

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental

“MODELAMIENTO GEOESPACIAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS VULNERABLES A DESLIZAMIENTOS DE MASA EN EL DISTRITO DE LAJAS”

Tesis para optar el título profesional de:

Ing. Forestal y Ambiental

Autor:

Bach. Liler Lenin Muñoz Campos

Asesor:

Ing. Leyla Catherine Alarcón Alarcón

Chota – Perú

2026


Ing. Leyla Catherine Alarcón Alarcón
CIP 88479



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Leyla Catherine Alarcón Alarcón, hago constar que la Tesis de Investigación Titulada: “Modelamiento geoespacial para la identificación de zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas”; ejecutada por el Bach. Liler Lenin Muñoz Campos, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, asesorado por la Mtr. Leyla Catherine Alarcón Alarcón; presenta un **INDICE DE SIMILITUD DEL 16%**; por lo tanto, cumple con el criterio de evaluación de originalidad establecido en el REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA aprobado mediante **RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N°770-2025- UNACH**.

Se expide la presente a petición de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Chota, 10 de julio del 2026.

Atentamente,

.....
Mtr. Leyla Catherine Alarcón Alarcón
Asesor

REPORTE DE SIMILITUD

LILER LENIN MUÑOZ CAMPOS

**MODELAMIENTO GEOESPACIAL PARA LA IDENTIFICACIÓN
DE ZONAS VULNERABLES A DESLIZAMIENTOS DE MASA EN E...**

 REVISIÓN DE TESIS

 REVISIÓN DE TESIS

 Universidad Nacional Autonoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3579621742

Fecha de entrega

26 may 2026, 12:02 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

26 may 2026, 12:21 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

-_Lenin_Mu_oz_Campos_-_corregido_con_suguerencias_de_jurado.docx

Tamaño del archivo

14.5 MB

93 páginas

16.004 palabras

95.506 caracteres

16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado

Fuentes principales

- 16%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Fuentes principales

- 16% Fuentes de Internet
- 5% Publicaciones
- 0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	hdl.handle.net	8%
2	Internet	repositorio.unach.edu.pe	2%
3	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	1%
4	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
5	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
6	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
7	Internet	repository.unad.edu.co	<1%
8	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
9	Internet	cybertesis.uni.edu.pe	<1%
10	Internet	repositorio.unat.edu.pe	<1%
11	Internet	daya.uazuay.edu.ec	<1%

12	Internet	repositorio.udl.edu.pe	<1%
13	Internet	repositorio.untumbes.edu.pe	<1%
14	Internet	repositorio.puce.edu.ec	<1%
15	Internet	repositorio.unsaac.edu.pe	<1%
16	Internet	sigrid.cenepred.gob.pe	<1%
17	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	<1%
18	Publicación	Novoa Nieto, Andrea Ospina Rodríguez, Martha Isabel Robles Castro, Claudia ...	<1%
19	Internet	redcol.minciencias.gov.co	<1%
20	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
21	Internet	sagespherejournal.com	<1%
22	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
23	Publicación	Cárdenas Roque, José Dionicio. "Susceptibilidad de los peligros de geodinámica e...	<1%
24	Internet	dspace.ueb.edu.ec	<1%
25	Internet	repositorio.ucp.edu.pe	<1%



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
VICEPRESIDENCIA ACADÉMICA
Reglamento de Grados y Títulos



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

REG. N° 035-2026-FCA

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N° 345-2026-FCA/UNACH:

Nombres y apellidos	Cargo
M.Sc. James Alexander Chamaya Gonzáles	Presidente
Dra. Yuli Anabel Chavez Juanito	Secretario
Dr. Persi Vera Zelada	Vocal

De la tesis titulada:

"Modelamiento geoespacial para la identificación de zonas vulnerables a deslizamiento de masa en el distrito de Lajas"

Que ha sustentado el(los) Bachiller (es):

Nombres y apellidos	DNI
Liler Lenin Muñoz Campos	7489 5180

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Forestal y Ambiental

Acuerdan por:

☒	Unanimidad	☐	Mayoría
-------------------------------------	------------	--------------------------	---------

☒	Aprobar	☐	Desaprobar
-------------------------------------	---------	--------------------------	------------

Otorgando la calificación de:

☐	Aprobado
☐	Excelente
☒	Bueno
☐	Regular

☐	Desaprobado
--------------------------	-------------

Colpa Matara 16 de junio del 2026

M.Sc. James Alexander Chamaya
Gonzáles
Presidente

Dra. Yuli Anabel Chavez Juanito
Secretario

Dr. Persi Vera Zelada
Vocal

Mtr. Leyla Catherine Alarcón Alarcón
Asesor

Dedicatoria

Al divino creador por brindarme salud, bienestar y todas las capacidades que poseo.

A mis padres por darme la vida, pilares fundamentales para cumplir mis metas.

A mi esposa por el apoyo en todo momento, y mis hijos quienes son motor y motivo de triunfar en la vida.

Agradecimiento

A mis padres por las palabras de aliento en tiempo difícil y el apoyo económico.

A mi asesora Ing. Leyla Catherine Alarcón Alarcón por la orientación oportuna, necesaria y adecuada en cada proceso de la investigación.

A cada docente de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, la cual atesoro cada enseñanza aprendida, esperando llevar los conocimientos oportunos a cada dificultad que se presente en el trajinar de esta carrera.

A mi colega el Ing. Eiler Llatas Mires por motivarme a realizar esta investigación, así de esta manera seguir compartiendo experiencias como coparticipes de esta carrera profesional.

Índice de contenido

Acta de sustentación	2
Dedicatoria	3
Agradecimiento	4
Índice de contenido	V
Índice de tablas	VII
Índice de figuras.....	VIII
Índice de abreviaturas	IX
Resumen y palabras clave.....	X
Abstract and keywords.....	XI
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
Planteamiento del problema.....	12
Formulación del problema	15
Justificación	15
Objetivos	16
Objetivo general.....	16
Objetivos específicos	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes	17
2.2. Bases teóricas	21
2.3. Definiciones conceptuales.....	34

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	37
3.1. Tipo, diseño, nivel y enfoque de investigación	37
3.1.1. Tipo de investigación	37
3.1.2. Diseño de la investigación.....	37
3.1.3. Nivel de la investigación.....	37
3.1.4. Enfoque de la investigación.....	38
3.2. Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis.....	38
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	40
3.4. Hipótesis.....	41
3.5. Operacionalización de variables.....	42
3.6. Procedimientos de recolección de datos.....	43
3.7. Procedimientos de análisis de datos	50
3.8. Material y equipos.....	51
3.9. Aspectos éticos	51
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	52
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS.....	80
ANEXOS	88

Índice de tablas

Tabla 1 Característica del tipo de movimiento y material.....	22
Tabla 2 Escala Saaty.....	33
Tabla 3 Información que fue recolectada	41
Tabla 4 Operacionalización de variables.....	42
Tabla 5 Clasificación de pendientes	43
Tabla 6 Valoración del modelo a deslizamientos de masa	48
Tabla 7 Clasificación de valores de pendientes.....	52
Tabla 8 Clasificación de valores de fisiografía	54
Tabla 9 Clasificación de valores de cobertura vegetal	57
Tabla 10 Clasificación de valores de la precipitación	59
Tabla 11 Clasificación de valores de geología	61
Tabla 12 Resultado del modelo geoespacial de movimiento de masas.....	65

Índice de figuras

Figura 1 Tipos de movimiento en masa	24
Figura 2 Factores que propician los movimientos de masa	26
Figura 3 Superposición de mapas temáticos	31
Figura 4 Ubicación y localización del área de estudio	39
Figura 5 Esquema metodológico	40
Figura 6 Matriz de comparación de pares.....	45
Figura 7 Matriz de normalización.....	45
Figura 8 Proceso para calcular la relación de consistencia.....	47
Figura 9 Mapa de pendientes del distrito de Lajas	53
Figura 10 Mapa de fisiografía del distrito de Lajas	56
Figura 11 Mapa de cobertura vegetal del distrito de Lajas	58
Figura 12 Mapa de precipitación del distrito de Lajas.....	60
Figura 13 Mapa de geología del distrito de Lajas.....	62
Figura 14 Modelo geoespacial multicriterio	63
Figura 15 Mapa final del modelo geoespacial a movimientos de masas.....	66
Figura 16 Puntos visitados en campo según la clasificación de movimiento de masas	67

Índice de abreviaturas

AHP: Proceso de Análisis Jerárquico

CENEPRED: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres

GDB: Geodatabase

GPS: Sistema de Posicionamiento Global

IC: Índice de Consistencia

INDECI: Instituto Nacional de Defensa Civil

INGEMMET: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico

MINAM: Ministerio del Ambiente

MMM: Modelo de Movimientos de Masa

RC: Relación de Consistencia

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

SIG: Sistemas de Información Geográfica

ZEE: Zonificación Ecológica y Económica

Resumen y palabras clave

El presente estudio tuvo como objetivo identificar y analizar las zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas mediante el modelamiento geoespacial; para ello, se empleó una metodología basada en la recolección y procesamiento de información de variables condicionantes como pendiente, fisiografía, cobertura vegetal, precipitación y geología, las cuales fueron integradas a través de un modelo multicriterio utilizando el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), incluyendo procesos de estandarización, reclasificación, ponderación y superposición de capas; los resultados evidenciaron una distribución diferenciada de la vulnerabilidad, donde el 15,92% con 763,91 ha, representa el área con un nivel muy alto o extremadamente empinada; el 27,46% con 3 574,28 ha representa el área en nivel alto o moderadamente empinada; el 27.36% con 2 747,99 ha representa nivel medio o ligeramente inclinada a moderadamente empinada; el 19.04% con 3 251,42 ha representa nivel bajo o ligeramente inclinada y el 10,21% con 1 767,98 ha representa nivel muy bajo con nivel de peligrosidad nula o casi nula, se identificó que las zonas más críticas están asociadas a pendientes pronunciadas, geología inestable y escasa cobertura vegetal; asimismo, la validación en campo confirmó la coherencia del modelo, observándose deslizamientos en áreas de alta pendiente con afectaciones a cultivos y cobertura vegetal, mientras que en zonas de menor pendiente no se evidenciaron daños significativos. En conclusión, el modelamiento geoespacial permitió identificar de manera confiable las zonas vulnerables y constituye una herramienta fundamental para la gestión del riesgo en el distrito de Lajas, facilitando la toma de decisiones y la implementación de medidas preventivas como la instalación de mayas de protección, construcción de gaviones y reforestación con especies nativas, orientadas a reducir la susceptibilidad del territorio frente a deslizamientos de masa.

Palabras clave: deslizamientos de masa, modelamiento geoespacial, vulnerabilidad, análisis multicriterio, AHP, Sistemas de Información Geográfica (SIG), gestión del riesgo.

Abstract and keywords

The present study aimed to identify and analyze the vulnerable areas to mass landslides in the Lajas district through geospatial modeling. To achieve this, a methodology was employed that involved the collection and processing of information on conditioning variables such as slope, physiography, vegetation cover, precipitation, and geology. These were integrated through a multicriteria model using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information Systems (GIS) tools, including processes of standardization, reclassification, weighting, and layer overlay. The results revealed a differentiated distribution of vulnerability, where 15.92% (763.91 ha) of the area exhibited very high vulnerability (extremely steep slopes); 27.46% (3,574.28 ha) was classified as high vulnerability (moderately steep slopes); 27.36% (2,747.99 ha) as medium (slightly to moderately steep slopes); 19.04% (3,251.42 ha) as low (slightly inclined); and 10.21% (1,767.98 ha) as very low (none or almost none). The most critical areas were identified as being associated with steep slopes, unstable geology, and sparse vegetation cover. Furthermore, field validation confirmed the model's coherence, with landslides observed in high-slope areas affecting crops and vegetation cover, while no significant damage was evident in areas with lower slopes. In conclusion, geospatial modeling reliably identified vulnerable zones and constitutes a fundamental tool for risk management in the Lajas district. It facilitates decision-making and the implementation of preventive measures such as the installation of protective nets, construction of gabions, and reforestation with native species, aimed at reducing the territory's susceptibility to mass landslides.

Keywords: landslides, geospatial modeling, vulnerability, multi-criteria analysis, AHP, Geographic Information Systems (GIS), risk management.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

A nivel global, los deslizamientos de masa son considerados uno de los peligros naturales más significativos, ya que impactan tanto a naciones desarrolladas como en vías de desarrollo. “De acuerdo con La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022) se contabilizaron 17 deslizamientos de gran escala, lo que representó el 5,3% del total de 321 desastres naturales registrados en ese periodo. Aunque este número fue inferior al promedio histórico, sus repercusiones humanas y económicas continuaron siendo de gran relevancia.” Un ejemplo de ello ocurrió en diciembre de 2022, cuando un deslizamiento en Batang Kali, Malasia, ocasionó la muerte de 31 personas y dejó atrapadas a otras 61, situándose como el evento de este tipo más letal en Malasia en 2022 y el segundo con mayor número de víctimas mortales en su historia reciente (Pennington et al., 2022).

Por otro lado, en países en desarrollo, las consecuencias de los deslizamientos suelen ser más severas debido a deficiencias en infraestructura y a la carencia de sistemas de alerta oportuna; el incremento de precipitaciones intensas relacionadas al cambio climático ha incrementado la inestabilidad de laderas en diferentes regiones del mundo, generando así un mayor número de movimientos en masa. Este problema se agrava por factores como la deforestación y la expansión urbana desordenada, los cuales reducen la estabilidad de los suelos y aumentan significativamente la exposición de poblaciones a este tipo de riesgos (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery [GFDRR], 2022).

En América Latina, los deslizamientos de masa constituyen una amenaza significativa, especialmente en regiones montañosas y tropicales donde factores como la deforestación, el uso inadecuado del suelo y las precipitaciones intensas aumentan la vulnerabilidad del terreno; frente a ello se ha implementado metodologías de modelamiento geoespacial que integran variables como pendiente, litología, cobertura vegetal y precipitación, permitiendo identificar

áreas con alta susceptibilidad a estos eventos; en México, se utilizó un modelo basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) que determinó que aproximadamente 1 006,64 km² del territorio presentan niveles de susceptibilidad moderada a muy alta. Asimismo, en los Andes colombianos, se aplicó un modelo de regresión logística geográficamente ponderada que reveló que el 28,00% del área estudiada tiene alta susceptibilidad a deslizamientos superficiales. Estos estudios evidencian la eficacia del modelamiento geoespacial en la identificación de zonas vulnerables (García-Cruz y Medrano-Pérez, 2021; Velásquez, 2024).

En Perú, los deslizamientos de masa constituyen una de las amenazas naturales más recurrentes, sobre todo en zonas andinas caracterizadas por su accidentada topografía y elevados índices de precipitación. De acuerdo con reportes del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), los mayores niveles de afectación por este tipo de eventos se concentran en provincias como Bagua y Requena, ubicadas a alturas que oscilan entre los 161 y 3 678 m s.n.m., lo que confirma una relación directa entre altitud y exposición al peligro (Ordoñez, 2019).

En la región Cajamarca, los deslizamientos de masa constituyen una problemática recurrente debido a factores como la geología inestable, las fuertes precipitaciones estacionales y las pendientes pronunciadas. Recientes estudios han delimitado zonas con alta susceptibilidad, lo cual pone en peligro tanto a las poblaciones locales como a la infraestructura vial. Un caso específico se presentó en el lugar Chaupimayo, donde un deslizamiento rotacional de aproximadamente 2 000 m³ ocasionó daños a viviendas y caminos rurales. Según reportes del (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico [INGEMMET], 2023), esta área se clasificó con niveles de peligro alto a muy alto, sugiriéndose acciones como la reubicación de viviendas y la instalación de drenajes y sistemas de control vegetal para reducir los riesgos.

Por otro lado, en la carretera San Juan - Cajamarca se llevó a cabo una valoración de susceptibilidad a deslizamientos a través de un análisis espacial multicriterio apoyado en

Sistemas de Información Geográfica (SIG). El estudio determinó que un 0,34% del área evaluada presenta vulnerabilidad alta, mientras el 26,50% posee vulnerabilidad media, el 49,91% baja y un 23,25% muy baja, información fundamental para orientar medidas de prevención y monitoreo en los sectores más expuestos (Izquierdo, 2021). Estas investigaciones reafirman la relevancia del uso de técnicas geoespaciales para una gestión territorial más eficiente frente a los riesgos naturales en Cajamarca.

En el distrito de Lajas, ubicado en la provincia de Chota, región Cajamarca, se han registrado múltiples deslizamientos de masa que afectan seriamente tanto a la población como a las infraestructuras locales. Un caso particular ocurrió en abril de 2022, cuando un movimiento de ladera en la comunidad de La Sinra impactó directamente una vivienda y una institución educativa, situación atribuida a factores como las intensas precipitaciones, la pendiente del terreno y la inestabilidad geológica de la zona (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico [INGEMMET], 2022).

De igual manera, en febrero de 2025, se reportó un derrumbe de rocas en el jirón 28 de Julio, producto de lluvias continuas, ocasionando daños materiales y bloqueando vías de acceso vehicular y peatonal (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2025). Estos antecedentes evidencian la necesidad urgente de fortalecer acciones preventivas, apoyadas en estudios técnicos especializados y en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), el estudio realizado se centró en identificar los niveles de vulnerabilidad a deslizamientos, además de delimitar las zonas vulnerables y planificar adecuadamente la gestión del riesgo en esta localidad.

Formulación del problema

- ❖ ¿Cuáles son las zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas, identificadas mediante el modelamiento geoespacial?

Justificación

Las zonas rurales de los Andes peruanos, como el distrito de Lajas, presentan una alta vulnerabilidad frente a deslizamientos de masa, fenómeno que pone en riesgo no solo viviendas e infraestructura vial, sino también la seguridad y vida de sus habitantes. De acuerdo con Moscoso et al. (2021), la identificación temprana de áreas expuestas a estos peligros es esencial para reducir la exposición de la población y minimizar los daños materiales.

La gestión de riesgos por deslizamientos de masa exige información geoespacial precisa para la identificación de zonas vulnerables y la toma de decisiones oportuna. En ese contexto, el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de modelamiento geoespacial se ha convertido en una herramienta indispensable para delimitar áreas de susceptibilidad y orientar acciones preventivas y de mitigación. Según Parra et al. (2024), los SIG permiten integrar y analizar múltiples variables físicas y ambientales, generando mapas de vulnerabilidad que facilitan la gestión territorial y la reducción de riesgos.

Por esta razón, la presente investigación es socialmente relevante, ya que su aplicación contribuirá a fortalecer la seguridad de las comunidades expuestas en Lajas y aportará información técnica que permitirá una mejora continua de desarrollo y gestión del riesgo de desastres en el ámbito local.

Objetivos

Objetivo general

- ❖ Identificar las zonas vulnerables a deslizamientos de masa, mediante el modelamiento geoespacial en el distrito de Lajas.

Objetivos específicos

- ❖ Recolectar y procesar información geoespacial relacionada con los factores condicionantes de deslizamientos de masa en el distrito de Lajas.
- ❖ Diseñar y aplicar un modelo geoespacial multicriterio para determinar la vulnerabilidad a deslizamientos de masa en el área de estudio.
- ❖ Clasificar y delimitar los niveles de vulnerabilidad a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas, a partir del modelamiento geoespacial.
- ❖ Validar en campo las posibles zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas.
- ❖ Proponer medidas de prevención en las posibles zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Freire et al. (2024) su estudio realizado en la parroquia Monte Olivo, Carchi (Ecuador), donde se aplicó el método modificado de Mora-Vahrson para modelar la susceptibilidad a movimientos de ladera en su zona urbana. Se integró información geoespacial, de campo y bibliográfica para ponderar factores condicionantes (pendiente, cobertura vegetal y geología) y detonantes (sismos y precipitaciones). El análisis identificó áreas con niveles de amenaza nulo, bajo, medio y alto. Las zonas de mayor riesgo presentan fuertes pendientes (70 % a 200 %), vegetación alterada (matorral húmedo) y una litología dominada por rocas metamórficas fracturadas y antiguos depósitos aluviales. Una verificación posterior con un sistema RPAS en enero de 2023, seis meses después del levantamiento inicial, confirmó cambios significativos en las zonas previamente clasificadas como de alta amenaza.

