

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



TESIS PROFESIONAL

**ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA DETERMINAR MOVIMIENTOS EN MASA
ENTRE LAS QUEBRADAS GAVILÁN Y HUAYLLARIO, DISTRITO DE SAN JUAN,
PROVINCIA DE CAJAMARCA**

**Para optar el título profesional de:
INGENIERO GEÓLOGO**

**Autor:
Bach. Lobato Cotrina, Wuido Elmer**

**Asesor:
Dr. Quispe Mamani, Crispín Zenón**

Cajamarca – Perú

2026

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador : Wuidor Elmer Lobato Cotrina

2. DNI : 74563077

3. Escuela Profesional : Ingeniería Geológica

4. Asesor : Crispín Zenón Quispe Mamani

Facultad : Ingeniería

5. Grado académico o título profesional

Bachiller Título profesional Segunda especialidad

Maestro Doctor

6. Tipo de Investigación:

Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

7. Título de Trabajo de Investigación: **ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA DETERMINAR MOVIMIENTOS EN MASA ENTRE LAS QUEBRADAS GAVILÁN Y HUAYLLARIO, DISTRITO DE SAN JUAN, PROVINCIA DE CAJAMARCA.**

8. Fecha de evaluación : 05 de enero de 2026

9. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)

10. Porcentaje de Informe de Similitud : 10%

11. Código Documento : Trn: Oid: 3117: 544315147

12. Resultado de la Evaluación de Similitud:

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

13. Fecha Emisión : 05 de enero de 2026



FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos: Crispín Zenón Quispe Mamani

DNI : 29243825



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258801 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 05/01/2026 21:32:11-0600

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 - Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA DETERMINAR MOVIMIENTOS EN MASA ENTRE LAS QUEBRADAS GAVILÁN Y HUAYLLARIO, DISTRITO DE SAN JUAN, PROVINCIA DE CAJAMARCA.*

ASESOR : *Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0021-2026-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 08 de enero de 2026, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **nueve días del mes de enero de 2026**, siendo las once horas (11:00 a.m.) en el Auditorium de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J – 210), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Secretario : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA DETERMINAR MOVIMIENTOS EN MASA ENTRE LAS QUEBRADAS GAVILÁN Y HUAYLLARIO, DISTRITO DE SAN JUAN, PROVINCIA DE CAJAMARCA*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Geológica *WUIDO ELMER LOBATO COTRINA*, asesorado por el Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 04 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 11 PTS.

EVALUACIÓN FINAL : 15 PTS QUINTuplicado..... (En letras)

En consecuencia, se lo declara 100% con el calificativo de QUINTuplicado..... acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 12:10 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Presidente

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Vocal

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Asesor

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que me brindaron su apoyo a lo largo de este trabajo. En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme fuerzas y motivación para lograr mis objetivos. A mi asesor de tesis, Dr. Quispe Mamani, Crispín Zenón por su orientación, paciencia y constante estímulo para alcanzar este objetivo. Su conocimiento y experiencia fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

Extiendo mi gratitud a los docentes del Departamento de Ingeniería Geológica por sus valiosas aportaciones y consejos, los cuales enriquecieron mi aprendizaje a lo largo de estos años.

Agradezco también a mi querida escuela Ingeniería Geológica y a mi alma mater Universidad Nacional de Cajamarca.

Finalmente, agradezco a mi familia y amigos, quienes me brindaron su incondicional apoyo emocional y motivación en los momentos más difíciles de este proceso. Su confianza en mí fue un pilar fundamental para culminar esta etapa.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres, Gloria y Alfonso, quienes con amor, esfuerzo y sacrificio me brindaron las herramientas para alcanzar mis metas. A ellos les debo todo lo que soy y todo lo que he logrado.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II.....	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	4
2.1.1. Internacionales	4
2.1.2. Nacionales	4
2.1.3. Locales	4
2.2. BASES TEÓRICAS	5
2.2.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG)	5
2.2.2. Movimientos en masa (MM)	7
2.2.3. Clasificación de movimientos en masa.....	7
2.2.3.1. Caída	8
2.2.3.2. Volcamiento	9
2.2.3.3. Deslizamiento	10
2.2.3.4. Propagación Lateral	12
2.2.3.5. Flujo.....	13

	Pág.
2.2.4. Susceptibilidad.....	14
2.2.5. Parámetros que intervienen en el cálculo de la susceptibilidad a movimientos en masa.....	15
2.2.5.1. Parámetros intrínsecos	15
2.2.5.2. Parámetros detonantes.....	17
2.2.6. Métodos de evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa	18
2.2.6.1. Proceso Analítico Jerárquico (AHP).....	19
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	20
CAPÍTULO III	21
MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
3.1.1. Geográfica	21
3.1.2. Política	21
3.2. ACCESIBILIDAD	22
3.3. CLIMA Y VEGETACIÓN	23
3.3.1. Clima.....	23
3.3.2. Vegetación	24
3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	24
3.4.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación	24
3.4.2. Población de estudio	25
3.4.3. Muestra.....	25
3.4.4. Unidad de análisis.....	25
3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
3.4.6. Análisis e interpretación de datos	26
3.4.6.1. Análisis de la susceptibilidad	26

	Pág.
CAPÍTULO IV	30
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	30
4.1. ESTRATIGRAFÍA	30
Grupo Goyllarisquizga	30
4.1.1. Formación Chimú.....	30
4.1.2. Formación Santa.....	31
4.1.3. Formación Carhuaz.....	31
4.1.4. Formación Farrat.....	31
4.1.5. Formación Inca	31
Grupo Crisnejas	31
4.1.6. Formación Chúlec	31
4.1.7. Formación Pariatambo	31
Grupo Pulluicana	32
4.1.8. Formación Yumagual.....	32
Depósitos Cuaternarios	32
4.1.9. Depósitos Coluviales (Q-co).....	32
4.1.10. Depósitos Aluviales (Q-al)	32
4.2. UNIDADES MORFOGENÉTICAS	33
4.2.1. Planicies	33
4.2.2. Lomadas	34
4.2.3. Laderas	35
4.2.4. Escarpes	36
4.3. DENSIDAD HÍDRICA	37
4.4. USO DE SUELOS	37
4.5. EVALUACIÓN MEDIANTE EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO	38

	Pág.
4.5.1. Análisis y cálculo de pesos de los parámetros intrínsecos	38
4.5.2. Análisis del parámetro litología.....	40
4.5.3. Análisis del parámetro unidades morfogenéticas.....	43
4.5.4. Cálculo de pesos de la densidad hídrica	47
4.5.5. Cálculo de pesos de uso de suelos	51
4.5.6. Cálculo del mapa de susceptibilidad a movimientos en masa	54
4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	58
4.7. VALIDACIÓN DE DATOS	59
4.8. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	63
CAPÍTULO V	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
5.1. CONCLUSIONES	64
5.2. RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Componentes de un SIG.....	6
Figura 2: Esquema de la caída de rocas.....	8
Figura 3: Esquema del vuelco en bloque.	9
Figura 4: Esquema de un deslizamiento traslacional.....	10
Figura 5: Esquema de un deslizamiento rotacional mostrando los rasgos morfológicos característicos.....	11
Figura 6: Perfil del deslizamiento mostrado en la Figura 5.	11
Figura 7: Esquema de expansiones laterales.....	13
Figura 8: Esquema de flujos canalizados y no canalizados.....	14
Figura 9: Corte esquemático típico de un flujo de detritos. Frente con bloques de un pulso del flujo de detritos (diagrama de Pierson, 1986).....	14
Figura 10: Métodos de evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa y algunas de las técnicas más utilizadas en cada tipo.	18
Figura 11: Ubicación del área de estudio.	21
Figura 12: Accesibilidad mediante vía asfaltada desde la ciudad de Cajamarca.	22
Figura 13: Temperatura máxima y mínima promedio.....	23
Figura 14: Vegetación característica predominando eucaliptos y pinos.....	24
Figura 15: Jerarquía de los parámetros intrínsecos de la investigación.	27
Figura 16: Nivel de influencia en las clases de un parámetro.....	28
Figura 17: Unidades litológicas presentes del cuadrángulo de San Marcos - Hoja 15-g.....	30
Figura 18: Planicies presentes en la zona fluvial.....	33
Figura 19: Lomadas presentes en las zonas bajas.	34
Figura 20: Laderas presentes en las zonas con altitudes medias.....	35
Figura 21: Escarpes en la zona este.	36
Figura 22: Mapa del parámetro litología.	42

Pág.

Figura 23: Mapa del parámetro unidades morfogenéticas (UM).....	46
Figura 24: Mapa del parámetro densidad hídrica.	50
Figura 25: Mapa del parámetro uso de suelos.	53
Figura 26: Mapa de susceptibilidad resultado de la operación algebraica en el SIG.	57
Figura 27: Validación del mapa de susceptibilidad con inventario de movimientos en masa.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Clasificación de los movimientos en masa.....	8
Tabla 2: Rutas de acceso al área de estudio.....	22
Tabla 3: Clasificación de los tipos de investigación utilizados en esta investigación.....	25
Tabla 4: Descripción de los parámetros intrínsecos resaltando la importancia y pesos de cada uno.	39
Tabla 5: Pesos asignados a las unidades litológicas.	40
Tabla 6: Áreas de cada una de las clases del parámetro litología.	41
Tabla 7: Clasificación de las unidades morfogenéticas según la pendiente del terreno.	43
Tabla 8: Pesos asignados a las Unidades Morfogenéticas.....	44
Tabla 9: Áreas de cada una de las clases del parámetro unidades morfogenéticas.	45
Tabla 10: Clasificación y asignación de pesos para el parámetro de densidad hídrica.	48
Tabla 11: Áreas de cada clase del parámetro densidad hídrica.	49
Tabla 12: Clasificación y asignación de pesos para el parámetro de uso de suelos.	51
Tabla 13: Áreas de cada una de las clases del parámetro uso de suelos.....	52
Tabla 14: Descripción de los niveles de susceptibilidad.	55
Tabla 15: Áreas de cada uno de los niveles de susceptibilidad.	56
Tabla 16: Inventario de los movimientos en masa identificados en el área de estudio.....	60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1: Representación gráfica del área en porcentaje de las clases del parámetro litología.....	41
Gráfico 2: Representación gráfica del área en porcentaje de las clases del parámetro unidades morfogenéticas.....	45
Gráfico 3: Representación gráfica del área en porcentajes de las clases del parámetro densidad hídrica.....	49
Gráfico 4: Representación gráfica del área en porcentaje de cada una de las clases del parámetro uso de suelos.....	52
Gráfico 5: Representación gráfica de las áreas en porcentajes de los niveles de susceptibilidad.....	56
Gráfico 6: Relación del número de movimientos en masa con el nivel de susceptibilidad del mapa resultado.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS

AD	: Análisis discriminante
AHP	: Proceso Analítico Jerárquico
INDECI	: Instituto Nacional de Defensa Civil
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
GPS	: Sistema de Posicionamiento Global
MDE	: Modelo Digital de Elevaciones
MM	: Movimientos en Masa
SIG	: Sistema de Información Geográfico
UM	: Unidades Morfogenéticas

RESUMEN

Debido a las condiciones geológicas y a las pendientes pronunciadas presentes en la zona de estudio, existe un elevado riesgo de deslizamientos, desprendimientos y flujos, los cuales pueden afectar la estabilidad del terreno y representar un peligro para las comunidades cercanas. El objetivo principal de esta investigación fue analizar la susceptibilidad a movimientos en masa en un área de 24 km² ubicada entre las quebradas Gavilán y Huayllario en el distrito de San Juan, Cajamarca. Se empleó un enfoque basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG), integrando parámetros intrínsecos del terreno como la litología, las unidades morfogenéticas, la densidad hídrica y el uso de suelos. Mediante el método del Proceso Analítico Jerárquico (AHP), se asignaron pesos a estos parámetros para generar un mapa de susceptibilidad. Los resultados indicaron que la litología y las unidades morfogenéticas son los parámetros más influyentes en la inestabilidad, seguidos por la densidad hídrica y el uso de suelos. El área se clasificó en cinco niveles de susceptibilidad: muy alta (2%), alta (28%), moderada (39%), baja (26%) y muy baja (5%). La validación del mapa con un inventario de 40 movimientos en masa mostró que la mayoría de estos eventos ocurrieron en áreas con susceptibilidad alta o muy alta, confirmando la fiabilidad del análisis. El estudio concluye con una serie de recomendaciones para la gestión del riesgo en áreas susceptibles, incluyendo el uso de drones para obtener información más detallada del relieve y la incorporación de imágenes de mayor resolución.

Palabras clave: Susceptibilidad, Movimientos en masa, Sistemas de información Geográfica (SIG), Análisis Jerárquico.

ABSTRACT

Due to the geological conditions and steep slopes present in the study area, there is a high risk of landslides, rockfalls, and debris flows, which can affect terrain stability and pose a threat to nearby communities. The main objective of this research was to analyze the susceptibility to mass movements in a 24 km² area located between the Gavilán and Huayllario ravines in the district of San Juan, Cajamarca. A Geographic Information System (GIS)-based approach was applied, integrating intrinsic terrain parameters such as lithology, morphogenetic units, hydric density, and land use. Through the Analytical Hierarchical Process (AHP) method, specific weights were assigned to these parameters to generate a susceptibility map. The results indicated that lithology and morphogenetic units are the most influential parameters in slope instability, followed by hydric density and land use. The study area was classified into five susceptibility levels: very high (2%), high (28%), moderate (39%), low (26%), and very low (5%). Validation of the susceptibility map using an inventory of 40 mass movement events showed that most of these occurred in areas with high or very high susceptibility, confirming the reliability of the analysis. The study concludes with recommendations for risk management in susceptible areas, including the use of drones to obtain more detailed topographic information and the incorporation of higher-resolution imagery.

Keywords: Susceptibility, Mass movements, Geographic information systems (GIS), Hierarchical analysis.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los movimientos en masa son fenómenos geodinámicos que tienen lugar en la superficie terrestre donde se desarrollan las principales actividades humanas, están entre los riesgos de origen geológico más extendidos alrededor del mundo, causan cada año pérdidas económicas y afectan de manera significativa la integridad de las personas. Es muy importante utilizar metodologías modernas para generar información geocientífica que pueda contribuir a la planificación y prevención a nivel distrital y regional en forma inmediata.

En esta investigación se plantea dar respuesta a la siguiente cuestión: ¿Cuál es el nivel de susceptibilidad a movimientos en masa asociados a la zona entre las quebradas Gavilán y Huayllario, distrito de San Juan, provincia de Cajamarca? Se espera que áreas con litología de suelos sedimentarios de baja cohesión, unidades morfogenéticas caracterizadas por pendientes pronunciadas, densidad hídrica con alta acumulación de agua y uso de suelos que propicie la erosión y la inestabilidad, muestren un mayor nivel de susceptibilidad a los movimientos en masa en comparación con áreas que no presenten estas características.

Entre las quebradas Gavilán y Huayllario en el distrito de San Juan, provincia de Cajamarca, se encuentra una carretera que es la principal vía de comunicación con otras zonas de la región. Sin embargo, esta infraestructura vial está expuesta a movimientos en masa, específicamente a deslizamientos y caída de rocas, lo que puede poner en riesgo la seguridad de los habitantes y la economía de la localidad. El análisis de la susceptibilidad a movimientos en masa asociados con esta carretera y alrededores es esencial para identificar las áreas más susceptibles y proponer medidas de prevención y mitigación que minimicen los impactos negativos en la población y la infraestructura vial. Por lo tanto, esta investigación es relevante para la planificación del desarrollo sostenible de la zona, así como para la seguridad de la población y la infraestructura vial.

La sierra norte del Perú es una región caracterizada por su topografía montañosa y su clima variable, lo que la hace vulnerable a diversos fenómenos naturales como lo son los movimientos en masa, sin que existan planes de contingencia adecuados que ayuden a minimizar el impacto generado por estos desastres, así como, planes preventivos que permitan estar preparados y hacer frente a estos sucesos. En particular, en la localidad de San Juan, se ha experimentado tales movimientos en masa como lo son deslizamientos, caída de rocas, entre otros, producto de la erosión y fracturamiento del material rocoso presente principalmente en los taludes de una de las vías principales que conectan a la localidad de San Juan con la ciudad de Cajamarca y también su conexión como vía principal

hacia la costa peruana, lo que afecta negativamente la seguridad y el bienestar de sus habitantes. Por lo tanto, el objetivo principal de esta tesis es analizar la susceptibilidad para determinar movimientos en masa utilizando los Sistemas de Información Geográfica (SIG), recopilando datos en campo que servirán como datos de validación del modelo geológico de susceptibilidad entre las quebradas Gavilán y Huayllario, distrito de San Juan, provincia de Cajamarca y evaluar la susceptibilidad a la ocurrencia de estos fenómenos. Asimismo, se busca recomendar medidas de prevención y mitigación que permitan minimizar los impactos negativos de este tipo de riesgos geológicos en la localidad.

La hipótesis propone que, los parámetros condicionantes como la litología, unidades morfogenéticas, densidad hídrica y uso de suelos presentan una influencia significativa en la determinación del nivel de susceptibilidad a movimientos de masa en la zona entre las quebradas Gavilán y Huayllario. Se espera que áreas con litología de suelos sedimentarios de baja cohesión, litología, unidades morfogenéticas caracterizadas por pendientes pronunciadas, hidrología con alta acumulación de agua y uso de suelos que propicie la erosión y la inestabilidad, muestren un mayor nivel de susceptibilidad a los movimientos en masa en comparación con áreas que no presenten estas características.

La presente tesis se estructura en cinco capítulos, cada uno de los cuales contribuye a la comprensión integral de esta investigación: El capítulo I corresponde a la Introducción donde se ofrece un resumen conciso del contenido total de la tesis, estableciendo así el contexto y la relevancia de la investigación. El capítulo II denominado Marco Teórico aborda los antecedentes del tema, dividiéndose en subcapítulos específicos. En primer lugar, se presenta un análisis de los antecedentes a nivel internacional, nacional y local. Posteriormente, un subcapítulo dedicado a las Bases Teóricas, fundamentales para el desarrollo de la investigación. Por último, se detallan las Definiciones de los Términos Básicos. El capítulo III lleva por título Materiales y Métodos en donde se describen los procedimientos y la metodología empleada en la investigación. Los subcapítulos incluyen la Ubicación del Área de Estudio, los Procedimientos utilizados, la Metodología de Investigación, la Identificación de Variables, y se detallan las Técnicas, Instrumentos y Equipos empleados. El capítulo IV denominado Análisis y Discusión de Resultados, este capítulo se divide en dos subcapítulos. El primero se centra en la presentación de los análisis de los parámetros y resultados obtenidos a lo largo de la investigación. El segundo, Contrastación de la Hipótesis, compara estos resultados con la hipótesis inicialmente planteada, permitiendo evaluar la validez de las predicciones. El capítulo V comprende a las Conclusiones y Recomendaciones, en este último capítulo, se presentan las conclusiones derivadas de los objetivos planteados.

Además, se proporcionan recomendaciones basadas en los hallazgos de la investigación, apuntando a posibles áreas de desarrollo futuro.

La tesis concluye con una sección dedicada a las referencias bibliográficas, donde se citan todas las fuentes utilizadas en el trabajo, y una sección de anexos, que incluye información adicional que complementa y respalda el contenido principal de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. Internacionales

Castro (2018), realizó un estudio el cual se centra en el riesgo geológico de remociones en masa, definida como procesos gravitacionales, donde se involucra la movilización de materiales como suelo y/o roca, sin contar los procesos de subsidencia y hundimientos kársticos. Los resultados obtenidos demostraron que el riesgo de remociones en masa está asociado a las altas pendientes en una ladera al norte de la zona urbana producida por una falla normal activa, a su vez el factor antrópico ha sido de gran relevancia ya que producto de su camino principal construido a provocado constantemente caídas de roca en el sector.

2.1.2. Nacionales

Apaza & Olivera (2021), en su investigación sobre evaluación de riesgo geológico ante movimientos en masa en el Cusco lograron determinar geológicamente, geomorfológicamente y estructuralmente el nivel de riesgo y vulnerabilidad en diferentes zonas del estudio. Además, propusieron medidas de prevención y mitigación estructurales y no estructurales, así mismo buscan promover la socialización de mapas de zonificación de riesgo.

Gómez & Luna (2020), elaboraron un informe técnico para el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) sobre la evaluación de peligros geológicos por deslizamientos y reptaciones en la región Lima, analizando las unidades geológicas y geomorfológicas presentes en el área de estudio la cual se consideró de Peligro Muy Alto a la ocurrencia de deslizamientos y reptaciones que pueden ser desencadenados por fuertes precipitaciones en la temporada lluviosa y por movimientos sísmicos. Además, se brindó recomendaciones que se consideraron importantes para que las autoridades locales pongan en práctica.

2.1.3. Locales

Hernández (2021), realizó una evaluación de peligros geológicos y elaboró un mapa de susceptibilidad en la zona de Huambocancha Baja, donde identificó los factores condicionantes de la inestabilidad; la litología, la pendiente, la dureza de las rocas y la cobertura vegetal. Así mismo, identificó 11 movimientos de masa en el área de influencia y elaboró el mapa de susceptibilidad superponiendo 7 mapas factores indicando así las zonas desde susceptibilidad muy baja a susceptibilidad muy alta.

Alva (2019), en su investigación acerca de peligros geológicos en la localidad de San Marcos, realizó la identificación de los peligros geológicos predominantes los cuales son los deslizamientos, hundimientos y socavación de terreno; siendo los principales factores condicionantes la litología, la pendiente, la hidrología, y la actividad antrópica, e identificando como zonas de mayor riesgo las aledañas a los cauces de los ríos que bordean la localidad.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema que crea, gestiona, analiza y mapea todo tipo de datos. Un SIG conecta datos a un mapa, integrando datos de ubicación (dónde están las cosas) con todo tipo de información descriptiva (cómo son las cosas ahí). Esto proporciona una base para el mapeo y el análisis que se utiliza en la ciencia y en casi todas las industrias. SIG ayuda a los usuarios a comprender patrones, relaciones y contexto geográfico. Los beneficios incluyen una mejor comunicación y eficiencia, así como una mejor gestión y toma de decisiones (ESRI, 2024).

Un SIG, es un “Sistema informatizado para la captura, almacenamiento, obtención, análisis y visualización de información espacial” (Clarke, 1997) que tiene cuatro componentes principales, que son el hardware, el software, la información espacial y el personal especializado.

El hardware viene a ser los componentes físicos y tangibles de un sistema informático o electrónico. Estos elementos incluyen dispositivos, circuitos, cables, y cualquier otro componente físico que se pueda tocar y que forma parte de una computadora, dispositivo móvil u otro sistema electrónico.

El software se refiere a los programas y datos que componen un sistema informático. Es la parte lógica e intangible de un sistema, que incluye aplicaciones, sistemas operativos, controladores y otros programas que permiten el funcionamiento de un dispositivo o computadora.

La información espacial comprende datos con referencia a su posición en un sistema de coordenadas y se distingue por un identificador único, así como una serie de atributos que describen sus propiedades distintivas. Estos atributos representan las observaciones que caracterizan a los datos espaciales. Esta información puede organizarse en dos formatos principales: vectoriales o matriciales.

Los formatos vectoriales se usan para representar la realidad como puntos, líneas y polígonos. Ejemplos de estos son los formatos: dwg, dgn, shapefile entre otros.

Los formatos matriciales sirven para representar aspectos de la realidad con una distribución heterogénea en el espacio, e incluso la de un instante dado (imágenes de satélite). Como ejemplos de este tipo de formatos tenemos: Grid de ESRI, Tiff, jpg, entre otros (Villacorta, 2007).

El personal especializado viene a ser la persona con una buena preparación y formación en el uso de las herramientas informáticas que en su conjunto (hardware y software) que permiten el máximo aprovechamiento de la información espacial, desde su creación, importación y exportación hasta su análisis combinado y preparación de los resultados (Villacorta, 2007).

Debe entenderse, pues, un SIG, como un elemento complejo que engloba una serie de otros elementos conectados, cada uno de los cuales desempeña una función particular. Estos elementos son, como iremos viendo más adelante, los datos, los procesos, la visualización, la tecnología y el factor organizativo.

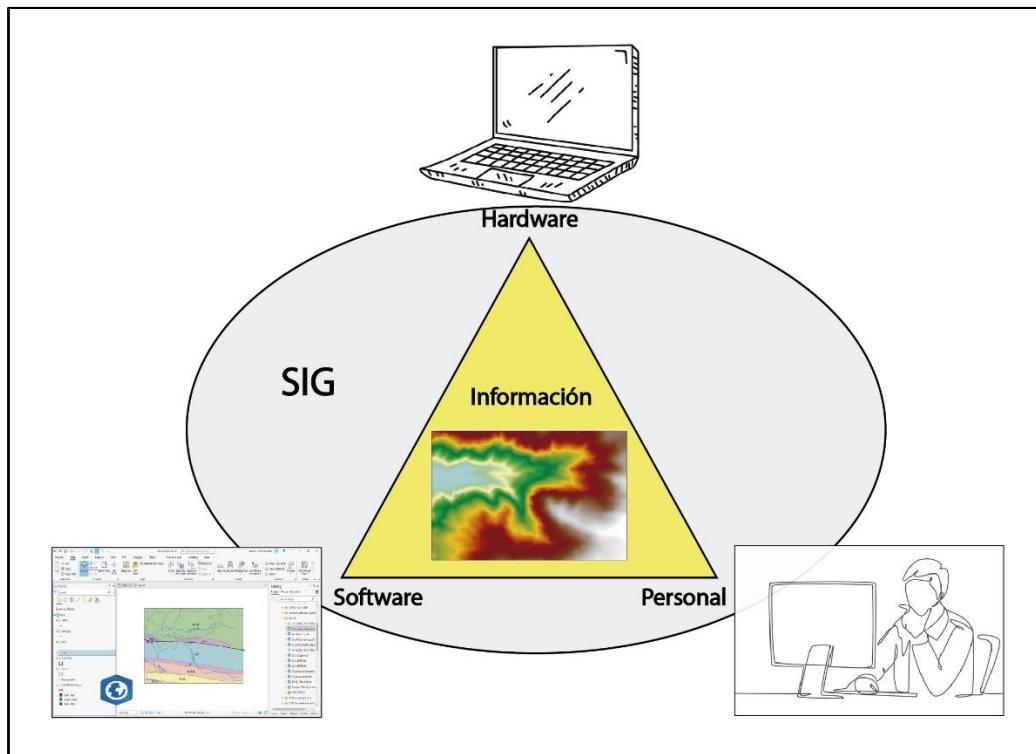


Figura 1: Componentes de un SIG.

Fuente: Modificado de Villacorta, (2007).

