

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7614

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR MOVIMIENTOS EN MASAS EN LA COLINA SANTA APOLONIA

Departamento: Cajamarca

Provincia: Cajamarca

Distrito: Cajamarca



**ABRIL
2025**

**EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR MOVIMIENTOS EN MASAS EN LA
COLINA SANTA APOLONIA**

***Distrito Cajamarca
Provincia Cajamarca
Departamento Cajamarca***



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

Equipo Técnico:
Luis Miguel León Ordáz.

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2025). Evaluación de peligro geológico por movimientos en masas en la colina Santa Apolonia, distrito, provincia y departamento Cajamarca. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7614, 24 p.

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
1.3.3. Población	6
1.3.4. Clima.....	7
2. DEFINICIONES	7
3. ASPECTO GEOLÓGICO.....	9
3.1. Unidades litoestratigráficas	9
3.1.1. Rocas del centro volcánico Rumiorco (Po-ru/3).....	9
3.1.2. Depósitos cuaternarios.....	10
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	10
4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)	10
4.2. Pendiente del terreno.....	11
4.3. Unidades y sub unidades geomorfológicas.....	12
4.3.1 Unidades de carácter tectónico degradacional y erosional	12
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	13
5.1. Derrumbe en la colina Santa Apolonia	13
5.2. Caída de rocas en túnel de la colina Santa Apolonia	16
6. CONCLUSIONES	19
7. RECOMENDACIONES.....	19
8. BIBLIOGRAFÍA	20

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligro geológico por movimientos en masas, en la colina Santa Apolonia, distrito, provincia 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.

En el sector evaluado afloran flujos piroclásticos de pómez y ceniza gris blanquecina compuestos principalmente por plagioclasas y sanidina. En el afloramiento expuesto se encuentran medianamente a muy fracturados y moderadamente meteorizados, que corresponden al centro volcánico Rumiorco (Po-ru/3); a su vez cubiertas por material de préstamo (relleno antrópico), conformado por arcillas limosas marrón oscuro, sobre el cual se ha instalado un jardín floral (con la finalidad de embellecer el ornato de la colina). Este jardín contribuye con el hundimiento del sustrato rocoso, lo cual genera pérdida de las propiedades físicas de la roca volcánica.

La sub unidad geomorfológica identificada corresponde a la subunidad de colina y lomada en roca volcánica (RCL-rv), con pendiente de 25° a >45°, en esta sub unidad se presentan procesos de movimientos en masa.

Los peligros identificados son derrumbes y caída de rocas, que se presentaron en diciembre del 2024, y de presentarse nuevamente podría afectar la integridad de las personas que transitan por el sector evaluado, siendo este lugar muy concurrido por turistas.

Los factores que condiciona la ocurrencia de los derrumbes son: i) suelo orgánico que cubre el sustrato rocoso, por actividad antrópica; ii) roca volcánica moderadamente meteorizada, medianamente a muy fracturada; iii) pendiente muy fuerte o escarpada (>45°), facilita el origen de movimientos. El factor detonante, riego por inundación realizado en el jardín floral.

Por las condiciones geodinámicas, geomorfológicas y geológicas, al sector afectado se le considera de **Peligro Medio**, frente a derrumbes, y **Peligro Alto** ante caída de rocas.

Finalmente, se brindan algunas recomendaciones que se consideran importantes que las autoridades competentes y tomadores de decisiones pongan en práctica en el área evaluada, como el desquinche de la ladera y el retiro del material antrópico evitando que el material caiga y afecte la integridad física de los transeúntes y turistas; así mismo se requiere la realización de un estudio geotécnico a detalle, para determinar las medidas correctivas por caída de rocas en la boca de entrada, salida y bóveda (techo) del túnel.

1. INTRODUCCIÓN

El INGEMMET, ente técnico-científico desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) y el “Servicio de asistencia en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 16)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico.