Mejía y Álvarez (2023) en su investigación realizada en el municipio de Curumaní, Cesar (Colombia), se aplicó el método de Mora y Vahrson utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para zonificar amenazas por movimientos en masa, con el objetivo de apoyar la gestión del riesgo y la planificación urbana. La metodología integró variables como pendiente, geología, cobertura vegetal, actividad sísmica y precipitaciones, generando mapas detallados de amenaza. El estudio evidenció zonas críticas y resaltó el valor de los SIG como herramienta clave para la toma de decisiones estratégicas que permitan prevenir desastres, proteger a la población y reducir pérdidas materiales.

Garzón (2023) en su investigación identificaron los movimientos de masa a partir de las geoformas asociadas usando un Modelo Digital de Elevación (DEM) de alta resolución en el municipio de Útica (Colombia). Este estudio demostró que la combinación de técnicas fotogramétricas con Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite una evaluación eficaz

y detallada de los cambios en el terreno a lo largo del tiempo. Al utilizar datos preexistentes, se logró obtener información de alta resolución espacial, optimizando costos y tiempos de procesamiento en comparación con métodos tradicionales. Además, el uso de variables geomorfológicas como los geomorfones, la orientación de pendientes y ortomosaicos permitió identificar de manera precisa y objetiva los movimientos en masa.

Garcés (2022) su investigación desarrollada en Colombia donde se basó en desarrollar un modelo predictivo para identificar zonas susceptibles a deslizamientos inducidos por la lluvia, utilizando inteligencia artificial e integrando datos geoespaciales y de precipitación pública. El enfoque combinó modelos supervisados y análisis de series de tiempo para establecer la relación entre la lluvia acumulada y los movimientos en masa. El estudio identificó factores clave como la vulnerabilidad del terreno, la cantidad de agua en el suelo y umbrales de lluvia específicos por cuadrantes. También se evidenció la influencia de las características geológicas y geomorfológicas en la activación de deslizamientos. Los resultados ofrecen una base técnica para la gestión del riesgo y la implementación de medidas preventivas en la ciudad.

López et al. (2020) su estudio se dio en el municipio de Manaure, Cesar (Colombia), donde se aplicó el método Mora-Vahrson para evaluar la susceptibilidad de las unidades geológicas frente a procesos morfodinámicos. Se analizaron dos escenarios: el primero con la falla Manaure activa (estado actual) y el segundo con su posible reactivación. En el primer caso, más del 70 % del área presentó susceptibilidad media, mientras que las zonas montañosas mostraron niveles altos. En el segundo escenario, con la reactivación de la falla, la susceptibilidad aumentó considerablemente, afectando al 90 % del área con un nivel alto. Este análisis permitió identificar zonas de riesgo geológico potencial bajo distintas condiciones tectónicas.

2.1.2. Nacionales

Ocaña y Parra (2024) en su estudio que tuvo como objetivo integrar datos geoespaciales para elaborar un mapa de riesgo y proponer obras de protección en infraestructuras lineales vulnerables a movimientos de masa en la ciudad de Lima. Se consideraron factores como pendientes pronunciadas, cruces de ríos, cárcavas, deslizamientos y asentamientos. A través de una plataforma geomática, se consolidó la información sobre amenazas, exposición y vulnerabilidad, aplicando la metodología del CENEPRED para el análisis de riesgo. El estudio identificó 127 puntos críticos, de los cuales el 70,10 % presentaron un nivel de riesgo alto, evidenciando la necesidad de intervenciones preventivas mediante soluciones de ingeniería.

Hinostroza (2024) su investigación realizada en la comunidad de Gilapata, distrito de San Marcos de Rocchac (Huancavelica, Perú), se realizó una evaluación integral de la vulnerabilidad frente a desastres, considerando factores como exposición, fragilidad y resiliencia en dimensiones sociales, económicas y ambientales. El análisis, basado en el enfoque de gestión de riesgos de desastres y respaldado por normativas nacionales e internacionales, utilizó herramientas SIG para identificar áreas críticas con alta vulnerabilidad. Los resultados evidencian la urgencia de implementar medidas de reducción de riesgos y fortalecer la resiliencia local, proporcionando una base técnica para la planificación territorial y la toma de decisiones en contextos similares.

Zelada y Rosas (2023) en su investigación para mitigar riesgos por inundaciones y establecer medidas preventivas, se elaboró un mapa de riesgo en la cuenca Chira-Piura utilizando herramientas SIG, integrando variables como geología, pendiente, isoyetas, cobertura vegetal, relieve y áreas históricamente inundadas. Mediante ArcGIS y HEC-RAS, se asignaron valores cuantitativos a estas variables según su influencia en la intensidad del desastre. El resultado fue un mapa temático que, mediante un sistema de colores, permite identificar zonas con mayor

susceptibilidad a inundaciones, aportando una herramienta útil para delimitar áreas no aptas para la construcción y proponer medidas de protección estructural.

Nina y Román (2022) su estudio realizó en la cuenca del río Moquegua donde se llevó a cabo una evaluación de vulnerabilidad y peligros ambientales mediante modelamiento geoespacial, que incluye análisis de factores, ponderación de atributos y álgebra de mapas. Los resultados evidenciaron niveles de amenaza por deslizamientos e inundaciones que varían desde bajo hasta muy alto. Al integrar los mapas de amenaza con los de vulnerabilidad ambiental, se identificó un grado de riesgo muy alto, especialmente en áreas cercanas a la microcuenca, donde las actividades humanas y la contaminación aumentan la susceptibilidad. Además, se advirtió que en temporadas de avenidas existe alta probabilidad de desbordamientos que podrían afectar a la población aledaña.

2.1.3. Locales

Díaz (2023) su investigación desarrollada en el distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc (Cajamarca), se identificaron zonas vulnerables a movimientos en masa mediante modelamiento geoespacial utilizando ArcMap 10.5. Se analizaron variables como precipitación, pendiente, cobertura vegetal, geología y geomorfología, permitiendo generar un modelo que clasificó el 51,77 % del área estudiada con susceptibilidad alta y el 48,23 % con susceptibilidad media. Las comunidades más afectadas incluyen Nuevo Perú, La Colpa, Coyunde Palma, Perlamayo Tambillo Bajo, entre otras. La validación se realizó con visitas de campo, y se recomendó usar los resultados para implementar medidas de protección y planes de gestión de riesgos en la zona.

Pardo (2022) su estudio realizado en el distrito de Huabal - Cajamarca, se basó en evaluar la vulnerabilidad frente a movimientos de masa, estructurado en tres fases: recopilación y análisis en gabinete, validación en campo, y verificación final. Se utilizó un modelo de movimientos de masa y se integraron múltiples variables para clasificar el territorio en tres niveles de

vulnerabilidad. Los resultados revelaron que el 57,55 % del distrito presenta una vulnerabilidad alta, el 41,23 % una vulnerabilidad media y solo el 1,22 % baja. Esta información proporciona una base clave para la planificación y gestión del riesgo en la zona.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Movimientos de masa

De acuerdo con INGEMMET (2022) los movimientos en masa comprenden principalmente aquellos desplazamientos de materiales como rocas o suelos que se deslizan cuesta abajo debido a la acción de la gravedad. En el caso del Perú, los fenómenos más comunes son las caídas, deslizamientos, flujos, reptación de suelos, entre otros.

Es el desplazamiento de suelo, roca y escombros que ocurre cuesta abajo como consecuencia de la acción de la gravedad. Este fenómeno natural se produce por diversos factores, siendo el agua uno de los agentes más importantes, ya que influye en la estabilidad del terreno y regula los procesos de erosión. La clasificación de los movimientos en masa depende del tipo de material involucrado, la forma de desplazamiento y los impactos que ocasionan en una zona determinada. Asimismo, se diferencian según la velocidad y magnitud del evento, pudiendo presentarse desde deslizamientos muy lentos hasta movimientos súbitos y de gran intensidad (Ordoñez, 2019).

Tabla 1*Característica del tipo de movimiento y material*

Tipo de falla	Tipo de material	Tipo de movimiento	Tasa de movimiento
Caída de rocas	Fragmento de roca	Caída vertical o casi vertical (más rebote en muchos casos)	Muy rápido (> 10 m/s)
Deslizamiento de rocas	Un gran cuerpo de roca	Movimiento como una unidad a lo largo de una superficie plana (deslizamiento traslacional)	Normalmente muy lento (mm/año 0 cm/año) pero algunos pueden ser más rápidos
Avalancha de rocas	Un gran cuerpo de roca que se desliza y luego se rompe en pequeños fragmentos	Flujo (altas velocidades, la masa de fragmentos de roca se suspende en un colchón de aire)	Muy rápido (> 10 m/s)
Creep o solifluction	Suelo u otra sobrecarga: En algunos casos, mezclado con hielo	Flujo (aunque también puede ocurrir un movimiento deslizante) Movimiento	Muy lento (mm/año o cm/año)
Depresión	Depósitos gruesos de sedimentos no consolidados	Movimiento como una unidad a lo largo de una superficie curva (deslizamiento de rotación)	Lento (cm/año a m/año)
Mudflow	Sedimento suelto con un importante componente de limo y arcilla	Flujo (una mezcla de sedimento y agua se mueve por un canal)	Moderado a rápido (cm/s a m/s)
Flujo de escombros	Arena grava y fragmentos más grandes	Flujo (similar a un flujo de lodo, pero típicamente más rápido)	Rápido (m/s)

Nota: Ordoñez (2019).

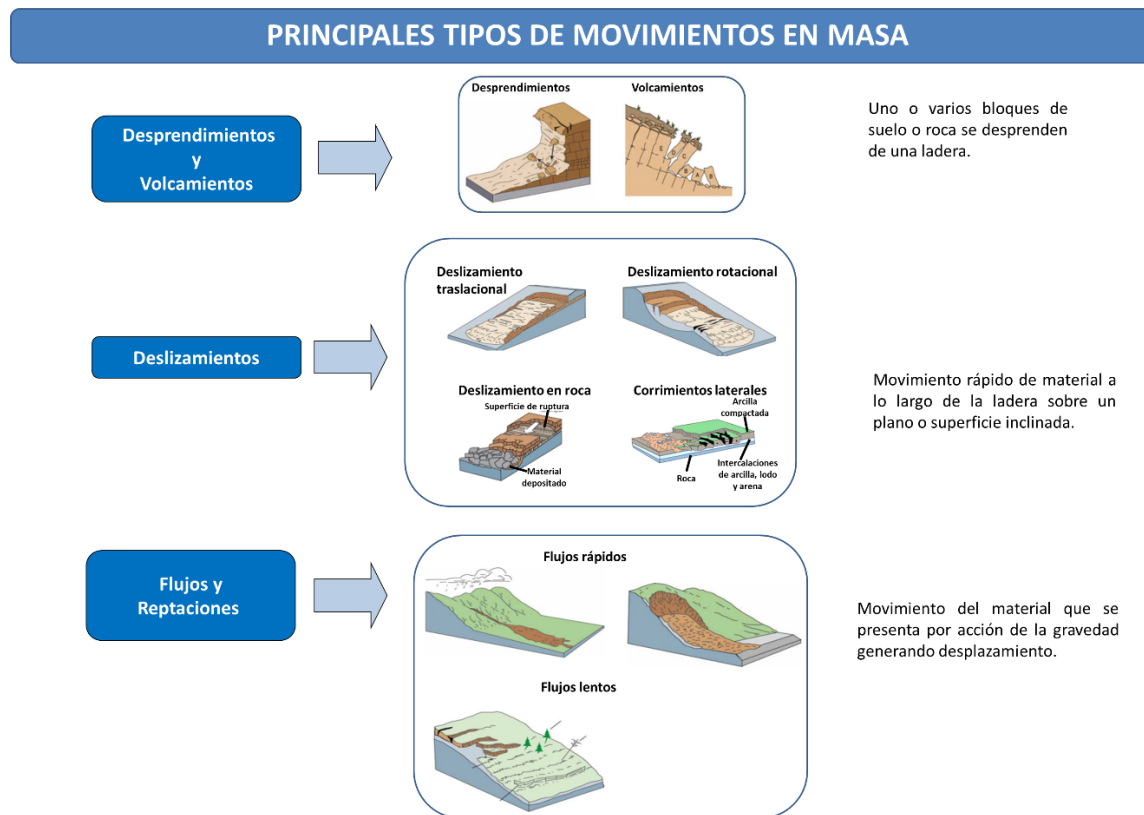
2.2.2. Clasificación de movimientos de masa

La clasificación de los movimientos se basa en el tipo de deslizamiento y la naturaleza del material desplazado. Una de las clasificaciones más reconocidas es la propuesta por (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático [IDIGER], 2016), que distingue entre:

- ❖ Movimientos rotacionales: ocurre a lo largo de una superficie de ruptura curva causando una rotación de la masa desplazada.
- ❖ Movimientos traslacionales: se produce a lo largo de una superficie plana o ligeramente inclinada.
- ❖ Flujos: movimientos en los que el material se comporta como un fluido viscoso, incluyendo flujos de lodo y detritos.
- ❖ Caídas: desprendimiento de material, como rocas o tierra, que caen verticalmente o en ángulo pronunciado.
- ❖ Movimientos complejos: combinación de dos o más tipos de movimientos mencionados anteriormente.

Figura 1

Tipos de movimiento en masa



Fuente: Ordoñez (2019).

2.2.3. Factores que influyen en los movimientos de masa

2.2.3.1. Factores condicionantes

Los deslizamientos de masa dependen en gran medida de características propias del terreno, conocidas como factores condicionantes, que aumentan la susceptibilidad de una zona, aunque no necesariamente provocan el evento por sí mismos. Entre ellos destaca la litología, pues la naturaleza y composición de los materiales geológicos determinan la estabilidad del suelo. De igual modo, las pendientes pronunciadas favorecen la acción gravitacional, incrementando la posibilidad de movimientos en masa. También se reconocen la estructura geológica, como fallas o fracturas, la cobertura vegetal, que contribuye a la cohesión del suelo, y el uso

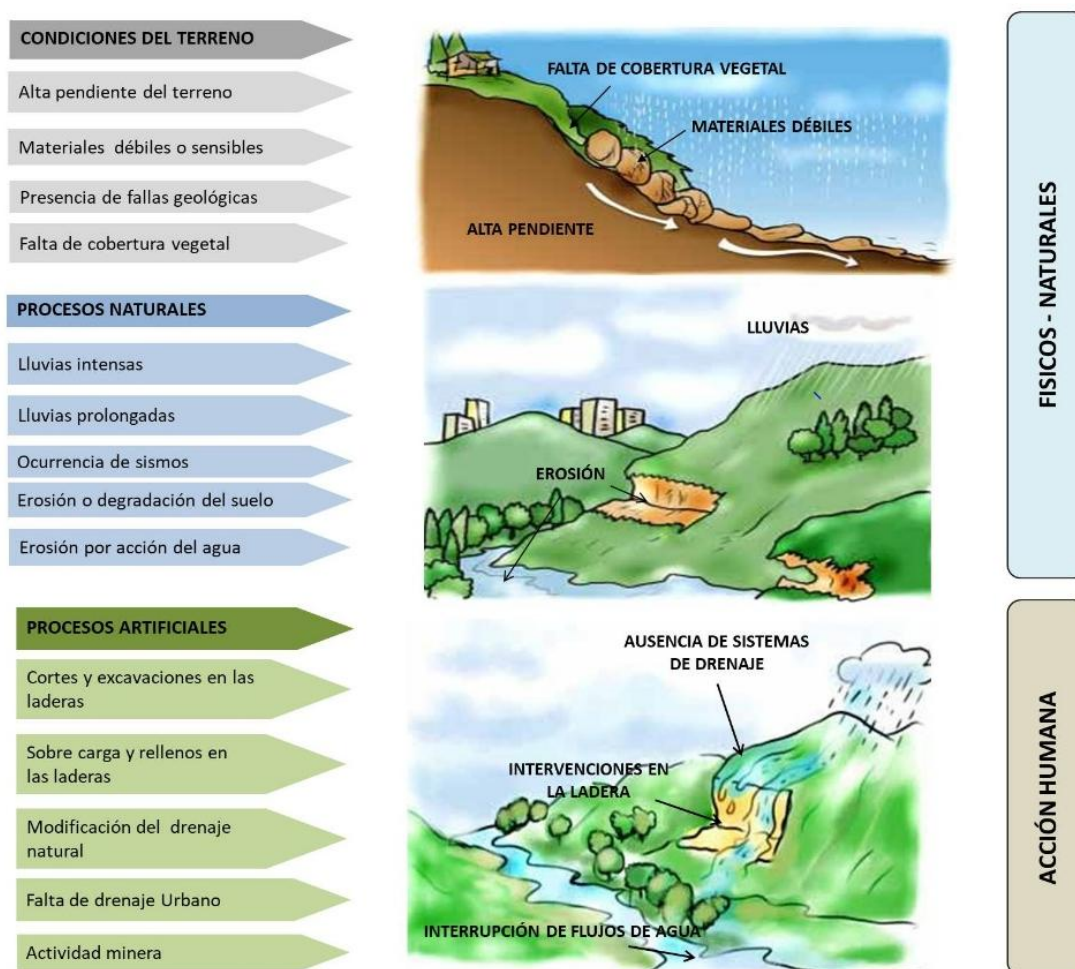
inadecuado del territorio, que altera las condiciones naturales y expone las laderas a mayor riesgo (Centro Geotécnico, 2023, (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2011).

2.2.3.2. Factores desencadenantes

Por su parte, los factores desencadenantes son eventos externos o condiciones ambientales que, al actuar sobre zonas previamente vulnerables, provocan directamente los deslizamientos. Las precipitaciones intensas son una de las causas más frecuentes, ya que el agua infiltrada reduce la cohesión del suelo y aumenta su peso. Los sismos, en regiones de topografía accidentada o suelos saturados, también pueden desestabilizar laderas. Otros agentes relevantes incluyen la actividad volcánica, los cambios bruscos de temperatura y las intervenciones humanas, como talas y excavaciones no planificadas (Mejía y Troya, 2021; INDECI, 2011).

Figura 2

Factores que propician los movimientos de masa



Fuente: Ordoñez (2019).

2.2.4. Consecuencias de los movimientos de masa

Los movimientos de masa generan consecuencias severas tanto para la población como para el entorno natural. Entre los efectos más graves se encuentran la pérdida de vidas humanas y lesiones, producto del colapso de estructuras o el soterramiento. Asimismo, provocan daños materiales significativos, afectando viviendas, vías de comunicación, y servicios básicos como agua y energía. Desde el punto de vista ambiental, ocasionan alteraciones en los ecosistemas, pérdida de suelos productivos y modificaciones en los cauces de ríos o quebradas. Además, estas emergencias implican elevadas pérdidas económicas por la reconstrucción de

infraestructura, el desplazamiento forzado de habitantes y la reducción de la actividad agrícola (IDIGER, 2016).

2.2.5. Vulnerabilidad a deslizamientos

Se refiere al grado de afectación que pueden experimentar los elementos expuestos (población, infraestructuras, ecosistemas y actividades productivas) ante la ocurrencia de un deslizamiento, condicionado por características físicas, sociales y ambientales del entorno (INDECI, 2011). Este concepto es esencial en la gestión de riesgos porque permite identificar qué tan expuestos y frágiles son los componentes de un territorio frente a este tipo de amenazas.

2.2.5.1. Vulnerabilidad física

Se relaciona con las características estructurales del entorno construido y los elementos físicos susceptibles de daño, incluye aspectos como:

- ❖ El estado y calidad de las viviendas y edificaciones.
- ❖ Infraestructura vial y de servicios
- ❖ Proximidad de asentamientos humanos a zonas de alta pendiente, causas de quebradas o áreas de suelos inestables.

Según INDECI (2011) las construcciones informales o ubicadas sin criterios técnicos en zonas inadecuadas incrementan notablemente la vulnerabilidad física frente a deslizamientos.

