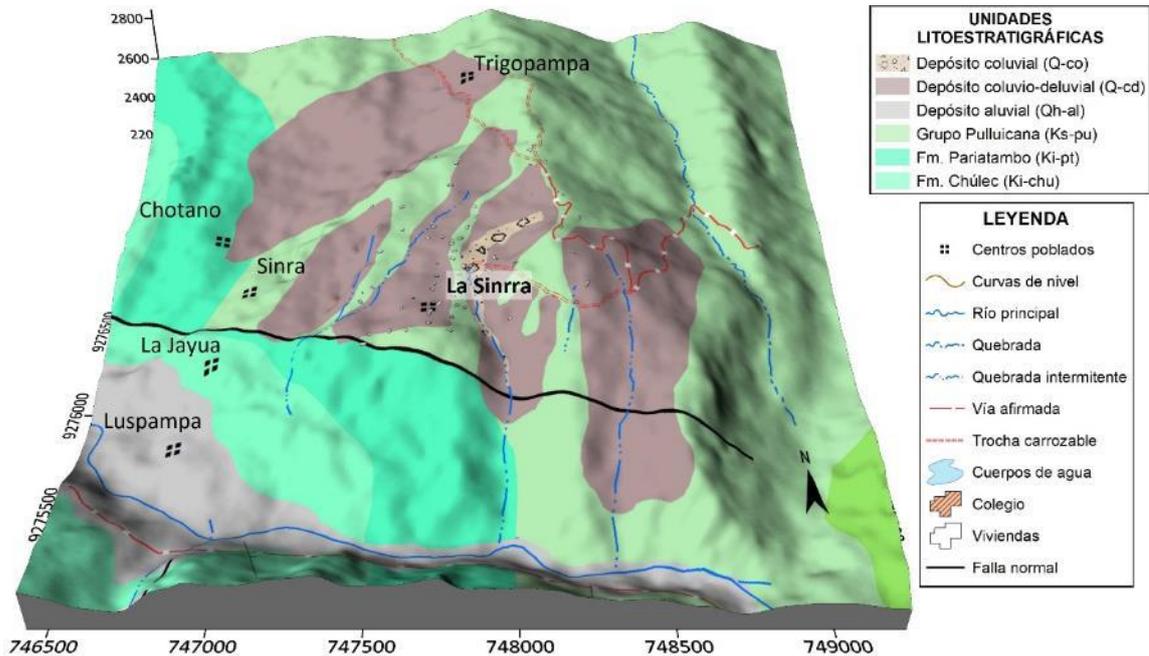


Figura 3. Depósitos y afloramientos de rocas identificadas en la zona de evaluación.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Se realizó 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, se realizó 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)

El área de evaluación alcanza hasta 2866 m s.n.m, al norte de la Sinra y el sector Trigopampa, mientras que, las cotas más bajas se ubican próximas al caserío Luspampa y el río Chotano con 2360 m de altitud. Los peligros geológicos identificados se distribuyen sobre laderas con elevaciones entre 2670 m s.n.m. y 2370 m s.n.m, en la zona de arranque y 2720 m s.n.m., en la zona de depositación donde también se ubican las viviendas afectadas (figura 4).

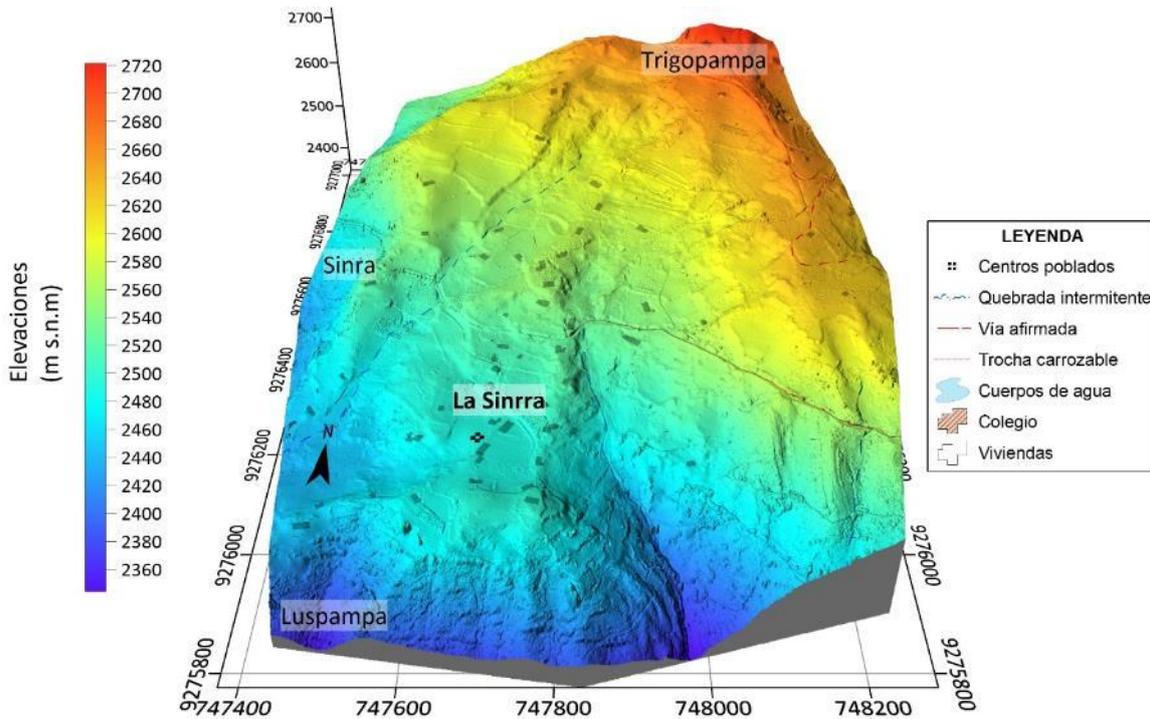


Figura 4. Mapa de elevaciones en el área de evaluación.

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 provenientes de deslizamientos y avalanchas antiguas y que condicionan los peligros geológicos recientes.

El área de evaluación abarcó un total de 92.2 ha, mediante el modelo digital de elevaciones, se elaboró el mapa de pendientes, que fue rasterizado y luego reclasificado para el cálculo de áreas, expresado en porcentaje por cada rango de pendiente.

Se determinó que, el área de evaluación presenta laderas con pendientes moderadas a fuertes (5° - 25°) que abarcan el 59% (57 ha), en estos rangos se desarrolla el flujo de tierra que afectó la I.E. 10444. Las pendientes muy fuertes a muy escarpadas (25° - 90°) alcanzan el 35% (34 ha) relieves ubicados al sur de La Sinra hasta donde descendió el material deslizado.

Las pendientes llanas a suavemente inclinadas solo abarcan el 6% (6 ha) de los relieves distribuidos de forma dispersa en el área de evaluación. Las viviendas correspondientes

a la comunidad de La Sinra se ubican sobre relieves con pendientes moderadas a fuertes (5° a 15°) (figura 5).