Atendiendo el Oficio N°244-2024-SGRD-GSC-MPC remitido por la Municipalidad Provincial de Cajamarca, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en la colina Santa Apolonia.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al Ingeniero Luis Miguel León Ordáz, para realizar la evaluación de peligros geológicos por derrumbe que afecta la colina Santa Apolonia; los trabajos de campo se realizaron el día 13 de diciembre del 2024.

La evaluación técnica se realizó en tres fases: a) etapa de pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del Ingemmet; b) 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 c) etapa 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 Cajamarca y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos en la colina Santa Apolonia.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos identificados en los trabajos de campo.

1.2. Antecedentes

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

- Informe Técnico N° A7253: Evaluación de peligro geológico por derrumbe en la colina Santa Apolonia (León, 2021), en el informe se registra en la zona evaluada, un derrumbe que podría originar el colapso de la Cruz emblemática de la colina Santa Apolonia (peso de 15 toneladas). Se señala que de suceder el evento destruiría la Capilla Virgen de Fátima que se ubica en su parte baja.
- Boletín N° 58, Serie A: Carta Geológica Nacional; Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Hojas: 15-f, 15-g y 16-g (Escala 1: 100 000); (Reyes, 1980). La geología descrita a escala 1: 50000, señala que la colina Santa Apolonia está conformada por una unidad geológica de origen volcánico, Formación Huambos (Nm-huam) y en la actualización (Sánchez, 2017), indica, que la unidad pertenece a Rocas del centro volcánico Rumiorco (Po-ru/3), conformada por flujos piroclásticos de bloques y cenizas, gris blanquesinas,
- Boletín N° 44, Serie C, Estudio de Riesgo Geológico en la Región Cajamarca, (Zavala et al, 2009), De acuerdo al mapa de Inventario de Peligros Geológicos a escala 1:250 000, al suroeste de la colina Santa Apolonia tenemos varios eventos por movimientos en masa tales como, deslizamientos, caídas, reptación y movimientos complejos (figura 1).

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área de evaluación corresponde, al sector noreste de la colina Santa Apolonia, distrito, provincia y departamento Cajamarca (figura 1). En la tabla 1 se consigna las coordenadas UTM WGS 84 – Zona: 17S; además de las coordenadas centrales referenciales del evento identificado.

Tabla 1. Coordenadas de las áreas de estudio.

