

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera
Ambiental e Ingeniero Ambiental*

TRABAJO EXPERIMENTAL:

**“ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS POR
MEDIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO, EN LA
PARROQUIA BULÁN, CANTÓN PAUTE”**

AUTORES:

FABIOLA MARISOL SEGARRA ZEAS

DANIEL ALEJANDRO MONTALVÁN ORELLANA

TUTORA:

ING. ESTEFANÍA CARIDAD AVILÉS SACOTO, Ph.D.

CUENCA - ECUADOR

2022

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Fabiola Marisol Segarra Zeas con documento de identificación N° 0106148166 y Daniel Alejandro Montalván Orellana con documento de identificación N° 0106631880, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ZONIFICACIÓN DE LA SUCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS POR MEDIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, EN LA PARROQUIA BULÁN, CANTÓN PAUTE”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera Ambiental e Ingeniero Ambiental*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En la aplicación a lo determinado en la ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero del 2022.



Fabiola Marisol Segarra Zeas

C.I. 0106148166



Daniel Alejandro Montalván Orellana

C.I. 0106631880

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ZONIFICACIÓN DE LA SUCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS POR MEDIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, EN LA PARROQUIA BULÁN, CANTÓN PAUTE”**, realizado por Fabiola Marisol Segarra Zeas y Daniel Alejandro Montalván Orellana obteniendo el *Trabajo Experimental*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero del 2022.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Estefanía Caridad Avilés Sacoto', written over a set of horizontal lines.

Ing. Estefanía Caridad Avilés Sacoto, Ph.D

C.I. 0104551395

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Fabiola Marisol Segarra Zeas con documento de identificación N° 0106148166 y Daniel Alejandro Montalván Orellana con documento de identificación N° 0106631880, autores del trabajo de titulación: **“ZONIFICACIÓN DE LA SUCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS POR MEDIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, EN LA PARROQUIA BULÁN, CANTÓN PAUTE”**, certificamos que el total del contenido del *Trabajo Experimental*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, enero del 2022.



Fabiola Marisol Segarra Zeas

C.I. 0106148166



Daniel Alejandro Montalván Orellana

C.I. 0106631880

DEDICATORIA

Fabiola,

La presente Tesis fruto de grandes sacrificios y esfuerzos, se la dedico en primera instancia a DIOS, por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

De manera especial a mi Madre **BETSABETH** por estar a mi lado en todo momento siendo mi apoyo incondicional, motor de vida y ejemplo a seguir, gracias a su infinita paciencia a lo largo de mi carrera profesional, he podido llegar hasta esta instancia.

A mi Padre **EDGAR** por inculcarme que el estudio es un pilar fundamental en la vida y brindarme su apoyo en todo momento.

A mis hermanos: **RAFAEL, XAVIER, ALFREDO**, por sus sabios consejos, por estar presentes en todo momento de mi vida, siendo un apoyo fundamental y ejemplo a seguir.

A mis cuñadas **JEMILY, NEROLY Y VERÓNICA** por sus consejos, y por estar presentes en mi vida, a mis sobrinos: **CARLA, ENRIQUE, CRISTIAN, SEBASTIÁN, EDUARDO, NICOLÁS Y FERNANDO** por su infinito amor, y motivarme a ser una mejor persona cada día.

A mis compañeros de salón que me apoyaron en los buenos y malos momentos a lo largo de mi carrera, en especial a **CARLITA, ELIZABETH, GABRIELA y FIDEL**.

A mi tutora Ing. **ESTEFANÍA AVILÉS** que con su paciencia y esfuerzo me ha sabido guiar durante la investigación;

A todos/as mis profesores/as que me han sabido con amor y paciencia transmitirme sus conocimientos haciendo posible la culminación de mi carrera profesional y obtención de mi título.

DEDICATORIA

Daniel,

El presente trabajo va dedico a mis padres, por estar siempre conmigo, brindándome todo el apoyo; lo que a echo posible lograr la culminación de mis estudios y la elaboración de esta tesis como paso final a la obtención de mi título académico.

También deseo dedicar este trabajo a mi hermana quien supo darme ánimos y fortaleza para no desmayar en el trayecto.

AGRADECIMIENTO

Fabiola,

Mi eterno agradecimiento a DIOS por brindarme las facultades tanto físicas como intelectuales para poder finalizar mi carrera profesional.

Mi más sincero agradecimiento a mi Tutora Ing. ESFEFANÍA AVILÉS por su enorme apoyo durante la realización de mi Tesis.

A todos/as mis profesores/as por impartirme sus conocimientos haciendo posible la culminación de mi carrera profesional y obtención de mi título.

Daniel,

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme dado la sabiduría y la suficiente fuerza que me ha permitido ir forjando mi futuro.

A la Universidad Politécnica Salesiana por haberme acogido en sus aulas durante todo este arduo camino de preparación.

A la Doctora Estefanía Caridad Avilés Sacoto, quien sin escatimar esfuerzo alguno nos ha dedicado su valioso tiempo en el asesoramiento técnico y académico para hacer posible este trabajo.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Ambiental por haberme compartido sus conocimientos, y de manera especial al Ingeniero Omar Chicaiza, quien a más de impartir su cátedra académica me inculco valores para un buen desenvolvimiento diario.

Por último, le expreso mi agradecimiento a mi compañera Fabiola Segarra por el acompañamiento y dedicación puesto en la elaboración de esta tesis.

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo como finalidad determinar por medio de sistemas de información geográfico, la susceptibilidad a deslizamientos de la Parroquia Bulán, utilizando la metodología Mora Vahrson y la metodología de Evaluación Multicriterio. Estas metodologías permiten clasificar la susceptibilidad a deslizamientos por medio del análisis de seis variables: pendiente, litología, geomorfología, sismicidad, cobertura vegetal y registro de lluvias intensas en un lapso de 24 horas asociado a un periodo de retorno de 100 años. Se utilizó el programa de sistemas de información geográfica Arc Map 10.5, para el análisis de la información y la elaboración de los mapas. Se determinó que en el área de estudio predomina un relieve con pendientes escarpadas, el factor litológico revela condiciones geológicas de alta susceptibilidad, intensidad sísmica y lluvias máximas presentan valores constantes para toda la parroquia. Los resultados de la metodología Mora Vahrson muestran que la zonificación más ampliamente distribuida es la de “Muy Alta” con un porcentaje de 35,43% equivalente a 1375,06 ha; en cuanto a la metodología Multicriterio muestra que la zonificación más ampliamente distribuida es la “Moderada” con un 32,55% equivalente a 1253,16 ha. En lo que respecta a la validación de resultados, la metodología Mora Vahrson fue más eficaz con un porcentaje de confiabilidad del 85%.

Palabras Clave: Sistemas de Información Geográfico, susceptibilidad, deslizamientos, Mora Vahrson, Multicriterio.

ABSTRACT

The purpose of this research project was to determine through geographic information systems, the susceptibility to landslides of the Bulán Parish, using the Mora Vahrson methodology and the Multicriteria Evaluation methodology. These methodologies allow to classify the susceptibility to landslides by means of the analysis of six variables: slope, lithology, geomorphology, seismicity, vegetation cover and record of intense rains in a period of 24 hours associated with a return period of 100 years. The geographic information systems program Arc Map 10.5 was used for the analysis of the information and the elaboration of the maps. It was determined that in the study area a relief with steep slopes predominates the lithological factor reveals geological conditions of high susceptibility, seismic intensity and maximum rains present constant values for the entire parish. The results of the Mora Vahrson methodology show that the most widely distributed zoning is Very High with a percentage of 35.43% equivalent to 1375.06 ha; Regarding the Multicriterial methodology, it shows that the most widely distributed zoning is Moderate with 32.55% equivalent to 1253.16 ha. Regarding the validation of results, the Mora Vahrson methodology was more effective with a reliability percentage of 85%.

Key Words: Geographic Information Systems, susceptibility, landslides, Mora Vahrson, Multicriterial.

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	14
II.	MARCO TEÓRICO	15
2.1.	Deslizamientos	15
2.1.1.	Factores que inciden en los deslizamientos	15
2.1.2.	Clasificación de los deslizamientos	15
2.1.3.	Causas de los movimientos de masas por deslizamientos.....	16
2.1.4.	Consecuencias de un deslizamiento	17
2.1.5.	Probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento	17
2.1.6.	Zonificación de la susceptibilidad.....	18
2.1.7.	Métodos para zonificar la susceptibilidad	18
2.2.	Sistemas de información Geográfica	27
2.2.1.	Álgebra de mapas.....	28
III.	MARCO LEGAL	29
3.1.	Instrumentos Legales	29
3.1.1.	Constitución de la República del Ecuador	29
3.1.2.	Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas	29
3.1.3.	Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	30
IV.	METODOLOGÍA	31
4.1.	Localización de la zona de estudio.....	31
4.2.	Descripción de las variables	32
4.2.1.	Pendiente.....	32
4.2.2.	Litología	34
4.2.3.	Geomorfología	35
4.2.4.	Cobertura vegetal y uso de suelo	36
4.2.5.	Precipitación	42
4.2.6.	Sismicidad	44
4.3.	Aplicación de la Metodología Mora Vahrson.....	44
4.3.1.	Factores condicionantes.....	44
4.3.2.	Factores desencadenantes	49

4.3.3.	Generación del Mapa de Susceptibilidad a Deslizamiento	51
4.4.	Aplicación de la Metodología de Evaluación Multicriterio	52
4.4.1.	Designación de Pesos a las variables	52
4.5.	Generación de propuestas para prevenir y mitigar los impactos ocasionados por los deslizamientos	59
4.5.1	Análisis FODA	59
4.5.2	Medidas	60
V.	RESULTADOS	62
5.1.	Análisis de las pendientes	62
5.2.	Análisis del Uso Y Cobertura del Suelo	63
5.3.	Análisis de Precipitación	64
5.4.	Análisis Geológico	65
5.5.	Análisis Geomorfológica (Litología)	66
VI.	VALIDACIÓN DE RESULTADOS	73
VII.	DISCUSIONES	76
VIII.	CONCLUSIONES	77
IX.	RECOMENDACIONES	78
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
XI.	ANEXOS	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Mapa de Delimitación de la Zona de Estudio, Parroquia Bulán	31
Ilustración 2 Mapa de Pendientes de la Parroquia Bulán, cantón Paute.....	33
Ilustración 3 Mapa Litológico de la Parroquia Bulán, cantón Paute	34
Ilustración 4 Mapa Geomorfológico de la Parroquia Bulán, cantón Paute	35
Ilustración 5 Esquema General de corrección	37
Ilustración 6 Imagen Multiespectral del sensor Landstat 8.	38
Ilustración 7 ROIS creados en el software ENVI 5.3.....	39
Ilustración 8 Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal.....	41
Ilustración 9 Mapa de precipitaciones Máximas en 24 horas, de la parroquia Bulán, cantón Paute.....	43
Ilustración 10 Factores Condicionantes.....	48
Ilustración 11 Factores Desencadenantes o Disparo	50
Ilustración 12 Índice de susceptibilidad a deslizamientos.....	51
Ilustración 13 Distribución de Pendientes en Función del Área.	62
Ilustración 14 Distribución del Suelo en Función del Área.....	63
Ilustración 15 Comportamiento de las precipitaciones en Función del Área.	64
Ilustración 16 Distribución Geológica en Función del Área.	65
Ilustración 17 Distribución Litológica en Función del Área.	66
Ilustración 18 Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos de la Parroquia Bulán, Cantón Paute, mediante la metodología Análisis Multicriterio	68
Ilustración 19 Gráfico de área porcentual de Susceptibilidad	70
Ilustración 20 Mapa de susceptibilidad a Deslizamientos de la parroquia Bulán, cantón Paute.....	71
Ilustración 21 Porcentaje de áreas susceptibles a deslizamientos de la Parroquia Bulán, Cantón Paute; mediante la metodología Mora Vahrson.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Causas que provocan los Deslizamientos.....	16
Tabla 2 Valores de pendiente.....	21
Tabla 3 Grado de susceptibilidad de la litología.....	21
Tabla 4 Influencia de los rangos de precipitación sobre los deslizamientos	23
Tabla 5 Índice de precipitación.....	23
Tabla 6 Generación de la intensidad sísmica en base a la escala Mercalli Modificada.....	24
Tabla 7 Valoración del parámetro precipitaciones	25
Tabla 8 Distribución de la susceptibilidad a deslizamientos.	25
Tabla 9 Rangos de pendientes presentes en la Parroquia Bulán, cantón Paute	32
Tabla 10 Cobertura del Área de Estudio.....	38
Tabla 11 Información Básica de las Regiones de interés creadas.....	39
Tabla 12 Estaciones Meteorológicas utilizadas para el análisis de las precipitaciones	42
Tabla 13 Clasificación y valoración de las pendientes de la parroquia Bulán, cantón Paute.	45
Tabla 14 Clasificación y valoración del grado de susceptibilidad de la Litología presente en la Parroquia Bulán, cantón Paute.....	45
Tabla 15 Valoración del grado de susceptibilidad de las diferentes Geomorfología presentes en la parroquia Bulán, cantón Paute.	46
Tabla 16 Valoración del grado de susceptibilidad acorde a la cobertura vegetal presente en la presente en la parroquia Bulán, cantón Paute	47
Tabla 17 Valoración de las precipitaciones presentes en la parroquia Bulán.....	49
Tabla 18 Ponderación de la intensidad sísmica presente en la parroquia Bulán, cantón Paute ...	50
Tabla 19 Escala de medida para la matriz SAATY	53
Tabla 20 Determinación de Pesos por el Método SAATY	54
Tabla 21 Resultados del cálculo.....	56
Tabla 22 Superposición de Mapas con la herramienta Weighted Overlay	57
Tabla 23 Medidas.....	60
Tabla 25 Áreas susceptibles a deslizamientos acorde a la litología y geomorfología presente en la parroquia Bulán.....	67
Tabla 26 Resumen de Resultados	69
Tabla 27 Áreas Susceptibles a deslizamientos de la Parroquia Bulán Mediante la Metodología Mora Vahrson	72
Tabla 28 Valoración del Índice de Kappa.....	74
Tabla 29 Análisis del Índice Kappa para el Mapa de deslizamientos (Metodología Multicriterio)	74
Tabla 30 Análisis del Índice Kappa Para el Mapa de Deslizamientos (Metodología Mora Vahrson).....	75

I. INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos son uno de los fenómenos con las consecuencias más devastadoras que ocurren a lo largo del mundo. El mapeo del deslizamiento de tierras constituye una medida para mitigar el riesgo y para contar con una planificación segura para la respuesta a emergencias (Yilmaz, 2010).

Actualmente, en diferentes partes del mundo se presentan diversos tipos de desastres naturales como movimientos de masa, tornados, sismos, expulsiones volcánicas, los cuales ponen en riesgo la vida y el sustento económico de las personas susceptibles. Debido al acelerado incremento poblacional y al cambio climático, la presencia de magnos desastres naturales será más frecuentes (GOAL, 2015).

La combinación, tanto de factores condicionantes como desencadenantes, ha reportado un notable incremento de procesos de deslizamientos a lo largo de estos años en el Ecuador, causando afecciones a la infraestructura de vías y viviendas (Correa Campues, 2013).

En los últimos años la parroquia Bulán, perteneciente al cantón Paute de la provincia del Azuay, se ha visto perjudicada por la presencia de grandes deslizamientos, los cuales han ocasionado destrucción sobre la infraestructura vial y viviendas; incidiendo negativamente en la economía de la parroquia.

Se considera de gran relevancia la identificación de las zonas susceptibles a deslizamientos en la zona de estudio, ya que la misma presenta una topografía irregular con pendientes inclinadas, lo cual conllevaría a que las autoridades del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) parroquial, implementen medidas necesarias en cuanto a planes de prevención y mitigación.

El presente estudio tiene como finalidad la identificación de las zonas susceptibles a deslizamientos en la parroquia Bulán, mediante la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), a través de una metodología cualitativa (Mora – Vahrson) y semicuantitativa de evaluación multicriterio. Estos resultados ayudarán a determinar las medidas de prevención y mitigación en las zonas altamente susceptibles a deslizamientos en la parroquia.

II. MARCO TEÓRICO

A continuación, en este capítulo, presentamos una breve revisión teórica de conceptos que se requieren para abordar de mejor manera la temática de interés. Comenzando con un análisis enfocado al concepto de deslizamientos. De la misma manera se tratará de explicar teóricamente los métodos que se emplearan para desarrollar el trabajo experimental en cuestión, culminando con una breve contextualización de los SIG.

2.1. Deslizamientos

Se consideran una catástrofe de carácter geológico, el cual incide negativamente sobre la vida humana e infraestructura. Además, este tipo de desastres de manera general se componen de movimientos de masas rocosas, residuos, tierra que están dirigidos laderas abajo; los mismos que provocan alteraciones tanto en la estructura del terreno como en los ecosistemas (Suárez, 2009).

2.1.1. Factores que inciden en los deslizamientos

Son capaces de modificar de manera interna o externa el terreno, condicionando el equilibrio de un talud o ladera, estos factores son los condicionantes y desencadenantes (Maldonado, 2016).

Los factores condicionantes o comúnmente llamados pasivos definen las características del terreno, los cuales se clasifican en geología, geomorfología, geotecnia, litología, morfología y litología (Pérez Santos, 2019). Por otro lado, los factores desencadenantes son elementos externos que actúan negativamente sobre la estabilidad del terreno, los cuales están determinados por los factores ambientales (Pérez Santos, 2019)

2.1.2. Clasificación de los deslizamientos

Caída: Es el deslizamiento de tierra en pendientes empinadas; en donde el material desciende rápidamente a través del aire por caída o rebote (Cherres, 2013).

Volcamiento: Consiste en el giro de una masa de suelo o roca, con dirección debajo del centro de gravedad del material desplazado (Suárez, 2009).

Deslizamiento rotacional: Se produce cuando la superficie de falla se encuentra curvado hacia afuera del cuerpo, con una rotación por encima del centro de gravedad (Cherres, 2013).

Deslizamiento traslacional: Es un desplazamiento de suelo o roca a lo largo de superficies sin pendiente o ligeramente inclinadas (Suárez, 2009).

Flujo de tierra: Son deslizamientos de materiales finos con un cierto porcentaje de agua, permitiendo el arrastre de la cobertura vegetal (Cherres, 2013).

Flujo de lodo: Se producen cuando existen altos niveles de precipitación, ocasionando que la tierra y la vegetación se debiliten (Cherres, 2013).

Reptación: Son ligeras alteraciones de la masa de suelo o roca in situ por acción de la gravedad (Suárez, 2009).

2.1.3. Causas de los movimientos de masas por deslizamientos

Entre las principales causas que producen los deslizamientos se podría mencionar tanto a la acción del hombre como de la naturaleza.

Tabla 1 Causas que provocan los Deslizamientos.

CAUSAS	
Actividades antrópicas	Actividades naturales
Tala de vegetación arbórea y arbustiva	Fuertes lluvias
Inapropiada manera de sembrar	Movimientos sísmicos
Inadecuado diseño de carretera	Movimientos de placas
Inadecuadas construcciones de viviendas en las faldas de la montaña	

Nota. Obtenido del artículo denominado Deslizamientos en el Ecuador.

Fuente: (Cherres, 2013)

- ***Causas Intrínsecas***

Las causas internas que provocan los deslizamientos son directamente proporcionales a: la acción del agua subterránea, variación de la cobertura vegetal y del nivel freático (Arias Torres, 2012).

- ***Causas externas***

Las causas externas son directamente proporcionales a las actividades antrópicas como excavaciones, actividades de construcción, factores climáticos, manejo y uso de tierra (Arias Torres, 2012).

2.1.4. Consecuencias de un deslizamiento

Entre las principales consecuencias que ocasionan los deslizamientos están las pérdidas de las vidas humanas, los daños estructurales, inundaciones, perdidas de las zonas de producción (Prado, 1992).

2.1.5. Probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento

La susceptibilidad es la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento en donde los niveles de susceptibilidad están distribuidos espacialmente, lo que ayuda a retrasar temporalmente la ocurrencia de estos, identificando dónde y cuándo ocurrirá la amenaza (Osorio Marin, 2019). Esta se define también como la semejanza entre el ambiente físico y los elementos del terreno como son: geología, litología, geomorfología, etc. (Navarro Vidal, 2012).

