



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

Análisis de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo, provincia de Loja

Trabajo de Titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero en Geología
Ambiental y Ordenamiento Territorial.

AUTOR:

Félix David Sarango Torres

DIRECTORA:

Ing. Maritza Ximena Ochoa Tapia, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2022



Certificación

Loja, 15 de junio de 2022

Ing. Maritza Ximena Ochoa Tapia, Mg. Sc.
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

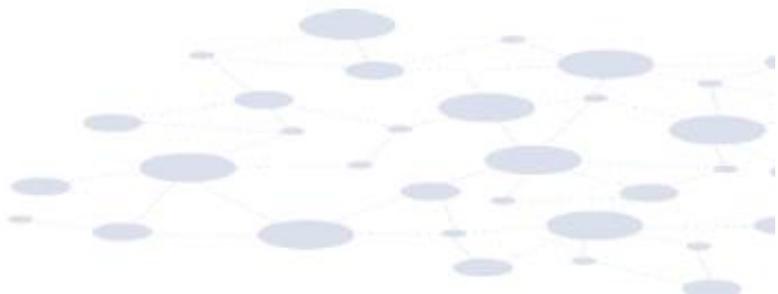
CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación, así como para dar cumplimiento, a las directrices de la guía para la escritura y presentación del informe del Trabajo de Titulación; y, de conformidad a lo que dispone el Art. 231, inciso segundo del Reglamento de Régimen Académico de la Institución, se cambia el título del Trabajo de Titulación de mayúsculas a minúsculas, el que se denomina: **Análisis de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo, provincia de Loja**, de la autoría de la estudiante, **Félix David Sarango Torres** con cédula de identidad Nro. **0105255962**, previa a la obtención del título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación .



Trabajo digitalmente por:
**MARITZA
XIMENA OCHOA
TAPIA**

Ing. Maritza Ximena Ochoa Tapia, Mg. Sc.
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN





Autoría

Yo, **Félix David Sarango Torres**, declaro ser autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

C.I: 0105255962

Fecha: 22/09/2022

Correo electrónico: felix.sarango@unl.edu.ec

Celular: +593 986761296



Carta de autorización por parte del autor para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación

Yo, **Félix David Sarango Torres**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo, provincia de Loja**, como requisito para optar el título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los veintidós días del mes de septiembre del dos mil veintidós.

Firma:

Autor: Félix David Sarango Torres

Cédula: 0105255962

Dirección: San Pedro de la Bendita, km 1 vía al Cisne

Correo electrónico: felix.sarango@unl.edu.ec

Celular: +593 986761296

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Directora de Trabajo de Titulación: Ing. Maritza Ximena Ochoa Tapia, Mg.Sc.



Dedicatoria

Esta investigación está dedicada especialmente a mi familia por ser mi pilar fundamental y apoyarme incondicionalmente en cada momento de mi vida.

Félix David Sarango Torres



Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios por ser quien siempre guía mi camino, a mi familia, a mi tutora de Trabajo de Titulación, docentes, amigos y a todas las personas que directa o indirectamente ayudaron a la realización de esta investigación.

Félix David Sarango Torres



Índice de Contenidos

Portada.....	i
Certificación	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización por parte del autor para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenidos	vii
Índice de Tablas.....	x
Índice de Figuras	xii
Índice de Anexos	xiv
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1 Geología.....	6
4.1.1 Mapeo Geológico	6
4.2 Topografía	8
4.2.1 Levantamiento Topográfico	8
4.3 Geomorfología.....	9
4.4 Pendientes	9
4.5 Precipitaciones.....	10
4.5.1 Intensidad de Lluvia	10
4.6 Movimientos de remoción en masa	10
4.6.1 Clasificación de los movimientos en masa.....	10



4.6.2	Deslizamientos.....	13
4.7	Susceptibilidad a deslizamientos	17
4.8	Peligrosidad a Deslizamientos.....	18
4.8.1	Mapa de peligrosidad a deslizamientos	18
4.9	Sistemas de Información Geográfica.....	18
5.	Materiales y Métodos	19
5.1	Datos Generales de la Parroquia.....	19
5.1.1	Ubicación.....	19
5.1.2	Acceso	19
5.1.3	Límites	20
5.1.4	Clima	20
5.1.5	Hidrografía.....	21
5.1.6	Geología Regional	22
5.2	Materiales	25
5.2.1	De Campo	25
5.2.2	De oficina	26
5.2.3	De Geoprocesamiento.....	26
5.3	Métodos	26
5.3.1	Recolección de información	26
5.3.2	Fase de Campo.....	27
5.3.3	Fase de Oficina	27
5.3.4	Primer Objetivo: Realizar el levantamiento geológico de la Parroquia San Pedro de la Bendita	28
5.3.5	Segundo Objetivo: Identificar y mapear las variables que intervienen en la peligrosidad a deslizamientos.....	30
5.3.6	Tercer Objetivo: Elaborar el mapa de peligrosidad a deslizamientos en base a la información obtenida del lugar de estudio.	41



6.	Resultados	47
6.1	Resultados del primer objetivo: “Realizar el levantamiento geológico de la Parroquia San Pedro de la Bendita”	47
6.1.1	Geología Local	47
6.1.2	Estructuras Locales.....	54
6.2	Resultados del segundo objetivo: “Identificar y mapear las variables que intervienen en la peligrosidad a deslizamientos”	59
6.2.1	Geomorfología.....	59
6.2.2	Pendientes.....	73
6.2.3	Uso de Suelo.....	74
6.2.4	Intensidad de Lluvias.....	75
6.3	Resultados del tercer objetivo: “Elaborar el mapa de peligrosidad a deslizamientos a escala 1:10000 en base a la información obtenida del lugar de estudio.”	75
6.3.1	Pesos para las variables de susceptibilidad.....	76
6.3.2	Peso para el factor desencadenante	90
6.3.3	Pesos del parámetro de evaluación.....	92
6.3.4	Susceptibilidad a deslizamientos	94
6.3.5	Peligrosidad a Deslizamientos.....	95
6.3.6	Mapa de Peligrosidad a Deslizamientos.....	96
6.3.7	Correlación entre los deslizamientos y las zonas de peligrosidad.....	98
7.	Discusión.....	100
8.	Conclusiones	104
9.	Recomendaciones.....	106
10.	Bibliografía.....	107
11.	Anexos.....	111



Índice de Tablas

Tabla 1: Insumos necesarios para el geoprocesamiento.....	26
Tabla 2: Clasificación del ángulo de la pendiente.	30
Tabla 3: Categorización de desniveles relativos	31
Tabla 4: Categorización de forma de cima.	31
Tabla 5: Categorización de forma de la vertiente	32
Tabla 6: Categorización de las pendientes	32
Tabla 7: Categorización de morfología del Cantón Catamayo	32
Tabla 8: Clasificación de Uso de Suelo de la Parroquia San Pedro de la Bendita.....	34
Tabla 9: Estaciones metereológicas circundantes a la parroquia San Pedro de la Bendita.....	35
Tabla 10: Precipitaciones máximas en 24 horas (mm) en intervalo de tiempo 1990-2020, Estación: Catamayo (M060).....	35
Tabla 11: Distribución de probabilidades en intervalo 1990-2020, Estación: Catamayo (M060)	36
Tabla 12: Precipitación diaria máxima probable para distintos periodos de retorno, Estación: Catamayo (M060)	39
Tabla 13: Coeficientes para las relaciones de tiempo de duración de lluvias.....	39
Tabla 14: Precipitación media promedio para diferentes tiempos de duración, Estación: Catamayo (M060)	39
Tabla 15: Intensidad de lluvia (mm/h) en base a cada periodo de retorno, Estación: Catamayo (M060).....	40
Tabla 16: Intensidad de lluvia de 1 h para varios periodos de retorno en la parroquia San Pedro de la Bendita.....	41
Tabla 17: Variables condicionantes para la determinación de peligrosidad a deslizamientos	42
Tabla 18: Variable desencadenante para la determinación de peligrosidad a deslizamientos	42
Tabla 19: Esquema del método de jerarquías analíticas para asignación de pesos.....	43
Tabla 20: Escala de Saaty para determinar valor de X_{ij}	43
Tabla 21: Índices de consistencia Aleatorios para matrices de orden 3 a 16.....	44
Tabla 22: Nivel y descripción de la peligrosidad a deslizamientos.	45
Tabla 23: Inventario de deslizamientos de la parroquia San Pedro de la Bendita.	68
Tabla 24: Unidades geomorfológicas de la parroquia San Pedro de la Bendita	71
Tabla 25: Puntos de validación de geoformas.....	72
Tabla 26: Pendientes de la parroquia San Pedro de la Bendita, según DEMEK 1972	74



Tabla 27: Uso de suelo actual en la Parroquia San Pedro de la Bendita.....	75
Tabla 28: Intensidades de Lluvia en la Parroquia San Pedro de la Bendita.....	75
Tabla 29: Matriz de comparación de pares de las variables condicionantes.....	76
Tabla 30: Matriz de normalización y vector priorización de las variables condicionantes	77
Tabla 31: Matriz para determinación de λ_{max} del parámetro de susceptibilidad.....	77
Tabla 32: Matriz de comparación de pares de la geomorfología	79
Tabla 33: Matriz de normalización y vector priorización de la geomorfología.....	80
Tabla 34: Matriz para determinación de λ_{max} del parámetro de geomorfología	81
Tabla 35: Matriz de comparación de pares de las pendientes	83
Tabla 36: Matriz de normalización y vector priorización de las pendientes.....	83
Tabla 37: Matriz para determinación de λ_{max} del parámetro de pendientes.....	83
Tabla 38: Matriz de comparación de pares de la litología	85
Tabla 39: Matriz de normalización y vector priorización de la litología	86
Tabla 40: Matriz para determinación de λ_{max} del parámetro de pendientes.....	87
Tabla 41: Matriz de comparación de pares del uso de suelo.....	89
Tabla 42: Matriz de normalización y vector priorización del uso de suelo	89
Tabla 43: Matriz para determinación de λ_{max} del parámetro de uso de suelo.....	89
Tabla 44: Matriz de comparación de pares del factor desencadenante	90
Tabla 45: Matriz de normalización y vector priorización del factor desencadenante.....	91
Tabla 46: Matriz para determinación de λ_{max} del parámetro del factor desencadenante	91
Tabla 47: Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación	92
Tabla 48: Matriz de normalización y vector priorización del parámetro de evaluación.	92
Tabla 49: Matriz para determinación de λ_{max} del parámetro del parámetro de evaluación. .	92
Tabla 50: Resumen de las variables y ponderaciones calculadas.	94
Tabla 51: Valor de la susceptibilidad a deslizamientos	95
Tabla 52: Valor de la peligrosidad a deslizamientos	95
Tabla 53: Nivel y rango de peligrosidad en la parroquia San Pedro de la Bendita.....	96
Tabla 54: Clases de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia San Pedro de la Bendita.	96
Tabla 55: Correlación de los deslizamientos levantados con las diferentes clases de peligrosidad.	98



Índice de Figuras

Figura 1: Esquema de caídos de roca y residuos.	11
Figura 2: Procesos que conducen al Volcamiento o inclinación en materiales residuales.	11
Figura 3: Esquema de una extensión lateral	12
Figura 4: Esquema de Hundimiento.....	12
Figura 5: Flujo de Roca.....	13
Figura 6: Deslizamiento rotacional típico	14
Figura 7: Deslizamiento traslacional	14
Figura 8: Nomenclatura de un deslizamiento.	15
Figura 9: Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG Commission on Landslides.....	17
Figura 10: Ubicación Política de la Parroquia San Pedro de la Bendita.....	19
Figura 11: Acceso Terrestre y Aéreo a la Parroquia San Pedro de la Bendita.	20
Figura 12: Climas de la Parroquia San Pedro de la Bendita.	21
Figura 13: Microcuencas Hidrográficas de la Parroquia San Pedro de la Bendita.	21
Figura 14: Ubicación de la parroquia San Pedro de la Bendita en los dominios y ambientes geotectónicos.....	22
Figura 15: Afloramientos levantados en la parroquia San Pedro de la Bendita.	29
Figura 16: Afloramiento de tobas de cristales y brecha volcánica, sector las Chinchas	48
Figura 17: Afloramiento de pizarras y filitas en la vía a Tarapo.	48
Figura 18: Lavas andesíticas basálticas, cerca al lecho del río Catamayo.....	49
Figura 19: Clastos de filitas y pizarras en matriz arcillo limosa, sector: entrada a Santiago..	50
Figura 20: Pizarras y limolitas altamente meteorizadas.	50
Figura 21: Neck Riolítico, sector Guayabal.	51
Figura 22: Aglomerado volcánico con clastos andesíticos, sector Vía San Pedro las Chinchas.	51
Figura 23: Tobas andesíticas y contacto entre Unidad Chaguarpamba y Formación Catamayo.	52
Figura 24: Limolitas de la Formación Catamayo.	52
Figura 25: Depósitos coluviales, clastos de rocas intrusivas (granodiorita) en matriz arenosa sector el Tingo.....	53
Figura 26: Depósitos Aluviales compuestos por cantos subredondeados de andesitas, granodioritas, tobas y cuarcitas, sector Illaca.....	53



Figura 27: Intrusivo Granodiorítico, sector el Tingo.	54
Figura 28: Pliegue Anticlinal, en la Unidad Yunguilla, sector Santiago.	55
Figura 29: Pliegue Anticlinal, Unidad Chaguarpamba.	55
Figura 30: Pliegue tumbado, sector en las Chinchas.	55
Figura 31: Pliegues de la parroquia San Pedro de la Bendita.	56
Figura 32: Falla normal en la Unidad Yunguilla, sector vía a Illaca.	57
Figura 33: Falla normal en la Unidad Chaguarpamba, sector vía a Illaca.	57
Figura 34: Fallas Geológicas de la Parroquia San Pedro de la Bendita.	59
Figura 35: Terraza baja y cauce actual, río Catamayo.	60
Figura 36: Terraza media, sector Guayabal.	60
Figura 37: Cono de deyección reciente, sector Illaca.	61
Figura 38: Superficie cono de deyección antiguo, sector Illaca.	62
Figura 39: Coluvio aluvial reciente, sector Chambellan.	62
Figura 40: Coluvio aluvial antiguo, Quebrada de la Concha.	63
Figura 41: Parte de coluvión antiguo, cerca al río Guayabal.	63
Figura 42: Coluvión reciente, cabecera parroquial.	64
Figura 43: Cerro Testigo, sector Guayabal.	64
Figura 44: Relieve Colinado Bajo, sector Girón.	65
Figura 45: Relieve colinado medio, sector Alamala.	65
Figura 46: Relieve Colinado Alto, sector Nomara.	66
Figura 47: Relieve colinado muy alto, sector vía Illaca.	66
Figura 48: Panorámica de relieve montañoso, sector las Chinchas.	67
Figura 49: Neck Riolfítico, sector Guayabal.	68
Figura 50: Deslizamiento antiguo (PDD-014) ubicado en la parte Norte de la parroquia.	69
Figura 51: Deslizamiento antiguo (PDD-016), sector las chinchas.	70
Figura 52: Deslizamiento rotacional, sector las Chinchas.	70
Figura 53: Deslizamiento rotacional (PDD-009), sector vía a Tarapo.	71



Índice de Anexos

Anexo 1: Mapa Geológico Regional.	111
Anexo 2: Ficha de caracterización de afloramientos.	111
Anexo 3: Ficha de descripción macroscópica de rocas.	111
Anexo 4: Mapa Topográfico.	111
Anexo 5: Ficha de Inventario de Deslizamientos.	111
Anexo 6: Cálculo de Intensidades de Lluvia.	111
Anexo 7: Mapa Geológico Local.	111
Anexo 8: Fotointerpretación.	111
Anexo 9: Cortes Geológicos.	111
Anexo 10: Mapa de Inventario de Deslizamientos.	111
Anexo 11: Mapa Geomorfológico.	111
Anexo 12: Mapa de Pendientes.	111
Anexo 13: Mapa de Uso de Suelo.	111
Anexo 14: Mapa de Intensidad de Lluvia.	111
Anexo 15: Mapa de Peligrosidad a Deslizamientos.	111
Anexo 16: Mapa de Peligrosidad a Deslizamientos con periodo de retorno de 25 años.	111
Anexo 17: Mapa de Corroboración de Deslizamientos con la Peligrosidad.	111
Anexo 18: Certificado de traducción de Resumen.	112



Análisis de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo, provincia de Loja



1. Título

Análisis de peligrosidad a deslizamientos en la Parroquia San Pedro de la Bendita,
Cantón Catamayo, Provincia de Loja



2. Resumen

La parroquia San Pedro de la Bendita se encuentra ubicada en la Provincia de Loja, Cantón Catamayo, a 53 km de la ciudad de Loja y 1800 m.s.n.m, posee un área de 146,67 km², limitando geográficamente al Norte las parroquias El Cisne y Zambí, al Sur con la parroquia Nambacola, al Este con la cabecera cantonal de Catamayo y al Oeste con las parroquias Zambí y Catacocha.

El presente trabajo tuvo como finalidad identificar y caracterizar las zonas con mayor peligrosidad a deslizamientos mediante la evaluación multicriterio, poniendo en práctica el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) desarrollado por Thomas Saaty en 1980, mismo que utiliza una serie de variables y criterios dispuestos en una matriz jerarquizada y ponderada en base a la importancia e incidencia de cada una de estas.

Las variables utilizadas en esta investigación fueron de dos tipos: condicionantes (geomorfología, litología, pendientes y uso de suelo) y desencadenantes (intensidad de lluvias) las cuales se analizaron con una probabilidad de ocurrencia del 1 % en un periodo de retorno de 100 años.

Como resultado final del análisis de peligrosidad se tiene que en el área de estudio se tiene un porcentaje del 69,66 % de alta peligrosidad, seguido del 22,57 % con media peligrosidad, 4,68 % con muy baja peligrosidad y 3,09 % de baja peligrosidad.

La metodología utilizada presenta un 86,36 % de eficacia, determinada en base al inventario de deslizamientos realizados y la corroboración de los mismos con las zonas de peligrosidad definidas.

Palabras claves: *Proceso de Análisis Jerárquico, evaluación multicriterio, peligrosidad, inventario de deslizamientos, condicionantes, desencadenantes.*



2.1 Abstract

San Pedro de la Bendita parish is located in the Province of Loja, Canton Catamayo, to 53 km from the city of Loja and at 1800 meters above sea level, it has an area of 146,67 km², geographically limiting the parishes of El Cisne and Zambí to the North, to the South with Nambacola parish, to the East with the cantonal head of Catamayo and to the West with the Zambí and Catacocha parishes.

The purpose of this work was to identify and characterize the areas with the greatest risk of landslides through multicriteria evaluation, putting into practice the Hierarchical Analysis Process (AHP) developed by Thomas Saaty in 1980, which uses a series of variables and criteria arranged in a matrix ranked and weighted based on the importance and incidence of each of these.

The variables used in this research were of two types: conditioning variables (geomorphology, lithology, slopes and land use) and trigger variables (rainfall intensity) which were analyzed with a probability of occurrence of 1% in a return period of 100 years

As a final result of the hazard analysis, it is found that in the study area there is a percentage of 69,66 % of high hazard, followed by 22,57 % with medium hazard, 4,68 % with very low hazard and 3,09 % low hazard of landslides.

The methodology used presents an 86,36 % efficiency, determined based on the inventory of landslides carried out and the corroboration with the defined danger zones.

Keywords: *Hierarchical Analysis Process, multicriteria evaluation, hazard, landslide inventory, determining factors, trigger.*



3. Introducción

Según Varnes (1984) la peligrosidad se define como una probabilidad de ocurrencia de un fenómeno altamente perjudicial en un área determinada y durante un periodo de tiempo determinado; incluyendo conceptos de magnitud (dimensión del movimiento), ubicación (zonificación) y recurrencia temporal (periodo de retorno).

El análisis de peligrosidad considera variables naturales y antrópicas que son analizadas mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica de manera ordenada, clara y precisa, para que de esta manera el resultado obtenido sea de calidad y acorde a la realidad.

La parroquia San Pedro de la Bendita es una de las cinco parroquias que conforman el cantón Catamayo, Provincia de Loja, presenta un total de 1590 habitantes según el censo de población y vivienda del 2010 realizado por el INEC y está constituida por los barrios San Pedro de la Bendita (Cabecera parroquial), El Tingo, Togueros, Shaguindo, La Concha, La Bendita, Illaca, El Limo, San Vicente, Santiago y Girón.

En esta parroquia se evidencia una alta amenaza a deslizamientos, debido a la incidencia de factores como pendientes muy fuertes, litologías altamente meteorizadas, precipitaciones con alta intensidad y usos de suelo antrópicos que en conjunto representan un peligro para que se produzca un movimiento en masa.

La importancia de esta investigación radica en que en el ámbito de prevención de riesgos de desastres y el ordenamiento territorial, permite zonificar de manera precisa los lugares con mayor peligrosidad, de tal manera que se puede prevenir pérdidas humanas, materiales y económicas por la acción de los deslizamientos, además de que este estudio puede servir como información base para la elaboración de nuevos proyectos ingenieriles, en la toma de decisiones para la actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial o en cualquier estudio posterior que necesite información de la peligrosidad a deslizamientos.

Abarcando el área de estudio se ha realizado un proyecto de fortalecimiento de capacidades institucionales públicas y comunitarias para la gestión de riesgos desarrollado por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias en 2011, en el cual se presenta un mapa de amenazas por movimientos en masa del Cantón Catamayo a escala 1:50 000, así mismo hay un estudio de susceptibilidad a deslizamientos a escala 1:4 000 realizado por Chuquimarca (2015) enfocado únicamente a la cabecera parroquial de San Pedro de la Bendita.