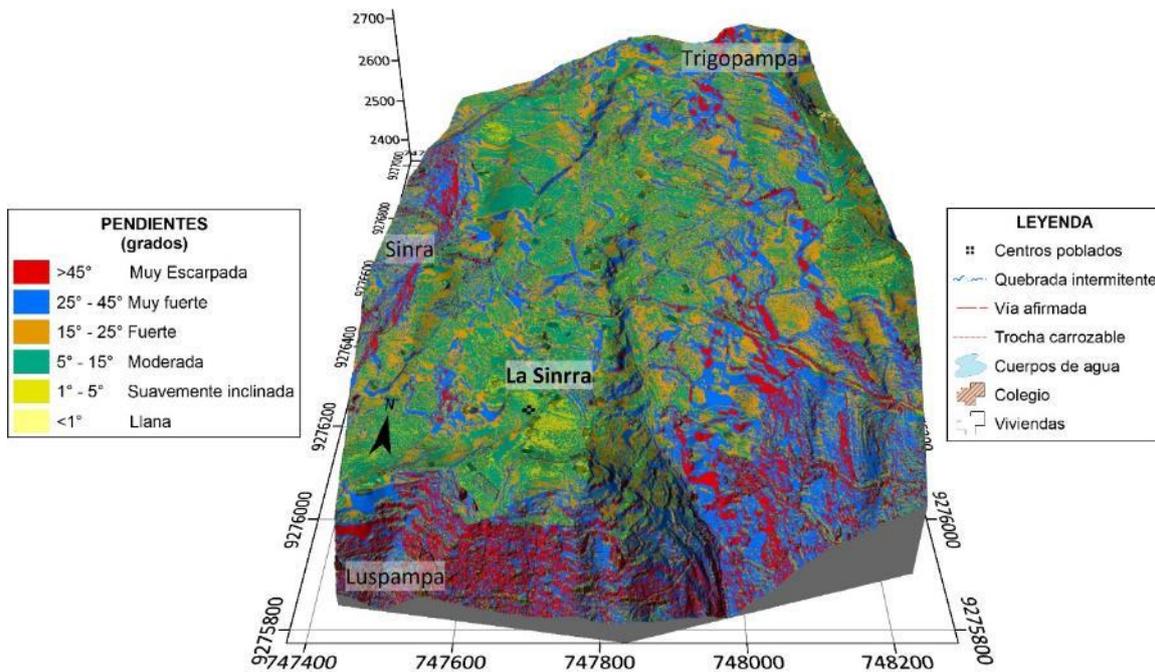


Figura 5. Mapa de pendientes de la comunidad de La Sinra.

4.3. Unidades geomorfológicas

Para la diferenciación de unidades se consideran criterios de control: la homogeneidad litológica, el carácter estructural y la caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión o denudación y sedimentación o acumulación (Zavala y Rosado, 2011).

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 y Rosado, 2011), se realizó el ajuste y definición de las unidades mediante la información obtenida en campo.

4.3.1. Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Las geformas 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):

4.3.1.1. 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 m 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 y colina estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs):

Esta geoforma se distribuye en gran parte del área de evaluación, conforman relieves que alcanzan hasta los 2720 m s.n.m, presenta pendientes moderadas a muy fuertes modeladas en rocas sedimentarias conformadas por calizas con intercalaciones de lutitas en estratos submétricos (figura 6).



Figura 6. Montaña y colina estructural en roca sedimentaria en la comunidad de La Sinra.

4.3.2. 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.

4.3.2.1. 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

fuerzas (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 7).



Figura 7. Vista del piedemonte coluvio-deluvial con pendientes muy fuertes a muy escarpadas.

Subunidad de vertiente o piedemonte aluvio torrencial (P-at): Esta geoforma es el resultado de la acumulación de materiales movilizados a manera de flujos, modifican localmente la dirección de los cursos de ríos y se ubican en las desembocaduras de quebradas o hendiduras en el relieve producto de un control estructural. El flujo ocurrido el 04 de marzo, transportó gran cantidad de materiales conformados por cantos y gravas en una mezcla de arcilla y arena que alcanzaron hasta 1.1 km de extensión. (figura 8).



Figura 8. Vista de la vertiente o piedemonte aluvio torrencial en la comunidad de La Sinra.

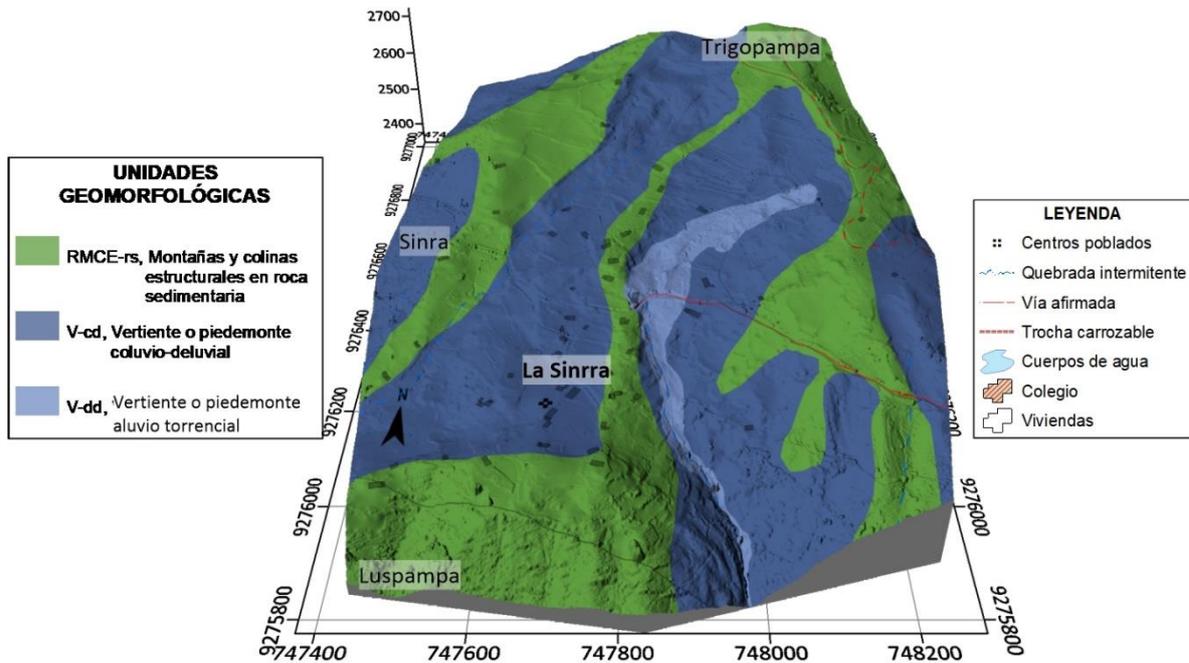


Figura 9. Geformas delimitadas en la comunidad de La Sinra.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

El principal peligro geológico identificado en la comunidad de La Sinra, corresponde a movimientos en masa de tipo deslizamientos-flujos (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 susceptibles a la generación de movimientos en masa (Anexo 1: Mapa 3).

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

En la comunidad La Sinra se identificaron 05 deslizamientos antiguos (DA), de los cuales 02 deslizamientos tienen procesos de reactivación con fases de flujo (DFL); se cartografiaron escarpes con desplazamiento submétricos, agrietamientos y basculamientos; procesos que afectan viviendas y terrenos de cultivos.