2.1.5.1. Factores para la identificación de las zonas susceptibles

- **Uso de suelo**

El uso de suelo hace referencia a la utilidad que se le da a la tierra en el sector rural del país. Podemos encontrar las siguientes posibilidades: cultivos de ciclo corto, cultivos de ciclo largo, pastos, vegetación arbórea, arbustiva e infraestructura (INEC, 2012).

- **Pendiente**

La pendiente es la inclinación del suelo con respecto al punto más alto de elevación, tomando en cuenta el desnivel existente entre el plano horizontal con el plano tangencial (Lopez Santoyo, 2015).

2.1.6. Zonificación de la susceptibilidad

Es la geolocalización de zonas en donde ocurren los deslizamientos, mediante el análisis de los factores pasivos en base a los sensores remotos, trabajo in situ y recopilación de eventos históricos (Pavón & Garzón, 2014).

- ***Mapa de susceptibilidad a deslizamientos***

Este tipo de mapas indican la susceptibilidad relativa del terreno a sufrir deslizamientos, a diferencia de un mapa de amenaza, este contiene diferente tipo de información relacionada con la probabilidad temporal de ocurrencia frente a un evento detonante (Guamán, 2012).

Muchos de los llamados “mapas de amenaza” son verdaderamente “mapas de susceptibilidad” debido a la dificultad de encontrar diferente tipo de información temporal para la evaluación de la amenaza (Guamán, 2012).

El mapa de susceptibilidad permite desarrollar una aproximación del nivel de peligrosidad por desbroce de tierra a partir de los parámetros que presentan mayor influencia en las condiciones de inestabilidad (Guamán, 2012).

- **Mapas inventario**

Zonas que son o han sido afectadas por procesos de movimientos de masa (Gonzales de Vallejo, 2006).

- **Mapas de factores**

Áreas en las que convergen ciertos factores que influyen en la conducta de los procesos en una determinada zona o región, aunque estos no se hayan presentado hasta los tiempos actuales, los mismos pueden ser afectadas en un futuro (Gonzales de Vallejo, 2006).

En este último punto, la metodología se basa en la elaboración de mapas temáticos de los factores condicionantes y en la superposición de estos, estableciéndose el grado de susceptibilidad en función del peso asignado a cada uno de los factores (Ponce López, 2017).

2.1.7. Métodos para zonificar la susceptibilidad

Según lo mencionado por Abril Lorena, no existe dentro del marco de las investigaciones, una metodología única para zonificar la susceptibilidad a deslizamientos, sin embargo, establece los métodos cualitativos, cuantitativos y semicuantitativos (Abril Abril, 2011).

2.1.7.1. *Métodos cualitativos*

Estos métodos se fundamentan en la utilización de términos descriptivos, tomando en cuenta el análisis de expertos en cuanto a la identificación de las variables y pesos asignados, dentro de estos métodos se encuentra la metodología de Mora Vahrson (1991), Método Heurístico de Anbalangar y Singh (1996), Método Heurístico de Van Westen (1997) y metodología de Mora Vaharson (1993).

- **Metodología de Mora Vahrson**

Elaborado por Sergio Mora y Wilhelm Guenther Vahrson en el año 1991, seguidamente en 1993 Mora y Vahrson analizaron las fallas de taludes en Centroamérica, proponiendo así un método que predice la amenaza en sectores con alto potencial a presentar deslizamiento. En el caso de existir los factores detonantes como altas precipitaciones, considerable actividad sísmica, o una combinación de ambos, incluyendo factores como relieve relativo, condiciones litológicas y humedad (Mora Chinchilla, 2004).

- **Índice de susceptibilidad a deslizamientos**

El índice de susceptibilidad al deslizamiento es el resultado de la multiplicación de los elementos pasivos y de la acción de los factores disparo (Ecuación 1) (Barrantes Castillo, Barrantes Sotela, & Nuñez Roman, 2011).

$$S = P \times D$$

Ecuación 1. Grado de susceptibilidad a Deslizamientos

Fuente: (Barrantes Castillo, Barrantes Sotela, & Nuñez Roman, 2011)

Donde:

S = susceptibilidad a deslizamientos

P= producto de los parámetros pasivos

D= factor de disparo de los parámetros activos

Los factores pasivos comprenden los siguientes elementos (Ecuación 2)

$$P = Pl \times Pp \times Pg \times Ph \times Pcv$$

Ecuación 2. Producto de la combinación de los elementos pasivos

Fuente: (Barrantes et al., 2011)

Donde:

Pl = Susceptibilidad litológica

Pp= pendiente

Pg= valor del parámetro geomorfología

Ph= humedad del suelo

Pcv= cobertura vegetal

El factor detonante comprende los siguientes elementos (Ecuación 3)

$$D = Ds + Dll$$

Ecuación 3. Factor Disparo

Fuente: (Barrantes Castillo, Barrantes Sotela, & Nuñez Roman, 2011)

Donde:

Ds = factor disparo por la sismicidad

Dll = disparo por lluvia

Con la sustitución de los parámetros, la ecuación completa se expresa de la siguiente manera (Ecuación 4):

$$S = (Pl \times Pp \times Pg \times Ph \times Pcv) \times (Ds + Dll)$$

Ecuación 4. Grado de susceptibilidad a Deslizamientos

Fuente: (Barrantes Castillo, Barrantes Sotela, & Nuñez Roman, 2011)

La combinación de todos los factores expresados en la Ecuación 4 no se encuentran en una escala única de rangos del indicador, pues éstos deben acomodarse a la situación de cada zona de estudio (Barrantes Castillo, Barrantes Sotela, & Nuñez Roman, 2011)

Descripción de los factores de susceptibilidad

- **Factor Pendiente**

El rango de pendiente es directamente proporcional a la probabilidad que ocurra un deslizamiento, puesto que a medida que aumenta la pendiente, el riesgo a deslizamientos es mayor (Chaverri Molina, 2016). Los autores Mora & Vahrson para determinar el factor pendiente (Sr) los han clasificado de acuerdo con los valores que caracterizan a las pendientes en función al grado de inclinación (Chaverri Molina, 2016).

Tabla 2 Valores de pendiente

Pendiente (%)	Inclinación (°)	Calificativo	Factor Pendiente (Sr)
00,0 - 07,5	00,00 - 04,29	Muy bajo	0
07,6 – 17,5	04,30 – 09,93	Bajo	1
17,6 – 30,0	09,94 – 16,70	Moderado	2
30,1 – 50,0	16,71 – 26,57	Medio	3
50,1 – 80,0	26,58 – 38,66	Alto	4
80,0<	38,66 <	Muy Alto	5

Fuente: (Mora & Vahrson, Determinación "A priori" de la amenaza de deslizamientos en grandes áreas utilizando indicadores morfodinámicos, 1993)

- **Factor Litológico**

Es un elemento que describe la composición de las diferentes formas de suelo, basándose en los niveles de alteración, firmeza e impregnación; estos elementos ayudan a enlazar la estructura geológica, incidiendo directamente sobre los deslizamientos (Chaverri Molina, 2016).

Tabla 3 Grado de susceptibilidad de la litología

Litología	Características	Nivel de susceptibilidad	de Valor factor (Si)	
Aluviones:	gruesos, permeables, compacto, con nivel freático bajo.	Sanos con poca o ninguna	Bajo	1
Calizas:	duras, permeable.	meteorización,		
Intrusivos:	poco fisurados, bajo	resistencia a la		

nivel freático. Basaltos, andesita, ignimbritas y similares: sanas, permeables y poco fisuradas. Rocas metamórficas: sanas, poco fisuradas, nivel freático bajo	corte elevada, fisuras sanas sin rellenos.		
Rocas sedimentarias: poco alteradas, estratificación maciza (diamétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas o metamórficas: medianamente fisuradas o alteradas, nivel freático a profundidades intermedias	Resistencia a la corte media a elevada, fracturas cizállales	Moderado	2
Rocas sedimentarias, rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas, tobas poco soldadas o metamórficas: medianamente alteradas. Coluvios, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados: drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos.	Resistencia al corte: moderada a media, fracturación importante	Medio	3
Aluviones fluvio-lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente, con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.	Resistencia al corte: moderada a baja.	Alto	4

Fuente: (Mora & Vahrson, 1991)

- **Humedad del suelo**

Este es un indicador que evalúa el efecto de la acumulación de agua en el suelo sobre las zonas en riesgo a deslizamientos. Además, el contenido de agua se da en base a la diferencia de los datos de precipitación media mensual y la evapotranspiración potencial (Chaverri Molina, 2016).

Tabla 4 Influencia de los rangos de precipitación sobre los deslizamientos

Promedio mensual de precipitaciones (mm/mes)	Valor
<125	0
125 – 250	1
250<	2

Fuente: (Mora & Vahrson, 1993)

Como se puede visualizar en la Tabla 4, a cada mes del año se le asigna un valor, cuyo resultado variara de 0 a 24, como se observa en la tabla 5 (Chaverri Molina, 2016).

Tabla 5 Índice de precipitación

Valor total del índice de precipitación	Clasificación	Factor (S_h)
0 – 4	Muy bajo	1
5 – 9	Bajo	5
10 – 14	Medio	3
15 – 19	Alto	4
20 – 24	Muy Alto	5

Fuente: (Mora & Vahrson, 1993)

Descripción de los factores detonantes

- **Intensidad sísmica**

En cuanto a la variabilidad de la actividad sísmica en los deslizamientos; Mora & Vahrson en el año de 1993 manifestaron que estos son elementos determinantes en la generación de los deslizamientos de tierra, cuya intensidad es directamente proporcional al deslizamiento; y está relacionada en base a la escala de Mercalli (Chaverri Molina, 2016).

Tabla 6 Generación de la intensidad sísmica en base a la escala Mercalli Modificada

Magnitud MM	Aceleración PGA		Nivel de susceptibilidad	Valor de Factor (Ds)
	(%g)	(m/s ²)		
III	1 – 12	0,098 - 1,226	Leve	1
IV	13 - 20	1,227 - 2,011	Muy bajo	2
V	21 – 29	2,012 - 2,894	Bajo	3
VI	30 – 37	2,895 - 3,679	Moderado	4
VII	38 – 44	3,680 - 4,365	Medio	5
VIII	45 – 55	4,366 - 5,445	Elevado	6
IX	56 – 65	5,446 - 6,426	Fuerte	7
X	66 – 73	6,427 - 7,210	Bastante fuerte	8
XI	74 – 85	7,211 - 8,388	Muy fuerte	9
XII	>85	>8,389	Extremadamente fuerte	10

Fuente: (Mora & Vahrson, 1993)

- **Intensidad de precipitaciones**

Este parámetro considera el efecto de las precipitaciones, como un factor determinante para la presencia de los deslizamientos. Se toma en cuenta la precipitación más alta en 24 horas con un tiempo de retorno de 100 años, ajustable a la distribución de rangos máximos de tipo I Gumbel o Log Pearson, con una lectura de más de 10 años (Mora & Vahrson, 1993).

Tabla 7 Valoración del parámetro precipitaciones

Precipitación máxima (mm) en 24 horas, tiempo de retorno 100 años	Clasificación	Factor (T_p)
<100	Muy bajo	1
100 – 200	Bajo	2
200 – 300	Medio	3
300 – 400	Alto	4
>400	Muy alto	5

Fuente: (Mora & Vahrson, 1993)

- **Clasificación de la susceptibilidad a deslizamientos**

La metodología empleada manifiesta que este parámetro en específico no crea un rango de valores únicos, ya que los mismos deben acomodarse de acuerdo con las condiciones que presenta cada zona de estudio. Sin embargo, se recomienda que se divida en cinco clases de susceptibilidad y darles los respectivos calificativos que son una representación cualitativa de los niveles de riesgo (Barrantes Castillo, Barrantes Sotela, & Nuñez Roman, 2011).

Tabla 8 Distribución de la susceptibilidad a deslizamientos.

Clase	Susceptibilidad a deslizamientos	Características
I	Muy baja	Sectores estables, no necesitan medidas correctivas. Se debe tomar en cuenta la influencia de los sectores cercanos con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc.
II	Baja	Sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos

		urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado.
III	Moderada	No se recomienda la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio. Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, reforestación, entre otros. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado. Recomendable para usos agropecuario.
IV	Alta	No se recomienda la construcción de infraestructura, para su utilización se deben realizar estudios de estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.
V	Muy alta	No se recomienda la construcción de infraestructura, se recomienda como áreas de protección.

Fuente: (Mora, Vahrson, & Mora, 1992)

2.1.7.2. Métodos Semicuantitativos

Dentro de estos métodos se encuentra la metodología espacial Multicriterio y el jerárquico de Saaty (Ochoa Tapia, 2019).

- **Metodología de Evaluación Multicriterio**

La metodología de evaluación multicriterio está conformada por dos etapas, la primera etapa está enfocada en la generación de información a través de la elección y cartografiado de los elementos del suelo, los cuales relacionan la inestabilidad, seguidamente se calcula el peso relativo de cada elemento, en función al resultado anterior, mediante la metodología jerarquías de Saaty (Abril Abril, 2011).

En cuanto los valores o pesos de los factores hayan sido establecidos, se aplica específicamente la ecuación de la adición lineal de los pesos y las clases (Ecuación 5) (Abril Abril, 2011).

$$I = \sum_{j=1}^n W_j \times X_{ij}$$

Ecuación 5. Índice de susceptibilidad

Fuente: (Abril Abril, 2011)

Donde:

I = susceptibilidad

W_j = Peso asignado para cada factor

X_{ij} = peso asignado a la clase de cada factor

n = número de factores empleados

- **Análisis jerárquico de priorización Saaty**

La metodología se enfoca en generar varios enigmas de diferentes perspectivas, dando la alternativa de incorporar información de carácter cuantitativos y cualitativos concerniente a las opciones de decisión, generando resultados de forma numérica, identificando las variables o componentes de mayor o menor interés (Navarro Vidal, 2012).

2.2. Sistemas de información Geográfica

Se conocen como la combinación de los elementos de hardware, software e información cartográfica diseñados con el fin de identificar, manejar, manipular, examinar y dispersar las diferentes zonas de información geográfica, logrando con ello solucionar múltiples problemáticas en la preparación y gestión de desastres. Además, logran disociar los datos contenidos en las capas geoespaciales, almacenándolas de manera autónoma y trabajando de forma eficiente (Casallas Galindo, 2014). Por otro lado, los SIG con utilizados tanto para el manejo de datos en formato vectorial como ráster, estos últimos son utilizados para analizar los requerimientos en la determinación de capas continuas, las mismas que son importantes en fenómenos no discretos y

en evaluaciones ambientales donde la precisión especial no requiere de tanta exactitud (condiciones ambientales) (Vásconez Urbano & Jibaja Urbano, 2020).

A través de los años los sistemas de información geográfica (SIG) han evolucionado adaptando condiciones importantes en el manejo de información geográfica como las capturas y distribución de información y manejo de tablas numéricas, las mismas que han ayudado a identificar diferente tipo de información espacial, los cuales son representados mediante mapas cartográficos (Seguí et al., 2012).

2.2.1. Álgebra de mapas

Se basan en datos específicos, mediante la cual se generan mecanismos, operadores y funciones de funciones de análisis espacial, logrando analizar información cartográfica (Matellanes, 2018). Por ende, esta herramienta permite obtener como resultado una capa de salida a través de varias interacciones de capas de entrada y mediante la aplicación de diferentes metodologías empleadas (GIS & BEERS, 2019).

III. MARCO LEGAL

3.1. Instrumentos Legales

El presente trabajo se encuentra enmarcado bajo diferentes capítulos, secciones y artículos de los cuerpos legales tales como:

3.1.1. Constitución de la República del Ecuador

Artículo.14.- “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Constitucion de la Republica del Ecuador, 2008).

Sección Novena Gestión de Riesgo

Art. 389. El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad. El sistema nacional descentralizado de gestión está compuesto por las unidades de gestión de riesgo de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local, regional y nacional. El estado ejercerá la rectoría a través del organismo técnico establecido en la ley (Constitucion de la Republica del Ecuador, 2008).

3.1.2. Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas

De la inversión pública y sus instrumentos

Art. 64.- Preeminencia de la producción nacional en incorporación de enfoques ambientales y de gestión de riesgo. – En el diseño e implementación de los programas y proyectos de inversión pública, se promoverá la incorporación de acciones favorables al ecosistema, mitigación, adaptación al cambio climático y a la gestión de vulnerabilidad y riesgos antrópicos y naturales. (Oficio N°. T.5458-SNJ-10-1558, 2010).

3.1.3. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

Art. 140.-La gestión de riesgos que incluye las acciones de prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia, para enfrentar todas las amenazas de origen natural o antrópico que afecten al cantón se gestionarán de manera concurrente con las políticas y los planes emitidos por el organismo nacional responsable, de acuerdo con la Constitución y la ley. Los gobiernos autónomos descentralizados municipales adoptarán obligatoriamente normas técnicas para la prevención y gestión de riesgos en sus territorios con el propósito de proteger las personas, colectividades y la naturaleza, en sus procesos de ordenamiento territorial (COOTAD, 2010).

Cabe recalcar el echo de la importancia de las leyes y sus artículos descritos en este apartado ya que todo trabajo de investigación que se pretenda utilizar posteriormente como base científica para la ejecución de un proyecto ambiental o de gestión de riesgos, tiene que estar enmarcado y siendo consecuente con las leyes y normas que rigen nuestra nación; en especial aquellas que nos proporcionan las directrices jurídicas para un fin específico, que para este caso sería la base legal que trata sobre la prevención y gestión de riesgos para salvaguardar y garantizar la integridad física y mental de los seres humanos.

IV. METODOLOGÍA

En este apartado se profundizará en todo lo referente a las metodologías que se han de utilizar, las variables escogidas con sus respectivos análisis geográficos, previo a una visión general de localización de la zona de estudio; todo esto con la finalidad de poder alcanzar los objetivos descritos y obtener resultados concretos y fiables.

4.1. Localización de la zona de estudio

La parroquia Bulán, seleccionada como nuestra zona de estudio, se localiza geográficamente en la parte nororiental de la provincia del Azuay, dentro del cantón Paute. limita al norte con la provincia del Cañar, al sur con la cabecera cantonal de Paute, al este con la cabecera cantonal de Paute y la Parroquia Dúgdug, al Oeste con la provincia del Cañar. Tiene una superficie aproximada de 3880,58 hectáreas; esta parroquia se encuentra formada por 8 comunidades: Bulán (centro parroquial), Guayán, Tambillo, Tuntag, Tuntag – Huintul, Padrehurco, Sumán y La Pirámide.

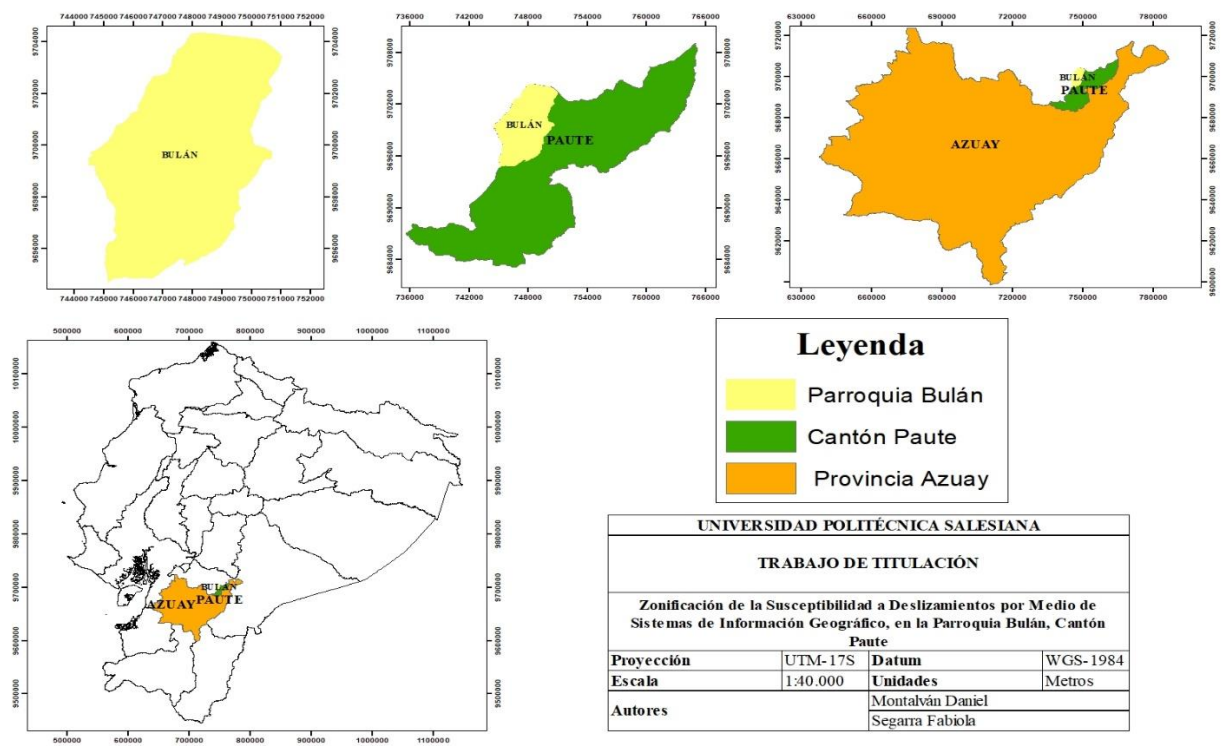


Ilustración 1 Mapa de Delimitación de la Zona de Estudio, Parroquia Bulán

Fuente: (Autores)

La zona de estudio fue identificada mediante información cartográfica, recursos proporcionados por el GAD de la parroquia Bulán y el Instituto Geográfico Militar, ente encargado a nivel nacional para brindar información geográfica del Ecuador. En cuanto a la definición de la zona de estudio se realizó usando los SIG, en específico el software ArcMap en su versión 10.6, por medio del uso de las herramientas de *Selección y Extracción*, generando de esta manera un *ShapeFile resultante*; posteriormente se ajustan los sistemas de coordenadas a UTM (Universal Transverse Mercator) Zona 17 S, y al Datum WGS84 (World Geodesic System 1984).

