

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

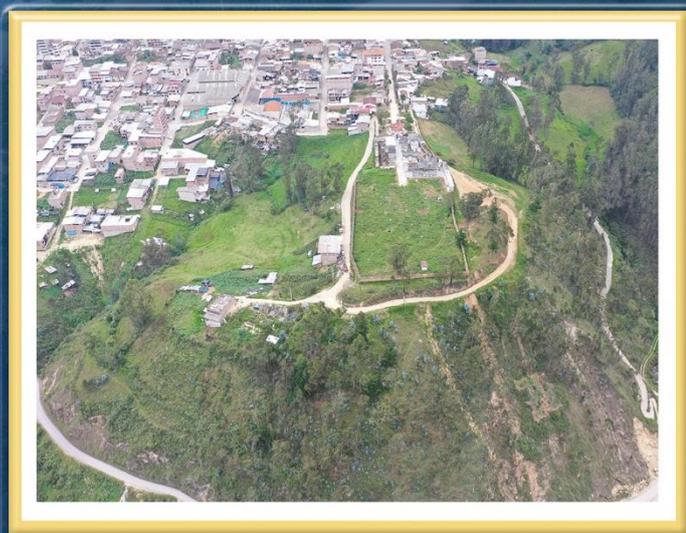
Informe Técnico N° A7512

EVALUACIÓN DEL PELIGRO GEOLÓGICO POR DESLIZAMIENTO EN EL CEMENTERIO SAN JUAN

Departamento: Cajamarca

Provincia: San Miguel

Distrito: San Miguel



JUNIO
2024

**EVALUACIÓN DEL PELIGRO GEOLÓGICO POR DESLIZAMIENTO EN EL
CEMENTERIO SAN JUAN**

***Distrito San Miguel
Provincia San Miguel
Departamento Cajamarca***



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

Equipo de investigación:

Elvis Rubén Alcántara Quispe

Luis Miguel León Ordáz

Referencia bibliográfica

León, L. (2024). "Evaluación del peligro geológico por Deslizamiento en el cementerio San Juan, Distrito San Miguel, Provincia San Miguel, Departamento Cajamarca". INGEMMET, Informe Técnico N° A7512, 33p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Objetivos del estudio.....	4
1.2. Antecedentes.....	5
1.3. Aspectos generales	5
1.3.1. Ubicación	5
1.3.2. Accesibilidad	6
1.3.3. Población	6
1.3.4. Clima.....	7
2. DEFINICIONES	8
3. ASPECTO GEOLÓGICO.....	11
3.1. Unidades litoestratigráficas.....	11
3.1.1. Centro Volcánico Anchipán - Mutis - Evento 2 (Po-amE2).....	11
3.1.3. Depósitos cuaternarios.....	13
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	14
4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE).....	14
4.2. Pendiente del terreno.....	15
4.3. Unidades Geomorfológicas.....	16
4.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	16
4.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional	16
4.3.3. Geoformas particulares	17
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	18
5.1. Deslizamiento rotacional latente del cementerio San Juan	18
5.1.1. Análisis longitudinal.....	20
5.1.2. Características visuales y morfométricas.....	23
6. CONCLUSIONES	24
7. RECOMENDACIONES.....	25
8. BIBLIOGRAFÍA.....	26
ANEXO 1. MAPAS	27
ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS.....	31

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por deslizamiento, realizados en el cementerio San Juan, que pertenece a la jurisdicción del distrito y provincia de San Miguel, departamento Cajamarca. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualización, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

Las unidades geológicas que afloran en la zona evaluada corresponden a flujos piroclásticos de la unidad Centro Volcánico Anchipan - Mutis - Evento 2, conformadas por macizos rocosos muy fracturados y altamente meteorizados. Estos están cubiertos por depósitos coluvio deluviales (limo arcilloso de plasticidad media a alta).

El área configura una colina en roca volcano sedimentaria, con terrenos de pendiente moderada a fuerte (5° a 25°); además de una vertiente con depósito de deslizamiento, con pendiente moderada (5° a 15°) hacia el sur de la colina.

El proceso identificado en el cementerio San Juan y alrededores corresponde a movimientos en masa de tipo deslizamiento rotacional latente; porque ha presentado reactivaciones periódicas en años anteriores. El evento más reciente fue en marzo del 2022, que ocasionó el colapso de una parte del muro perimetral sur del cementerio.

El deslizamiento abarca un área de 2.5 ha, con un escarpe principal de 148 m y un salto vertical de 2 m. El terreno presenta pendiente promedio de 9°.

El deslizamiento ha afectado instalaciones del cementerio San Juan en varias ocasiones, principalmente al muro perimetral, nichos, pisos, entre otros. Además, pone en peligro la vida y salud de los usuarios y personal que trabajan en sus instalaciones.

En la parte exterior del cementerio, el deslizamiento ha afectado una vía local en 214 m, además podría afectar 2 viviendas construidas en los últimos años, dentro del cuerpo del deslizamiento.

Como factor detonante, se considera a las precipitaciones pluviales extremas y prolongadas, como las registradas durante fenómenos El Niño.

Se concluye que el área de estudio es considerada como **Zona Crítica** de **Alto** peligro a la ocurrencia a deslizamiento.

Finalmente, se brindan las recomendaciones para las autoridades competentes y tomadores de decisiones, como la reubicación del cementerio San Juan, construcción de un sistema de drenaje pluvial impermeabilizado, sellar los agrietamientos, monitorear el avance del deslizamiento, prohibir nuevas construcciones dentro del cuerpo del deslizamiento y reforestar las laderas.

1. INTRODUCCIÓN

El INGEMMET, mediante la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) y el “Servicio de asistencia en evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud remitida por el GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA Oficio N° D686-2023-GR.CAJ/DREM, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por deslizamiento en el cementerio San Juan, cuya ocurrencia es periódica y latente durante las temporadas de lluvias, el último evento ocurrido en marzo del 2022.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los ingenieros Luis León y Elvis Alcántara, quienes realizaron la evaluación de peligros en la localidad mencionada el día 9 de mayo del 2024.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: etapa de pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET; etapa de campo a través de la observación, toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada; y para la etapa final de gabinete se realizó el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, cartografiado e interpretación, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe

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

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se presentan en el cementerio San Juan, eventos que pueden comprometer la seguridad física de personas, obras de infraestructura y vías de comunicación en la zona de influencia de los eventos.
- b) Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

1.2. Antecedentes

Existen trabajos previos y publicaciones del INGEMMET, que incluye en el cementerio San Juan, relacionados a temas de geología y geodinámica externa, de los cuales destacan los siguientes:

- Boletín N° 31 Serie A, “Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y San Miguel” (Reyes, 1980) donde describe las unidades geológicas a una escala 1:100 000; menciona brechas piroclásticas andesíticas de la Formación Llama. En el cartografiado geológico integrado a escala 1:50 000, (Ingemmet, versión 2022) por detalle, se describen depósitos piroclásticos dacíticos Centro Volcánico Anchipan - Mutis - Evento 2.
- El Boletín N° 44 Serie C, Estudio de Riesgo Geológico en la Región Cajamarca (Zavala & Rosado, 2011) presenta un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, a escala 1:250 000; donde el cementerio San Juan se sitúa en una zona de susceptibilidad de baja a media ante la ocurrencia de movimientos en masa.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada corresponde al cementerio San Juan que pertenece al distrito y provincia San Miguel, departamento Cajamarca (figura 1), ubicada en las coordenadas UTM WGS 84 – Zona: 17S descritas en el tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de las áreas de estudio.

