SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico Nº A7118

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA QUEBRADA LOS CHILCOS

Región Cajamarca
Provincia Cajamarca
Distrito Cajamarca

ENERO
2021

VERSIÓN N° 001 CARÁTULA DE INFORME TÉCNICO - INGEMMET / 04.01.19

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

Equipo de investigación:
Diana Vigo Becerra y Luis León Ordáz

Referencia bibliográfica
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos en la quebrada Los Chilcos. Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, región Cajamarca, Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7118, 50p.

INDICE

RESUMEN 1
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1 Objetivos del estudio 2
1.2 Antecedentes y trabajos anteriores 2
1.3 Aspectos generales 3
1.3.1 UBICACIÓN 3
1.3.2 ACCESIBILIDAD 4
1.3.3 CLIMA 5
1.3.4 HIDROGRAFÍA 5
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS 6
2.1 Unidades litoestratigráficas 7
2.1.1 FORMACIÓN CHIMÚ (Ki-chi) 8
2.1.2 FORMACIÓN SANTA (Ki-sa) 9
2.1.3 FORMACIÓN CARHUAZ (Ki-ca) 9
2.1.4 DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-al) 9
2.1.5 DEPÓSITOS COLUVIALES (Qh-co) 9
2.1.6 DEPÓSITOS FLUVIALES (Qh-fl) 10
2.1.7 DEPÓSITOS ANTROPOGÉNICOS (Qr-an) 11
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS 11
3.1 Pendientes del terreno 11
3.1 Unidades geomorfológicas 11
3.2.1 GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL 14
3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL 14
4. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS 15
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa 16
4.1.1 Deslizamientos 19
a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO 19
b) FACTORES CONDICIONANTES 20
c) FACTORES DETONANTES 20
d) DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS 20

4.1.2 Derrumbes 21
a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO 21
b) FACTORES CONDICIONANTES 21
c) FACTORES DETONANTES 23
d) DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS 23
4.2. Peligros geohidrológicos 23
4.2.1 Erosión de laderas 25
a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO 25
b) FACTORES CONDICIONANTES 25
c) FACTORES DETONANTES 26
d) DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS 26
4.2.2 Erosión Fluvial 26
a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO 27
b) FACTORES CONDICIONANTES 27
c) FACTORES DETONANTES 27
d) DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS 28
4.2.3 Inundaciones 28
a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO 29
b) FACTORES CONDICIONANTES 29
c) FACTORES DETONANTES 30
d) DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS 31
5. PROCESOS DE ORIGEN ANTRÓPICO 33
6. CONCLUSIONES 34
7. RECOMENDACIONES 36
8. BIBLIOGRAFÍA 38
ANEXO 1: LÁMINAS 40
ANEXO 2: GLOSARIO 45

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos y geohidrológicos, realizados en la quebrada Los Chilcos, 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 Los Chilcos, se conforman de areniscas y lutitas muy fracturadas y altamente meteorizadas de las Formaciones Chimú, Santa y Carhuaz, en las que se han identificado derrumbes y erosión de laderas. En la cuenca media y baja, afloran depósitos cuaternarios aluviales conformados por gravas heterométricas y subredondeadas en una matriz arenolimosa, que son propensos a inundaciones. Asimismo, se desarrollan significativos deslizamientos en depósitos coluviales inconsolidados.

Las geoformas identificadas corresponden a montañas y colinas estructurales en rocas sedimentarias y geoformas de carácter deposicional y agradacional, principalmente originadas por la ocurrencia de movimientos antiguos, que configuran geoformas de piedemonte (piedemonte aluvial) propensas a inundaciones.

Los procesos identificados, corresponden a deslizamientos, derrumbes y erosion de laderas (en la cuenca alta); erosión fluvial e inundaciones (en la cuenca media y baja), estos últimos afectan a la zona urbana de la ciudad de Cajamarca, asentada en sus riberas.

Se considera, que el principal factor condicionante en la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa, está determinado por la pendiente escarpada a fuerte (15º – 45°) que caracteriza a la parte alta, y desciende de manera suave a la parte baja (donde se evidencian pendientes de hasta 5°) en la zona urbana de la ciudad, la cual se asienta en un área expuesta a peligros como erosiones fluviales e inundaciones; debido a que, han ido estrechando y colmatando el cauce de la quebrada Los Chilcos, por la construcción de viviendas e infraestructuras en sus riberas y por el vertimiento de residuos sólidos.

Se concluye que el área de estudio es considerada de **Alto Peligro a la Ocurrencia de Movimientos en Masa e Inundaciones**, que pueden originarse en la temporada de lluvias intensas y/o excepcionales (octubre a marzo).

Finalmente, se brindan algunas recomendaciones, que las autoridades competentes deben tomar en cuenta, principalmente las de limpieza y descolmatación periódica del cauce de la quebrada, la implementación de normativas de intangibilidad de las fajas marginales de la quebrada Los Chilcos, el establecimiento de un sistema integral de drenaje pluvial e implementar un sistema de alerta temprana, 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 y consideraciones geotécnicas a nivel nacional (ACT. 7)", 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 frecuente en la quebrada Los Chilcos durante la temporada de lluvias.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a la ingeniera Diana Vigo la realización de la evaluación técnica de la quebrada Los Chilcos. 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 y fotografías), 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 Los Chilcos, tomando mayor interés en los que puedan afectar a la zona urbana de la ciudad de Cajamarca, que se asienta en sus riberas.
b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de los diferentes peligros identificados.
c) Formular las recomendaciones pertinentes para la reducción 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) Boletín Nº 31, serie A, "Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba" (INGEMMET, 1980), el cual presenta el mapa geológico

de Cajamarca (hoja 15-f, escala 1:100,000); de este se puede describir que la quebrada Los Chilcos, se emplaza sobre depósitos cuaternarios del Holoceno y formaciones rocosas del Cretácico Inferior.

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 el cual se menciona la presencia de peligros en la quebrada Los Chilcos, en cuyo curso superior presenta un proceso erosivo que además de socavar el lecho del río, desestabiliza los taludes laterales; formando aguas abajo un abanico aluvial, sujeto a inundarse y desbordarse ante episodios de precipitaciones extraordinarias

c) En el Boletín N° 44, serie C, "Riesgos geológicos en la región de Cajamarca" (INGEMMET, 2011), se elabora y desarrolla un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa (escala 1:250,000). Localizando al tramo superior de la quebrada Los Chilcos en una zona de alta susceptibilidad.

d) La tesis de grado "Comportamiento de las máximas avenidas y las posibles áreas de inundación producidas en la quebrada Cruz Blanca para la zona urbana del distrito de Cajamarca" (Yépez, 2016), muestra escenarios de simulaciones por inundación en la quebrada Cruz Blanca, donde logra determinar el comportamiento de las máximas avenidas y las posibles áreas de inundación.

e) La tesis de grado "Evaluación de la erosionabilidad en el cauce fluvial de la quebrada Los Chilcos" (Tafur, 2019), estima y calcula la tasa de erosionabilidad de los depósitos y formaciones rocosas que afloran en el curso de la quebrada Los Chilcos; mencionando que el tramo medio, presenta el mayor índice de erosionabilidad.

f) El informe de "Inspección técnica a la quebrada Los Chilcos, distrito y provincia de Cajamarca 2020" del Gobierno Regional de Cajamarca en el 2020 (GRC, 2020), además de presentar datos generales sobre las características de la cuenca de la quebrada Los Chilcos, 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 Los Chilcos, se localiza al Sureste de la ciudad de Cajamarca, en el distrito, provincia y región de Cajamarca (figura 1), en las coordenadas UTMT (WGS84 – Zona 17S) siguientes.

Cuadro 01. Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM - WGS84 - Zona 17S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	773679.00	9204442.00	-7.190579°	-78.521903°
2	779325.00	9205847.00	-7.177603°	-78.470884°
3	779685.00	9204850.00	-7.186595°	-78.467577°
4	774234.00	9202610.00	-7.207109°	-78.516791°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	777123.04	9205034.96	-7.185051°	-78.490768°

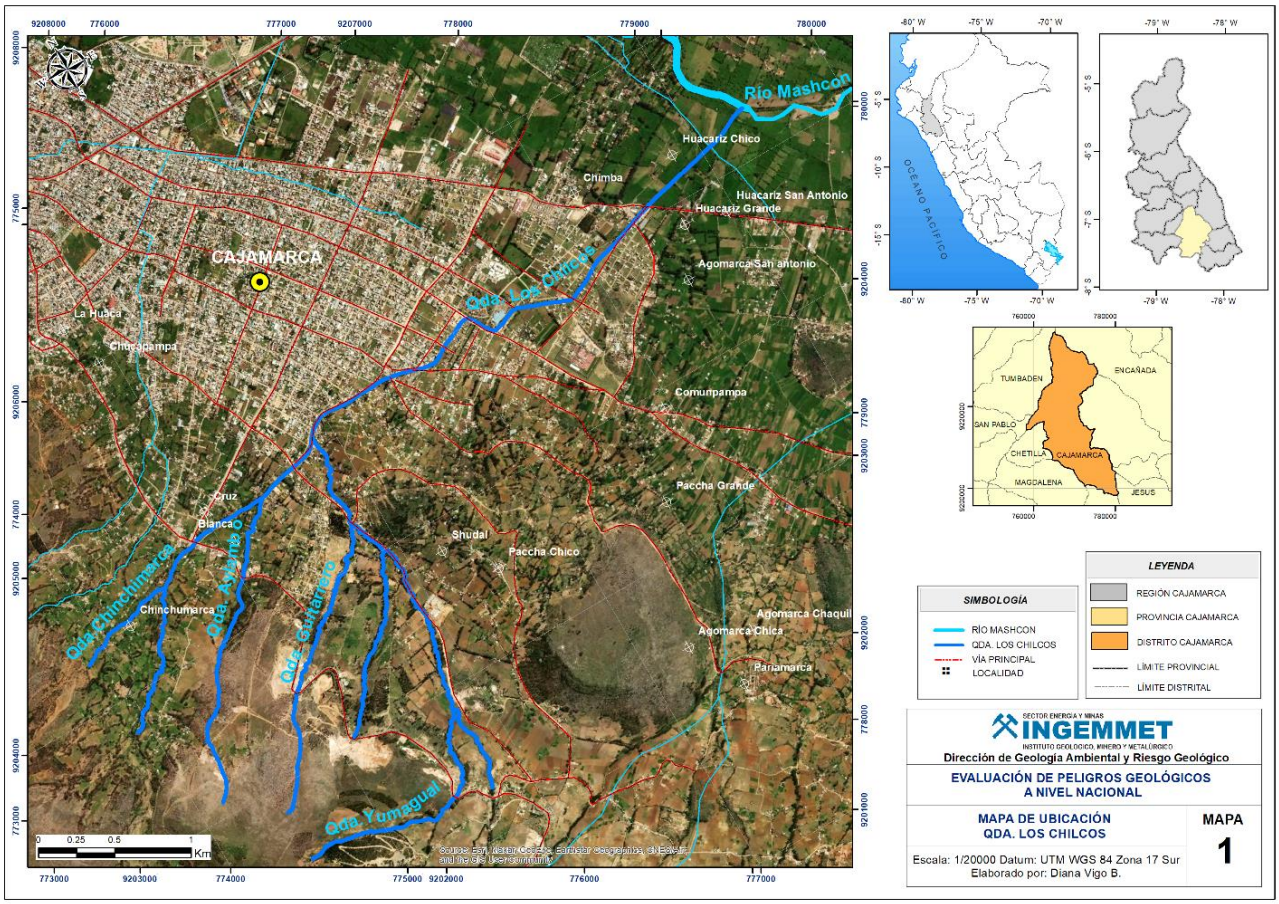

Figura 1. Mapa de ubicación de la quebrada Los Chilcos.

