

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7253

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR DERRUMBE EN LA COLINA SANTA APOLONIA

Departamento Cajamarca
Provincia Cajamarca
Distrito Cajamarca



ABRIL
2022

***EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR DERRUMBE EN LA COLINA
SANTA APOLONIA***

Distrito Cajamarca

Provincia Cajamarca

Departamento Cajamarca

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

Equipo de investigación:

Luis Miguel León Ordáz

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Evaluación de peligro geológico por derrumbe en la colina Santa Apolonia, distrito, provincia y departamento Cajamarca. Lima: Ingemmet, Informe Técnico N° A7253.

INDICE

RESUMEN	04
1. INTRODUCCIÓN.....	05
1.1 Objetivos del estudio.....	05
1.2 Antecedentes.....	06
1.3 Aspectos Generales	08
1.3.1 Ubicación	08
1.3.2 Accesibilidad	08
2. DEFINICIONES	10
3. ASPECTO GEOLÓGICO	12
3.1 Unidades litoestratigráficas	12
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	14
4.1 Pendiente del terreno	14
4.2 Unidades Geomorfológicas	15
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	16
5.1 Derrumbe en la Colina Santa Apolonia	16
CONCLUSIONES	20
RECOMENDACIONES.....	21
ANEXO 1. MAPAS.....	22
ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS.....	24
BIBLIOGRAFÍA.....	25

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligro geológico por derrumbe, 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 de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

En el sector evaluado se observó un afloramiento de roca volcánica, que en la parte superior del talud (base de la Cruz) se encuentra moderadamente meteorizado y muy fracturado. En la parte alta, sobre la superficie de la roca, encontramos material de préstamo (relleno antrópico), conformado por arcillas limosas de color marrón oscuro, el cual es base para la siembra plantas en su mayoría florales (con la finalidad de embellecer el ornato de la colina). Su constante regadía, posiblemente incrementan la meteorización de la roca.

Las geoformas identificadas corresponden a las subunidades de montaña en roca volcánica (RM-rv) y colina en roca volcánica (RCL-rv), con pendiente de 25°, en esta sub unidad se presentó el derrumbe.

El peligro identificado es un derrumbe que podría originar el colapso de la Cruz emblemática de la colina Santa Apolonia (peso de 15 toneladas), de suceder el evento destruiría la Capilla Virgen de Fátima que se ubica en su parte baja, la longitud de la zona de arranque es del 68 m y una altura de 12 m.

Siendo un lugar turístico ubicado dentro de la ciudad de Cajamarca, es muy concurrido durante todo el año por lo que se considera de peligro Muy Alto a la ocurrencia de derrumbes. Se puede reactivar por la presencia de lluvias intensas y continuas en la zona.

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 es la reubicación de la Cruz Santa Apolonia, a una zona estable, con la finalidad de evitar colapso y la integridad física de los pobladores que transitan por la zona.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma 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 el Oficio N°314-2021-A-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 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 sábado 05 de noviembre del 2021.

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

Este informe se pone en consideración del Gobierno Regional de Cajamarca, Municipalidad Provincial de Cajamarca y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la 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 el movimiento en masa que se presenta en la colina Santa Apolonia, distrito, provincia y departamento de Cajamarca, detonado por lluvias intensas en el mes de noviembre del 2021.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos identificados en los trabajos de campo.

1.2 Antecedentes

Se han recopilado todos los informes y reportes que abarquen los aspectos geodinámicos de la zona de estudio, los cuales se mencionan a continuación:

- Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, (Reyes L, 1980). Según la geología descrita a escala 1: 50 000, 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).
- 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 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).