4.2. Descripción de las variables

4.2.1. Pendiente

Para la generación del mapa de pendientes se utilizaron las curvas topográficas descargadas del portal web del Instituto Geográfico Militar (IGM), escala 1:50 000. Utilizando las herramientas de análisis espacial 3D del programa Arc Map 10.5, se generó la red de triangulación irregular, obteniendo así el mapa de pendientes de la zona en estudio, el cual se clasificó en seis rangos el porcentaje de pendiente del terreno.

Tabla 9 Rangos de pendientes presentes en la Parroquia Bulán, cantón Paute

Rangos	Clases
0 – 5 %	Plano
5 – 12 %	Ondulado
12 – 25 %	Inclinado
25 – 50 %	Escarpado
50 – 70 %	Muy Escarpado
Mayor a 70 %	Muy Escarpado

Fuente: (Autores)

MAPA DE PENDIENTES DE LA PARROQUIA BULÁN, CANTÓN PAUTE

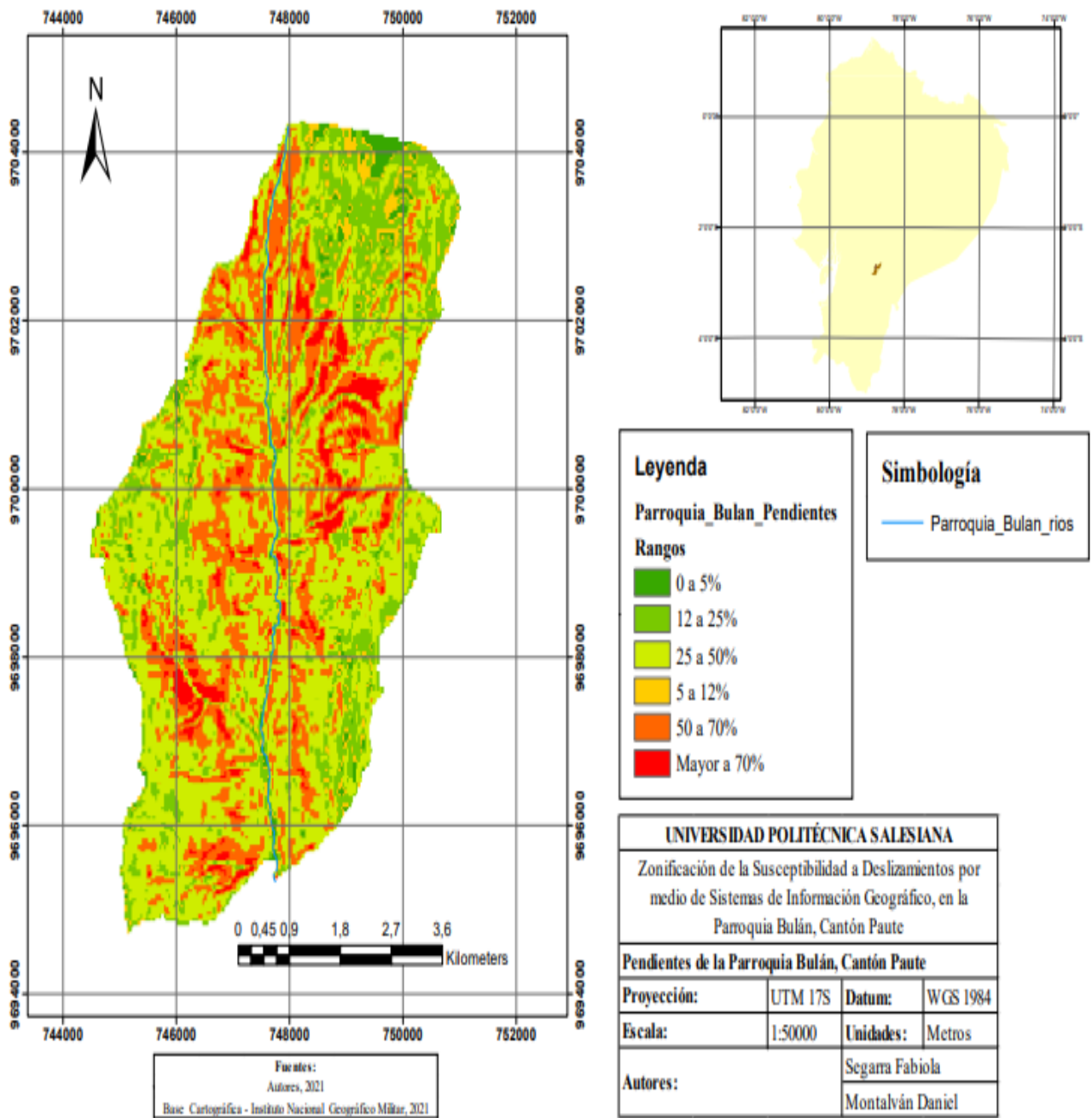


Ilustración 2 Mapa de Pendientes de la Parroquia Bulán, cantón Paute

Fuente: (Autores)

4.2.2. Litología

Se estableció en base al mapa geomorfológico, información cartográfica proporcionada por el GAD de la Parroquia Bulán.

MAPA LITOLÓGICO DE LA PARROQUIA BULÁN, CANTÓN PAUTE

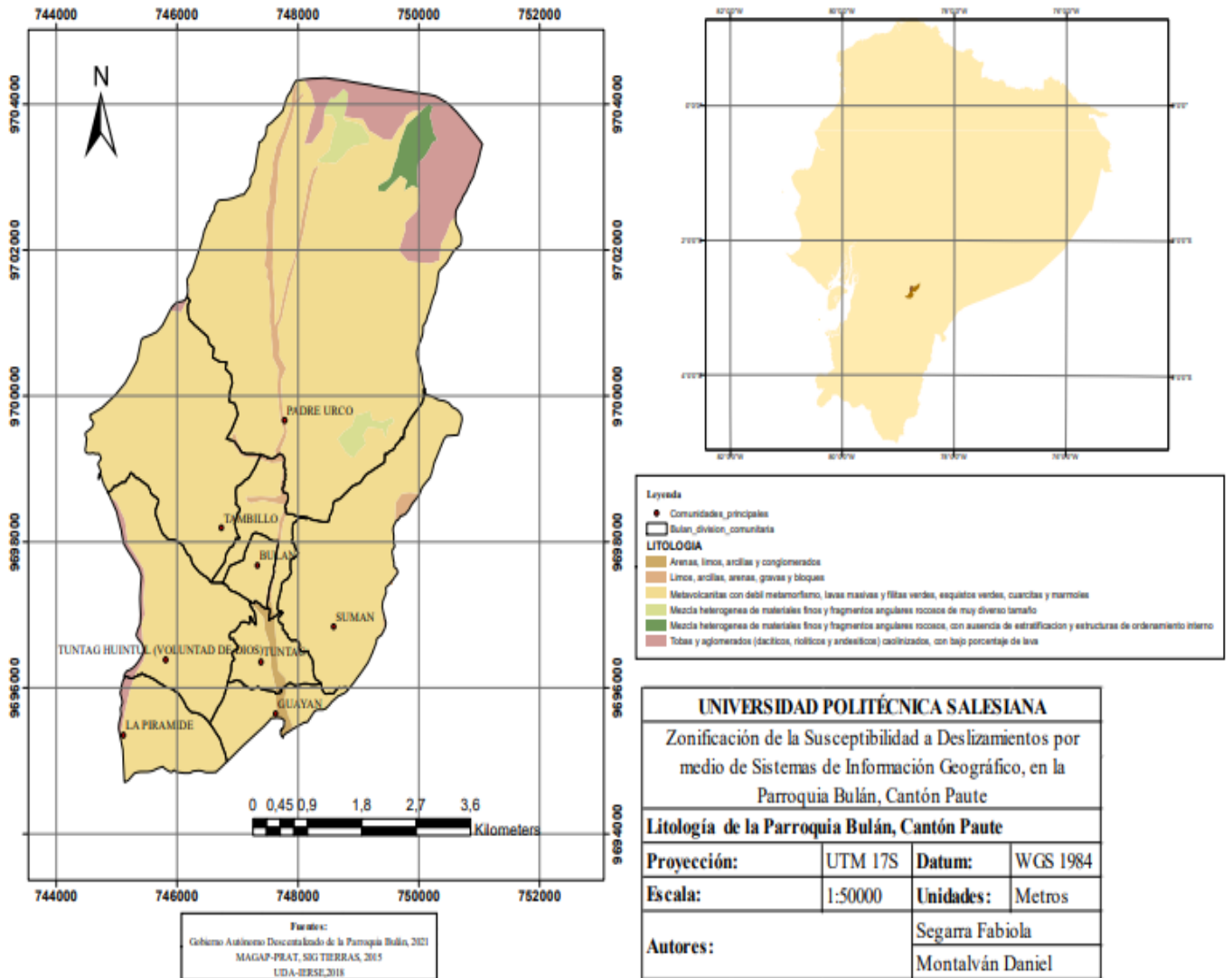


Ilustración 3 Mapa Litológico de la Parroquia Bulán, cantón Paute

Fuente: (Autores)

4.2.3. Geomorfología

La información geomorfológica fue obtenida de fuentes bibliográficas en las cuales mencionan que el cantón Paute se encuentra sobre la unidad geológica Arco Alao, las rocas que constituyen esta unidad son ígneas volcánicas de la edad terciaria (Monge, 2018).

La información cartográfica fue proporcionada por el GAD de la Parroquia Bulán y el portal Web del Ministerio de Agricultura (MAGAP) a escala 1:50000.

MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA PARROQUIA BULÁN, CANTÓN PAUTE

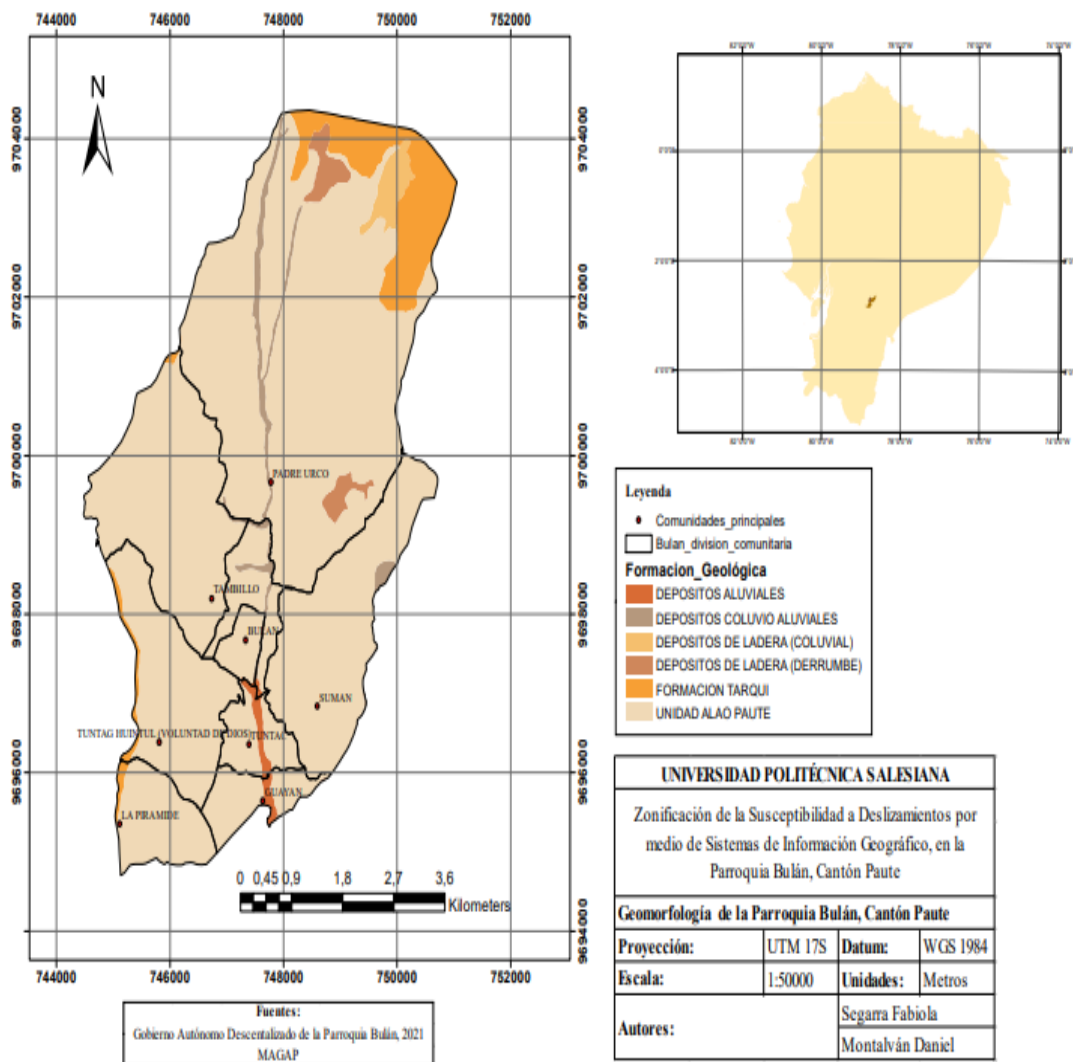


Ilustración 4 Mapa Geomorfológico de la Parroquia Bulán, cantón Paute

Fuente: (Autores)

4.2.4. Cobertura vegetal y uso de suelo

Se elaboró el mapa temático de cobertura vegetal y uso de suelo en base a la información satelital Landsat 8, adquiridas desde el portal web USGS (servicio geológico de los Estados Unidos).

4.2.4.1. Corrección Radiométrica

Este análisis se realizó utilizando el software ENVI 5.3 mismo que nos proporciona las herramientas adecuadas para este propósito.

Esta corrección es necesaria de realizarla ya que como lo estipula (Hantson, y otros, 2011) los efectos atmosféricos, el relieve y el sensor remoto pueden asumir errores espectrales, en si existen modelos de corrección radiométrica para cada uno de los factores antes mencionados y así poder homogenizarlos para que presenten la menor varianza posible.

El modelo de corrección radiométrica que se acogió para aplicar a la imagen satelital que representa nuestra zona de estudio fue el modelo Moderate Resolution Atmospheric Transmission (MODTRAN) ya que este tiene un algoritmo de transferencia de radiación que es utilizada por el módulo FLAASH contenida en el software ENVI (Aguilar, Mora, & Vargas, 2014). Lo que hace este modelo es calcular la transmitancia, la radiación dispersada solar y lunar, la radiación solar directa y la radiancia emitida por la atmosfera en el infrarrojo térmico (Zamora).

4.2.4.2. Corrección Atmosférica

Para realizar esta segunda corrección de la imagen satelital procedente del sensor Landstat 8 se tomó como base el archivo previamente corregido radiométricamente y mediante el módulo FLAASH atmospheric Correction incorporado en la barra de herramientas del software ENVI 5.3 se procedió a realizar la respectiva corrección.

Dicho modulo nos demanda ciertos datos de entrada como la entrada de la imagen corregida radiométricamente, también la ruta de salida donde se almacenara el archivo corregido, la ubicación del centro de escena o de la imagen que viene dado en coordenadas geográficas de latitud y longitud (se encuentra en el archivo de texto MTL contenido en la carpeta de la imagen descargada), el tipo de sensor al cual pertenece la imagen (en este caso al sensor del Landsta 8),

fecha y hora exacta en la cual el sensor tomo la imagen satelital (se encuentra en el archivo de texto MTL contenido en la carpeta de la imagen descargada), un modelo atmosférico (esto dependerá de la zona geográfica) y un modelo de aerosol (para correcciones de partículas en suspensión y gases presentes en la capa límite de la atmosfera).

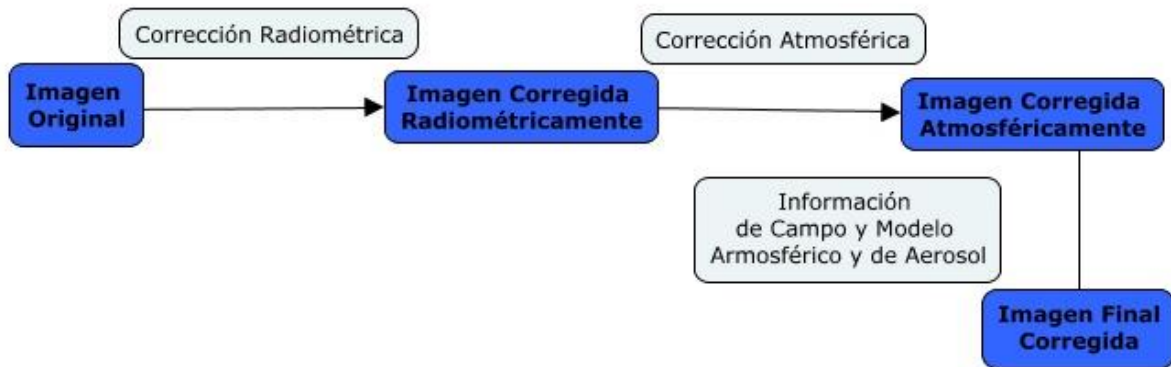


Ilustración 5 Esquema General de corrección

Fuente: (Autores)

4.2.4.3. Clasificación de la imagen satelital

El método utilizado para realizar la clasificación de la vegetación y aprovechamiento del suelo de la zona fue el de clasificación supervisada, misma que se realizó en el programa ENVI 5.3.

Siguiendo el proceso recomendado por (Vega & Manzo, 2008) se combinaron las bandas en la región del infrarrojo del espectro electromagnético para poder apreciar las zonas urbanas e infraestructura antrópica de un color magenta, también para poder identificar las zonas de cultivos de un color rosado, y la vegetación dependiendo de la naturaleza de esta en diferentes colores verdosos y de un color café claro el suelo expuesto. La combinación se bandas fueron 6-5-2.

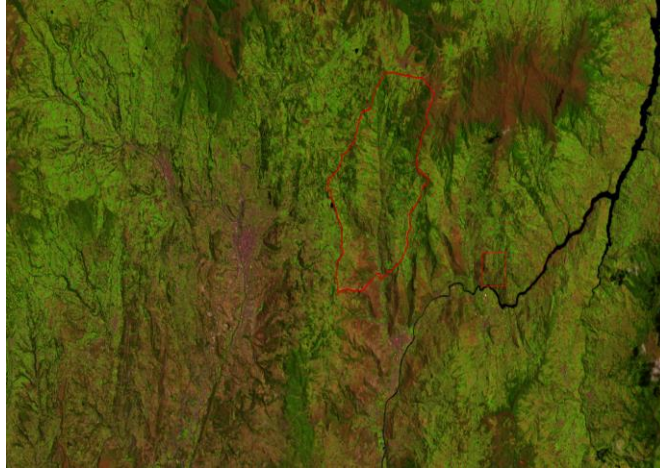


Ilustración 6 Imagen Multiespectral del sensor Landstat 8.