2.2.5.2. Vulnerabilidad social

Hace referencia a las condiciones socioeconómicas, demográficas y de organización comunitaria que influyen en la capacidad de respuesta de la población ante un deslizamiento, factores como:

- ❖ Nivel de pobreza.
- ❖ Acceso limitado a servicios básicos.

- ❖ Falta de información sobre el riesgo.
- ❖ Ausencia de planes de contingencias y sistemas de alerta temprana.

INDECI (2011) señala que comunidades con alta marginación social y bajo acceso a recursos presentan mayor vulnerabilidad social, lo que limita su capacidad de prevenir y recuperarse tras un evento.

2.2.5.3. Vulnerabilidad ambiental

Se vincula con el estado de conservación de los ecosistemas y la cobertura vegetal, que funcionan como barreras naturales contra los deslizamientos, factores determinantes incluyen:

- ❖ Deforestación a tala de bosques en zonas de pendiente.
- ❖ Cambio de uso de suelo para agricultura o infraestructura sin estudios de estabilidad.
- ❖ Degradación del suelo y pérdida de cobertura vegetal.

IDIGER (2016) advierte que la alteración de coberturas naturales en laderas aumenta la inestabilidad del terreno, favoreciendo la ocurrencia de deslizamientos y elevando la vulnerabilidad ambiental.

2.2.6. Variables relevantes en los deslizamientos de masas

Estudios recientes muestran que múltiples factores condicionantes intervienen de manera significativa en la susceptibilidad a deslizamientos de tierra, siendo ciertos elementos frecuentes en diversos contextos geográficos:

- La pendiente (incluyendo su inclinación, exposición y altitud) se identifica como una de las variables críticas; pendientes más pronunciadas aumentan las fuerzas gravitacionales y reducen la estabilidad del terreno. Por ejemplo, en análisis multi - tipo de deslizamientos se halló que la pendiente y la altura del talud eran determinantes en deslizamientos de suelo (Yang et al., 2024).

- La geología (litología, estructura, presencia de rocas fracturadas o materiales sueltos) también tiene un impacto fuerte, pues define la resistencia mecánica, la permeabilidad y la predisposición a fragmentarse o degradarse cuando se saturan (Yang et al., 2024).
- La cobertura vegetal / uso del suelo actúa como un factor amortiguador. Vegetación consistente mejora la cohesión del suelo, reduce erosión superficial y limita el flujo del agua; su ausencia favorece la inestabilidad, especialmente ante lluvias intensas. Estudios muestran que zonas con menor cobertura vegetal son mucho más susceptibles que áreas bien vegetadas (Murgia et al., 2024).
- La precipitación funciona frecuentemente como desencadenante. Lluvias acumuladas o intensas generan saturación del suelo, aumento de presión de poros, disminución de fricción interna y, por tanto, pueden provocar deslizamientos si las condiciones físicas del terreno (pendiente, tipo de suelo, cobertura) son favorables (Yang et al., 2024).

2.2.7. Sistemas de información geográfica (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en herramientas fundamentales para la recopilación, organización, análisis y representación de información geoespacial vinculada a las condiciones físicas, ambientales y sociales de un territorio. Gracias a su capacidad de integrar diversas fuentes de datos, son ampliamente empleados en la identificación de zonas propensas a desastres naturales, como los deslizamientos de masa (Luna, 2023).

En regiones con características geográficas complejas, como las áreas montañosas andinas de América Latina, el uso de SIG ha mejorado sustancialmente los procesos de identificación de zonas vulnerables. Esto se logra al integrar información topográfica, climática, edáfica y de uso del suelo, lo que permite elaborar mapas temáticos que reflejan con mayor exactitud los niveles de susceptibilidad a deslizamientos (Luna, 2023).

Por otro lado, estas plataformas posibilitan el empleo de técnicas como el análisis multicriterio, evaluación de pendientes, estudios de humedad del suelo, y distancia a infraestructuras, variables indispensables para comprender el comportamiento de los movimientos en masa (Moreno y Cárdenas, 2022). Mediante la superposición de capas de información y asignación de ponderaciones, se facilita la toma de decisiones para la planificación territorial y gestión de riesgos.

2.2.8. Los SIG en la vulnerabilidad a movimientos de masa

Estos sistemas permiten integrar y analizar datos espaciales y no espaciales relacionados con factores como la pendiente del terreno, la geología, el uso del suelo, la cobertura vegetal y las precipitaciones. Mediante técnicas de análisis espacial y modelado, los SIG facilitan la identificación de áreas susceptibles a deslizamientos, lo que es esencial para la planificación territorial y la implementación de medidas de mitigación. Por ejemplo, en la cuenca del río El Estado, en México, se utilizó un SIG junto con cartografía geomorfológica y análisis de regresión logística múltiple para generar mapas de susceptibilidad a deslizamientos, lo que permitió una mejor comprensión de las zonas de riesgo y la toma de decisiones informadas en la gestión del territorio. Asimismo, en Ecuador, el Instituto de Investigación Geológico y Energético aplicó SIG y lógica difusa para identificar zonas susceptibles a movimientos en masa en el cantón Alausí, lo que contribuyó a la planificación territorial y la reducción del riesgo de desastres (Marín et al., 2020).

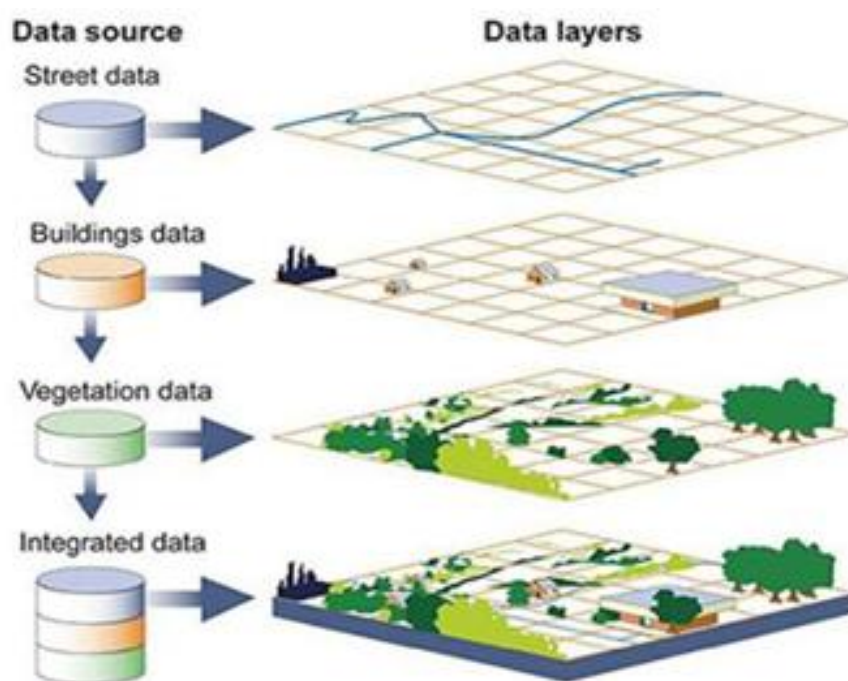
2.2.9. Modelamiento geoespacial

Para el (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2010) según lo establecido en el Decreto Consejo Directivo N° 010-2006-CONAM, la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) reconoce al modelamiento geoespacial como una herramienta eficaz para la manipulación y análisis interactivo de mapas a través de submodelos organizados según hipótesis específicas. Este

proceso consiste en aplicar operaciones analíticas y comandos sobre mapas superpuestos, priorizando los procesos sobre los productos, con el objetivo de resolver problemas espaciales complejos y generar nueva información geográfica. Así, el modelamiento geoespacial permite una secuenciación lógica de funciones dentro de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitando la toma de decisiones territoriales basadas en análisis precisos y actualizados.

Figura 3

Superposición de mapas temáticos



Fuente: MINAM (2010).

El análisis y modelamiento espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite evaluar diferentes alternativas para la solución de problemas territoriales, mejorando la precisión y reduciendo considerablemente el tiempo en comparación con los métodos manuales. Los SIG integran datos espaciales y alfanuméricos vinculados a ubicaciones específicas, representando digitalmente elementos del entorno real a través de modelos de datos organizados, lo que facilita la interpretación y el análisis espacial; estas herramientas son esenciales para el manejo y representación de información geográfica compleja, optimizando

procesos en ámbitos como la planificación urbana, la gestión ambiental y la atención de desastres; destacan su valor en la modelización hidrológica y en la representación precisa de redes de drenaje, fundamentales para la gestión de recursos hídricos y la prevención de desastres naturales (Touhidi y Davoudi, 2018).

2.2.10. Modelos de datos en SIG

La representación de parámetros y variables dentro de un SIG implica simplificarlos y cuantificarlos, lo cual se organiza mediante un modelo de datos. Estos sistemas cuentan con distintas estructuras que reflejan diversas formas de representar la realidad, generalmente organizadas en tres niveles de abstracción: conceptual, lógico y físico. A continuación, se presentan las definiciones conceptuales adoptadas rigurosamente de los lineamientos establecidos por (Xia et al., 2023).

- **Diseño conceptual:** corresponde a la interpretación inicial de la realidad geográfica, donde se definen los objetivos del análisis, las relaciones espaciales y los atributos que describen los fenómenos. En esta etapa es fundamental identificar las variables necesarias y sus características para estructurar el modelo.
- **Diseño lógico:** se centra en la organización detallada de la base de datos, especificando atributos descriptivos (numéricos o textuales), rasgos geométricos (punto, línea, polígono), códigos de identificación y la estructura de los mapas temáticos que se integrarán.
- **Diseño físico:** corresponde a la implementación práctica en software y hardware, determinando cómo se almacenarán los datos y garantizando el uso eficiente de los recursos. En este caso, la base de datos geoespacial es la herramienta clave para gestionar y aprovechar la información.

2.2.11. Análisis multicriterio aplicado a la gestión de riesgo de desastres

Este método está diseñado para abordar problemas multicriterio a través de la creación de un modelo jerárquico, lo que permite a los participantes visualizar y estructurar el problema de manera efectiva; el elemento clave de este proceso es la asignación de pesos a los parámetros y descriptores implicados en la decisión, así como la evaluación final de las distintas alternativas en función a los criterios seleccionados (CENEPRED, 2014).

Tabla 2

Escala Saaty

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
9	Absolutamente o muchísimo más importante que...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
7	Mucho más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante o preferido que el segundo.
5	Más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro el primero, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual o diferente a...	Al comparar un elemento con otro, hay indiferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo.
1/5	Menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera menos importante o preferido que el segundo.
1/7	Mucho menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/9	Absolutamente o muchísimo...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante o preferido que el segundo.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.	

Fuente: CENEPRED (2014)

2.3. Definiciones conceptuales

2.3.1. Movimiento de masa

Es el desplazamiento descendente de tierra, rocas y escombros provocado por la acción de la gravedad (Ordoñez, 2019).

2.3.2. Peligro

Se refiere a la posibilidad de que ocurra un evento natural o provocado por actividades humanas, con cierto nivel de intensidad o magnitud, en un lugar específico y durante un tiempo determinado, el cual puede generar impactos en zonas habitadas, infraestructuras o el entorno natural (INDECI, 2011).

2.3.3. Riesgo

Bajo la misma perspectiva de INDECI (2011), el riesgo es el cálculo de la probabilidad de que se produzcan pérdidas o daños, ya sea en personas, bienes materiales o recursos económicos, como consecuencia de un evento de origen natural o tecnológico, considerando tanto la identificación del peligro como el análisis de la vulnerabilidad

2.3.4. Vulnerabilidad

Es el nivel de susceptibilidad o exposición que presenta un elemento o grupo de elementos ante un evento peligroso de origen natural o tecnológico con cierta magnitud. Representa la facilidad con la que estos elementos pueden resultar afectados en términos humanos o materiales (INDECI, 2011).

2.3.5. Desastres

Es el conjunto de afectaciones y pérdidas que impactan la salud, medios de vida, viviendas, infraestructuras, economía y entorno natural, como resultado del impacto de una amenaza cuya intensidad provoca alteraciones severas en el funcionamiento de las comunidades. Estas

alteraciones superan la capacidad local para responder de manera efectiva, y pueden originarse por causas naturales o por actividades humanas (CENEPRED, 2014).

2.3.6. Deslizamiento

Es el desplazamiento de masas de suelo o roca que se produce a lo largo de una superficie o una delgada franja en la que se concentra una intensa deformación por esfuerzo cortante (Ordoñez, 2019).

2.3.7. Flujo

Los flujos son desplazamientos de masa con comportamiento viscoso, compuestos por mezclas de agua y material del suelo. Estos movimientos pueden ser lentos o rápidos y se desarrollan a lo largo de cauces o depresiones, tanto naturales como artificiales, usualmente estrechas. Suelen causar desastres naturales con distintos niveles de destrucción, y los materiales transportados pueden recorrer desde unos pocos metros hasta varios cientos (Ordoñez, 2019).

2.3.8. Derrumbes

Los derrumbes son movimientos en masa caracterizados por el desprendimiento brusco de material rocoso en taludes o escarpes. Ocurren por la pérdida de cohesión interna del terreno. Esta puede deberse a la saturación por agua, sismos u otras causas externas. También pueden ser provocados por la actividad humana (CENEPRED, 2014).

2.3.9. Laderas

Se definen como áreas de terreno inclinadas que enlazan sectores elevados con zonas de menor altitud. Estas superficies poseen pendientes de diversa magnitud y características geológicas variables, lo que las hace propensas a sufrir inestabilidad física. Factores como el exceso de humedad en el suelo, la pérdida de cobertura vegetal y condiciones geotécnicas poco favorables

aumentan la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos y otros movimientos de masa en estas áreas (Guzzetti, 2021).

2.3.10. Erosión

Forma parte del proceso de desgaste de la superficie terrestre, en el que se remueve y transporta material del suelo o roca mediante agentes naturales como el agua, el viento, el hielo o por acción humana. Según el agente que la provoca, la erosión se clasifica en fluvial, eólica, glaciar, marina y pluvial. Dependiendo de las huellas que deja en el terreno, se distingue entre erosión en surcos, en cárcavas y laminar (Guzzetti, 2021).

2.3.11. Cárcava

Se define como un tipo de erosión concentrada en surcos, que ocurre debido al escurrimiento de aguas sobre las superficies inclinadas de las laderas. Este proceso erosivo se produce cuando las aguas de lluvia o deshielos fluyen con gran intensidad, llevando consigo el material del suelo, lo que genera canales o surcos profundos (Ordoñez, 2019).

2.3.12. Cobertura vegetal

Se refiere a la cantidad o porcentaje de vegetación que crece y se desarrolla en una zona específica, tomando como unidad de medida el tamaño de un píxel (10 m x 10 m). Este concepto abarca los tipos de coberturas vegetales, cuerpos de agua, materiales terrestres y las infraestructuras humanas presentes sobre la superficie terrestre (Dias et al., 2024).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo, diseño, nivel y enfoque de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque aplicado, ya que empleo fundamentos teóricos y metodológicos vinculados a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y al modelamiento geoespacial, con el propósito de atender una situación específica: la identificación de zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas. Conforme a la clasificación de Hernández-Sampieri & Mendoza (2018), este tipo de investigación busca aportar soluciones prácticas y efectivas frente a problemáticas concretas en una realidad determinada.

3.1.2. Diseño de la investigación

La presente investigación se llevó a cabo bajo un diseño no experimental y de tipo transversal, dado que no se modificó ninguna variable, sino que se analizaron los factores relacionados con los deslizamientos de masa tal como se presentan en su entorno natural, mediante técnicas de análisis geoespacial. Este enfoque fue transversal, pues se recopiló y procesó los datos en un solo momento, permitiendo identificar las áreas vulnerables dentro del distrito de Lajas; de acuerdo con Hernández-Sampieri & Mendoza (2018), este tipo de diseño es adecuado cuando se busca describir y analizar fenómenos sin intervenir en ellos, facilitando su interpretación a partir de información obtenida en un tiempo específico.

3.1.3. Nivel de la investigación

En cuanto al nivel, la investigación fue descriptivo - explicativa; porque permitió recolectar y representar información espacial sobre los factores que favorecen los deslizamientos de masa, delimitando las zonas vulnerables. Además, se buscó explicar cómo interactúan las variables ambientales y físicas en la ocurrencia de estos eventos, a través de un modelo geoespacial

multicriterio; según Hernández-Sampieri & Mendoza (2018), este tipo de estudio no solo describe los hechos, sino que también interpreta sus causas y efectos.

3.1.4. Enfoque de la investigación

La investigación presenta un enfoque cuantitativo, ya que emplea datos espaciales y numéricos, así como técnicas de modelamiento geoespacial en SIG, para identificar y clasificar las zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas.

3.2. Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis

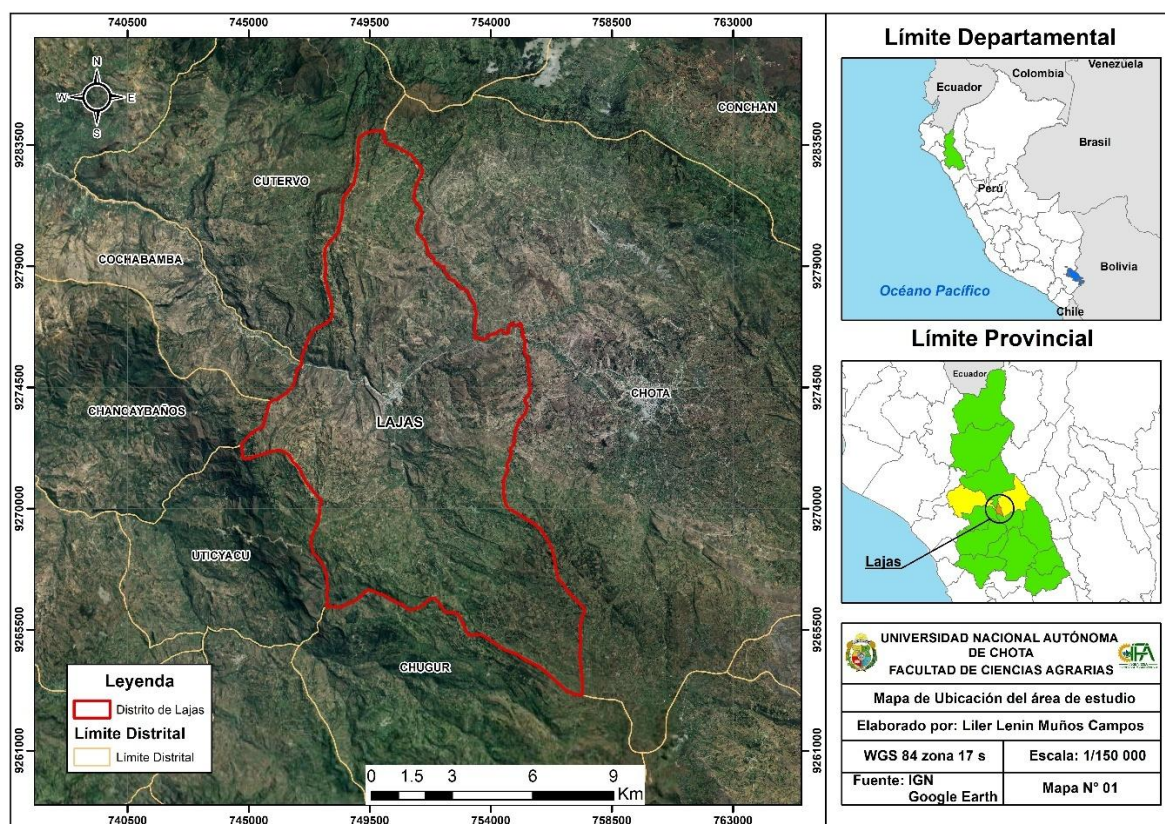
3.2.1. Ubicación

El estudio se desarrolló en el distrito de Lajas, ubicado en la provincia de Chota, en el departamento de Cajamarca, al norte del Perú; este distrito se sitúa en la región andina y presenta una configuración territorial predominantemente montañosa, característica de la sierra norte del país; su localización geográfica se encuentra aproximadamente entre los 6°33' de latitud sur y 78°44' de longitud oeste, con una altitud promedio cercana a los 2 200 metros sobre el nivel del mar, lo que influye directamente en sus condiciones climáticas y ambientales (Municipalidad Provincial de Chota (MPCH), 2022).

