

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7105

EVALUACIÓN DE PELIGROS EN LA QUEBRADA CALISPUQUIO

Región Cajamarca
Provincia Cajamarca
Distrito Cajamarca



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

Equipo de investigación:

Diana Vigo y Luis León

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2020). Evaluación de peligros geológicos en la quebrada Calispuquio. Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, región Cajamarca, Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7105, 42p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Objetivos del estudio	2
1.2 Antecedentes y trabajos anteriores	2
1.3 Aspectos generales	4
1.3.1 UBICACIÓN.....	4
1.3.2 ACCESIBILIDAD	5
1.3.3 CLIMA.....	5
1.3.4 HIDROGRAFÍA	6
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	7
2.1. Unidades litoestratigráficas	7
2.1.1 CENTRO VOLCÁNICO RUMIORCO (Po-ru/3)	7
2.1.2 FORMACIÓN FARRAT (Ki-fa)	8
2.1.3 FORMACIÓN CARHUAZ (Ki-ca)	9
2.1.4 DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-al)	9
2.1.5 DEPÓSITOS COLUVIALES (Qr-c).....	9
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	9
3.1 Pendientes del terreno	10
3.2 Unidades geomorfológicas	11
3.2.1 GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL	11
3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL	11
4. PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS	13
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	13
4.1.1 Deslizamientos en la quebrada Calispuquio	13
a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO	13
b) FACTORES CONDICIONANTES.....	15
c) FACTORES DESENCADENANTES	16
d) DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS	16
4.1.2 Deslizamientos en la quebrada Dos Aguas - Calispuquio (curso superior)	16
a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO	16
a) FACTORES CONDICIONANTES.....	19
b) FACTORES DESENCADENANTES.....	19

c)	DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS	19
4.1.3	Flujo de detritos en la quebrada Calispuquio.....	19
a)	CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO	19
b)	FACTORES CONDICIONANTES.....	20
c)	FACTORES DESENCADENANTES	20
d)	DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS	20
4.2.	Peligros geohidrológicos.....	21
4.2.1	Erosión de laderas en la quebrada Calispuquio.....	22
a)	CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO	22
b)	FACTORES CONDICIONANTES.....	22
c)	FACTORES DESENCADENANTES.....	23
d)	DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS	23
4.2.2	Erosión de laderas en la quebrada Dos Aguas.....	23
a)	CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO	23
b)	FACTORES CONDICIONANTES.....	24
c)	FACTORES DESENCADENANTES.....	24
d)	DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS	24
4.2.3	Inundaciones en la quebrada Calispuquio.....	25
a)	CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO	25
b)	FACTORES CONDICIONANTES.....	26
c)	FACTORES DESENCADENANTES.....	27
d)	DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS	28
5.	PROCESOS CON FACTORES DESENCADENANTES ANTRÓPICOS.....	29
6.	CONCLUSIONES.....	30
7.	RECOMENDACIONES	31
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	33
ANEXO 1:	LÁMINAS.....	35
ANEXO 2:	GLOSARIO.....	40

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos y geohidrológicos, realizados en la quebrada Calispuquio, que pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Cajamarca, provincia y región 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 (distrital, regional y nacional).

Las unidades geológicas que afloran en la cuenca alta de la quebrada Calispuquio corresponden a flujos piroclásticos del Centro Volcánico Rumiurco infrayaciendo lutitas y areniscas muy fracturadas y alteradas de las Formaciones Carhuaz y Farrat, en las que se han identificado deslizamientos y erosión de laderas. En la cuenca media y baja, afloran depósitos cuaternarios aluviales conformados por gravas heterométricas y subredondeadas en una matriz arenolimosas, que son propensas a inundaciones. Asimismo, se han desarrollado significativos deslizamientos en materiales coluviales.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional (montañas y colinas estructurales en rocas sedimentarias y montañas en roca volcánica) en las que se han identificado deslizamientos antiguos y recientes, y a las de carácter depositacional-gradacional, que configuran geoformas de piedemonte propensas a inundaciones.

Los procesos identificados en la quebrada Calispuquio corresponden a movimientos en masa tipo deslizamientos, eventos recientes y antiguos que han sufrido reactivaciones. También se identificó peligros geohidrológicos como erosión de laderas y erosión fluvial a lo largo del cauce alto e intermedio de la quebrada Calispuquio. La zona urbana es afectada por inundaciones y procesos de sedimentación, además de erosión del cauce canalizado.

Se considera que el principal factor condicionante que origina la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa es la pendiente del terreno, que va de fuerte a escarpada (15° - 45°) en la parte alta, a una suave pendiente (1° - 5°) en la zona urbana de la ciudad. El principal factor desencadenante es la actividad antrópica: emplazamiento de infraestructura en las márgenes de la quebrada Calispuquio, inadecuado manejo hidráulico, estrechamiento del cauce y vertimiento indiscriminado de residuos sólidos.

Se concluye que, el área de estudio es considerada de **Alto Peligro a la ocurrencia de inundaciones, erosión fluvial y deslizamientos**; que pueden originarse por el incremento del caudal de la quebrada Calispuquio en la temporada de lluvias intensas o excepcionales (octubre a marzo) y/o sismos de gran magnitud.

Finalmente, se brindan algunas recomendaciones, que las autoridades competentes deben tener en cuenta, principalmente la forestación, con plantas nativas, la limpieza y descolmatación periódica del cauce de la quebrada, el establecimiento de normativas de intangibilidad de las fajas marginales de la quebrada Calispuquio y la implementación de un sistema integral de drenaje pluvial, entre otras.

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 la solicitud de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, según Oficio N° 071-2020-GSC-SGDC-MPC, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de los eventos de tipo (deslizamientos, erosión de laderas e inundaciones), que ocurren frecuentemente en la quebrada Calispuquio durante la temporada de lluvias.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los ingenieros Luis León y Diana Vigo la realización de la evaluación técnica de la quebrada Calispuquio.

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

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de Cajamarca, el Gobierno Regional de Cajamarca, el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI, autoridades locales y funcionarios competentes, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1 Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geohidrológicos y por movimientos en masa que se presenten en la quebrada Calispuquio, eventos que afectan a la zona urbana de la ciudad de Cajamarca asentada en sus riberas.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los diferentes peligros identificados.
- c) Formular las recomendaciones pertinentes para la prevención o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos y geohidrológicos identificados.

1.2 Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del INGEMMET en la zona de estudio, relacionados con temas de geología y geodinámica externa. A escala local, también se

dispone de trabajos realizados por otras entidades públicas, los cuales se citan y mencionan a continuación:

- a) El Boletín N° 31, serie A, “Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba” (INGEMMET, 1980), presenta el mapa geológico de Cajamarca (hoja 15-f, escala 1:100,000), en el cual se aprecia que la quebrada Calispuquio se emplaza sobre depósitos cuaternarios del Holoceno, Formaciones sedimentarias del Cretácico Inferior y rocas volcánicas del Paleógeno.
- b) El “Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Cajamarca” (PNUD-INDECI, 2005), describe los aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos y urbanos de la ciudad de Cajamarca. En relación a los peligros en la quebrada Calispuquio, menciona que presenta un proceso de erosión en el curso superior y un proceso de sedimentación desde la Av. Independencia hasta su desembocadura en el río San Lucas.
- c) En el “Mapa geológico de Cajamarca (Navarro 2007), Hoja 15-f-I”, escala 1:50,000; la quebrada Calispuquio se ubica sobre afloramientos de los volcánicos Calipuy, específicamente sobre el tercer miembro del volcánico Rumiorco sobreyacente a la Formación Farrat.
- d) El Boletín N° 44, serie C, “Riesgos geológicos en la región de Cajamarca” (INGEMMET, 2011), presenta el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa (escala 1:250,000) en el cual se muestra que la quebrada Calispuquio se encuentra en zona de alta susceptibilidad.
- e) La tesis de grado “Modelamiento Hidráulico de la Quebrada Calispuquio – Tramo Ciudad de Cajamarca – Ciudad Universitaria, con Fines de Prevención de Inundaciones”, (Trigoso, 2018), mediante simulaciones y datos de campo, identifica las áreas inundables estimando el nivel de riesgo y calculando los caudales de avenidas máximas. También sugiere medidas preventivas.
- f) El informe de “Inspección Técnica a la quebrada Calispuquio, distrito y provincia de Cajamarca 2020” del Gobierno Regional de Cajamarca en el 2020 (Alcántara, 2020), además de presentar datos generales sobre las características de la cuenca de la quebrada Calispuquio, identifica zonas vulnerables a desastres y da una serie de recomendaciones dirigidas a la Municipalidad Provincial de Cajamarca, a fin de implementar medidas estructurales y no estructurales.

1.3 Aspectos generales

1.3.1 UBICACIÓN

La quebrada Calispuquio se localiza al sureste de la ciudad de Cajamarca, en el distrito, provincia y región de Cajamarca (figura 1), en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 17S) siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio

N°	UTM - WGS84 - Zona 17S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	777215.00	9208182.00	-7.156606°	-78.490092°
2	777967.00	9205983.00	-7.176442°	-78.483178°
3	773136.00	9204272.00	-7.192142°	-78.526809°
4	771979.00	9206312.00	-7.173762°	-78.537378°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	773797.00	9206048.00	-7.176060°	-78.520914°

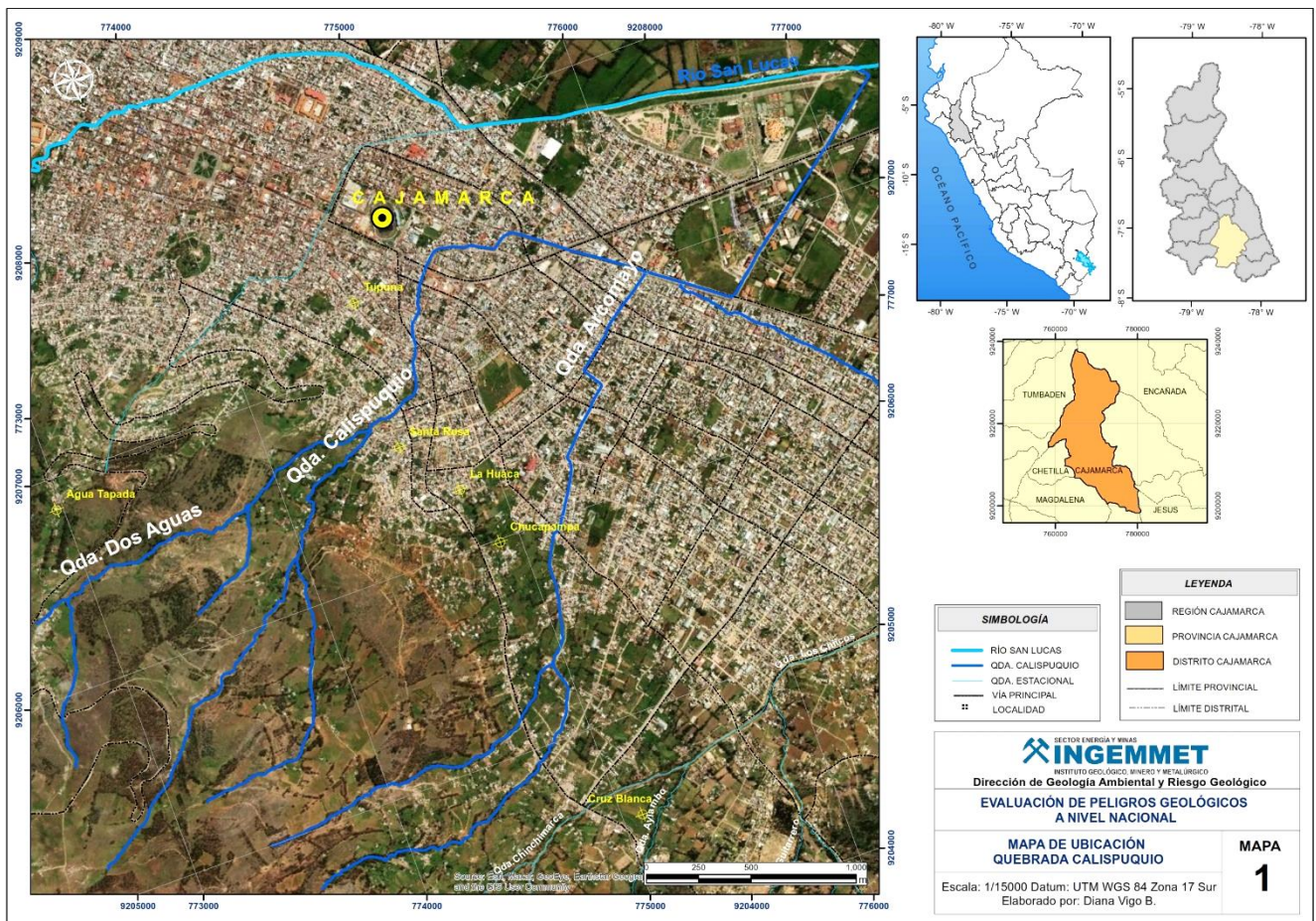


Figura 1. Mapa de ubicación de la quebrada Calispuquio.