Fuente: (Autores)

Una vez identificado las tonalidades que representa cada elemento de la imagen se procede a crear las Regions of Interes (ROI). Para esto, de conformidad con la visita de campo que se realizó a la parroquia Bulán se estableció 8 clases las mismas que se enumeran en la siguiente tabla.

Tabla 10 Cobertura del Área de Estudio.

Código	Cobertura	Clase
1	Páramo	Vegetal
2	Poblado	Antrópico
3	Forestal	Vegetal
4	Pastizal	Vegetal
5	Arbustivo	Vegetal
6	Nativo	Vegetal
7	Cultivo	Antrópico
8	Herbáceo	Vegetal

Fuente: (Autores)

Como ya se tiene definido el número y denominación de las clases en la que se desea dividir nuestra zona de interés, se puede crear los ROIs de tal manera que estos puedan identificarse conforme a la clase a la que pertenecen.

En la Ilustración 7 se puede visualizar los ROIS creados en el programa ENVI 5.3.

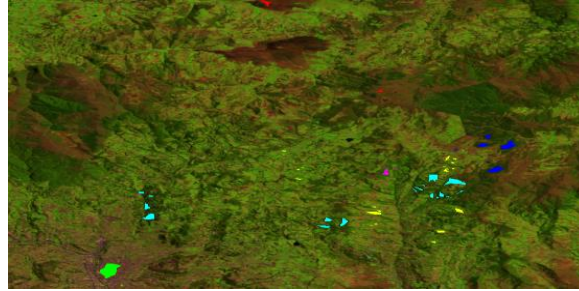


Ilustración 7 ROIS creados en el software ENVI 5.3

Fuente: (Autores)

La información que se obtiene al crear cada ROI se presenta en la tabla 11.

Tabla 11 Información Básica de las Regiones de interés creadas

ROI Nombre	Color	Pixeles	Polígonos
Paramo	Rojo	3994	42
Poblado	Verde	6543	26
Forestal	Azul	342	5
Pastizal	Amarillo	559	31
Arbustivo	Cian	1254	26
Nativo	Magenta	57	3
Cultivo	Granate	93	27
Herbáceo	Verde Mar	71	20

Fuente: (Autores)

Ya con los ROIs creados se procede a verificar que las separabilidades espectrales se encuentren entre un rango de 1.9 a 2 ya que estos valores de conformidad con (Alvarado & Espinoza, 2018) nos asegurara que las regiones de interés no se confundan entre sí; en pocas palabras que los pixeles que conforman Cada clase contengan los mismos valores o información geográfica asignada.

Una vez avalado el previo procesamiento de la imagen satelital y validado la creación de los ROIs se puede proceder con los métodos de clasificación que nos proporciona el software ENVI 5.3, esto con el objetivo de obtener el mapa de cobertura vegetal y uso del suelo que ha sido el objetivo de todo el procedimiento descrito en este apartado.

En este caso, como se conoce las características del terreno por medio de las visitas de campo realizadas por los autores se elegirá el método de clasificación supervisada. Dentro de este método, el programa en uso nos brinda 3 sub-métodos para ejecutar la clasificación; estas son:

- Método de clasificación supervisada de Máxima Probabilidad “Likelihood”
- Método de clasificación supervisada Mahalanobis
- Método de clasificación supervisada de Distancia Mínima

Mapa Uso y Cobertura Vegetal Parroquia Bulán Cantón Paute

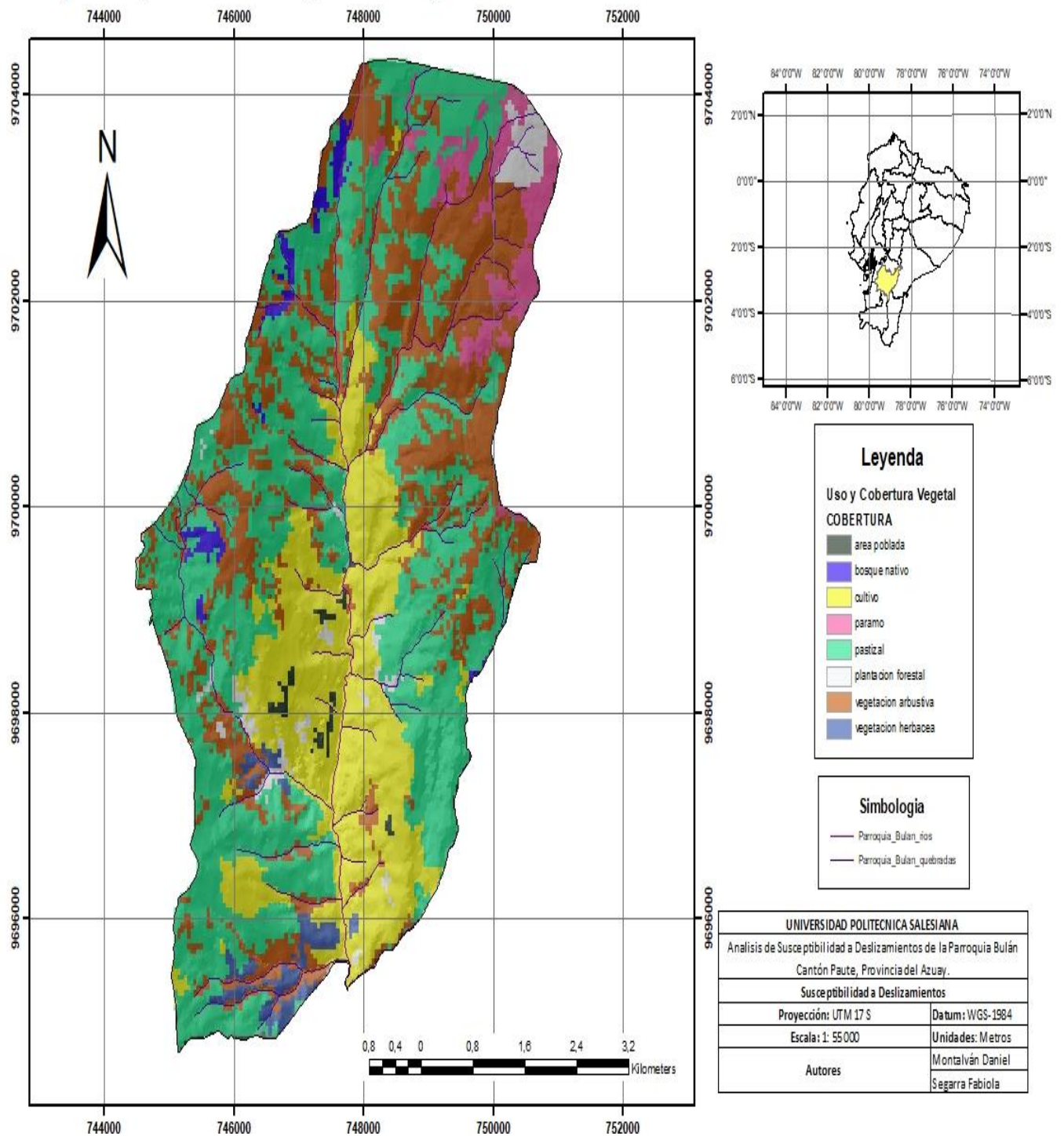


Ilustración 8 Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal

Fuente: (Autores)

4.2.5. Precipitación

Para la obtención del mapa de precipitaciones, la información meteorológica fue revisada minuciosamente, para lo cual se utilizaron cinco estaciones cercanas a la parroquia Bulán.

Tabla 12 Estaciones Meteorológicas utilizadas para el análisis de las precipitaciones

Nº Estación	Estación Meteorológica	Coordenadas	
		X	Y
M045	Palmas	763294	9699159
M0138	Paute	748475	9689908
M0137	Biblián	734157	9700012
M0414	Chanín	750232	9704254
M0431	Sevilla	760680	9690161

Fuente: (Autores)

Las 5 estaciones meteorológicas consultadas presentaban registros meteorológicos completos de un periodo de 31 años (1980 -2010), posteriormente se obtuvieron los promedios de precipitaciones máximas mensuales.

Para obtener la intensidad de las precipitaciones se consideraron las lluvias máximas en el transcurso de veinticuatro horas, con un periodo de retorno de 100 años, mediante la aplicación de la metodología Gumbel tipo uno, trabajando con un registro de datos de 31 años.

Los valores puntuales obtenidos anteriormente de las precipitaciones máximas anuales e intensidad de precipitaciones fueron transformados a un mapa por medio del programa Arc Map versión 10.5; cuya interpolación fue realizada en base a la metodología IDW (Interpolación con la distancia inversa ponderada).

MAPA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS, DE LA PARROQUIA BULÁN, CANTÓN PAUTE

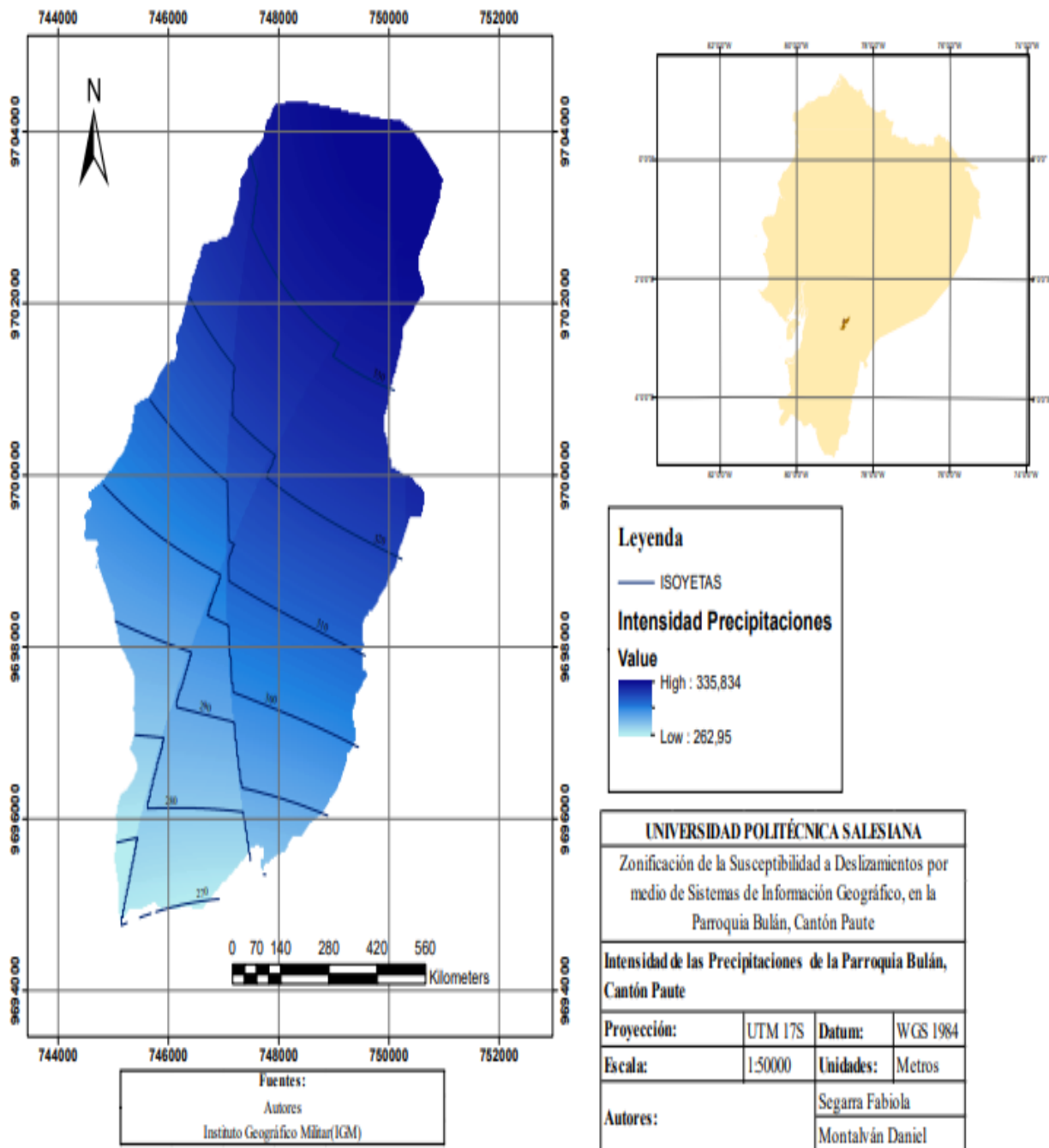


Ilustración 9 Mapa de precipitaciones Máximas en 24 horas, de la parroquia Bulán, cantón Paute

Fuente: (Autores)

4.2.6. Sismicidad

Para la elaboración de este mapa se trabajó con información Cartográfica proporcionada por el Instituto Nacional Geográfico Militar y del Mapa de zonificación sísmica del Ecuador, a escala 1:50 000, realizando una depuración de información pertinente a nuestra zona con la ayuda del programa Arc Map 10.5 se pudo obtener que nuestra zona está considerada como zona media de intensidad sísmica.

4.3. Aplicación de la Metodología Mora Vahrson

Para la aplicación de este método se utilizó los factores condicionantes y los desencadenantes; en cuanto a los factores condicionantes se trabajó con las variables: pendiente, litología, geomorfología, cobertura y uso de suelo; a lo que refiere a los factores desencadenantes se trabajó con la precipitación y la sismicidad.

La clasificación cualitativa y cuantitativa de las variables a utilizar con respecto a la susceptibilidad a deslizamientos se realizó en base a lo propuesto por la metodología; clasificándolas en seis rangos de susceptibilidad: 0-muy bajo; 1-bajo; 2-moderado; 3-medio; 4-alto; 5-muy alto.

4.3.1. Factores condicionantes

4.3.1.1. Pendiente

El factor pendiente (S_r) se clasificó de acuerdo con los rangos de porcentaje de pendiente encontrados en nuestra zona de estudio y por lo propuesto por la metodología, ya que la susceptibilidad a deslizamientos es directamente proporcional al rango de pendiente, mayores porcentajes de pendiente, mayor es la susceptibilidad a deslizamientos.

Tabla 13 Clasificación y valoración de las pendientes de la parroquia Bulán, cantón Paute.

Pendiente (%)	Calificativo	Factor Pendiente (Sr)
0-5	Muy Bajo	0
5-12	Bajo	1
12-25	Moderado	2
25-50	Medio	3
50-70	Alto	4
>70	Muy Alto	5

Fuente: (Autores)

4.3.1.2. Litología

Se categorizo el factor litológico (Sl) acorde a lo propuesto por (Mora & Vahrson, 1993).

Tabla 14 Clasificación y valoración del grado de susceptibilidad de la Litología presente en la Parroquia Bulán, cantón Paute

Litología	Grado de Susceptibilidad	Valor factor (Sl)
Arenas, limos, arcillas y conglomerados	Muy Alto	5
Limos, arcillas, arenas, gravas y bloques	Muy Alto	5
Metavolcanitas con débil metamorfismo, lavas masivas y filitas verdes, esquistos verdes, cuarcitas y mármoles	Muy Alto	5
Mezcla heterogénea de materiales finos y fragmentos angulares rocosos de muy diverso tamaño	Muy Alto	5
Mezcla heterogénea de materiales finos y fragmentos angulares rocoso, con ausencia de estratificación y estructuras de ordenamiento interno	Alto	4
Tobas y aglomerados (dacíticos, riolíticos y andesíticos) caolinizados, con bajo porcentaje de lava	Alto	4

Fuente: (Autores)

4.3.1.3. Geomorfología

El factor geomorfológico (Sg), se clasificó acorde a lo establecido por el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) y el MAGAP; cada tipo de geomorfología presente en la zona de estudio fue analizada minuciosamente para asignarles el grado de susceptibilidad a deslizamientos.

Tabla 15 Valoración del grado de susceptibilidad de las diferentes Geomorfología presentes en la parroquia Bulán, cantón Paute.

Geomorfología	Grado de Susceptibilidad	Valor Factor (Sg)
Depósitos aluviales	Muy alto	5
Depósitos coluvio aluviales	Muy alto	5
Depósitos de ladera (coluvial)	Muy alto	5
Depósitos de ladera (derrumbe)	Muy alto	5
Formación Tarqui	Alto	4
Unidad Alao Paute	Alto	4

Fuente: (Autores)

4.3.1.4. Cobertura vegetal y Uso de suelo

Este parámetro fue tomado en cuenta para el análisis de susceptibilidad a deslizamientos, en muchos estudios este factor no es considerado como influyente para la ocurrencia de deslizamientos. El valor del factor (Scv) se lo caracterizo en base a cada tipo de cobertura vegetal presente en la zona de estudio y a los pesos propuestos por el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) y el MAGAP, en el año 2013 para el análisis de amenaza por deslizamientos.

Tabla 16 Valoración del grado de susceptibilidad acorde a la cobertura vegetal presente en la presente en la parroquia Bulán, cantón Paute

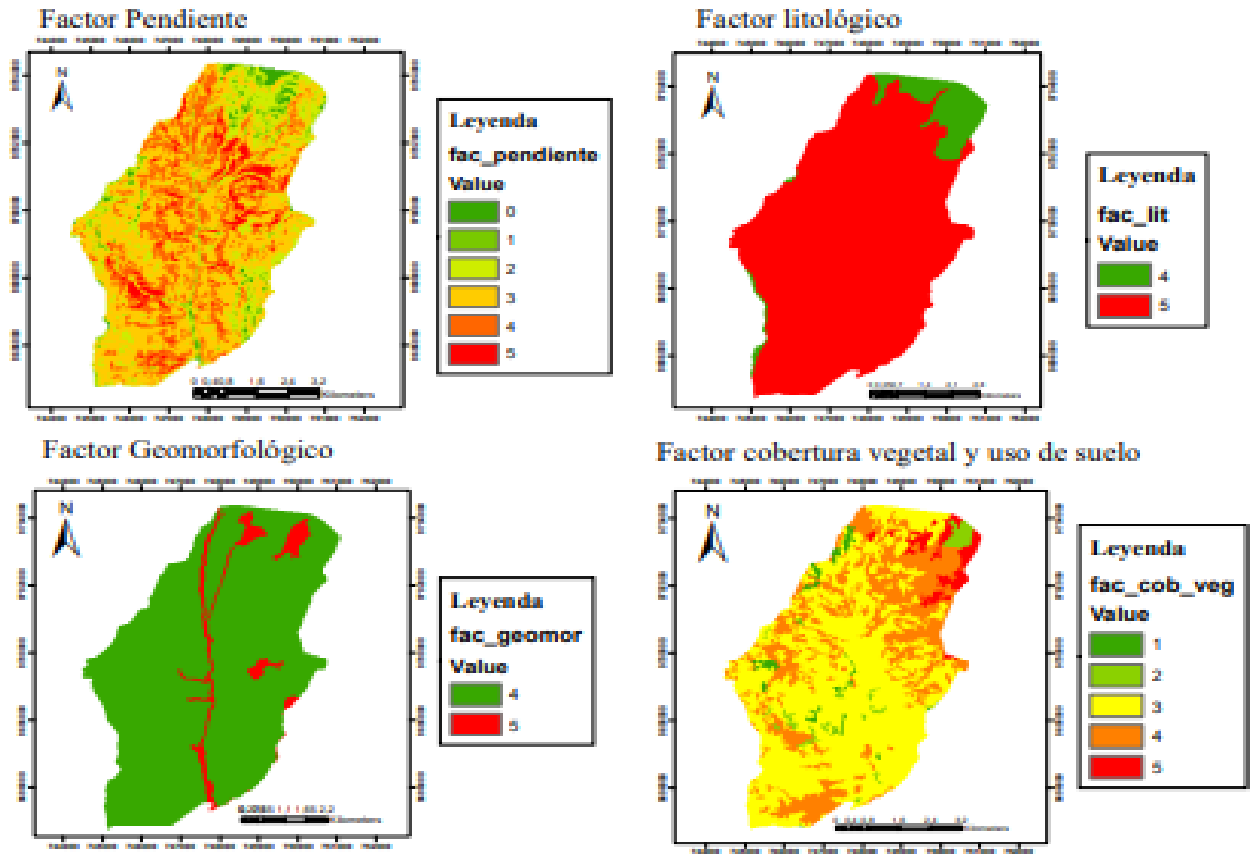
Cobertura vegetal	Grado de susceptibilidad	de Valor factor (Scv)
Área poblada	Muy bajo	1
Bosque nativo	Muy bajo	1
Cultivo	Moderado	3
Paramo	Alto	5
Pastizal	Moderado	3
Plantación forestal	Bajo	2
Vegetación arbustiva	Mediano	4
Vegetación herbácea	Mediano	4

Fuente: (Autores)

- **Obtención del Grado de Susceptibilidad por factores condicionantes (SD)**

El cálculo del grado de susceptibilidad fue en base a la metodología Mora & Vahrson modificado, empleando los campos ponderados de cada uno de los factores condicionante; en el Arc Map 10.5 se convirtieron a formato ráster cada uno de los capas ponderados para posteriormente con la ayuda de la calculadora ráster multiplicar los factores.