El distrito de Lajas presenta un clima templado andino, con una temperatura media anual aproximada de 18 °C, registrándose valores más altos en las zonas de menor altitud y más bajos en las áreas elevadas. Las precipitaciones siguen un régimen estacional, concentrándose entre noviembre y abril, mientras que el periodo seco se extiende de mayo a octubre. En cuanto a la accesibilidad, el distrito dispone de vías terrestres que lo conectan con la ciudad de Cajamarca y con distritos y provincias cercanas. Estas vías facilitan el desplazamiento de la población y el desarrollo de actividades económicas, cumpliendo un rol clave en la dinámica territorial y en la interacción entre las zonas rurales y urbanas (MPCH, 2022).

Figura 4

Ubicación y localización del área de estudio



3.2.2. Población

Estuvo constituida por la totalidad del área geográfica correspondiente al distrito de Lajas.

3.2.3. Muestra

La muestra estuvo conformada por todas las áreas dentro del distrito de Lajas que, según los criterios técnicos establecidos en el modelamiento geoespacial, fueron clasificadas como zonas de vulnerabilidad a deslizamientos de masa.

3.2.4. Muestreo

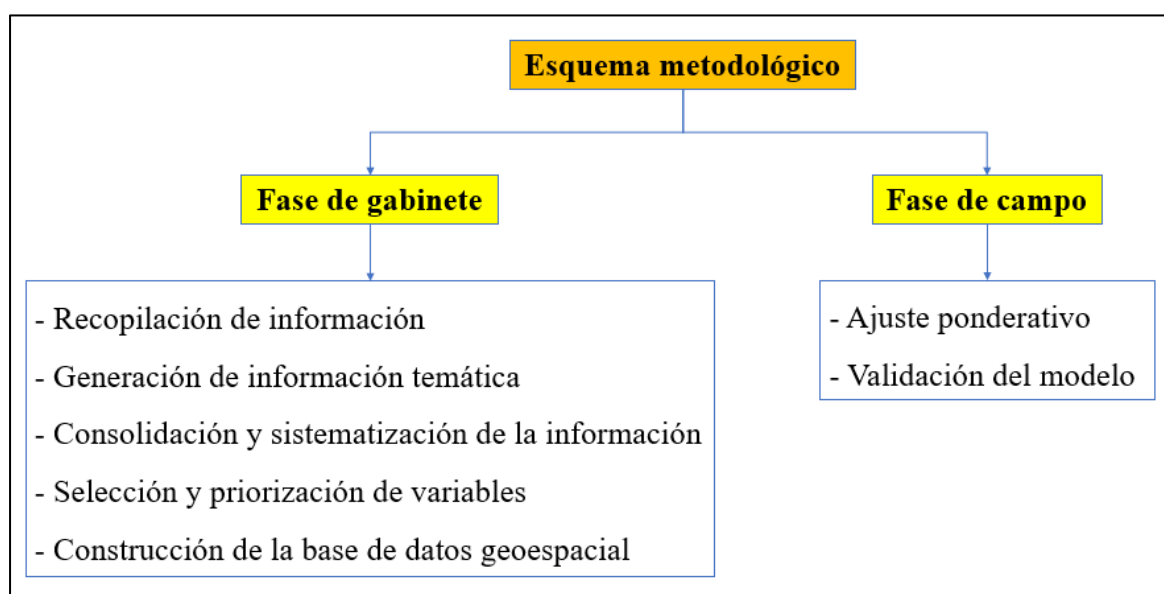
Se aplicó un muestreo censal no probabilístico, considerando la totalidad del territorio del distrito de Lajas. Esta modalidad se justifica porque se analizó todo el ámbito distrital sin excluir sectores, abarcando cada unidad espacial que reúna las condiciones para formar parte del estudio de susceptibilidad y vulnerabilidad a deslizamientos de masa.

3.2.5. Unidad de análisis

La unidad de análisis estuvo constituida por las unidades espaciales del terreno (celdas raster) que conforman el distrito de Lajas, las cuales permitieron evaluar y modelar la vulnerabilidad a deslizamientos de masa a partir de variables físicas y ambientales mediante Sistemas de Información Geográfica.

Figura 5

Esquema metodológico



3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas de recolección de datos

Se emplearon las técnicas de revisión documental y análisis de información secundaria geoespacial. La revisión documental consistió en recopilar información cartográfica y reportes técnicos de instituciones oficiales como ZEE, SENAMHI, IGN, MTC, ANA, MINAM y ALOS PALSAR. El análisis de información secundaria geoespacial permitió obtener y procesar bases de datos existentes, tales como modelos digitales de elevación, mapas temáticos de uso del suelo, cobertura vegetal, geología y precipitaciones, las cuales fueron integradas mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la elaboración del modelo de vulnerabilidad.

3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que se utilizaron en esta investigación fueron cartas topográficas, modelos digitales de elevación (MDE), capas temáticas vectoriales y raster. Además, se emplearon bases de datos proporcionadas por, MINAM y SENAMHI (PISCO), así como información bibliográfica de estudios previos relacionados. Todo este material se gestionó y procesó en el software ArcGIS y RStudio, que permitieron almacenar, procesar y representar los datos geoespaciales.

Tabla 3

Información que fue recolectada

Insumo	Escala	Fuente
Limites nacionales, provinciales y distritales	1: 100 000	Instituto Geográfico Nacional (IGN)
Red vial	1: 100 000	Ministerio de Transportes y comunicaciones (MTC)
Cobertura y uso actual	1: 100 000	Zonificación Ecológica Económica – Cajamarca (ZEE)
Modelo digital de elevación DEM	12.5	Espacio (NASA, ALOS PALSAR)
Geología	1: 100 000	Zonificación Ecológica Económica – Cajamarca (ZEE)
Geomorfología	1: 100 000	Zonificación Ecológica Económica – Cajamarca (ZEE)
Precipitación	0.5° * 0.5°	SENAMHI (PISCO)

3.4. Hipótesis

Hipótesis nula (Ho): Las variables geoespaciales consideradas en el modelo no tienen una influencia estadísticamente significativa en la identificación de zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas.

Hipótesis alternativa (H1): Al menos una de las variables geoespaciales consideradas en el modelo tiene una influencia estadísticamente significativa en la identificación de zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas.

3.5. Operacionalización de variables

Tabla 4

Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
Dependiente Susceptibilidad a deslizamientos	Nivel de probabilidad o predisposición que presenta un área para generar deslizamientos de masa, en función de condiciones ambientales, físicas y territoriales	Nivel de vulnerabilidad Extensión territorial	- Muy bajo (1) - Bajo (2) - Medio (3) - Alto (4) - Muy alto (5) Área (ha) por nivel de vulnerabilidad	Análisis documental, análisis espacial SIG Base de datos geoespaciales. Análisis multicriterio (AHP) Trabajo de campo y verificación
Independiente Factores condicionantes geoespaciales	Elementos del territorio (geomorfológicos, ambientales, geológicos y antrópicos) que influyen en la aparición de deslizamientos y que pueden analizarse mediante SIG.	Topográficos Fisiográficos Geológicos Climáticos Cobertura terrestre	Pendiente (%) Tipo de fisiografía Litología Precipitación anual (mm) Tipo de cobertura vegetal	DEM ALOS PALSAR ZEE Cajamarca SENAMHI PISCO

3.6. Procedimientos de recolección de datos

A. Fase de gabinete

Con toda la información recopilada espacial y no espacial procedente de distintas plataformas de instituciones, se procedió a realizar y procesar los mapas en función a los requerimientos que implicó el modelo a generar con ayuda de las herramientas que integra el software ArcGIS.

Mapa de pendientes: para este mapa se utilizó el modelo digital de elevación DEM, descargado de la plataforma de ALOS PALSAR, al cual se le dio una reclasificación según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], (2022) reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor D.S N° 005-2022-MIDAGRI.

Tabla 5

Clasificación de pendientes

Pendiente %	Símbolo	Descripción
0-4	A	Nula o casi nula
4-8	B	Ligeramente inclinada
8-15	C	Ligeramente inclinada o moderadamente empinada
15-25	D	Moderadamente empinada
25-50	E	Empinada
50-75	F	Muy empinada
>75	G	Extremadamente empinada

Fuente: MIDAGRI (2022).

Mapa de fisiografía: se realizó su clasificación según el área de estudio que fue el distrito de Lajas, se visualizó su tabla de atributos y se trabajó en base a ella, esta información se obtuvo de la ZEE de Cajamarca y se procesó el software ArcGIS.

Mapa de geología: se realizó su clasificación según el área de estudio que fue el distrito de Lajas, se visualizó su tabla de atributos y se trabajó en base a ella, esta información se obtuvo de la ZEE de Cajamarca y se procesó el software ArcGIS.

Mapa de cobertura vegetal: se realizó su clasificación según el área de estudio que fue el distrito de Lajas, se visualizó su tabla de atributos y se trabajó en base a ella, esta información se obtuvo de la ZEE de Cajamarca y se procesó el software ArcGIS.

Mapa de precipitación: se realizó con la base de datos de SENAMHI, Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations (PISCO), con una resolución angular de $0.5^\circ * 0.5^\circ$ donde se crearon estaciones en el área de estudio para la obtención de los datos de precipitación mensual que comprende el periodo desde 1981 – 2016, y donde se calculó la precipitación mensual y anual en cada estación, toda esta información fue procesada en el software RStudio.

❖ **Proceso de análisis jerárquico AHP aplicado a cada variable de estudio**

Matriz de comparación de pares de Saaty

Para obtener los resultados de las matrices, se optó por utilizar el método análisis jerárquico desarrollado por Thomas Saaty; consistió en comparar criterios por pares mediante una matriz cuadrada, en la que tanto filas como las columnas corresponden al número de criterios a evaluar; a través de esta matriz, se determinó la importancia relativa de cada par de criterios, lo que dio como resultado los pesos y una media de la consistencia de los juicios de valor entre los factores.

Matriz de comparación de pares

Se construyó una matriz, la cual fue una matriz cuadrada diseñada para mostrar el contraste entre diferentes criterios; a cada criterio se le asignaron valores numéricos que indican su importancia relativa respecto a los demás; la comparación se efectuó entre los elementos de cada fila y los de cada columna, permutando todos los elementos y manteniendo la relación fila/columna; los valores asignados seguirán la escala Saaty (Tabla 2) (CENEPRED, 2014).

Figura 6*Matriz de comparación de pares*

Geomorfología	Colinas bajas estructurales denudacionales	Planicie fluvio lacustre	Piedemonte aluvicoluvial	Montañas calcareas	Laderas coluvioaluviales
Colinas bajas estructurales denudacionales	1.00	2.00	3.00	5.00	7.00
Planicie fluvio lacustre	0.50	1.00	2.00	4.00	6.00
Piedemonte aluvicoluvial	0.33	0.50	1.00	2.00	5.00
Montañas calcareas	0.20	0.25	0.50	1.00	4.00
Laderas coluvioaluviales	0.14	0.17	0.20	0.25	1.00
SUMA	2.18	3.92	6.70	12.25	23.00
1/SUMA	0.46	0.26	0.15	0.08	0.04

Fuente: CENEPRED (2014).

Matriz de normalización y vector de priorización

Seguidamente, se elaboró la matriz de comparación normalizada; esta se derivara dividiendo cada elemento de las columnas de la matriz de comparación de pares por valor total de la suma correspondiente a cada columna (Figura 7) (CENEPRED, 2014).

Después de procesar la matriz normalizada, se determinó el vector de priorización, el cual se obtuvo calculando el promedio de cada fila de la matriz.

Figura 7*Matriz de normalización*

Geomorfología	Colinas bajas estructurales denudacionales	Planicie fluvio lacustre	Piedemonte aluvicoluvial	Montañas calcareas	Laderas coluvioaluviales	Vector Priorización
Colinas bajas estructurales denudacionales	0.460	0.511	0.448	0.408	0.304	0.426
Planicie fluvio lacustre	0.230	0.255	0.299	0.327	0.261	0.274
Piedemonte aluvicoluvial	0.153	0.128	0.149	0.163	0.217	0.162
Montañas calcareas	0.092	0.064	0.075	0.082	0.174	0.097
Laderas coluvioaluviales	0.066	0.043	0.030	0.020	0.043	0.040

Fuente: (CENEPRED, 2014).

Cálculo de la relación de consistencia

Se calculó mediante la siguiente formula:

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Donde: IA es el índice aleatorio, IC es el índice de consistencia

Todo fue bajo los criterios de la matriz Saaty, donde indica que debe de ser ($RC < 0.1$) menor al 10%.

Matriz de relación de consistencia

Esta matriz contuvo valores obtenidos de la multiplicación entre el vector de priorización y la matriz de comparación de pares, posteriormente, se llevó a cabo la suma de cada fila de la matriz de relación de consistencia, resultando el vector suma ponderado (VSP) para cada criterio (Figura 8).

Luego de determinar el vector de suma ponderado, se procedió a realizar el cálculo de Lambda máximo ($\lambda_{\max}$), siendo el promedio de los elementos del vector obtenido en la matriz de relación de consistencia (Figura 8).

Para determinar el índice de consistencia es mediante la división de $\lambda_{\max}$, menos el número de criterios utilizados.

Y finalmente se calculó la relación de consistencia (RC), que es la división entre el índice de consistencia y el índice aleatorio.

Cuando la relación de consistencia es mayor a 0.10; es necesario realizar algunas modificaciones en la matriz de comparación. Si es menor a 0.10; la relación de consistencia se considera razonable (Figura 8).

Figura 8

Proceso para calcular la relación de consistencia

HALLANDO EL VECTOR SUMA PONDERADO														
Resultados de la operación de matrices										Vector Suma Ponderada				
0.481	0.475	0.592	0.599	0.433						2.580				
0.240	0.238	0.296	0.257	0.241						1.271				
0.160	0.119	0.148	0.171	0.192						0.791				
0.120	0.079	0.074	0.086	0.096						0.455				
0.080	0.048	0.037	0.043	0.048						0.256				

HALLANDO EL λ_{max}														
										Vector Suma Ponderado / Vector Priorización				
										5.366				
										5.347				
										5.343				
										5.322				
										5.311				
										SUMA	26.689			
										PROMEDIO	5.338			

INDICE DE CONSISTENCIA														
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (*)										IC	0.084			
										RC	0.076			

(*) Para determinar el índice aleatorio que ayuda a determinar la relación de consistencia se utilizó la tabla obtenida por Aguarón y Moreno, 2001. Donde "n" es el número de parámetros en la matriz.

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595

Fuente: CENEPRED (2014).

Construcción de la base de datos geoespaciales

El modelo de movimiento de masa se elaboró tomando como base las características físicas propias del distrito de Lajas, se identificaron varias variables temáticas junto con sus respectivas unidades y atributos principales, con el objetivo de analizar el grado de vulnerabilidad al que está expuesta el área de estudio; para el modelo, se seleccionaron variables físicas como la cobertura vegetal, geología, precipitación, fisiografía, pendiente; toda esta información se integró en una base de datos llamada File Geodatabase (GDB), que forma parte del software ArcGIS.

Criterios para la integración del modelo

Para la integración ponderada de las variables del modelo, se tomó como referencia los estudios realizados por [Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), 2010] sobre movimientos en masa en el Perú, así como los análisis de peligros múltiples y vulnerabilidad incluidos en las ZEE del departamento de Cajamarca. Asimismo, se adaptó la escala de valoración de atributos y la fórmula ponderativa.

Los valores asignados a los niveles de peligro se establecieron en función de las condiciones observadas en campo y del inventario de amenazas, asignando un valor de 1 para peligro muy bajo hasta 5 para peligro muy alto. El número de matrices que se utilizó dependió de los submodelos considerados, hasta llegar a una matriz final que represente la cartografía del modelo de movimientos en masa.

Tabla 6

Valoración del modelo a deslizamientos de masa

Grado o nivel de peligro	Valor del peligro
Muy bajo	1
Bajo	2
Medio	3
Alto	4
Muy alto	5

Fuente: (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2016).

Aplicación de criterios de valorización a cada variable para la generación del modelo a deslizamientos de masa

En este apartado se le dio una valorización a cada variable tomando en cuenta sus atributos todo en base a la Resolución Ministerial N° 008-2016-MINAM, la cual indica que se debe de analizar el aspecto externo de la superficie de un escenario geográfico.

Las variables utilizadas, se les dio una clasificación a sus atributos que contiene cada capa, posterior a ello, los criterios implican que se les dio un rango de niveles que van desde uno a

cinco (Tabla 5), con el objetivo de identificar que atributos son los más relevantes para que se produzca un deslizamiento de masas en el distrito de Lajas.

Integración de las variables para realizar el modelo geoespacial

En esta fase ya con los criterios de valorización aplicados a cada variable, se procedió a realizar el modelamiento que implica la multiplicación de todas las variables con sus respectivos pesos asignados que se desarrollará mediante la matriz Saaty.

Variables = (Pend, Fsio, CobVe, Preci, Geo)

$$MMM = g * Pend + h * Geo + i * Preci + j * Psio + k * CobVe$$

Donde:

MMM: Modelo de Movimientos de Masa

Pend: Pendiente

Fsio: Fisiografía

Geol: Geología

CobVe: Cobertura vegetal

Preci: Precipitación

g, h, i, j, k: Grados de participación de cada variable

La integración de variables y los pesos que se le asignaron a cada una dependió de que variables fueron más relevante luego de aplicarles los criterios de valorización, el cual se realizó mediante el proceso de análisis jerárquico (AHP), estos pesos fueron en porcentaje que van desde uno a cien, todo lo mencionado en la integración de variables se realizó mediante el software ArcGIS y que se pudo integrar diferentes procesos para llegar a la construcción del modelo geoespacial que sirvió para la identificación de zonas vulnerables a movimientos de masas.

B. Fase de campo

Se llevó a cabo mediciones de altitudes y coordenadas utilizando un GPS, con el objetivo de verificar y validar los resultados generados en el modelo de movimientos en masa durante la fase de gabinete. Asimismo, se procedió al ajuste cartográfico de los modelos según la escala obtenida. Además, se tomaron fotografías en perspectiva de las zonas que presenten evidencias de movimientos en masa, con el propósito de identificar el historial de eventos ocurridos a lo largo del tiempo.

3.7. Procedimientos de análisis de datos

Los datos obtenidos fueron organizados, procesados y analizados mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y software estadístico. Se elaboraron mapas temáticos y de vulnerabilidad a través del programa ArcGIS, integrando las capas geospaciales de factores condicionantes mediante técnicas de superposición y análisis multicriterio proceso jerárquico (AHP) externo de la geografía del lugar.

De forma complementaria, se empleó RStudio para realizar análisis estadísticos descriptivos y procesamiento de tablas de datos, identificando tendencias y comportamientos de las variables que condicionan los deslizamientos de masa. Asimismo, Microsoft Excel 2019 se utilizó para sistematizar información, organizar bases de datos alfanuméricas y graficar los resultados obtenidos.

Finalmente, los productos generados como mapas de vulnerabilidad, tablas estadísticas y reportes gráficos permitirán interpretar las zonas clasificadas por niveles de vulnerabilidad a deslizamientos de masa y sustentar las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

3.8. Material y equipos

- ❖ Computadora de escritorio o portátil con capacidad adecuada para el procesamiento de información geoespacial.
- ❖ Software de Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS 10.8).
- ❖ Hojas de cálculo para el procesamiento y cálculo del método AHP.
- ❖ Dispositivo de posicionamiento global (GPS) para la validación en campo.
- ❖ Fichas de registro y formatos de observación para la recopilación de información en campo.

3.9. Aspectos éticos

La presente investigación se desarrolló respetando los principios de integridad, responsabilidad y honestidad académica. Toda la información geoespacial y documental recopilada fue utilizada únicamente con fines científicos y educativos, garantizando su correcta citación y evitando cualquier uso indebido. Asimismo, se priorizaron la transparencia en el procesamiento y presentación de los resultados, resguardando la confidencialidad de los datos y promoviendo que el conocimiento generado contribuya al bienestar y seguridad de la población del distrito de Lajas.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Descripción de resultados

En esta sección se detalla los resultados de cada proceso realizado con el objetivo de identificar zonas vulnerables a deslizamiento de masas en el distrito de Lajas.