1.3.2 ACCESIBILIDAD

Se accede al área evaluada, desde la ciudad de Cajamarca, mediante la vía interprovincial (PE-8A) Chilete-Cajamarca. La quebrada Los Chilcos localizada al sureste de la ciudad, atraviesa las avenidas Independencia, Alfonso Ugarte, Mariscal Cáceres, San Martín de Porres, Mártires de Uchuraccay y Vía 3N, hasta su desembocadura en el río Mashcon. La ruta se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	*Tipo de vía*	*Distancia (km)*	*Tiempo estimado*
Ciudad de Cajamarca - Av. Independencia (Vía PE-8A).	Asfaltada	5	15 min
Av. Independencia – Curso alto de la Quebrada Los Chilcos	Camino de herradura	2	40 min

1.3.3 CLIMA

Cajamarca se encuentra a 2738 m s.n.m, con un clima templado y cálido. Presenta un régimen pluviométrico variable durante todo el año, con precipitaciones mínimas entre los meses de mayo a setiembre y las máximas entre los meses de enero a marzo. Se considera el mes más seco a julio, donde se han registrado 8 mm de precipitación en promedio. La mayor cantidad de precipitación ocurre en marzo, con un promedio de 133 mm.
En la figura 2, 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.

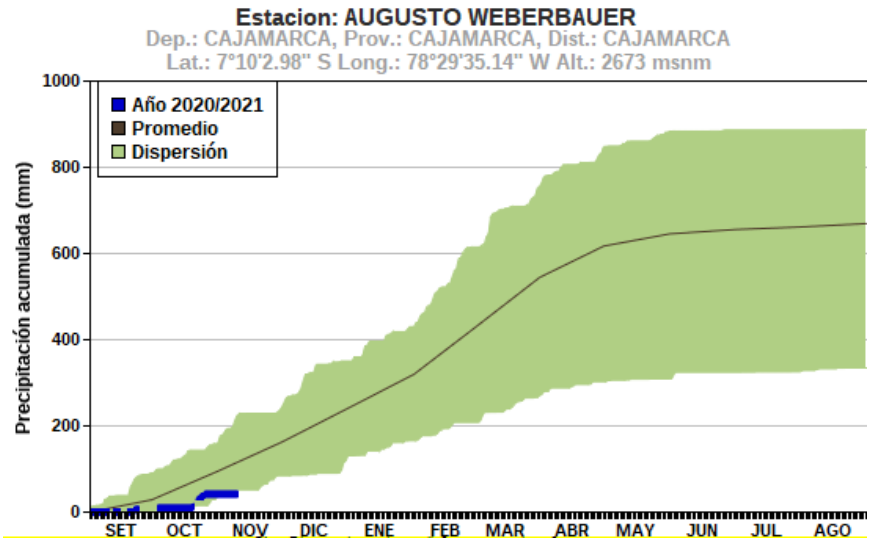

Figura 2. Datos de lluvia acumulada en la ciudad de Cajamarca para el periodo comprendido entre setiembre del 2020 a agosto del 2021 (SENAMHI, 2020).

1.3.4 HIDROGRAFÍA

La quebrada Los Chilcos es de tipo estacional, puesto que transporta aguas con mayor frecuencia durante la temporada de lluvias, permaneciendo en sequía el resto del año.
La quebrada tiene cuatro tributarios principales que son: las quebradas Chimchimarca, Aylambo, El Guitarrero y Yumagual; el resto de afluentes suelen ser quebradas menores o cárcavas (ver figura 3); cuyos drenajes característicos son dendríticos o subparalelos.
En su curso superior, la quebrada desarrolla un proceso erosivo, socavando su lecho y desestabilizando sus laderas adyacentes, lo cual ha provocado progresivos derrumbes hacia su propio cauce.
En su curso inferior, pasa por una zona de pendiente llana de abanico aluvial, sobre la cual puede producirse inundaciones ante lluvias extraordinarias; siendo la intersección

de la quebrada Los Chilcos y la prolongación de la Av. San Martín de Porres, los sectores con mayor probabilidad de desborde.

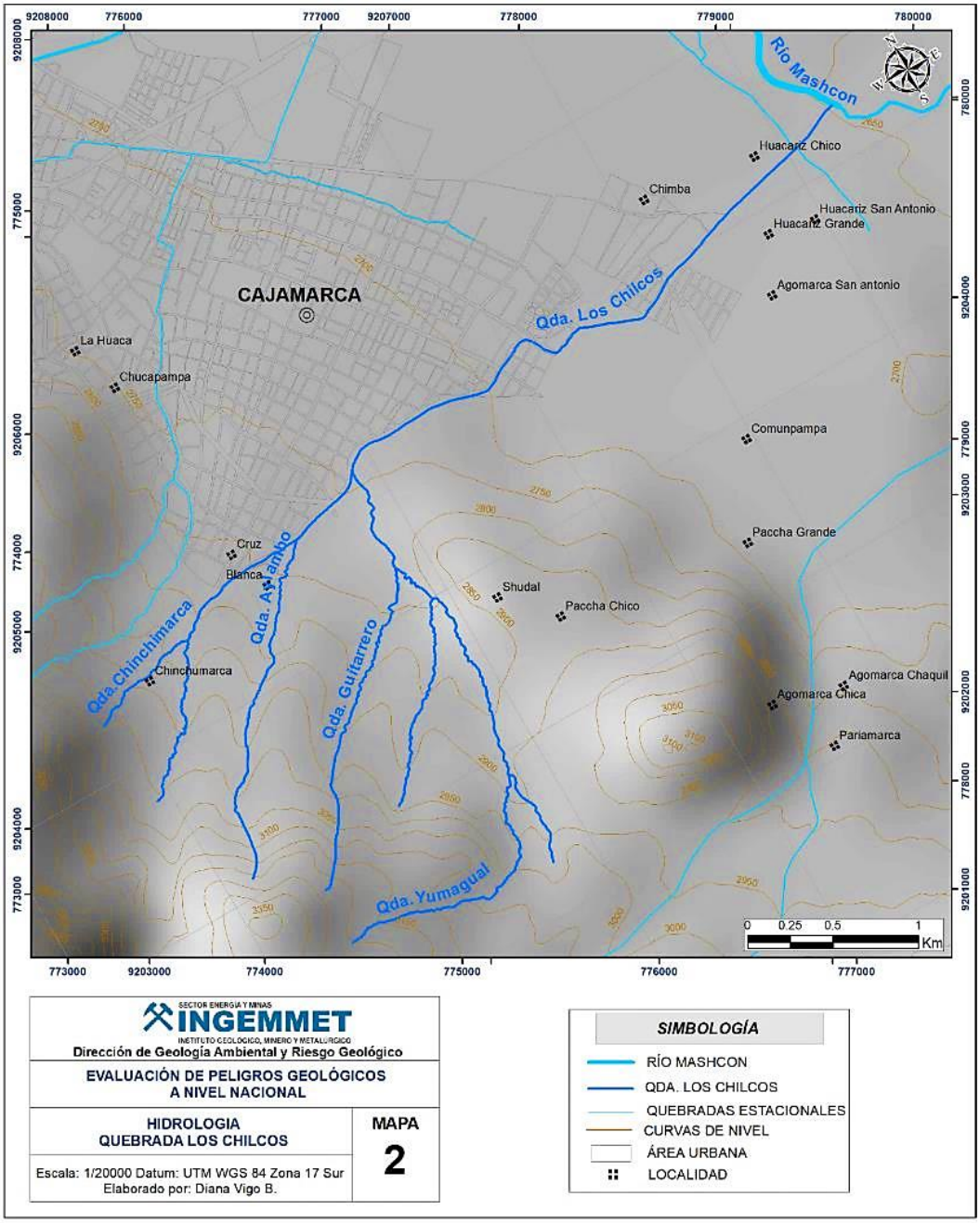

Figura 3. Mapa hidrológico de la quebrada Los Chilcos (Elaboración propia).

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), elaborado por Navarro, 2007; la cual se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo.

En el contexto estructural, a la margen izquierda de la quebrada, se observa una zona de fracturamiento, fallas y microfallas que toman la dirección principal Noroeste – Sureste, los cuales aparentemente controlan la trayectoria del drenaje.

2.1 Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas aflorantes, corresponden a rocas sedimentarias y depósitos cuaternarios que han sido acumulados desde el Cretáceo inferior hasta la actualidad (figura 4). En la zona evaluada se identifican y describen las Formaciones Chimú, Santa y Carhuaz, depósitos fluviales, aluviales, coluviales y antropógenos.

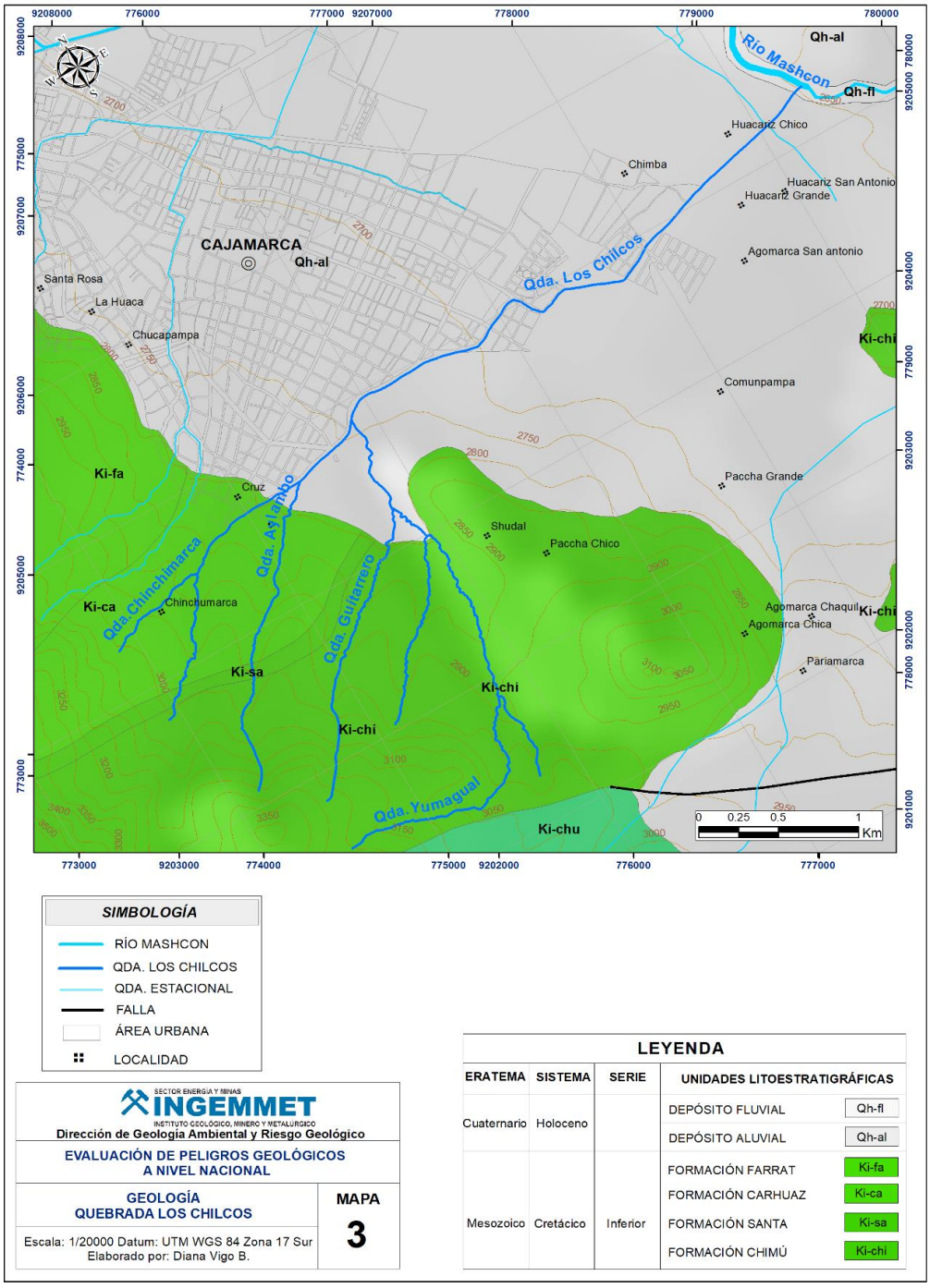

Figura 4. Mapa geológico de la zona de estudio (Navarro, 2007).

