UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y EL SER HUMANO

CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN RIESGOS DE DESASTRES

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

"ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS, FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y AMBIENTALES EN LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS DE MASAS EN LA PROVINCIA DE BOLÍVAR EN EL PERIODO 2010-2025".

AUTORES:

Taris Chimbolema Anderson Jhoel

Zaruma Huilca Dayana Pauleth

DIRECTOR(A)

Ing. Luis Hernán Villacís Taco

GUARANDA – ECUADOR

2026

Agradecimiento

Quiero agradecer primeramente a Dios por darme la fuerza, la salud, el valor y la sabiduría para culminar esta etapa tan importante en mi vida

Con mucho amor agradezco este logro a mis queridos padres, Esther Cimbolema y Julián Taris, por su infinito sacrificio, apoyo y por ser el pilar fundamental de mi vida. Gracias por estar siempre ahí para mí cuando más los necesitaba, por creer en mí a pesar de los tropiezos que encontré a lo largo de este camino, nunca dejaron de brindarme su confianza, sus palabras y consejos para seguir adelante

Gracias, papitos lindos, por ser mi apoyo y ejemplo durante toda mi vida. Este logro también es de ustedes, fruto de su amor, esfuerzo y los valores que me han enseñado; siempre les estaré profundamente agradecido.

A mis herman@s, Dora, Alexis y Erika Taris, gracias por acompañarme, apoyarme y creer en mí durante todo este proceso, este logro también es de ustedes, por estar siempre a mi lado y recordarme que podía lograrlo a pesar de las dificultades.

A mi esposa, Mónica Llumipanta, gracias por tu amor, paciencia, comprensión y apoyo durante este proceso eres y serás siempre una parte muy importante en mi vida. Gracias por acompañarme en este camino, por estar a mi lado en los momentos difíciles, por motivarme a seguir adelante y creer en mí. Este logro también es gracias a ti y al apoyo que me brindaste cada día.

A Dayana Zaruma compañera de tesis y amiga no tengo palabras de agradecimiento por tu amistad, apoyo y compañía en este largo camino. Gracias por compartir conmigo el esfuerzo y la dedicación durante el desarrollo de esta investigación y experiencias vividas.

Finalmente quiero agradecer al Ing. Luis Villacis, docente tutor del proyecto de investigación quien nos supo guiar de la mejor manera posible durante este proceso con sus conocimientos y paciencia.

Anderson Jhoel Taris Chimbolema.

Agradecimiento

A Dios, por ser mi guía y mi fortaleza en cada paso de este camino; por darme la sabiduría para entender y la perseverancia para no rendirme.

A mis padres Luis y María, gracias por su esfuerzo infinito, por sus sacrificios silenciosos y por creer en mí. Todo lo que soy se los debo a ustedes.

A mi hermano Romel y mis hermanas Jenny, Elizabeth, Mireya, Johanna, por ser mi ancla, por su amor incondicional y por recordarme siempre de dónde vengo.

A mi amiga incondicional, Monica, por su lealtad inquebrantable, por sus palabras justas en el momento exacto y por ser esa hermana que la vida me regaló.

A mi amigo y compañero Anderson, recorrimos juntos este camino lleno de obstáculos, pero siempre encontramos la manera de seguir adelante. Gracias por tu compañía fiel, por tu amistad sincera y por hacer de esta travesía una aventura inolvidable.

Finalmente, a mi tutor de proyecto de investigación, Ing. Luis Villacís Taco, quien con su sabiduría y experiencia ha hecho posible la terminación de este trabajo investigativo.

Dayana Pauleth Zaruma Huilca.

Dedicatoria

A Dios, porque sin él nada de esto habría sido posible, por darme la fuerza, la fe y la sabiduría para no rendirme y alcanzar esta meta

Dedico este logro a mis padres, Julián Taris y Esther Chimbolema, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida y la razón detrás de cada esfuerzo. A ellos les debo lo que soy, porque con su sacrificio y apoyo me impulsaron a seguir adelante hasta alcanzar esta meta, cada página de este trabajo lleva un poco de sus enseñanzas, de sus consejos y de la confianza que tenían en mí, por eso este logro no solo es mío, sino también de ustedes padres queridos

También me dedico este logro a mí mismo, por la constancia, el esfuerzo y la dedicación que me permitieron superar cada desafío durante este camino.

Anderson Jhoel Taris Chimbolema.

Dedicatoria

A mi padre, Luis Zaruma cuyo esfuerzo diario me enseñó el valor del trabajo; a mi madre, María Huilca, cuya ternura y fortaleza fueron mi refugio; y a mi hermano Romel Zaruma, porque su presencia hizo más llevadero cada obstáculo. Ustedes son el origen y la razón de este logro.

No hay palabras suficientes para agradecer su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos y la fuerza que me transmitieron para nunca rendirme

Dayana Pauleth Zaruma Huilca.

Certificado del Tutor

CERTIFICADO DEL TUTOR.

Guaranda, 08 de octubre de 2026.

El suscrito Ingeniero Luis Villacis Taco, Director del Proyecto de Investigación de Pre Grado de la carrera de Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: "ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS, FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y AMBIENTALES EN LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS DE MASAS EN LA PROVINCIA DE BOLÍVAR EN EL PERIODO 2010-2025"; realizado por los señores: **Taris Chimbolema Anderson Jhoel y Zaruma Huilca Dayana Pauleth** ha sido debidamente revisado y se han cumplido los requisitos académicos y legales establecidos por la Universidad.
Por lo tanto, se encuentra en condiciones de proceder a la publicación correspondiente.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad.



ING. LUIS VILLACIS TACO.

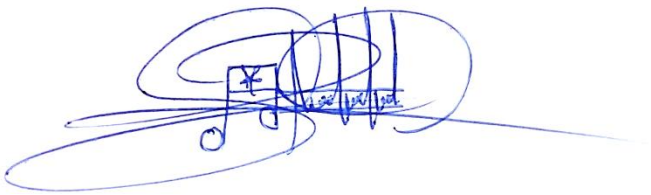
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE PRE GRADO

Derechos de autor

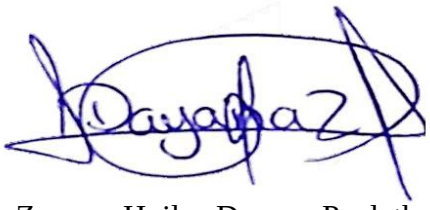
Yo/nosotros Taris Chimbolema Anderson Jhoel y Zaruma Huilca Dayana Pauleth portador/res de la Cédula de Identidad No 025026672-3 y 025027738-1 en calidad de autor/res y titular / es de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación:
Análisis de correlación entre variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en la ocurrencia de deslizamientos de masas en la provincia de Bolívar en el período 2010-2025 modalidad proyecto de investigación, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Bolívar, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a mi/nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo/autorizamos a la Universidad Estatal de Bolívar, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Digital, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El (los) autor (es) declara (n) que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.



Taris Chimbolema Anderson Jhoel



Zaruma Huilca Dayana Pauleth

Dirección: Av. Ernesto Che Guevara y Gabriel Secaira
Guaranda-Ecuador
Teléfono: (593) 3220 6059
www.ueb.edu.ec

Índice de contenido

Agradecimiento II

Dedicatoria IV

Certificado del Tutor VI

Derechos de autor VII

Índice de contenido VIII

Índice de tablas XI

Índice de figuras/gráficas/imágenes XIII

Tema XIV

Resumen XV

Abstract XVI

Introducción XVII

CAPÍTULO I. 1

1. Problema 1

1.1. Planteamiento del Problema 1

1.2. Formulación del Problema 2

1.3. Objetivos 2

1.3.1 Objetivo General 2

1.3.2. Objetivos Específicos 2

1.4. Justificación de la investigación 3

1.5. Hipótesis 4

1.6. Variables (Operacionalización) 5

CAPÍTULO II. 11

2. Marco teórico 11

2.1. Referencial o Georreferencial 11

2.2. Antecedentes de la investigación 11

2.2.1 Evaluación de la susceptibilidad sísmica de deslizamientos usando análisis de componentes principales y máquina de vectores de soporte. 11

2.2.2. Análisis de susceptibilidad a deslizamientos empleando el proceso de jerarquía analítica en una carretera Amazónica del Ecuador. 12

2.2.3. Mapeo de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en áreas urbanas: Regresión logística y análisis de sensibilidad aplicados a Quito, Ecuador 13

2.2.4. Evaluación de amenazas por deslizamientos asociados a factores hidroclimáticos en sectores de Loja y Manabí. 14

2.2.5. Evaluación espacial mediante modelos de regresión logística de fusión y razón de frecuencias para monitorear la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la cuenca alta del Nilo Azul en Etiopía: cuenca hidrográfica de Muger. 14

2.3. Bases Teóricas 15

2.3.1 Factores que influyen en la ocurrencia de Deslizamientos 15

2.3.2 Variable independiente: variables físico-geográficas, climáticas y ambientales. 23

2.3.3 Fundamentos de la parte estadística 24

2.4. Marco Legal 25

2.4.1. Marco de Sendai para la Reducción de Riesgos de Desastres 2015-2030 25

2.4.2. Constitución de la República del Ecuador (2008) 25

2.4.3. Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres 25

2.5. Definición de Términos (Glosario) 27

CAPÍTULO III. 29

3. Marco Metodológico 29

3.1. Tipo de Investigación 29

3.2. Enfoque de la investigación 29

3.3. Métodos de Investigación 30

3.4. Universo, Población y Muestra 30
3.5. Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos 32
3.6. Técnicas de análisis y procesamiento de la Información 33
3.6.1 Técnicas Para procesar y Analizar Datos Según Objetivo Específico 1. 33
3.6.2 Técnicas Para procesar y Analizar Datos Según Objetivo Específico 2. 36
3.6.3 Técnicas Para procesar y Analizar Datos Según Objetivo Específico 3. 38
CAPÍTULO IV 40
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 40
4.1. Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados 40
4.1.1 Para el cumplimiento del objetivo específico 1. 40
4.1.2 Para el cumplimiento del objetivo específico 2. 49
4.1.3 Para el cumplimiento del objetivo específico 3. 53
4.2 Comprobación de hipótesis 79
CAPÍTULO V 81
5. Conclusiones y Recomendaciones 81
5.1 Conclusiones 81
5.2 Recomendaciones 84
6. Bibliografía 85
7. Anexos 90
7.1. Anexo N º. 1. Extensión de la matriz (797 registros) inventario completo 90
7.2. Anexo N º. 2. Detalle de las variables para cada cantón 90
7.3. Anexo N º. 3. Matrices de correlación de los siete cantones de la provincia Bolívar 90

Índice de tablas

Tabla 1 *Variable dependiente: Deslizamientos* 5

Tabla 2 *Variables independientes: Factores que influyen en la ocurrencia de deslizamientos* 6

Tabla 3 *23 variables geoespaciales utilizadas en el análisis: unidades, categoría y fuente.* 37

Tabla 4 *Frecuencia anual de deslizamientos en la provincia de Bolívar, período 2010-2025* 40

Tabla 5 *Frecuencia mensual de deslizamientos en la provincia de Bolívar, período 2010–2025* 42

Tabla 6 *Frecuencia de deslizamientos por cantón, provincia de Bolívar 2010–2025* 44

Tabla 7 *Frecuencia de deslizamientos por parroquia, provincia de Bolívar 2010–2025* 46

Tabla 8 *Estadísticos descriptivos de las variables continuas, provincia de Bolívar 2010-2025* 49

Tabla 9 *Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov* 54

Tabla 10 *Estadísticos descriptivos* 55

Tabla 11 *Comunalidades de extracción 1* 58

Tabla 12 *Varianza total explicada 1* 59

Tabla 13 *Matriz de componentes no rotados 1* 60

Tabla 14 *Frecuencias Uso_suelo, Geomorfología* 61

Tabla 15 *Frecuencias Geología y Loss_5a* 62

Tabla 16 *Resumen final: variables descartadas y retenidas* 62

Tabla 17 *Comunalidades de Extracción 2* 64

Tabla 18 *Varianza total explicada 2* 65

Tabla 19 *Matriz de componentes rotados 2* 66

Tabla 20 *Rangos de la Prueba de Kruskal-Wallis por Cantón para los Cinco Componentes* 73

Tabla 21 *Estadísticos de Prueba de Kruskal-Wallis para los Componentes Factoriales* 74

Tabla 22 *Estadísticos descriptivos de Pendiente y Precipitación acumulada 15 días por cantón* 75

Tabla 23 *Tabla resumen final por cantón* 76
Tabla 24 *Resumen de comprobación de hipótesis* 80

Índice de figuras/gráficas/imágenes

Figura 1 *Esquema de deslizamiento* 20
Figura 2 *Esquema Deslizamiento Rotacional* 21
Figura 3 *Deslizamiento de traslación* 21
Figura 4 *Verificación visual multitemporal de deslizamientos mediante Esri Wayback Imagery, provincia de Bolívar 2010-2025* 34
Figura 5 *Distribución anual de deslizamientos de masa, provincia de Bolívar 2010-2025* 41
Figura 6 *Distribución mensual de deslizamientos de masa, provincia de Bolívar 2010-2025* 43
Figura 7 *Distribución de deslizamientos por cantón, provincia de Bolívar 2010-2025* .. 45
Figura 8 *Distribución de deslizamientos por parroquia, provincia de Bolívar 2010-2025* 47
Figura 9 *Mapa de Densidad y puntos críticos de Deslizamientos históricos de la provincia Bolívar* 48
Figura 10 *Mosaico cartográfico de las variables físico-geográficas de la provincia Bolívar* 51
Figura 11 *Mosaico cartográfico de las variables climáticas de la provincia Bolívar* ... 52
Figura 12 *Mosaico cartográfico de las variables ambientales de la provincia Bolívar*. 52
Figura 13 *Matriz de Correlaciones de Rangos de Spearman entre variables continuas* 56
Figura 14 *Mapa de calor de correlaciones de Spearman, Guaranda (n = 287)* 69
Figura 15 *Mapa de calor de correlaciones de Spearman, Echeandía (n = 38)* 70
Figura 16 *Mapa de Calor: Firmas Físicas de Deslizamientos por Cantón* 72

Tema

"ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS, FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y AMBIENTALES EN LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS DE MASAS EN LA PROVINCIA BOLÍVAR EN EL PERÍODO 2010-2025".

Resumen

Los deslizamientos de masa contemplan una amenaza frecuente en la provincia Bolívar (Ecuador), en el cual la interacción de factores climáticos, topográficos y antrópicos contribuyen a la inestabilidad. Esta investigación implicó el análisis de la correlación que existe entre variables climáticas, físico-geográficas y ambientales, en la ocurrencia de deslizamientos en las áreas afectadas durante el periodo 2010-2025, sistematizando un inventario de 797 deslizamientos aprobados mediante la comprobación multitemporal con imágenes satelitales.

Para ello, se extrajeron 23 variables geoespaciales mediante sensores remotos tales como (CHIRPS, ERA5-Land, ALOS PALSAR, Hansen Global Forest Change) y se procesó con herramientas digitales (Google Earth Engine, ArcGIS Pro y SPSS).

A través de la correlación de Spearman y el Análisis de Componentes Principales, con rotación Varimax, se identificó cinco componentes con una varianza total de 61,4 %, en el cual consta la precipitación acumulada de 15 días con carga 0,861, temperatura y humedad del suelo, cargas >0,92, altitud entre NDVI, carga -0,778, pendiente, carga 0,750 y distancia a vías entre cobertura forestal histórica, carga -0,665.

El análisis por cantón, en el cual, se evidenció distinción relevante ($p<0,001$), presentando a Guaranda con el mayor componente altitudinal (pendiente media 22, 4º), Echeandía el mayor componente pluviométrico (precipitación media de 177 mm en 15 días), y Las Naves el menor componente topográfico (pendiente media más baja 8,0 º) . En efecto de esto, se corrobora que los deslizamientos son en consecuencia de una interacción no lineal entre factores detonantes (lluvias acumuladas) y condicionantes (pendiente, altitud y vegetación), permitiendo mejorar la comprensión de los factores asociados a los deslizamientos.

Palabras clave: deslizamientos de masa, correlación, variables climáticas, factores físico-geográficos, Análisis de Componentes Principales, provincia Bolívar, gestión del riesgo.

Abstract

Mass movements pose a frequent threat in Bolívar Province (Ecuador), where the interaction of climatic, topographic, and anthropogenic factors contributes to instability. This research involved analyzing the correlation between climatic, physical-geographic, and environmental variables regarding the occurrence of landslides in affected areas between 2010 and 2025, based on an inventory of 797 landslides verified through multi-temporal satellite imagery analysis.

To this end, 23 geospatial variables were extracted using remote sensing data (CHIRPS, ERA5-Land, ALOS PALSAR, Hansen Global Forest Change) and processed using digital tools (Google Earth Engine, ArcGIS Pro, and SPSS).

Using Spearman correlation and Principal Component Analysis (with Varimax rotation), five components accounting for 61.4% of the total variance were identified: 15-day accumulated precipitation (loading: 0.861); temperature and soil moisture (loadings >0.92); altitude vs. NDVI (loading: -0.778); slope (loading: -0.750); and distance to roads vs. historical forest cover (loading: 0.665).

Canton-level analysis revealed significant distinctions ($p<0.001$): Guaranda exhibited the highest altitudinal component (mean slope: 22.4°); Echeandía showed the highest rainfall component (mean 15-day precipitation: 177 mm); and Las Naves displayed the highest topographic component. These findings confirm that landslides result from a non-linear interaction between triggering factors (accumulated rainfall) and conditioning factors (slope, altitude, and vegetation), thereby enhancing the understanding of the factors associated with landslides.

Keywords: mass movements, correlation, climatic variables, physical-geographic factors, Principal Component Analysis, Bolívar province, risk management.

Introducción

Los deslizamientos de masa contemplan uno de los fenómenos geodinámicos que se generan con frecuencia y a la vez son destructivos en las cordilleras, de manera especial en la región andina, caracterizada por sus pendientes inclinadas, variabilidad de litología y su variabilidad climática. En Ecuador, la provincia Bolívar presenta índoles geomorfológicas y climáticas que fomentan a la ocurrencia de movimientos en masa, esto debido al nexo entre los factores naturales y antrópicos que repercuten en la estabilidad del terreno.

La ocurrencia de estos eventos está relacionada con la interacción de diversas variables climáticas, físico-geográficas y ambientales, entre ellas la precipitación, la temperatura, la pendiente, la altitud, el índice topográfico de humedad y la cobertura vegetal. No obstante, en la provincia de Bolívar, existe una limitada sistematización estadística de los deslizamientos en las áreas afectadas, que permita identificar con precisión el grado de correlación entre variables y las áreas afectadas por deslizamientos.

Por consiguiente, el presente estudio se desarrolló con la finalidad de analizar la relación entre variables climáticas, físicas, geográficas y ambientales, en la ocurrencia de deslizamiento en la provincia Bolívar durante el periodo 2010-2025. En consecuencia, de ello, se sistematizó y depuró un inventario histórico, obteniéndose 797 registros válidos de deslizamientos, y se caracterizaron 23 variables asociadas a las zonas donde se reportaron estos eventos, con el fin de determinar los factores más influyentes en los deslizamientos.

CAPÍTULO I.

1. Problema

1.1. Planteamiento del Problema

La provincia Bolívar es caracterizada por su relieve montañoso y sus pendientes pronunciadas, con una alta variabilidad climática y una fuerte dinámica hidro geomorfológica. Estas características son una de las condiciones que contribuyen a la ocurrencia de deslizamientos de masas, fenómeno que ha ido en aumento durante las últimas décadas, debido al incremento de eventos hidrometeorológicos extremos asociados al cambio climático, así como el uso inadecuado del suelo y a la vulnerabilidad física de las zonas pobladas y vías de comunicación que repercuten en la calidad de vida de la población.

Entre las amenazas naturales que afectan a la provincia Bolívar, los deslizamientos de masa representan uno de los fenómenos con más recurrencia, ocasionando daños en la infraestructura vial, terrenos agrícolas, viviendas y poniendo en riesgo la vida de la población. No obstante, a pesar de la frecuencia con la que ocurre estos eventos, aún existe una limitada información en la comprensión sobre la relación que mantienen las variables climáticas, variables físicas-geográficas y las ambientales, en las áreas afectadas por deslizamientos de masa.

Además de contar con información histórica sobre los eventos de deslizamientos registrados en la provincia Bolívar, existe una escasez en el análisis de la correlación entre las variables climáticas, físicas-geográficas y ambientales, que más influyen y cómo influyen en este fenómeno natural. En este contexto, surge la necesidad de analizar y determinar de manera integral cuáles de estas variables presentan una mayor relación en las áreas afectadas por

deslizamientos durante el período 2010-2025 y establecer el grado de influencia que ejercen en la generación de dichos eventos.

1.2. Formulación del Problema

¿Qué correlación existe entre las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en la ocurrencia de deslizamientos de masas en la provincia Bolívar durante el período 2010-2025?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar la correlación entre variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en áreas afectadas por la ocurrencia de deslizamientos de masa en la provincia Bolívar durante el periodo 2010-2025, mediante técnicas estadísticas no paramétricas, con el fin de aportar información de base para la gestión territorial de riesgos.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Sistematizar un inventario histórico de deslizamientos de masa en la provincia de Bolívar, detallando su distribución temporal y espacial entre 2010-2025.
- Caracterizar las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en las zonas de deslizamiento reportadas en la provincia Bolívar.
- Determinar el grado de correlación e influencia de las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en las áreas afectadas por deslizamientos de masa.

1.4. Justificación de la investigación

La provincia Bolívar se caracteriza por tener pendientes pronunciadas y su topografía irregular, por ello enfrentan un riesgo relevante en deslizamientos de masa, a causa de la relación de factores climáticos, físico-geográficos y ambientales que afectan la red vial, la producción agropecuaria y la seguridad de los asentamientos humanos (Prefectura de Bolívar, 2023-2027). No obstante, la ausencia de un análisis cuantitativo que integre y pondere la interacción entre factores climáticos, físico-geográficos y ambientales ha limitado históricamente la capacidad de las instituciones locales para priorizar intervenciones efectivas.

El estudio detallado y el análisis estadístico de los deslizamientos de masa resultan necesarios debido a la escasa caracterización cuantitativa de este fenómeno en la provincia de Bolívar, aportando una metodología replicable que beneficia a las autoridades locales, Gobiernos Autónomos Descentralizados, la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, quienes podrán actualizar los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, de acuerdo a la evidencia cuantitativa sobre factores como la precipitación acumulada y la pendiente del terreno, que determinan los deslizamientos.