FACTORES CONDICIONANTES



GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD PARA DESLIZAMIENTOS (SD)

$SD = \text{Factor Pendiente} * \text{Factor Litología} * \text{Factor Geomorfología} * \text{Factor Cobertura Vegetal y Uso de Suelo}$

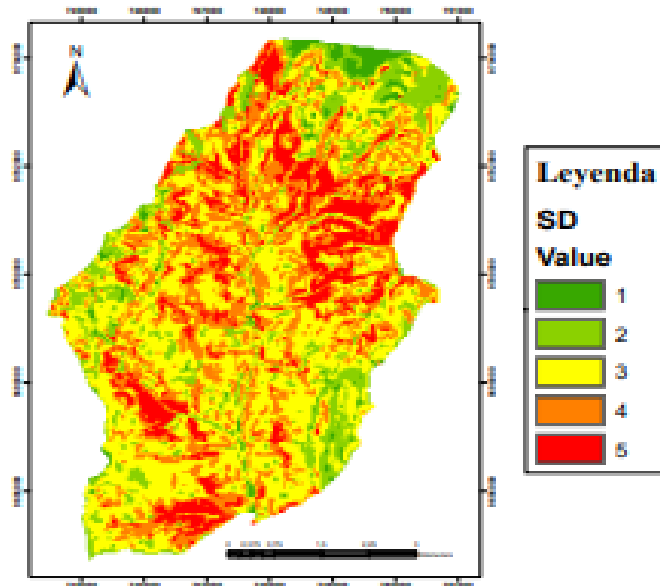


Ilustración 10 Factores Condicionantes

Fuente: (Autores)

4.3.2. Factores desencadenantes

4.3.2.1. Precipitación

Se evaluó las precipitaciones máximas presentes en la zona, asignándoles un valor al factor (Tp), según lo propuesto por la metodología Mora & Vahrson en el año de 1994, la cual se basa en la influencia que tienen las lluvias sobre los deslizamientos.

Tabla 17 Valoración de las precipitaciones presentes en la parroquia Bulán.

Lluvia máxima(mm) en 24 horas, periodo de retorno 100 años	Clasificación	Factor (Tp)
266	Medio	3
274	Medio	3
282	Medio	3
286	Medio	3
303	Alto	4
315	Alto	4
331	Alto	4
335	Alto	4

Fuente: (Autores)

4.3.2.2. Sismicidad

La ponderación del factor intensidad sísmica (Ts) fue en base a la metodología Mora & Vahrson (1994) ya que la misma considera que la intensidad sísmica es directamente proporcional a la generación de deslizamientos.

Tabla 18 Ponderación de la intensidad sísmica presente en la parroquia Bulán, cantón Paute

Intensidad	Grado de susceptibilidad	de Valor factor (Ts)
III	Leve	1

Fuente: (Autores)

4.3.2.2.1. Obtención del factor desencadenante o disparo (FD)

Para la obtención del factor desencadenantes o disparo se convirtió a formato ráster la ponderación de los factores de precipitación (Tp) y sismicidad (Tp) para posteriormente mediante la calculadora ráster se suman estos dos factores.

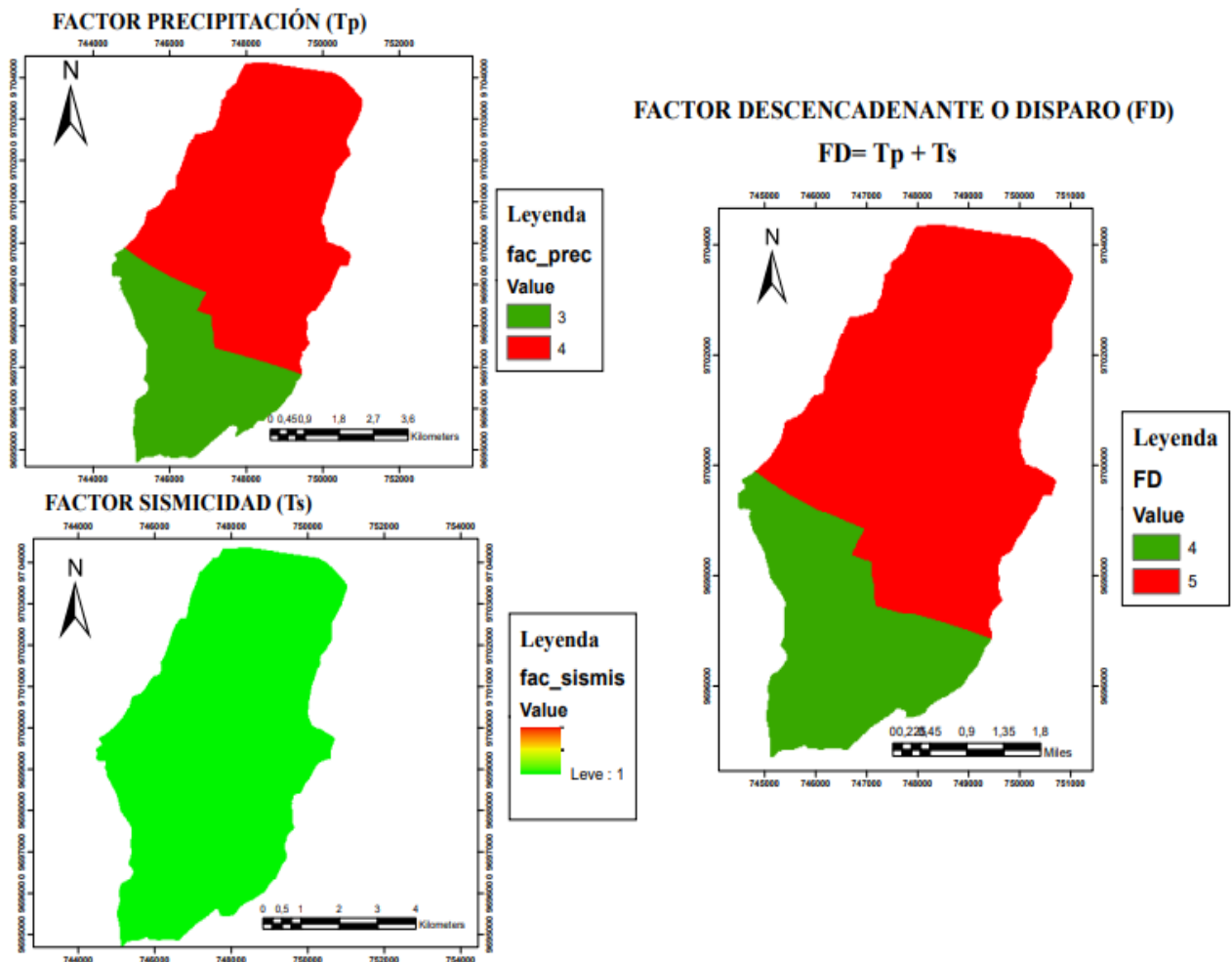


Ilustración 11 Factores Desencadenantes o Disparo

Fuente: (Autores)

4.3.3. Generación del Mapa de Susceptibilidad a Deslizamiento

Para la identificación de las zonas susceptibles a deslizamientos de la parroquia Bulán se aplicó la Ecuación 1 según la metodología Mora & Vahrson, para lo cual mediante la ayuda de la calculadora ráster se procedió a multiplicar los factores condicionantes por los factores detonantes. Seguidamente, se las clasifico en 5 rangos de susceptibilidad: Muy baja, Baja, Moderada, Alta, Muy Alta; acorde a la Tabla 8.

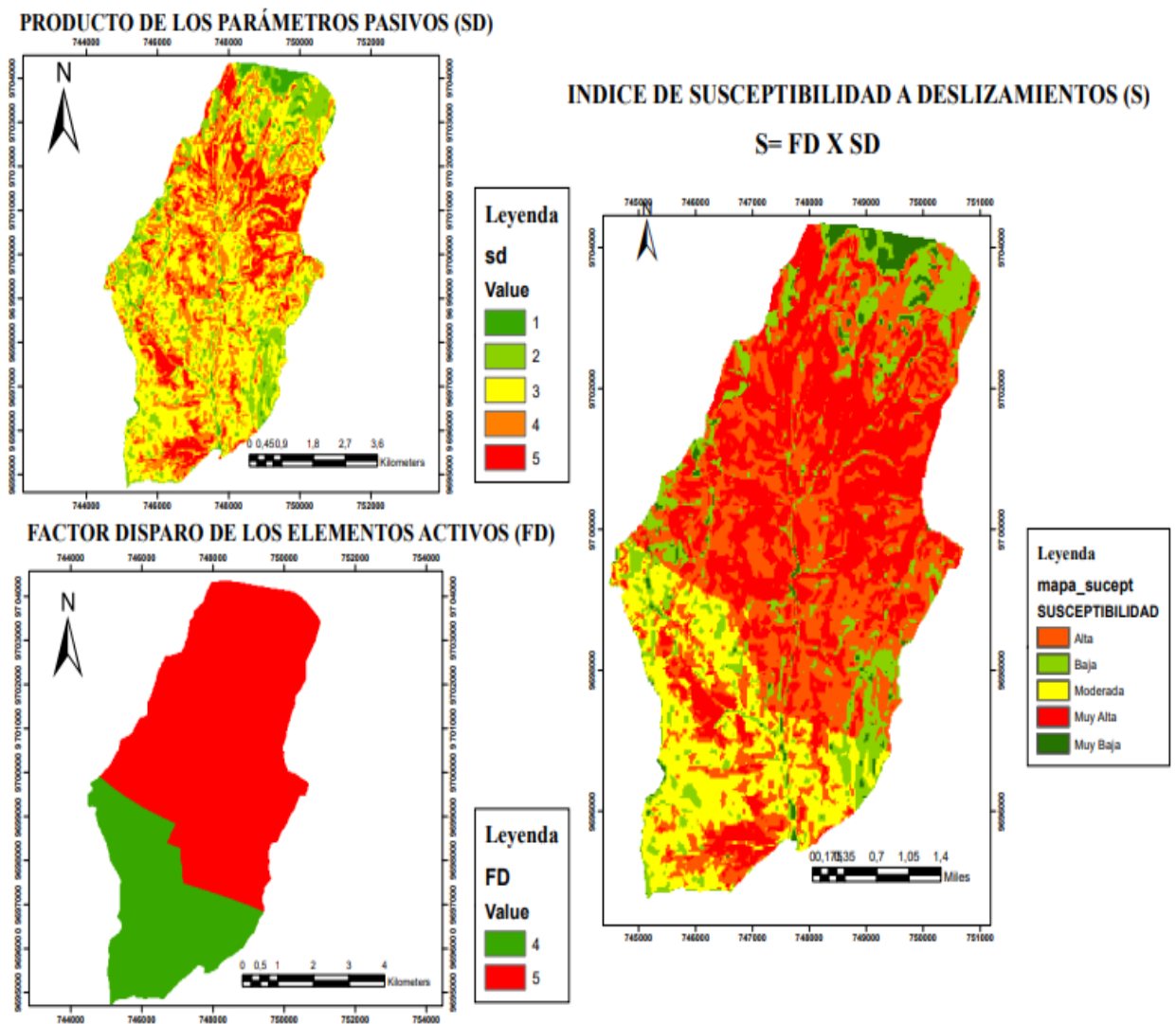


Ilustración 12 Índice de susceptibilidad a deslizamientos

Fuente: (Autores)

4.4. Aplicación de la Metodología de Evaluación Multicriterio

4.4.1. Designación de Pesos a las variables

Como se mencionó al principio del desarrollo de la metodología, el método aplicado para crear el mapa de susceptibilidad a deslizamientos de la parroquia Bulán es el Multicriterio el mismo que se basa en las variables obtenidas antes descritas.

Dicho método agrupa a toda la información geográfica identificada (Pendientes, Geología, Geomorfología, Precipitación, Cobertura Vegetal y Uso del suelo) con la ayuda de un programa el cual mediante operaciones matemáticas unifica toda esta información y proporciona el resultado esperado.

Previo a la introducción de la información geográfica a un software SIG se debe obtener los respectivos pesos o ponderaciones para cada variable a utilizarse; uno de los posibles caminos para llegar a obtener dichos pesos de importancia es la que nos proporciona el método **SAATY**.

El método saaty consiste en generar una matriz cuadrada con los criterios o variables escogidos para poder confrontarlas entre sí, por ende, para comparar entre sí a los criterios se debe crear una escala de medida, la misma que se divide en 9 escaños, mostrando cada uno su grado de importancia (Rosales, 1999)

Tabla 19 Escala de medida para la matriz SAATY

9	Más importante absolutamente importante
8	demostrablemente más importante
7	notablemente más importante
6	ligeramente más importante
5	Igual Importancia
1/2	ligeramente menos importante
1/3	notablemente menos importante
1/4	demostrablemente menos importante
1/5	absolutamente menos importante
1/6	Menos importante
1/7	
1/8	
1/9	

Fuente: (Autores)

Después de haber definido la escala de medida se puede formar la matriz de saaty propiamente dicha, para ello se forman los mismos números de filas y de columnas de acuerdo con los criterios o variables seleccionadas. Así pues, se podrán determinar los respectivos pesos o coeficientes (C_i) para cada caso.

Dentro de la matriz existen un parámetro a considerar para la obtención del coeficiente (C_i), este es:

Wi: Auto vector que viene dado por el producto entre los valores de las filas, esto elevado a un exponente el cual es el inverso al número de criterios asignados.

Ci: Coeficiente o peso expresado por la fórmula.

$$C_i = \frac{W_i}{\sum W_i}$$

Ecuación 6. Coeficiente de saaty (Márquez Rosales, 1999).

Λ : lambda expresada por la formula.

$$\Lambda = C_i * P_i$$

Ecuación 7. Lambda (Márquez Rosales, 1999).

Donde Pi: Pesos parciales de las variables dispuestas en columnas. Expresada por la sumatoria de las mismas.

$$\sum V_1 \dots V_n$$

Ecuación 8. Pesos parciales (Márquez Rosales, 1999).

La Sumatoria de lambda (λ_{max}) nos será de utilidad posteriormente para avalar los juicios de valor otorgados por el evaluador en la comparación entre variables.

A continuación, se muestra la matriz saaty realizada para la obtención de los respectivos pesos o coeficientes de cada variable.

Tabla 20 Determinación de Pesos por el Método SAATY

	V1	V2	V3	V4	V5	Wi	Ci	LAMDAi	
V1	1,00	3,00	5,00	0,33	0,20	1,00	0,15	1,40	
V2	0,33	1,00	3,00	0,33	0,20	0,58	0,09	1,05	
V3	0,20	0,33	1,00	0,20	0,14	0,29	0,04	0,88	
V4	3,00	3,00	5,00	1,00	1,00	2,14	0,31	0,90	
V5	5,00	5,00	7,00	1,00	1,00	2,81	0,41	1,05	
Pi	9,53	12,33	21,00	2,87	2,54	6,82		5,28	λ_{max}
RIESGO POR DESLIZAMIENTO						PESOS			
V1	Pendiente					0,15	C1		
V2	Precipitación					0,09	C2		
V3	Geología					0,04	C3		
V4	Geomorfología					0,31	C4		
V5	Cobertura y Uso del Suelo					0,41	C5		
						1,00			

Fuente: (Autores)

Una vez llenada la matriz conforme al criterio del evaluador que tiene los conocimientos necesarios para haber confrontado las variables, respetando los respectivos valores de acuerdo con la escala de medición, se tiene la necesidad de avalar dichos criterios con la finalidad de saber que tan consistente fueron los juicios de valor que el evaluador propuso al confrontar las variables.

La consistencia nos viene dado por la razón de consistencia representada por el símbolo (CR); esta razón tiene que proporcionarnos un valor inferior a 0,10 para que los criterios adoptados por el evaluador sean aceptados (Rosales, 1999).

Mientras menos sea la relación de consistencia más consistentes son los criterios (Rosales, 1999); así pues, para obtener el valor de consistencia se debe obtener los siguientes parámetros:

- **Ci:** Índice de Consistencia
- **Rci:** Razón del Índice de Consistencia
- **CR:** Razón de Consistencia

Donde **Ci** viene expresado por la formula.

$$Ci = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Ecuación 9. Índice de consistencia (Márquez Rosales, 1999).

Donde **Rci** viene expresado por la formula.

$$Rci = \frac{1,98 * (n - 2)}{n}$$

Ecuación 10. Razón del Índice de Consistencia (Márquez Rosales, 1999).

Donde **CR** viene expresado por la formula.

$$CR = Ci/Rci$$

Ecuación 11. Razón de Consistencia (Márquez Rosales, 1999).

Tabla 21 Resultados del cálculo

Ci=	0,06970533	
Rci=	1,188	
CR=	0,0587	Consistente

Fuente: (Autores)

De esta manera se ha obtenido los pesos correspondientes para cada variable, cuyos valores serán utilizados por las herramientas que nos proporciona el software ArcGIS y así elaborar el mapa de susceptibilidad a deslizamientos de la zona de interés.

4.4.1.1. Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos

Para la elaboración del mapa final por el que se ha venido realizando todo el procedimiento descrito en este apartado se utilizó el software ArcGIS 10.5, puesto que este nos proporciona las herramientas necesarias para llegar a obtener nuestro producto final, como es el mapa de susceptibilidad de deslizamientos de la parroquia Bulán.

Para la obtención de mencionado mapa se debe realizar una combinación lineal ponderada de los mapas antes realizados considerados como los factores a los que se les reclasificara de conformidad a los pesos obtenidos de la metodología aplicada (jerarquías analíticas de saaty). (Gil, 2015).

La herramienta que nos permite realizar la superposición de mapas se denomina Weighted Overlay que se encuentra dentro del apartado de Spatial Analyst Tools que conforma la caja de herramientas Arc toolbox del ArcGis 10.5.

La Información que requiere la herramienta para poder ejecutarse son los factores o mapas que se han de superponer con las respectivas entradas de atributos a la que se les ponderara, así como su porcentaje de influencia o pesos y las escalas de valor para cada atributo seleccionado. Esto se puede evidenciar en la siguiente tabla.

Tabla 22 Superposición de Mapas con la herramienta *Weighted Overlay*

Factores	Influencia (%)	Atributos	Ponderaciones	Escala de Valores	
Geológico	4	Formación			
		Depósitos aluviales	1	2	
		Depósitos coluvio aluvial	1	2	
		Depósitos de ladera (coluvial)	2	5	
		Formación Tarqui	4	9	
		Unidad Arao Paute	1	2	
		No data	0,5	1	
		Litología			
		Mezcla heterogénea de materiales finos	16	6	
		Limos, arcillas, arenas, gravas y bloques	22	8	
Geomorfológico	26	Metavolcanitas con débil metamorfismo, lavas masivas y filitas verdes, esquistos verdes, cuarcitas y mármoles	4	1	
		Tobas y aglomerados (dacíticos, riolíticos y andesíticos) caolinizados, con bajo porcentaje de lava.	8	3	
		Mezcla heterogénea de materiales finos y fragmentos angulares rocosos, con ausencia de estratificación y estructuras de ordenamiento interno	16	6	
		Arenas, limos, arcillas y conglomerados	26	9	
		NO DATA	3	NO DATA	
		Riesgo		1	
		Muy Baja Vulnerabilidad	7	3	
		Baja vulnerabilidad	11	5	

Pendientes	19	Medianamente Vulnerable	15	7
		Altamente Vulnerable	19	9
		Completamente Vulnerable	30	6
		NODATA	18	6
Cobertura				
Uso y cobertura vegetal	42	Área poblada	42	4
		Bosque nativo	10	9
		Cultivo	36	2
		Paramo	6	8
		Pastizal	12	1
		Plantación forestal	24	3
		Vegetación arbustiva	3	5
		Vegetación herbácea	6	4
		NO DATA	9	NO DATA
		Precipitación		
Precipitaciones´	9	Bajo	3	3
		Medio	6	6
		Alto	9	9
		NO DATA		NO DATA

Fuente: (Autores)

Con la información presentada en la tabla podemos ejecutar la herramienta para así poder obtener el mapa cuya información intrínseca nos podrá dar el resultado del grado de susceptibilidad a deslizamientos que presenta el territorio donde se encuentra la parroquia Bulán.