➤ **Objetivos**

➤ **Objetivo General**

- ✓ Realizar el análisis de la peligrosidad a deslizamientos en la parroquia San Pedro de la Bendita, Cantón Catamayo, Provincia de Loja, escala 1:10 000.

➤ **Objetivos Específicos**

- ✓ Realizar el levantamiento geológico de la Parroquia San Pedro de la Bendita.
- ✓ Identificar y mapear las variables que intervienen en la peligrosidad a deslizamientos
- ✓ Elaborar el mapa de peligrosidad a deslizamientos a escala 1:10 000 en base a la información obtenida del lugar de estudio.



4. Marco Teórico

4.1 Geología

Según Varela (2014) “La Geología se define como la rama de las Ciencias Naturales que se ocupa del estudio de la Tierra. Su dominio es el estado inorgánico de la materia”.

“La Geología fue la primera ciencia a la que le intereso la historia de la naturaleza más que su orden. Aquel carácter histórico hizo de la Geología un tipo de ciencia diferente que fue apreciado desde sus inicios” (Gillispe, 1951).

El Servicio Geológico Mexicano (1999) la considera como una ciencia histórica ya que parte de la premisa de que el relieve actual de la Tierra es el resultado de una larga y variada evolución, por ello analiza este desarrollo espacial y temporal para señalar los factores y fuerzas que actuaron en el proceso y que le han dado la forma que actualmente conocemos, tanto en el exterior como en el interior de nuestro planeta.

Es la ciencia que se encarga del estudio de la composición, dinámica, estructura e historia de la Tierra, de tal manera que determina los procesos internos y externos que se han venido dando a través del tiempo y que han definido las características actuales de nuestro planeta.

4.1.1 Mapeo Geológico

Echevest (2017) señala que el mapeo geológico es el proceso de transferir las observaciones de la geología realizadas en el campo a un mapa, el cual debe tener características como objetividad, interpretación, inferencias, relaciones geológicas temporales, y datos con un detalle que corresponda al nivel de escala.

Ayala (2018) asegura que: “El mapeo geológico requiere cierto grado de conocimiento en las disciplinas más básicas de la geología, la topografía, teledetección, petrografía, geología estructural y económica”.

4.1.1.1 Métodos de mapeo geológico

Se dividen tradicionalmente en tres tipos que van en dependencia de la escala de trabajo, teniendo así:

- **Mapeo de Contactos**

La ubicación de contactos entre unidades litológicas o formaciones constituyen el objeto principal de levantamiento geológico. El mapeo de contactos es el método empleado en mapeos



regionales, de escala pequeña a intermedia, 1:20.000 y más pequeña. Una de las características más importante de este método es que no se tienen en cuenta la cobertura superficial, es decir se vuelca en el mapa la litología que subyace a los depósitos superficiales.

En algunas regiones el mapeo de contactos es sencillo, en otras puede resultar muy dificultoso debido a que están pobremente expuestos, cubiertos por depósitos superficiales. Las rocas cubiertas pueden inferirse analizando el color y textura del suelo o regolito si estos no son transportados por la presencia de minerales resistentes a la meteorización asociados a las unidades de rocas presentes en el derrubio, o por cambios de pendiente producidos por diferente resistencia a la erosión de los distintos tipos de roca. En zonas pobremente expuestas puede identificarse el tipo de roca cubierta por suelos en los pozos de árboles desarraigados o analizando los detritos de cuevas de animales o pozos para postes.

- **Mapeo por Afloramientos o mapeo de todos los afloramientos**

El mapeo de afloramientos es la base de gran parte de la cartografía geológica detallada a escalas de 1:10.000 y más grandes. En este método, el geólogo debe examinar tantas exposiciones como sea posible. La extensión de cada afloramiento, o el grupo de afloramientos, se indica en el mapa de campo con el lápiz de color apropiado para ese tipo de roca o formación.

En la mayoría de las áreas, el mapeo de afloramiento puede hacerse mucho más rápidamente e incluso con mayor precisión gracias a la tecnología GPS y la disponibilidad de imágenes de satélite de alta resolución.

Los contactos litológicos en los afloramientos se marcarán con trazos llenos mientras que los contactos inferidos en las zonas cubiertas se marcarán con trazos discontinuos. Se pueden usar marcadores de distintos colores para marcar las trazas de las distintas litologías. El mapeo por afloramientos es particularmente indicado en terrenos metamórficos donde las rocas pueden presentar una fuerte variabilidad en distancias pequeñas. (Echevest, 2017)

- **Mapeo por perfiles**

Se suele adoptar este método para el mapeo de reconocimiento de grandes regiones, a escalas relativamente pequeñas (1:250 000 a 1:50 000). También puede ser el único método posible donde las exposiciones de las rocas están restringidas a cortes de carreteras, arroyos o filos.



Es un método apropiado en zonas donde la estructura no es muy compleja y adecuado para llevar un buen control de la densidad de las observaciones. En este método se hacen recorridos más o menos paralelos según rutas predeterminadas a intervalos espaciados de acuerdo al detalle requerido.

El mapeo por perfiles implica simplemente levantar la geología mientras se camina a lo largo de una ruta predeterminada. Los contactos y otros rasgos geológicos serán extrapolados entre las observaciones realizadas en perfiles contiguos. Se camina siguiendo una ruta predeterminada levantando datos geológicos a medida que se progresa en el recorrido.

Los itinerarios deben planificarse de manera de cortar lo más perpendicular posible a la estructura geológica regional. Es un método que da muy buenos resultados en el levantamiento de zonas plegadas y corridas. (Echevest, 2017)

4.2 Topografía

Jauregui (2017) en su trabajo “Introducción a la Topografía” señala que esta ciencia viene derivada de la palabra griega “τοπογραφία”, que significa descripción del terreno, entonces se define como una disciplina cuya aplicación está presente en la mayoría de las actividades humanas que requieren tener conocimiento real de la superficie del terreno donde tendrá lugar el desenvolvimiento de esta actividad.

Alcántara García (2014) define a la Topografía como: “Ciencia aplicada que se encarga de determinar las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la Tierra, así como la representación en plano de una porción (limitada) de la superficie terrestre”.

“Estudia el conjunto de procedimientos para determinar la posición de un punto sobre la superficie terrestre, por medio de medidas según los tres elementos del espacio: dos distancias y una elevación o una distancia, una elevación y una dirección.” (Navarro, 2008).

4.2.1 Levantamiento Topográfico

Se utilizan para confeccionar mapas y planos de las características naturales hechas por el hombre, los planos, los detalles se grafican y dibujan a escala exacta y los mapas muchos de los rasgos son representados por puntos o por contornos, los cuales dan menos detalles, pero visión del área representada. (Navarro, 2008).



4.2.1.1 Levantamiento Topográfico de tipo general

Se define como tal el conjunto de operaciones ejecutadas sobre un terreno con los instrumentos adecuados para poder confeccionar una correcta representación gráfica o plano.

“Su objetivo principal es señalar o delimitar linderos, medianías o límites de propiedades, medir y seccionar superficies, situar terrenos en planos generales ligando con levantamientos anteriores o planear obras y construcciones” (Navarro, 2008).

4.2.1.2 Levantamientos aéreos o fotogramétricos.

Se hacen por fotogrametría, generalmente desde aviones y drones, y se usan como auxiliares muy valiosos de todas las otras clases de levantamientos. Se realizan por medio de fotografías aéreas tomadas con cámaras especiales ya sea desde un avión, o desde estaciones de la tierra. (Navarro, 2008).

4.3 Geomorfología

La Geomorfología es la ciencia que estudia el origen y desarrollo de las formas terrestres (como por ejemplo colinas, valles, dunas, cuevas), y cómo esas características se combinan para formar paisajes. Como tal, hace una contribución crítica para responder las preguntas mencionadas más arriba. Los estudios geomorfológicos incluyen el análisis cuantitativo de los relieves geográficos, el monitoreo de los procesos en la superficie y cerca de ella (por ejemplo, agua corriente, hielo, viento) que moldean los relieves y la caracterización de los cambios en el relieve que ocurren en respuesta a factores tales como la actividad tectónica y volcánica, cambios en el clima y en el nivel del mar y actividades antropogénicas (British Society for Geomorphology, 2019).

Infante (2000) define a la geomorfología como una ciencia natural que se encarga del estudio del relieve de la superficie terrestre y su nombre es derivado de tres palabras griegas: *ge*-tierra, *morfé*-forma y *logos*-estudio. Las formas del relieve terrestre surgen por la interacción de los procesos exógenos o de superficie y los procesos endógenos al actuar sobre las rocas que afloran en la superficie terrestre, dando como resultado la formación de rasgos del relieve de diferentes órdenes que van desde las grandes estructuras planetarias como son los océanos y continentes, hasta las pequeñas cárcavas y formas cársticas de carácter local.

4.4 Pendientes

“La pendiente se relaciona con la morfología y dinámica de todas las formas del relieve; prácticamente todas ellas tienen un umbral límite que las clasifica o jerarquiza de acuerdo a su



geometría; es decir, la pendiente constituye un factor que favorece la delimitación de los procesos y los tipos de formas que se encuentran en el terreno” (Orozco, 1996).

4.5 Precipitaciones

Sánchez (2008) señala que precipitación es cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre, esto incluye básicamente: lluvia, nieve y granizo. El estudio de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio hidrológico regional, para cuantificar los recursos hídricos, puesto que constituyen la principal entrada de agua a una cuenca, además es fundamental para la prevención de avenidas, diseño de obras públicas, estudios de erosión, etc.

4.5.1 Intensidad de Lluvia

Se define a la intensidad como la cantidad de agua de lluvia que cae en un punto, por unidad de tiempo y es inversamente proporcional a la duración de la tormenta, es decir la intensidad es la cantidad de agua que se precipitó medida en milímetros por unidad de tiempo (INAMHI, 2019).

4.6 Movimientos de remoción en masa

Los movimientos en masa son desplazamientos de material cuando este se encuentra a favor de la pendiente, el material puede ser roca, tierra, detritos y derrubios, los cuales se generan por la fuerza de la gravedad y la incidencia de factores condicionantes y desencadenantes.

La Alcaldía de Medellín & Tecnológico de Antioquia I.U.,(2016) señala en su revista sobre movimientos en masa que, estos movimientos producen cambios visibles en el terreno como agrietamientos, hundimientos e incluso desprendimientos de grandes cantidades de suelo o roca, de ahí que puedan ocasionar la destrucción y/o deterioro de la infraestructura pública, viviendas, cultivos y propiciar el represamiento de cauces de ríos o quebradas.

4.6.1 Clasificación de los movimientos en masa

Existen muchas clasificaciones de los movimientos de masa, las cuales se aplican según su finalidad y el medio rocoso donde suceden, condiciones hidrogeológicas, velocidad y magnitud del movimiento. Algunas de las clasificaciones más usadas son: Varnes (1978), Hutchinson (1988), EPOCH (1993), Dikau (1996), con diversos criterios y fines.

Para la clasificación de los movimientos en masa se presenta el sistema propuesto por Varnes (1978) el cual tipifica los principales tipos de movimiento:

4.6.1.1 Caídas.

Caída es el desprendimiento y caída de materiales del talud. En las caídas se desprende una masa de cualquier tamaño desde un talud de pendiente fuerte a lo largo de una superficie en la cual el desplazamiento de corte es mínimo o no se da. Este desplazamiento se produce principalmente por caída libre, a saltos o rodando (Figura 1).



Figura 1: Esquema de caídos de roca y residuos.

Fuente: Varnes (1978)

4.6.1.2 Inclinación o Volcamiento.

Se producen por una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad. Generalmente, los volcamientos ocurren en las formaciones rocosas, pero también, se presentan en suelos cohesivos secos y en suelos residuales (Figura 2).

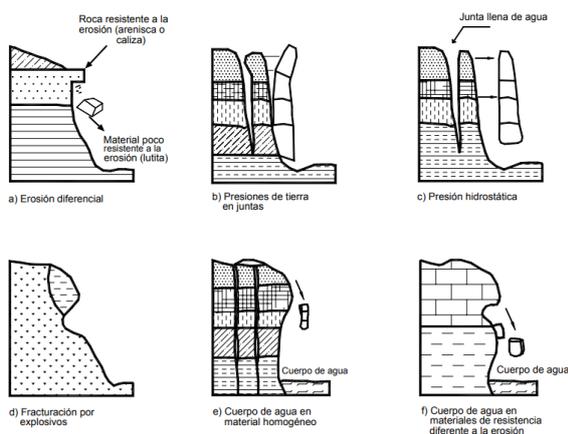


Figura 2: Procesos que conducen al Volcamiento o inclinación en materiales residuales.

Fuente: Varnes (1978)

4.6.1.3 Extensión Lateral.

Son los movimientos con componentes, principalmente laterales, en taludes de baja pendiente. En los esparcimientos laterales el modo del movimiento dominante, es la extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión (sobre roca o sobre suelos plásticos) como se observa en la (figura 3).

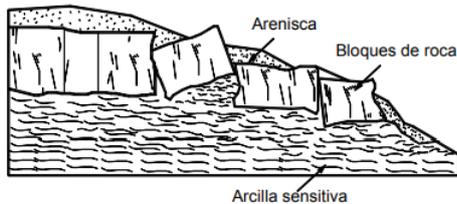


Figura 3: Esquema de una extensión lateral
Fuente: Varnes (1978)

4.6.1.4 Hundimientos

Los hundimientos son movimientos generalmente verticales de masas de suelo, en las cuales ocurre una disminución del volumen general del terreno (figura 4). Cabe recalcar que los procesos de hundimiento de gran magnitud se clasifican como parte de los movimientos en masa o deslizamientos.

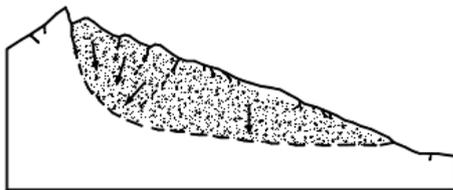


Figura 4: Esquema de Hundimiento.
Fuente: Varnes (1978)

4.6.1.5 Flujos

En un “flujo” ocurren movimientos relativos de las partículas, o bloques pequeños, dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie (figura 5). Las deformaciones relativas internas son muy grandes y fluyen en forma similar a un líquido viscoso. Cuando aumenta la densidad y la viscosidad, el flujo transporta grandes bloques hacia la parte inferior.

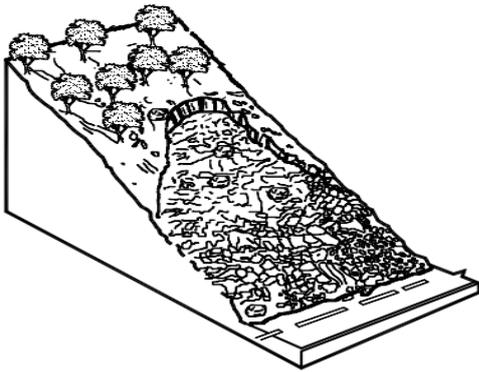


Figura 5: Flujo de Roca

Fuente: Varnes (1978)

4.6.2 Deslizamientos

El deslizamiento en masa consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. Los deslizamientos en masa pueden ser de una sola masa coherente que se mueve, o pueden comprender varias unidades o masas semindependientes. (Varnes, 1978)

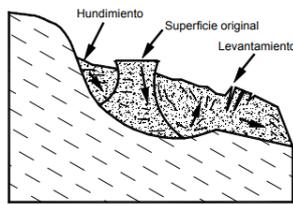
“Los deslizamientos, como todos los movimientos en masa, involucran el movimiento, pendiente debajo de los materiales que componen la ladera bajo la influencia de la gravedad y pueden ser disparados por lluvias, sismos y actividad humana” (Gómez, 2008).

Son movimientos de materiales inducidos principalmente por factores como la gravedad y pendiente y precipitaciones, generalmente se generan a gran velocidad y pueden abarcar de pequeños a grandes volúmenes de tierra.

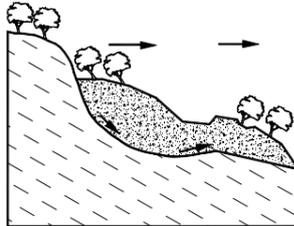
4.6.2.1 Deslizamiento Rotacional.

En este tipo de deslizamiento, la superficie de falla es cóncava hacia arriba y el movimiento es rotacional con respecto al eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento.

El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, lo cual genera, comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento (Figura 6). La cabeza del movimiento bascula hacia atrás y los árboles se inclinan, de forma diferente, en la cabeza y en el pie del deslizamiento (Suárez, 2009).



a) Movimiento de las masas de tierra



b) Orientación de los árboles

Figura 6: Deslizamiento rotacional típico

Fuente: Varnes (1978)

4.6.2.2 Deslizamiento Traslacional.

La masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo como se observa en la (Figura 7).

“Los movimientos traslacionales generalmente, tienen una relación D_r/L_r de menos de 0.1 En muchos desplazamientos de traslación, la masa se deforma y/o se rompe y puede convertirse en flujo, especialmente en las zonas de pendiente fuerte”. (Suárez, 2009)

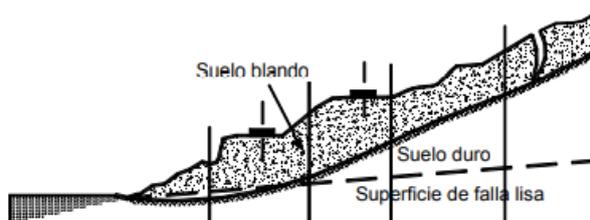


Figura 7: Deslizamiento traslacional

Fuente: Varnes (1978)

4.6.2.3 Nomenclatura de los procesos de movimiento

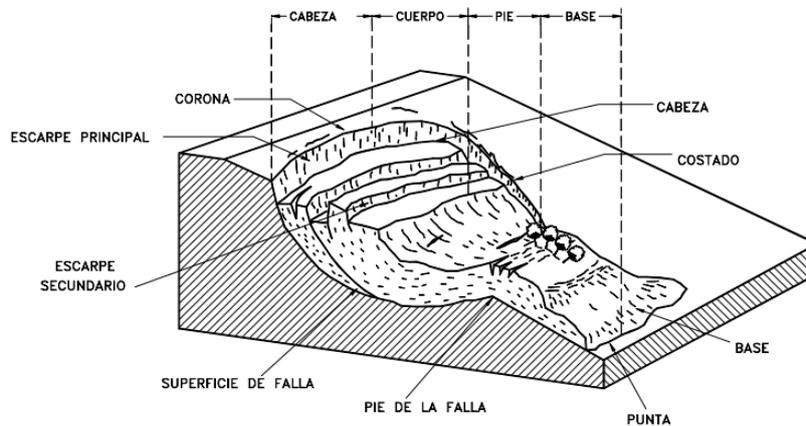


Figura 8: Nomenclatura de un deslizamiento.

Fuente: Suárez (1998)

En la figura 8 se muestra un deslizamiento o movimiento en masa típico, con sus diversas partes cuya nomenclatura es la siguiente:

- a. **Escarpe principal:** Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original.
- b. **Escarpe secundario:** Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.
- c. **Cabeza:** Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- d. **Cima:** El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- e. **Corona:** El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.
- f. **Superficie de falla:** Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.
- g. **Pie de la superficie de falla:** La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- h. **Base:** El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
- i. **Punta o uña:** El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
- j. **Costado o flanco:** Un lado (perfil lateral) del movimiento.



- k. **Superficie original del terreno:** La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.
- l. **Derecha e izquierda:** Para describir un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie.

4.6.2.4 Dimensiones

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada por la Asociación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería (IAEG, 1990):

- a. **Ancho de la masa desplazada W_d :** Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud, L_d .
- b. **Ancho de la superficie de falla W_r :** Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud L_r .
- c. **Longitud de la masa deslizada L_d :** Distancia mínima entre la punta y la cabeza.
- d. **Longitud de la superficie de falla L_r :** Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
- e. **Profundidad de la masa desplazada D_d :** Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d .
- f. **Profundidad de la superficie de falla D_r :** Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por W_r y L_r .
- g. **Longitud total L :** Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.
- h. **Longitud de la línea central L_{cl} :** Distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales o flancos.

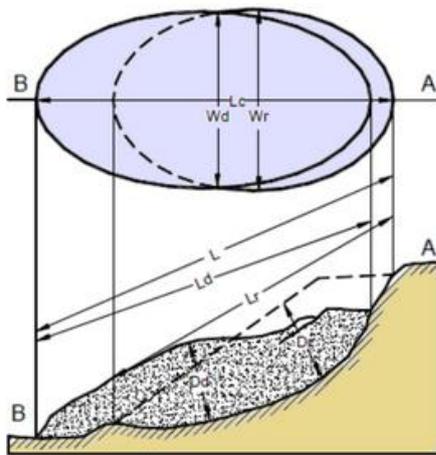


Figura 9: Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG Commission on Landslides.
Fuente: IAEG (1990)

La nomenclatura y las dimensiones de un deslizamiento citadas anteriormente son clave a la hora de caracterizar y realizar el inventario de deslizamientos.

4.6.2.5 Factores condicionantes y desencadenantes

Según Vallejo (2002) los factores que dependen de la propia naturaleza, estructura y forma del terreno se denominan condicionantes. entre los cuales tenemos: litología, estratigrafía, discontinuidades, intemperismo, deforestación, pendiente, geomorfología etc.

Por otro lado, los factores desencadenantes son factores externos que provocan o desencadenan la inestabilidad aquí tenemos: lluvias, sismos, actividad volcánica y actividad humana.