Desde el punto de vista teórico, la presente investigación contribuirá a ampliar el conocimiento sobre la relación existente entre las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en la ocurrencia de deslizamientos en la provincia Bolívar. El estudio permitirá identificar cuáles de estas variables presentan una mayor correlación con la generación de estos fenómenos, aportando evidencia científica que fortalezca la comprensión de los procesos que intervienen en la dinámica de los deslizamientos.

Desde el punto de vista metodológico, los resultados obtenidos servirán como referencia para futuras investigaciones relacionadas con el análisis de ocurrencia de deslizamientos de masa y la aplicación de modelos estadísticos en estudios territoriales en la provincia de Bolívar.

La investigación garantiza su factibilidad gracias al acceso gratuito a información oficial y satelital. Se utilizó un inventario de deslizamientos proveniente de entidades estatales y variables explicativas de bases de datos públicas, como DEM ALOS PALSAR y productos climáticos. Este enfoque de bajo costo permite a los gobiernos locales actualizar los análisis sin depender de insumos privados. La investigación no solo aborda una necesidad científica y social, sino que también actúa como una herramienta de gestión territorial accesible, brindando criterios objetivos para la reducción del riesgo de desastres en Bolívar.

1.5. Hipótesis

Hipótesis General (H_1)

Existe una correlación estadísticamente significativa entre las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales, en las áreas afectadas por la ocurrencia de deslizamientos de masa en la provincia de Bolívar durante el período 2010-2025.

Hipótesis Nula (H_0)

No existe una correlación estadísticamente significativa entre las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales, en las áreas afectadas por la ocurrencia de deslizamientos de masa en la provincia de Bolívar durante el período 2010-2025.

1.6. Variables (Operacionalización)

Tabla 1

Variable dependiente: Deslizamientos

	Definición Conceptual	**Definición Operacional**	**Dimensión**	**Indicador**	**Unidad**	**Instrumento**
Ocurrencia de deslizamientos de masas	Es un fenómeno de movimiento de suelo o roca por acción de la gravedad en condiciones de inestabilidad	Presencia o ausencia de deslizamientos en puntos georreferenciales dentro del área de estudio.	Ocurrencia del evento	Registro histórico georreferenciado de eventos de deslizamientos de masa confirmados	Constante	Inventario de deslizamientos

Tabla 2

Variables independientes: Factores que influyen en la ocurrencia de deslizamientos

	Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Unidad	Instrumento
CLIMÁTICAS	Precipitación	Cantidad de agua que cae sobre la superficie terrestre	Registro acumulado de precipitación dentro del área de estudio	Intensidad climática	Precipitación acumulada	Milímetros(mm)	Google Earth Engine (GEE) - Conjunto de datos CHIRPS Daily
	Anomalía de precipitación	Diferencia entre la precipitación observada y el promedio climatológico	Se calcula comparando la precipitación registrada para cada evento con la precipitación media histórica	Variabilidad climática	Anomalía de precipitación	Porcentaje (%)	Google Earth Engine (GEE) - Conjunto de datos CHIRPS Daily
	Temperatura media	Promedio de la temperatura.	Extracción de la temperatura media correspondiente a la fecha del evento para cada deslizamiento.	Condición térmica	Temperatura media	Grados (ºC)	Google Earth Engine - Productos Hansen Global Forest Change v1.11, ESA WorldCover 2021 y OpenLandMap v02
FÍSICAS	Pendiente del terreno	Inclinación del terreno respecto a la horizontal	Derivada de un Modelo Digital del Elevación (DEM)	Morfometría	Grado de inclinación	Grados(º)	(DEM) ALOS PALSAR de

						12,5 m y ArcGIS Pro
Altitud	Elevación del terreno sobre el nivel del mar	Valores obtenidos a partir de modelos digitales de elevación	Relieve	Altura sobre el nivel del mar	msnm	(DEM) ALOS PALSAR de 12,5 m y ArcGIS Pro
Índice topográfico de humedad	Capacidad de relieve para acumular y concentrar el flujo de agua	Se calcula a partir del Modelo Digital de Elevación	Condición topográfica	Valor del TWI		(DEM) ALOS PALSAR de 12,5 m y ArcGIS Pro
Distancia a vías	Distancia del punto de deslizamiento a la vía más cercana	Se calcula mediante ArcGIS Pro utilizando la red vial oficial.	Accesibilidad	Distancia mínima a vías	Kilómetros	(DEM) ALOS PALSAR de 12,5 m y ArcGIS Pro
Distancia a ríos	Distancia del punto de deslizamiento al cauce más cercano	Se calcula mediante ArcGIS Pro utilizando la red hidrográfica.	Hidrografía	Distancia mínima a ríos	metros	(DEM) ALOS PALSAR de 12,5 m y ArcGIS Pro
Densidad de drenaje	Longitud de cauces por unidad de área	Se calculó mediante análisis espacial considerando la longitud de los cauces.	Red hidrográfica	Densidad de drenaje	km/km^2	(DEM) ALOS PALSAR de 12,5 m y ArcGIS Pro
Uso de suelo	Forma en que se utiliza o cubre la superficie terrestre.	Se asignó la categoría de uso del suelo correspondiente a cada punto.	Cobertura y uso	Categoría de uso del suelo	Categórica	Google Earth Engine - Productos Hansen Global Forest Change v1.11, ESA WorldCover

							2021 y OpenLandMap v02
	Geología	Conjunto de características litológicas y estructurales del terreno.	Se asignó la unidad geológica correspondiente a cada punto de deslizamiento mediante intersección espacial.	Litología	Unidad geológica	Categórica	Portal geoespacial PROMSA
AMBIENTALES	NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada que representa el vigor y densidad de la cobertura vegetal.	Se calculó mediante imágenes satelitales procesadas en Google Earth Engine para cada punto de deslizamiento.	Cobertura vegetal	Valor NDVI	(-1 a 1)	Google Earth Engine - Productos Hansen Global Forest Change v1.11, ESA WorldCover 2021 y OpenLandMap v02
	NDWI	Índice espectral es una herramienta empleada para identificar y caracterizar la presencia y condición de agua y humedad en la superficie terrestre, utilizando datos de sensores satelitales.	Se utilizó el Índice de Diferencia Normalizada del Agua (NDWI) basado en imágenes satelitales para calcular y caracterizar las condiciones de humedad superficial en el área de deslizamientos, mediante las bandas espectrales correspondientes.	Ambiental	Índice de Diferencia Normalizada del Agua (NDWI)	Adimensional	Google Earth Engine - Productos Hansen Global Forest Change v1.11, ESA WorldCover 2021 y OpenLandMap v02

Humedad del suelo	Contenido volumétrico del agua en el suelo	Se extrajo el contenido de humedad del suelo correspondiente a cada punto de deslizamiento	Condición edáfica	Humedad del suelo	(0-1)	Google Earth Engine - Productos Hansen Global Forest Change v1.11, ESA WorldCover 2021 y OpenLandMap v02
Pérdida forestal reciente (binaria entre 0-1)	Porcentaje de cobertura forestal perdida durante los cinco años anteriores al evento.	Se calculó el porcentaje de deforestación alrededor de cada punto.	Cambio de cobertura	Pérdida forestal	(0-1)	Google Earth Engine - Productos Hansen Global Forest Change v1.11, ESA WorldCover 2021 y OpenLandMap v02
Deforestación últimos 5 años en porcentaje	Porcentaje de cobertura forestal perdida durante los cinco años anteriores al evento.	Se calculó el porcentaje de deforestación alrededor de cada punto.	Cambio de cobertura	Deforestación	Porcentaje (%)	Google Earth Engine - Productos Hansen Global Forest Change v1.11, ESA WorldCover 2021 y OpenLandMap v02
Densidad de cobertura arbórea 2000	Proporción de cobertura arbórea	Se obtuvo a partir del producto Hansen Global Forest Change	Cobertura forestal	Cobertura arbórea	Porcentaje (%)	Google Earth Engine - Productos

	existente en el año 2000.	correspondiente al año base 2000.				Hansen Global Forest Change v1.11, ESA WorldCover 2021 y OpenLandMap v02
pH_suelo	Medida de la acidez o alcalinidad del suelo.	Se obtuvo el valor de pH correspondiente a cada deslizamiento mediante OpenLandMap en Google Earth Engine.	Propiedades químicas	pH del suelo	pH	Google Earth Engine - Productos Hansen Global Forest Change v1.11, ESA WorldCover 2021 y OpenLandMap v02
Materia orgánica del suelo	Cantidad de residuos orgánicos presentes en el suelo.	Se extrajo el contenido de materia orgánica para cada punto de deslizamiento utilizando OpenLandMap.	Fertilidad del suelo	Materia orgánica	Porcentaje (%)	Google Earth Engine - Productos Hansen Global Forest Change v1.11, ESA WorldCover 2021 y OpenLandMap v02

CAPÍTULO II.

2. Marco teórico

2.1. Referencial o Georreferencial

La provincia Bolívar es una de las veinticuatro provincias que conforman la República del Ecuador, ubicada en el centro del país, está dividida en siete cantones. Su capital es la ciudad de Guaranda, la cual además es su urbe más grande y poblada. Limitando al norte con Cotopaxi, al sur con Guayas, al occidente con Los Ríos y al oriente con Chimborazo. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda, 2025)

Descripción de la zona de estudio

La provincia de Bolívar, situada en el centro del Ecuador, presenta un relieve irregular compuesto por montañas, laderas empinadas y profundos valles que generan una alta diversidad de condiciones climáticas propias del entorno andino. La combinación de suelos volcánicos, fuertes pendientes y procesos hídricos activos hacen que esta zona sea especialmente vulnerable a la inestabilidad del terreno.

Además, el cambio de precipitación, temperatura y humedad, junto con los factores ambientales como la vegetación y el uso del suelo, repercute de manera directa en las áreas afectadas por deslizamientos.

2.2. Antecedentes de la investigación

2.2.1 Evaluación de la susceptibilidad sísmica de deslizamientos usando análisis de componentes principales y máquina de vectores de soporte.

Desarrollaron un modelo de evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos sísmicos para la autopista Dayong en la zona de falla de Chenghai (China), un área con actividad sísmica recurrente, pero con escasos registros históricos de deslizamientos.

Para ello utilizaron diez factores condicionantes, elevación, pendiente, orientación de la pendiente, distancia a cursos de agua, distancia a fallas, geología, índice topográfico de

humedad TWI y NDVI, distancia al epicentro y aceleración máxima del suelo que obtuvieron a partir de un inventario de 716 deslizamientos generados por el sismo de Ludían (2014).

Previo a la modelación, se aplicó la correlación de rangos de Spearman para verificar la relación lineal entre factores, los cuales confirmaron una baja colinealidad entre ellos, de manera posterior Análisis de Componentes Principales, para disminuir la dimensionalidad de las variables, extrajeron cinco componentes principales que explicaron el 84,6% de la varianza total de los factores de influencia. Estos componentes, ya libres de colinealidad, fueron empleados como acceso de un modelo de Máquinas de Vectores de Soporte, que alcanzó una precisión del 93,6% al aplicarse a la zona de estudio. Este estudio confirma que la combinación de correlación de Spearman y ACP es un procedimiento estadístico adecuado y replicable para depurar variables redundantes y sintetizar la información antes de explicar la ocurrencia de deslizamiento, tal como se plantea en la presente investigación. (Xu, Che, & Zhou, 2024)

2.2.2. Análisis de susceptibilidad a deslizamientos empleando el proceso de jerarquía analítica en una carretera Amazónica del Ecuador.

El estudio aborda el desarrollo de un modelo cartográfico de susceptibilidad a deslizamientos para la carretera Puyo-Tena, en la Amazonía ecuatoriana, una vía afectada de manera frecuente por movimientos en masa debido a su geodinámica, geomorfología y materiales geológicos.

El grado de incidencia de deslizamientos se estimó como la combinación lineal de variables ponderadas, pendiente, formaciones geológicas, cobertura y uso de la tierra, y distancia a fallas, carretera y ríos, este se desarrolló mediante el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), un método semicuantitativo que permite desagregar un problema de decisión complejo en un modelo más simple y coherente.

El modelo resultante se reclasificó en cinco categorías de susceptibilidad y se validó mediante el área bajo la curva ROC, obteniendo una precisión de 83,7 %, los resultados evidenciaron que 17 de los 80 km de la carretera presentan alta probabilidad de deslizamientos, concentrada en quince zonas con pendientes elevadas, litología porosa y permeable, alta densidad de ríos y suelos agrícolas, informaciones que las autoridades puedan usar para priorizar la mitigación de riesgos en la vía. (Cargua, y otros, 2024)

2.2.3. Mapeo de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en áreas urbanas: Regresión logística y análisis de sensibilidad aplicados a Quito, Ecuador

El estudio aborda la problemática de los deslizamientos en áreas urbanas de la región andina, de manera específica en la ciudad de Quito, Ecuador. El trabajo destaca que, a pesar de la alta exposición de las ciudades andinas a los deslizamientos, existe una limitada atención en la investigación e integración de estos riesgos en las políticas urbanas y la planificación territorial.

Como objetivo principal que tuvo este estudio fue el desarrollo de un modelo estadístico para la cartografía de la susceptibilidad a deslizamientos en Quito, utilizando regresión logística binaria.

Se recolectaron datos históricos de eventos de deslizamientos ocurridos entre 2005 y 2017 y analizaron diez factores explicativos, tanto naturales, como urbanos y área de piso.

Este modelo permitió identificar que la inclusión de factores urbanos, de manera especial la densidad de las calles y la población, optimizó de manera demostrativa la capacidad predictiva de la cartografía de susceptibilidad.

El estudio finaliza con la integración de variables urbanas en los modelos de susceptibilidad dando a conocer que es fundamental para una gestión de riesgos más efectiva en ciudades andinas. (Puente Sotomayor, Mustafa, & Teller, 2021)

2.2.4. Evaluación de amenazas por deslizamientos asociados a factores hidroclimáticos en sectores de Loja y Manabí.

En el presente estudio de (Clavijo Rivera & Malavé Hernández, 2020), tiene como objetivo analizar de manera estadística la relación que existe entre variables hidroclimáticas de manera principal las precipitaciones y la amenaza de los deslizamientos en los cantones de Loja y Flavio Alfaro, situados en la provincia de Manabí. Con esto se establece que las lluvias intensas, forman parte del cambio climático, aumentando la probabilidad de deslizamientos, de manera relativa en zonas inestables por su morfología y geología.

Para realizar el análisis de la amenaza, emplearon la metodología Mora-Vahrson, la cual permitió la integración de variables condicionantes y desencadenantes (litología, pendiente, humedad del suelo, intensidad sísmica y precipitación). Aplicaron datos actuales y proyectados para obtener un estimado de la varianza de la amenaza bajo escenarios a futuro.

Por lo tanto, para evaluar de manera espacial, optimizaron el Sistema de Información Geográfica y un registro de deslizamientos en las áreas de estudio, de acuerdo a la obtención de resultados de los sectores con amenaza con una proyección hasta el 2040, crecen de manera significativa

2.2.5. Evaluación espacial mediante modelos de regresión logística de fusión y razón de frecuencias para monitorear la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la cuenca alta del Nilo Azul en Etiopía: cuenca hidrográfica de Muger.

En el presente estudio (Hailu, y otros, 2024) manifiestan que los deslizamientos de tierra suponen una grave amenaza que altera el equilibrio socioeconómico y ecológico. Las recientes actividades humanas en zonas montañosas, así como en entornos geológicos, han exacerbado potencialmente la frecuencia y magnitud de los deslizamientos de tierra. Sin embargo, se desconoce en gran medida la influencia de estos factores en la aparición de deslizamientos de tierra en la cuenca superior del Nilo Azul en Etiopía. El propósito de este

estudio es identificar los factores que causan deslizamientos de tierra, cuantificar áreas sensibles y validar patrones de deslizamientos de tierra. Para crear el mapa de susceptibilidad a deslizamientos de tierra se utilizaron parámetros topográficos, geología, hidrología e inventario de uso y cobertura del suelo. Los factores se analizaron utilizando una combinación de modelos de regresión logística (RL) y relación de frecuencia (RF). El área bajo la curva (AUC) de la curva ROC se utilizó para comparar el rendimiento de los modelos. El resultado muestra que aprox. 185 km² (40,2%) del total corresponden a zonas con sensibilidad alta a muy alta a deslizamientos, y 92 km² (20%) - a zonas con sensibilidad moderada. Sin embargo, 183,1 km² (40,2%) del área total están clasificados como áreas con bajo o nulo riesgo de deslizamientos de tierra. La validación de los modelos LR y FR mostró un rendimiento de predicción promedio del 75 % y 81,45 %, respectivamente, lo que indica una buena precisión.

2.3. Bases Teóricas

2.3.1 Factores que influyen en la ocurrencia de Deslizamientos

Los deslizamientos se constituyen de eventos gravitacionales que ocurren con mayor frecuencia, cuya capacidad de impacto presenta un elevado nivel destructivo sobre la población, líneas vitales, infraestructura y medios de vida generando pérdidas económicas anualmente. (Brabb & Harrod, 1989)

Los factores se clasifican en:

2.3.1.1 Factores Naturales

2.3.1.1.1 Características del suelo y la roca

Presencia de suelos saturados, depósitos poco consolidados o formaciones rocosas fracturadas reducen la resistencia del suelo, creando planos de debilidad que facilitan la ocurrencia de deslizamientos.

2.3.1.1.2 Topografía

Inclinación del terreno. A mayor pendiente, la fuerza de gravedad ejerce más presión sobre los materiales de la ladera, acelerando su inestabilidad y facilitando el desprendimiento de masas.

2.3.1.1.3 Precipitación

Es el principal factor detonante de origen climático. La intensidad y la duración de las lluvias determinan cuánta agua se infiltra en el terreno; al saturarse el suelo, este se vuelve más pesado y pierde su cohesión interna.

2.3.1.2 Factores Humanos

2.3.1.2.1 Sobrecarga

Ocurre por la modificación del peso natural de las laderas. La colocación de rellenos, terraplenes, acumulación de materiales pesados o el almacenamiento de agua añaden una carga extra que empuja el talud hacia abajo.

2.3.1.2.2 Excavaciones

Son cortes en el terreno asociados a obras para viviendas, edificaciones o infraestructuras viales. Estas intervenciones remueven el soporte lateral natural en la base de la ladera, desestabilizando la parte superior.

2.3.1.2.3 Explosiones

Son vibraciones generadas por actividades constructivas o mineras. Estas ondas de choque introducen cargas dinámicas que agrietan el suelo y debilitan de forma inmediata la unión de los materiales.

2.3.1.3 Factores Internos

2.3.1.3.1 Litología

Define la composición y la estructura de los materiales que conforman el suelo y las rocas. La alternancia de capas con diferentes minerales determina qué tan resistente es el subsuelo ante una falla.

2.3.1.3.2 Meteorización

Procesos físicos y químicos que provocan descomposición de suelos y rocas.

2.3.1.3.3 Permeabilidad

Es la capacidad de los materiales del suelo para permitir el paso y flujo del agua a través de sus poros. Si el agua se infiltra rápidamente y encuentra una capa impermeable, se genera una superficie resbaladiza que activa el movimiento.

2.3.1.4 Factores Externos

2.3.1.4.1 Características de la lluvia

Aumento en los niveles piezométricos. Este incremento genera una fuerza interna que empuja las partículas de suelo, actuando como el gatillo del deslizamiento

2.3.1.4.2 Movimiento del cuerpo del talud

Se manifiesta mediante desplazamientos súbitos que involucran grandes volúmenes de suelo. Es el instante en que el terreno pierde por completo su estabilidad y la masa se desplaza a lo largo de una superficie de falla

2.3.1.4.3 Flujos

Movimientos relativamente rápidos de una porción de la ladera natural, cuyo comportamiento, en términos de velocidad y desplazamiento. Debido al alto contenido de agua, la masa se comporta como un fluido viscoso, variando su velocidad y desplazamiento según la pendiente del terreno.

2.3.1.5 Deslizamientos

Los deslizamientos son movimientos de roca o suelo que ocurren en superficies de ruptura al sobrepasar la resistencia al corte, son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos. Se caracterizan por planos de ruptura y desplazamiento simultáneo, pudiendo ser rápido y devastador, con volúmenes que alcanzan millones de metros cúbicos. Si el material no logra equilibrarse en la base del talud, puede

seguir deslizándose y generar flujos en presencia de agua. Factores como la litología y la estructura influyen en este fenómeno que se presenta en varios materiales.

2.3.1.5.1 Importancia de la cobertura vegetal en los deslizamientos

De acuerdo con el criterio de (Medina & Astudillo, 2009)**,**manifiestan que la cobertura vegetal dentro del área de estudio es de suma importancia ya que contribuye de manera directa a la estabilidad de taludes. De acuerdo con la presencia de vegetación esta se incrementa la resistencia del suelo frente a procesos de erosión que se generan por las lluvias, lo que favorece a su permeabilidad y mayor infiltración.