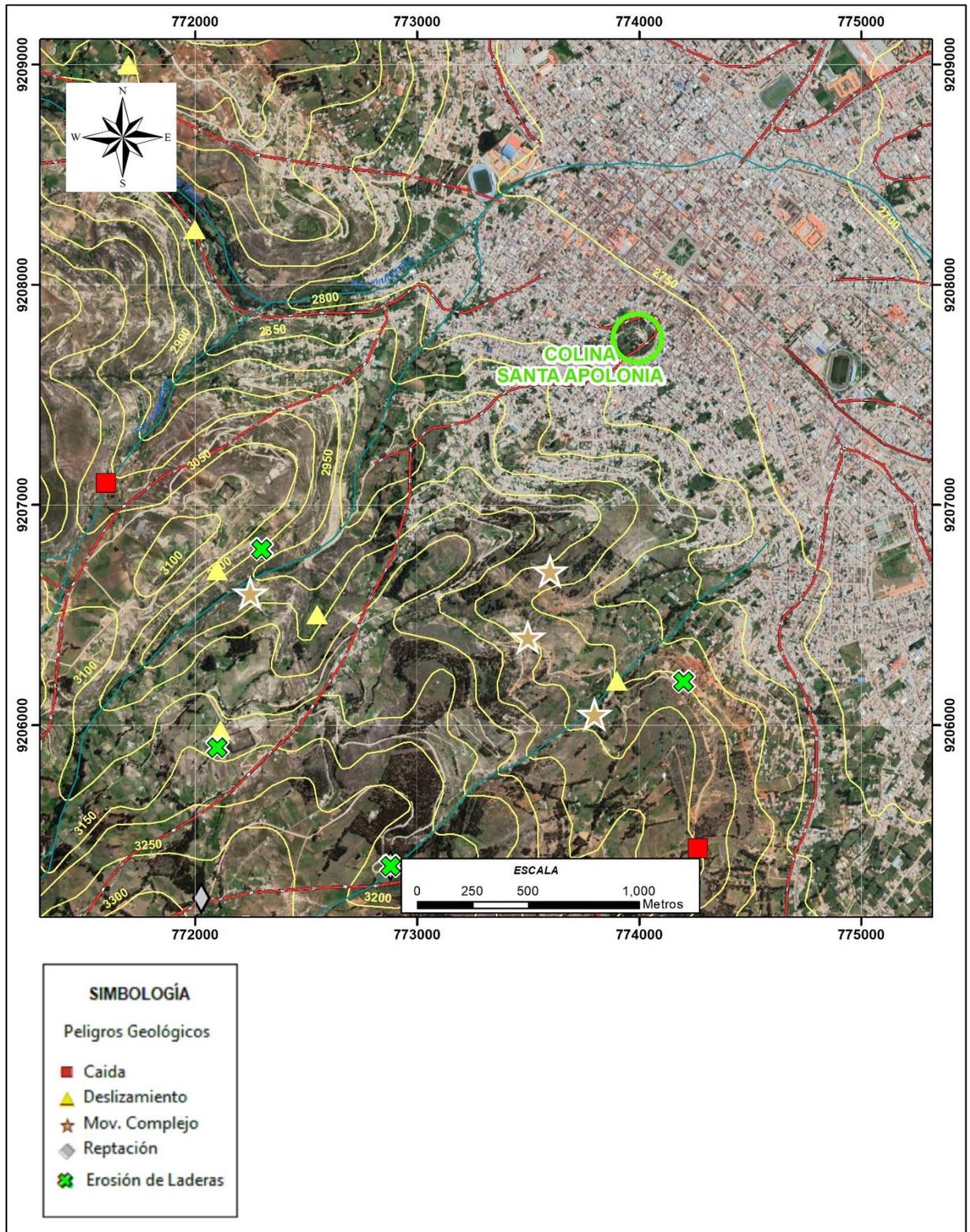


Figura 1. Peligros Geológicos identificados al suroeste de la colina Santa Apolonia.
Fuente: Riesgo Geológico en la región Cajamarca (Zavala et al., 2009)

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 2), ubicada en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 – Zona: 17S:

Cuadro 2. Coordenadas del área de estudio, Sector Santa Apolonia.