4.7 Susceptibilidad a deslizamientos

La susceptibilidad según la Cordinación Nacional de Protección Civil (2016) es una propiedad del terreno que indica que tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que pueda ocurrir inestabilidad, y se refiere solamente a factores intrínsecos a los materiales naturales de la ladera, sin considerar factores desencadenantes, como sería el caso de la precipitación o la sismicidad.

La susceptibilidad a movimientos de ladera, se define como la favorabilidad del ambiente físico y de los elementos inherentes de las masas del terreno y superficie como la geología, pendiente, geomorfología, usos del suelo, etc., a la ocurrencia de deslizamientos, indica la predisposición del terreno a deslizarse, pero no implica el aspecto temporal del mismo.



4.8 Peligrosidad a Deslizamientos

La peligrosidad es una parte fundamental a la hora de definir el riesgo que se define como el nivel de pérdida de un elemento (poblaciones, las edificaciones y obras civiles, actividades económicas, utilidades, servicios) por la acción de un fenómeno natural.

Por otro lado, la vulnerabilidad es la susceptibilidad que un elemento tiene a ser afectado o padecer una pérdida producto de la acción de una amenaza, es un proceso dinámico que depende de condiciones sociales y naturales.

La peligrosidad a deslizamientos es la probabilidad de ocurrencia potencial de un deslizamiento en un área y periodo de tiempo determinado

Guzzetti (1999) y Aleotti & Choudhury (1999) definen a la peligrosidad como un parámetro que incorpora conceptos de localización espacial, tiempo de ocurrencia y magnitud, como elementos muy importantes a la hora de predecir el comportamiento de un futuro deslizamiento.

4.8.1 Mapa de peligrosidad a deslizamientos

Este mapa indica zonas que muestran la probabilidad de ocurrencia de movimientos de ladera en una región determinada.

Spiker y Gore (2003) señalan que las zonas muestran la probabilidad de que se pueda producir un deslizamiento en un lugar determinado, además de que cantidades de tierra procedentes de partes más alejadas y elevadas de la vertiente sean desplazadas a ese lugar.

4.9 Sistemas de Información Geográfica

Un SIG es un conjunto de aplicaciones diseñadas para el procesamiento, interpretación y mantenimiento de datos cartográficos.

Según Tomlin (1990) un SIG “es un elemento que permite «analizar, presentar e interpretar hechos relativos a la superficie terrestre”

“Un SIG se define como un elemental grupo de herramientas que nos sirven para recopilar, almacenar, visualizar, transformar y representar datos espaciales cartográficos.” (Burrough, 1986).

5. Materiales y Métodos

5.1 Datos Generales de la Parroquia

5.1.1 Ubicación

La parroquia San Pedro de la Bendita se encuentra ubicada en la Provincia de Loja, Cantón Catamayo, a 53 km de la ciudad de Loja, es una parroquia rural de este cantón conjuntamente con Zambí, Guayquichuma y El Tambo, posee un área aproximadamente de 146,67 km², a 1800 m.s.n.m en las coordenadas UTM/WGS84 (674 030,299;9 563 900,601). (Ver Figura 10)

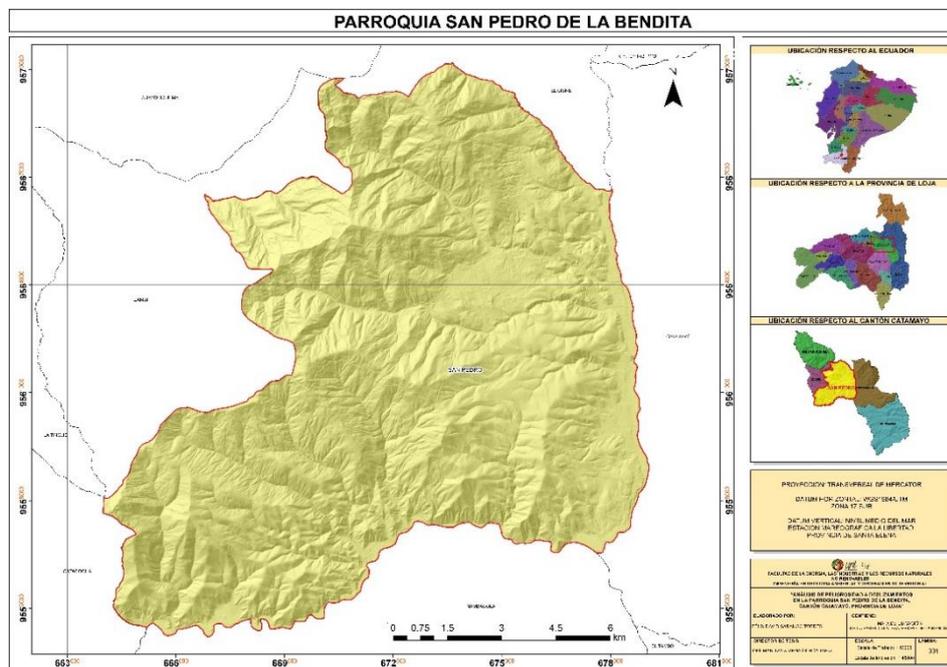


Figura 10: Ubicación Política de la Parroquia San Pedro de la Bendita.
Elaboración: Sarango, (2022)

5.1.2 Acceso

El acceso a la parroquia se lo puede hacer por vía aérea desde la ciudad de Quito con un tiempo de vuelo de aproximadamente una hora, y luego por vía terrestre desde el aeropuerto Camilo Ponce Enríquez hasta la parroquia con un tiempo de 15 minutos. (Ver figura 11)

Por vía terrestre también se puede acceder a la parroquia desde la ciudad de Quito por la vía Panamericana/Troncal de la Sierra E35 que conecta las ciudades de Quito-Cuenca-Loja-Catamayo con un tiempo aproximado de 12 horas y 10 minutos. Luego por la Troncal de la costa E25 hasta la parroquia San Pedro de la Bendita con un tiempo de viaje de 15 minutos.

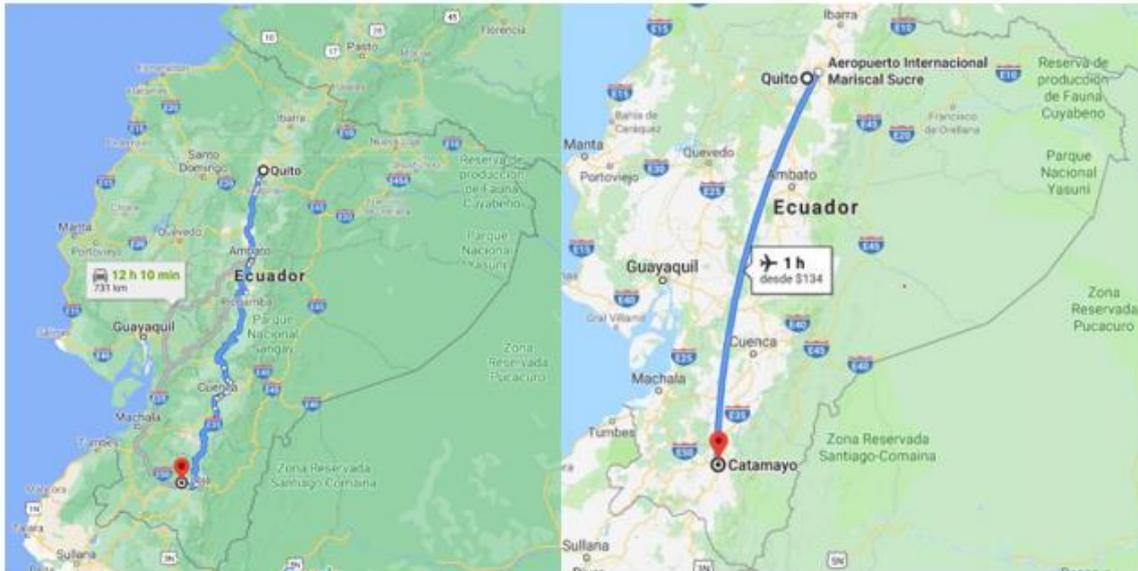


Figura 11: Acceso Terrestre y Aéreo a la Parroquia San Pedro de la Bendita.
Fuente: Google Earth (2021)

5.1.3 Límites

La parroquia San Pedro de la Bendita limita:

- **Al Norte:** Por una parte, con la parroquia El Cisne sirviendo como límite natural la quebrada de Naranjillo y por la otra con la parroquia Zambí, sirviendo como límite natural la quebrada Duranda y la Panamericana a la Costa.
- **Al Sur:** La parroquia Nambacola sirviendo como límite natural el Río Catamayo.
- **Al Este:** Con la parroquia urbana y cabecera cantonal de Catamayo, sirviendo como límite natural el río Guayabal
- **Al Oeste:** Por una parte, con la parroquia Zambí y por otra con la parroquia Catacocha perteneciente al cantón Paltas.

5.1.4 Clima

La parroquia San Pedro se caracteriza por tener dos tipos de clima: El Ecuatorial Mesodérmico Seco en la parte sur y El Ecuatorial Mesodérmico Semi-Húmedo; por la parte norte (Ver Figura 12).

Con respecto a la temperatura se establece un rango de 14 a 21°C, pero varía mucho en el transcurso de los días; dado que las consecuencias del cambio climático están siendo notables, por ello las estaciones climáticas son dinámicas y la predicción climática se vuelve impredecible. (Gobierno Autonomo Descentralizado Parroquial de San Pedro de la Bendita, 2019).

5.1.6 Geología Regional

Regionalmente la parroquia San Pedro de la Bendita se encuentra ubicada al suroeste del país compartiendo información de las cartas geológicas de Zaruma (Hoja 38), Cariamanga (Hoja 39), Loja (Hoja 56) y Gonzanamá (Hoja 57).

Tectónicamente en el contexto regional los dominios y ambientes geotectónicos en esta zona corresponden al Bloque Amotape Tahuín y parte del Terreno Oceánico Alao y Loja-Olmos (Ver Figura 14)

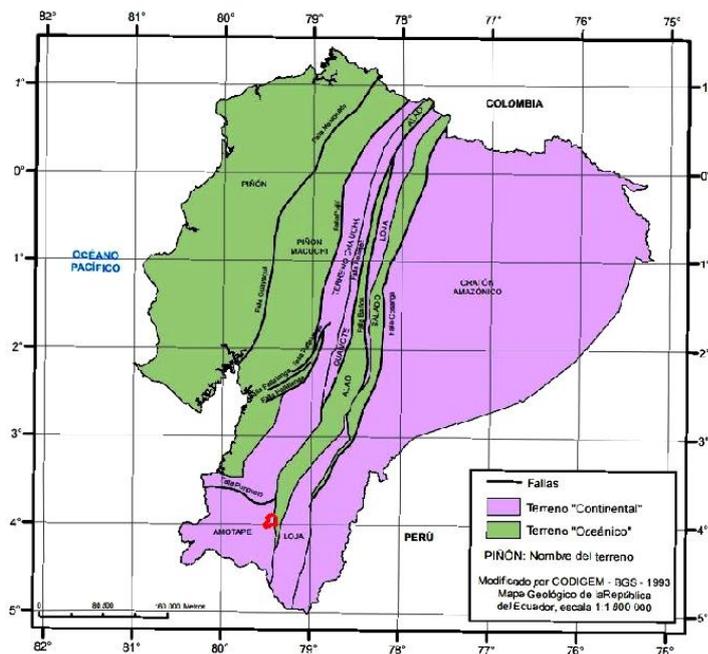


Figura 14: Ubicación de la parroquia San Pedro de la Bendita en los dominios y ambientes geotectónicos.

Fuente: CODIGEM, (2013)

El basamento pre-Mesozoico Amotape-Tahuín, ubicado en el área costera de los andes de Huancabamba, consiste en rocas metamórficas polifásicas del Precámbrico y Paleoceno Inferior. Según resultados paleomagnéticos es un terreno continental alóctono acrecionado al margen activo peruano durante el Cretácico Temprano (Neocomiano), seguido de la rotación in-situ post acreción durante el Cretácico. La rotación total, a favor de las manecillas del reloj es de -90° desde el Aptiano y -65° desde el Senoniano (Kissel et al., 1990).

“A lo largo del margen oeste de la cordillera Oriental, un sistema mayor de falla Peltetec-Portovelo marca la sutura del terreno Amotape-Chauca y se extiende hacia el norte” (Arculus et al., 1999).



El terreno Alao de edad Jurásica es interpretado como un arco de islas, el cual está formado por una compleja asociación de rocas desarrolladas en un ambiente de subducción con un melange ofiolítico conocido como unidad Peltetec, una cuenca de antearco llamada unidad turbidítica Maguazo, un arco de islas formado por rocas verdes basálticas y andesíticas de la unidad Alao–Paute y una cuenca de trasarco conocida como unidad metasedimentaria El Pan. (Litherland et al., 1994)

El Terreno Loja-Olmos aparece en forma de una gran faja metamórfica alargada que se extiende por toda la Cordillera Real y se caracteriza por la cerrada asociación entre los metasedimentos semipelíticos de la unidad Chigüinda–Agoyán de edad Paleozoico y los granitoides del Triásico de la unidad Tres Lagunas (Litherland et al., 1994). (Litherland et al., 1994).

Es así que litoestratigráficamente se utilizará las unidades geológicas propuestas por el (INIGEMM, 2013) (*Anexo 1: Mapa Geológico Regional*), misma que en base a su investigación geológica atribuye nuevas unidades litoestratigráficas discriminando formaciones anteriores como los volcánicos Sacapalca principalmente, estas unidades son:

La **Unidad El Tigre (Pz_T)**: Se infiere como edad paleozoica, secuencia no metamórfica o pobremente metamorfizada, de origen esencialmente turbidítico con un aporte cratónico (Aspden & Duque, 1995). Los principales afloramientos se exponen en la vía San Pedro de la Bendita - El Cisne-Portovelo. Consiste en metalimolitas gris verdosas que se intercalan con meta-grauvacas de grano medio color verde oscuro. Ocasionalmente se intercalan pizarras de color gris a negro con filitas de color verdoso y café oscuro. También representa areniscas y lutitas no metamorfizadas, además de cuarcitas, pizarras y filitas. (INIGEMM, 2013)

La **Unidad Chaguarpamba (K_{Ch})** atribuida al Cenomaniense, corresponde a una secuencia volcanosedimentaria denominada anteriormente Formación Quillosara (Jaillard et al., 1999) que consiste de rocas de color verde, grano fino a medio, generalmente estratificadas, incluyen tobas arenosas, aglomerados finos y lentes subordinados de lutitas y limolitas constituidas por materiales mayormente de origen volcanosedimentario. Las lutitas y limolitas de color gris y negro ocurren en capas métricas a decamétricas concordantes a las facies gruesas, constituyendo las facies marinas más profundas de la cuenca. Los principales afloramientos se encuentran en la carretera San Pedro de la Bendita-Las Chinchas-Zambi, y en el margen derecho del río Ari. (INIGEMM, 2013)



La **Unidad Yungilla (KY)** atribuida al cretácico, forma un bloque tectónico en la región de Aguasillas y una laja tectónica al N de Yamana. La secuencia consiste en rocas sedimentarias turbidíticas, bien estratificadas, fino granulares, carbonatadas y muy deformadas. Las litologías incluyen areniscas calcáreas, limolitas y lutitas negras que ocurren en capas centimétricas con rumbo preferencial E-O buzando al N. Las rocas presentan fracturamiento astilloso y localmente tienen el aspecto de pizarras. Los contactos con las Unidades Bramaderos, Loma Blanca y Rio Playas son tectónicos. (INIGEMM, 2013)

La **Unidad Changaimina (Pc_{Ch})** Su mejor exposición se encuentre en los márgenes del río Catamayo. Está formada por lavas andesíticas básicas de color gris verdoso, con textura afanítica a subporfirítica. La edad atribuida para esta unidad se basa en dataciones realizadas por Hungerbuler (1997) es el Paleoceno. El volcanismo es de naturaleza calcoalcalina de arco continental. (INIGEMM, 2013)

La **Unidad Guayabal (OM_{GI})** se le asigna una edad oligo-miocénica, consiste principalmente de una secuencia volcanoclástica de composición intermedia a ácida. Exhibe principalmente lavas andesíticas afaníticas y tobas de colores grises intercaladas con tobas riolíticas de color blanquecino, fuertemente fracturadas con vetillas milimétricas de cuarzo y pátinas de óxido de color rojizo. Los principales afloramientos se localizan en los cortes de la carretera Catamayo-San Pedro de la Bendita. (INIGEMM, 2013)

La **Formación Catamayo (M_{Ca})**: Se le asume una edad del Mioceno medio, Jaillard et al. (1996) señalan que los afloramientos principales están ubicados alrededor del poblado de Catamayo en la cuenca sedimentaria del mismo nombre. Según Reyes y otros (2008), la formación consiste en:

- Un miembro basal compuesto por conglomerados intercalados con lutitas púrpuras y areniscas amarillas de grano grueso.
- El miembro intermedio con lutitas de varias coloraciones, alternadas con areniscas finas de color blanco y amarillo.
- El miembro superior consiste de calizas intercaladas localmente con yesos y lutitas blancas.

Los sedimentos sobreyacen discordantes a la Unidad Gonzabal y subyacen discordantes a los flujos laharíticos de la Unidad Infiernillo. La potencia estimada es de aproximadamente de 400m. Jaillard et all. (1996) interpretan las facies como llanuras de inundación costera y



fluvial para la parte baja, un sistema fluvial dominante para la parte media y de llanura costera con intervalos de incursiones marinas y fluviales para la parte alta. (INIGEMM, 2013)

Depósitos Aluviales (Q_A): Se localizan a lo largo de los márgenes de los ríos Zamora, Jipiro y Catamayo. Consisten de bloques, cantos y guijarros de rocas volcánicas y metamórficas subredondeadas a redondeadas, en matriz arenosa.

Depósitos Coluviales (Q_C): En los sectores de Chuquiribamba así como al borde occidental y al norte de la cuenca de Loja, predominan depósitos de avalanchas y “debris slope” que presentan cantos y guijarros de rocas metamórficas en matriz arenosa.

- **Rocas Intrusivas**

Granodioritas (G^{Gd}): El cuerpo de mayor extensión es el batolito de San Lucas cuya edad varía entre 66 y 51 Ma. Este cuerpo muestra variaciones a granito, con textura fanerítica de grano medio a grueso, compuesto por plagioclasas, feldespato, alcalino, cuarzo, biotita y menor hornblenda. Es frecuente la presencia de colgajos de basamento metamórfico. (INIGEMM, 2013)

Dioritas (D^D): Constituyen intrusiones jóvenes alrededor de los ríos Zamora y San Lucas, formando la loma Pucalá y en el río Ari. Presentan texturas faneríticas de grano fino a medio, con plagioclasa, hornblenda y a veces piroxeno. En la zona noroccidental presentan localmente malaquita, azurita y sulfuros de hierro-cobre. (INIGEMM, 2013)

5.2 Materiales

Para la elaboración de este proyecto de investigación se utilizó los siguientes materiales:

5.2.1 De Campo

- Brújula Azimutal Brunton
- GPS +/- 1m de error
- Cámara fotográfica
- Martillo Geológico
- HCL al 10%
- Libreta de Campo
- Cinta métrica
- Fundas Ziploc



5.2.2 De oficina

- Computadora
- Flash Memory
- Impresoras

5.2.3 De Geoprocesamiento

Se utilizó los siguientes softwares para la elaboración de los respectivos mapas:

- ArcGIS 10.8
- Microsoft Office 2016: Word, Excel, PowerPoint
- SasPlanet
- Google Earth Pro 2021

Además, para levantar la cartografía base y demás insumos utilizados en los mapas se utilizó la siguiente información:

Tabla 1: Insumos necesarios para el geoprocesamiento.

Ítem	Escala	Año	Fuente
Carta Geológica Loja	1:100 000	2017	Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM)
Carta Geológica Cariamanga	1:100 000	2017	Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM)
Carta Geológica Zaruma	1:100 000	2013	Instituto Geográfico Militar (IGM)
Carta Geológica Gonzanamá	1:100 000	2017	Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM)
Mapa de Uso de Suelo	1:25 000	2020	Gobierno Autónomo Descentralizado de San Pedro de la Bendita
Ortofotos	Resolución de 0.3m/pixel	2015	MAG/SIGTIERRAS
MDT	Resolución de 3mpixel	2015	MAG/SIGTIERRAS
Imágenes Satelitales	Resolución de 0.3m/pixel	2021	Google Earth y Sasplanet
Datos metereológicos	mm/mes, mm/día	1990-2020	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

5.3 Métodos

5.3.1 Recolección de información

Este proyecto se realizó en base a la metodología de Evaluación multicriterio de Saaty (1980), el cual toma en cuenta una serie de variables para determinar la peligrosidad a deslizamientos, para después en base a su importancia ir asignando su respectivo peso en



función a la incidencia que presenta determinada variable para que se produzca un fenómeno de remoción en masa. La información bibliográfica para la aplicación de esta metodología se obtuvo de trabajos de investigación realizados con esta temática de Saaty (1980).

La información cartográfica necesaria para realizar el proyecto se obtuvo de diferentes entidades del estado principalmente como lo son el Instituto Geográfico Militar (IGM), SIG-TIERRAS, Instituto Nacional de Investigación Geológica Minero Metalúrgico (INIGEMM), Gobierno Autónomo Descentralizado de San Pedro de la Bendita (GADSPB) de las cuales básicamente se obtuvo la siguiente información:

- Cartas Geológicas de Loja, Gonzanamá, Zaruma y Cariamanga a escala 1:10 000
- Modelo Digital de Terreno (MDT), con resolución de 3m/pixel
- Ortofotos de la parroquia San Pedro de la Bendita, con resolución 0.3m/pixel
- Mapa de Uso de Suelo de la Parroquia San Pedro de la Bendita, escala 1:25 000
- Datos de precipitaciones mensuales y diarias.