2.2.2. Movimientos en masa (MM)

Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. Los tipos más frecuentes son: caídas, deslizamientos, flujos, vuelcos, expansiones laterales, reptación de suelos, entre otros. Existen movimientos extremadamente rápidos (más de 5 m por segundo) como avalanchas y/o deslizamientos, hasta extremadamente lentos (menos de 16 mm por año) a imperceptibles como la reptación de suelos (INGEMMET, 2018).

Movimientos en masa en Perú

La diversidad de riesgos geológicos que se manifiestan de manera constante en el territorio peruano ha desempeñado un papel crucial en la formación y transformación del entorno natural; muchos de estos eventos representan amenazas significativas para la vida y la propiedad. Los movimientos en masa, dada su repetición periódica en nuestro país, adquieren una importancia sustancial que no puede pasarse por alto.

Los deslizamientos, caídas, avalanchas y flujos, conocidos como "huaicos" en Perú, son más frecuentes en las laderas de las cordilleras y los valles interandinos, y están estrechamente vinculados a las características de las rocas, los suelos y las pendientes de las colinas. Estos eventos son desencadenados principalmente por intensas precipitaciones, actividad sísmica y el uso indebido de tierras agrícolas.

Los flujos continuos, especialmente durante períodos de lluvias intensas, impactan negativamente en zonas habitadas, carreteras e infraestructuras. A lo largo de la historia, grandes movimientos en masa en nuestro país, como aluviones o "huaicos", deslizamientos, avalanchas de rocas y derrumbes, han causado la destrucción de culturas, asentamientos urbanos y centros mineros, alterando y modelando de manera significativa el paisaje andino peruano (INGEMMET, 2018).

2.2.3. Clasificación de movimientos en masa

Diversas clasificaciones internacionales de movimientos en masa han evolucionado a lo largo del tiempo, siendo la clasificación original de Varnes en la década de los 70 una referencia fundamental. No obstante, en 1996, Varnes y Cruden decidieron actualizar dicha clasificación, centrándose en la caracterización del tipo de movimiento y la naturaleza de los materiales afectados. A lo largo de los años, diversos autores han introducido variables y criterios de clasificación adicionales, como los mecanismos de falla, la edad, la geomorfología (pendientes), la ubicación geográfica, el clima y la intervención humana (Caviedes y Chaparro, 2021).

Tabla 1: Clasificación de los movimientos en masa.

Tipo de Movimiento	Tipo de Material		
	Roca	Suelo	
		De Grano Grueso	De Grano Fino
Caída	De rocas	De detritos	De suelos
Volcamiento o Basculamiento	De rocas	De detritos	De suelos
Deslizamiento	Rotacional	De rocas	De suelos
	Traslacional	De rocas	De suelos
Separación Lateral	De rocas	De detritos	De suelos
Flujos	De rocas	De detritos	De suelos
Movimientos Complejos	Combinación de dos o más Peligros		

Fuente: Obtenido de INDECI, (2011).

2.2.3.1. Caída

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978).

Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento.

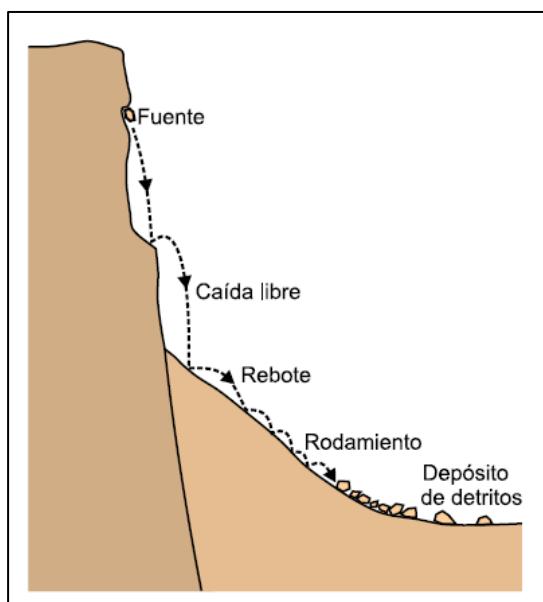


Figura 2: Esquema de la caída de rocas.

Fuente: Varnes D. , (1978)

2.2.3.2. Volcamiento

Se refiere a un tipo de movimiento en masa en el cual se produce una rotación, generalmente hacia adelante, de uno o varios bloques de roca o suelo alrededor de un punto o pivote de giro ubicado en su parte inferior. Este movimiento es inducido por la gravedad, por empujes de unidades adyacentes o la presión de fluidos presentes en grietas (Varnes D. , 1978).

Goodman y Bray (1976) diferencian el vuelco de bloques del vuelco flexural. El primero involucra roca relativamente competente, donde el fallamiento ocurre por pérdida de estabilidad y rotación de uno o varios bloques a partir de un punto en su base, semejante al vuelco de libros en un estante. El volcamiento de bloques es controlado por una orientación específica de discontinuidades y generalmente está asociado a velocidades altas. El vuelco flexural, en cambio, involucra roca más frágil y densamente diaclasada; el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas delgadas. Los movimientos en este caso pueden ser lentos y graduales.

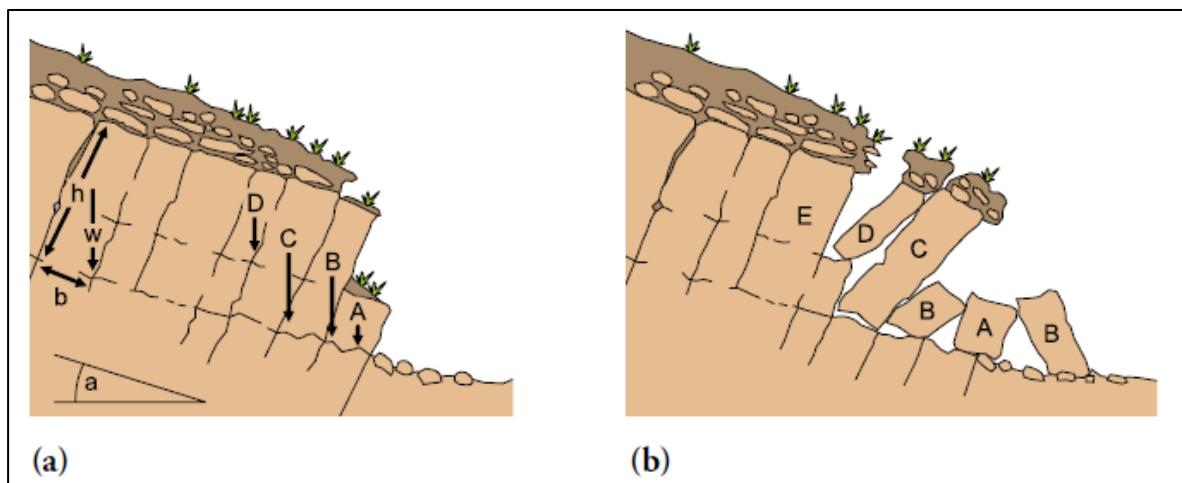


Figura 3: Esquema del vuelco en bloque.

Fuente: Varnes D. , (1978)

2.2.3.3. Deslizamiento

El INGEMMET (2007) describe un deslizamiento como “un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante” (p. 38).

En el sistema de Varnes (1978), se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en translacionales y rotacionales. Los deslizamientos translacionales a su vez pueden ser planares o en cuña. Sin embargo, las superficies de rotura de movimientos en masa son generalmente más complejas que las de los dos tipos anteriores, pues pueden consistir de varios segmentos planares y curvos, en tal caso se hablará de deslizamientos compuestos (Hutchinson, 1988).

Deslizamiento translacional

Se refiere a un tipo de deslizamiento en el cual la masa se desplaza a lo largo de una superficie de falla que puede ser plana u ondulada. En términos generales, estos movimientos tienden a ser más superficiales que los rotacionales, y con frecuencia el desplazamiento ocurre a lo largo de discontinuidades tales como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que se encuentra sobre ella (Cruden y Varnes, 1996).

“En un macizo rocoso, este mecanismo de falla ocurre cuando una discontinuidad geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la de la cara del talud y buza hacia ésta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción” (Hoek y Bray, 1981).

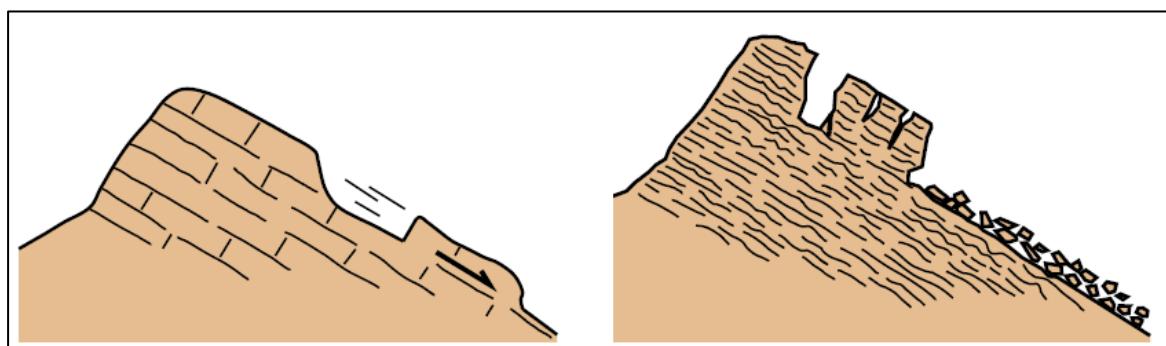


Figura 4: Esquema de un deslizamiento translacional.

Fuente: Varnes D. , (1978)

Deslizamiento rotacional

Se trata de un tipo de deslizamiento en el que la masa se desplaza a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales exhiben una morfología característica que se distingue por un escarpe principal pronunciado y una pendiente opuesta de la superficie en la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada suele ser mínima. Dado que el mecanismo rotacional es autoestabilizante y ocurre en rocas poco competentes, la velocidad de movimiento tiende a ser baja, a menos que estén presentes materiales altamente frágiles, como las arcillas sensitivas (INGEMMET, 2007).

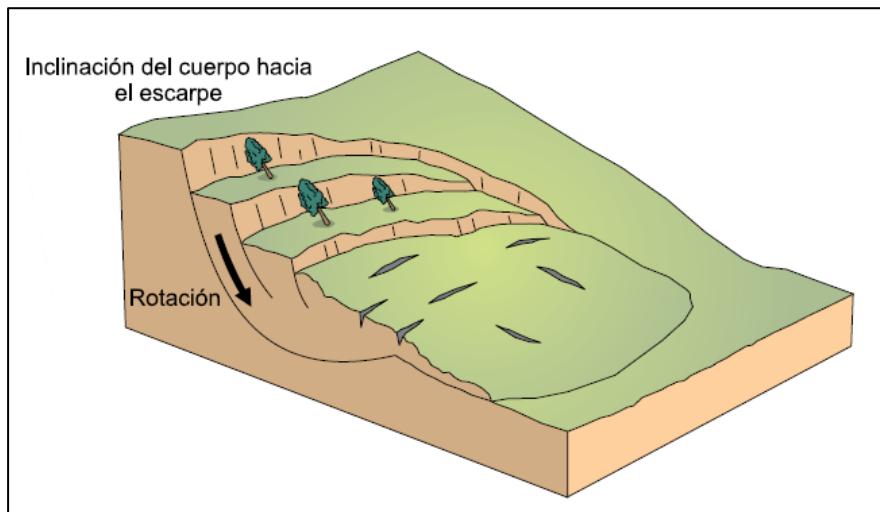


Figura 5: Esquema de un deslizamiento rotacional mostrando los rasgos morfológicos característicos.

Fuente: Sales et al., (2002).

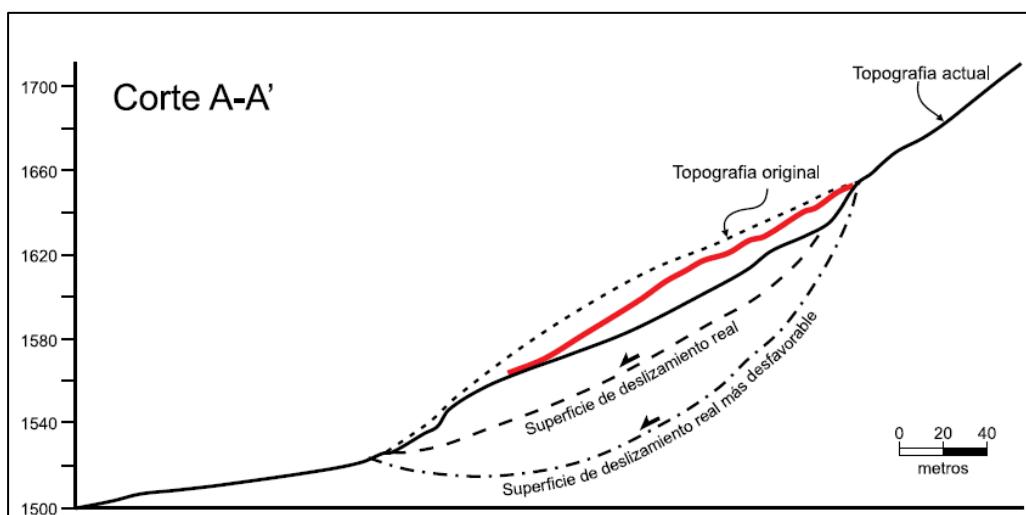


Figura 6: Perfil del deslizamiento mostrado en la Figura 5.

Fuente: Tomado de Sales et al., (2002).

Como se mencionó antes, algunos deslizamientos tienen superficies de falla que no son ni rotacionales ni planares. Este tipo de deslizamiento es denominado por Hutchinson (1988) deslizamiento compuesto. La superficie de ruptura se desarrolla a lo largo de planos de plegamiento, o por la intersección de varias discontinuidades planares o por la combinación de superficies de ruptura y de planos de debilidad de la roca. El movimiento a lo largo de superficies de deslizamiento compuestas no es cinemáticamente posible sin que ocurra cizalla interna significativa en el cuerpo del deslizamiento (Hutchinson, 1988).

2.2.3.4. Propagación Lateral

La propagación o expansión lateral se refiere a una categoría de movimientos en masa en la cual el desplazamiento ocurre principalmente debido a la deformación interna, en este caso, una expansión del material. La mayoría de los deslizamientos y flujos involucran algún grado de expansión, pero en las propagaciones laterales, este fenómeno se destaca como la fase final en una serie de movimientos. En esta etapa, la deformación interna predomina de manera significativa sobre otros mecanismos de desplazamiento, como los presentes en los deslizamientos o flujos (INGEMMET, 2007).

Varnes (1978) distingue dos tipos de propagación, uno en que el movimiento afecta a todo el material sin distinguirse la zona basal de cizalla, típico de masas rocosas, y otro que ocurre en suelos cohesivos que sobreyacen a materiales que han sufrido licuefacción o a materiales en flujo plástico.

Debe hacerse una distinción importante entre las propagaciones laterales lentas, como las que se observan en estratos rocosos gruesos que se sitúan sobre materiales blandos, y aquellas que implican la licuación de materiales sensibles, como arenas saturadas con una densidad relativa baja a media, así como limos y arcillas sensitivas.

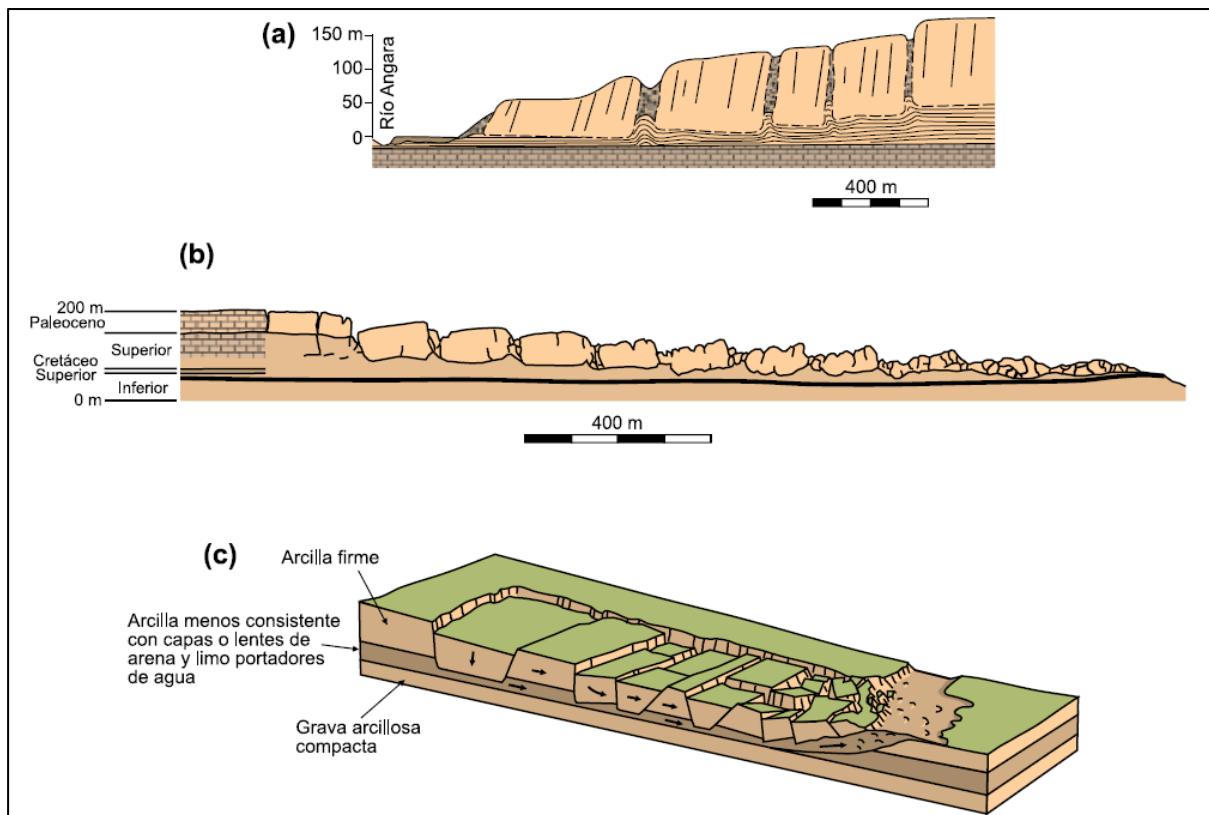


Figura 7: Esquema de expansiones laterales.

Fuente: Obtenido de Varnes (1978).

2.2.3.5. Flujo

Se trata de un tipo de movimiento en masa que, durante su desplazamiento, presenta una conducta similar a la de un fluido. Este puede manifestarse con rapidez o lentitud, estando saturado o en estado seco. En numerosas ocasiones, este tipo de movimientos se origina a partir de otros eventos, como un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Es crucial realizar una distinción entre los diversos tipos de flujos al evaluar la amenaza a la que se enfrenta una determinada área, ya que el potencial destructivo es característico de cada tipo. Por ejemplo, resulta fundamental diferenciar entre el flujo de detritos y la avalancha de detritos. En el caso del flujo de detritos, que se caracteriza por ser un movimiento en masa canalizado, el análisis de amenazas debe enfocarse en una ruta predeterminada o canal, así como en el área de deposición o abanico, que son las zonas potencialmente afectadas. En contraste, una avalancha de detritos tiene la capacidad de desplazarse sobre áreas abiertas en laderas de pendiente pronunciada. Es importante destacar que las avalanchas de detritos a menudo encuentran un canal preexistente y se transforman en flujos de detritos (INGEMMET, 2007).

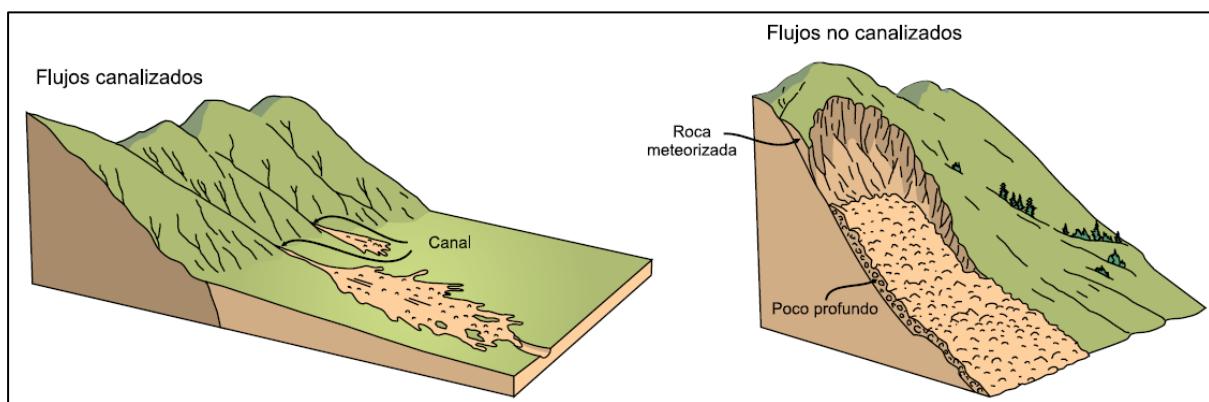


Figura 8: Esquema de flujos canalizados y no canalizados.

Fuente: Cruden y Varnes (1996).

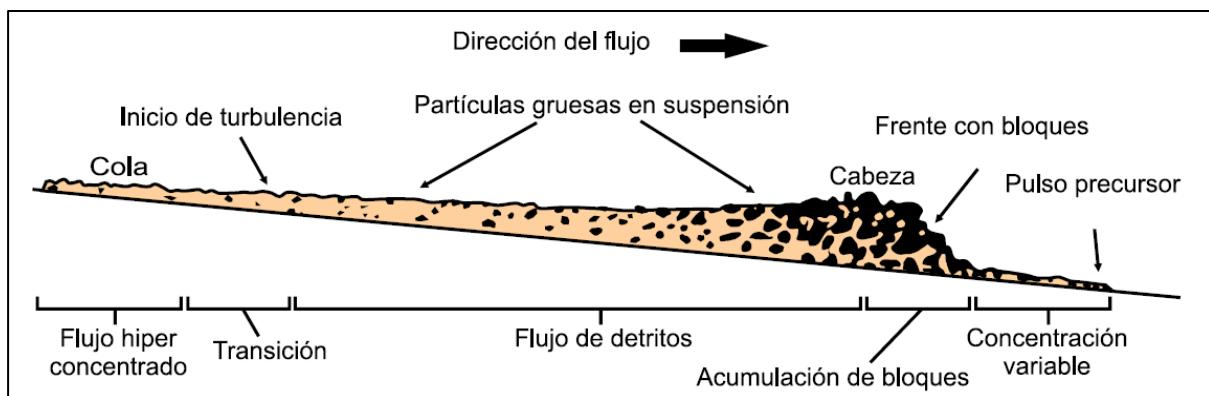


Figura 9: Corte esquemático típico de un flujo de detritos. Frente con bloques de un pulso del flujo de detritos (diagrama de Pierson, 1986).

Fuente: Cruden y Varnes (1996).

2.2.4. Susceptibilidad

La susceptibilidad a movimientos en masa se define como la capacidad potencial o la posibilidad de generar inestabilidad en una zona específica, evaluada a través de las propiedades intrínsecas del terreno. Los parámetros detonantes tales como la precipitación, sismicidad o acción antrópica no se consideran para el cálculo.

El análisis de los movimientos de masas está estrechamente vinculado a los parámetros condicionantes y desencadenantes, variables que deben ser comprendidas para evaluar el riesgo de ocurrencia y tomar decisiones para mitigar o corregir el fenómeno. Estas variables comprometen la estructura geológica, la litología, los aspectos hidrogeológicos y la morfología; son condiciones naturales o influencias humanas que pueden aumentar o reducir

el esfuerzo cortante, lo que a su vez puede provocar o desencadenar la inestabilidad de los macizos rocosos (Rodríguez, Método De Investigación Geológico-Geotécnico Para El Análisis De Inestabilidad De Laderas Por Deslizamientos Zona Ronquillo-Corisorgona, 2016).

Según Varnes (1984), “La susceptibilidad a movimientos en masa representa un dato esencial para la evaluación de la peligrosidad. Esta última se define como la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente perjudicial en un área específica durante un período determinado de tiempo”.

La susceptibilidad, en la mayoría de los casos, indica la facilidad con la que puede ocurrir un fenómeno, considerando los parámetros condicionantes o intrínsecos específicos de la roca o el suelo. Es esencialmente una característica del terreno que revela cuán propicias o desfavorables son las condiciones para la posible ocurrencia de eventos amenazantes (Suarez, 1998).

2.2.5. Parámetros que intervienen en el cálculo de la susceptibilidad a movimientos en masa

La estabilidad del terreno en una pendiente se encuentra en función de diversos parámetros, los cuales pueden separarse en dos grupos: los intrínsecos y detonantes. A continuación, se describe cada uno.

2.2.5.1. Parámetros intrínsecos

“Estas son las características del terreno y las propiedades del material que tienen un impacto directo en las diversas tipologías de deslizamientos, en los mecanismos y patrones de ruptura” (Almaguer, 2006).

Los más utilizados y de mayor influencia son: litología, pendientes (UM), cobertura vegetal, estructuras geológicas, drenaje, hidrología (porosidad, permeabilidad y capacidad de transmitir el agua) y los calculados a partir de un MDE (altitudes, orientaciones, concavidad-convexidad).

Elección de los parámetros intrínsecos a utilizar

Es fundamental reconocer que cada parámetro ejerce un nivel variable de influencia en la generación de movimientos en masa. Por lo tanto, es crucial definir cada uno de estos parámetros para luego compararlos y seleccionar los más adecuados para el área de estudio. A continuación, se detallan estos parámetros:

Litología: La litología se compone de los materiales que afloran en la superficie, que pueden ser roca, suelo, detrito o una combinación de ellos, y cuyas propiedades mecánicas y físicas

contribuyen a la "Calidad del Material". Los movimientos en masa ocurren cuando hay presencia de este material aflorante, es decir, no se produce movimiento sin la existencia de un material que pueda ser afectado por agentes externos como lluvias, sismos o actividad humana. Por lo tanto, la litología puede considerarse como el principal parámetro influyente.

Unidades Morfogenéticas: Rodrigues, (2018) Define las UM como: "El resultado del proceso morfogenético sobre las geoestructuras y está relacionado al análisis mediante las teorías geomorfológicas, teniendo como resultado final las Unidades Morfogenéticas (UM), que representan los procesos de cambios de la corteza terrestre hasta la actualidad".

Una UM de mayor acción erosiva tiene mayor influencia para que el material presente rotura que las zonas de menor actividad.