4.1.1. Recolección y proceso de los factores condicionantes

❖ Pendientes

Se generó el mapa de pendientes considerando los valores presentados en el Gráfico 5. Posteriormente, se aplicaron las herramientas “Reclassify” y “Clip Raster”, con el propósito de reclasificar y recortar la capa de pendiente en cinco rangos, cada uno con su respectiva valoración según el nivel de inclinación del terreno. Este proceso se realizó tomando como base la matriz de Saaty, lo que permitió asignar los valores de importancia correspondientes a cada rango de pendiente. Asimismo, se incorporó el cálculo del área en hectáreas (ha), cuyos resultados se presentan en la Tabla 7. Finalmente, en la Figura 9 se muestra el mapa de clasificación de pendientes, donde se representan los diferentes rangos mediante su respectiva coloración.

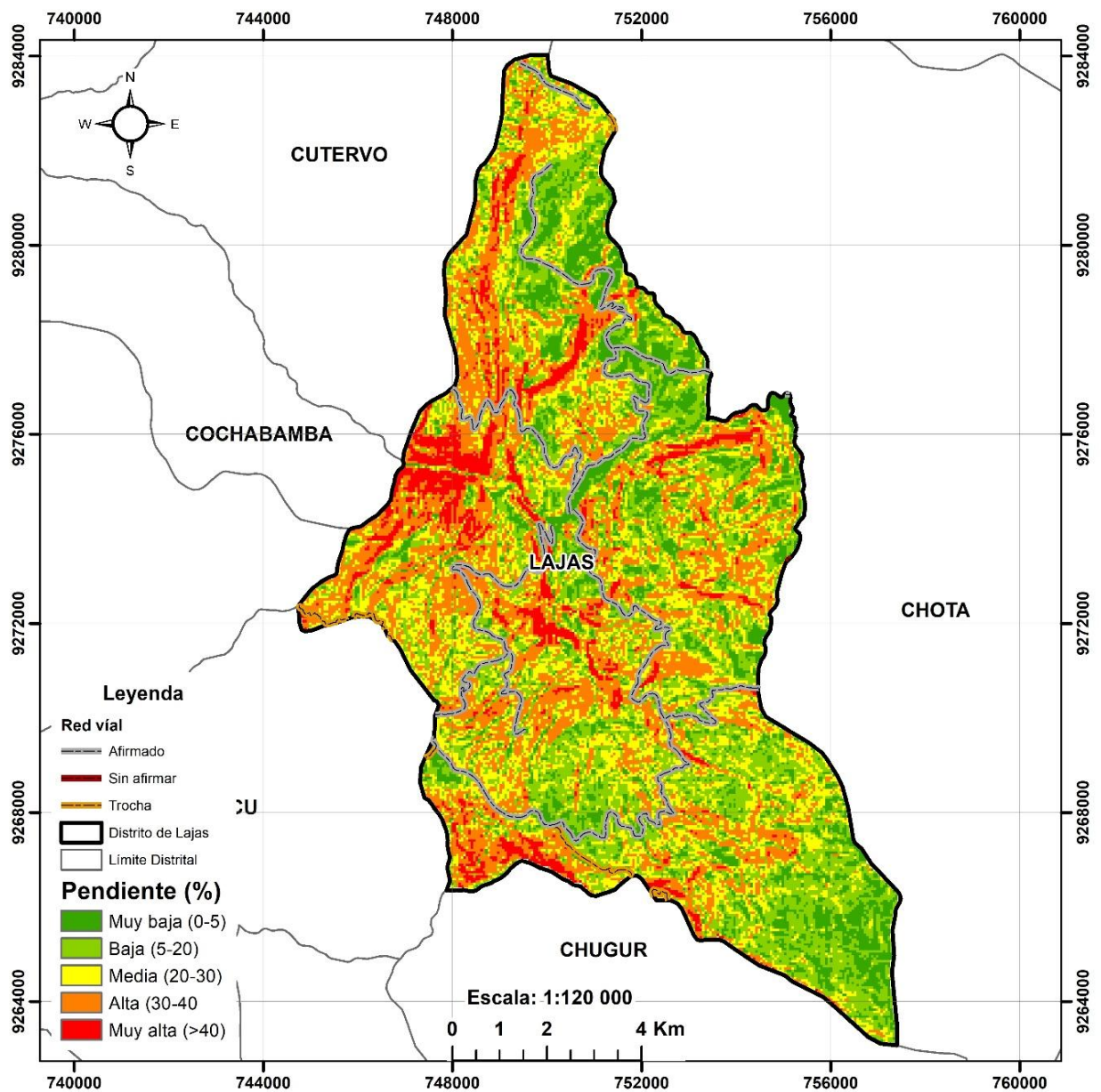
Tabla 7

Clasificación de valores de pendientes

Pendiente %	Rango	Descripción	Valoración	Área (ha)	%
0-5	Muy baja	Nula o casi nula	1	1767.98	14.6%
5-20	Baja	Ligeramente inclinada	2	3251.42	26.9%
20-30	Media	Ligeramente inclinada o moderadamente empinada	3	2747.99	22.7%
30-40	Alta	Moderadamente empinada	4	3574.28	29.5%
>40	Muy alta	Extremadamente empinada	5	763.91	6.3%
Total				12 105.58	100%

Figura 9

Mapa de pendientes del distrito de Lajas



❖ Fisiografía

Se generó el mapa de fisiografía considerando los valores contenidos en la tabla de atributos de la capa correspondiente. Posteriormente, se aplicó la herramienta “Clip” con el objetivo de recortar la información espacial en función del límite del distrito de Lajas. A continuación, la capa fue clasificada en cinco rangos con su respectiva valoración, de acuerdo con la importancia del campo “Formación”. Este procedimiento se realizó tomando como base la matriz de Saaty, lo que permitió asignar los valores de ponderación correspondientes. Asimismo, se incluyó el cálculo del área en hectáreas (ha), cuyos resultados se presentan en la Tabla 8. Finalmente, en la Figura 10 se muestra el mapa de clasificación de la fisiografía, donde se representan los distintos rangos mediante su respectiva coloración.

Tabla 8

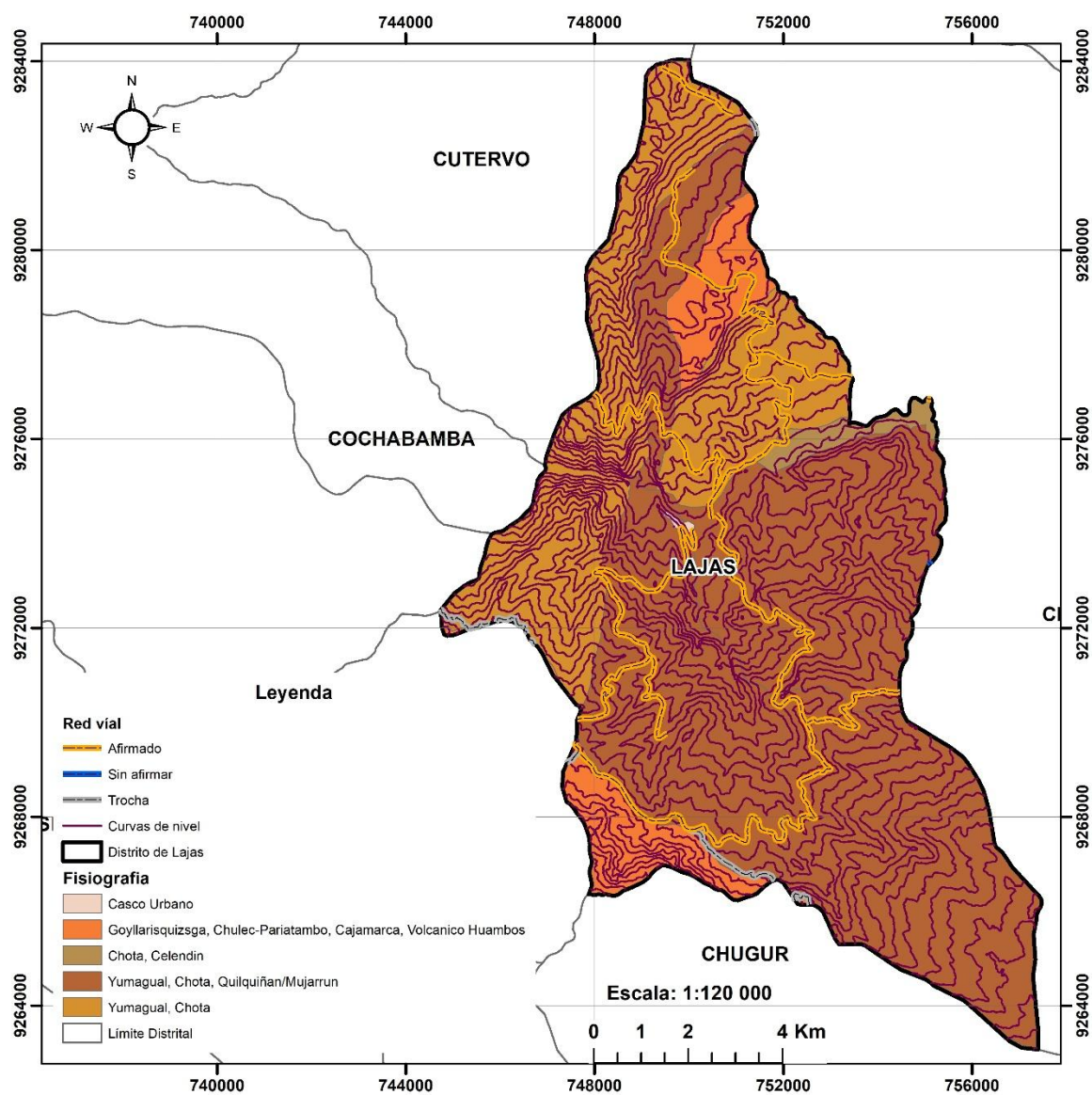
Clasificación de valores de fisiografía

Gran paisaje	Paisaje	Formación	Valoración	Área (ha)	%
Casco urbano	Casco urbano	Casco urbano	1	11.63	0.1%
Montañoso	Montañas desarrolladas sobre formaciones principalmente sedimentarias, compuestas por calizas, margas, lutitas, areniscas cuarzosas y sedimentos arcillosos. También se presentan sectores de origen volcánico extrusivo asociados a tobas dacíticas y brechas de composición ácida.	Grupo Goyllarisqui zsga, Chulec-Pariatambo, Cajamarca, Volcanico Huambos	2	996.33	8.2%
Colinoso	Colinas sedimentarias formadas sobre sedimentos arcillosos tales como lutitas, lodolitas y margas, de color rojo y marrón amarillento.	Chota, Celendin	3	184.14	1.5%

Montaños o	Montañas desarrolladas sobre formaciones principalmente sedimentarias, compuestas por calizas, margas, lutitas, areniscas cuarzosas y sedimentos arcillosos. También se presentan sectores de origen volcánico extrusivo asociados a tobas dacíticas y brechas de composición ácida.	Yumagual, Chota, Quilquiñan/ Mujarrun	4	7736.04	63.9%
Montaños o	Montañas desarrolladas sobre formaciones principalmente sedimentarias, compuestas por calizas, margas, lutitas, areniscas cuarzosas y sedimentos arcillosos. También se presentan sectores de origen volcánico extrusivo asociados a tobas dacíticas y brechas de composición ácida.	Yumagual, Chota	5	3177.44	26.2%
Total				12 105.58	100%

Figura 10

Mapa de fisiografía del distrito de Lajas



❖ Cobertura vegetal

Se generó el mapa de cobertura vegetal considerando los valores contenidos en la tabla de atributos de la capa correspondiente. Posteriormente, se aplicó la herramienta “Clip” con el objetivo de recortar la información espacial de acuerdo con el límite del distrito de Lajas. Seguidamente, la capa fue clasificada en cinco rangos con su respectiva valoración, en función de la importancia del campo “NIVEL II”. Este proceso se realizó tomando como base la matriz

de Saaty, lo que permitió asignar los valores de ponderación correspondientes. Asimismo, se incluyó el cálculo del área en hectáreas (ha), cuyos resultados se presentan en la Tabla 9. Finalmente, en la Figura 11 se muestra el mapa de clasificación de la cobertura vegetal, donde se representan los distintos rangos mediante su respectiva coloración.

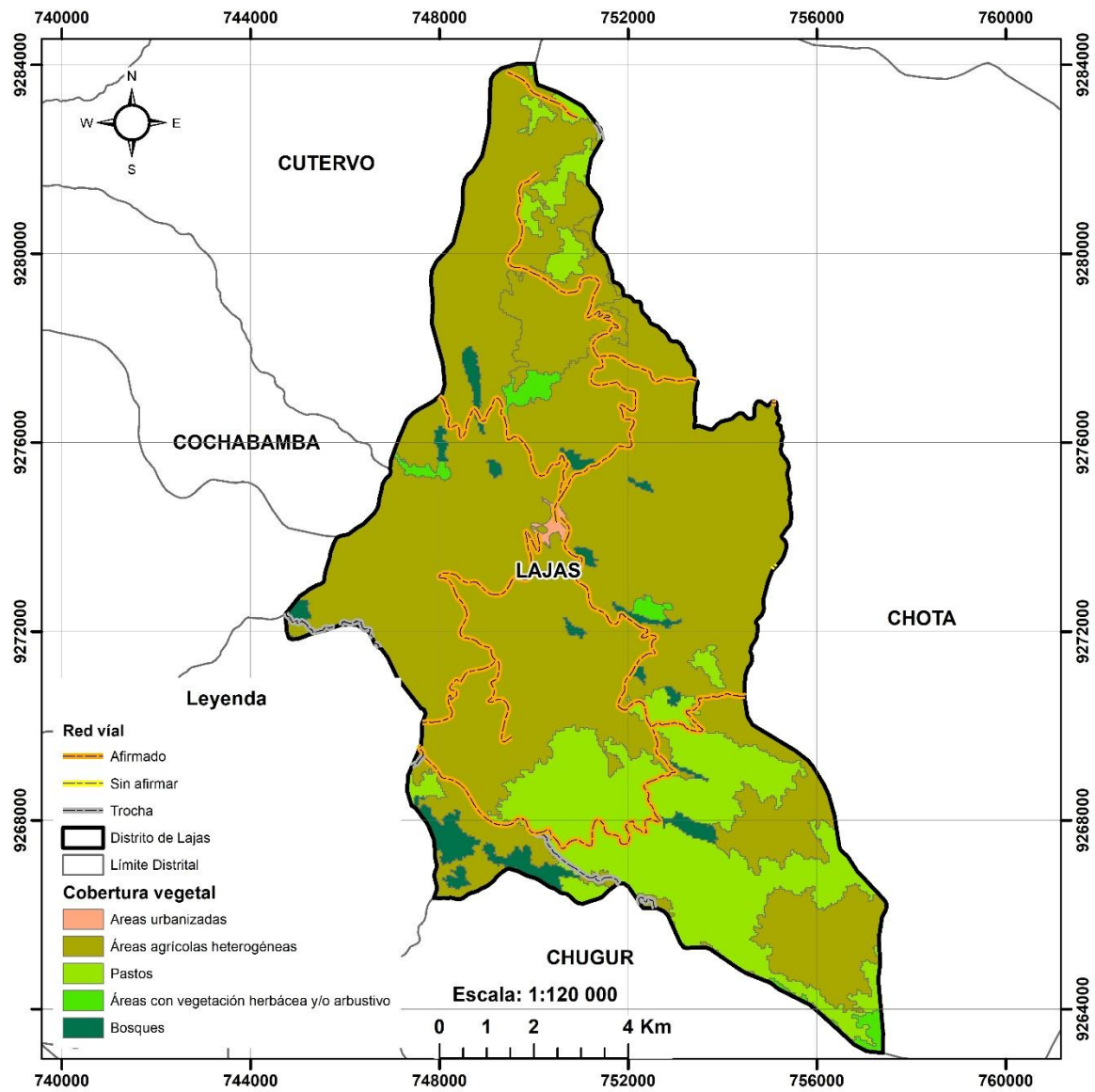
Tabla 9

Clasificación de valores de cobertura vegetal

Nivel I	Nivel II	Valoración	Área (ha)	%
1. Bosques y áreas mayormente naturales	Bosques	1	33,32	0.30%
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	2	9 175,93	75.80%
	Pastos	3	2 379,47	19.70%
2. Áreas agrícolas	Áreas agrícolas heterogéneas	4	162,86	1.30%
3. Áreas artificializadas	Áreas urbanizadas	5	354,00	2.90%
Total			12 105,58	100%

Figura 11

Mapa de cobertura vegetal del distrito de Lajas



❖ Precipitación

Se generó el mapa de precipitación considerando rangos de valores entre 870 y 1528 mm. Para ello, se utilizaron datos provenientes de la base de datos PISCO del SENAMHI, a partir de los cuales se obtuvieron 14 estaciones meteorológicas. Posteriormente, se aplicó el método de interpolación “IDW” (Inverse Distance Weighting) para generar la superficie continua de precipitación. Seguidamente, se emplearon las herramientas “Reclassify” y “Clip Raster”, con el objetivo de reclasificar y recortar la capa de precipitación en cinco rangos, cada uno con su respectiva valoración según el nivel de precipitación. Este procedimiento se realizó tomando como base la matriz de Saaty, lo que permitió asignar los valores de ponderación correspondientes. Asimismo, se incluyó el cálculo del área en hectáreas (ha), cuyos resultados se presentan en la Tabla 10. Finalmente, en la Figura 12 se muestra el mapa de clasificación de la precipitación, donde se representan los diferentes rangos mediante su respectiva coloración.