5.3.2 Fase de Campo

En esta fase se procedió a realizar el levantamiento de toda la información en campo a escala 1:10 000. Para el levantamiento de información geológica de la parroquia se utilizó las cartas anteriormente mencionadas como base y con la ayuda de una ficha de afloramientos y descripción macroscópica de rocas, se obtuvo la información de las litologías de nuestra área de estudio, también en esta fase se corroboró las diferentes geoformas de relieve en el territorio para la obtención del mapa geomorfológico, así como se identificó los diferentes usos de suelo que existen en la parroquia utilizando esta información para de igual manera corroborar el mapa realizado en fase de oficina.

5.3.3 Fase de Oficina

En oficina se realizó los diferentes mapas utilizando principalmente el Software ArcGIS, primeramente, se obtuvo el mapa topográfico con equidistancia entre curvas principales de 100 m y secundarias de 20 m, digitalizando sobre las ortofotos (viviendas, vías, cuerpos de agua, manzanas, etc.), el mapa de pendientes se mediante el tratamiento del Modelo de Elevación de Terreno en el software para así obtener los valores de las pendientes, el mapa geomorfológico se realizó en base a la metodología de CLIRSEN utilizada en el levantamiento geomorfológico del cantón Catamayo a escala 1:25 000, el mapa geológico local se realizó



tomando en cuenta las litologías levantadas en campo, así como también utilizando la fotointerpretación.

Luego el mapa de uso de suelo se realizó digitalizando y actualizando el mapa propuesto por el GAD parroquial. El factor desencadenante de intensidad de lluvia se mapeo a partir de datos de precipitación en mm/días obtenidos del Instituto de Meteorología e Hidrología (INNAMH) en un rango de 30 años (1990-2020) y procesados en base la metodología Gumbel.

Además de los mapas de las variables se confeccionó mapas auxiliares como el de afloramientos y de inventario de deslizamientos, este último sirve para corroborar los deslizamientos en la parroquia con los resultados obtenidos de la investigación.

5.3.4 Primer Objetivo: Realizar el levantamiento geológico de la Parroquia San Pedro de la Bendita

El levantamiento geológico de la parroquia San Pedro de la Bendita se realizó por el método de descripción de afloramientos descrito por (Echevest, 2017) en su *Manual de Levantamiento Geológico*, el cual consiste en generar una cartografía geológica, mediante una caracterización de los afloramientos en el área de estudio y de toma de muestras de mano para su análisis petrográfico para obtener la información detallada de la litología en la parroquia.

Tomando como base las cartas geológicas de Loja, Cariamanga y Gonzanamá del 2017 y de Zaruma de 1980 a escala 1:100 000, se determinó regionalmente las formaciones geológicas en el área de estudio mediante la digitalización de las mismas en el software ArcGIS 10.8. Luego de ello se realizó la interpretación preliminar de las ortofotos obtenidas del SIGTIERRAS con una resolución de 0.3m/pixel en donde se procedió a identificar rasgos geológicos significativos en base a criterios como: red hídrica, tono, textura, forma de relieve y vegetación.

Seguidamente se realizó en campo el levantamiento de información a detalle de los afloramientos de la parroquia los cuales fueron levantados cada 100 metros en zonas accesibles, y en zonas no accesibles se correlacionó con la información más cercana, además en sitios en donde se evidenció la misma litología se levantó información a mayor distancia (Ver Figura 15).



Figura 15: Afloramientos levantados en la parroquia San Pedro de la Bendita.

Los rasgos de los afloramientos geológicos se registraron mediante fichas de campo (*Anexo 2: Ficha de caracterización de afloramientos*), en las que se describió las características geográficas, litológicas y estructurales como rumbo, buzamiento y dirección de buzamiento de cada uno de los afloramientos levantados.

Además, las características de las muestras mano de las rocas se definieron mediante el uso de fichas de descripción macroscópica (*Anexo 3: Ficha de descripción macroscópica de rocas*) en las cuales se detalla propiedades generales como textura, color, composición mineralógica macroscópica, estructura, y tipología de roca.

El mapa topográfico se realizó mediante el uso de ortofotos y MDT con DATUM WGS 84 UTM, con un tamaño de 3x3 m/pixel obtenidas del MAG en su sitio web SIGTIERRAS, estas fueron procesadas en el software ARCGIS 10.8 en donde se realizó lo siguiente: Unión de archivos MDT para luego mediante la herramienta *Contour* obtener las curvas de nivel con una equidistancia de 20 m entre curvas secundarias y 100 m entre curvas principales, finalmente digitalizando los aspectos más importantes como vías, viviendas, quebradas, lagunas, se obtuvo el mapa topográfico a escala 1:10 000 con DATUM WGS 84 UTM. (*Anexo 4: Mapa Topográfico*)

Con la información levantada y corroborada en campo se procedió a la elaboración del mapa geológico local a escala 1: 10 000 con DATUM WGS 84 UTM, ubicando principalmente las litologías y estructuras definidas en el área de estudio.

5.3.5 Segundo Objetivo: Identificar y mapear las variables que intervienen en la peligrosidad a deslizamientos.

5.3.5.1 Variables Condicionantes

5.3.5.1.1 Mapa de Pendientes

Para la elaboración del mapa de pendientes se utilizó el Modelo Digital del Terreno final obtenido de la unión de los MDT descargados de SIGTIERRAS que se procesó en el software ARCGIS 10.8 de la siguiente manera: en *Spatyal Analyst Tools* se utiliza la herramienta *Slope*, luego el resultado obtenido lo reclasificamos en base a la metodología escogida DEMEK (1972) (Ver tabla 2), mediante la opción *Reclasify*, para finalmente convertir el ráster a polígono mediante la herramienta *Conversión - Raster to Polygon*, en este shapefile después de aplicar un *Dissolve* para simplificar datos, procedemos en la tabla de atributos a generar campos de área, clasificación y porcentajes de las pendientes obtenidas. Con este procedimiento se obtuvo como resultado el mapa de pendientes a escala 1:10 000 con Datum UTM/WGS84 clasificado de la siguiente manera:

Tabla 2: Clasificación del ángulo de la pendiente.

Color	Término de la Pendiente	Categoría (°)
	Ligeramente inclinado	0– 5
	Fuertemente inclinado	5 – 15
	Muy inclinado	15 – 35
	Empinado	35 – 55
	Vertical	> 55

Fuente: DEMEK (1972)

La finalidad de este mapa fue identificar y determinar las zonas con mayor o menor inclinación con respecto a la superficie en nuestra área de estudio.

5.3.5.1.2 Mapa Geomorfológico

El mapa geomorfológico se lo realizó en base a la metodología del proyecto de “Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional a Escala 1:25 000 para el cantón Catamayo” la cual utiliza principalmente las cartas geológicas y topográficas, litología, uso de suelo, modelo de elevación digital, y ortofotos para la determinación de las diferentes geoformas en nuestra área de estudio.

Cabe recalcar que para obtener el mapa geomorfológico a escala 1:10 000 se consideró las variables de esta metodología, puntualizando que la información procesada está a una escala de 1:10 000. Se debe considerar que por lo general las unidades geomorfológicas abarcan

grandes áreas y a escala mayor se dificulta encontrar una metodología que ayude a determinar las formas de relieve con exactitud.

Esta metodología se basa en la citada por Clirsen (2012), misma que utiliza los siguientes criterios delimitadores de unidades geomorfológicas:

a. Desnivel relativo

Este parámetro corresponde a la altura existente entre el cauce de los ríos o quebradas (nivel base) y la parte más alta de las formas del relieve (cimas), se mide en metros y se analizó en base a los siguiente:

Tabla 3: Categorización de desniveles relativos

Desnivel relativo	
Código	Tipo
1	0 a 5 m
2	5 a 15 m
3	15 a 25 m
4	25 a 50 m
5	50 a 100 m
6	100 a 200 m
7	200 a 300 m
8	> a 300m

Fuente: Adaptado de MAG-OSTOM (1982)

b. Forma de la cima

Se refiere a la divisoria morfológica que está delimitada por dos superficies de relieve que pueden ser escarpes o taludes (tabla 4) de orientaciones opuestas que pueden tener diferente pendiente (Porta, 2005).

Tabla 4: Categorización de forma de cima.

Forma cima	Código
Aguda	Cag
Redondeada	Cre
Plana	Cpl
Inexistente	I
No aplicable	NA

Fuente: Adaptado de MAG-OSTOM (1982)

c. Forma de la vertiente

Corresponde a la vertiente o ladera, que separa la superficie inclinada entre la cima y base de un relieve, la forma de vertiente es muy importante para definir el tipo de litología y por ende el grado de erosión al que está sometido.

Tabla 5: Categorización de forma de la vertiente

Forma vertiente	Código
Cóncava	Vca
Convexa	Vcx
Rectilínea	Vr
Irregular	Vir
Mixta	Vmx
No Aplicable	NA

Fuente: Adaptado de MAG-OSTOM (1982)

d. Pendiente

Es el grado de inclinación de la ladera con relación a la horizontal, expresado en porcentaje:

Tabla 6: Categorización de las pendientes

Código	Pendiente (P)	Porcentaje (%)
1	Plana	0 – 2
2	Muy suave	2 – 5
3	Suave	5 – 12
4	Media	12 – 25
5	Media a fuerte	25 – 40
6	Fuerte	40 – 70
7	Muy fuerte	70 – 100
8	Escarpada	> a 100

Fuente: Adaptado de MAG-OSTOM (1982)

e. Forma del relieve

Define el tipo de la forma del relieve que corresponde a una unidad geomorfológica a través de un nombre representativo, enmarcado en el análisis de las características geológicas y morfométricas. La morfología según (SENPLADES, 2012) para el cantón Catamayo existen 27 unidades morfológicas (tabla 7)

Tabla 7: Categorización de morfología del Cantón Catamayo

Unidad morfológica	Código
Superficie de cuesta	C1
Frente de cuesta	C2
Vertiente de cuesta	C3
Testigo de cuesta	C4
Coluvión antiguo	Can
Superficie de cono de deyección antiguo	Cds
Coluvio aluvial antiguo	Co
Coluvio aluvial reciente	Cr
Cerro testigo	Ct
Coluvión reciente	Cv
Superficie de cono de deyección reciente	Cy



Unidad morfológica	Código
Glacis de esparcimiento	Ges
Superficie de cuesta destruida	Ot
Vertiente disectada	Ot
Glacis de acumulación	Ot
Neck	Ot
Relieve colinado muy bajo	R2
Relieve colinado bajo	R3
Relieve colinado medio	R4
Relieve colinado alto	R5
Relieve colinado muy alto	R6
Relieve montañoso	R7
Terraza baja y cauce actual	Tb
Terraza media	Tm
Valle fluvial	Va
Vertiente de superficie de erosión	Vse
Valle indiferenciado	Vi

Fuente: SENPLADES (2012)

Finalmente, una vez determinados todos estos parámetros para determinar las diferentes unidades geomorfológicas se correlacionó con las tablas establecidas por CLIRSEN en el proyecto “Generación de Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional Escala 1:25 000 para el Cantón Catamayo”, asignando el origen, morfología y simbología a cada una de las geoformas para así obtener el mapa geomorfológico definitivo de nuestra área de estudio. Todas estas geoformas se validaron en campo y mediante fotointerpretación en puntos estratégicos.

Además de la determinación de las formas de relieve se realizó el inventario de deslizamientos mediante salidas de campo y fotointerpretación, utilizando una ficha técnica de levantamiento de deslizamientos modificada por el autor en base a la plantilla del Proyecto Multinacional Andino (*Anexo 5: Ficha de Inventario de Deslizamientos*).

Esta caracterización sirvió para complementar el mapa geomorfológico del área de estudio, ya que se tomó en cuenta los deslizamientos como una variable de la morfodinámica, asimismo el inventario se utilizó como medida de corroboración de los resultados obtenidos en el mapa de peligrosidad a deslizamientos final.

5.3.5.1.3 Mapa de Uso de Suelo

Para la elaboración del mapa de uso de suelo se realizó la digitalización y actualización de la clasificación utilizada por el GAD de la Parroquia San Pedro de la Bendita en el 2020 (clasificación del MAGAP), y mediante el análisis de las ortofotos de la parroquia obtenidas



del MAG en su sitio SIGTIERRAS con resolución 0.3m/pixel, en el software ARCGIS 10.8 digitalizando polígonos se definió los diferentes usos de suelo con lo que se obtuvo el mapa de uso de suelo actual a escala 1:10 000 del área de estudio (tabla 8).

Tabla 8: Clasificación de Uso de Suelo de la Parroquia San Pedro de la Bendita.

Uso de Suelo	Tipo de Uso
Agrícola	Maíz
	Caña de azúcar industrial
	Barbecho
Agropecuario Mixto	Pasto cultivado con presencia de árboles
	Misceláneo Indiferenciado
Agua	Embalse
	Lago/Laguna
	Río Doble
Infraestructura	Urbano
	Vial
Conservación y Protección	Bosque húmedo muy alterado
	Bosque húmedo poco alterado
	Bosque seco medianamente alterado
	Bosque seco muy alterado
	Matorral húmedo muy alterado
	Matorral húmedo poco alterado
	Matorral seco medianamente alterado
	Matorral seco muy alterado
	Matorral seco poco alterado
Pecuario	Pasto Cultivado
Tierras improductivas	Banco de arena

Fuente: Gobierno Autonomo Descentralizado Parroquial de San Pedro de la Bendita, (2019) modificado por Sarango, (2022)

5.3.5.2 Variable Desencadenante

5.3.5.2.1 Mapa de Intensidad de Lluvia

El mapa de intensidad de lluvia se realizó en base a los datos meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), información que corresponde a un intervalo de 30 años que comprendidos entre 1990-2020, donde se recopilaron los registros de lluvias máximas en un rango de 24 horas (mm/día).

Las estaciones utilizadas en esta investigación fueron consideradas en base a su cercanía a la parroquia San Pedro de la Bendita fueron: La Argelia, Catamayo (La Toma), Malacatos, Vilcabamba, Cariamanga, Gonzanamá, Quilanga, Catacocha, El Cisne y Cajanuma mismas que se detallan en la tabla 9.

Tabla 9: Estaciones metereológicas circundantes a la parroquia San Pedro de la Bendita

ID	Código	Estación	X	Y	Z	Periodo
1	M033	La Argelia	699905	9554269	1560	1990-2020
2	M060	Catamayo (La Toma)	681296	9558425	1250	1990-2020
3	M143	Malacatos	693160	9533974	1500	1990-2020
4	M144	Vilcabamba	695932	9529518	1560	1990-2020
5	M146	Cariamanga	659971	9521675	1960	1990-2020
6	M149	Gonzanamá	674205	9532642	674	1990-2020
7	M241	Quilanga	677697	9525269	1940	1990-2020
8	M515	Catacocha	650752	9551949	1763	1990-2020
9	M542	El Cisne	675000	9574167	2300	1990-2020
10	M543	Cajanuma	699432	9548762	2267	1990-2020

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, (2020)

Para mapear las intensidades de lluvia primeramente se realizó el análisis del *parámetro de evaluación* el cual consiste en los periodos de retorno, para ello, se utilizó la metodología de análisis de distribución de probabilidades formulada por Gumbel en 1941, debido a que por este método se determina valores extremos de variables metereológicas, siendo de gran utilidad para la predicción de deslizamientos, inundaciones, etc.

El proceso de análisis del parámetro de evaluación se indica a continuación para el cual se toma como ejemplo la estación meteorológica Catamayo (La Toma), los demás cálculos de todas las estaciones se muestran en el (*Anexo 6: Calculo de Intensidades de Lluvia*).

En la tabla 10 se muestran los registros pluviométricos mensuales de las precipitaciones máximas diarias durante el intervalo de 1990 a 2020 registrados en la estación meteorológica Catamayo (La Toma). Se observa que el máximo valor de precipitación es de 5,04 mm/día el cual se produjo en el mes de marzo del 2013.

Tabla 10: Precipitaciones máximas en 24 horas (mm) en intervalo de tiempo 1990-2020, Estación: Catamayo (M060)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1990	0,65	2,73	1,21	3,13	0,59	0,18	0,47	0,00	0,24	1,18	1,22	0,56	3,13 Abril
1991	2,07	1,19	4,97	0,27	1,47	0,23	0,07	0,00	0,44	0,30	0,50	0,98	4,97 Marzo
1992	0,72	2,66	1,19	1,18	0,77	0,25	0,04	0,08	0,41	0,19	0,89	0,46	2,66 Febrero
1993	0,49	4,12	4,54	2,17	0,30	0,01	0,01	0,00	0,79	1,70	0,29	4,69	4,69 Diciembre
1994	3,69	2,11	4,60	1,80	0,13	0,07	0,02	0,20	0,38	0,32	1,08	1,15	4,60 Marzo
1995	0,09	1,32	0,72	0,91	1,72	0,01	0,11	0,02	0,16	3,74	2,34	1,98	3,74 Octubre
1996	1,98	1,51	4,10	1,25	1,48	0,37	0,00	0,00	0,00	0,47	0,01	0,17	4,10 Marzo
1997	0,51	2,05	0,99	0,47	0,02	0,01	0,10	0,00	0,06	0,38	1,22	0,64	2,05 Febrero
1998	0,54	1,15	3,24	1,15	1,34	0,01	0,00	0,84	0,13	0,00	0,34	0,01	3,24 Marzo
1999	0,89	1,96	0,69	3,00	0,23	0,09	0,00	0,22	1,35	1,41	1,29	1,86	3,00 Abril
2000	1,30	2,38	1,64	0,48	1,35	0,12	0,00	0,65	0,91	2,06	2,29	0,78	2,38 Febrero
2001	1,12	1,07	3,90	1,39	0,14	1,86	0,21	0,27	0,66	2,45	0,48	1,14	3,90 Marzo



Análisis de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo, provincia de Loja



Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo	
2002	1,11	1,58	3,99	1,70	0,38	0,22	0,00	0,00	0,00	2,47	0,68	1,37	3,99	Marzo
2003	0,28	2,91	2,40	2,99	0,47	1,35	0,20	0,31	0,81	1,07	0,34	1,36	2,99	Abril
2004	0,34	3,95	3,25	0,44	0,00	0,29	0,02	0,21	0,19	1,52	0,75	0,93	3,95	Febrero
2005	0,37	3,34	3,11	2,47	1,71	0,75	0,00	1,08	0,00	3,35	0,50	0,28	3,35	Marzo
2006	2,72	3,14	2,26	4,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	0,16	0,28	1,75	4,34	Abril
2007	1,45	0,74	0,04	1,32	0,00	0,00	0,00	0,41	2,64	1,39	0,00	0,41	2,64	Septiembre
2008	0,49	0,67	2,62	1,66	0,54	0,03	0,02	0,02	0,19	0,04	0,05	0,13	2,62	Marzo
2009	0,59	3,54	3,54	1,65	0,21	0,03	0,00	0,72	0,36	0,00	0,01	0,39	3,54	Marzo
2010	1,71	2,17	2,09	2,99	0,03	0,07	0,01	0,00	0,05	1,36	1,54	1,53	2,99	Abril
2011	1,25	1,41	3,21	1,10	0,28	0,00	0,03	0,20	0,00	0,61	0,15	1,33	3,21	Marzo
2012	0,76	2,47	1,56	2,19	0,63	0,01	0,01	0,00	0,30	1,13	2,62	1,50	2,62	Noviembre
2013	1,46	3,93	5,04	2,91	1,13	0,12	0,05	0,15	0,47	2,64	1,00	1,50	5,04	Marzo
2014	2,85	2,05	1,70	1,95	0,90	0,10	0,11	0,05	0,69	1,70	1,79	0,13	2,85	Enero
2015	0,39	0,45	1,47	0,34	0,87	0,02	0,01	0,36	0,20	1,50	0,42	1,56	1,56	Diciembre
2016	0,75	2,91	1,85	2,03	0,11	0,00	0,00	0,13	0,19	1,03	0,67	0,78	2,91	Febrero
2017	1,14	0,25	1,35	1,84	1,88	0,01	0,08	0,05	0,09	1,09	0,52	0,13	1,88	Mayo
2018	2,01	2,55	0,43	4,07	0,90	0,31	0,41	0,19	0,61	1,33	1,27	1,07	4,07	Abril
2019	4,00	3,32	3,91	0,28	0,39	0,24	0,00	0,10	0,20	2,09	0,96	0,04	4,00	Enero
2020	0,47	0,63	0,67	0,46	0,49	0,37	0,24	0,64	0,70	1,79	1,09	2,16	2,16	Diciembre
Max	4,00	4,12	5,04	4,34	1,88	1,86	0,47	1,08	2,64	3,74	2,62	4,69	5,04	Marzo

Fuente: INAMHI, (2022)

La distribución de la probabilidad pluviométrica dada por Gumbel se realizó calculando las variables de probabilidad (*media aritmética, desviación estándar, parámetro de dispersión y parámetro de posición*) mismos que se citan a continuación:

Tabla 11: Distribución de probabilidades en intervalo 1990-2020, Estación: Catamayo (M060)

N°	Año	Mes	Precipitación (mm)	
		Max. Precip.	x_i	$(X_i - X_n)^2$
1	1990	Abril	3,13	0,04
2	1991	Marzo	4,97	2,69
3	1992	Febrero	2,66	0,45
4	1993	Diciembre	4,69	1,85
5	1994	Marzo	4,60	1,61
6	1995	Octubre	3,74	0,17
7	1996	Marzo	4,10	0,60
8	1997	Febrero	2,05	1,63
9	1998	Marzo	3,24	0,01
10	1999	Abril	3,00	0,11
11	2000	Febrero	2,38	0,91
12	2001	Marzo	3,90	0,32
13	2002	Marzo	3,99	0,44
14	2003	Abril	2,99	0,12
15	2004	Febrero	3,95	0,39
16	2005	Marzo	3,35	0,00
17	2006	Abril	4,34	1,02
18	2007	Septiembre	2,64	0,47

Nº	Año	Mes Max. Precip.	Precipitación (mm)	
			x_i	$(X_i - X_n)^2$
19	2008	Marzo	2,62	0,50
20	2009	Marzo	3,54	0,05
21	2010	Abril	2,99	0,11
22	2011	Marzo	3,21	0,01
23	2012	Noviembre	2,62	0,50
24	2013	Marzo	5,04	2,94
25	2014	Enero	2,85	0,23
26	2015	Diciembre	1,56	3,12
27	2016	Febrero	2,91	0,18
28	2017	Mayo	1,88	2,09
29	2018	Abril	4,07	0,55
30	2019	Enero	4,00	0,45
31	2020	Diciembre	2,16	1,36
n	31	Suma	103,2	24,9

Elaboración: Sarango, (2022)

a) *Media Aritmética X_n*

$$X_n = \frac{\sum X_i}{n}$$

$$X_n = \frac{103,2}{31} = 3,33 \text{ mm}$$

El resultado de la media aritmética de los datos de la estación Catamayo (La Toma) es de 3.33 mm.

b) *Desviación Estándar (S)*

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_n)^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{24,9}{30}} = 0,91 \text{ mm}$$

La desviación estándar de la estación metereológica Catamayo (La Toma) es 0.91 mm.

c) *Parámetro de escala o dispersión (α):*

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * 0,91 = 0,71 \text{ mm}$$

La dispersión de la serie de datos es de 0.71 mm.

d) Cálculo del parámetro de posición (u):

$$u = x_n - 0,5772 * \alpha$$

Donde: 0,5772 es la constante de Euler

$$u = 3,33 \text{ mm} - 0,5772 * 0,71 = 2,92 \text{ mm}$$

e) Cálculo de precipitaciones máximas diarias probables (mm/día) para distintos periodos de retorno:

Una vez obtenidos los valores de las variables probabilísticas de la serie de datos de precipitaciones, se realizó el cálculo de las precipitaciones máximas diarias probables para frecuencias o periodos de retorno (T) de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años mismos que fueron escogidos en forma aleatoria.