N°	UTM – WGS 84 - ZONA 18S		Coordenadas Decimales (°)	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	738130	9225940	-6.997876	-78.844528
2	738130	9225410	-7.002667	-78.844505
3	737650	9225410	-7.002687	-78.848846
4	737650	9225940	-6.997896	-78.848869
Coordenada central de los peligros identificados				
C	737872	9225683	-7.000206	-78.846855

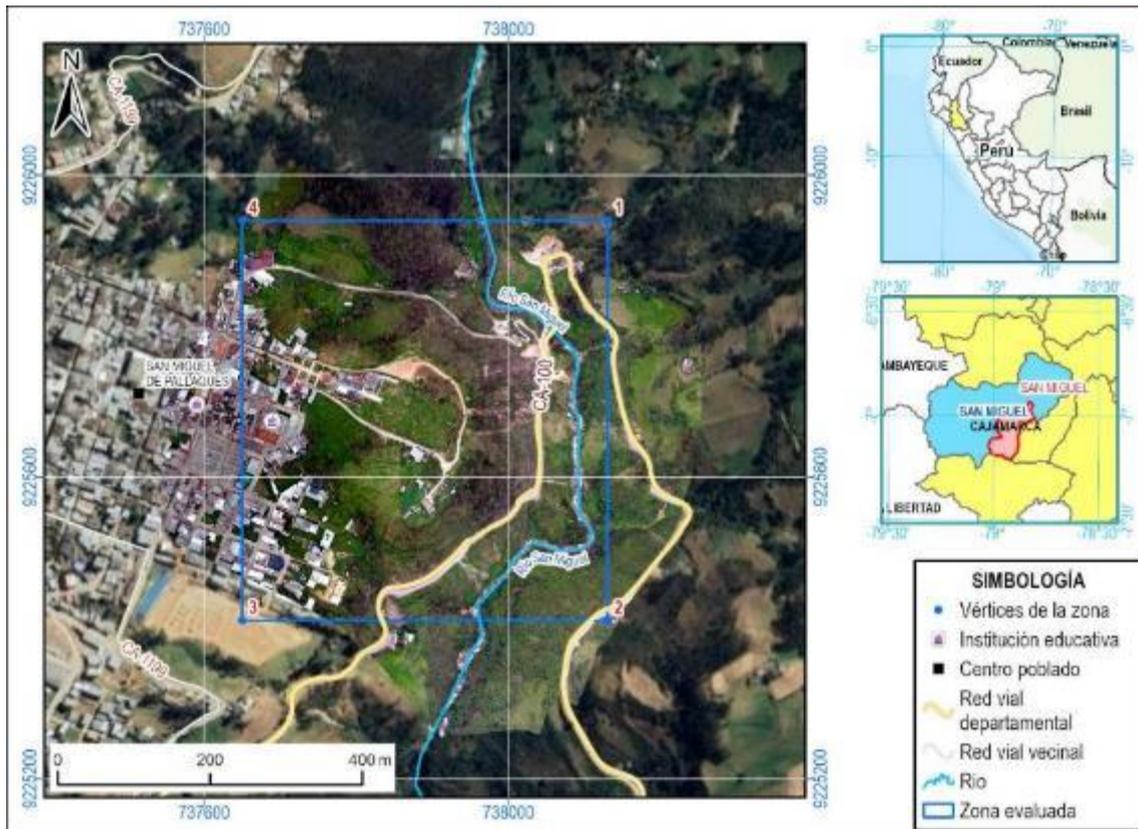


Figura 1. Ubicación del área evaluada (en línea azul).

1.3.2. Accesibilidad

El acceso desde la ciudad de la ciudad de Cajamarca se realiza a través de la vía nacional asfaltada PE-3N hasta la localidad de San Pablo, desde donde se toma la vía departamental CA-103 hasta la localidad de San Miguel; tal como se detalla en la siguiente ruta (tabla 2, figura 2):

Tabla 2. Rutas y acceso a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Ciudad de Cajamarca – San Pablo	Asfaltada	77	1 horas 40 minutos
San Pablo – San Miguel (cementerio San Juan)	Asfaltada	28	1 hora

1.3.3. Población

De acuerdo a la información del XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas de 2017 (INEI, 2018), la localidad de San Miguel, tiene una población de 3 989 habitantes, distribuidos en 1 361 viviendas, con acceso a red pública de agua, energía eléctrica y desagüe.

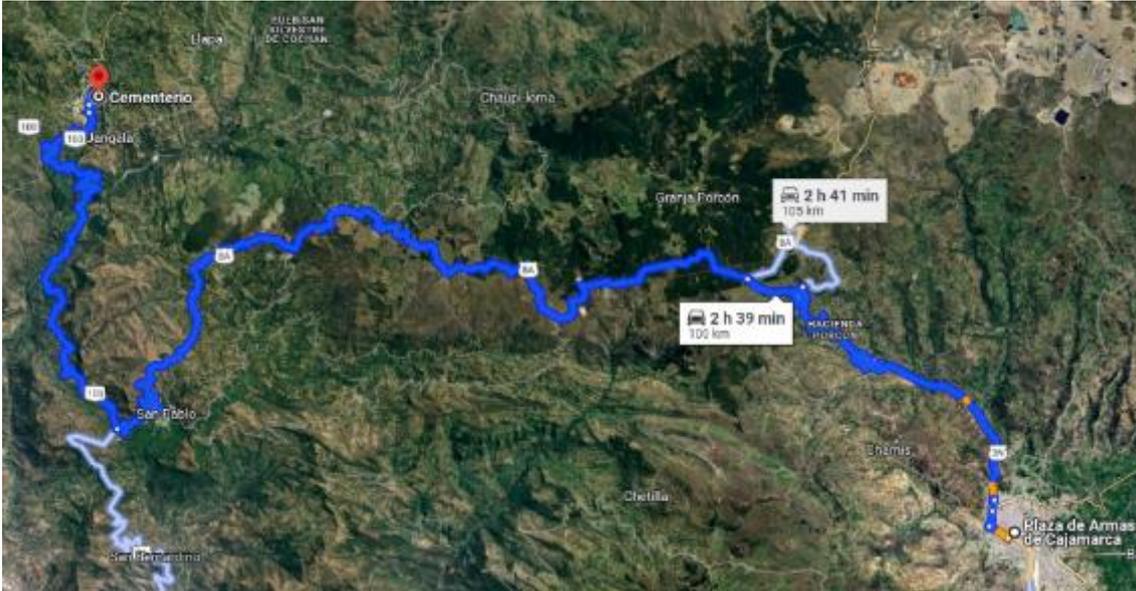


Figura 2. Ruta de acceso desde la ciudad de Cajamarca hasta el cementerio San Juan. **Fuente:** Google Maps.

1.3.4. Clima

Según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite - (Senamhi, 2020), la zona de estudio posee un clima Lluvioso con otoño e invierno secos, templado (B (o, i) B'), con una temperatura máxima promedio de hasta 21°C, una temperatura mínima promedio desde 3°C y una precipitación anual entre 700 mm a 1500 mm.

Entre los años 2017-2024, los meses de enero – marzo, el sector evaluado percibió precipitaciones de hasta 74 mm/día (figura 3) considerados por el Senamhi, en su consolidado de umbrales de precipitación del 2014, como Extremadamente Lluvioso (Senamhi, 2014).

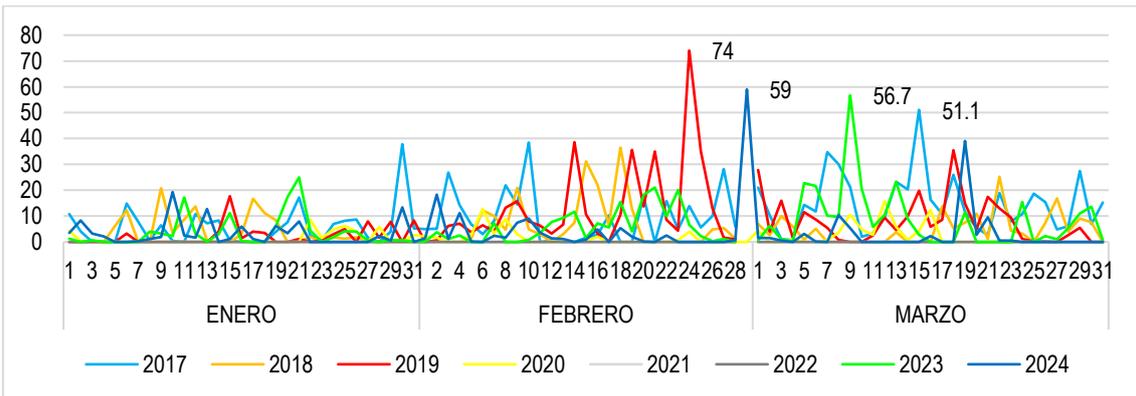


Figura 3. Precipitación diaria del mes de marzo entre los años 2014-2024, en la Estación San Miguel (San Miguel). **Fuente:** Senamhi.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. Todas estas denominaciones tienen como base el libro: “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA:GCA, 2007); donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

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

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

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

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

Aluvial: Génesis de la forma de un terreno o depósito de material debida a la acción de las corrientes naturales de agua.

Coluvio-deluvial: Forma de terreno o depósito formado por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte), los cuales se encuentran interestratificados y por lo general no es posible diferenciarlos.

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

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

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

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

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

Erosión de laderas: Se manifiesta a manera de láminas, surcos y cárcavas en los terrenos. Un intenso patrón de estos tipos de erosiones se denomina tierras malas o bad lands. Este proceso comienza con canales muy delgados cuyas dimensiones, a medida que persiste la erosión, pueden variar y aumentar desde estrechas y poco profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad.