1.3.2 ACCESIBILIDAD

Para acceder a la zona de estudio desde la ciudad de Cajamarca, existe la carretera Chilete-Cajamarca (PE-8A). La quebrada Calispuquio localizada al sureste de la ciudad, atraviesa la Av. Perú, Av. Independencia, Av. Atahualpa, Av. San Martín de Porres, Av. Progreso, Av. Vía de Evitamiento Sur, Av. Integración, hasta su desembocadura en el río San Lucas. La ruta se presenta a continuación:

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Ciudad de Cajamarca – Av. Perú.	Asfaltada	1.5	15 min
Av. Perú – Curso alto de la Quebrada Calispuquio	Asfaltada	5	30 min
Av. Independencia – Curso alto Quebrada Arcomayo	Trocha	1.5	60 min

1.3.3 CLIMA

Cajamarca se encuentra a 2738 m s.n.m., el clima es templado y cálido. Presenta un régimen pluviométrico variable durante todo el año, las precipitaciones mínimas se presentan entre los meses de mayo a setiembre y las máximas, entre los meses de enero a marzo. El mes más seco es julio en el que se han registrado 8 mm de precipitación en promedio. La mayor cantidad de precipitación ocurre en marzo, con un promedio de 133 mm (Climate-Data.org).

En la figura 02, se muestran datos de lluvia acumulada para el periodo comprendido entre setiembre del 2020 a agosto del 2021, obtenidos de la estación meteorológica Augusto Weberbauer.

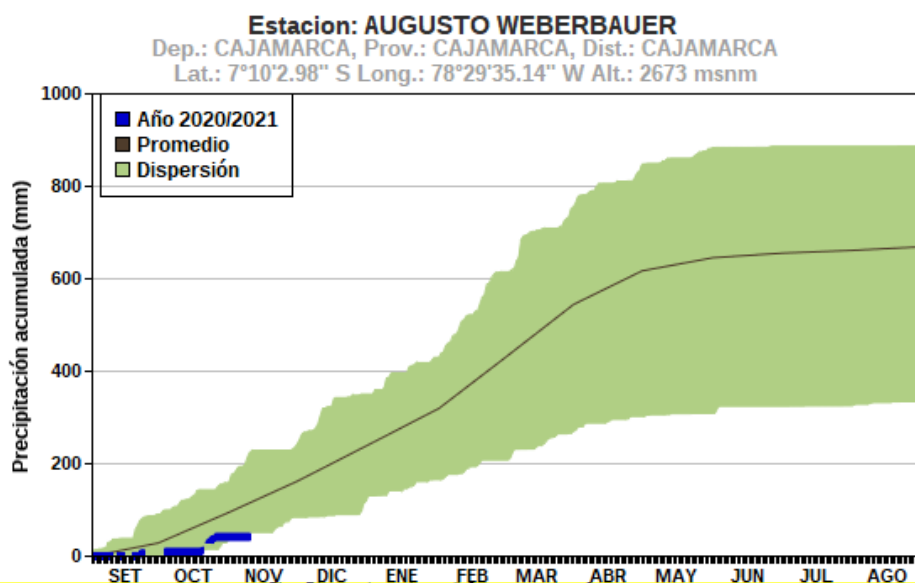


Figura 2. Datos de lluvia acumulada en la ciudad de Cajamarca para el periodo comprendido entre setiembre del 2020 a agosto del 2021 (SENAMHI, 2020).

1.3.4 HIDROGRAFÍA

La quebrada Calispuquio es de tipo intermitente o estacional, porque transporta aguas con mayor frecuencia durante la temporada de lluvias, permaneciendo en sequía el resto del año. En su curso inferior, cruza la ciudad de Cajamarca de Oeste a Este, hasta desembocar en el río San Lucas. Su cauce principal ingresa a la zona urbana en las coordenadas WGS84 – 17S: 774587 E / 9206712 N.

A lo largo del cauce de la quebrada Calispuquio, de dirección NO-SE constante, no se observan morfologías de drenaje muy desarrollado, siendo la quebrada Dos Aguas el tributario más importante, afluyendo al inicio de la zona urbana. Aguas abajo, la quebrada Arcomayo desemboca en la Calispuquio en la Av. Vía de Evitamiento Sur (figura 3). Generalmente, transporta agua entre los meses de noviembre a mayo, siendo los meses de mayor caudal entre enero a marzo.

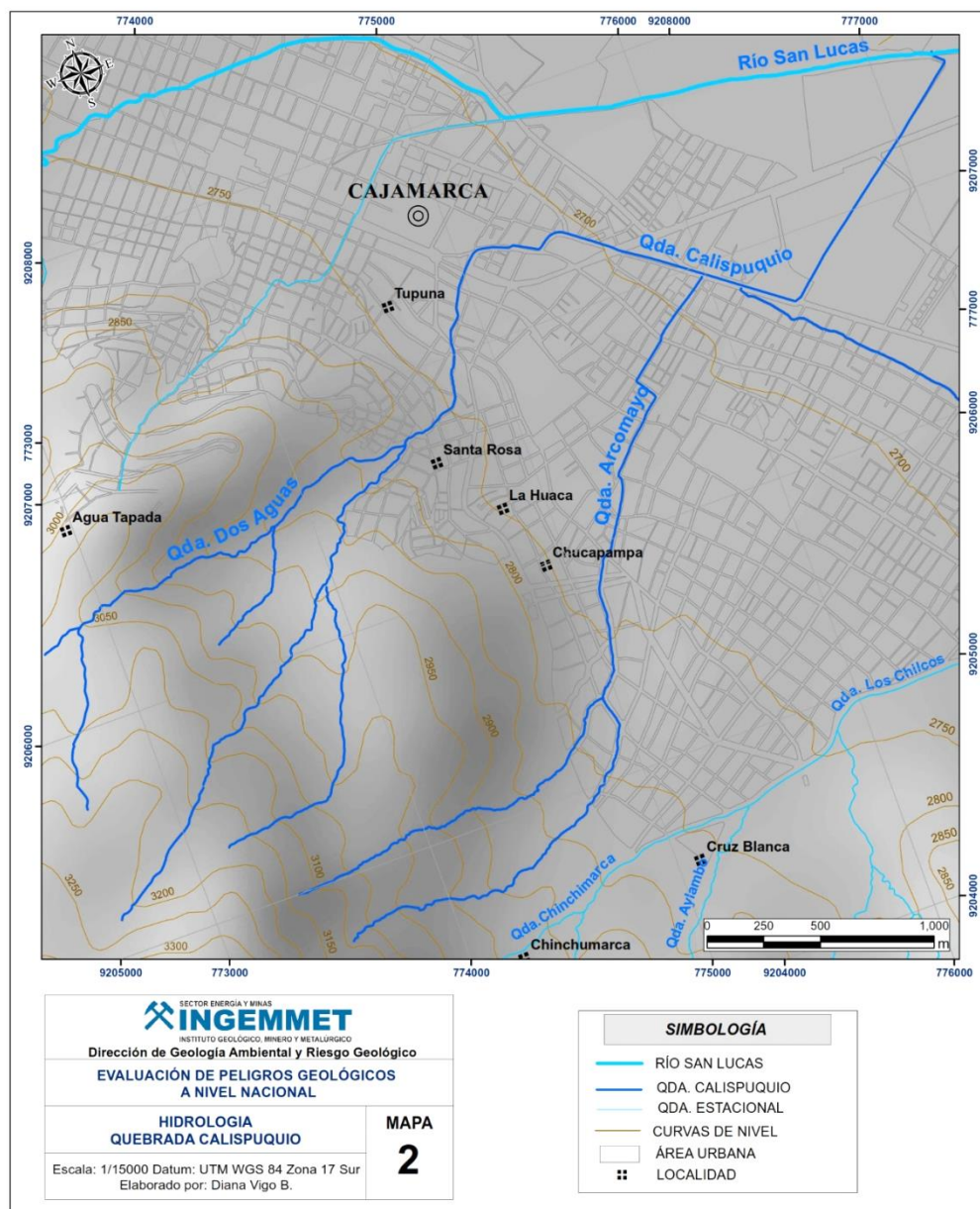


Figura 3. Mapa hidrológico de la quebrada Calispuquio (Elaboración propia).

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base la revisión y actualización de los cuadrángulos de Cajamarca (Hoja 15-f-I) y San Marcos (Hoja 15-g-IV) (Navarro, 2007). La geología se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo.

2.1. Unidades litoestratigráficas

En la parte alta e intermedia de la quebrada Calispuquio, aflora el tercer miembro del centro volcánico Rumiorco, constituido por depósitos piroclásticos y cenizas de composición riolítica, infrayace la Formación Farrat, compuesta de areniscas cuarzosas (Navarro, 2007). La zona urbana, ubicada en el curso inferior, está emplazada principalmente sobre depósitos aluviales y fluviales originados, en gran parte, por flujos procedentes de las quebradas Calispuquio, Dos Aguas y Arcomayo (figura 4).

En la figura 5, se presenta las unidades litoestratigráficas en torno de la zona de estudio.



Figura 4. Interpretación de fotografía aérea, mostrando la geología del sector y el contexto geomorfológico.

2.1.1 CENTRO VOLCÁNICO RUMIORCO (Po-ru/3)

Esta unidad litoestratigráfica suprayace a las formaciones sedimentarias del Cretáceo. Navarro (2007) le asigna una edad comprendida en el Paleógeno – Oligoceno. Consiste en un depósito de flujos piroclásticos de pómez y cenizas, de coloración gris blanquecina, ricos en cristales de composición riolítica (figura 6).

Los deslizamientos de mayores dimensiones y zonas de erosión identificados en la zona de estudio, se encuentran principalmente sobre los afloramientos volcánicos.

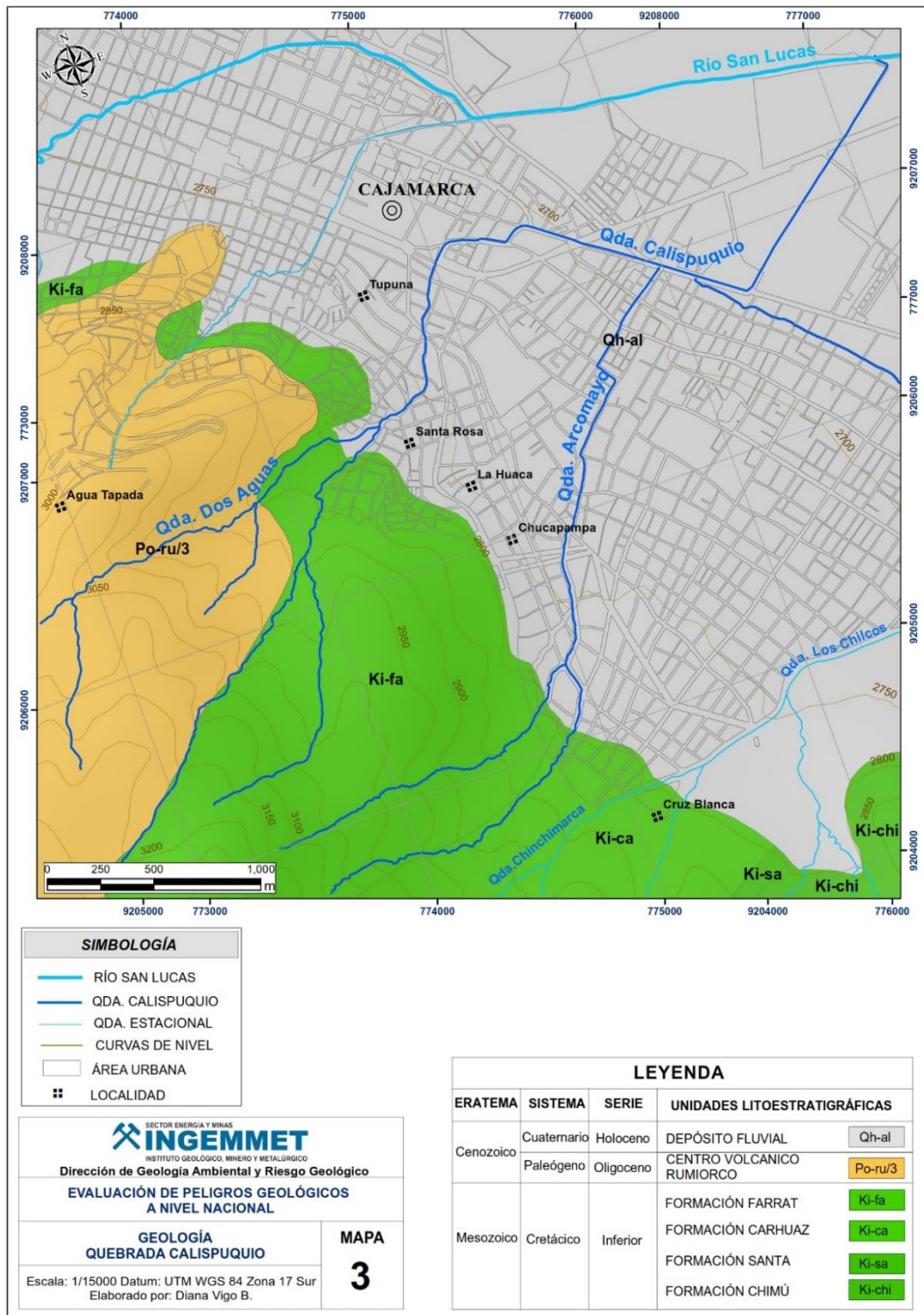


Figura 5. Mapa geológico de la zona de estudio (Navarro, 2007)

2.1.2 FORMACIÓN FARRAT (Ki-fa)

Esta unidad litoestratigráfica aflora en la cuenca alta de las quebradas Dos Aguas y Arcomayo. Se encuentra suprayaciendo a la Formación Carhuaz, pertenece al Cretácico inferior y está conformada por areniscas de color blanquecina a beige, muy fracturadas y alteradas (en algunos sectores), intercaladas con estratos de lutitas grises o amarillentas muy alteradas.