En los trabajos de campo, se contó con el apoyo de los pobladores, según manifestaron, los procesos geodinámicos iniciaron en el mes de febrero, incrementándose los primeros días del mes de marzo. El viernes 4 de marzo, ocurrió un flujo de tierra que afectó dos viviendas, a la I.E. 10444, una vía de acceso y la pérdida de una vida humana.

Para caracterizar los eventos geodinámicos ocurridos en la comunidad de La Sinra, se realizaron trabajos de campo en donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través de la cartografía geológica y geodinámica basada en la observación y

descripción morfométrica in situ, la toma de datos GPS, fotografías a nivel del terreno, fotografías aéreas y modelos digitales de terreno.

5.1.1. Deslizamientos antiguos (DA)

El **deslizamiento antiguo (DA-1)**, se ubica en la parte alta de la comunidad de La Sinra, tiene un largo de 1 km de y ancho de 350 m, el escarpe principal alcanza un largo de 503 m, la zona de arranque se encuentra a pocos metros de la trocha carrozable La Sinra-Trigopampa, el área involucrada se estima en 2.8 ha (figuras 10 y 11).



Figura 10. Vista aérea del deslizamiento antiguo (DA-1) en la comunidad de La Sinra.

Debido al paso del tiempo, se produjeron cambios en el relieve original, la corona y el escarpe del deslizamiento no se encuentran bien definidos, debido a los procesos de erosión y meteorización.

El **deslizamiento antiguo (DA-2)**, se ubica a 600 m al sur del sector Trigopampa y 450 m al norte de La Sinra, tiene un largo de 1.2 km y ancho de 245 m, el escarpe principal tiene una longitud 448 m. En el DA-2, se evidencian procesos de reactivación con presencia de grietas, escarpes y hundimientos que afectan 25.4 ha (figura 11).

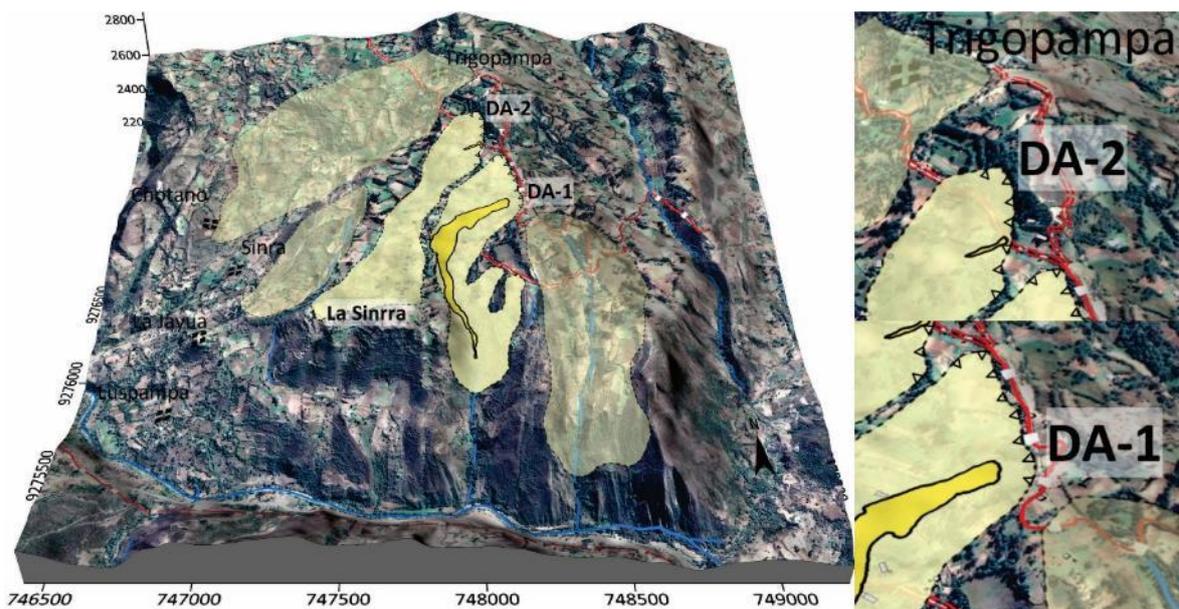


Figura 11. Vista 3D de los deslizamientos identificados en el área de estudio.

El **deslizamiento antiguo (DA-3)**, se ubica en el sector Trigopampa, tiene 1 km de largo y 685 m de ancho proyectándose hasta el sector Chotano, el escarpe principal alcanza 1.2 km de largo y abarca un total de 66 ha. El DA-3, forma superficies onduladas con un escarpe secundario con longitud de 50 m (figura 12).

El **deslizamiento antiguo (DA-4)**, se identificó al este de la comunidad de La Sinra, tiene un largo de 1 km de y ancho de 450 m, el escarpe principal tiene una longitud de 862 m, afecta áreas de cultivo y vías de comunicación (figura 12).

El **deslizamiento antiguo (DA-5)**, ubicado a 400 m al oeste de La Sinra y 255 m al norte de La Jayua, tiene un largo de 720 m y ancho de 330 m, el escarpe principal alcanza un largo de 632 m, afecta terrenos en un área de 17.3 ha (figura 12).

Los deslizamientos antiguos forman superficies onduladas con la presencia de escarpes secundarios, se observan procesos de agrietamientos donde pueden formarse nuevas zonas de falla y formar escarpes donde inicien nuevos deslizamientos.

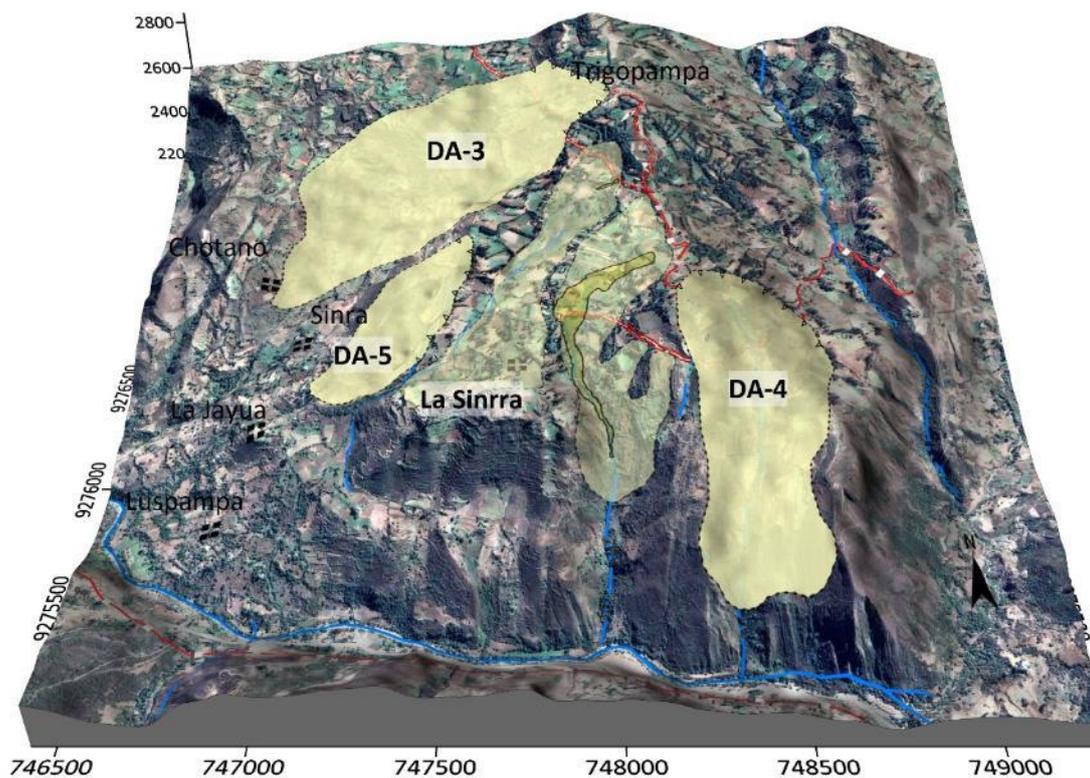


Figura 12. Vista 3D de los deslizamientos antiguos DA-3, 4 y 5.