4.5. Generación de propuestas para prevenir y mitigar los impactos ocasionados por los deslizamientos

4.5.1 Análisis FODA

Para establecer las medidas de prevención y mitigación se realizó un análisis (FODA) de la parroquia Bulán.

Fortalezas:

- La parroquia cuenta con suelos altamente cultivables.
- El clima presente en la zona es favorable para el desarrollo productivo.
- Posee diversas fuentes hídricas

Oportunidades:

- Implementación de diversos proyectos para el cuidado del ambiente por parte de la unidad de gestión ambiental del cantón Paute (UGA).
- El GAD en conjunto con el MAGAP podría presentar diversos proyectos para el desarrollo agro productivo de la zona.
- Implementar técnicos que se enfoquen en recuperación de suelos, manejo de ecosistemas y ordenamiento territorial.

Debilidades

- Topografía irregular en la zona
- Presencia de altas pendientes
- Los habitantes no poseen conocimiento sobre cómo proceder ante la presencia de deslizamientos.
- Existe un manejo inadecuado de aguas de riego y aguas lluvia.
- Nula información sobre los deslizamientos y sus afecciones.

Amenazas

- Afección a carreteras, viviendas, cultivos ante los deslizamientos
- Baja promoción turística
- Afecciones en la vía causadas por los deslizamientos.

- Nulo interés por parte de las autoridades competentes en las zonas afectadas por deslizamientos.

En base al análisis FODA realizado se procede a la generación de las medidas las cuales ayudaran a los gobiernos autónomos descentralizados tanto parroquial como cantonal a tomar decisiones acertadas.

4.5.2 Medidas

Tabla 23 Medidas de prevención a aplicarse en la parroquia Bulán

Medida	Alcance	Actividades	Medio de verificación	Presupuesto
<ul style="list-style-type: none"> • Poner en conocimiento al GAD de la parroquia Bulán los mapas de susceptibilidad ante deslizamientos para evitar asentamientos humanos en las zonas consideradas de mayor riesgo. 	Parroquial	Realizar publicidad en pancartas, medios de comunicación escrito y televisado. Charlas con la comunidad.	Fotografías Documentos	\$100
<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de señalética de gran visibilidad y distancia en las zonas con amenaza a deslizamiento. 	Parroquial	Realizar las señaléticas en la parroquia según el nivel de impacto de los deslizamientos.	Fotografías	\$700
<ul style="list-style-type: none"> • Estabilización de taludes para evitar deslizamientos de gran magnitud, mediante la implementación de muros. 	Parroquial	Realizar los taludes en función de la topografía del terreno en mención.	Informe	\$250
<ul style="list-style-type: none"> • Generar un adecuado manejo de aguas de riego en zonas de cultivo. 	Parroquial	Realizar un plan sobre el riego estabilizado del sector. Generar un sistema de riego por goteo.	Informe	\$300
<ul style="list-style-type: none"> • Adecuado Ordenamiento Territorial de la 	Parroquial	Implementar un sistema de ordenamiento	Informe	\$180

<p>Parroquia ya que las zonas pobladas se encuentran dispersas, dificultando el adecuado manejo de las aguas residuales.</p>		<p>territorial de acuerdo con el impacto paisajístico del sector.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Implementar estrategias de conservación de Paramos ya que los mismos se encuentran degradados por la presencia de ganadería. 	<p>Parroquial</p>	<p>Realizar un tríptico referente a las zonas de conservación con interés geológico y geomorfológico.</p>	<p>Informe \$100</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Plantación de árboles en zonas que tienen erosión para salvaguardar el suelo y subsuelo propensos a deslizamientos. 	<p>Parroquial</p>	<p>Realizar una reforestación de especies nativas e introducidas con alto grado de interés geológico.</p>	<p>Fotografías. \$250</p>

Fuente: (Autores)

V. RESULTADOS

Al culminar con el respectivo análisis geográfico, podemos hacer denotar los resultados que se obtuvieron de cada una de las variables escogidas; las mismas que se reflejaran en este apartado.

5.1. Análisis de las pendientes

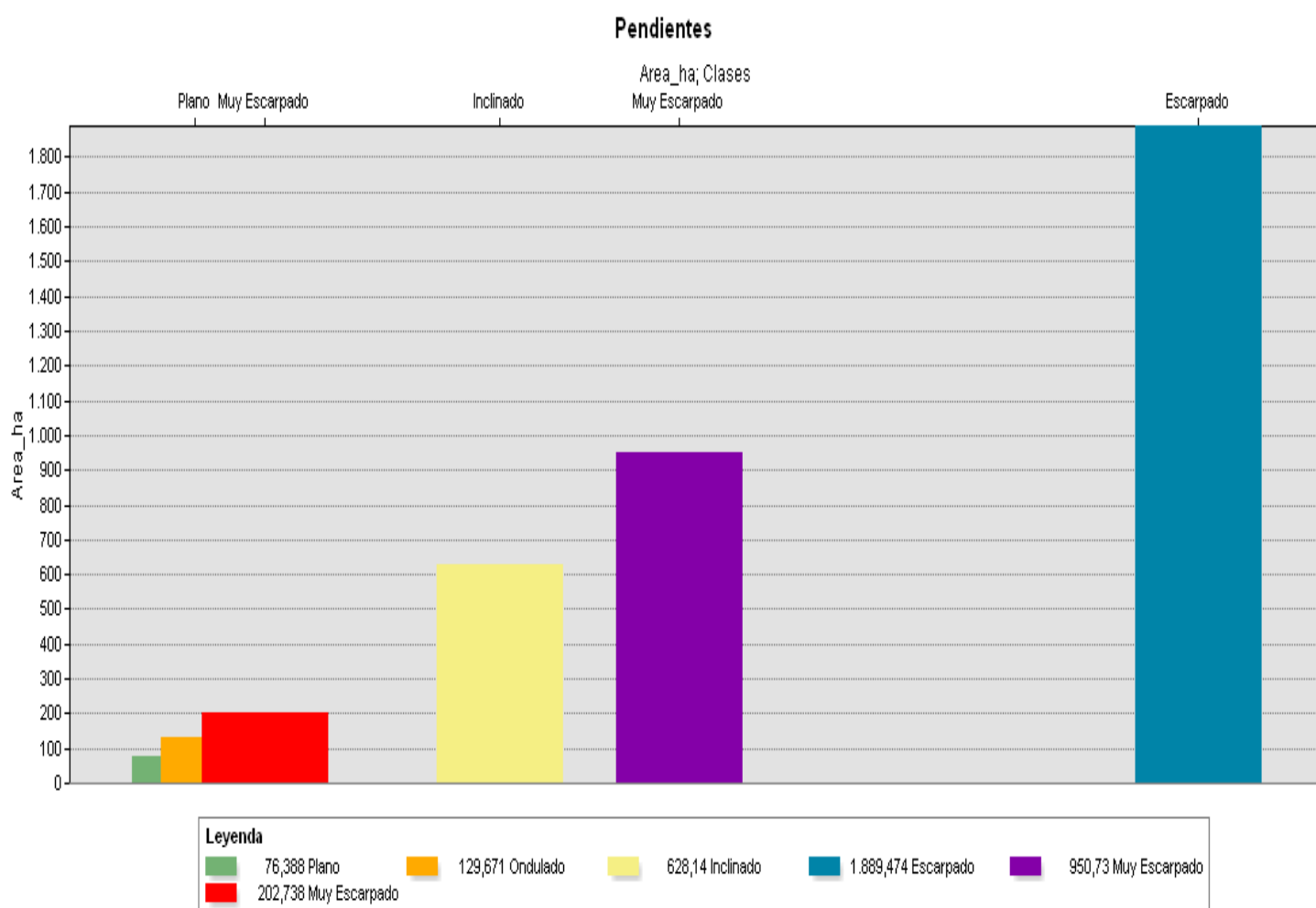


Grafico de pendientes

Ilustración 13 Distribución de Pendientes en Función del Área.

Fuente (Autores)

En la ilustración 13 se puede visualizar la distribución que presentan las pendientes dentro de la zona de estudio, en la cual se evidencia que las pendientes escarpadas tuvieron un área de

1889,47 (Ha) siendo esta las más predominantes dentro del territorio que comprende la parroquia Bulán; de la misma manera el área que presentan el resto de las clases de pendientes son las siguientes:

Plano con un área de 76,39 (Ha); Inclinado con un área de 628, 14 (Ha); Ondulado con un área de 129,67 (Ha); Muy escarpado con un área de 950, 73 (Ha); demasiado escarpado con un área de 202,74 (Ha).

Las pendientes demasidamente escarpadas cuyo porcentaje es mayor al 70% se encuentran ubicadas mayoritariamente en las comunidades Padre Urco, Tuntag Huintul, Tambillo y Guayan respectivamente y las pendientes planas; es decir, con un grado de pendiente de entre 0 a 5 % se localizan en la zona norte de la parroquia sobre la comunidad Padre Urco en zona limítrofe con el cantón Azogues Provincia del Cañar.

5.2. Análisis del Uso Y Cobertura del Suelo

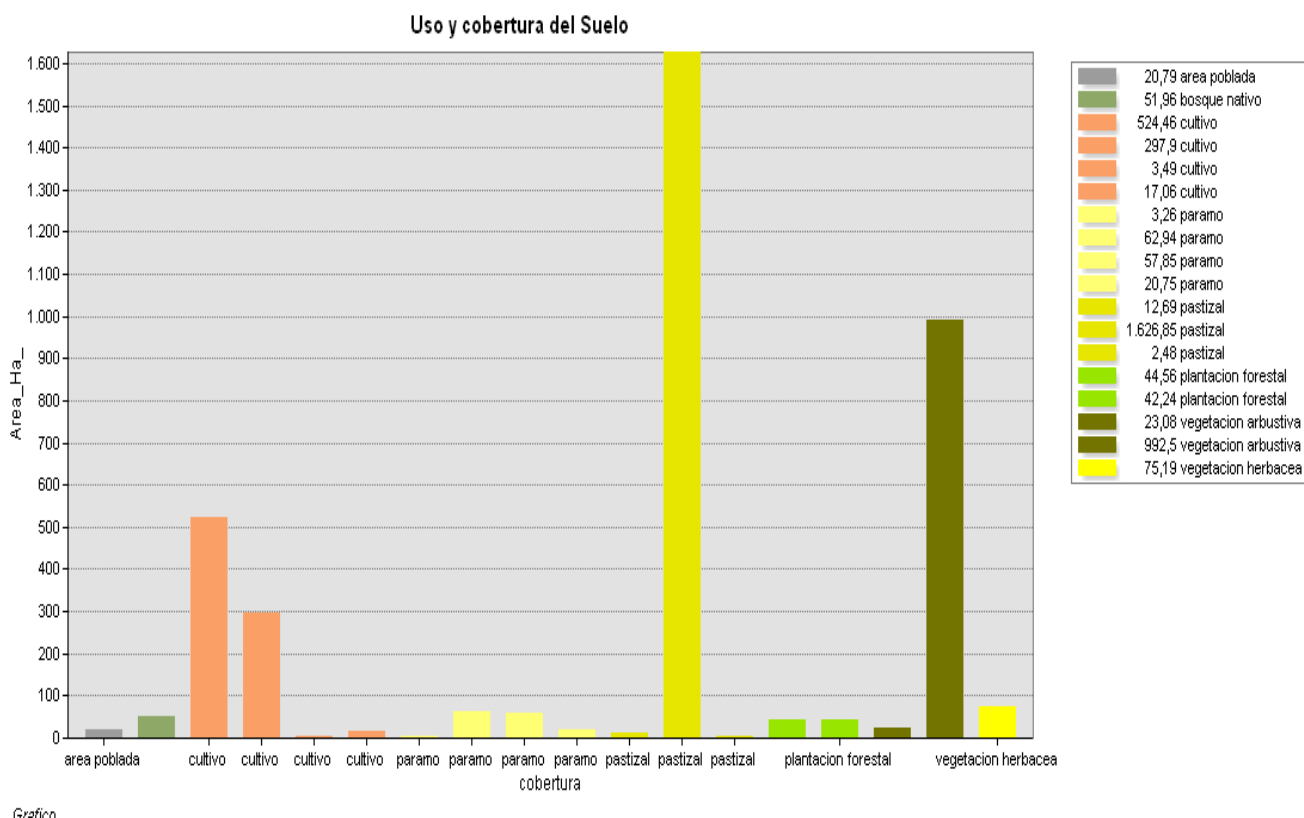


Ilustración 14 Distribución del Suelo en Función del Área.

Fuente (Autores)

De conformidad con el análisis grafico la cobertura vegetal que predomina es el pastizal, puesto que cubre un área de 1640 (Ha) aproximadamente; seguido de la vegetación arbustiva que alcanza un área de 1015,5 (Ha) aproximadamente; Luego tenemos los cultivos que comprenden un área de 842,91 (Ha); y por ultimo tenemos las zonas con áreas minoritarias de: 1.- Paramo 144,8 (Ha) aproximadamente, 2.- Plantación Forestal con 86,80 (Ha) aproximadamente 3.- Vegetación Herbácea con 75,19 (Ha) aproximadamente. 4.- Bosque nativo con 51,96 (Ha) aproximadamente 5.- Área poblada con 20,79 (Ha) aproximadamente.

5.3. Análisis de Precipitación

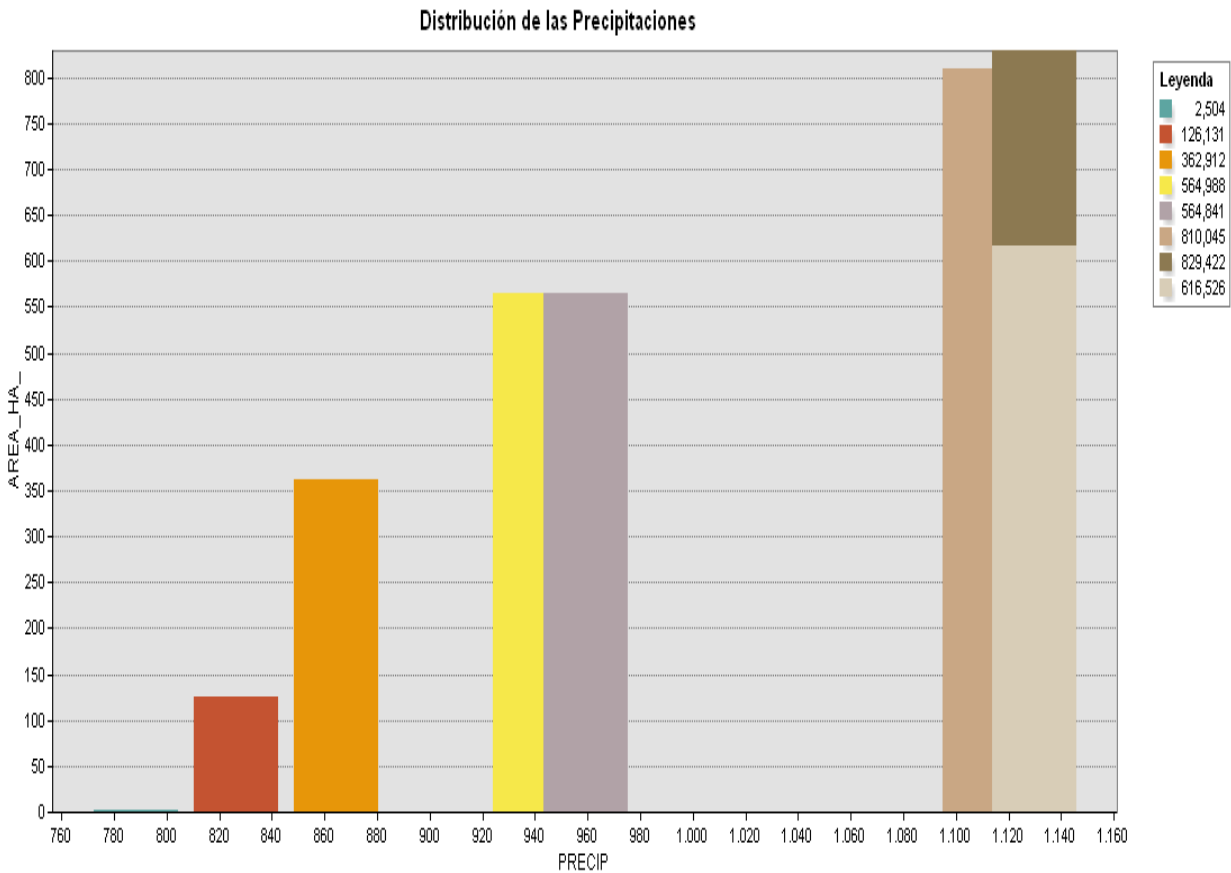


Grafico de Precipitaciones

Ilustración 15 Comportamiento de las precipitaciones en Función del Área.

Fuente (Autores)

Como se puede visualizar en la ilustración 15 correspondiente al análisis realizado en base a las precipitaciones registradas en los últimos 30 años sobre la parroquia Bulán, podemos describir el comportamiento de este fenómeno meteorológico. Dando así un rango máximo de precipitación que va desde los 1120 mm/año a los 1140 mm/año, estos valores que corresponden a los más altos se establecen por encima de la cota 2480 msnm y abarca toda la extensión territorial de la comunidad Padre Urco y partes de las comunidades de Suman, Tambillo, Tuntac y Bulán cuya área sumando un área total de 2255,99 (Ha) aproximadamente.

Consecuentemente los valores de las precipitaciones más bajas se encuentran entre el rango de los 810 mm/año a los 880 mm/año entre las cotas 2300 msnm y 2340 msnm respectivamente. Abarcando un área de 489,04 (Ha) aproximadamente correspondiente a una sección de la comunidad Pirámide

También existe una zona media donde las precipitaciones oscilan entre el rango de los 925 mm/año y los 970 mm/año entre las cotas 2340 msnm y 2480 msnm respectivamente. Abracando un área total de 1129,83 (Ha) aproximadamente, comprendidas entre las comunidades Tuntag Huintul, Tuntac, Guayan, Tambillo, La Pirámide y Bulán respectivamente.

5.4. Análisis Geológico

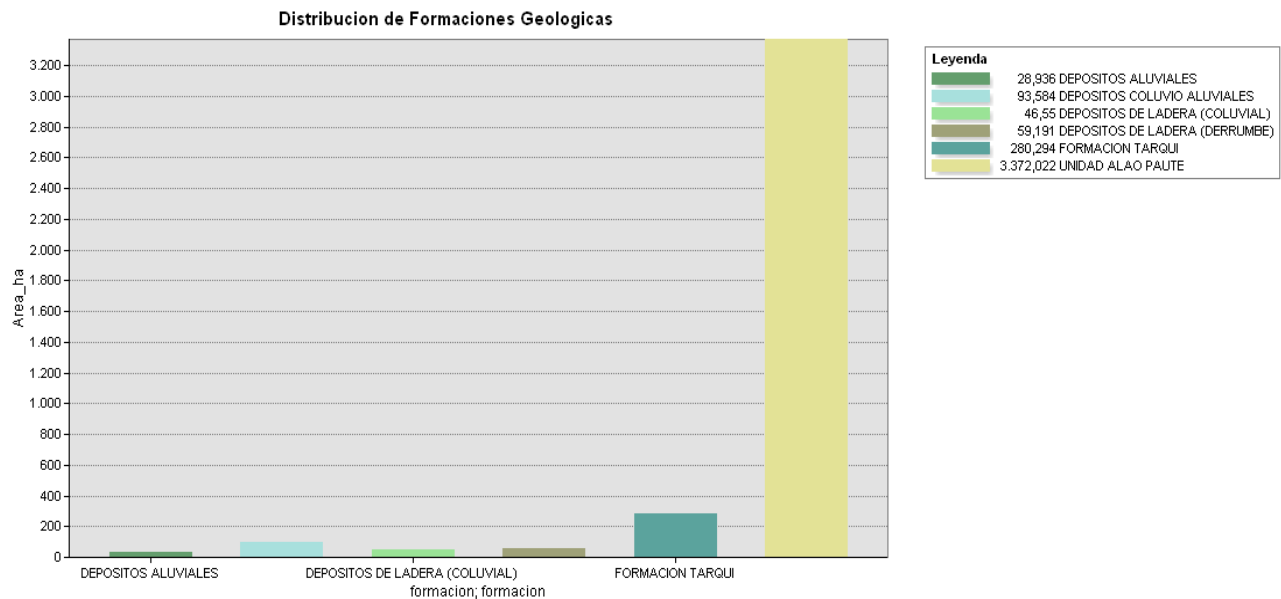


Ilustración 16 Distribución Geológica en Función del Área.

