

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

**ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE
LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN LUCAS -
DISTRITO DE CAJAMARCA**

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Geólogo

Presentado por:

Bach. José Leonardo Mejía Valqui

Asesor:

M. Cs. Roberto Severino Gonzales Yana

Perú - 2021

Dedicatoria

A Dios todopoderoso por bendecir mi camino y permitirme lograr mis objetivos.

A mis padres y hermanos por su cariño, su apoyo incondicional y ser el impulso que motivan mis pasos.

A la memoria de mi querido primo Carlos Castañeda León.

Agradecimiento

En agradecimiento a mi querida Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca.

A todos y cada uno de los Docentes Catedráticos, cuyas enseñanzas formaron al profesional que ahora soy, en especial mención a mi asesor M.Cs. Roberto Severino Gonzales Yana.

A todos mis compañeros, colegas y amigos que me mostraron su apoyo desinteresado durante la elaboración de la presente investigación.

Resumen

La investigación analiza el grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se ubica en la microcuenca del río San Lucas, Departamento, Provincia y Distrito de Cajamarca; posee una extensión de 72.3km². La metodología utilizada fue la matriz de análisis, en donde se definió los factores que tienen mayor influencia en la ocurrencia de eventos de movimientos de ladera, asignándoles un peso determinado a cada uno de acuerdo a su grado de intervención para elaborar un mapa de susceptibilidad con cinco niveles. Se analizó la distribución de pendientes con un peso de 30%, la litología con un peso de 25%, la curvatura del terreno con un peso de 20%, la orientación de laderas con un peso de 15% y la cobertura vegetal con un peso de 10%. Para verificar la eficacia del mapa de susceptibilidad obtenido, se validó con los veinticinco movimientos de ladera inventariados en campo, observándose que once movimientos de ladera se ubicaron en zonas de muy alta susceptibilidad, siete en alta susceptibilidad, cinco en moderada susceptibilidad y dos en baja susceptibilidad.

Palabras clave: Microcuenca, Factor determinante, Movimientos de ladera, Matriz de análisis.

Abstract

The research analyzes the degree of susceptibility to slope movements through the use of Geographic Information Systems (GIS), located in the micro-watershed of the San Lucas River, Department, Province and District of Cajamarca; it has an area of 72.3km². The methodology used was the analysis matrix, where the factors that have the greatest influence on the occurrence of slope movement events were defined, assigning a determined weight to each one according to its degree of intervention to elaborate a susceptibility map with five levels. The distribution of slopes was analyzed with a weight of 30%, lithology with a weight of 25%, terrain curvature with a weight of 20%, slope orientation with a weight of 15% and vegetation cover with a weight of 10%. To verify the effectiveness of the susceptibility map obtained, it was validated with the twenty-five slope movements inventoried in the field, showing that eleven slope movements were located in zones of very high susceptibility, seven in high susceptibility, five in moderate susceptibility and two in low susceptibility.

Key words: Micro-watershed, Determinant factor, Slope movements, Analysis matrix.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Índice general.....	vi
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xii
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes Teóricos de la investigación.....	4
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	4
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	4
2.1.3. Antecedentes Locales.....	5
2.2. Bases teóricas.....	6
2.2.1. Movimientos de Ladera.....	6
2.2.2. Clasificación de los Movimientos de Ladera.....	8
2.2.3. Factores que influyen en los Movimientos de Ladera.....	11
2.2.4. Sistema de Información Geográfica (SIG).....	12
2.2.5. Modelo Digital de Elevaciones (MDE).....	13
2.2.6. Mapas de Susceptibilidad.....	13
2.2.7. Matriz de susceptibilidad.....	15
2.3. Definición de términos básicos.....	17
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Ubicación de la Investigación.....	19
3.1.1. Accesibilidad y transporte.....	21
3.1.2. Hidrología.....	23

	Pág.
3.1.3. Clima y Vegetación	26
3.1.4. Aspectos Socioeconómicos	26
3.2. Procedimientos	27
3.2.1. Etapa Preliminar de Gabinete	27
3.2.2. Etapa de Campo	27
3.2.3. Etapa Final de Gabinete	27
3.3. Metodología de la Investigación.....	28
3.3.1. Tipo, Diseño y Método de la Investigación.....	28
3.3.2. Población de Estudio	28
3.3.3. Muestra	28
3.3.4. Unidad de Análisis.....	28
3.3.5. Técnicas	29
3.3.6. Instrumentos y Recolección de Datos.....	29
3.3.7. Equipos de Recolección de Datos.....	29
3.3.8. Análisis e Interpretación de datos.....	30
CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	33
4.1. Geomorfología.....	33
4.1.1. Altiplanicie	33
4.1.2. Colinoso.....	34
4.1.3. Montañoso	34
4.1.4. Planicie	34
4.2. Geología Local.....	35
4.2.1. Grupo Goyllarisquizga.....	35
4.2.2. Formación Inca	37
4.2.3. Grupo Crisnejas	37
4.2.4. Formación Pariatambo.....	38
4.2.5. Grupo Pullucana	38
4.2.6. Grupo Quilquiñán	38

	Pág.
4.2.7. Formación Cajamarca.....	39
4.2.8. Grupo Calipuy	39
4.2.9. Volcánico Huambos.....	39
4.2.10. Depósitos cuaternarios.....	40
4.3. Geología Estructural	42
4.4. Factores Determinantes	43
4.4.1. Pendientes	44
4.4.2. Litología.....	48
4.4.3. Curvatura de Terreno	54
4.4.3. Orientación de Laderas	58
4.4.5. Cobertura Vegetal.....	62
4.5. Análisis de Susceptibilidad.....	66
4.5.1. Susceptibilidad nula o muy baja.....	66
4.5.2. Susceptibilidad baja	67
4.5.3. Susceptibilidad moderada.....	67
4.5.4. Susceptibilidad alta.....	68
4.5.5. Susceptibilidad muy alta.....	68
4.6. Validación de Datos.....	74
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
5.1. Conclusiones.....	78
5.2. Recomendaciones	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
ANEXOS.....	83
A. Panel Fotográfico.....	83
B. Registro de Campo	83
C. Planos temáticos	83

1. Plano de Ubicación
2. Plano Satelital
3. Plano del Modelo Digital de Elevaciones
4. Plano de Unidades Geomorfológicas
5. Plano Geológico
 - 5.1. Sección Geológica A-A'
 - 5.2. Sección Geológica B-B'
6. Plano de Pendientes
7. Plano de Unidades Litológicas
8. Plano de Curvatura del Terreno
9. Plano de Orientación de Laderas
10. Plano de Cobertura Vegetal
11. Plano de Susceptibilidad
12. Plano de Movimientos de Ladera

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Principales parámetros intrínsecos utilizados en los análisis de susceptibilidad.....	16
Tabla 2: Ejes limitantes de la microcuenca del río San Lucas.....	19
Tabla 3: Tramos de acceso por la vía Cajamarca – Chamis – Cumbe Mayo – Cajamarca.	21
Tabla 4: Peso asignado para cada Factor Determinante para el análisis en la matriz de susceptibilidad.	44
Tabla 5: Datos del área en kilómetros cuadrados y porcentaje de la clasificación de pendientes en la microcuenca San Lucas.....	45
Tabla 6: Clasificación de las rocas según su resistencia a compresión simple.....	49
Tabla 7: Características físico-mecánicas de varios tipos de rocas.	50
Tabla 8: Datos del área en kilómetros cuadrados y porcentaje para cada clase litológica de la microcuenca San Lucas.....	51
Tabla 9: Datos del área en kilómetros cuadrados y porcentaje de la clasificación de la curvatura del terreno en la microcuenca San Lucas.	55
Tabla 10: Datos del área en kilómetros cuadrados y porcentaje de la clasificación definida para la orientación de laderas en la microcuenca San Lucas.....	59
Tabla 11: Datos del área en kilómetros cuadrados y porcentaje de la clasificación de zonas con cobertura vegetal en la microcuenca San Lucas.	63
Tabla 12: Niveles de susceptibilidad establecidos para la investigación con su respectivo valor asignado, a criterio del autor.	66
Tabla 13: Matriz de análisis del grado de susceptibilidad versus los Factores Determinantes.	70
Tabla 14: Datos del área en kilómetros cuadrados y porcentaje individual y acumulado de la clasificación del grado de susceptibilidad en la microcuenca San Lucas.	72

Tabla 15-1: Inventario de movimientos de ladera evidenciados en el trabajo de campo dentro de la microcuenca San Lucas.	75
Tabla 15-2: Continuación del inventario de movimientos de ladera evidenciados en el trabajo de campo dentro de la microcuenca San Lucas.	76

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Elementos morfológicos y morfométricos de un deslizamiento, tomado de González de Vallejo (2002).....	7
Figura 2: Tipos de movimientos de ladera, tomado de González de Vallejo (2002).....	10
Figura 3: Superposición de capas de información representando variables espaciales y entidades, tomado de Sarría (2006).....	12
Figura 4: Ubicación de los vértices limitantes de la microcuenca San Lucas, (Google Earth 2021).....	20
Figura 5: Ubicación de la microcuenca San Lucas en el plano político distrital de Cajamarca (IGN 2020).....	21
Figura 6: Tramos de acceso carrozable hacia la microcuenca San Lucas (Google Earth 2021).....	22
Figura 7: Principales cursos de agua de la microcuenca San Lucas (Google Earth 2021).....	25
Figura 8: Ejemplo ilustrado de una operación utilizando el “Algebra de Rasters” en el software ArcGis (ESRI 2020).....	32
Figura 9: Columna local de unidades litoestratigráficas de la microcuenca San Lucas, elaborado en base a la carta geológica del INGEMMET (2007).....	41
Figura 10: Gráfica del área en porcentaje versus las clases de pendientes en la microcuenca San Lucas.....	46
Figura 11: Clasificación de acuerdo a la pendiente del terreno en la microcuenca San Lucas.....	47
Figura 12: Gráfica del área en porcentaje versus las clases litológicas en la microcuenca San Lucas.....	52
Figura 13: Clasificación litológica de acuerdo a la textura y composición de las rocas dentro de la microcuenca San Lucas.....	53

	Pág.
Figura 14: Gráfica del área en porcentaje versus la curvatura del terreno.....	56
Figura 15: Clasificación de curvatura del terreno en la microcuenca San Lucas	57
Figura 16: Representación gráfica del patrón de orientación de laderas.	58
Figura 17: Gráfica del área en porcentaje versus la orientación de laderas.....	60
Figura 18: Clasificación de acuerdo a la orientación del terreno en la microcuenca San Lucas	61
Figura 19: Gráfica del área en porcentaje versus la cobertura vegetal.	64
Figura 20: Mapa de cobertura vegetal (zona con árboles), dentro de la microcuenca San Lucas	65
Figura 21: Gráfica del área en porcentaje versus el grado de susceptibilidad	72
Figura 22: Mapa de susceptibilidad obtenido de la operación algebraica de los rasters con sus respectivos pesos asignados	73
Figura 23: Mapa del inventario de los movimientos de ladera en la microcuenca San Lucas	77

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Nuestro país se encuentra en una zona de intensa actividad geodinámica (límite de placas – subducción, fuertes periodos de precipitaciones, zonas sísmicas), evidencia de ello es la cordillera de los Andes y los grandes valles que forman parte de nuestro territorio. Los movimientos de ladera son eventos geodinámicos inmersos en la evolución del modelado de la superficie terrestre, pero también representan peligros latentes para las poblaciones y localidades cercanas, ya que conforman zonas susceptibles o con alguna probabilidad de ocurrencia estos fenómenos.

Por mencionar a algunos de los fenómenos producidos en nuestro país, tenemos la avalancha de Rodeopampa (Cajamarca 2010), el flujo de detritos de Ambo (Huánuco 2010), el flujo por deslizamiento de Yoroco (Puno 2011) el deslizamiento de Amata (Moquegua 2011), eventos ocurridos por efecto del fenómeno de “La Niña” en 2017; todos provocaron destrucción de viviendas y obras de infraestructura, además de pérdidas humanas. Estos eventos se localizaron en zonas de alta a muy alta susceptibilidad según estudios realizados por el INGEMMET.

Fenómenos ocurridos dentro de la microcuenca del río San Lucas, principalmente en las zonas de Urubamba, Ronquillo y Corisorgona, manifiestan la incidencia de procesos naturales relacionados a los movimientos de ladera, uno de los principales riesgos son los deslizamientos, que traería consigo consecuencias desastrosas para un aproximado de más

de 45 mil habitantes de la ciudad de Cajamarca y fatales para los más de 1500 pobladores que habitan en los sectores mencionados (Mendoza 2016).

En la actualidad existen muchos métodos para determinar el grado de susceptibilidad a movimientos de ladera de un área determinada, sin embargo, los de Sistemas de Información Geográfica (SIG), representan una herramienta moderna y precisa que, con el adecuado análisis, integra factores de inestabilidad, datos de campo y técnicas de evaluación que son de mucha ayuda para la prevención de impactos negativos en las poblaciones vulnerables.

Planteada la problemática de estudio se llegó a la interrogante ¿Cuál es el grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera analizados mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la microcuenca del río San Lucas - Distrito de Cajamarca?

La investigación cobra su mayor importancia en cuanto se refiere a la elaboración de acciones de prevención ante un eventual desastre, lo cual disminuye en gran medida las pérdidas materiales, económicas y de vidas humanas, que es de interés justificable para las autoridades locales, defensa civil, investigadores de línea y la población de la ciudad de Cajamarca, además sirve como preámbulo para posteriores estudios de investigación. El beneficio está orientado principalmente a generar mayores condiciones de seguridad para la población, incentivando la toma de medidas preventivas, y el uso de herramientas modernas y de gran precisión en el análisis del grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera en la microcuenca del río San Lucas.

Como hipótesis se planteó que el grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera en la microcuenca del río San Lucas se halla en función del análisis realizado en base a la matriz de datos que correlaciona los Factores Internos o Determinantes del terreno, como son la distribución de pendientes, la litología, la curvatura del terreno, la orientación de las laderas y la cobertura vegetal; apoyado de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el inventario de los movimientos de ladera ocurridos en la microcuenca.

El objetivo principal es analizar el grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la microcuenca del río San Lucas - Distrito de Cajamarca, para ello se tiene que inventariar los movimientos de ladera ocurridos dentro de la microcuenca, aplicar la metodología del análisis de la matriz de datos y elaborar el mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera.

Como una breve descripción de la estructura de la investigación se tiene cinco capítulos, capítulo I: Detalla y describe el problema de estudio, los objetivos, sus alcances y se plantea la hipótesis de la investigación; capítulo II: Describe la teoría analizada y estudiada, menciona antecedentes internacionales, nacionales y locales; capítulo III: Contiene información general de la microcuenca San Lucas, además describe la metodología y el procedimiento utilizados; capítulo IV: Se ejecuta la metodología planteada para realizar el análisis del grado de susceptibilidad; Capítulo V: presenta las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Jiménez (2007), análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG, en la cuenca vertiente al embalse de rules, Granada. Se presenta un inventario de movimientos de ladera y se analizan los factores más relevantes para el análisis de la susceptibilidad, por el método de la matriz, mediante el cruce de éstos con el inventario, una vez calculada la susceptibilidad se procede a calcular el grado de ajuste para la validación de la misma.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Villacorta et al. (2012), el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, concluyó el inventario de peligros geológicos en Perú, siendo uno de los informes el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú a escala 1:1 000 000, cuyo objetivo es contar con una herramienta dinámica para la gestión de riesgos.

Blanco (2013), evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa en la zona central de la cuenca de río Mantaro - Región Junín. Tesis profesional de la Universidad Nacional de Ingeniería, se evalúa mediante métodos estadísticos y el uso de un SIG el grado de

susceptibilidad de la cuenca del río Mantaro, comparando los resultados con el índice de densidad obtenida del inventario de Movimientos en Masa del terreno.

2.1.3. Antecedentes Locales

Villacorta et al. (2007), análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca del río Llaminchán (Cajamarca, Perú). El estudio realizado en coordinación con el INGEMMET y la FIGMMG-UNMSM (Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Mayor de San Marcos), ha permitido obtener el mapa de susceptibilidad por movimientos de ladera donde se identificó zonas con alta susceptibilidad y muy alta susceptibilidad.

Huaripata (2014), modelo geodinámico de la quebrada Cruz Blanca, microcuenca Cruz Blanca- Los Chilcos. Tesis profesional de la Universidad Nacional de Cajamarca, se realiza el modelo tomando en consideración el comportamiento geodinámico, geomorfológico, estructural, hidrológico, geohidrológico y geotécnico de la microcuenca.

Mendoza (2016), estimación del riesgo en Urubamba, Ronquillo y Corisorgona – Cajamarca. Estudio de investigación donde se estima el riesgo, identificando los peligros y riesgos a los que se encuentra expuesta parte de la ciudad de Cajamarca, con el fin de determinar las condiciones de seguridad y habitabilidad del área para recomendar medidas y acciones dirigidas a definir parámetros de desarrollo urbano.

Rodríguez (2016), método de investigación geológico-geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos, zona Ronquillo-Corisorgona, Cajamarca-Perú.

Tesis de maestría en donde se analiza el comportamiento geoestructural, geomorfológico, geodinámico y geomecánico de los macizos rocosos de las Formaciones Geológicas que se encuentran en la zona, mediante el análisis geoestructural asociada a sus factores intrínsecas y extrínsecas utilizando los Software Dips y Slide.

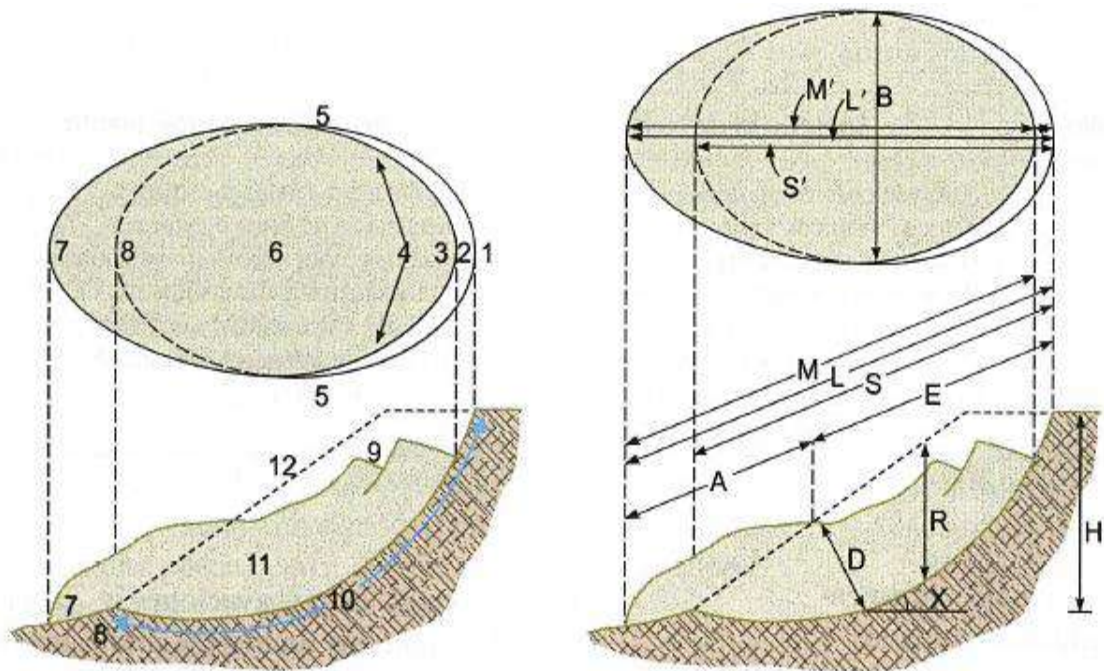
2.2. Bases teóricas

2.2.1. Movimientos de Ladera

Reconocidos autores han realizado estudios sobre los movimientos en masa, por mencionar algunos, tenemos a Sharpe (1938), Varnes (1978), Crozier (1986), Cruden (1991), Ambalagan (1999), Santacana (2001) y Westen (2002), todos ellos presentan elementos comunes en sus definiciones, como presencia de un material, acción de la gravedad y esfuerzos externos que actúan produciendo el movimiento.

Se entiende como movimiento de ladera el movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente (Cruden, citado por Jiménez 2005). Se incluye cualquier tipo de movimiento en masa (se excluye la erosión), excepto la subsidencia y el hundimiento kárstico (Fernández, citado por Jiménez 2005).

La nomenclatura de los elementos morfológicos y morfométricos de un movimiento de ladera (Figura 1), desarrollada por la Asociación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería (IAEG 1990).



1. Cabecera
2. Escarpe principal
3. Cima
4. Parte superior del deslizamiento
5. Flancos
6. Cuerpo principal del deslizamiento
7. Pie del deslizamiento
8. Pie de la superficie de rotura
9. Escarpe secundario
10. Superficie de rotura
11. Maza desplazada
12. Superficie original de la ladera

- B. Anchura máxima
- H. Altura entre pie y cabecera
- L. Longitud total
- M. Longitud de la masa desplazada
- S. Longitud de la superficie de rotura
- L', M', S': Distancias horizontales correspondientes a L, M, S
- A. Zona de acumulación
- E. Zona de deflación
- D. Potencia de la masa desplazada
- R. Profundidad máxima de la superficie de rotura
- X. Ángulo de la superficie de rotura

Figura 1: Elementos morfológicos y morfométricos de un deslizamiento, tomado de González de Vallejo (2002).

2.2.2. Clasificación de los Movimientos de Ladera

Casi todas las clasificaciones propuestas por diversos autores se basan fundamentalmente en el mecanismo de rotura y propagación del movimiento utilizando básicamente criterios morfológicos para suelos y rocas. Entre los autores que plantearon una clasificación, por mencionar algunos, tenemos a Sharpe (1938), Varnes (1978), Hutchinson (1988), Corominas-García (1997), Ambalagan (1999) y González de Vallejo (2002). La clasificación de González de Vallejo (2002) es una de las más utilizadas debido a su practicidad, por lo tanto, es la tomada en cuenta para el desarrollo de esta Tesis. Se diferencian cuatro tipos básicos de movimientos (Figura 2), el quinto tipo es el resultado de la eventualidad de dos o más tipos básicos.

Deslizamiento: en este tipo de movimiento de ladera el desplazamiento del terreno se produce sobre una o varias superficies de rotura bien definidas. La masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad, prácticamente sin deformación interna, en su recorrido (Jiménez 2005). Se los puede clasificar entre deslizamiento traslacional o planar y deslizamiento rotacional.

Flujo: Son movimientos en la cual cada partícula se desplaza con velocidades y trayectorias distintas, principalmente se generan en detritos, suelos y en pocas ocasiones en rocas (Blanco 2013).

Desprendimiento o Vuelco: según Jiménez (2005), corresponde al rápido movimiento de una masa de cualquier tamaño de roca o de suelo en forma de bloques aislados o material

masivo. Los desplazamientos se producen principalmente en sentido vertical por caída libre, son típicos en macizos rocosos y generalmente están controlados por las discontinuidades.

Desplazamientos laterales: también conocidos como movimientos de reptación, hace referencia al movimiento de bloques rocosos o masas de suelo muy coherente sobre un material blando y deformable como consecuencia de la competencia entre el material suprayacente y el infrayacente, (Jiménez 2005), incluye procesos de traslación, rotación, flujo y licuación (Blanco 2013).

Movimientos complejos: son aquellos fenómenos con más de un tipo de movimiento o proceso característico, consisten en movimientos sucesivos o simultáneos de una misma masa ligados causalmente (Villacorta et al. 2007).


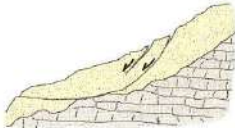




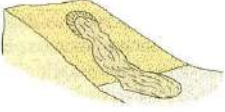

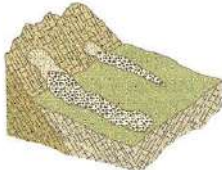
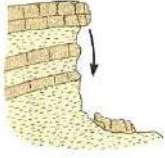
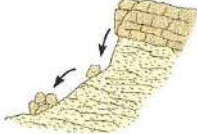
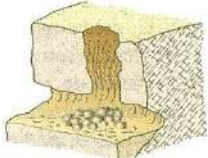


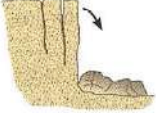
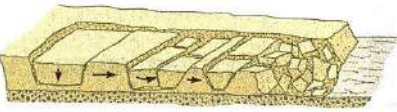
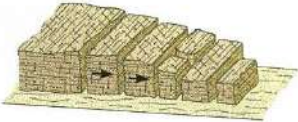
DESPLAZAMIENTOS	Rotacional			
	Traslacional			
FLUJOS				
DESPRENDIMIENTOS				
VUELCOS				
DESPLAZAMIENTOS LATERALES				

Figura 2: Tipos de movimientos de ladera, tomado de González de Vallejo (2002).

2.2.3. Factores que influyen en los Movimientos de Ladera

La inestabilidad de las laderas, dependen en sí de la acción conjunta de varios factores, los cuales se pueden clasificar en dos grandes grupos. Factores desencadenantes o activadores (factores externos), que controlan la actividad en el tiempo; y factores determinantes o condicionantes (factores internos), que controlan la actividad en el espacio (Hansen, citado por Jimenez 2005).

Los factores externos, desencadenantes o activadores son aquellos que constantemente tienen efecto o actúan sobre el terreno, modificando las condiciones iniciales del terreno, y el equilibrio del área, por los cambios que generan en las propiedades geotécnicas del material, se los puede clasificar en tres tipos: la infiltración de agua o precipitación, que implica el aumento del contenido de agua y la presión intersticial del suelo y rocas; las vibraciones o actividad sísmica que produce aumento del esfuerzo de cizalla; y, por último, las modificaciones antrópicas o actividad humana, esta última no considerada por algunos autores (Keefer, citado por Ochoa 2016).

Los factores internos, determinantes o condicionantes, son aquellas características y propiedades del material que influyen directamente en las diferentes tipologías de deslizamientos, mecanismos y modelos de rotura (Almaguer, citado por Blanco 2013). Estos factores a su vez pueden clasificarse en dos tipos: características intrínsecas, referidas a características propias del material como la litología, estructuras geológicas, porosidad, permeabilidad, entre otras; y características extrínsecas, referidas a las condiciones geomorfológicas y fisiográficas a las que está enmarcado el terreno que pueden ser

calculados a partir de un modelo de elevación digital como la distribución de pendientes, orientaciones del terreno, concavidad-convexidad (Ochoa 2016).

2.2.4. Sistema de Información Geográfica (SIG)

También conocido como GIS en idioma inglés, un Sistema de Información Geográfica consiste en la unión de información en formato digital y herramientas informáticas o softwares donde la información aparece georreferenciada, es decir, incluye su posición en el espacio utilizando un sistema de coordenadas estandarizado resultado de una proyección cartográfica (Sarría 2006). Representa de forma digital una porción de terreno real, basándose en herramientas digitales como los MDE y rasters, en integración con objetos de dibujo como polígonos, polilíneas y puntos.

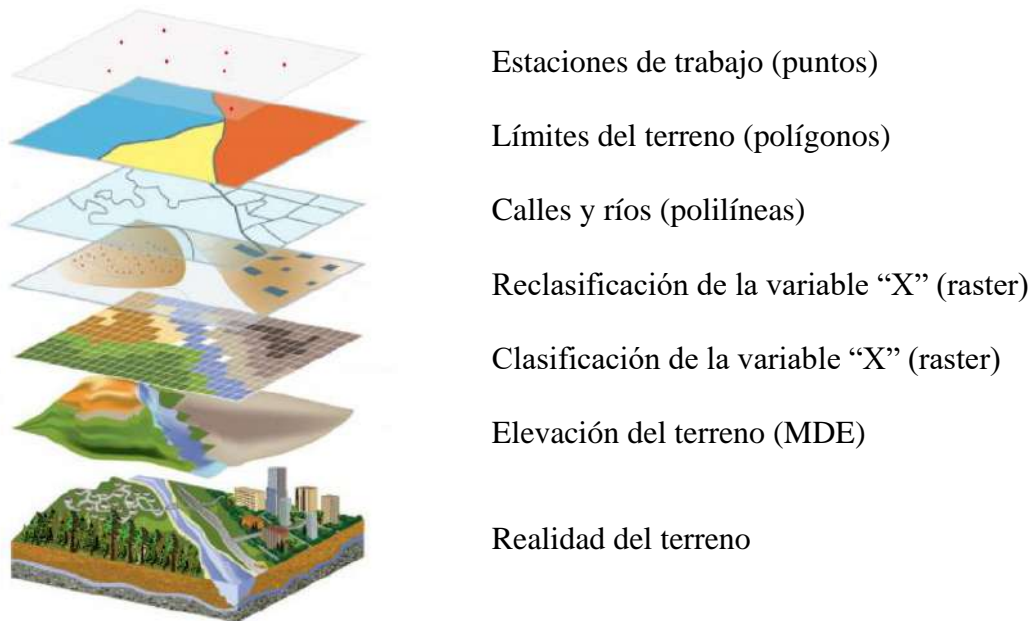


Figura 3: Superposición de capas de información representando variables espaciales y entidades, tomado de Sarría (2006).

2.2.5. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

Se define como una superficie ráster¹ casi continua que ofrece información acerca de la coordenada z (altitud) en cualquier punto de esa superficie (Burrough, citado por Jiménez 2005).

2.2.6. Mapas de Susceptibilidad

Los mapas de “susceptibilidad” a los movimientos de ladera fueron desarrollados por primera vez, por Brabb en San Mateo County, California; para el USGS (United States Geological Survey) en 1978, estos primeros trabajos se realizaban superponiendo capas con los diferentes factores que influían en la inestabilidad de los taludes y laderas. Para el año 1988, se inició el uso de Sistemas de Información Geográfica para la elaboración de los mapas de susceptibilidad. Actualmente existen diversos métodos para el análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera a través de SIG, entre los que se incluyen principalmente los métodos estadísticos, determinísticos, de evaluación directa de la susceptibilidad. La aplicabilidad de cada método a una zona determinada depende sobre todo de las características y extensión de dicha zona, del tipo y proporciones de los deslizamientos existentes (Navarro 2012).

¹ Un ráster consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información. Los rasters son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados. Fuente ESRI.