Planicies

Una planicie se define como una superficie relativamente uniforme y estable en su morfología, con una topografía suavemente ondulada y una baja tasa de erosión en la actualidad. Presenta pendientes que van desde 0° a 8° y está compuesta por depósitos aluviales y fluvio-aluviales, los cuales son el resultado de procesos de erosión que han transportado y depositado sedimentos provenientes de las rocas circundantes. Estas planicies suelen asociarse comúnmente al Cuaternario, aunque pueden encontrarse en cualquier tipo de litología y presentar diferentes orígenes y edades (Rodriguez, 2018).

Lomadas

Las lomadas se definen como superficies de tendencia dómica, pequeñas elevaciones, homogéneas y pendientes suaves. Su rango de pendientes está entre 8° y 20°, y sirven parcialmente como terrenos de pastoreo, agricultura y ganadería. Litológicamente se encuentra en cualquier formación sedimentaria, volcánica o intrusiva (Rodriguez, 2018).

Laderas

Son superficies inclinadas que se encuentran en una cadena montañosa, pendientes en el intervalo de 20° a 50° y pueden afectar a cualquier tipo de litología.

Escarpas

El intervalo de inclinación de las escarpas debe ser mayor de 50°, ya que con esta pendiente existe una mayor tendencia a la inestabilidad, lo que puede provocar deslizamientos, volcamientos y derrumbes en las rocas si son alteradas en su medio natural (Rodriguez, 2018).

Densidad hídrica: La hidrología es la ciencia que estudia el ciclo del agua en la Tierra, incluyendo su distribución, circulación y comportamiento en los diferentes compartimentos del medio ambiente, como los océanos, ríos, lagos, glaciares, suelos y atmósfera. Esta disciplina se encarga de analizar los procesos hidrológicos, como la precipitación, escorrentía, infiltración, evaporación, transpiración y el almacenamiento de agua en sus diversas formas, así como sus interacciones con el medio ambiente y los seres vivos.

Es esta investigación nos centraremos en la densidad hidrológica, este parámetro está influenciado por una variedad de características topográficas, tales como la pendiente del terreno, la forma de la cuenca hidrográfica, la rugosidad del suelo y la cobertura vegetal. Cuanto mayor sea el factor de concentración, mayor será la tendencia de esa área para dirigir el agua hacia ciertos puntos de salida, lo que puede aumentar el riesgo de inundaciones o ser parámetro intrínseco para la susceptibilidad a un movimiento en masa.

La concentración de drenajes superficiales se refiere al proceso mediante el cual el flujo de agua superficial tiende a concentrarse en ciertos puntos dentro de una cuenca hidrográfica o una región determinada. Esta concentración puede ocurrir debido a una serie de factores, incluyendo la topografía, la permeabilidad del suelo, la vegetación, la erosión y la red de drenaje existente.

Uso de suelos: Indica el nivel de presencia de vegetación, este parámetro contribuye significativamente a aumentar la resistencia al corte del suelo y a protegerlo contra la erosión. Esto se debe a que las raíces de las plantas actúan como anclajes que ayudan a mantener unidos los materiales del suelo. Sin embargo, la efectividad de este mecanismo está limitada por la profundidad hasta la cual se extienden las raíces y varía según el tipo de vegetación presente en el área. Aunque la presencia de vegetación puede mejorar la estabilidad del terreno hasta cierto punto, no garantiza por completo la ausencia de movimientos en masa. Por lo tanto, aunque es considerada como un parámetro importante, se ubica en cuarto lugar en términos de su influencia en la estabilidad del suelo (Blanco, 2013).

2.2.5.2. Parámetros detonantes

Blanco, (2013) cita a Seisdedos, (2008) que menciona parámetros detonantes como: Aumento del régimen de lluvias, la ocurrencia de sismos o la actividad antrópica, controlan la magnitud y velocidad de los movimientos en masa, porque actúan sobre el terreno modificando las condiciones de equilibrio del área, por los cambios que generan en las propiedades geotécnicas del material.

2.2.6. Métodos de evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa

Los métodos para evaluar la susceptibilidad a movimientos en masa se dividen en dos grupos principales: cuantitativos y semicuantitativos. Los métodos cuantitativos implican el uso de instrumentos como piezómetros e inclinómetros para medir directamente las propiedades físicas del terreno. Estos datos se procesan utilizando técnicas avanzadas como redes neuronales artificiales o modelos numéricos. Los métodos semicuantitativos, por otro lado, determinan la influencia de cada parámetro intrínseco de manera indirecta mediante el uso de técnicas heurísticas y probabilísticas. Las técnicas heurísticas realizan análisis y comparaciones entre los parámetros intrínsecos para obtener un valor numérico (peso) asignado por la interpretación de las características del terreno por parte del investigador. Algunas de las técnicas más comunes incluyen la Combinación de Factores y el Proceso Analítico Jerárquico (Blanco, 2013).

Las técnicas probabilísticas emplean herramientas estadísticas del tipo univariante o multivariante para determinar una función matemática que represente el comportamiento de la variable "movimiento en masa" en función de la combinación de los "parámetros intrínsecos". Para establecer esta función, es necesario recopilar información de áreas con historial de inestabilidad (mediante un mapa de inventario) y realizar un análisis estadístico para obtener un valor (peso) que indique la influencia de los parámetros intrínsecos en el potencial de generación de movimientos en masa.

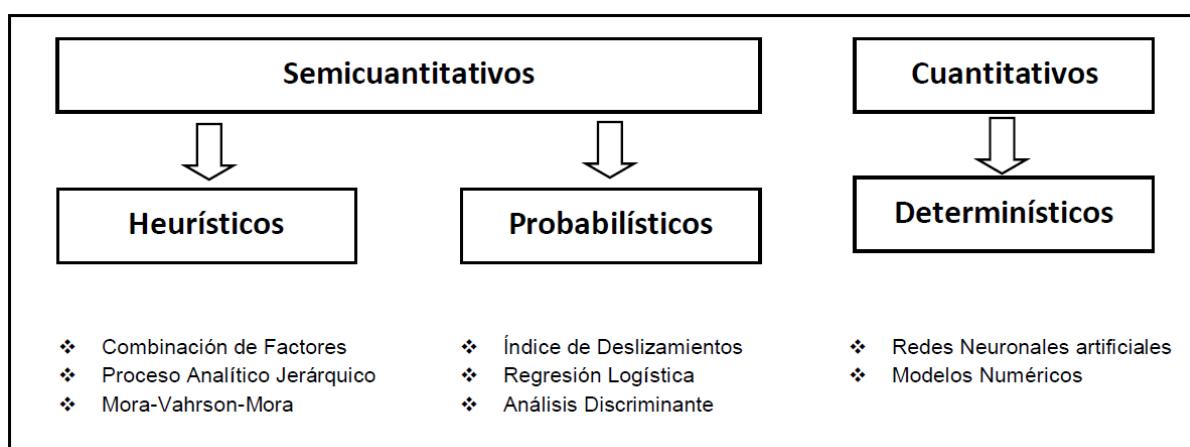


Figura 10: Métodos de evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa y algunas de las técnicas más utilizadas en cada tipo.

Fuente: Obtenido de Blanco, (2013).

2.2.6.1. Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

El Proceso Analítico Jerárquico o AHP (Analytic Hierarchy Process), fue desarrollado por Saaty (1980), quien aplica este método en áreas como: diseño urbano, planificación territorial, toma de decisiones, entre otras. Posteriormente diversos autores lo aplican para evaluar la susceptibilidad a movimientos en masa.

El método comienza por identificar o definir el fenómeno de interés, luego lo subdivide en parámetros que contribuyen a su ocurrencia, para posteriormente clasificarlos según su importancia e influencia, asignándoles un valor numérico (peso) individual a cada uno.

El AHP permite organizar los parámetros que influyen en el problema en diferentes niveles jerárquicos. En este caso, la jerarquía se organiza de la siguiente manera:

Nivel 1: El objetivo principal, que es la determinación de la susceptibilidad a los movimientos en masa.

Nivel 2: Parámetros de influencia que se consideran a la litología, unidades morfogenéticas, densidad hídrica y uso del suelo.

Nivel 3: Son las clases o categorías dentro de cada parámetro principal, como los diferentes tipos de litología o coberturas vegetales.

Una de las características clave del AHP es que realiza comparaciones por pares entre los distintos parámetros, utilizando una escala de importancia de 1 a 5. Por ejemplo, si se considera que la litología es más importante que el uso de suelo, en la comparación litología-uso del suelo se asignará un valor mayor a la litología.

Una vez realizada la comparación por pares, se calculan los pesos o índices de importancia de cada parámetro mediante un proceso de normalización y la obtención de autovalores, lo que permite determinar de manera cuantitativa la influencia de cada parámetro en la susceptibilidad a movimientos de masa.

AHP proporciona un enfoque estructurado que permite cuantificar las diferencias de importancia entre varios parámetros que influyen en los movimientos en masa. Esto es particularmente útil en este tipo de investigación, donde se manejan múltiples variables.

El AHP permite que la experiencia y el conocimiento del investigador se integren en el análisis.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Peligros geológicos

El INGEMMET sugiere que “los peligros geológicos son procesos o fenómenos geológicos que podrían ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud. Daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y servicios, trastornos sociales y económicos o daños materiales”.

Remoción en masa

Esto sucede por procesos geológicos o climáticos, que afectan a la superficie terrestre, desestabilizándola. Cruden (1991), explica que “Las remociones en masa son procesos gravitacionales, donde se involucra la movilización de materiales, tales como; roca, suelo o derrubios excluyendo procesos de subsidencia y hundimientos kársticos”.

Susceptibilidad a movimientos en masa

La susceptibilidad a movimientos en masa es definida como la potencialidad posibilidad de generar inestabilidad en un área específica evaluada mediante las propiedades intrínsecas del terreno. Los parámetros detonantes tales como la precipitación, sismicidad o acción antrópica no se consideran para el cálculo (Cruden y Varnes, 1996).

Vulnerabilidad

Es el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada. Depende de las características del elemento considerado (no de su valor económico) y de la intensidad del fenómeno; suele evaluarse entre 0 (sin daño) y 1 (pérdida o destrucción total del elemento) o entre 0 % y 100% de daños. (González de Vallejo et al., 2004)

Mitigación

Es una intervención para reducir los riesgos y daños y tomar medidas o acciones para modificar determinadas circunstancias. Cuando se refiere a desastres, se toma una acción para modificar la característica de una amenaza ayudando a un sistema biológico, físico o social a reducir su vulnerabilidad. (Alberti et al., 2006)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Geográfica

Geográficamente, está delimitada entre las quebradas Gavilán y Huayllario, abarcando una extensión aproximada de 24 km². Esta área se sitúa a una altitud promedio que varía entre los 2,000 y 3,500 metros sobre el nivel del mar, dentro de la cordillera de los Andes, en una región caracterizada por terrenos montañosos y quebradas pronunciadas.

3.1.2. Política

El área forma parte del distrito de San Juan, que es uno de los distritos de la provincia de Cajamarca que a su vez es la capital del departamento de Cajamarca.

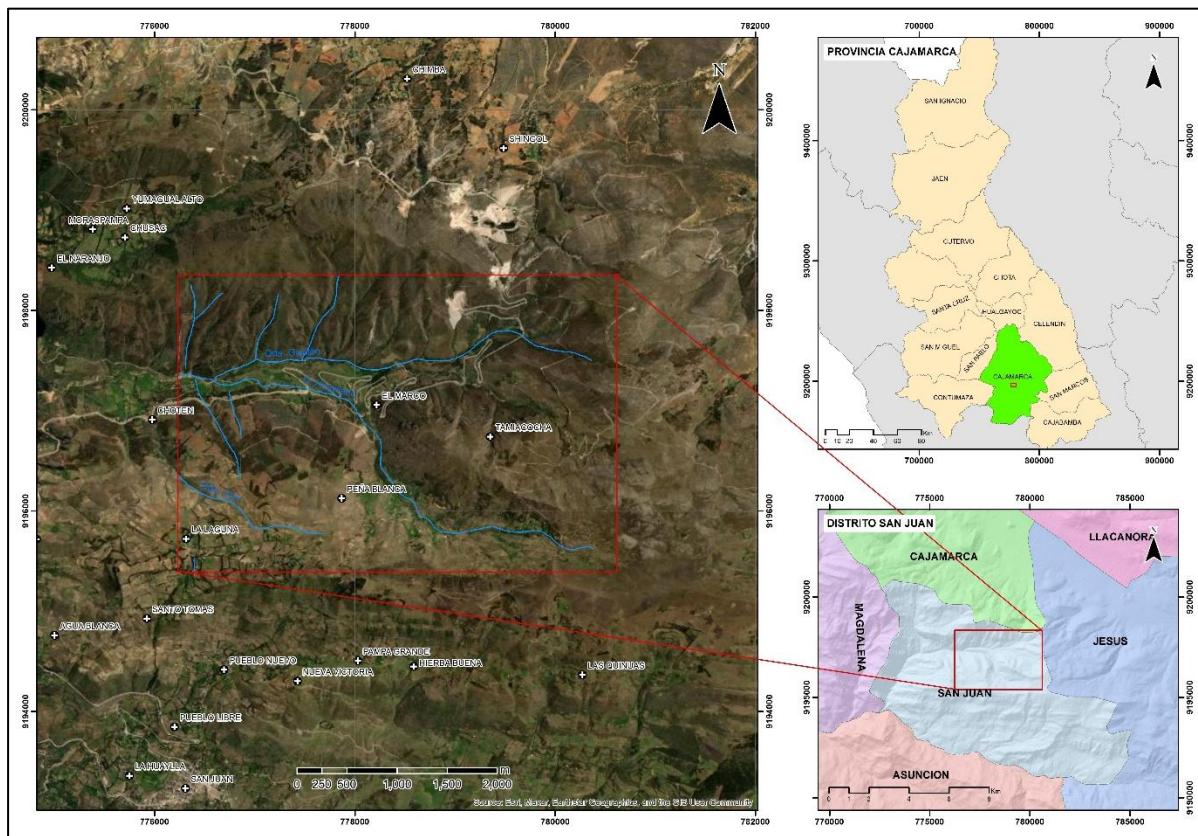


Figura 11: Ubicación del área de estudio.

Fuente: Google Maps Satellite (2024).

3.2. ACCESIBILIDAD

El acceso desde la ciudad de Cajamarca hacia el área de estudio es a través de la carretera Cajamarca – San Juan, siendo esta una vía asfaltada, las rutas se detallan a continuación.

Tabla 2: Rutas de acceso al área de estudio.

Tramo	Tipo	Distancia (Km)	Tiempo (min)
Cajamarca- Mirador El Gavilán	Asfaltado	15	25
Cajamarca – Choten-San Juan	Asfaltado	24.6	37

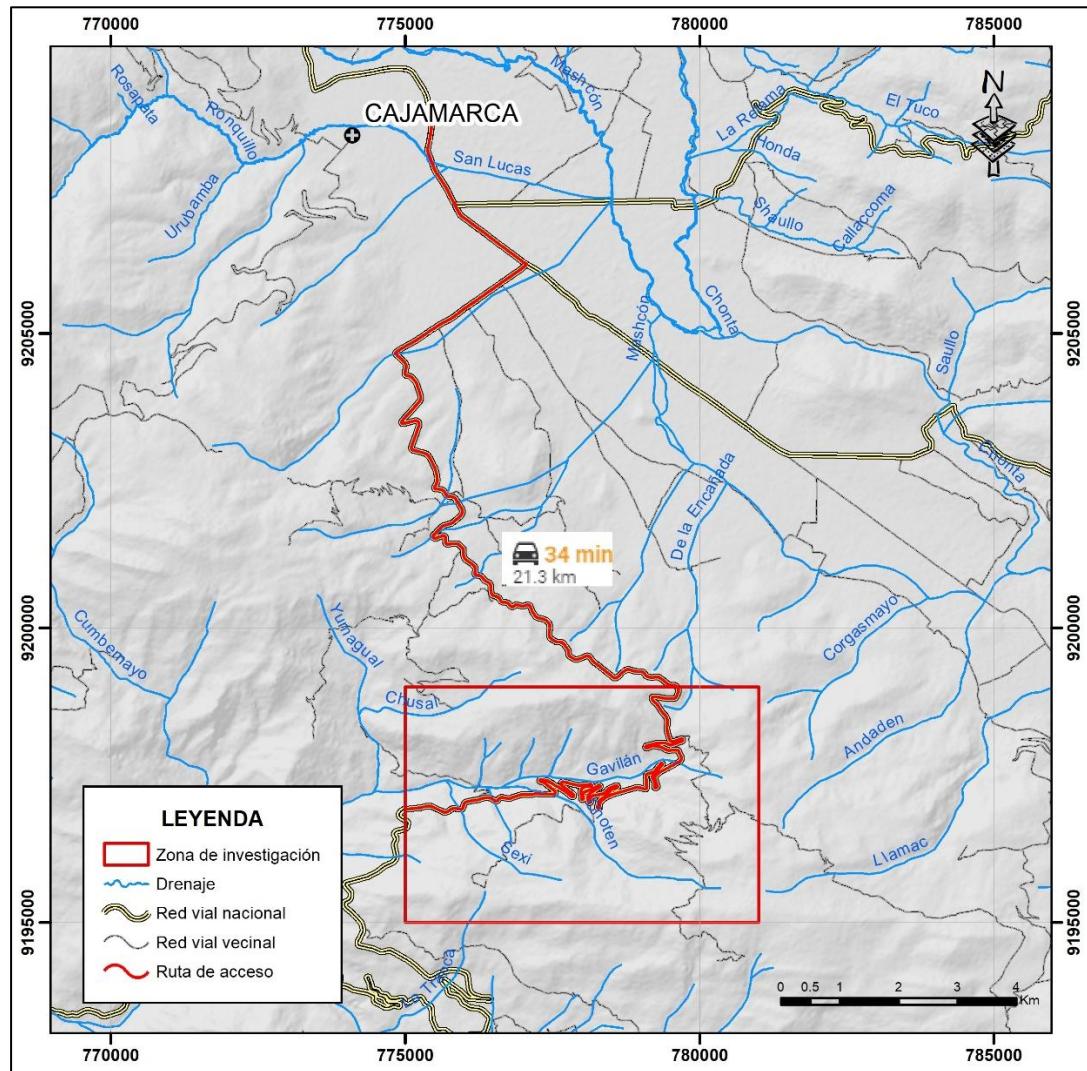


Figura 12: Accesibilidad mediante vía asfaltada desde la ciudad de Cajamarca.

Fuente: Google Maps, (2024).

3.3. CLIMA Y VEGETACIÓN

3.3.1. Clima

En San Juan, los veranos son cortos, cálidos y mayormente nublados; los inviernos son cortos, calurosos y parcialmente nublados y está opresivo y mojado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 21 °C a 32 °C y ocasionalmente baja a menos de 19 °C o sube a más de 34 °C (Weather Spark, 2024).

En la Figura 12 se muestra el promedio de la temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul). Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas.

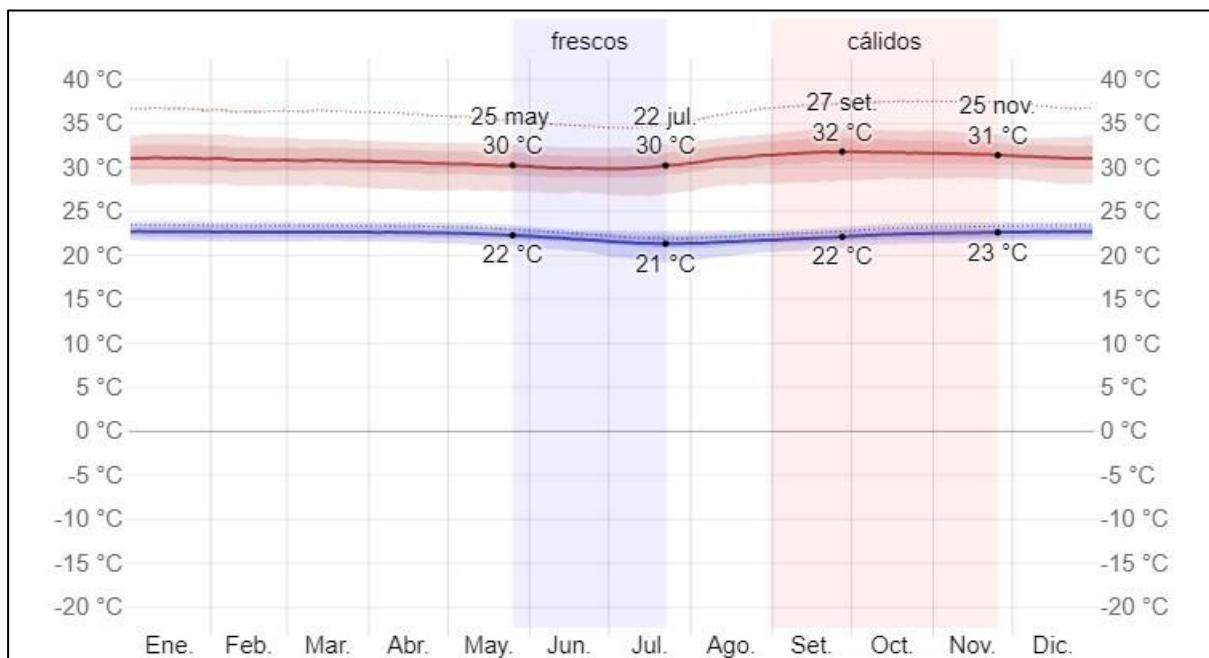


Figura 13: Temperatura máxima y mínima promedio.

Fuente: Weather Spark, (2024).

3.3.2. Vegetación

La vegetación en el área de estudio desempeña un papel fundamental en la estabilidad del terreno y en la prevención de movimientos en masa. Su presencia no solo contribuye a la biodiversidad y al equilibrio ecológico, sino que también actúa como un factor de protección natural contra la erosión y la inestabilidad del suelo. La diversidad de la vegetación comprende árboles y arbustos como: pinos, eucalipto, cultivos como maíz, y papa.



Figura 14: Vegetación característica predominando eucaliptos y pinos.

3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación

Esta investigación es de tipo aplicada porque busca generar un conocimiento práctico para evaluar la susceptibilidad a movimientos en masa en una zona específica, con el fin de contribuir a la gestión del riesgo. Según el nivel de profundización del objetivo, es analítica, descriptiva, correlacional y explicativa, ya que no solo describe las características de la zona de estudio, sino que también analiza y explica la relación entre diversos factores geológicos

como Litología y Unidades Morfogenéticas y su influencia en los movimientos en masa. Por su naturaleza, es cualitativa al interpretar y analizar datos no numéricos. Además, es una investigación no experimental, ya que no manipula las variables, sino que se basa en la observación de la realidad tal como es. Finalmente, se considera transversal en el tiempo porque se realiza en un momento determinado, sin seguimiento prolongado a lo largo del tiempo.

Tabla 3: Clasificación de los tipos de investigación utilizados en esta investigación

CLASIFICACIÓN	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Según su objetivo	Aplicada
Según el nivel de profundización del objetivo	Analítico, Descriptivo, Correlacional y Explicativo
Según su naturaleza	Cualitativa
Según el grado de manipulación de variables	No experimental
Según el periodo	Transversal en el tiempo

Fuente: Modificado de Supo, (2016).

3.4.2. Población de estudio

Movimientos en masa en la zona entre las quebradas Gavilán y Huayllario, en el distrito de San Juan, provincia de Cajamarca.

3.4.3. Muestra

Tipo de roca, unidades morfogenéticas, drenajes y uso de suelos.

3.4.4. Unidad de análisis

Unidades espaciales del área de estudio (celdas raster), sobre las cuales se evaluaron los parámetros condicionantes: litología, unidades morfogenéticas, densidad hídrica y uso de suelos, para la determinación de la susceptibilidad a movimientos en masa.

3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas que se emplearán se basan en la observación, descripción y análisis de la susceptibilidad para determinar movimientos en masa que afectan a la zona entre las quebradas Gavilán y Huayllario. El trabajo constará de tres partes, la primera fase de gabinete, en la cual se recopilará toda la información bibliográfica que será de ayuda en el

desarrollo del estudio y su organización del mismo, la segunda parte donde se recolectará datos geoespaciales de los movimientos en masa que ocurrieron en el área de investigación, la tercera parte en donde se llevará a cabo el análisis y geoprocесamiento de la información obtenida en la etapa de campo con el objetivo de obtener el mapa de susceptibilidad.

Serán necesarios el uso de materiales e instrumentos de medida de datos en campo, tales como carta geológica, brújula, GPS, protactor, lupa 20x, lápiz de dureza, picota de geólogo, ácido clorhídrico, cámara fotográfica, libreta de campo.

3.4.6. Análisis e interpretación de datos

Con la información obtenida en campo sobre el tipo de roca, uso de suelos y el inventario de movimientos en masa, además de los datos que se procesaron mediante software SIG como tipo de litología, unidades geomorfológicas y densidad de red hídrica. Una vez recopilada y procesada la información de los parámetros jerárquicamente ordenados cada uno con sus clases a los cuales se les asignará un peso relativo se determinarán mediante cálculos en SIG la susceptibilidad a movimientos en masa que pueden afectar a la localidad y a la infraestructura vial.

3.4.6.1. Análisis de la susceptibilidad

En este apartado se describirá la metodología seguida en este estudio para el análisis de la susceptibilidad por movimientos de masa mediante SIG.

A lo largo del tiempo, han surgido varios modelos para abordar el análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera. Inicialmente, estos modelos se desarrollaban manualmente, lo que implicaba un proceso laborioso y extenso. Sin embargo, con la introducción de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los modelos se han perfeccionado, lo que ha llevado a una mayor objetividad y eficiencia en los procesos de análisis. A nivel local, se pueden emplear métodos determinísticos, que calculan el factor de seguridad de una ladera para determinar la probabilidad de que se produzca una superficie de rotura. Sin embargo, a escala regional (como distrital o provincial), se utilizan índices de susceptibilidad que indican el grado de propensión de un área a experimentar movimientos de masa. Esto se debe a que a esta escala no siempre es posible obtener los parámetros necesarios para realizar un análisis determinístico, ya que estos parámetros tienden a variar considerablemente.

Para comprender mejor el procedimiento seguido, a continuación, se presenta una síntesis de los principales modelos aplicados en esta investigación.

Modelos heurísticos

Estos modelos se fundamentan en la experiencia del investigador para categorizar y evaluar la contribución de los parámetros que provocan los movimientos de masa a la susceptibilidad. Los mapas generados mediante estos métodos suelen proporcionar una base para análisis más detallados y para identificar las áreas de mayor riesgo.

Descripción del Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

Para este estudio, el fenómeno bajo investigación es la susceptibilidad a movimientos en masa en un área específica de estudio. Los factores principales son los parámetros intrínsecos que influyen en este fenómeno, como la litología, las unidades morfogenéticas (pendientes), la densidad hídrica y uso de suelos. A su vez, cada uno de estos parámetros se desglosa en diferentes clases o características específicas dentro de cada parámetro. Estos parámetros y subclases interactúan entre sí para crear las condiciones que favorecen la ocurrencia de los movimientos en masa (Blanco, 2013).