5.1.2. Flujo (FL-1)

La parte superior o la zona de arranque, no ha sufrido desplazamientos ladera abajo, pero si deformaciones, que originan grietas por tracción o tensión que se emplazan de forma paralela o semiparalela al escarpe (figura 13).



Figura 13. Vista aérea de la corona o parte superior del flujo (FL-1).

Los trabajos de campo se complementaron mediante la fotogrametría aérea con dron, donde se obtuvo el modelo digital de terreno (MDT) y la ortofoto de alta resolución (GSD 5 cm), de esta manera se delimitó con mayor precisión la geometría la zona de arranque y la extensión de las grietas que se emplazan de norte a sur con aberturas de hasta 0.20 m, con profundidad de 1 m y leves desplazamientos noreste a suroeste (figura 14).



Figura 14. Vista aérea de la corona del flujo (FL-1).

El flujo tiene una zona de arranque de forma semicircular, con longitud de 65.9 m, con desplazamiento de falla de 1 m a 5 m, definidos mediante medidas en campo y perfiles trazados de forma transversales y perpendiculares a la corona (figuras 15 y 16).



Figura 15. Vista frontal de la zona de arranque del flujo.

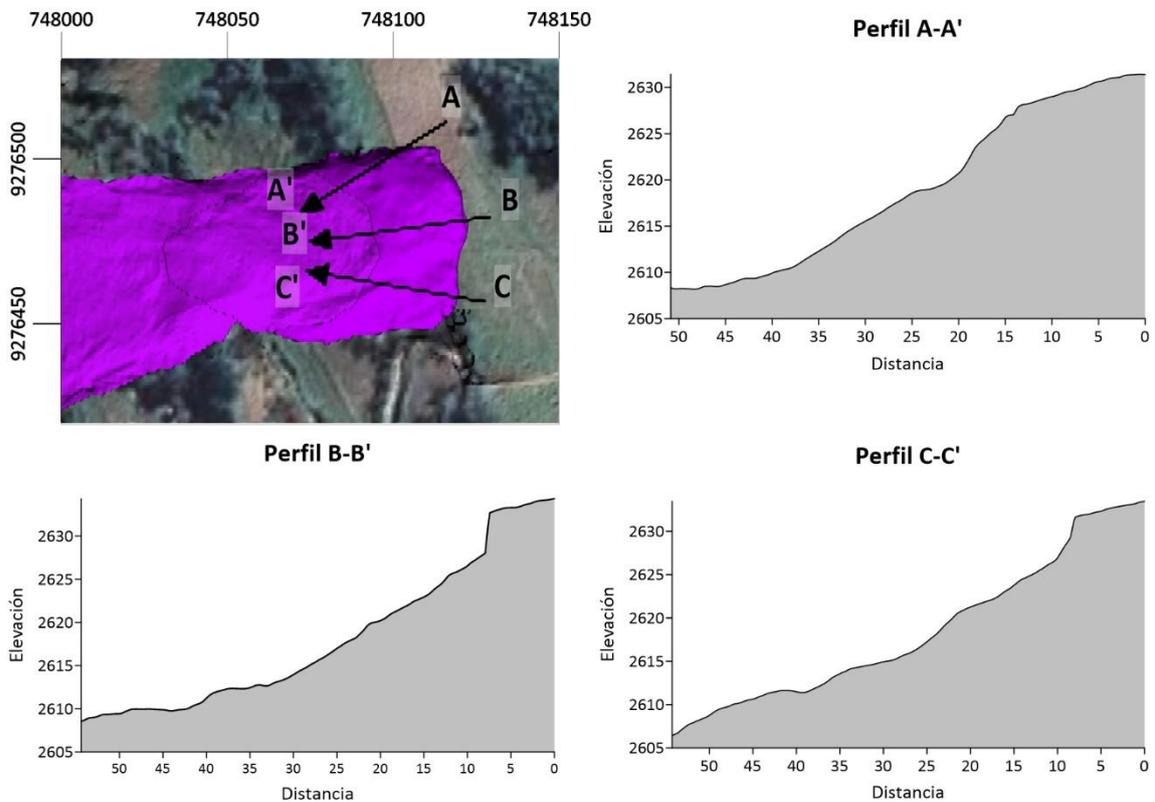


Figura 16. Perfiles transversales de la zona de arranque del flujo (FL-1).

El flujo de tierra ocurrió el 04 de marzo, causando la pérdida de una vida, afectando a la I.E. 10444, una vivienda y un tramo de 100 m de la trocha La Sinra alto hacia el pueblo de Trigopampa (figura 17).

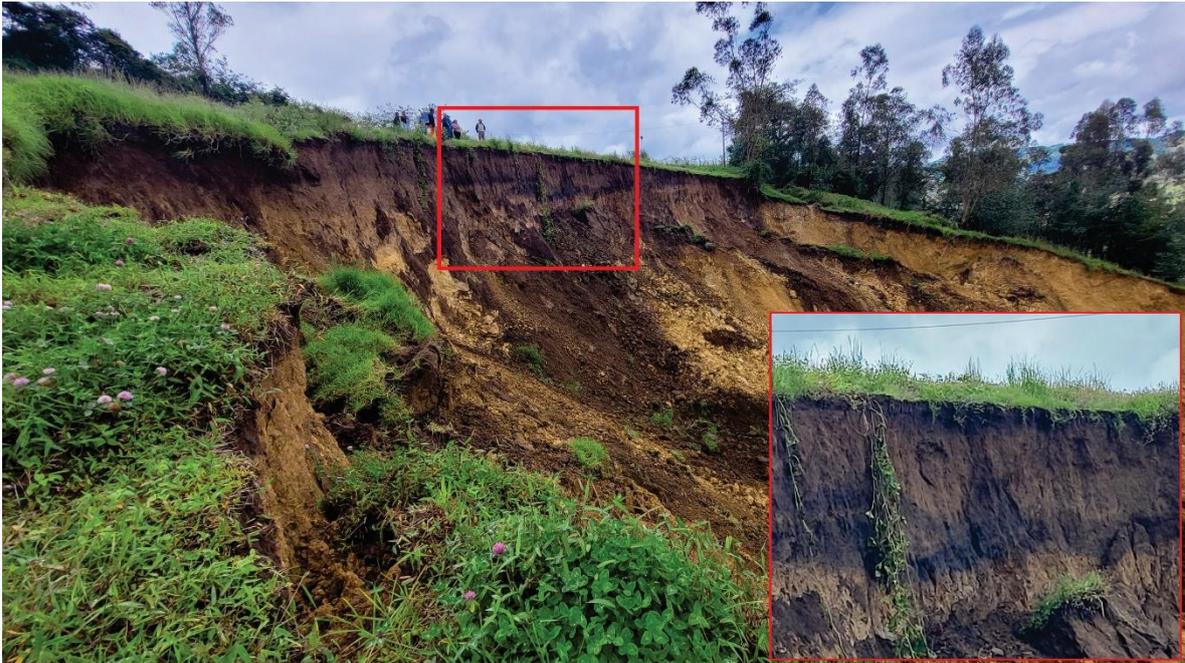


Figura 17. Vista lateral de la zona de arranque del flujo de tierra FL-1.