N°	UTM – WGS 84 - ZONA 17S		COORDENADAS DECIMALES	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	774069	9207803	-7.160186°	-78.518539°
2	774026	9207746	-7.160703°	-78.518925°
3	773980	9207791	-7.160298°	-78.519344°
4	774021	9207846	-7.159799°	-78.518975°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	774021	9207796	-7.160251°	-78.518973°

1.3.2 Accesibilidad

La principal vía de acceso desde la oficina desconcentrada de INGEMMET - Cajamarca, hacia la colina Santa Apolonia es mediante desplazamiento terrestre, a través de calles asfaltadas, tal como se detalla en la siguiente ruta (cuadro 3):

Cuadro 3. Rutas y acceso a la zona evaluada

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

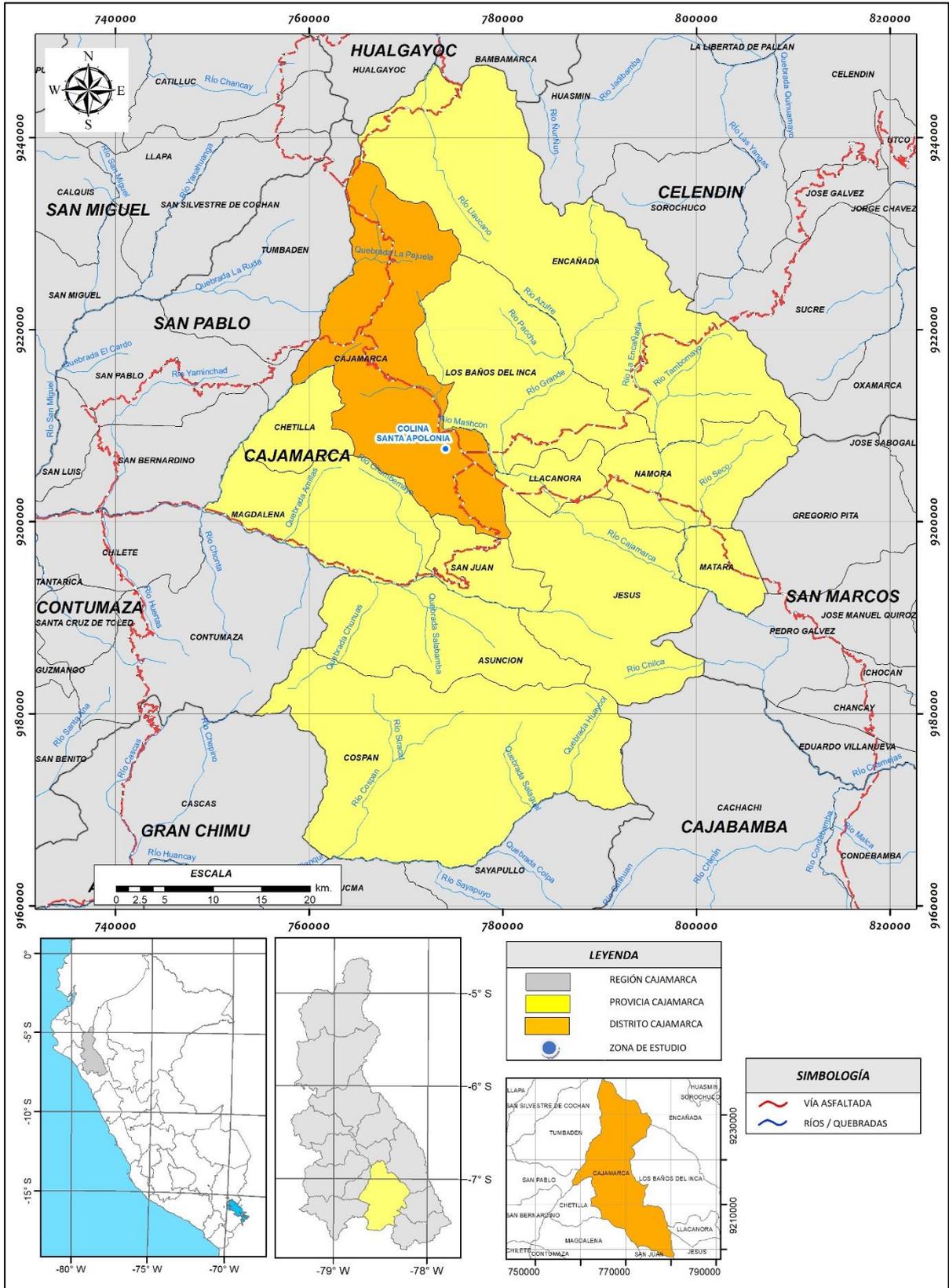


Figura 2. Ubicación de la colina Santa Apolonia, ciudad Cajamarca.