La erosión del suelo se ve afectada por varios factores externos, dentro de los cuales se encuentran el arrastre de sedimentos por el flujo del agua hacia los ríos, el viento y su acción hace que las partículas del terreno se transporten, además de las actividades del ser humano. (GAD Santa Isabel, 2020)

2.3.1.5.2 Nomenclatura de un Deslizamiento

Partes de un Deslizamiento

Cabeza. – Zona superior de la masa que se desplaza y esta no es necesariamente la cabeza del talud. (Suarez, 2009)

Cima. – Es el área más pronunciada de la cabeza, en el cual se produce contacto el escarpe principal y el material cohesionado. (Suarez, 2009)

Corona. – El material está casi sin cambios en el sitio, junto al punto más alto del escarpe principal, por encima de la cabeza. (Suarez, 2009)

Escarpe principal. – La superficie de la falla está formada por la extensión del escarpe debido a un movimiento de material en la periferia posterior de un área inclinada. (Suarez, 2009)

Escarpe secundario. – Superficie con una gran inclinación que se forma por el desplazamiento diferencial dentro de la masa en movimiento. Pueden surgir varios escarpes secundarios en un deslizamiento. (Suarez, 2009)

Superficie de falla. – Se menciona que en su parte inferior se define el volumen del material en movimiento, con un área fija debajo y el material que se desplaza estando por encima de esta zona. (Suarez, 2009)

Pie de superficie de falla. – La línea donde el lado inferior de la superficie se conecta con la topografía original del terreno. (Suarez, 2009)

Base. – La zona ocupada por el material movilizado se encuentra debajo del pie de la superficie de falla. (Suarez, 2009)

Punta o uña. – Es el punto más alejado de la base, localizado en la región más remota de la cumbre. (Suarez, 2009)

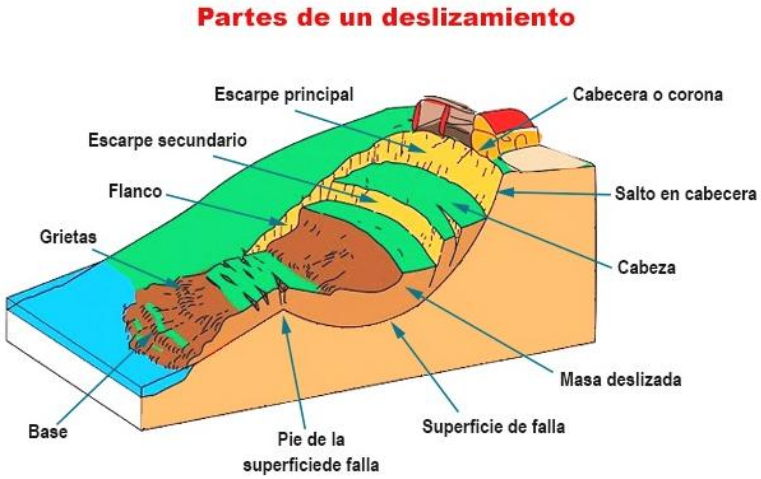
Cuerpo principal del deslizamiento. – Conjunto de materiales que se mueven sobre la superficie de falla, y es posible que haya más de un cuerpo en movimiento a la vez. (Suarez, 2009)

Superficie original del terreno. – Es la situación que existía antes del proceso de desplazamiento. (Suarez, 2009)

Costado o flanco. – Constituye uno de los lados del movimiento, por lo que es necesario distinguir entre flanco derecho y flanco izquierdo. (Suarez, 2009)

Figura 1

Esquema de deslizamiento



Fuente: (NINABANDA TENELEMA, 2022)

2.3.1.5.3 Clasificación de Deslizamientos

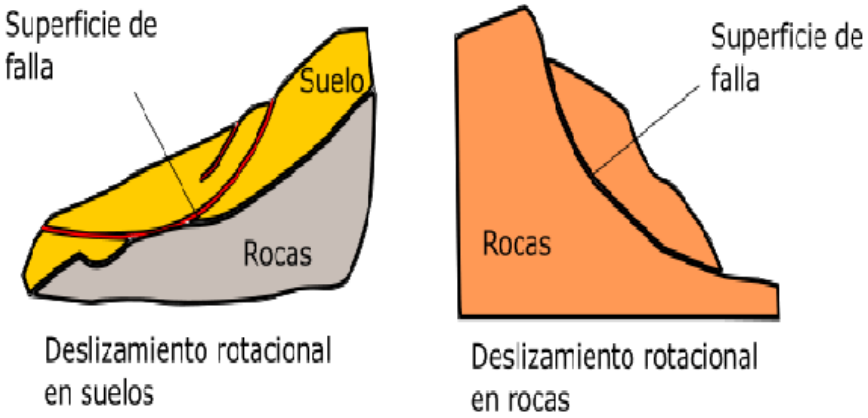
Con el transcurso de los años la superficie terrestre tiende a cambios constantes debido a las propiedades geológicas y climatológicas, de acuerdo con esta se origina la formación de relieves y morfología en taludes. Por tal motivo estas alteraciones hacen que la superficie terrestre se adapte a los cambios.

Deslizamientos rotacionales

La rotura en materiales se produce a través de superficies curvas, ya sea de forma superficial o profunda, y es influenciada por la uniformidad del material. Este fenómeno es frecuente en rocas fracturadas y suelos homogéneos. Los deslizamientos rotacionales pueden ser clasificados en simples, con una única superficie de ruptura circular, y múltiples, donde ocurren varios deslizamientos secuenciales. Estos últimos son típicos en arcillas duras agrietadas y blandas sensibles, siendo la acumulación de material del primer deslizamiento la causa de fracturas sucesivas. La presencia de niveles más competentes a menudo fundamenta los círculos de ruptura.

Figura 2

Esquema Deslizamiento Rotacional



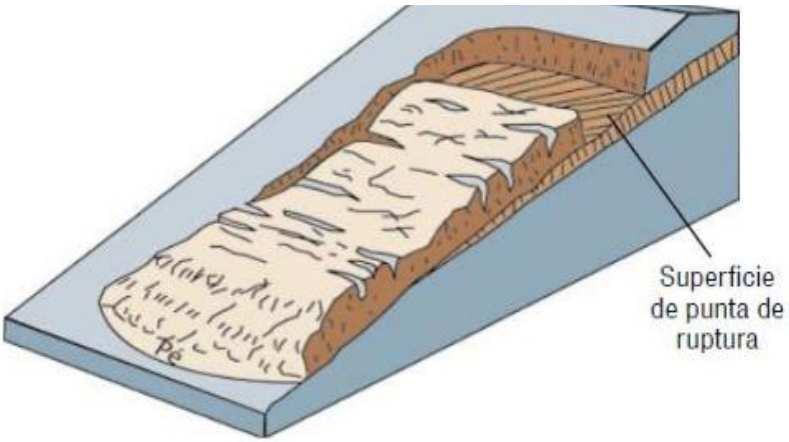
Fuente: (NINABANDA TENELEMA, 2022)

Deslizamiento de traslación

La masa de suelo o roca se desplaza hacia el exterior o abajo a lo largo de una superficie de deslizamiento casi plana o ligeramente ondulada, con un movimiento mínimo o nulo de rotación o volteo. (Universidad de Caldas, 2013)

Figura 3

Deslizamiento de traslación



Fuente: (NINABANDA TENELEMA, 2022)

2.3.1.6 Causas más frecuentes por las que ocurren deslizamientos

Entre las causas más frecuentes que se relacionan con los deslizamientos de tierra son la alteración del equilibrio natural de una pendiente. Dicho esto, las zonas con una pendiente fuerte en donde se ha eliminado la cobertura vegetal por incendios forestales o intervenciones humanas resultan ser vulnerables a la ocurrencia de deslizamientos durante y después de las precipitaciones. (Suarez, 2009)

2.3.1.6.1 Pendiente

Factor que adopta nombres como relieve, topografía o geometría del terreno. Es uno de los factores condicionantes principales, dado que para la ocurrencia de deslizamientos debe existir cierto grado de inclinación en el terreno, siendo ese factor uno de los determinantes de los deslizamientos, mientras mayor sea su inclinación mayor es el nivel de susceptibilidad. (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2014)

2.3.1.6.2 Geología- Litología

Sobre este punto Chaverri Molina (2016), afirma que “es la característica de la estructura de los suelos y rocas, teniendo en cuenta los aspectos de composición, grado de alteración, resistencia, porosidad, permeabilidad, permitiendo relacional la composición de esta con la incidencia de deslizamientos”

2.3.1.6.3 Geomorfología

Es fundamental al momento que se genera el deslizamiento, dado que el tipo de unidades geomorfológicas la susceptibilidad a deslizamientos del terreno puede aumentar o disminuir de manera notable.

2.3.1.6.4 Cobertura vegetal- Uso de suelo

La vegetación en un territorio contribuye a la estabilidad del terreno, aunque su eficacia es debatida. Se ha observado que ayuda a prevenir problemas como la erosión y deslizamientos. (Suarez Diaz, 1998)

2.3.1.6.5 Intensidad de Precipitaciones

Las lluvias en los territorios tienen una influencia significativa en la generación de deslizamientos al llegar a saturar el suelo con agua, aumentando su densidad y peso. Esta interacción con otros factores puede provocar fallas en la ruptura debido a cambios abruptos en las fuerzas resistentes del suelo. (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2014)

2.3.2 Variable independiente: variables físico-geográficas, climáticas y ambientales.

Las variables independientes en la presente investigación corresponden a los factores condicionantes y desencadenantes que de manera conjunta hacen referencia a la ocurrencia de los deslizamientos de masa, agrupándose en categorías conceptualmente distintas.

2.3.2.1 Variables físico-geográficas

Las variables físico-geográficas, como la pendiente, la altitud y el índice topográfico de humedad (TWI), influyen en la estabilidad del terreno. La pendiente determina la susceptibilidad a deslizamientos; a mayor inclinación, mayor riesgo. La altitud representa la elevación sobre el nivel del mar, y el TWI indica la capacidad del relieve para acumular agua, siendo un indicador de la propensión a la saturación del terreno.

2.3.2.2 Variables climáticas

Las variables climáticas, como la precipitación acumulada y la temperatura media, son factores críticos en el estudio de deslizamientos. Las lluvias intensas pueden saturar el suelo, aumentando su peso y reduciendo su resistencia al corte, lo que desencadena estos eventos. Además, se analiza la anomalía de precipitación, que es la diferencia entre la precipitación actual y el promedio histórico.

2.3.2.3 Variables ambientales

Las variables ambientales, como la cobertura vegetal y el uso del suelo, influyen en la estabilidad del terreno al ayudar en la retención de humedad y reducir la erosión superficial, aunque su efectividad puede variar con la intervención humana. En este estudio, se utiliza el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para estimar la densidad y vigor de la cobertura vegetal a partir de imágenes satelitales.

2.3.3 Fundamentos de la parte estadística

La investigación utiliza técnicas de estadística no paramétrica y análisis multivariante para analizar la relación entre variables climáticas, físico-geográficas y ambientales, y la ocurrencia de deslizamientos, considerando que estas variables pueden no cumplir con el supuesto de normalidad ni presentar relaciones lineales estrictas.

2.3.3.1 Correlación de Spearman

El coeficiente de correlación de Spearman mide la relación monótona entre dos variables basándose en el ordenamiento de sus rangos, sin requerir que los datos sean normalmente distribuidos. Su valor varía entre -1 y 1, donde valores cercanos a los extremos indican una asociación fuerte y cerca de cero una débil o nula. Es relevante para estudios que exploran relaciones entre variables climáticas, físico-geográficas y ambientales de naturaleza continua y ordinal. (Chancusig López, Yauli Chicaiza, López Castillo, Andrade Valencia, & López Velasco, 2024)

2.3.3.2 Análisis de Componentes Principales (ACP)

El Análisis de Componentes Principales es una técnica estadística que reduce la dimensionalidad de variables correlacionadas, convirtiéndolas en componentes no correlacionados que explican la mayor parte de la varianza total. Facilita la identificación de patrones entre variables físicas, climáticas y ambientales, ayudando a reconocer combinaciones que explican la variabilidad territorial relacionada con deslizamientos. (IBM)

2.3.3.3 Análisis factorial y tipificación territorial

El análisis factorial complementa el Análisis de Componentes Principales al identificar factores latentes que agrupan variables similares, permitiendo caracterizar los cantones de la provincia Bolívar según su perfil factorial. Esta técnica ayuda a sintetizar la relación entre las variables y a describir comparativamente las condiciones físicas, climáticas y ambientales de cada unidad territorial.

2.4. Marco Legal

Este estudio se sustenta en un conjunto de instrumentos jurídicos de carácter internacional, nacional y local que regulan la gestión de riesgos y el ordenamiento territorial en el Ecuador.

2.4.1. Marco de Sendai para la Reducción de Riesgos de Desastres 2015-2030

Este es un instrumento internacional que orienta la gestión del riesgo de desastres.

Adoptando estrategias concretas en los sectores mundial, nacional, regional y local, enfocado en:

Prioridad 1.- Comprender el riesgo de desastres.

Lo que sustenta de manera directa el objetivo de analizar la susceptibilidad de deslizamientos en la provincia de Bolívar.

2.4.2. Constitución de la República del Ecuador (2008)

Según el Art. 14.- (CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008) Garantiza que todas las personas puedan vivir en un entorno sano y equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir.

Según el Art. 30.- (CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008) Se reconoce el derecho de las personas para disponer de un hábitat seguro y saludable, a una vivienda adecuada y digna, sin tomar en cuenta su situación social y económica.

Según el Art. 389.- (CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008) El Estado debe garantizar que protegerá a las personas, las comunidades y la naturaleza ante los efectos negativos de los desastres ya sean de origen natural o antrópico, implicando la prevención, mitigación y recuperación, con el objetivo de disminuir la vulnerabilidad.

2.4.3. Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres

Según el Art. 5 numeral 24 (ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR, 2020)**.-**Establece que la vulnerabilidad frente a los desastres está relacionada

con condiciones propias de una comunidad, territorio o infraestructura que puedan volverlos más propensos a ser afectados por los diferentes eventos adversos que se suscitan.

Según el Art. 6 numeral 2 (ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR, 2020)**.-**La prevención del riesgo comprende acciones programadas para evitar que se generen desastres, de tal manera que se actúe en los factores que los provocan, tales como la amenaza, vulnerabilidad, las capacidades que se encuentren presentes en la zona.

Según Art. 9 numeral 3 (ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR, 2020)**.-** Se enfoca en la planificación que está relacionada con la gestión del riesgo debe fundamentarse en la comprensión integral y actualizado de amenazas, vulnerabilidades, capacidades y niveles de exposición, también se debe identificar las áreas vulnerables mediante la elaboración de mapas cartográficos de amenazas y riesgos formando como parte del monitoreo continuo.

Según el Art. 11 (ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR, 2020)**.-**La mitigación implica utilizar políticas, estrategias y acciones específicas para la poder reducir los impactos negativos de los eventos que sean peligrosos para la población, los ecosistemas y todas las actividades humanas teniendo en cuenta la dimensión social, económica, culturales e institucionales.

Según el Art. 56 (ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR, 2020)**.-**El ente rector con apoyo necesario es el encargado de elaborar mapas de riesgos a nivel nacional, además de proporcionar información estadística y geográfica importante, este se encargara de establecer normas técnicas y protocolos que permitan unir criterios para realizar estudios científicos, mapas de amenazas y riesgos con esto asegurando un intercambio adecuado de la información entre las entidades del sistema.

Según el Art. 57 (ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR, 2020)**.-**Hace referencia de que los distintos niveles de gobierno deben contar con estudios que

puedan evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura, los servicios básicos y de las comunidades, esta con el objetivo de minimizar estos niveles dentro de la planificación territorial y sectorial.

2.5. Definición de Términos (Glosario)

Clima: Promedio de tiempo dentro del cual el resultado es de acuerdo al conjunto de interacciones de los diferentes factores atmosféricos, biofísicos y geográficos que se puede modificar en tiempo y espacio. (Ríos García, Choto Morocho, & Morales Morocho, 2024)

Precipitación: Esta se refiere a la caída de agua de diversas formas, como lluvia o nieve, sobre la superficie terrestre. (Ríos García, Choto Morocho, & Morales Morocho, 2024)

Lluvias intensas: Son aquellas que se caracteriza por acumular grandes cantidades de agua en poco tiempo. (Viñas, 2023)

Saturación del suelo: Esta se refiere al grado de presencia de agua en los huecos del suelo, indicando el grado de saturación, que varía entre 0 y 1 que indica cuando el suelo este con solo aire y el suelo está completamente saturado sin aire. (ELSEVIER, 2024)

Temperatura: Es una magnitud física que expresa cual es el grado ya sea frio o calor de los cuerpos o del ambiente, cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin. (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA)

Humedad: Se define como una medida del contenido de vapor de agua en el gas (PROCESS SENSING TECHNOLOGIES)

Evaporación: Es cuando una molécula de agua abandona una superficie y toma una forma gaseosa, es decir cuando pasa de estado líquido a vapor. (PROCESS SENSING TECHNOLOGIES)

Pendiente del terreno: Se conoce como la subida y bajada de la superficie del terreno, conocida también como su inclinación. (Department of Environment, Science and Innovation, Queensland., 2020)

Altitud: Se denomina a la medición de la distancia vertical entre cualquier punto determinado de la tierra en relación con el nivel del mar (m.s.n.m). (Torres Torres, Mena Mosquera, & Rueda Sánchez , 2022)

Tipo de suelo: Esta se refiere a la clasificación de los suelos de acuerdo a sus propiedades biológicas, físicas y químicas. (Guevara S., Laborde D., & Sánchez Ríos)

Geología: Es una disciplina científica que estudia la composición, la estructura, la evolución y la dinámica del planeta Tierra. (García, Amelia Calonge, 2010)

Cobertura vegetal: Es un conjunto de hierbas, arbustos, árboles y residuos que cubren la superficie terrestre. (Seingier, Espejel, & Fermán Almada, 2009)

Uso de suelo: Se refiere a las actividades humanas que desestabilizan el terreno.

CAPÍTULO III.

3. Marco Metodológico

3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación tuvo un enfoque descriptivo correlacional, fue descriptiva porque permitió caracterizar las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales presentes en la provincia Bolívar y describir las condiciones asociadas a la ocurrencia de deslizamientos de masa. Asimismo, fue correlacional porque buscó determinar el grado de relación existente entre dichas variables y la ocurrencia de estos fenómenos, identificando aquellos factores que presentan una mayor influencia dentro del período de estudio comprendido entre 2010 y 2025.

3.2. Enfoque de la investigación

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo de nivel correlacional, debido a que permitió analizar de manera objetiva y medible la relación existente entre las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en las áreas afectadas por deslizamientos de masa en la provincia Bolívar durante el período 2010-2025.

Desde el enfoque cuantitativo, se recopilarán y analizarán datos numéricos correspondientes a variables climáticas, físico-geográficas y ambientales, tales como precipitación, intensidad de lluvia, humedad del suelo, pendiente, altitud, litología, densidad de drenaje, distancia a ríos, distancia a vías, cobertura vegetal y uso del suelo. Mediante técnicas de análisis estadístico y geoespacial se determinará el grado de relación existente entre estas variables, identificando aquellos factores que presentan mayor asociación estadística entre sí en los sitios donde se han registrado dichos eventos.

Desde el nivel correlacional, el propósito de esta investigación tiene como finalidad determinar el grado de correlación entre las variables climáticas, físico-geográficas y

ambientales, en las áreas afectadas por la ocurrencia de deslizamientos, por lo tanto, al analizar los factores presentes en las áreas afectadas por deslizamientos, se establece el grado de relación estadística entre las variables presentes en los sitios donde se registraron los deslizamientos en la provincia Bolívar.

3.3. Métodos de Investigación

En esta investigación se desarrollarán las bases teóricas mediante un proceso sistemático que incluye la revisión, selección y análisis de fuentes bibliográficas, sobre variables climáticas, físicas-geográficas y ambientales asociadas a la ocurrencia de deslizamientos de masas. A partir de esta fundamentación, se emplearán técnicas estadísticas y modelos multivariados para identificar cuáles de estas variables ejercen mayor influencia en la generación de deslizamientos y cómo interactúan entre sí.

3.4. Universo, Población y Muestra

El universo institucional estuvo conformado por 799 registros de deslizamientos de masa ocurridos en la provincia de Bolívar en el periodo 2010-2025

Inventario depurado de 797 eventos, que constituyo la población utilizada para el análisis estadístico.

Como paso previo a cualquier proceso de selección o extracción en el territorio, se determinó matemáticamente el tamaño mínimo de muestra estadísticamente representativo para validar este inventario. Para ello, se aplicó la fórmula de muestreo probabilístico para poblaciones finitas (Toaza Mantilla , 2025)

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N-1) + Z^2 . p . q}$$

Donde los parámetros de diseño corresponden a:

N = 797: Población total de deslizamientos histórico

Z = 1.96: Valor crítico para un nivel de confianza del **95%**.

p = 0.5: Probabilidad de ocurrencia máxima (máxima variabilidad).

q = 0.5: Probabilidad de no ocurrencia del fenómeno (1 - p).

e = 0.05: Margen de error estándar admisible del **5%**

$$n = \frac{797 \cdot (1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}{(0.05)^2 \cdot (797 - 1) + (1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}$$

$$n = \frac{765.4388}{0.0025 \cdot (796) + 3.8416 \cdot 0.25}$$

$$n = \frac{765.4388}{1.9900 + 0.9604} = \frac{765.4388}{2.9504}$$

$$n = 259.43 = 260$$

Este procedimiento matemático determinó un tamaño mínimo requerido de n = 260 puntos, con el propósito de incrementar el rigor metodológico y la robustez de las pruebas multivariantes, la muestra definitiva se fijó en 280 puntos, superando el umbral mínimo estadístico.

La extracción física de estos 280 registros se ejecutó mediante la herramienta *Create Random Points* de ArcGIS Pro sobre el mapa provincial de Bolívar, asegurando que cada evento del universo tuviera la misma probabilidad geográfica y espacial en los siete cantones.

La unidad de análisis correspondió a cada punto georreferenciado de evento de deslizamiento.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos

La recopilación de datos e información de estos representa una etapa fundamental para el desarrollo de cualquier investigación para la toma de decisiones. Las técnicas e instrumentos de recolección aplicados en el presente estudio son los siguientes:

Para el cumplimiento del **objetivo específico 1.- Sistematizar un inventario histórico de deslizamientos de masa en la provincia de Bolívar, detallando su distribución temporal y espacial entre 2010-2025,** se empleará la técnica de revisión documental. La información fue recopilada a partir de registros históricos de deslizamientos obtenidos de instituciones oficiales, informes técnicos y bases de datos georreferenciadas. Como instrumento se utilizará una matriz de registro de datos que permitió organizar la información espacial y temporal de los eventos ocurridos durante el período 2010-2025.

Para el cumplimiento del **objetivo específico 2.- Caracterizar las variables climáticas, físico-geográficas en las zonas de deslizamiento reportadas en la provincia Bolívar,** se empleará la técnica de recopilación de información secundaria proveniente de bases de datos meteorológicas y plataformas de observación terrestre. Como instrumento se utilizarán fichas de registro digital y bases de datos tabulares para almacenar información relacionada con precipitación, intensidad de lluvia, humedad del suelo y demás variables climáticas consideradas en la investigación.

Para el cumplimiento del **objetivo específico 3.- Determinar el grado de correlación e influencia de las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en las áreas afectadas por deslizamientos de masa**, se utilizará la técnica de recopilación de información geoespacial proveniente de modelos digitales de elevación, cartografía temática e imágenes satelitales. Como instrumentos se emplearán bases de datos geográficas y fichas de registro digital para organizar la información correspondiente a pendiente, altitud, geología, geomorfología, uso del suelo, cobertura vegetal, distancia a ríos, distancia a vías y demás variables incluidas en el estudio.

3.6. Técnicas de análisis y procesamiento de la Información

3.6.1 Técnicas Para procesar y Analizar Datos Según Objetivo Específico 1. Sistematizar un inventario histórico de deslizamientos de masa en la provincia de Bolívar, detallando su distribución temporal y espacial entre 2010-2025.

Como paso previo al desarrollo de los objetivos específicos, se implementó una fase de depuración y validación geoespacial de la información base, consolidó un universo histórico institucional de 799 registros de deslizamientos reportados por organismos de primera respuesta (ECU 911, SNGRE, MTOP y Policía Nacional) para la provincia de Bolívar durante el período 2010-2025.

Durante el proceso de depuración inicial, se identificó y eliminó dos registros que presentaban valores nulos (*NoData*) debido a su ubicación milimétrica en los extremos de los ráster provinciales, consolidando un inventario depurado de 797 registros válidos como base de trabajo para los análisis posteriores.