Erosión fluvial: Este fenómeno está relacionado con la acción hídrica de los ríos al socavar los valles, profundizarlos, ensancharlos y alargarlos. Ocurre cuando periodos con abundantes o prolongadas precipitaciones pluviales, en las vertientes o quebradas, aumentan el caudal de los ríos principales o secundarios que drenan una cuenca.

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

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

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

Flujo de detritos (huaico): Flujo con predominancia mayor de 50% de material grueso (bloques, gravas), sobre los finos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.

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

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

Ladera: Superficie natural inclinada de un terreno.

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

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

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

Reactivado: Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable o sin movimiento por algún periodo de tiempo.

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).

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

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

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

Velocidad: Para cada tipo de movimiento en masa se describe el rango de velocidades, parámetro importante ya que ésta se relaciona con la intensidad del evento y la amenaza que puede significar. De acuerdo con Cruden y Varnes (1996), las escalas de velocidades corresponden a: extremadamente lenta, muy lenta, lenta, moderada, rápida, muy rápida y extremadamente rápida.

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. ASPECTO GEOLÓGICO

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base la revisión y actualización del cuadrángulo de San Marcos (Reyes, 1980), y el reciente cartografiado a escala 1:50 000 (Ingemmet, 2022b) donde se tienen principalmente depósitos piroclásticos de composición dacítica. La geología se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas y observaciones de campo, los resultados se muestran en el mapa 1.

3.1. Unidades litoestratigráficas

Comprenden unidades volcano sedimentarias del Paleógeno y depósitos cuaternarios inconsolidados, producto de movimientos en masa.

3.1.1. Centro Volcánico Anchipan - Mutis - Evento 2 (Po-amE2)

Esta unidad está conformada por depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas, soldados, ricos en cristales, gris blanquecinos, siendo su espesor de 120 m (Ingemmet, 2022a).

Esta unidad se ubica a lo largo del cementerio San Juan, sus macizos rocosos se encuentran muy fracturados y altamente meteorizados, debido a la alta susceptibilidad de sus minerales a sufrir cambios debido a las aguas subterráneas ácidas de la zona (fotografía 1).



Fotografía 1. Macizo rocoso de depósitos piroclásticos muy fracturados y altamente meteorizados de la unidad Centro Volcánico Anchipan - Mutis - Evento 2. **Ubicación:** E: 737917, N: 9225628, Z: 2600.

La resistencia geológica de sus macizos rocosos es baja, reflejado en una resistencia a la compresión uniaxial (tabla 3) de entre 5 a 25 MPa y un Índice Geológico de Resistencia (Hoek, 2007) de entre 30 a 40 (figura 4).

Tabla 3. Estimaciones de la resistencia a la compresión uniaxial. **Fuente:** Hoek, 2007

Grado	Término	Estimación en campo de la resistencia	Resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)
R6	Extremadamente fuerte	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	>250
R5	Muy fuerte	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100-250
R4	Fuerte	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo	50-100
R3	Medianamente fuerte	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25-50
R2	Débil	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5-25
R1	Muy débil	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1-5
R0	Extremadamente débil	Se raya con la uña	0.25-1

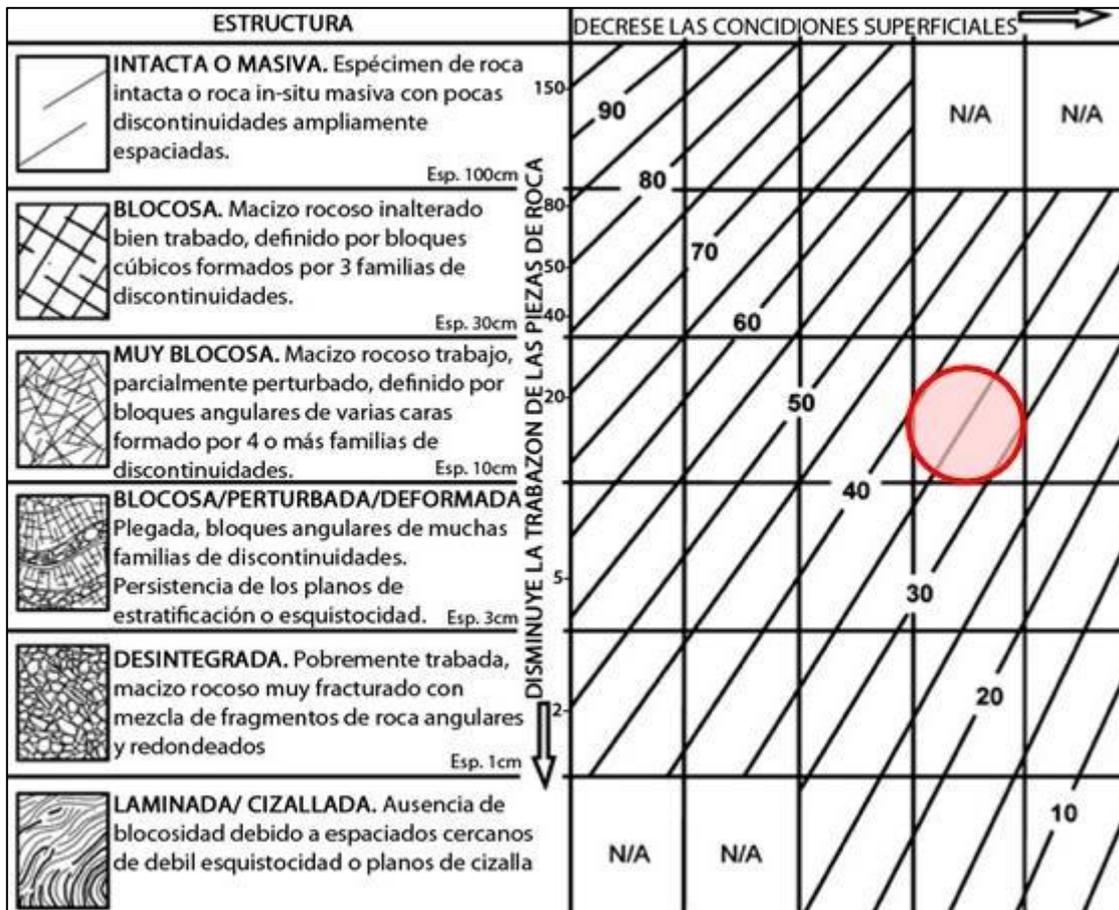


Figura 4. Estructura y calidad de las discontinuidades del macizo rocoso de la unidad Centro Volcánico Anchipan - Mutis - Evento 2, GSI promedio de entre 30 a 40. **Fuente:** Tabla del Índice Geológico de Resistencia GSI (Hoek, 2007).

Depósito aluvial

Se ubican en las partes bajas de la zona conformando terrazas de pendiente suave a llana, que se originaron producto de la acumulación de suelos transportados por corrientes de alta energía estacionales, ahora son utilizados para el pastoreo y siembras agrícolas.

Depósito coluvial

Estos suelos se ubican en las faldas de las colinas de alta pendiente, donde existen o existieron derrumbes, los que trasladaron fragmentos rocosos angulosos y sub angulosos a corta distancia; los componentes finos son de arenas y limos poco consolidados.

Depósito proluvial

Corresponden a suelos ubicados en las quebradas de la zona, donde en temporadas de lluvias intensas se producen flujos torrenciales que acarrearán suelos de bloques y cantos sub redondeados en una matriz de limos y arcillas de mediana a alta plasticidad.

Depósito fluvial

Son suelos ubicados en el cauce del río San Miguel y en sus proximidades, mantienen una composición de suelos gruesos, cantos y gravas, principalmente, debido al constante flujo de corrientes de agua, que acarrearán los suelos más finos de limos y arcillas.

Depósito antropogénico

Corresponde a los terrenos ubicados al oeste de la zona evaluada, en la ciudad de San Miguel, donde se han trasladado artificialmente suelos de diversa composición para la conformación de cimientos de viviendas y vías.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Además de la cartografía regional de geomorfología, a escala 1:250 000 del boletín de riesgos geológicos de la región Cajamarca, se utilizó imágenes y modelos digitales de elevación detallados, obtenidos de levantamientos fotogramétricos con dron en abril del 2024 por el Ingemmet, lo cual permitirá estudiar el relieve, pendientes y demás características; con el fin de describir subunidades a detalle (escala 1/5 000).

4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)

El cementerio San Juan presenta elevaciones que van desde los 2 448 m hasta los 2 616 m, en los cuales se distinguen 7 niveles altitudinales (figura 5), visualizando la extensión con respecto a la diferencia de alturas; el área con mayor pendiente corresponde a terrenos entre altitudes 2 525 y 2 600 m, con terrenos de pendiente promedio escarpada a muy escarpada (>25°) correspondiente a una geoforma de montaña en roca volcánica sedimentaria.