Primero se obtuvo la variable reducida (Y), la mismo que se expresa en función del periodo de retorno, a partir de lo siguiente:

$$Y = -\ln\left(\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right)$$

Luego, se calculó las precipitaciones (mm) de los periodos de retorno, empleando la siguiente formula:

$$X_{T'} = u + Y * \alpha$$

La probabilidad de ocurrencia se determinó aplicando la función de distribución acumulada de Gumbel:

$$F_{(XT)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

Donde: e , es la base del logaritmo neperiano.

Para aumentar y obtener magnitudes de precipitaciones más aproximadas a la realidad se realizó la corrección por intervalo fijo de 1,13, ya que, según Carihua & Vargas (2018) los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con precipitaciones máximas, al ser incrementado en un 13% conducen a magnitudes más aproximadas.



Tabla 12: Precipitación diaria máxima probable para distintos periodos de retorno, Estación: Catamayo (M060)

Periodo Retorno T (Años)	Variable Reducida YT	Precipitación (mm) XT'(mm)	Probabilidad de que ocurra un evento menor que X, F(XT)	Corrección intervalo fijo XT (mm/día)
2	0,37	3,18	0,50 = 50%	3,59
5	1,50	3,98	0,80 = 80%	4,50
10	2,25	4,52	0,90 = 90%	5,11
25	3,20	5,19	0,96 = 96%	5,87
50	3,90	5,69	0,98 = 98%	6,43
100	4,60	6,19	0,99 = 99%	6,99

Elaboración: Sarango, (2022)

Como se puede analizar en la tabla 12, en un periodo de retorno de 2 años la precipitación acumulada máxima en la parroquia San Pedro de la Bendita será de 3,59 mm/día con una probabilidad de que ocurra un evento menor del 50%. Asimismo, para un periodo de retorno de 25 años se presenciaria una lluvia de 5,87 mm/día con una probabilidad de ocurrencia del 96%.

f) Precipitación media promedio (mm/24horas) para diferentes tiempos de duración de lluvias según periodos de retorno:

Las precipitaciones medias se calcularon para diferentes tiempos de duración según periodos de retorno usando los coeficientes mencionados en la tabla 13, de esa manera se transforma las precipitaciones diarias máximas probables a precipitaciones de diferentes tiempos de duración (fracciones del día).

Tabla 13: Coeficientes para las relaciones de tiempo de duración de lluvias

Duración en horas	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
Coefficiente	0,3	0,39	0,46	0,52	0,57	0,61	0,68	0,8	0,91	1

Fuente: Campos, (1978)

Esto se obtuvo multiplicando las precipitaciones diarias máximas probables por el coeficiente de tiempo de duración de lluvias, siendo así por ejemplo para 4 horas en un periodo de retorno de 10 años la precipitación media promedio será de 2,65 mm. Los valores de precipitación media promedio se detallan en la tabla 14.

Tabla 14: Precipitación media promedio para diferentes tiempos de duración, Estación: Catamayo (M060)

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación media promedio (mm/24horas) para diferentes tiempos de duración según periodo de retorno					
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
24	1	3,59	4,50	5,11	5,87	6,43	6,99



18	0,91	3,27	4,10	4,65	4,69	5,85	6,36
12	0,8	2,87	3,60	4,08	4,69	5,15	5,59
8	0,68	2,44	3,06	3,47	3,99	4,37	4,75
6	0,61	2,19	2,75	3,11	3,58	3,92	4,27
5	0,57	2,05	2,57	2,91	3,34	3,67	3,99
4	0,52	1,87	2,34	2,65	3,05	3,34	3,64
3	0,46	1,65	2,07	2,35	2,70	2,96	3,22
2	0,39	1,40	1,76	1,99	2,29	2,51	2,73
1	0,3	1,08	1,35	1,53	1,76	1,93	2,10

Elaboración: Sarango, (2022)

g) Intensidad distribuida de lluvia para diferentes periodos de retorno:

Por último, se calculó la intensidad distribuida en mm/h para diferentes periodos de retorno, dividiendo la precipitación media promedio (mm) entre el tiempo de duración (h), con la siguiente formula:

$$I = \frac{P(mm)}{t_{duracion}(h)}$$

Analizando la tabla 15 podemos deducir que por ejemplo para un periodo de retorno de 10 años se espera una intensidad de lluvia de 0,21mm/h en 24 horas, relación lógica en cuanto a que las lluvias son menos intensas en tiempos más largos.

Tabla 15: Intensidad de lluvia (mm/h) en base a cada periodo de retorno, Estación: Catamayo (M060)

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /h) según el Periodo de Retorno					
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
24	1440	0,15	0,19	0,21	0,24	0,27	0,29
18	1080	0,18	0,23	0,26	0,26	0,33	0,35
12	720	0,24	0,30	0,34	0,39	0,43	0,47
8	480	0,31	0,38	0,43	0,50	0,55	0,59
6	360	0,37	0,46	0,52	0,60	0,65	0,71
5	300	0,41	0,51	0,58	0,67	0,73	0,80
4	240	0,47	0,59	0,66	0,76	0,84	0,91
3	180	0,55	0,69	0,78	0,90	0,99	1,07
2	120	0,70	0,88	1,00	1,14	1,25	1,36
1	60	1,08	1,35	1,53	1,76	1,93	2,10

Elaboración: Sarango, (2022)

h) Elaboración del mapa de intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 100 años

Una vez estimados los valores de intensidad de lluvia para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de las estaciones metereológicas, se empezó con la representación



cartográfica de las intensidades de lluvia en la parroquia San Pedro de la Bendita con una probabilidad de ocurrencia del 1% para un periodo de retorno de 100 años y con una duración de 1 hora.

Tabla 16: Intensidad de lluvia de 1 h para varios periodos de retorno en la parroquia San Pedro de la Bendita.

ID	Código	Estación	X	Y	Z	Periodo de Retorno (mm/h)					
						2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
1	M033	La Argelia	699905	9554269	1560	1,92	2,50	2,88	3,36	3,72	4,07
2	M060	Catamayo (La Toma)	681296	9558425	1250	1,08	1,35	1,53	1,76	1,93	2,10
3	M143	Malacatos	693160	9533974	1500	1,95	2,65	3,12	3,71	4,15	4,59
4	M144	Vilcabamba	695932	9529518	1560	1,95	2,50	2,86	3,31	3,65	3,99
5	M146	Cariamanga	659971	9521675	1960	4,15	5,26	5,99	6,92	7,61	8,29
6	M149	Gonzanamá	674205	9532642	674	3,24	4,56	5,44	6,55	7,37	8,18
7	M241	Quilanga	677697	9525269	1940	2,62	3,34	3,82	4,42	4,87	5,31
8	M515	Catacocha	650752	9551949	1763	2,86	3,85	4,51	5,34	5,95	6,56
9	M542	El Cisne	675000	9574167	2300	4,24	6,19	7,48	9,11	10,32	11,53
10	M543	Cajanuma	699432	9548762	2267	2,37	2,84	3,15	3,55	3,84	4,13
Promedio						2,64	3,50	4,08	4,80	5,34	5,87

Elaboración: Sarango, (2022)

El método utilizado para la interpolación de los datos es el geoestadístico de IDW, el cual según Murillo et al. (2012) permite estimar los valores de una variable en base a una función inversa de la distancia, partiendo del supuesto que las cosas que están más cerca son más parecidas, por lo tanto tienen más peso e influencia sobre el punto a estimar. Los rangos de clasificación para la intensidad de lluvias (mm/h) se tomaron en base a los establecidos por Guachamín et al., (2015) en su estudio: *Determinación de Ecuaciones para el Cálculo de Intensidades Máximas de Precipitación* realizado para el INMAHI. Una vez realizado esto se obtuvo el mapa de intensidad de lluvia a escala 1:10 000 de la parroquia San Pedro de la Bendita con DATUM WGS1984/UTM.

5.3.6 Tercer Objetivo: Elaborar el mapa de peligrosidad a deslizamientos en base a la información obtenida del lugar de estudio.

Para el mapa de peligrosidad a deslizamientos se procedió a la aplicación del método de evaluación multicriterio o proceso de análisis jerárquico (AHP) desarrollado por Saaty (1980), en el cual se integran en un software SIG diversos factores condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad de laderas para empezar un procesamiento de normalización analítica y en base a este criterio asignar pesos a los diferentes factores considerados lo que disminuye la subjetividad.

El proceso consistió primero en la selección y cartografía de las variables condicionantes de la inestabilidad en nuestro caso (geomorfología, pendiente, litología y uso de suelo) y las variables desencadenantes (intensidad de lluvia), para luego ser homogeneizados en cuanto a contenido, escala y formato y finalmente integrarse en el SIG ArcGIS 10.8. A continuación, se detallan las variables utilizadas en ese proceso:

- **Variables Condicionantes**

Tabla 17: Variables condicionantes para la determinación de peligrosidad a deslizamientos

Variable	Procesos	Criterios
Geomorfología	Movimientos en masa	Forma del Relieve
Pendiente	Deslizamientos	Litología Inclinación de pendientes
Litología		Litología
Uso de Suelo	Deslizamientos superficiales	Tipos de uso de suelo

Elaboración: Sarango, (2022)

- **Variable Desencadenante**

Tabla 18: Variable desencadenante para la determinación de peligrosidad a deslizamientos

Variable	Procesos	Criterios
Intensidad de Lluvia	Escurrimiento, Infiltración	Intensidad, Duración, Frecuencia y período de retorno

Elaboración: Sarango, (2022)

Los valores que se obtiene en cada uno de los mapas cartografiados tienen distintos significados y unidades de medición por lo que es necesario normalizar y ponderar sus valores a una misma unidad, es conveniente emplear la escala numérica de 0 a 1 en donde 0 representa la más baja potencialidad y la más alta potencialidad del criterio a desarrollar deslizamientos.

Para el análisis jerárquico se siguió el procedimiento citado por el CENEPRED (2019) en su “Manual para la evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales Versión 03” en el cual se analiza lo siguiente:

1. *Matriz de comparación de pares*

Se procedió a determinar analíticamente el peso relativo de cada factor con respecto a los demás usando comparando cada criterio i con cada criterio j , de lo cual se obtiene los pares (ij) , para luego determinar los pesos W_j (tabla 19).

Tabla 19: Esquema del método de jerarquías analíticas para asignación de pesos.

Matriz de comparación de pares					
Factores	A	B	C	D	Total
A	X _{AA}	X _{AB}	X _{AC}	X _{AD}	W _A
B	X _{BA}	X _{BB}	X _{BC}	X _{BD}	W _B
C	X _{CA}	X _{CB}	X _{CC}	X _{CD}	W _C
D	X _{DA}	X _{DB}	X _{DC}	X _{DD}	W _D

Fuente: Saaty (1980)

La importancia de un criterio con respecto a otro se determinó en base a la escala de Saaty citada a continuación:

Tabla 20: Escala de Saaty para determinar valor de X_{ij}

Nivel de Importancia	Definición	Descripción del criterio i, al compararse con j:
1	Igual preferencia	Los dos criterios (i,j) contribuyen de igual manera al proceso del deslizamiento
2	Moderada preferencia	Pasadas experiencias favorecen ligeramente al criterio (i) sobre (j)
3	Fuerte preferencia	Prácticamente la dominancia del criterio (i) sobre el otro (j) está demostrada
4	Absoluta preferencia	Existe evidencia que determina la supremacía del criterio (i)

Fuente: Saaty (1980)

2. Matriz normalizada

Se obtuvo de la multiplicación de la inversa de las sumas totales de la matriz comparativa por cada elemento en base a la columna que corresponda.

3. Vector prioridad

El vector prioridad representa la importancia (peso) resultado de la comparación de parámetros para la determinación del nivel de peligro, se obtiene sumando el promedio de cada fila, tomando en cuenta que la suma total de estas ponderaciones tiene que ser igual a la unidad para poder determinar de manera correcta el nivel de peligro.

4. Relación de Consistencia (RC)

La consistencia de la calidad de las decisiones finales al momento de valorar se mide calcula en base al valor máximo λ_{max} y la comparación con el número de criterios n . Saaty define las fórmulas a partir de la razón de consistencia (RC), la cual se obtiene en base al índice de consistencia (IC) y del índice de consistencia aleatorio (ICA):

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

Donde IC es el índice de consistencia y se calcula de la siguiente manera:

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

El valor de λ_{max} se calcula de $AW = \lambda_{max}W$ observando que la ecuación es:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}\bar{w}_j = \lambda_{max}\bar{w}_i, i = 1, 2, \dots, n \text{ dado que } \sum_{i=1}^n \bar{w}_i = 1 \text{ obtenemos:}$$

$$\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n a_{ij}\bar{w}_j \right) = \lambda_{max} \sum_{i=1}^n \bar{w}_i$$

Y el valor del índice de consistencia aleatorio ICA se calcula aplicando la siguiente formula:

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

O también se determina basándose en la tabla normalizada citada por Saaty (1980):

Tabla 21: Índices de consistencia Aleatorios para matrices de orden 3 a 16.

n	3	4	5	6	9	10	11	12	13	14	15	16
ICA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,452	1,484	1,513	1,535	1,555	1,57	1,583	1,595

Fuente: Saaty (1980)

Entonces si RC es menor o igual a 0,1 o al 10%, la inconsistencia se considera aceptable, por lo tanto, si no se logra un RC adecuado, debe revisarse los juicios y realizar correcciones en los valores.

5. Susceptibilidad a deslizamientos

Para el cálculo del valor de la susceptibilidad, se consideró los valores y pesos de los factores condicionantes y del factor desencadenante.

$$Vsusceptibilidad = Factores\ condicionantes * peso + Factor\ desencadenante * peso$$

6. Peligrosidad a deslizamientos

Para determinar la peligrosidad se utilizó el valor de la susceptibilidad y el valor del parámetro de evaluación, para el cual se consideró un escenario con un periodo de retorno de 100 años.

$$Vpeligrosidad = Susceptibilidad * peso + Parametro\ de\ evaluaci3n * peso$$

Una vez determinada la peligrosidad se la clasifico en 5 niveles de peligro adaptados de los citados por la Subsecretaría de Gestion de la Información y Analisis de Riesgos (2019) mismos que se detallan en la tabla (22).

Tabla 22: Nivel y descripción de la peligrosidad a deslizamientos.

Nivel	Descripción
Muy Alto	Se caracterizan por la presencia de rocas muy meteorizadas y muy fracturadas, se evidencia cambios en el uso del suelo (actividad antrópica), estas superficies presentan suelos poco cohesivos y poco compactos. La zona está marcada por procesos erosivos causados especialmente por acción pluviométrica y la influencia tectónica local y regional. Comprenden zonas con pendientes muy fuertes a escarpada, es decir supera el 100 %
Alto	Corresponde a zonas donde las condiciones del terreno se caracterizan por la presencia de rocas meteorizadas y fracturadas, estas superficies presentan suelos poco cohesivos, poco compactos. Las zonas están marcadas por procesos erosivos causados especialmente por acción pluviométrica. Comprenden zonas con pendientes media fuerte a fuerte, es decir, no superan el 70 %.
Medio	Estas superficies se caracterizan porque presentan pendientes de terreno no mayores al 40 %, corresponden a materiales medianamente fracturados y meteorizados. Se evidencian procesos erosivos de baja intensidad; predominan procesos de reptación. El material se desestabiliza tras actuaciones naturales muy intensas y/o extensas, por ejemplo, por la acción de la caída de lluvias intensas en la zona.
Bajo	Estas áreas se caracterizan porque presentan pendientes muy suaves a suave, es decir no mayores al 12 %, y superficies de terreno con condiciones geológicamente estables, aún ante la presencia de intensas lluvias
Muy Bajo	Las áreas se caracterizan por tener terrenos compuestos por roca fresca a muy poco meteorizadas, ubicados en zonas con pendientes planas a suaves no mayores al 5%. Están cubiertos por vegetación y muy poco se observan indicios de deslizamientos antiguos, presentan superficies de terreno con condiciones geológicamente estables, aún ante la presencia de intensas lluvias.

Fuente: Adaptado de la Subsecretaría de Gestion de la Información y Analisis de Riesgos (2019).

Para la elaboración del mapa de peligrosidad a deslizamientos de la parroquia San Pedro de la Bendita en el software ArcGIS 10.8, se utilizó los shapefiles de las variables ponderadas y analizadas con la metodología de Thomas Saaty, para representar cartográficamente la peligrosidad se utilizó el procedimiento establecido por el INNOVA PERÚ (2020), el cual consistió en realizar la integración de cada factor determinado, el procedimiento es el siguiente:

1. Se cargó en el ArcMap todos los shapefiles correspondientes a los factores condicionantes y desencadenantes, luego se añadió el campo un campo a cada uno de esos shapefiles y se añadió el peso de las variables y factores de cada variable obtenida en base al análisis jerárquico de Saaty.
2. Se unió los mapas de los factores condicionantes y el factor desencadenante utilizando la herramienta *Intersect*, para de esta manera obtener el shapefile de la peligrosidad.
3. En el shapefile de peligrosidad se añadió un campo que represente a los factores condicionantes y su ponderación, para ello se ingresó la siguiente expresión en la



calculadora de campo: $[Geomorfología]*peso_{geomorfología}+[Pendientes]*peso_{pendientes}+[Litología]*peso_{litología}+[Uso_suelo]*peso_{uso_suelo}$

4. Luego en el shapefile de peligrosidad se añadió el campo del peso del factor desencadenante, considerando al criterio de mayor intensidad de lluvias como el valor desencadenante.
5. Se agrego un nuevo campo, en el cual se determinó el valor de la susceptibilidad para ello se realizó la siguiente expresión:

$[V_condicionante]*peso_{condicionante}+[V_desencadenante]*peso_{desencadenante}$,

6. Continuando con el proceso se añadió un campo más en el cual se determinó el peso del parámetro de evaluación para el cual se consideró un periodo de retorno de 100 años.
7. Se agrego un campo al shapefile de peligrosidad el cual representa el peligro y este se calculó en base a lo siguiente:

$[V_susceptibilidad]*peso_{susceptibilidad}+[V_evaluación]*peso_{evaluación}$.

8. Finalmente se agrupo los datos de peligrosidad en base a los rangos de peligrosidad establecidos.

Una vez realizado este procedimiento se obtuvo el mapa de peligrosidad a deslizamientos a escala 1:10 000 con DATUM WGS1984/UTM.



6. Resultados

6.1 Resultados del primer objetivo: “Realizar el levantamiento geológico de la Parroquia San Pedro de la Bendita”

6.1.1 Geología Local

El área de estudio está constituida por materiales sedimentarios, metamórficos volcanosedimentario, y lavas andesíticas de diferentes tonalidades. También hay intrusiones de cuerpos ígneos de composición diorítica y granodiorítica. Las rocas sedimentarias encontradas representan principalmente conglomerados, arcillas areniscas, lutitas y limolitas. Las rocas metamórficas que encontramos son principalmente filitas y pizarras y los volcanosedimentos están constituidos por areniscas tobáceas, tobas riolíticas, aglomerados volcánicos y lavas andesíticas basálticas. Los depósitos aluviales y coluviales presentan cantos y guijarros de rocas volcánicas y metamórficas, ubicados en los márgenes del río Catamayo (*Anexo 7: Mapa Geológico Local*).