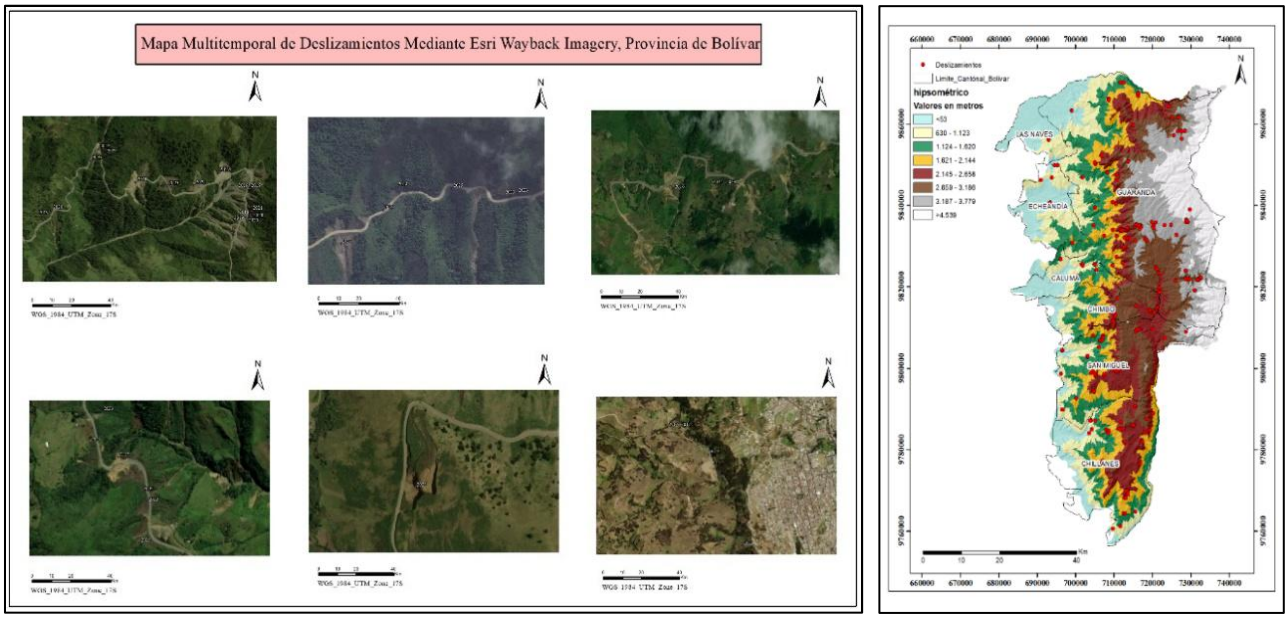
Debido a las diferencias de escala y precisión entre los registros institucionales, se aplicó un proceso de validación remota mediante análisis multitemporal para ello, se seleccionó una muestra aleatoria de 280 puntos sobre los cuales se realizó una verificación

visual individual utilizando la plataforma Esri Wayback Imagery, herramienta que permite acceder a imágenes satelitales de alta resolución en fechas históricas específicas. Este procedimiento permitió aprobar la correspondencia entre la localización registrada de cada evento y las evidencias geomorfológicas visibles en la imagen satelital de la fecha de ocurrencia reportada.

Como resultado de esta verificación, los 280 puntos registrados resultaron correctamente georreferenciados, confirmando la estabilidad espacial del inventario institucional. Con base en este control de calidad, el inventario de 797 deslizamientos quedó validado para el desarrollo de los objetivos específicos del presente proyecto de investigación.

Figura 4

Verificación visual multitemporal de deslizamientos mediante Esri Wayback Imagery, provincia de Bolívar 2010-2025



Se empleó la técnica de revisión documental a partir de registros históricos obtenidos de organismos de primera respuesta, entre los que se incluyen el ECU 911, el SNGRE, el MTOP y la Policía Nacional. La información recopilada fue organizada en una matriz de registro georreferenciada que integra, para cada evento, la fecha de ocurrencia y la ubicación a nivel de parroquial y cantonal, constituyendo la base sobre la cual se desarrolla la sistematización del inventario depurado de 797 deslizamientos validados.

Nota: *Debido a la extensión de la matriz (797 registros), el inventario completo se adjunta en la sección de Anexos 1 al final de la presente investigación.*

Como instrumento de sistematización se aplicó un análisis de frecuencias que abarcará tanto la dimensión temporal como la espacial de los eventos registrados. En cuanto a la temporalidad, se construyó distribución anual que permitió identificar los años con mayor concentración de deslizamientos dentro del período 2010-2025, así como una distribución mensual que revelará la estacionalidad de estos eventos y su correspondencia con las épocas de lluvia de la provincia. De igual manera, la distribución por cantón y parroquia permitió reconocer los sectores con mayor incidencia de movimientos en masa y relacionar su localización con las zonas de transición climática entre la región subtrópica y las zonas altas de Bolívar. A partir de estos resultados se permitió reconocer aquellos con mayor incidencia en el territorio durante el período de estudio.

3.6.2 Técnicas Para procesar y Analizar Datos Según Objetivo Específico 2. Caracterizar las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en las zonas de deslizamiento reportadas en la provincia Bolívar.

Se construyó una base de datos mediante la extracción de 23 variables geoespaciales asociadas a cada uno de los 797 deslizamientos históricos registrados en la provincia de Bolívar, agrupadas en tres categorías según su naturaleza: físico-geográficas, climáticas y ambientales.

Las variables físico-geográficas se obtuvieron a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE) ALOS PALSAR de 12,5 m de resolución espacial. Su extracción se realizó en ArcGIS Pro mediante la herramienta *Extract Multi Values to Points*, aplicada sobre cada coordenada de deslizamiento dentro del límite provincial de Bolívar, a diferencia de las demás variables físico-geográficas, la distancia a vías (Vias_km se obtuvo en kilómetros como unidad de salida directa de ArcGIS Pro. (CONALI-CNE, 2022).

Las variables climáticas y ambientales fueron extraídas mediante scripts desarrollados en Google Earth Engine (GEE), tomando la fecha exacta de ocurrencia de cada evento para garantizar la representatividad temporal de los valores. Las variables climáticas fueron obtenidas a partir del conjunto de datos CHIRPS Daily y el producto ERA5-Land, mientras que las variables ambientales provienen de los productos Hansen Global Forest Change v1.11, ESA WorldCover 2021 y OpenLandMap v02. En ambos casos, la extracción se realizó sobre zonas de influencia (*buffers*) de 500 m alrededor de cada punto, con el fin de caracterizar las condiciones predominantes del entorno inmediato.

Tabla 3

23 variables geoespaciales utilizadas en el análisis: unidades, categoría y fuente.

	Variable	Unidad	Categoría	Fuente
Climáticas	Pmax 24h (mm)	Milímetros (mm)		Google Earth Engine (GEE) - Conjunto de datos CHIRPS Daily
	Precip. 3 días(mm)	Milímetros (mm)		
	Precip.15 días (mm)	Milímetros (mm)		
	Precip.90 días (mm)	Milímetros (mm)		
	Temp. Media	Grados (°C)		
	Anomalía (%)	Porcentaje (%)		
Físico-Geográficas	Pendiente	Grados (°)		(DEM) ALOS PALSAR de 12,5 m
	Altitud	msnm		
	Geomorfología	Clase 1	Vertientes externas	Portal geoespacial PROMSA
		Clase 2	Cimas frías de las cordilleras	
		Clase 3	Piedemontes	
		Clase 4	Piedemontes	
		Clase 5	Cimas frías de las cordilleras	
		Clase 6	Medio aluvial	
		Clase 7	Cimas frías de las cordilleras	
	Uso_suelo	Clase1	Asociación Agropecuaria.	
		Clase2	Bosques (Tierra Forestal).	
		Clase3	Agropecuarias.	
		Clase4	Eriales (Otras Áreas).	
		Clase5	Vegetación Arbustiva y Herbácea.	
		Clase6	Antrópicos.	
		Clase7	Cuerpos de Agua.	
	Geología	Clases 1	Granodiorita, diorita, pórfido de edad cenozoica (Rocas Intrusivas).	
		Clases 2	Otras formaciones litológicas de la provincia (Comprende facies volcánicas proximales/distales, piroclastos, lahares y secuencias sedimentarias andinas).	
	Distancia de ríos	Metros (m)		

	Distancia de vías	Kilómetro (km)		
	Densidad de drenaje	km/km²		ArcGIS Pro
	TWI			
Ambientales	NDVI	(-1 a 1)		Google Earth Engine - Productos Hansen Global Forest Change v1.11, ESA WorldCover 2021 y OpenLandMap v02
	NDWI	(-1 a 1)		
	Loss_5a	(0-1)		
	Deforest_5a	Porcentaje (%)		
	DCA _2000	Porcentaje (%)		
	Hum_suelo	(0-1)		
	pH_suelo			
	MO_suelo	Porcentaje (%)		

3.6.3 Técnicas Para procesar y Analizar Datos Según Objetivo Específico 3. Determinar el grado de correlación e influencia de las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en las áreas afectadas por deslizamientos de masa.

Las 23 variables fueron sometidas a un proceso de depuración estadística multivariada en IBM SPSS Statistics, con el objetivo de eliminar variables redundantes o con baja representatividad, reduciendo el conjunto inicial a un catálogo estadísticamente consistente.

Como primera fase, se analizó la reducción de dimensiones y la correlación de las variables físico-geográficas, climáticas y ambientales. Para ello, se determinó el tipo de distribución de los datos correspondientes a los 797 registros del inventario de movimientos en masa de la provincia de Bolívar. Debido a que el tamaño de la muestra es superior a 50 observaciones (n = 797), se aplicó la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors ($\alpha = 0,05$).

Dado que ninguna variable presentó distribución normal, se optó por utilizar el coeficiente de correlación de rangos de Spearman de manera exclusiva para la fase preliminar del diagnóstico bivariado. Estableciendo un umbral de exclusión de rho $\geq = 0,80$ para

identificar y eliminar las variables de multicolinealidad severa, en base a los criterios metodológicos de (Hair, Black, Babin, & Anderson, 2019)

Posteriormente, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP) a las variables cuantitativas continúas seleccionadas tras el proceso de depuración. Aunque los datos no presentaron una distribución normal, se empleó el procedimiento estándar del ACP a partir de la matriz de correlaciones de Pearson.

El ACP se utilizó con un propósito exploratorio, ya que permite resumir la información de un conjunto de variables relacionadas en un número reducido de componentes. En este caso, la ausencia de normalidad multivariada no impidió su aplicación, debido a que esta técnica no requiere dicho supuesto como condición indispensable para la extracción de los componentes.

Se excluyeron las variables con una comunalidad de extracción inferior a 0,500 garantizando que los componentes explicaran al menos el 50% de la varianza de cada variable, siguiendo las recomendaciones de (Hair, Black, Babin, & Anderson, 2019)

Por último, para las variables categóricas se realizó un análisis de frecuencias con el fin de conocer la distribución de casos entre categorías. Se excluyeron aquellas variables en las que una sola clase concentrara más del 80% de los registros, ya que en ausencia de un grupo de control estas variables no aportan capacidad discriminatoria al análisis.

CAPÍTULO IV.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados

4.1.1 Para el cumplimiento del objetivo específico 1.

Sistematizar un inventario histórico de deslizamientos de masa en la provincia de Bolívar, detallando su distribución temporal y espacial entre 2010-2025.

Durante el período 2010-2025 se registraron 797 deslizamientos en los siete cantones de la provincia de Bolívar. La Tabla 4 muestra la frecuencia anual de los eventos inventariados, evidenciando diferencias en el número de deslizamientos registrados entre los años analizados.

Tabla 4

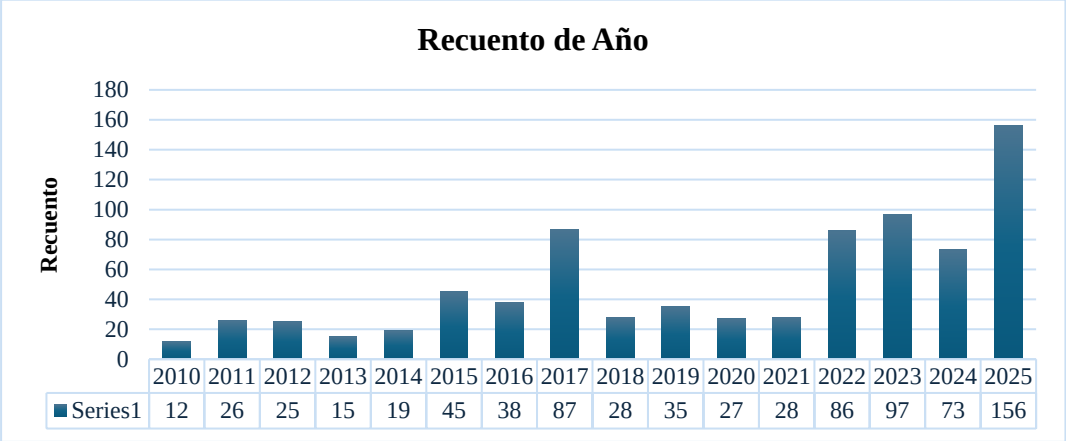
Frecuencia anual de deslizamientos en la provincia de Bolívar, período 2010-2025

Año					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2010	12	1,5	1,5	1,5
	2011	26	3,3	3,3	4,8
	2012	25	3,1	3,1	7,9
	2013	15	1,9	1,9	9,8
	2014	19	2,4	2,4	12,2
	2015	45	5,6	5,6	17,8
	2016	38	4,8	4,8	22,6
	2017	87	10,9	10,9	33,5
	2018	28	3,5	3,5	37,0
	2019	35	4,4	4,4	41,4
	2020	27	3,4	3,4	44,8
	2021	28	3,5	3,5	48,3
	2022	86	10,8	10,8	59,1
	2023	97	12,2	12,2	71,3
	2024	73	9,2	9,2	80,4
	2025	156	19,6	19,6	100,0
	Total	797	100,0	100,0	

El análisis por año revela una tendencia creciente en las áreas afectadas por de deslizamientos a partir del año 2020, alcanzando su valor máximo en 2025 con 156 eventos, representando el 19,6% del total del inventario. Asimismo, se identifican valores elevados en 2023 con 97 eventos (12,2%), 2017 con 87 eventos (10,9%) y 2022 con 86 eventos (10,8%), evidenciando que estos cuatro años concentran más de la mitad de todos los deslizamientos registrados en el período de estudio, comportamiento que se aprecia con mayor claridad en la Figura 5.

Figura 5

Distribución anual de deslizamientos de masa, provincia de Bolívar 2010-2025



En cuanto a la distribución mensual, la Tabla 5 refleja una marcada estacionalidad asociada a la época lluviosa de la provincia, donde los meses de febrero, marzo y abril concentran el 81,4% de todos los eventos registrados.

Tabla 5

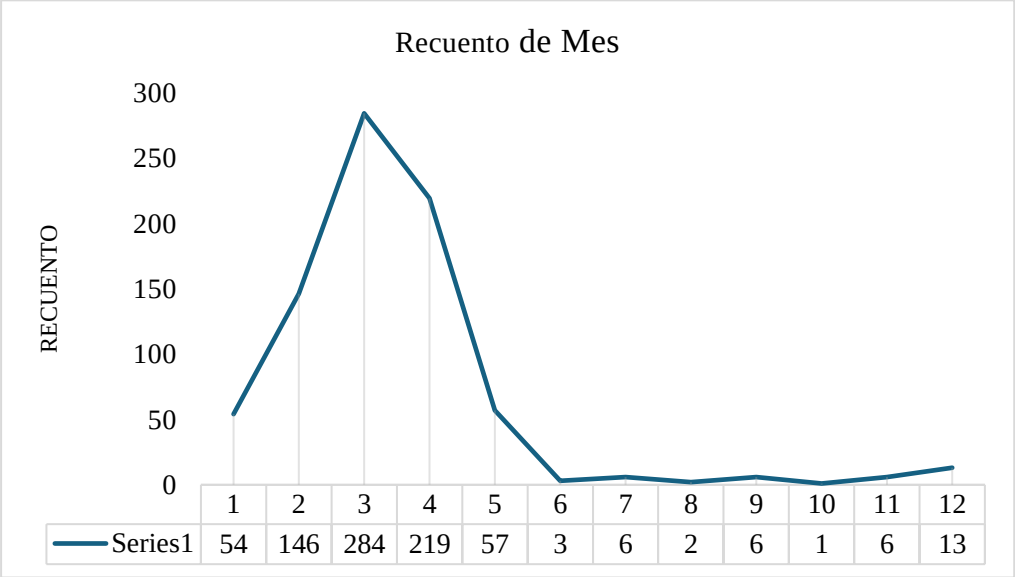
Frecuencia mensual de deslizamientos en la provincia de Bolívar, período 2010–2025

Mes		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	54	6,8	6,8	6,8
	2	146	18,3	18,3	25,1
	3	284	35,6	35,6	60,7
	4	219	27,5	27,5	88,2
	5	57	7,2	7,2	95,4
	6	3	0,4	0,4	95,7
	7	6	0,8	0,8	96,5
	8	2	0,3	0,3	96,7
	9	6	0,8	0,8	97,5
	10	1	0,1	0,1	97,6
	11	6	0,8	0,8	98,4
	12	13	1,6	1,6	100,0
Total		797	100,0	100,0	

Marzo registra la mayor frecuencia de deslizamientos, con 284 eventos (35,6 % del total), seguido de abril con 219 eventos (27,5 %) y febrero con 146 eventos (18,3 %). En conjunto, estos tres meses concentran el 81,4 % de los deslizamientos durante el período de estudio. En contraste, entre junio y noviembre se registran las menores frecuencias, con menos de siete eventos por mes. Esta distribución evidencia una marcada concentración temporal de los deslizamientos durante los primeros meses del año, patrón que se observa con mayor claridad en la Figura 6.

Figura 6

Distribución mensual de deslizamientos de masa, provincia de Bolívar 2010-2025



Respecto a la distribución espacial, la Tabla 6 presenta la frecuencia de deslizamientos por cantón. Guaranda concentra la mayor cantidad de eventos, con 287 deslizamientos (36,0 %), seguido de San Miguel con 184 eventos (23,1 %), Chillanes con 147 eventos (18,4 %) y Chimbo con 112 eventos (14,1 %) acumulando entre estos cuatro cantones el 91,6% del total del inventario. Los cantones de Echeandía, Caluma y Las Naves registraron la menor incidencia, con frecuencias que no superan el 5% individualmente, lo cual guarda relación con sus características topográficas y su menor extensión territorial dentro de la provincia.

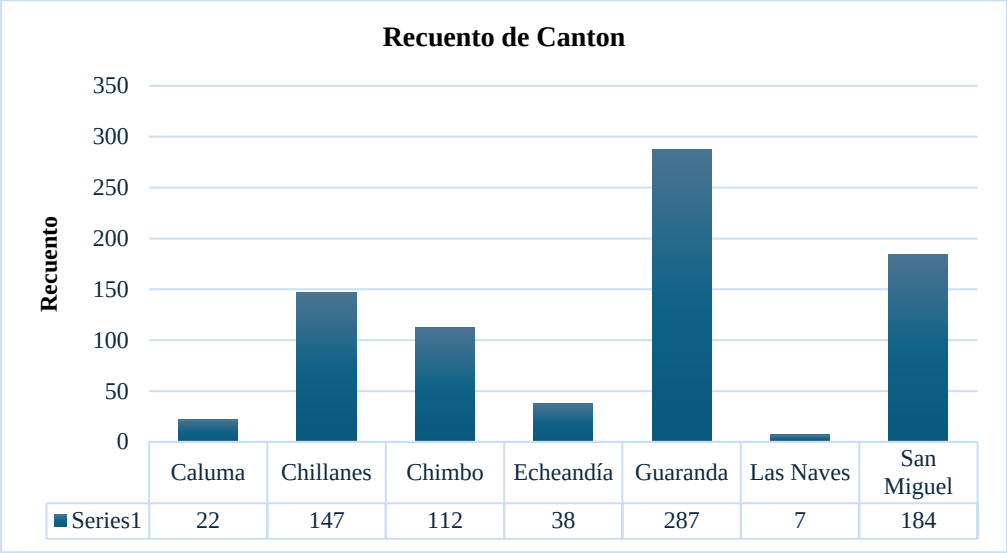
Tabla 6

Frecuencia de deslizamientos por cantón, provincia de Bolívar 2010–2025

Cantón					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Caluma	22	2,8	2,8	2,8
	Chillanes	147	18,4	18,4	21,2
	Chimbo	112	14,1	14,1	35,3
	Echeandía	38	4,8	4,8	40,0
	Guaranda	287	36,0	36,0	76,0
	Las Naves	7	0,9	0,9	76,9
	San Miguel	184	23,1	23,1	100,0
Total		797	100,0	100,0	

Figura 7

Distribución de deslizamientos por cantón, provincia de Bolívar 2010-2025



A nivel parroquial, la Tabla 7 detalla la distribución de eventos, donde Chillanes registró la mayor concentración con 129 eventos (16,2%), seguida de Guanujo con 120 eventos (15,1%) y Balsapamba con 80 eventos (10,0%). Los resultados muestran que la ocurrencia de deslizamientos no se distribuye de manera uniforme entre las parroquias analizadas, dado que Chillanes y Balsapamba se localizan en las zonas de transición climática entre la región costa y sierra de la provincia de Bolívar, sectores caracterizados por una alta variabilidad en la intensidad de las precipitaciones y condiciones topográficas que favorecen la inestabilidad de laderas, distribución que se aprecia en la Figura 8.