El método AHP consiste en inferir un valor para cada elemento de la matriz en base a la interpretación del investigador y al conocimiento del fenómeno analizado, el valor debe reflejar que tan importante es un parámetro respecto a otro. Para el análisis de la susceptibilidad a generar movimientos en masa se debe realizar comparaciones entre los parámetros intrínsecos.

Según el análisis desarrollado los parámetros intrínsecos elegidos son: litología, unidades morfogenéticas (pendientes), densidad hídrica y uso de suelos por ser las variables que en mayor medida influyen en la inestabilidad, estas se ordenan en base al conocimiento previo de las características intrínsecas y según la influencia reconocida en campo, la litología y unidades morfogenéticas son los parámetros más importantes seguidos de la densidad hídrica y por último el uso de suelos.

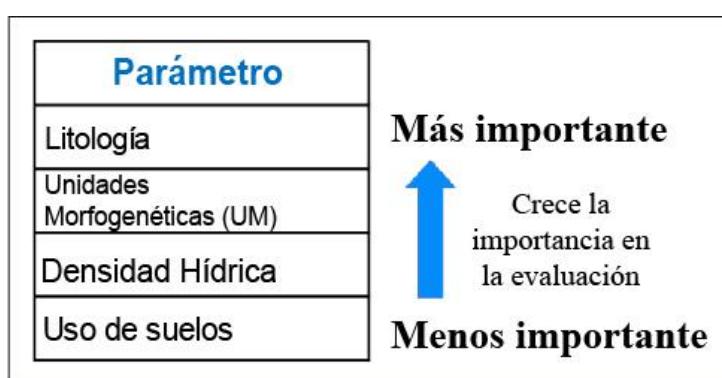


Figura 15: Jerarquía de los parámetros intrínsecos de la investigación.

Fuente: Modificado de Blanco, (2013).

De igual modo se ordenan las clases contenidas en cada parámetro según el nivel de influencia a la inestabilidad, como ejemplo el caso de litología:

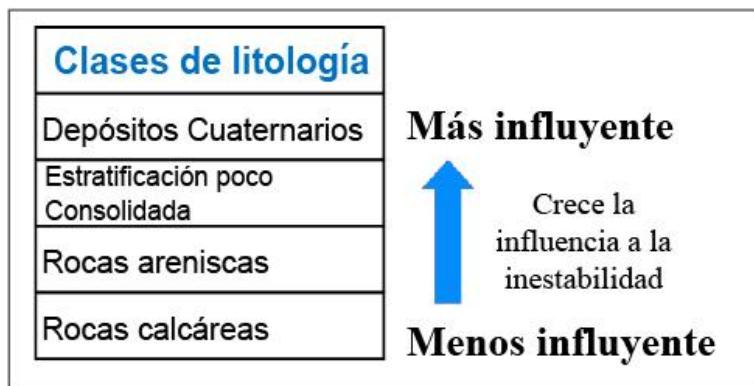


Figura 16: Nivel de influencia en las clases de un parámetro.

Fuente: Modificado de Blanco, (2013).

Modelos de combinación de mapas de parámetros

Estos modelos se basan en la ponderación de unidades de los mapas de parámetros que se combinan para obtener un mapa final de zonificación de la susceptibilidad a los movimientos de masa, cuyos resultados si reflejan la extrapolación a zonas sin procesos de remoción

Los principales criterios utilizados para asignar los pesos a los 4 parámetros de predisposición seleccionados provienen de la verdad específica del terreno de nuestra área de estudio relacionada con la precipitación, que constituyen el principal factor dinámico que desencadena el movimiento en masa (MM). Los parámetros más importantes estarán representados por el peso relativo más importante de valor 5. Como parámetros más importantes están la litología y las unidades morfogenéticas con valor 5 ya que determina las propiedades físicas y mecánicas del material que conforma el terreno, influye en su capacidad para absorber y retener agua, y define su susceptibilidad a procesos de erosión y meteorización, todos los cuales son cruciales en la estabilidad de las pendientes y la generación de movimientos en masa y las unidades morfogenéticas porque el terreno accidentado y empinado indica que cualquier aumento en el ángulo de la pendiente resulta en un aumento en el esfuerzo cortante tangencial y en consecuencia un potencial para generar movimientos en masa. Luego viene la densidad hídrica por el papel que juega en el socavamiento lateral de los torrentes, o el del drenaje; y, por tanto, sirve para evacuar los escombros de la tierra, de ahí la atribución del valor 3. Luego, el parámetro de uso de suelos este parámetro también es importante en el control de MM ya que controla la erosión e influencia a la inestabilidad, en consecuencia, recibe un valor de peso de 2. La subdivisión

espacial de cada parámetro en clases tiene como objetivo, durante el proceso de cálculo, tener en cuenta únicamente el peso asignado a cada clase de parámetro sobre la base de datos estadísticos reales (enfoque cuantitativo) y el área (enfoque espacial). La asignación de peso a cada una de las clases permitirá obtener un nivel de susceptibilidad bien priorizado con zonas muy contrastantes gracias al efecto acumulativo de los pesos asignados por un lado a las clases de cada parámetro (enfoque cualitativo) y por el otro a los pesos atribuidos a los 4 diferentes parámetros de predisposición seleccionados (enfoque cualitativo).

Una vez que se han determinado y asignado los diferentes pesos, procedemos a utilizar el método propuesto por Voogd, (1982), en el que todos los parámetros y clases indexadas se reúnen en un único Mapa Índice de Movimientos de Masas (IA_{MT}), y ello utilizando la fórmula que permite calcular las sumatorias lineales ponderadas, lo cual indicará el grado de susceptibilidad para determinar movimientos en masa:

$$IA_{MT} = \sum_{j=1}^n (W_j * w_{ij})$$

Donde:

IA_{MT} : viene a ser el Índice de Susceptibilidad a Movimientos Masivos

W_j : Valor del peso asignado al parámetro j

w_{ij} : Valor del peso asignado al parámetro j de clase i

n: Número de parámetros.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ESTRATIGRAFÍA

En el área se presentan Depósitos Cuaternarios y Formaciones del Cretácico Inferior, de las cuales encontramos las siguientes unidades: Formación Chimú, Formación Santa, Formación Carhuaz, Formación Farrat, Formación Inca, Formación Chúlec, Formación Pariatambo y Formación Yumagual, las cuales se describirán a continuación.

			66.0	Formación Chota	KsP-cho	Conglomerados intercalados con tobas gris verdoso		
		SUPERIOR		Formación Celendín	Ks-ce	Caliza nodular arcillosa crema oscuro a marrón, intercaladas con lutitas y margas grises		
				Formación Cajamarca	Ks-ca	Calizas grisáceas o blanquecinas con estratificación regular y uniforme. Espesor aproximado de 200 m		
				Grupo Quilquiñán, Mujarrún	Ks-qu,m	Calizas nodulares macizas, margas y lutitas pardo amarillentas fosilíferas		
				Grupo Quilquiñán	Ks-qu	Lutitas friables gris oscuras a negras y niveles de margas gris azuladas, intercaladas con delgados niveles de calizas		
MESOZOICO CRETÁCICO	INFERIOR		100.5	Grupo Pulluicana	Formación Yumagual	Formación Yumagual	Ks-pu	Intercalación de calizas grises, lutitas friables gris oscuras a negras y niveles de margas
				Grupo Crisnejas	Formación Pariatambo	Formación Pariatambo	Ki-pt	Calizas negras, bituminosas, con olor fétido intercaladas con delgados niveles de lutitas negras
					Formación Chúlec	Formación Chúlec	Ki-chu	Lutitas grises, margas amarillentas y calizas lutáceas delgadas y nodulares marrón crema
					Formación Inca	Formación Inca	Ki-i	Caliza masiva arenosa, brechas calcáreas, areniscas y lutitas ferruginosas en capas delgadas intercaladas con caliza impura
				Grupo Goyllarisquizga	Formación Farrat	Formación Farrat	Ki-f	Areniscas, cuarcitas blanquecinas y marrones bien estratificadas en capas medianas e intercaladas con horizontes de lutitas grises marrones y rosadas
					Formación Carhuaz	Formación Carhuaz	Ki-ca	Lutitas arenosas pardo rojizas, intercaladas con limolitas marrón rojizas y lechos de cuarcita pardo grisácea y ocasionales capas de calizas grises de grano fino
					Formación Santa	Formación Santa	Ki-s	Intercalación de lutitas y calizas margosas, areniscas gris oscuras. Espesor promedio 100 a 150 m
					Formación Chimú	Formación Chimú	Ki-chi	Areniscas, cuarcitas, lutitas y niveles de carbón en la parte inferior, y cuarcitas en la parte superior

Figura 17: Unidades litológicas presentes del cuadrángulo de San Marcos - Hoja 15-g.

Fuente: Adaptado de INGEMMET (2016).

Grupo Goyllarisquizga

4.1.1. Formación Chimú

En el área de estudio se presentan afloramientos poco definidos de esta unidad, caracterizados por una alternancia de areniscas amarillentas y limolitas en la base, y areniscas blanquecinas más masivas hacia la parte superior. Presentan un alto grado de compactación y fracturamiento. Estas rocas se reconocen fácilmente por su resistencia a la erosión y su disposición en pendientes moderadas.

4.1.2. Formación Santa

Aflora principalmente en el sector medio del área. Se identificaron capas de arcillitas y limolitas intercaladas con areniscas finas de color gris oscuro, además de niveles calcáreos dispersos. Su contacto superior con la Formación Carhuaz es concordante. Se evidenció un grado moderado de meteorización en las zonas expuestas, con desprendimiento superficial de fragmentos.

4.1.3. Formación Carhuaz

Tiene poca presencia aflorando en el sector noroeste del área de estudio, unidad compuesta por Areniscas rojizas y areniscas cuarzosas intercaladas con horizontes de arcillolitas grises. Esta formación se encuentra sobreyaciendo en aparente concordancia a la Formación Santa e infrayace concordante a la Formación Farrat.

4.1.4. Formación Farrat

Aflora en el sector medio, esta unidad litológicamente está compuesta por areniscas blancas cuya granulometría va de grano medio a grano grueso. Presenta estratos muy resistentes a la erosión, pero con mayor probabilidad al fracturamiento. La Formación Farrat suprayace con aparente concordancia a la Formación Carhuaz e infrayace con la misma relación, a la Formación Inca, dando la impresión en muchos lugares de tratarse de un paso gradual.

4.1.5. Formación Inca

Aflora ampliamente en la parte alta del área de estudio. Durante el reconocimiento se constató que gran parte de esta unidad se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios. Sus afloramientos muestran areniscas calcáreas y arcillitas ferruginosas de color rojizo característico, con niveles delgados de limonita y evidencias de meteorización superficial.

Grupo Crisnejas

4.1.6. Formación Chúlec

Aflora en la misma franja estructural que la Formación Inca, mostrando calizas arenosas y margosas de tono amarillento. En campo se distingue por su aspecto terroso y friable. Las calizas presentan color gris claro y textura fina, observándose disolución parcial y cavidades pequeñas producto de la meteorización.

4.1.7. Formación Pariatambo

Reconocida en el sector sur del área, compuesta por calizas nodulares bituminosas y lutitas grises fracturadas. En los afloramientos se aprecia un fuerte grado de meteorización, con

capas delgadas oscuras en la parte superior, posiblemente asociadas a material orgánico. Su espesor medido en campo alcanza aproximadamente 300 m.

Grupo Pulluicana

4.1.8. Formación Yumagual

Se encuentra expuesta en la parte sur del área de estudio. En campo se observaron calizas grises fosilíferas con intercalaciones de margas y arcillolitas, además de niveles con nódulos de chert. Los afloramientos presentan superficies pulidas por erosión hídrica y ligeras fracturas.

Depósitos Cuaternarios

4.1.9. Depósitos Coluviales (Q-co)

Durante el recorrido de campo se observaron estos depósitos en las partes bajas de cerros, cortes de carretera y zonas de pie de monte. Están compuestos por fragmentos angulares heterogéneos sostenidos por una matriz limo-arenosa de color marrón. Su escaso transporte indica origen gravitacional, asociado a procesos de remoción en masa.

4.1.10. Depósitos Aluviales (Q-al)

Se reconocen en las márgenes de las quebradas y de los ríos principales. Están formados por cantos rodados, gravas y arenas de composición variada, con buena selección y redondez. En campo se evidenció su disposición en terrazas bajas y zonas de inundación reciente.

4.2. UNIDADES MORFOGENÉTICAS

4.2.1. Planicies

En el área de estudio se identificaron planicies de origen aluvial y coluvial, caracterizadas por superficies de pendiente suave ($0^{\circ} - 8^{\circ}$), formadas principalmente por la acumulación de sedimentos no consolidados. Estas áreas están distribuidas en los cauces de los dos ríos relacionadas con los depósitos aluviales y fluvio-aluviales, son producto de los procesos de erosión de las rocas del Cretácico hasta el Neógeno, compuestos de gravas, arenas, limos y arcillas, materiales que presentan baja cohesión y alta permeabilidad. Su presencia es relevante dentro del análisis de susceptibilidad, ya que, si bien las pendientes reducidas disminuyen el potencial de deslizamientos, los suelos finos con alta capacidad de retención de agua pueden favorecer procesos de erosión, saturación y en algunos casos flujos de detritos durante episodios de lluvias intensas.



Figura 18: Planicies presentes en la zona fluvial.

4.2.2. Lomadas

Las lomadas son superficies homogéneas que presentan pendientes suaves. Su rango de pendientes está entre 8° y 20° , y sirven parcialmente como terrenos de pastoreo, agricultura y ganadería.

En los sectores intermedios entre quebradas se observan lomadas de pendiente suave a moderada. La cobertura vegetal es mixta: pastos naturales, matorral y pequeños arbustos. En general, estas lomadas presentan susceptibilidad baja condicionada por su baja pendiente y el uso del suelo.

Litológicamente se encuentra en las Formaciones Chulec, Pariatambo del Cretácico Inferior y la Formación Yumagual del Cretácico Superior.



Figura 19: Lomadas presentes en las zonas bajas.

4.2.3. Laderas

Estas UM comprenden pendientes entre 20° y 50°, conformadas por superficies alargadas y continuas que descienden hacia las quebradas principales. Las laderas presentan una cobertura predominantemente vegetal arbustiva y de pastos naturales, con sectores reforestados por eucalipto. Se identifican procesos de erosión superficial evidenciados en surcos y escorrentía concentrada, especialmente en zonas con menor cobertura vegetal.

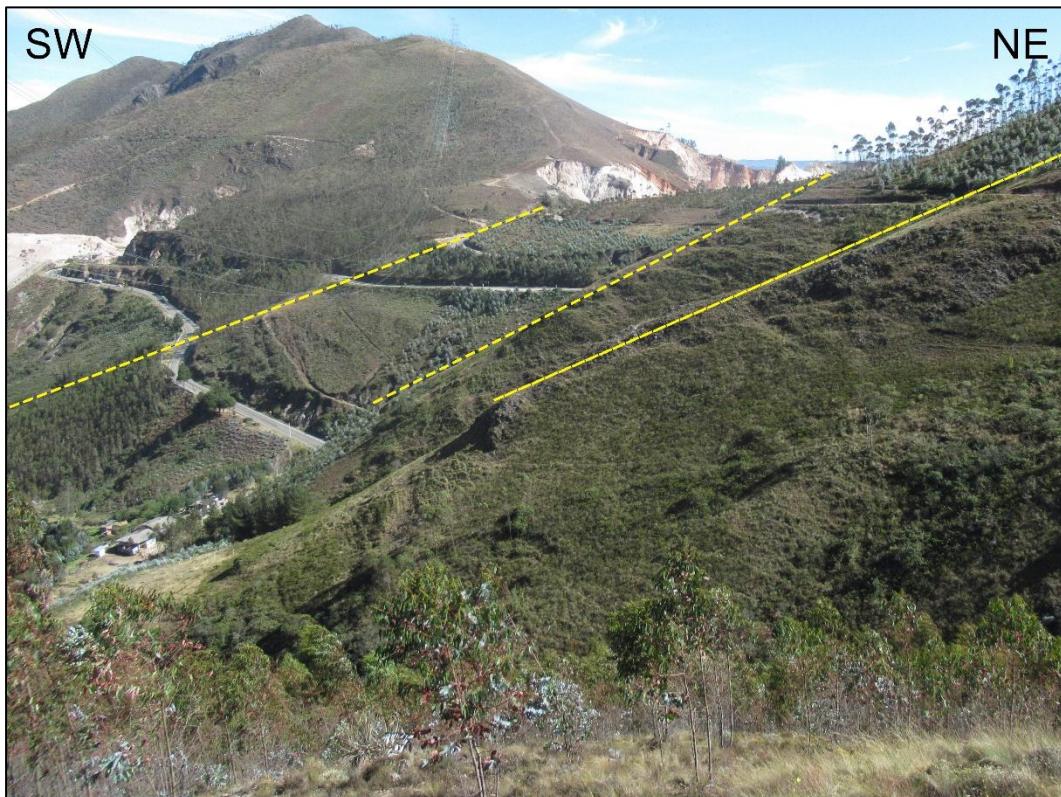


Figura 20: Laderas presentes en las zonas con altitudes medias.

4.2.4. Escarpes

En el área de estudio se observan escarpes rocosos de fuerte pendiente mayores a 50° conformados por afloramientos masivos fracturados. Presentan superficies abruptas que favorecen la caída de rocas y desprendimientos en bloque. En la base de los escarpes se acumula material coluvial lo cual es evidencia de procesos gravitacionales activos y se reconocen también signos de meteorización. Estas características los convierten en zonas de alta susceptibilidad a movimientos en masa.

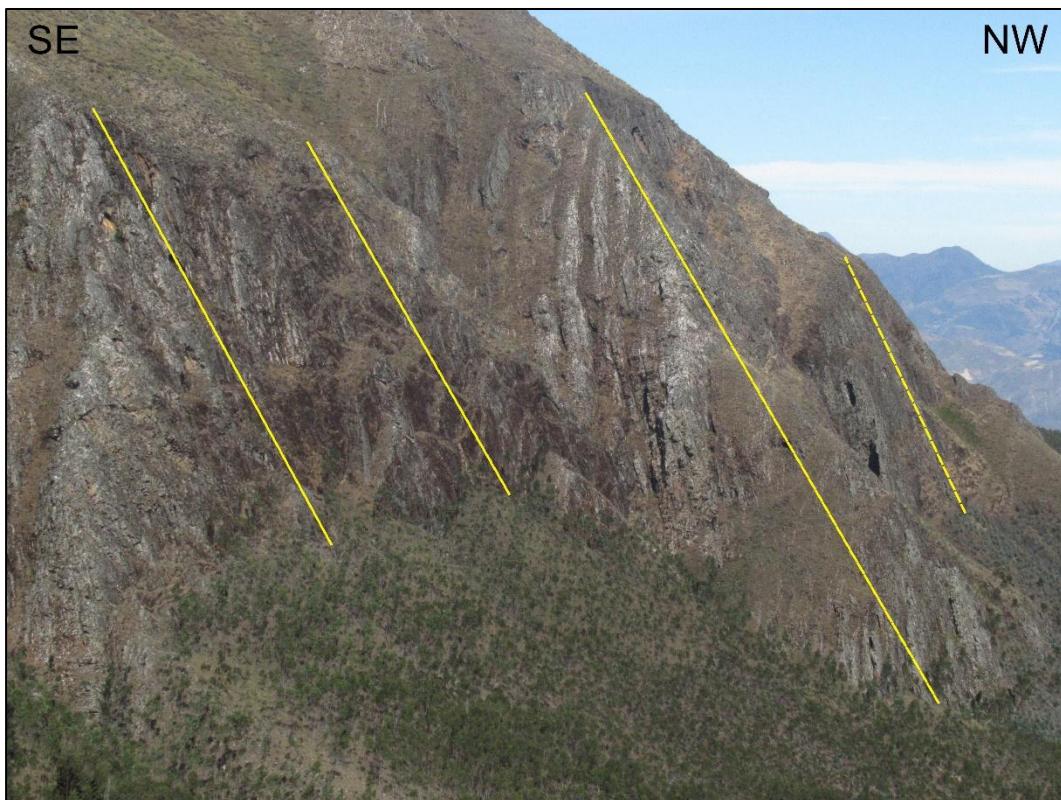


Figura 21: Escarpes en la zona este.

4.3. DENSIDAD HÍDRICA

Numerosos trabajos de varios autores han demostrado que el sistema hídrico es uno de los parámetros fundamentales que controla el desencadenamiento de movimientos gravitacionales del terreno. Gracias a su movilidad y poder erosivo, genera inestabilidad en las laderas, lo que resulta en una disminución a largo plazo de su resistencia. Así es como la eliminación de material por erosión causa los movimientos de las laderas o su reactivación. En este análisis, solo integramos el agua superficial y no el agua subterránea ni el agua pluvial, ya que esta se relaciona con otros tipos de movimientos no tratados en esta investigación.

Usando esta información, se construye una red geométrica y luego se convierte en una cuadrícula. Utilizando el módulo Spatial Analyst Tools de ArcGis 10.5, se calculó la densidad de la red hidrográfica, que tiene en cuenta la longitud acumulada del sistema de drenaje y los nodos de agua (afluentes y confluentes). Esta densidad se clasifica en cinco clases: muy baja, baja, media, alta y muy alta.

4.4. USO DE SUELOS

El aumento de la cobertura vegetal disminuye la erosión, ya que las raíces favorecen una mayor infiltración del agua (incrementando la permeabilidad), lo que reduce el nivel de escorrentía y la capacidad de transporte de materiales. Además, una mayor presencia de raíces incrementa la resistencia al corte del suelo, ya que actúan como puentes que proporcionan mayor cohesión al material. Por lo tanto, una menor cobertura vegetal conduce a un mayor desarrollo de la erosión y aumenta la probabilidad de generar movimientos en masa (Medina, 2007).

El término "cobertura vegetal" se refiere a la cantidad o porcentaje de superficie cubierta por la vegetación que crece y se desarrolla en una zona específica, siendo la unidad de medida el tamaño de un píxel (12.5 m x 12.5 m).

Para el uso de suelos se ha tomado en cuenta únicamente las zonas con presencia de vegetación densa, zonas agrícolas y suelo desnudo y su influencia en el terreno. El cartografiado de estos parámetros se realizó de varias imágenes satelitales obtenidas de Google Earth en los últimos cinco años.

Áreas con vegetación densa: Estas zonas están dominadas por una cubierta vegetal que prácticamente las recubre por completo. Incluyen áreas en proceso de reforestación, terrenos agrícolas y pastizales. La alta densidad de vegetación implica una mayor presencia de raíces,

lo cual contribuye significativamente a la estabilización del suelo y a la reducción de la erosión en comparación con áreas con menos cobertura vegetal.

Zonas agrícolas: La mezcla de vegetación y suelo desnudo resulta en una menor presencia de raíces en comparación con áreas densamente vegetadas, lo que puede afectar la cohesión y estabilidad del suelo.

Áreas de suelo desnudo: En estas zonas, el suelo o la roca están expuestos directamente debido a la limitada o inexistente cobertura vegetal. La ausencia de vegetación implica que hay muy pocas o ninguna raíz presente, lo que incrementa la vulnerabilidad del suelo a la erosión y a los movimientos en masa.

4.5. EVALUACIÓN MEDIANTE EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO

Para determinar la susceptibilidad a movimientos en masa se evaluará mediante el método Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y el método Análisis Discriminante (AD), se recomienda el uso de los métodos mencionados porque pueden medir el nivel de confiabilidad de los resultados, además no limitan el número de parámetros intrínsecos utilizados.

4.5.1. Análisis y cálculo de pesos de los parámetros intrínsecos

La influencia de los parámetros intrínsecos es cuantificada mediante el método AHP. El análisis se inicia clasificando a los parámetros según el orden de importancia e influencia en la generación de inestabilidad del terreno que da como consecuencia la susceptibilidad a movimientos en masa.

Este método es una técnica multicriterio que permite jerarquizar y ponderar los parámetros según su importancia relativa. Este método es muy usado debido a su eficacia para estudios de susceptibilidad en grandes áreas geográficas.

A continuación, se clasificará cada uno de los parámetros asignándole un peso relativo a su potencial para generar inestabilidad y susceptibilidad a movimientos en masa, lo cual permitirá interactuar entre sí, dando como resultado un valor que permitirá identificar áreas con mayor susceptibilidad a MM y priorizar futuras intervenciones de mitigación.

Para cada parámetro, utilizamos el método cualitativo asignando un peso relativo a los parámetros seleccionados (litología, unidades morfogenéticas, densidad hídrica y uso de suelos) sobre la base de nuestro profundo conocimiento y amplia experiencia de campo. El peso asignado a cada parámetro está relacionado con su importancia relativa en la génesis de los Movimientos de Masas (MM). Los valores van del 1 (menos importante) al 5 (muy importante).

Tabla 4: Descripción de los parámetros intrínsecos resaltando la importancia y pesos de cada uno.

Parámetro	Descripción	Nivel de importancia	Peso
Litología	Compuesto por la litología aflorante con propiedades mecánicas-físicas que conforma la calidad del material.	Muy Alta	5
Unidades Morfogenéticas	Controladas por la pendiente que es el ángulo que forma el talud con un plano horizontal, la pendiente actúa directamente sobre el material aflorante, se revela una importante influencia porque al aumentar la pendiente la fuerza a lo largo del talud también aumenta, es decir si la pendiente crece el potencial de generar deslizamientos también se incrementa.	Muy Alta	5
Densidad Hídrica	El sistema hídrico controla el desencadenamiento de movimientos gravitacionales del terreno, la movilidad y poder erosivo, genera inestabilidad en las laderas, lo que resulta en una disminución a largo plazo de su resistencia. La densidad hídrica influye en menor medida que las unidades morfogenéticas.	Moderada	3
Uso de suelos	Este parámetro se considera de menor influencia en el potencial de generación de movimientos en masa, ya que su efecto es indirecto a través de las raíces, las cuales funcionan como soportes incrementando la resistencia al corte del material. Se observa que una mayor presencia de raíces reduce el potencial de generar inestabilidad. Este análisis es válido para las raíces que actúan en suelos, ya que, en las rocas, su acción tiende a generar un mayor fracturamiento.	Baja	2

La litología y las unidades morfogenéticas (UM) son consideradas los parámetros de mayor influencia en el potencial de generación de inestabilidad, debido a que ambos afectan de manera directa la resistencia y la disposición del terreno frente a movimientos en masa. La litología influye considerablemente en la estabilidad de los materiales, ya que diferentes tipos de rocas tienen propiedades mecánicas y físicas variables (como cohesión, permeabilidad y resistencia al corte), que condicionan el comportamiento del terreno frente a fuerzas externas como la gravedad, el agua y los cambios tectónicos. Por otro lado, las unidades morfogenéticas, relacionadas principalmente con la pendiente, juegan un papel clave, dado que, a mayor inclinación del terreno, mayor es la fuerza de gravedad actuando en dirección del talud, lo que incrementa el potencial de deslizamientos y otros movimientos gravitacionales. La densidad hídrica, aunque relevante, tiene un impacto intermedio, ya que

afecta indirectamente a través del control del escurrimiento superficial y la erosión, mientras que el uso de suelos tiene un peso menor, debido a su influencia más limitada sobre los movimientos en masa, aunque sigue siendo un factor importante en áreas con escasa vegetación o cobertura superficial.