Fue un movimiento rápido conformado por materiales arcillosos y arenosos (60%) con mezcla de bloques (15%) y cantos (25%) que se desplazaron por la ladera en forma de flujo. La forma del emplazamiento, velocidad y transporte fue controlada principalmente por la pendiente del relieve por donde se desplaza y deposita (figura 18).



Figura 18. Vista ladera abajo del flujo que desciende hasta la I.E. 10444.

Se calculó un desplazamiento de 868 m con dirección noreste a suroeste, que luego cambia de noroeste a sureste, el flujo de tierra alcanzó 1.1 km de largo y 100 m de ancho, el área total afectada tiene 4.1 ha.

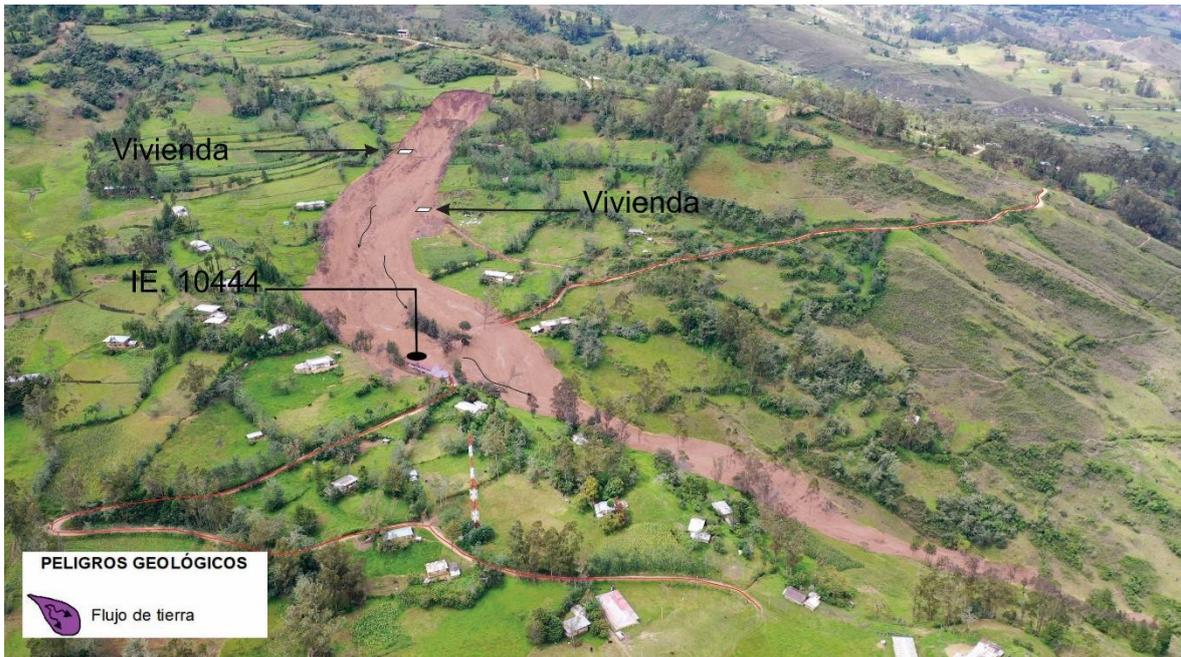


Figura 19. Vista aérea del flujo y la zona afectada.

5.1.3. Flujo (FL-2)

Este evento se ubica en el deslizamiento antiguo (DA-2), afectó 1 ha de terrenos de cultivo y un tramo de 20 m de la trocha carrozable que comunica la comunidad de La Sinra con el sector Trigopampa (figura 20).



Figura 20. Vista aérea del flujo 2, ubicado en un deslizamiento antiguo con procesos de reactivación.

La zona de arranque tiene 21 m de largo y 18 m de ancho, con desplazamientos que superan los 20 m de alto, este escarpe tiene una orientación noroeste a sureste concordante con el comportamiento de los escarpes antiguos (figura 21).



Figura 21. Vista del flujo 2, que afecta la carretera hacia el centro poblado de Trigopampa (FL-2).

Esta zona presenta procesos de reactivación que se evidencian en agrietamientos y hundimientos, las deformaciones identificadas se generan por fuerzas de tracción y tensión debido a la carga de materiales inestables ubicadas en las proximidades de los escarpes antiguos. Las grietas se configuran de forma paralela, se infieren escarpes que se proyectan como nuevas fallas que podrían formar nuevos deslizamientos o flujos (figura 22).



Figura 22. Grietas de 10 a 30 cm de ancho, se extienden de 15 a 40 m de longitud al borde de la carretera La Sinra-Trigopampa.

Mediante la fotogrametría aérea con dron, se delimitó con mayor precisión la geometría de la corona y la extensión de las grietas que se emplazan de norte a sur con aberturas de hasta 0.20 m, 1 m de profundidad y leves desplazamientos con direcciones noreste a suroeste.

5.2. Factores condicionantes

Litológico-estructural

En el área de estudio existe una falla de tipo normal que afecta las calizas y lutitas del Grupo Pulluicana, que se encuentran en contacto con las calizas y lutitas calcáreas de la Formación Pariatambo. Las fallas son estructuras geológicas que controlan el emplazamiento de los estratos, como se destacan en las inmediaciones de la Comunidad de La Sinra, donde los buzamientos se encuentran inclinados a favor de la pendiente.

Además, los afloramientos se muestran muy fracturados y meteorizados, donde se puede observar la alteración de la roca madre debido a la acción de los factores ambientales para formar los materiales y depósitos que conforman el suelo.

Geomorfológico

Los piedemontes coluvio-deluviales originados por la ocurrencia de antiguos deslizamientos, avalanchas y flujos, emplazaron depósitos arcillosos, poco consolidados, porosos y muy susceptibles a movimientos en masa. La dinámica de la zona, modeló relieves con pendientes moderadas a fuertes (figura 23).