Es pertinente para esta investigación describir las unidades geológicas en base a su edad, es decir desde los más antiguo (Unidad El Tigre) hasta lo más joven (Depósitos Cuaternarios), por lo que, en base al levantamiento geológico realizado mediante la descripción de afloramientos, se determinó localmente las litológicas en nuestra zona de estudio, teniendo así:

6.1.1.1 Unidad El Tigre

Esta unidad representa una parte pequeña del área de estudio 1,47 km² (1%), ubicada al Nor-Oeste de la parroquia, litológicamente presenta metalimolitas gris verdosas además de metagrauvas. Presenta una fase sedimentaria representada por areniscas de grano medio, lutitas no metamorizadas intercaladas con cuarcitas y filitas principalmente, que se producen por el contacto con la Unidad Chaguarpamba, regionalmente se les atribuye a estos materiales una edad paleozoica.

6.1.1.2 Unidad Chaguarpamba

Esta unidad ocupa gran parte del área de estudio 57,5 km² (39 %), junto con la Unidad Guayabal son las más representativas de la zona, caracterizada principalmente por tobas de diferentes tonalidades, aglomerados volcánicos e intercalaciones de sedimentos finos.

En la vía Las Chinchas-San Pedro de la Bendita se encontró con la presencia de tobas de cristales en las coordenadas (671 720 E, 9 561 376 N) de coloración gris amarillento con textura porfídica y estructura masiva formadas principalmente por feldespatos y plagioclasas,

además de minerales auxiliares como mica moscovita, también se encontró la presencia de brechas volcánicas con fenocristales de tamaño variable.



Figura 16: Afloramiento de tobas de cristales y brecha volcánica, sector las Chinchas

En la zona NW de la parroquia encontramos un afloramiento importante debido a su extensión (18 m de altura) el cual evidencia material metamórfico como filitas y pizarras en su totalidad, mismas que se presentan de manera estratificada en capas centimétricas de 20 cm a 40 cm por lo general, tienen una dirección de buzamiento de 71° SE y un rumbo de 45° . Las rocas mencionadas presentan una textura afanítica y estructura bandeada, las pizarras presentan su característica principal de clivaje o foliación y un grano muy fino, los minerales característicos encontrados son cuarzo y biotita. Por otro lado, las filitas tienen un tamaño más grande de grano, pero aún se considera fino, su coloración es gris amarillento con brillo sedoso y presentan una foliación menor que las pizarras con minerales principales como biotita, moscovita, cuarzo y plagioclasas.

- Localizado en la vía al sector Tarapo, coordenadas UTM/WGS84 (671 582 E, 9 563 255 N)



Figura 17: Afloramiento de pizarras y filitas en la vía a Tarapo.

6.1.1.3 Unidad Changaimina

Abarca un área de 5,72 km² (3,88 %), está formada por lavas andesíticas básicas de color gris verdoso, con textura afanítica a subporfirítica, según sus características petrográficas es interpretada como parte de un arco volcánico continental, presenta también lavas andesíticas basálticas y brechas volcánicas, piroclásticas e ignimbritas de composición andesítica, con texturas faneríticas, afaníticas y porfiríticas con estructura masiva principalmente. Sus afloramientos más representativos se encuentran en el lecho del río Catamayo en la parte sur de la parroquia, uno de los más representativos está en las coordenadas 675 369 E, 9 557 546 N, es de tipo natural y presenta una capa de vegetación arbustiva principalmente, se pudo identificar un cuerpo de roca de andesita basáltica de color gris oscuro misma que evidencia una textura afanítica estructura masiva, mineralógicamente compuesta por minerales máficos como: hornblenda y piroxenos principalmente, además de minerales accesorios como cuarzo y feldespatos en porcentajes mínimos, tiene un grado de meteorización medio, también se encontró rocas granodioríticas cerca al mismo puesto que esta continuo al intrusivo granitoide que aflora en el área de estudio.

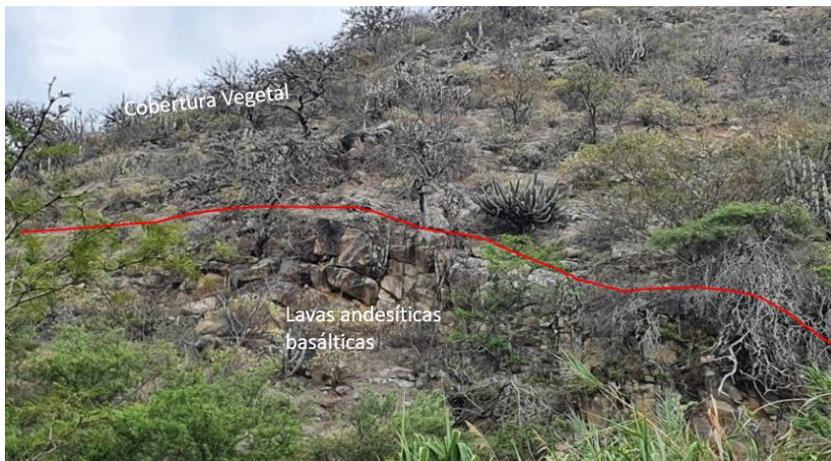


Figura 18: Lavas andesíticas basálticas, cerca al lecho del río Catamayo.

6.1.1.4 Unidad Yunguilla

Unidad que abarca 15,17 km² (10,29%) caracterizada por litologías que incluyen areniscas calcáreas, limolitas, arcillas y lutitas negras que ocurren en capas centimétricas con rumbo preferencial E-O buzando, anteriormente era parte de la Unidad Zambí que se caracteriza por materiales metamórficos.

Los afloramientos se ubicaron en la vía las Chinchas-Santiago en las coordenadas UTM/WGS84 665 485 E, 9 559 768 N mismos que presentan clastos de filitas y pizarras en una matriz arcillo-limosa buzando preferencialmente al SE con buzamiento de 73°.



Figura 19: Clastos de filitas y pizarras en matriz arcillo limosa, sector: entrada a Santiago

En la vía las Chinchas-La Tingue se puede observar un afloramiento que presenta dos litologías predominantes, en la parte inferior encontramos pizarras con un clivaje casi perfecto de textura afanítica y estructura bandeada, presenta una dirección de buzamiento de 32°NW y rumbo de 252° y en la parte superior afloran limolitas altamente meteorizadas sin una distribución preferencial definida.

- Localizado en la vía las Chinchas- La Tingue, coordenadas UTM/WGS84 664 653E,955 8677N



Figura 20: Pizarras y limolitas altamente meteorizadas.

6.1.1.5 Unidad Guayabal

La Unidad Guayabal representa un área de $52,18 \text{ km}^2$ (35,39%), consiste en una secuencia volcanoclástica de composición intermedia a ácida, siendo así los principales afloramientos se encuentran en la vía San Pedro-Catamayo encontramos en las coordenadas 678 618 E, 9 562 039 N un cuerpo volcánico de origen efusivo-riolítico, textura afanítica y composición riolítica con dirección de afloramiento de $69^{\circ}/65^{\circ}\text{NE}$, misma que tiene una

tonalidad rosada compuesta principalmente por minerales de cuarzo, formando una disyunción columnar evidenciando tensiones internas enfriadas a poca profundidad o superficiales. Kennerly (1992) señala que este cuerpo riolítico se puede denominar como cuello volcánico.

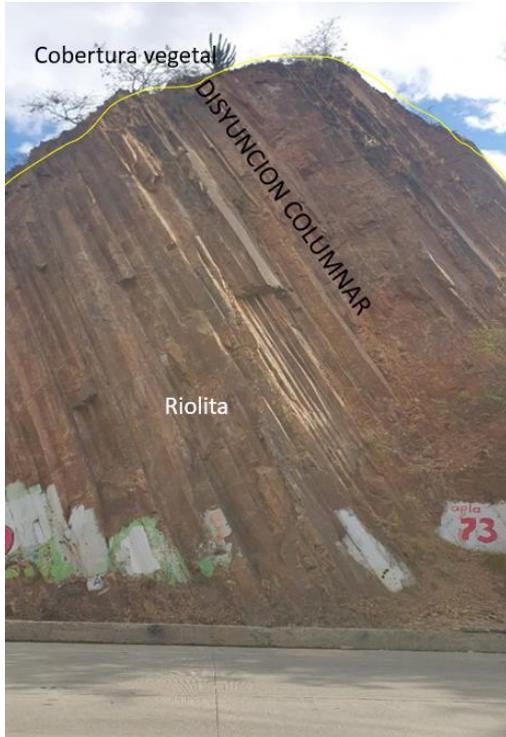


Figura 21: Neck Riolítico, sector Guayabal.

También en la vía San Pedro las Chinchas se encontró un afloramiento en las coordenadas (672 782 E, 9 562 796 N) de esta unidad con características litológicas de aglomerado volcánico (bloques y bombas volcánicas > a 64 mm) en una matriz arcillosa principalmente cuyos clastos son de origen andesítico con textura afanítica a porfirítica en algunos de ellos, además por procesos de meteorización continua presentan una formación de cascarones sucesivos que se desprenden de las rocas.



Figura 22: Aglomerado volcánico con clastos andesíticos, sector Vía San Pedro las Chinchas.

6.1.1.6 Formación Catamayo

Sobre esta formación se asienta la cabecera parroquial de San Pedro de la Bendita, abarca un área de 4,16 km² (2,82 %). De esta formación se ubicó un afloramiento en la vía que conduce al Urushapa desde la zona urbana de la parroquia en las coordenadas UTM/WGS84 (667 3342, 9 563 860) en donde se evidencia el posible contacto entre esta formación y la Unidad Chaguarpamba, este afloramiento presenta tobas andesíticas altamente meteorizadas con presencia de ligeras vetillas de cuarzo en algunos lugares, asimismo presenta arcillas de coloración rojiza con presencia de óxidos.

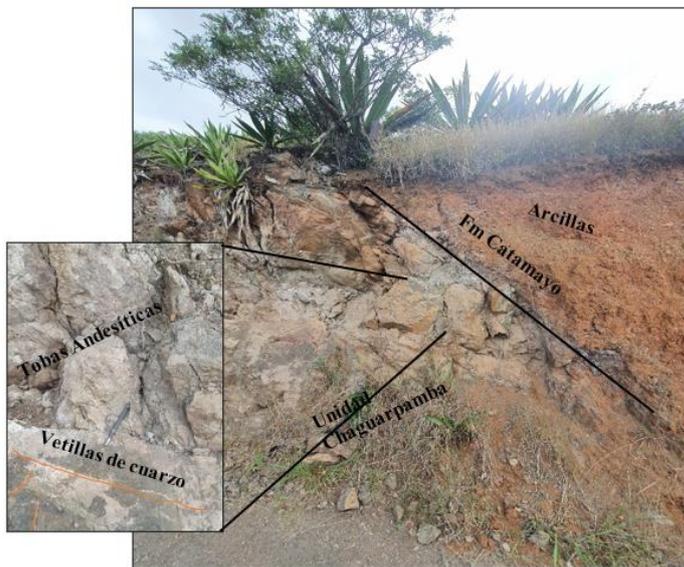


Figura 23: Tobas andesíticas y contacto entre Unidad Chaguarpamba y Formación Catamayo.

Otro afloramiento de esta formación se ubica en el sitio de Togueros en las coordenadas UTM (675 307 E, 9 564 426 N), en el cual se evidencia presencia de limolitas de coloraciones anaranjadas y blanquesinas, con una textura detrítica de tamaño de grano fino, con un grado de meteorización alto, humedad media y forma de los clastos irregular.



Figura 24: Limolitas de la Formación Catamayo.

6.1.1.7 Depósitos Coluviales

Estos depósitos se forman por materiales que se acumulan por la meteorización, alteración y desintegración in situ de rocas adyacentes de las unidades cercanas al área de estudio, representan 4,08 km² (2,77%) de territorio, se encontró clastos distribuidos de manera caótica y de diferentes tamaños constituidos por filitas, pizarras, tobas y granodioritas. Estos clastos presentan forma angular en rocas metamórficas y subredondeados en las rocas intrusivas y volcanosedimentaria.



Figura 25: Depósitos coluviales, clastos de rocas intrusivas (granodiorita) en matriz arenosa sector el Tingo

6.1.1.8 Depósitos Aluviales

Estos depósitos se evidenciaron en los afloramientos a lo largo de toda la ribera del río Catamayo principalmente, abarcan 2,98 km² (2,02 %), contienen una matriz arcillosa-arenosa con clastos de material ígneo y metamórficos de las unidades geológicas colindantes, estos clastos principalmente son representados por tobas, granodioritas, filitas, andesitas y cuarcitas.



Figura 26: Depósitos Aluviales compuestos por cantos subredondeados de andesitas, granodioritas, tobas y cuarcitas, sector Illaca.

6.1.1.9 Rocas Intrusivas

La litología intrusiva representa 4,18 km² (2,83 %) de territorio, se evidencio rocas de tipo granodiorítico medianamente meteorizadas, principalmente en el afloramiento de coordenadas 677 628 E, 9 557 051 N, en el sector el Tingo ubicado en la parte sur-este de nuestra área de estudio, de manera macroscópica presenta una textura fanerítica de grano grueso, con minerales de cuarzo, plagioclasa, mica biotita y oxidaciones.



Figura 27: Intrusivo Granodiorítico, sector el Tingo.

6.1.2 Estructuras Locales

En el área de estudio en base a la geología regional se reconocen algunas fallas inferidas y plegamientos, sin embargo, para determinar con más precisión las estructuras locales se tomó en cuenta los lineamientos dados por López Vergara, (1988) en su Manual de Fotogeología (*Anexo 8: Fotointerpretación y sus literales*) y las salidas de campo realizadas.

6.1.2.1 Pliegues

Se evidencio 5 pliegues (Ver Figura 31), de los cuales 4 de ellos por levantamiento en campo mismos que son anticlinales y un pliegue tumbado; y uno mediante fotointerpretación. El primer anticlinal, está ubicado en la Unidad Yunguilla en las coordenadas UTM (666 620 E, 9 557 752 N), con buzamiento de 49° NE en su flanco derecho y 47° SE en su flanco izquierdo, la parte superior de este anticlinal se encuentra meteorizada por el paso de una quebrada. El eje esta buza preferencialmente al E.



Figura 28: Pliegue Anticlinal, en la Unidad Yunguilla, sector Santiago.

El segundo pliegue es un anticlinal ubicado en las coordenadas UTM (667 914 E, 9 556 569 N), en la Unidad Chaguarpamba presenta un buzamiento de sus flancos derecho e izquierdo de 32° N y 64° E respectivamente, el eje está buzando preferencialmente al NE.



Figura 29: Pliegue Anticlinal, Unidad Chaguarpamba.

El pliegue tumbado se encuentra en la unidad Yunguilla, está en las coordenadas 665 698 E, 9 560 226 N, presenta un plegamiento de lutitas y metalutitas que evidencian el proceso de formación del pliegue, presentan un buzamiento de 12 NW° y rumbo de 225° .



Figura 30: Pliegue tumbado, sector en las Chinchas.

Por fotointerpretación se determinó un pliegue anticlinal inferido con dirección hacia el SW, los rasgos morfológicos claves para su identificación son las estratificaciones a los costados del eje y la falla inferida en su parte izquierda y por lo que se define que el origen de esta estructura es por la ocurrencia de esta falla.

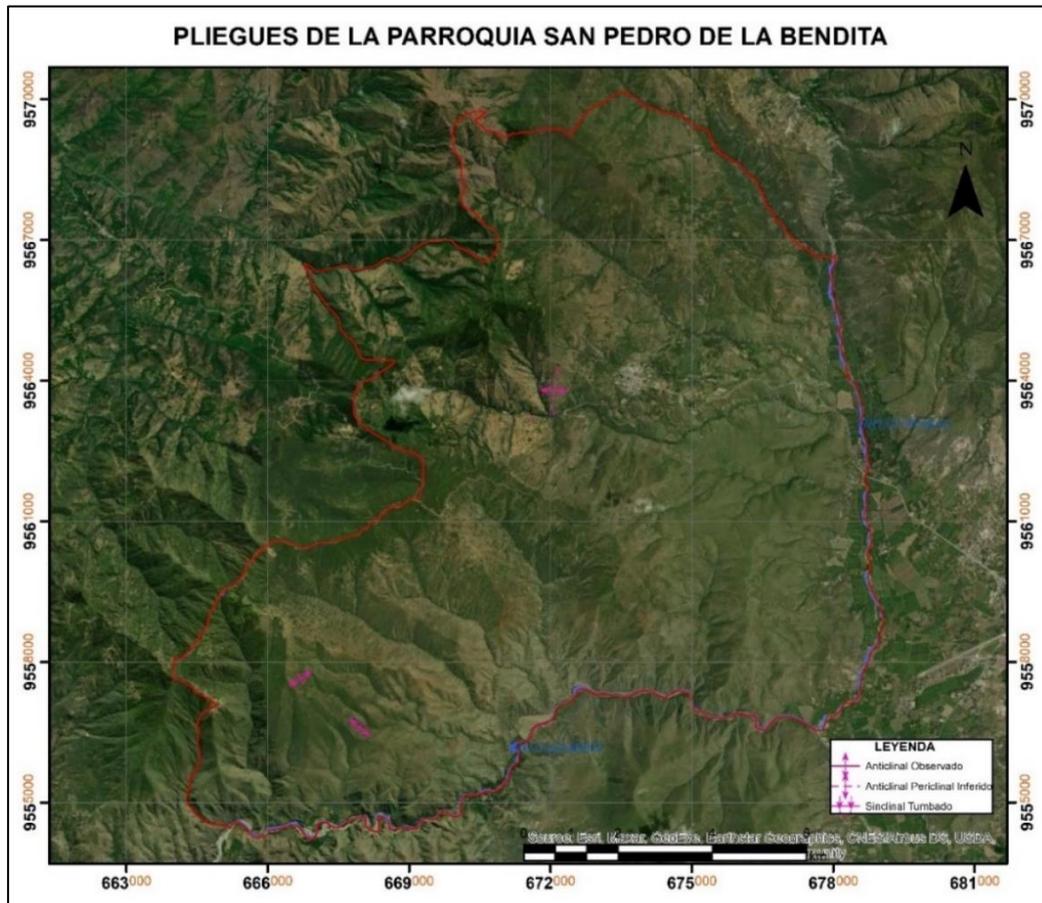


Figura 31: Pliegues de la parroquia San Pedro de la Bendita.

Elaboración: Sarango, (2022)

6.1.2.2 Fallas

Se determinó un total de 11 fallas geológicas 2 levantadas en campo (F1 y F2) y 9 fallas por fotointerpretación (F3 a F11).

La primera falla (F1) es una de tipo normal en las coordenadas UTM/WGS84 (666 460 E, 9 558 653 N), con un rumbo de 230° y buzamiento de 46° SE y un desplazamiento de 5,65 m, ubicada en la vía a Illaca dentro de la Unidad Yungilla, en este afloramiento se evidenció también una familia de diaclasas con dirección preferencial 33° SE.

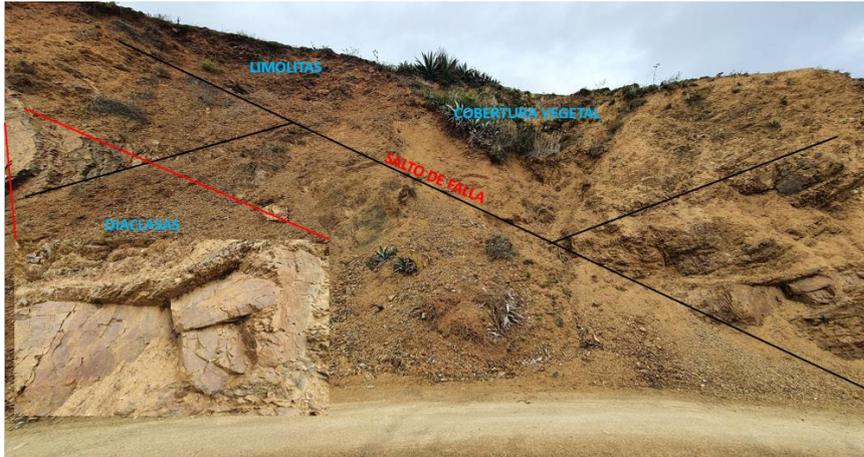


Figura 32: Falla normal en la Unidad Yunguilla, sector vía a Illaca.

Una segunda falla (F2) de tipo normal se encuentra en las coordenadas UTM/WGS84 (667 622 E, 9 556 791 N), presenta un desplazamiento de 1m, azimuth de 230° y buzamiento de 14° SE, el afloramiento está en la vía al Barrio Illaca, y geológicamente está ubicada sobre la Unidad Chaguarpamba exponiendo litologías de filitas, pizarras y vetillas de calcita principalmente.

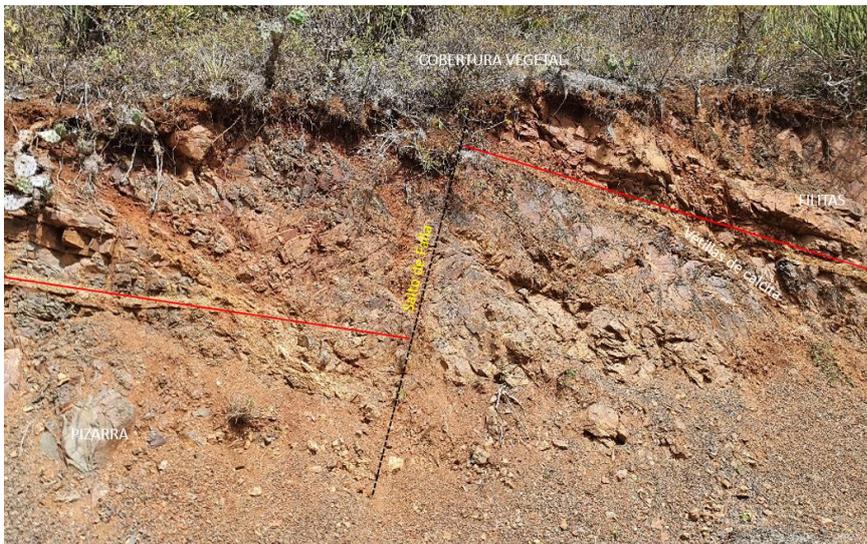


Figura 33: Falla normal en la Unidad Chaguarpamba, sector vía a Illaca.