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.

Coluvial: Forma de terreno o material originado por la acción de la gravedad.

Condicionante: Se refiere a todos aquellos factores naturales o antrópicos que condicionan o contribuyen a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituyen el evento detonante del movimiento.

Corona: Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladero 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.

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.

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.

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 se desarrolló en base al boletín N°31, serie A, Carta Geológica Nacional: "Geología del cuadrángulo de Cajamarca (15-f), San Marcos (15-g) y Cajabamba (16-g), (Reyes L, 1980) y actualización (Sanchez, 2017); también se realizó trabajos en campo, para caracterizar y delimitar las diferentes unidades litológicas considerando su grado de resistencia y susceptibilidad a procesos de erosión (mapa 1).

3.1 Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas aflorantes en los alrededores de la zona evaluada corresponden al Grupo Goyllarisquizga (Ki-g), Formación Chúlec (Ki-chu), Formación Inca (Ki-in), Formación Farrat (Ki-fa), y depósitos aluviales (Q-al), en la zona evaluada encontramos rocas del centro volcánico Rumiorco (Po-hu/3) detallados a continuación:

Depósito aluvial (Q-al)

Depósitos que se acumulan en los flancos del valle de Cajamarca y conformados por conglomerados polimícticos poco consolidados, con clastos de tamaño heterogéneo englobados en un matriz limo arcillosa.

Formación Chúlec (Ki-chu)

Litológicamente, consta de una secuencia bastante fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por intemperismo adquieren color crema-amarillento. Su aspecto terroso amarillento es característico para distinguirla en el campo. Sus grosores varían de 200 a 250 m.

Generalmente, los bancos de margas se presentan muy nodulosos y las calizas frescas muestran colores gris-parduzcos algo azulados.

Formación Inca (Ki-in)

Conformada por areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y lechos de cuarcitas, dando en superficie un matiz amarillento. En los alrededores de Cajamarca es de coloración rojiza, pero en el resto del área, el color predominante es amarillo-anaranjado, con evidente acción de limonización. Su grosor no pasa de los 100 m.

Formación Farrat (Ki-fa)

Esta formación representa el nivel superior de la parte clástica del Cretáceo inferior. Consta de cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m. En algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje.

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, tiene un espesor de aproximadamente 400 m, en el sector evaluado se encuentra compuesto principalmente por plagioclasas y sanidina, el macizo rocoso se encuentra diaclasado, moderadamente meteorizado y en la parte superior se encuentra muy fracturado.



Figura 3. Se observa traquita volcánica, compuesta por plagioclasas y sanidina, el macizo se encuentra diaclasado y moderadamente meteorizado, esta roca es muy susceptibles a descomposición por ácidos orgánicos y por los mismos agentes climatológicos.



Figura 4. Podemos observar que en la parte superior de la zona afectada la roca se encuentra muy fracturada y moderadamente meteorizada.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Para el análisis geomorfológico utilizó satelitales, análisis morfométrico de relieve y cartografiado in situ.

4.1 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.

Se puede decir que es más fácil que ocurran movimientos en masas en laderas y cauces cuya pendiente principal varía entre media (5° a 15°) a fuerte ($>30^\circ$), también es más alta la erosión en laderas (laminar, surcos y cárcavas), en colinas o montañas, por que a mayor pendiente facilita el escurrimiento superficial y por ende la erosión hídrica o pluvial (Vílchez et al., 2013).

El sector afectado comprende pendientes de 25° a $>45^\circ$.



Figura 5. Pendiente del terreno $>45^\circ$.

4.2 Unidades Geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en los sectores evaluado, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a los aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez et al., 2019); así también se ha

empleado los trabajos de Villota (2005) y la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en estudios de Ingemmet.

4.2.1 Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Resultan del efecto progresivo de 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).