4.5.2. Análisis del parámetro litología

En la zona entre las quebradas Gavilán y Huayllario afloran rocas del Grupo Goyllarisquizga, rocas silicoclásticas y carbonatadas de las Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, Inca, Chúlec, Pariatambo, Yumagual y depósitos cuaternarios. Rocas del Cretácico inferior las cuales presentan rocas consolidadas en algunas Formaciones como lo son Chimú, Carhuaz y Farrat, consideradas como poco susceptibles a la inestabilidad y remoción de masas, otorgándoles el peso de 2. Mientras que las Formaciones Santa, Chúlec y Yumagual son consideradas medianamente susceptibles a movimientos en masa, por lo cual se le asigna el peso de 3. Por otra parte, las Formaciones Inca, Pariatambo y Cuaternarios son consideradas de mediana a altamente susceptibles a movimientos en masa por su bajo grado de consolidación y su alto fracturamiento, a estas Formaciones se les asigna el peso de 4 ya que son más propensas a las remociones de masa, pero sin llegar a ser niveles críticos.

Tabla 5: Pesos asignados a las unidades litológicas.

CLASES	NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN	PESO ASIGNADO
Depósitos Cuaternarios	Muy alta. Su baja consolidación y debido a que son depósitos sedimentarios se consideran con muy alta potencialidad de generar inestabilidad.	Se consideran a todos los materiales de origen fluvial, coluvial y aluvial.	5
Estratificación poco consolidada	Alta. La presencia de Formaciones con material rocoso altamente fracturado y poco consolidado aumentan la potencialidad de generar inestabilidad.	Las Formaciones Santa, Inca y Pariatambo presentan estratificaciones delgadas y altamente fracturadas.	4
Rocas Areniscas	Moderada. Las Formaciones consideradas para este nivel presentan textura clástica de rocas areniscas y se fracturan con uno o dos golpes de picota, se interpreta moderada potencialidad de generar inestabilidad.	Las Formaciones del Grupo Goyllarisquizga, Chimú, Carhuaz y Farrat presentan alta composición clástica y en su observación en campo presentan poca resistencia a los golpes de picota.	3
Rocas Calcáreas	Baja. Debido a la textura masiva de las calizas la resistencia al golpe de picota y la menor cantidad de tectónicas que han actuado en estas rocas se interpreta muy baja potencialidad de generar inestabilidad.	Formaciones como Chúlec y Yumagual contienen litología con textura masiva como las calizas que presentan más resistencia a ser fracturadas.	2

Haciendo un análisis porcentual de las áreas, en kilómetros cuadrados, que abarcan cada uno de clases de litología dentro del área de estudio, se destaca que hay una mayor representación de rocas areniscas con un 60%, mientras que depósitos cuaternarios tiene una representación del 8%, lo cual disminuye el potencial a deslizamientos al tener mayor peso en la clasificación previa.

Tabla 6: Áreas de cada una de las clases del parámetro litología.

LITOLOGÍA	ÁREA		PESO
	Km2	(%)	
Depósitos Cuaternarios	1.88	8%	5
Estratificación poco consolidada	3.03	13%	4
Rocas Areniscas	14.28	60%	3
Rocas Calcáreas	4.81	20%	2
TOTAL	24	100%	

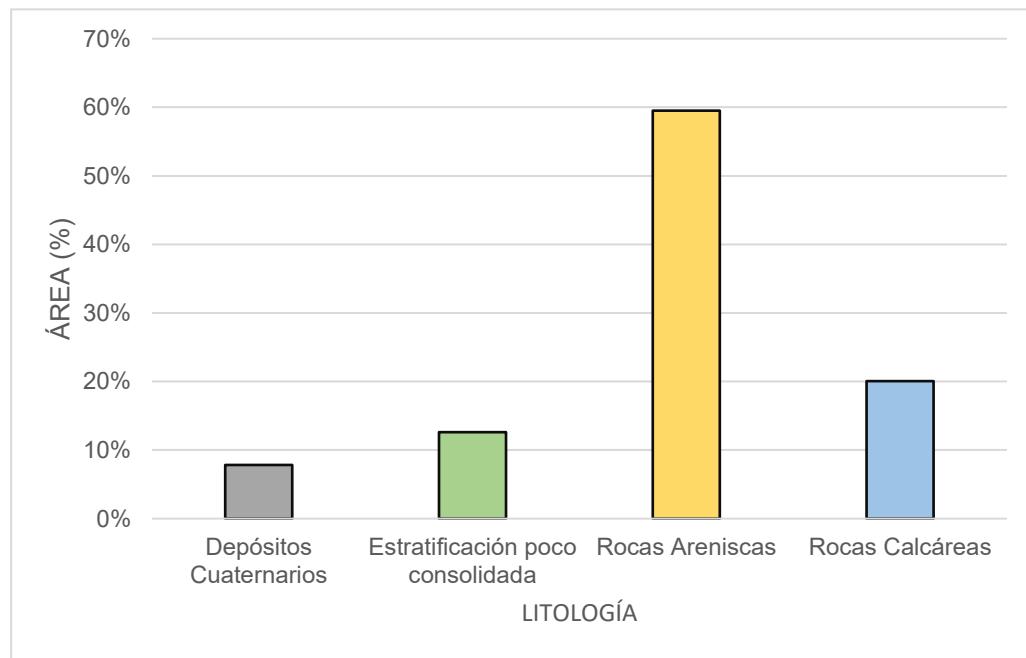


Gráfico 1: Representación gráfica del área en porcentaje de las clases del parámetro litología.

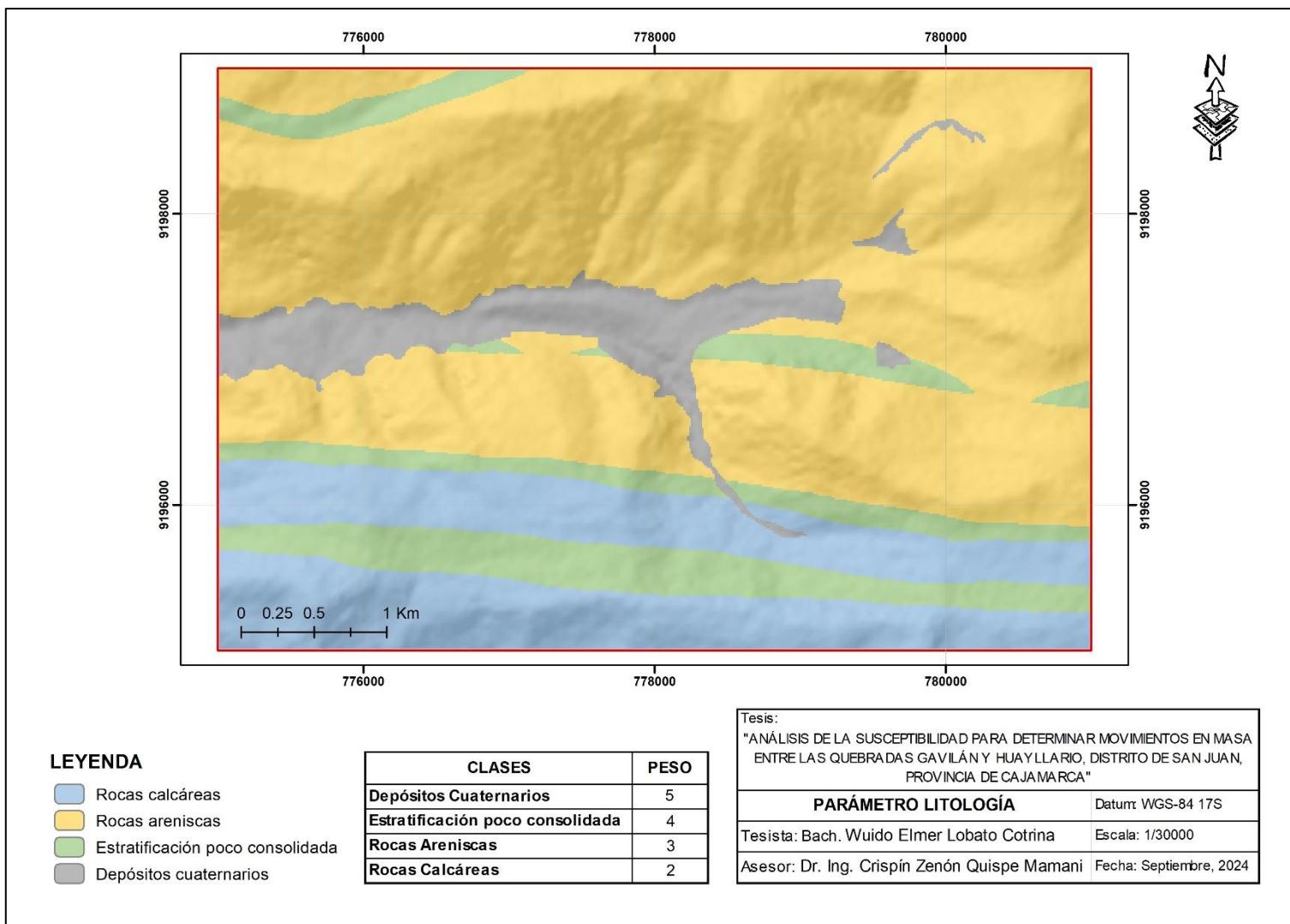


Figura 22: Mapa del parámetro litología.

4.5.3. Análisis del parámetro unidades morfogenéticas

Las unidades morfogenéticas se basan en las pendientes las cuales influyen directamente, es decir, a mayor inclinación, mayor será el potencial de inestabilidad. La fuerza que actúa en la dirección del talud de un bloque sobre un plano inclinado aumenta a medida que se incrementa el ángulo del plano.

Los valores asignados están entre el rango 1 – 5, siendo 5 el valor que se identifica con mayor susceptibilidad a MM, valor que será asignado a los escarpes que presentan pendientes por encima de los 50°, las laderas acrediratarán un valor de 4 por su moderada susceptibilidad a MM, las lomadas tendrán un valor de 2 y las planicies un valor de 1 debido a su nivel muy bajo para generar movimientos de masa.

Tabla 7: Clasificación de las unidades morfogenéticas según la pendiente del terreno.

UNIDAD MORFOGENÉTICA	PENDIENTE
Planicies	0° - 8°
Lomadas	8° - 20°
Laderas	20° - 50°
Escarpas	> 50°

Fuente: Tomado de Rodríguez, (2016).

Tabla 8: Pesos asignados a las Unidades Morfogenéticas.

UNIDAD MORFOGENÉTICA	NIVEL DE PENDIENTE	INTERVALO DE VALORES	NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD	CARACTERÍSTICAS DE LA CLASE	PESO ASIGNADO
Escarpas	Muy Alta	> 50°	Muy Alta. La fuerza a lo largo de la pendiente llega a tomar valores más altos por lo cual aumenta la probabilidad de que la gravedad intervenga en la potencialidad a la inestabilidad.	La capacidad erosiva por acción de la gravedad va en aumento tomando sus valores máximos en pendientes más altas, evidenciándose superficies con mayores afloramientos rocosos debido que el agua tiene mayor capacidad de arranque y transporte de partículas, la generación de movimientos en masa es más frecuente y tiende a ser máxima en esta clase de pendientes.	5
Laderas	Alta	20° - 50°	Alta. En este rango de pendientes la fuerza en la dirección del talud obtiene un valor significativo para ser propensas a la inestabilidad.	En este rango de pendientes se presenta una mayor actividad erosiva y mayor posibilidad de generar movimientos en masa en comparación a las clases anteriores. Hasta los 50° muchos materiales sueltos tienen su límite natural de reposo.	4
Lomadas	Baja	8° - 20 °	Baja. Según la descomposición de fuerzas, en este rango los deslizamientos son ocasionales y la potencialidad es baja para la inestabilidad.	La erosión va en aumento presentando condiciones favorables para formar cárcavas, los deslizamientos son ocasionales. En este rango de pendientes los materiales transportados como flujos pierden movilidad y tienden a depositarse formando superficies de hasta 20°.	2
Planicies	Muy baja	0° - 8°	Muy Baja. La fuerza en la dirección de la pendiente es mínima, siendo este rango propicio para la deposición de sedimentos o de otros deslizamientos.	El terreno puede ser afectado por erosión y llegar a formar surcos. Es muy baja la posibilidad a generar inestabilidad y remoción de masas.	1

El análisis porcentual de este parámetro demuestra que la clase más susceptible que son las escarpas solo representan el 1% del área total, mientras que las laderas que aún se consideran con un nivel alto de influencia para deslizamientos, representan el 62% del área total, siendo significativo en su interacción con otros parámetros para la susceptibilidad a MM.

Tabla 9: Áreas de cada una de las clases del parámetro unidades morfogenéticas.

UNIDADES MORFOGENÉTICAS	ÁREA		Peso
	Km2	(%)	
Escarpas	0.16	1%	5
Laderas	14.95	62%	4
Lomadas	7.76	32%	2
Planicies	1.12	5%	1
TOTAL	24	100%	

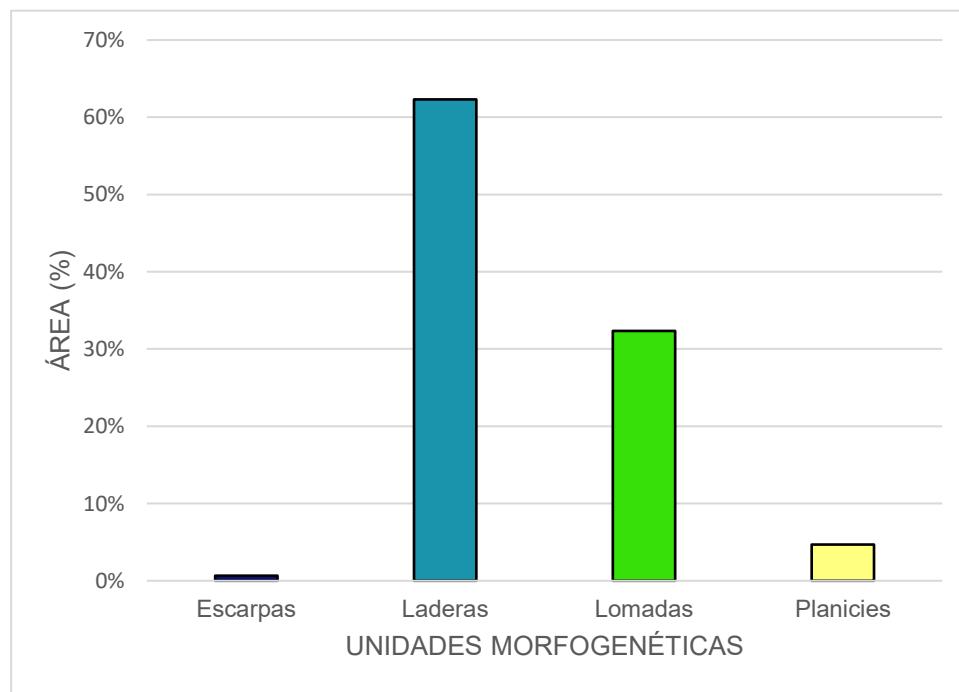


Gráfico 2: Representación gráfica del área en porcentaje de las clases del parámetro unidades morfogenéticas.

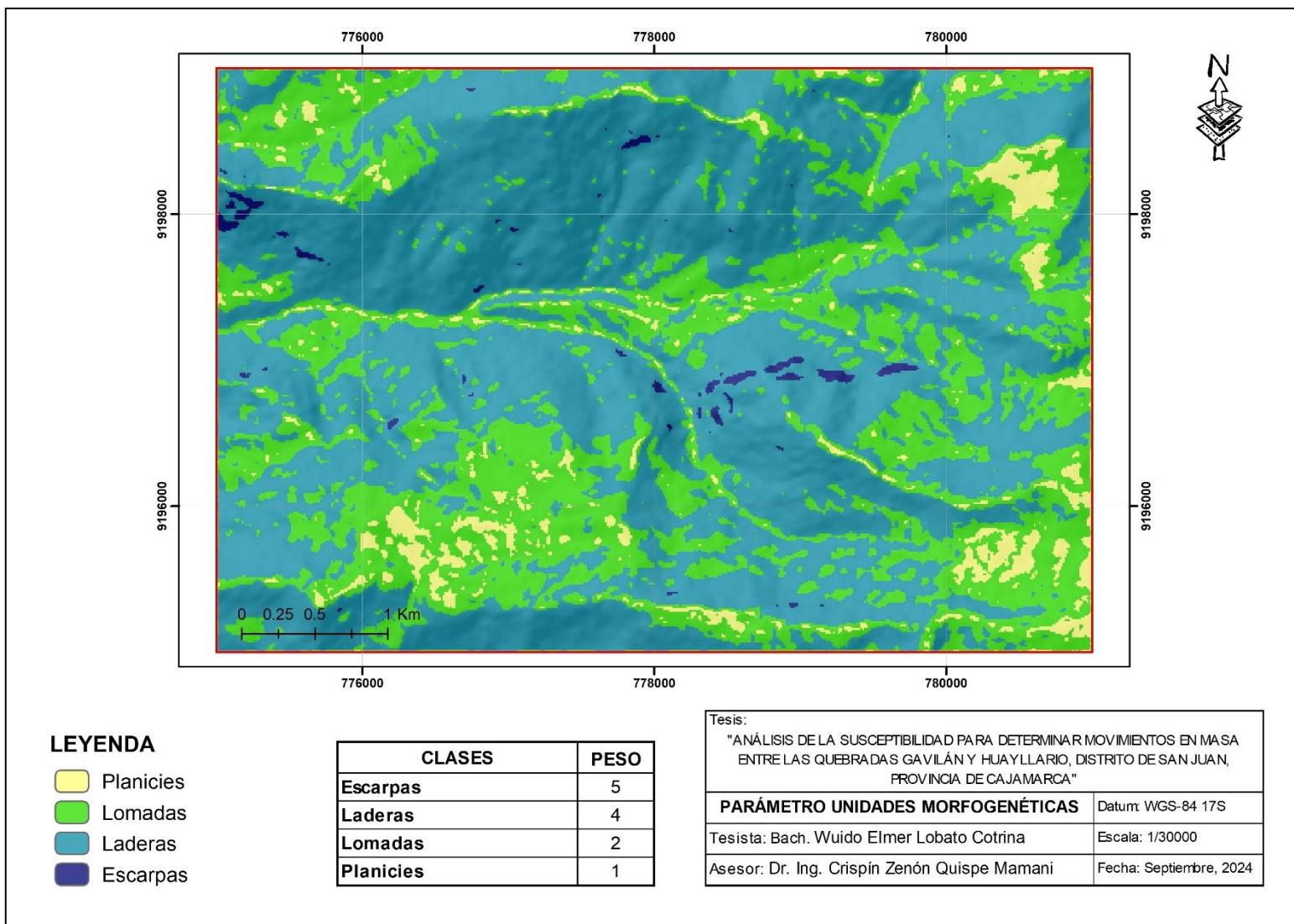


Figura 23: Mapa del parámetro unidades morfogenéticas (UM).

4.5.4. Cálculo de pesos de la densidad hídrica

La densidad hídrica es un parámetro crucial en el análisis de la susceptibilidad a movimientos en masa debido a su influencia directa en la estabilidad. La presencia y distribución del agua superficial pueden afectar significativamente los procesos erosivos y el nivel de saturación del suelo, ambos factores que contribuyen a la generación de inestabilidad en el terreno.

Para cuantificar la influencia de la densidad hídrica, se ha utilizado un rango de pesos de 1 a 5, donde 1 indica una influencia muy baja y 5 una influencia muy alta. La asignación de estos pesos se basa en un análisis de la concentración de la hidrografía del área de estudio, utilizando datos obtenidos del Modelo Digital de Elevación (MDE) y aplicando herramientas de análisis espacial en ArcGIS. Las zonas con pesos más altos indican una mayor concentración de drenajes y, por ende, un mayor riesgo potencial. Cada nivel de densidad hídrica influye directamente en la susceptibilidad a movimientos en masa, con los niveles más altos indicando un mayor riesgo debido a la mayor infiltración y erosión. Este análisis permite identificar las áreas prioritarias para la gestión de riesgos y la implementación de medidas preventivas.

Tabla 10: Clasificación y asignación de pesos para el parámetro de densidad hídrica.

DENSIDAD	NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD	CARACTERÍSTICAS DE LA CLASE	PESOS ASIGNADOS
Muy Alta	Muy Alta. Este nivel se caracteriza por una gran cantidad de drenajes superficiales por unidad de área. Las zonas con muy alta densidad hídrica suelen tener una red densa de ríos, arroyos y canales.	La presencia de una red densa de drenajes facilita la infiltración del agua, lo que puede llevar a una saturación del suelo y una reducción de su cohesión. Esto genera un alto potencial de inestabilidad, incrementando significativamente la probabilidad de movimientos en masa.	5
Alta	Alta. Las áreas con alta densidad hídrica presentan un número considerable de drenajes superficiales, aunque no tan elevado como en el caso de muy alta densidad.	En estas zonas, la infiltración de agua sigue siendo significativa, lo que puede llevar a una saturación moderada del suelo. La presencia de numerosos drenajes también contribuye a la erosión de las laderas. Por tanto, hay un alto potencial de inestabilidad, aunque ligeramente menor que en las áreas de muy alta densidad.	4
Moderada	Moderada. Este nivel representa una densidad intermedia de drenajes superficiales, con una red de drenajes más dispersa en comparación con los niveles altos y muy altos.	En áreas con moderada densidad hídrica, la infiltración y el flujo de agua son suficientes para afectar la estabilidad del suelo, pero no de manera tan intensa. Estas zonas requieren monitoreo, pero el riesgo es menor que en las áreas de alta y muy alta densidad.	3
Baja	Baja. Las zonas con baja densidad hídrica tienen pocos drenajes superficiales, lo que implica una menor cantidad de agua infiltrándose en el terreno.	Con menos agua infiltrándose, la saturación del suelo es mínima, lo que reduce el riesgo de movimientos en masa. La erosión también es menos pronunciada, disminuyendo la probabilidad de deslizamientos. Sin embargo, estas áreas no están completamente exentas de riesgo, especialmente si otros parámetros, como la pendiente y la litología, son desfavorables.	2
Muy Baja	Muy Baja. Este nivel se caracteriza por una escasez de drenajes superficiales. Las áreas con muy baja densidad hídrica presentan una red de drenajes muy dispersa o casi inexistente.	La falta de drenajes superficiales significa que hay poca o ninguna infiltración de agua en el suelo, lo que minimiza el riesgo de saturación y presión de poros. La erosión es prácticamente inexistente, resultando en un bajo potencial de inestabilidad y una baja probabilidad de movimientos en masa. Estas áreas son las más estables desde el punto de vista hidrológico.	1

Analizando las clases de densidad hídrica nos encontramos con que tenemos una representación del 9% de un nivel alto de densidad lo cual indica que en la zona de estudio este parámetro no es muy influyente para la determinación de la susceptibilidad a movimientos en masa, además, los niveles de densidad hídrica, baja y muy baja representan el 54% del total del área de estudio, disminuyendo el potencial a deslizamientos.

Tabla 11: Áreas de cada clase del parámetro densidad hídrica.

DENSIDAD HÍDRICA	ÁREA		Peso
	Km ²	(%)	
Muy Alta	2.11	9%	5
Alta	2.59	11%	4
Moderada	6.33	26%	3
Baja	5.57	23%	2
Muy Baja	7.40	31%	1
TOTAL	24	100%	

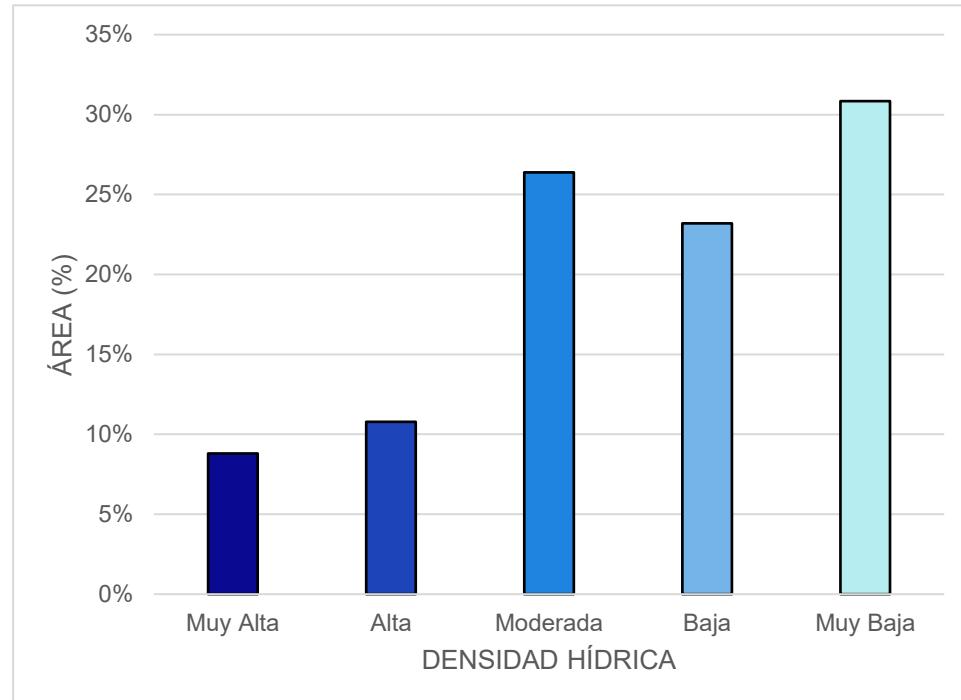


Gráfico 3: Representación gráfica del área en porcentajes de las clases del parámetro densidad hídrica.