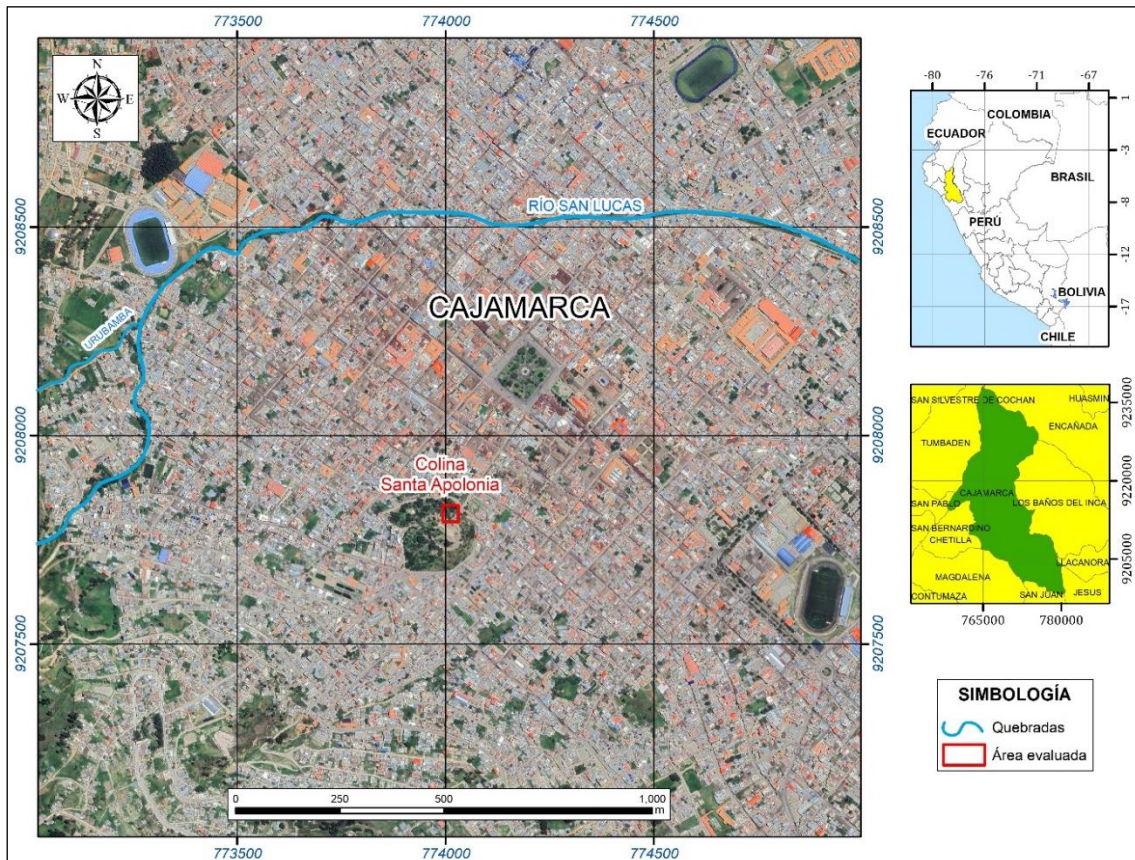
N°	UTM – WGS 84 - ZONA 17S		Coordenadas Decimales (°)	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	774010	9207820	-7.160035	-78.519073
2	774010	9207780	-7.160396	-78.519072
3	773970	9207780	-7.160398	-78.519433
4	773970	9207820	-7.160037	-78.519435
Coordenada central de los peligros identificados				
C	773990	9207795	-7.160262	-78.519253

1.3.2. Accesibilidad

La principal vía de acceso desde la oficina desconcentrada de INGGMET - Cajamarca, hacia la colina Santa Apolonia es mediante desplazamiento terrestre, a través de calles asfaltadas, tal como se detalla en la siguiente ruta (Tabla 2):

Tabla 2. Rutas y acceso a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
OD INGGMET - Cajamarca	Asfaltada	1.5	20 minutos



1.3.3. Población

De acuerdo con la información del XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas de 2017 (INEI, 2018), Cajamarca, tiene una población de 125000 habitantes (tabla 3), distribuidos en 23000 viviendas, con acceso a energía eléctrica, agua y desagüe.

Tabla 3. Datos de la ciudad de Cajamarca

Descripción	Cajamarca – INEI
Código de Ubigeo y Centro Poblado	0601010001
Longitud	-78.5106993500
Latitud	-7.115459563300
Altitud	2731.2
Población	125000
Viviendas	23000
Agua Por Red Publica	si
Energía eléctrica en la vivienda	si
Desagüe por red publica	si
Institución Educativa Inicial	si
Institución Educativa Primaria	si
Institución Educativa Secundaria	si
Establecimiento de salud	si
Idioma o Lengua hablada con mayor frecuencia	Castellano

1.3.4. Clima

Según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite – (Senamhi, Promedio histórico 1981 -2010), deferencia para la zona de estudio un clima, semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado. C (r') B', con una temperatura máxima promedio de 21°C a 25°C, una temperatura mínima promedio entre 7°C a 11°C y entre 700 mm y 2000 mm aproximadamente.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a las entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, que no son necesariamente geólogos; por ello se desarrollan algunas definiciones relevantes, considerando como base el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), los términos y definiciones se detallan a continuación:

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 para ingeniería 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. En este tipo de suelos es muy importante el efecto del agua sobre su comportamiento.

Caída: Movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. El material se desplaza por el aire, golpeando,

rebotando o rodando (Varnes, 1978). Se clasifican en caídas de rocas, suelos y derrumbes.