2.1.1 FORMACIÓN CHIMÚ (Ki-chi)

Esta unidad estratigráfica se formó en un ambiente sedimentario continental del tipo transicional durante el cretácico inferior (Reyes 1980). Afloramientos rocosos de la Formación Chimú se identificaron en el curso superior de la quebrada Aylambo (figura 5) y en la quebrada Guitarreros (figura 6), afluentes de la quebrada Los Chilcos.

Aflora como montañas escarpadas cubiertas por depósitos coluviales en sus laderas. Esta unidad está conformada por estratos de areniscas cuarzosas intercaladas con limolitas grises y lutitas pardo amarillentas que buzan hacia el NE, muy fracturadas, de meteorización moderada a alta.

Figura 5: Afloramientos rocosos de areniscas de la Formación Chimú en el curso alto de la quebrada Aylambo (tributario de la Quebrada Los Chilcos).

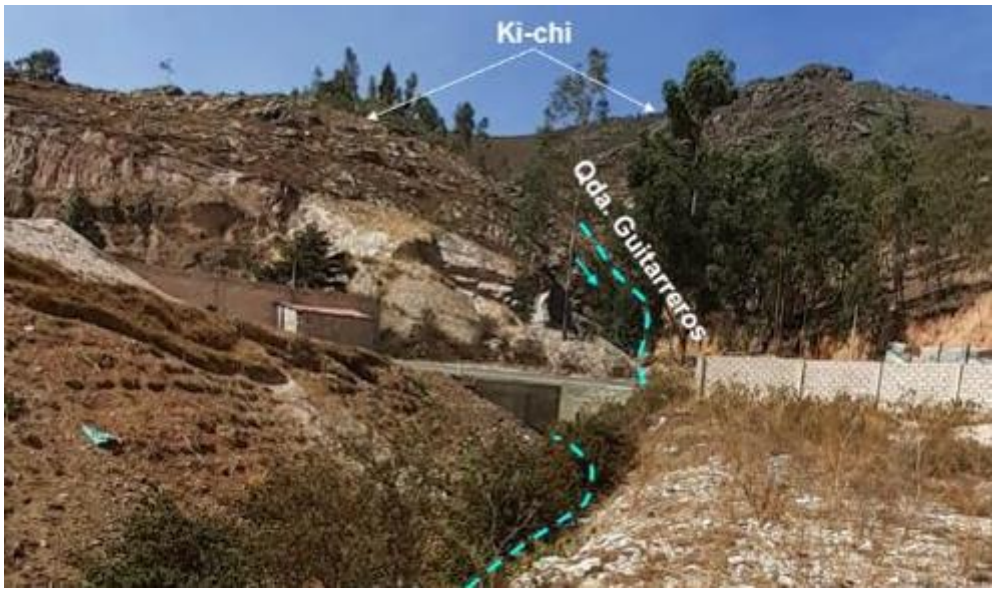

Figura 6: Afloramientos rocosos de la Formación Chimú en el curso alto de la quebrada Guitarreros. Nótese el alto grado de fracturamiento de las areniscas.

2.1.2 FORMACIÓN SANTA (Ki-sa)

Esta formación se ha identificado en el curso alto de la quebrada Los Chilcos, en las proximidades al caserío Chinchimarca, conformada por areniscas grises de grano medio cubiertas por depósitos coluviales de espesor variado. En este lugar, los estratos se encuentran altamente meteorizados, fuertemente plegados y muy fracturados, buzando hacia el NE.

2.1.3 FORMACIÓN CARHUAZ (Ki-ca)

Esta unidad litoestratigráfica aflora en el curso medio de la quebrada Los Chilcos, cerca de la Av. Independencia. Está conformada por estratos de lutitas ferruginosas intercaladas con areniscas muy fracturadas y altamente meteorizadas, se orientan hacia el NW (figura 7).

Figura 7: Areniscas fracturadas de la Formación Carhuaz en el curso medio de la quebrada Los Chilcos.

2.1.4 DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-al)

Esta unidad litoestratigráfica ocupa los cursos medio y bajo de la quebrada Los Chilcos, y en las márgenes del cauce aflora de forma estratificada. Están conformados predominantemente por gravas y arenas subredondeadas, con presencia de guijarros y se disponen de forma horizontal, inclinada u ondulada. Es común encontrar lentes de arena, limo o arcilla en el curso medio y bajo de la quebrada (figura 8). Estos materiales son propensos a erosión fluvial e inundaciones.

2.1.5 DEPÓSITOS COLUVIALES (Qh-co)

Estos depósitos se pueden encontrar en el curso alto de la quebrada Los Chilcos y acumulados en laderas adyacentes como piedemonte por efecto de la gravedad. Se constituyen de depósitos de limos, arenas y gravas gruesas de forma angular a subangular. En la zona de estudio, estos depósitos inconsolidados son inestables en pendientes escarpadas y tienden a originar deslizamientos.

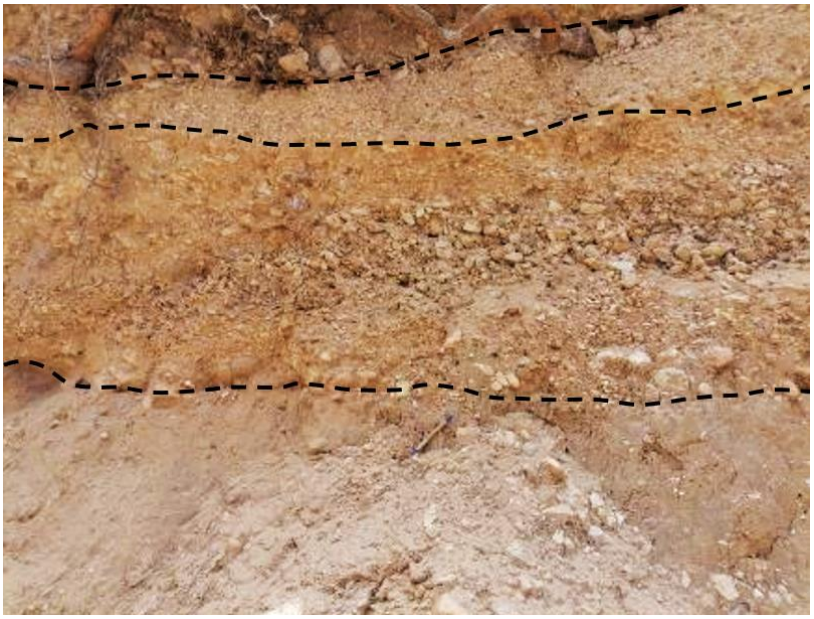

Figura 8: Vista de los estratos de un depósito aluvial en el curso inferior de la quebrada Aylambo (tributario de la Quebrada Los Chilcos).

2.1.6 DEPÓSITOS FLUVIALES (Qh-fl)

Esta unidad litoestratigráfica aflora en la desembocadura del río Mashcon y forma parte del cauce del río (figura 9). Está constituido por arenas, gravas y guijarros mal graduados, de composición polimíctica y de forma subredondeada a redondeada.

Figura 9: Vista de la desembocadura de la quebrada Los Chilcos en el río Mashcón. Nótese, que los depósitos fluviales están cubiertos por vegetación.

2.1.7 DEPÓSITOS ANTROPOGÉNICOS (Qr-an)

Los depósitos antropogénicos se han formado por la acumulación de residuos sólidos hacia la margen derecha de la quebrada Guitarreros. Estos materiales corresponden al Botadero Shudal localizado a 3.5 km. de la ciudad de Cajamarca (Figura 10).
Cabe mencionar que este botadero está considerado como una instalación de alto riesgo, pues impacta negativamente en los cursos de agua superficiales y subterráneas, los cuales se utilizan con fines de consumo humano y agrícola.

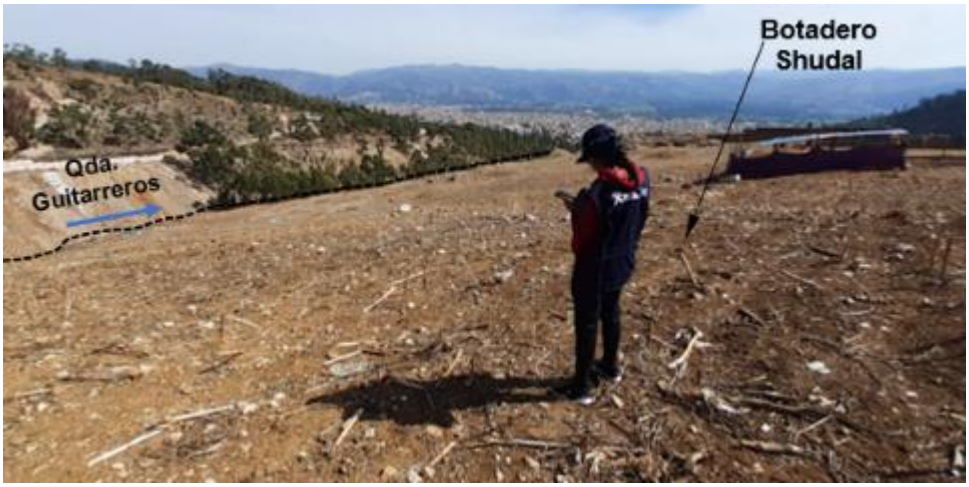

Figura 10: Vista del botadero Shudal, ubicado hacia la margen derecha de la quebrada Guitarreros.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1 Pendientes del terreno

Los rangos de pendiente en la zona inspeccionada son variables: en la parte baja presenta terrenos llanos a suavemente inclinados (1°- 5°) correspondiente a una planicie aluvial; y va ascendente en la parte media de la quebrada Los Chilcos, con pendientes que varían entre 5° – 15°. Finalmente, en la parte superior, se presentan terrenos escarpados con pendientes que oscilan entre 25° - 45° (figura 11).

3.1 Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez, M., et al, 2019). En la figura 12, se muestra el mapa geomorfológico y sus respectivas unidades geomorfológicas.