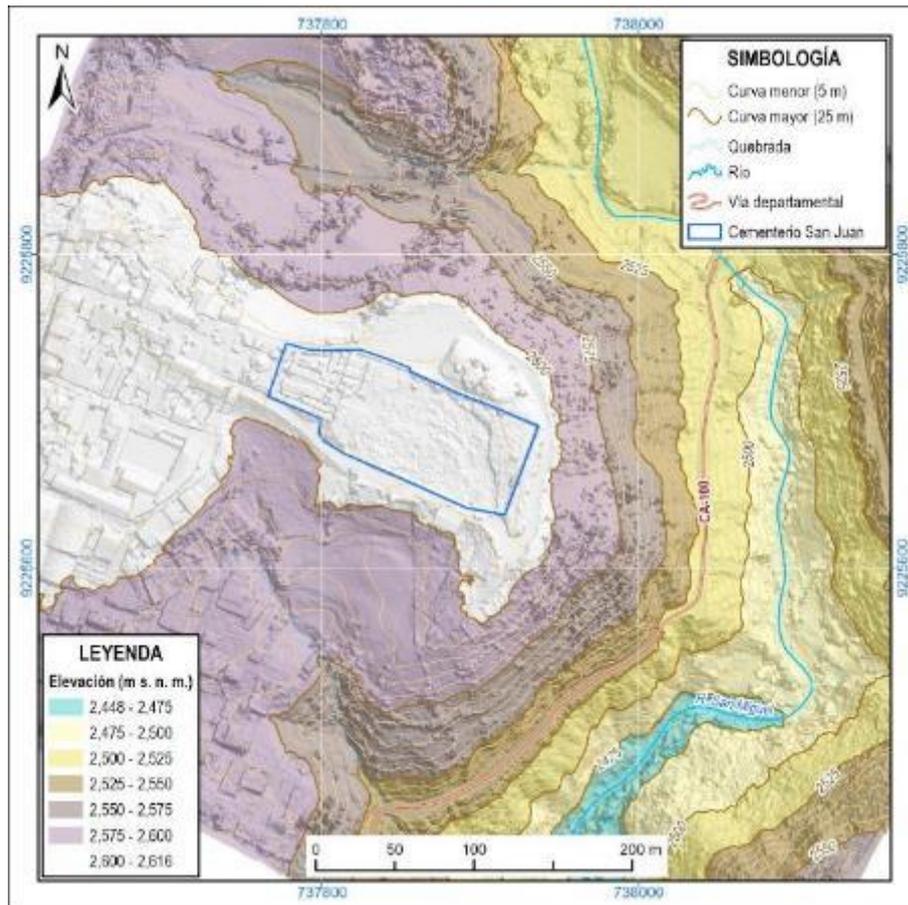


Figura 5. Modelo digital de elevaciones del área evaluada.

4.2. Pendiente del terreno

La zona evaluada, cementerio San Juan, presenta terrenos con pendientes que varía de baja pendiente (1 a 5°) en la parte alta de la colina, a escarpadas y muy escarpadas (>25°) en las laderas de bajas (figura 6; mapa 2).

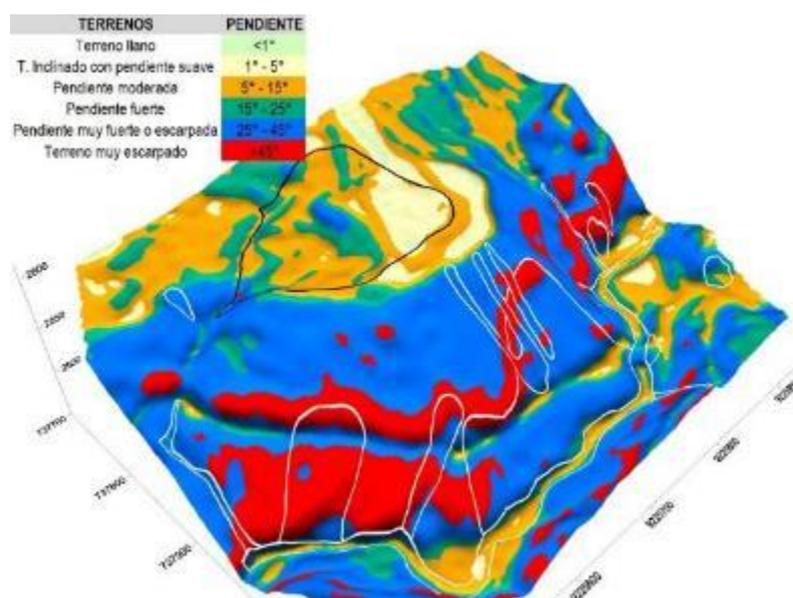


Figura 6. Modelo 3D de las pendientes del cementerio San Juan, el deslizamiento San Juan está delimitado en línea negra y los otros movimientos en masa en línea blanca

4.3. Unidades Geomorfológicas

De acuerdo a su origen, se distinguen geoformas tanto de carácter tectónico degradacional y erosional (colina en roca volcánica sedimentaria), como de carácter deposicional y agradacional (vertiente con depósito de deslizamiento, vertiente coluvial de detritos, piedemonte proluvial, terraza aluvial y planicie inundable); se grafican en la figura 7 y en el mapa 3.

4.3.1. 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 ellos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

Unidad de colina

Estas geoformas presentan menor altura que una montaña (menos de 300 metros desde el nivel de base local). Las colinas presentan una inclinación promedio en sus laderas superior a 9° y divergen en todas direcciones a partir de la cima relativamente estrecha de base aproximadamente circular (Villota, 2005).

- Sub unidad de colina en roca volcánica sedimentaria (C-rvs)

Corresponde a la mayor parte del área evaluada, donde existen colinas con elevaciones de entre 250 a 150 m de alto; la ciudad de San Miguel, así como el cementerio San Juan se encuentran ubicados en sus partes altas.

4.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

Son el resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos determinados por fuerzas de desplazamiento y por agentes móviles; tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra mediante el depósito de materiales sólidos resultante de la denudación de terrenos más elevados.

Unidad de Piedemontes

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

Corresponden a zonas con forma cóncava donde se han desarrollado movimientos en masa de tipo deslizamiento, generando la acumulación de suelos de varios metros de espesor, abunda la vegetación y humedad.

- Subunidad de piedemonte o vertiente coluvial de detritos (V-d)

Corresponden a terrenos ubicados en las faldas de las colinas, donde han ocurrido derrumbes recientes o antiguos, conformando terrenos poco consolidados y de composición de bloques y cantos sub angulosos.

- **Subunidad de piedemonte o vertiente coluvial de detritos (V-d)**

Corresponden a zonas con forma cóncava donde se han desarrollado movimientos en masa de tipo deslizamiento, generando la acumulación de suelos de varios metros de espesor, abunda la vegetación y humedad.

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

Son terreno ubicados en los cursos de las quebradas de la zona, con abundante vegetación, su pendiente va de moderada a fuerte (5° a 25°).

Unidad de Planicies

- **Subunidad de terraza aluvial (T-a)**

Corresponden a terrenos ubicados en los fondos de valles, próximas a causes de ríos, mantienen una pendiente de suave a llana (<5°).

- **Subunidad de piedemonte o vertiente coluvial de detritos (V-d)**

Son los terrenos ubicados en el curso del río San Miguel, tienen una pendiente de suave a llana (<5°).

4.3.3. Geformas particulares

- **Depósito antrópico**

Esta unidad corresponde al casco urbano de la ciudad de San Miguel, donde existen depósitos de suelos de variada composición, acarreados por acción antrópica para viviendas y vías de comunicación.



Figura 7. Geofomas cartografiadas en el cementerio San Juan: Montaña en roca volcánica sedimentaria (M-rvs), montaña estructural en roca volcánica (ME-rs) y vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd).

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

El peligro geológico principal reconocido en la zona evaluada, corresponde a un movimiento en masa, tipo deslizamiento rotacional (figura 8) (PMA:GAC 2007); adicionalmente también se han identificado derrumbes, flujos de detritos y erosión en cárcava. Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

Estos movimientos en masa, tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son la geometría y pendiente del terreno, el tipo de roca, el tipo de suelos, el tipo de drenaje superficial-subterráneo y el tipo de cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona, así como la sismicidad.



Figura 8. Modelo 3D del cementerio San Juan, el deslizamiento inactivo latente está delimitado en línea roja y los demás peligros en línea amarilla.

5.1. Deslizamiento rotacional latente del cementerio San Juan

Este movimiento en masa tiene actividad más de 30 años, según testimonio de los pobladores, el cual tiene reactivaciones en situaciones de lluvias intensas que generan nuevos asentamientos del terreno y agrietamientos a las infraestructuras del cementerio, como muros perimetrales, nichos y demás.