Con respecto a la utilización de los SIG en estudios de amenaza de deslizamientos, Mora y Vahrson (1993), realizaron estudios de casos de fallas de taludes y propusieron un método de predicción de amenaza. En dicho método se incluyeron tres factores relacionados como son: el relieve relativo, condiciones litológicas y la humedad. Adicionalmente, se consideraron dos factores relacionados con el evento detonante, que son: la sismicidad y la intensidad de las lluvias. Combinando estos factores, se encontró un grado de amenaza a deslizamiento de los taludes y laderas, a través de la siguiente fórmula.

$$Hl = (Sr * Sl * Sh) * (Ts + Tp)$$

Donde:

Hl: índice de amenaza a deslizamiento

Sr: índice de relieve relativo

Sl: susceptibilidad litológica

Sh: influencia de la humedad natural del suelo

Ts: influencia de la sismicidad

Tp: influencia de la intensidad de la precipitación

Utilizando un criterio similar al mencionado, es que se realizará el análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la microcuenca del río San Lucas de la ciudad de Cajamarca, pero cabe mencionar que, debido a los argumentos citados por Navarro (2012), ítem 2.2.6; se tuvieron en cuenta a las Factores Internos o Determinantes, excluyendo a la Factores Externos o Detonantes.

Según varios autores que han abordado este tema de investigación, los Factores Determinantes de mayor influencia y más utilizados, son la pendiente y la litología; sin embargo, otros autores también consideran: la geomorfología, cobertura vegetal, estructuras geológicas, drenaje, hidrología (porosidad, permeabilidad y capacidad de transmitir el agua) y los calculados a partir de un modelo de elevación digital (altitudes, orientaciones, concavidad-convexidad). La Tabla 1 muestra un resumen de lo mencionado.

2.2.7. Matriz de susceptibilidad

Utilizado por Jiménez (2012), en su Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente al embalse de Rules, Granada; este es un método de análisis estadístico, no es un método cuantitativo para establecer un índice de inestabilidad en una zona, tampoco es capaz de predecir la susceptibilidad a los movimientos de ladera en términos de probabilidad absoluta; sin embargo, permite evaluar la inestabilidad potencial relativa en una zona, utilizando una de valores cuantificables.

Tabla 1: Principales parámetros intrínsecos utilizados en los análisis de susceptibilidad.

Autor \ Factor Determinante	Litología	Pendiente	Geomorfología	Cobertura Vegetal	Estructuras Geológicas	Distancia a Drenaje	Uso del Suelo	Elevación	Orientación	Concavidad Convexidad Curvatura	Espesor depósito superficial	Condiciones Hidrogeológicas
Varnes, (1984)	x	x	x	x	x							x
Westen (1997)	x	x	x		x	x		x	x			
Binaghi et al., (1998)	x	x			x	x	x	x	x			
Guzzeti et al., (1999)	x	x		x				x	x	x		
Baeza & Corominas (2001)	x	x	x	x				x	x	x	x	
Clerici et al., (2002)	x	x	x		x	x						
Dai & Lee (2002)	x	x	x		x	x	X	x	x	x		
Lee & Talib (2005)	x	x		x	x	x			x	x		
Jimenez, (2005)	x	x						x	x			
Villacorta et al., (2007)	x	x	x									x
Blanco, (2013)	x	x	x	x								

Fuente: Adaptado de Bonachea 2006 y Blanco 2013.

2.3. Definición de términos básicos

Susceptibilidad: Está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso determinado, la estimación del grado de susceptibilidad se basa en la correlación de los principales factores (intrínsecos) que contribuyen en la formación de movimientos en masa (Ayala-Carcedo, citado en Villacorta et al. 2012).

Inestabilidad: Se refiere a la alteración del estado tensional de un macizo rocoso causado por presencia de discontinuidades, factores geométricos, geodinámica externa y factores geotécnicos (Dávila 2011).

Microcuenca: Una microcuenca es la unidad base de una subcuenca, la cual, lo es de una cuenca, la cual, a su vez lo es de un sistema hidrográfico; en cualquiera de los casos, es un concepto utilizado para designar un territorio, cuya característica principal es que el agua de lluvia que cae en esa superficie escurre hacia un cauce común. los Sistema Hidrográficos son zonas con más de 300 000 ha, las cuencas poseen un rango de 60 000 a las 300 000 ha, las subcuencas poseen un rango de 10 000 a las 60 000 ha y las microcuencas poseen zonas menores a las 10 000 ha, según el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT 1978).

Factores determinantes: son aquellas características y propiedades del material que influyen directamente en las diferentes tipologías de deslizamientos, su vez pueden clasificarse en dos tipos, características intrínsecas, referidas a características propias del

material como la litología, estructuras geológicas, porosidad, permeabilidad, entre otras; y características extrínsecas, referidas a las condiciones geomorfológicas y fisiográficas a las que está enmarcado el terreno (Ochoa 2016).

Pendiente: se refiere al ángulo que forma el talud o ladera con un plano horizontal, esto influye directamente en la estabilidad del material porque a mayor pendiente mayor es la acción de la gravedad debido al aumento de masa (Blanco 2013).

Litología: hace referencia a la distribución de los materiales aflorantes del terreno como son las rocas, los detritos, los suelos o mezcla de ellos (Blanco 2013).

Curvatura del Terreno: se refiere al nivel de concavidad - convexidad que presenta un terreno, se puede utilizar para describir las características físicas de una cuenca de drenaje para intentar entender los procesos de erosión y escorrentía, para encontrar los patrones de erosión de los suelos, así como la distribución del agua en tierra (Buckley 2010).

Orientación de Laderas: la orientación u exposición del terreno es el ángulo que forma la línea de máxima pendiente de un elemento de la superficie del terreno con respecto al Norte geográfico, medido en sentido de las agujas del reloj (Jiménez 2005).

Cobertura Vegetal: indica el nivel de presencia de vegetación, proporciona un aumento de la resistencia al corte del material y protección frente a la erosión, su acción es limitada está en función del tipo de vegetación, así mismo su presencia no asegura la total estabilidad (Blanco 2013).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la Investigación

La microcuenca del río San Lucas espacialmente se encuentra delimitada por las coordenadas de los vértices definidos en la Tabla 2, como se muestra en la Figura 4. El sistema utilizado fue el UTM Datum WGS-84.

Tabla 2: Ejes limitantes de la microcuenca del río San Lucas.

VÉRTICE	LONGITUD ESTE	LATITUD NORTE
1	769 766.35	9 212 032.77
2	778 486.99	9 207 334.60
3	771 040.50	9 202 688.66
4	761 949.41	9 211 080.75

Políticamente la microcuenca se encuentra ubicada en el Departamento, Provincia y Distrito de Cajamarca. Limita por el oeste con el Distrito de Chetilla, por el sur con el Distrito de Magdalena y por el este con el Distrito de Baños del Inca (ver Figura 5).

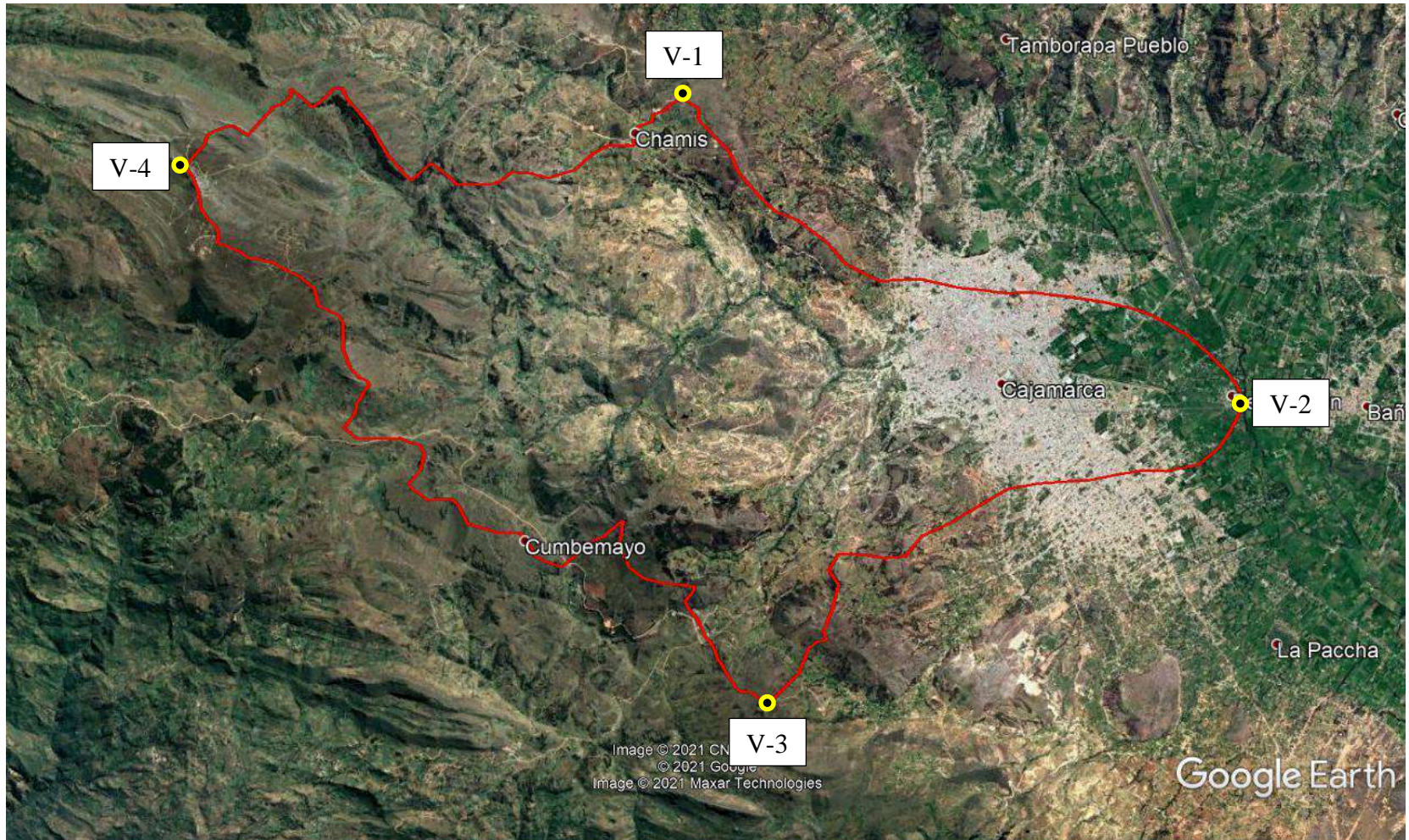


Figura 4: Ubicación de los vértices limitantes de la microcuenca San Lucas, (Google Earth 2021).

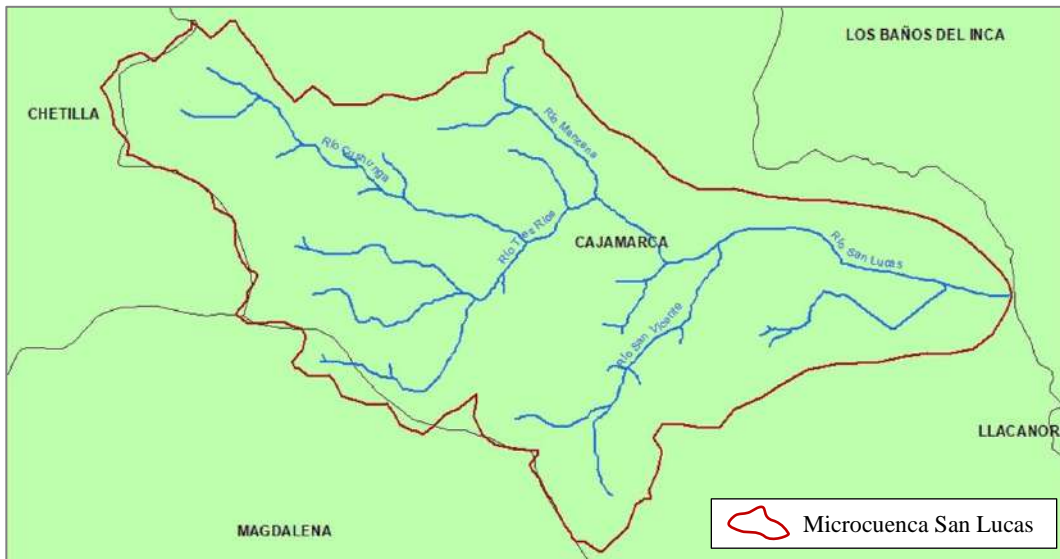


Figura 5: Ubicación de la microcuenca San Lucas en el plano político distrital de Cajamarca (IGN 2020).

3.1.1. Accesibilidad y transporte.

Para el acceso a la microcuenca, se ha identificado tres tramos de una misma vía carrozable, adicionalmente existen varios caminos de herradura. Los tramos de acceso son: tramo 1 Cajamarca – Chamis para acceder por la parte norte, tramo 2 Cajamarca – Cumbe Mayo para acceder por la parte sur, y el tramo 3 que conecta ambas vías Chamis – Cumbe Mayo que atraviesa la microcuenca de norte a sur, el detalle en la Tabla 3.

Tabla 3: Tramos de acceso por la vía Cajamarca – Chamis – Cumbe Mayo – Cajamarca.

TRAMOS	DISTANCIA	TIEMPO	CONDICIÓN
Cajamarca – Chamis (1)	8.6 Km	29 minutos	Afirmada
Cajamarca – Cumbe Mayo (2)	16.7 Km	40 minutos	Afirmada
Chamis – Cumbe Mayo (3)	14.4 Km	36 minutos	Afirmada

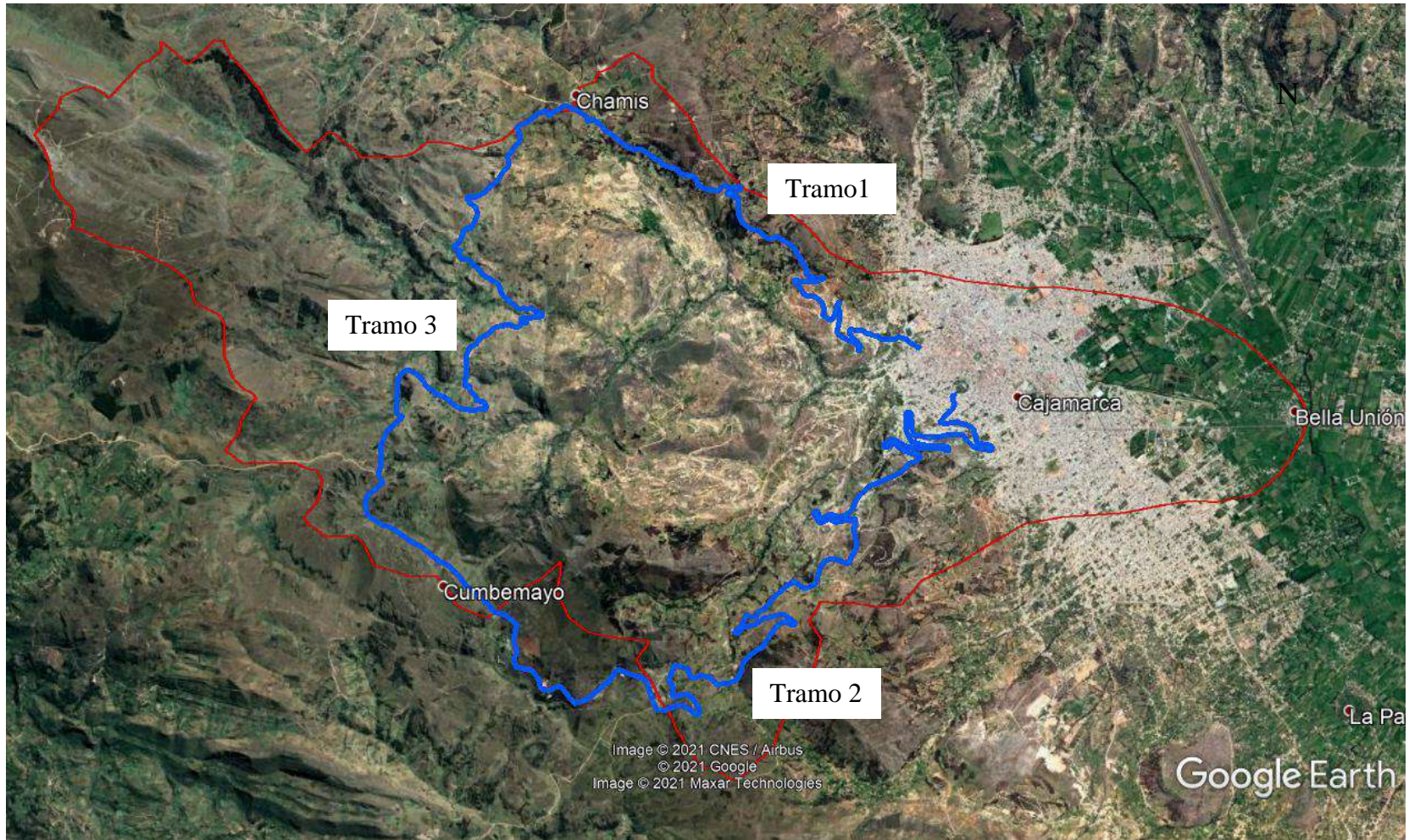


Figura 6: Tramos de acceso carrozable hacia la microcuenca San Lucas (Google Earth 2021).

3.1.2. Hidrología

La microcuenca del río San Lucas posee una extensión de 72.3km², el punto de cauce común de la microcuenca se ubica en el valle de Cajamarca, en el Centro Poblado Bella Unión, antes de la convergencia entre el río San Lucas y el río Mashcón, exactamente entre las coordenadas 778 486.985 Este, 9 207 334.595 Norte (Sistema UTM Datum WGS-84), con una altitud de 2660msnm.

El principal afluente de la microcuenca estudiada es el río San Lucas, que toma su nombre en la convergencia entre los ríos Urubamba y el río San Vicente, provenientes del lugar denominado Sexemayo; ambos riachuelos convergen en el punto denominado San Vicente dando origen al río San Lucas que recorre la ciudad de Cajamarca de Oeste a Este hasta desembocar en el río Mashcón. Otros importantes cauces en la escorrentía de las aguas superficiales, son el río Tres Ríos, el río Cushunga y el río Manzana que tienen su origen en las partes de mayor elevación de la microcuenca San Lucas (Ver Figura 7).

Altitudinalmente la microcuenca del río San Lucas va de los 3900 a 2600 msnm, limita por el norte y este con la microcuenca del río Mashcón, por el sur con la microcuenca de la quebrada Agamarca y por el oeste con la cuenca del río Chetillano; se puede estimar una precipitación que va entre los 1000 y 1280 mm, situación que varía de acuerdo a la estación seca y lluviosa (Cholán, 2010).

Rodriguez (2016), en su Tesis de maestría estudia parte de la microcuenca San Lucas, concentrándose básicamente en los sectores de Ronquillo-Corisorgona; teniendo en cuenta

al factor hidrológico como detonante para la causalidad de los movimientos en masa, obteniendo datos importantes como los coeficientes de escurrimiento o escorrentía y el coeficiente de infiltración, a través de un procedimiento que analiza históricamente las precipitaciones. Si bien los Factores Detonantes o Externos son fundamentales para el estudio de los movimientos de ladera, no se tuvieron en cuenta debido básicamente a que se considera a los Factores Determinantes o Internos como la base para evaluar la susceptibilidad, ya que analizarla es la idea principal de este estudio.

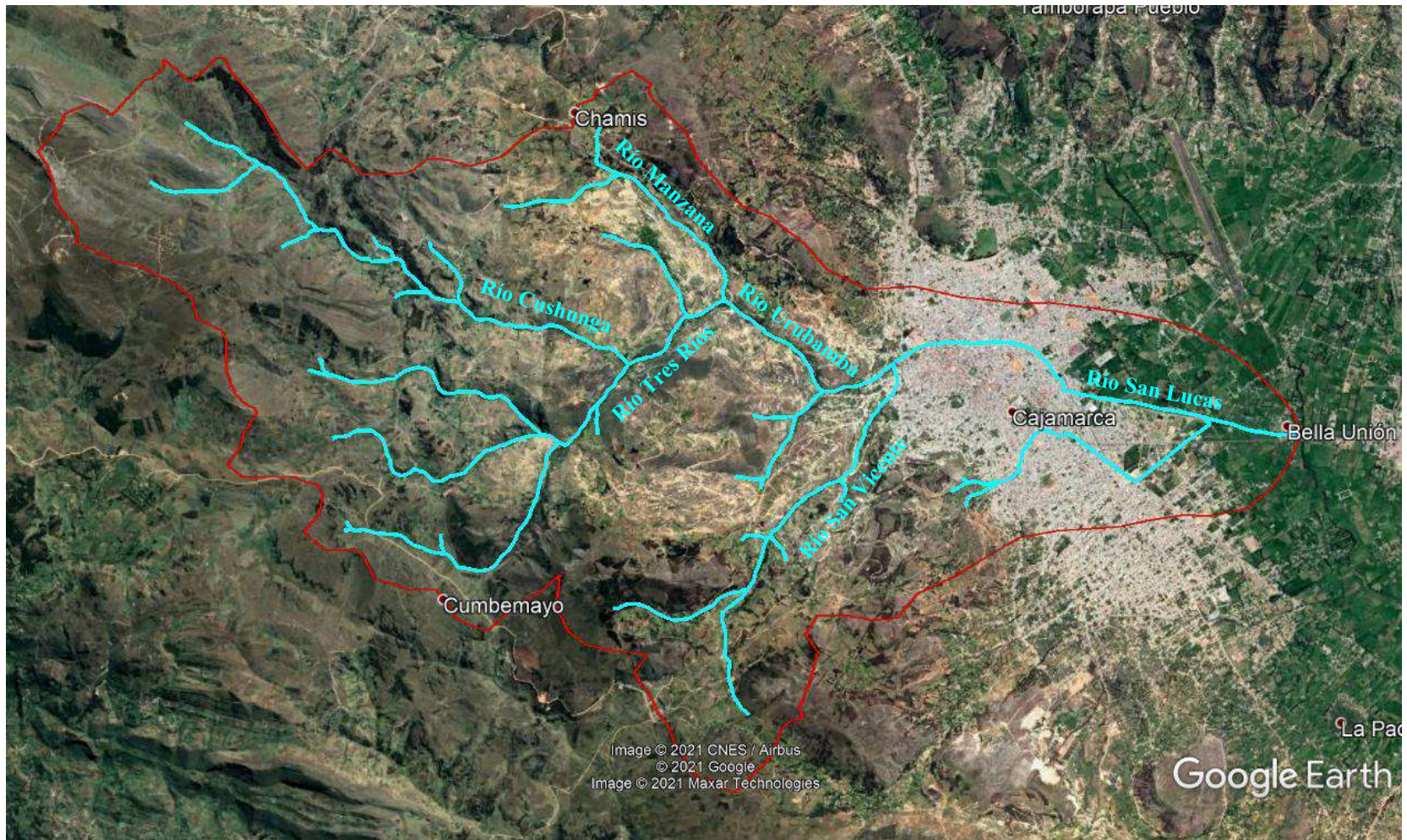


Figura 7: Principales cursos de agua de la microcuenca San Lucas (Google Earth 2021).

3.1.3. Clima y Vegetación

Cajamarca posee un clima de montaña con temperaturas templadas. Las temperaturas promedio mínimas y máximas no varían mucho durante el año, sin embargo, la diferencia de temperatura diurna y nocturna es alrededor de 10°C fenómeno que ocurre sobre todo en los meses secos, en los cuales aumenta la incidencia de heladas. Algunos datos obtenidos son, temperatura máxima promedio 21.4°C, temperatura mínimo Promedio 7.2°C, temperatura promedio anual 14.7°C, periodo lluvioso de noviembre a abril, meses más lluviosos febrero y marzo (SENAMHI 2019).

La vegetación en la zona de estudio, está conformada básicamente por árboles y arbustos, en su mayoría capulí y eucalipto; se observa que gran parte de estos crecen cercanos a ríos y quebradas, otros son sembrados en los perímetros de los terrenos para establecer fronteras; es escasa el área de bosques naturales en la microcuenca San Lucas. Otro tipo de vegetación abundante en las zonas más altas es el Ichu que es aprovechado en actividades pastoriles. Los terrenos aprovechados para sembríos son escasos, se observó que el sembrío predominante son los tubérculos (SERFOR 2019).

3.1.4. Aspectos Socioeconómicos

Las principales actividades económicas en la zona rural, donde se centra el mayor análisis del presente estudio, son la agricultura y ganadería, es importante mencionar también a las distintas formas de turismo que se desarrollan en el centro turístico de Los Frailones del Cumbe Mayo y en menor proporción en el Distrito de Chetilla y la localidad de Chamis;

que, por su cercanía a los límites de la microcuenca estudiada, afectan a la de manera positiva la socioeconomía. En una menor proporción en el área de estudio se ha observado a la orfebrería como fuente de ingreso para algunos pobladores (DIRCETUR 2019).

3.2. Procedimientos

3.2.1. Etapa Preliminar de Gabinete

Esta primera etapa consistió en recopilar y revisar información bibliográfica, libros, investigaciones, Tesis y Papers relacionados con el estudio de los movimientos de ladera y la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el análisis del grado de susceptibilidad, además se definieron los factores para el análisis de la susceptibilidad y se redactó los primeros capítulos de la investigación.

3.2.2. Etapa de Campo

La segunda etapa comprendió el reconocimiento del terreno, es decir identificar, clasificar e inventariar los movimientos de ladera producidos dentro de la microcuenca San Lucas, teniendo como base las teorías y factores para el análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera, revisados en la primera etapa.

3.2.3. Etapa Final de Gabinete

La tercera etapa consistió en analizar los datos y mediciones recopilados en la etapa anterior, luego de ello se definieron las clases involucradas para cada factor de la matriz de análisis y sus respectivos pesos; con estos datos y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se digitalizó cada factor y se aplicó el análisis planteado, todo ello apoyándose con

el software ArcGIS. Adicionalmente se redactaron los capítulos finales de la investigación, así como las conclusiones y recomendaciones de la misma.

3.3. Metodología de la Investigación

3.3.1. Tipo, Diseño y Método de la Investigación

La investigación es de tipo analítico - correlacional causal, porque analiza a través de una matriz la correlación de los factores y sus clases para determinar el grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera en la microcuenca San Lucas.

La metodología utilizada es cualitativa – cuantitativa, ya que comprende datos basados en cualidades y característica que determinan los factores y sus clases, luego los cuantifica dándoles un peso que es analizado en una matriz para hallar el grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera en la microcuenca San Lucas.

3.3.2. Población de Estudio

La microcuenca del río San Lucas que posee una extensión de 72.3km².

3.3.3. Muestra

Litología de la microcuenca, pendientes del terreno, orientación de laderas, curvatura del terreno y la cobertura vegetal.

3.3.4. Unidad de Análisis

Tipo y textura de las rocas, ángulos de pendientes, orientación azimutal de laderas, tipo de curvatura del terreno, áreas de cobertura vegetal (bosques).

3.3.5. Técnicas

- Observación, caracterización
- Análisis de datos y documentación

3.3.6. Instrumentos y Recolección de Datos

En campo se trabajó con tablas para la recolección de datos, registro e inventario de movimientos de ladera dentro de la microcuenca San Lucas, datos detallados en el Anexo B (registro de campo).

3.3.7. Equipos de Recolección de Datos

- Lápices y lapiceros: Utilizados para anotaciones e inventariado.
- Cámara digital: Utilizada para el registro fotográfico.
- GPS Garmin eTrex 20: Equipo utilizado para la obtención de las coordenadas para la ubicación de puntos.
- Protactor Escala 1/1000: Utilizado para el cartografiado local.
- Lápiz rayador 88CM General Tools: Herramienta utilizada para identificar minerales por medio de su dureza relativa.
- Lupa de 20x Iwamoto. Herramienta óptica utilizada para visualizar mejor los cristales de una roca.
- Picota marca estwing mango largo: Herramienta necesaria para extraer muestras de roca y probar la resistencia de las mismas en campo.

- Brújula Brunton mod. 5006: Utilizado para la toma de datos de direcciones de discontinuidades y planos de estratificación

3.3.8. Análisis e Interpretación de datos

El análisis e interpretación de datos se realizó en la etapa final de gabinete, se inició por determinar y clasificar de los factores que influyen en el grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera en la microcuenca, es necesario mencionar que la investigación tiene por objetivo analizar la susceptibilidad en un espacio definido de terreno, sin tomar en cuenta el tiempo en el que podrían ocurrir, por tanto, se consideran para el análisis sólo a los Factores Internos, Determinantes o Condicionantes, excluyendo del análisis a los Factores Detonantes, Externos o Desencadenantes como la sismicidad o la influencia de las precipitaciones, debido principalmente a que al ser una investigación de índice local estos Factores Detonantes no tienen una influencia diferenciada dentro de la microcuenca convirtiéndose en aspectos irrelevantes para este análisis.

Basado en las características de la microcuenca del río San Lucas y en el acceso a la información, se ha decidido utilizar el método de la matriz en este trabajo, iniciando por definir los Factores Determinantes o variables que intervienen en el análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera, los cuales son: pendiente, litología, curvatura del terreno, orientación de laderas y cobertura vegetal; mencionados en ese orden, debido a la importancia para efectos del análisis de la susceptibilidad.

Definidos los Factores Determinantes implicados en el análisis, se procedió a clasificar cada factor según las características particulares del terreno, obteniendo para cada uno cinco clases bien definidas en base a criterios de susceptibilidad. Utilizando el software ArcGis se digitalizó el mapa para cada Factor Determinante, creando un ráster de cada uno de ellos y agregando valores numéricos a sus características según el grado de influencia que tenga en la ocurrencia de movimientos de ladera. Todas las combinaciones que no están asociadas a movimientos de ladera se les asigna el valor uno (1) en la matriz, es decir que poseen una susceptibilidad muy baja; el resto tendrá valores enteros mayores, considerando una escala hasta el valor cinco (5) como máximo que representa a una susceptibilidad muy alta.

El siguiente paso fue aplicar la matriz de análisis en una operación llamada álgebra de rasters en el software ArcGis, esta consiste en una suma ponderada de los valores de cada uno de los rasters, considerando un peso según la influencia de cada factor en la ocurrencia de los movimientos de ladera. Obteniendo como resultado otro ráster zonificado en el que cada una de sus celdas representa cada una de las combinaciones de las clases de los factores considerados.

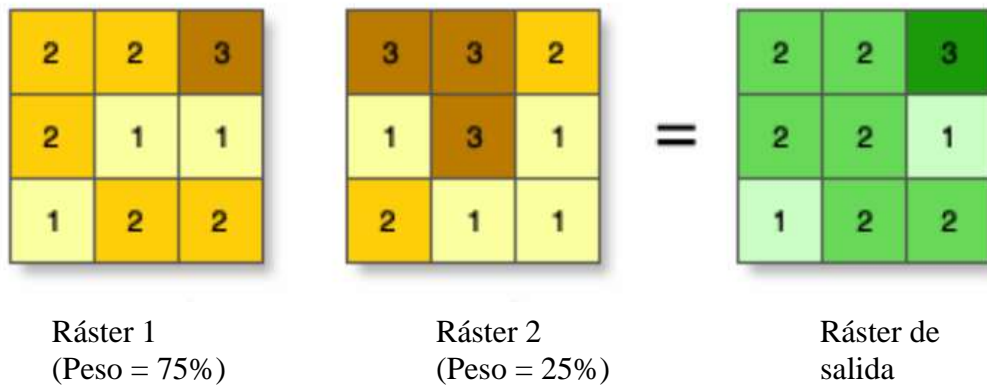


Figura 8: Ejemplo ilustrado de una operación utilizando el “Algebra de Rasters” en el software ArcGis (ESRI 2020).