Los paisajes morfológicos, resultantes de los procesos denudativos forman parte de las cadenas montañosas, colinas, superficies onduladas y lomadas, dentro de este grupo se tiene las siguientes unidades:

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, semi redondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas y presenta un declive promedio superior a 30% (FAO, 1968).

Subunidad de montaña en roca volcánica (RM-rv)

Estas geoformas, litológicamente están formadas por rocas volcánicas. Se identificó en la parte posterior de la colina Santa Apolonia.

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).

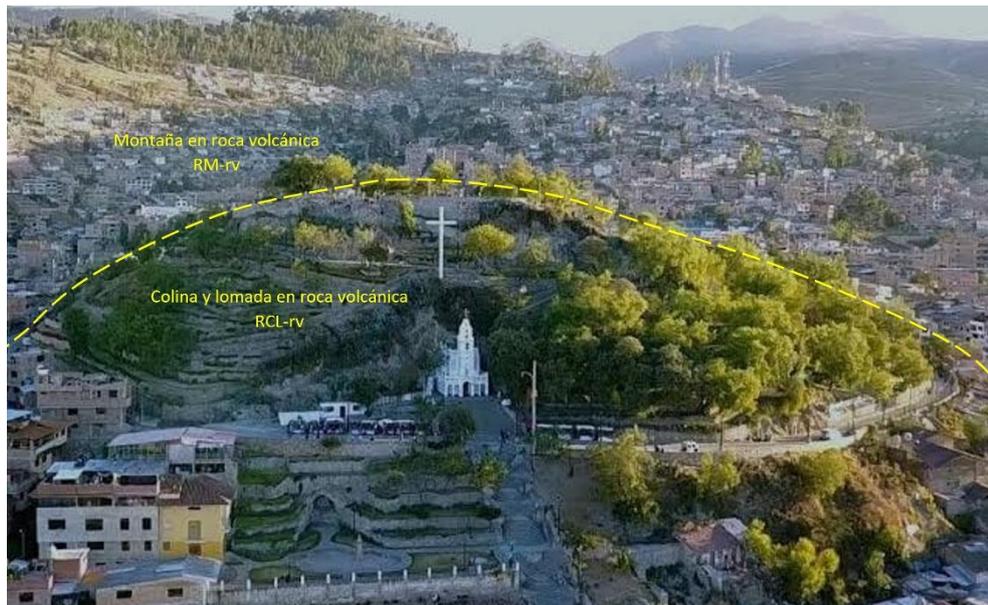


Figura 6. Las sub unidades geomorfológicas del sector evaluado corresponde a Montaña en roca volcánica (RM-rv) y Colina y lomada en roca Volcánica (RCL-rv).

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los movimientos en masa son parte de los procesos de denudación que moldean el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre.

La meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la actividad antrópica), actúan sobre las laderas desestabilizándolas y cambian el relieve a una condición más plana (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, PMA: GCA, 2007).

Los peligros geológicos identificados en las zonas de estudios, corresponde a, derrumbes descritos a continuación:

5.1 Derrumbe en la colina Santa Apolonia

Hacia el este de la colina se identificó un derrumbe, el cual se desarrolla sobre roca de origen volcánico, moderadamente meteorizado.

El 17 de noviembre, en dirección este de la colina Santa Apolonia, debido a las precipitaciones pluviales intensas y continuas, se activó un derrumbe, coadyuvado principalmente por la pendiente $>45^\circ$.

Los trabajos de campo realizado el 26 de noviembre, permitieron caracterizar y dimensionar el derrumbe sobre un macizo de roca volcánica la cual se encuentra muy fracturada y moderadamente meteorizada (figura 7), la zona de arranque tiene 68 m de longitud y 12 m de altura hasta el pie del derrumbe (figura 8).

En el derrumbe se observa fragmentos de roca de hasta 0.3 m de diámetro aproximadamente (figura 9), si se incrementa el evento podría originar el desprendimiento de la cruz, la cual podría afectar la capilla (ubicada en la parte baja delante de la cruz) y personas que transitan en la parte baja del sector evaluado.