La activación más reciente tuvo lugar en marzo del 2022 (SINPAD 169574), cuando colapsó una parte del muro perimetral del cementerio (fotografía 5).

Su extensión abarca desde la parte alta, donde se encuentra el cementerio San Juan, a la parte baja de la colina, donde termina en una quebrada local; presentando diversos escarpes secundarios y agrietamientos transversales que afectan al terreno (figura 9).



Figura 9. Vista del deslizamiento del Cementerio San Juan, se aprecia el cuerpo del deslizamiento (delimitado en línea amarilla), escarpes secundarios (en línea roja) y agrietamientos transversales (en línea naranja).

Según el análisis histórico, en mayo 2010 se evidenciaban los escarpes y partes del deslizamiento, pero no presentaba elementos expuestos en la zona afectada (figura 10).



Figura 10. Imagen satelital de mayo del 2010, donde se muestra ausencia de viviendas en el cuerpo del deslizamiento (delimitado en línea amarilla).

5.1.1. Análisis longitudinal

En la figura 11, se muestra el perfil longitudinal a lo largo del cuerpo del deslizamiento del cementerio San Juan, donde se aprecia el terreno con pendiente moderada, lo que ha contribuido al avance lento del evento.

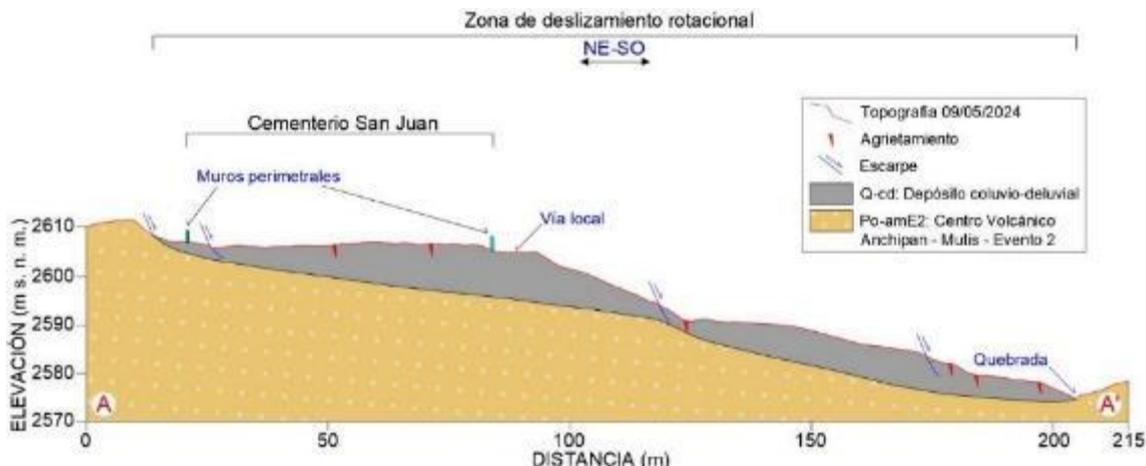


Figura 11. Perfil A-A', donde se aprecia la distribución del cuerpo del deslizamiento y sus componentes; además de la zona afectada del cementerio San Juan.

En la figura 12, se muestra la parte alta del deslizamiento, donde las infraestructuras del cementerio San Juan están siendo afectadas.



Figura 12. Vista de la parte alta del deslizamiento, donde se aprecia el terreno y los muros perimetrales del cementerio San Juan, afectados; el cuerpo del deslizamiento está delimitado en línea amarilla y el escarpe secundario en línea roja.

Los muros perimetrales son afectados por el escarpe principal al norte (fotografía 3) y por los agrietamientos laterales derecho (fotografía 3) e izquierdo (fotografía 4); produciendo el agrietamiento, colapso parcial o colapso total de la infraestructura.



Fotografía 3. Muro perimetral norte afectado por el deslizamiento. **Ubicación:** E: 737853; N: 9225718; Z: 2603.



Fotografía 4. Detalle del muro perimetral sur agrietado, se encuentra ubicado al límite lateral derecho del deslizamiento. **Ubicación:** E: 737913; N: 9225628; Z: 2597.



Fotografía 5. Detalle del muro perimetral colapsado en marzo del 2022, en el límite lateral izquierdo del deslizamiento. **Ubicación:** E: 737754; N: 9225713; Z: 2600.

Fuera del cementerio San Juan también, el deslizamiento ha afectado a la vía local paralela al muro sur del cementerio (fotografía 6), como también a terrenos de pastoreo y de árboles de la comunidad (figura 13).



Fotografía 6. Agrietamiento transversal en la vía local que cruza paralelamente al lado sur del cementerio San Juan. **Ubicación:** E: 737808; N: 9225669; Z: 2595.



Figura 13. Agrietamientos y árbol caído en la parte sur del deslizamiento.

En el sector este del cuerpo del deslizamiento se han construido viviendas en los últimos años (menos de 10 años), durante la inspección de campo no se han determinado afectaciones en sus infraestructuras.



Figura 14. Vista de las viviendas e infraestructuras recientes, construidas en el cuerpo del deslizamiento.

5.1.2. Características visuales y morfométricas

- Tipo de movimiento: Deslizamiento rotacional en suelos.
- Estado: Latente.
- Estilo: Único
- Distribución: Retrogresivo
- Deformación del terreno: Escalonado
- Velocidad: Lento (alcanza algunos centímetros al año).
- Composición: Depósito coluvio-deluvial conformado por limo arcilloso de plasticidad media a alta (tabla 4).

Morfometría

- Área: 2.5 ha.
- Perímetro: 633 m.
- Diferencia de alturas corona-punta: 27 m.
- Desplazamiento horizontal: 180 m.
- Pendiente promedio del terreno: moderada (9°)
- Dirección del movimiento: N222 (NE-SO).
- Salto vertical de la escarpa principal: 2 m.
- Apertura del escarpe principal: 0.5 m
- Longitud del escarpe principal: 148 m.

Factores condicionantes

- Litología y naturaleza incompetente de materiales, compuesto por suelos poco consolidados de composición limo arcillosa de moderada a alta plasticidad.
- Ladera de pendiente moderada (5° a 15°), que conforman geoforma de vertiente con depósito de deslizamiento.
- Abundante humedad propia de la zona.

Factores antrópicos

- Ausencia de medidas de control de riesgos.

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales extremas y prolongadas, como las registradas durante fenómenos El Niño.

Daños ocasionados y probables

- Cementerio San Juan afectado en muros perimetrales, nichos, pisos y demás infraestructuras; así como comprometidas la vida y salud de los usuarios de dichas instalaciones.
- Vía vecinal afectada en 214 m.
- 2 nuevas viviendas construidas en el cuerpo del deslizamiento que pueden ser afectadas.

6. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica, geomorfológica del cementerio San Juan, así como a los trabajos de campo, y la evaluación de peligros geológicos, se emiten las siguientes conclusiones:

- a. El cementerio San Juan está ubicado al este del casco urbano de la ciudad de San Miguel, en la ladera de una colina con pendiente moderada (5° a 15°), donde se presenta un deslizamiento, que viene afectando al cementerio y a una vía local. El deslizamiento se mantiene activo por más de 30 años, según testimonio de los pobladores. La reactivación más reciente fue en marzo 2022.
- b. Litológicamente, predominan flujos piroclásticos de la unidad Centro Volcánico Anchipan - Mutis - Evento 2, que conforman macizos rocosos muy fracturados y altamente meteorizados; mientras que los deslizamientos generan depósitos coluvio deluviales.
- c. La geomorfología del cementerio San Juan contempla colina en roca volcano sedimentaria, con terreno de pendiente moderada, además se tiene una vertiente con depósito de deslizamiento en la ladera sur.
- d. Se ha identificado un deslizamiento rotacional latente, que posee un área de 2.5 ha, con un escarpe principal con longitud de 148 m y salto vertical de 2 m. También se presentan diversos agrietamientos que han afectado las instalaciones del cementerio San Juan, ubicado en parte del cuerpo del deslizamiento, una vía vecinal en un tramo de 214 m; además podría afectar dos nuevas viviendas construidas dentro del cuerpo del deslizamiento.
- e. El factor detonante han sido precipitaciones pluviales extremas y prolongadas, como las producidas durante Fenómenos El Niño.
- f. De acuerdo al análisis en el área afectada por el deslizamiento en el Cementerio San Juan, por las condiciones geomorfológicas y geodinámicas, se considera **Zona Crítica de Peligro Alto**.

7. RECOMENDACIONES

Las medidas correctivas que a continuación se brindan tienen por finalidad mitigar el impacto de peligros asociados al deslizamiento. Así mismo, la implementación de dichas medidas permitirá darle mayor seguridad a la infraestructura expuesta a los peligros evaluados.