En la ilustración, los valores de celda se multiplican por su factor de peso y los resultados se suman para crear el ráster de salida. Por ejemplo, para la celda superior izquierda. Los valores de las dos entradas son $(2 * 0.75) = 1.5$ y $(3 * 0.25) = 0.75$, la suma de 1.5 y 0.75 es 2.25, valor redondeado en el ráster de salida a 2.

Finalmente, a partir del inventario de movimientos de ladera obtenido en campo, consultar plano 12 del anexo, se verifica el mapa de susceptibilidad obtenido del análisis con la ocurrencia real de movimientos de ladera: idealmente el porcentaje de acierto entre las zonas más susceptibles y la ocurrencia de eventos debe ser la más alta posible, pero según la metodología desarrollada en el Sistema de Información Geográfica SPANS (Tydac 1993), alcanzar un porcentaje de más del 85% ya viene a ser un análisis aceptable.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Geomorfología

Los agentes erosivos y los procesos geotectónicos han modelado el relieve de toda la microcuenca, este proceso combinado ha dado como resultado las geoformas actuales en la zona. Según Alcántara (2011), en su estudio de geomorfología en la Región de Cajamarca, se tiene cuatro grandes unidades catalogadas por sus características como paisajes dominantes: Altiplanicie, Colinoso, Montañoso y Planicie; Cada uno de ellos, contienen diferentes unidades geomorfológicas que fueron delimitadas teniendo en cuenta parámetros morfogenéticos, morfométricos y morfodinámicos, es decir, teniendo en cuenta el origen de las geoformas, la forma y la pendiente, así como los procesos que modelan la superficie terrestre (Ver Plano 04 del Anexo - Geomorfológico).

4.1.1. Altiplanicie

Comprende altitudes que según sus características en promedio van desde los 3000 a los 3900 msnm y corresponde a zonas cuya superficie presentan ondulaciones ligeras y pronunciadas con zonas donde se evidencian leves procesos de erosión en surcos, poseen pendientes que van desde el 0° hasta lo 20°. Litológicamente están constituidas en su mayoría por rocas sedimentarias, volcánicas y en menor magnitud depósitos coluvio-aluviales. Se evidencia esta morfología en la parte Este y con mayor incidencia hacia el Nor-Este de la microcuenca San Lucas en la zona denominada Sexemayo.

4.1.2. Colinoso

Es más notorio en calizas de la Formación Yumagual y Formación Pariatambo, en menor proporción en las areniscas del Grupo Goyllarisquizga, Formaciones Chimú y Farrat. Destacan el llamado Cerro San Ramón y el Cerro Urubamba. Estas geoformas dominan la parte central y sur de la microcuenca, poseen pendientes que van desde los 15° hasta los 40°, se encuentran claramente enmarcadas por las quebradas afluentes a los ríos Sexemayo y San Vicente, que lo recorren de NW-SE y de SW-NE formando un drenaje Subparalelo concordante con la orientación geológica estructural (sinclinal volcado).

4.1.3. Montañoso

Corresponde a zonas de topografía accidentada conformada por laderas de montaña moderadamente ramificadas y estructuralmente plegadas; los procesos geomorfológicos también corresponden a los de escorrentía superficial, que produce erosión en las laderas, altitudinalmente van desde los 3200 a 3700msnm. Litológicamente están constituidas por rocas sedimentarias del Grupo Goyllarisquizga y en menor medida rocas volcánicas con pendientes promedio de entre 20° a 50°. Se evidencia esta morfología al extremo Sur de la microcuenca San Lucas.

4.1.4. Planicie

Conformada por los depósitos del cuaternario, abarca una gran extensión en el mismo valle de la ciudad de Cajamarca, está conformada mayormente por arenas y gravas semiangulosos a redondeados con pendientes que van desde los 0° hasta los 8°. Posee aproximadamente una extensión de 11.6 Km² dentro de la microcuenca.

4.2. Geología Local

La extensión total de la microcuenca San Lucas abarca desde Formaciones areniscosas de la secuencia estratigráfica del Grupo Goyllarisquizga, afloran las cuatro Formaciones pertenecientes a este Grupo (Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat) en el Cretácico Inferior, pasando por las Formaciones calcáreas del Cretácico Superior hasta la Formación Cajamarca, la cual infrayace con discordancia angular a las rocas volcánicas del Paleógeno, para luego llegar a la capa final de depósitos Cuaternarios lagunares, aluviales y fluviales, como se puede apreciar en el Plano 05 del Anexo (Geológico).

La secuencia estratigráfica pasa de un ambiente continental a uno de transición y luego al ambiente marino, después de ello tuvo lugar el desarrollo de eventos volcánicos finalizando con la capa de depósitos Cuaternarios (Ver Figura 9)

La descripción de las características litológicas de cada Formación geológica se complementó con la información que se tiene del Boletín N°31 elaborado por Reyes (1980), donde se describe la geología regional de los cuadrángulos de Cajamarca y San Marcos (15-F, 15-G), además, se revisó los trabajos anteriores línea geológica realizados en la Microcuenca San Lucas.

4.2.1. Grupo Goyllarisquizga

4.2.1.1. Formación Chimú

Aflora en el extremo sur de la microcuenca, abarca un área aproximada de 1.8Km², correspondiente al 2.5% del área total. Según Reyes (1980), consiste en una alternancia de

areniscas cuarzosas y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de cuarzo arenitas de tonalidades blancas, en la parte superior. Las areniscas generalmente son de grano mediano a grueso. Posee un espesor inferido de aproximadamente de 500m.

4.2.1.2. Formación Santa

Aflora en el extremo sur de la microcuenca, abarca un área aproximada de 0.5Km², correspondiente al 0.7% del área total. Consiste en la intercalación de lutitas y calizas margosas, y areniscas gris oscuras, suprayace a la Formación Chimú e infrayace a la Formación Carhuaz, aparentemente con discordancia paralela en ambos casos. Posee un espesor inferido de aproximadamente de hasta 150m (Reyes 1980).

4.2.1.3. Formación Carhuaz

Aflora en el sur-centro de la microcuenca, abarca un área aproximada de 1.4Km², correspondiente al 1.9% del área total. Según Reyes (1980), consiste en la intercalación de areniscas en tonalidades rojizas y verdosas con lutitas grises. Hacia la parte superior contiene bancos de areniscas cuarzosas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas. La Formación Carhuaz yace con discordancia sobre la Formación Santa e infrayace concordante a la Formación Farrat. Posee un espesor inferido de aproximadamente de hasta 450m.

4.2.1.4. Formación Farrat

Aflora en la zona central y extremo norte de la microcuenca, abarca un área aproximada de 9.2Km², correspondiente al 12.7% del área total. Corresponde al nivel superior de la

parte clásica del Cretácico Inferior, constituido por estratos delgados de areniscas cuarzosas blancas de grano medio a grueso en matriz silíceas, intercalados con capas delgadas de limolitas grises. El espesor en la zona alcanza aproximadamente 500 metros y se comporta estructuralmente muy fracturada, convirtiéndose en un acuífero productivo. Posee un espesor inferido de aproximadamente de hasta 500m (Rodríguez 2016).

4.2.2. Formación Inca

Aflora en la zona central y al norte de la microcuenca, abarca un área aproximada de 1.2Km², correspondiente al 1.6% del área total. Según Rodríguez (2016), suprayace concordantemente a la Formación Farrat y está constituida areniscas calcáreas y lutitas ferruginosas pardo rojizas, gradando hacia el tope a areniscas calcáreas con intercalaciones de limolitas y calizas al tope cerca del contacto con el Grupo Crisnejas en el límite hacia el cambio de facie. Posee un espesor inferido aproximado de entre 100 y 150m.

4.2.3. Grupo Crisnejas

Aflora en la zona central de la microcuenca concordante con la Formación Inca, conocida también como Formación Chúlec, abarca un área aproximada de 5.6Km², correspondiente al 7.8% del área total. Concordante con la Formación Inca, definida por una secuencia de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas. Las calizas son del tipo wakestone hasta mudstone, mayormente de espesores delgados a medios y algunas capas gruesas. Son de colores grises a marrones, de grano grueso a medio y en algunas zonas de grano fino, las calizas tienen matriz calcárea fina y se encuentran fuertemente fracturadas. Posee un espesor inferido de aproximadamente de hasta 250m (Rodríguez 2016).

4.2.4. Formación Pariatambo

Aflora en la zona central de la microcuenca, abarca un área aproximada de 3.7Km², correspondiente al 5.2% del área total. Según Rodríguez (2016), esta Formación es concordante con el Grupo Crisnejas. El miembro inferior presenta intercalación de calizas nodulares bituminosas y lutitas grises, en capas delgadas, fuertemente fracturadas y meteorizadas. Hacia el tope el miembro superior se constituye de calizas y lutitas oscuras debido a la presencia de material orgánico y se asocia la presencia de nódulos. Esta Formación posee un característico olor fétido al ser fracturada. Su espesor inferido aproximado es de 200m.

4.2.5. Grupo Pulluicana

Aflora en la zona central extendiéndose al NW de la microcuenca concordante con la Formación Pariatambo, abarca un área aproximada de 13.8Km² correspondiente al 19.1% del área total, siendo la Formación rocosa más extensa. Concordante con la Formación Pariatambo, se constituye por intercalación de lutitas, margas y calizas de grano fino tipo mudstone hasta wakestone, de colores grises a marrón claro (Rodríguez 2016). Las rocas de esta Formación se encuentran fuertemente meteorizadas en la zona. Tiene un espesor inferido aproximado de 700m.

4.2.6. Grupo Quilquiñán

Aflora en la zona NW de la microcuenca, abarca un área aproximada de 6.2Km² correspondiente al 8.6% del área total. El Reyes (1980) base de esta Formación consiste en una secuencia de calizas nodulares, seguida de una intercalación de margas y lutitas

amarillentas, al techo se muestran bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas; en toda la Formación hay abundante presencia de fósiles. La parte inferior de la secuencia descansa concordantemente sobre el Grupo Pulluicana. Alcanza un espesor inferido aproximado de 500m.

4.2.7. Formación Cajamarca

Aflora al extremo NW de la microcuenca, abarca un área aproximada de 4Km² correspondiente al 5.5% del área total. Consiste de calizas gris oscuras o azuladas, con delgados lechos de lutitas y margas. Las calizas se presentan en bancos gruesos con escasos fósiles. Esta Formación yace concordantemente sobre la Formación Quilquiñán. Su espesor inferido aproximado es de 600m (Reyes 1980).

4.2.8. Grupo Calipuy

Posee afloramientos al extremo SW y en la parte central extendiéndose al norte de la microcuenca, abarca un área aproximada de 6.6Km² correspondiente al 9.2% del área total. Según Reyes (1980), consiste en gruesos estratos de rocas volcánicas, intercaladas en la base con areniscas rojizas y en la parte superior de una potente secuencia de aglomerados y piroclásticos bien estratificados.

4.2.9. Volcánico Huambos

Posee afloramientos en la zona central, extendiéndose al Este de la microcuenca específicamente en la parte alta de la confluencia de los ríos Urubamba y Tres Ríos, abarca un área aproximada de 6.7Km² correspondiente al 9.2% del área total. Esta Formación está

constituida por tobas andesíticas de textura porfirítica y tobas traquíticas también de textura porfirítica de color beige-amarillento a cremas, con presencia de areniscas volcánicas rojizas, aglomerados y piroclásticos. Se notan claramente minerales de plagioclasas, ortosa, hornblenda, muscovitas y biotitas (Rodríguez 2016). Está formado por una secuencia de tobas andesíticas y traquíticas de color amarillento con una tipografía con llanuras delimitadas por farallones o escarpas donde se aprecia una pseudoestratificación (Reyes 1980).

4.2.10. Depósitos cuaternarios

Abarcan gran parte de la zona este de la microcuenca, representa un área aproximada de 11.6Km², correspondiente al 16% del área total. Se compone principalmente de terrazas aluviales y fluvio-aluviales que se ubican en las márgenes del río San Vicente, el río Urubamba y el río San Lucas; depósitos coluvio-aluviales y fluviales ubicados básicamente en la planicie del valle de la ciudad de Cajamarca; y finalmente tenemos al depósitos lagunares que se ubican en la parte del valle de Cajamarca al extremo este de la microcuenca a la altura de la carretera hacia Baños del Inca, todos los depósitos se componen de bloques, gravas, arenas, limos y arcillas.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	ESPESOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. fluviales y aluviales Dep. lagunares y glaciares			Arenas, gravas. Limos, arcillas.	
	NEOGENO	MIOCENO	Volcánico Huambos	400		Tobas dacíticas y traquiandesíticas blanquecinas.	
						Disc. ang.	
PALEOGENO	OLIGOCENO	Grupo Calipuy	400		Tobas blanquecinas, blanco amarillentas intercaladas con delgados lechos de areniscas y lutitas tobáceas.		
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	Formación Cajamarca	600		Calizas gris azuladas, macizas, con delgadas intercalaciones de lutitas y margas.	
			Grupo Quitquiñan	500		Calizas nodulares macizas, margas y lutitas pardo- amarillentas fosilíferas.	
			Grupo Pulluicana	700		Calizas gris parduscas, fosilíferas, margas y escasos niveles de lutitas.	
		INFERIOR	Grupo Goyllarisquizga	Formación Pariatambo		200	Lutitas grises o negras, calizas bituminosas nodulares.
				Grupo Crisnejas		250	Calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas.
				Formación Inca		150	Areniscas calcáreas y limolitas ferruginosas.
				Formación Farrat		500	Areniscas blancas.
				Formación Carhuáz		450	Areniscas rojizas y cuarzoarenitas blancas intercaladas con lutitas grises.
				Formación Santa		150	Lutitas grises y calizas margosas.
				Formación Chimú		500	Areniscas, cuarzoarenita, lutitas y niveles de carbón en la parte inferior.
					← Tonalita/granodiorita		

Figura 9: Columna local de unidades litoestratigráficas de la microcuenca San Lucas, elaborada en base a la carta geológica del INGEMMET (2007).

4.3. Geología Estructural

La microcuenca del río San Lucas está bajo la influencia de un sinclinal de con rumbo promedio de 45° , se denomina a este pliegue como macroestructura debido a que sigue la orientación tectónica de la Cordillera de los Andes, al igual que otras estructuras a nivel regional. También dentro de la microcuenca se evidencia pliegues secundarios, fallas a nivel local, diaclasas y micro fallas; todas estas derivadas de la estructura principal que es el sinclinal mencionado. Según la carta geológica nacional del INGEMMET, parte del este sinclinal está volcado en su núcleo debido al esfuerzo de fallas dextrales que se evidencian al extremo NW de la microcuenca (Ver Plano 5 - Anexo).

La estructura más importante a nivel de plegamiento es el sinclinal Ronquillo, con buzamientos entre 12° y 50° , con eje sinusoidal de dirección NW-SE, cortado regional y localmente por fallas dextrales, con inmersión hacia el SE según las mediciones realizadas en sus cercanías. Se nota la presencia de anticlinales y sinclinales menores cercanos a la confluencia de los ríos Tres Ríos y Urubamba, con ejes en la misma dirección regional NW-SE pero con fuertes variaciones en sus inclinaciones (Rodríguez 2016).

Dentro de la microcuenca, el núcleo de la macroestructura es la Formación Cajamarca, pasando por la secuencia Cretácica hasta la Formación Farrat, esta estructura influye directamente en el proceso de formación del valle de Cajamarca y se pierde dentro de las rocas volcánicas y la secuencia cuaternaria del valle. Al extremo sur de la microcuenca se evidencia parte de otra macroestructura, un anticlinal con orientación muy similar a la del

sinclinal, dentro de la microcuenca el núcleo de este pliegue es la Formación Chimú (Ver Plano 05 del Anexo).

En el Anexo se presentan dos cortes de secciones geológicas, Perfil A-A' de orientación NW-SE, y Perfil B-B' de orientación SW-NE, donde se puede apreciar la secuencia litológica afectada por las macroestructuras y Fallas geológicas locales.

4.4. Factores Determinantes

Para realizar la investigación, basándose en las características de la microcuenca San Lucas y en el acceso a la información, se han considerado cinco factores determinantes o variables que intervendrán en el análisis de la susceptibilidad, estos son la pendiente, la litología, la curvatura del terreno, la orientación de laderas y la cobertura vegetal.

Estos cinco factores en conjunto, por teoría cubren el 100% del análisis de susceptibilidad a los movimientos de ladera en esta investigación, justamente ahí radica la importancia de diferenciar cada uno de acuerdo a la participación que tienen respecto al análisis de susceptibilidad; es por ello que el factor litología no puede ser comparado de la misma forma que el factor vegetación, tomándolos como ejemplo.

Para lograr un mejor análisis en la matriz de consistencia, a cada factor se le ha asignado un peso determinado propuesto por el autor como profesional de las ciencias de la tierra basado en el registro de datos de datos tanto en campo como en gabinete, además de la revisión de investigaciones anteriores similares, llegando a una asignación de pesos

coherente a las características del terreno en campo, cuyos valores son apreciados en la Tabla 4.

Tabla 4: Peso asignado para cada Factor Determinante para el análisis en la matriz de susceptibilidad.

Factor determinante	Peso Asignado
Pendiente	30%
Litología	25%
Curvatura del terreno	20%
Orientación de ladera	15%
Cobertura vegetal	10%

El análisis realizado para la asignación de pesos de cada factor determinante, se ha replicado de forma similar para las diversas clases que posee cada uno de estos factores.

4.4.1. Pendientes

La pendiente se suele expresar en porcentaje y/o en grados sexagesimales, para estas investigaciones la más usada es la segunda opción. Las clases propuestas son: 0°-5° (pendiente suave), 5°-15° (pendiente moderada), 15°-30° (pendiente fuerte), 30°-40° (pendiente muy fuerte), 40°-90° (pendiente vertical o subvertical). Con estas clases se elaboró el mapa de pendientes de la microcuenca que puede ser apreciado con detalle en el Plano 06 del Anexo y de manera rápida en la Figura 11.

La Tabla 5 muestra la distribución del área en kilómetros cuadrados, su equivalente expresado en porcentaje y el acumulado de este, para cada intervalo de pendiente

considerado. La principal característica es que el 65% del terreno presenta una pendiente inferior a 15°. El 25 % de la zona está ocupado por pendientes fuertes y solo el 3.4 % representa a las dos últimas clasificaciones de pendientes muy fuertes o pendientes verticales o subverticales.

El grado de influencia que tiene cada clase de pendientes respecto al análisis de susceptibilidad es de acuerdo a un orden ascendente, ya que una mayor pendiente implica mayor participación en eventos de susceptibilidad del terreno.

Tabla 5: Datos del área en kilómetros cuadrados y porcentaje de la clasificación de pendientes en la microcuenca San Lucas.

PENDIENTE	ÁREA			PESO
	km2	(%)	% Acumulado	
Pendiente suave (< 5°)	15.63	21.6%	21.6%	1
Pendiente moderada (5° - 15°)	31.31	43.3%	64.9%	2
Pendiente fuerte (15°- 30°)	22.90	31.7%	96.6%	3
Pendiente muy fuerte (30°- 40°)	2.07	2.9%	99.4%	4
Pendiente vertical o subvertical (> 40°)	0.36	0.5%	99.9%	5
TOTAL	72.26	99.9%	-	-
ERROR	0.05	0.1%	-	-

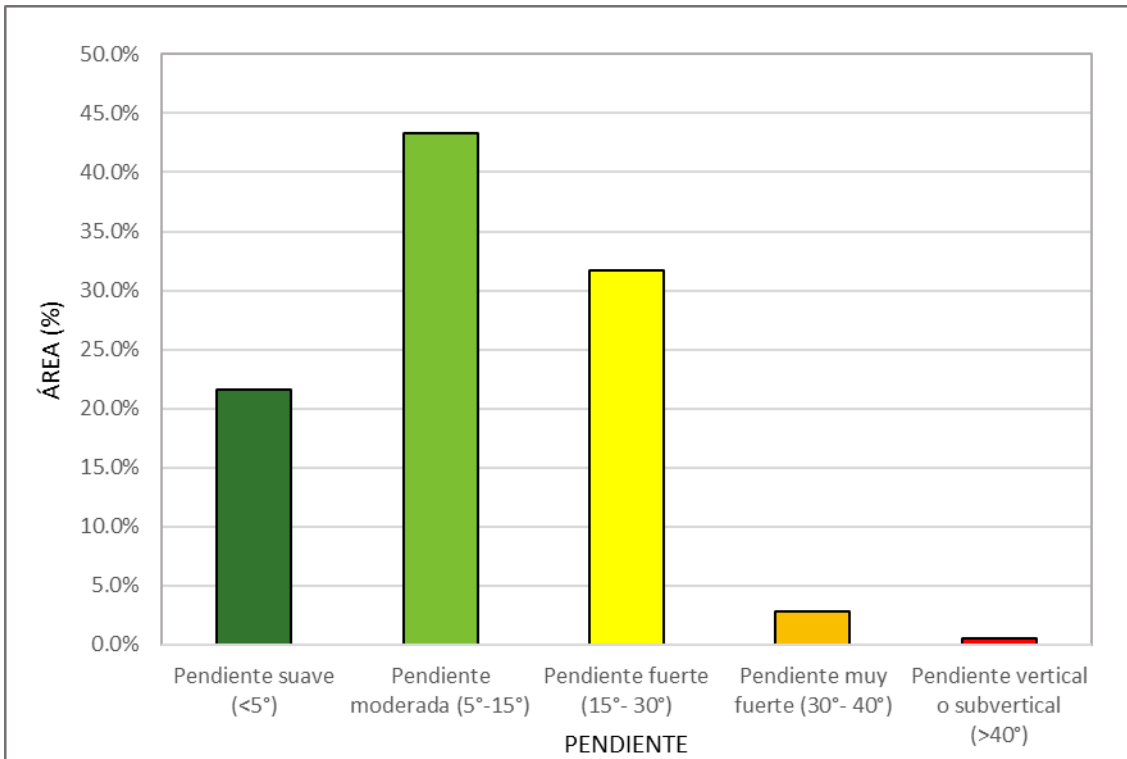


Figura 10: Gráfica del área en porcentaje versus las clases de pendientes en la microcuenca San Lucas.

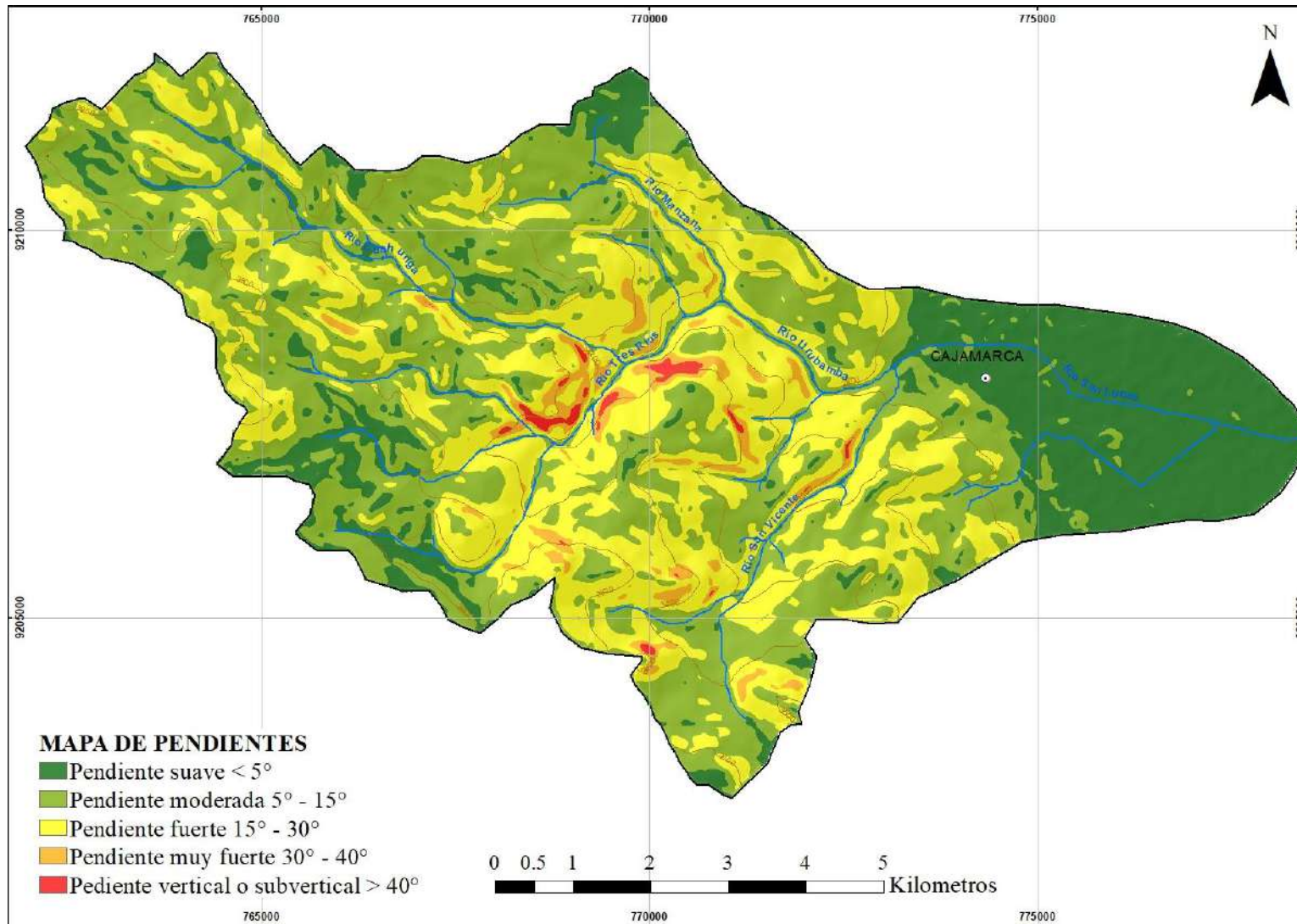


Figura 11: Clasificación de acuerdo a la pendiente del terreno en la microcuenca San Lucas.

4.4.2. Litología

En este apartado se agrupó las rocas de las diferentes Formaciones que poseen características similares en textura y composición, ello con la finalidad de elaborar la matriz de análisis de susceptibilidad, debido a que ya se ha descrito en la parte de geología local las características que poseen las diferentes rocas dentro de cada Formación rocosa de la microcuenca, aquí solo se mencionará cuáles son las clases litológicas planteadas de acuerdo a los criterios ya mencionados. Se está considerando cinco clases litológicas que será usadas para la matriz de análisis de susceptibilidad, estas son: rocas areniscosas (cuarzo arenita, arenisca cuarzosa, areniscas); rocas calco-arcillosas (lutitas, limonitas, margas, calizas de bancos delgados); rocas calcáreas (calizas de bancos potentes, básicamente el Grupo Pulluicana y la Formación Cajamarca); rocas volcánicas (Grupo Calipuy, Formación Volcánico Huambos); y por último los depósitos cuaternarios, como se puede ser apreciar con detalle en el Plano 07 del Anexo y de manera rápida en la Figura 13.

El grado de influencia que tiene cada clase litológica respecto al análisis de susceptibilidad, se determinó en base a la resistencia a la compresión teórica de las diferentes litologías mostrada en las Tablas 6 y 7, además de la ubicación de las agrupaciones litológicas dentro de la microcuenca y su área; se optó por el orden: depósitos cuaternarios, no poseen clasificación pero se ubican casi en su totalidad en el valle de la ciudad de Cajamarca; rocas calcáreas, rocas duras de bancos potentes con matriz rocosa compacta; rocas areniscosas, rocas duras a moderadamente duras, matriz rocosa compacta pero afectada por la erosión;

rocas calco-arcillosas, rocas de dureza media a moderadamente dura; y rocas volcánicas, rocas de dureza media a moderadamente dura afectadas por la erosión; Se las menciona los grupos litológicos de acuerdo a una participación que va de menor a mayor grado en eventos de susceptibilidad del terreno para la investigación.

Tabla 6: Clasificación de las rocas según su resistencia a compresión simple.

Descripción	Resistencia compresión simple (kg/Cm ²)	Huella y sonido
Muy Blanda	10 – 15	El material se disgrega con navaja y completamente con un golpe del pico del martillo.
Blanda	50 – 250	El material se hierde de 1.5 a 3mm con el pico del martillo y se disgrega con navaja.
Media	250 – 500	El material NO se disgrega con navaja, la muestra en mano se rompe con UN (1) golpe de martillo.
Moderadamente dura	500 – 1 000	La muestra en mano se rompe de varios golpes del martillo
Dura	1 000 – 2 500	La muestra en el suelo se rompe de un golpe del martillo.
Muy Dura	> 2 500	La muestra en el suelo se rompe con dificultad a varios golpes del martillo, sonido macizo

Fuente: Tomado de Conanma, Capítulo 12: Geotecnia.

Tabla 7: Características físico-mecánicas de varios tipos de rocas.

Tipo de Roca	Resistencia a la compresión (kg/Cm ²)	Densidad (Tm/m ³)
Andesita	1 500 – 2 500	2.5 – 2.8
Arcillita	280 – 800	2.2 – 2.7
Arenisca	80 – 2 000	1.6 – 2.9
Basalto	2 000 – 4 000	2.7 – 2.8
Caliza	800 – 1 500	1.5 – 2.8
Conglomerado	1 400	2.0 – 2.7
Cuarcita	900 – 4 700	2.3 – 2.7
Dacita	1 200 – 5 000	2.5 – 2.75
Diabasa	1 600 – 2 400	2.8 – 3.1
Dolomía	360 – 5 600	2.2 – 2.9
Esquisto	180 – 2 300	2.7 – 2.9
Gabro	1 500 – 2 800	2.8 – 3.1
Gneis	1 500 – 3 000	2.5 – 2.8
Granito alterado	180 – 1 450	2.5 – 2.6
Granito sano	800 – 2 700	2.5 – 2.8
Grauvaca	2 000 – 2 500	2.6 – 2.7
Marga	35 – 1 970	2.6 – 2.7
Mármol	800 – 1 500	2.6 – 2.8
Micacita	200 – 653	2.4 – 3.2
Pizarra	2 000 – 2 500	2.7 – 2.8
Riolita	800 – 1 600	2.45 – 2.6
Traquita	3 300	2.70
Yeso	40 – 430	2.2 – 2.3

Fuente: Tomado de Conanma, Capítulo 12: Geotecnia.