La base de la cruz está confeccionada de ladrillos y concreto, la que descansa sobre una capa de material orgánico, cubierta de vegetación, la cual ha contribuido con la meteorización (alteración) de la roca volcánica dando origen al desprendimiento de la roca.



Figura 7. Cruz ubicada al borde de la zona de arranque, con alta probabilidad de colapsar sobre la capilla de la Virgen de Fátima, se puede ver que el macizo rocoso en la parte superior se encuentra muy fracturado, moderadamente meteorizado



Figura 8. Altura de la zona de arranque del material derrumbado hacia la base es de 12 m.
Coordenadas UTM WS-84 -17S, Norte: 9207799 – Este: 774024.



Figura 9. Fragmentos de roca sobre el techo de la Capilla Virgen de Fátima.



Figura 6. Base de la cruz está sobre estructura de ladrillos y concreto, la que descansa sobre un material orgánico, cubierta de vegetación, la cual ha contribuido con la meteorización de la roca volcánica dando origen al derrumbe.

Factores condicionantes

- Litología incompetente, roca volcánica moderadamente meteorizada, muy fracturada.
- Ladera con pendiente $>45^\circ$.
- Como factores antrópicos se tiene que sobre la roca volcánica se evidencia la plantación de especies florales, las cuales contribuyen a la meteorización de la roca y la sobre carga del peso de la Cruz (15Tn) en la corona del talud.

Factor detonante

- Lluvias intensas

Daños ocasionados por el derrumbe

- Las rocas producto del derrumbe afectaron la capilla da la Virgen de Fátima en la colina Santa Apolonia, si continua el evento podría ser destruida por el colapso de la Cruz de 15 toneladas que se encuentra al borde del talud y podría atentar contra la integridad física de las personas que transitan por esta zona turística.

CONCLUSIONES

- a. El 17 de noviembre del 2021, debido a las lluvias intensas, se produjo un derrumbe en la colina Santa Apolonia, parte del mismo cayó sobre el techo de la capilla Virgen de Fátima, comprometiendo la cruz que se encuentra sobre ella, que podría caer y afectar seriamente el templo y atentar con la integridad de los turistas que visitan la colina diariamente.
- b. El derrumbe presenta una zona de arranque de 68 m y la altura hasta la base donde se ubica la capilla es de 12 m, el material derrumbado está compuesto de fragmentos de roca de origen volcánico de hasta 0.30 cm y material orgánico que se encuentra sobre el macizo rocoso.
- c. En el sector evaluado se observó un afloramiento de roca volcánica, que en la parte superior del talud (base de la cruz) se encuentra moderadamente meteorizado y muy fracturado. En la parte alta, sobre la superficie de la roca, encontramos material de préstamo (relleno antrópico), conformado por arcillas limosas de color marrón oscuro, el cual es la base para la instalación de plantas en su mayoría florales.
- d. Las geoformas identificadas en el área evaluada, corresponden a subunidad de montaña en roca sedimentaria (RM-rv), con pendientes entre 15° y 25° y la subunidad de colina en roca volcánica (RCL-rv), con pendiente de 25°, unidad donde ocurrió el derrumbe.
- e. Los factores condicionantes corresponden son:
 - litología, roca volcánica moderadamente meteorizada, medianamente fracturada.
 - Ladera con pendiente >45° (corte de talud para construcción de capilla).
 - Sobre la superficie de la roca (parte superior) se tiene un relleno de arcillas (Antrópico) donde se de especies florales,
 - Humedecimiento de la roca, por los regadíos de los jardines, contribuye a la inestabilidad.
 - La roca es muy susceptible a descomposición por agentes climatológicos, como factores detonantes tenemos las lluvias continuas típicas de la zona.
- f. El sector evaluado en la Colina Santa Apolonia por ser concurrido durante todo el año por pobladores de la ciudad de Cajamarca y turistas, se considera **de Peligro Muy Alto** ante la ocurrencia de derrumbes, cuyo proceso podría reactivarse por lluvias intensas o sismos.