Caída de rocas: Tipo de caída producido cuando se separa una masa o fragmento de roca y el desplazamiento es a través del aire o caída libre, a saltos o rodando.

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 de 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.

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.

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.

Fractura: Estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

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.

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.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La descripción geológica se desarrolló en base al Boletín N° 31, Serie A: Carta Geológica Nacional; Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Hojas: 15-f, 15-g y 16-g, a escala 1:100 000 (Reyes, 1980). Información complementada y validada con trabajos en campo, análisis de imágenes satelitales, y fotogrametría con dron para caracterizar y delimitar las diferentes unidades litológicas, considerando su grado de resistencia y susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Mapa 1).

A continuación, se presenta de manera resumida una descripción de las principales formaciones geológicas y depósitos que afloran en la zona evaluada.

3.1. Unidades litoestratigráficas

Comprende unidades volcánicas y depósitos cuaternarios no consolidados, producto de la ocurrencia de movimientos en masa.

3.1.1. Rocas del centro volcánico Rumiorco (Po-ru/3)

Conformado por depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas, gris blanquecinas, ricos en cristales de composición riolítica. Tienen un espesor de aproximadamente 400 m, y en el sector evaluado se encuentra compuesto principalmente por plagioclasas y sanidina. El macizo rocoso se encuentra diaclasado, moderadamente meteorizado y medianamente a muy fracturado (fotografía 1 – mapa1).



Fotografía 1. Se observa traquita volcánica, compuesta por plagioclasas y sanidina, el macizo se encuentra medianamente a muy fracturado y moderadamente meteorizado, La roca a simple vista se aprecia muy susceptible a la descomposición o meteorización física y química.

3.1.2. Depósitos cuaternarios

Depósito antrópico (Q-an)

Depósito antrópico o antropógeno, es un término que vincula directamente al depósito originado por el ser humano. Para el área de estudio está asociado principalmente al material acumulado en la colina para el cultivo de plantas, con la finalidad de mejorar el ornato de la colina Santa Apolonia, con espesor menor a 0.5 m (figura 2).