Haciendo un análisis porcentual de las áreas, en kilómetros cuadrados, que abarcan cada uno de estos grupos dentro de la microcuenca San Lucas, obtenemos los datos de la Tabla 8, además destaca que la mayor agrupación litológica es de rocas calcáreas con poco más del 30%, en las demás agrupaciones litológicas la distribución es más homogénea.

Tabla 8: Datos del área en kilómetros cuadrados y porcentaje para cada clase litológica de la microcuenca San Lucas.

LITOLOGÍA	ÁREA		PESO
	km2	(%)	
Depósitos cuaternarios	11.59	16.0%	1
Rocas Calcáreas	23.98	33.2%	2
Rocas Areniscosas	12.89	17.8%	3
Rocas Calco-arcillosas	10.52	14.6%	4
Rocas Volcánicas	13.33	18.4%	5
TOTAL	72.31	100.0%	-
ERROR	0.00	0.0%	-

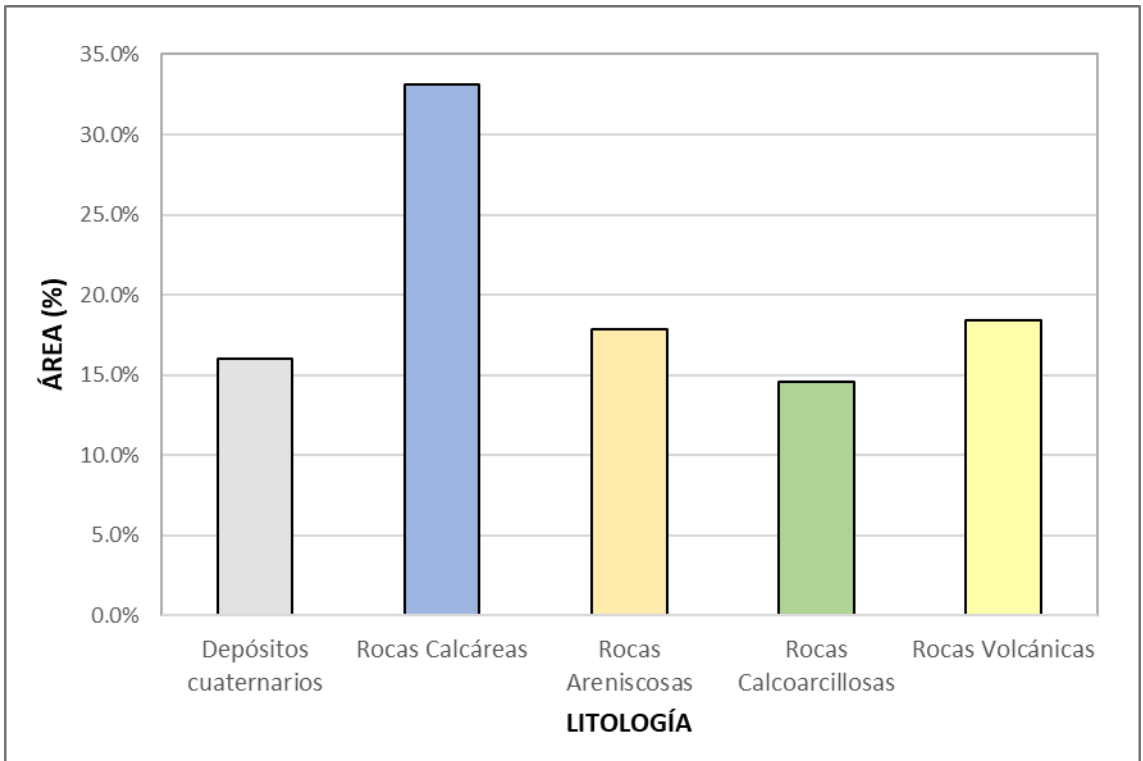


Figura 12: Gráfica del área en porcentaje versus las clases litológicas en la microcuenca San Lucas.

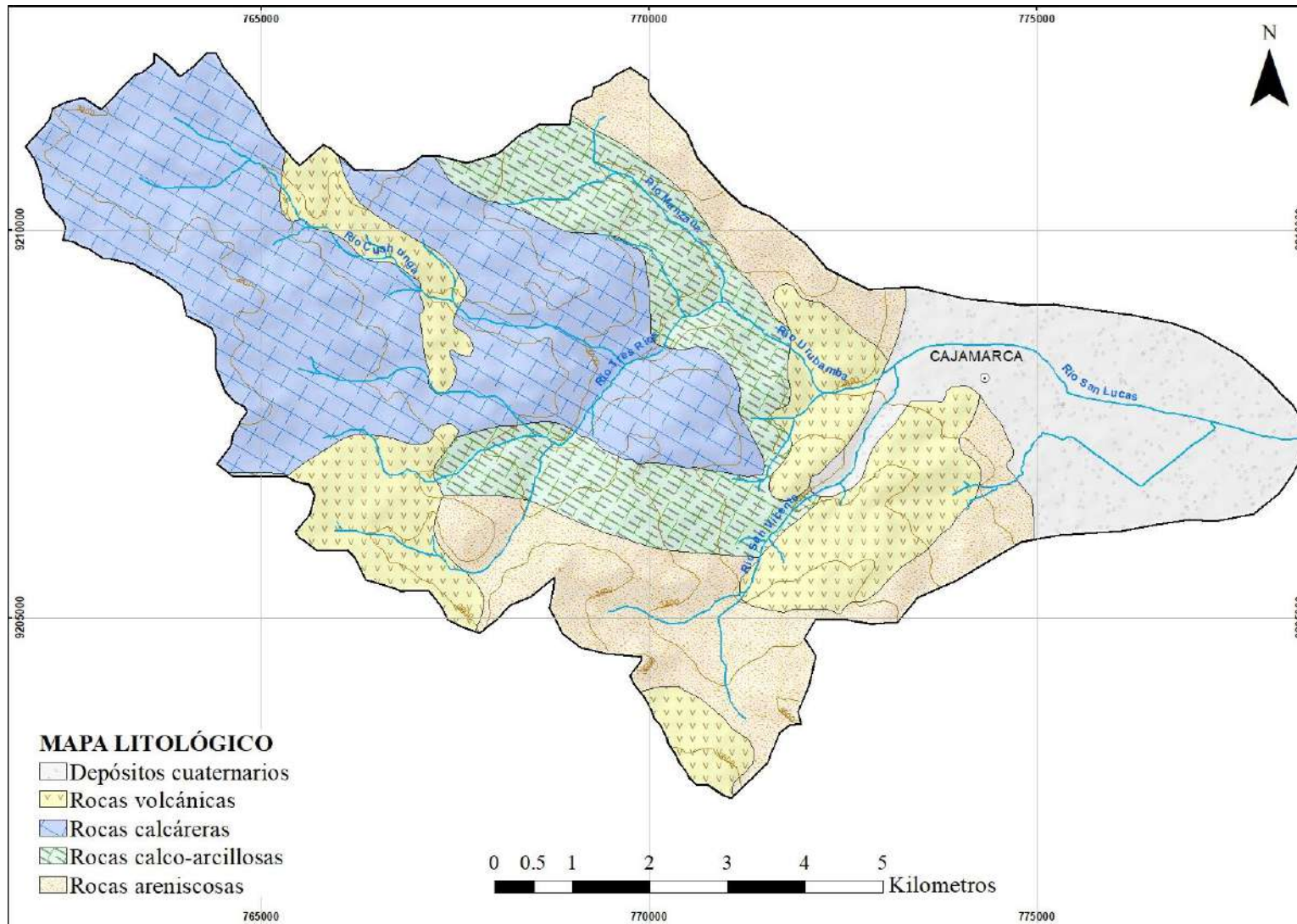


Figura 13: Clasificación litológica de acuerdo a la textura y composición de las rocas dentro de la microcuenca San Lucas.

4.4.3. Curvatura de Terreno

Se refiere al nivel de concavidad - convexidad que presenta un terreno, puede ser un indicio de movimientos de ladera en desarrollo o que tuvieron lugar en el pasado, está muy relacionada a los procesos erosivos del terreno.

Las clases de la curvatura del terreno se establecieron en base a su factor de curvatura definido en un raster analizado en el software ArcGIS, el cual clasifica a los terrenos convexos con factores positivos, a los terrenos sin curvatura con factor cero "0" y a los terrenos cóncavos con factores negativos, es así que las clases se definieron con una distribución geométrica de cinco intervalos. Las clases propuestas son: Terreno muy convexo, terreno convexo, terreno sin curvatura, terreno cóncavo y terreno muy cóncavo; con estas clases se elaboró el mapa de curvatura del terreno de la microcuenca que se puede ser apreciar con detalle en el Plano 08 del Anexo y de manera rápida en la Figura 15.

La Tabla 9 muestra la distribución del área en kilómetros cuadrados para cada clase de curvatura de terreno. La principal característica es que cerca del 60% del terreno presenta una curvatura convexa o muy convexa, mientras que la curvatura cóncava o muy cóncava supera por poco el 15% del área total del terreno.

El grado de influencia que tiene cada clase de curvatura del terreno respecto al análisis de susceptibilidad es de acuerdo a su favorecimiento a la erosión, es decir los terrenos cóncavos debido a su mayor participación en procesos erosivos son considerados más

susceptibles a un movimiento de ladera que un terreno convexo que son zonas en donde generalmente se depositan los sedimentos (ESRI 2020).

Tabla 9: Datos del área en kilómetros cuadrados y porcentaje de la clasificación de la curvatura del terreno en la microcuenca San Lucas.

CURVATURA	ÁREA		PESO
	km2	(%)	
Terreno muy convexo	12.49	17.3%	1
Terreno convexo	30.30	41.9%	2
Terreno sin curvatura	16.85	23.3%	3
Terreno cóncavo	4.75	6.6%	4
Terreno muy cóncavo	7.91	10.9%	5
TOTAL	72.30	100.0%	-
ERROR	0.01	0.0%	-

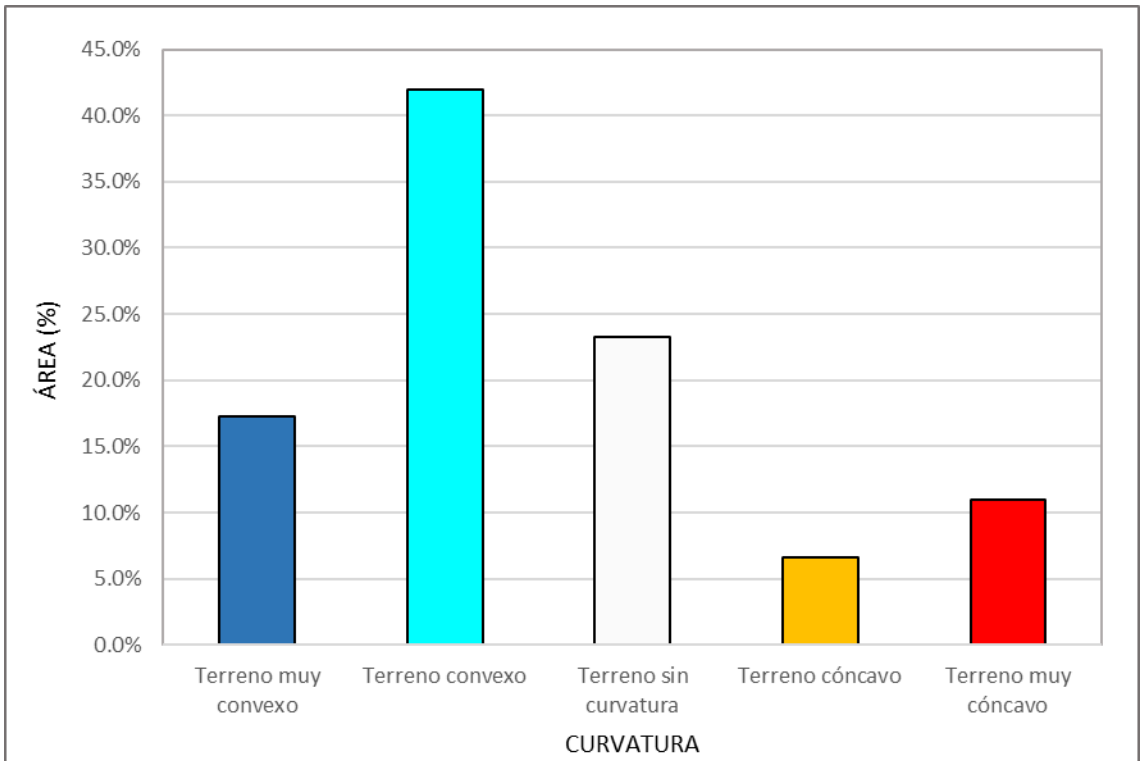


Figura 14: Gráfica del área en porcentaje versus la curvatura del terreno

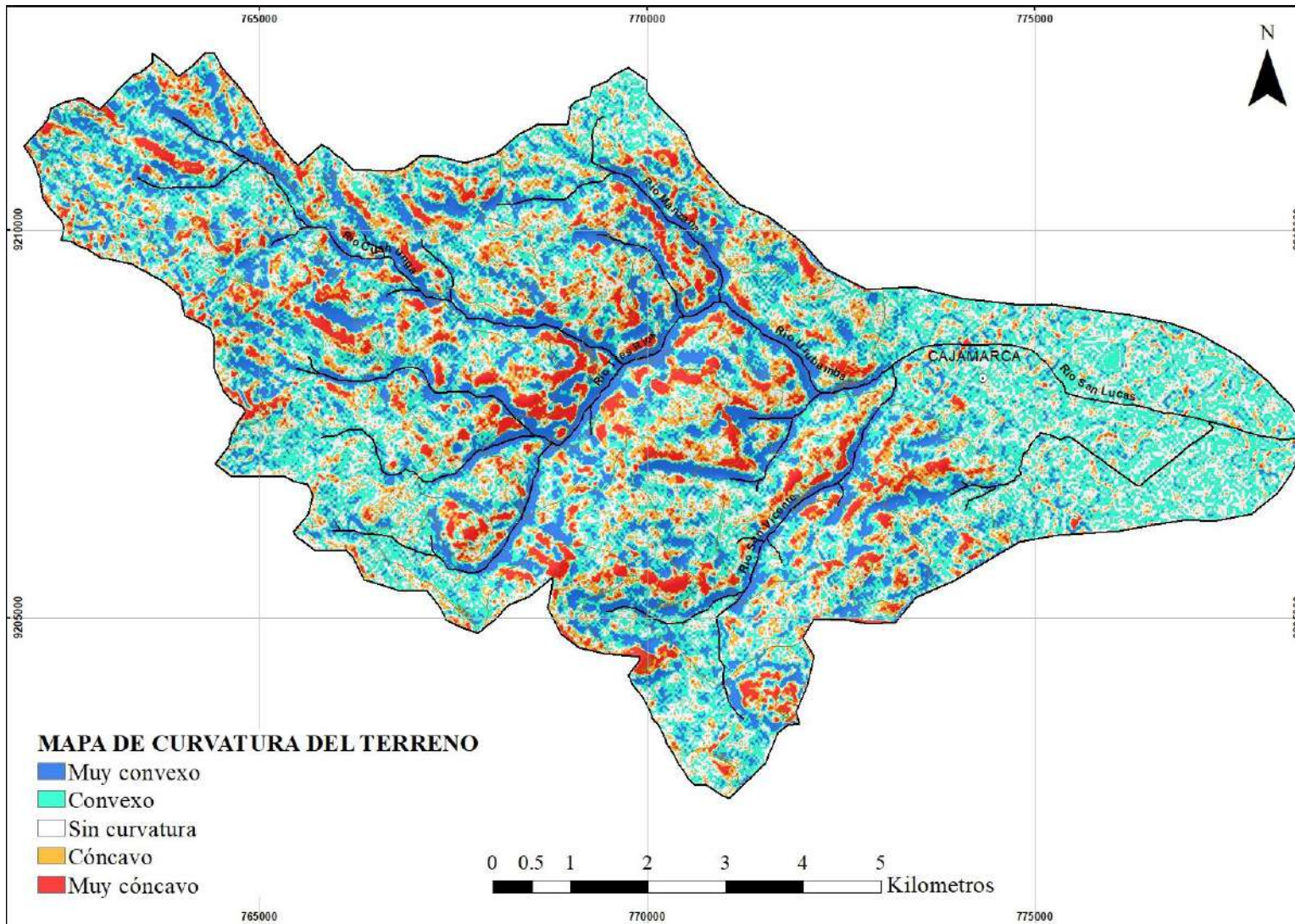


Figura 15: Clasificación de curvatura del terreno en la microcuenca San Lucas.

4.4.3. Orientación de Laderas

Orientación de laderas o también llamada exposición de las laderas, debido a que su análisis está enfocado a relacionar la orientación promedio de una superficie casi homogénea con la ocurrencia de movimientos de ladera generados mayormente por agentes externos como la erosión.

Teniendo en cuenta el área de estudio y ocurrencia de movimientos de ladera, se tiene cinco clases para este factor, las cuales se definen por el ángulo que forma la línea de máxima pendiente del terreno con respecto al norte geográfico medido en sentido horario y en grados sexagesimales, dichas clases son: orientación terreno orientado al Norte ($0^\circ - 45^\circ$, $315^\circ - 360^\circ$), terreno orientado al Este ($45^\circ - 135^\circ$), terreno orienta al Sur ($135^\circ - 225^\circ$), terreno orientado al Oeste ($225^\circ - 315^\circ$), y los terrenos que no poseen orientación alguna denominado Terreno llano, vistos manera rápida en la Figura 18, con detalle en el Plano 09 del Anexo.

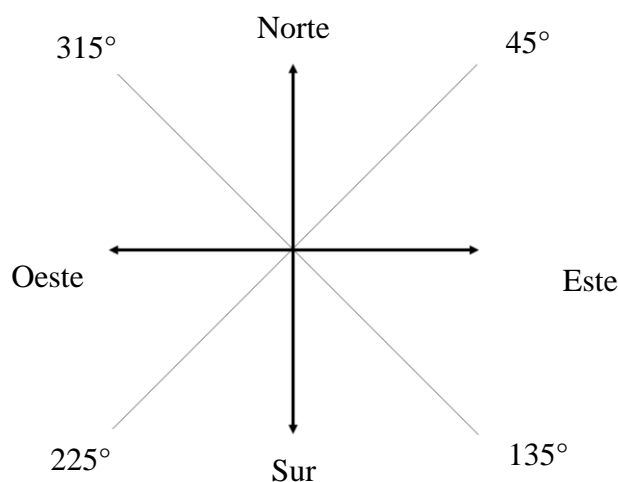


Figura 16: Representación gráfica del patrón de orientación de laderas.

Para este factor, el grado de influencia que tiene cada clase de orientación del terreno respecto al análisis de susceptibilidad es de acuerdo a los ángulos de buzamiento de las litologías presentes en la microcuenca; es así que se determinó distintos pesos en base a la estructura sinclinal que divide a la microcuenca en dos sectores bien definidos denominados sector Nor-Este y Sur-Oeste.

En los datos vistos en la Tabla 10, resalta la orientación del terreno hacia el Este y al Norte, la primera cercana al 40% y la segunda con poco más del 30%; datos que verifican la orientación de escorrentía de las aguas superficiales de la microcuenca San Lucas que va del Nor-Oeste hacia el Este.

Tabla 10: Datos del área en kilómetros cuadrados y porcentaje de la clasificación definida para la orientación de laderas en la microcuenca San Lucas.

ORIENTACIÓN	ÁREA		PESO ZONA NOR-ESTE	PESO ZONA SUR-OESTE
	km2	(%)		
Terreno Llano	1.47	2.0%	1	1
Laderas hacia el Norte	23.23	32.1%	2	5
Laderas hacia el Este	28.37	39.2%	3	4
Laderas hacia el Sur	14.06	19.4%	5	2
Laderas hacia el Oeste	5.13	7.1%	4	3
TOTAL	72.26	99.9%	-	-
ERROR	0.05	0.1%	-	-

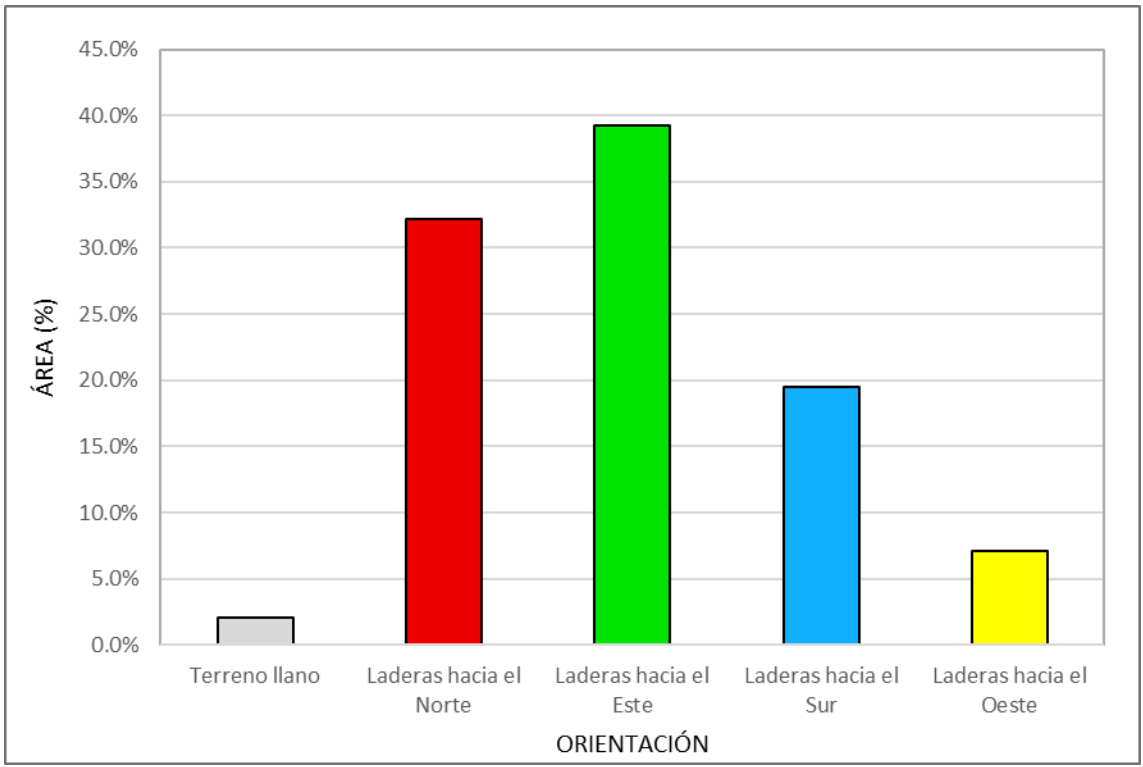


Figura 17: Gráfica del área en porcentaje versus la orientación de laderas.

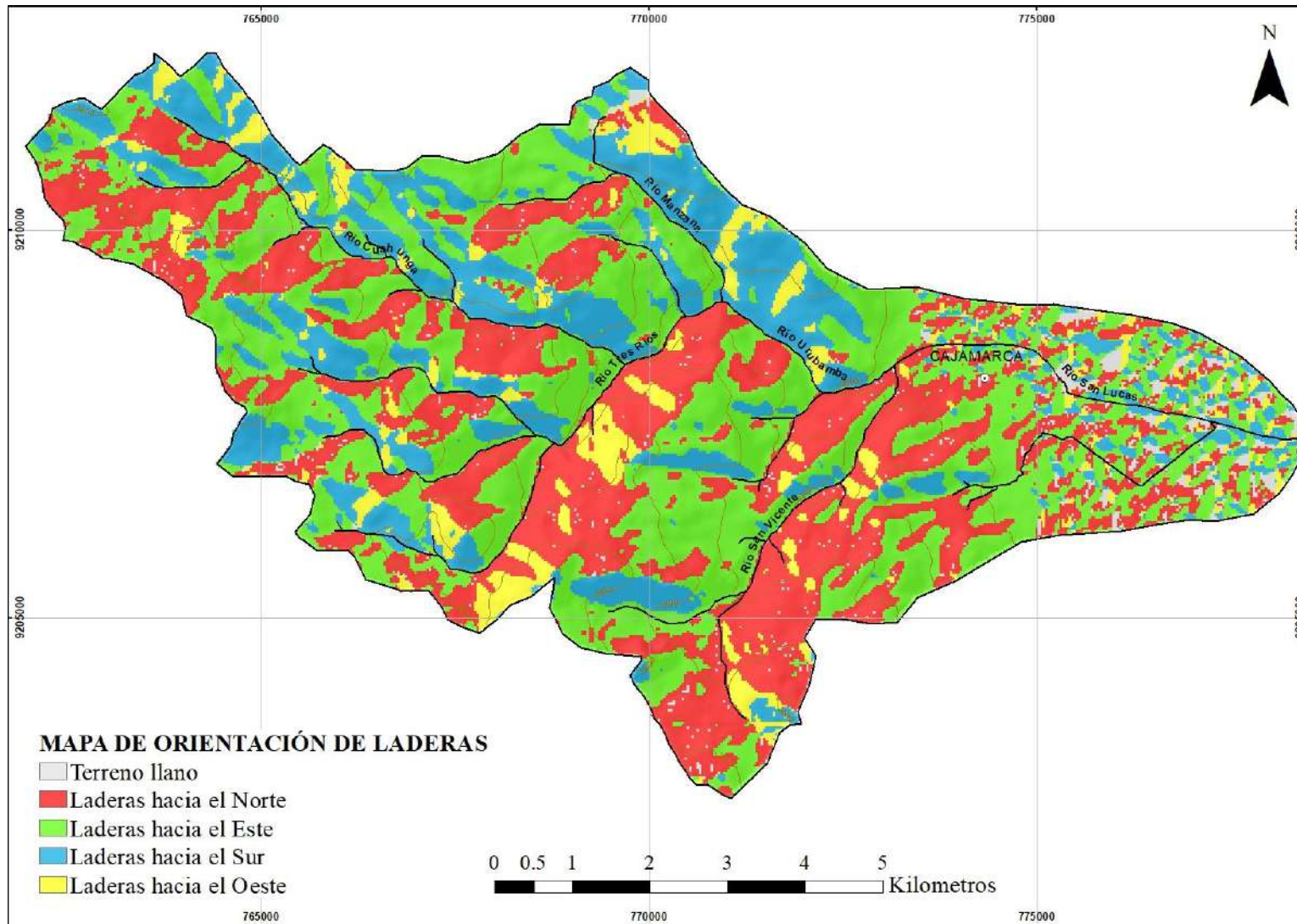


Figura 18: Clasificación de acuerdo a la orientación del terreno en la microcuenca San Lucas.

4.4.5. Cobertura Vegetal

Para la cobertura vegetal se ha tomado en cuenta únicamente las zonas con presencia de bosques de árboles y su influencia en el terreno. El cartografiado de las zonas de bosques se realizó de varias imágenes satelitales obtenidas del Google Earth en los últimos cinco años. La de presencia de bosques, proporciona un aumento de la resistencia al corte del macizo rocoso y cierta protección frente a la erosión.

Para este factor se han definido las clases, de acuerdo a la influencia que tienen los bosques en distintos radios, es así que a una distancia de 0 a 150m se le denomina zona inmediata, a una distancia de 150m a 250m se denomina intermedia, a una distancia de 250m a 300m se denomina zona lejana y finalmente a distancias mayores a 300m se denomina zona sin influencia de vegetación como se puede ser apreciar con detalle en el Plano 10 del Anexo y de manera rápida en la Figura 20.

Los datos vistos en la Tabla 11, arrojan una minoría de terreno con zonas de bosques que apenas cubre el 8.8% del área total de la microcuenca, frente a un casi 47% de terreno en donde la influencia de la vegetación es muy escasa o inexistente.

Tabla 11: Datos del área en kilómetros cuadrados y porcentaje de la clasificación de zonas con cobertura vegetal en la microcuenca San Lucas.

VEGETACIÓN	ÁREA		PESO
	km2	(%)	
Zona de bosques	6.39	8.8%	1
Zona influencia inmediata	19.41	26.8%	2
Zona de influencia intermedia	9.40	13.0%	3
Zona de influencia lejana	3.47	4.8%	4
Zona sin influencia de vegetación	33.63	46.5%	5
TOTAL	72.30	100.0%	-
ERROR	0.01	0.0%	-

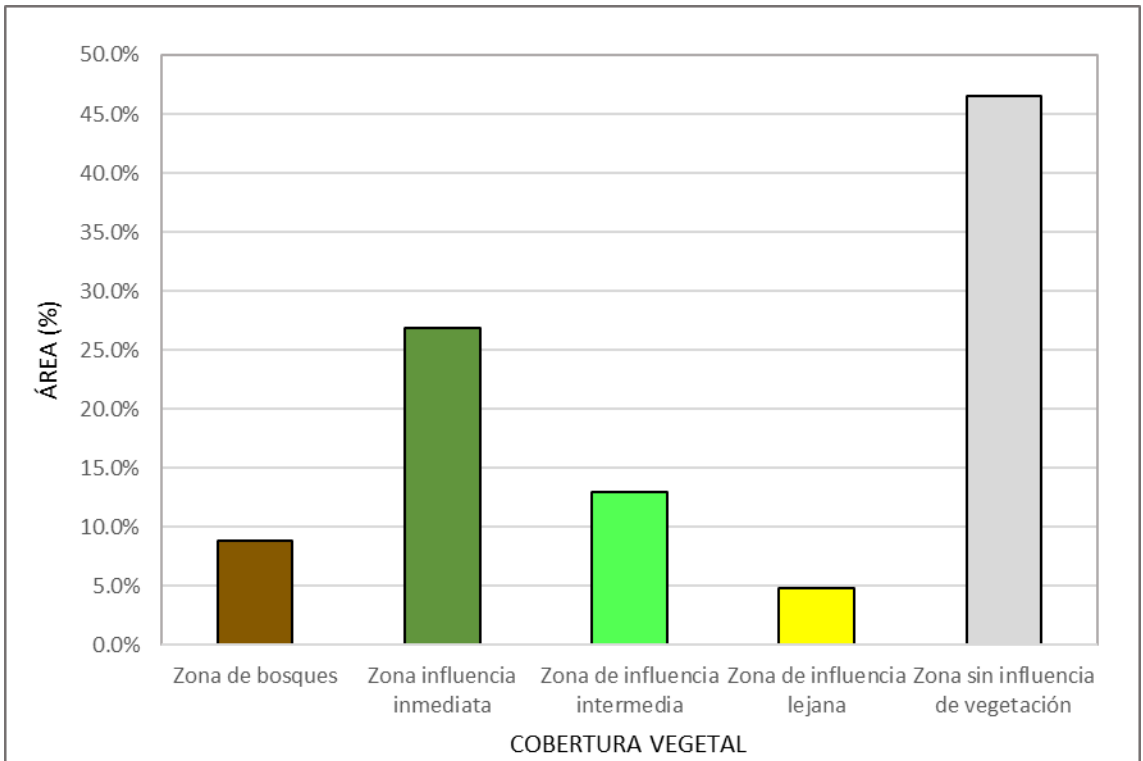


Figura 19: Gráfica del área en porcentaje versus la cobertura vegetal.