La falla 3 (F3) evidencia un movimiento dextral en sentido NW-SE, esta referenciada por lo rectilínea de la topografía la cual se corta al otro lado de la estructura debido al movimiento de los bloques, sus extremos esta truncada por algunos montículos topográficos y en la zona montañosa superior de la falla, se encuentra facetas triangulares, indicativo topográfico de la evidencia de la misma.

La falla 4 (F4) presenta evidencias bien marcadas como la modelación topográfica, se sigue una línea casi rectilínea morfológica, que, en algunas zonas, sobre todo en el E de la falla,



hay exposición del escarpe de falla, además existe un control hídrico de la misma dado por la quebrada el Sauce, se trata de un movimiento de transcurrencia dextral, es decir una falla dextral inferida.

Las fallas 5 (F5) es un sistema complejo de fallas inferidas producto de la relación de los esfuerzos en la zona, tanto al N y S. Todas esas fallas tienen exposición de su superficie de falla. Una característica fotogeológica de la presencia de estas fallas, es su forma parabólica. En su conjunto, pudieran formar un conjunto de fallas en Echelon o también llamados Semigraben.

La falla 6 (F6) es una falla inferida, se distingue por el control hídrico que presenta el cual se trunca en su parte inferior, además existen lineaciones topográficas evidentes para la identificación de la misma.

La falla 7 (F7) se evidencia por las facetas triangulares, debajo de la faceta triangular, se puede evidenciar un derrumbe que posiblemente se origine por el movimiento de la falla.

La falla 8 (F8) presenta una lineación topografía que permite definirla, en donde algunas zonas hay exposición de la superficie de falla.

La falla 9 (F9) y el sistema de fallas 10 (F10) son fallas inferidas que presentan una topografía rectilínea y algunas facetas triangulares que hacen posible su identificación.

La falla 11 (F11) es una falla de transcurrencia de tipo dextral inferida la cual se evidencia por el movimiento hacia el S del bloque derecho que sale de nuestra área de estudio y hacia el N del bloque izquierdo, esta estructura se podría relacionar con la Falla La Toma, misma que aparece en el contexto geológico regional de la parroquia.

Además, se realizó dos cortes geológicos (*Anexo 9: Cortes Geológicos*), uno en dirección W-E (A-A') y otro en dirección NW-SE (B-B') complementando así la información geológica de la parroquia.

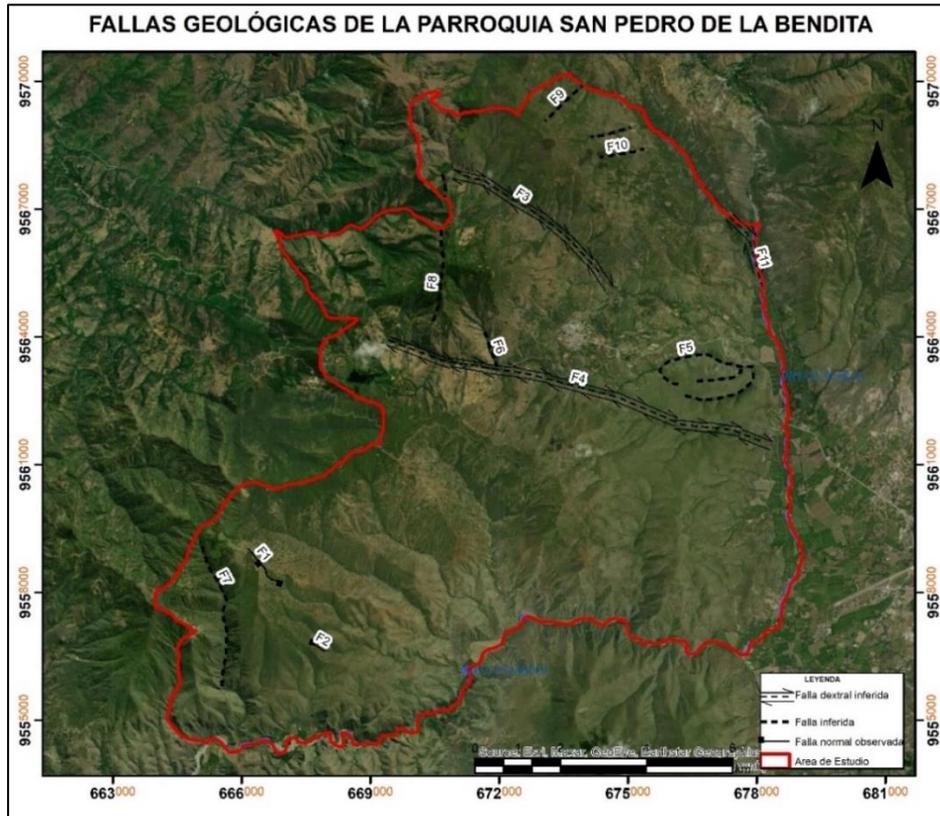


Figura 34: Fallas Geológicas de la Parroquia San Pedro de la Bendita.

Elaboración: Sarango, (2022)

6.2 Resultados del segundo objetivo: “Identificar y mapear las variables que intervienen en la peligrosidad a deslizamientos”

6.2.1 Geomorfología

En el área de estudio se determinó un total de 16 geoformas, obtenidas a partir de la correlación de información de CLIRSEN del proyecto de “Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional, Escala 1:25 000 para el Cantón Catamayo”, (tabla 18) utilizando los datos de pendientes, litología, desnivel relativo principalmente, características que sirven para definirlas de mejor manera.

Además de esto se utilizó ortofotos y sombras como insumos para validar y relacionar mejor las unidades geomorfológicas.

Siendo así, y en base a su origen las unidades geomorfológicas que se encontró en la parroquia son:

6.2.1.1 Origen: Depositional

6.2.1.1.1 Terraza baja y cauce actual (T_b)

Consisten el lecho del río y su nivel directamente superior donde se acumulan los sedimentos que son arrastrados por el mismo, dinámicamente suelen cambiar dependiendo de las épocas lluviosas. Presentan pendientes de 0 a 2 % y un desnivel relativo de 0 a 5 m. Se ubican en las riberas del río Catamayo ocupando un área de 0,98 km².



Figura 35: Terraza baja y cauce actual, río Catamayo.

6.2.1.1.2 Terraza media (T_m)

Presenta un desnivel relativo entre 0 a 5 m con pendientes que van de planas a muy suaves (0 a 5 %), ubicada por encima del nivel de las terrazas bajas corresponden a materiales que se han depositado ya hace algún tiempo, principalmente corresponden a cantos redondeados y subredondeados de rocas metamórficas de la Unidad Chaguarpamba y rocas ígneas de la Unidad Guayabal, además de conglomerados en una matriz arcillosa-arenosa de grano medio. Estas terrazas en base al tiempo de depósito de los materiales han permitido que se utilicen para fines agrícolas principalmente. Abarcan una superficie de 1,25 km² de la parroquia.



Figura 36: Terraza media, sector Guayabal

6.2.1.1.3 Superficie de cono de deyección reciente (Cy)

Geoforma que generalmente se genera en las zonas de pie de ladera, en sitios donde el agua emerge al margen de un frente montañoso. Suele presentar un grado de erosión laminar significativo y pendientes que van desde 12 a 25 % con desniveles relativos de 15 a 25 m. Esta unidad morfológica obedece al cambio de pendiente entre la superficie de depositación de los aluviales, o al cambio de un valle confinado, geológicamente está constituido por cantos metamórficos de filitas y pizarras de la Unidad Chaguarpamba e ígneos como tobas riolíticas y andesíticas de la Unidad Guayabal, todos estos en matrices arenosas y arcillosas debido al ambiente de depositación; en zonas de pendientes más bajas se suelen utilizar para fines agrícolas, mientras que en zonas más inclinadas se utilizan únicamente para conservación y protección, representando un área de 0,29 km².



Figura 37: Cono de deyección reciente, sector Illaca

6.2.1.1.4 Superficie de cono de deyección antiguo (Cds)

Genéticamente se forma de la misma forma de un cono de deyección reciente, abarcan 0,31 km² del área de estudio, presentan pendientes que van de 2 a 5% con desnivel relativo de 15 a 25 m, presentan filitas y pizarras de la unidad Chaguarpamba antes clasificada como Unidad Zambí, en lo que refiere al uso de suelo en esta geoforma es agrícola y de conservación y protección.



Figura 38: Superficie cono de deyección antiguo, sector Illaca
Fuente: Google Earth Pro (2021)

6.2.1.2 Origen: Denudativo

6.2.1.2.1 Coluvio aluvial reciente (Cv)

Se forma mediante la depositación de los materiales aluviales a los cuales se suman los aportes gravitacionales laterales de las geoformas de tipo colina que hay alrededor. Compuesto por depósitos coluvio aluviales redondeados a subredondeados principalmente con presencia de cantos metamórficos e ígneos en matrices de limo, arcillas y arenas de grano fino a grueso. Presentan pendientes que van desde 12 a 25 % y desnivel relativo de 0 a 15 m y representan 0,1 km² del área de estudio, en lo referente al uso principalmente encontramos actividades agrícolas y agropecuarias.



Figura 39: Coluvio aluvial reciente, sector Chambellan.
Fuente: Google Earth Pro, (2021)

6.2.1.2.2 Coluvio aluvial antiguo (Co)

Está formado por acción de la depositación de materiales aluviales sumado a los aportes gravitacionales laterales de las formas colinadas que lo rodean que en este caso son materiales derivados de la Unidad Guayabal (tobas líticas y vítreas), cubierto por vegetación arbustiva y cultivos, presentando así un cierto grado de erosión hídrica laminar con pendientes que van de 2 a 5 % y 12 a 25 % con desnivel relativo de 0 a 15 m, presentando erosión por surcos, abarcando 1,04 km² de superficie.



Figura 40: Coluvio aluvial antiguo, Quebrada de la Concha.

6.2.1.2.3 Coluvión antiguo (Can)

Está compuesto por materiales detríticos que se transportan desde las partes altas de laderas por acción de gravedad y depositados en las partes intermedias o al pie de las mismas. Presentan clastos poco clasificados de carácter subangulares de tobas y areniscas tobáceas. Las pendientes van desde 2 a 25 % y desnivel relativo hasta 50 m. Se utilizan para fines agrícolas y agropecuarios principalmente representando 4,33 km² de superficie.



Figura 41: Parte de coluvión antiguo, cerca al río Guayabal.

6.2.1.2.4 Coluvión reciente (Cr)

Formado por acción de la depositación de materiales aluviales sumado a los aportes laterales gravitacionales de las geoformas que lo rodean, con pendientes de 15 a 30 % y desnivel relativo hasta 15 m. Abarca una superficie de 2,36 km² del área de estudio, conformado por rocas volcanosedimentaria de la Unidad Guayabal y sedimentarias de la Formación Catamayo (arcillas y limolitas). Sobre esta geoforma es donde se ubica la zona urbana de la parroquia representando así un uso de infraestructura.



Figura 42: Coluvión reciente, cabecera parroquial

6.2.1.3 Origen: Tectónico-Erosivo

6.2.1.3.1 Cerro Testigo (Ct)

Forma de relieve de tipo residual y carácter aislado que se forma por el resultado de los procesos erosivos de relieves primarios. Sus pendientes van de 12 a 25 % con desnivel relativo de hasta 15 m. Están constituidos por rocas volcano sedimentarias de la Unidad Guayabal, representa una pequeña parte de la superficie de la parroquia (0,0007 km²) caracterizada por un tipo de erosión por surcos principalmente y forma de cima subredondeada



Figura 43: Cerro Testigo, sector Guayabal

6.2.1.3.2 *Relieve Colinado Bajo (R3)*

Corresponde a zonas que tienen relieves que no sobrepasan los 25 m, tienen pendientes que van de 5 a 12 % y desnivel relativo de 15 a 25 m, con cimas planas y formando pequeños valles en U, la mayor parte está cubierta por vegetación arbustiva y herbácea. Está ubicado litológicamente sobre rocas volcanosedimentarias de la unidad Guayabal.



Figura 44: Relieve Colinado Bajo, sector Girón

6.2.1.3.3 *Relieve Colinado Medio (R4)*

Presentan elevaciones con pendientes de hasta 40 % y desnivel relativo de hasta 100m, evidencian rasgos de erosión por cárcavas y barrancos con cimas redondeadas, litológicamente están sobre sobre materiales volcanoclásticos de la Unidad Guayabal. Abarcan una superficie de 6,97 km² y referente al uso principalmente encontramos pequeñas partes de zonas agrícolas y agropecuarias además de zonas de conservación y protección con vegetaciones herbáceas, arbustiva y arbórea.

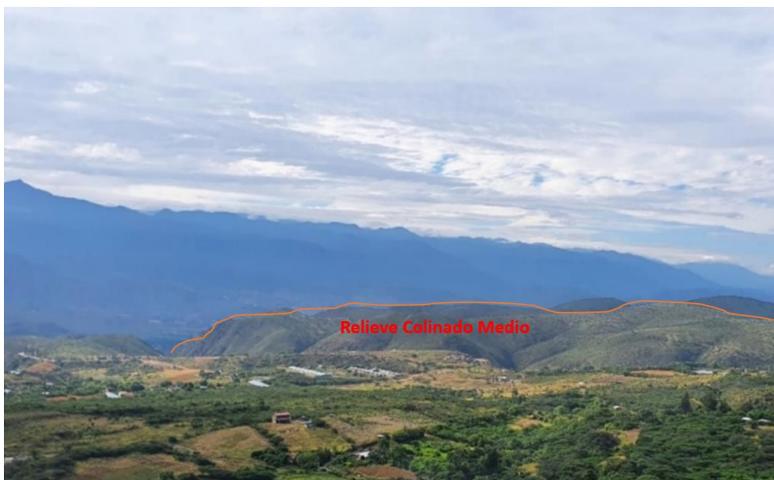


Figura 45: Relieve colinado medio, sector Alamala

6.2.1.3.4 Relieve Colinado Alto (R5)

Geoforma con elevaciones que presentan pendientes entre 25 a 70 %, con desniveles relativos de 100 a 200 m, tienen cimas redondeadas con valles en forma de V, litológicamente se encuentra sobre las rocas volcánicas de la Unidad Guayabal y metamórficas de la Unidad Chaguarpamba conformada principalmente por filitas y pizarras, además de lutitas y limolitas. Esta unidad geomorfológica abarca 2,60 km² de superficie en la parroquia.



Figura 46: Relieve Colinado Alto, sector Nomara.

6.2.1.3.5 Relieve Colinado Muy Alto (R6)

Presenta desniveles relativos de 200 a 300 m y pendientes que oscilan de entre 25 a 70 %, evidencia un grado de erosión por cárcavas y barrancos, con cimas redondeadas y valles en V, litológicamente se encuentran principalmente en las Unidades Guayabal y Chaguarpamba, evidencian un uso de suelo destinado a conservación abarcando un área de 15,26 km² cubierto en su mayoría por vegetación arbustiva y herbácea.



Figura 47: Relieve colinado muy alto, sector vía Illaca.

6.2.1.3.6 *Relieve Montañoso (R7)*

Estos relieves presentan desniveles relativos mayores a 300 m, con pendientes desde 25 a 100 %, presenta cimas redondeadas y agudas principalmente con valles en V, es la geoforma que más superficie abarca del área de estudio (109, 84 km²) abarcando casi todo el territorio y por ende litológicamente esta sobre las filitas de la Unidad el Tigre y Chaguarpamba, lutitas y limolitas de la Unidad Yunguilla, lavas andesíticas de las Unidades Changaimina y Guayabal. Esta geoforma presenta erosión laminar, por surcas y cárcavas, el uso de suelo en esta son agrícola, agropecuario, pecuario y de conservación, cubiertas por vegetación arbustiva y herbácea.



Figura 48: Panorámica de relieve montañoso, sector las Chinchas

6.2.1.4 **Origen: Volcánico erosivo**

6.2.1.4.1 *Neck (Ot)*

Su formación comprende el llenado en una primera fase de un cuello o conducto volcánico con lava solidificada, con la posterior remoción de los materiales quedando al descubierto el tapón más consistente del cuello a modo de un cerro cónico o de una cúpula empinada. Esta unidad se la encuentra en el sector de Guayabal, que corresponde a un neck riolítico de estructura de disyunción columnar, presenta pendiente escarpada mayor a 100 % y un desnivel relativo de hasta 50m. Esta unidad cubre una superficie de 0,04 km², cubierta por vegetación arbustiva y herbácea.



Figura 49: Neck Riolítico, sector Guayabal.

6.2.1.5 Inventario de Deslizamientos

Como parte de la geomorfología también se ha incluido los deslizamientos del área de estudio ya que estos son considerados como una variable de la morfodinámica de la zona de estudio, porque son producto de la modificación del relieve debido a los diferentes procesos morfodinámicos de la tierra, características geológicas, climatológicas, pendientes, entre otras.

Este inventario se realizó mediante trabajo de campo y mediante fotointerpretación para determinar los deslizamientos que existen en nuestra área de estudio (*Anexo 10: Mapa de Inventario a Deslizamientos*), siendo así mediante visitas de campo se levantó 13 deslizamientos y por medio de fotointerpretación en Google Earth Pro se identificó 9 deslizamientos. En la tabla 23 se detalla las características de los deslizamientos encontrados en la parroquia:

Tabla 23: Inventario de deslizamientos de la parroquia San Pedro de la Bendita.

CÓDIGO	Coordenadas		Área (km ²)	Porcentaje (%)	SECTOR
	x	y			
PDD-001	673643	9565823	0,000082	0,015	Shilin
PDD-002	669185	9561438	0,000288	0,052	Las Chinchas
PDD-003	666010	9560426	0,023742	4,274	Las Chinchas
PDD-004	674120	9564934	0,000027	0,005	Shilin
PDD-005	665495	9559725	0,000115	0,021	Las Chinchas
PDD-006	666736	9557248	0,000078	0,140	Vía Illaca
PDD-007	667749	9555331	0,000769	0,139	Vía Illaca
PDD-008	670374	9563550	0,001018	0,183	Vía Tarapo
PDD-009	671594	9563256	0,001674	0,301	Vía Tarapo
PDD-010	672155	9563242	0,000158	0,028	Vía Tarapo

CÓDIGO	Coordenadas		Área (km ²)	Porcentaje (%)	SECTOR
	x	y			
PDD-011	675136	9568959	0,036084	6,495	Naranjillo
PDD-012	674403	9566997	0,010276	1,850	Batíl
PDD-013	672710	9564614	0,036258	6,527	Pueblo Viejo
PDD-014	670641	9568273	0,234938	42,290	Duranda
PDD-015	677484	9561881	0,024212	4,358	Alamala
PDD-016	668434	9560193	0,080238	14,443	Las Chinchas
PDD-017	677011	9564591	0,00039	0,070	Nomara
PDD-018	677323	9564457	0,018728	3,371	Nomara
PDD-019	670780	9562669	0,000993	0,179	El Huato
PDD-020	677090	9563250	0,035273	6,349	Alamala
PDD-021	671156	9563249	0,001959	0,353	Vía Tarapo
PDD-022	671613	9559509	0,047545	8,558	San Sebastián
TOTAL			0,555547	100,00	

Elaboración: Sarango, (2022)

Los deslizamientos encontrados en el área de estudio sirven para corroborar los resultados obtenidos en el mapa de peligrosidad; caracterizando estos deslizamientos se puede determinar que el deslizamiento que abarca un porcentaje mayor del área de estudio es el deslizamiento 14 (PDD-014) mismo que representa el 42,29 % del área total de los movimientos en masa, ubicado en la parte norte de la parroquia en un relieve montañoso por lo cual se hizo difícil el acceso, se trata de un deslizamiento traslacional antiguo determinado mediante las ortofotos de la parroquia y la ayuda del Google Earth Pro y SasPlanet, en las cuales se puede observar características propias de este tipo de deslizamiento como lo es el escarpe principal que presenta una inclinación no muy fuerte, en referencia a la corona; está asociado a pendientes empinadas (35-55°) y litologías de la Unidad El Tigre.

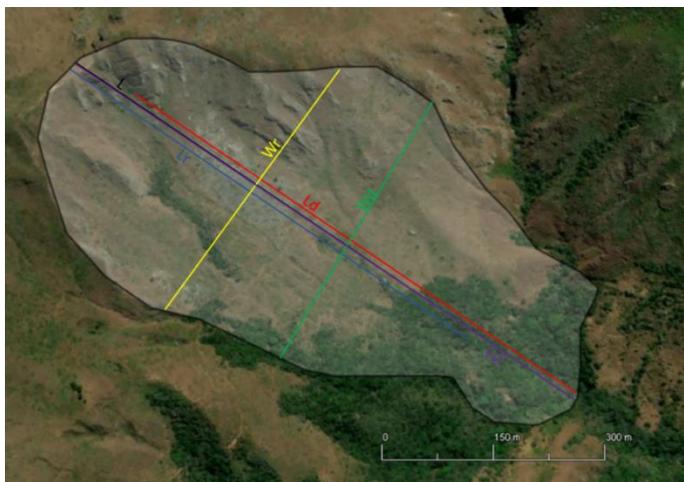


Figura 50: Deslizamiento antiguo (PDD-014) ubicado en la parte Norte de la parroquia.