- a) Reubicar las instalaciones del cementerio San Juan, a un lugar que preste las condiciones de estabilidad adecuadas.
- b) Construir un sistema de drenaje pluvial impermeabilizado alrededor de todo el cuerpo del deslizamiento (figura 15).
- c) Sellar los agrietamientos y escarpes, a fin de evitar la infiltración de agua procedente de las precipitaciones.
- d) Monitorear el avance del deslizamiento mediante la instalación de hitos topográficos y la lectura periódica de las coordenadas de los mismos.
- e) Prohibir la construcción de viviendas en el cuerpo del deslizamiento; además de reasentar progresivamente las viviendas construidas dentro del cuerpo del deslizamiento.
- f) Reforestar las laderas con plantas de raíces densas y nativas de la zona (figura 16 y fotografía 7).

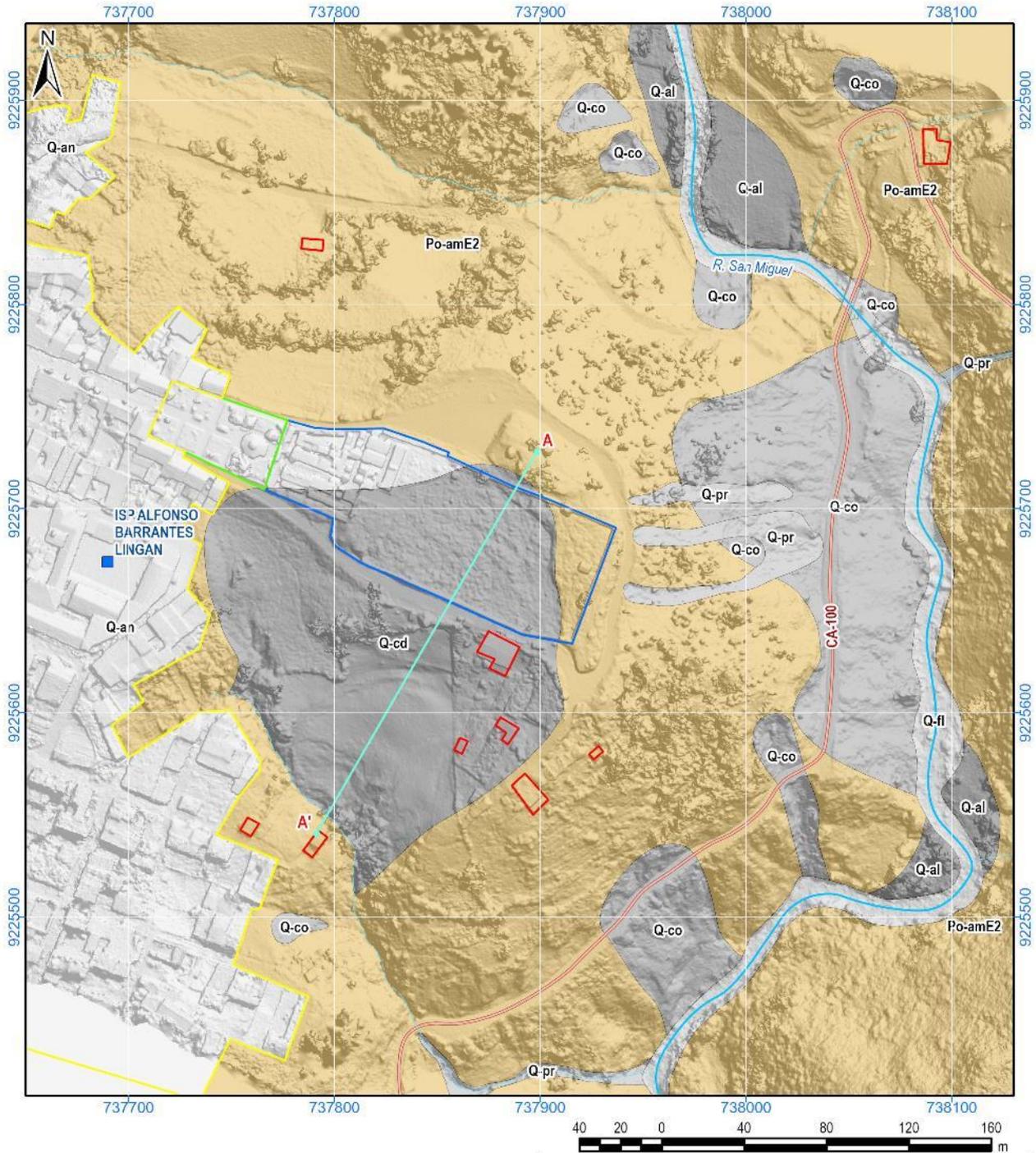

LUIS MIGUEL LEON ORDAZ
Ingeniero Geólogo
Reg.CIP. N° 215610


ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

8. BIBLIOGRAFÍA

- Hoek, E. (2007). Rock Mass Properties. En *Practical Rock Engineering* (2a ed., pp. 190–236). Rocscience.
- INEI. (2018). *Directorio Nacional de Centros Poblados Censos Nacionales 2017*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm
- Ingemmet. (2022a). *GEOCATMIN: Mapa geológico integrado del Perú a escala 1:50 000 versión al 2022*. <https://metadatos.ingemmet.gob.pe:8443/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/28a132a0-d527-4e47-bbdd-737ca05f7c79>
- Ingemmet. (2022b). *Mapas geológicos integrados 50k ver 2022*. <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- PMA:GCA. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas* (1a ed.). Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas.
- Reyes, L. (1980). *Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca (15-f), San Marcos (15-g) y Cajabamba (16-g) Boletín A 31 Serie A*. Ingemmet (1a ed.). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - Ingemmet.
- Senamhi. (2014). *Umbrales y precipitaciones absolutas*.
- Senamhi. (2020). *Climas del Perú - Mapa de Clasificación Climática Nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales* (Ltda, Ed.; 1a ed.). Publicaciones UIS.
- Villota, H. (2005). *Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de Tierras* (2a ed.). Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Zavala, B., & Rosado, M. (2011). *Riesgo Geológico en la Región Cajamarca. Ingemmet Boletín N° 44, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2480>