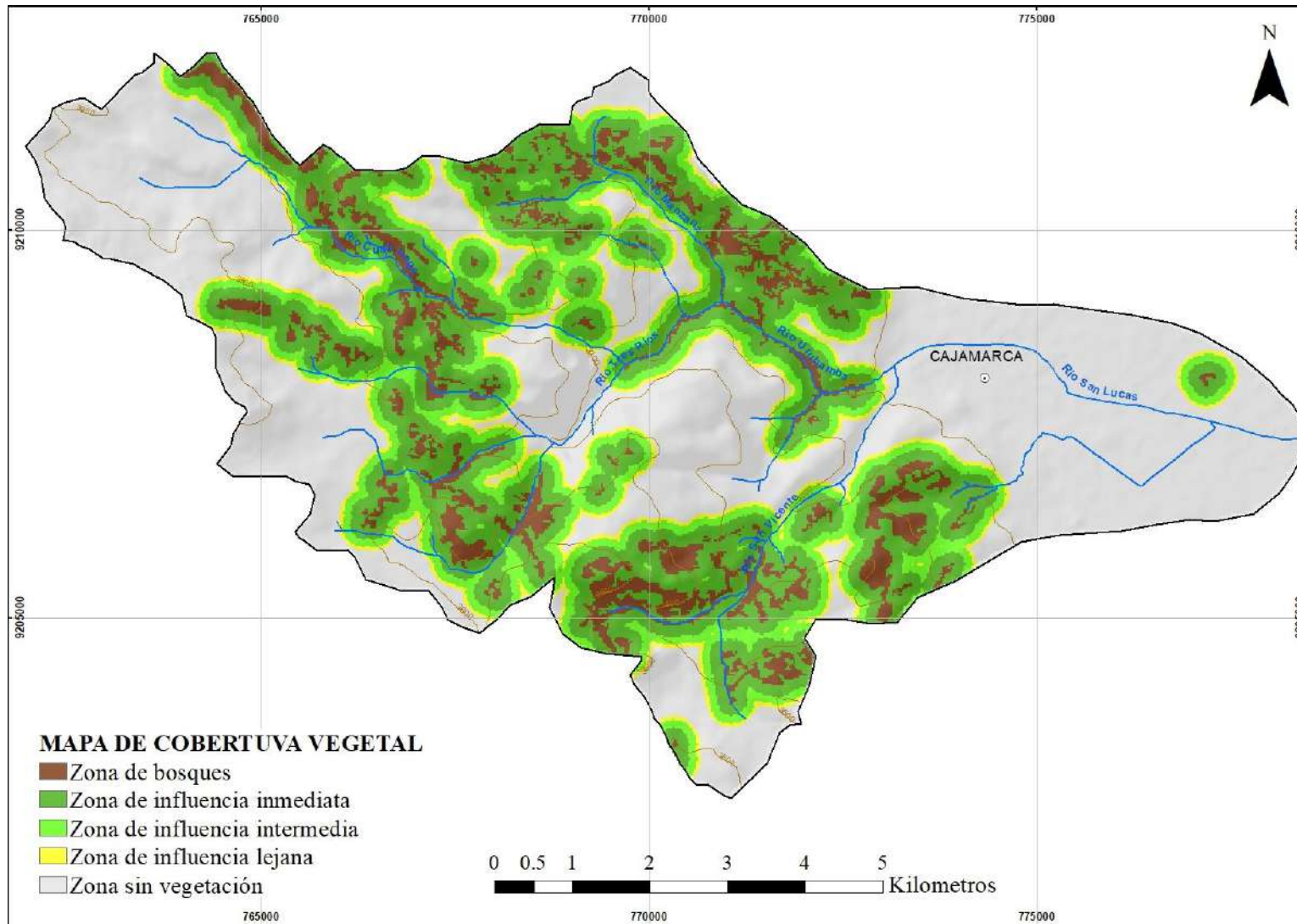


Figura 20: Mapa de cobertura vegetal (zona con árboles), dentro de la microcuenca San Lucas.

4.5. Análisis de Susceptibilidad

Para el análisis de la susceptibilidad se estableció cinco niveles, para cada nivel de susceptibilidad se le ha asignado un valor numérico que va del 1 al 5 de acuerdo a su grado de susceptibilidad, similarmente a los pesos mostrados para cada clase de los Factores Determinantes.

Tabla 12: Niveles de susceptibilidad establecidos para la investigación con su respectivo valor asignado, a criterio del autor.

Susceptibilidad	Valor Asignado
Muy Baja	1
Baja	2
Moderada	3
Alta	4
Muy Alta	5

Los diferentes niveles de susceptibilidad definidos se caracterizan por lo siguiente

4.5.1. Susceptibilidad nula o muy baja

El terreno no muestra ninguna propensión natural a generar movimientos de ladera en las condiciones en que se encuentran actualmente. No se identifica en ellos ninguna superficie de ruptura de orden métrico o superior.

En la microcuenca San Lucas la susceptibilidad nula o muy baja se concentra en la zona del valle de la ciudad de Cajamarca y mínimamente dispersa en las altiplanicies hacia el Este de la microcuenca, corresponde casi en su totalidad a los depósitos cuaternarios del

valle que presentan mayoritariamente pendientes suaves menores a 5°, abarca 11.96 km² lo que representa el 16.5% del área total de la microcuenca como se muestra en la Tabla 14 y se aprecia en la Figura 21.

4.5.2. Susceptibilidad baja

El terreno no muestra ninguna propensión natural a generar movimientos de ladera de magnitud significativa, en las condiciones en que se encuentran actualmente. Se identifica en ellos alguna superficie de ruptura de orden métrico o superior.

En la microcuenca San Lucas la susceptibilidad baja se encuentra dispersa prácticamente por toda la microcuenca con una mayor concentración al Este en las altiplanicies como se muestra con detalle en el Plano 11 y de manera rápida en la Figura 22, litológicamente es afín a las rocas calcáreas, abarca 28.80 km² lo que representa el 39.8% del área total de la microcuenca como se muestra en la Tabla 14, siendo el área más extensa analizada.

4.5.3. Susceptibilidad moderada

El terreno muestra cierta propensión natural a generar movimientos de ladera de magnitud significativa aún en las condiciones en que se encuentran actualmente.

En la microcuenca San Lucas la susceptibilidad moderada se concentra mayoritariamente en su parte central, bordeando a zonas de susceptibilidad alta y muy alta como se puede apreciar con detalle en el Plano 11 y de manera rápida en la Figura 22, abarca 20.02 km² lo que representa el 27.7% del área total de la microcuenca como se muestra en la Tabla 14.

4.5.4. Susceptibilidad alta

El terreno muestra gran propensión natural a generar movimientos de ladera de magnitud significativa en las condiciones en que se encuentran actualmente.

En la microcuenca San Lucas la susceptibilidad alta se agrupa mayoritariamente en su parte central y hacia el Sur, bordeando a zonas de susceptibilidad muy alta con evidente concentración en los bordes de cursos de agua como se puede apreciar con detalle en el Plano 11 y de manera rápida en la Figura 22, abarca 8.69 km² lo que representa el 12.0% del área total de la microcuenca como se muestra en la Tabla 14.

4.5.5. Susceptibilidad muy alta

El terreno muestra gran propensión natural a generar movimientos de ladera de magnitud significativa en las condiciones en que se encuentran actualmente e incluyen masas movilizadas abundantes y laderas residuales en condiciones muy inestables.

En la microcuenca San Lucas la susceptibilidad muy alta se agrupa mayoritariamente en su parte central con evidente concentración en los bordes de cursos de agua en donde las pendientes son muy fuertes o subverticales, es decir mayores a 30°, como se evidencia con detalle en el Plano 11 y de manera rápida en la Figura 22. Su extensión abarca 2.10 km² lo que representa el 2.9% del área total de la microcuenca como se muestra en la Tabla 14.

Como ya se mencionó en la metodología de la investigación, dentro del ítem análisis e interpretación de datos, para analizar y definir la zonificación del raster de susceptibilidad en la microcuenca San Lucas, se ha utilizado el método de la matriz que consistió en asignar un valor numérico determinado según el grado de susceptibilidad para las clases de cada uno de los factores determinantes, como se aprecia en la Tabla 13, además de ello, para cada factor determinante también se considera un peso asignado.

El mapa de susceptibilidad mostrado con detalle en el Plano 11 y de manera rápida en la Figura 22, es el resultado de la integración de todos los Factores Determinantes con sus respectivas clases y pesos asignados, procesados de manera digital en el software ArcGIS.

Tabla 13: Matriz de análisis del grado de susceptibilidad versus los Factores Determinantes.

FACTORES DETERMINANTES GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	Pendiente (30%)	Litología (25%)	Curvatura del terreno (20%)	Orientación de Laderas (15%)		Cobertura Vegetal (10%)
				Zona Noreste	Zona Suroeste	
Nula o muy baja (1)	< 5°	Depósitos cuaternarios	Muy convexa	Llano	Llano	Zona de bosques
Baja (2)	5° - 15°	Rocas Calcáreas	Convexa	Norte	Sur	Zona de influencia inmediata
Moderada (3)	15° - 30°	Rocas Areniscosas	Sin curvatura	Este	Oeste	Zona de influencia intermedia
Alta (4)	30° - 45°	Rocas Calco-arcillosas	Cóncava	Oeste	Este	Zona de influencia lejana
Muy Alta (5)	> 45°	Rocas Volcánicas	Muy cóncava	Sur	Norte	Zona sin influencia de vegetación

Las variables o Factores Determinantes, ya descritos que intervienen en el análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera, son la pendiente, la litología, la curvatura del terreno, la orientación de laderas y la cobertura vegetal; mencionados en ese orden, debido al peso asignado para cada factor. La fórmula de análisis para determinar el grado de susceptibilidad quedaría de la siguiente forma.

$$GS = (FPd * 0.30) + (FLt * 0.25) + (FCc * 0.20) + (FOr * 0.15) + (FCV * 0.10)$$

Donde:

GS: Grado de susceptibilidad

FPd: Factor pendiente

FLt: Factor litología

FCc: Factor curvatura del terreno

FOr: Factor orientación de laderas

FCV: Factor cobertura vegetal

Luego de haber analizado cada uno de los Factores Determinantes utilizados y describir las clases de susceptibilidad escogidas, es importante verificar su estadística de áreas como se muestra en la Tabla 14, estos datos ayudarán a entender con más precisión los resultados del análisis, además tienen gran importancia a la hora de llegar a las conclusiones del estudio. Cabe mencionar que debido al proceso mismo en el software se pierde un mínimo de porcentaje detallado como error, sin embargo, al ser del 1% del área total, no es relevante a momento de visualizar los resultados.

Tabla 14: Datos del área en kilómetros cuadrados y porcentaje individual y acumulado de la clasificación del grado de susceptibilidad en la microcuenca San Lucas.

SUSCEPTIBILIDAD	ÁREA		
	km2	(%)	% Acumulado
Nula o muy baja	11.96	16.5%	16.5%
Baja	28.80	39.8%	56.4%
Moderada	20.02	27.7%	84.1%
Alta	8.69	12.0%	96.1%
Muy alta	2.10	2.9%	99.0%
TOTAL	71.58	99.0%	-
ERROR	0.74	1.0%	-

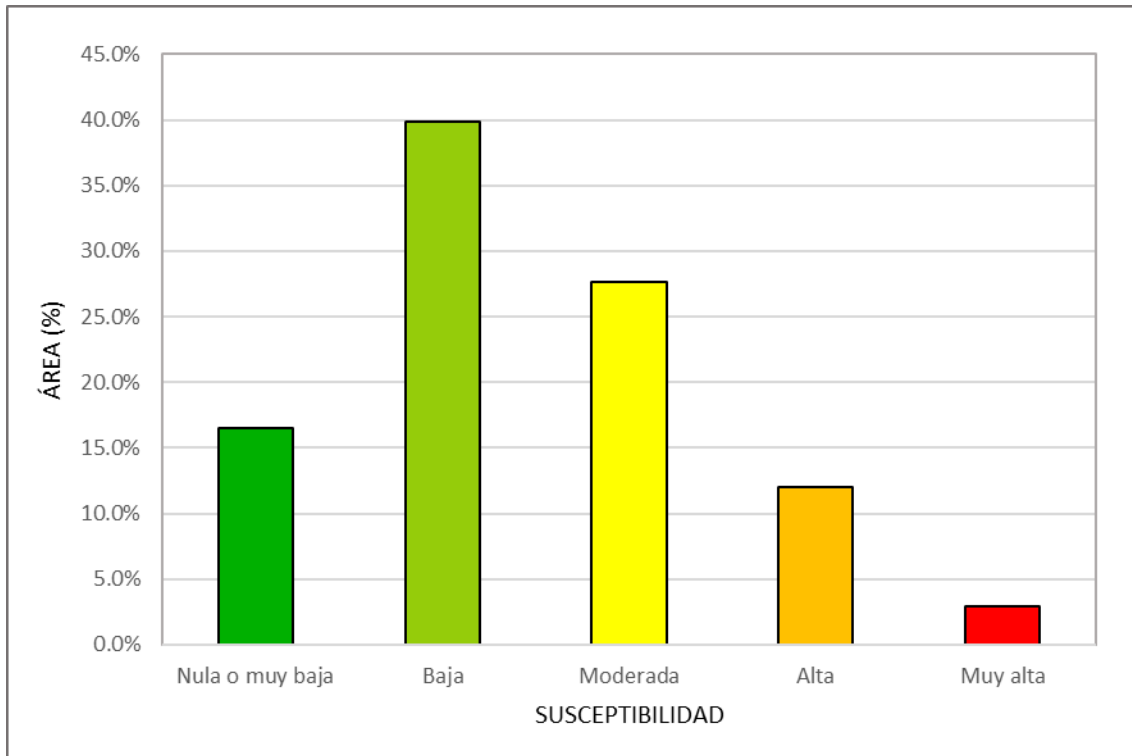


Figura 21: Gráfica del área en porcentaje versus el grado de susceptibilidad.

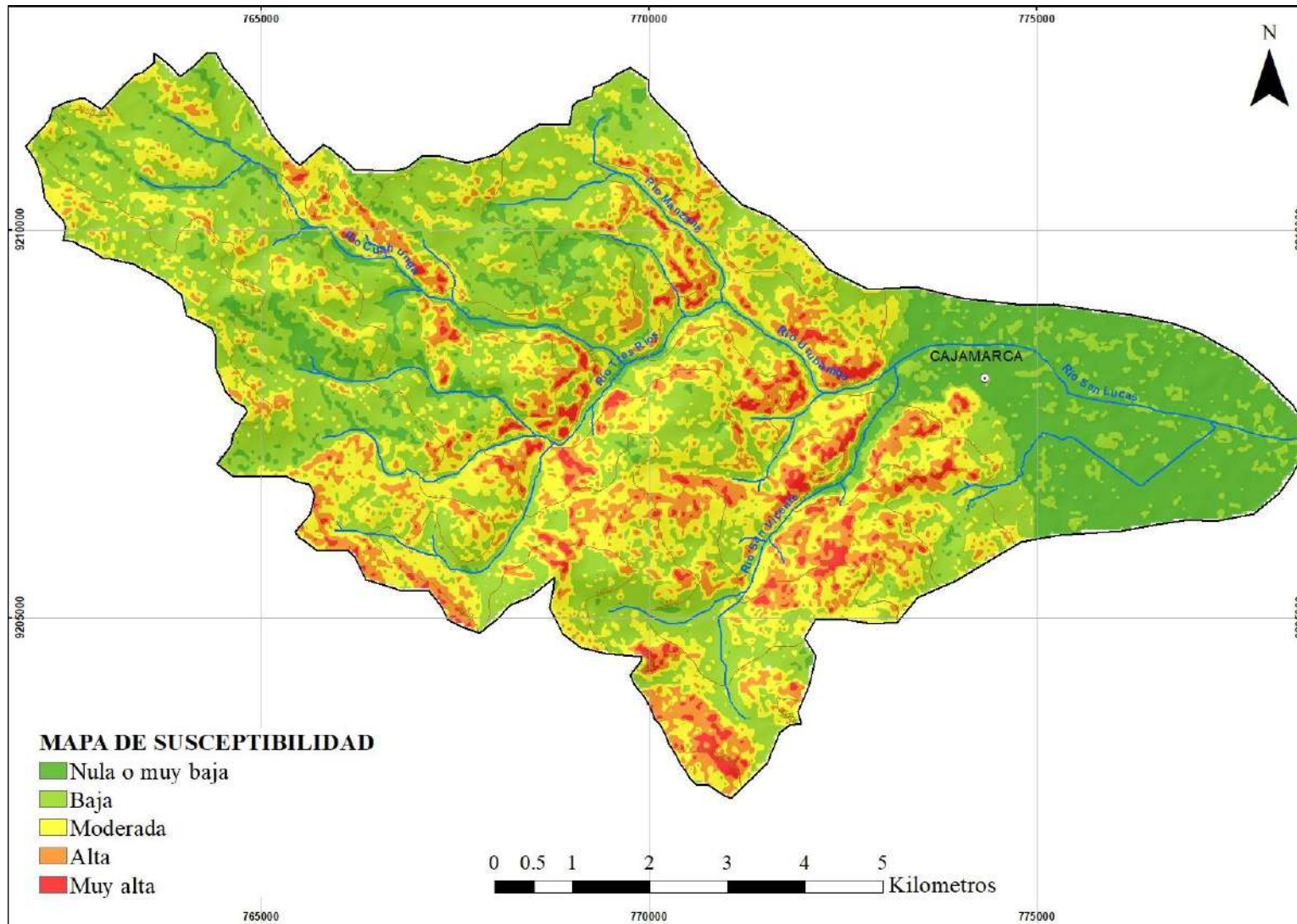


Figura 22: Mapa de susceptibilidad obtenido de la operación algebraica de los rasters con sus respectivos pesos asignados.

4.6. Validación de Datos

En el desarrollo de la investigación se realizó la validación del análisis de susceptibilidad a los movimientos de ladera en la microcuenca San Lucas, contrastando el mapa de susceptibilidad obtenido con el inventario realizado de los deslizamientos, flujos, desprendimientos o vuelcos, desplazamientos laterales y sus combinaciones o movimientos complejos que pudieron evidenciarse en campo. Fue necesario también utilizar imágenes satelitales de los últimos cinco años en Google Earth para complementar el inventario en zonas de poca accesibilidad.

En total se halló indicio de 25 movimientos de ladera en la microcuenca, entre desplazamientos laterales, deslizamientos, desprendimientos y flujos, detallados en la Tabla 15-1, 15-2. Del universo de movimiento de ladera hallados, nueve se han clasificado como flujos de derrubios entre ella resaltan las cárcavas de erosión hídrica, ocho han sido catalogados como desplazamientos laterales debido a los indicios de en el terreno que evidencian geoformas complejas en estado de reptación, cinco se clasificaron como deslizamientos propiamente dichos y se evidenciaron tres zonas de desprendimiento de rocas, como se puede evidenciar de manera rápida en la Figura 23 y con más detalle en el Plano 12 del anexo, una vez realizado el cruce de información de campo con el mapa de susceptibilidad, once movimientos de ladera se ubicaron en zonas de muy alta susceptibilidad, siete en alta susceptibilidad, cinco en moderada, dos en baja susceptibilidad y no hubo evidencia de eventos que se ubiquen es zonas de susceptibilidad nula o muy baja, los detalles de lo mencionado en la Tabla 15-1 y 15-2.

Tabla 15-1: Inventario de movimientos de ladera evidenciados en el trabajo de campo dentro de la microcuenca San Lucas.

N°	TIPO DE MOVIMIENTO	CÓDIGO	SUSCEPTIBILIDAD	COORDENADA		
				ESTE	NORTE	COTA
1	Desplazamiento lateral	DI-01	Alta	769055	9206894	3327
2	Desplazamiento lateral	DI-02	Muy alta	768098	9206973	3444
3	Desplazamiento lateral	DI-03	Muy alta	771894	9207847	2951
4	Desplazamiento lateral	DI-04	Muy alta	771547	9207663	3015
5	Desplazamiento lateral	DI-05	Alta	770505	9206594	3284
6	Desplazamiento lateral	DI-06	Alta	772004	9206206	3025
8	Desplazamiento lateral	DI-07	Muy alta	772298	9205674	3230
7	Desplazamiento lateral	DI-08	Baja	769698	9204873	3497
9	Desprendimiento	Dp-01	Moderada	771790	9209601	3117
10	Desprendimiento	Dp-02	Muy alta	767044	9209496	3467
11	Desprendimiento	Dp-03	Alta	767278	9208010	3510

Tabla 15-2: Continuación de la Tabla de inventario de movimientos de ladera evidenciados en el trabajo de campo dentro de la microcuenca San Lucas.

N°	TIPO DE MOVIMIENTO	CÓDIGO	SUSCEPTIBILIDAD	COORDENADA		
				ESTE	NORTE	COTA
12	Deslizamiento	Dz-01	Muy alta	770585	9209047	2972
13	Deslizamiento	Dz-02	Alta	771354	9208231	2992
14	Deslizamiento	Dz-03	Baja	771182	9206801	3118
15	Deslizamiento	Dz-04	Muy alta	770484	9203669	3523
16	Deslizamiento	Dz-05	Moderada	768915	9206050	3541
17	Flujo	Fj-01	Muy alta	768886	9207747	3325
18	Flujo	Fj-02	Moderada	769035	9207831	3253
19	Flujo	Fj-03	Alta	769144	9207764	3170
20	Flujo	Fj-04	Moderada	771223	9207615	3087
21	Flujo	Fj-05	Muy alta	770774	9206751	3198
22	Flujo	Fj-06	Muy alta	770307	9206862	3302
23	Flujo	Fj-07	Muy alta	772085	9206688	3020
24	Flujo	Fj-08	Alta	771856	9206512	3017
25	Flujo	Fj-09	Moderada	773484	9205847	3035

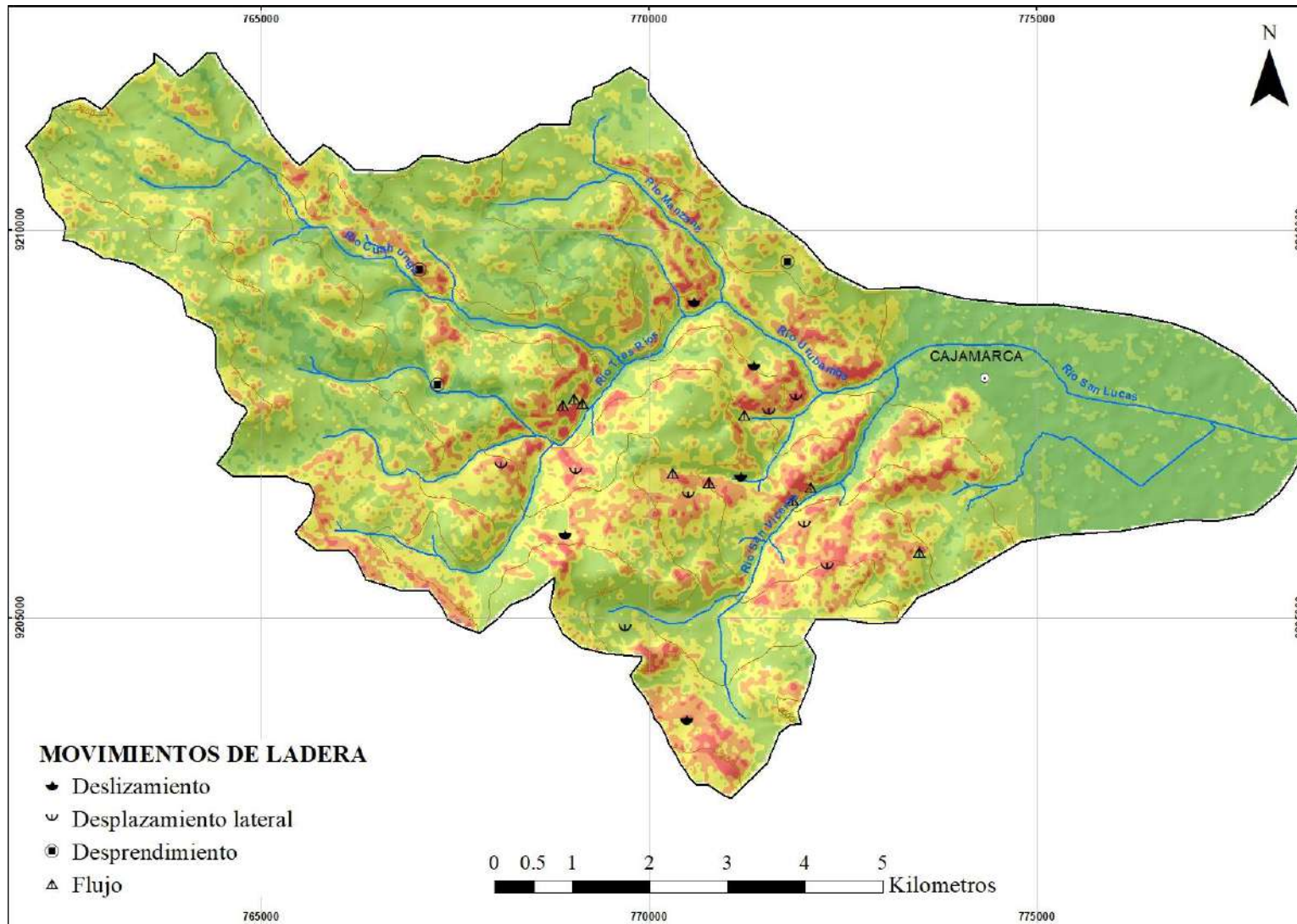


Figura 23: Mapa del inventario de los movimientos de ladera en la microcuenca San Lucas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En el análisis de susceptibilidad mediante los SIG utilizando el software ArcGIS, se determinó cinco grados de susceptibilidad para la microcuenca San Lucas, estos son susceptibilidades nula o muy baja, baja, moderada, alta y muy alta.

El cruce de información del inventario de movimientos de ladera y el mapa de susceptibilidad determina que once movimientos de ladera se ubicaron en zonas de susceptibilidad muy alta, siete en susceptibilidad alta, cinco en susceptibilidad moderada, dos en susceptibilidad baja y no hubo evidencia de eventos que se ubiquen en zonas de susceptibilidad nula o muy baja.

La susceptibilidad nula o muy baja representa el 16.5% del área, y la susceptibilidad baja el 39.8%; en conjunto estas susceptibilidades representan el 56.3% y se concentran en el valle de la ciudad de Cajamarca y al hacia el Este, donde predominan las rocas calcáreas resistentes a los agentes erosivos.

Las susceptibilidades alta y muy alta se concentran en los laterales de los ríos San Vicente, Urubamba y en menor medida el Tres Ríos, generalmente donde predominan la litología volcánica y calco-arcillosa; estas susceptibilidades en conjunto representan al 33.0% del área.

La cobertura vegetal o zona de bosques alcanza los 6.4km², representando el 8.8% del área, en la matriz de análisis, esta clase se suma a las zonas con susceptibilidad nula o muy baja;

por otro lado, la zona sin influencia de vegetación se extiende hasta los 33.6km² que representa el 46.5%, esta clase se suma a sectores con muy alta susceptibilidad.

5.2. Recomendaciones

Al identificar que las zonas de alto y muy alto grado de susceptibilidad se ubican con mayor frecuencia en los bordes de los cursos de agua se recomienda a las autoridades locales concernientes, realizar un plan de trabajos orientados al control de erosión en los cauces de los ríos Tres ríos, Urubamba y San Lucas, ubicados a orillas de la expansión urbana.

La ejecución de un plan de forestación en las zonas de susceptibilidad alta y muy alta, por parte de los pobladores locales en coordinación con las autoridades, reduciría eficazmente tal condición, además de contribuir al cuidado del medio ambiente.

Las imágenes satelitales y SIG, se puede complementar muy bien con el uso de drones para posteriores investigaciones similares a la presente, además de facilitar el trabajo en campo del investigador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, G. (2011). Geomorfología - Departamento de Cajamarca. Cajamarca: Gobierno Regional de Cajamarca. Recuperado en mayo de 2021, de <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/GEOMORFOLOGIA.pdf>
- Aricochea, E. (2016). Zonificación de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa en la cuenca de río Omayá Distrito de Pichari, Provincia de la Convención - Región Cuzco. Tesis Pregrado, UNMSM, FIGMMG, Lima. Recuperado en diciembre de 2018, de <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/4879>
- Blanco, F. (2013). Evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa en la zona central de la cuenca del río Mantaro - Región Junín. Tesis de Pregrado, UNI, FIGMM, Lima. Recuperado en diciembre de 2018, de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1138/1/blanco_rf.pdf
- Buckley, A. (2010). ESRI. Obtenido de Understanding curvature rasters: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/imagery/understanding-curvature-rasters/>
- Cholán, O. (2010). Potencialidades, limitantes Institucionales y comunales para la gestión social del agua, microcuenca San Lucas. UNC. Cajamarca: Tesis de Maestría. Recuperado en mayo de 2021, de <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2045/TESIS%20MAESTRIA%20CHOL%C3%81N%20VALDEZ%20OSCAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz, E., & Ollero, A. (enero de 2005). Metodología para la clasificación geomorfológica de los cursos fluviales de la cuenca del Ebro. Geographicalia. Recuperado en setiembre de 2019, de

- https://www.researchgate.net/publication/28314593_Metodologia_para_la_clasificacion_geomorfoloica_de_los_cursos_fluviales_de_la_cuenca_del_Ebro
- ESRI. (setiembre de 2020). desktop.arcgis. Obtenido de ArcGIS for Desktop:
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/weighted-overlay.htm>
- Huaripata, M. (2014). Modelo geodinámico de la quebrada Cruz Blanca, microcuenca Cruz Blanca - Los Chilcos. Tesis de Pregrado, UNC, Cajamarca. Recuperado en junio de 2021, de
<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/115/T%20551%20H874%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jimenez, J. (2005). Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente del embalse de Rules, Granada. Tesis de Doctorado, Universidad de Granada, Departamento de Ingeniería Civil, Granada. Recuperado en diciembre de 2018, de
http://www.ugr.es/~ren03366/DEA/TEMAS/memoria/DEA_J.Jimenez.pdf
- Mendoza, S. M. (Julio de 2016). Estimación del riesgo en Urubamba, Romquillo y Corisorgona - Cajamarca. ECOSCIENCIA, II, págs. 67-68. Recuperado en diciembre de 2018, de
<http://revistas.upagu.edu.pe/index.php/ES/article/download/357/302>.
- Navarro, J. (2012). Susceptibilidad y amenaza de movimientos de ladera mediante SIG en el municipio de Berlín, El Salvador. Trabajo de master, Berlín. Recuperado en setiembre de 2019, de https://eprints.ucm.es/19876/1/TFM_JNV_FINALCUT.pdf
- Ochoa, L. (2016). Inestabilidad de taludes en el sector de Santa Bárbara de la Ciudad de Huancavelica. Tesis de Pregrado, UPLA, Huancavelica. Recuperado en agosto de 2019, de

- <http://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/UPLA/271/Ochoa%20Quispe%20Lisbeth%20Yurfa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Reyes, L. (1980). Boletín N° 31. INGEMMET. Lima: Seria A - Carta Geológica Nacional. Recuperado en marzo de 2020, de <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/150>
- Rodriguez, R. (2016). Método de investigación geológico-geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos, zona Ronquillo-Corisorgona. Tesis de Maestría, UNMSM, Lima. Recuperado en mayo de 2021, de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/14179/12492>
- Sarría, F. (2006). Sistemas de información geográfica. Murcia, España. Recuperado en agosto de 2019, de <http://fobos.inf.um.es/alonso/SIGCCAA/temario.pdf>
- Varnes, D. J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO, III, pág. 60. Recuperado en diciembre de 2018
- Villacorta, S., et al. (2012). Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú. (INGEMMET, Ed.) Asociación Geológica de Argentina, 393-399. Recuperado en diciembre de 2018, de <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/raga/article/view/1263/1908>
- Villacorta, S., et al. (2007). Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca del río Llaminchán (Cajamarca - Perú). Instituto de investigaciones FIGMMG, X, 103-105. Recuperado en diciembre de 2018

ANEXOS

- A. Panel Fotográfico**
- B. Registro de Campo**
- C. Planos temáticos**
 - 1. Plano de Ubicación
 - 2. Plano Satelital
 - 3. Plano del Modelo Digital de Elevaciones
 - 4. Plano de Unidades Geomorfológicas
 - 5. Plano Geológico
 - 5.1. Sección Geológica A-A'
 - 5.2. Sección Geológica B-B'
 - 6. Plano de Pendientes
 - 7. Plano de Unidades Litológicas
 - 8. Plano de Curvatura del Terreno
 - 9. Plano de Orientación de Laderas
 - 10. Plano de Cobertura Vegetal
 - 11. Plano de Susceptibilidad
 - 12. Plano de Movimientos de Ladera



Foto 1: Ladera afectada por procesos erosivos, evidencia de cárcavas y generación de flujo de detritos.