Figura 6: Afloramientos de baja resistencia del Centro Volcánico Rumiorko hacia ambas márgenes de la quebrada Calispuquio.

2.1.3 FORMACIÓN CARHUAZ (Ki-ca)

Se han identificado afloramientos de la Formación Carhuaz en el curso superior de la quebrada Arcomayo. Está conformada por estratos de lutitas ferruginosas intercaladas con areniscas muy fracturadas. En esta unidad se han identificado pequeños derrumbes puntuales.

2.1.4 DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-al)

Esta unidad litoestratigráfica ocupa el curso inferior de la quebrada Calispuquio y Arcomayo, asimismo en las márgenes de ambos cauces aflora en forma estratificada. Están conformados predominantemente por gravas subredondeadas, arenas y limos, con presencia de guijarros. Estos materiales son propensos a flujos e inundaciones.

2.1.5 DEPÓSITOS COLUVIALES (Qr-c)

Son depósitos de piedemonte, originados por la movilización del terreno, por acción de la gravedad y el agua, están constituidos por clastos de diferentes tamaños envueltos en una matriz de suelos finos limoarcillosos. En la zona de estudio, estos depósitos inconsolidados son inestables en pendientes escarpadas y tienden a originar deslizamientos.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

La quebrada Calispuquio está configurada por zonas de laderas de fuerte pendiente en su curso superior y en su curso inferior (zona urbana de la ciudad de Cajamarca) la topografía es suave hasta su desembocadura en el río San Lucas. Las altitudes varían entre aproximadamente los 3200 m.s.n.m. hasta los 2700 m.s.n.m. en la parte baja.

3.1 Pendientes del terreno

Los rangos de pendiente en la zona inspeccionada son variables: en la parte alta existen terrenos de pendiente fuerte (15° - 25°); en la parte media de la quebrada Calispuquio, las pendientes varían entre 5° - 15° y en la parte baja presenta terrenos llanos a suavemente inclinados (1°- 5°) correspondiente a un piedemonte aluvial (figura 7).

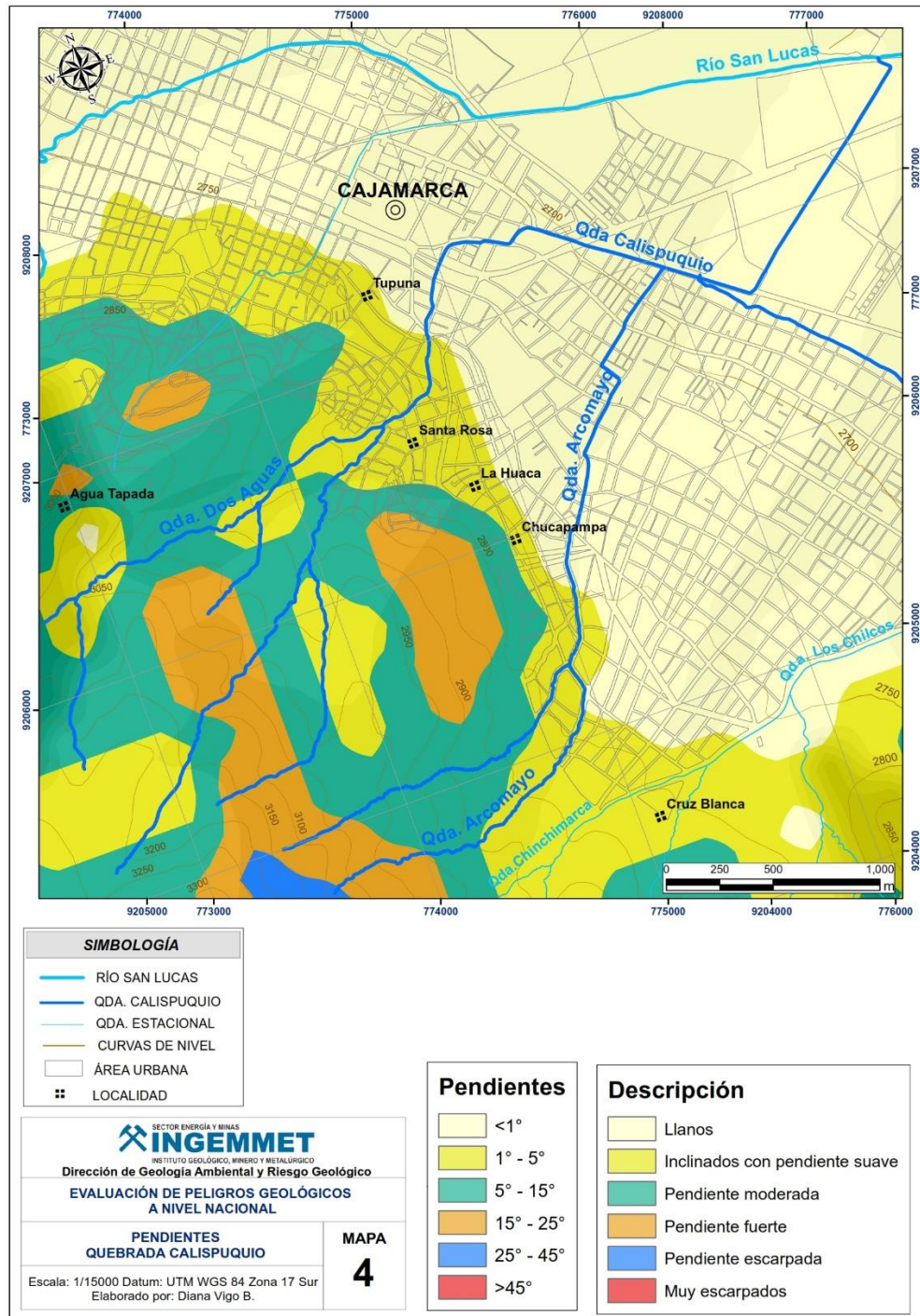


Figura 7. Mapa de pendientes de la zona de estudio (Elaboración propia)

3.2 Unidades geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en la quebrada Calispuquio, se ha empleado la publicación de Villota (2005) y la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del INGEMMET; cuyas concepciones se basan en considerar el efecto de los procesos morfodinámicos (degradacionales o denudativos y agradacionales o deposicionales) en la evolución del relieve. En la figura 8, se presenta el mapa geomorfológico de la zona de estudio.

3.2.1 GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

Están representadas por las formas de terreno resultantes de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes:

3.2.1.1 Unidad de montañas y colinas

Una montaña es la unidad o componente de una cadena montañosa, de diverso origen, con más de 300 m de desnivel respecto a su nivel de base local, cuya cima puede ser aguda, redondeada o tabular, sus laderas regulares e irregulares a complejas, y su pendiente o declive superior al 30%.

Subunidad de montañas y colinas estructurales en rocas sedimentarias (RMCE-rs): corresponde a elevaciones naturales del terreno que se encuentran fracturadas, constituidas por rocas sedimentarias tipo areniscas y lutitas de las Formaciones Carhuaz y Farrat. Esta subunidad se caracteriza porque sus laderas irregulares presentan pendientes moderadas a fuertes (15° - 25°), en esta se han identificado pequeños derrumbes. Se observa en el curso superior de las quebradas Calispuquio y Arcomayo.

Subunidad de montañas en roca volcánica (RM-rv): Incluye laderas de montañas que han sido afectadas por procesos de denudación. Litológicamente están compuestas por flujos piroclásticos del Centro Volcánico Rumiurco.

La parte alta de la quebrada Calispuquio, correspondiente a un relieve de montañas en rocas volcánicas, se presenta colinado, accidentado y llano por sectores, con pendientes suaves que se vuelven más fuertes en relación a la profundización de los cauces y la erosión de laderas. En esta subunidad se encuentran grandes deslizamientos y zonas de erosión de laderas.

3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL

Según Villota (2005), estas geoformas son el resultado de procesos morfodinámicos constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles; tales como el agua de escorrentía y los vientos, aquí se tiene:

3.2.2.1. Unidad de Piedemonte

Unidad conformada por la acumulación de materiales heterogéneos de tamaño variado sobre la base de las laderas de montañas. Incluye las siguientes subunidades.

Subunidad de piedemonte aluvio - lacustre (P-al): corresponde a una planicie ligeramente inclinada que se extiende al pie de los relieves montañosos circundantes a la ciudad de Cajamarca, la cual ha sido originada por la acumulación de sedimentos aluviales sobre una depresión antigua lagunar.

Esta subunidad se ha identificado en la parte baja de la quebrada Calispuquio, la cual coincide con el emplazamiento de la zona urbana de Cajamarca, la cual es afectada por flujos e inundaciones durante temporadas de lluvias intensas y / o extraordinarias.

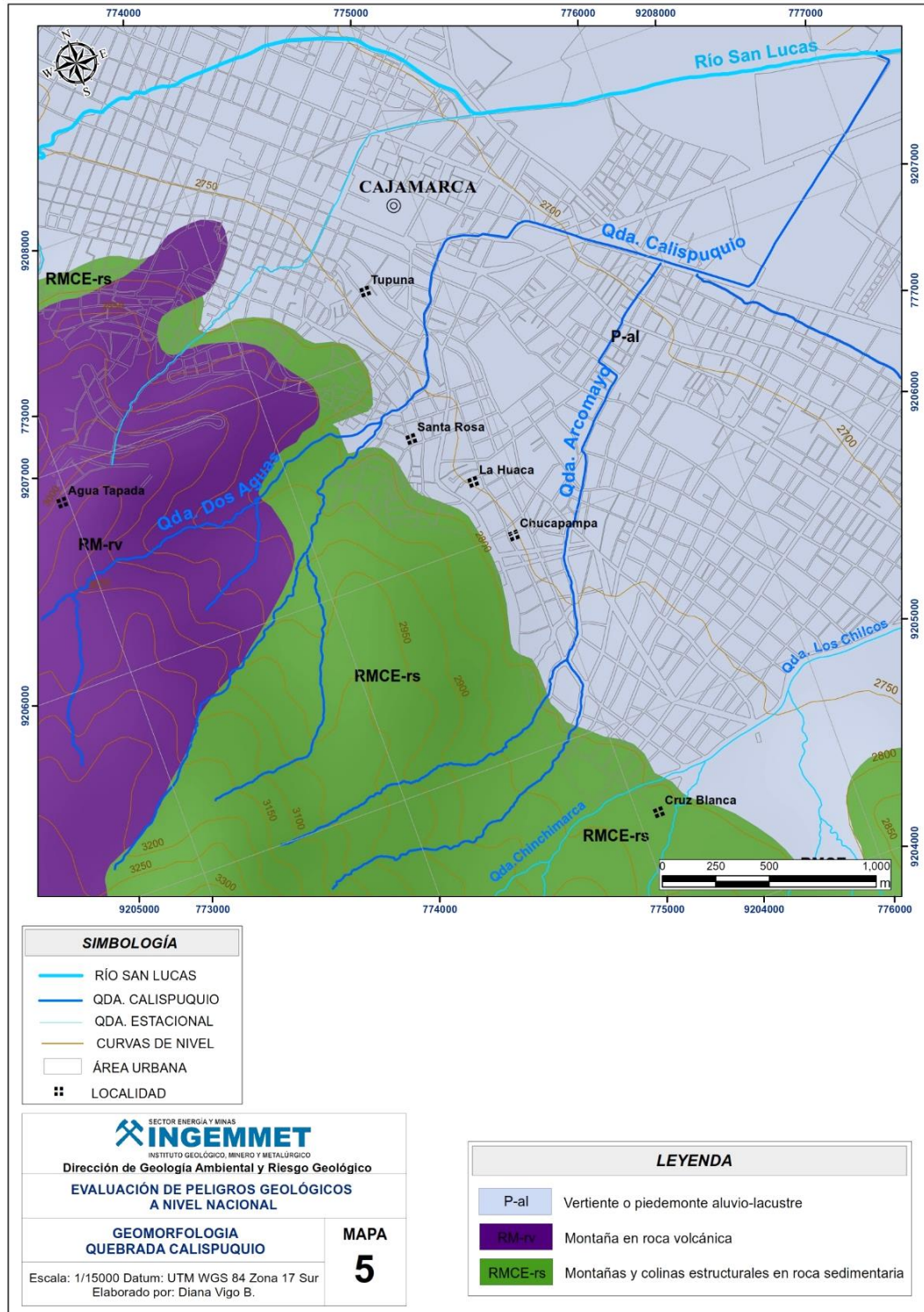


Figura 8. Mapa geomorfológico de la zona de estudio (Elaboración propia)

4. PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa tipo deslizamientos, mientras que, los peligros geohidrológicos están relacionados a erosión de laderas e inundaciones.