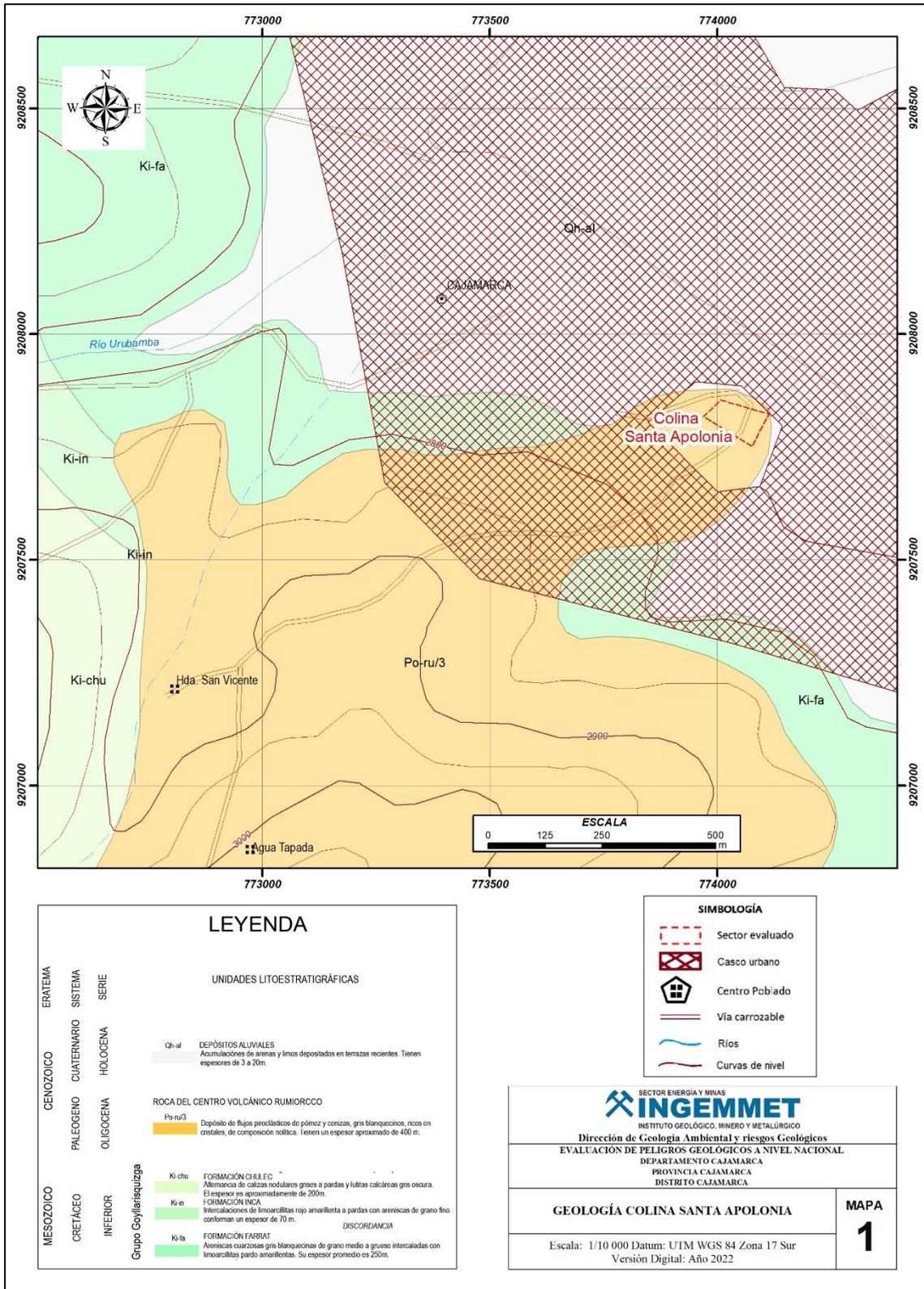
RECOMENDACIONES

- a. Retirar de manera urgente la Cruz, la cual se encuentra al borde de la zona de arranque del derrumbe, sobre la Capilla Virgen de Fátima. Si se considera construir una nueva, es necesario ubicarla en la parte posterior a una distancia aproximada de 35 m, previa evaluación geotécnica del terreno, en lo posible cimentarla sobre roca.
- b. El retiro de la Cruz, de su ubicación actual debe ser realizada por un especialista, para evitar accidentes que puedan atentar contra la integridad de las personas que se encuentren en el entorno durante su movimiento.
- c. 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.
- d. Evitar el desquinche de las laderas sin la orientación de un especialista, si no se realiza de manera adecuada, podría fracturar el macizo rocoso y originar nuevos derrumbes.
- e. Una vez retirada la Cruz, se debe cubrir el talud expuesto con geomalla para evitar su erosión y nuevos derrumbes.