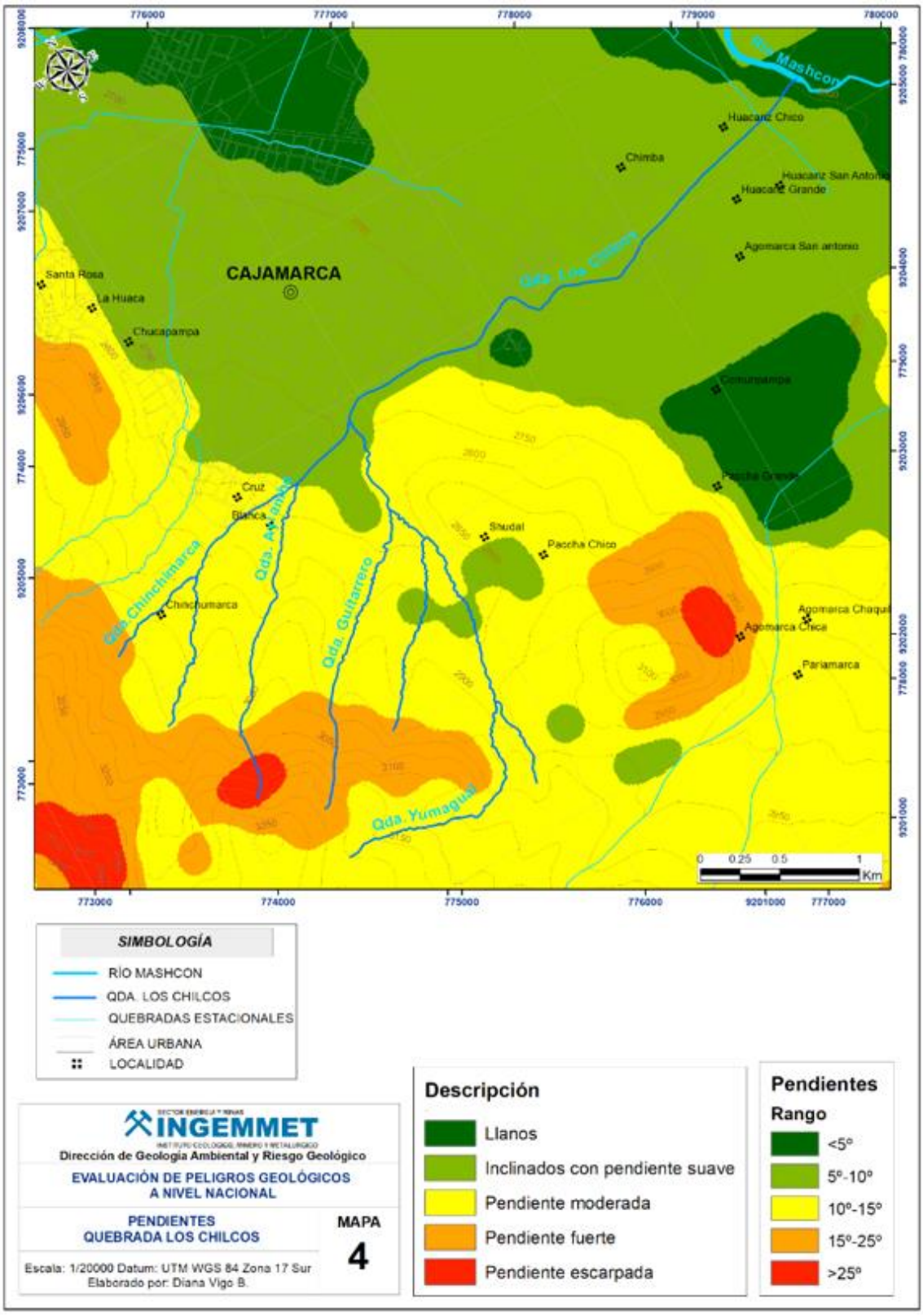

Figura 11. Mapa de pendientes de la zona de estudio (Elaboración propia).

Figura 12. Mapa geomorfológico de la zona de estudio (Elaboración propia).

3.2.1 GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

Están representadas por las formas de terreno resultados 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

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel de base local, diferenciándose las siguientes subunidades según el tipo de roca que las conforma y los procesos que han originado su forma actual.

Sub Unidad de montañas y colinas estructurales en rocas sedimentarias (RMCE-rs): Corresponde a elevaciones naturales del terreno que se encuentran plegadas y/o fracturadas, constituidas por rocas sedimentarias tipo areniscas, lutitas y limolitas de las Formaciones Chimú, Santa y Carhuaz. Esta subunidad se caracteriza porque sus laderas irregulares presentan pendientes moderadas a altas (35- 45°), tal como se muestra en la figura 13. En esta unidad se han identificado derrumbes puntuales, deslizamientos y erosión de laderas.

Figura 13: Vista en el fondo de la subunidad de montañas y colinas estructurales en rocas sedimentarias, en el curso superior de la quebrada Aylambo (afluente de la Quebrada Los Chilcos).

3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL

Están representadas por formas de terreno resultantes de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores, 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 vertiente o piedemonte aluvial (P-al): Corresponde a superficies llanas a inclinadas con suave pendiente (1° - 5°). Está constituida por limos, arenas y gravas subredondeadas que han sido transportados por ríos y quebradas (incluida la quebrada Los Chilcos) y depositados en forma de cono sobre terrenos planos.
Sobre esta subunidad se encuentra emplazada la zona urbana de la ciudad de Cajamarca (figura 14), la cual es afectada por flujos e inundaciones durante temporadas de lluvias intensas y / o extraordinarias.

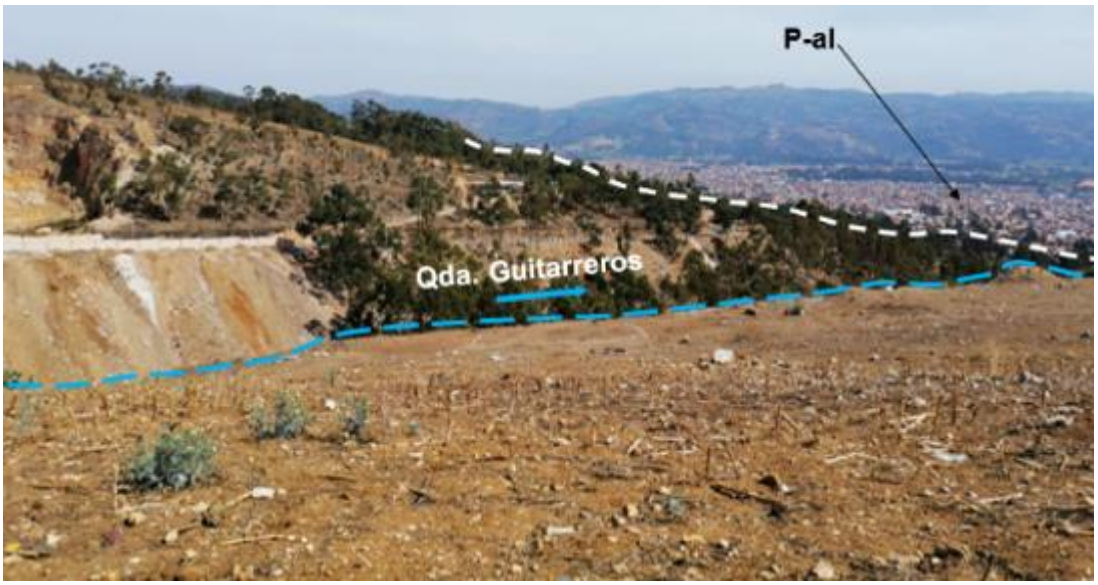

Figura 14: En el fondo, nótese la subunidad de piedemonte aluvial donde se emplaza la zona urbana de la ciudad de Cajamarca. Vista tomada desde el curso alto de la quebrada Guitarreros (afluente de la quebrada Los Chilcos).

4. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa tipo deslizamientos y derrumbes, así como también peligros geohidrológicos caracterizados por procesos de erosión de laderas, erosión fluvial e inundaciones.

Los procesos mencionados, tienen como condicionantes a factores intrínsecos, como la geometría del terreno, pendiente, tipo de roca y/o suelo, los que de acuerdo a sus características litológicos son erosionados por efecto del drenaje superficial , la ausencia de cobertura vegetal y la acción antrópica de emplazamiento de viviendas e infraestructuras en lugares inadecuados (ribera de quebrada Los Chilcos y sus tributarios), deforestación, extracción de agregados, y vertimiento de desmontes y/o residuos sólidos en laderas y cauces.

Se considera como factores detonantes, las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona, así como la actividad sísmica y tectónica en la región.

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 deslizamiento y derrumbes, cuyas características se mencionan a continuación, y que por objetivos de visualización se presentan en las figuras 15 y 16.

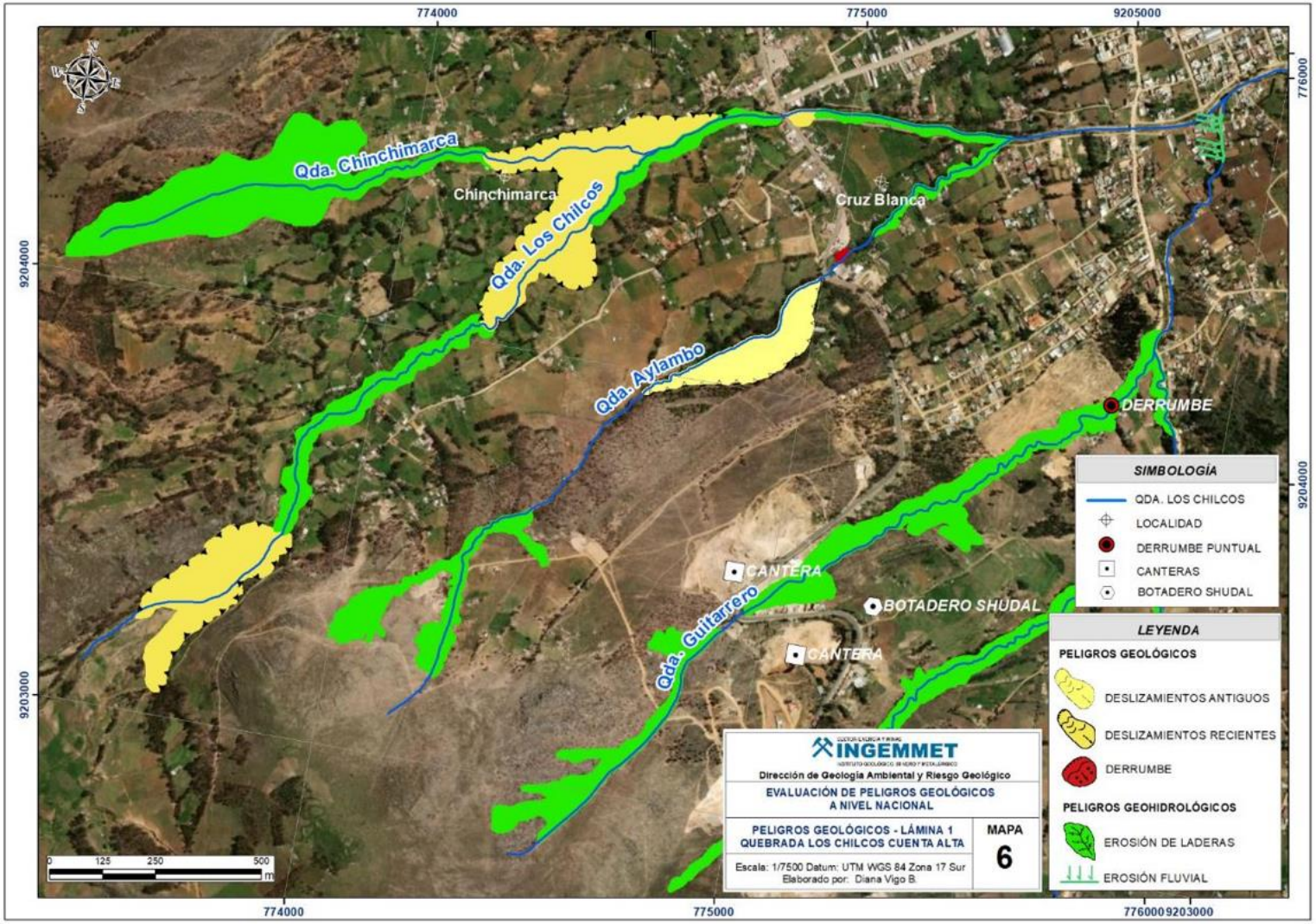

Figura 15. Peligros Geológicos en la cuenca alta de la quebrada Los Chilcos.