CÓDIGO	COORDENADAS		
	Este	Norte	Elevación
DI-04	771547.29	9207663.31	3015



Foto 2: Corona de deslizamiento en colina de pronunciada pendiente.

CÓDIGO	COORDENADAS		
	Este	Norte	Elevación
Dz-03	771182.00	9206801.00	3118

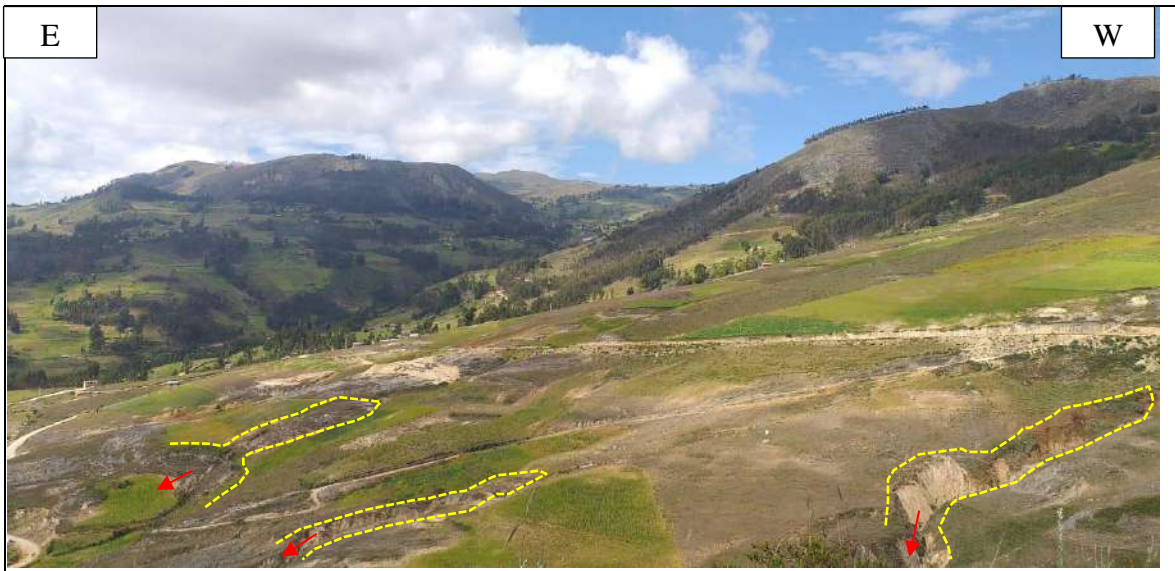


Foto 3: Terreno con evidente afección de procesos erosivos y escasa vegetación.

CÓDIGO	COORDENADAS		
	Este	Norte	Elevación
DI-05	770505.98	9206594.11	3284

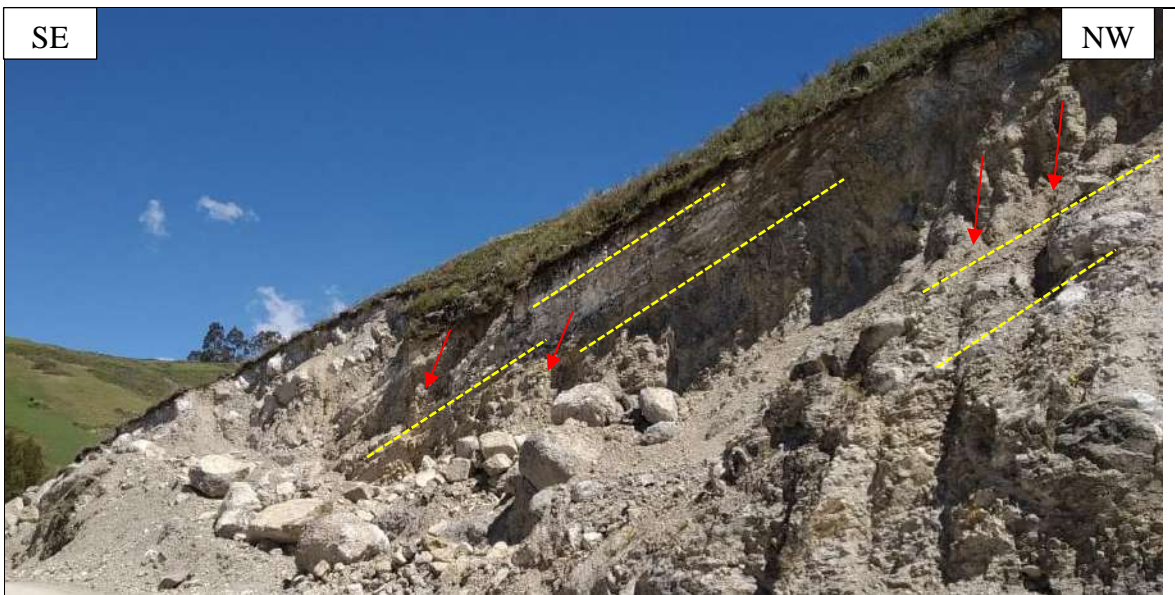


Foto 4: Erosión y caída de rocas por pendiente favorable al buzamiento.

CÓDIGO	COORDENADAS		
	Este	Norte	Elevación
Dz-04	770484.00	9203669.00	3523

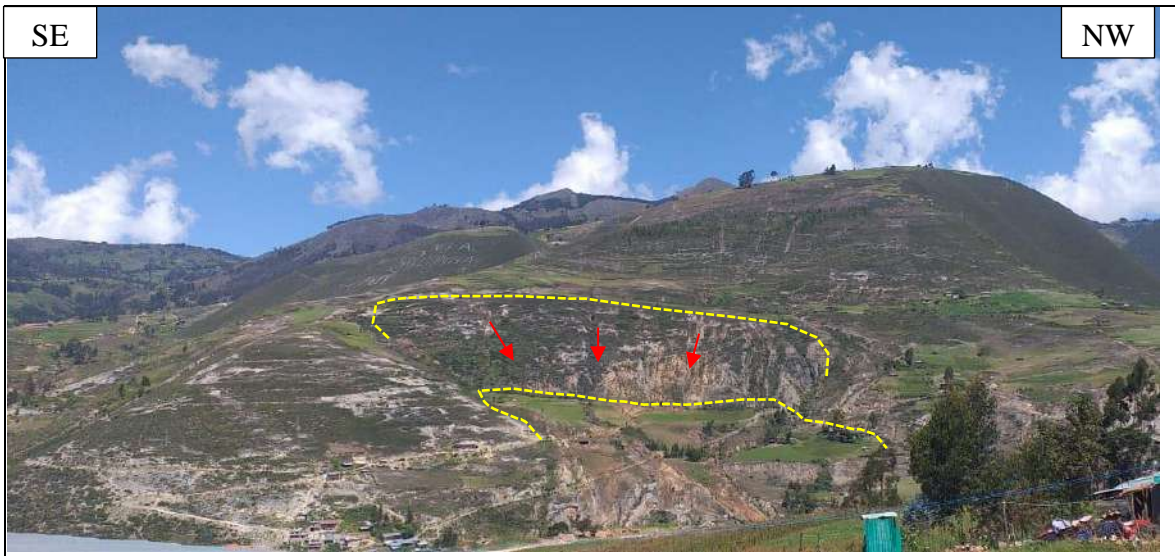


Foto 5: Ladera con cambio abrupto de pendiente, evidencia de escarpa debido a un posible evento histórico.

CÓDIGO	COORDENADAS		
	Este	Norte	Elevación
Dz-02	771354.93	9208231.69	2992



Foto 6: Desprendimiento de bloques de roca por pendiente favorable al buzamiento.

CÓDIGO	COORDENADAS		
	Este	Norte	Elevación
Dp-01	771790.00	9209601.00	3117

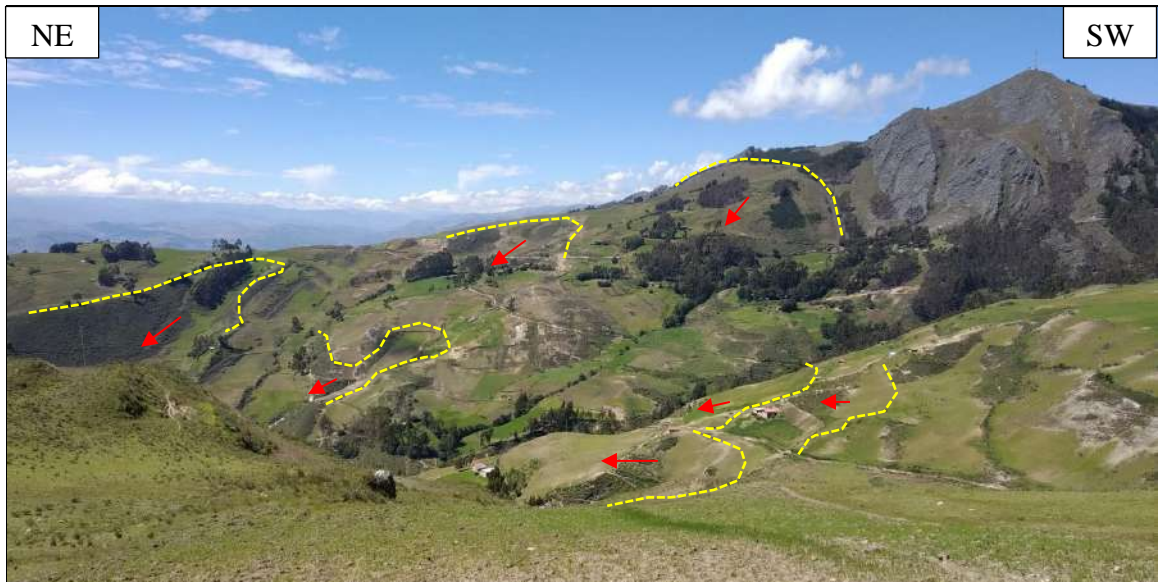


Foto 7: Indicios de desplazamiento lateral de masa rocosa por cambios de relieve a favor de la pendiente.

CÓDIGO	COORDENADAS		
	Este	Norte	Elevación
DI-01, DI-02	769055.00	9206894.00	3327

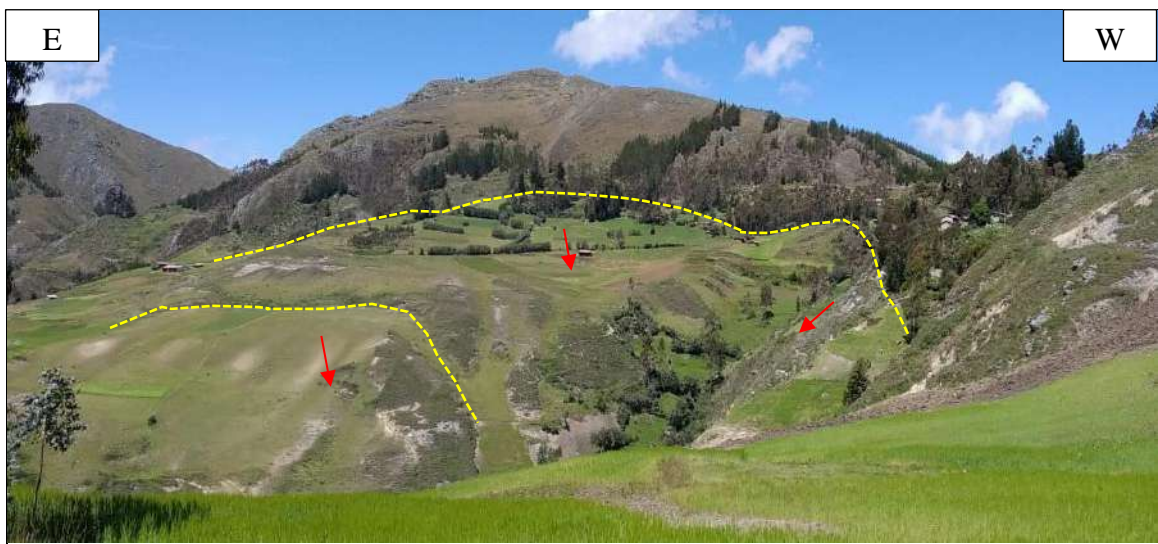


Foto 8: Indicios de desplazamiento lateral de masa por cambios de relieve a favor de la pendiente.

CÓDIGO	COORDENADAS		
	Este	Norte	Elevación
DI-02	768098.66	9206973.12	3327



Foto 9: Desprendimiento de rocas por erosión subvertical.

CÓDIGO	COORDENADAS		
	Este	Norte	Elevación
Dp-03	767278.92	9208010.04	3510

PROYECTO		ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN LUCAS										REGISTRO N°	
UBICACIÓN		Cajamarca / Cajamarca / Cajamarca										001	
TESISTA		José Leonardo Mejía Valqui										DATUM WGS-84	
Clase de Movimiento de Ladera	Código	Pendiente medida	Litología predominante	Curvatura del terreno	Orientación de la ladera medida	Presencia de bosques	Coordenadas medidas						
							Este	Norte	Cota				
Desplazamiento (Caida de rocas)	Dp-01	30°	arenisca	Sin curvatura predominantemente	SUR	zona de bosque cercano	771 790.1	9 209 601.2	3 117				
Deslizamiento	Dz-01	20° - 25°	calizas arenilíferas con lutitas.	Curvatura convexa, predominio	SUR	zona de bosque cercano	770 585.0	9 209 047.1	2 992				
Desplazamiento (Caida de rocas)	Dp-02	15° - 20°	roca, Toba Volcanica	Terreno convexo	SUR - Este	zona de bosque cercano	767 044.3	9 209 496.0	3 467				
Desplazamiento (Caida de rocas)	Dp-03	10° - 15°	roca Toba Volcanica	Terreno convexo	SUR - Oeste	zona de bosque	767 278.0	9 208 000.1	3 510				
Fujo	Fj-01	30° - 40°	calizas arenilíferas con lutitas	Terreno convexo	Este	Sin Vegetación	768 885.8	9 207 746.7	3 325				
Fujo	Fj-02	30° - 40°	intercaladas con lutitas y margol	Terreno convexo	Este	Sin Vegetación	769 035.0	9 207 830.9	3 253				
Fujo	Fj-03	45° - 50°	y margol	Terreno convexo	Este	Sin Vegetación	769 144.2	9 207 769.2	3 170				
Desplazamiento lateral (resaca)	DL-01	25° SUR	calizas arenilíferas	Terreno convexo	Norte	Sin Vegetación	769 035.0	9 206 844.1	3 527				
Desplazamiento lateral (resaca)	DL-02	30° - 35°	calizas arenilíferas con lutitas.	Terreno convexo	Norte	zona de bosque lejano	768 078.3	9 206 973.0	3 444				

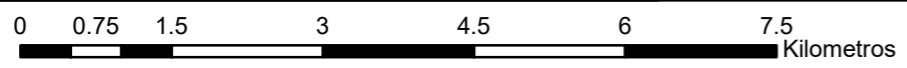
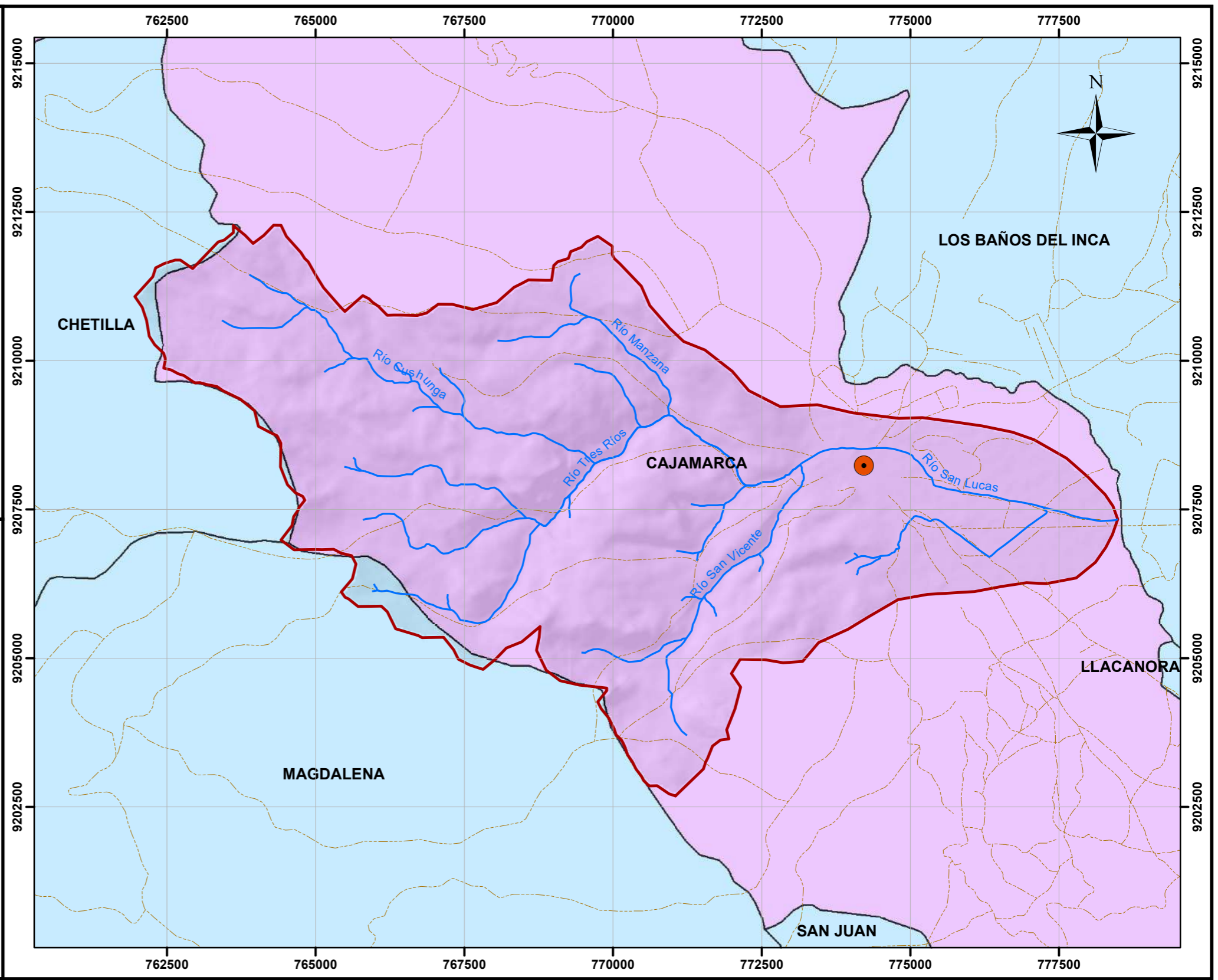
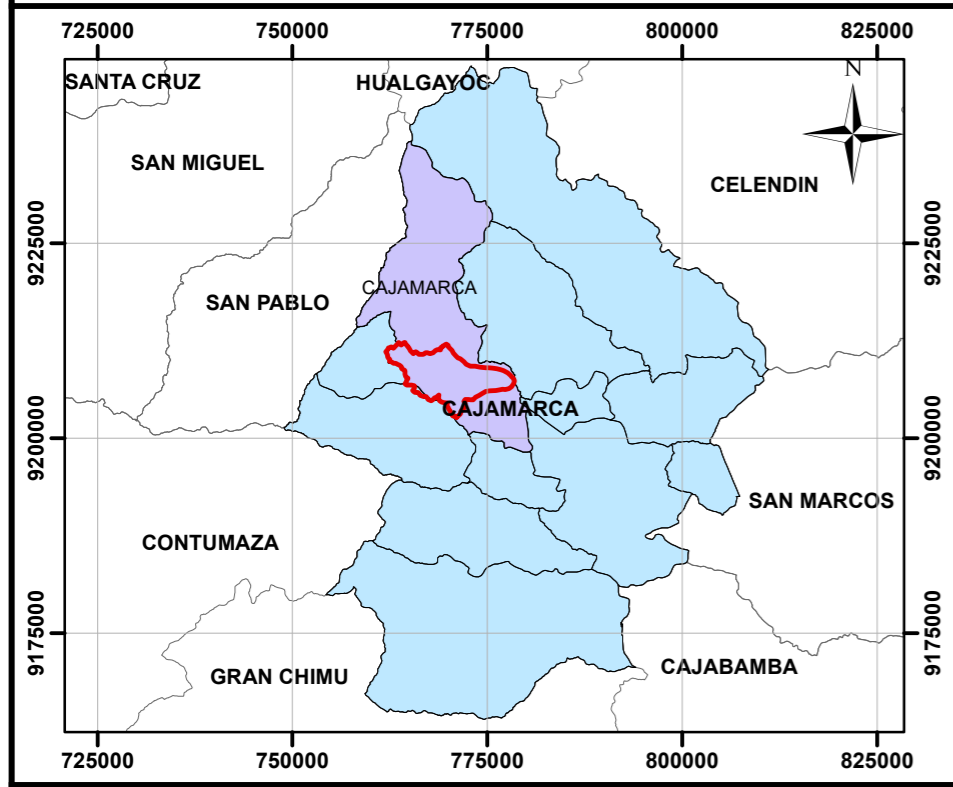
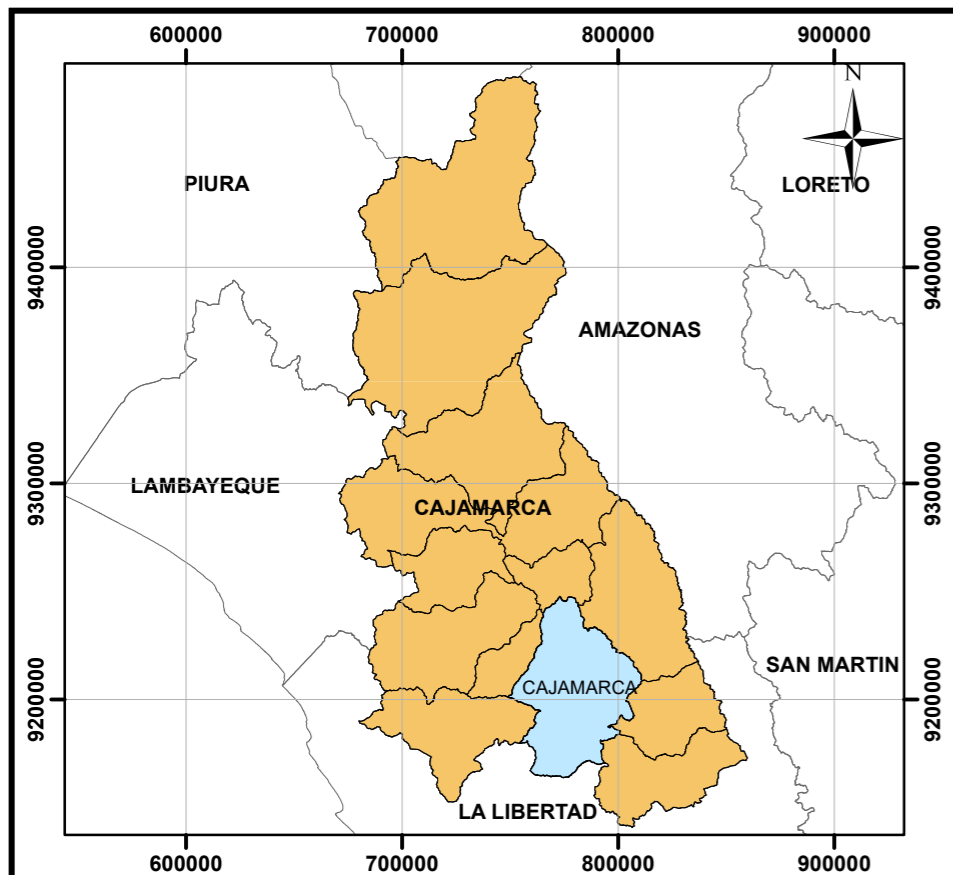
Fuente: Elaborado en base a las fichas de inspección del INGEMMET.

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN LUCAS										REGISTO N°	
	Cajamarca / Cajamarca / Cajamarca										002	
	TESISTA										DATUM WGS-84	
Clase de Movimiento de Ladera	Código	Pendiente medida	Litología predominante	Curvatura del terreno	Orientación de la ladera medida	Presencia de bosques	Coordenadas medidas					
							Este	Norte	Cota			
Deslizamiento lateral (resaca)	DL-03	25°-30°	Taluzas y Calizas grises	Concavo	Este	Zona de bosque cercano	771 893.9	9 207 897.2	2 951			
Deslizamiento lateral (resaca)	DL-04	25°	Calizas grises	Concavo	Sur-Este	Zona de bosque lejano	771 547.0	9 207 662.7	3 015			
Flujo	FJ-04	35°-40°	Lutitas y Calizas arenolizas	Convexo	Este	Sin Vegetación	771 223.2	9 207 644.7	3 087			
Deslizamiento	D2-02	30°-35°	Calizas y margas	Convexo	Norte	Zona de bosque lejano	771 384.0	9 208 231.2	2 992			
Deslizamiento	D2-03	35°	Caliza arenoliza y Lutitas	Concavo	Sur	Sin Vegetación	771 182.1	9 208 801.4	3 118			
Flujo	FJ-05	25°	Lutitas, margas y Calizas	Concavo	Norte	Sin Vegetación	770 774.0	9 208 781.2	3 118			
Deslizamiento lateral (resaca)	DL-05	20°-25°	Lutitas y Calizas	Sin Curvatura	Este	Sin Vegetación	770 504.8	9 208 594.0	3 284			
Flujo	FJ-06	20°-25°	Lutitas, margas y Calizas	Concavo	Nor-Este	Sin Vegetación	770 307.2	9 208 882.2	3 302			

Fuente: Elaborado en base a las fichas de inspección del INGEMMET.

PROYECTO	ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN LUCAS				REGISTO N°				
	UBICACIÓN	Cajamarca / Cajamarca / Cajamarca			003	DATUM WGS-84			
TESISTA	José Leonardo Mejía Valqui								
Clase de Movimiento de Ladera	Código	Pendiente medida	Litología predominante	Curvatura del terreno	Orientación de la ladera medida	Presencia de bosques	Coordenadas medidas		
							Este	Norte	Cota
Flujo	FJ-07	30°-45°	Lutitas depositos coal	Concavo	Sur-Este	Zona de bosque lejano	772 085.4	9 206 688.2	3 020
Flujo	FJ-08	30°-40°	Mangas Lutitas	Concavo	Este	Zona de bosque lejano	771 856.2	9 206 511.8	3 017
Desplazamiento lateral (tracción)	DL-06	25°-30°	Toba volcánica Lutitas	Concavo	Norte	Zona de bosque muy cercano	772 004.1	9 206 206.2	3 025
Desplazamiento lateral (tracción)	DL-07	25°-30°	Toba volcánica Lutitas	Concavo	Norte	Zona de bosque muy lejano	772 298.0	9 205 674.4	3 230
Flujo	FJ-09	15°-20°	Areniscas Tabas	Convexo	Este	Zona de bosque cercano	773 484.1	9 205 847.3	3 035
Desplazamiento lateral (tracción)	DL-08	15°-20°	Areniscas Carras arenitas	Convexo	Este	Zona de bosque muy cercano	769 698.2	9 204 872.9	3 477
Desplazamiento lateral (tracción)	D2-04	10°-15°	Tabas Volcánicas	Sur orientado predominantemente	Norte	Zona de bosque muy lejano	770 484.3	9 203 689.0	3 523
Desplazamiento	D2-05	25°-30°	Areniscas	Convexo	Norte	Zona de bosque muy lejano	768 915.0	9 206 050.1	3 841

Fuente: Elaborado en base a las fichas de inspección del INGEMMET.