Los procesos mencionados, tienen como condicionantes factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelo, el drenaje superficial y la cobertura vegetal. Se tiene como factores desencadenantes, las precipitaciones periódicas y extraordinarias que caen en la zona, los movimientos sísmicos y los factores antrópicos (emplazamiento de infraestructura al borde del curso de la quebrada Calispuquio y sus tributarios, deforestación en la parte alta, inadecuado manejo hidráulico, acondicionamiento de pontones obstruyendo el cauce, vertimiento de aguas residuales y residuos sólidos).

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan 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, 2007). Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa tipo deslizamientos y flujos, cuyas características se mencionan a continuación (figura 9).

4.1.1 Deslizamientos en la quebrada Calispuquio

a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO

En la margen izquierda de la quebrada, a partir del sector coordenadas 773069 E / 9205558 N, se observan relictos de deslizamientos antiguos (figura 9, DES10-CAL), cuyos cuerpos se presentan en forma de terrazas y son actualmente utilizados como terrenos de cultivo (figura 10). La disposición paralela de las coronas indica un avance lateral, posiblemente relacionado a la erosión de laderas del lugar (figura 09, CAR04-CAL). La longitud total de las coronas es de aproximadamente 500 m. Las laderas de la margen derecha de este sector tienen escasa cobertura vegetal y presentan derrumbes recientes.

A partir del sector con coordenadas 773548 E / 9205934 N, se observan escarpes de antiguos deslizamientos (figura 9, DES11-CAL) con planos orientados hacia el noreste. Estos deslizamientos se presentan a ambos lados del cauce principal, prolongándose por aproximadamente 800 m quebrada abajo, de forma elongada. Se observan escarpes secundarios con alturas que varían de 5 a 10 m.

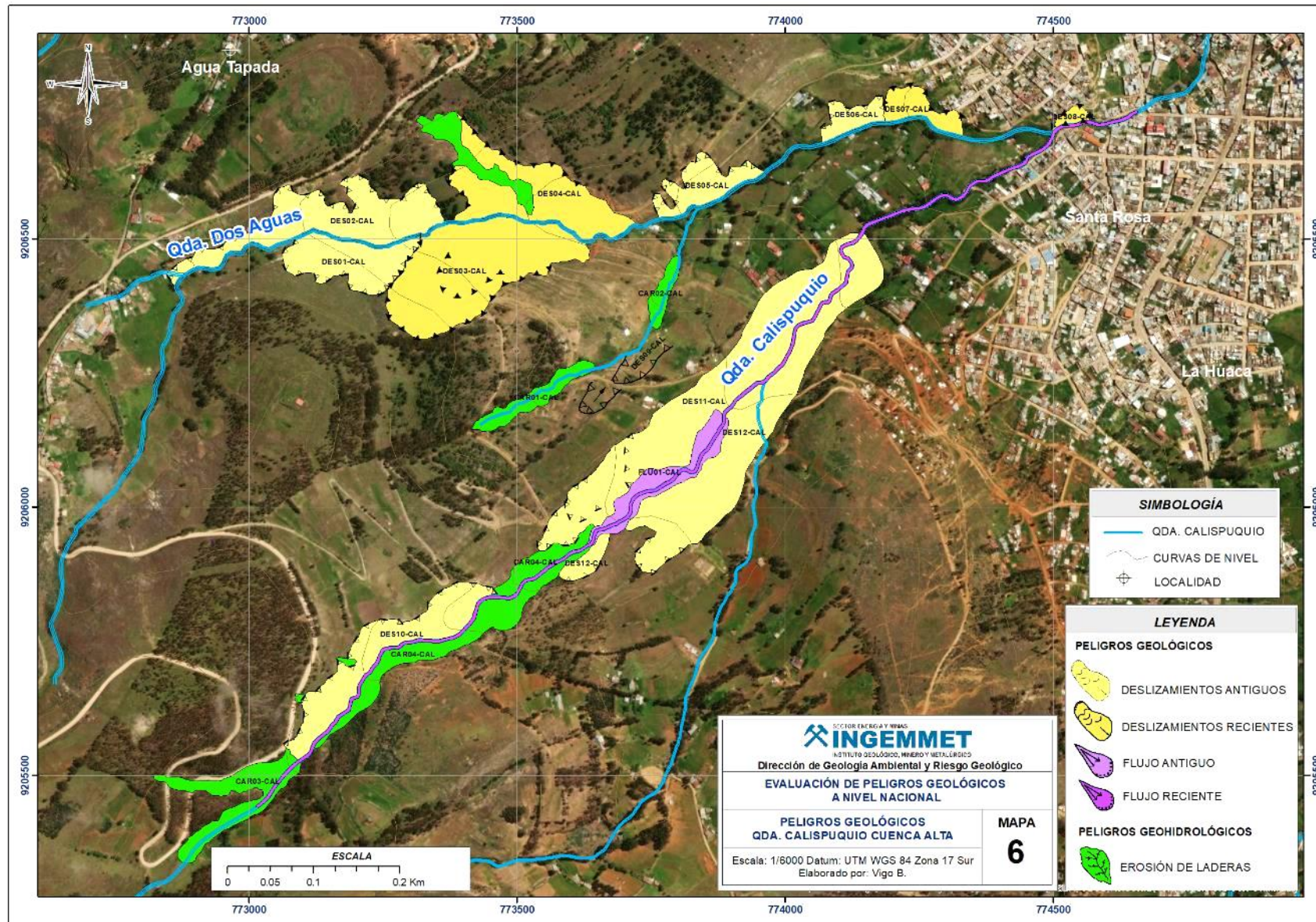


Figura 9. Peligros geológicos en la cuenca alta de la quebrada Calispuquio (Elaboración propia)

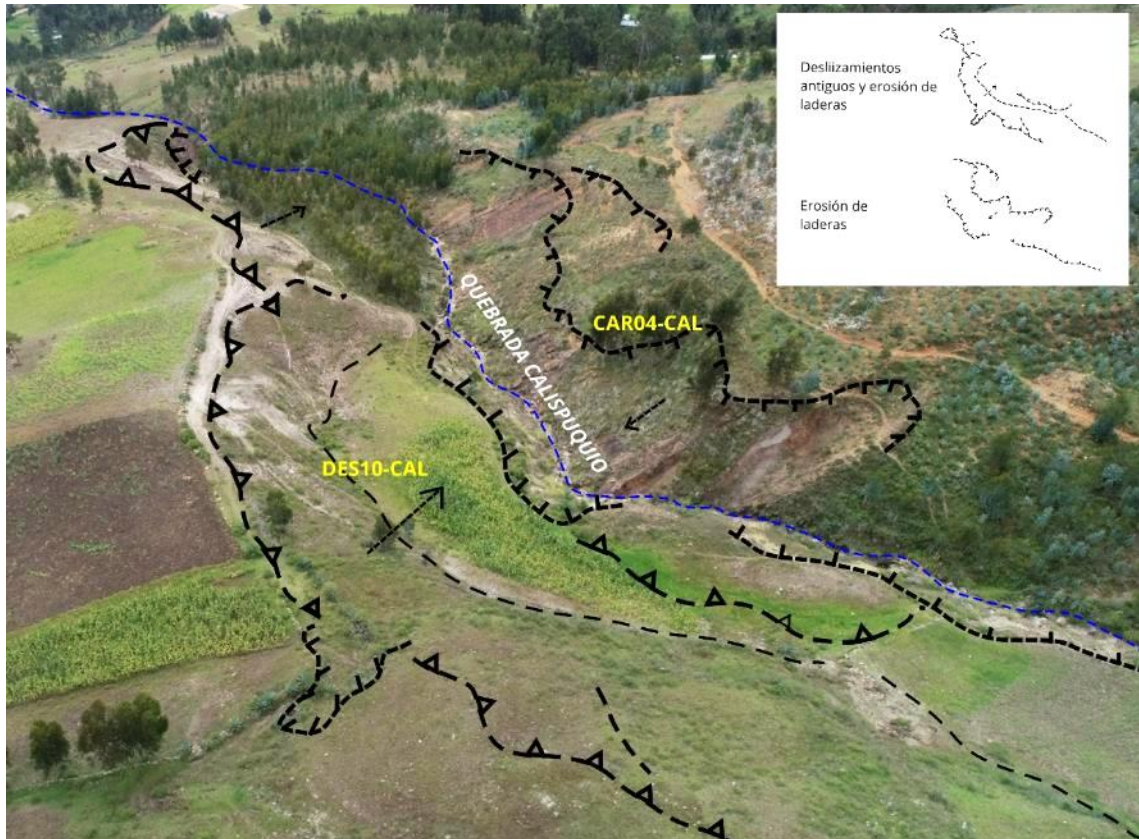


Figura 10. Deslizamientos y erosión de laderas que afectan el curso superior de la quebrada Calispuquio (773069 E; 9205558 N).

Sobre los terrenos irregulares del sector con coordenadas 773883 E / 9206042 N, se encuentran acumulaciones de agua relacionadas al emplazamiento del cuerpo de un deslizamiento antiguo (figura 9, DES12-CAL) localizado hacia la margen derecha. Los cambios de pendiente quebrada abajo sugieren que la zona fue afectada por un deslizamiento - flujo de mayor magnitud en el pasado (figura 9, FLU02-CAL), sin embargo, su cuerpo y alcance no se distinguen con claridad.

b) FACTORES CONDICIONANTES

- Características litológicas: la mayoría de deslizamientos en la zona de estudio se producen sobre depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas de baja resistencia del Centro Volcánico Rumiorco y sobre depósitos coluviales constituidos predominantemente por suelos finos limoarenosos con presencia de grava, poco consolidados.
- Propiedades de resistencia: los depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas y los depósitos coluviales identificados en ambas márgenes de la quebrada Calispuquio, se caracterizan por su baja resistencia al corte y son fácilmente erosionables cuando carecen de vegetación. Cuando estos materiales se emplazan sobre pendientes fuertes, el peso del material favorece el desplazamiento ladera abajo.

- Pendientes de las laderas: las laderas adyacentes al cauce de la quebrada Calispuquio, en su curso superior, presentan pendientes fuertes a escarpadas, cuya inclinación varía entre 15° – 45°.
- Escasa cobertura vegetal en las márgenes derecha e izquierda, en varios sectores de la quebrada Calispuquio.

c) FACTORES DESENCADENANTES

- Factores climáticos: las lluvias estaciones intensas y prolongadas o extraordinarias (entre los meses de octubre a marzo en la ciudad de Cajamarca), favorecen la saturación del terreno, aumentando el peso del material y las fuerzas tendentes a la inestabilidad.
- Uso del terreno: cuerpos de deslizamientos antiguos en la quebrada Calispuquio son actualmente utilizados como terrenos de cultivo.
- La socavación de las laderas producida por la acción erosiva de la quebrada Calispuquio durante avenidas extraordinarias, puede detonar los procesos de deslizamientos.

d) DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS

El deslizamiento de un gran volumen de material hacia el cauce de la quebrada Calispuquio puede originar el represamiento y posterior flujo de detritos, pudiendo afectar, aguas abajo, a las viviendas aledañas al cauce de la quebrada.

4.1.2 Deslizamientos en la quebrada Dos Aguas - Calispuquio (curso superior)

a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO

En el sector con coordenadas 773543 E / 9206542 N, a ambas márgenes de la quebrada Dos Aguas (afluente de la quebrada Calispuquio), se observan dos deslizamientos activos de dimensiones considerables (figuras 11, 12 y 13).

El deslizamiento localizado en la margen derecha (773553 E / 9206536 N) tiene una corona de aproximadamente 300 metros, salto principal de 30 metros y una longitud de 350 metros desde la corona hasta su pie (figura 9, DES03-CAL), se infiere que es de tipo rotacional. Hacia 10 metros ladera arriba de la corona, se aprecian desplazamientos verticales paralelos al escarpe principal, lo cual sugiere un avance retrogresivo (figura 11). Los escarpes secundarios tienen desplazamientos entre 10 y 20 metros, además, se observan coronas de reactivaciones en la parte media del cuerpo del deslizamiento, lo cual confirma el desplazamiento continuo.