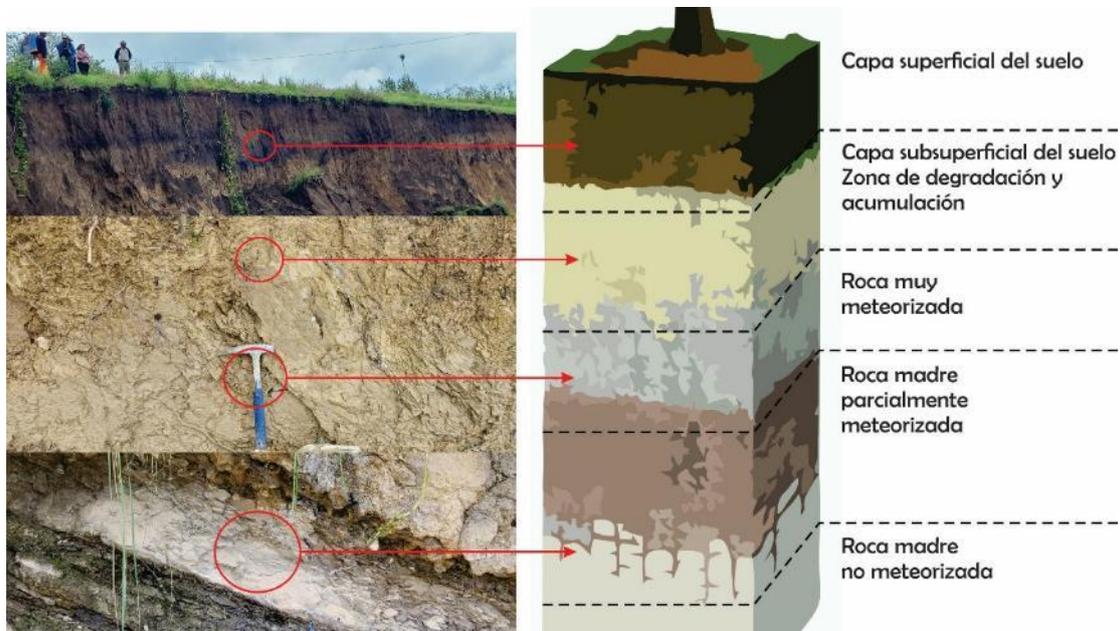


Figura 23. Afloramientos de calizas y lutitas muy fracturadas y meteorizadas.

5.3. Daños por flujo

A continuación, se describen los daños reportados por las autoridades locales del distrito de Lajas y la oficina de INDECI:

5.3.1. I.E. N° 10444 La Sinra

La Institución Educativa de La Sinra, fue afectada por el material compuesto por bloques y sedimentos que alcanzó una altura de 5 m, varias aulas e instalaciones de la escuela quedaron fuera de servicio. Según el portal de Estadística de Calidad Educativa (ESCALE) del MINEDU, la escuela tiene 33 alumnos en el nivel primario (figura 24).



Figura 24. Instalaciones afectadas por el flujo (FL-1) en La Sinra.

5.3.2. Viviendas

El flujo (FL-1) afectó 02 viviendas de adobe y quincha, estas fueron evacuadas por el personal de INDECI. Lamentablemente, al ocurrir el flujo en una de las viviendas se encontraba una pobladora que finalmente perdió la vida (figura 25).

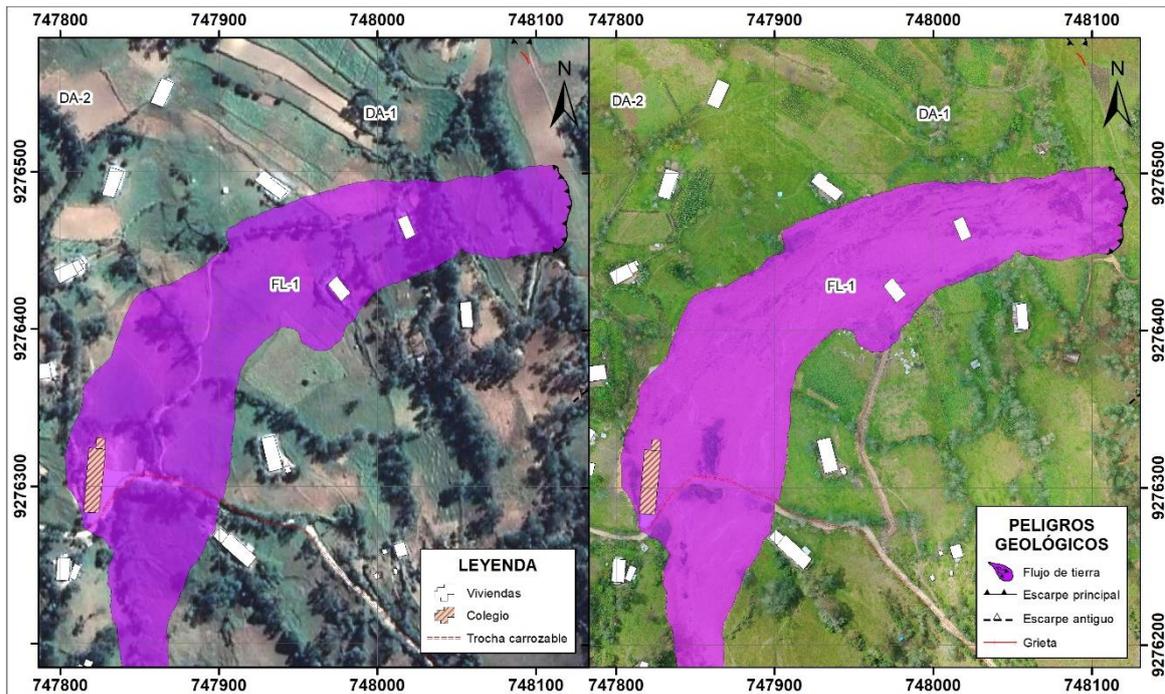


Figura 25. Imagen satelital antes del flujo (Izquierda). Ortofoto obtenida de la fotogrametría con drone realizada por el personal de la DGAR.

5.3.3. Vía de comunicación

El flujo (FL-1) afectó un tramo de 100 m de la trocha carrozable que llega hasta la I.E. 10444 La Sinra, esta vía también comunica al área urbana de la comunidad con los pueblos vecinos (figura 26).



Figura 26. Vista aérea del tramo afectado por el flujo de tierra.

6. CONCLUSIONES

1. En el contexto geológico regional, el ciclo andino originó deformaciones expresadas en pliegues, discordancias y fallas. En el área de evaluación, existe una falla normal que afectó las calizas y lutitas con buzamientos a favor de la pendiente y que afloran en la comunidad de La Sinra.
2. Se tienen afloramientos de calizas con intercalaciones de lutitas en estratos submétricos, con buzamientos a favor de la pendiente. Estas rocas se encuentran muy fracturadas, altamente meteorizadas y húmedas, en algunos puntos existen emanaciones de agua. Los depósitos coluvio deluviales se muestran poco compactos, inconsolidados y medianamente saturados, están conformados por cantos y gravas en una matriz areno arcillosa.
3. Morfológicamente, el área de evaluación se ubica sobre una montaña y colina estructural en rocas sedimentarias (RMCE-rs) con pendientes moderadas a fuertes (5° a 25°). Las vertientes o piedemontes coluvio-deluviales (V-cd), tienen pendientes moderadas (5° a 5°), fueron originadas por antiguos deslizamientos, cuyas zonas de arranque presentan pendientes fuertes a muy fuertes (15° a 45°). La vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at) fue originada por el flujo (FL-1), presenta laderas con pendientes fuertes (15° a 25°), que influyeron en la dinámica del flujo en extensión y velocidad de desplazamiento.
4. En la comunidad de La Sinra, se identificaron 05 deslizamientos antiguos, de los cuales, 02 presentan procesos de reactivación evidenciados en grietas, hundimientos y leves desplazamientos, que involucran extensas áreas donde se ubica el área urbana de la comunidad.
5. El flujo (FL-1) tiene una longitud total de 1.1 km con anchos que variaron de 20 m a 100 m. El evento tiene una zona de arranque alcanzó 66 m de largo y saltos de falla de 1 m a 5 m. El FL-1 afectó 4.1 ha; sin embargo, el área puede extenderse a 5.5 ha debido a las grietas encontradas.
 El flujo (FL-2), afectó 1 ha de terrenos de cultivo y 20 m de trocha carrozable, sobre el escarpe se identificaron grietas longitudinales que se proyectan hacia los escarpes de deslizamientos antiguos.

6. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta el área de evaluación, se considera que, la comunidad de La Sinra, tiene **Peligro Muy Alto** ante la ocurrencia de flujos y **Peligro Inminente** ante la reactivación de antiguos deslizamientos considerándola como una **Zona Crítica**.

7. RECOMENDACIONES

1. Reubicar las viviendas de La Comunidad de La Sinra y alrededores, teniendo como referencia el mapeo de peligros geológicos antiguos y recientes. Las vías de comunicación deben ser replanteadas; mientras que, la I.E. 10444 La Sinra, debe ser declarada en peligro muy alto.
2. Restringir la construcción de nuevas viviendas e infraestructuras, con el potencial de estar expuestas a peligros geológicos inminentes.
3. Implementar un programa de monitoreo de las laderas donde se ubica La Comunidad de La Sinra, con la finalidad de medir de forma periódica las grietas, hundimientos y escarpes identificados y así poder determinar el movimiento de las laderas.
4. Implementar un programa de reforestación en las laderas con procesos de reactivación, establecer zonas de captación de agua para evacuar los manantes hacia quebradas adyacentes.
5. Se debe implementar el cambio del tipo de cultivo, riego tecnificado y uso controlado del agua para riego, ya que la zona tiene una alta susceptibilidad a movimientos en masa.
6. Prohibir la deforestación a través de la tala de árboles, además de la quema de cultivos ubicados en la parte alta y media de la comunidad de La Sinra y alrededores.


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/>

Wilson, J. (1984). Geología de los cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo, Chepén. Hojas: 13-f, 14-d, 14-e, 14-f, 14-g, 15-d, 15-e. INGEMMET Boletín N° 38, Serie A.

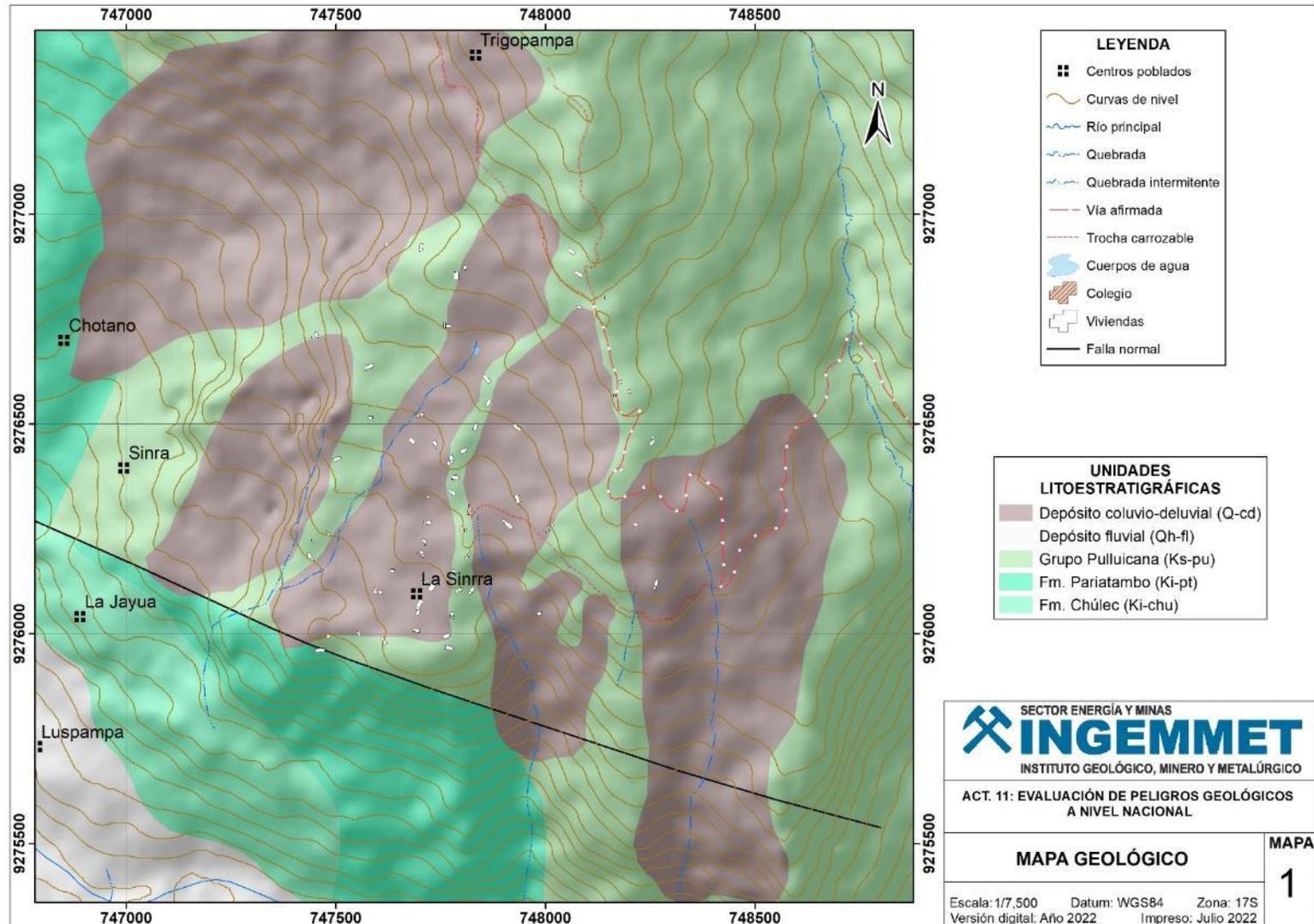
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007) - Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