Tabla 7

Frecuencia de deslizamientos por parroquia, provincia de Bolívar 2010–2025

Parroquias					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Ángel Polibio Chaves	17	2,1	2,1	2,1
	Asunción (Asancoto)	9	1,1	1,1	3,3
	Balsapamba	80	10,0	10,0	13,3
	Bilován	39	4,9	4,9	18,2
	Caluma	22	2,8	2,8	21,0
	Chillanes	129	16,2	16,2	37,1
	Echeandía	38	4,8	4,8	41,9
	Facundo Vela	20	2,5	2,5	44,4
	Gabriel Ignacio Veintimilla	46	5,8	5,8	50,2
	Guanujo	120	15,1	15,1	65,2
	Julio E. Moreno (Catanahuán Grande)	15	1,9	1,9	67,1
	Las Naves	7	0,9	0,9	68,0
	Magdalena (Chapacoto)	25	3,1	3,1	71,1
	Regulo De Mora	8	1,0	1,0	72,1
	Salinas	29	3,6	3,6	75,8
	San José De Chimbo	53	6,6	6,6	82,4
	San José Del Tambo (Tambopamba)	18	2,3	2,3	84,7
	San Lorenzo	3	0,4	0,4	85,1
	San Luis De Pambil	3	0,4	0,4	85,4
	San Miguel	24	3,0	3,0	88,5
	San Pablo (San Pablo De Atenas)	19	1,5	1,5	90,0
	San Sebastián	2	0,3	0,3	91,1
	San Simón (Yacoto)	9	1,1	1,1	92,2
	San Vicente	6	0,8	0,8	93,0

	Santa Fé (Santa Fé)	12	1,5	1,5	94,5
	Santiago	8	1,0	1,0	95,5
	Simiatug	13	1,6	1,6	97,1
	Telimbela	23	2,9	2,9	100,0
	Total	797	100,0	100,0	

Figura 8

Distribución de deslizamientos por parroquia, provincia de Bolívar 2010-2025

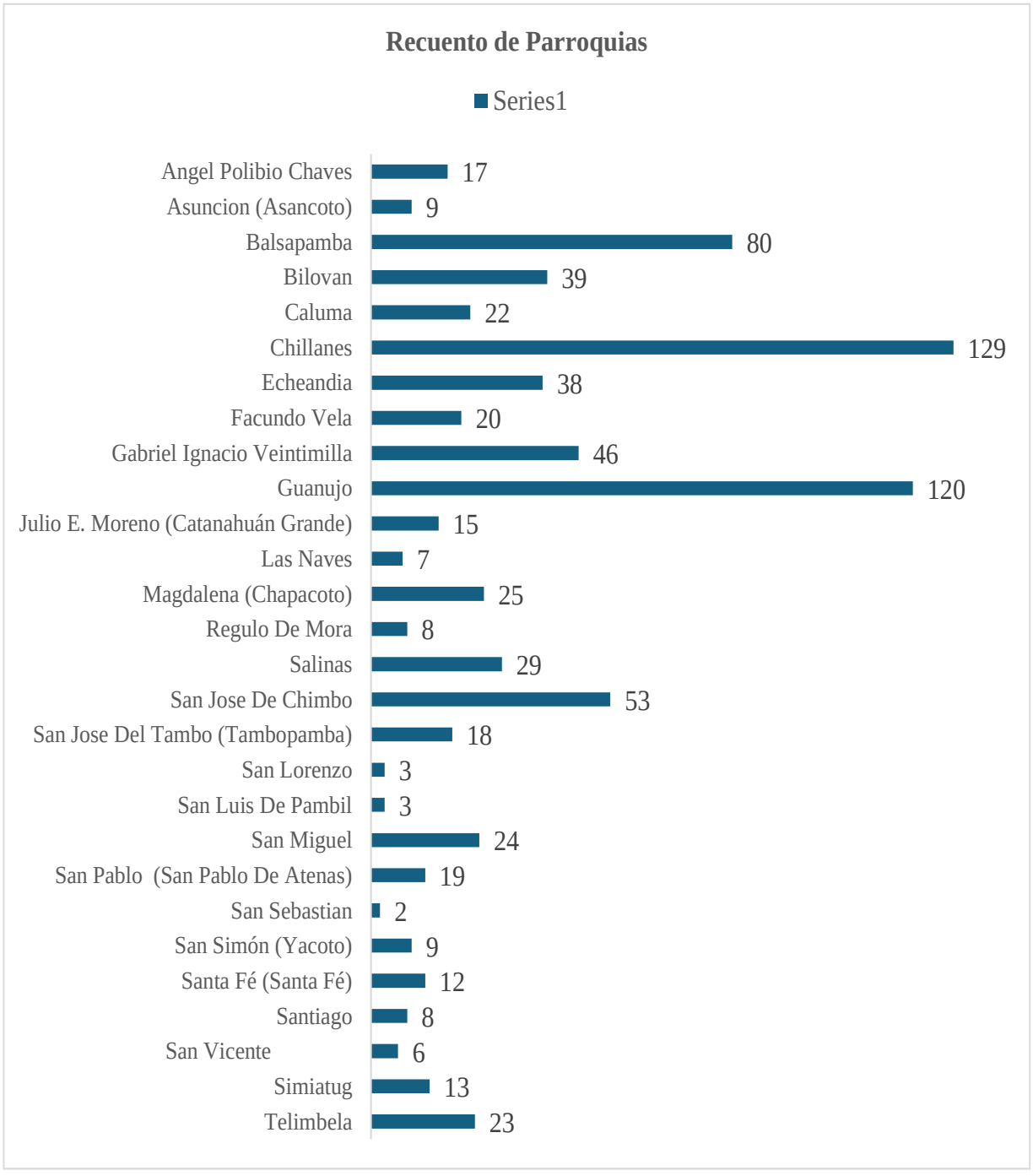
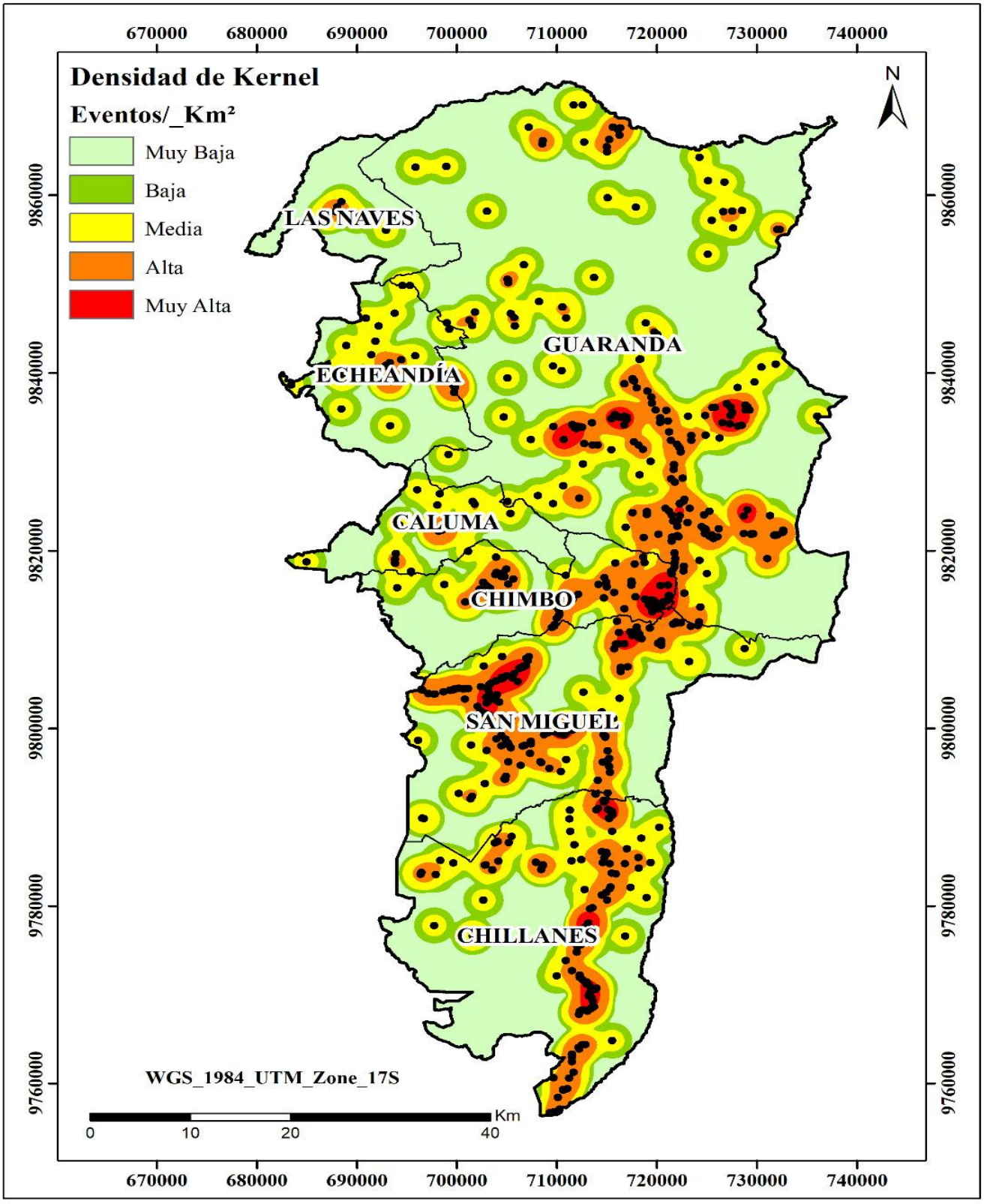


Figura 9

Mapa de Densidad y puntos críticos de Deslizamientos históricos de la provincia Bolívar



4.1.2 Para el cumplimiento del objetivo específico 2.

Caracterizar las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en las zonas de deslizamiento reportadas en la provincia Bolívar.

El proceso de caracterización de variables se generó por un flujo de trabajo que empleó el uso de plataformas geoespaciales y estadísticas. En este, se utilizó Google Earth Engine (GEE) para extraer variables climáticas y ambientales a través de scripts, analizando datos de CHIRPS Daily, ERA5-Land y productos de cobertura de suelo. La extracción se centralizó en sitios de 500 m alrededor de deslizamientos, calculando valores medios para reflejar las condiciones ambientales locales. Las variables físico-geográficas, se obtuvieron mediante el Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR, usando ArcGIS Pro. Además, se consolidó una base de datos con 797 registros y 23 variables, la cual fue presentada para el análisis estadístico multivariado en IBM SPSS Statistics para reducir la dimensionalidad y seleccionar variables explicativas, afirmando así la fiabilidad y solidez de los resultados.

Tabla 8

Estadísticos descriptivos de las variables continuas, provincia de Bolívar 2010-2025

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Vias_km	797	0,000	10,502	6,025	2,095
TWI	797	-5,972	9,837	1,605	2,706
Pendiente_G°	797	1,343	54,765	19,527	10,750
Dist_rio_m	797	0,185	3284,760	676,486	558,277
Dens_drena_km/km²	797	0,000	1,973	0,509	0,382
Altitud_msnm	797	107,671	4381,200	2195,563	952,652
pH_suelo	797	5,000	6,800	5,678	0,268
MO_suelo (%)	797	4,300	24,900	10,610	3,760
Pmax 24h (mm)	797	0,100	38,760	7,326	5,062
Precip. 3 días (mm)	797	0,100	339,360	37,853	42,946
Precip. 15 días (mm)	797	0,100	957,470	133,251	121,845

Precip. 90 días (mm)	797	11,310	2522,220	590,529	385,343
Anomalía (%)	797	-100,000	561,200	131,780	80,001
Temp. Media (°C)	797	6,952	25,183	16,728	4,081
Hum_suelo (0-1)	797	0,287	0,512	0,443	0,029
NDVI (-1 a 1)	797	-0,028	0,717	0,103	0,136
NDWI (-1 a 1)	797	-0,587	0,014	-0,089	0,089
Deforest_5a (%)	797	0,000	11,100	0,283	1,193
DCA _2000 (%)	797	0,000	93,600	34,893	26,509
N válido	797				

Los valores máximos registrados reflejan la variabilidad existente entre los siete cantones de la provincia de Bolívar. Respecto a las variables climáticas, Chillanes presentó la mayor precipitación, con 957,47 mm en 15 días, mientras que en la zona andina se registraron valores mínimos de 0,10 mm, de acuerdo a los resultados obtenidos, denota la diferencia de la variabilidad en la precipitación, con una desviación estándar general de 121,84 mm, el relieve, alcanzando su altitud máxima de 4381,20 m s. n. m, en las zonas altas de Guaranda; mientras que la pendiente registró un máximo de 54,76º , evidenciando la presencia de pendientes pronunciadas entre los registros analizados. El detalle de estas variables para cada cantón se presenta en el Anexo 2.

El NDVI mostró una media de 0,103, con un rango de -0,028 a 0,717, mientras que el DCA_2000 tuvo una media de 34,89 %. Estas variables son útiles para caracterizar las condiciones de cobertura vegetal y conservación de la vegetación en relación a los puntos de deslizamiento.

Por el cual, el análisis descriptivo estableció las condiciones generales y variabilidad de las variables en 797 registros de deslizamientos, constituyendo una caracterización inicial que servirá de base para un análisis estadístico posterior sobre las relaciones entre las variables.

Los mosaicos cartográficos de la provincia de Bolívar muestran una diversidad fisiográfica y climática. La superposición de pendientes pronunciadas, una pendiente altitudinal desde los 4.381 m s.n.m. hasta 107 m s.n.m , y un Índice Topográfico de Humedad (TWI) indican una inestabilidad de laderas, exacerbada por la cercanía a vías y a cursos de agua. La precipitación acumulada en la franja subtrópica supera los 300 mm, contribuyendo a la variabilidad climática que provoca eventos catastróficos. La temperatura media varía de 7,2 °C a 25,1 °C, influyendo en la evapotranspiración y humedad edáfica, las zonas con menor cobertura vegetal se agrupan en áreas agrícolas y cercanas a vías, mientras que los suelos ácidos con alto contenido de materia orgánica muestran baja resistencia al corte. Estos factores interactúan entra sí y pueden llegar a provocar deslizamientos, de manera particularmente en Guaranda, Chillanes y San Miguel.

Figura 10

Mosaico cartográfico de las variables físico-geográficas de la provincia Bolívar

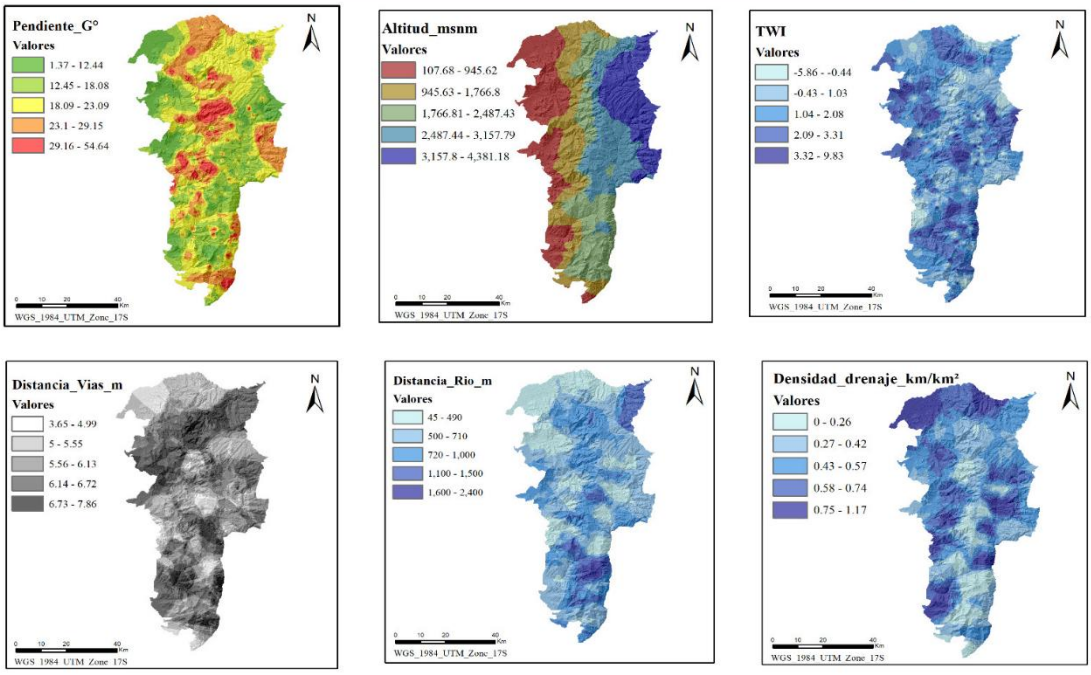


Figura 11

Mosaico cartográfico de las variables climáticas de la provincia Bolívar

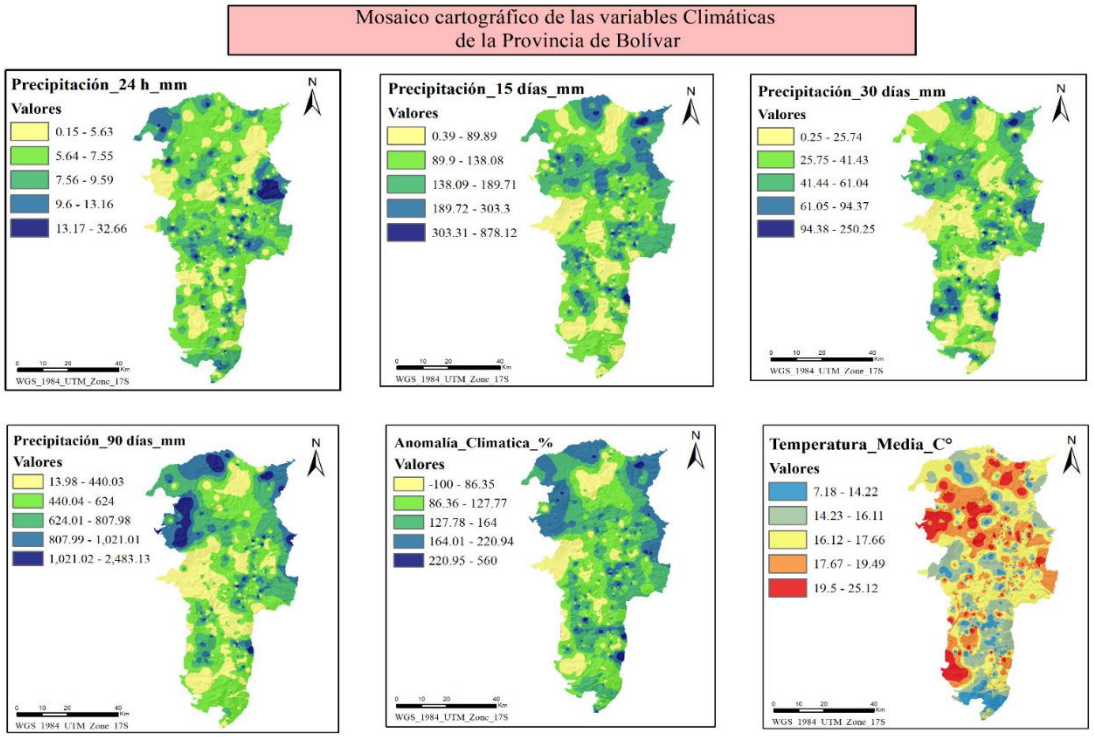
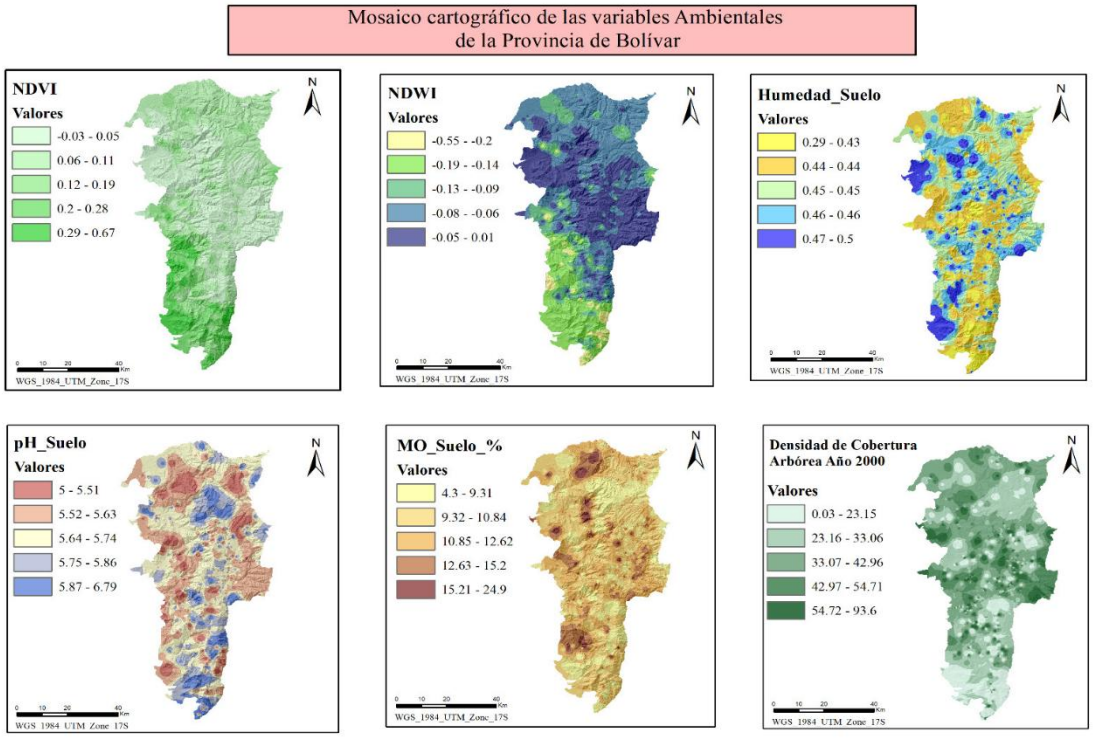


Figura 12

Mosaico cartográfico de las variables ambientales de la provincia Bolívar



4.1.3 Para el cumplimiento del objetivo específico 3.

Determinar el grado de correlación e influencia de las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en las áreas afectadas por deslizamientos de masa.

A partir de las variables caracterizadas en el objetivo específico 2, se desarrolló el proceso de depuración y análisis estadístico multivariado, con el propósito de determinar el grado de correlación entre las variables y seleccionar aquellas con mayor pertinencia estadística y físico-geográfico, climáticas, ambientales, para explicar la ocurrencia de deslizamientos de masa. El procedimiento se desarrolló en tres fases: análisis de normalidad y correlación de rangos de Spearman, Análisis de Componentes Principales y análisis de frecuencias de las variables categóricas.

4.1.3.1 Análisis de Normalidad y Correlación de Spearman

La prueba de Kolmogorov-Smirnov con corrección de Lilliefors arrojó una significancia de Sig. < 0,001 para la totalidad de variables continúas evaluadas, rechazando la hipótesis de distribución normal ($\alpha = 0,05$).

Para respaldar este resultado ante el tamaño muestral (n= 797), se evaluaron la asimetría y curtosis bajo el umbral de ±2 (George & Mallery, 2016), cuyos resultados descriptivos se despliegan en la tabla 10. Variables como pendiente, altitud y pH se mantuvieron normales dentro del rango. Sin embargo, se confirmó una severa no normalidad en las precipitaciones y críticamente en la Deforestación (asimetría de 7,25 y curtosis de 57,90), superando ampliamente el límite tolerado.

Estos resultados indican que las variables analizadas no siguen una distribución normal, por lo que se descartó el uso del coeficiente de correlación de Pearson, confirmando el uso del Coeficiente de correlación de rangos de Spearman como método apropiado para identificar y excluir variables redundantes.