LEYENDA

- Distrito de Cajamarca
- Provincia de Cajamarca
- Departamento de Cajamarca

SIMBOLOGÍA

- Ciudad
- Microcuenca San Lucas
- Cursos de agua
- Vías de comunicación



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS
 DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
 SAN LUCAS -DISTRITO DE CAJAMARCA

PLANO DE UBICACIÓN

TESISTA: Bach. José Leonardo Mejía Valqui

ASESOR: Mcs. Roberto Severino Gonzales Yana

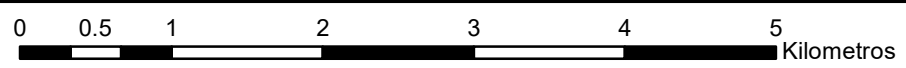
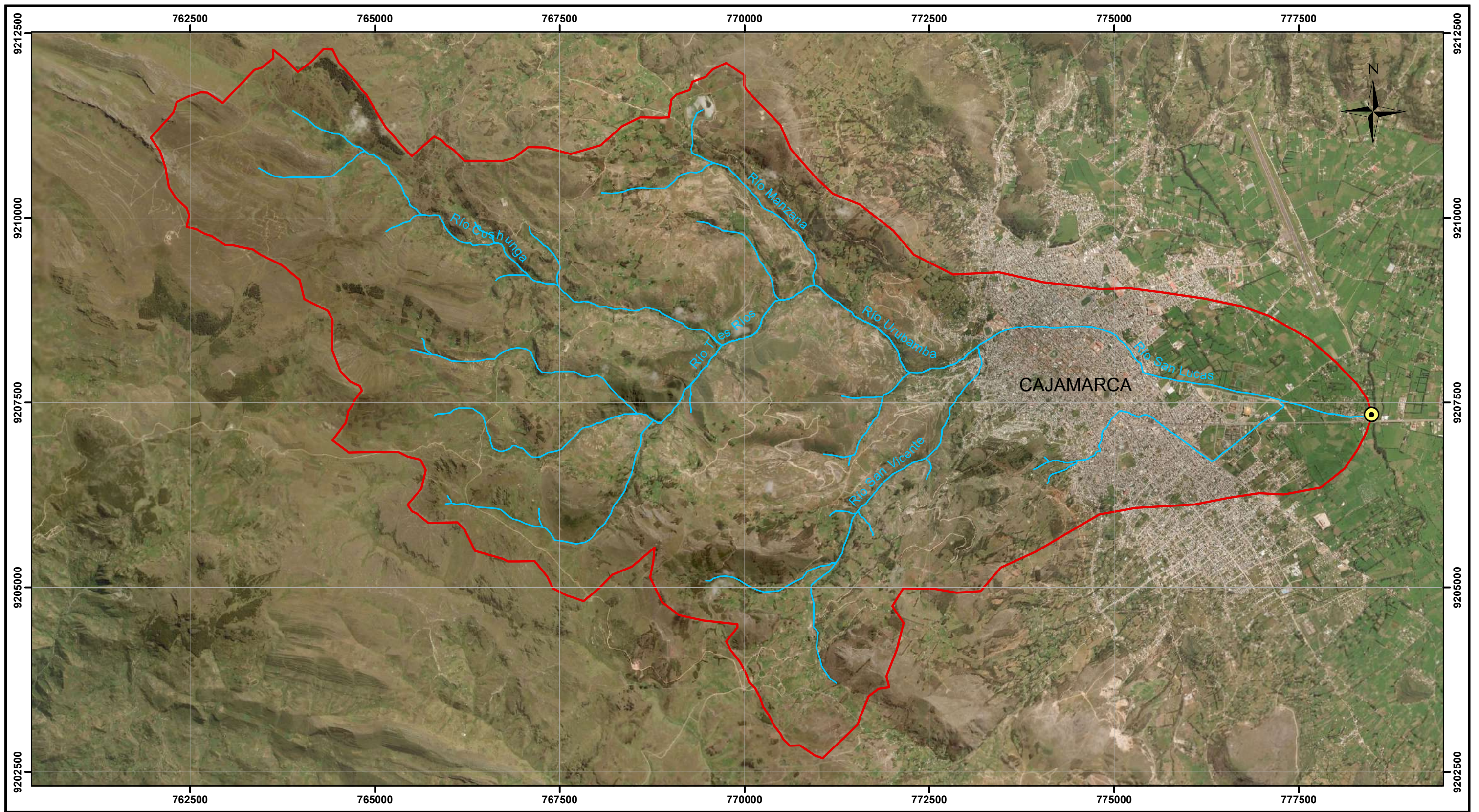
SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zona 17S

FECHA: julio de 2021




ESCALA: 1:75,000

PLANO

01



SIMBOLOGÍA

-  Punto de cauce común
-  Microcuenca San Lucas
-  Cursos de agua



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS
 DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
 SAN LUCAS -DISTRITO DE CAJAMARCA

PLANO SATELITAL

TESISTA: Bach. José Leonardo Mejía Valqui

ASESOR: Mcs. Roberto Severino Gonzales Yana

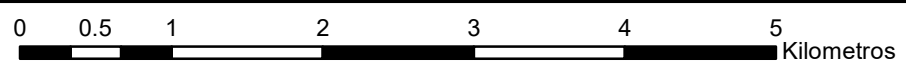
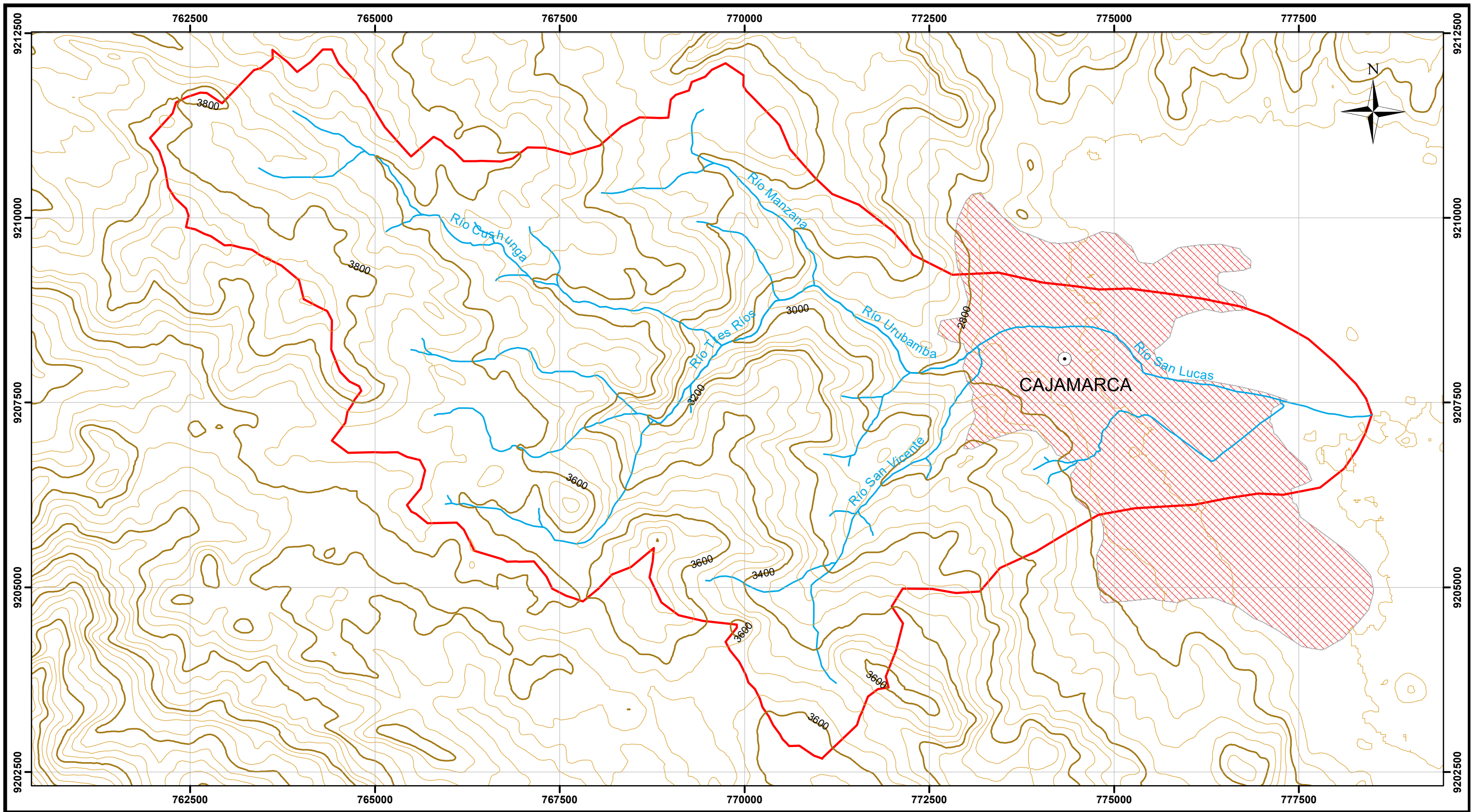
SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zona 17S

FECHA: julio de 2021

ESCALA: 1:50 000

PLANO

02



SIMBOLOGÍA

- Curvas topográficas mayores (200m)
- Curvas topográficas menores (50m)
- Cursos de agua
- Microcuenca San Lucas
- Zona Urbana



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS
 DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
 SAN LUCAS -DISTRITO DE CAJAMARCA

PLANO DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES

TESISTA: Bach. José Leonardo Mejía Valqui

ASESOR: Mcs. Roberto Severino Gonzales Yana

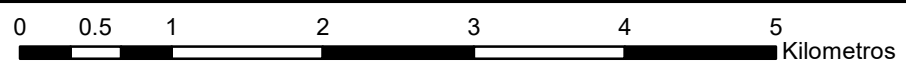
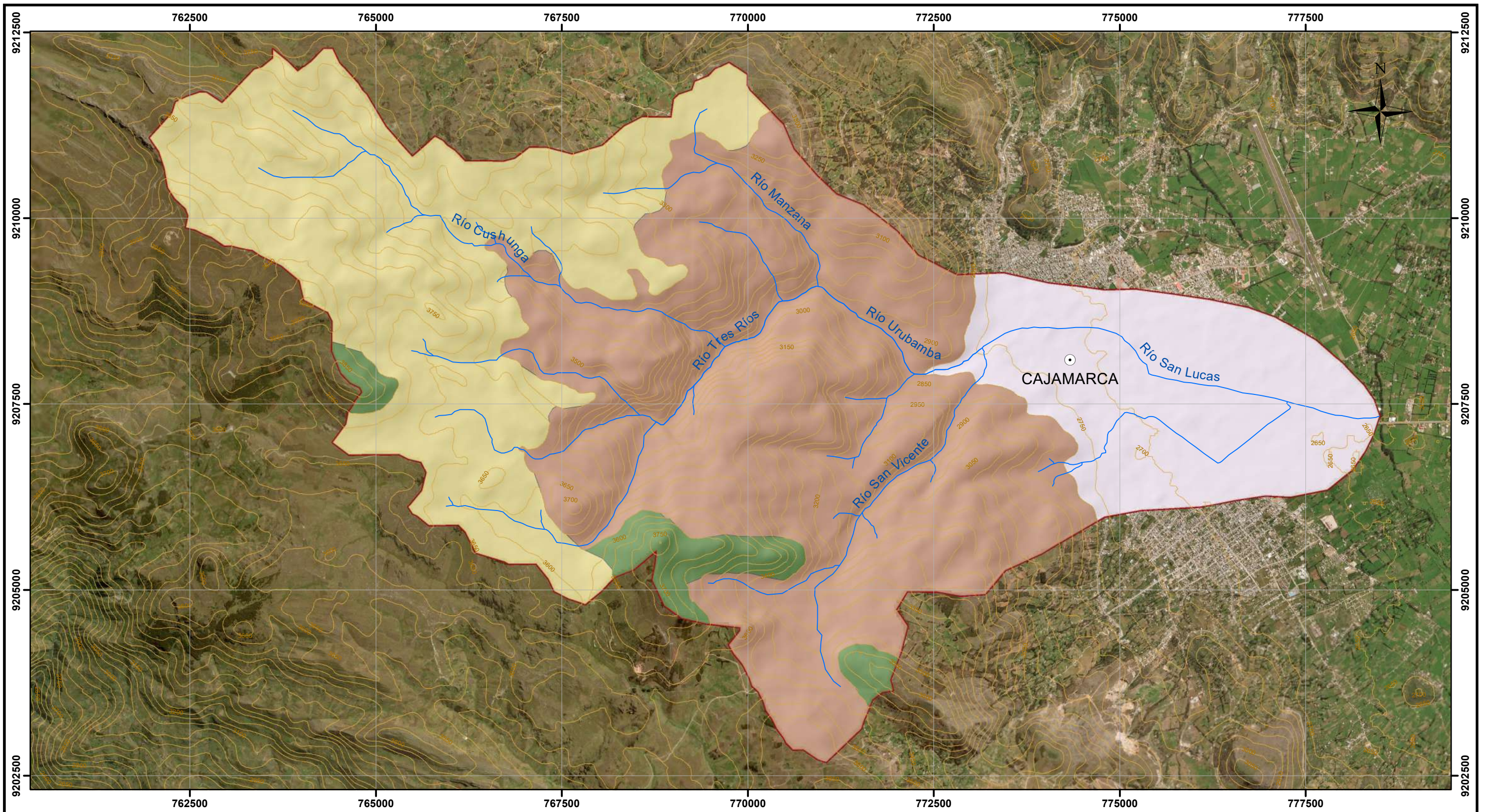
SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zona 17S

FECHA: julio de 2021

ESCALA: 1:50,000

PLANO

03



LEYENDA

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

- Montañoso
- Altiplanicie
- Colinoso
- Planicie

SIMBOLOGÍA

- Microcuenca San Lucas
- Curvas de nivel
- Cursos de agua
- Ciudad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS
 DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
 SAN LUCAS -DISTRITO DE CAJAMARCA

PLANO DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

TESISTA: Bach. José Leonardo Mejía Valqui

ASESOR: Mcs. Roberto Severino Gonzales Yana

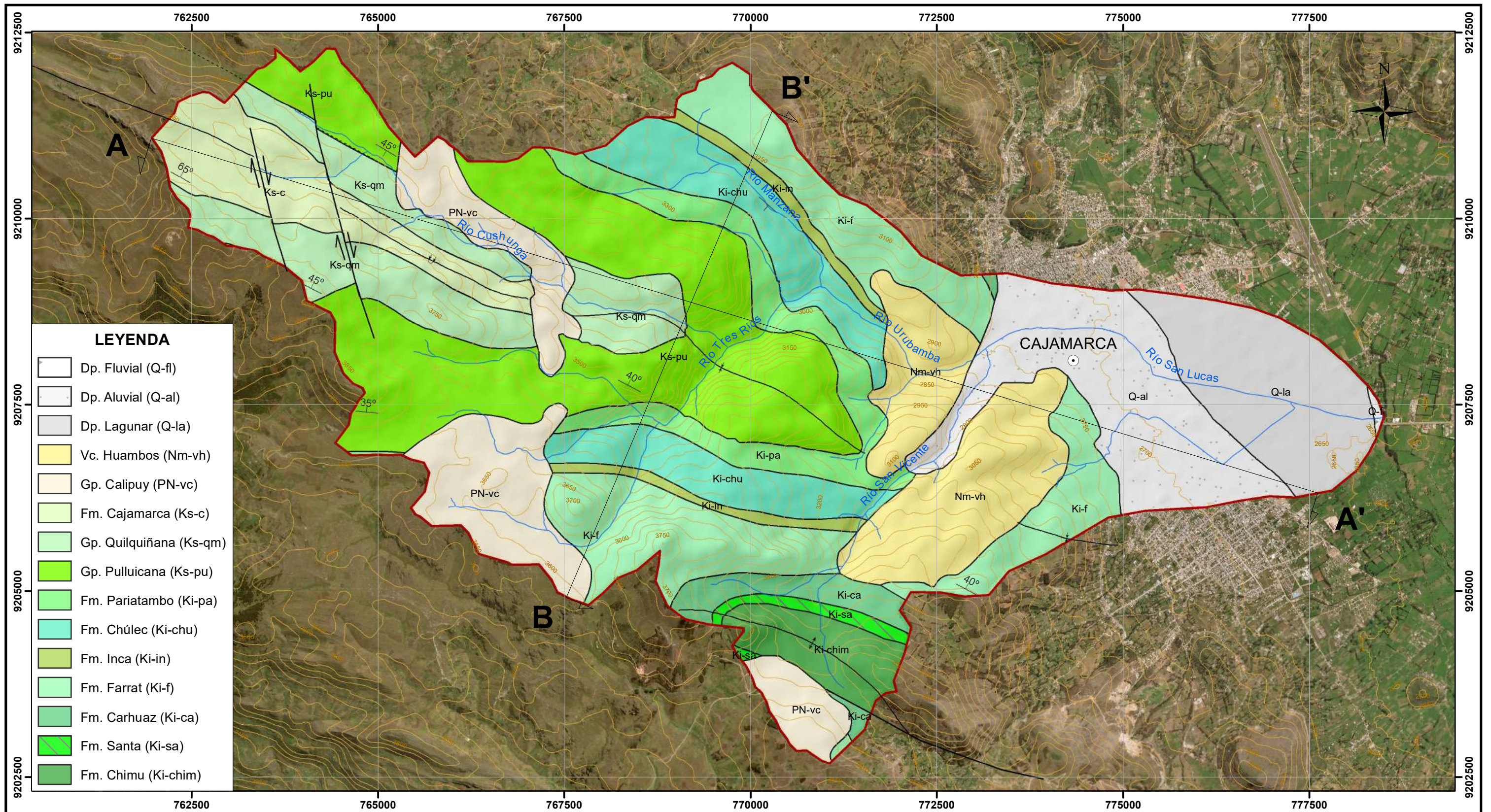
SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zona 17S

FECHA: julio de 2021

ESCALA: 1:50,000

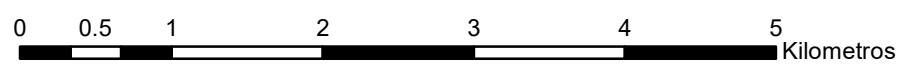
PLANO

04



LEYENDA

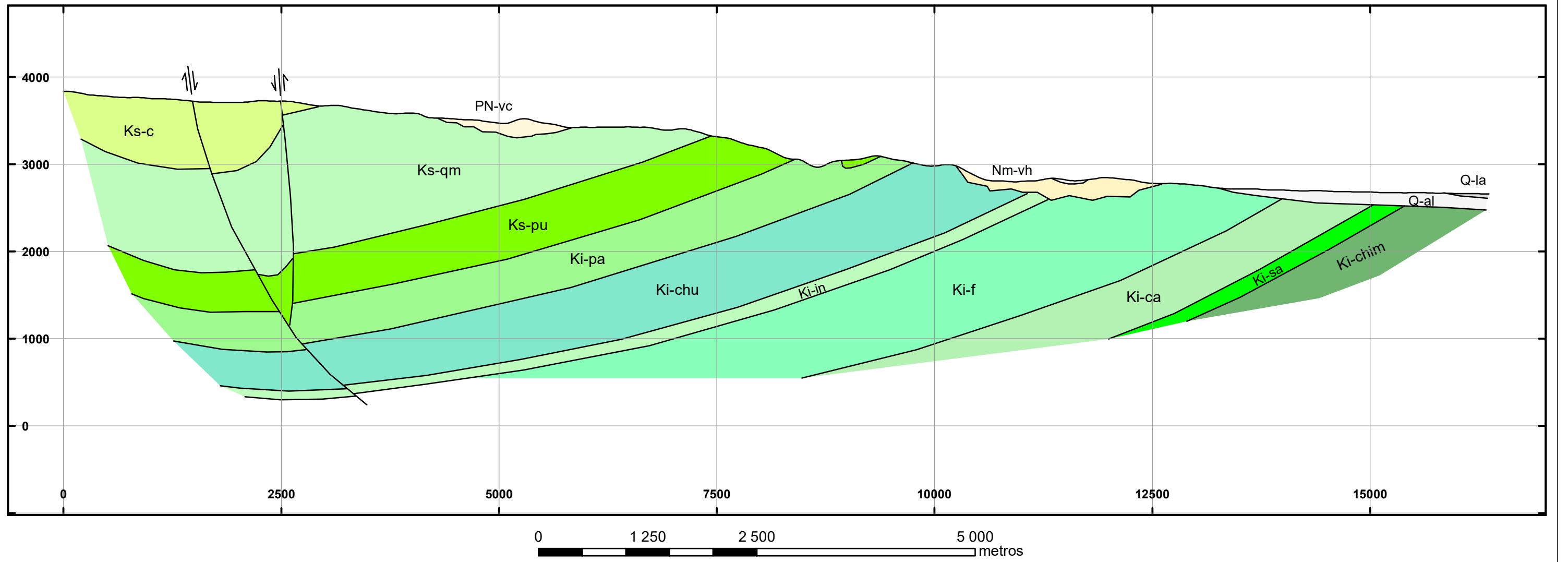
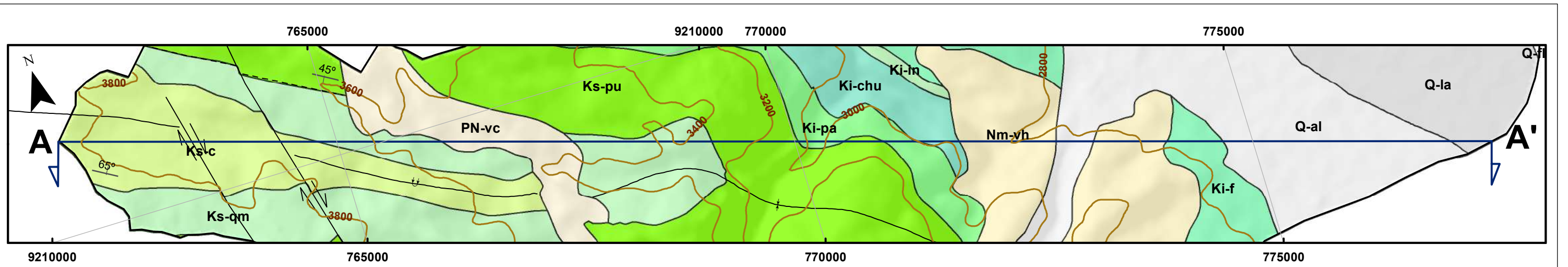
	Dp. Fluvial (Q-fl)
	Dp. Aluvial (Q-al)
	Dp. Lagunar (Q-la)
	Vc. Huambos (Nm-vh)
	Gp. Calipuy (PN-vc)
	Fm. Cajamarca (Ks-c)
	Gp. Quilquiñana (Ks-qm)
	Gp. Pulluicana (Ks-pu)
	Fm. Pariatambo (Ki-pa)
	Fm. Chúlec (Ki-chu)
	Fm. Inca (Ki-in)
	Fm. Farrat (Ki-f)
	Fm. Carhuaz (Ki-ca)
	Fm. Santa (Ki-sa)
	Fm. Chimu (Ki-chim)



SIMBOLIGÍA



	Anticlinal		Microcuenca San Lucas
	Sinclinal		Curvas de nivel
	Anticlinal volcado		Cursos de agua
	Rumbo y buzamiento		Ciudad
	Falla geológica		Perfil A-A'
	Falla geológica inferida		Perfil B-B'

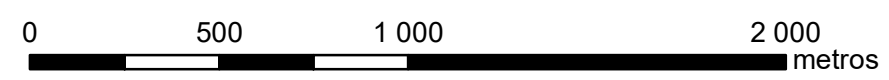
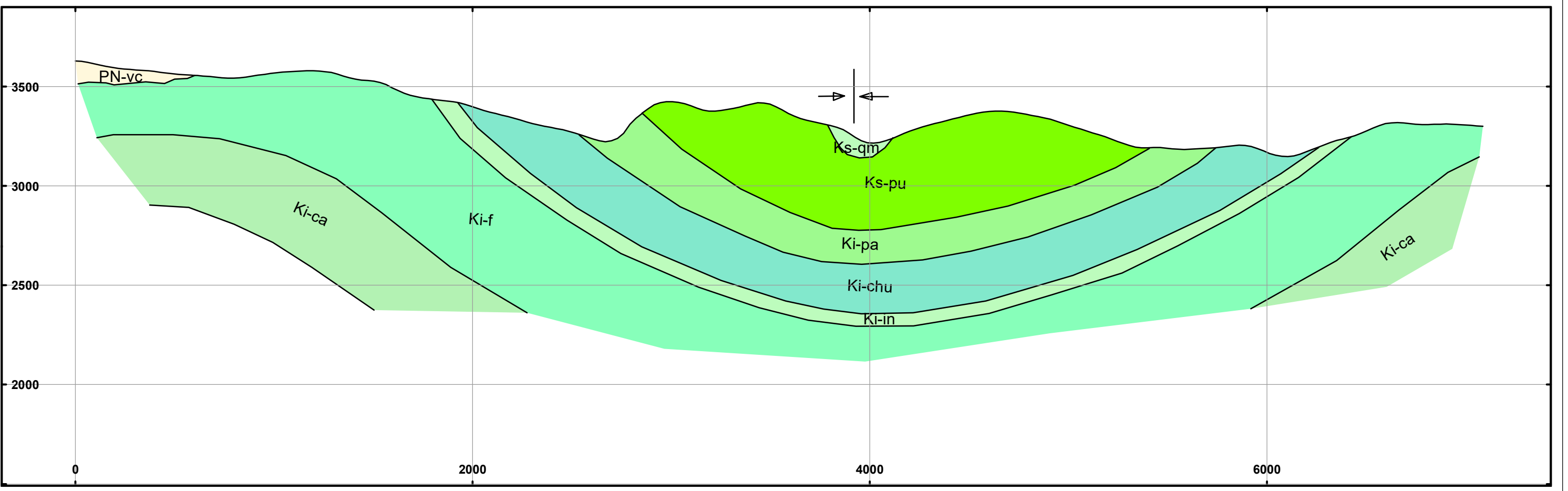
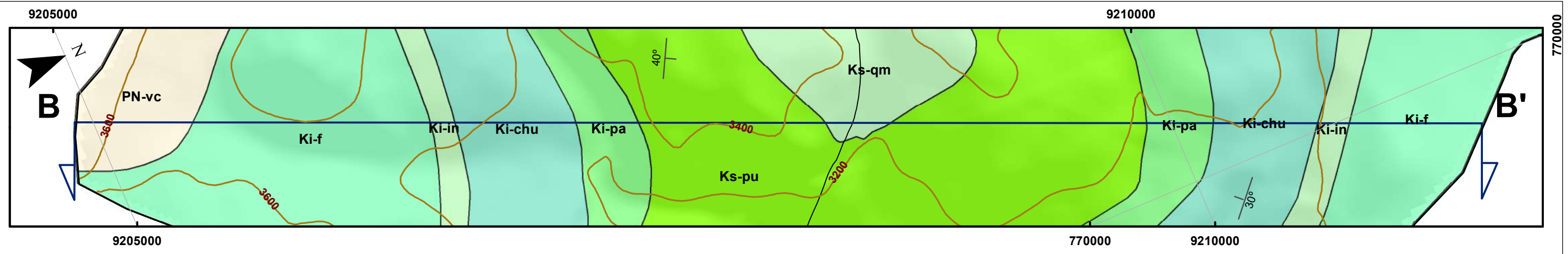
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN LUCAS -DISTRITO DE CAJAMARCA	
	PLANO GEOLÓGICO	
TESISTA: Bach. José Leonardo Mejía Valqui	PLANO	
ASESOR: Mcs. Roberto Severino Gonzales Yana	FECHA: julio de 2021	05
SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zona 17S	ESCALA: 1:50 000	



GEOLOGÍA

Dp. Lagunares (Q-la)	Fm. Pariatambo (Ki-pa)
Dp. Aluvial (Q-al)	Fm. Chúlec (Ki-chu)
Dp. Fluvial (Q-fl)	Fm. Inca (Ki-in)
Vc. Huambos (Nm-vh)	Fm. Farrat (Ki-f)
Gp. Calipuy (PN-vc)	Fm. Carhuaz (Ki-ca)
Fm. Cajamarca (Ks-c)	Fm. Santa (Ki-sa)
Gp. Quilquiñan (Ks-qm)	Fm. Chimú (Ki-chim)
Gp. Pullucana (Ks-pu)	

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
		ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN LUCAS -DISTRITO DE CAJAMARCA	
SECCIÓN GEOLÓGICA		PERFIL	
TESISTA: Bach. José Leonardo Mejía Valqui			
ASESOR: Mcs. Roberto Severino Gonzales Yana	FECHA: julio de 2021		
SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zona 17S		ESCALA: 1:45 000	



GEOLOGÍA

	Dp. Lagunares (Q-la)		Fm. Pariatambo (Ki-pa)
	Dp. Aluvial (Q-al)		Fm. Chúlec (Ki-chu)
	Dp. Fluvial (Q-fl)		Fm. Inca (Ki-in)
	Vc. Huambos (Nm-vh)		Fm. Farrat (Ki-f)
	Gp. Calipuy (PN-vc)		Fm. Carhuaz (Ki-ca)
	Fm. Cajamarca (Ks-c)		Fm. Santa (Ki-sa)
	Gp. Quilquiñan (Ks-qa)		Fm. Chimú (Ki-chim)
	Gp. Pullucana (Ks-pu)		



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS
 DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
 SAN LUCAS -DISTRITO DE CAJAMARCA

SECCIÓN GEOLÓGICA

TESISTA: Bach. José Leonardo Mejía Valqui

ASESOR: Mcs. Roberto Severino Gonzales Yana

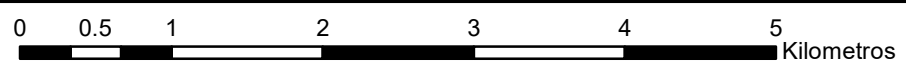
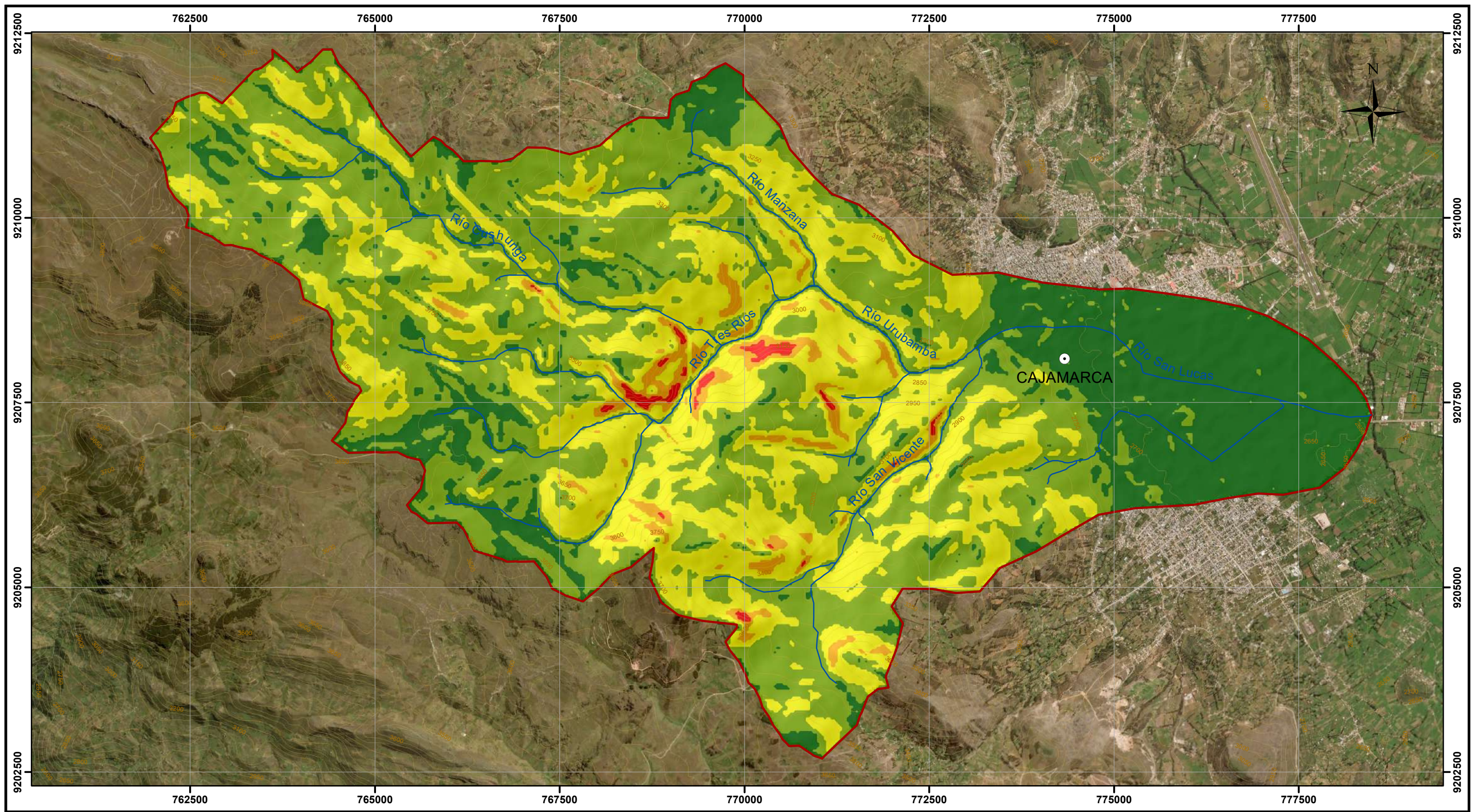
SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zona 17S