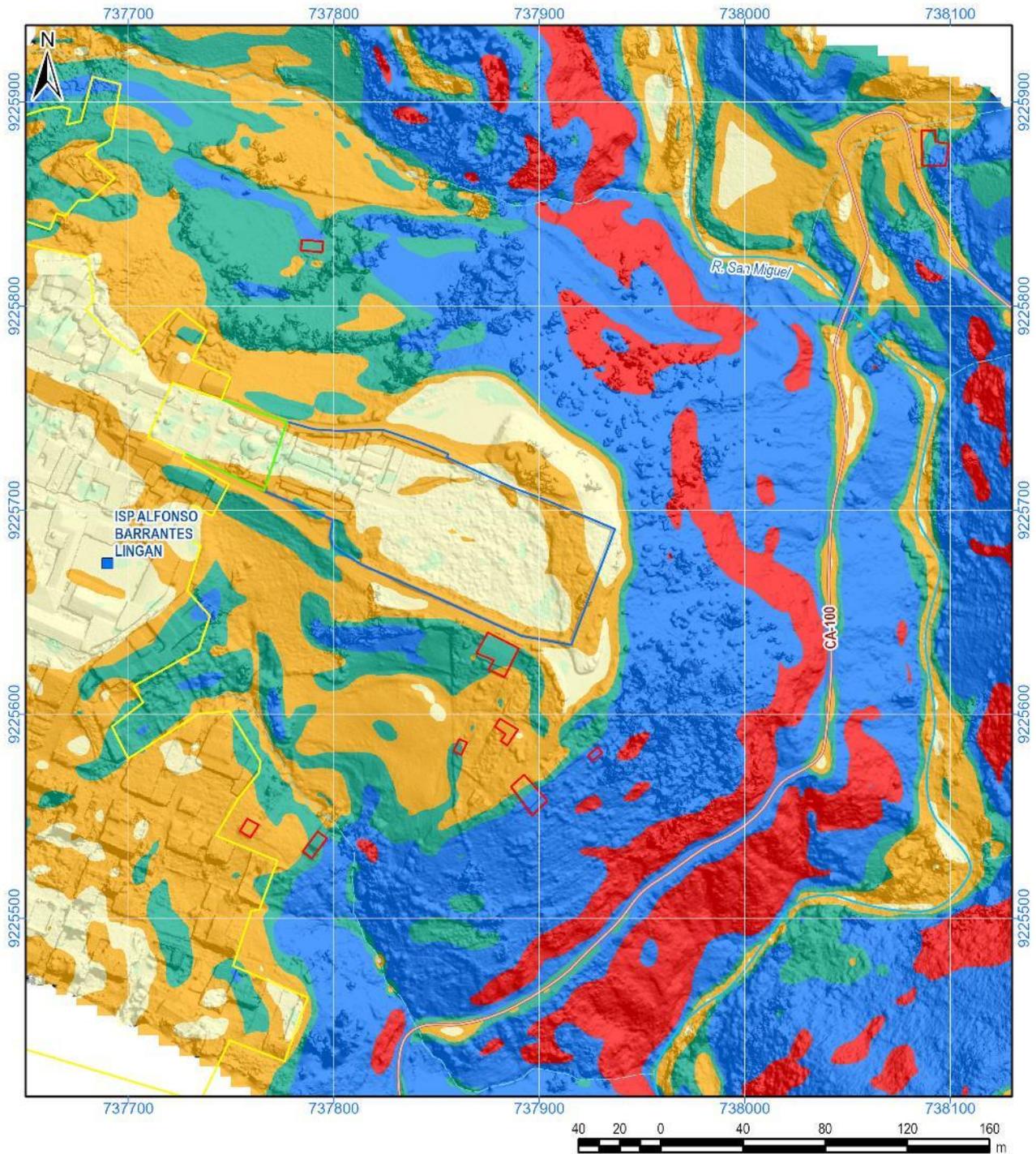
ANEXO 1. MAPAS



SIMBOLOGÍA	
	Institución educativa
	Quebrada
	Río
	Vía departamental
	Línea de perfil
	Cementerio San Juan
	Parque
	Sector urbano
	Vivienda

LEYENDA	
	Q-an: Depósito antropogénico
	Q-fl: Depósito fluvial
	Q-pr: Depósito proluvial
	Q-co: Depósito coluvial
	Q-cd: Depósito coluvio deluvial
	Q-al: Depósito aluvial
	Po-amE2: Centro Volcánico Anchipan - Mutis - Evento 2

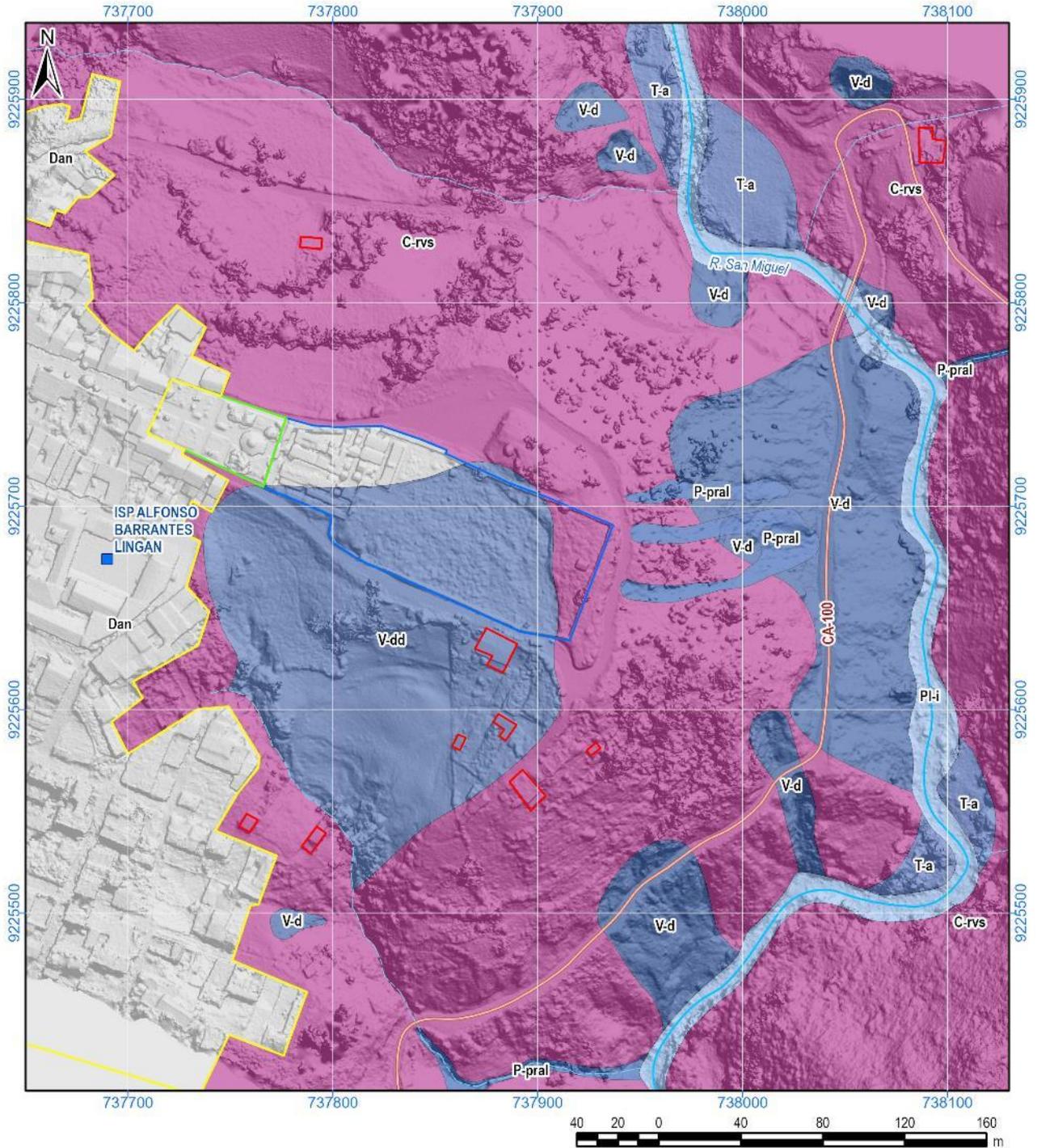
 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN MIGUEL - SAN MIGUEL	
GEOLOGÍA DEL CEMENTERIO SAN JUAN	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/3,000	Versión digital: 2024
MAPA	
1	



SIMBOLOGÍA	
	Institución educativa
	Quebrada
	Río
	Via departamental
	Cementerio San Juan
	Parque
	Sector urbano
	Vivienda

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

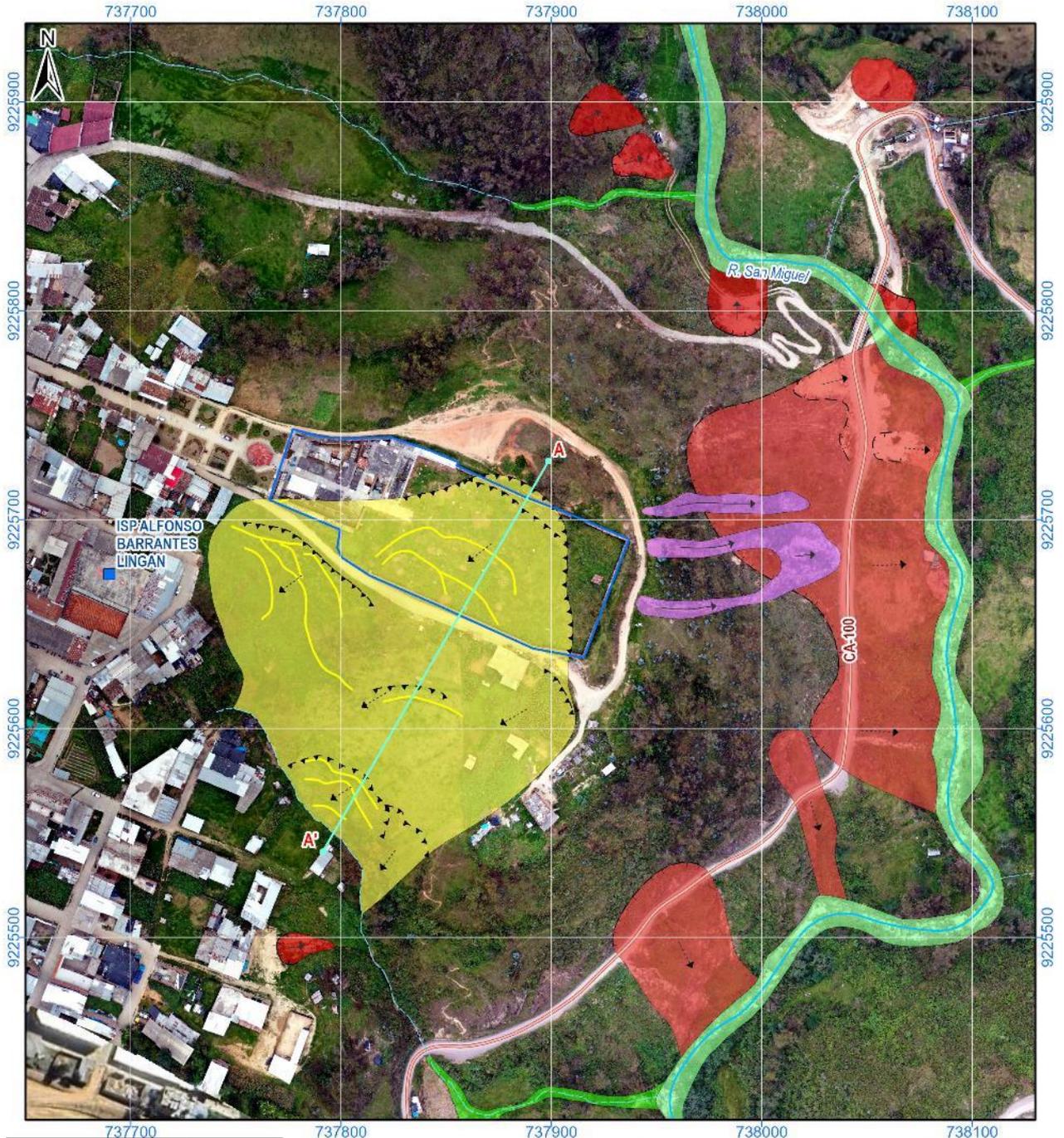
 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN MIGUEL - SAN MIGUEL	
PENDIENTES DEL TERRENO DEL CEMENTERIO SAN JUAN	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/3,000	Versión digital: 2024
MAPA 2	