Es necesario mencionar que, se ha tratado de mitigar el deslizamiento con andenería, muros de contención y obras de drenaje de aguas subterráneas, sin embargo, las reactivaciones circundantes indican que la deformación continúa.

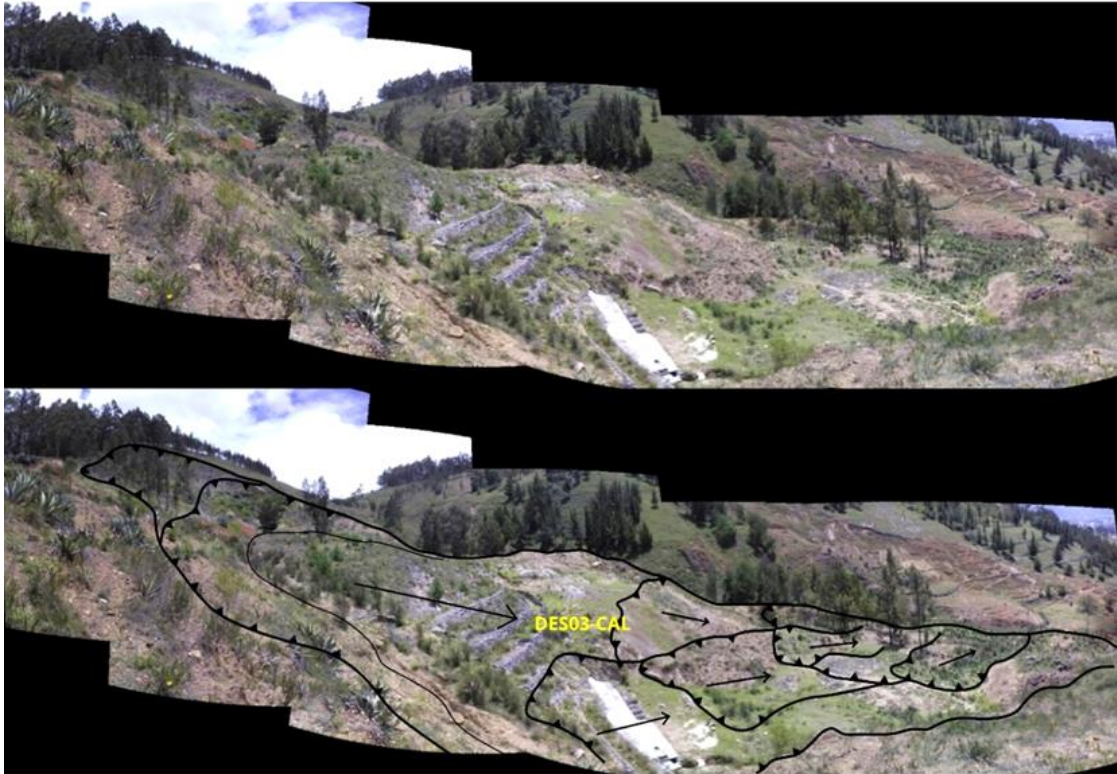


Figura 11. Interpretación del comportamiento del deslizamiento rotacional DES03-CAL, en la margen derecha de la quebrada Dos Aguas.

En el sector con coordenadas 773575 E / 9206577 N, en la margen izquierda de la quebrada Dos Aguas, frente al deslizamiento anteriormente descrito, puede encontrarse un deslizamiento de tipo compuesto (figura 9, DES04-CAL), con obras de mitigación en la parte inferior (figura 12). La parte media de este deslizamiento se desarrolla como una cárcava activa. Los flancos del escarpe principal muestran superficies deformadas por reptación, además de líneas de carcavamiento perpendiculares al escarpe. Aun se observa el estrechamiento de la quebrada generado por el movimiento principal del cuerpo. Asimismo, se diferencian reactivaciones recientes a manera de deslizamientos menores y derrumbes, principalmente en su flanco izquierdo. Los terrenos adyacentes y superiores al deslizamiento tienen escasa cobertura vegetal, compuesta principalmente por árboles dispersos, pastos ralos y algunos arbustos.

Ambos deslizamientos, anteriormente descritos, deforman laderas compuestas por los depósitos volcánicos Rumiorco.

En el sector con coordenadas 773195 E / 9206411 N, en la margen derecha de la quebrada Dos Aguas, se observan escarpes antiguos de deslizamientos aun conservados (figura 9, DES01-CAL), con coronas paralelas de 300 m de longitud aproximada total (figura 13). En el sector con coordenadas 773288 E / 9206565 N, también se distinguen escarpes de deslizamientos antiguos (figura 9, DES02-CAL) y zonas de erosión, a lo largo de aproximadamente 700 m, en el flanco izquierdo de la quebrada. La vegetación del sector se limita a pastos, arbustos y árboles escasos.



Figura 12. Comportamiento del deslizamiento compuesto DES04-CAL, en la margen izquierda de la quebrada Dos Aguas.

Agua abajo, en el sector con coordenadas 773831 E / 9206605 N, se observan escarpes de deslizamientos antiguos (figura 9, DES05-CAL) aún conservados (figura 13), con coronas paralelas de 250 m de longitud aproximada total, en la margen izquierda de la quebrada. La zona tiene muy escasa cobertura vegetal constituida por pastos ralos y árboles dispersos en la parte alta de la ladera.

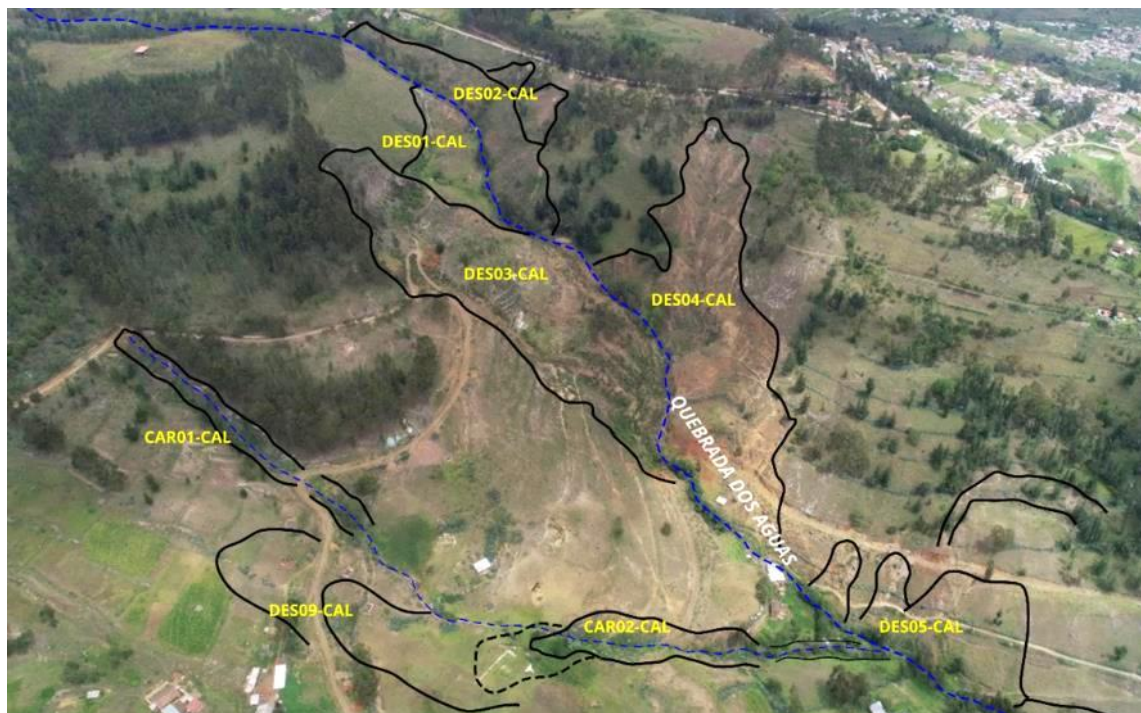


Figura 13. Ubicación de los peligros geológicos cartografiados en las inmediaciones de la quebrada Dos Aguas, parte alta de la quebrada Calispuquio.

En el sector con coordenadas 774185 E / 9206766 N, al oeste de la zona urbana, en la margen izquierda de la quebrada Dos Aguas, se observan escarpes de deslizamientos antiguos y deslizamientos recientes. Las coronas antiguas (figura 9, DES06-CAL) se proyectan por 180 m quebrada abajo, donde inician

deslizamientos activos recientes (figura 9, DES07-CAL), con coronas continuas de 200 m de longitud, colindantes a viviendas ubicadas en la parte alta de la ladera. La disposición de los deslizamientos, de oeste a este, indicaría un desarrollo de la deformación hacia la zona urbana.

En el sector con coordenadas 774534 E / 9206735 N, también se observa un deslizamiento activo (figura 9, DES08-CAL) adyacente al cauce canalizado, ya en la zona urbana.

Estos dos últimos deslizamientos activos se concentran principalmente en el flanco izquierdo de la quebrada Dos Aguas.

a) **FACTORES CONDICIONANTES**

- Características litológicas: los deslizamientos en la quebrada Dos Aguas se producen sobre depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas de baja resistencia del Centro Volcánico Rumiorco.
- Propiedades de resistencia: los depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas en ambas márgenes de la quebrada Dos Aguas, se caracterizan por su baja resistencia al corte y son fácilmente erosionables cuando carecen de vegetación.
- En el curso superior de la quebrada Arcomayo, las pendientes son fuertes a escarpadas, con inclinaciones que varían entre 15° – 45°.
- Escasa cobertura vegetal en las márgenes derecha e izquierda, en varios sectores de la quebrada Dos Aguas.

b) **FACTORES DESENCADENANTES**

- Factores climáticos: las lluvias estaciones prolongadas o extraordinarias (entre los meses de octubre a marzo en la ciudad de Cajamarca) saturan los terrenos, aumentando el peso del material y las fuerzas tendentes al movimiento.
- La socavación de las laderas producida por la acción erosiva de la quebrada Dos Aguas, durante avenidas extraordinarias, puede detonar los procesos de deslizamientos activos o reactivar movimientos antiguos.

c) **DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS**

El desplazamiento de un gran volumen de material hacia el cauce de la quebrada Dos Aguas puede originar el represamiento y posterior flujo de detritos hacia la quebrada Calispuquio, pudiendo afectar, aguas abajo, a las viviendas aledañas al cauce de ambas quebradas.

4.1.3 Flujo de detritos en la quebrada Calispuquio

a) **CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO**

En el sector con coordenadas 773882 E / 9206157 N, donde se cruza una trocha y la quebrada Calispuquio, se pueden encontrar depósitos de flujos recientes (figura 9, FLU01-CAL). Los clastos identificados son de composición polimíctica, forma subredondeada y la mayoría tienen longitudes que no superan los 20 cm. Aledaños al cauce, se observan gran cantidad de clastos cubiertos por vegetación, que se emplazaron sobre terrenos bajos (figura 14). No se diferenció una acumulación de depósitos similar quebrada abajo.

Cabe mencionar que los materiales transportados por estos flujos están relacionados con los procesos de erosión presentes quebrada arriba (Figura 15).



Figura 14. Acumulación de depósitos de flujos recientes, en el cruce de una trocha con la quebrada Calispuquio. Aledaños a los depósitos recientes, se observan gran cantidad de clastos cubiertos por vegetación.

b) FACTORES CONDICIONANTES

- Pendiente del terreno: el flujo se inicia en una zona de pendiente pronunciada en el curso alto de la quebrada Calispuquio, continua su propagación por una zona de transporte y se deposita en un abanico de detritos de pendiente suave (figura 15).

c) FACTORES DESENCADENANTES

- Las lluvias estaciones intensas o extraordinarias (entre los meses de octubre a marzo en la ciudad de Cajamarca) contribuyen a la desintegración del sedimento producto de deslizamientos hacia el cauce de la quebrada Calispuquio, para dar paso a la movilización de la masa saturada debido a la pérdida de cohesión del suelo, hasta transformarse en un fluido viscoso.

d) DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS

- El flujo de detritos puede causar daños severos, en el caso en que, alcance la zona urbana de la ciudad de Cajamarca (zona de deposición). Pudiendo ocasionar pérdidas en la infraestructura vial, civil y pérdidas humanas.