FECHA: julio de 2021

ESCALA: 1:20 000

PERFIL

B-B'



LEYENDA

PENDIENTES

- Pendiente suave <5°
- Pendiente moderada 5°-15°
- Pendiente fuerte 15°-30°
- Pendiente muy fuerte 30°-40°
- Pendiente vertical o subvertical >40°

SIMBOLOGÍA

- } Microcuenca San Lucas
- ~ Curvas de nivel
- ~ Cursos de agua
- Ciudad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS
 DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
 SAN LUCAS -DISTRITO DE CAJAMARCA

PLANO DE PENDIENTES

TESISTA: Bach. José Leonardo Mejía Valqui

ASESOR: Mcs. Roberto Severino Gonzales Yana

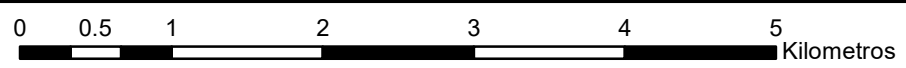
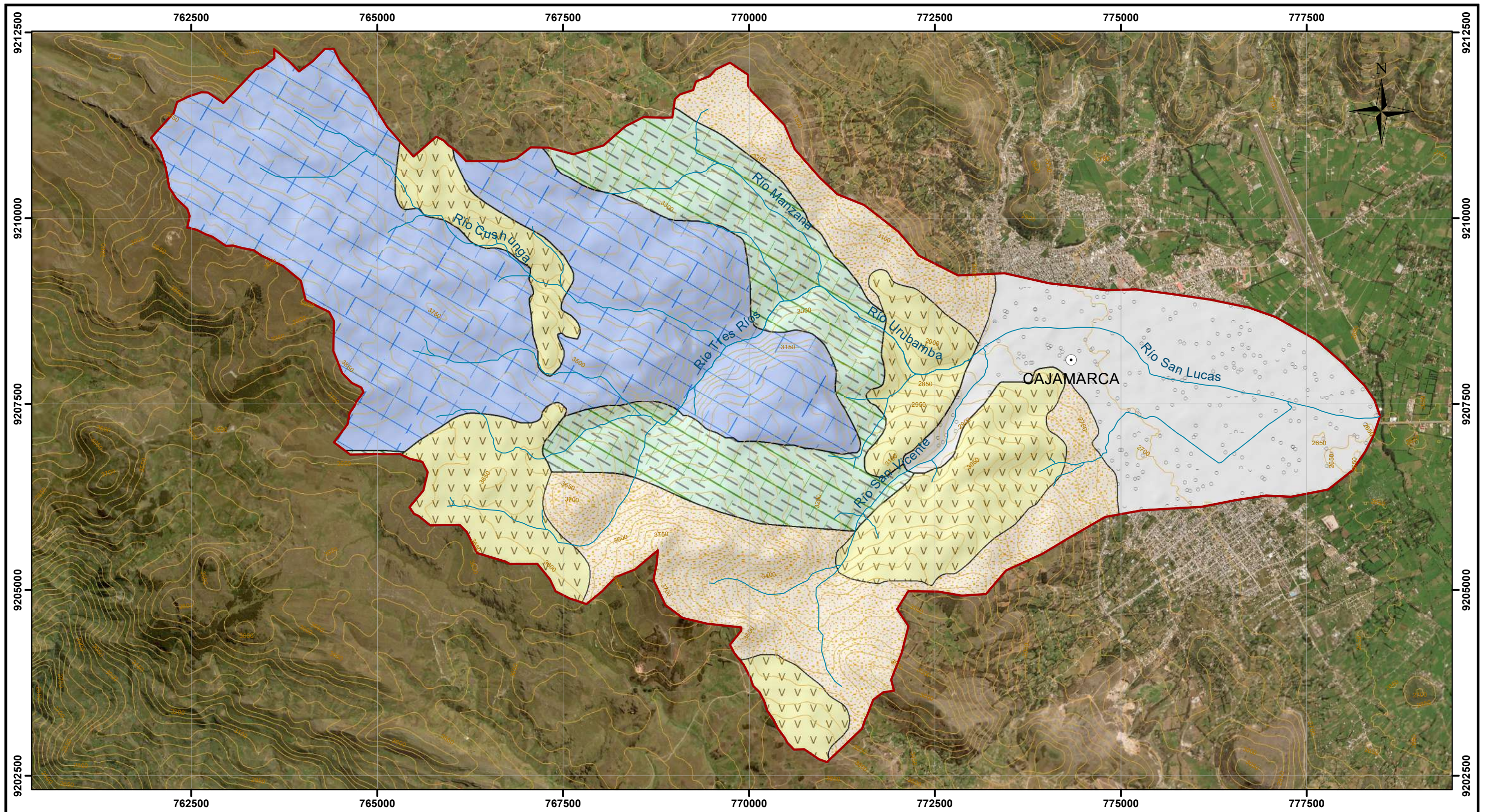
SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zona 17S

FECHA: julio de 2021

ESCALA: 1:50,000

PLANO

06



LEYENDA

LITOLOGÍA

- Depósitos cuaternarios
- Rocas volcánicas
- Rocas calcáreas
- Rocas calco-arcillosas
- Rocas areniscosas

SIMBOLOGÍA

- Microcuenca San Lucas
- Curvas de nivel
- Cursos de agua
- Ciudad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS
 DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
 SAN LUCAS -DISTRITO DE CAJAMARCA

PLANO DE UNIDADES LITOLÓGICAS

TESISTA: Bach. José Leonardo Mejía Valqui

ASESOR: Mcs. Roberto Severino Gonzales Yana

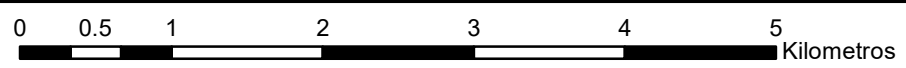
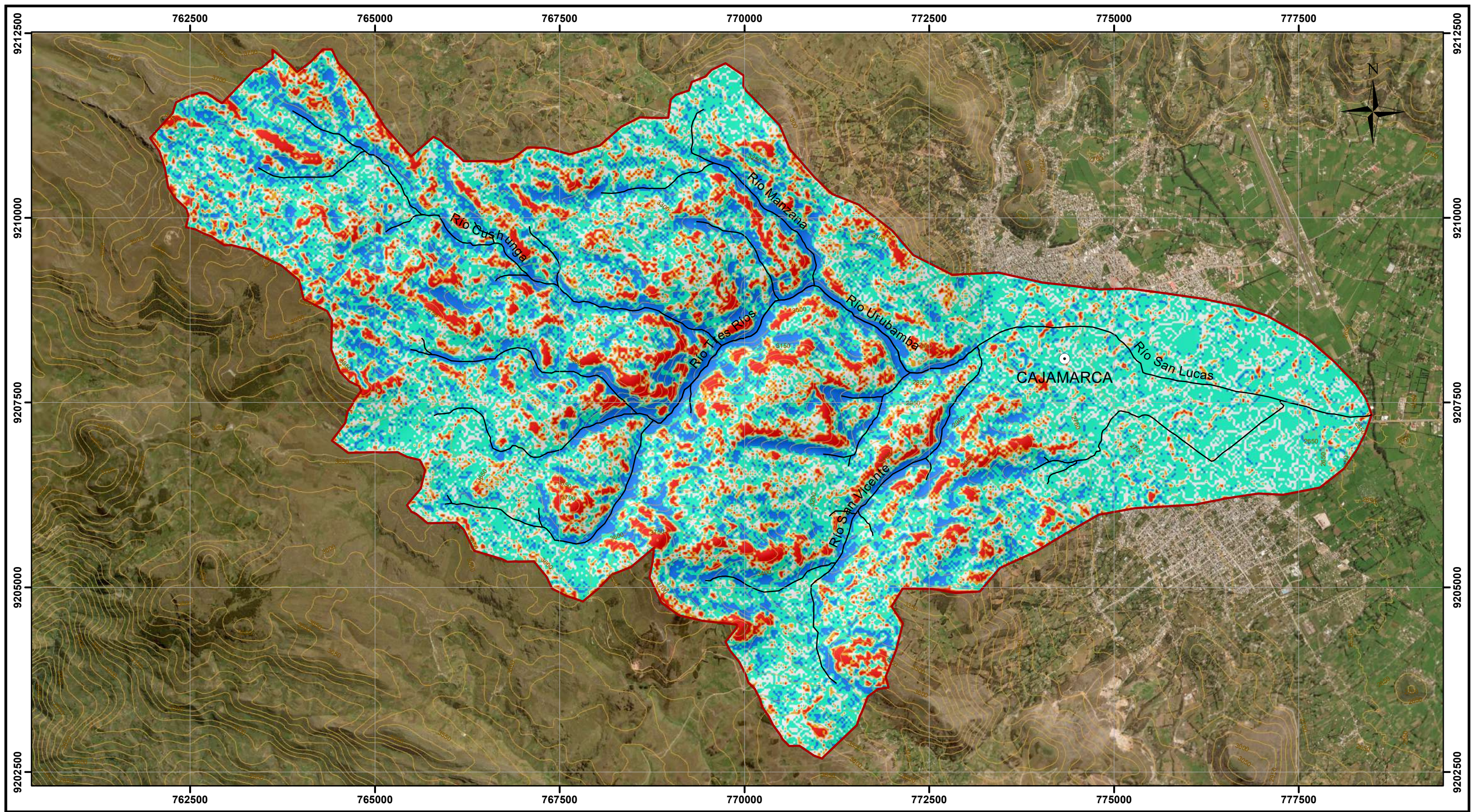
SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zona 17S

FECHA: julio de 2021

ESCALA: 1:50,000

PLANO

07



LEYENDA

CURVATURA DEL TERRENO

- Muy convexo
- Convexo
- Sin curvatura
- Cóncavo
- Muy Cóncavo

SIMBOLOGÍA

- Microcuenca San Lucas
- Curvas de nivel
- Cursos de agua
- Ciudad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS
 DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
 SAN LUCAS -DISTRITO DE CAJAMARCA

PLANO DE CURVATURA DEL TERRENO

TESISTA: Bach. José Leonardo Mejía Valqui

ASESOR: Mcs. Roberto Severino Gonzales Yana

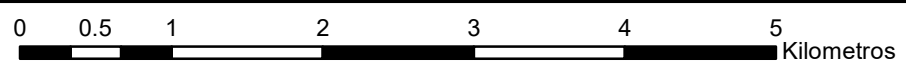
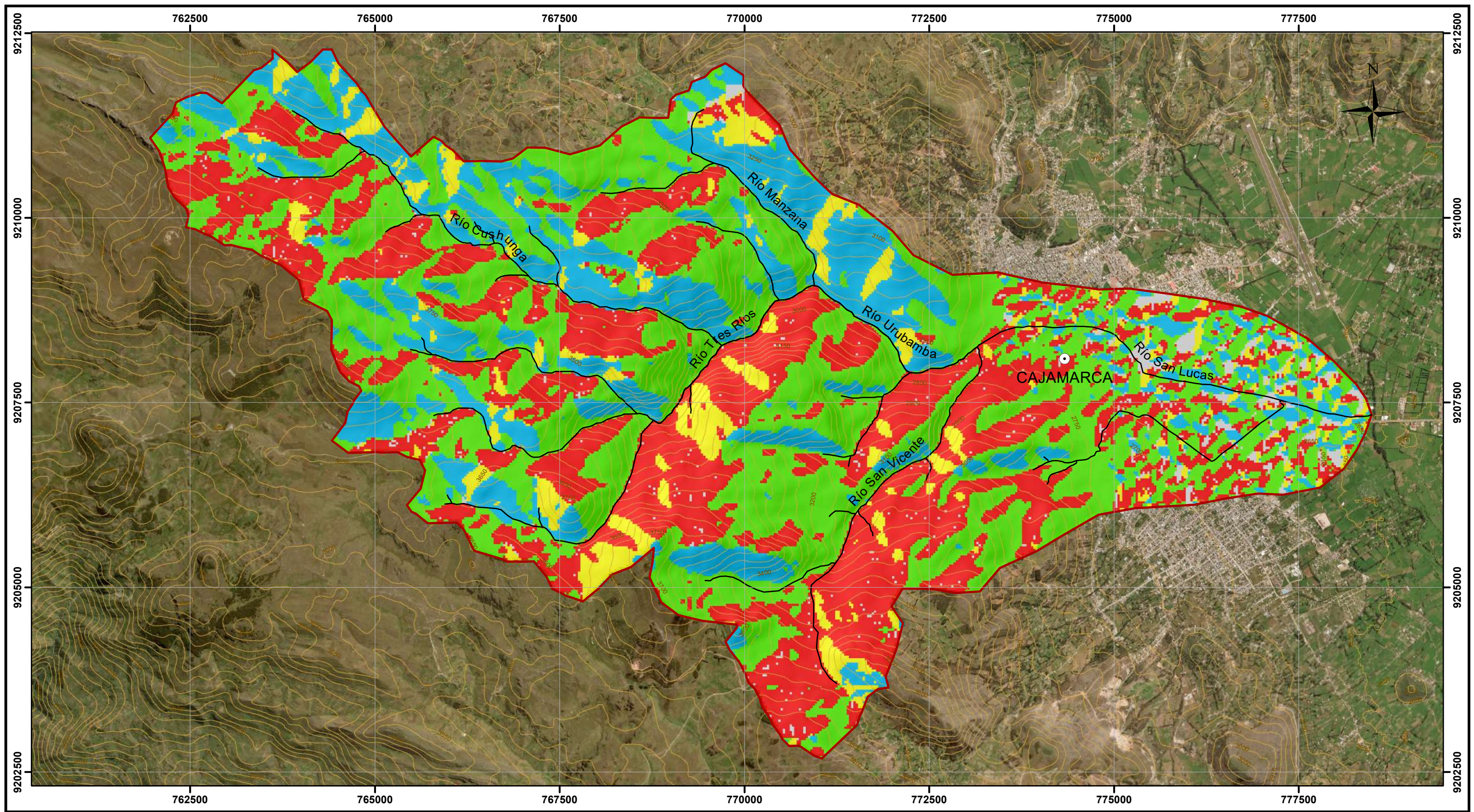
SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zona 17S

FECHA: julio de 2021

ESCALA: 1:50,000

PLANO

08



LEYENDA

ORIENTACIÓN DE LADERAS

- Terreno llano
- Terreno orientado al Norte
- Terreno orientado al Este
- Terreno orientado al Sur
- Terreno orientado al Oeste

SIMBOLOGÍA

- Microcuenca San Lucas
- Curvas de nivel
- Cursos de agua
- Ciudad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS
 DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
 SAN LUCAS -DISTRITO DE CAJAMARCA

PLANO DE ORIENTACIÓN DE LADERAS

TESISTA: Bach. José Leonardo Mejía Valqui

ASESOR: Mcs. Roberto Severino Gonzales Yana

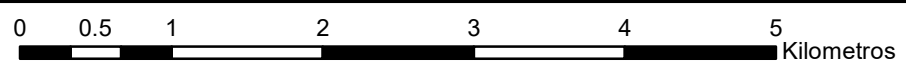
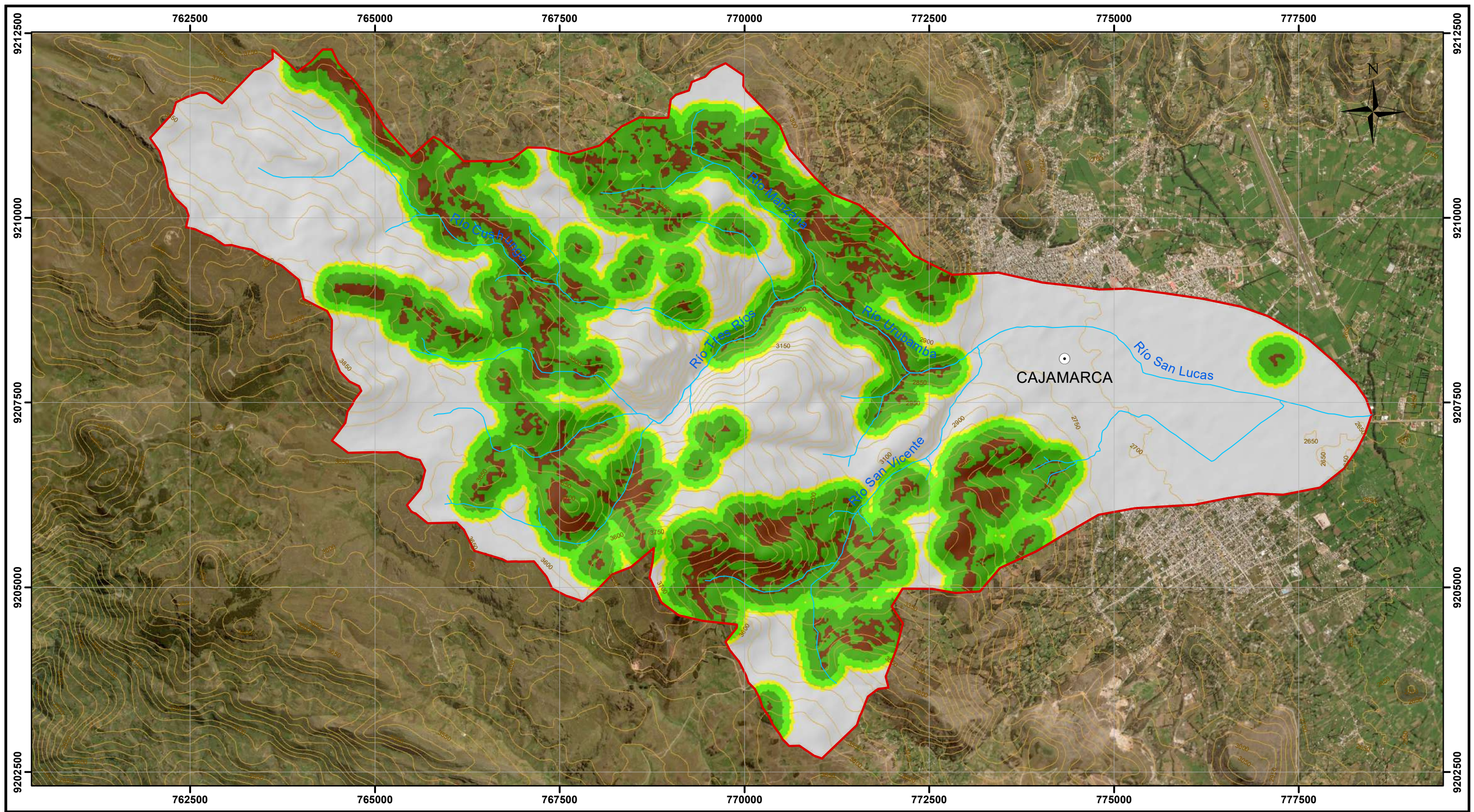
SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zona 17S

FECHA: julio de 2021

ESCALA: 1:50,000

PLANO

09



LEYENDA

- Zona de bosques
- Zona influencia inmediata
- Zona de influencia intermedia
- Zona de influencia lejana
- Zona sin influencia de vegetación

SIMBOLOGÍA

- Microcuenca San Lucas
- Curvas de nivel
- Cursos de agua
- Ciudad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS
 DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
 SAN LUCAS -DISTRITO DE CAJAMARCA

PLANO DE COBERTURA VEGETAL

TESISTA: Bach. José Leonardo Mejía Valqui

ASESOR: Mcs. Roberto Severino Gonzales Yana

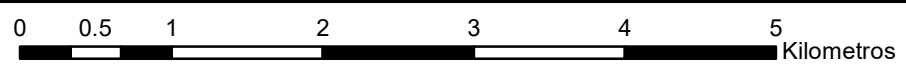
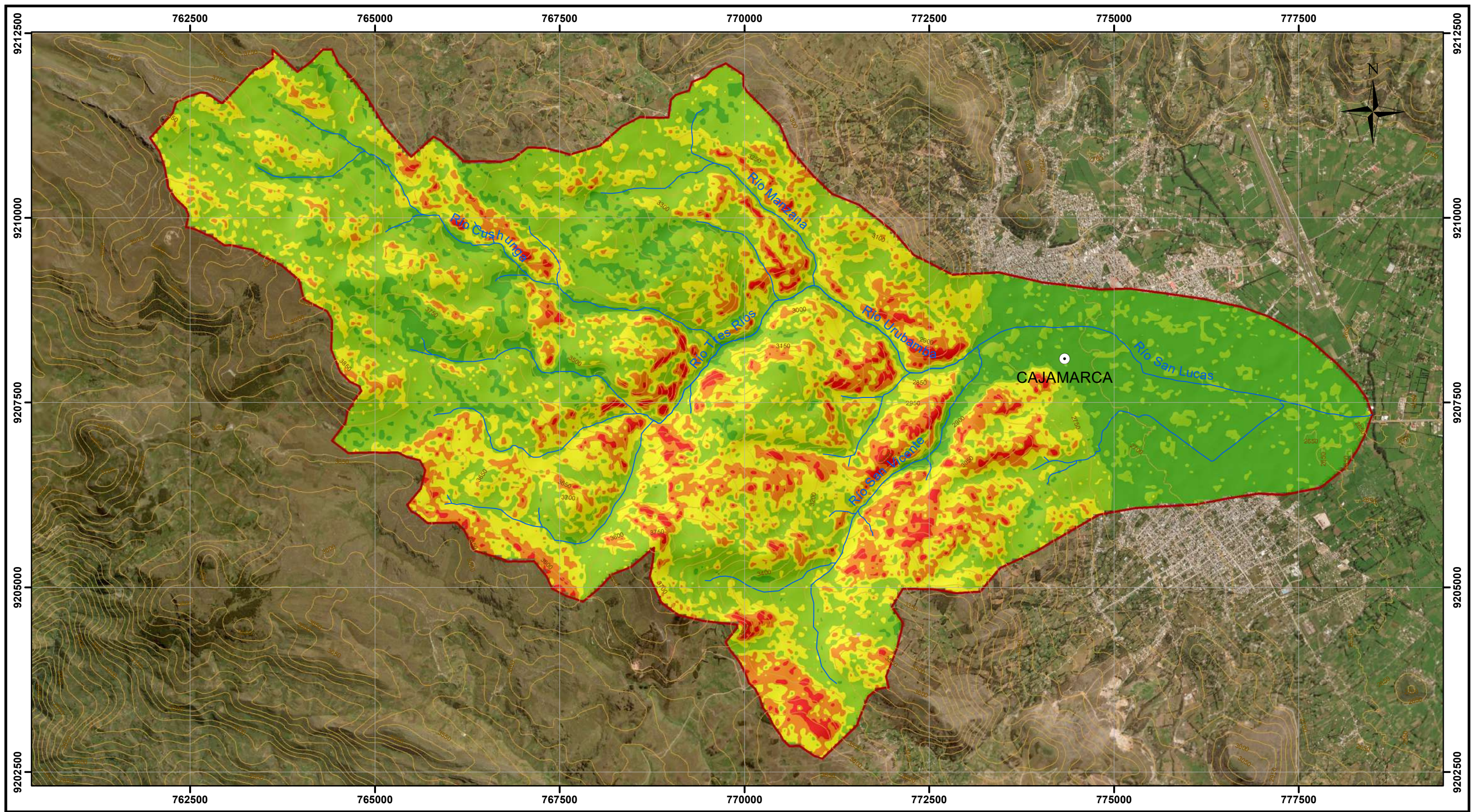
SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zona 17S

FECHA: julio de 2021

ESCALA: 1:50,000

PLANO

10



LEYENDA

GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD

- Nula o muy baja
- Baja
- Moderada
- Alta
- Muy alta

SIMBOLOGÍA

- Microcuenca San Lucas
- Curvas de nivel
- Cursos de agua
- Ciudad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS
 DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
 SAN LUCAS -DISTRITO DE CAJAMARCA

PLANO DE SUSCEPTIBILIDAD

TESISTA: Bach. José Leonardo Mejía Valqui

ASESOR: Mcs. Roberto Severino Gonzales Yana

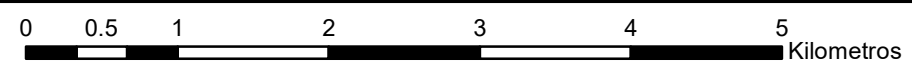
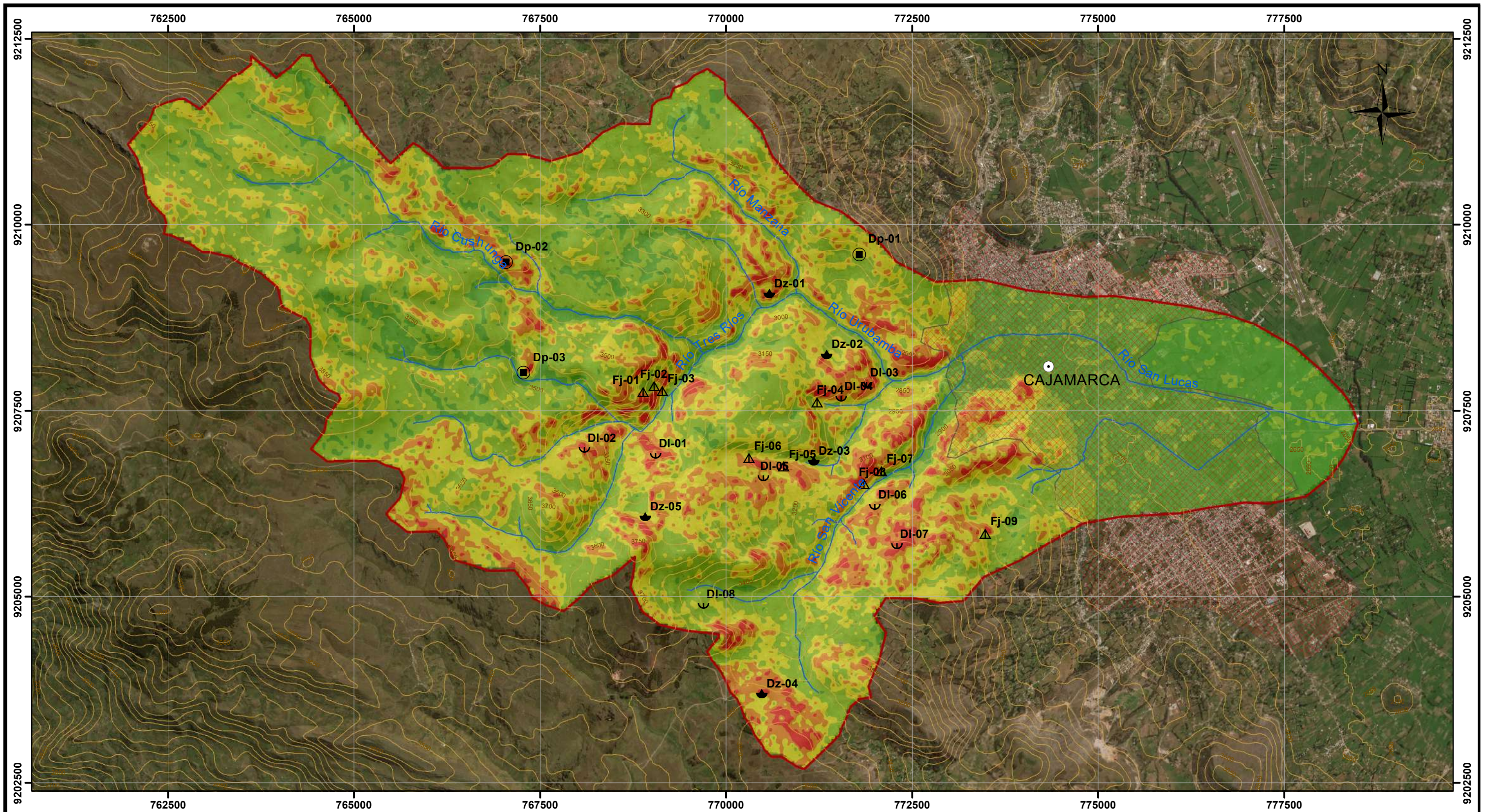
SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zona 17S

FECHA: julio de 2021

ESCALA: 1:50,000

PLANO

11



LEYENDA

MOVIMIENTOS DE LADERA

- Deslizamiento
- Desplazamiento lateral
- Desprendimiento
- Flujo

GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD

- Nula o casi nula
- Baja
- Moderada
- Alta
- Muy alta

SIMBOLOGÍA

- Microcuenca San Lucas
- Zona Urbana
- Curvas de nivel
- Cursos de agua
- Ciudad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ANÁLISIS DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS
 DE LADERA MEDIANTE SIG EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
 SAN LUCAS -DISTRITO DE CAJAMARCA

PLANO DE MOVIMIENTOS DE LADERA

TESISTA: Bach. José Leonardo Mejía Valqui

ASESOR: Mcs. Roberto Severino Gonzales Yana

SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zona 17S

FECHA: julio de 2021

ESCALA: 1:50,000

PLANO

12