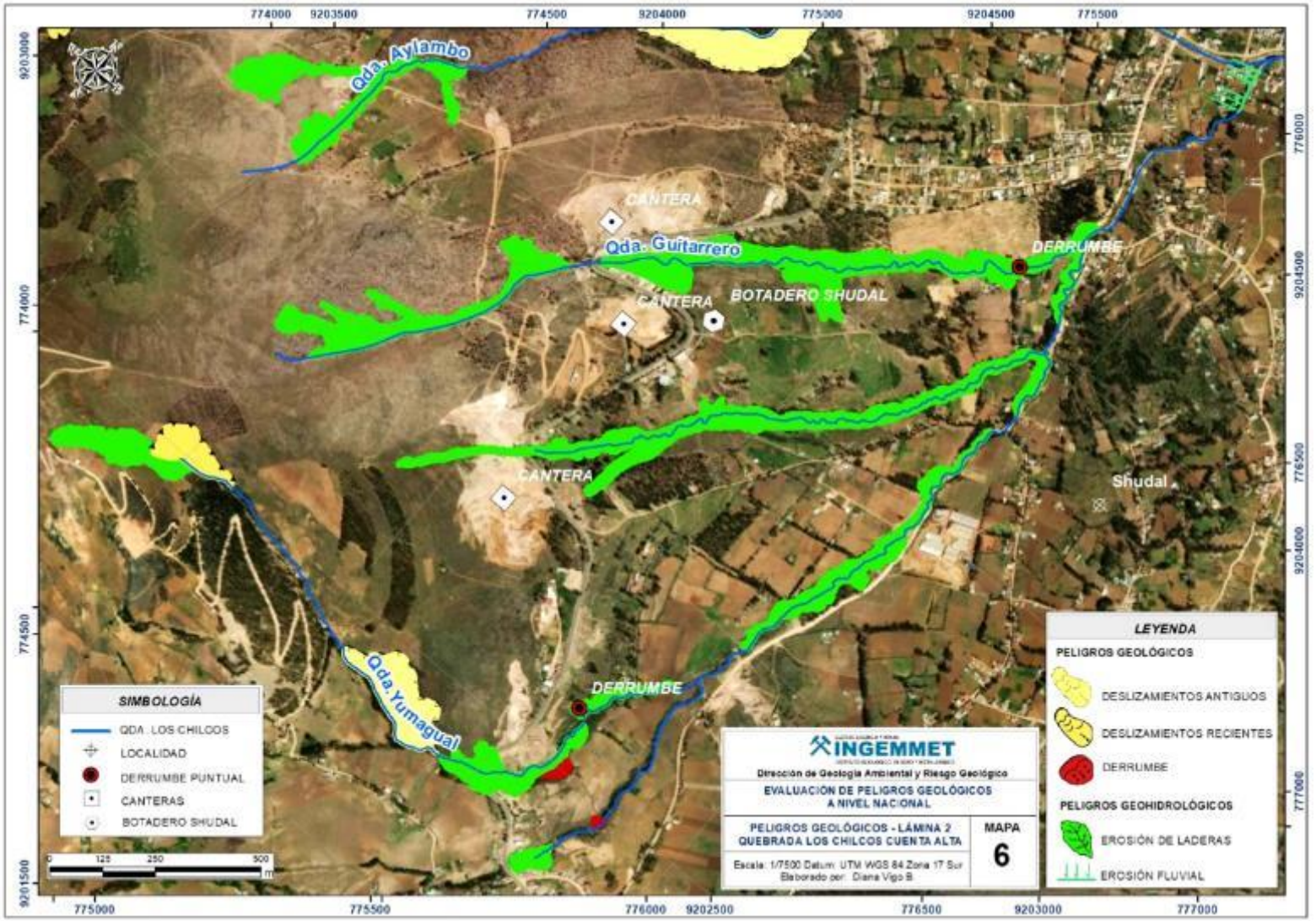

Figura 16. Peligros Geológicos en la cuenca alta de la quebrada Los Chilcos (Elaboración propia).

4.1.1 Deslizamientos

Fenómenos identificados hacia las márgenes de la quebrada Los Chilcos y sus tributarios, principalmente en el curso medio y alto de estas quebradas.

a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO

Localizado en el curso superior, a la margen izquierda de la quebrada Los Chilcos, con coordenadas 773564.76 E, 9203251.50 N.
Corresponde a un desplazamiento progresivo de materiales poco consolidados coluviales, que hacia el límite superior entra en contacto con el afloramiento de areniscas de la Formación Chimú (figura 17). Las laderas de la margen derecha tienen escasa cobertura vegetal. Posee una longitud de corona aproximada de 300 metros.

Figura 17: Deslizamiento en depósito coluvial, en la margen izquierda de la quebrada Los Chilcos (773773.92 / 9203408.53).

De igual modo, en el curso medio de la quebrada Los Chilcos, hacia la margen derecha e izquierda, se identificó desplazamientos en materiales poco consolidados, que se desprenden de las laderas adyacentes de la quebrada en forma progresiva hacia su cauce (Figura 18). La longitud de la corona es de aproximadamente 500 metros; sin embargo, se aprecia abundante cobertura arbórea, que ha favorecido y controlado el avance del deslizamiento.

Figura 18: Deslizamiento en ambas márgenes de la quebrada Los Chilcos en su curso medio (774350.67E / 9204233.11 N).

b) FACTORES CONDICIONANTES

- Características litológicas y propiedades geomecánicas: Los eventos de deslizamientos, se producen en depósitos coluviales, constituidos predominantemente por suelos finos limoarenosos y gravas poco consolidadas. Estos presentan una baja resistencia al corte, y que dispuestos en laderas de pendientes fuertes, se muestran susceptibles a ser removidos fácilmente por gravedad
- Pendientes de las laderas: Las laderas circundantes en la quebrada Los Chilcos, en su curso superior, presentan pendientes fuertes a escarpadas, cuya inclinación varía entre 15° – 45°, favoreciendo el desplazamiento ladera abajo.

c) FACTORES DETONANTES

- 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. Además, la acción erosiva de la quebrada Los Chilcos y sus tributarios durante avenidas extraordinarias, pueden detonar los procesos de remoción en masa.

d) DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS

- Debido al gran volumen de material que puede removerse y encausarse hacia la quebrada Los Chilcos y/o sus tributarios, se puede originar el represamiento y posterior flujo de detritos, el cual pone en riesgo a las viviendas aledañas al cauce de las quebradas y a la parte baja.

4.1.2 Derrumbes

Algunos eventos de derrumbes puntuales, se han identificado en ambas márgenes de la quebrada Los Chilcos y sus tributarios. Es necesario mencionar que, el vertimiento desmedido de residuos sólidos y desmonte en las laderas adyacentes a las quebradas, también originan procesos de derrumbes y la consecuente acumulación de materiales antrópicos en su cauce.

a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO

En el curso medio y alto de la quebrada Guitarreros (tributario de la quebrada Los Chilcos), se han identificado varios procesos de derrumbes puntuales, como los localizados en las laderas escarpadas de rocas muy alteradas (figura 19). Asimismo, existen derrumbes en ambas márgenes del curso medio de la quebrada Los Chilcos (figura 20), donde se observan desprendimientos de suelos poco consolidados, los cuales van obturando el cauce de la quebrada.

Figura 19: Derrumbe de roca altamente meteorizada en transición a suelo residual, nótese los fragmentos de tamaño variado acumulados en el curso inferior de la quebrada Guitarreros (775723.87 / 9204110.49).

b) FACTORES CONDICIONANTES

- Características litológicas y propiedades geomecánicas: Se evidencian rocas muy alteradas y altamente fracturadas, así como depósitos coluviales y antropogénicos poco consolidados dispuestos en laderas muy susceptibles a ser removidas. Estos materiales se caracterizan por su baja resistencia al corte (figuras 21 y 22).
- Pendientes de las laderas: Las laderas adyacentes al cauce de las quebradas, en varios sectores, presentan pendientes fuertes a escarpadas, cuya inclinación varía entre 45° - 70°.

Figura 20: Derrumbe de suelos poco consolidados en la margen derecha de la quebrada Los Chilcos (775000.27 E / 9204668.91 N).

Figura 21: Cauce de quebrada Yumagual con abundantes derrumbes de material de desmonte producto de la actividad humana. (775219.88 / 9203126.85).

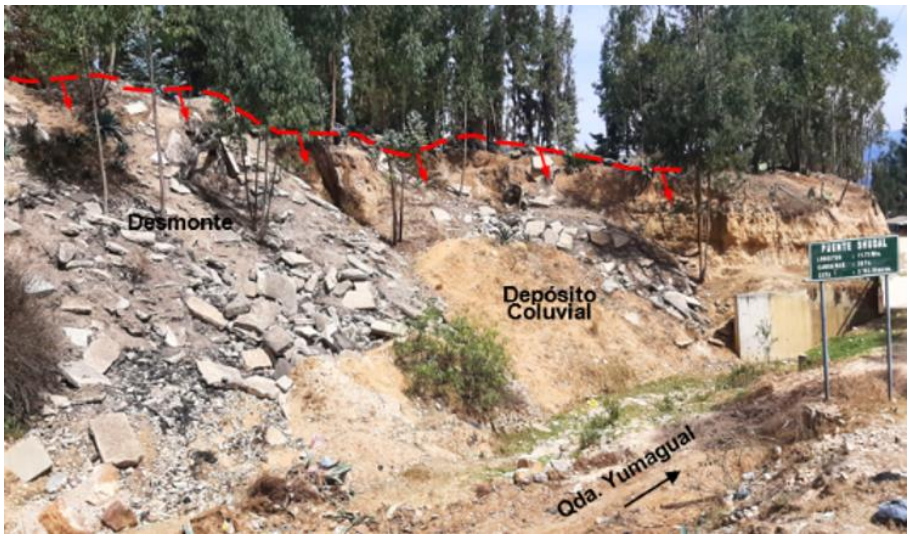

Figura 22. Puente Shudal, nótese hacia la margen izquierda el derrumbe de depósitos coluviales y materiales antrópicos depositados sobre las laderas. (775801.73 E / 9204283.43 N).

c) FACTORES DETONANTES
- El socavamiento ocasionado por la erosión de la base inferior de las laderas adyacentes a la quebrada Los Chilcos y sus tributarios durante lluvias extraordinarias, es el principal detonante de los eventos de derrumbes.

d) DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS
- Puede afectar viviendas aledañas a su cauce, debido a flujos por colmatación de sedimentos y eventos de avenidas extraordinarias.

4.2. Peligros geohidrológicos

Los peligros geohidrológicos comprenden principalmente inundaciones fluviales por desbordes de la quebrada Los Chilcos y erosión fluvial (en sectores donde se estrecha su cauce y/o donde existe cambios bruscos en la dirección de la corriente), figura 23. Además, dentro de los otros peligros geológicos se evidencian procesos de erosión de laderas laminares, surcos y/o cárcavas (figura 24).