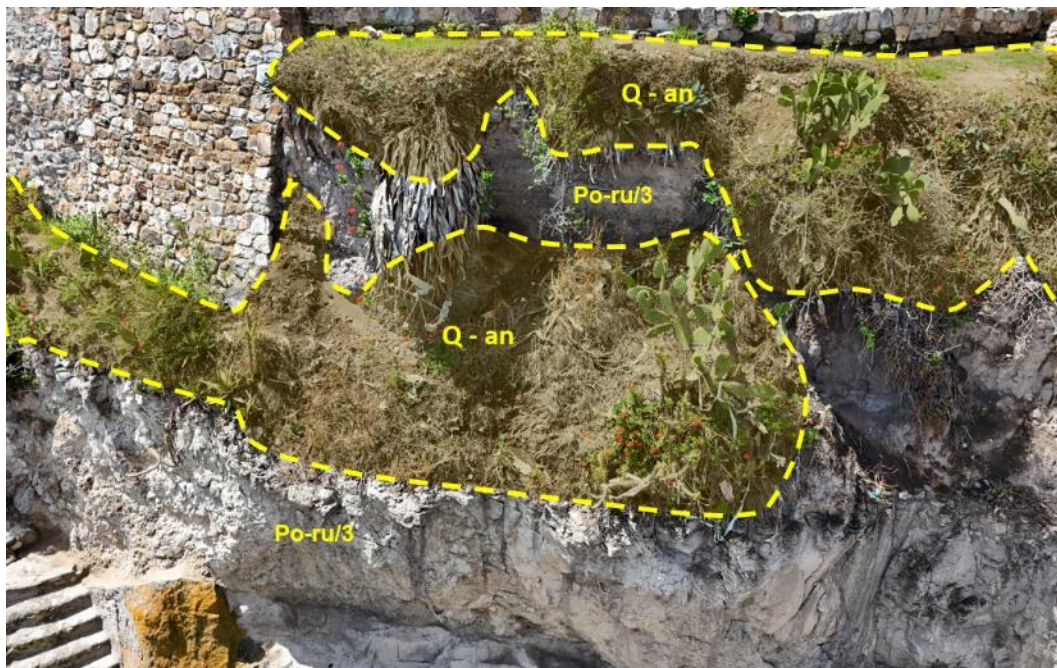


Figura 2. Se observa el material de relleno para la instalación de plantas decorativas (dentro de las líneas amarillas), sobre el macizo rocoso.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Además de la cartografía geomorfológica regional a escala 1:250 000 del boletín N° 44 de la serie C: Riesgo geológico en la región Cajamarca, se utilizó imágenes y modelos digitales de elevación detallados obtenidos de levantamientos fotogramétricos con dron, desarrollados en diciembre del 2024, lo cual permitirá estudiar el relieve, pendientes y demás características; con el fin de describir subunidades a detalle (escala 1:1500).

4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)

La zona evaluada presenta altitudes que van desde los 2796 hasta los 2826 m s.n.m., en los cuales se distinguen cinco niveles altitudinales (figura 3), visualizando la extensión con respecto a la diferencia de alturas; el área con mayor pendiente corresponde a terrenos entre altitudes 2808 a 2818 m s.n.m.