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

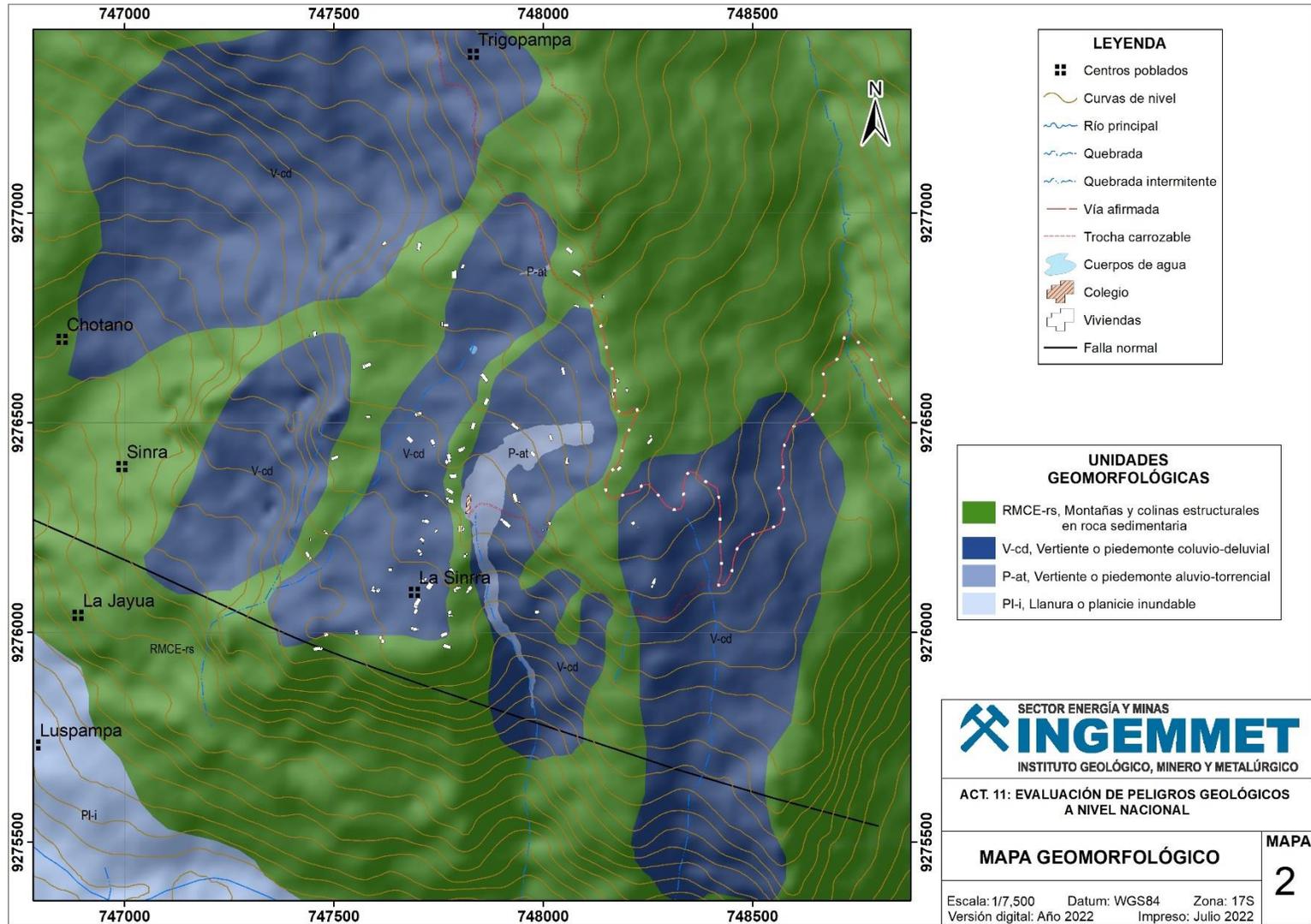
Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

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

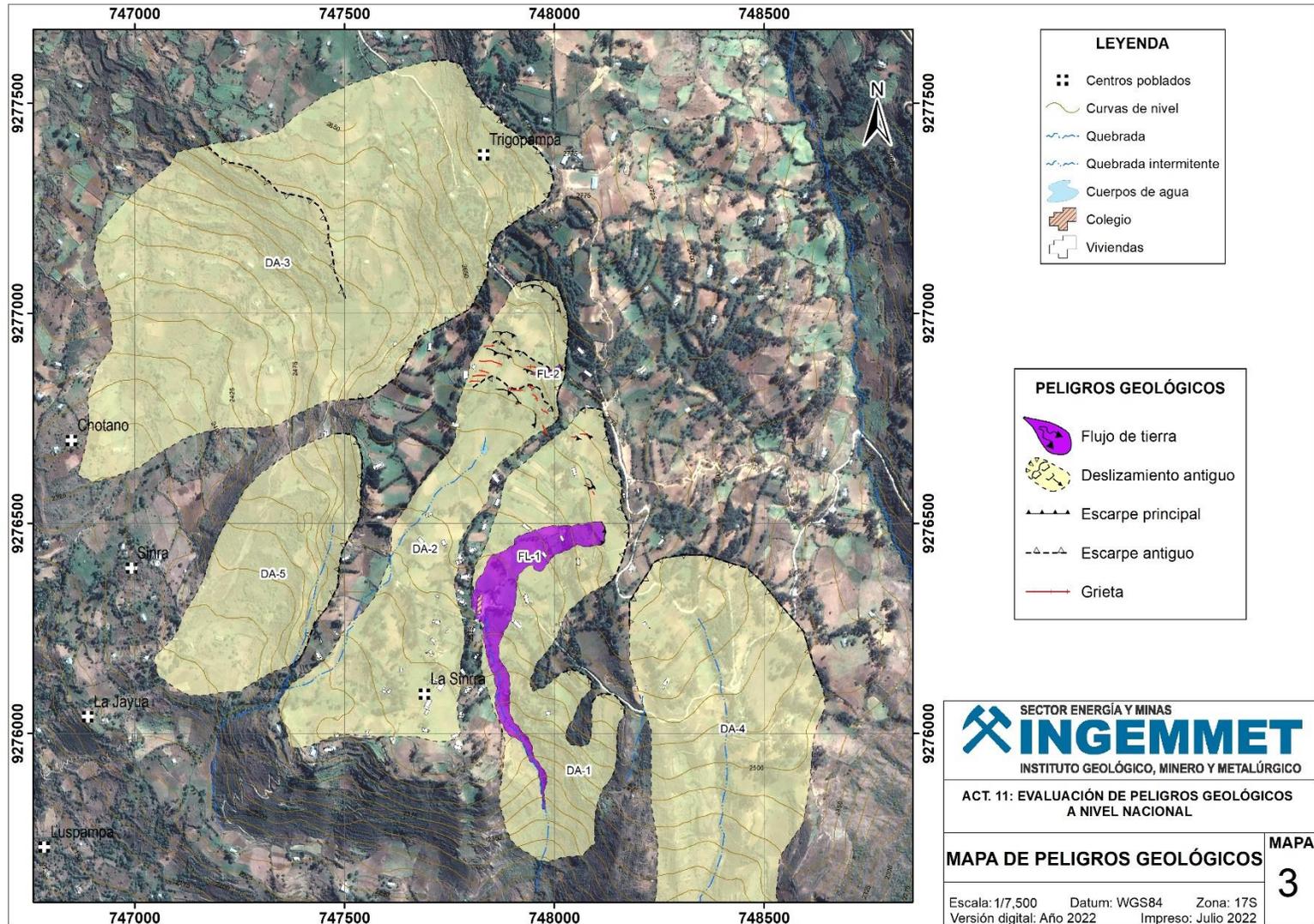
ANEXO 1: MAPAS



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: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

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. Trasmiten al suelo la fuerza del viento
9. Retienen las partículas del suelo disminuyendo la susceptibilidad a la erosión