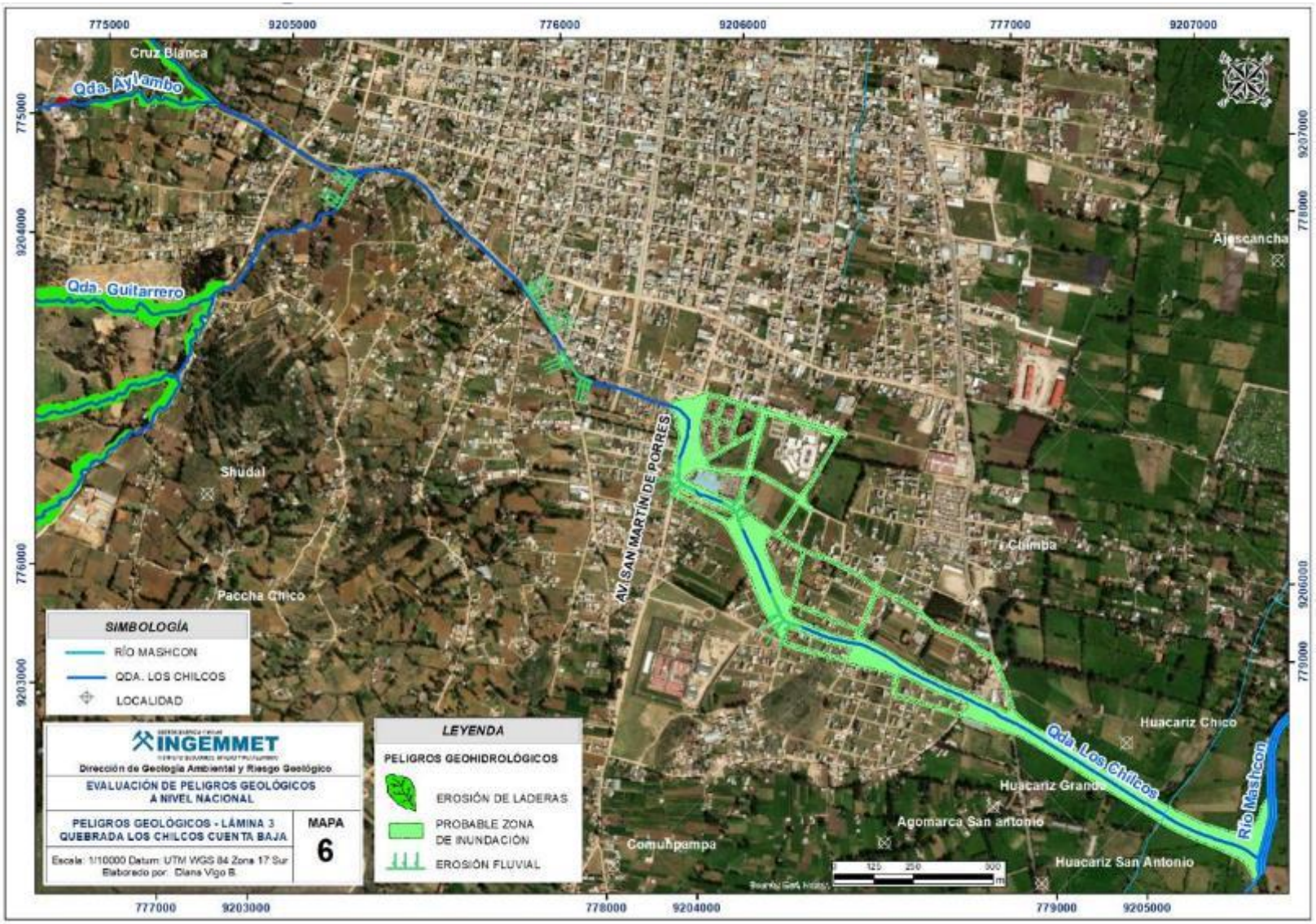

Figura 23. Peligros Geológicos en la cuenca baja de la quebrada Los Chilcos
Fuente: Modificado de PNUD (2005)

4.2.1 Erosión de laderas

Procesos de erosión hídrica (laminar, surcos y cárcavas), tal como se muestra en las figuras 15 y 16; éstos ocurren en ambas márgenes del curso superior de la quebrada Los Chilcos y sus tributarios, generadas por el escurrimiento pluvial en las laderas que se encuentran denudadas y casi desprovistas de vegetación, sobre las cuales se exponen suelos finos sueltos, fáciles de remover e incisar.

a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO

Abarca un área aproximada de 0.12 Km^2, distribuido en la vertiente izquierda del curso alto de la quebrada Yumagual, donde se presentan a manera de erosiones laminares. En este sector, los pobladores han desprovisto de vegetación a las laderas con el fin de lotizarlas (figura 24).

De igual modo en el curso alto de la quebrada Aylambo, se presentan cárcavas sobre las superficies de las areniscas de la formación Chimú, que se encuentran muy alteradas y superficialmente en transición a suelos residuales, materiales susceptibles a erosión hídrica (figura 25).

Figura 24: Erosión de laderas en la margen derecha de un afluente a la quebrada Yumagual. Nótese que el talud ha sido desprovisto de la vegetación para ser lotizado (775443 W, 9203300 N).

b) FACTORES CONDICIONANTES

- El substrato rocoso muy alterado en transición a suelos residuales y los depósitos de cobertura coluvial, por su característica de suelos sueltos, inconsolidados y con capacidad de infiltración de aguas pluviales, desprovistos de vegetación, condicionan la ampliación de superficies de erosión y denudación (figura 24).

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

Figura 25: Erosión en cárcava en el curso alto de la quebrada Aylambo, en este sector la carretera intercepta a la quebrada (774258 W, 9203432 N).

c) FACTORES DETONANTES

- 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.

4.2.2 Erosión Fluvial

Presente en el curso de la quebrada Los Chilcos y sus tributarios, a causa de lluvias estacionales intensas, las cuales se cargan y generan fuerzas erosivas que socavan el lecho de la quebrada y desestabilizan sus laderas laterales, generando derrumbes y/o deslizamientos hacia su propio cauce.

a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO

En el curso bajo de la quebrada Yumagual, hasta su confluencia con la quebrada Los Chilcos se han identificado procesos de erosión fluvial, asociados principalmente al estrechamiento de cauce hasta en 1.5m aproximadamente (figura 26), siendo común encontrar protección de riberas con sacos de arena apilados, a fin de disminuir el efecto erosivo de las quebradas.

Figura 26. Erosión fluvial en el curso bajo de la quebrada Yumagual, cuyo ancho de cauce se ha reducido a 1.5 metros aproximadamente. Nótese la colocación de sacos con arena para disminuir el proceso erosivo (775888.30 / 9204735.32).

Estos procesos se extienden hasta la zona urbana de la ciudad de Cajamarca, específicamente en la intersección con la Av. Nueva Cajamarca (ver mapa de peligros – figura 23).

b) FACTORES CONDICIONANTES

- Características litológicas: La erosión y socavación se produce sobre substratos de rocas muy alteradas, acumulaciones cuaternarias coluviales poco consolidadas y depósitos antropogénicos.
- El estrechamiento de cauce se debe a la ocupación inadecuada de viviendas e infraestructura en el lecho del cauce y riberas, así como la depositación de desmontes y residuos sólidos (parte alta de quebrada Guitarreros) (figura 28).

c) FACTORES DETONANTES

- Factores climáticos: Precipitaciones intensas y prolongadas durante los meses de octubre a marzo en la ciudad de Cajamarca, aumentan el caudal de la quebrada Los Chilcos y sus tributarios, incrementando la fuerza erosiva del agua y produciendo procesos de socavación lateral y de fondo.

Figura 27. Peligro por erosión fluvial la quebrada Los Chilcos, margen derecha, se evidencia viviendas construidas al borde de la quebrada. Cauce colmatado por residuos sólidos (776819.11 / 9204910.99).

Figura 28. Peligro por erosión fluvial en la quebrada Guitarreros. En la margen izquierda se evidencia la acumulación de abundante desmonte en las laderas y cauce de la quebrada (774996.22 / 9203518.97).

d) DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS

- Algunos sectores en el curso bajo de la quebrada Los Chilcos, pueden resultar afectados por la erosión y socavamiento de ambas márgenes, produciendo colapso de las viviendas aledañas a las riberas de la quebrada.
- La corriente de la quebrada Los Chilcos y sus tributarios movilizan además de sedimentos, otros materiales antrópicos fácilmente transportables en épocas de grandes avenidas, pudiendo generar un flujo de detritos que afectaría principalmente a los pobladores que ocupan la parte baja de la quebrada, ocasionando serios daños humanos y materiales.

4.2.3 Inundaciones

Se evidencian y ocurren en la parte baja y/o desembocadura de la quebrada Los Chilcos, ya que está conformada por una zona llana de abanico aluvial o cono de

deyección, lo cual permite el desborde e inundación durante los periodos extraordinarios de lluvias, tal como se muestra en el mapa de peligros de la figura 23.

a) CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO

El sector de la Av. San Martín de Porres (777123.04 E / 9205034.96 N), presenta mayor probabilidad de desborde en épocas de lluvias extraordinarias, ya que la rasante de la vía se encuentra a tan sólo dos metros por encima del cauce de la quebrada (figura 29); además existe un cambio brusco en la dirección del curso del mismo, que afecta las zonas adyacentes (prolongación de la Av. San Martín de Porres, sobre la cual se localiza el colegio Julio Ramón Ribeyro (figura 30), viviendas del condominio Los Eucaliptos y Hospital Regional de Cajamarca).

Figura 29. Intersección entre en la Avenida San Martín de Porres y la quebrada Los Chilcos (777060.57 E / 9205030.70 N), nótese la diferencia de altura, de tan sólo 2 metros, entre el cauce de la quebrada y el puente. Bajo estas condiciones, es probable que la estructura se obstruya con abundantes escombros o que el flujo rebase la estructura, provocando inundación de las zonas aledañas.

b) FACTORES CONDICIONANTES

- Pendiente y morfología del terreno: En el curso inferior, la quebrada Los Chilcos atraviesa terrenos llanos a inclinados con suave pendiente (1° - 5°).
- Factores antrópicos: Están relacionados a emplazamiento en riesgo de infraestructura al borde de la quebrada Los Chilcos y tributarios (figura 31 y 32), ausencia de un sistema integral de drenaje pluvial, arrojo indiscriminado de residuos sólidos a lo largo de todo el cauce (figura 33), oclusión del cauce de las quebradas para la construcción de trochas carrozables (figuras 34 y 35); generando la sobrecarga hídrica en épocas de lluvias intensas.
- En la parte alta de la quebrada se presenta deforestación con fines de lotización y extracción de agregados (figura 28), incidiendo de manera directa en la parte baja de la quebrada

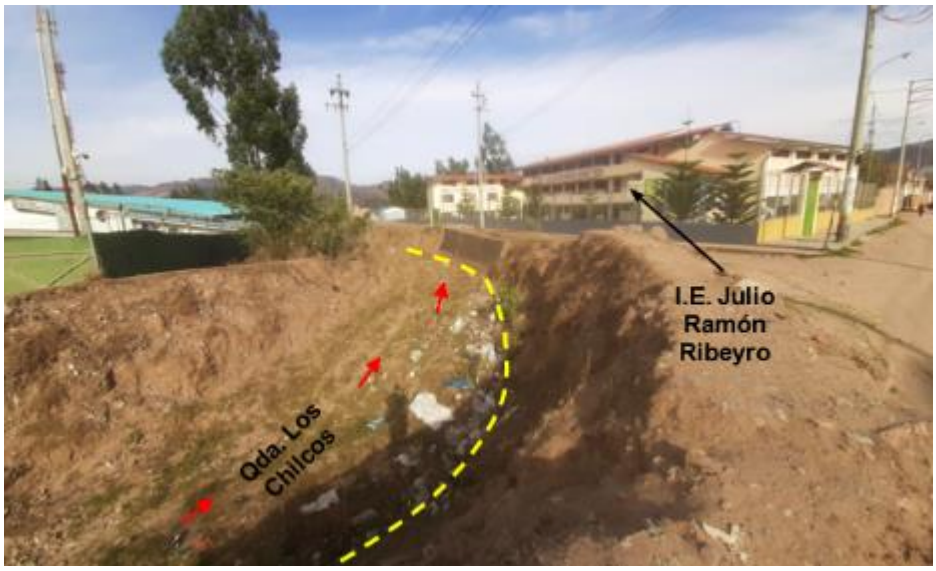

Figura 30. Cambio de dirección en el curso de la quebrada Los Chilcos, a la altura de la I.E. Julio Ramón Ribeyro (777235.99 E / 9204875.07 N), que podría inundarse en un evento extraordinario de lluvias. Nótese la construcción de un pequeño muro como barrera de protección ante la erosión fluvial.

Figura 31. Intersección de la quebrada Yumagual con un tributario (775900.08 E / 9203979.00 N). Nótese, la construcción de una vivienda en el cauce de ambas quebradas.

c) FACTORES DETONANTES

- 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 32. Curso inferior de la quebrada Los Chilcos, en donde se observa la construcción de vivienda en sus riberas. (777742.85 E / 9204802.24 N).

Figura 33. Curso inferior de la quebrada Yumagual, colmatada con abundantes residuos sólidos.

d) DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIOS

- Existen registros de desbordes en el curso inferior de la quebrada Los Chilcos que han inundado varios sectores, 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 Los Chilcos, están relacionados a daños en la infraestructura educativa y de salud (colegio Julio Ramón Ribeyro y Hospital Regional de Cajamarca), parte de la infraestructura vial (pontones y vías sin pavimentar), viviendas aledañas a las riberas de la quebrada y red primaria de agua potable.

Figura 34. Vista del cauce de un afluente de la quebrada Yumagual (775759.07 E /9203735.97). Nótese, que la construcción de una trocha carrozable ha cerrado el curso de la quebrada con una barrera de desmonte.

Figura 35. Obstrucción del cauce de la quebrada Guitarreros en su curso inferior (775550.55 E / 9203980.77 N). Nótese, la barrera cortando el cauce para la construcción de trocha carrozable.