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


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

ANEXO 1. MAPAS





ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS

En la zona evaluada para la mitigación de los peligros geológicos, se debe controlar la infiltración del agua hacia afuera del cuerpo de deslizamiento. 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 (Suarez, 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 deslizamiento, evitando su infiltración, captando el agua de escorrentía, llevándola a un sitio lejos del deslizamiento. Éstas deben ser construidas en la parte superior al escarpe principal del deslizamiento (figura A1). 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.

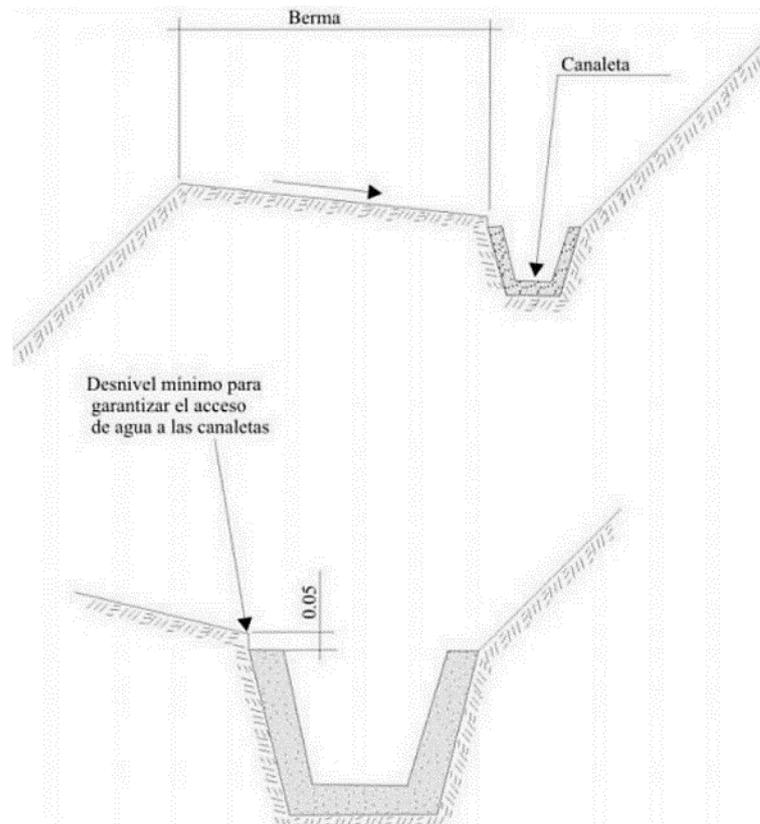


Figura A1. Detalle una canaleta de drenaje superficial (zanjas de coronación). Tomado de INGEMMET (2000).

BIBLIOGRAFÍA

- Lucía, A.; Vicente, F.; Martín-Moreno, C.; Martín-Duque, J.F.; Sanz, M.A.; De Andrés, C.; Bodoque, J.M. (2008) - Procesos geomorfológicos activos en cárcavas del borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama (Provincia de Segovia, España). Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sec. Geol.), 102: 47-69.
- Medina, L.; Vílchez, M.; Dueñas, SH. (2009). Riesgo geológico en la Región Amazonas. INGEMMET. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, No. 39, 205 p.
- 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.
- Reyes, R. (1980). Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, hojas 15-f, 15-g y 16-g. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, N° 67, 205 p.
- Shruthi, R.B.V.; Kerle, N.; Jetten, V. (2011) - Object-based gully feature extraction using high spatial resolution imagery. *Geomorphology* 2011, 134, 260–268.