El análisis de la matriz de correlaciones identificó dos casos de multicolinealidad severa: NDVI y NDWI (rho = -0,980) y Distancia a los ríos con Densidad de drenaje (rho = -0,827), procediendo al descarte definitivo de NDWI y Densidad de drenaje por redundancia de información respecto a variables físicamente más representativas.

Tabla 9

Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov

	Kolmogorov-Smirnov[a]		
	Estadístico	gl	Sig.
Vias_km	0,087	797	<0,001
TWI	0,106	797	<0,001
Pendiente_G°	0,065	797	<0,001
Dist_rio_m	0,129	797	<0,001
Dens_drena_km/km²	0,122	797	<0,001
Altitud_msnm	0,127	797	<0,001
pH_suelo	0,102	797	<0,001
MO_suelo (%)	0,092	797	<0,001
Pmax 24h(mm)	0,116	797	<0,001
Precip.3 días (mm)	0,190	797	<0,001
Precip.15 días(mm)	0,137	797	<0,001
Precip.90 días(mm)	0,073	797	<0,001
Anomalía (%)	0,051	797	<0,001
Temp. Media(°C)	0,083	797	<0,001
Hum_suelo (0-1)	0,315	797	<0,001
NDVI (-1 a 1)	0,233	797	<0,001
NDWI (-1 a 1)	0,191	797	<0,001
Deforest_5a (%)	0,406	797	<0,001
DCA _2000 (%)	0,098	797	<0,001

Nota. Elaborado por: Taris Anderson y Dayana Zaruma, 2026

Tabla 10

Estadísticos descriptivos

Estadísticos																			
		Vias_km	TWI	Pendiente_G°	Dist_rio_m	Dens_drena_km/km²	Altitud_msnm	pH_suelo	MO_suelo (%)	Pmax 24h (mm)	Precip. 3 días (mm)	Precip. 15 días (mm)	Precip. 90 días (mm)	Anomalía (%)	Temp. Media (°C)	Hum_suelo (0-1)	NDVI (-1 a 1)	NDWI (-1 a 1)	Deforest_5a (%)	DCA_2000 (%)
N	Válido	797	797	797	797	797	797	797	797	797	797	797	797	797	797	797	797	797	797	797
	Perdidos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Media		6,03	1,60	19,53	676,49	0,51	2195,56	5,68	10,61	7,33	37,85	133,25	590,53	131,78	16,73	0,44	0,10	-0,09	0,28	34,89
Desv. Desviación		2,10	2,71	10,75	558,28	0,38	952,65	0,27	3,76	5,06	42,95	121,84	385,34	80,00	4,08	0,03	0,14	0,09	1,19	26,51
Asimetría		-0,45	-0,46	0,65	1,46	0,32	-0,37	0,25	1,02	1,48	2,06	2,45	1,06	0,80	-0,04	0,56	1,65	-2,04	7,25	0,33
Curtosis		-0,25	0,12	-0,11	2,61	-0,35	-0,62	0,94	0,95	3,31	5,87	9,78	1,90	2,68	-0,78	0,00	1,73	5,17	57,90	-1,18
Mínimo		0,00	-5,97	1,34	0,18	0,00	107,67	5,00	4,30	0,10	0,10	0,10	11,31	-100,00	6,95	0,29	-0,03	-0,59	0,00	0,00
Máximo		10,50	9,84	54,76	3284,76	1,97	4381,20	6,80	24,90	38,76	339,36	957,47	2522,22	561,20	25,18	0,51	0,72	0,01	11,10	93,60

Figura 13

Matriz de Correlaciones de Rangos de Spearman entre variables continuas

Spearman	TWI	-0,002	1,000	-,121**	0,004	,105**	0,048	-0,012	-0,060	0,047	0,054	0,000	0,029	0,046	-0,049	-0,023	-0,037	0,028	-,071*	0,008
	Pendiente_G°	0,034	-,121**	1,000	0,040	-,147**	-0,002	0,006	0,043	-0,017	0,043	0,037	-0,005	-0,019	-0,022	-0,006	-0,012	0,013	-0,008	0,019
	Dist_rio_m	-0,053	0,004	0,040	1,000	-,827**	,188**	0,017	-0,044	-0,019	-0,069	-0,069	-0,065	-0,049	-0,017	-0,053	-,073*	0,055	-0,059	-0,066
	Dens_drena_km/km²	,109**	,105**	-,147**	-,827**	1,000	-0,034	-0,067	0,058	-0,015	0,057	0,053	0,044	0,048	0,042	,077*	-0,034	0,057	-0,020	0,028
	Altitud_msnm	0,060	0,048	-0,002	,188**	-0,034	1,000	-0,018	-0,020	0,032	-0,003	0,011	-0,002	0,037	0,017	0,010	-,286**	,301**	-,211**	-0,010
	pH_suelo	-0,030	-0,012	0,006	0,017	-0,067	-0,018	1,000	-,086*	-0,036	0,060	0,030	0,059	0,025	-,233**	-,204**	0,045	-,070*	0,029	-0,063
	MO_suelo (%)	-0,037	-0,060	0,043	-0,044	0,058	-0,020	-,086*	1,000	0,012	0,014	-0,034	-0,011	-0,021	0,024	0,021	-,086*	,083*	0,026	0,018
	Pmax 24h (mm)	-0,035	0,047	-0,017	-0,019	-0,015	0,032	-0,036	0,012	1,000	0,033	0,012	0,000	0,040	0,023	0,047	-0,013	0,018	-0,050	0,010
	Precip.	0,022	0,054	0,043	-0,069	0,057	-0,003	0,060	0,014	0,033	1,000	,575**	,421**	,453**	-0,014	-0,043	-0,058	0,048	0,054	,116**
	Precip. 15 dias (mm)	0,061	0,000	0,037	-0,069	0,053	0,011	0,030	-0,034	0,012	,575**	1,000	,536**	,610**	0,030	-0,023	-0,005	0,010	0,017	,106**
	Precip. 90 dias (mm)	0,062	0,029	-0,005	-0,065	0,044	-0,002	0,059	-0,011	0,000	,421**	,536**	1,000	,665**	-0,016	-0,022	0,000	0,003	-0,011	,076*
	Anomalia (%)	0,064	0,046	-0,019	-0,049	0,048	0,037	0,025	-0,021	0,040	,453**	,610**	,665**	1,000	0,019	-0,028	-0,028	0,032	-0,011	0,029
	Temp. Media (°C)	-0,016	-0,049	-0,022	-0,017	0,042	0,017	-,233**	0,024	0,023	-0,014	0,030	-0,016	0,019	1,000	,737**	-,394**	,437**	-,078*	0,038
	Hum_suelo(0-1)	0,001	-0,023	-0,006	-0,053	,077*	0,010	-,204**	0,021	0,047	-0,043	-0,023	-0,022	-0,028	,737**	1,000	-,334**	,367**	-,091**	0,020
	NDVI (-1 a 1)	0,020	-0,037	-0,012	-,073*	-0,034	-,286**	0,045	-,086*	-0,013	-0,058	-0,005	0,000	-0,028	-,394**	-,334**	1,000	-,980**	,240**	-0,058
	NDWI (-1 a 1)	-0,011	0,028	0,013	0,055	0,057	,301**	-,070*	,083*	0,018	0,048	0,010	0,003	0,032	,437**	,367**	-,980**	1,000	-,243**	,074*
	Deforest_5a (%)	-0,003	-,071*	-0,008	-0,059	-0,020	-,211**	0,029	0,026	-0,050	0,054	0,017	-0,011	-0,011	-,078*	-,091**	,240**	-,243**	1,000	,276**
	DCA_2000 (%)	-0,026	0,008	0,019	-0,066	0,028	-0,010	-0,063	0,018	0,010	,116**	,106**	,076*	0,029	0,038	0,020	-0,058	,074*	,276**	1,000

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Análisis: La matriz de correlaciones de Spearman indica que los coeficientes rho para pares de variables continuas, lo que muestra la asociación monótona entre ellas. Los valores de rho van de -1 a +1, lo que son valores que se acercan a ±1, evidenciando una relación fuerte, mientras que los que están cerca de 0 muestran independencia lineal. Un coeficiente positivo señala que las dos variables tienen una variación vinculada, en tanto que uno negativo muestra una relación inversa.

De acuerdo a los resultados de la matriz, se evidenciaron dos casos de multicolinealidad severa que comprometen la estabilidad de los modelos multivariados:

El NDVI y NDWI identificó un coeficiente rho = -0,980, mostrando una redundancia casi total, por lo tanto, se descartó el NDWI, por contener una información similar al NDVI en el contexto de deslizamientos, pero con menor solidez física para explicar la cobertura vegetal.

La correspondencia entre distancia a ríos y densidad de drenaje indicó un coeficiente de correlación rho = -0,827, mostrando que una mayor densidad de drenaje está asociada con una menor distancia a los cauces, sin embargo, se decidió conservar la variable de distancia a los ríos, que contiene una alta relación con la dinámica hidrológica y la erosión de laderas, descartando la densidad de drenaje.

El umbral de exclusión se estableció en $|rho| \geq 0,80$, para evitar redundancia informativa y asegurar la independencia de los predictores. Se verificó la significancia estadística de todos los coeficientes ($p < 0,001$), confirmando la validez de las relaciones observadas. Este proceso redujo el conjunto de 19 a 17 variables continuas, eliminando información duplicada y mejorando la eficiencia del análisis factorial.

4.1.3.2 Análisis de Componentes Principales

El ACP extrajo 7 componentes con autovalor mayor a 1 que explicaron el 61,3% de la varianza total. La evaluación de las comunalidades determinó que las variables de Distancia a los ríos (0,466), pH del suelo (0,447), Materia Orgánica (0,441) y Deforestación de los últimos 5 años (0,407) presentaron valores inferiores al umbral de 0,500, por lo que fueron excluidas del análisis debido a su baja varianza compartida con el sistema multivariado. La variable Pendiente (0,484) fue retenida por criterio teórico al constituir el factor condicionante primario de la estabilidad de laderas, dado que controla directamente la magnitud de las fuerzas gravitacionales sobre el material superficial (Varnes, 1984). La matriz de componentes sin rotar mostró que el Componente 1 agrupa las variables Climáticas, al registrar cargas factoriales elevadas en las variables de precipitación acumulada de 3 días (0,744), 15 días (0,861), 90 días (0,806) y anomalía climática (0,823) reflejando la influencia del régimen pluviométrico como factor detonante. El Componente 2 agrupó la temperatura media (0,889) y la humedad del suelo (0,894), representando las condiciones termo hídricas y el Componente 3 estableció la interacción geográfica entre la Altitud (0,767) y el NDVI (-0,703), reflejando el gradiente altitudinal-vegetación.

Tabla 11

Comunalidades de extracción 1

Comunalidades		
	Inicial	Extracción
Vias_km	1,000	0,767
TWI	1,000	0,656
Pendiente_G°	1,000	0,484
Dist_rio_m	1,000	0,466
Altitud_msnm	1,000	0,665
pH_suelo	1,000	0,447
MO_suelo (%)	1,000	0,441
Pmax 24h (mm)	1,000	0,539
Precip.3 días(mm)	1,000	0,575

Precip.15 días(mm)	1,000	0,748
Precip.90 días(mm)	1,000	0,669
Anomalía (%)	1,000	0,695
Temp. Media(°C)	1,000	0,808
Hum_suelo (0-1)	1,000	0,818
Deforest_5a (%)	1,000	0,407
DCA _2000 (%)	1,000	0,560
NDVI (-1 a 1)	1,000	0,680
Método de extracción: análisis de componentes principales.		

Nota. Elaborado por: Taris Anderson y Dayana Zaruma, 2026

Tabla 12

Varianza total explicada 1

Varianza total explicada						
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	2,681	15,773	15,773	2,681	15,773	15,773
2	1,894	11,142	26,915	1,894	11,142	26,915
3	1,436	8,446	35,361	1,436	8,446	35,361
4	1,228	7,222	42,583	1,228	7,222	42,583
5	1,095	6,440	49,022	1,095	6,440	49,022
6	1,077	6,336	55,358	1,077	6,336	55,358
7	1,013	5,957	61,315	1,013	5,957	61,315
8	0,975	5,733	67,048			
9	0,918	5,402	72,450			
10	0,894	5,260	77,710			
11	0,863	5,076	82,786			
12	0,764	4,491	87,278			
13	0,619	3,643	90,921			
14	0,590	3,468	94,389			
15	0,363	2,136	96,525			
16	0,332	1,953	98,478			
17	0,259	1,522	100,000			
Método de extracción: análisis de componentes principales.						

Nota. Elaborado por: Taris Anderson y Dayana Zaruma, 2026

Tabla 13

Matriz de componentes no rotados 1

Matriz de componente[a]							
	Componente						
	1	2	3	4	5	6	7
Vias_km	0,049	-0,036	0,001	0,099	0,456	-0,738	0,034
TWI	0,074	-0,058	0,138	-0,399	0,480	0,179	-0,454
Pendiente_G°	-0,016	-0,022	0,081	0,635	-0,158	-0,115	0,187
Dist_rio_m	-0,116	-0,152	0,480	-0,028	-0,241	0,170	0,335
Altitud_msnm	-0,048	0,010	0,767	0,100	0,202	-0,128	0,077
pH_suelo	0,046	-0,406	0,196	-0,016	-0,390	-0,009	-0,299
MO_suelo (%)	0,008	0,120	-0,066	0,374	-0,161	0,242	-0,445
Pmax 24h (mm)	0,078	0,062	0,123	-0,214	0,224	0,379	0,523
Precip. 3 días (mm)	0,744	-0,070	-0,018	0,102	0,029	0,070	0,015
Precip. 15 días (mm)	0,861	0,001	0,006	0,004	-0,057	-0,001	0,067
Precip. 90 días (mm)	0,806	-0,051	0,039	-0,065	-0,080	-0,058	-0,033
Anomalía (%)	0,823	-0,039	0,067	-0,062	-0,054	-0,067	0,016
Temp. Media (°C)	0,071	0,889	-0,002	-0,027	-0,089	-0,051	0,025
Hum_suelo (0-1)	0,064	0,894	-0,036	-0,036	-0,100	-0,044	-0,016
Deforest_5a (%)	0,065	-0,101	-0,136	0,545	0,265	0,076	0,028
DCA _2000 (%)	0,120	0,062	-0,111	0,340	0,448	0,462	0,002
NDVI (-1 a 1)	-0,017	-0,263	-0,703	-0,161	-0,048	-0,058	0,290
Método de extracción: análisis de componentes principales.							
a. 7 componentes extraídos.							

Nota. Elaborado por: Taris Anderson y Dayana Zaruma, 2026

4.1.3.3 Análisis de Variables Categóricas y Catálogo Final

El análisis de frecuencias determinó el descarte de Uso del Suelo (84,8% en clase 3) y Geomorfología (84,9% en clase 1) por comportarse como constantes estadísticas en ausencia de grupo de control. Se retuvieron Geología por su distribución binaria válida con 155 casos en la categoría minoritaria, y Loss_5a por sus 192 registros en la clase de pérdida forestal documentada, complementando la dinámica histórica de DCA_2000. El catálogo final quedó constituido por 15 variables,13 continuas y 2 categóricas que representan el sistema de factores condicionantes y detonantes con mayor capacidad explicativa estadística y coherencia físico-geográfica para caracterizar la ocurrencia de movimientos en masa en la provincia de Bolívar.

Tabla 14

Frecuencias Uso_suelo, Geomorfología

Uso_suelo					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	10	1,3	1,3	1,3
	2	67	8,4	8,4	9,7
	3	676	84,8	84,8	94,5
	4	2	0,3	0,3	94,7
	5	36	4,5	4,5	99,2
	6	6	0,8	0,8	100,0
	Total	797	100,0	100,0	

Geomorfología					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	677	84,9	84,9	84,9
	2	89	11,2	11,2	96,1
	3	26	3,3	3,3	99,4
	4	5	0,6	0,6	100,0
	Total	797	100,0	100,0	

Tabla 15

Frecuencias Geología y Loss_5a

Geología					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	155	19,4	19,4	19,4
	2	642	80,6	80,6	100,0
	Total	797	100,0	100,0	

Loss_5a (0/1)					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	0	605	75,9	75,9	75,9
	1	192	24,1	24,1	100,0
	Total	797	100,0	100,0	

Nota. Elaborado por: Taris Anderson y Dayana Zaruma, 2026

Tabla 16

Resumen final: variables descartadas y retenidas

Variable	**|**	**Filtro**	**Decisión**	**Razón**
NDWI	Continua	Spearman	Descartada	Colinealidad con NDVI (rho = -0,980)
Dens_drena_km/km²	Continua	Spearman	Descartada	Colinealidad con Dist_rio_m (rho = -0,827)
Dist_rio_m	Continua	ACP	Descartada	Comunalidad 0,466 < 0,500
pH_suelo	Continua	ACP	Descartada	Comunalidad 0,447 < 0,500
MO_suelo	Continua	ACP	Descartada	Comunalidad 0,441 < 0,500
Deforest_5a	Continua	ACP	Descartada	Comunalidad 0,407 < 0,500
Uso_suelo	Categórica	Frecuencias	Descartada	Dominancia 84,8% en clase 3
Geomorfología	Categórica	Frecuencias	Descartada	Dominancia 84,9% en clase 1
Vias_km	Continua	-	Retenida	Comunalidad 0,767
TWI	Continua	-	Retenida	Comunalidad 0,656
Pendiente_G°	Continua	-	Retenida	Criterio teórico - factor condicionante primario
Altitud_msnm	Continua	-	Retenida	Comunalidad 0,665
Pmax 24h	Continua	-	Retenida	Comunalidad 0,539
Precip. 3 días	Continua	-	Retenida	Comunalidad 0,575
Precip. 15 días	Continua	-	Retenida	Comunalidad 0,748
Precip. 90 días	Continua	-	Retenida	Comunalidad 0,669
Anomalía	Continua	-	Retenida	Comunalidad 0,695
Temp. Media	Continua	-	Retenida	Comunalidad 0,808
Hum_suelo	Continua	-	Retenida	Comunalidad 0,818

DCA_2000	Continua	-	Retenida	Comunalidad 0,560
NDVI	Continua	-	Retenida	Comunalidad 0,680
Geología	Categórica	-	Retenida	Distribución binaria válida 155 casos clase minoritaria
Loss_5a	Categórica	-	Retenida	192 casos clase minoritaria complementa DCA_2000

Elaborado por: Taris Anderson y Dayana Zaruma, 2026

4.1.3.4 Estructura Factorial Provincial

El ACP con rotación Varimax extrajo cinco componentes con autovalor mayor a 1, los cuales agrupan las 13 variables continuas según su comportamiento compartido (Tabla 17).

Primer componente. - Se agrupó las variables de precipitación acumulada de 3, 15 y 90 días junto con la anomalía climática, siendo la precipitación acumulada de 15 días la variable con mayor peso dentro del componente (carga = 0,861).

Segundo componente. - Se reunió la temperatura media y la humedad del suelo.

Tercer componente. - Se relacionó la altitud y el NDVI con cargas de signo opuesto, lo que indica que a mayor altitud corresponde menor cobertura vegetal y viceversa.

Cuarto componente. - Se conformó únicamente por la pendiente, actuando como factor topográfico independiente.

Quinto componente. - Se agrupó la distancia a vías y la cobertura forestal histórica (DCA_2000) con cargas de signo opuesto, lo que refleja que los sectores con mayor accesibilidad vial tienden a presentar menor conservación de cobertura forestal.

Es importante señalar que el umbral de comunalidad de 0,500 propuesto por (Hair et al., 2019), se aplicó exclusivamente en la extracción exploratoria inicial (Tabla 11) como criterio de depuración de variables. Una vez definido el conjunto final de 13 variables continuas, la segunda extracción (Tabla 17), responde a una matriz de correlación distinta, por lo que la variación de las comunalidades, incluyendo valores inferiores a 0,500 en

variables ya retenidas, no invalida su inclusión, sino que refleja la redistribución de varianza compartida propia de la nueva solución factorial rotada.

Tabla 17

Comunalidades de Extracción 2

Comunalidades		
	Inicial	Extracción
Vias_km	1,000	0,441
TWI	1,000	0,476
Pendiente_G°	1,000	0,608
Altitud_msnm	1,000	0,676
Pmax 24h (mm)	1,000	0,255
Precip. 3 días (mm)	1,000	0,567
Precip. 15 días (mm)	1,000	0,748
Precip. 90 días (mm)	1,000	0,663
Anomalía (%)	1,000	0,700
Temp. Media (°C)	1,000	0,858
Hum_suelo (0-1)	1,000	0,851
NDVI (-1 a 1)	1,000	0,648
DCA _2000 (%)	1,000	0,489
Método de extracción: análisis de componentes principales.		

Nota. Elaborado por: Taris Anderson y Dayana Zaruma, 2026

Tabla 18

Varianza total explicada 2

Varianza total explicada									
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción			Sumas de cargas al cuadrado de la rotación		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	2,669	20,530	20,530	2,669	20,530	20,530	2,659	20,453	20,453
2	1,793	13,789	34,319	1,793	13,789	34,319	1,766	13,581	34,034
3	1,331	10,236	44,555	1,331	10,236	44,555	1,355	10,424	44,457
4	1,132	8,705	53,259	1,132	8,705	53,259	1,134	8,721	53,178
5	1,055	8,119	61,378	1,055	8,119	61,378	1,066	8,200	61,378
6	0,985	7,574	68,952						
7	0,955	7,345	76,297						
8	0,862	6,631	82,928						
9	0,630	4,849	87,777						
10	0,627	4,825	92,602						
11	0,366	2,817	95,419						
12	0,335	2,574	97,994						
13	0,261	2,006	100,000						
Método de extracción: análisis de componentes principales.									

Nota. Elaborado por: Taris Anderson y Dayana Zaruma, 2026

Tabla 19

Matriz de componentes rotados 2

Matriz de componente rotado[a]					
	Componente				
	1	2	3	4	5
Vias_km	0,082	-0,045	0,128	-0,081	-0,639
TWI	0,049	-0,091	0,156	0,660	0,077
Pendiente_G°	0,015	-0,078	0,183	0,750	0,074
Altitud_msnm	-0,029	-0,091	0,807	-0,031	0,117
Pmax 24h (mm)	0,051	0,004	0,133	0,283	0,393
Precip. 3 días (mm)	0,742	-0,034	-0,010	-0,036	0,121
Precip. 15 días (mm)	0,861	0,047	-0,015	-0,025	0,053
Precip. 90 días (mm)	0,811	0,010	-0,012	0,049	-0,045
Anomalía (%)	0,829	0,014	0,022	0,080	-0,075
Temp. Media (°C)	0,018	0,924	0,051	-0,010	0,012
Hum_suelo (0-1)	0,010	0,922	0,029	-0,011	0,021
NDVI (-1 a 1)	-0,005	-0,181	-0,778	0,010	-0,098
DCA _2000 (%)	0,092	-0,020	0,030	-0,192	0,665

Método de extracción: análisis de componentes principales.
Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.[a]

a. La rotación ha convergido en 5 iteraciones.