5. PROCESOS DE ORIGEN ANTRÓPICO

En la sección anterior se ha descrito los fenómenos de origen geológico y geohidrológico identificados a lo largo del curso de la quebrada Los Chilcos y sus tributarios. Asimismo, se considera relevante mencionar los principales procesos de origen antrópico, 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 procesos antrópicos identificados en la zona urbana de la ciudad de Cajamarca, en torno a las quebradas Los Chilcos, Yumagual y Guitarreros, se presentan en el Anexo 1 (Láminas). En el cuadro 3, se detalla cada uno de estos procesos.

Cuadro 3: Descripción de procesos de origen antrópico en la quebrada Los Chilcos

Punto	Este	Norte	Ubicación	Proceso antrópico
1	778374.41	9205038.69	Curso inferior Qda. Los Chilcos	Emplazamiento en riesgo al borde del lecho de la quebrada
2	777742.85	9204802.24	Curso inferior Qda. Los Chilcos	Emplazamiento en riesgo al borde del lecho de la quebrada
3	777417.26	9204933.47	Curso inferior Qda. Los Chilcos – Plataforma deportiva	Emplazamiento en riesgo al borde del lecho de la quebrada
4	777235.99	9204875.07	Colegio Julio Ramón Ribeyro	Inadecuado manejo hidráulico
5	777112.46	9205041.42	Intersección Puente San Martín y Qda. Los Chilcos	Inadecuado manejo hidráulico
6	776819.11	9204910.99	Curso inferior Qda. Los Chilcos	Emplazamiento en riesgo al borde del lecho de la quebrada
7	776645.10	9204922.03	Curso inferior Qda. Los Chilcos	Emplazamiento en riesgo al borde del lecho de la quebrada
8	775888.30	9204735.32	Curso inferior Qda. Yumagual	Emplazamiento en riesgo al borde del lecho de la quebrada
9	775550.55	9203980.77	Curso inferior Qda. Guitarreros	Uso indebido de lecho de quebrada, obstrucción total del cauce de quebrada
10	775759.07	9203735.97	Afluente Qda. Yumagual	Uso indebido de lecho de quebrada, obstrucción total del cauce de quebrada
11	775900.08	9203979.00	Confluencia quebrada Yumagual y un afluente	Emplazamiento en riesgo en el lecho de la quebrada
12	775915.63	9203711.04	Qda. Yumagual	Arrojo indiscriminado de residuos sólidos en las márgenes y cauce de la quebrada

6. CONCLUSIONES

a) La quebrada Los Chilcos, de tipo estacional, cuenta con cuatro tributarios principales que son las quebradas Chinchimarca, Aylambo, El Guitarrero y Yumagual. El resto de afluentes suelen ser quebradas menores o cárcavas; caracterizados por drenajes dendríticos o subparalelos. 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; por lo que, es necesario evaluar e identificar los principales peligros geológicos que se desarrollen y generen en ella.

b) En el contexto litológico se evidencian, en su curso superior, afloramientos de areniscas y lutitas muy fracturadas y altamente meteorizadas de las Formaciones Chimú, Santa y Carhuaz, cubiertos por depósitos coluviales inconsolidados sobre los que se producen deslizamientos significativos. En su curso medio e 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, que son propensos a inundaciones.

c) La quebrada Los Chilcos discurre desde su naciente, de relieve montañoso con pendientes fuertes a escarpadas (25° – 45°), a su curso intermedio de superficies onduladas con pendientes que varían entre 5°-15°. La parte baja de su cauce corresponde a un abanico aluvial o cono de deyección de pendiente llana a suavemente inclinada (1°- 5°).

d) En la parte alta e intermedia, la quebrada Los Chilcos desarrolla un proceso erosivo, socavando su lecho y desestabilizando sus laderas adyacentes, generando progresivos derrumbes hacia su propio cauce. En el curso superior, se identificó deslizamientos, derrumbes y erosión de laderas, por lo que, se considera como una zona de susceptibilidad alta ante la ocurrencia de movimientos en masa.

e) En su curso inferior, la quebrada Los Chilcos atraviesa la zona urbana que es afectada por erosión fluvial, procesos de sedimentación e inundaciones durante periodos de lluvias extraordinarias. La parte baja de la quebrada se considera como una zona de susceptibilidad alta ante la ocurrencia de inundaciones. El sector que presenta mayor probabilidad de desborde es la intersección de la quebrada Los Chilcos y la prolongación de la Av. San Martín de Porres.

f) Los peligros geológicos y geohidrológicos en la quebrada Los Chilcos, tienen como condicionantes la pendiente del terreno, el tipo de roca, los tipo de suelos, el drenaje superficial y la cobertura vegetal, siendo los detonantes las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias, los movimientos sísmicos y los factores antrópicos (emplazamiento de infraestructura al borde del curso de la quebrada, deforestación, inadecuado manejo hidráulico, extracción de agregados, vertimiento de aguas residuales y residuos sólidos hacia su cauce).

g) Por las condiciones actuales y presencia de movimientos en masa activos en su curso superior, se considera a la quebrada Los Chilcos, como **Zona Crítica de Alto Peligro a la Ocurrencia de Movimientos en Masa e Inundaciones**, 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 Los Chilcos 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 Chinchimarca, Los Chilcos, Aylambo, Guitarreros y Yumagual, 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 las quebradas Los Chilcos y sus tributarios, prohibiendo la construcción de viviendas en las márgenes o cauces de las quebradas estacionarias y el arrojo 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, derrumbes o carcavamiento que puedan ser afectadas por erosión durante las crecidas o flujos de la quebrada Los Chilcos.

e) Controlar la expansión urbana desordenada y no permitir nuevas construcciones en los sectores con problemas de peligros geológicos y geohidrológicos activos, ver figuras 16, 17 y 23. 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, 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.

ESPECÍFICAS

a) Realizar un programa de capacitación y concientización dirigida a la población asentada en las márgenes y cauce de la quebrada Los Chilcos y sus tributarios. Pues, en la inspección técnica se ha identificado una creciente expansión urbana ocupando las riberas de la quebrada Yumagual, deforestación y lotización de laderas de la quebrada Guitarreros, que obstruyen el cauce de quebradas, así como la construcción de trochas carrozables y arrojo indiscriminado de residuos sólidos. 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) A la Municipalidad Provincial de Cajamarca, se sugiere realizar un estudio, que permita delimitar la faja marginal de la quebrada Los Chilcos y sus tributarios (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) A la Municipalidad Provincial de Cajamarca, se recomienda realizar un estudio del sistema integral de drenaje pluvial para la ciudad, que contemple obras de encauzamiento definitivo de la quebrada Los Chilcos, desde su intersección con la quebrada Yumagual hasta su desembocadura en el río Mashcón. Además, este estudio, deberá plantear defensas ribereñas adecuadas para proteger las áreas aledañas contra la erosión fluvial e inundaciones.

d) Realizar el mejoramiento del sistema vial en áreas de expansión urbana. Es necesario la construcción de puentes, en los sectores con coordenadas 775759.07 E / 9203735.97, 775550.55 E / 9203980.77 N; con la finalidad de evitar que los pobladores obstruyan completamente el cauce de las quebrabas para construir sus trochas carrozables.

e) Monitorear y restringir el arrojo indiscriminado de residuos sólidos y aguas servidas en las márgenes de la quebrada Los Chilcos y sus tributarios. Lo cual, además de controlar materiales susceptibles a ser removidos, contribuya a un manejo ambiental y sanitario a adecuado.

f) Implementar un sistema de alerta temprana.

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 Los Chilcos, distrito y provincia de Cajamarca 2020". Informe técnico N° 04-2020/GRC-OSDN-GRD.

Álvarez, T. & Humberto, W. (2019). Evaluación de la erosionabilidad en el cauce fluvial de la quebrada Los Chilcos. Huayllapampa-Huacariz, Cajamarca.

Ayala, F. J., Andreu, F., & Fe, M. (1991). Manual de Ingeniería de Taludes. Instituto Tecnológico Geominero de España.

Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3-Landslide types and processes. Transportation research board special report, (247).

Highland, L. M., y Bobrowsky, P. (2008). Manual de derrumbes. Guía pare entender todo sobre los derrumbes: Reston, Virginia, Circular 1325 del Sistema Geológico de los EUA, 129 p.

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

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.

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, (4), 432 p.

Rivera, L. R. (1980). Mapa Geológico de los Cuadrángulos de Cajamarca. San Marcos y Cajabamba. Lima–Perú, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, (31), 76.

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.

Yépez, C.J. (2016). Comportamiento de las máximas avenidas y las posibles áreas de inundación producidas en la quebrada cruz blanca para la zona urbana del distrito de Cajamarca, 2016.

Zavala, B. & Rosado, M. (2010) - Riesgo geológico en la región Cajamarca. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 44, 396 p.

ANEXO 1: LÁMINAS

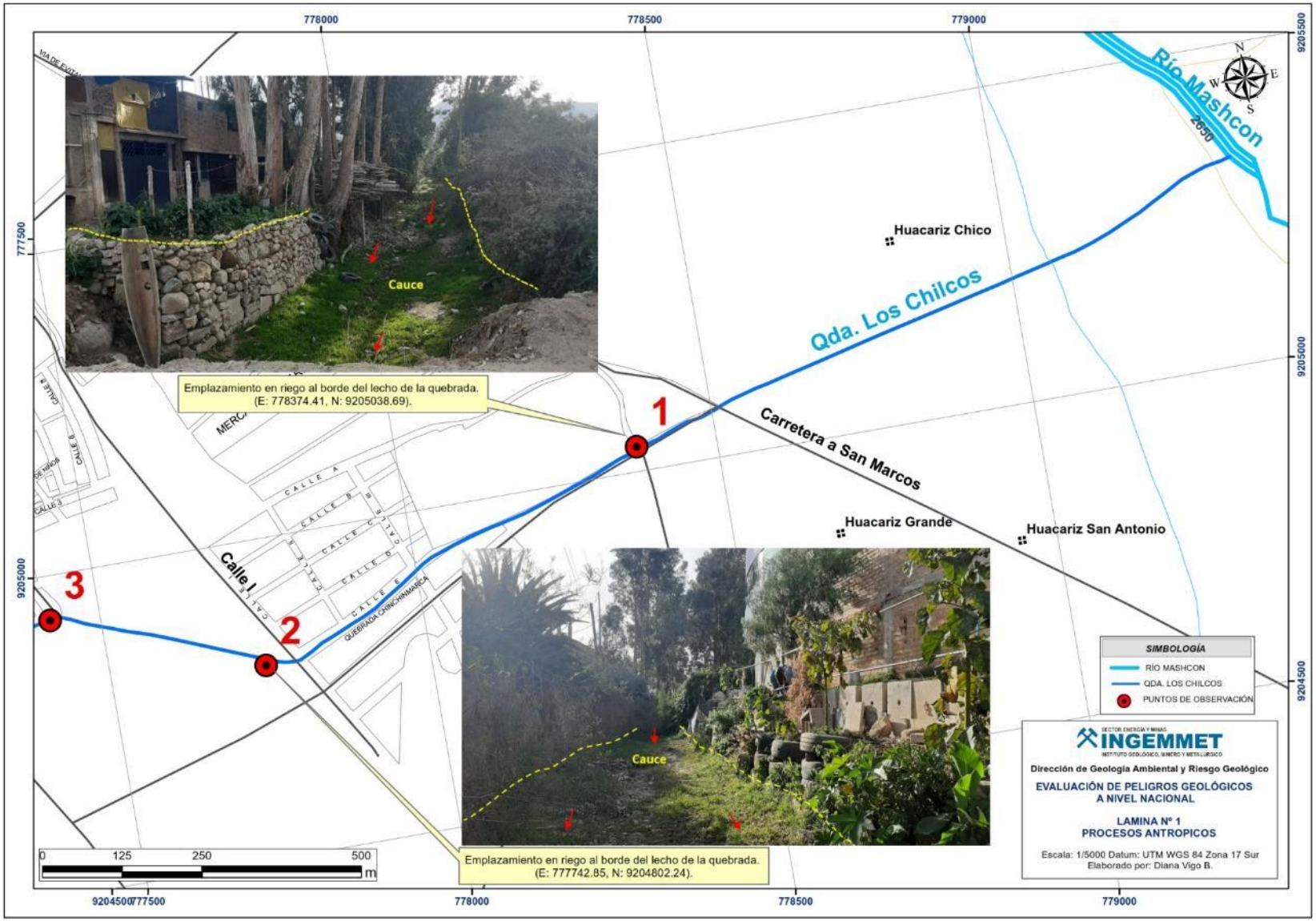

Figura 1.1. Lámina 01, procesos antrópicos en la quebrada Los Chilcos.