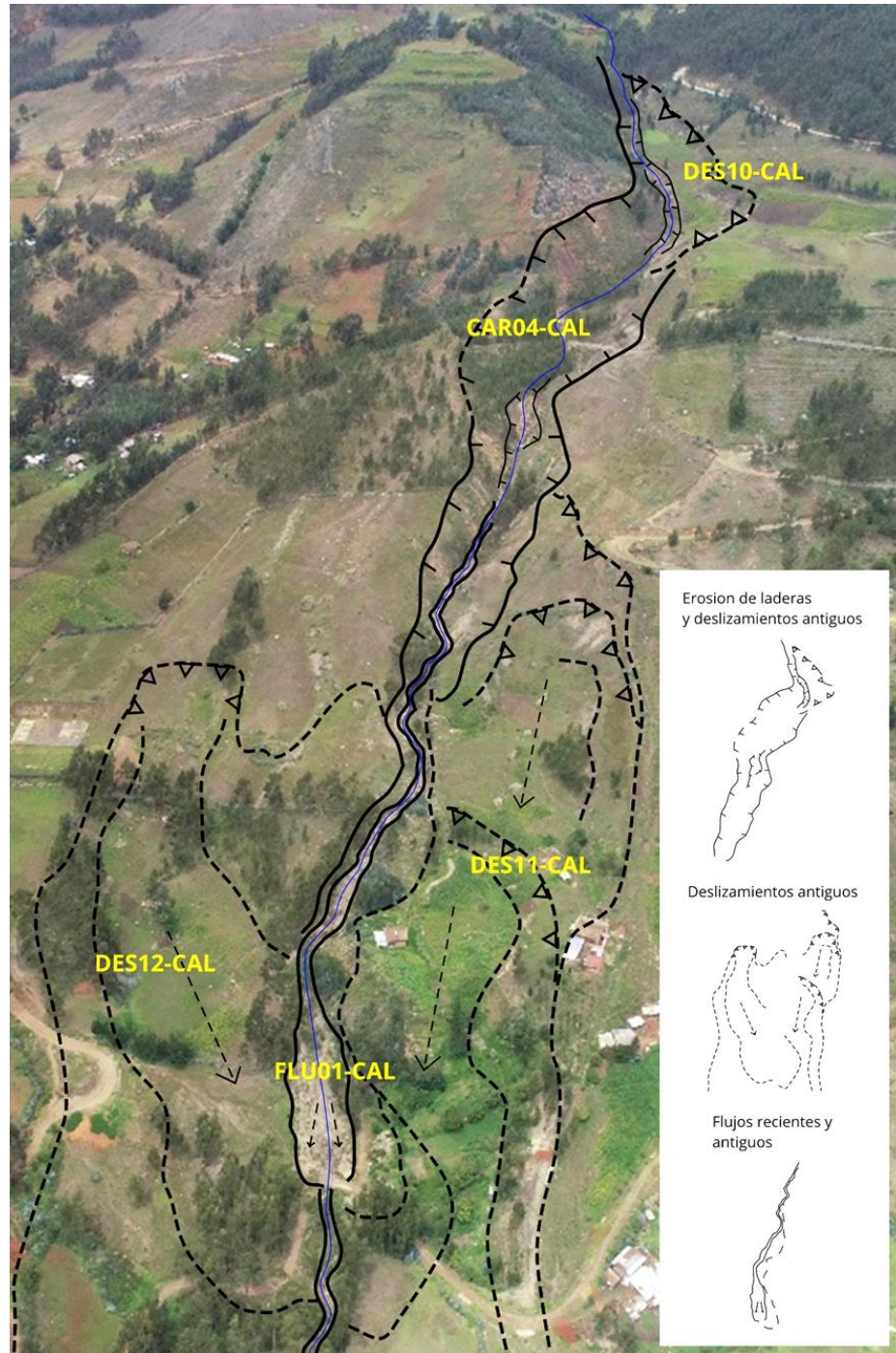


Figura 15. Vista aérea de la quebrada Calispuquio, de noroeste a sureste. Nótese los peligros geológicos que afectan el sector en el curso alto de la quebrada.

4.2. Peligros geohidrológicos

En la zona de estudio, los peligros geohidrológicos se tratan principalmente de procesos de erosión de laderas (surcos y cárcavas) e inundaciones fluviales de la quebrada Calispuquio en épocas de precipitaciones extraordinarias.

4.2.1 Erosión de laderas en la quebrada Calispuquio

a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO

Ambos márgenes de la quebrada Calispuquio muestran sectores con erosión y consecuentes zonas de derrumbes, posiblemente relacionados a crecidas o flujos producto de lluvias estacionales o extraordinarias. Gran parte de los terrenos de ladera en este sector están expuestos a la erosión (figura 16).



Figura 16. Deslizamientos y erosión de laderas que afectan el curso superior de la quebrada Calispuquio (773069 E; 9205558 N).

La parte alta de la quebrada Calispuquio muestra procesos de carcavamiento y erosión de laderas activos. La erosión (figura 09, CAR03-CAL), inicia en el sector con coordenadas 772865 E / 9205346 N, prolongándose quebrada abajo en dirección noreste, por aproximadamente 1 km. El avance retrogresivo se proyecta hacia un tramo de la carretera Cajamarca - Cumbemayo, en el sector con coordenadas 772864 E / 9205489 N. Se observan árboles de eucalipto paralelos a la línea de carcavamiento y tramos recientemente talados.

Las laderas de la margen derecha de la quebrada Calispuquio, ubicadas en el sector con coordenadas 773136 E / 9205540 N, tienen escasa cobertura vegetal y presentan procesos de carcavamiento recientes (ver figura 09, CAR04-CAL)

b) FACTORES CONDICIONANTES

- Características litológicas: los procesos de erosión de laderas en la quebrada Calispuquio, se producen principalmente sobre flujos piroclásticos meteorizados y de baja resistencia del volcánico Rumiorco y en depósitos coluviales constituidos por suelos finos poco consolidados.
- Pendientes de las laderas: las pendientes de las laderas en el curso superior de la quebrada Calispuquio tienen inclinaciones fuertes a escarpadas (15° - 45°). A medida que aumenta la inclinación y longitud de la pendiente, mayor es la cantidad de agua que fluye por escorrentía y mayor su capacidad erosiva.
- Laderas con escasa cobertura vegetal, en algunos sectores de la parte alta de la quebrada Calispuquio (figura 17).



Figura 17. Deslizamientos y erosión de laderas hacia la margen derecha de la quebrada Calispuquio (774015 E; 9206328 N).

c) FACTORES DESENCADENANTES

- Factores climáticos: Eventos de lluvia de alta intensidad durante los meses de octubre a marzo en la ciudad de Cajamarca, ocasionan la remoción del material superficial suelto o de baja resistencia.
- Cambio de uso de suelo: La deforestación de las laderas (aledañas al cauce de la quebrada Calispuquio) orientada a la edificación de entornos urbanos, provoca la pérdida de vegetación y aumenta las superficies susceptibles a la erosión hídrica.

d) DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS

- Los procesos de erosión hídrica en las laderas adyacentes a la quebrada Calispuquio, suelen preceder a otros movimientos en masa como deslizamientos o derrumbes.

4.2.2 Erosión de laderas en la quebrada Dos Aguas

a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO

La quebrada Dos Aguas tiene un afluente hacia su margen derecha. Esta pequeña quebrada presenta procesos de erosión de laderas (figura 9, CAR01-CAL) desde el sector con coordenadas 773408 E / 9206146 N. El cárcavamiento se desarrolla principalmente en la margen derecha de la quebrada, de muy escasa cobertura vegetal, proyectándose aproximadamente por 260 m ladera abajo, donde desaparece en relación a la disminución de la pendiente. Los procesos de cárcavamiento reaparecen (figura 9, CAR02-CAL) en una zona húmeda y con reptación de suelos, en el sector con coordenadas 773742 E / 9206342 N, continuando por aproximadamente 200 m quebrada abajo. Cabe mencionar que, hacia la margen derecha de las quebradas con cárcavas, en el sector con coordenadas 773684 E / 9206238 N, se observan escarpes de

posibles deslizamientos antiguos (figura 9, DES09-CAL), de los cuales, no se distinguen los cuerpos (figura 13).

b) FACTORES CONDICIONANTES

- El substrato volcánico muy alterado y los depósitos de cobertura coluvial, por su característica de suelos sueltos, inconsolidados y con capacidad de infiltración de aguas pluviales, desprovistos de vegetación (figura 18), condicionan la ampliación de superficies de erosión y denudación.



Figura 18. Erosión de laderas hacia la margen izquierda de la quebrada Dos Aguas, nótese superficies desprovistas de vegetación (774199 E; 9206734 N).

- Las pendientes de las laderas moderadas a escapadas con inclinaciones entre 15° - 45° en el curso superior de la quebrada Dos Aguas, conducen de manera proporcional la cantidad de agua que fluye por escorrentía y, por ende, controlan su capacidad erosiva.

c) FACTORES DESENCADENANTES

- Factores climáticos: Eventos de lluvia de alta intensidad durante los meses de octubre a marzo en la ciudad de Cajamarca, ocasionan la remoción del material superficial.

d) DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS

- Estos procesos son los predecesores de otros movimientos en masa como deslizamientos o derrumbes; por lo que es necesario tener en cuenta su evolución.

4.2.3 Inundaciones en la quebrada Calispuquio

a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO

En el curso inferior de la quebrada Calispuquio, correspondiente al curso canalizado de la quebrada, el emplazamiento urbano de la ciudad de Cajamarca es afectado por inundaciones y acumulación de sedimentos en tramos del canal, durante temporadas de intensas precipitaciones pluviales.

El estudio realizado por PNUD – INDECI (2005), para la ciudad de Cajamarca, menciona lo siguiente:

- La quebrada Calispuquio tiene continua acumulación de material arcilloso-granular, desde la Av. Independencia hasta su desembocadura en el río San Lucas, notándose una reducción de la sección de su cauce en dicho sector.
- Las zonas de aporte de sedimentos se encuentran en el curso superior de la quebrada hasta la intersección con el Jr. Alfonso Ugarte.
- Las inundaciones y desbordes ocurridos en la zona urbana (aledaña al curso de la quebrada Calispuquio), son originados principalmente por la acción pluvial, condicionados por la sobrecarga consecuente del inadecuado manejo hidráulico.
- La zona de mayor afectación, por el probable desborde del cauce de la quebrada Calispuquio, sería el Jr. San Martín de Porres, entre las calles Santa Teresita y José Olaya.

Las simulaciones realizadas por Trigo (2018), muestran escenarios de riesgo a inundación para un caudal máximo de retorno de 500 años (figura 19), donde se distinguen dos zonas que serían las más afectadas.



Figura 19. Mapa de Tirantes producto de inundación producida por la quebrada Calispuquio. (Tomado de Trigo, 2018).

En la zona 1 (figura 20), la manzana más afectada limita con los Jirones: Santa Teresa, San Luis, Progreso y Av. San Martín (Trigo, 2018).



Figura 20. Zona de Inundación 1 (Tomado de Trigoso, 2018).

En la zona 2 (figura 21), la manzana más afectada limita con los Jirones: 28 de Julio, Santa Teresa, Cristóbal Colon y 22 de Febrero (Trigoso, 2018).



Figura 21. Zona de Inundación 2 (Tomado de Trigoso, 2018).

Trigoso (2018), resalta que las condiciones actuales del canal Calispuquio (el estrechamiento del cauce en el sector con coordenadas 775243 E / 9207341 N, la falta de limpieza, acumulación de sedimentos, tramos deteriorados producto de la erosión y constante arrojado de basura) incrementan el riesgo de inundación en ambos sectores.

b) FACTORES CONDICIONANTES

- Morfología del terreno: En el curso inferior, la quebrada Calispuquio atraviesa terrenos llanos a inclinados con suave pendiente ($1^\circ - 5^\circ$).
- Acumulación natural y antrópica de sedimentos en el lecho de la quebrada Calispuquio.
- Factores antrópicos: Están relacionados a emplazamiento en riesgo de infraestructura al borde de la quebrada Calispuquio (figura 22), ausencia de un sistema integral de drenaje pluvial, obras de encauzamiento deficiente que pueden generar desbordes en zonas adyacentes (figura 23), acondicionamiento de pontones artesanales por los pobladores ocluyendo el

cauce de la quebrada (figura 24) y el arrojo indiscriminado de residuos sólidos a lo largo de todo el cauce (figura 25); generan la sobrecarga hídrica en épocas de lluvias intensas.

c) FACTORES DESENCADENANTES

- Factores climáticos: Las inundaciones se producen en épocas de intensa precipitación, asociadas a eventos extraordinarios de lluvias (durante los meses de octubre a marzo en la ciudad de Cajamarca).



Figura 22. Emplazamiento de viviendas en riesgo, en la ribera de la quebrada Calispuquio (774779 E / 9206842 N).



Figura 23. Obra de encauzamiento deficiente en la quebrada Arcomayo. Advértase, que la sección de la alcantarilla es muy pequeña en comparación al ancho del cauce de la quebrada, incrementando el peligro de desbordes de las zonas adyacentes (775149 E / 9205920 N).



Figura 24. Acondicionamiento de pontones artesanales por los pobladores ocluyendo el cauce de la quebrada Arcomayo (774924 E / 9205144 N).