Nota. Los signos de los Componentes 4 y 5 se invirtieron respecto a la salida de SPSS únicamente para facilitar la interpretación directa de las cargas (a mayor puntuación, mayor pendiente y mayor distancia a vías).

4.1.3.4.1 Correlación de Spearman por Cantón

El análisis de correlación de Spearman aplicado de forma independiente en cada cantón permitió identificar tanto un patrón común a nivel provincial como diferencias propias de cada territorio.

En Guaranda, San Miguel, Chillanes y Chimbo, el par Temperatura Media–Humedad del suelo registró las asociaciones más altas de cada cantón, con coeficientes que oscilaron entre 0,704 y 0,758, correspondientes al Componente Termo hídrico, cada cantón evidenció una segunda relación elevada, en Guaranda, la pendiente y la altitud presentaron una correlación negativa moderada (rho = -0,351),en San Miguel y Chimbo, la altitud y el NDVI mostraron correlaciones negativas considerables (rho = -0,610 y -0,674, respectivamente), asociadas al Componente Altitudinal-Vegetativo, y en Chillanes, la precipitación acumulada de 3 y 15 días alcanzó una correlación de 0,652.

De acuerdo a los cantones con menor número de registros, Echeandía presentó su coeficiente más alto entre la precipitación acumulada de 90 días y la anomalía climática (rho = 0,794), Caluma y Las Naves, registraron coeficientes elevados entre la temperatura media y el NDVI (rho = -0,850) y entre la anomalía climática y la cobertura forestal histórica (rho = 0,929), respectivamente, sin embargo, dado el reducido número de registros en ambos cantones, estos valores deben interpretarse con cautela.

A modo ilustrativo, se presentan las matrices de correlación de Guaranda y Echeandía, seleccionados por representar el mayor tamaño muestral de la provincia y el patrón de correlación más diferenciado respecto al resto de cantones, respectivamente. Las matrices de los cinco cantones restantes se encuentran en el Anexo 3.

Los mapas de calor de las Figuras 14 y 15 muestran los coeficientes de correlación de rangos de Spearman (ρ) entre variables continuas en Guaranda (n = 287) y Echeandía (n = 38). Los valores varían de -1 a +1, en la cual +1 indica una fuerte relación positiva, -1 una relación negativa fuerte y cerca de 0 sugiere ausencia de asociación.

Rojo Intenso: Representa correlaciones positivas altas

Azul intenso: Correlaciones negativas altas

Tonos claros: Indican correlaciones débiles. La significancia estadística se evaluó con un $\alpha = 0,05$, obteniendo $p < 0,001$, asegurando que las asociaciones no sean producto del azar.

A nivel provincial, se utilizó una matriz de correlaciones para depurar variables redundantes, estableciendo un paso de exclusión de $|\rho| \geq 0,80$, con este resultado se llevó a cabo el descarte de NDWI y Densidad de drenaje para evitar multicolinealidad, en las matrices cantonales, aunque no se eliminó ninguna variable, las correlaciones respaldan las decisiones, como la alta correlación negativa entre NDVI y NDWI en Guaranda. También se identificaron patrones específicos, como la correlación positiva entre Temperatura media y Humedad del suelo en Guaranda, y una elevada asociación entre Precipitación de 90 días y Anomalía climática en Echeandía.

Figura 14

Mapa de calor de correlaciones de Spearman, Guaranda (n = 287)

Correlaciones[a]														
		Vias_m	TWI	Pendiente_G°	Altitud_msnm	Pmax 24h (mm)	Precip. 3 días (mm)	Precip. 15 días (mm)	Precip. 90 días (mm)	Anomalía (%)	Temp. Media (°C)	Hum_suelo(0-1)	NDVI (-1 a 1)	DCA _2000 (%)
Rho de Spearman	Vias_m	1,000	-0,023	0,087	,182**	-0,099	-0,007	0,026	0,080	0,052	-0,107	-0,036	0,006	-0,070
			0,697	0,140	0,002	0,093	0,904	0,662	0,177	0,378	0,071	0,541	0,916	0,238
	TWI	-0,023	1,000	-,172**	,157**	0,095	0,010	-0,032	0,008	0,065	-0,009	0,006	-0,089	-0,092
		0,697		0,003	0,008	0,109	0,867	0,584	0,899	0,270	0,879	0,924	0,133	0,120
	Pendiente_G°	0,087	-,172**	1,000	-,351**	-0,046	0,015	-0,036	-0,057	-0,068	-0,068	-0,025	-0,017	0,018
		0,140	0,003		0,000	0,442	0,806	0,539	0,336	0,248	0,251	0,672	0,774	0,760
	Altitud_msnm	,182**	,157**	-,351**	1,000	0,078	0,018	0,077	0,028	,128*	0,072	0,057	-0,107	-0,033
		0,002	0,008	0,000		0,187	0,756	0,196	0,640	0,031	0,223	0,337	0,069	0,574
	Pmax 24h (mm)	-0,099	0,095	-0,046	0,078	1,000	-0,035	-0,070	-0,016	0,015	0,112	0,066	0,003	0,086
		0,093	0,109	0,442	0,187		0,554	0,236	0,790	0,794	0,059	0,268	0,965	0,147
	Precip. 3 días (mm)	-0,007	0,010	0,015	0,018	-0,035	1,000	,496**	,347**	,324**	-0,093	-,142*	0,057	0,104
		0,904	0,867	0,806	0,756	0,554		0,000	0,000	0,000	0,116	0,016	0,332	0,077
	Precip. 15 días (mm)	0,026	-0,032	-0,036	0,077	-0,070	,496**	1,000	,533**	,605**	-0,022	-,167**	0,037	0,041
		0,662	0,584	0,539	0,196	0,236	0,000		0,000	0,000	0,708	0,005	0,537	0,486
	Precip. 90 días (mm)	0,080	0,008	-0,057	0,028	-0,016	,347**	,533**	1,000	,702**	-0,079	-0,091	0,108	,163**
		0,177	0,899	0,336	0,640	0,790	0,000	0,000		0,000	0,183	0,125	0,068	0,006
	Anomalía (%)	0,052	0,065	-0,068	,128*	0,015	,324**	,605**	,702**	1,000	-0,029	-,147*	,127*	0,060
		0,378	0,270	0,248	0,031	0,794	0,000	0,000	0,000		0,623	0,013	0,031	0,312
	Temp. Media	-0,107	-0,009	-0,068	0,072	0,112	-0,093	-0,022	-0,079	-0,029	1,000	,704**	-,421**	0,044
		0,071	0,879	0,251	0,223	0,059	0,116	0,708	0,183	0,623		0,000	0,000	0,457
	Hum_suelo(0-1)	-0,036	0,006	-0,025	0,057	0,066	-,142*	-,167**	-0,091	-,147*	,704**	1,000	-,344**	0,035
		0,541	0,924	0,672	0,337	0,268	0,016	0,005	0,125	0,013	0,000		0,000	0,560
	NDVI (-1 a 1)	0,006	-0,089	-0,017	-0,107	0,003	0,057	0,037	0,108	,127*	-,421**	-,344**	1,000	-0,008
		0,916	0,133	0,774	0,069	0,965	0,332	0,537	0,068	0,031	0,000	0,000		0,899
	DCA _2000 (%)	-0,070	-0,092	0,018	-0,033	0,086	0,104	0,041	,163**	0,060	0,044	0,035	-0,008	1,000
		0,238	0,120	0,760	0,574	0,147	0,077	0,486	0,006	0,312	0,457	0,560	0,899	
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).														
*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).														
a. Canton = Guaranda														

Nota. Elaborado por Taris Anderson y Dayana Zaruma, 2026

Figura 15

Mapa de calor de correlaciones de Spearman, Echeandía (n = 38)

Correlaciones[a]														
		Vias_m	TWI	Pendiente_ G°	Altitud_msn m	Pmax 24h (mm)	Precip. 3 días (mm)	Precip. 15 días (mm)	Precip. 90 días (mm)	Anomalía (%)	Temp. Media (°C)	Hum_suelo(0-1)	NDVI (-1 a 1)	DCA _2000 (%)
Rho de Spearman	Vias_m	1,000	-0,216	0,222	0,118	-0,072	-0,005	0,270	0,214	0,130	-0,003	-0,045	0,163	-0,304
			0,193	0,180	0,480	0,666	0,976	0,101	0,198	0,436	0,988	0,790	0,328	0,063
	TWI	-0,216	1,000	-0,275	-0,024	0,052	0,262	-0,028	-0,169	-0,121	-0,089	-0,017	0,052	-0,060
		0,193		0,095	0,886	0,757	0,112	0,865	0,310	0,468	0,596	0,919	0,756	0,721
	Pendiente_ G°	0,222	-0,275	1,000	,433**	-0,039	0,265	0,234	0,105	0,226	0,132	0,013	-0,077	-0,009
		0,180	0,095		0,007	0,815	0,109	0,158	0,530	0,172	0,430	0,940	0,644	0,959
	Altitud_msn m	0,118	-0,024	,433**	1,000	0,298	0,207	0,181	-0,093	-0,080	-0,200	-,392*	,338*	0,183
		0,480	0,886	0,007		0,070	0,212	0,276	0,579	0,633	0,227	0,015	0,038	0,271
	Pmax 24h (mm)	-0,072	0,052	-0,039	0,298	1,000	0,164	0,095	-0,105	-0,156	-0,083	-0,074	0,063	-0,064
		0,666	0,757	0,815	0,070		0,326	0,569	0,529	0,350	0,621	0,658	0,707	0,703
	Precip. 3 días (mm)	-0,005	0,262	0,265	0,207	0,164	1,000	,536**	0,159	,339*	-0,032	-0,119	-0,028	0,259
		0,976	0,112	0,109	0,212	0,326		0,001	0,342	0,037	0,849	0,476	0,867	0,117
	Precip. 15 días (mm)	0,270	-0,028	0,234	0,181	0,095	,536**	1,000	,344*	,450**	0,082	-0,170	-0,138	0,264
		0,101	0,865	0,158	0,276	0,569	0,001		0,035	0,005	0,624	0,306	0,409	0,109
	Precip. 90 días (mm)	0,214	-0,169	0,105	-0,093	-0,105	0,159	,344*	1,000	,794**	,325*	0,152	-,398*	0,143
		0,198	0,310	0,530	0,579	0,529	0,342	0,035		0,000	0,046	0,361	0,013	0,392
	Anomalía (%)	0,130	-0,121	0,226	-0,080	-0,156	,339*	,450**	,794**	1,000	0,207	-0,044	-,427**	0,232
		0,436	0,468	0,172	0,633	0,350	0,037	0,005	0,000		0,213	0,795	0,007	0,162
	Temp. Media	-0,003	-0,089	0,132	-0,200	-0,083	-0,032	0,082	,325*	0,207	1,000	,660**	-,539**	-0,096
		0,988	0,596	0,430	0,227	0,621	0,849	0,624	0,046	0,213		0,000	0,000	0,565
	Hum_suelo(0-1)	-0,045	-0,017	0,013	-,392*	-0,074	-0,119	-0,170	0,152	-0,044	,660**	1,000	-,400*	-0,084
		0,790	0,919	0,940	0,015	0,658	0,476	0,306	0,361	0,795	0,000		0,013	0,617
	NDVI (-1 a 1)	0,163	0,052	-0,077	,338*	0,063	-0,028	-0,138	-,398*	-,427**	-,539**	-,400*	1,000	-0,183
		0,328	0,756	0,644	0,038	0,707	0,867	0,409	0,013	0,007	0,000	0,013		0,272
	DCA _2000 (%)	-0,304	-0,060	-0,009	0,183	-0,064	0,259	0,264	0,143	0,232	-0,096	-0,084	-0,183	1,000
		0,063	0,721	0,959	0,271	0,703	0,117	0,109	0,392	0,162	0,565	0,617	0,272	
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).														
*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).														
a. Canton = Echeandía														

Nota. Elaborado por Taris Anderson y Dayana Zaruma, 2026

4.1.3.4.2 Tipificación Territorial Perfil Factorial por Cantón

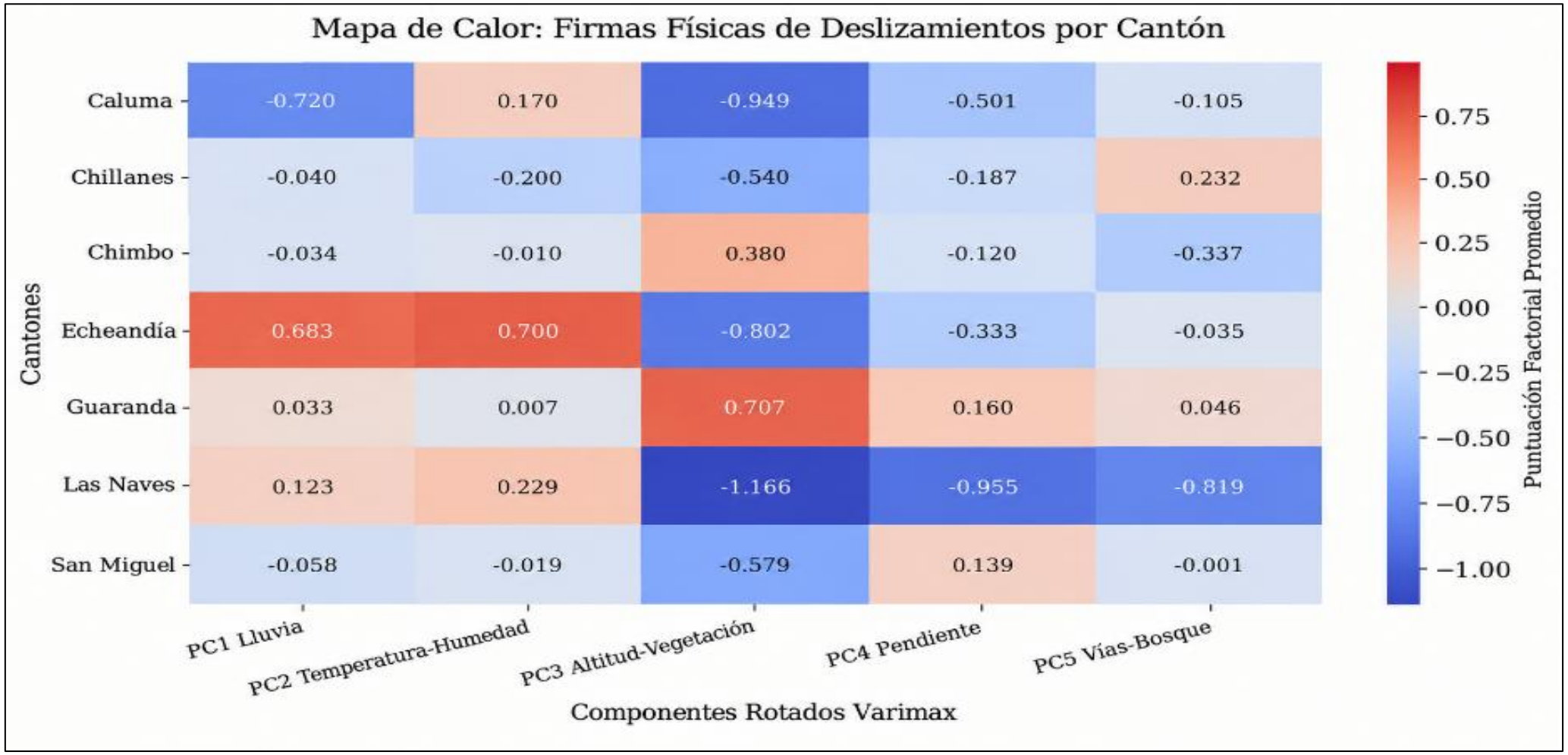
El cálculo del perfil factorial por cantón permitió identificar el componente con mayor peso en cada territorio (Figura 16).

Guaranda fue el cantón con puntuación positiva en el Componente Altitudinal-Vegetal (0,707), lo que evidenció que sus registros corresponden a zonas con predominio de mayor altitud y menor cobertura vegetal. A diferencia de San Miguel (-0,579), Chillanes (-0,540) y Caluma (-0,949), que registraron puntuaciones negativas en ese mismo componente, asociadas a zonas de menor altitud y mayor cobertura vegetal.

Echeandía presentó puntuaciones altas en los Componentes Pluviométrico (+0,683) y Termo hídrico (0,700), lo que refleja la predominancia de condiciones de humedad y temperatura en ese cantón. Por otro lado, el cantón Las Naves registró las puntuaciones más extremas de la provincia en los Componentes de Pendiente (-0,955) y Accesibilidad-Cobertura (-0,819), correspondiendo el valor negativo del Componente de Pendiente con la menor pendiente media de la provincia, dado su reducido tamaño muestral.

Figura 16

Mapa de Calor: Firmas Físicas de Deslizamientos por Cantón



Nota. Elaborado por: Taris Anderson y Dayana Zaruma, 2026

Para validar adecuadamente que estas diferencias numéricas y los patrones observados en el mapa de calor (Figura 16) son estadísticamente significativos y no un producto del azar o de la disparidad de las muestras, se aplicó la prueba inferencial no paramétrica de Kruskal-Wallis (Tabla 20 y Tabla 21)

Tabla 20

Rangos de la Prueba de Kruskal-Wallis por Cantón para los Cinco Componentes

Rangos			
Cantón		N	Rango promedio
REGR factor score 1 for analysis 1	Caluma	22	203,82
	Chillanes	147	375,52
	Chimbo	112	401,01
	Echeandía	38	573,32
	Guaranda	287	418,74
	Las Naves	7	442,86
	San Miguel	184	371,42
	Total	797	
REGR factor score 2 for analysis 1	Caluma	22	460,86
	Chillanes	147	353,67
	Chimbo	112	405,26
	Echeandía	38	553,13
	Guaranda	287	396,18
	Las Naves	7	472,43
	San Miguel	184	393,78
	Total	797	
REGR factor score 3 for analysis 1	Caluma	22	161,32
	Chillanes	147	258,34
	Chimbo	112	474,71
	Echeandía	38	172,16
	Guaranda	287	574,60
	Las Naves	7	119,86
	San Miguel	184	277,27
	Total	797	
REGR factor score 4 for analysis 1	Caluma	22	520,32
	Chillanes	147	443,80
	Chimbo	112	428,63
	Echeandía	38	471,66
	Guaranda	287	363,75
	Las Naves	7	593,43
	San Miguel	184	363,26

	Total	797	
REGR factor score 5 for analysis 1	Caluma	22	426,27
	Chillanes	147	348,07
	Chimbo	112	475,23
	Echeandía	38	409,39
	Guaranda	287	386,91
	Las Naves	7	596,71
	San Miguel	184	399,21
	Total	797	

Nota. Elaborado por: Taris Anderson y Dayana Zaruma, 2026

Tabla 21

Estadísticos de Prueba de Kruskal-Wallis para los Componentes Factoriales

Estadísticos de prueba[a,b]					
	REGR factor score 1 for analysis 1	REGR factor score 2 for analysis 1	REGR factor score 3 for analysis 1	REGR factor score 4 for analysis 1	REGR factor score 5 for analysis 1
H de Kruskal-Wallis	44,142	25,254	356,046	33,472	25,814
gl	6	6	6	6	6
Sig. asin.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
a. Prueba de Kruskal Wallis					
b. Variable de agrupación: Cantón					

Nota. Variable de agrupación: Cantón.

La prueba estadística evidenció diferencias estadísticas relevantes en los cinco componentes que se analizaron, con una significación asintótica de $p < 0,001$ en todos los casos, estos resultados muestran que las características climáticas, físico-geográficas y ambientales presentaron diferencias entre los cantones, a pesar de las variaciones en el tamaño de las muestras. Por el cual, las diferencias identificadas entre cantones constituyen la base de la tipificación territorial desarrollada en la síntesis comparativa.

4.1.3.4.3 Caracterización Descriptiva de las Condiciones Registradas por Cantón

El análisis descriptivo de la Pendiente demostró que Guaranda registró la media más alta de la provincia (22,4°, rango 2,3°-54,8°), en correspondencia con su puntuación positiva en el componente altitudinal-vegetal. Las Naves (8,0°, rango 2,5°-20,6°) y Caluma (11,7°, rango 2,6°-28,0°) registraron las medias más bajas, en correspondencia con sus puntuaciones negativas en dicho componente. El resto de cantones presentó valores intermedios dentro del rango provincial (1,3°-54,8°).

En cuanto a la Precipitación acumulada de 15 días, Echeandía registró la media más alta de la provincia (177,0 mm, rango 8,5-497,9 mm), resultado coherente con su puntuación positiva en el componente pluviométrico. Caluma presentó la media más baja (70,4 mm, rango 4,4-183,3 mm), mientras que los cantones restantes se mantuvieron próximos al promedio provincial (133,3 mm). Dado que esta variable registró la mayor carga factorial dentro del componente pluviométrico (0,861), su seguimiento periódico se plantea como indicador prioritario para el monitoreo hidrológico provincial, permitiendo representar de forma eficiente el comportamiento del bloque de variables pluviométricas.

Tabla 22

Estadísticos descriptivos de Pendiente y Precipitación acumulada 15 días por cantón

Cantón	N	Pendiente media (°)	Pendiente mín-máx (°)	Precip. 15d media (mm)	Precip. 15d mín-máx (mm)
Guaranda	287	22,4	2,3 - 54,8	137,1	0,1 - 655,8
San Miguel	184	19,3	1,3 - 51,4	132,6	0,6 - 808,9
Chillanes	147	17,9	2,7 - 46,8	125,3	0,4 - 957,5
Chimbo	112	18,5	4,0 - 46,6	131,5	0,96 - 859,4
Echeandía	38	14,7	1,7 - 36,7	177	8,5 - 497,9
Caluma	22	11,7	2,6 - 28,0	70,4	4,4 - 183,3
Las Naves	7	8	2,5 - 20,6	140,4	21,6 - 390,0
Total	797	19,5	1,3 - 54,8	133,3	0,1 - 957,5

Nota. Elaborado por: Taris Anderson y Dayana Zaruma, 2026

Tabla 23

Tabla resumen final por cantón

Cantón	N	Par dominante Spearman	rho	Componente factorial predominante	Pendiente media (°)	Precip. 15d media (mm)
Guaranda	287	Temp. Media Hum_suelo	0,704	Altitudinal-Vegetal (0,707)	22,4	137,1
San Miguel	184	Temp. Media Hum_suelo	0,75	Altitudinal-Vegetal (-0,579)	19,3	132,6
Chillanes	147	Temp. Media Hum_suelo	0,758	Altitudinal-Vegetal (-0,540)	17,9	125,3
Chimbo	112	Temp. Media Hum_suelo	0,748	Sin predominio claro	18,5	131,5
Echeandía	38	Precip. 90d Anomalía	0,794	Pluviométrico (0,683)	14,7	177
Caluma	22	Temp. Media NDVI	-0,85	Altitudinal-Vegetal (-0,949)	11,7	70,4
Las Naves	7	Anomalía DCA_2000	0,929	Pendiente (-0,955)	8	140,4

Nota. Elaborado por: Taris Anderson y Dayana Zaruma, 2026

Para el cantón Chimbo, ningún componente factorial superó el umbral de magnitud de 0,40, por lo que no se identifica un componente predominante.