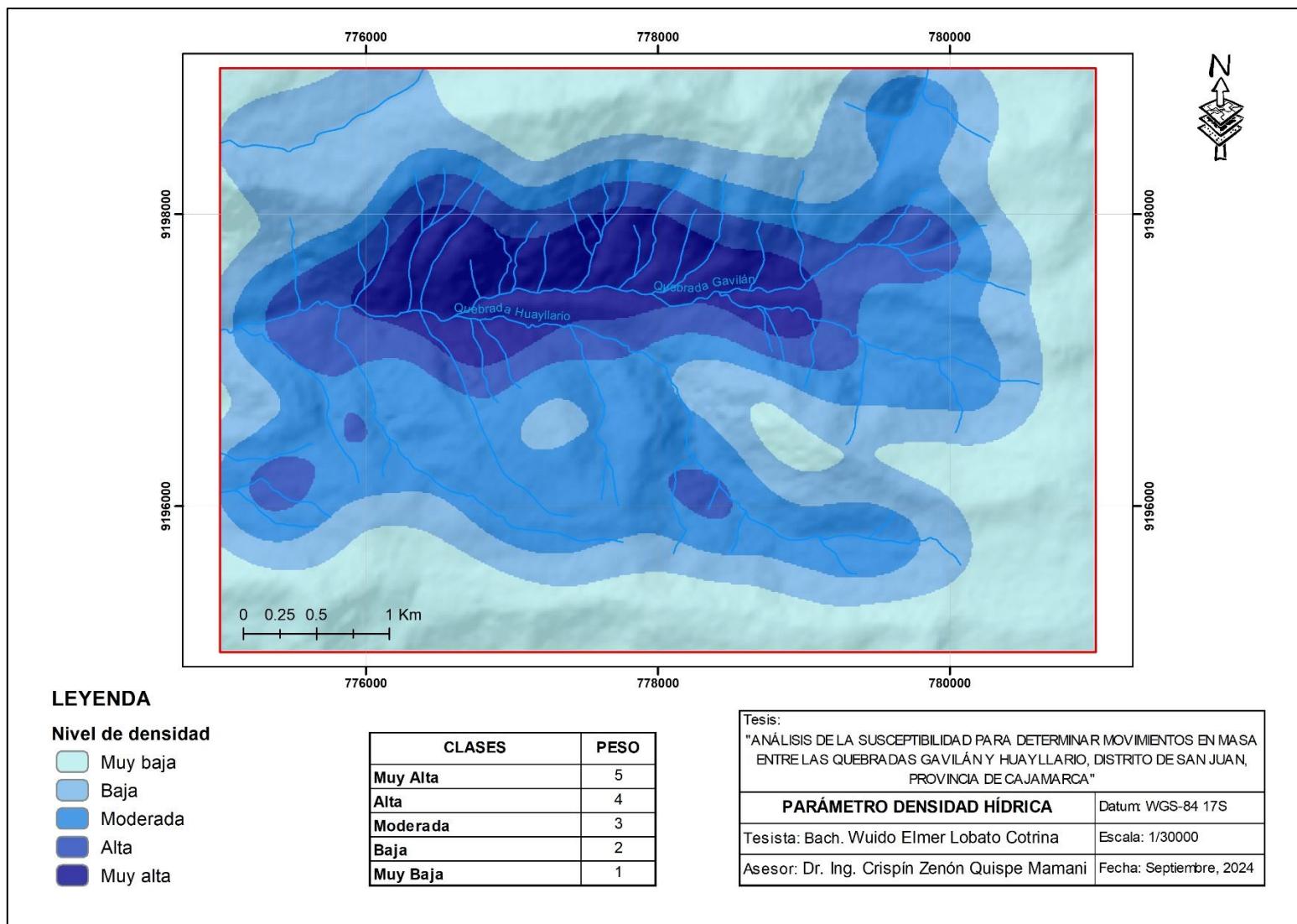


Figura 24: Mapa del parámetro densidad hídrica.

4.5.5. Cálculo de pesos de uso de suelos

El uso del suelo es un parámetro crucial en el análisis de susceptibilidad a movimientos en masa, ya que influye directamente en la estabilidad del terreno a través de varios mecanismos. Para este estudio, se han considerado tres clases de uso de suelos: suelo desnudo, zonas agrícolas y vegetación densa. Cada clase presenta características que afectan la potencialidad de generación de movimientos en masa de manera distinta. A continuación, se detallan las tres clases de uso de suelos y los pesos asignados a cada una, en un rango de 1 a 5, donde 1 indica menor susceptibilidad y 5 mayor susceptibilidad.

Tabla 12: Clasificación y asignación de pesos para el parámetro de uso de suelos.

CLASE DE USO DE SUELOS	NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN	PESO ASIGNADO
Suelo Desnudo	Muy Alta. La ausencia de raíces que actúan como anclas en el suelo incrementa significativamente la susceptibilidad a movimientos en masa. La erosión es más intensa en estas áreas, facilitando la pérdida de material y aumentando la inestabilidad del terreno.	Áreas que presentan exposición directa del suelo o roca, con una cobertura vegetal mínima o nula. Estas zonas están altamente susceptibles a la erosión y a la desestabilización debido a la falta de vegetación que pueda proporcionar resistencia al corte.	5
Zonas Agrícolas	Moderada. La presencia de raíces es moderada, proporcionando alguna resistencia al corte y reduciendo la erosión, pero no tanto como en áreas con vegetación densa. La actividad agrícola puede alterar la estructura del suelo y afectar su estabilidad.	Áreas utilizadas para actividades agrícolas que presentan una mezcla de suelo desnudo y cobertura vegetal, incluyendo arbustos, pastos y algunos árboles.	3
Vegetación Densa	Muy Baja. La presencia de vegetación densa proporciona una alta resistencia a la erosión y estabiliza el suelo gracias a la acción de las raíces que actúan como anclas. La infiltración de agua es facilitada, reduciendo la escorrentía superficial.	Áreas donde la cobertura vegetal es predominante, incluyendo bosques y zonas reforestadas. Estas áreas tienen una gran cantidad de raíces que penetran el suelo, aumentando su cohesión y resistencia al corte.	1

Al analizar la representación de las clases de uso de suelos, las 3 clases representan una cantidad porcentual similar entre sí, se resalta más la clase de suelo desnudo con una representación del 37% del total del área en cuestión, seguido de las zonas agrícolas que también tienen una representación significativa con un 32%, finalmente la vegetación densa se ve representada por un 31%.

Tabla 13: Áreas de cada una de las clases del parámetro uso de suelos.

USO DE SUELOS	ÁREA		PESO
	Km ²	(%)	
Suelo desnudo	8.86	37%	5
Zonas agrícolas	7.70	32%	3
Vegetación densa	7.45	31%	1
TOTAL	24	100%	

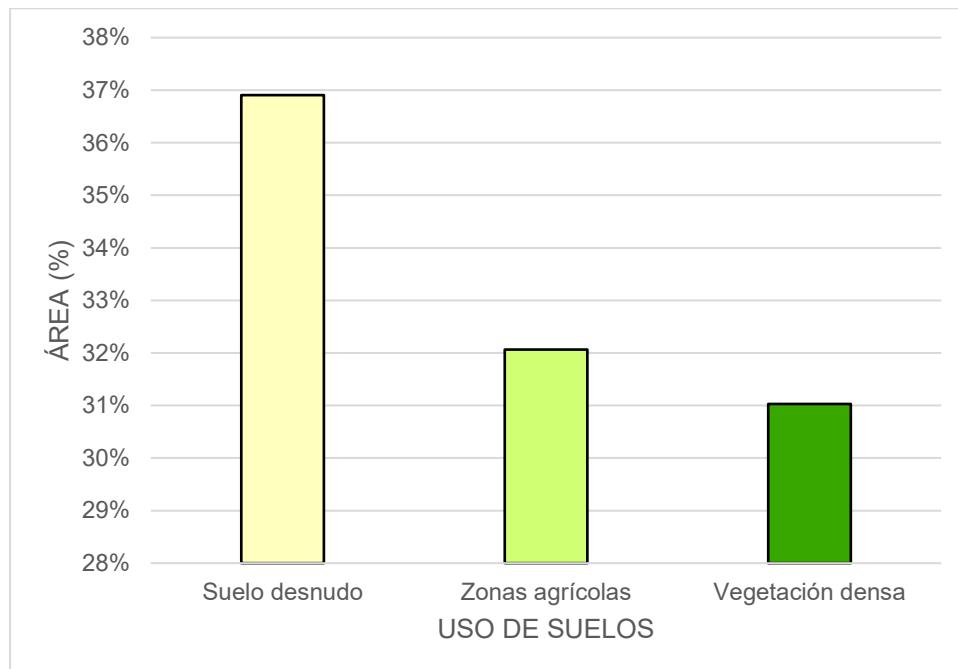


Gráfico 4: Representación gráfica del área en porcentaje de cada una de las clases del parámetro uso de suelos.

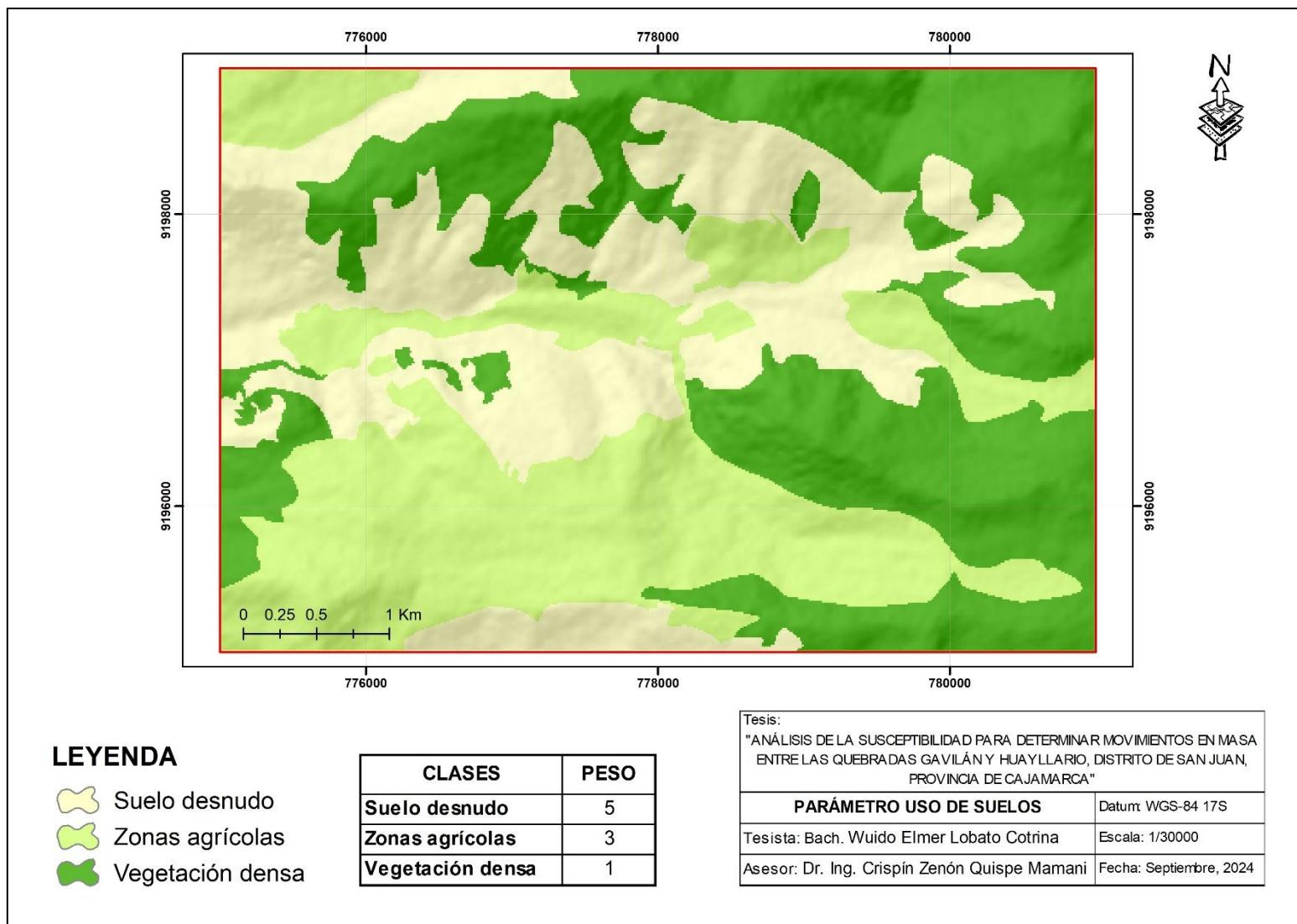


Figura 25: Mapa del parámetro uso de suelos.

4.5.6. Cálculo del mapa de susceptibilidad a movimientos en masa

Se necesita categorizar las áreas en función del riesgo potencial de sufrir movimientos en masa, 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 Parámetros Determinantes.

Los parámetros determinantes ya descritos que intervienen en el análisis de la susceptibilidad a los movimientos de masa, son la litología, unidades morfogenéticas (pendientes), la densidad hídrica y el uso de suelos; mencionados en ese orden, debido al peso asignado para cada parámetro. La fórmula de análisis para determinar el grado de susceptibilidad quedaría de la siguiente forma.

$$S = \sum (P_i \times W_i)$$

Donde:

S es el nivel de susceptibilidad.

P_i es el valor del parámetro i en una celda especificada del raster.

W_i es el peso asignado al parámetro i.

Con las capas de parámetros y los pesos asignados, el SIG realiza el cálculo de la susceptibilidad mediante operaciones algebraicas en cada celda del raster. La fórmula combinada genera una nueva capa de raster donde cada celda tiene un valor de susceptibilidad. La fórmula que se empleará en el SIG (Map Algebra) quedaría de la siguiente manera.

$$S = Lt \times 5 + UM \times 5 + DH \times 3 + US \times 2$$

Donde:

S: Nivel de susceptibilidad

Lt: Parámetro Litología

UM: Parámetro Unidades Morfogenéticas

DH: Parámetro Densidad Hídrica

US: Parámetro Uso De Suelos.

Tabla 14: Descripción de los niveles de susceptibilidad.

NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD	JUSTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	VALOR NUMÉRICO
Muy Alta	Estas áreas presentan condiciones extremadamente favorables para la ocurrencia de MM. Estas zonas suelen estar ubicadas en terrenos con pendientes pronunciadas, litología débil, alta densidad de drenaje, y suelos con baja cohesión.	En estas áreas, la combinación de parámetros condicionantes crea un ambiente altamente inestable. La probabilidad de deslizamientos y otros tipos de movimientos en masa es muy alta, especialmente durante eventos de precipitaciones intensas o sismos.	5
Alta	Las zonas con susceptibilidad alta presentan características que, aunque no tan críticas como en las áreas de susceptibilidad muy alta, aún favorecen de manera significativa la inestabilidad del terreno.	Estas áreas suelen tener pendientes moderadas a altas, una litología susceptible, y una densidad de drenaje considerable. Aunque no tan propensas como las de susceptibilidad muy alta, estas zonas siguen teniendo un riesgo elevado de movimientos en masa.	4
Moderada	Las áreas clasificadas con susceptibilidad moderada presentan un equilibrio entre los parámetros que podrían causar inestabilidad y aquellos que la evitan. Estas zonas pueden experimentar movimientos en masa, pero la probabilidad es moderada.	Estas áreas típicamente presentan pendientes moderadas y una litología menos susceptible. La vegetación puede estar presente, proporcionando cierta estabilidad al terreno. El riesgo de deslizamientos es menor que en las zonas de susceptibilidad alta, pero sigue siendo significativo.	3
Baja	Las áreas con susceptibilidad baja tienen características que limitan la posibilidad de movimientos en masa. Las condiciones del terreno y los parámetros intrínsecos no favorecen la ocurrencia de estos fenómenos.	En estas zonas, las pendientes son suaves y la litología es generalmente estable y resistente a la erosión. La densidad de drenaje es baja, y la vegetación densa ayuda a mantener la estabilidad del suelo. La probabilidad de movimientos en masa es baja, aunque no inexistente.	2
Muy Baja	Las áreas clasificadas con susceptibilidad muy baja son las menos propensas a sufrir movimientos en masa. Estas zonas presentan condiciones altamente estables.	Caracterizadas por pendientes muy suaves, una litología resistente, baja densidad hídrica y una densa cobertura vegetal, estas áreas tienen una probabilidad muy baja de experimentar deslizamientos o cualquier otro tipo de movimiento en masa.	1

Luego de haber analizado cada uno de los Parámetros Determinantes utilizados y describir las clases de susceptibilidad, es importante verificar su estadística de áreas, 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 15: Áreas de cada uno de los niveles de susceptibilidad.

NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD	ÁREA		
	Km2	(%)	% Acumulado
Muy alta	0.55	2%	2%
Alta	6.66	28%	30%
Moderada	9.39	39%	69%
Baja	6.27	26%	95%
Muy baja	1.13	5%	100%
TOTAL	24	100%	-

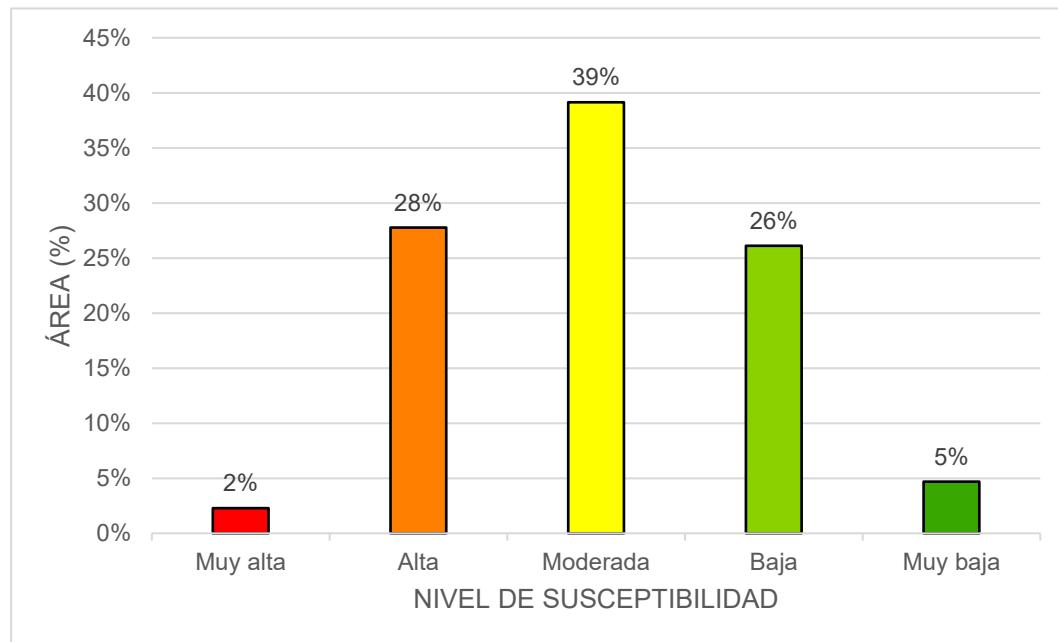


Gráfico 5: Representación gráfica de las áreas en porcentajes de los niveles de susceptibilidad.

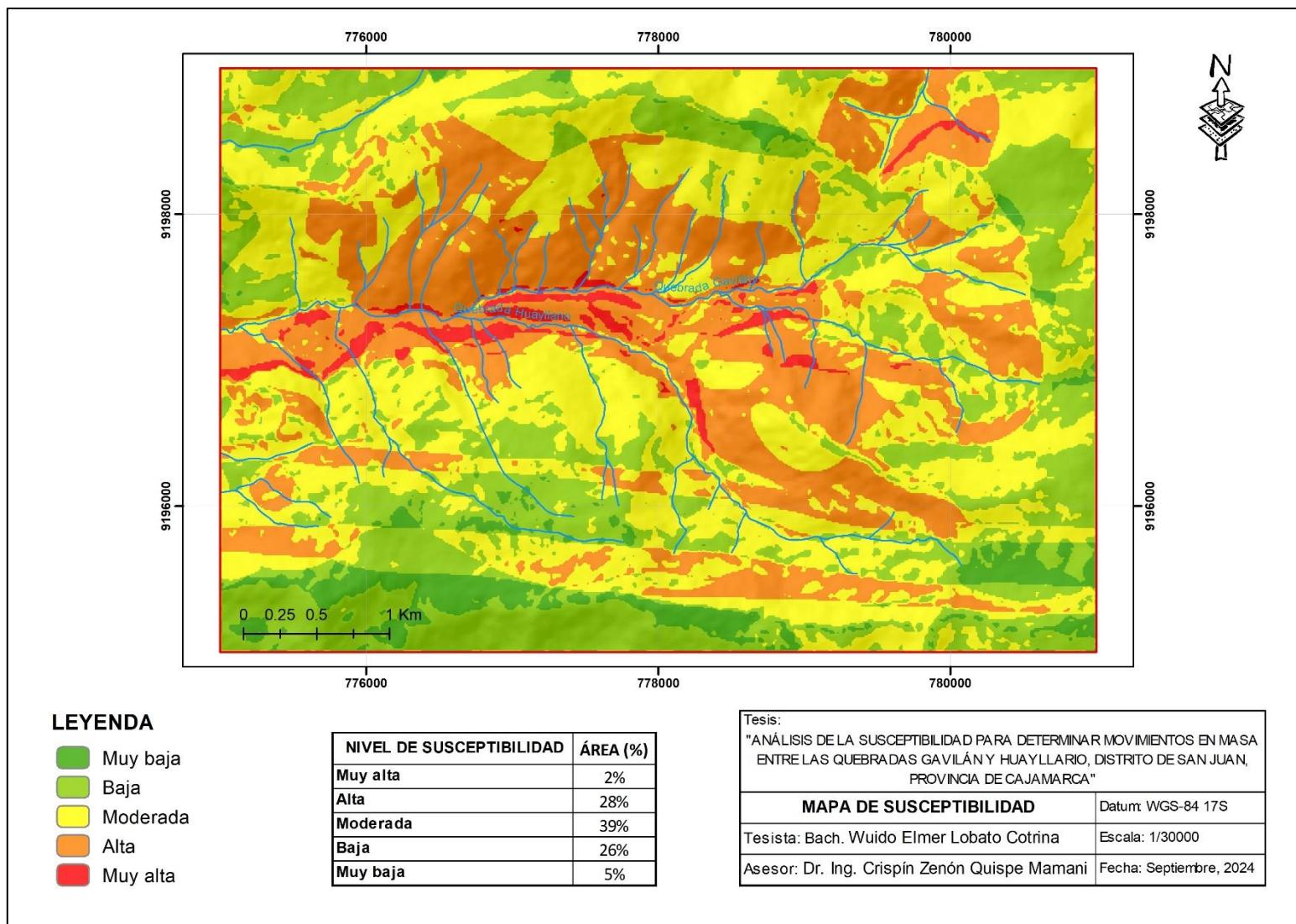


Figura 26: Mapa de susceptibilidad resultado de la operación algebraica en el SIG.

4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Analizando los resultados del mapa de susceptibilidad con el gráfico obtenido, observamos que la susceptibilidad de categoría muy alta alcanza apenas el 2% del total del área estudiada, aunque esto indica que hay una representación relativamente pequeña y poco significativa, su importancia sigue siendo muy relevante ya que indica zonas con un alto riesgo de inestabilidad y una probabilidad considerable de que ocurran movimientos en masa.

La susceptibilidad alta se ve reflejada con un 28% del total del área, estas zonas son también de alto riesgo. En estas áreas la combinación de los parámetros contribuye a una considerable probabilidad de deslizamientos, por lo que se debe considerar precauciones adicionales y monitoreo constante.

La susceptibilidad moderada cubre el 39% del área total, lo que la convierte en la categoría más representada en el área de estudio. Las áreas con susceptibilidad moderada indican un riesgo intermedio de movimientos en masa. Aquí los esfuerzos de mitigación pueden centrarse en mejorar las condiciones de terreno y reducir parámetros que puedan incrementar la susceptibilidad.

Un 26% del área corresponde a zonas con susceptibilidad baja. Estas áreas presentan un riesgo relativamente menor de que sucedan movimientos en masa, pero no están exentas de inestabilidad, especialmente si los parámetros condicionantes cambian con el tiempo, por ejemplo, un aumento en las precipitaciones o modificación antrópicas del uso de suelos.

Finalmente, el 5% del área total muestra una susceptibilidad muy baja. Estas zonas son las más estables dentro del área de estudio, con un nulo o muy bajo potencial de generación de movimientos en masa. Sin embargo, es importante considerar que cambios significativos en las condiciones del terreno o en los parámetros externos podrían alterar esta estabilidad.

Los resultados obtenidos del mapa de susceptibilidad son fundamentales para identificar y priorizar áreas de intervención dentro del territorio. La identificación de zonas de muy alta y alta susceptibilidad permite a los tomadores de decisiones enfocar los recursos en la implementación de medidas preventivas y de mitigación en las áreas más críticas, reduciendo el riesgo para las comunidades y la infraestructura.

Por otro lado, las áreas clasificadas como de susceptibilidad moderada y baja indican donde se podrían enfocar esfuerzos para prevenir un incremento del riesgo, mediante prácticas de manejo del territorio y mejora del uso del suelo. Finalmente, la identificación de áreas de muy baja susceptibilidad ofrece información valiosa sobre zonas más estables, que pueden ser

consideradas para futuros desarrollos, siempre y cuando se realicen estudios más detallados y se mantenga un monitoreo constante.

En resumen, el análisis de susceptibilidad proporciona un marco esencial para el manejo integral del riesgo en el área de estudio, permitiendo planificar de manera más eficiente y eficaz las estrategias de mitigación y adaptación frente a los movimientos en masa.

4.7. VALIDACIÓN DE DATOS

Durante el desarrollo de la investigación se realizó la validación de datos del análisis de movimientos en masa en la zona de estudio que comprende las quebradas Gavilán y Huayllario, contrastando el mapa de susceptibilidad resultado del proceso Analítico Jerárquico 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 años en Google Earth para complementar el inventario en zonas de poca accesibilidad.

Se logró identificar un total de 40 movimientos en masa entre deslizamientos, desprendimientos y flujos, detallados en la tabla 16. De todos los movimientos en masa hay un total de 20 deslizamientos, 8 desprendimientos y 12 flujos. Superponiendo la información del inventario con el mapa de susceptibilidad, se encontró que 19 movimientos en masa se ubicaron en áreas de muy alta susceptibilidad, 12 movimientos se ubicaron en áreas de alta susceptibilidad, 7 movimientos en áreas de moderada susceptibilidad y 2 de ellos en áreas de baja susceptibilidad como se aprecia en el gráfico 6.

Tabla 16: Inventario de los movimientos en masa identificados en el área de estudio.