Figura 25. Vista del cruce de la quebrada Calispuquio con la Av. Independencia. Advértase que la alcantarilla se encuentra completamente colmatada por el arrojado indiscriminado de residuos sólidos.

d) DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS

- Existen registros de desbordes en el curso inferior de la quebrada Calispuquio, que han inundado varios sectores en la zona urbana de la ciudad, y la vulnerabilidad ha aumentado por el exponencial crecimiento poblacional en ambas riberas de la quebrada.
- Los principales perjuicios que puede ocasionar el desborde de la quebrada Calispuquio, están relacionados a daños en la infraestructura educativa y de salud (CE. N° 82019, CE. Dos de Mayo, CE. Juan XXIII, CE. Magna Vallejo, Centro de Salud Magna Vallejo, Comisaría), en la infraestructura vial, en las viviendas aledañas a las riberas de la quebrada y en la red primaria de agua potable.

5. PROCESOS CON FACTORES DESENCADENANTES ANTRÓPICOS

En la sección anterior se ha descrito los fenómenos de origen geológico y geohidrológico identificados a lo largo del curso de la quebrada Calispuquio. Asimismo, se considera relevante mencionar los principales procesos que tienen factores desencadenantes antrópicos, relacionados con el desarrollo de actividades humanas, que afectan directamente las condiciones naturales de la quebrada (principalmente en su curso medio e inferior) **incrementando las situaciones de riesgo a inundaciones.**

Los principales factores antrópicos identificados en la zona urbana de la ciudad de Cajamarca, en torno a las quebradas Calispuquio y Arcomayo, se presentan en el Anexo 1 (Láminas). En el cuadro 3, se detalla cada uno de estos procesos.

Cuadro 3: Procesos con factores desencadenantes antrópicos en las quebradas Calispuquio y Arcomayo

PUNTO	ESTE	NORTE	UBICACIÓN	PROCESO ANTRÓPICO
1	774115	9206469	Curso medio de la quebrada Calispuquio	Emplazamiento en riesgo al borde de laderas inestables
2	774413	9206627	Curso medio de la quebrada Calispuquio	Emplazamiento en riesgo al borde del lecho de la quebrada Calispuquio.
3	774443	9206650	Curso medio de la quebrada Calispuquio	Inadecuado manejo hidráulico: obra de protección hidráulica deficiente.
4	774206	9204743	Curso superior de la quebrada Arcomayo	Emplazamiento en riesgo al borde de laderas inestables
5	774718	9204928	Curso medio de la quebrada Arcomayo	Arrojo indiscriminado de residuos sólidos al borde y al curso de la quebrada Arcomayo
6	774834	9205038	Curso medio de la quebrada Arcomayo	Emplazamiento en riesgo al borde del lecho de la quebrada Arcomayo
7	774925	9205144	Curso medio de la quebrada Arcomayo	Acondicionamiento de pontones artesanales por los pobladores obstruyendo el cauce de la quebrada
8	774929	9205337	Curso medio de la quebrada Arcomayo	Acondicionamiento de pontones artesanales por los pobladores obstruyendo el cauce de la quebrada
9	775149	9205920	Curso inferior de la quebrada Arcomayo	Inadecuado manejo hidráulico. Obra de canalización deficiente
10	774653	9206748	Curso medio de la quebrada Calispuquio	Emplazamiento en riesgo al borde del lecho de la quebrada Calispuquio.
11	774780	9206842	Curso inferior de la quebrada Calispuquio	Inadecuado manejo hidráulico. Obstrucción del cauce de la quebrada
12	774951	9207251	Curso inferior de la quebrada Calispuquio	Acumulación antrópica de sedimentos en el lecho de la quebrada Calispuquio. El material de relleno ha reducido el tirante de la sección a solamente 0.50 m. de altura, potencializando el represamiento de aguas en épocas de lluvias extraordinarias, afectando las zonas inmediatas
13	774995	9207297	Curso inferior de la quebrada Calispuquio	Inadecuado manejo hidráulico. Acumulación antrópica de sedimentos en el lecho de la quebrada

6. CONCLUSIONES

- a) La quebrada Calispuquio, de tipo estacional, cuenta con dos tributarios principales que son las quebradas Dos Aguas y Arcomayo. Representa una microcuenca de importancia para la ciudad de Cajamarca, ya que en su recorrido cruza de Oeste a Este la zona Sur de la ciudad de Cajamarca hasta desembocar en el río San Lucas; por lo que, es necesario evaluar e identificar los principales peligros geológicos que se desarrollen y generen en ella.
- b) En el contexto litológico, en el curso superior de la quebrada se evidencian afloramientos de areniscas y lutitas muy alteradas y fracturadas de las Formaciones Carhuaz y Farrat, así como, depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas del Centro Volcánico Rumiorco. En su curso inferior, los depósitos aluviales conforman áreas llanas de pendientes suaves, sobre las cuales se ha asentado una importante zona urbana de la ciudad de Cajamarca.
- c) La quebrada Calispuquio discurre desde su nacimiento, de relieve montañoso con pendientes fuertes a escarpadas ($25^{\circ} - 45^{\circ}$), a su curso intermedio de superficies onduladas con pendientes que varían entre $5^{\circ} - 15^{\circ}$. La parte baja de su cauce corresponde a un abanico aluvial o cono de deyección de pendiente llana a suavemente inclinada ($1^{\circ} - 5^{\circ}$).
- d) Los trabajos de campo permitieron identificar deslizamientos, flujos y erosión de laderas a lo largo del cauce alto e intermedio de la quebrada Calispuquio. La zona urbana es afectada por inundaciones y procesos de sedimentación, además de erosión del cauce canalizado.
- e) Los movimientos en masa presentes en las márgenes de los cauces alto e intermedio de las quebradas Dos Aguas y Calispuquio, son fuente del constante aporte de sedimentos que afectan la canalización del cauce bajo que discurre por la ciudad de Cajamarca, durante la ocurrencia de crecidas desencadenadas por lluvias de temporada o extraordinarias.
- f) El emplazamiento urbano correspondiente a las márgenes de la parte baja canalizada de la quebrada Calispuquio, sufre de constantes inundaciones y acumulación de sedimentos. Estudios específicos identifican acumulación de material arcilloso-granular, desde la Av. Independencia hasta su desembocadura en el río San Lucas.
- g) En escenarios de riesgo a inundación, para un caudal máximo de retorno de 500 años, muestran dos zonas que serían más afectadas. La zona 1 limita con los Jirones: Santa Teresa, San Luis, Progreso y Av. San Martín. La zona 2 limita con los Jirones: 28 de Julio, Santa Teresa, Cristóbal Colon y 22 de Febrero.
- h) Los desbordes e inundaciones están condicionados por sobrecarga consecuente del inadecuado manejo hidráulico, emplazamiento en riesgo al borde de la quebrada y en el borde de laderas inestables, arrojamiento indiscriminado de residuos sólidos, carencia de limpieza periódica y la ausencia de un sistema integral de drenaje pluvial; incrementan el riesgo de inundación en ambos sectores.

- i) Por las condiciones actuales y presencia de movimientos en masa activos de grandes dimensiones en su curso superior, se considera a la quebrada Calispuquio, como **Zona Crítica de Alto Peligro a la ocurrencia de inundaciones, erosión fluvial y deslizamientos**, ante la ocurrencia de lluvias excepcionales y/o sismos de gran magnitud.

7. RECOMENDACIONES


GENERALES:

- a) Realizar la limpieza y descolmatación periódica de toda la quebrada Calispuquio y sus tributarios, antes de la temporada lluviosa, la cual ocurre entre los meses de octubre a marzo.
- b) Realizar la arborización o revegetación integral de las márgenes del cauce alto e intermedio de las quebradas Calispuquio, Dos Aguas y Arcomayo; a fin de, controlar y reducir la erosión de laderas y el desarrollo o propagación de nuevos movimientos en masa.
- c) Implementar y determinar zonas intangibles para ambas márgenes de la quebrada Calispuquio y sus tributarios, prohibiendo la construcción de viviendas en laderas inestables o cauces de las quebradas estacionarias y el arrojado indiscriminado de residuos sólidos.
- d) Implementar muros de contención, andenería u otras obras de ingeniería (propuestas y ejecutadas por profesionales con capacidades probadas sobre el tema) en las zonas de deslizamientos y cárcavamientos que puedan ser afectadas por erosión fluvial durante las crecidas o flujos de la quebrada Calispuquio.
- e) Controlar la expansión urbana desordenada y no permitir nuevas construcciones en los sectores con problemas de peligros geológicos y geohidrológicos activos, figura 09. Dado que, la zona de estudio está considerada dentro de los planes de expansión urbana de la ciudad de Cajamarca, es imperativo plantear normativas que regulen el adecuado manejo del terreno.
- f) Por las malas características geotécnicas de los materiales aledaños al curso de las quebradas Calispuquio y Dos Aguas, preferentemente, la zona debe tener uso forestal u otro uso del terreno que prevenga la erosión en las laderas y la consecuente ocurrencia de nuevos movimientos en masa.

ESPECÍFICOS

- a) Realizar un programa de capacitación y concientización dirigida a la población asentada en las márgenes y cauce de la quebrada Calispuquio y sus tributarios. Pues, en la inspección técnica se ha identificado una creciente expansión urbana ocupando las riberas de la quebrada Dos Aguas, así como, el acondicionamiento de puentes peatonales obstruyendo el cauce de la quebrada Arcomayo. Estos

- últimos son indicadores que la población carece de una cultura de prevención, poniendo en riesgo no sólo sus viviendas sino también sus vidas.
- b) Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Cajamarca, realizar un estudio que permita delimitar la faja marginal de la quebrada Calispuquio, Dos Aguas y Arcomayo (revisar la Resolución Jefatural N° 332 – 2016 – ANA), para luego implementar y promulgar una normativa o reglamentación de fajas marginales, a fin de proteger y preservar a las quebradas en cuestión, limitando el avance o la expansión urbana hacia sus riberas y cauce.
 - c) Forestar las zonas de deslizamientos antiguos DES01-CAL, DES02-CAL, DES05-CAL, DES06-CAL, DES07-CAL, DES10-CAL, DES11-CAL y DES12-CAL e inmediaciones, de acuerdo a parámetros de estabilidad para los respectivos lugares y con vegetación propuesta por profesionales con capacidades probadas sobre el tema. Prohibir la expansión urbana en esas zonas.
 - d) Implementar un sistema de monitoreo de la zona deslizada (fuera y encima del cuerpo de deslizamiento) y laderas colindantes, que permita conocer la deformación e inestabilidad en el sector y prevenir la ocurrencia de reactivaciones en el deslizamiento DES03-CAL. Puede ser visual, topográfico y de ser posible instrumental.
 - e) De no conseguir la mitigación o estabilización, reubicar las viviendas que se encuentran colindantes o cercanas a las laderas con deslizamientos activos.
 - f) Implementar sistemas de control de cárcavas para las zonas con cárcavamiento activo DES04-CAL, CAR01-CAL, CAR02-CAL, CAR03-CAL y CAR04-CAL.
 - g) En relación a las inundaciones recurrentes que afectan la parte baja, considerar el replanteo hidráulico de la canalización de la quebrada Calispuquio, a fin de evitar el constante deterioro de viviendas e infraestructura urbana de la ciudad de Cajamarca.
 - h) Realizar el mejoramiento del sistema vial en áreas de expansión urbana. Es necesario la construcción de puentes, en los sectores con coordenadas 774925 E / 9205144, 774929 E / 9205337 N; con la finalidad de evitar que los pobladores obstruyan completamente el cauce de las quebradas para construir sus trochas carrozables.
 - i) Corregir el estrechamiento del canal, en el sector con coordenadas 775243 E / 9207341 N, ampliándolo y manteniéndolo constante hasta su desembocadura, de acuerdo a parámetros hidráulicos propuestos por profesionales con capacidades probadas sobre el tema.


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


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

8. BIBLIOGRAFÍA

Alcántara, E. (2020). Inspección Técnica a la quebrada Calispuquio, distrito y provincia de Cajamarca 2020". Informe técnico N° 05-2020/GRC-OSDN-GRD.

Corominas, D. J., & García Y. A. (1997). Terminología de los movimientos de laderas, en Memorias, IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Granada, España, p. 1051–1072.

Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996). Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, p. 36–75.

Hungr, O; Evans, S. G; Bovis, M., & Hutchinson, J.N. (2001). Review of the classification of landslides of the flow type: Environmental and Engineering Geoscience, v. 7, p. 22–238.

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.

Maddox, I. (2014). Three Common Types of Flood Explained, Blog web, <http://www.intermap.com/risks-of-hazard-blog/three-common-types-of-flood-explained>.

Navarro, P. (2007). Mapa geológico de Cajamarca. Hoja 15-f-I, 1:50,000.

Pierson, T.C. (1986). Flow behaviour of channelized debris flows, Mount St. Helen's, Washington, en Abrahams, A.D., ed., Hillslope processes: Boston, Allen and Unwin p. 269–296.

PNUD. (2005). Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Cajamarca. INDECI.

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, L. (1980). Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. INGEMMET, Boletín N° 31 Serie A: Carta Geológica Nacional.

Sen, D. (2018). What Is a River Flood?, Blog web, <https://sciencing.com/about-6310709-river-flood-.html>.

Shruthi, R. B. V., Kerle, N., & Jetten, V. G. (2011). Object - based gully feature extraction using high spatial resolution imagery. *Geomorphology*, 134(3-4), 260-268. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.07.003.