Fuente (Autores)

Como se expresa en la ilustración 16 la mayor parte del territorio que comprende la parroquia Bulán está formada por la unidad geológica Alao Paute, misma que ocupa un área de 3372 (Ha) aproximadamente; a esta le sigue en extensión territorial la unidad geológica Formación Tarqui cuya área es de 280, 29 (Ha) y posterior a estas las unidades geológicas minoritarias como son 1.- Depósitos coluvio aluviales con un área de 93,58 (Ha) aproximadamente 2.- Depósitos de ladera (derrumbes) con un área de 59,19 (Ha) aproximadamente, 3.- Depósitos de ladera (Coluviales) con un área de 46,55 (Ha) aproximadamente, 4.- Depósitos Aluviales con un área de 28,94 (Ha) aproximadamente.

5.5. Análisis Geomorfológico y Litológico

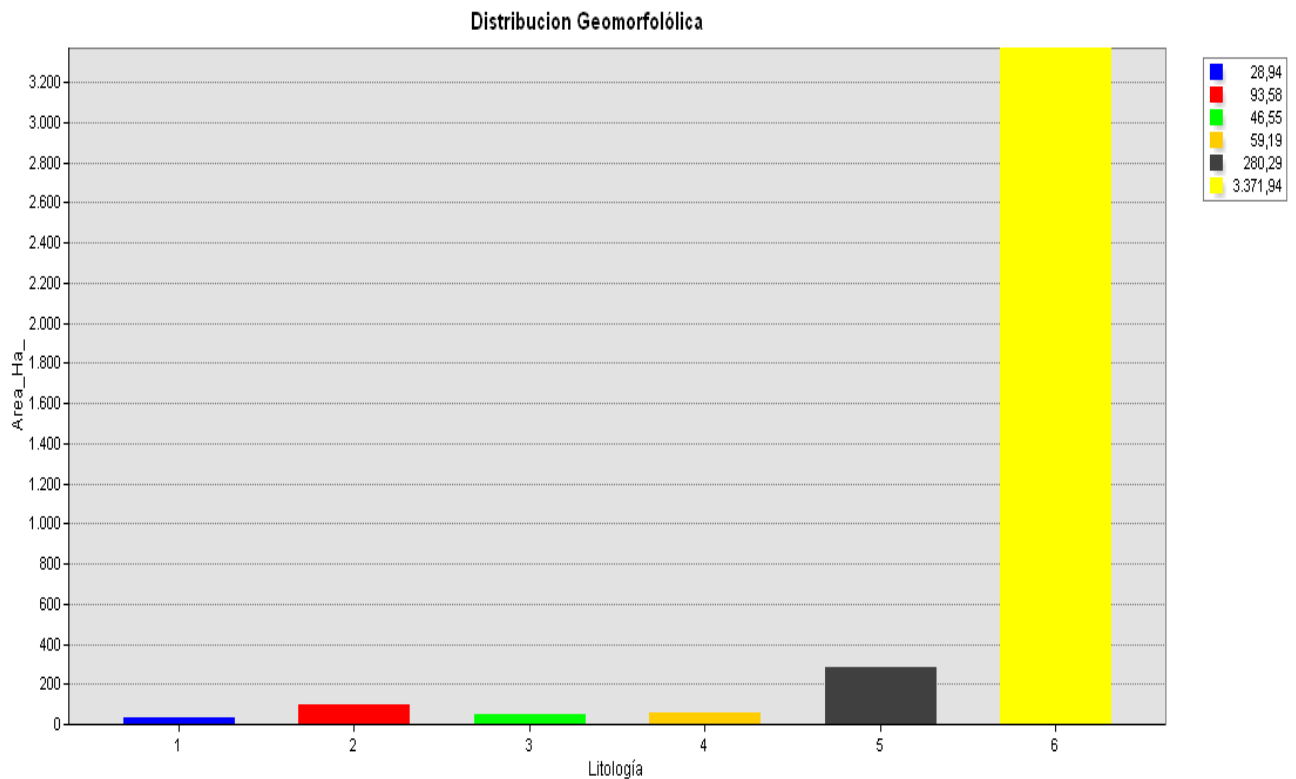


Ilustración 17 Distribución Litológica en Función del Área.

Fuente (Autores)

En cuanto a la litología y geología la zona presenta gran predominancia de rocas metamórficas (unidad Alao-Paute) ocupando un porcentaje del 86,89% del territorio altamente susceptible a deslizamientos; los afloramientos de rocas volcánicas de la formación Tarqui, se compone de material piroclástico que composición acida y arcillas expansivas, que con el agua

lluvia y excesivo uso de riego, se vuelven materiales poco resistentes y muy permeables dando paso a los deslizamientos.

Tabla 24 Áreas susceptibles a deslizamientos acorde a la litología y geomorfología presente en la parroquia Bulán

N.º	Geomorfología	Litología	Superficie (ha)	Porcentaje (%)	Susceptibilidad
1	Depósitos aluviales	Arenas, limos, arcillas y conglomerados	28,94	0,75	Muy alta
2	Depósitos coluvio aluviales	Limo-arcillas, arenas, gravas y bloques	93,58	2,41	Muy alta
3	Depósitos de Ladera (Coluvial)	Mezcla heterogénea de materiales finos y fragmentos angulares rocosos, con ausencia de estratificación y estructuras de ordenamiento interno	46,55	1,20	Muy alta
4	Depósitos de ladera (Derrumbe)	Mezcla heterogénea de materiales finos y fragmentos angulares rocosos de muy diverso tamaño	59,19	1,53	Muy alta
5	Formación Tarqui	Tobas y aglomerados (dacíticos, riolíticos y andesíticos) caolinizados, con bajo porcentaje de lava	280,29	7,22	Alta
6	Unidad Alao Paute	Metavolcanitas con débil metamorfismo, lavas masivas y filitas verdes, esquistos verdes, cuarcitas y mármoles	3372,03	86,89	Alta

Fuente: (Autores)

Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos Obtenido Mediante la Metodología Multicriterio.

Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos de la Parroquia Bulán, Canton Paute, Metodología Multicriterio

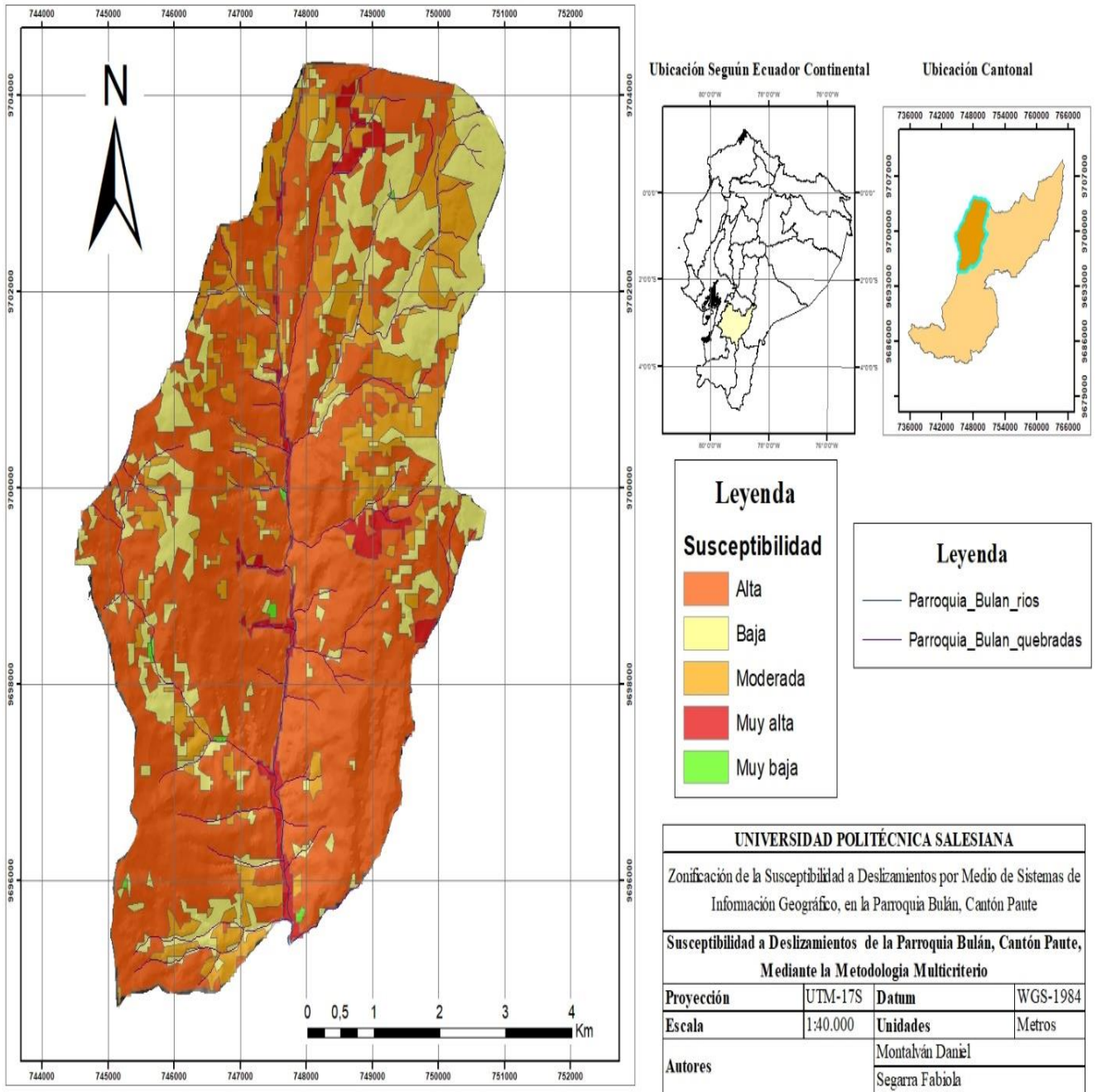


Ilustración 18 Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos de la Parroquia Bulán, Cantón Paute, mediante la metodología Análisis Multicriterio

Fuente: (Autores)

De conformidad con el mapa de susceptibilidad a deslizamientos que se obtuvo de la parroquia Bulán se puede realizar la siguiente tabla de resultados.

Tabla 25 Resumen de Resultados

Susceptibilidad A Deslizamientos			
	% Territorial	Área (Ha)	Distribución
Muy Baja	0.21	8	Plantación forestal, pastizal, paramo
Baja	18.52	713	Arbustivo, Paramo
Moderada	14.62	563	Pastizal, Cultivo, Nativo
Alta	63,43	2442	Cultivo, Urbano, fuentes Hídricas, Pastizal.
Muy Alta	3,22	124	Fuentes Hídricas, Pastizal
Sumatoria	Total 100%	Total 3850 (Ha)	

Fuente: (Autores)

De tal manera que tomando los datos reflejados en la tabla de resultados podemos aseverar que del total del territorio que comprende la parroquia Bulán menos de un 1% presenta una gran estabilidad del suelo, dándose estas condiciones precisamente en sectores de la parroquia donde existe la presencia de árboles maderables y con extensos sistemas radicales así como en las cotas más altas donde existe la presencia de suelos con poca estratificación y fragmentos rocosos macizos y por último en pequeñas áreas donde predomina el pasto más denso y verde.

También podemos ver que el mayor porcentaje territorial de la parroquia se encuentra con una susceptibilidad alta con un área total de (63,43 %), esto debido al avance desmedido de la frontera agrícola principalmente.

Se puede visualizar que la parroquia presenta un porcentaje moderado del 14.62% a sufrir un fenómeno natural de deslizamientos de masas de tierra lo que redonda precisamente en la desaparición de vegetación natural, el avance de la frontera agrícola y extensión del casco urbano de la parroquia.

Por último, la susceptibilidad que presenta Bulán con un grado Muy Alto de sufrir una catástrofe de este tipo representa una extensión territorial relativamente pequeña, más sin embargo la zona donde se emplaza este riesgo se centra a las orillas o cercanías de las vertientes y el río que

transita por la parroquia, factor que eleva la amenaza y el riesgo de los deslizamientos de tierras.
Ver Ilustración 18 (Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos)

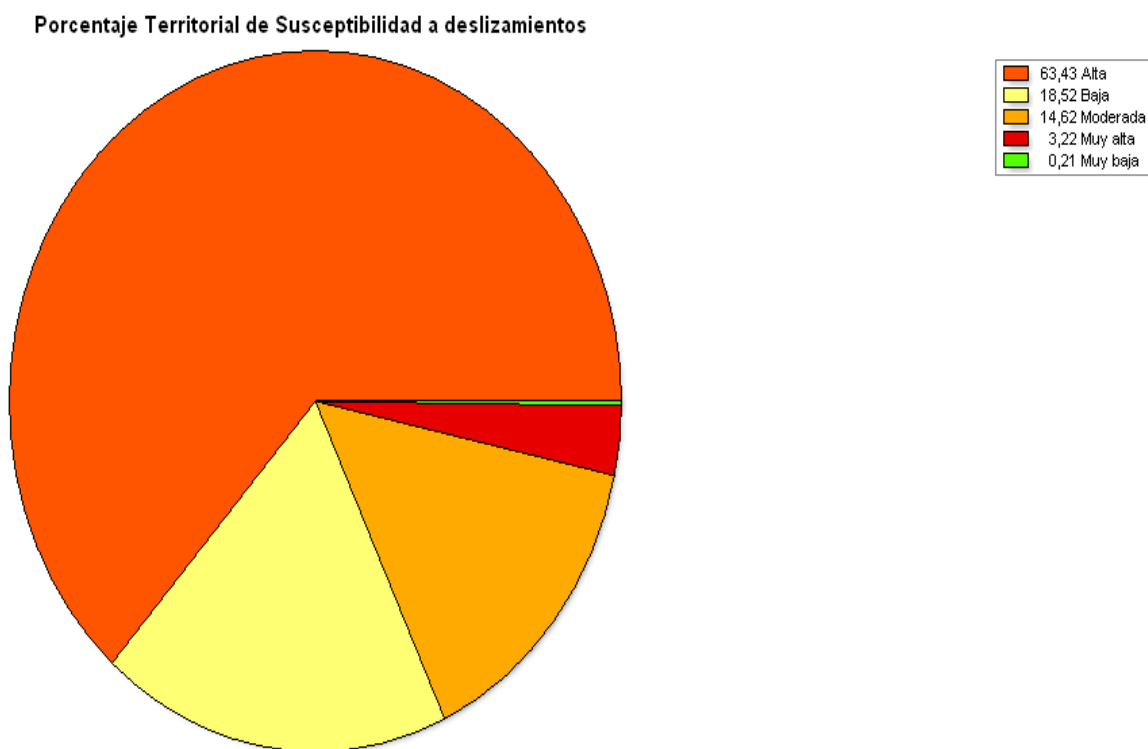


Gráfico % de Deslizamientos

Ilustración 19 Gráfico de área porcentual de Susceptibilidad

Fuente (Autores)

Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos Obtenido Mediante la Metodología Mora Vahrson.

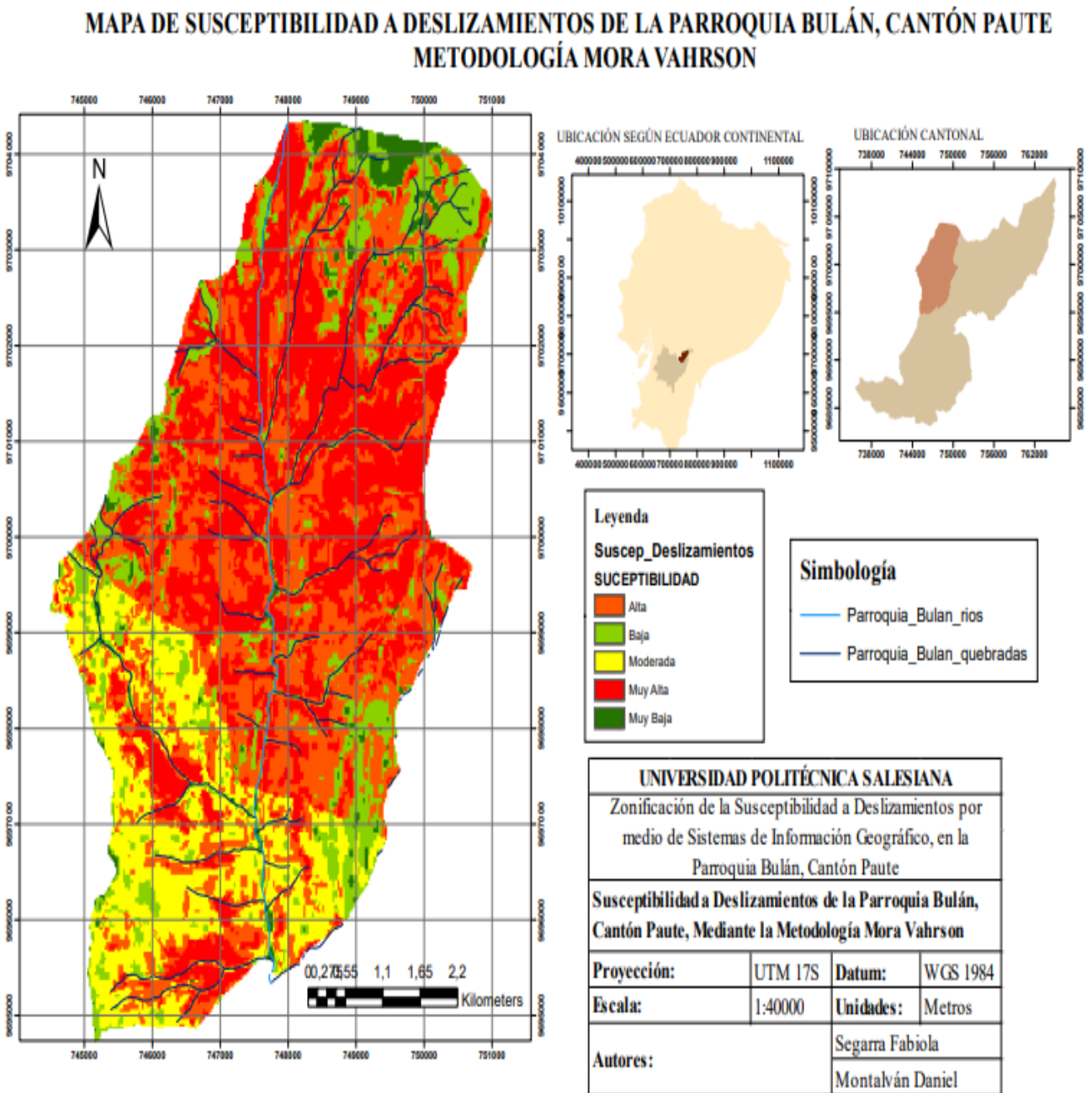


Ilustración 20 Mapa de susceptibilidad a Deslizamientos de la parroquia Bulán, cantón Paute

Fuente: (Autores)

De acuerdo con la metodología Mora Vahrson la parroquia Bulán presenta 5 niveles de susceptibilidad a deslizamientos (Muy baja, baja, moderada, alta, muy alta).

Las zonas con grado de susceptibilidad muy alto afectan un 35.45% (1375,06 hectáreas) de la superficie total de la parroquia (3880,58 hectáreas), ubicadas en parte en la comunidad de Padrehurco, Tambillo, Bulán, Suman.

Con respecto a las zonas con grado de susceptibilidad alto afectan un 32, 78% (1272,1 hectáreas) de la superficie total de la parroquia ubicadas mayormente en la comunidad de Padrehurco, parte alta de la comunidad de Tambillo, Bulán y Suman, pequeñas áreas en las comunidades La Pirámide, Guayán, Tuntac y Tuntag Huintul.