SIMBOLOGÍA	
	Institución educativa
	Quebrada
	Río
	Vía departamental
	Cementerio San Juan
	Parque
	Sector urbano
	Vivienda

LEYENDA	
	Colina en roca volcánico sedimentaria
	Vertiente con depósito de deslizamiento
	Vertiente coluvial de detritos
	Piedemonte proluvial
	Terraza aluvial
	Planicie inundable
	Relleno antrópico

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN MIGUEL - SAN MIGUEL	
GEOMORFOLOGÍA DEL CEMENTERIO SAN JUAN	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/3,000	Versión digital: 2024
MAPA 3	



SIMBOLOGÍA	
	Institución educativa
	Quebrada
	Río
	Vía departamental
	Línea de perfil
	Cementerio San Juan
	Agrietamiento
	Escarpe de derrumbe activo
	Escarpe de derrumbe inactivo
	Escarpe de deslizamiento inactivo
	Dirección de movimiento inactivo
	Dirección de movimiento activo

LEYENDA	
	Derrumbe activo
	Derrumbe inactivo latente
	Deslizamiento rotacional latente
	Erosión en cárcava
	Flujo de detritos inactivo latente
	Inundación y erosión fluvial

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - SAN MIGUEL - SAN MIGUEL	
CARTOGRAFÍA DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CEMENTERIO SAN JUAN	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/3,000	Versión digital: 2024
MAPA 4	

ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS

Para deslizamientos

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

a. Drenaje Superficial

Las zanjas construidas permiten la recolección de aguas superficiales, captan la escorrentía tanto de la ladera, como de la cuenca de drenaje arriba del talud y desvía el agua a las quebradas adyacentes al cuerpo de los movimientos en masa, evitando su infiltración, captando el agua de escorrentía, llevándola a un sitio lejos del movimiento en masa. Éstas deben ser construidas en la parte superior al escarpe principal del deslizamiento (Figura 15). En las obras construidas - zanjas de drenaje es necesario impermeabilizar la caja hidráulica captando y evitando totalmente la infiltración de las aguas de escurrimiento la ladera, según las imágenes adjuntas.

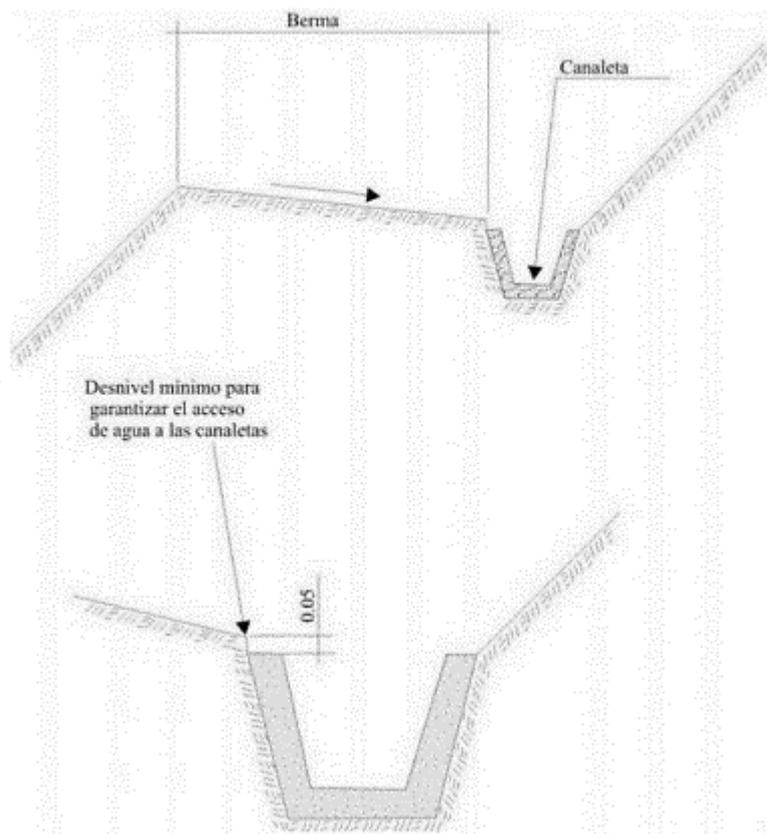


Figura 15. Detalle una canaleta de drenaje superficial (zanjas de coronación). Tomado de INGEMMET (2000).

b. Revegetación y bioingeniería

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

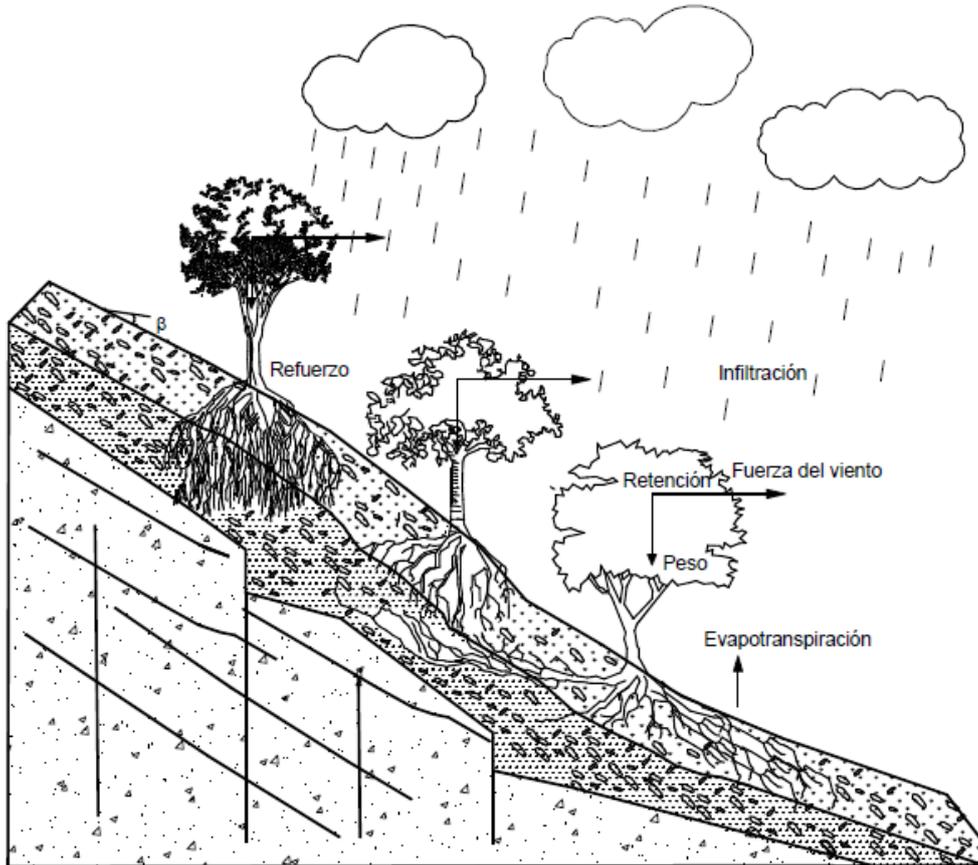


Figura 16. Estabilización de taludes utilizando vegetación. **Fuente:** Suarez, Díaz 2007.



Fotografía 7. Ejemplo de bioingeniería con arbusto (vetiver) en taludes de materiales sueltos.