Trigoso, B. (2018). Modelamiento Hidráulico de la Quebrada Calispuquio – Tramo Ciudad de Cajamarca – Ciudad Universitaria, con Fines de Prevención de Inundaciones, Tesis de Grado, Ingeniería Hidráulica, Universidad Nacional de Cajamarca.

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

Zavala, B. & Rosado, M. (2011) - Riesgo geológico en la región Cajamarca. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 44, 396 p

ANEXO 1: LÁMINAS



Figura 1.1. Lámina 01, procesos con factores desencadenantes antrópicos en la quebrada Calispuquio.

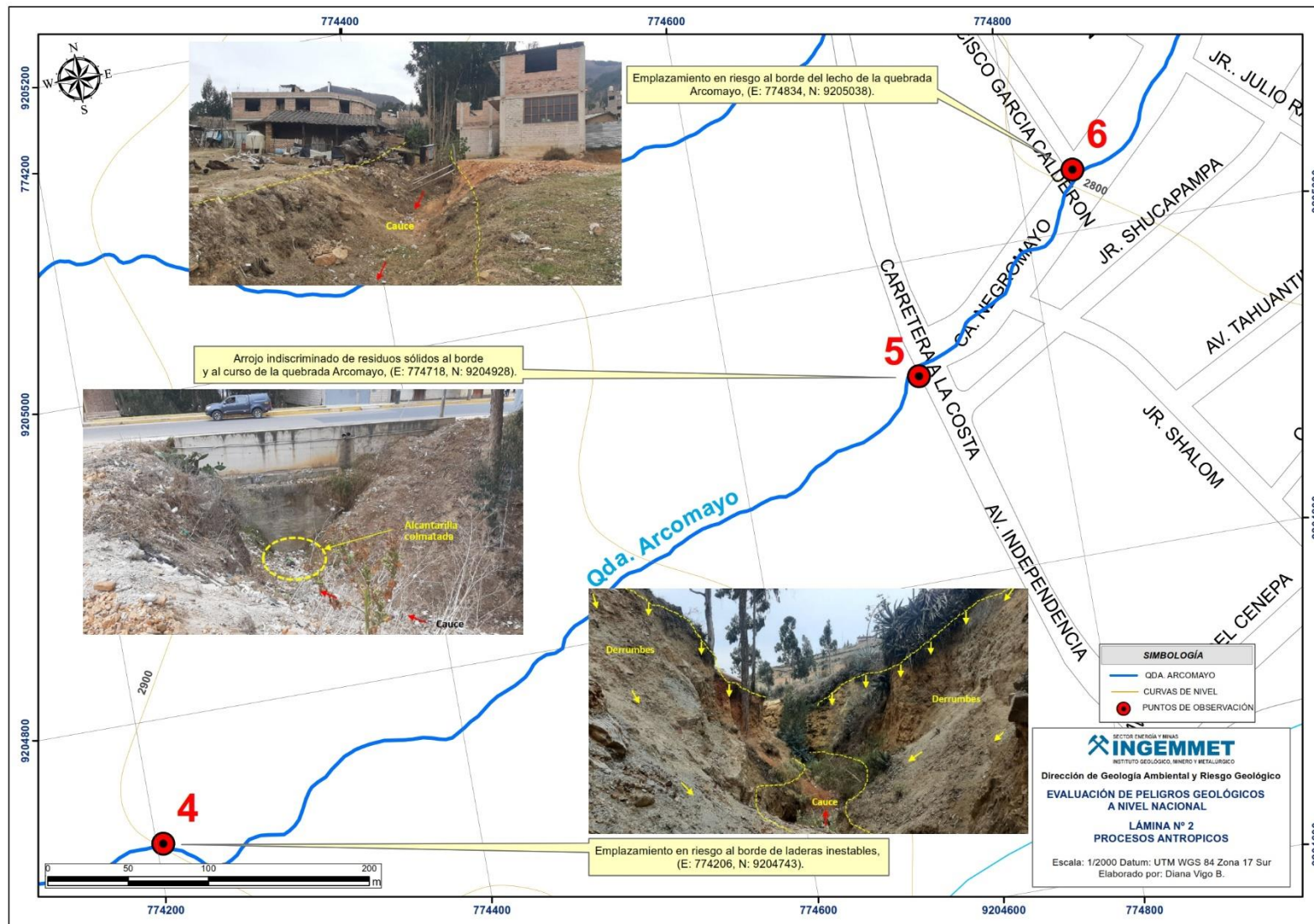


Figura 1.2. Lámina 02, procesos con factores desencadenantes antrópicos en la quebrada Calispuquio.



Figura 1.3. Lámina 03, procesos con factores desencadenantes antrópicos en la quebrada Arcomayo.

ANEXO 2: GLOSARIO

Los **deslizamientos** son movimientos ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante, pueden ser de tipo rotacional o traslacional. El **deslizamiento de tipo rotacional** (figura 2.1), se caracteriza porque su masa de desplazamiento se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava, la cabeza del movimiento deja un escarpe casi vertical, mientras que la superficie superior tiende a inclinarse hacia atrás en dirección al escarpe (PMA 2007). Los deslizamientos de mayor magnitud presentes en la quebrada Calispuquio son principalmente de tipo Rotacional.

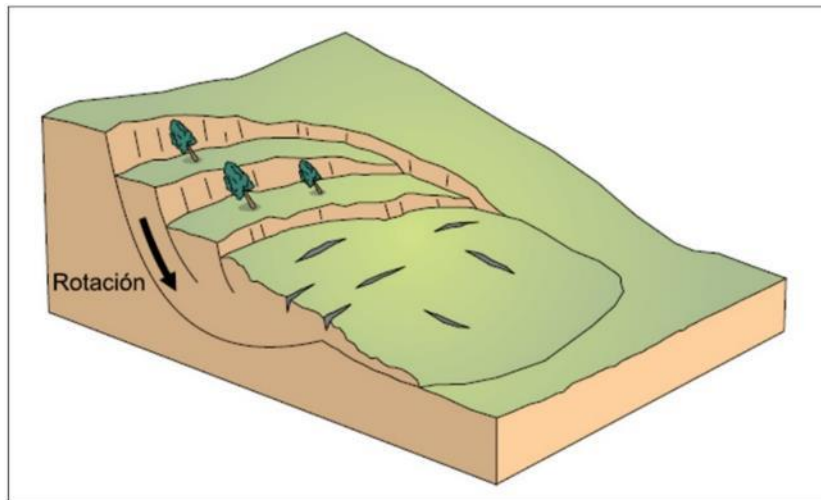


Figura 2.1. Esquema de deslizamiento rotacional (PMA 2007).

La **reptación** se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo (PMA 2007) (figura 2.2). Se observan procesos de reptación en algunos sectores de la quebrada Calispuquio, principalmente adyacentes a zonas de deslizamientos y erosión de laderas.

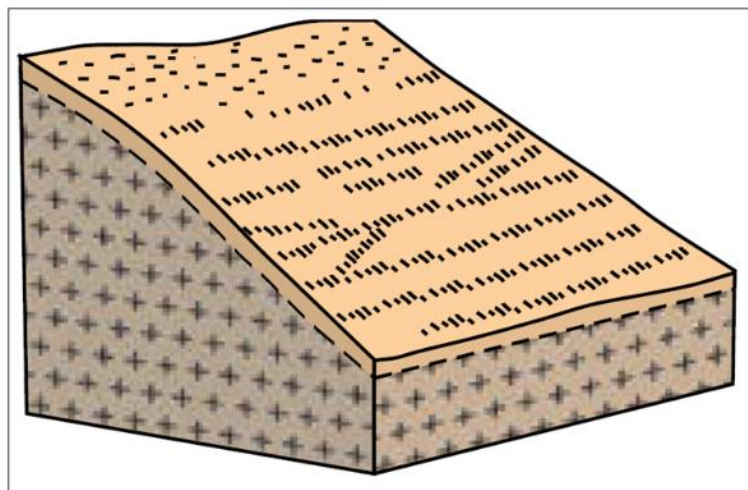


Figura 2.2. Esquema de reptación (Corominas & García 1997 en PMA 2007).

Las **cárcavas** (figura 2.3) son pequeños valles de paredes verticales, cabeceras verticalizadas y perfiles longitudinales de pendiente elevada, que transmiten flujos de agua efímeros y están sujetos a una intensa erosión hídrica (Lucía *et al.*, 2008), además de a la ocurrencia de movimientos en masa como flujos, derrumbes y deslizamientos. Afectan la parte alta de los cauces de las quebradas Calispuquio y Dos Aguas, además de sectores con materiales poco competentes expuestos a la erosión.

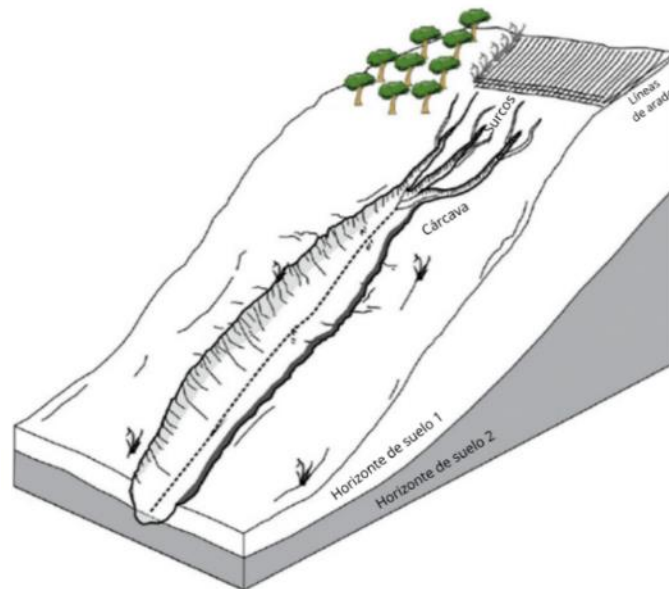


Figura 2.3. Esquema de la formación de cárcavas originadas por profundización en surcos. Tomado y modificado de (Shruthi *et al.*, 2011).

Las **inundaciones fluviales o ribereñas** son procesos naturales que se producen periódicamente, ocupando y modelando llanuras en los valles de los ríos. Generalmente ocurren cuando se presentan lluvias excesivas durante un período de tiempo prolongado haciendo que un río exceda su capacidad (Maddox, 2014 en <http://www.intermap.com>). El agua excedente rebosa en las orillas y corre hacia tierras adyacentes bajas (Sen, 2018 en <https://sciencing.com>). Las inundaciones por desbordes son comunes en la parte baja urbanizada con canales estrangulados, de la quebrada Calispuquio.

Las **crecidas o inundación de detritos** son flujos muy rápidos de una crecida de agua que transporta una gran carga de detritos a lo largo de un canal (Hungry *et al.*, 2001). Los depósitos de crecidas colmatan sectores de la canalización de la quebrada Calispuquio, en la zona urbana. También se presentan crecidas e inundaciones a consecuencia de lluvias extraordinarias, donde la precipitación excede a la capacidad de la sección de la quebrada, por lo que el material arrastrado conjuntamente con el agua, sobresale del cauce especialmente en la parte plana y en la margen izquierda de la quebrada Calispuquio.

Los **flujos de detritos** (figura 2.4) son movimientos en masa que transcurren principalmente confinados a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos

de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos (PMA 2007). Se observan depósitos de flujos recientes en la parte intermedia de la quebrada Calispuquio.

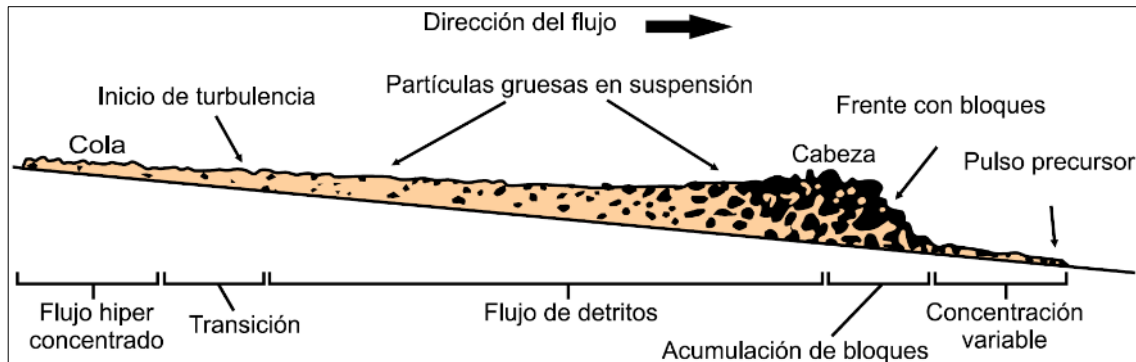


Figura 2.4. Corte esquemático típico de un flujo de detritos. Frente con bloques de un pulso del flujo de detritos (diagrama de Pierson, 1986, en PMA 2007).