Tabla 26 Áreas Susceptibles a deslizamientos de la Parroquia Bulán Mediante la Metodología Mora Vahrson

Susceptibilidad a Deslizamientos	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Muy Baja	98,715	2,54
Baja	540,02	13,92
Moderada	594,68	15,32
Alta	1272,1	32,78
Muy Alta	1375,06	35,43
Superficie Total	3880,575	100

Fuente: (Autores)

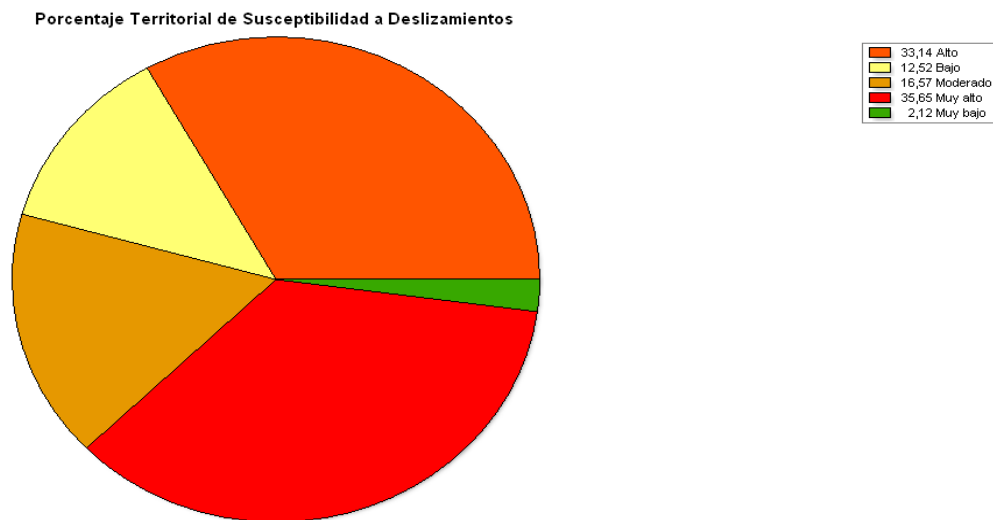


Grafico % de Deslizamientos

Ilustración 21 Porcentaje de áreas susceptibles a deslizamientos de la Parroquia Bulán, Cantón Paute; mediante la metodología Mora Vahrson

Fuente: (Autores)

VI. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Al haber concluido con la interpretación de los resultados obtenidos mediante el análisis geográfico y estadístico aplicado, se da la imperiosa necesidad de validar dichos resultados de tal manera que se pueda reflejar el porcentaje de confiabilidad de los dos métodos aplicados, para así corroborar la fiabilidad de estos en términos porcentuales.

De tal manera que se ha recurrido a un método estadístico que utilizará un algoritmo matemático, el mismo que estará regido por la ecuación estipulada para la obtención del índice de Kappa.

El índice de kappa se pretende obtener ya que este coeficiente nos permite entender la correlación estadística existente entre dos investigadores o para este apartado exclusivo, entre dos métodos aplicados para una misma investigación. (Cerde & Villarroel, 2008)

El índice o coeficiente de Kappa separa la concordancia debida meramente al azar; otorgando un valor de concordancia máxima o mínima posible, condicionado por la distribución estadística marginal. (Ullibarri & Fernandez, 2010).

Por lo tanto, la ecuación para calcular el índice de Kappa es el siguiente:

$$K = \frac{Po - Pe}{1 - Pe}$$

Ecuacion.12

Fuente: (Abraira., 2001)

Donde:

Po = Es la proporción de acuerdos observados. (Abraira., 2001)

Pe = Proporción de acuerdos esperados en la hipótesis de independencia entre los observadores. (Abraira., 2001).

Para poder interpretar el resultado del índice de Kappa se debe recurrir a la siguiente escala de valores citadas por Abraira y propuesta por Landis y Koch la misma que se especifica a continuación:

Tabla 27 Valoración del Índice de Kappa.

Índice de Kappa	Grado de Concordancia
<0.00	Sin Acuerdo
0.00-0.20	Insignificante
0.21-0.40	Mediano
0.41-0.60	Moderado
0.61-0.80	Sustancial
0.81-1.00	Casi Perfecto

Fuente (Abraira., 2001)

Este análisis de validación se aplicó a los mapas de susceptibilidad a deslizamientos que dio como resultado las dos metodologías propuestas para este fin.

De tal manera que para la metodología Multicriterio el índice Kappa se representa en el siguiente análisis.

Tabla 28 Análisis del Índice Kappa para el Mapa de deslizamientos (Metodología Multicriterio)

Clases	M.B	B	M	A	M.A	Total	Eficiencia
Muy Bajo	3	0	0	0	0	3	1
Bajo	0	6	2	0	0	8	0.75
Moderado	0	0	6	0	0	6	1
Alto	0	0	0	19	0	19	1
Muy Alto	2	0	3	2	1	8	0.125
Total	5	6	11	21	1	44	0
Ef.	0.6	1	0.545	0.90	1	-	0.79
Parcial Índice Kappa	-	-	-	-	-	-	0.717

Fuente (Autores)

Como se evidencia en la tabla 28 y 29, el índice de Kappa para el mapa de deslizamientos desarrollados bajo los lineamientos del método Multicriterio nos da un valor del 0,717; este valor interpretándolo con la ayuda de la escala Kappa enunciada en la tabla 27 nos indica que el grado de concordancia o fiabilidad es sustancial por encontrarse dentro del rango 0,61-0,80. Esto en términos de porcentaje nos da un valor de 71,7 % de concordancia.

De la misma manera, para la metodología Mora Vahrson el índice Kappa se representa en el siguiente análisis.

Tabla 29 Análisis del Índice Kappa Para el Mapa de Deslizamientos (Metodología Mora Vahrson)

Clase	M.B	B	M	A	M.A	Total	Eficiencia
Muy Baja	10	0	0	0	0	10	1
Baja	0	15	0	0	0	15	1
Moderada	1	1	3	4	1	10	0.3
Alta	0	0	0	10	0	10	1
Muy Alta	0	0	0	0	15	15	1
Total	11	16	3	14	16	60	0
Efi.Parcial	0.909	0.937	1	0.71	0.937	-	0.88
Índice Kappa	-	-	-	-	-	-	0.85

Fuente (Autores)

Como se evidencia en la tabla 30 el índice de Kappa para el mapa de deslizamientos desarrollados bajo los lineamientos del método Mora Vahrson nos da un valor del 0,85; este valor interpretándolo con la ayuda de la escala Kappa enunciada en la tabla 27 nos indica que el grado de concordancia o fiabilidad es sustancial por encontrarse dentro del rango 0,81-1,00. Esto en términos de porcentaje nos da un valor de 85 % de concordancia.

VII. DISCUSIONES

(Chaverri-Molina, 2016) identificó las zonas susceptibles a deslizamientos pertenecientes a la microcuenca del Río Macho, a través de los sistemas de información geográfica, haciendo uso de la metodología Mora Varhson, cuyos resultados mostraron las zonas susceptibles de muy baja y baja, la misma que coincide con la descripción topográfica de la zona en estudio. Además, encontró que el 8% del área estudiada pertenece a susceptibilidad alta.

(Quesada & Feoli, 2018) analizaron los métodos MoraVahrson y el método morfométrico para examinar sus fortalezas y debilidades en la identificación de áreas propensas a deslizamientos de tierra. Se demostró los métodos y seguidamente se realiza un análisis de caso en la microcuenca del río Macho al noreste de San José para relacionar los resultados de ambos métodos. Este análisis muestra que ambos métodos son importantes para determinar la zonificación de zonas propensas a deslizamientos de tierra dependiendo de la disponibilidad recursos. Finalmente, estas herramientas se pueden utilizar para el manejo y gestión del riesgo de desastres para los procesos de pendiente y la planificación del suelo.

(Coronel & Cevallos, 2010) realizaron un análisis independiente de cada variable con la intención de medir la influencia de cada una de ellas en la formación de deslizamientos, y se identificaron la pendiente y la geología como los factores más importantes. El modelo de vulnerabilidad desarrollado con la ayuda de herramientas GIS (Sistemas de Información Geográfica) se mejoró al hacer un balance de los deslizamientos de tierra en el campo. Este modelo muestra que más del 50% del territorio tiene condiciones de susceptibilidad moderadas a muy altas. Con esta metodología, se elaboraron planes de zona que permiten priorizar las medidas de mitigación y al mismo tiempo sirven como ayuda para la toma de decisiones para la ordenación territorial y el crecimiento ordenado de la ciudad. Estos temas se abordan en la parte final del documento, que presenta una serie de proyectos destinados a reducir tanto los daños causados por los deslizamientos de tierra como el impacto de las presiones urbanas sobre los recursos naturales.

VIII. CONCLUSIONES

Los sistemas de información geográfico (SIG), resultaron de gran utilidad para la ejecución del análisis realizado, ya que por medio de los softwares utilizados (ArcGIS 10.5 Y ENVI 5.3) logramos obtener resultados para poder tramitar políticas ambientales y de gestión de riesgos.

La susceptibilidad baja a deslizamientos, aunque en poca área se localiza sobre la comunidad de padre Urco y la comunidad Bulán principalmente (Obtenido por el método Multicriterio), debido a la presencia de vegetación forestal representados por especies como el eucalipto y el pino cuyas raíces son profundas y estabilizan las masas de tierra. Así también las zonas más susceptibles a deslizamientos se localizan en el centro de la parroquia junto a las fuentes hídricas Debido a que en dicha zona la cobertura vegetal es débil con escasa rizosfera a más de presentar las más altas precipitaciones de la zona.

La zonificación obtenida de la susceptibilidad a deslizamientos por medio de la metodología Mora – Vahrson fue de fácil utilidad y de gran precisión ya que la confiabilidad del método fue del 85%, mientras que el método de análisis multicriterio tuvo una confiabilidad 71,6%.

Las comunidades ubicadas en las partes altas de la parroquia Bulán presentan una susceptibilidad a deslizamientos de alta, debido a que las mismas presentan intensas precipitaciones y cuentan con pendientes pronunciadas.

La lluvia y la actividad sísmica presente en la zona de estudio es constante por lo que la pendiente, geomorfología, litología, uso y cobertura de suelo son los factores más influyentes para la zonificación de la susceptibilidad.

La validación de resultados nos permite asegurar que la metodología Mora Vahrson es la más fiable de aplicar al momento de realizar análisis de deslizamientos por masas de tierras en zonas con una topografía muy accidentada.

La identificación de las zonas susceptibles a deslizamientos es de gran ayuda para entes encargados en lo que respecta a Ordenamiento territorial y el otorgamiento de permisos de construcción.

IX. RECOMENDACIONES

- Validar la zonificación obtenida para este tipo de estudios, ya sea por fotografías aéreas recientes o visitas de campo del aérea de estudio.
- Utilizar escalas de acuerdo con las recomendaciones estipuladas (1:50000).
- Trabajar con curvas de nivel acordes, para facilitar la realización del mapa de pendientes, tomando en cuenta todos los procesos que se deben realizar en el Arc Map.
- Trabajar con imágenes satelitales actuales y con el menor porcentaje de nubosidad para una correcta identificación de la cobertura vegetal.
- Clasificar la susceptibilidad a deslizamientos en cuantas menos clases sea posible; recomendando para ello un numero de 3, ya que facilitara la gestión y análisis de datos geográficos.
- Establecer alianzas entre instituciones y autoridades competentes para la implementación de instrumentos de medición meteorológica en la parroquia Bulán, a fin de tener datos meteorológicos precisos de la zona.
- Se recomienda que se tomen medidas acertadas en las zonas susceptibles a deslizamientos por parte de las autoridades competentes, para evitar pérdidas humanas y estructurales.
- Se recomienda que el presente trabajo de titulación sirva como guía para futuras investigaciones investigación que se realicen en la parroquia en lo que concierne a desastres naturales.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraira., V. (Mayo de 2001). Notas Estadísticas. *Semergen*, 27(5), 3. Recuperado el 10 de Octubre de 2021, de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/S113835930173955X.pdf
- Abril Abril, A. L. (2011). Estudio e implementación de un modelo para zonificación de áreas susceptibles a deslizamiento mediante el uso de sistemas de información geográfica: caso de estudio sector Quimsacocho.
- Aguilar, H., Mora, R., & Vargas, C. (2014). Metodología Para la Corrección Atmosférica de Imágenes ASTER, RAPIDEYE, SPOT 2 Y LANDSAT 8 con el Módulo Flaash del Software ENVI. *Revista Geográfica de América Central*, 2(53), 22. doi:<https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Alvarado, G., & Espinoza, I. (2018). *Evaluación Temporal del Uso y Cobertura Vegetal del Suelo en la Sub-Cuenca del Río Llavircay y Planteamiento de Acciones Para su Manejo y Gestión*. Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Ambiental, Cuenca. Recuperado el 29 de Agosto de 2021, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15634/1/UPS-CT007683.pdf>
- Arias Torres, B. (2012). Deslizamientos en Taludes Inducidos por altas Precipitaciones en vías Intermunicipales en Colombia.
- Barrantes Castillo, G., Barrantes Sotela, O., & Nuñez Roman, O. (2011). Efectividad de la Metodología Mora-Vahrson modificada en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de Cinchona, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 9.
- BEERS, G. &. (27 de Diciembre de 2019). *GIS & BEERS*. Obtenido de <http://www.gisandbeers.com>
- Casallas Galindo, Y. A. (2014). Uso de SIG para la evaluación de amenaza por procesos de remoción en masa en la localidad de Suba.
- Cerda, J., & Villarroel, L. (17 de Enero de 2008). Evaluación de la Concordancia Inter-Observador en Investigación Pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Chil Pediatr*, 79(1), 5. Recuperado el 10 de Octubre de 2021, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcp/v79n1/art08.pdf>
- Chaverri Molina, I. F. (2016). Zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos por medio de la metodología Mora- Vahrson, en la microcuenca del Río Macho, San José, Costa Rica. *Instituto Tecnológico de Costa Rica*.
- Cherres, J. (2013). Deslizamientos en el Ecuador (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Asamblea Nacional, Quito. Recuperado el 10 de Octubre de 2021, de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Asamblea Nacional, Quito. Recuperado el 10 de Octubre de 2021, de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf (2010). *COOTAD*.

- Asamblea Nacional , Quito. Recuperado el 10 de Octubre de 2021, de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_org.pdf
- Correa Campues, C. J. (2013). Análisis de la susceptibilidad a procesos de Remoción de Masa en Estructuras lineales mediante la utilización de sistemas de Información Geográfica.
- García, T., & Mas, J. (Septiembre de 2008). Comparación de Metodologías Para el Mapeo de la Cobertura y Uso del Suelo en el Sureste de México. *Investigaciones Geográficas*(67), 7. Recuperado el 29 de Agosto de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112008000300002
- Gil, C. J. (2015). *Estudio de la Susceptibilidad a los Deslizamientos en la Antigua Provincia de Pinar del Río*. Tesis , Universidad de Pinar del Río, Geología Ambiental , Cuba . Recuperado el 5 de Septiembre de 2021, de https://rc.upr.edu.cu/bitstream/DICT/1784/1/Tesis_Carlos%20Javier.pdf
- GOAL. (2015). *HERRAMIENTA PARA MEDIR LA RESILIENCIA COMUNITARIA ANTE DESASTRES*.
- Gonzales de Vallejo, L. (2006). *Deslizamientos y otros movimientos de terreno*. Madrid, España: Pearson Educación.
- Guamán, G. (2012). *Aplicación de SIG para el manejo de riesgos naturales en el área urbana de la Ciudad de Loja*. Quito: Universidad San Francisco.
- Hantson, E, C., X, P., C, D., C, C., G, M., & J.A, T. (2011). Cadena de Procesamiento Estandar Para las Imagenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. *Revista de Teledetección*, 5. Recuperado el 19 de Agosto de 2021, de https://www.researchgate.net/profile/Xavier-Pons-3/publication/267397643_Validacion_de_un_metodo_de_correccion_radiometrica_sobre_diferentes_areas_montanosas/links/5568913c08aefcb861d5be6c/Validacion-de-un-metodo-de-correccion-radiometrica-sobre-diferente
- INEC. (2012). Uso del suelo en el Ecuador. *INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS Y CENSOS*.
- Lopez Santoyo, A. (2015). Programa para obtener tablas de valores de pendiente del terreno usando mapas topográficos. *Scielo*.
- Maldonado, Y. (2016). *Factores que influyen en la estabilidad de taludes*. Obtenido de Geología Web: <https://geologiaweb.com>
- Matellanes, R. (2018). *Geo Innova*. Obtenido de <https://geoinnova.org>
- Monge, L. (2018). *Corte Geológico Transversal del Arco Alao en la Zona de Gualaceo, Provincia del Azuay*. Quito.

- Mora Chinchilla, R. (2004). *Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, Proviencia de San José, Costa Rica*. FUNDEVI.
- Mora, S., & Vahrson, W. (1991). Determinación "A priori" de la amenaza de deslizamientos en grandes áreas utilizando indicadores morfodinámicos. *Memoria del primer simposio sobre sen-sores remotos y sistemas de información geográfica para el estudio de riesgos naturales*. Bogotá, Colombia.
- Mora, S., & Vahrson, W. (1993). *Determinación "A priori" de la amenaza de deslizamientos en grandes áreas utilizando indicadores morfodinámicos*. Memoria del primer simposio sobre sen-sores remotos y sistemas de información geográfica para el estudio de riesgos naturales. Bogotá, Colombia: Organizado por: el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, UNESCO, ITC Holanda.
- Navarro, J. (2012). Susceptibilidad y Amenaza de Movimientos de Ladera Mediante SIG en el Municipio de Berlín, El Salvador.
- Ochoa Tapia, X. M. (2019). Propuesta Metodológica para el Análisis de Amenaza por Movimientos en Masa en Infraestructura vial. Caso vía lateral de paso tramo La Argelia-Belén, provincia de Loja. (2010). *Oficio N°. T.5458-SNJ-10-1558*. Quito. Recuperado el 10 de Octubre de 2021, de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_plani.pdf
- Osorio Marin, L. F. (2019). Zonificación de la Susceptibilidad del Terreno a los Deslizamientos, Colombia.
- Pavón, N., & Garzón, O. (2014). Evaluación y zonificación de susceptibilidad y amenazas/peligros por fenómenos de remoción en masa en el cantón Pallatanga, Quito.
- Pérez Santos, J. J. (2019). *GEOQuantics*. Obtenido de <https://geoquantics.com>
- Ponce López, J. D. (2017). *Susceptibilidad a deslizamientos en la carretera Jipijapa Puerto Cayo*. Jipijapa, Manabí, Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí .
- Prado, H. (1992). *Manual de Organización Local para Situaciones de Emergencia*. El Salvador.
- Roa, J. G. (2007). Aorixunación al mapa de susceptibilidad y amenazas por deslizamientos en la ciudad de Trujillo, Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*.
- Rosales, H. M. (1999). Métodos Matemáticos de Evaluación de Factores de Riesgo Para el Patrimonio Arqueológico: Una Aplicación GIS del Método de Jerarquías Analíticas de T.L. SAATY. *SPAL*, 37(21), 17. doi:<http://dx.doi.org/10.12795/spal.1999.i8.02>
- Sarochar, H. (2018). *Introducción a la Meteorología General* . La Plata: Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas.
- Seguí, A., Portalés, C., Cabrelles, M., & Lema, J. (2014). Los sistemas de información geográfica: conceptos, ventajas y posibilidades en el campo de la restauración. *LOGGIA*.
- Suárez, J. (2009). Análisis Geotécnico .

- Ullibarri, G. L., & Fernandez, P. (1 de Diciembre de 2010). Medidas de Concordancia: el Índice de Kappa. *Elsevier*, 5. Recuperado el 10 de Octubre de 2021, de <https://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa2.pdf>
- Vásconez Urbano, H. D., & Jibaja Urbano, A. H. (2020). Análisis multicriterio dentro de un SIG para la identificación de zonas susceptibles a deslizamientos en la parroquia San José del Tambo, cantón Chillanes, Provincia Bolívar.
- Vega, Á., & Manzo, J. L. (8 de Mayo de 2008). Análisis Espectral y Visual de Vegetación y Uso del Suelo con Imágenes Landsat ETM+ con Apoyo de Fotografías Aéreas Digitales en el Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos, México. *Investigaciones Geográficas*(67), 9. Recuperado el 19 de Agosto de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112008000300005&script=sci_arttext Yilmaz. (2010).
- Zamora, B. (s.f.). *Transferencia Radiativa Atmosférica*. Tesis , Universidad de Valladolid , Facultad de Ciencias , España . Recuperado el 19 de Agosto de 2021, de <https://core.ac.uk/download/pdf/211102533.pdf>

XI. ANEXOS

Evidencia Fotográfica del Levantamiento de la Información en Campo (Zona de Estudio)