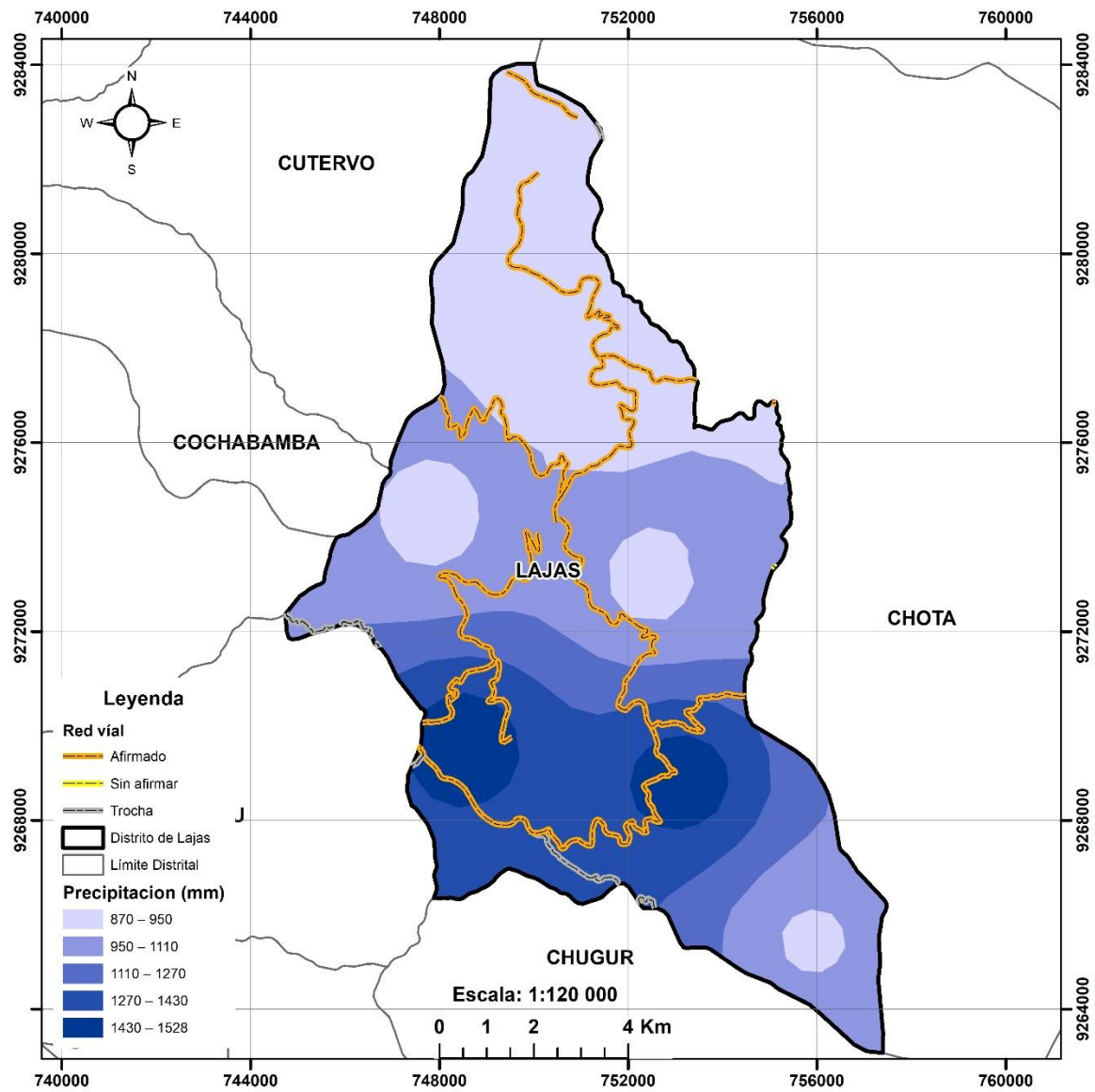
Tabla 10

Clasificación de valores de la precipitación

Precipitación (mm)	Valoración	Área (ha)	%
870 – 950	1	3846.12	31.8%
950 – 1110	2	3965.13	32.8%
1110 - 1270	3	1337.11	11.0%
1270 – 1430	4	2222.78	18.4%
1430 – 1528	5	734.44	6.1%
Total		12 105.58	100%

Figura 12

Mapa de precipitación del distrito de Lajas



❖ Geología

Se generó el mapa de geología considerando los valores contenidos en la tabla de atributos de la capa correspondiente. Posteriormente, se aplicó la herramienta “Clip” con el objetivo de recortar la información espacial de acuerdo con el límite del distrito de Lajas. Seguidamente, la capa fue clasificada en cinco rangos con su respectiva valoración, en función de la importancia del campo “Litología”. Este procedimiento se realizó tomando como base la matriz de Saaty, lo que permitió asignar los valores de ponderación correspondientes. Asimismo, se incluyó el cálculo del área en hectáreas (ha), cuyos resultados se presentan en la Tabla 11. Finalmente, en la Figura 13 se presenta el mapa de clasificación de la geología, donde se representan los distintos rangos mediante su respectiva coloración.

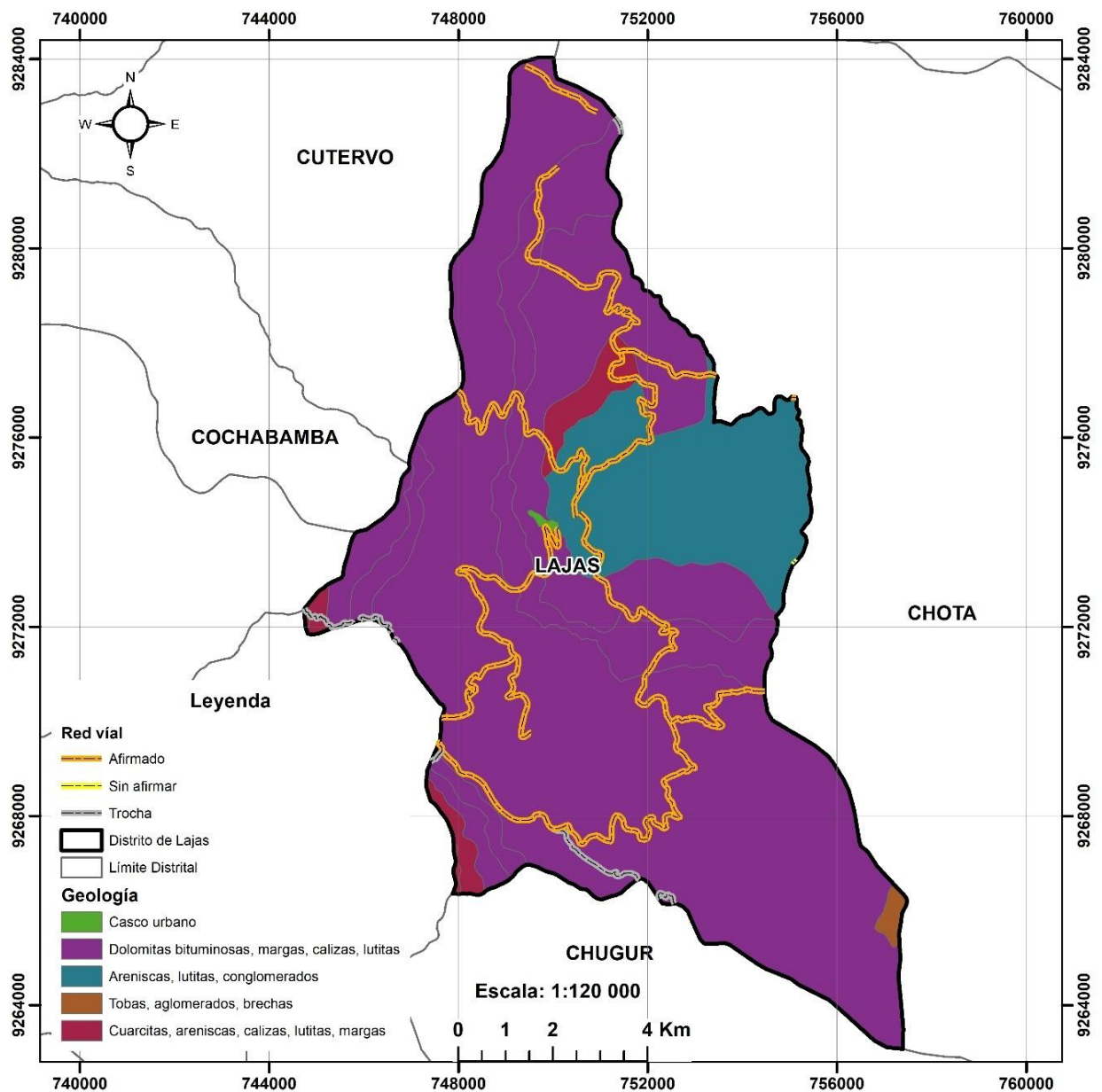
Tabla 11

Clasificación de valores de geología

Tipo de roca	Litología	Valoración	Área (ha)
Casco urbano		1	11,63
Sedimentaria	Dolomitas bituminosas, margas, calizas, lutitas	2	9 945,66
	Areniscas, lutitas, conglomerados	3	1 770,13
Volcánica	Tobas, aglomerados, brechas	4	47,24
Sedimentaria	Cuarcitas, areniscas, calizas, lutitas, margas	5	330,92
Total			12 105,58

Figura 13

Mapa de geología del distrito de Lajas

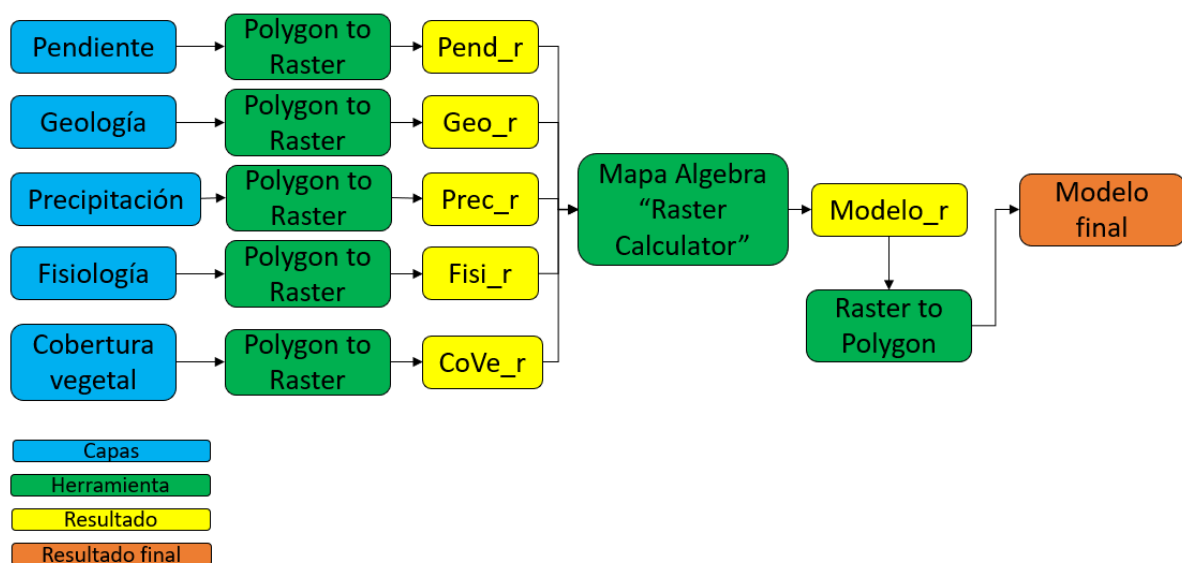


4.1.2. Modelo geoespacial multicriterio a deslizamiento de masa en el distrito de Lajas

El modelo geoespacial multicriterio se muestra en la figura 14 el cual se desarrolló a partir de la integración de diversas variables condicionantes, entre ellas pendiente, geología, precipitación, fisiografía y cobertura vegetal. Inicialmente, cada una de estas capas temáticas en formato vectorial ya con la respectiva valoración desarrollado mediante la matriz Saaty las cuales fueron convertidas a formato raster mediante la herramienta “Polygon to Raster”, generando las capas “Pend_r, Geo_r, Prec_r, Fisi_r y Cove_r”. Posteriormente, estas capas raster fueron integradas mediante la herramienta “Raster Calculator”, donde se aplicó el álgebra de mapas para combinar y ponderar los criterios definidos, obteniendo como resultado un raster denominado Modelo_r, que representa el nivel de vulnerabilidad a deslizamientos. Finalmente, este resultado fue convertido nuevamente a formato vectorial mediante la herramienta “Raster to Polygon”, generando el modelo final, el cual permite representar espacialmente las áreas con diferentes niveles de vulnerabilidad a deslizamientos en la zona de estudio.

Figura 14

Modelo geoespacial multicriterio



4.1.3. Niveles de vulnerabilidad a deslizamiento de masa en el distrito de Lajas

Modelo de movimientos en masa

El modelo actual que se aprecia en la Figura 15, posibilita reconocer áreas en las que los efectos de movimientos masivos, provocados por los deslizamiento, derrumbes, flujos y movimientos complejos, pueden ocurrir. Estas zonas se clasifican en niveles Muy Alto, Alto, Medio, Bajo y Muy bajo; su clasificación es el resultado de integrar espacialmente atributos correctamente valorados y variables físicas ponderadas, la ecuación utilizada para construir este modelo es el siguiente:

$$MMM = 0.42 * Pend + 0.26 * Geol + 0.16 * Preci + 0.10 * Fsio + 0.6 * CobVe$$

Donde:

MMM: Modelo de Movimientos de Masa

Pend: Pendiente

Fsio: Fisiografía

Geol: Geología

CobVe: Cobertura vegetal

Preci: Precipitación

La tabla 12 detalla el área y el porcentaje del distrito que se encuentra expuestos a distintos niveles de peligro debido a los movimientos en masa, mientras que la figura 15 muestra la distribución en los diversos niveles y su clasificación correspondiente mediante rangos de colores.

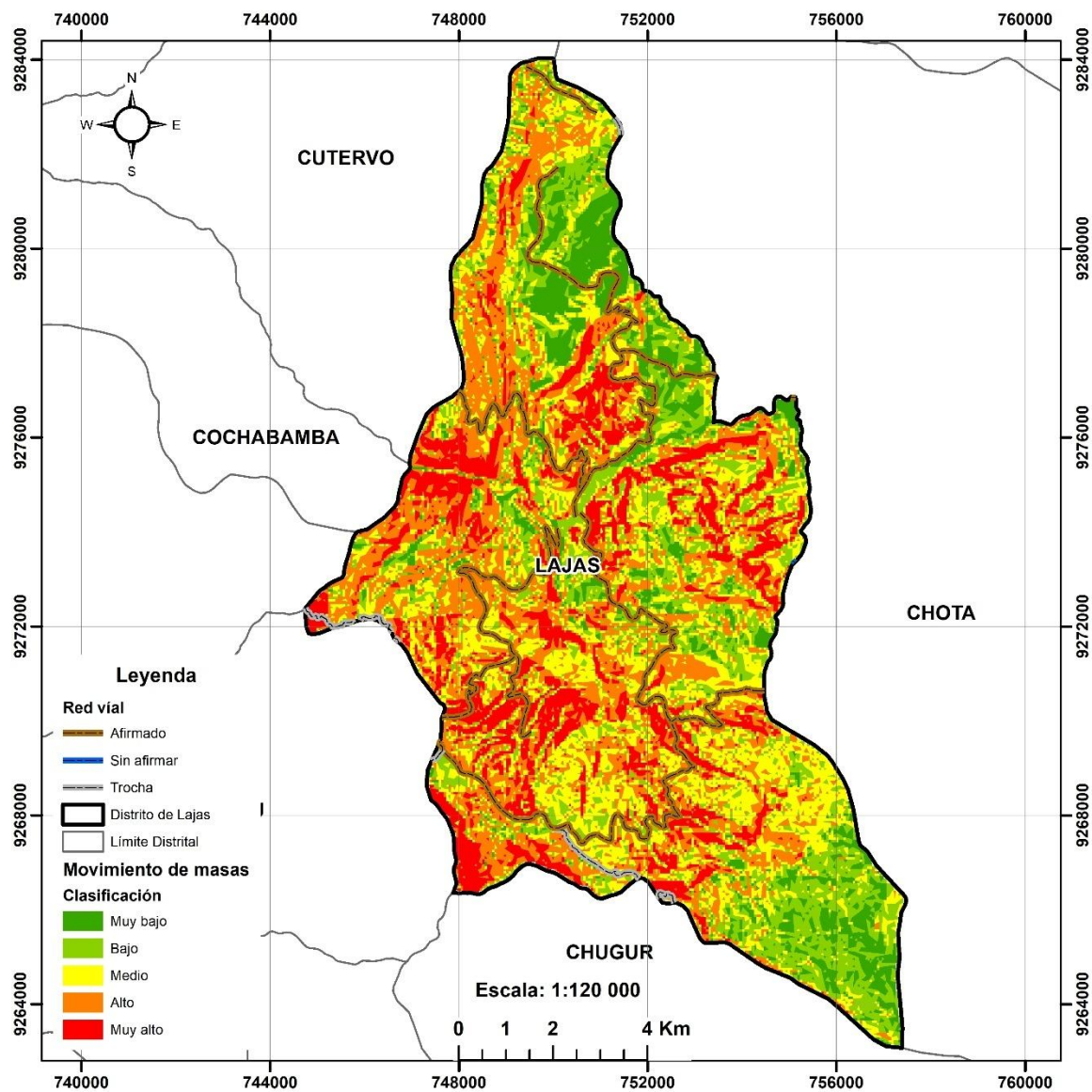
Tabla 12*Resultado del modelo geoespacial de movimiento de masas*

Clasificación	Área	
	Ha	%
Muy bajo	1 236,38	10,21
Bajo	2 304,93	19,04
Medio	3 312,57	27,36
Alto	3 324,59	27,46
Muy alto	1 927,11	15,92
Total	12 105,58	100

Se realizó la interpolación de las variables de pendiente, fisiografía, cobertura vegetal, precipitación y geología para generar el modelo de movimientos en masa. Los resultados indican que el 15,92% del área presenta vulnerabilidad muy alta, 27,46% vulnerabilidad alta, 27,36% vulnerabilidad media, el 19,04% vulnerabilidad baja y 10,21% vulnerabilidad muy baja.

Figura 15

Mapa final del modelo geoespacial a movimientos de masas



4.1.4. Validación en campo de las zonas vulnerables a deslizamiento de masa

En este apartado se seleccionaron puntos representativos de campo correspondientes a los distintos niveles de vulnerabilidad a movimientos de masa previamente clasificados en gabinete, con el objetivo de verificar y validar la coherencia del modelo geoespacial multicriterio. Esta contrastación permitió evidenciar que las zonas identificadas como de mayor

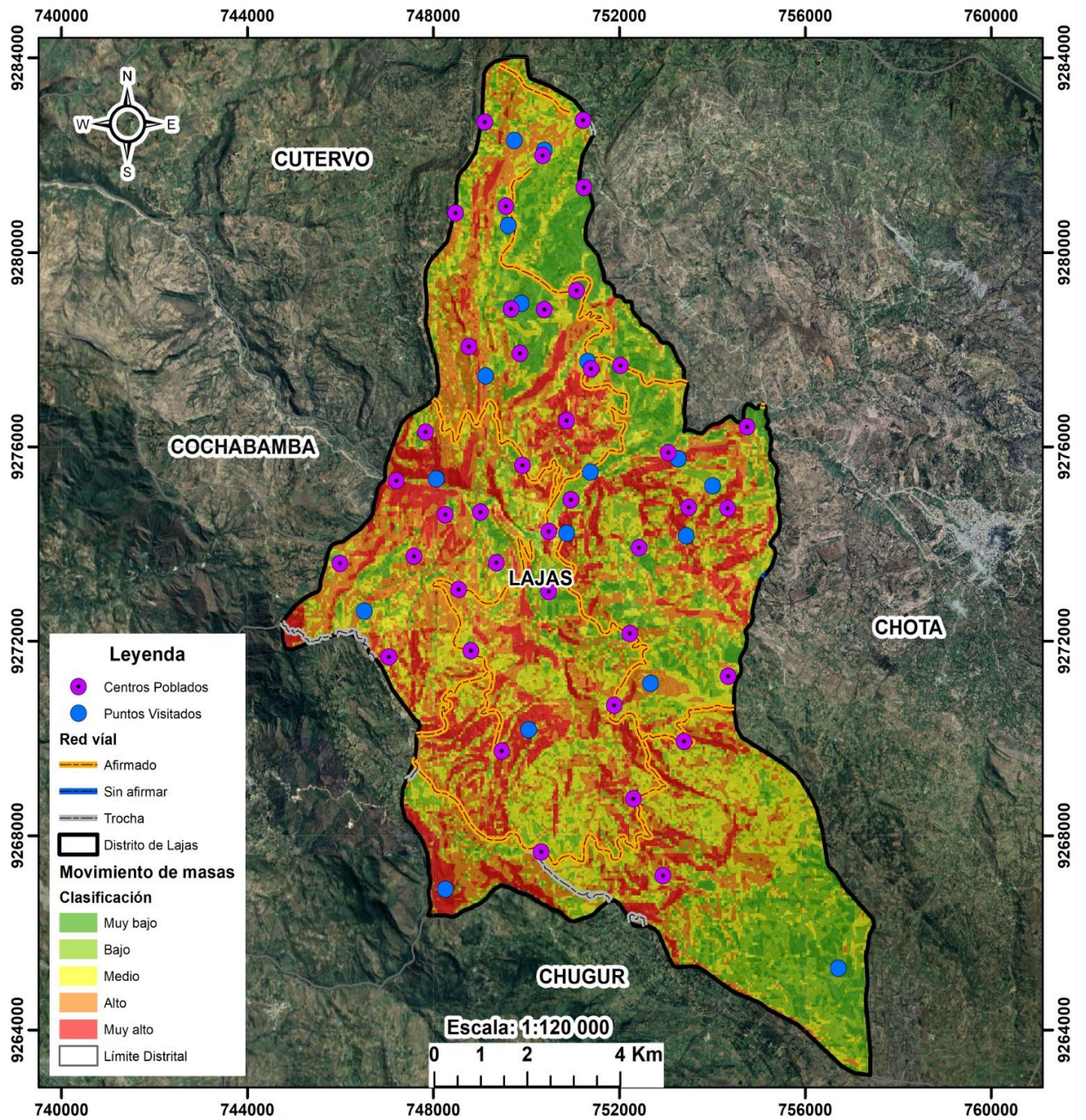
vulnerabilidad presentan condiciones físicas y ambientales acordes con lo modelado, reforzando así la confiabilidad de los resultados obtenidos como se puede observar en la figura 16.