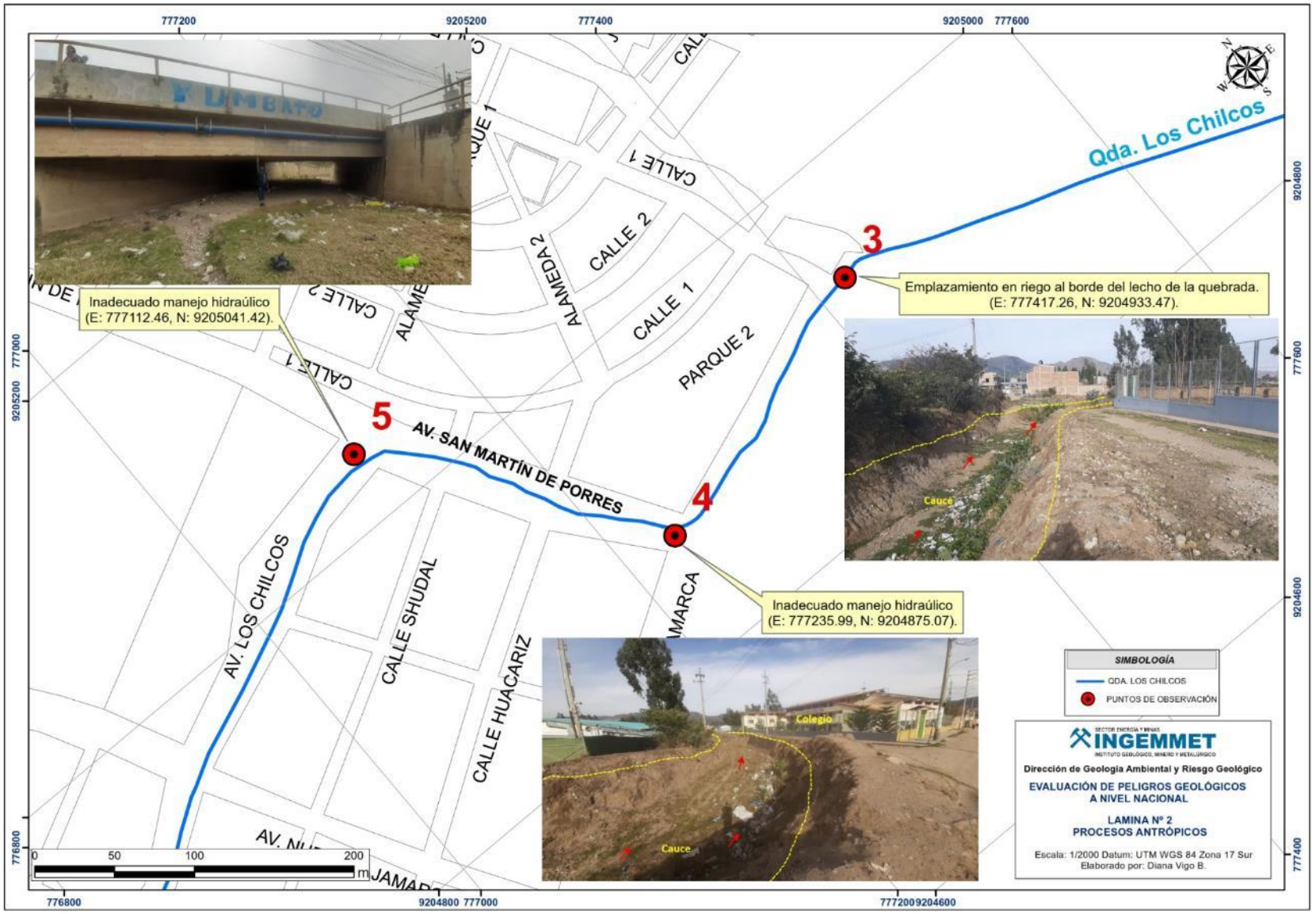

Figura 1.2. Lámina 02, procesos antrópicos en la quebrada Los Chilcos.

Figura 1.3. Lámina 03, procesos antrópicos en la quebrada Los Chilcos.

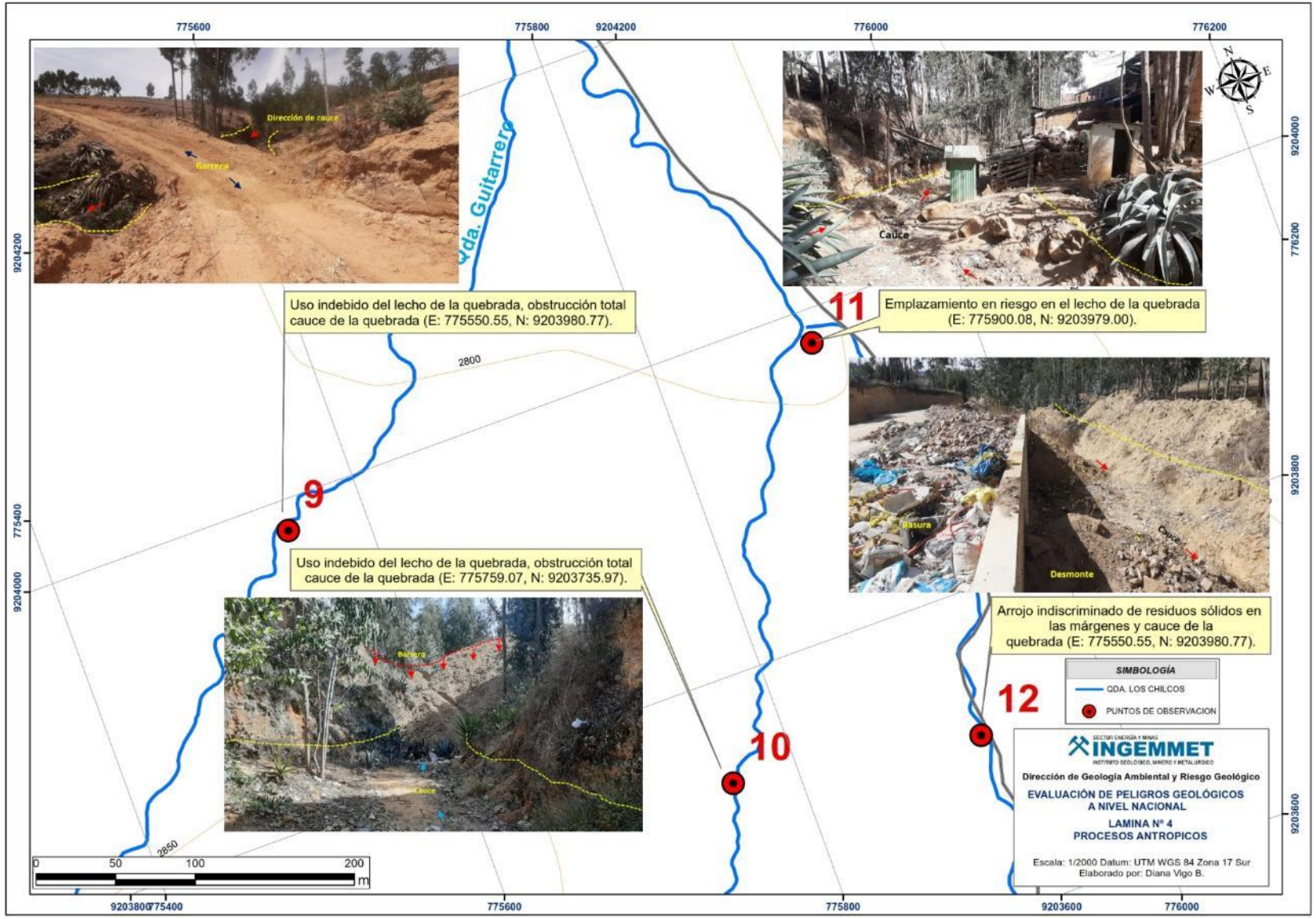

Figura 1.4. Lámina 04, procesos antrópicos en la quebrada Los Chilcos.

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 Los Chilcos son principalmente de tipo Rotacional.

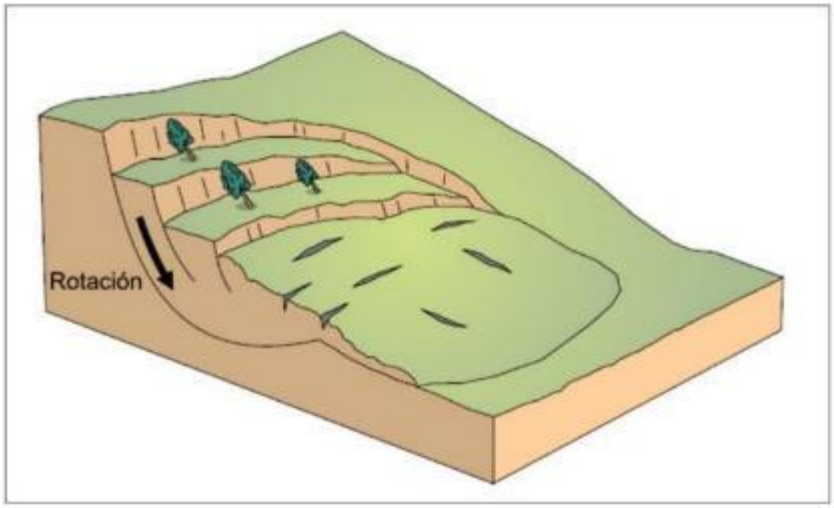

Figura 2.1. Esquema de deslizamiento rotacional (PMA 2007).

Las **cárcavas** (figura 2.2) 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 Los Chilcos, Chinchimarca, Aylambo y Guitarreros; además de sectores con materiales poco competentes expuestos a la erosión.

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 Los Chilcos.

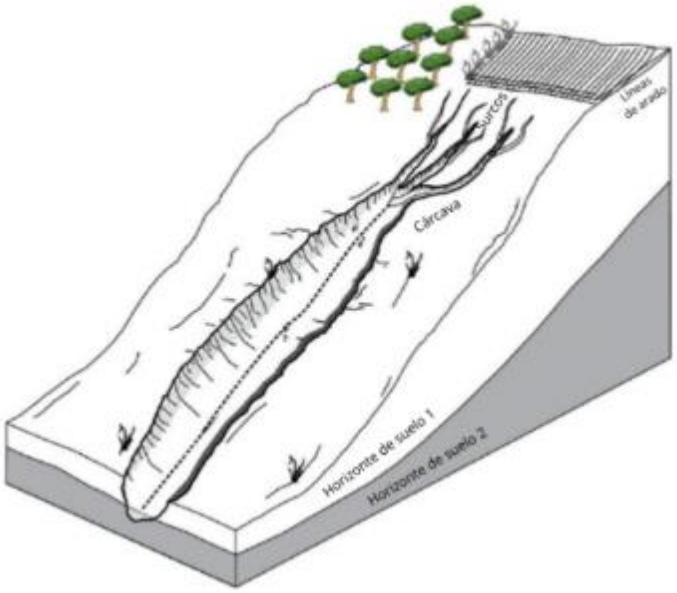

Figura 2.2. Esquema de la formación de cárcavas originadas por profundización en surcos. Tomado y modificado de (Shruthi *et al*., 2011).