4.1.3.5 Discusión de Resultados

El Análisis de Componentes Principales (ACP) y la correlación de Spearman revelaron que los deslizamientos de masa en la provincia de Bolívar son resultado de múltiples factores climáticos, físicos-geográficos y ambientales, descartando la influencia de una sola variable. Se extrajeron cinco componentes principales que sintetizan la información de trece variables continúas analizadas, lo que reduce la redundancia estadística y facilita la interpretación de los factores condicionantes.

El componente pluviométrico es fundamental en la estructura, ya que combina variables de precipitación acumulada de 3, 15 y 90 días, destacándose la de 15 días con una carga factorial de 0,861. Esto permite considerar a la lluvia como el principal factor de deslizamientos en la provincia Bolívar, al incrementar la presión de poros y reducir la resistencia al corte de los materiales, disminuyendo así la estabilidad de las laderas. (Wicki, Waldner, & Stähli, 2020). Este comportamiento concuerda con reportes de estudios realizados en zonas montañosas, en los que se manifiesta que la precipitación acumulada presente es el principal detonante de movimiento en masa. (Glade, 1960)

El análisis del componente termo hídrico reveló una fuerte relación entre la temperatura media y la humedad del suelo, con cargas factoriales superiores a 0,92. Esto se corroboró con la correlación de Spearman, observándose mayores incidencias en los cantones de Guaranda, San Miguel, Chillanes y Chimbo. Esta relación sugiere que la humedad del suelo está influenciada por las condiciones térmicas locales, afectando la estabilidad de las laderas. (Zhao, y otros, 2020)

El análisis del componente altitudinal-vegetativo muestra una relación inversa entre la altitud y el índice de vegetación (NDVI) en la provincia Bolívar, donde un aumento en la elevación conlleva a una disminución de la cobertura vegetal en áreas afectadas por deslizamientos. Esto resalta cómo las características fisiográficas influyen en el comportamiento de la vegetación y su contribución a la estabilidad del terreno. (Ngandam Mfondoum, y otros, 2021)

La pendiente es un componente independiente en la estructura factorial, evidenciando su propio factor geomorfológico. A pesar de tener una carga factorial menor que las variables pluviométricas, su independencia estadística confirma que la inclinación del terreno es un factor clave para los deslizamientos de masa.

Sugiere una asociación territorial entre proximidad vial y cobertura histórica dentro de los registros analizados en los deslizamientos. Se observa que áreas con mayor accesibilidad tienen mínima cobertura forestal, lo que puede comprometer la estabilidad de las laderas por cambios en el uso del suelo. (Ray & Jacobs , 2007)

De acuerdo al análisis ejecutado por cantón, se evidenció que, pese a que existe un patrón general para toda la provincia, cada sitio presenta condiciones únicas que modifican la importancia relativa de las variables analizadas.

Echeandía mostró un predominio del componente pluviométrico, Guaranda presentó mayor influencia del componente altitud-vegetativo y Las Naves evidenció su predominio del componente que se relaciona a la pendiente y la accesibilidad.

Por último, la unificación de la correlación de Spearman, el Análisis de Componentes Principales y los perfiles factoriales facilitó la caracterización de la influencia relativa de las variables estudiadas de manera objetiva, dando como resultado una base estadística firme para la identificación de factores que condicionan la ocurrencia de deslizamientos de masa en la provincia Bolívar.

4.2 Comprobación de hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis planteada en el presente estudio, se estableció un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, bajo el siguiente criterio se consideró que, cuando el valor de significancia (Sig.) obtenido en las pruebas estadísticas aplicadas resulta inferior a 0,05, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis de investigación (H_1); caso contrario, se acepta H_0.

H_1: Existe una correlación estadísticamente significativa entre las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en las áreas afectadas por la ocurrencia de deslizamientos de masa en la provincia Bolívar durante el periodo 2010-2025.

H_0: No existe una correlación estadísticamente significativa entre las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en las áreas afectadas por la ocurrencia de deslizamientos de masa en la provincia Bolívar durante el periodo 2010-2025.

A partir de este criterio, se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov con corrección de Lilliefors confirmó que las variables continuas no presentaron una distribución normal (Sig. < 0,001). Por esta razón, se utilizó el coeficiente de correlación de rangos de Spearman, como prueba no paramétrica para la hipótesis planteada.

La matriz de correlaciones de Spearman (Figura 10) evidenció múltiples asociaciones estadísticamente significativas entre las variables analizadas, destacando los pares NDVI-NDWI (rho = -0,980; p<0,01), Distancia a ríos-Densidad de drenaje (rho = -0,827; p<0,01), Temperatura Media-Humedad del suelo (rho = 0,737; p<0,01) y precipitación 15 días-precipitación 90 días (rho = 0,665; p<0,01). De acuerdo con estos resultados, se aplicó el Análisis de Componentes Principales, con el fin de sintetizar las relaciones observadas entre las variables, identificando cinco componentes con autovalores mayores a 1, que en conjunto explicaron el 61,38% de la varianza total acumulada (Tabla 18).

Dado que los coeficientes de correlación de Spearman resultaron de manera estadísticamente significativa ($p<0,01$), rechazando H_0 y aceptando H_1, existiendo una correlación estadísticamente relevante entre variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en las áreas afectadas por la ocurrencia de deslizamientos de masa en la provincia de Bolívar 2010-2025.

Como análisis complementario para reducir la dimensionalidad y evaluar el comportamiento territorial de estas variables, se aplicó el Análisis de Componentes Principales y posteriormente la prueba de Kruskal-Wallis, en el cual el ACP explica el 61,38 % de la varianza total (Tabla 18), mientras que la prueba de Kruskal-Wallis, confirmó diferencias relevantes $p< 0,001$ en el comportamiento de las variables de los cantones evaluados (Tabla 21)

Tabla 24

Resumen de comprobación de hipótesis

Prueba estadística	Valor	Sig.	Decisión
Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors)	-	<0,001	Justifica Spearman
Correlación de Spearman	rho entre -0,980 y 0,737 (pares destacados)	<0,01	Significativo
ACP (rotación Varimax)	5 componentes, 61,38% varianza	-	Estructura no aleatoria
Kruskal-Wallis (por cantón)	H = 44,142 / 25,254 / 356,046 / 33,472 / 25,814	0,000	Significativo

Nota. Elaborado por: Taris Anderson y Dayana Zaruma, 2026

A partir de los resultados consolidados en la Tabla 24, y dado que el coeficiente de correlación de Spearman arrojó valores de significancia inferiores a 0,05 (Sig. < 0,001), se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis de investigación (H_1). Se concluye que existe una correlación estadísticamente significativa entre las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales en las áreas afectadas por la ocurrencia de deslizamientos de masa en la provincia Bolívar durante el periodo 2010-2025.

CAPÍTULO V

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Se sistematizó y validó un inventario histórico de 797 registros de deslizamientos de masa en la provincia de Bolívar entre 2010 y 2025. Se depuraron registros anómalos y se verificó su localización mediante el análisis multitemporal con imágenes satelitales, asegurando la confiabilidad de la base de datos utilizada en la investigación
- El análisis de frecuencias confirma la estacionalidad de los deslizamientos, concentrándose el 81,4 % de los eventos entre febrero y abril, con marzo como el mes más afectado (35,6 %). Los años 2017, 2022, 2023 y 2025 representan más del 50 % de los deslizamientos, posiblemente relacionados con episodios climáticos extremos y lluvias intensas. Geográficamente, los cantones Guaranda (36 %), San Miguel (23,1 %), Chillanes (18,4 %) y Chimbo (14,1 %) abarcan el 91,6 % de los eventos, siendo Chillanes, Guanujo y Balsapamba los más recurrentes, asociados a zonas de transición climática y relieve.
- La caracterización multifactorial de las zonas afectadas por deslizamientos se realizó mediante la extracción de 23 variables geoespaciales, creando una base de datos que resalta la variabilidad ambiental. Se observó una amplia gama en la precipitación, con máximos de 957 mm en 15 días en Chillanes, inclinaciones de hasta 54,8° en Guaranda y altitudes desde 107 hasta 4381 m s.n.m , indicando que los deslizamientos ocurren en zonas subtropicales y páramos andinos bajo diversas condiciones fisiográficas.

- La identificación de factores condicionantes y detonantes a través de análisis multivariado revela cinco componentes factoriales que explican el 61,4 % de la varianza total:
  - Precipitación acumulada y anomalía climática 20,5 %.
  - Temperatura media y humedad del suelo 13,8 %.
  - Relación negativa entre altitud y NDVI 10,2 %.
  - Pendiente como factor condicionante 8,7 %.
  - Relación negativa entre distancia a vías y cobertura forestal, sugiriendo mayor vulnerabilidad a deslizamientos en áreas más intervenidas. 8,1 %

- La prueba de Kruskal-Wallis evidenció diferencias estadísticas relevantes ($p < 0,001$) en cinco componentes entre los cantones de la provincia de Bolívar, los resultados del análisis de componentes principales permitieron identificar perfiles diferenciados en la distribución de las variables analizadas, demostrando que Guaranda presentó un valor positivo en el componente relacionado con altitud y vegetación (+0,707); Echeandía registró el valor más elevado en el componente pluviométrico más alto (+0,683); mientras que Las Naves presentó valores elevados negativos en el componente topográfico (-0,955) y de accesibilidad y cobertura (-0,819). Estos perfiles permiten caracterizar estadísticamente los cantones de acuerdo con el comportamiento conjunto de las variables que fueron consideradas en el estudio.
- La utilización de información obtenida mediante sensores remotos, sistemas de información geográfica y técnicas de estadística multivariada, permitió analizar y caracterizar la relación entre las variables climáticas, físico-geográficas y ambientales que fueron consideradas en los registros de deslizamientos del periodo 2010-2025. El análisis identificó relaciones y agrupaciones entre variables, de manera particular entre las variables

pluviométricas, humedad del suelo, temperatura, altitud y vegetación, esto aporta evidencia estadística significativa sobre el comportamiento de las variables analizadas que constituye la interpretación territorial en las áreas afectadas por la ocurrencia de deslizamientos de masa en la provincia de Bolívar, dentro del alcance establecido por la investigación.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda que las instituciones encargadas de la gestión del riesgo mantengan un inventario actualizado de deslizamientos, con la integración de eventos recientes a través de protocolos para recolectar información georreferenciada y validación espacial.
- Se sugiere que los Gobiernos Autónomos Descentralizados de Bolívar incorporen los resultados de esta investigación para actualizar los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, centrándose en las áreas con un elevado historial de deslizamientos.
- Se recomienda que futuras investigaciones incluyan variables como uso del suelo, cortes de taludes, expansión vial, actividades agrícolas y crecimiento urbano para entender mejor los factores que influyen en la ocurrencia de deslizamientos.
- Es recomendable la mejora de la coordinación entre instituciones de gestión del riesgo, planificación territorial e infraestructura pública, para el intercambio de información geoespacial actualizada, facilitando así a la toma de decisiones teniendo en cuenta la evidencia científica.
- Replicar la metodología de esta investigación en provincias del Ecuador con características fisiográficas similares para crear inventarios homogéneos y mejorar la comprensión de los factores que influyen en la ocurrencia de deslizamientos a nivel nacional.

6. Bibliografía

Wicki, A., Waldner, P., & Stähli, M. (2020). Assessing the potential of soil moisture measurements for regional landslide early warning. *Springer Nature Link, 17*, 1881-1896. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-020-01400-y

ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2020). *LEY ORGÁNICA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO DE DESASTRES.* Quito. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://procuraduria.utpl.edu.ec/NormativaExterna/LEY%20ORG%C3%81NICA%20PARA%20LA%20GESTI%C3%93N%20INTEGRAL%20DEL%20RIESGO%20DE%20DESASTRES.pdf

Brabb, E., & Harrod, B. (1989). Libro. En E. Brabb, B. Harrod, & R. y. Brookfield (Ed.), *Deslizamientos de tierra: Alcance e importancia económica: Actas del 28º Simposio Internacional del Congreso Geológico sobre Deslizamientos de Tierra* (pág. 349). Obtenido de https://pubs.usgs.gov/publication/70197547

Cargua, C., Espin, R., Valencia, B., Simbaña, M., Araujo, S., Ocampos, A., & Cornejo , C. (2024). Análisis de susceptibilidad a deslizamientos empleando el proceso de jerarquía analítica en una carretera Amazónica del Ecuador. *LA GRANJA:REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA, 39*(1), 283. doi:https://doi.org/10.17163/lgr.n39.2024.07

Chancusig López, M. B., Yauli Chicaiza, G. E., López Castillo, G., Andrade Valencia, J. A., & López Velasco, J. E. (2024). *Estadística Descriptiva Aplicada en Python para la Investigación Científica en Ciencias Sociales y Educativas.* (E. I. Latinoamericana, Ed.) Obtenido de https://www.google.com.ec/books/edition/Estad%C3%ADstica_Descriptiva_Aplicada_en_Pyt/Ph0QEQAAQBAJ?hl=es&gbpv=0&kptab=overview

Clavijo Rivera, A. J., & Malavé Hernández, J. A. (2020). *Evaluación de amenazas por deslizamientos asociados a factores hidroclimáticos en sectores de Loja y Manabí.* Obtenido de https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/54871/1/T-70666%20CLAVIJO%20-%20MALAVE.pdf

CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR. (2008). Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

Department of Environment, Science and Innovation, Queensland. (2020). *Terrain slope. WetlandInfo.* Obtenido de https://wetlandinfo.des.qld.gov.au/wetlands/ecology/aquatic-ecosystems-natural/estuarine-marine/itst/terrain-slope/

ELSEVIER. (2024). SOC. INT. DES TECHNIQUES DE LIAISON ENTRE VEHICLE ET TERRAIN THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR TERRAIN–VEHICLE SYSTEMS. *JOURNAL OF TERRAMECHANICS, 111*, 41-64. doi:https://doi.org/10.1016/j.jterra.2023.09.003

GAD Santa Isabel. (2020). *Evaluación de los deslizamientos en el centro poblado Santa Isabel.* Obtenido de https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2845/1/A7084-Evaluacion_deslizamientos_Santa_Isabel-Amazonas.pdf

García, Amelia Calonge. (2010). La geología que emociona,¿ qué geología enseñamos, que geología necesitamos y que geología divulgamos? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 18*, 141-149.

Glade, T. (1960). Modelling landslide-triggering rainfalls in different regions. *Annales de géomorphologie: Supplementband, 122*, 63. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Thomas-Glade/publication/283145594_Modelling_landslide-trigering_rainfalls_in_different_regions_of_New_Zealand_-_the_soil_water_status_model/links/56d9e4b908aee1aa5f8296d3/Modelling-landslide-trigering-rainfalls-in-dif

Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda. (2025). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.* Obtenido de https://www.guaranda.gob.ec/newsiteCMT/el-canton/

Guevara S., S., Laborde D., J., & Sánchez Ríos , G. (s.f.). *Los Tuxtlas. El paisaje de la sierra.* México : Liliana Sánchez Vallejos. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Javier-Laborde/publication/388385550_LOS_TUXTLAS_El_paisaje_de_la_sierra/links/67954ece8311ce680c37b719/LOS-TUXTLAS-El-paisaje-de-la-sierra.pdf#page=164

Hailu, S., Tsegay Deribew, K., Teferi, E., Badasa Moisa, M., Reta Roba, Z., Sishah Dagne, S., & Woldestsadik, M. (22 de Noviembre de 2024). Spatial assessmet employing fusion logistic regression anda frequency ratio models to monitor landslide susceptibility in

the upper Blue Nile basin of Ethiopia: Muger watershed. *Environ Syst Res, 13*. doi:https://doi.org/10.1186/s40068-024-00382-3

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis.* (E. Edition, Ed.) Cengage Learning EMEA. Obtenido de https://es.scribd.com/document/1019508269/Multivariate-Data-Analysis-8th-Edition-Edition-Joseph-F-Hair-Ready-to-Read

IBM. (s.f.). *¿Qué es el PCA (análisis de componentes principales)?* Obtenido de https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/principal-component-analysis

Medina, C., & Astudillo, J. (2009). *UBICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES DESLIZAMIENTOS DE LA VÍA MACARÁ-SABIANGO DE LA PROVINCIA DE LOJA.* Obtenido de https://dspace.unl.edu.ec/server/api/core/bitstreams/a153a49f-7cb9-49ce-91d4-7c139ddf3845/content

Ngandam Mfondoum, A., Wokwenmendam Nguet, P., Mefire Mfondoum, J., Tchindjang, M., Hakdaoui, S., Cooper, R., . . . Moudioh, C. (2021). Adapting sudden landslide identification product (SLIP) and detecting real-time increased precipitation (DRIP) algorithms to map rainfall-triggered landslides in Western Cameroon highlands (Central-Africa). *Springer Nature Link, 8*. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1186/s40677-021-00189-9?utm_source=chatgpt.com

NINABANDA TENELEMA, L. A. (2022). *NIVEL DE RIESGO DE TALUDES EN ZONAS CRÍTICAS DE AMENAZA DE MOVIMIENTO EN MASA DE LA VÍA GALLO RUMI A RIOBAMBA DEL CANTÓN GUARANDA, BOLÍVAR – ECUADOR.* Obtenido de https://dspace.ueb.edu.ec/bitstreams/d6ec4e18-f4f3-413a-b72b-b90e98e398f9/download

Paucar Camacho, J. A. (2016). *Modelo para la articulación de la Gestión del Riesgo en el proceso de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Guaranda / Ecuador (2016).* Valencia . Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=119195

Prefectura de Bolívar. (2023-2027). Obtenido de https://www.bolivar.gob.ec/historia/

PROCESS SENSING TECHNOLOGIES. (s.f.). *DMYEROMEGA Uniting our expertise,range,and service.* Obtenido de https://www.processsensing.com/es-es/blog/que-es-la-humedad.htm

Puente Sotomayor, F., Mustafa, A., & Teller, J. (20 de Agosto de 2021). Landslide Susceptibility Mapping of Urban Areas: Logistic Regression and Sensitivity Analysis

applied to Quito, Ecuador. *Geoenvironmental Disasters*(8). doi:https://doi.org/10.1186/s40677-021-00184-0

Ray, R., & Jacobs , J. (2007). Relationships among remotely sensed soil moisture, precipitation and landslide events. 211-222. doi:10.1007/s11069-006-9095-9

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (s.f.). Recuperado el 12 de 12 de 2025, de https://dle.rae.es/temperatura

Ríos García, I. A., Choto Morocho, M. A., & Morales Morocho, D. A. (2024). *Análisis de la variabilidad temporal de precipitación y temperatura en la microcuenca del río Alao.* Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba : Riobamba. Obtenido de http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/13945

Seingier, G., Espejel, I., & Fermán Almada, J. L. (2009). Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. *Investigación Ambiental, 1*(1), 54-59. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/67870124/Cobertura_vegetal_y_marginacin_en_la_cos20210704-4017-ikgyc2.pdf?1738417272=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCobertura_vegetal_y_marginaci

Servicio Nacional de Estudios Territoriales. (2014). *Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres.* Obtenido de https://www.eird.org/esp/revista/No5_2002/pagina29.htm

Suarez Diaz, J. (1998). *DESLIZAMIENTOS Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN ZONAS TROPICALES.* Universidad Industrial de Santander . Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://recordcenter.sgc.gov.co/B23/662_19MemExPl_373_Las_Acacias/Documento/pdf/Anexo1_InveRecoBibl/Su%C3%A1rez%20(1998).%20Deslizamientos%20y%20estabilidad%20de%20taludes%20en%20zonas%20tropicales.pdf

Suarez, J. (16 de Abril de 2009). *Scribd.* Obtenido de Scribd: https://es.scribd.com/doc/131088529/Deslizamientos-Analisis-Geotecnico-Jaime-Suarez

Toaza Mantilla , F. M. (2025). *Negocios Informales y Atención al Cliente en la Parroquia Febres Cordero, Sector Cisne 2, Ciudad de Guayaquil.* Tesis, Jipijapa. Obtenido de https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/10170/1/Toaza%20Mantilla%20Franklin%20Miguel.pdf

Torres Torres, J. J., Mena Mosquera, V. E., & Rueda Sánchez , M. N. (2022). Influencia de la altitud sobre la estructura, composición florística y carbono de bosques del Chocó. *Cuadernos de Investigación UNED, 14*(1). doi:https://doi.org/10.22458/urj.v14i1.3746

Universidad de Caldas. (2013). Obtenido de https://estabilidad-de-taludes7.webnode.es/news/marco-teorico/

Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: A review of principles and practice.* París. Obtenido de https://es.scribd.com/document/762213171/Varnes-1984-Landslide-hazard-zonation-a-review-of-principles-and-practice

Viñas, J. M. (29 de 10 de 2023). Lluvias intensas.Apunte sobre su intensidad. pág. 3. Obtenido de www.divulgameteo.es

Xu, Z., Che, A., & Zhou, H. (2024). Evaluación de la susceptibilidad sísmica de deslizamientos usando análisis de componentes principales y máquina de vectores de soporte. *Sci Rep*(14), 3734. doi:https://doi.org/10.1038/s41598-023-48196-0

Zhao, B., Dai, Q., Zhuo, L., Zhu, S., Shen, Q., & Han, D. (2020). Assessing the potential of different satellite soil moisture products in landslide hazard assessment. *SciencieDirect*.

7. Anexos

7.1. Anexo N º. 1. Extensión de la matriz (797 registros) inventario completo.

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1GNlOfAUfcMSuHc5UlblERM8Q9t9HeC3I/edit?usp=sharing&ouid=114835434538456552075&rtpof=true&sd=true

7.2. Anexo N º. 2. Detalle de las variables para cada cantón

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1GNlOfAUfcMSuHc5UlblERM8Q9t9HeC3I/edit?usp=sharing&ouid=114835434538456552075&rtpof=true&sd=true

7.3. Anexo N º. 3. Matrices de correlación de los siete cantones de la provincia Bolívar.

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1EH0WjkUKzHmOMgZZzEp8u4sveJA8LHHh/edit?usp=sharing&ouid=114835434538456552075&rtpof=true&sd=true