Se visitaron como puntos de referencia los centros poblados de Cadmalca, Llangodén, Las Ánimas, Yacuchingana, Lajas, Pampacancha, San José Bajo, entre otros. En estas zonas se evidenció la presencia de diferentes rangos de vulnerabilidad, que variaron desde muy bajas y bajas hasta medias, altas y muy altas. Asimismo, se observó una diversidad en la cobertura vegetal, incluyendo pasturas, árboles nativos, especies introducidas, zonas rocosas y áreas con suelos desnudos.

Durante la visita de campo, se identificaron deslizamientos de masas en pendientes pronunciadas, los cuales ocasionaron daños en cultivos agrícolas, así como en pasturas y árboles madereros. En contraste, en las zonas de baja pendiente no se registraron daños asociados a deslizamientos; en estas áreas predominaban cultivos como el maíz y diversas plantas frutales ubicadas en la ribera del río.

Figura 16

Puntos visitados en campo según la clasificación de movimiento de masas



4.1.5. Medidas de prevención frente a zonas vulnerables a deslizamientos de masa

En este contexto, resulta fundamental comprender y analizar los procesos de deslizamientos de masa en zonas vulnerables, a fin de orientar adecuadamente la implementación de medidas preventivas que permitan evitar daños significativos. A partir del modelo desarrollado y las visitas de campo realizadas, se evidenció que el distrito de Lajas presenta una notable variabilidad en sus pendientes, lo cual incrementa la susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos de masa.

No obstante, es posible plantear diversas medidas de mitigación. En zonas cercanas a carreteras con pendientes altas a muy altas, se recomienda la instalación de mallas de protección contra la caída de rocas, así como la construcción de gaviones para mejorar la estabilidad del suelo. Estas acciones contribuirían a reducir el riesgo de accidentes ocasionados por desprendimientos de rocas e inestabilidad de suelos adyacentes a las vías de comunicación.

Asimismo, la reforestación con especies nativas y árboles de raíces profundas constituye una estrategia clave para incrementar la estabilidad del suelo. Durante las visitas de campo, se observó que las áreas con cobertura vegetal presentaban mayor estabilidad en comparación con aquellas con suelos desnudos o escasa vegetación, especialmente en zonas con pendiente; todo se evidencia a partir del anexo 2 hasta el 6, donde se muestra las fotografías de los diferentes niveles de zonas vulnerables a deslizamientos de masas.

4.2. Contrastación de hipótesis

Hipótesis nula (H_0): Las variables geoespaciales consideradas en el modelo no tienen una influencia estadísticamente significativa en la identificación de zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas.

Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una de las variables geoespaciales consideradas en el modelo tiene una influencia estadísticamente significativa en la identificación de zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas.

La contrastación de la hipótesis se realizó mediante la aplicación del método de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), el cual permitió evaluar la influencia de cada una de las variables geoespaciales en la identificación de zonas vulnerables a deslizamientos de masa. Para ello, se construyeron matrices de comparación por pares para cada variable, obteniéndose los respectivos pesos o ponderaciones.

Asimismo, se verificó la consistencia de los juicios mediante el cálculo del Índice de Consistencia (IC) y la Razón de Consistencia (RC), cuyos valores fueron menores a 0.1, lo que indica que las comparaciones realizadas son aceptables y confiables.

En función de los resultados obtenidos, donde las variables presentan diferentes niveles de influencia dentro del modelo, se evidencia que estas tienen un impacto significativo en la identificación de zonas vulnerables. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

4.3. Discusión

4.3.1. Recolección y proceso de los factores condicionantes

En la presente investigación se trabajó con cinco variables geoespaciales (Pendiente, fisiografía, cobertura vegetal, precipitación y geología), que fueron suficientes para identificar áreas vulnerables a deslizamientos de masas; en tanto para Freire et al. (2024), además de incluir las cinco variables, integraron la variable de actividad sísmica como un factor detonante junto con la precipitación, llegando a obtener áreas de mayor susceptibilidad a movimiento de masas; esto se reafirma en la importancia de emplear variables geoespaciales clave en el análisis de deslizamientos, dado que permiten una adecuada representación de los factores que controlan la ocurrencia de estos eventos y contribuyen a la validación de los resultados obtenidos en la presente investigación.

Los hallazgos obtenidos también guardan relación con lo expuesto por Mejía y Álvarez (2023), quienes desarrollaron un enfoque metodológico similar al integrar variables como la pendiente, la geología, la cobertura vegetal, la actividad sísmica y las precipitaciones para la delimitación de zonas de amenaza mediante el uso de SIG. De igual forma, se observa concordancia con lo indicado por Garzón (2023), quien resalta la relevancia de las variables geomorfológicas obtenidas a partir de modelos digitales de elevación de alta resolución, como la orientación de las pendientes y las geoformas, para una detección más precisa de los movimientos en masa. En conjunto, estos aportes evidencian que la integración de variables geoespaciales, junto con el empleo de herramientas SIG, favorece un análisis más riguroso y confiable de las áreas susceptibles, permitiendo además optimizar recursos y mejorar los procesos de toma de decisiones en la gestión del riesgo.

La investigación de Garcés (2022) sobre la identificación de zonas susceptibles a deslizamientos inducidos por la lluvia en Colombia aporta un enfoque innovador y necesario para enfrentar un problema crítico en la gestión del riesgo y la planificación urbana; al

establecer la relación entre la cantidad de agua en el suelo y los movimientos en masa, se plantea la importancia de considerar variables hidrológicas en la formulación de políticas de manejo del riesgo. Los datos encontrados en la investigación de igual manera presentan a los movimientos de masas como consecuencia de presencia hídrica en suelos, por lo contar con un modelo que anticipe deslizamientos puede facilitar la movilización de recursos y la implementación de acciones proactivas, que en última instancia podrían salvar vidas y reducir pérdidas materiales

Mientras que, el estudio realizado por López et al. (2020) en el municipio de Manaure, Cesar, Colombia, constituye una contribución significativa al entendimiento de la susceptibilidad geológica frente a procesos morfodinámicos y ofrece una perspectiva sobre cómo los cambios en las condiciones tectónicas pueden alterar radicalmente el riesgo geológico en la región; podemos reafirmar la importancia el estudio de la geología, de esta manera realizar la gestión proactiva del riesgo geológico, buscar estrategias que aborden tanto la mitigación del riesgo como la adaptación a condiciones cambiantes son esenciales para asegurar la seguridad y el bienestar de las comunidades vulnerables en el distrito.

4.3.2. Modelo geoespacial multicriterio a deslizamiento de masa en el distrito de Lajas

La construcción del modelo geoespacial multicriterio desarrollado a partir de las cinco variables (Pendiente, fisiografía, cobertura vegetal, precipitación y geología), las cuales pasaron por diferentes procesos estadísticos (AHP) como en las herramientas SIG, como (Polygon to Raster, Raster Calculator, Raster to Polygon, etc.); generando el modelo final, el cual permite representar espacialmente las áreas con diferentes niveles de vulnerabilidad a deslizamientos en la zona de estudio; este enfoque es consistente con lo reportado por Saha et al. (2022), quienes emplearon técnicas como AHP, Fuzzy-AHP y MCDA dentro de entornos SIG para la elaboración de mapas de susceptibilidad, demostrando que la combinación de múltiples factores como pendiente, uso de suelo, geología y precipitación permite mejorar la

precisión del análisis espacial. En este sentido, el uso de herramientas como álgebra de mapas y ponderación de variables, aplicadas en el presente estudio, coincide con metodologías ampliamente validadas en la literatura científica reciente.

Asimismo, los resultados obtenidos guardan relación con lo expuesto por Aydin et al. (2022), quienes destacan que el método de análisis jerárquico (AHP) es una de las técnicas multicriterio más utilizadas para la evaluación de susceptibilidad, debido a su capacidad para jerarquizar factores y asignar pesos en función de su influencia relativa en los deslizamientos. De igual manera, Mafigiri et al. (2025) señalan que los modelos basados en SIG y multicriterio permiten integrar variables topográficas, geológicas y climáticas para generar mapas predictivos confiables, siendo herramientas fundamentales en la planificación territorial. En conjunto, estos estudios respaldan la validez del modelo aplicado, evidenciando que la integración de múltiples criterios es esencial para el modelo multicriterio, sin embargo, la asignación de pesos puede introducir cierto grado de subjetividad si no se valida adecuadamente. A pesar de ello, sigue siendo una herramienta útil por su simplicidad y aplicabilidad, aunque podría mejorarse incorporando validación de campo o métodos más avanzados.

4.3.3. Niveles de vulnerabilidad a deslizamiento de masa en el distrito de Lajas

La presente investigación se desarrolló un modelo geoespacial de vulnerabilidad a movimientos en masa a partir de la integración e interpolación de variables clave como la pendiente, fisiografía, cobertura vegetal, precipitación y geología. Los resultados evidencian una distribución diferenciada de la vulnerabilidad en el área de estudio, donde el 15,92% corresponde a un nivel muy alto, el 27,46% a nivel alto, el 27,36% a nivel medio, el 19,04% a nivel bajo y el 10,21% a nivel muy bajo, lo que permite identificar y priorizar zonas críticas para la gestión del riesgo; este comportamiento es consistente con lo reportado por Salcedo et al. (2022), quienes mediante la aplicación de técnicas multicriterio en Sistemas de Información Geográfica determinaron que el 58% del área corresponde a vulnerabilidad media y el 19% a

vulnerabilidad alta, evidenciando una clara concentración en niveles intermedios y elevados de riesgo. Esta similitud en la distribución confirma que los modelos multicriterio tienden a representar una mayor proporción del territorio en categorías medias y altas debido a la integración ponderada de múltiples variables condicionantes.

Esta tendencia es similar a lo reportado por Díaz (2023), quien identificó una predominancia de niveles alto (51,77%) y medio (48,23%), así como por Pardo (2022), donde más del 98% del territorio se concentra en estas mismas categorías. En conjunto, estos resultados reflejan un patrón común en el que predominan niveles intermedios y altos de susceptibilidad, validando el enfoque multicriterio aplicado.

Desde una perspectiva crítica, si bien existe coherencia entre los estudios, las diferencias en los porcentajes pueden atribuirse a la variación en las variables consideradas, la escala de análisis y la ponderación empleada. Por ello, aunque el modelo aplicado resulta adecuado para la identificación de zonas críticas, su precisión podría mejorarse mediante validaciones adicionales y el uso de métodos complementarios que reduzcan la subjetividad del análisis.

4.3.4. Validación en campo de las zonas vulnerables a deslizamiento de masa

En la presente investigación se realizó una visita de campo, durante la cual se evidenció que las zonas con pendientes altas y muy altas presentaban deslizamientos de masas. Estos movimientos no solo estuvieron asociados al factor condicionante de la pendiente, sino que también se vincularon con otros factores como la precipitación, la fisiografía, la cobertura vegetal y la geología, entre otros. La verificación en campo permitió contrastar y validar la representación de la realidad obtenida a partir del modelo geoespacial desarrollado.

En concordancia con estos resultados, Cayotopa (2023) en su investigación realizada en el distrito de Chota – Cajamarca, reportó que los mayores niveles de movimientos en masa se

presentan en áreas con pendientes media, alta y muy alta, lo cual refuerza la importancia de este factor como uno de los principales condicionantes en la ocurrencia de estos fenómenos.

No obstante, desde una perspectiva crítica, si bien la pendiente se confirma como un factor determinante, su análisis aislado puede limitar la comprensión integral del fenómeno. Es necesario considerar la interacción dinámica entre múltiples variables, así como la incorporación de datos más detallados y de carácter temporal, que permitan mejorar la precisión del modelamiento y evitar posibles simplificaciones en la interpretación de los resultados.

4.3.5. Medidas de prevención frente a zonas vulnerables a deslizamientos de masa

A partir del modelo presentado y la visita de campo, se evidenció que el distrito de Lajas presenta una alta variabilidad en sus pendientes, lo cual dificulta evitar completamente los deslizamientos de masa, es necesario proponer medidas de prevención orientadas a reducir sus efectos. En este sentido, en las zonas cercanas a carreteras con pendientes altas a muy altas se debe de implementen mallas de protección contra la caída de rocas, tal como lo menciona Dominguez (2024), con el fin de disminuir el riesgo de accidentes viales y así evitar las pérdidas humanas.

Asimismo, se ha evidenciado que la población del distrito y zonas aledañas construyen viviendas en áreas con pendientes pronunciadas, esto permite que pongan en riesgo sus vidas, con la visita de campo se observaron sembríos afectados por deslizamientos; por ello, se propone la plantación de árboles nativos como cercos vivos, lo que contribuiría a mejorar la estabilidad del suelo, incrementar su contenido de nutrientes y reducir los procesos de erosión, en concordancia con lo señalado por (Sánchez-Castillo et al., 2022).

Desde una perspectiva crítica, si bien las medidas propuestas son pertinentes, su efectividad dependerá en gran medida de su adecuada planificación e implementación, así como del

involucramiento de las autoridades locales y la población. Además, resulta fundamental complementar estas acciones con políticas de ordenamiento territorial, monitoreo continuo y educación ambiental, a fin de abordar el problema de manera integral y sostenible.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se identificaron las zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas mediante el modelamiento geoespacial, evidenciando que las áreas más críticas se asocian a pendientes pronunciadas, geología inestable y escasa cobertura vegetal; asimismo, la integración de variables permitió obtener una representación espacial confiable de la vulnerabilidad, constituyéndose en una base fundamental para la planificación territorial y la implementación de medidas de prevención del riesgo.

Se logró recolectar y procesar información geoespacial de los principales factores condicionantes de deslizamientos de masa en el distrito de Lajas, considerando las variables pendientes, fisiografía, cobertura vegetal, precipitación y geología, las cuales fueron integradas y estandarizadas adecuadamente, permitiendo generar una base de datos consistente y confiable para el posterior análisis y modelamiento de la vulnerabilidad a deslizamientos.

Se diseñó y aplicó un modelo geoespacial multicriterio basado en el método de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), integrando las variables pendiente, fisiografía, cobertura vegetal, precipitación y geología, junto con la articulación de diversos procesos SIG como la estandarización, reclasificación, ponderación y superposición de capas, lo que permitió evaluar de manera sistemática la vulnerabilidad a deslizamientos de masa en el área de estudio, obteniendo resultados consistentes y útiles para la gestión del riesgo.

Se clasificaron y delimitaron los niveles de vulnerabilidad a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas mediante el modelamiento geoespacial, a partir de la integración e interpolación de variables como pendiente, fisiografía, cobertura vegetal, precipitación y geología, evidenciando una distribución diferenciada donde el 15,92% corresponde a vulnerabilidad muy alta, el 27,46% a alta, el 27,36% a media, el 19,04% a baja y el 10,21% a

muy baja, lo que permite identificar y priorizar zonas críticas para una adecuada gestión del riesgo.

Se validaron en campo las zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas mediante la verificación de puntos representativos previamente clasificados en gabinete, evidenciando en centros poblados como Cadmalca, Llangoden, Las Ánimas, Yacuchingana, Lajas, Pampa Cancha y San José Bajo que las áreas de mayor vulnerabilidad presentan pendientes pronunciadas, variabilidad en la cobertura vegetal y condiciones físicas acordes con el modelo; asimismo, se observaron deslizamientos que han generado daños en cultivos, pasturas y árboles, mientras que en zonas de baja pendiente no se evidenciaron afectaciones, lo que confirma la coherencia y confiabilidad del modelo geoespacial multicriterio.

Se propusieron medidas de prevención para las zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas, considerando los resultados del modelamiento geoespacial y las observaciones de campo, evidenciando que la variabilidad de pendientes incrementa la susceptibilidad del territorio; en este sentido, se recomienda la implementación de mallas de protección y gaviones en zonas cercanas a carreteras con pendientes altas a muy altas, así como la reforestación con especies nativas de raíces profundas, debido a que se comprobó que las áreas con mayor cobertura vegetal presentan mayor estabilidad del suelo, contribuyendo a la reducción del riesgo y a la protección de los sistemas productivos y la infraestructura.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda utilizar los resultados del modelamiento geoespacial como herramienta base para la planificación territorial. Es importante evitar la expansión urbana o agrícola en zonas de alta vulnerabilidad. Asimismo, se debe promover la gestión del riesgo a nivel local que incluye Municipalidad distrital de lajas, Gobierno Regional de Cajamarca.

Se recomienda actualizar periódicamente la información geoespacial de variables como pendiente, geología y precipitación. Esto permitirá mejorar la precisión de los análisis y modelos futuros. Además, se sugiere incorporar nuevas fuentes de datos de mayor resolución, que podrá ser realizado por tesisistas futuros dentro del área.

Se recomienda replicar el modelo multicriterio en otras áreas con características similares. También es importante ajustar los pesos de las variables según el contexto específico. Esto contribuirá a obtener resultados más precisos y confiables.

Se recomienda priorizar la intervención en zonas clasificadas como de alta y muy alta vulnerabilidad. Estas áreas requieren medidas urgentes de mitigación y control. Asimismo, se deben establecer estrategias diferenciadas según cada nivel de riesgo.

Se recomienda realizar evaluaciones de campo de manera periódica para verificar los cambios en el terreno. Esto permitirá validar y ajustar continuamente el modelo geoespacial. Además, fortalecerá la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Se recomienda implementar acciones como la reforestación con especies nativas y la construcción de obras de estabilización. Estas medidas deben priorizarse en zonas críticas cercanas a vías y áreas productivas. De esta manera, se reducirá el impacto de los deslizamientos de masa.

REFERENCIAS

- Aydin, M. C., Sevgi Birincioglu, E., & Büyüksaraç, A. (2022). CBS tabanlı AHP yöntemi kullanılarak Bitlis İlinin Heyelan Duyarlılık Haritalaması. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 3(2), 160–171. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1119723>
- Cayotopa, F. J. (2023). *Modelamiento geoespacial para la identificación de zonas vulnerables a peligros de movimientos en masa, distrito de Chota, Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4337>
- CENEPRED. (2014). Manual para la evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales. In *Cenepred* (Segunda ed). NEVA STUDIO SAC. https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf
- Centro Geotécnico. (2023). *Procesos geodinámicos que afectan los movimientos de masas*. <https://www.centrogeotecnico.com/blog-geotecnia-geomecanica/procesos-geodinamicos-que-afectan-los-movimientos-de-masas.html>
- Dias, R. S., Sales, N. de L. P., Araújo Junior, C. A., Firmo, D. H. T., & Gonçalves, G. (2024). Análise da cobertura vegetal como indicadora de restauração de áreas degradadas no Cerrado. *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES*, 17(13), e14030. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.13-450>
- Díaz Quispe, U. (2023). *Modelamiento geoespacial para identificar zonas vulnerables a movimientos de masa en el distrito de Chugur provincia de Hualgayoc* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/6254>
- Dominguez, C. A. (2024). *Taludes. Técnicas para la estabilización y protección, y sistemas contra desprendimientos*. Academia. https://www.academia.edu/5751394/taludes_técnicas_para_la_estabilización_y_protección_y_sistemas_contra_desprendimientos

- Freire, K., Rodriguez, M., & Andrade, S. (2024). Modelo de susceptibilidad de amenaza por movimientos de ladera para la zona urbana de la parroquia Monte Olivo, Carchi, Ecuador. *Revista GEOESPACIAL*, 21(1), 1–18.
<https://doi.org/https://doi.org/10.24133/f21c2c71>
- Garcés Mesa, D. (2022). *Modelo Predictivo Para Identificar Zonas Potenciales De Deslizamientos Influenciados Por Precipitación En La Ciudad De Medellín* Universidad [Tesis de posgrado, Universidad de EIA]. <https://repository.eia.edu.co/items/7e370434-8195-45db-ae8f-5b451bb996f7>
- García-Cruz, L. del C., & Medrano-Pérez, O. R. (2021). Identificación de áreas susceptibles a movimientos de ladera usando sistemas de información geográfica en Tabasco, México. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 83.
<https://doi.org/10.33064/iycuaa2021832804>
- Garzón Castro, L. G. (2023). *Identificación de movimientos en masa a partir de las geoformas asociadas usando un modelo digital de elevación (DEM) de alta resolución en el municipio de Útica (Cundinamarca)* [Tesis de pregrado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. <https://repository.udca.edu.co/entities/publication/122149c9-2975-49fd-9292-187f208c6eea>
- Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR). (2022). *The evolving threat of climate change to landslide hazards*. https://www.gfdrr.org/riskier-future/?utm_source=chatgpt.com
- Guzzetti, F. (2021). Invited perspectives: Landslide populations – can they be predicted? *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(5), 1467–1471.
<https://doi.org/10.5194/nhess-21-1467-2021>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta. In *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (McGRAW-HIL).