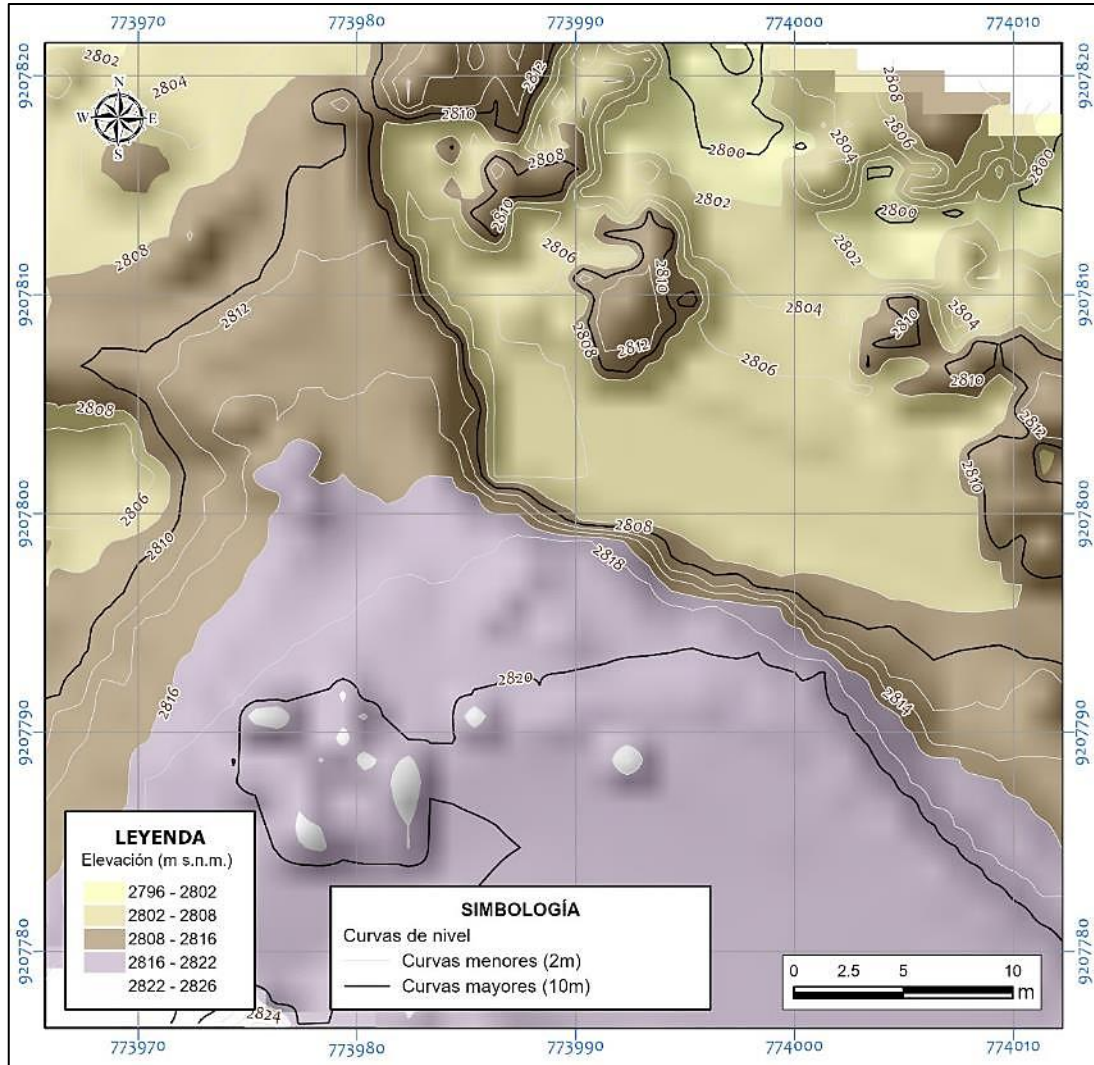


Figura 3. Modelo digital de elevaciones de la zona evaluada.

4.2. Pendiente del terreno

La pendiente es uno de los factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa, ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez, 2022), es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa como factor condicionante.

Los relieves con terreno muy escarpado 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 derrumbes y que condicionan los peligros geológicos recientes.

En la zona evaluada la pendiente varía de terreno llano ($<1^\circ$) a pendiente moderada (5° a 15°) identificados en la parte superior de la colina; terrenos con pendiente fuerte (15° a 25°) a pendiente muy escarpada ($>45^\circ$), en la ladera, donde se desencadenaron los derrumbes (figura 4, mapa 2).



Figura 4. Pendiente de ladera $>45^\circ$ en el flanco derecho de la colina Santa Apolonia, donde se originan los derrumbes.

4.3. Unidades y sub unidades geomorfológicas

La cartografía geomorfológica y la delimitación de unidades geomorfológicas se realizó utilizando el criterio principal de homogeneidad relativa y la caracterización de aspectos de origen del relieve (erosión o acumulación), individualizando cuatro tipos generales y específicos del relieve en función de la altura relativa, diferenciándose terrazas, vertientes, piedemontes, montañas y otras geoformas.

De acuerdo a su origen, se distingue una geoforma de carácter tectónico degradacional y erosional (colina y lomada en roca volcánica), graficada en el mapa 3.

4.3.1 Unidades de carácter tectónico degradacional y erosional

Unidad de Colina

Tiene una altura menor a los 300 m con respecto al nivel de la base local, así se tienen las siguientes subunidades de colinas y lomadas diferenciadas según el tipo de roca que la conforman.

Subunidad de colina en roca volcánica (RC-rv)

Esta unidad geomorfológica se da por la continuidad de la colina hacia la montaña y es difícil de separarla, se compone de roca volcánica con derrame piroclásticos, presenta laderas con pendientes suaves (Zavala et al., 2019).

Esta geoforma es ocupada por toda la colina Santa Apolonia. (figura 5).



Figura 5. La geoforma del sector evaluado corresponde a colina en roca Volcánica (RC-rv).

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

En el área de estudio se han identificado movimientos en masa tipo, derrumbes (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). Estos peligros son resultado del proceso de modelamiento del terreno, coadyuvado por las condiciones del macizo rocoso (afloramiento meteorizado y muy fracturado) y depósito de eventos antiguos. Así también, el factor antrópico contribuye en la ocurrencia de estos procesos (figura 8 y Mapa 4).

Los peligros geológicos identificados en la zona de estudio, corresponde a, derrumbes y caída de rocas en el túnel, descritos a continuación:

5.1. Derrumbe en la colina Santa Apolonia

Hacia el norte de la colina se identificó un movimiento en masa tipo derrumbe, detonado por precipitaciones pluviales intensas y continuas, coadyuvado principalmente por la pendiente $>45^\circ$.