Nº	CÓDIGO	TIPO DE MOVIMIENTO EN MASA	NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD	COORDENADAS UTM	
				ESTE	NORTE
1	Dz-01	Deslizamiento	Alta	775458	9197250
2	Dz-02	Deslizamiento	Alta	775660	9198021
3	Dz-03	Deslizamiento	Alta	775952	9197964
4	Dz-04	Deslizamiento	Alta	776608	9197886
5	Dz-05	Deslizamiento	Alta	777010	9197742
6	Dz-06	Deslizamiento	Alta	779023	9197634
7	Dz-07	Deslizamiento	Alta	779341	9198515
8	Dz-08	Deslizamiento	Alta	779219	9198680
9	Dz-09	Deslizamiento	Moderada	779115	9198863
10	Dz-10	Deslizamiento	Moderada	778496	9198966
11	Dz-11	Deslizamiento	Moderada	779553	9197104
12	Dz-12	Deslizamiento	Moderada	775916	9196908
13	Dz-13	Deslizamiento	Muy Alta	779988	9198610
14	Dz-14	Deslizamiento	Muy Alta	778060	9196789
15	Dz-15	Deslizamiento	Muy Alta	777338	9197407
16	Dz-16	Deslizamiento	Muy Alta	777441	9197425
17	Dz-17	Deslizamiento	Muy Alta	776906	9197322
18	Dz-18	Deslizamiento	Muy Alta	776228	9197945
19	Dz-19	Deslizamiento	Muy Alta	775571	9196957
20	Dz-20	Deslizamiento	Muy Alta	775097	9196892
21	Dp-21	Desprendimiento	Alta	777453	9197391
22	Dp-22	Desprendimiento	Baja	780122	9198761
23	Dp-23	Desprendimiento	Baja	778509	9198291
24	Dp-24	Desprendimiento	Moderada	778197	9196488
25	Dp-25	Desprendimiento	Muy Alta	777511	9197158
26	Dp-26	Desprendimiento	Muy Alta	777577	9197327
27	Dp-27	Desprendimiento	Muy Alta	779590	9198308
28	Dp-28	Desprendimiento	Muy Alta	779063	9197501
29	F-36	Flujo	Alta	775802	9197027
30	F-37	Flujo	Alta	775294	9197052

Nº	CÓDIGO	TIPO DE MOVIMIENTO EN MASA	NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD	COORDENADAS UTM ESTE	NORTE
31	F-38	Flujo	Alta	778177	9197797
32	F-39	Flujo	Moderada	778311	9197671
33	F-40	Flujo	Moderada	775498	9197716
34	F-41	Flujo	Muy Alta	778242	9196793
35	F-42	Flujo	Muy Alta	778771	9197293
36	F-43	Flujo	Muy Alta	777770	9197045
37	F-44	Flujo	Muy Alta	777475	9197536
38	F-45	Flujo	Muy Alta	776922	9197189
39	F-46	Flujo	Muy Alta	776358	9197351
40	F-47	Flujo	Muy Alta	776265	9197100

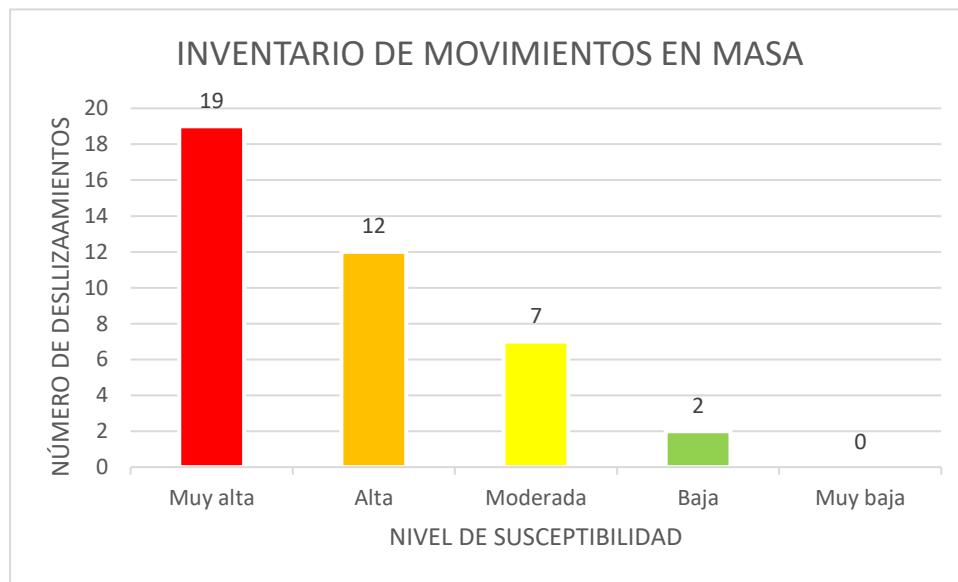


Gráfico 6: Relación del número de movimientos en masa con el nivel de susceptibilidad del mapa resultado.

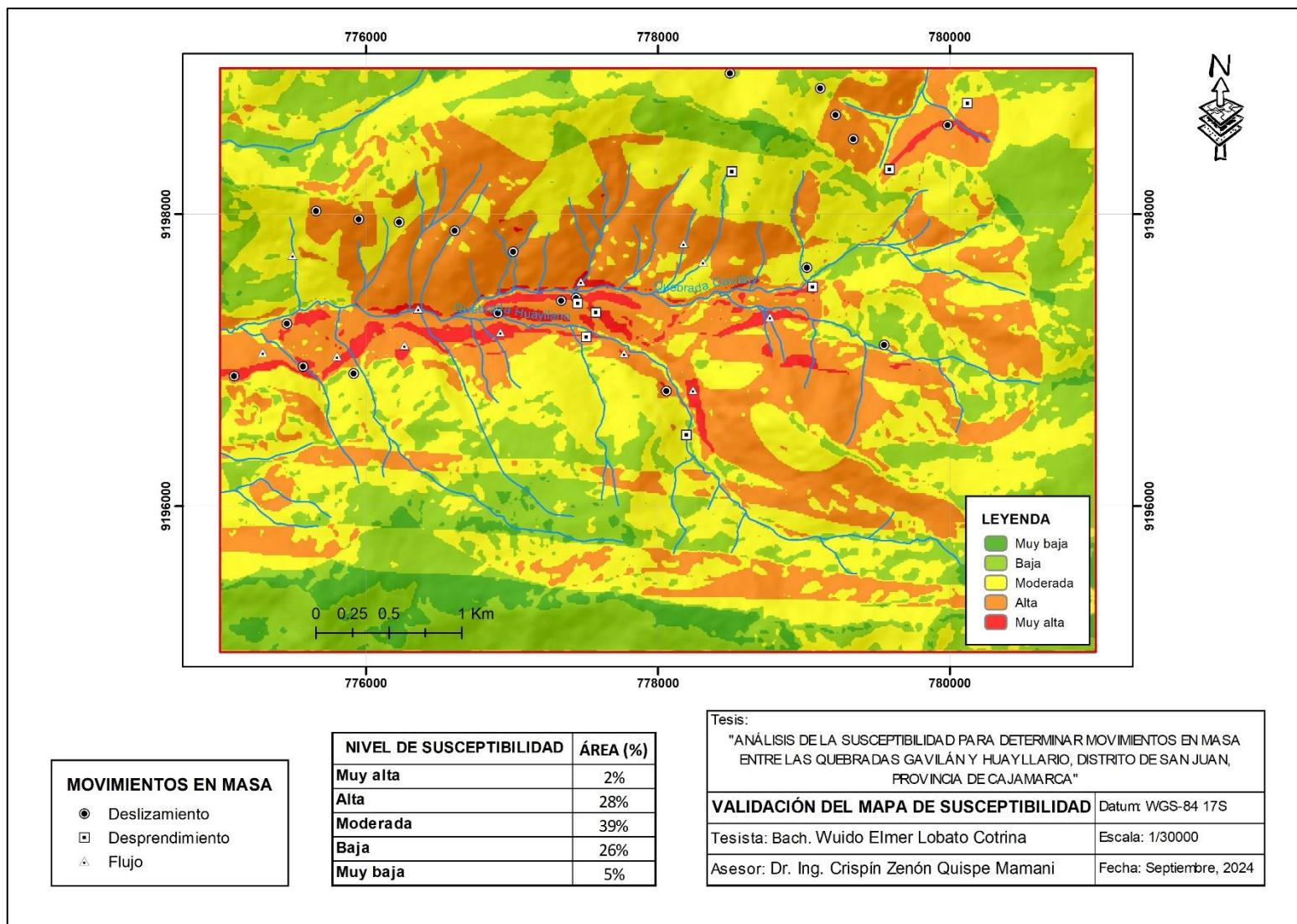


Figura 27: Validación del mapa de susceptibilidad con inventario de movimientos en masa.

4.8. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Los resultados obtenidos en el análisis de susceptibilidad mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y el uso de herramientas SIG confirmaron la hipótesis planteada. Se determinó que los parámetros condicionantes, como la litología y las unidades morfogenéticas, ejercen una influencia significativa en la determinación del nivel de susceptibilidad a movimientos en masa, seguidos en menor medida por la densidad hídrica y el uso de suelos.

Asimismo, se observó que las áreas con litologías de suelos poco cohesivos, pendientes pronunciadas y alta densidad hídrica concentraron la mayor cantidad de movimientos en masa, tal como se propuso en la hipótesis. Por lo tanto, los resultados obtenidos confirman la hipótesis general, al comprobarse que los parámetros condicionantes analizados influyen significativamente en la susceptibilidad a movimientos en masa dentro del área comprendida entre las quebradas Gavilán y Huayllario.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El análisis de susceptibilidad a movimientos en masa permitió clasificar el área de estudio en cinco niveles: muy alta, alta, moderada, baja y muy baja susceptibilidad. El 2% del área presenta susceptibilidad muy alta, el 28% alta, el 39% moderada, el 26% baja y el 5% muy baja. Esta zonificación evidencia que las zonas de alta y muy alta susceptibilidad requieren priorizar acciones de monitoreo, prevención y mitigación.

El análisis de la información geológica existente, complementado con observaciones de campo, permitió identificar las principales Formaciones aflorantes y su influencia en la estabilidad del terreno. Se determinó que las litologías sedimentarias poco consolidadas presentan mayor predisposición a movimientos en masa, especialmente en sectores con alta densidad hídrica.

A partir del modelo digital de elevación (MDE), se identificaron las unidades geomorfológicas predominantes, siendo las laderas escarpadas y las zonas de fuertes pendientes las de mayor susceptibilidad. Este parámetro mostró una alta correlación con la ocurrencia de movimientos en masa registrados en el terreno.

El análisis del uso de suelos, mediante interpretación de imágenes satelitales y verificación en campo, permitió reconocer que las zonas con escasa cobertura vegetal y actividades antrópicas intensas incrementan el riesgo de inestabilidad, aunque este parámetro tuvo menor influencia en comparación con la litología y las unidades geomorfológicas.

El mapa temático de susceptibilidad obtenido mediante el método AHP evidenció una adecuada representatividad del fenómeno. La validación con el inventario de 40 movimientos en masa demostró una correspondencia significativa, ya que el 77% de los eventos se ubican en zonas de alta o muy alta susceptibilidad, confirmando la confiabilidad del modelo empleado.

5.2. RECOMENDACIONES

A los investigadores interesados en la línea de geotecnia y análisis de susceptibilidad, se recomienda complementar este tipo de estudios con trabajos de campo más detallados, incorporando ensayos geotécnicos *in situ* y de laboratorio para validar los parámetros empleados en los modelos de estabilidad.

A los futuros tesis de Ingeniería Geológica Y profesionales especializados en gestión de riesgo, se sugiere aplicar metodologías similares en otras zonas del distrito de San Juan o áreas adyacentes con condiciones geológicas y geomorfológicas comparables, con el propósito de realizar análisis comparativos y fortalecer la comprensión regional de la susceptibilidad a movimientos en masa.

A las entidades públicas como el INGEMMET y gobiernos locales, se les recomienda actualizar periódicamente el inventario de movimientos en masa y utilizar herramientas de teledetección de mayor resolución (como imágenes satelitales o drones) para monitorear los cambios morfológicos y la evolución de zonas críticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberti, J. R., Canales, R. E., y Elizabeth, B. H. (2006). *Técnicas de mitigación para el control de deslizamientos en taludes y su aplicación a un caso específico*. Tesis profesional, Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Almaguer, Y. (2006). *Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda* (Vol. 22). Cuba: Revista de Ciencias de la Tierra, Minería & Geología.
- Alva, C. E. (2019). *Peligros geológicos en la localidad de San Marcos, distrito Pedro Galvez, provincia de San Marcos*. Tesis profesional, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Apaza, L. A., y Olivera, M. (2021). *Evaluacion del riesgo geologico ante movimientos en masa en la quebrada Sicre, distrito de Huayopata, provincia de La Convencion, departamento del Cusco*. Tesis profesional, Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco, Cusco.
- Benavides, V. (1956). Cretaceous System In Northern Peru. *Bulletin Of The American Museum Of Natural History*, 108(4), 353-494.
- Blanco, F. (2013). *Evaluación De La Susceptibilidad A Movimientos En Masa En La Zona Central De La Cuenca Del Río Mantaro – Región Junín*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Castro, V. P. (2018). *Susceptibilidad y estimación de riesgo geológico de remociones en masa en la zona Laguna Verde, Región de Valparaíso*. Tesis profesional, Universidad Nacional Andres Bello, Viña del Mar.
- Caviedes, L., y Chaparro, F. (2021). *Zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa en el área urbana del sector este de la UPZ verbenal, Bogotá D.C.* Bogotá D.C., Colombia: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.
- Clarke, K. C. (1997). *Getting Started With Geographic Information Systems*. Pearson Prentice Hall Series in Geographic Information Science.
- Cruden, D. M. (01 de Abril de 1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*(43), 27-29.
<https://doi.org/10.1007/BF02590167>

- Cruden, D. M., y Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. En A. K. Turner, y R. L. Schuster (Edits.), *Landslides Investigation and mitigation* (et al. 36-75). Washington, D. C., USA: Transportation Research Board. Retrieved 16 de marzo de 2023, from <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr247/sr247.pdf>
- Cruden, D., y Varnes, D. (1996). *Landslide types and processes*. (A. K. Turner, y R. L. Schuster, Edits.) Washington, D. C., USA: Transportation Research Board. Retrieved 16 de marzo de 2023, from <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr247/sr247.pdf>
- ESRI. (23 de Enero de 2024). *¿Que es el SIG?* <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>
- Gómez, D., y Luna, G. (2020). *Evaluación de peligros geológicos por deslizamientos y reptaciones en los sectores Hualcayan y Tambo (Canta)*. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortúñoz, L., y Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica*. (I. Capella, Ed.) Madrid, España: Pearson Educación, S.A.
- Goodman, R., y Bray, J. (1976). *Toppling of rock slopes*. Colorado: Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and slopes.
- Hernández, S. (2021). *Evaluación de los peligros geológicos y elaboración del mapa de susceptibilidad en la zona de Huambocancha Baja - Cajamarca*. Tesis profesional, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Hoek, E., y Bray, J. (1981). *Rock slopes engineering: Institution of Mining and Metallurgy*.
- Hutchinson, J. (1988). *Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology*. Lausanne: 5th International Conference on Landslides.
- INDECI. (2011). *Manual de Estimación del Riesgo Ante Movimientos en Masa en Laderas*. Lima: Instituto Nacional De Defensa Civil.
- INGEMMET. (2007). *Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas*. Lima: Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional.
- INGEMMET. (2018). *Los peligros geológicos en el Perú*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.

- Medina, B. (2007). Deslizamientos e Impactos Ambientales de los huracanes Mitch Y Stan, en Guatemala. *Jornadas Internacionales sobre Gestión del Riesgo de Inundaciones y Deslizamientos de Laderas*.
- Rodríguez, S. R. (2016). *Método De Investigación Geológico-Geotécnico Para El Análisis De Inestabilidad De Laderas Por Deslizamientos Zona Ronquillo-Corisorgona*. Lima: Universidad Nacional Mayor De San Marcos.
- Rodríguez, S. R. (2018). *Impactos Geotécnico-Ambientales En Cabeceras De Subcuenca Por Implantación De Minas Conga*. Cajamarca: Escuela de posgrado, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Saaty, T. (2008). *The Aanalytic Hierarchy/Network Process* (Vol. 102). RACSAM.
- Sales, D., Origlia, D., Yenes Ortega, M., y Gardini, C. (2002). *Deslizamiento rotacional en el Cerro Inti Huasi, Departamento Pringles, Provincia de San Luis* (Vol. 18). Pringles: Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente.
- Seisdedos, J. (2008). *Los grandes paleo-deslizamientos de Güímar y La Orotava (Tenerife): análisis geológico, mecanismos de inestabilidad y modelización geomecánica*. Madrid, España: Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Suarez, J. (1998). Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo. En *Deslizamientos: Análisis Geotécnico* (et al. 527-582).
- Varnes, D. (1978). *Landslide types and processes*. Washington D.C.
- Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation*. Paris, Francia: A review of principles and practice.United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Villacorta, S. P. (2007). *Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca del río Llaminchán (Cajamarca, Perú)*. Lima: Realizada en el Instituto Geológico y Minero de España y el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico de Perú.
- Voogd, J. H. (1982). *Multicriteria evaluation with mixed qualitative and quantitative data*. Environ Plan B Plan Des. <https://doi.org/10.1080/03086148208703136>
- Weather Spark. (24 de Enero de 2024). El clima en San Juan: <https://es.weatherspark.com/y/24251/Clima-promedio-en-San-Juan-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

ANEXOS

P-01: PLANO DE UBICACIÓN

P-02: PLANO SATELITAL

P-03: PLANO GEOLÓGICO

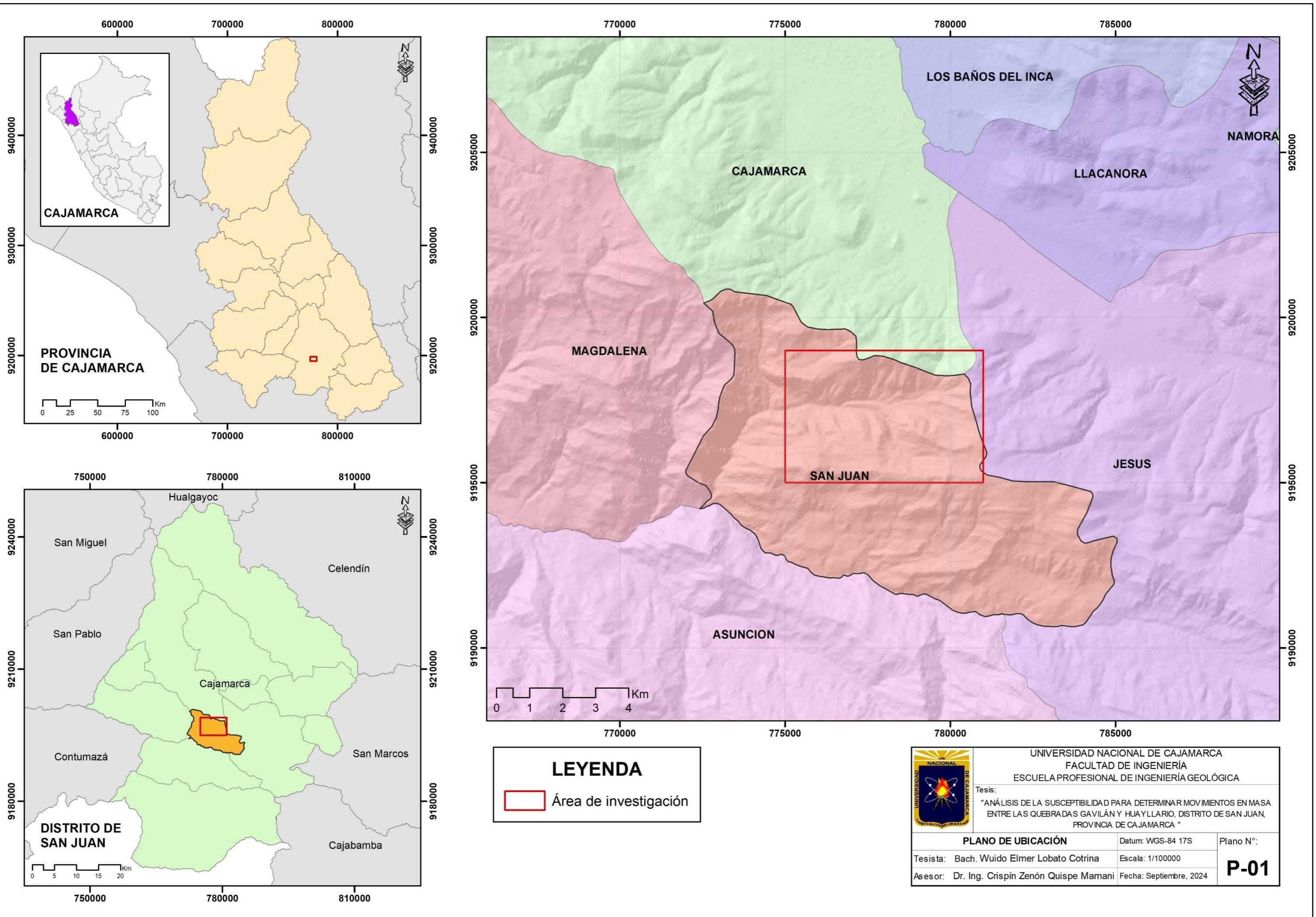
P-04: PLANO DE UNIDADES MORFOGENÉTICAS

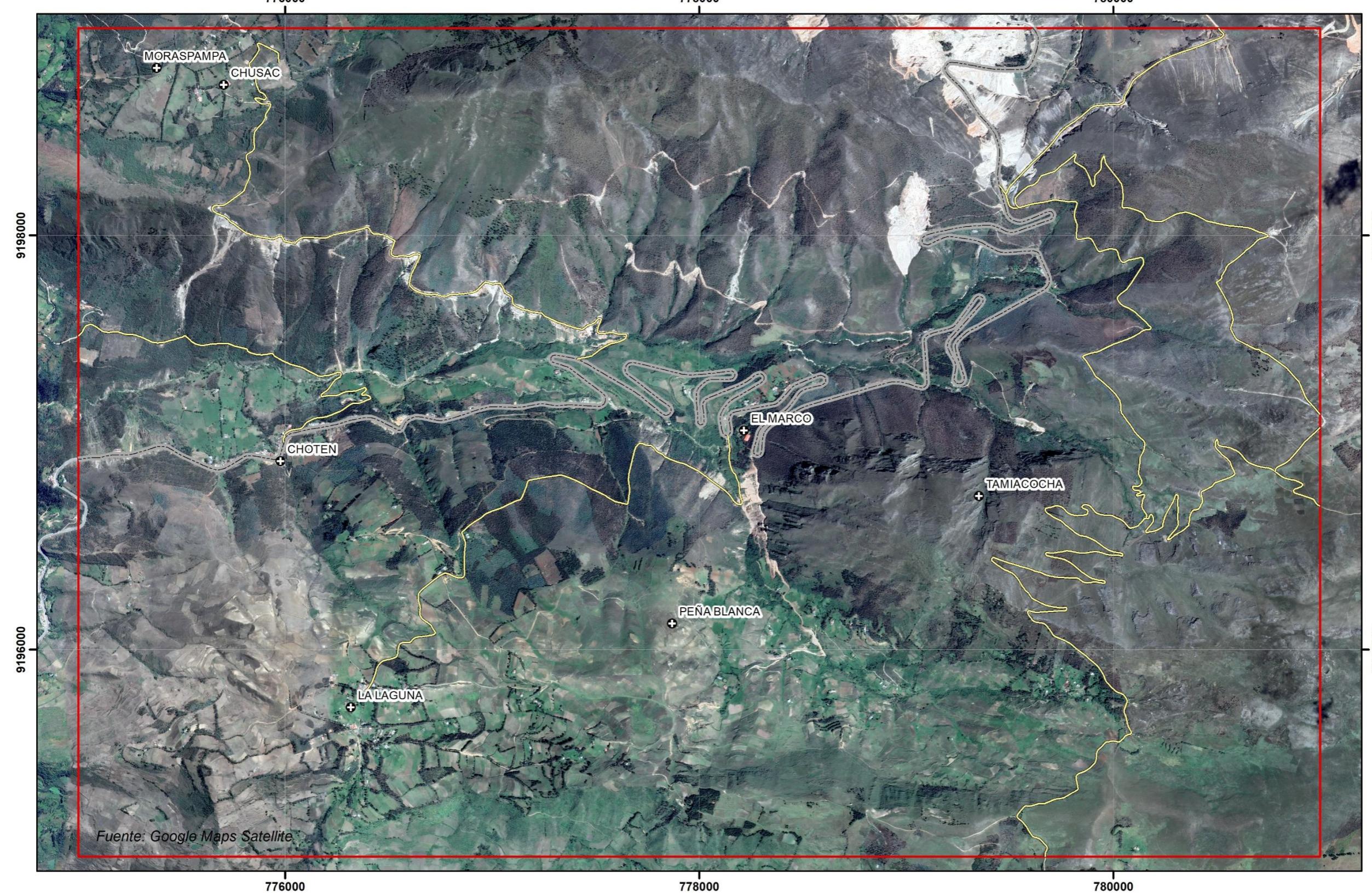
P-05: PLANO HIDROGRÁFICO

P-06: PLANO DE USO DE SUELOS

P-07: MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES

P-08: PLANO DE SUSCEPTIBILIDAD





LEYENDA

- Centros poblados

Vías de acceso

- Asfaltado

- Trocha

ESCALA GRÁFICA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis:

"ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA DETERMINAR MOVIMIENTOS EN MASA
ENTRE LAS QUEBRADAS GAVILÁN Y HUAYLLARIO, DISTRITO DE SAN JUAN,
PROVINCIA DE CAJAMARCA "

PLANO SATELITAL

Datum: WGS-84 17S

Plano N°:

Tesista: Bach. Wuidor Elmer Lobato Cotrina

Escala: 1/20000

Asesor: Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani

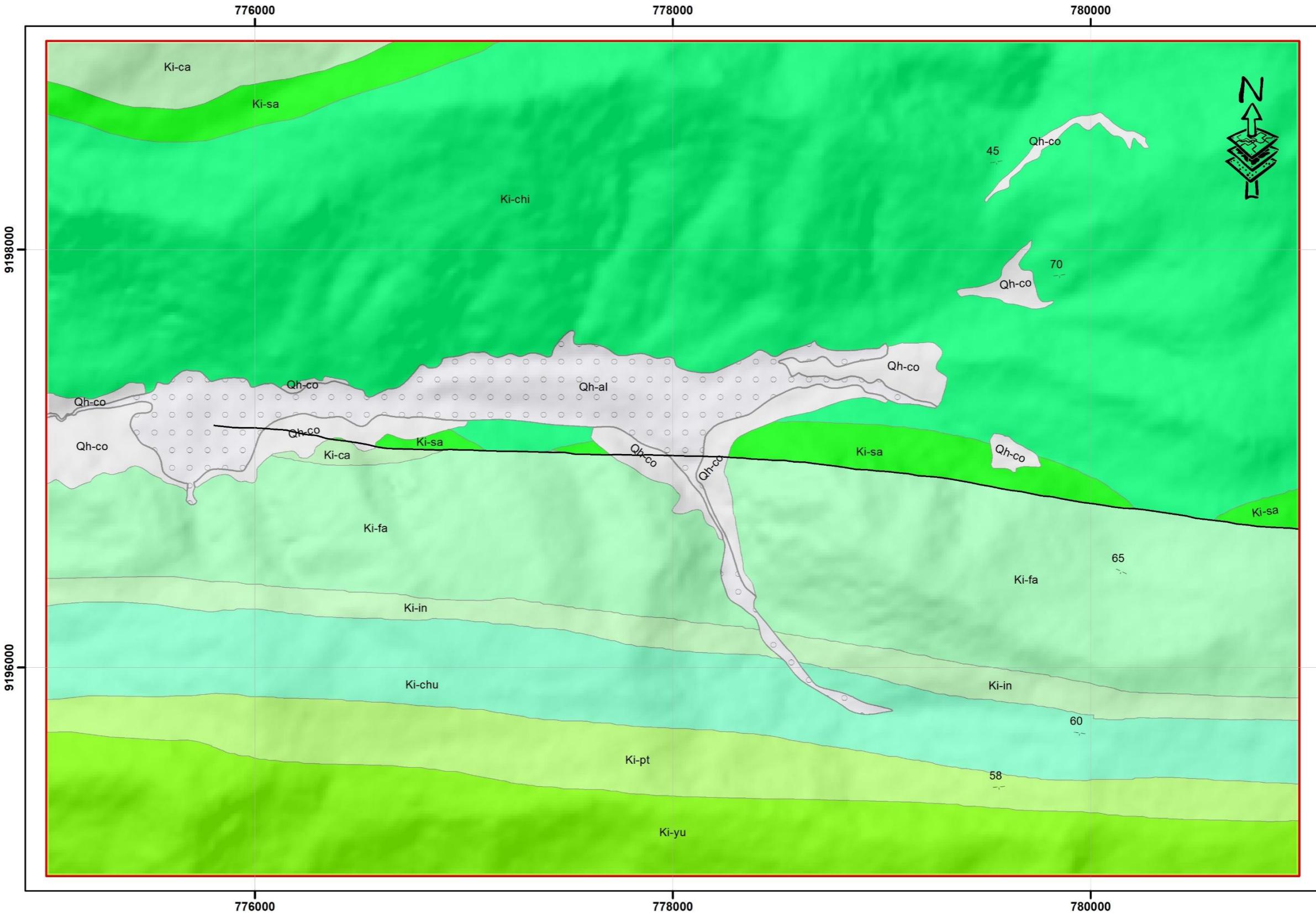
Fecha: Septiembre, 2024

P-02

LEYENDA

Litología

- Qh-co
- Qh-al
- Ki-yu
- Ki-pt
- Ki-chu
- Ki-in
- Ki-fa
- Ki-ca
- Ki-sa
- Ki-chi



SIMBOLOGÍA

- Área de investigación
- Falla geológica
- Buza

ESCALA GRÁFICA

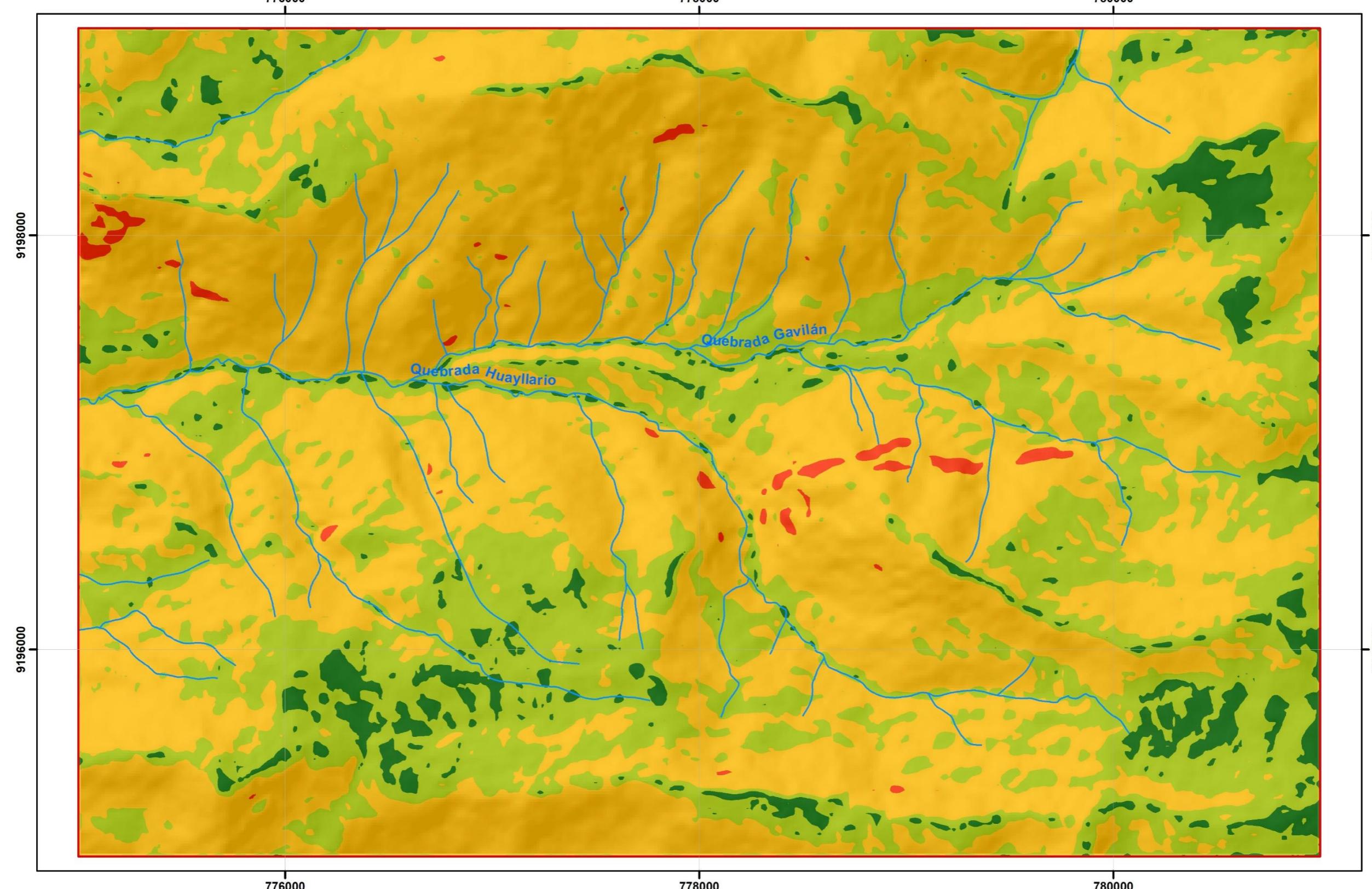
0 0.25 0.5 1 1.5 2 Km



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

Tesis:
"ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA DETERMINAR MOVIMIENTOS EN MASA
ENTRE LAS QUEBRADAS GAVILÁN Y HUAYLLARIO, DISTRITO DE SAN JUAN,
PROVINCIA DE CAJAMARCA "

PLANO GEOLÓGICO	Datum: WGS-84 17S	Plano N°:
Tesista: Bach. Wuidor Elmer Lobato Cotrina	Escala: 1/20000	P-03
Asesor: Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani	Fecha: Septiembre, 2024	



LEYENDA	
Pendiente	UM
	Planicies
	Lomadas
	Laderas
	Escarpas

SIMBOLOGÍA	
	Área de investigación
	Drenajes

ESCALA GRÁFICA

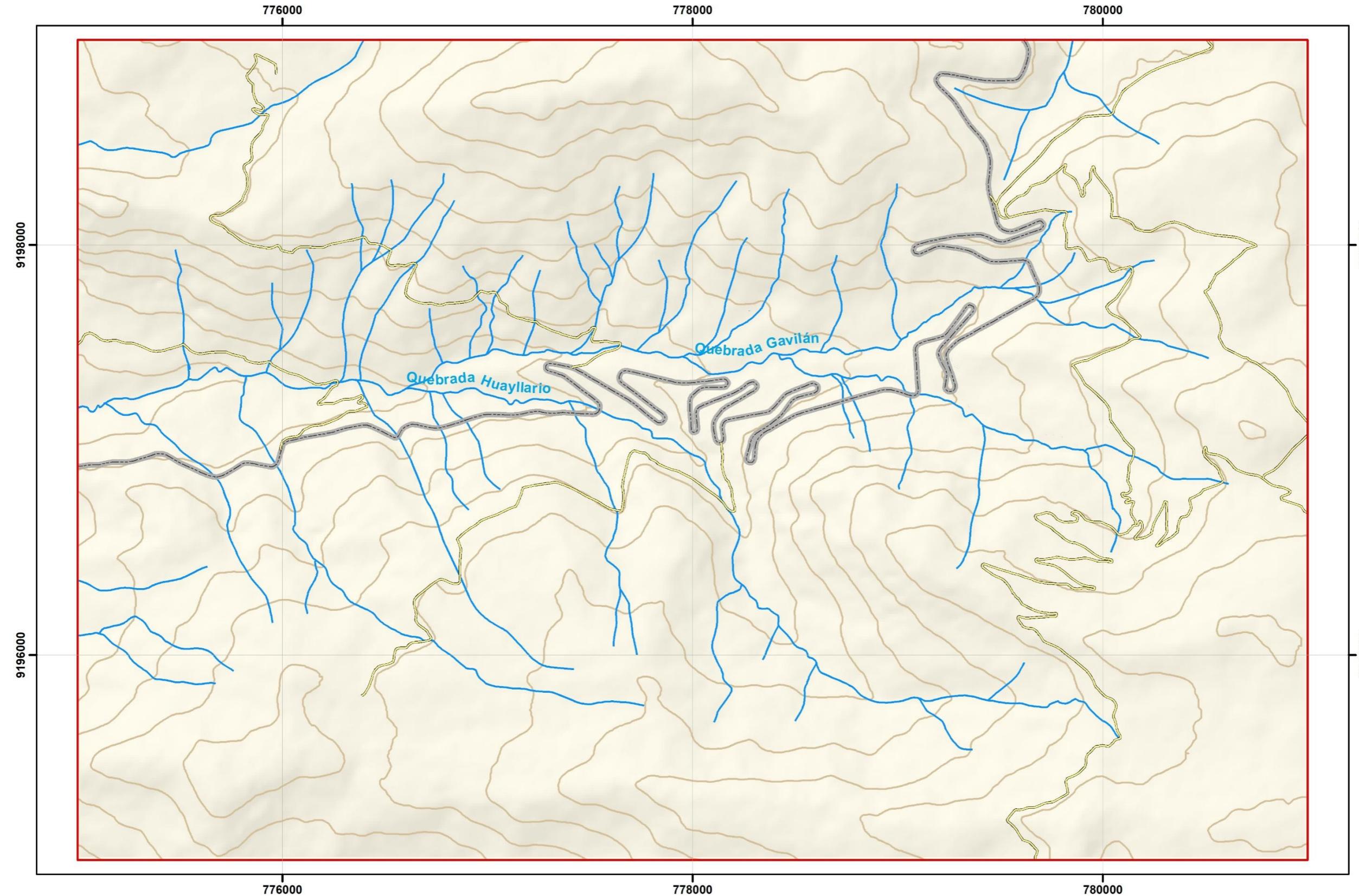
0 0.25 0.5 1 1.5 2 Km



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

Tesis:
"ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA DETERMINAR MOVIMIENTOS EN MASA
ENTRE LAS QUEBRADAS GAVILÁN Y HUAYLLARIO, DISTRITO DE SAN JUAN,
PROVINCIA DE CAJAMARCA "

PLANO DE UNIDADES MORFOGENÉTICAS	Datum: WGS-84 17S	Plano N°:
Tesista: Bach. Wuidó Elmer Lobato Cotrina	Escala: 1/20000	P-04
Asesor: Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani	Fecha: Septiembre, 2024	



LEYENDA

- | | |
|---|---|
| ■ Área de investigación | Vías de acceso |
| ~~~~~ Drenajes | ~~~~~ Asfaltado |
| ~~~~~ Curvas de nivel | ~~~~~ Trocha |

ESCALA GRÁFICA

0 0.25 0.5 1 1.5 2
Km

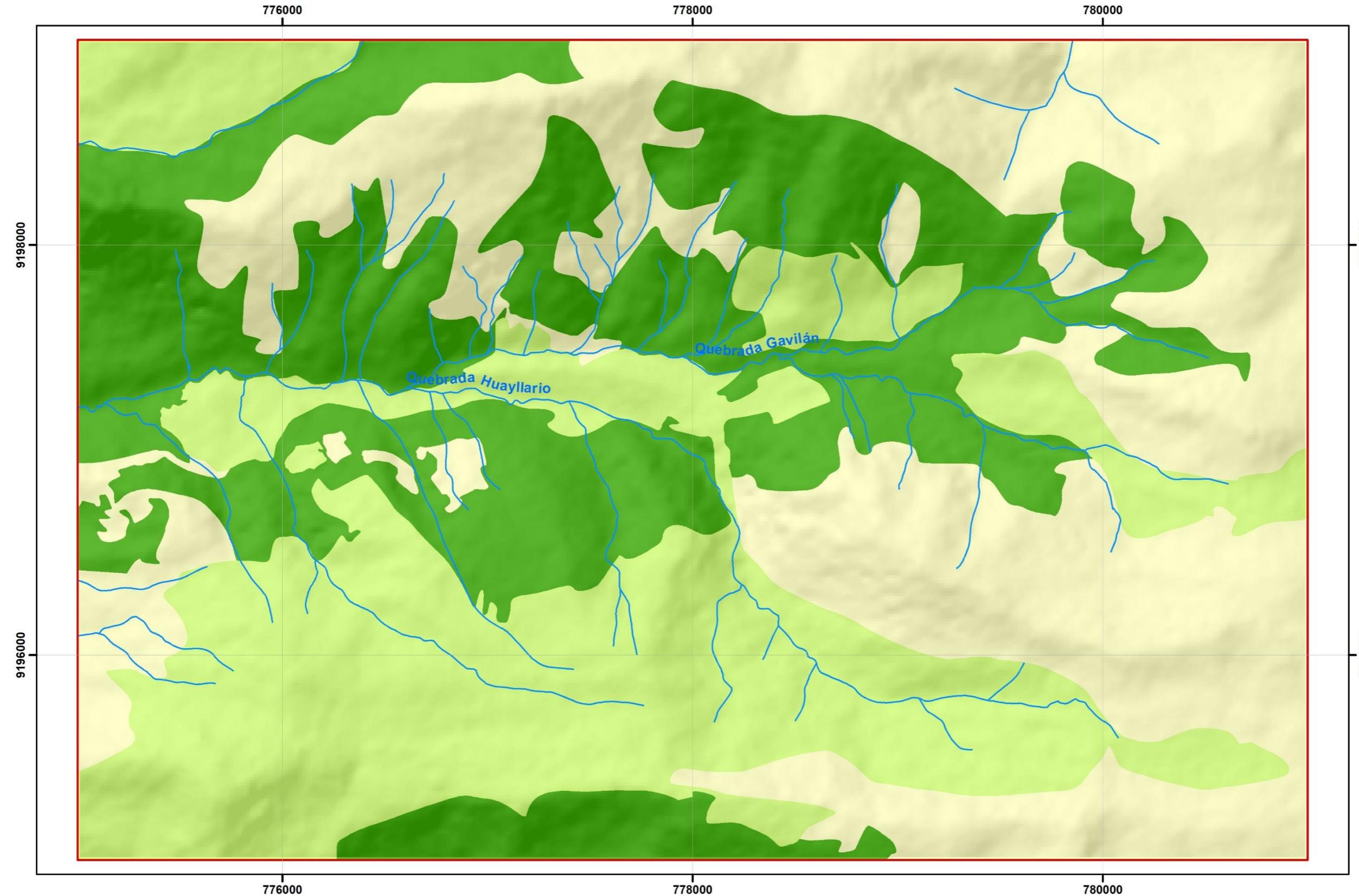


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis:
"ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA DETERMINAR MOVIMIENTOS EN MASA
ENTRE LAS QUEBRADAS GAVILÁN Y HUAYLLARIO, DISTRITO DE SAN JUAN,
PROVINCIA DE CAJAMARCA "

PLANO HIDROGRÁFICO	Datum: WGS-84 17S	Plano N°:
Tesista: Bach. Wuidó Elmer Lobato Cotrina	Escala: 1/20000	P-05
Asesor: Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani	Fecha: Septiembre, 2024	



LEYENDA	
Uso de suelos	
	Agricultura
	Suelo desnudo
	Vegetación densa

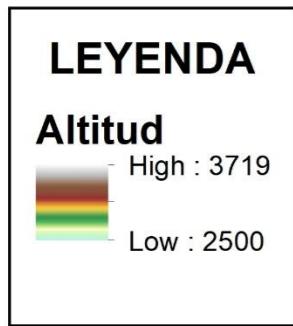
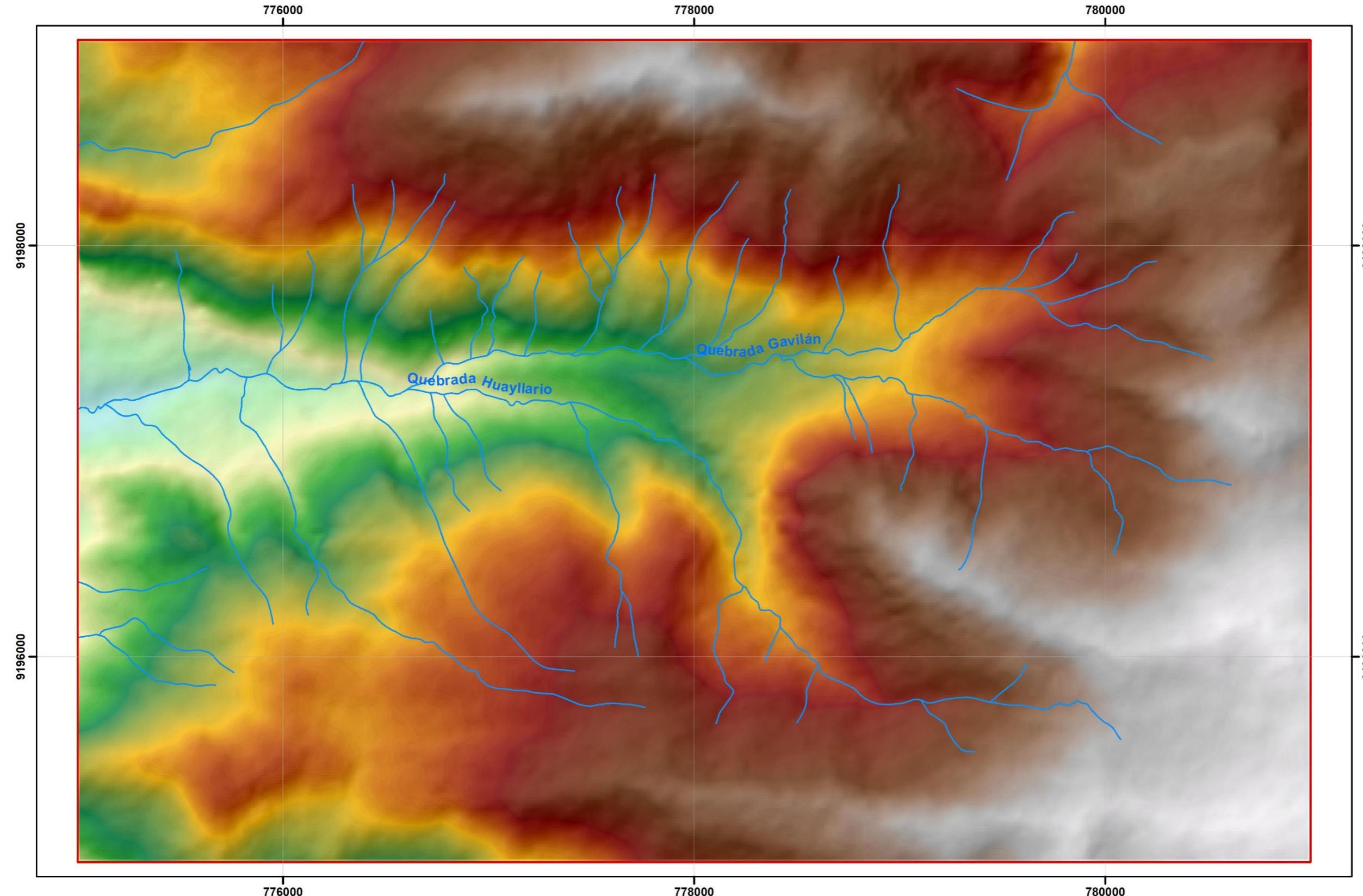
SIMBOLOGÍA	
	Área de investigación
	Drenajes



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

Tesis:
"ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA DETERMINAR MOVIMIENTOS EN MASA
ENTRE LAS QUEBRADAS GAVILÁN Y HUAYLLARIO, DISTRITO DE SAN JUAN,
PROVINCIA DE CAJAMARCA "

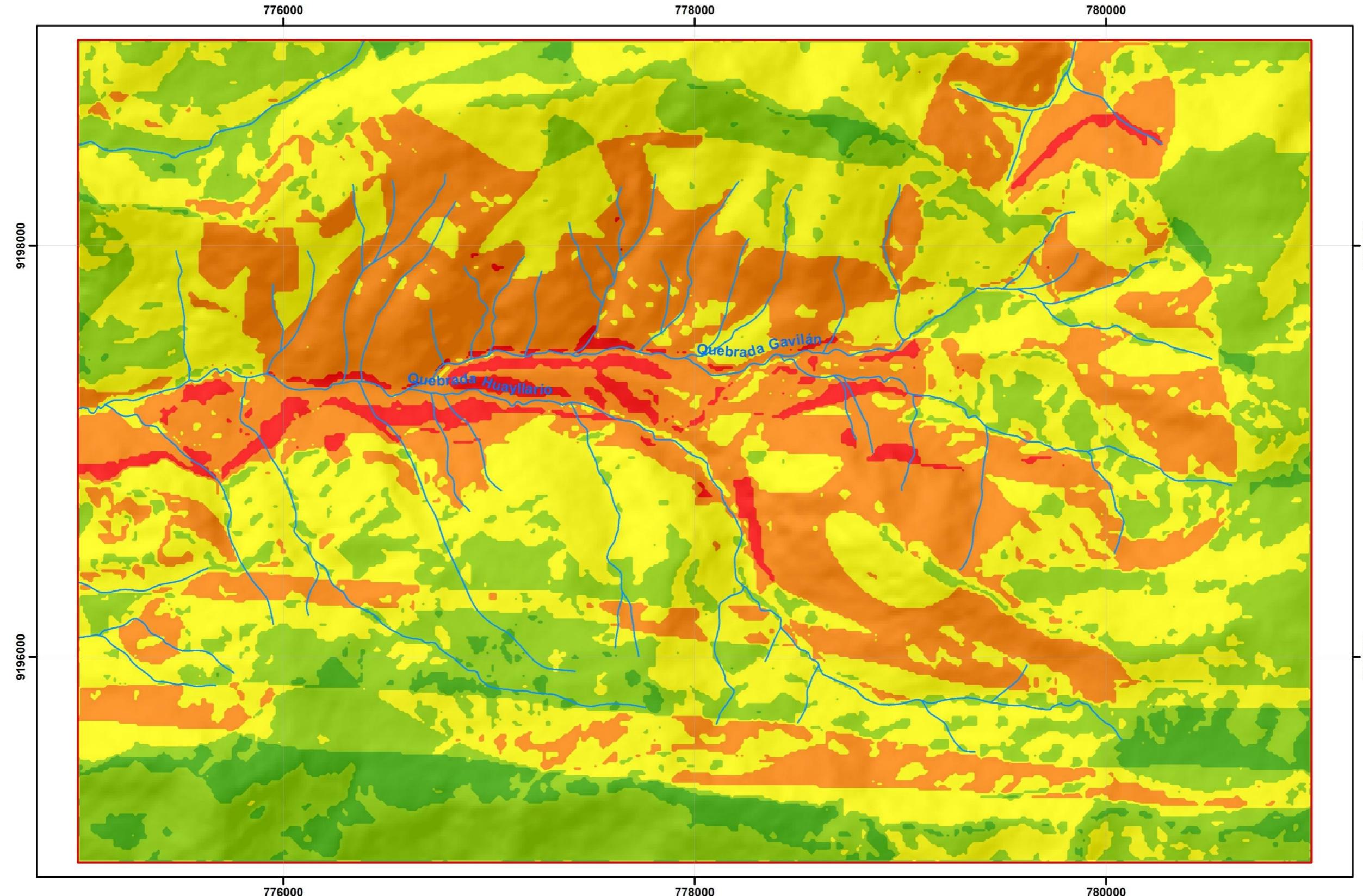
PLANO DE USO DE SUELOS	Datum: WGS-84 17S	Plano N°:
Tesista: Bach. Wuidó Elmer Lobato Cotrina	Escala: 1/20000	
Asesor: Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani	Fecha: Septiembre, 2024	P-06



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

Tesis:
"ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA DETERMINAR MOVIMIENTOS EN MASA
ENTRE LAS QUEBRADAS GAVILÁN Y HUAYLLARIO, DISTRITO DE SAN JUAN,
PROVINCIA DE CAJAMARCA "

MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES	Datum: WGS-84 17S	Plano N°:
Tesista: Bach. Wuido Elmer Lobato Cotrina	Escala: 1/20000	P-07
Asesor: Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani	Fecha: Septiembre, 2024	



LEYENDA	
Susceptibilidad a Movimientos en Masa	
Muy baja	
Baja	
Moderada	
Alta	
Muy alta	

SIMBOLOGÍA	
 	Área de investigación
~	Drenajes

ESCALA GRÁFICA
0 0.25 0.5 1 1.5 2 Km



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
Tesis:
"ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA DETERMINAR MOVIMIENTOS EN MASA ENTRE LAS QUEBRADAS GAVILÁN Y HUAYLLARIO, DISTRITO DE SAN JUAN, PROVINCIA DE CAJAMARCA "

PLANO DE SUSCEPTIBILIDAD	Datum: WGS-84 17S	Plano N°:
Tesista: Bach. Wuidó Elmer Lobato Cotrina	Escala: 1/20000	P-08
Asesor: Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani	Fecha: Septiembre, 2024	