- Hinostroza Suasnabar, J. C. (2024). *Análisis de la vulnerabilidad mediante el sistema de información geográfica de la localidad de Gilapata de la región Huancavelica, en el año 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Continental].
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/14556>
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER). (2016). *Riesgo por movimientos en masa*. https://www.idiger.gov.co/rmovmasa?utm_source=chatgpt.com
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (2010). *Mapa de Susceptibilidad de movimientos en masa Peru 2010*.
<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/3654>
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (2022). *Evaluación de peligro geológico por flujos en la comunidad de La Sinra* (p. 39).
<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/14637>
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (2023). *Evaluación del peligro geológico por deslizamiento en el caserío Chaupimayo, distrito, provincia y departamento Cajamarca* (p. 31). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/4731>
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2011). *Manual de estimación del riesgo ante movimientos en masa en laderas* (p. 97). <http://www.cenepred.gob.pe/web/dgp/manual-de-evaluacion-de-riesgos-fenomenos-naturales-v2/>
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2025). *Derrumbe de roca en el distrito de Lajas - Cajamarca*. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2025/02/informe-de-emergencia-n.º-0166-13feb2025-derrumbe-de-roca-en-el-distrito-de-lajas-cajamarca-2.pdf>
- Izquierdo, W. A. (2021). *Evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos mediante técnicas de evaluación espacial multicriterio - GIS en la carretera San Juan- Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/28765>

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR).

(2022). *Global Natural Disaster Assessment Report 2020*.

https://www.preventionweb.net/publication/2022-global-natural-disaster-assessment-report?utm_source=chatgpt.com

López, R. E., Zuluaga, A. D., Gómez, F., & Tapia, L. (2020). Aplicación del Método Moravrhson para Evaluar la Susceptibilidad a Deslizamiento en el Municipio de Manaure, Cesar, Colombia. *Revista de Estudios Latinoamericanos Sobre Reducción Del Riesgo de Desastres REDER*, 4(2), 57. <https://doi.org/10.55467/reder.v4i2.50>

Luna, V. (2023). *Aplicación de los SIG en el análisis de riesgos de desastres generados por amenazas naturales y antrópicas: una revisión bibliográfica* [Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia].

<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/cb113039-1bc7-4fe8-b783-b5b6e327b327/content>

Mafigiri, A., Khanan, M. F. A., & Abdullah, R. A. (2025). A review of GIS-based landslide susceptibility and hazard modeling considering the influence of topographic parameters on rainfall spatial variability. *Modeling Earth Systems and Environment*, 11(6), 427-. <https://doi.org/10.1007/s40808-025-02615-5>

Marín, R. J., Marín-Londoño, J., & Mattos, Á. J. (2020). Análisis y evaluación del riesgo de deslizamientos superficiales en un terreno montañoso tropical: implementación de modelos físicos simples. *Scientia et Technica*, 25(1), 164–171. <https://doi.org/10.22517/23447214.22171>

Mejía, L. R., & Álvarez, A. J. (2023). Zonificación de amenazas por movimientos en masa en el municipio de Curumaní – Cesar, aplicando herramientas de sistemas de información geográfica. *Repositorio Institucional UNAD*, 7. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/60253>

Mejía, L., & Troya, J. (2021). *Evaluación de la susceptibilidad a movimientos de masas por*

- deslizamientos mediante los índices de vegetación NDVI y SBI del cantón Alausí, provincia de Chimborazo* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21413/1/UPS-CT009411.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (2022). Decreto supremo que aprueba el reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor: Decreto supremo N° 005-2022-MIDAGRI. In *Diario oficial* (p. 28). <https://www.gob.pe/institucion/midagri/normas-legales/2979424-0005-2022-midagri>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2010). *Guia técnica de modelamiento SIG para la zonificación ecológica económica* (p. 42). http://munijorgebasadre.gob.pe/pagina/web_inst/ot/pdf/normas-guias/Guia_Tecnica_de_Modelamiento_SIG_para_ZEE.pdf
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2016). Resolución Ministerial N° 008-2016-MINAM. Procedimiento Técnico y Metodológico para la Elaboración del Estudio Especializado de Evaluación de Riesgos de Desastres y Vulnerabilidad al Cambio Climático. In *Ministerio del Ambiente* (pp. 1–27). <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/317661-008-2016-minam>
- Moreno Arroyave, M. E., & Cárdenas Quiroga, E. A. (2022). Modelado de precipitaciones para evaluación del detonante lluvia en los movimientos en masa en el municipio de Santa María, Boyacá, periodo 2010-2019. *Inge CuC*, 18(2), 143–158. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.18.2.2022.11>
- Moscoso Vintimilla, G. M., Paucar Camacho, J. A., & Solano Peláez, J. L. (2021). Vulnerabilidad física y exposición ante la amenaza de movimientos en masa del Sistema de Agua Potable Culebrillas de la Ciudad de Cuenca. *Ciencia Digital*, 5(2), 46–66. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v5i2.1573>
- Municipalidad Provincial de Chota (MPCH). (2022). *Ubicación Geográfica Municipalidad Provincial de Chota*. https://www.munichota.gob.pe/ubicacion-geografica?utm_source=

- Murgia, I., Vitali, A., Giadrossich, F., Tonelli, E., Baglioni, L., Cohen, D., Schwarz, M., & Urbinati, C. (2024). Effects of Land Cover Changes on Shallow Landslide Susceptibility Using SlideforMAP Software (Mt. Nerone, Italy). *Land*, 13(10), 1575. <https://doi.org/10.3390/land13101575>
- Nina Dilas, N. M., & Román Arce, C. R. (2022). Zonas de vulnerabilidad y peligros ambientales en la cuenca del río Moquegua. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 4, 1–19. <https://doi.org/10.47796/ing.v4i0.583>
- Ocaña Arango, M. C., & Parra Frias, N. L. (2024). *Integración de información geoespacial para la elaboración de un mapa de riesgo y propuestas de obras de protección en infraestructuras lineales* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/8787>
- Ordoñez, J. (2019). Movimiento en masa por lluvias intensas en el Perú. *Repositorio Institucional - SENAMHI*, 1–103. <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/291#.XuuzTXE3a2o.mendeley>
- Pardo, J. (2022). *Modelamiento geoespacial para la identificación de zonas críticas vulnerables a peligros múltiples, distrito de Huabal-Jaen-Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5353>
- Parra Saad, A., Sanabria Buitrago, M., Sanabria, R., & Piñeros Dueñas, K. N. (2024). Incorporación de factores socioeconómicos al análisis de vulnerabilidad del riesgo por inundación en vías usando un modelo geoespacial. *Investigaciones Geográficas*, 81, 201–223. <https://doi.org/10.14198/INGEO.25788>
- Pennington, C. V. L., Bossu, R., Ofli, F., Imran, M., Qazi, U., Roch, J., & Banks, V. J. (2022). A near-real-time global landslide incident reporting tool demonstrator using social media and artificial intelligence. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77(September), 103089. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103089>
- Saha, A., Villuri, V. G. K., & Bhardwaj, A. (2022). Development and Assessment of GIS-

- Based Landslide Susceptibility Mapping Models Using ANN, Fuzzy-AHP, and MCDA in Darjeeling Himalayas, West Bengal, India. *Land*, 11(10).
<https://doi.org/10.3390/land11101711>
- Salcedo, D., Padilla Almeida, O., Morales, B., & Toulkeridis, T. (2022). Smart City Planning Based on Landslide Susceptibility Mapping Using Fuzzy Logic and Multi-criteria Evaluation Techniques in the City of Quito, Ecuador. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 846 LNEE, 89–103. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93718-8_8
- Sánchez-Castillo, L., Correa-de Assis, T., & Neri-Ramírez, E. (2022). La integración del conocimiento y la telemática en la agricultura. *Universidad Autónoma de Tamaulipas*, 9. https://www.researchgate.net/publication/360528113_Bioingenieria_para_la_conservacion_de_suelos
- Touhidi, S. R. R., & Davoudi, I. (2018). Spatial Analysis Applied for Gas Theft Modelling in Tabriz City, Iran. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 06(02), 1–19. <https://doi.org/10.4236/gep.2018.62001>
- Velásquez Giraldo, D. F. (2024). *Estimación de la susceptibilidad a movimientos en masa superficiales por medio de un análisis de regresión espacial local. Aplicación para un tramo de la cuenca media del río Chicamocha* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/85950>
- Xia, L., Shen, J., Zhang, T., Dang, G., & Wang, T. (2023). GIS-based landslide susceptibility modeling using data mining techniques. *Frontiers in Earth Science*, 11(June), 1–14. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1187384>
- Yang, Y., Peng, S., Huang, B., Xu, D., Yin, Y., Li, T., & Zhang, R. (2024). Multi-scale analysis of the susceptibility of different landslide types and identification of the main controlling factors. *Ecological Indicators*, 168(November), 112797. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112797>
- Zelada Gil, F. J., & Rosas Bustamante, R. D. (2023). *Modelamiento de la identificación de*

zonas vulnerables a peligros de inundación para las cuencas de Chira-Piura mediante un análisis geoespacial e hidráulico [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/672099>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Título	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos	Población, muestra y muestreo	Metodología
Modelamiento geoespacial para la identificación de zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas	¿Cuáles son las zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas, identificadas mediante el modelamiento geoespacial?	General Identificar las zonas vulnerables a deslizamientos de masa, mediante el modelamiento geoespacial en el distrito de Lajas.	Hipótesis nula (Ho): Las variables geoespaciales consideradas en el modelo no tienen una influencia estadísticamente significativa en la identificación de zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas.	Dependiente Susceptibilidad a deslizamientos	Nivel de susceptibilidad Extensión territorial	- Muy bajo (1) - Bajo (2) - Medio (3) - Alto (4) - Muy alto (5) Área (km ²) por nivel de susceptibilidad	Análisis documental, análisis espacial SIG Base de datos geoespaciales. Análisis multicriterio (AHP) Trabajo de campo y verificación	Estuvo constituida por la totalidad del área geográfica La muestra estuvo conformada por todas las áreas dentro del distrito de Lajas Se aplico un muestreo censal no probabilístico	Tipo Aplicada Diseño No experimental Nivel Descriptivo – explicativo Enfoque Cuantitativo
		Específicos - Recolectar y procesar información geoespacial relacionada con los factores condicionantes de deslizamientos de masa en el distrito de Lajas. - Diseñar y aplicar un modelo geoespacial multicriterio para determinar la	Hipótesis alternativa (H1): Al menos una de las variables geoespaciales consideradas en el modelo tiene una influencia estadísticamente significativa en la identificación de zonas vulnerables a deslizamientos	Independiente Factores condicionantes geoespaciales	Topográficos Geomorfológicos Geológicos Climáticos Cobertura terrestre	Pendiente (%) Tipo de fisiografía Litología Precipitación anual (mm) Tipo de cobertura vegetal	DEM ALOS PALSAR ZEE Cajamarca SENAMHI PISCO	La unidad de análisis estuvo constituida por las unidades espaciales del terreno (celdas raster)	

susceptibilidad a deslizamientos de masa en el área de estudio. - Clasificar y delimitar los niveles de vulnerabilidad a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas, a partir del modelamiento geoespacial. - Validar en campo las posibles zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas. - Proponer medidas de prevención en las posibles zonas vulnerables a deslizamientos de masa en el distrito de Lajas.	de masa en el distrito de Lajas.
---	---

Anexo 2. *Matriz de comparación de pares del parámetro de factores condicionantes*

Factores condicionantes	Pendiente	Geología	Precipitación	Fisiografía	Cobertura vegetal
Pendiente	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Geología	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00
Precipitación	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
Fisiografía	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00
Cobertura vegetal	0.20	0.20	0.33	0.50	1.00
Suma	2.28	4.08	6.83	10.50	15.00
1/suma	0.44	0.24	0.15	0.10	0.07

Anexo 3. *Matriz de normalización de pares de los factores condicionantes*

Factores condicionantes	Pendiente	Geología	Precipitación	Fisiografía	Cobertura vegetal	Vector priorización	%
Pendiente	0.44	0.49	0.44	0.38	0.33	0.416	42
Geología	0.22	0.24	0.29	0.29	0.27	0.262	26
Precipitación	0.15	0.12	0.15	0.19	0.20	0.161	16
Fisiografía	0.11	0.08	0.07	0.10	0.13	0.099	10
Cobertura vegetal	0.09	0.06	0.05	0.05	0.07	0.062	6
						1.00	100.00

Anexo 4. *Matriz de relación de consistencia de pares de los factores condicionantes*

Factores condicionantes	Pendiente	Geología	Precipitación	Fisiografía	Cobertura vegetal	Vector suma ponderada	Amax
Pendiente	0.42	0.52	0.48	0.39	0.31	2.13	5.12
Geología	0.21	0.26	0.32	0.30	0.25	1.34	5.11
Precipitación	0.14	0.13	0.16	0.20	0.19	0.81	5.06
Fisiografía	0.10	0.09	0.08	0.10	0.12	0.50	5.02
Cobertura vegetal	0.08	0.07	0.05	0.05	0.06	0.31	5.03
						Suma	25.34
						Promedio	5.07

Anexo 5. *Índice de consistencia (IC) y relación de consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico de los factores condicionantes*

IC	0.017
RC < 0.10	0.015

Anexo 6. Ficha de visita de campo del nivel muy bajo

Ficha de campo para la validación de datos.		
1. Datos Generales		
Código del punto:	PMB01	
Fecha:	28/03/2026	
Investigador:	Liler Lenin Muñoz Campos	
Sector / Localidad:	Cadmalca	
2. Ubicación Geográfica		
Coordenada X (Este):	78°43'36"	
Coordenada Y (Norte):	6°32'58"	
Altitud (msnm.):	2 122 msnm	
3. Cobertura Vegetal		
Tipo de cobertura vegetal	Bosque:	
	Matorral:	
	Pastizal:	Pastos forrajeros
	Cultivo:	
	Suelo desnudo:	
	Otro:	
4. Condiciones del Terreno		
Pendiente: Nula o casi Nula		
5. Factores Antrópicos		
Distancia a carretera (m):	20 m	
Distancia a centro poblado (m):	500 m	
6. Registro Fotográfico		
 Latitud: -6.594665 Longitud: -78.719801 Elevación: 2776.22±17.5 m Precisión: 1.595 m Tiempo: 03-28-2026 12:38 Nota: zona pastura Powered by NoteCam		
7. Observaciones		
Zona donde se acondiciona favorablemente para la ganadería.		

Anexo 7. Ficha de visita de campo del nivel bajo

Ficha de campo para la validación de datos.		
1. Datos Generales		
Código del punto:	PB02	
Fecha:	28/03/2026	
Investigador:	Liler Lenin Muñoz Campos	
Sector / Localidad:	Las Animas	
2. Ubicación Geográfica		
Coordenada X (Este):	78°43'38"	
Coordenada Y (Norte):	6°31'44"	
Altitud (msnm.):	2 576 msnm	
3. Cobertura Vegetal		
Tipo de cobertura vegetal	Bosque:	
	Matorral:	
	Pastizal:	
	Cultivo:	Suelo rocoso
	Suelo desnudo:	
	Otro:	
4. Condiciones del Terreno		
Pendiente: Ligeramente inclinada		
5. Factores Antrópicos		
Distancia a carretera (m):	30 m	
Distancia a centro poblado (m):	450 m	
6. Registro Fotográfico		
		
7. Observaciones		
Zona estable, presencia de pasturas, rocas, arboles, cobertura vegetal nativa.		

Anexo 8. Ficha de visita de campo del nivel medio

Ficha de campo para la validación de datos.		
1. Datos Generales		
Código del punto:	PM01	
Fecha:	28/03/2026	
Investigador:	Liler Lenin Muñoz Campos	
Sector / Localidad:	Las Animas, San José Bajo	
2. Ubicación Geográfica		
Coordenada X (Este):	78° 44'9"	
Coordenada Y (Norte):	6° 29'22"	
Altitud (msnm.):	2 678 msnm	
3. Cobertura Vegetal		
Tipo de cobertura vegetal	Bosque:	
	Matorral:	
	Pastizal:	
	Cultivo:	Maíz, papa
	Suelo desnudo:	
	Otro:	
4. Condiciones del Terreno		
Pendiente: Ligeramente inclinada o moderadamente empinada.		
5. Factores Antrópicos		
Distancia a carretera (m):	30 m	
Distancia a centro poblado (m):	300 m	
6. Registro Fotográfico		
 Latitud: -6.59084 Longitud: -78.721932 Elevación: 2678.66±10.9 m Precisión: 3.763 m Tiempo: 03-28-2026 12:46 Nota: zona de sembrío Latitud: -6.540987 Longitud: -78.71998 Elevación: 2253.0±5.15 m Precisión: 1.575 m Tiempo: 03-28-2026 14:55 Nota: sembrío de frutales		
7. Observaciones		
En la zona se muestra sembrío de maíz y papa, y frutales.		

Anexo 9. Ficha de visita de campo del nivel alto

Ficha de campo para la validación de datos.		
1. Datos Generales		
Código del punto:	PA02	
Fecha:	28/03/2026	
Investigador:	Liler Lenin Muñoz Campos	
Sector / Localidad:	Cadmalca	
2. Ubicación Geográfica		
Coordenada X (Este):	78° 44'30"	
Coordenada Y (Norte):	6° 29'16"	
Altitud (msnm.):	2 678 msnm	
3. Cobertura Vegetal		
Tipo de cobertura vegetal	Bosque:	
	Matorral:	
	Pastizal:	
	Cultivo:	maizal
	Suelo desnudo:	Suelo arenoso
	Otro:	Plantación de pinos
4. Condiciones del Terreno		
Pendiente: moderadamente empinada.		
5. Factores Antrópicos		
Distancia a carretera (m):	0 m	
Distancia a centro poblado (m):	200 m	
6. Registro Fotográfico		
 Latitud: -6.599441 Longitud: -78.716544 Elevación: 2841.79±4.93 m Precisión: 1.411 m Tiempo: 03-28-2026 12:18 Nota: cadmalca Latitud: -6.584935 Longitud: -78.716501 Elevación: 2613.73±13.1 m Precisión: 1.045 m Tiempo: 03-28-2026 12:50 Nota: zona de sembrío afectada		
7. Observaciones		
En la zona se muestra daños por deslizamiento en sembrío de maíz y plantación de algunos árboles de pino.		

Anexo 10. *Ficha de visita de campo del nivel muy alto*

Ficha de campo para la validación de datos.		
1. Datos Generales		
Código del punto:	PMA06	
Fecha:	28/03/2026	
Investigador:	Liler Lenin Muñoz Campos	
Sector / Localidad:	Lajas	
2. Ubicación Geográfica		
Coordenada X (Este):	78° 29' 16"	
Coordenada Y (Norte):	6° 35' 51"	
Altitud (msnm.):	2 175 msnm	
3. Cobertura Vegetal		
Tipo de cobertura vegetal	Bosque:	
	Matorral:	
	Pastizal:	
	Cultivo:	
	Suelo desnudo:	Suelo rocoso
	Otro:	
4. Condiciones del Terreno		
Pendiente: extremadamente empinada.		
5. Factores Antrópicos		
Distancia a carretera (m):	0 m	
Distancia a centro poblado (m):	600 m	
6. Registro Fotográfico		
		
7. Observaciones		
En la zona se muestra desprendimiento de rocas cerca de la carretera.		