Los trabajos de campo realizados en diciembre del 2024, permitieron caracterizar y dimensionar el derrumbe.

El evento se ubica sobre un macizo de roca volcánica, muy fracturada y moderadamente meteorizada (figura 5), la zona de arranque tiene una longitud de 38 m y altura de 12 m (figura 6).

En el derrumbe se origina por el movimiento del relleno antrópico y fragmentos de roca con diámetro de hasta 0.15 m aproximadamente (figura 7), el desplazamiento de este material puede afectar a personas y vehículos que transitan en la parte baja del sector evaluado.

En el relleno antrópico conformado por limos arcillas (material orgánico), el riego excesivo de las plantas (inundación), permite que el agua se retenga sobre el material antrópico, y se infiltre por las fracturas de la roca. Esto contribuye con la inestabilidad de la roca volcánica.

La acumulación de agua en el depósito antrópico incrementa su peso, sumado al peso que ejercen las plantaciones sobre suelo suelto de poco espesor, acelera la ocurrencia de derrumbes.



Figura 5. Derrumbe sobre un macizo de roca volcánica la cual se encuentra muy fracturada y moderadamente meteorizada.



Figura 6. Vista aérea de la zona de arranque del derrumbe (relleno antrópico), se observa la dirección del material en dirección a la vía de tránsito de vehículos y personas en la parte baja.



Figura 7. Se observa la zona de arranque del derrumbe (relleno antrópico), en dirección a la vía de tránsito de vehículos, personas y en la entrada del túnel.

Características visuales y morfométricas

- Tipo de movimiento: Derrumbe.
- Estado: Activo.
- Velocidad: Rápido
- Composición: Relleno antrópico.

Morfometría

- Área: 41 hectáreas.
- Perímetro: 45 m.
- Pendiente promedio: Muy escarpada ($>45^\circ$)

Factores condicionantes

- Como factor antrópico se tiene que, sobre la roca volcánica se evidencia acumulación de suelo orgánico (relleno antrópico), para jardín y otros, el material se encuentra suelto.
- Litología, roca volcánica moderadamente meteorizada, medianamente a muy fracturada, que permite la infiltración de agua.
- Ladera con pendiente $>45^\circ$.

Factor detonante

- Lluvias intensas

Daños ocasionados por el derrumbe

- Una nueva reactivación del derrumbe podría atentar contra la integridad física de las personas que transitan por esta zona turística.

5.2. Caída de rocas en túnel de la colina Santa Apolonia

Según Pimentel (2011), la caída de rocas se debe principalmente a las discontinuidades preexistentes de las rocas, tales como fallas, juntas y estratificación.

Este tipo de movimiento en masa es uno de los más rápidos, la trayectoria que siguen los bloques y la distancia que ellos puedan alcanzar dependen de la morfología del terreno, en el sector evaluado fuera del túnel (entrada lado este y oeste), las rocas sueltas pueden caer, desde una altura de 3.5 m, en dirección a la vía de tránsito vehicular y peatonal en donde transitan los turistas y pueden atentar contra su integridad física (figuras 8,9 y10); así mismo dentro del túnel en la bóveda (techo) se evidencia rocas muy fracturada con alta probabilidad de ceder cuesta abajo, desde una altura de 2.30 m (figura 11).

El macizo rocoso, se presenta medianamente a muy fracturado, ligeramente meteorizado, con presencia de diaclasas, en diferentes direcciones.

Características visuales del evento

- Altura de arranque: de 2.30 a 3.5 m.
- Tipo de rotura: planar y en cuña.
- Forma de zona de arranque: discontinua.
- Agrietamientos: con longitudes de 0.1 a 1 m y ancho de 0.2 a 0.8 cm en todo el macizo evaluado.
- Pendiente del terreno: $>45^\circ$.
- Tipo de fracturas: abiertas, cerradas.

Factores condicionantes

- Macizo rocoso medianamente a muy fracturado, ligeramente meteorizado.
- Filtración del agua por las fracturas del macizo.
- Ladera con pendiente $>45^\circ$.
- Instalación de relleno antrópico (suelo orgánico), para instalación de plantas ornamentales sobre el túnel, sin un sistema de drenaje adecuado, permite la infiltración del agua de lluvia por las fracturas en el macizo rocoso.

Factor detonante

- Lluvias intensas

Daños probables

- Turistas y vehículos que transitan por el túnel, expuestos al peligro de caída de rocas.



Figura 8. Vista aérea de la zona de arranque del derrumbe (relleno antrópico), se observa la dirección del material en dirección a la vía de tránsito de vehículos y personas en la parte baja.



Figura 9. Macizo diaclasado, lado este del túnel, moderadamente meteorizado y medianamente a muy fracturado.



Figura 10. Lado oeste del túnel, moderadamente meteorizado y medianamente a muy fracturado.



Figura 11. Bóveda (techo del túnel), se observa la roca muy fracturada.

6. CONCLUSIONES

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

- a. En la colina Santa Apolonia, afloran flujos piroclásticos de pómez y cenizas color gris blanquecinas, medianamente a muy fracturadas y moderadamente meteorizada, cubiertas por un relleno antrópico, de arcillas limosas de color marrón oscuro, no consolidado.
- b. La sub unidad geomorfológica identificada de colina en roca volcánica (RCL-rv), tiene una pendiente variable desde pendiente suave (1° a 5°) hasta terreno muy escarpado ($>45^\circ$); en esta sub unidad se presentan el derrumbe y caída de rocas.
- c. Los derrumbes y caída de rocas, pueden afectar la integridad física de transeúntes y turistas que transitan por el sector; así como los vehículos.
- d. La causa principal de la reactivación de los derrumbes son las lluvias intensas, incrementando el peso de la masa inestable que se encuentra sobre la ladera.
- e. Por las condiciones geodinámicas, geomorfológicas y geológicas, al sector afectado se le considera de **Peligro Medio**, frente a movimientos en masa frente a derrumbes, y **Peligro Alto** frente a caída de rocas.

7. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que a continuación se brindan tienen por finalidad mitigar el impacto de los derrumbes y caída de rocas. Así mismo, la implementación de dichas recomendaciones permitirá darle mayor seguridad a la población e infraestructura expuesta a los peligros antes mencionados.

- a. Desquinchar la ladera con el acompañamiento y la orientación de un especialista. Al no realizarse de manera adecuada, podría fracturar el macizo rocoso y originar nuevos derrumbes y caída de rocas.
- b. Implementar un sistema de drenaje y riego por goteo en las plantas ornamentales que se encuentran en toda la colina, para evitar la retención de agua, evitando la acelerada meteorización de la roca.
- c. En el túnel realizar un estudio geotécnico a detalle, que permita determinar las medidas de mitigación a corto y largo plazo, para evitar la caída de rocas.


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


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

8. BIBLIOGRAFÍA

- Cruden, D. M. 1991. A simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 43: 27-29
- INEI. (2018). *Directorio Nacional de Centros Poblados Censos Nacionales 2017*. Instituto Nacional de Estadística e Informática.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm
- León, L. (2022) - "Evaluación de peligro geológico por derrumbe en la colina Santa Apolonia.", Informe Técnico N° A7253, Dirección de Geología Ambiental y Riesgos Geológicos, 25p.
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/3835>
- 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.
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>
- Reyes, L. (1980) - Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Hojas 15-f, 15-g, y 16-g: 100 000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 31, 83p.
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/150>
- 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.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes. In Special Report 176: Landslides: Analysis and control (Eds: Schuster, R.L and Krizek, R.J), Transportation and Road research board, 9–33.
- Zavala, B. y Rosado, M. 2011, Riesgo Geológico en la Región Cajamarca. Ingemmet Boletín N° 44, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 408 p.
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/300>

ANEXO 1. MAPAS