Fuente: Google Earth Pro (2021)

Otro deslizamiento antiguo se logró identificar de igual manera mediante el Google Earth Pro en el sector de las Chinchas, cuya área es de 0,08 km² ubicado principalmente sobre material sedimentario (limolitas) y pendientes empinadas (35-55°), se pudo evidenciar factores como las precipitaciones y la meteorización que han podido ser las causas desencadenantes principales para este evento dinámico de tierra.

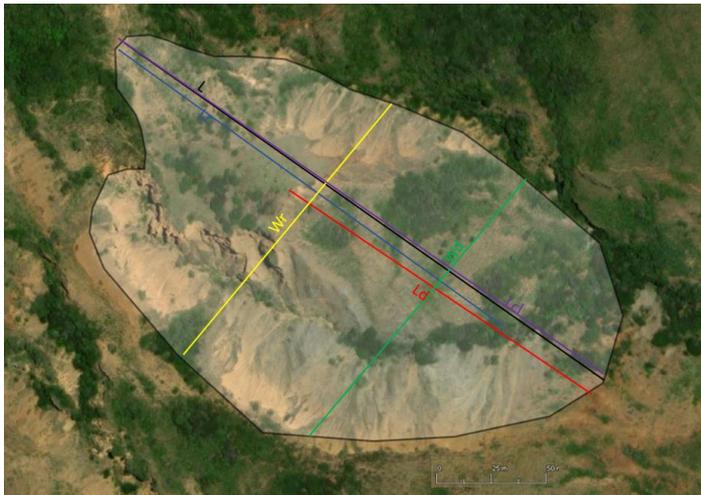


Figura 51: Deslizamiento antiguo (PDD-016), sector las chinchas.
Fuente: Google Earth Pro (2021)

En el mismo sector existe un deslizamiento rotacional de gran magnitud con dirección SE que ocupa el 4,27 % del área total de los deslizamientos de la zona caracterizado de esta manera debido a que como se observa en la figura 52, el escarpe principal es semi-vertical y el movimiento genera un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento misma que evidencia la presencia de material sedimentario sobre todo limolitas y tobas de líticos o aglomeráticas, con pendientes empinadas (35-55°).



Figura 52: Deslizamiento rotacional, sector las Chinchas.

Los deslizamientos que representan menos del 5 % del territorio afectado son caracterizados como movimientos menores, que si bien en base a su extensión son más pequeños no significa que sean despreciables.

Uno de estos deslizamientos menores se localizó en la vía San Vicente-Tarapo mismo que presenta una dirección de movimiento NE, una litología de filitas y pizarras principalmente, además de arcillas y limos producto de la meteorización y pendientes muy inclinadas (15-35°).



Figura 53: Deslizamiento rotacional (PDD-009), sector vía a Tarapo.

Cabe mencionar que la mayoría de estos deslizamientos menores se encuentran a los márgenes de las vías de primer, segundo y tercer orden principalmente, y evidencian alto grado de meteorización por agentes como el agua y viento principalmente, sumado la actividad antrópica (infraestructura vial). En la tabla 24 y (*Anexo 11: Mapa Geomorfológico*) se detallan las unidades geomorfológicas de la parroquia San Pedro de la Bendita.

Tabla 24: Unidades geomorfológicas de la parroquia San Pedro de la Bendita

Unidad Genética	Unidad Geomorfológica	Edad Geológica	Símbolo	Área km ²	Porcentaje %
Erosivo	Deslizamiento	Cenozoico-Cuaternario	D	0,55	0,38
Deposicional	Terraza baja y cauce actual	Cenozoico-Cuaternario	Tb	0,98	0,67
Deposicional	Terraza media	Cenozoico-Cuaternario	Tm	1,25	0,85
Deposicional	Superficie de cono de deyección reciente	Cenozoico-Cuaternario	Cy	0,29	0,20
Deposicional	Superficie de cono de deyección antiguo	Cenozoico-Cuaternario	Cds	0,31	0,21
Denudativo	Coluvio aluvial reciente	Cenozoico-Cuaternario	Cv	0,10	0,07



Unidad Genética	Unidad Geomorfológica	Edad Geológica	Símbolo	Área km ²	Porcentaje %
Denudativo	Coluvio aluvial antiguo	Cenozoico-Neogeno- Oligo-Mioceno; Mesozoico-Cretácico	Co	1,04	0,71
Denudativo	Coluvión antiguo	Cenozoico-Neogeno- Oligo-Mioceno; Cuaternario	Can	4,33	2,97
Denudativo	Coluvión reciente	Cenozoico-Neogeno- Mioceno	Cr	2,36	1,61
Tectónico-Erosivo	Cerro Testigo	Cenozoico- Cuaternario	Ct	0,00077	0,00053
Volcánico-Erosivo	Neck	Cenozoico-Neogeno- Oligo-Mioceno	Ot	0,04	0,03
Tectónico-Erosivo	Relieve Colinado Bajo	Cenozoico-Neogeno- Mioceno	R3	0,17	0,12
Tectónico-Erosivo	Relieve Colinado Medio	Cenozoico-Neogeno- Oligo-Mioceno	R4	6,97	4,77
Tectónico-Erosivo	Relieve Colinado Alto	Cenozoico-Neogeno- Oligo-Mioceno;	R5	2,60	1,78
Tectónico-Erosivo	Relieve Colinado Muy Alto	Cenozoico-Neogeno- Oligo-Mioceno; Mesozoico-Cretácico	R6	15,26	10,44
Tectónico-Erosivo	Relieve Montañoso	Cenozoico-Neogeno- Oligo-Mioceno; Mesozoico-Cretácico	R7	109,84	75,19

Elaboración: Sarango, (2022) en base a CLIRSEN (2012)

6.2.1.6 Validación de Geoformas

La validación de las geoformas se realizó mediante la observación en campo y en algunos casos mediante el uso del Google Earth Pro en 31 puntos estratégicos, para delimitarlas de mejor manera y obtener una correcta clasificación, siendo así tenemos:

Tabla 25: Puntos de validación de geoformas

Nro	Coordenadas		Geoforma	Lugar
	X	Y		
1	666924	9554402	Terraza baja y cauce actual	Illaca
2	677633	9556557	Terraza baja y cauce actual	El Breo
3	678157	9564788	Terraza baja y cauce actual	Girón
4	677169	9556967	Terraza media	El Tingo
5	678456	9557307	Terraza media	El Tingo
6	678314	9563783	Terraza media	Girón
7	678530	9562649	Terraza media	Guayabal
8	678615	9561868	Terraza media	Guayabal
9	667251	9554808	Terraza media	Illaca
10	671050	9556790	Superficie de cono de deyección reciente	Illaca
11	671798	9557390	Superficie de cono de deyección reciente	Illaca



Nro	x	y	Geoforma	Lugar
12	667616	9555059	Superficie de cono de deyección antiguo	Illaca
13	665902	9554614	Superficie de cono de deyección antiguo	Illaca
14	672310	9557438	Coluvio aluvial reciente	Chambellan
15	674499	9565196	Coluvio aluvial antiguo	La Concha
16	676898	9564629	Coluvio aluvial antiguo	Nomara
17	678266	9560685	Coluvión antiguo	Guayabal
18	677808	9566540	Coluvión antiguo	Girón
19	673857	9564042	Coluvión reciente	Cabecera Parroquial
20	678707	9562465	Cerro Testigo	Guayabal
21	678616	9562015	Neck	Guayabal
22	674750	9563499	Relieve Colinado Bajo	Vía a Catamayo
23	677675	9566451	Relieve Colinado Bajo	Girón
24	675213	9568077	Relieve Colinado Medio	La Bendita
25	677046	9563885	Relieve Colinado Medio	Vía a Catamayo
26	676550	6594481	Relieve Colinado Medio	Nomara
27	677716	9564213	Relieve Colinado Alto	Nomara
28	673474	9563257	Relieve Colinado Alto	Uruzhapa
29	668352	9557834	Relieve Colinado Muy Alto	Vía a Illaca
30	672181	9565211	Relieve Montañoso	Peña Azul
31	666010	9560420	Deslizamiento	Las Chinchas

Elaboración: Sarango, (2022)

6.2.2 Pendientes

Según los datos obtenidos mediante el programa ArcGIS 10.8 y el geoprocesamiento del Modelo de Elevación Digital, las pendientes obtenidas en el área de estudio, según la clasificación de DEMEK (1972) hay 5 clases de pendientes (tabla 26).

La mayor parte de la parroquia son pendientes muy inclinadas 15 a 35° representando 79,07 km² (53,98 %) del territorio (*Anexo 12: Mapa de Pendientes*), distribuyéndose por toda el área de estudio, pero mayoritariamente en la zona N y S-SW, las pendientes empinadas que van desde 35° a 55°, representan 42,72 km² de territorio (29,30 %), mismas que se distribuyen de N-NW a S-SW. Estas pendientes corresponden a relieves colinados altos, muy altos y montañosos principalmente.

Las pendientes fuertemente inclinadas se ubican en el territorio con un área de 18,41 km² (12,56 %), mayoritariamente distribuidas en la zona céntrica de la cabecera parroquial, también al NE y SE de la parroquia y en las cercanías a ríos y quebradas.

El termino de pendiente ligeramente inclinada ocupa un 4,04 % de territorio es decir 5,92 km² distribuyéndose principalmente por los márgenes de los ríos Catamayo y Guayabal, quebradas y la zona urbana de la parroquia.

Por último, las pendientes verticales >55° ocupan un mínimo porcentaje de territorio 0,12 % (0,17 km²) distribuidas en partes específicas del territorio, en relieves escarpados y montañosos principalmente.

Tabla 26: Pendientes de la parroquia San Pedro de la Bendita, según DEMEK 1972

Color	Término de la Pendiente	Rango (°)	Área (km ²)	Porcentaje (%)
	Ligeramente inclinada	0– 5	5,92	4,04
	Fuertemente inclinada	5 – 15	18,41	12,56
	Muy inclinada	15 – 35	79,07	53,98
	Empinada	35 – 55	42,72	29,30
	Vertical	> 55	0,17	0,12

6.2.3 *Uso de Suelo*

El uso actual de suelo en la parroquia San Pedro de la Bendita según la actualización realizada por el autor (*Anexo 13: Mapa de Uso de Suelo*) al uso establecido en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, se obtuvo que la mayoría del territorio con un 87,74 % (129,33 km²) corresponde a un uso de Conservación y Protección abarcando coberturas de bosque que van desde húmedo muy alterado a matorrales secos poco alterados.

La parroquia se caracteriza por su productividad agropecuaria y agrícola y esto se ve reflejado en el uso que encontramos en esta zona debido a que un 4,65 % (6,85 km²) del territorio se utilizan como zona agropecuaria mixta abarcando coberturas como pasto cultivado con presencia de árboles y misceláneo mixto.

El uso de suelo agrícola principal fuente productiva de la parroquia abarca un 3.15% (4,64 km²), los principales productos que se cultivan en esta zona son maíz, caña de azúcar, tomate, cebolla, barbecho, etc., este uso está ligado a zonas donde existen quebradas y fuentes de agua para poder cultivar las tierras.

Asimismo, tenemos el uso pecuario representando un 2,75% de la parroquia, principalmente encontramos zonas de pasto cultivados de manera natural y mejorados. En un porcentaje menor tenemos el uso de infraestructura (destinado a los asentamientos humanos y vías principalmente), agua y tierras improductivas, que representan 1,22 %, 0,43 % y 0,06 % respectivamente, los usos descritos se resumen a continuación en la tabla 27:

Tabla 27: Uso de suelo actual en la Parroquia San Pedro de la Bendita

Color	Uso de suelo actual	Área km ²	Porcentaje %
	Agrícola	4,64	3,15
	Agropecuario mixto	6,85	4,65
	Agua	0,63	0,43
	Infraestructura	1,80	1,22
	Conservación y protección	129,33	87,74
	Pecuario	4,06	2,75
	Tierras improductivas	0,08	0,06

Elaboración: Sarango, (2022), modificado de (Gobierno Autonomo Descentralizado Parroquial de San Pedro de la Bendita).

6.2.4 Intensidad de Lluvias

La intensidad de lluvia en la parroquia San Pedro de la Bendita analizada para un periodo de retorno de 100 años mediante la metodología de Gumbel da como resultado que según los datos del INAMHI desde 1900 a 2020 en el área de estudio se tiene tres clases de intensidad: baja, media y alta.

Siendo así la intensidad baja representa un área de 37,03 km² (25,24 %) extendiéndose principalmente por la parte SE de la parroquia, abarcando los sitios El Breo, Girón, y Guayabal, asimismo la intensidad media la cual se refleja en mayor cantidad en la parroquia representa 102,68 km² (70 %) de área extendiéndose principalmente desde la parte NE al NW y SW, atravesando así los barrios de Illaca, El Limo, Tarapo, San Vicente, Toqueros y la Cabecera Parroquial. Por ultimo las altas intensidades representan 6,97 km² (4,75%) extendiéndose principalmente por la zona N de la parroquia, estas distribuciones de intensidades se detallan en el (*Anexo 14: Mapa de Intensidad de Lluvias*).

Tabla 28: Intensidades de Lluvia en la Parroquia San Pedro de la Bendita.

Nivel	Rango (mm/h)	Área (km ²)	Porcentaje (%)	
	Intensidad Baja	0 – 4	37,03	25,24
	Intensidad Media	4 – 8	102,68	70,00
	Intensidad Alta	8 - 11	6,97	4,75

Elaboración: Sarango, (2022)

6.3 Resultados del tercer objetivo: “Elaborar el mapa de peligrosidad a deslizamientos a escala 1:10000 en base a la información obtenida del lugar de estudio.”

Para el análisis de la peligrosidad a deslizamientos en la parroquia San Pedro de la Bendita, se utilizó la determinación de los pesos mediante el Método de Jerarquización Analítica (MJA) o Analytic Hierarchy Process (AHP) desarrollado por Thomas Saaty en 1980, el mismo que consiste en determinar pesos a cada variable escogida por el autor en este caso: litología, pendientes, geomorfología, uso de suelo e intensidad de lluvia, en base a la

importancia e influencia al momento de generar un deslizamiento, para esto se jerarquiza desde las variables de mayor a menor influencia, es por eso que a continuación se detalla esta jerarquización y los pesos seleccionados por el autor para cada variable.

6.3.1 Pesos para las variables de susceptibilidad

Con la finalidad de determinar la susceptibilidad se ponderó las variables escogidas en este trabajo en base a su grado de incidencia e importancia al momento de actuar para que se produzca un movimiento en masa, para esto se consideró criterios de trabajos realizados cercanos a la parroquia y además de ello se unió los mapas de estas variables y se determinó cuál de ellas refleja mayor relevancia con respecto a las otras en cuanto a que se puedan producir deslizamientos, teniendo así la geomorfología como factor más importante ya que este parámetro engloba valores de pendiente y litología para su definición mismas que permiten delimitar las características morfométricas del relieve. Las pendientes fueron el segundo factor determinado, su incidencia a deslizamientos es importante y más aún en nuestro territorio en el cual tenemos pendientes que van desde muy inclinadas a verticales por lo que se relaciona directamente con los deslizamientos, seguidamente el factor que se consideró fue la litología debido a que en base al levantamiento geológico se observó que los materiales tienen un grado de meteorización importante y así mismo presentan fracturamiento haciéndolos más inestables, y por último se determinó el uso de suelo ya que los diferentes usos en la parroquia generan una probabilidad importante que se produzca un deslizamiento. La ponderación de pesos de estas variables se detalla a continuación:

Tabla 29: Matriz de comparación de pares de las variables condicionantes

Susceptibilidad	Geomorfología	Pendiente	Litología	Uso de Suelo
Geomorfología	1,00	2,00	2,00	3,00
Pendiente	0,50	1,00	2,00	3,00
Litología	0,50	0,50	1,00	3,00
Uso de Suelo	0,33	0,33	0,33	1,00
Suma	2,33	3,83	5,33	10,00
1/Suma	0,43	0,26	0,19	0,10

Elaboración: Sarango, (2022)

La normalización y el vector prioridad de las variables de susceptibilidad se presentan en la tabla 30:

Tabla 30: Matriz de normalización y vector priorización de las variables condicionantes

Susceptibilidad	Geomorfología	Pendiente	Litología	Uso de Suelo	Vector priorización	%
Geomorfología	0,43	0,52	0,38	0,30	0,41	41
Pendiente	0,21	0,26	0,38	0,30	0,29	29
Litología	0,21	0,13	0,19	0,30	0,21	21
Uso de Suelo	0,14	0,09	0,06	0,10	0,10	10
					1	100

Elaboración: Sarango, (2022)

A continuación, tenemos los cálculos para determinar λ_{max} , la cual se utiliza en la determinación de la Razón de Consistencia de la susceptibilidad.

Tabla 31: Matriz para determinación de λ_{max} del parámetro de susceptibilidad.

Susceptibilidad	Geomorfología	Pendiente	Litología	Uso de Suelo	Vector suma ponderada	λ_{max}
Geomorfología	0,41	0,58	0,42	0,29	1,69	4,16
Pendiente	0,20	0,29	0,42	0,29	1,20	4,18
Litología	0,20	0,14	0,21	0,29	0,85	4,08
Uso de Suelo	0,14	0,10	0,07	0,10	0,40	4,07
					Suma	16,49
					Promedio	4,12

Elaboración: Sarango, (2022)

Índice de Consistencia (IC):

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

$$IC = \frac{4,12 - 4}{4 - 1} = 0,04$$

Índice de Consistencia Aleatoria (ICA):

n	3	4	5	6	9	10	11	12	13	14	15	16
ICA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,452	1,484	1,513	1,535	1,555	1,57	1,583	1,595

Razón de Consistencia (RC):

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

$$RC = \frac{0,04}{0,882} = 0,05 \leq 0,1 \rightarrow \text{Aceptable}$$



6.3.1.1 Pesos para la Geomorfología

La geomorfología de la parroquia San Pedro de la Bendita presenta varias formas de relieve, sin embargo, las más representativas son los relieves montañosos y colinados por lo que a estas se les ha dado una mayor ponderación debido a que combinándolo con factores como la pendiente y litología condicionan a que se produzca un movimiento en masa. Las terrazas bajas y medias, por su suave pendiente no representan una amenaza a deslizamientos significativa por lo que se le ha dado valores menores referentes a importancia; de la misma manera los relieves formados por depósitos coluviales como los coluviones, conos de deyección, coluvios recientes, etc., al tener una pendiente un poco más elevada que las terrazas bajas se consideró una mayor ponderación, misma que se detalla a continuación:



Tabla 32: Matriz de comparación de pares de la geomorfología

Geomorfología	D	RM	RCMA	RCA	RCM	RCB	CDR	CDA	CR	CA	CAR	CAA	N	CT	TM	TBCA
Deslizamientos (D)	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Relieve Montañoso (RM)	0,50	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Relieve Colinado muy Alto (RCMA)	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Relieve Colinado Alto (RCA)	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Relieve Colinado Medio (RCM)	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Relieve Colinado Bajo (RCB)	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Superficie Cono de Deyección Reciente (CDR)	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	4,00	4,00
Superficie Cono de Deyección Antiguo (CDA)	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	4,00	4,00
Coluvión Reciente (CR)	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	4,00	4,00
Coluvión Antiguo (CA)	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	3,00	3,00	4,00	4,00
Coluvio Aluvial Reciente (CAR)	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00
Coluvio Aluvial Antiguo (CAA)	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	3,00	3,00
Neck (N)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	1,00	2,00	4,00	4,00
Cerro Testigo (CT)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00
Terraza Media (TM)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33	0,25	0,50	1,00	2,00
Terraza Baja y Cauce Actual (TBCA)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33	0,25	0,50	0,50	1,00
SUMA	6,17	7,83	9,33	11,33	12,83	15,67	19,67	21,17	24,67	26,17	32,17	33,67	42,00	44,00	53,50	55,00
1/SUMA	0,16	0,13	0,11	0,09	0,08	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02

Elaboración: Sarango, (2022)



La normalización y el vector prioridad de la geomorfología se presentan en la tabla 33:

Tabla 33: Matriz de normalización y vector priorización de la geomorfología

Geomorfología	D	RM	RCMA	RCA	RCM	RCB	CDR	CDA	CR	CA	CAR	CAA	N	CT	TM	TBCA	Vector priorización	%
Deslizamientos (D)	0,16	0,26	0,21	0,18	0,16	0,19	0,15	0,14	0,12	0,11	0,12	0,12	0,10	0,09	0,07	0,07	0,141	14,14
Relieve Montañoso (RM)	0,08	0,13	0,21	0,18	0,16	0,13	0,15	0,14	0,12	0,11	0,12	0,12	0,10	0,09	0,07	0,07	0,124	12,44
Relieve Colinado muy Alto (RCMA)	0,08	0,06	0,11	0,18	0,16	0,13	0,15	0,14	0,12	0,11	0,12	0,12	0,10	0,09	0,07	0,07	0,114	11,37
Relieve Colinado Alto (RCA)	0,08	0,06	0,05	0,09	0,16	0,13	0,10	0,09	0,12	0,11	0,09	0,09	0,10	0,09	0,07	0,07	0,095	9,49
Relieve Colinado Medio (RCM)	0,08	0,06	0,05	0,04	0,08	0,13	0,10	0,09	0,12	0,11	0,09	0,09	0,10	0,09	0,07	0,07	0,087	8,73
Relieve Colinado Bajo (RCB)	0,05	0,06	0,05	0,04	0,04	0,06	0,10	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,09	0,07	0,07	0,074	7,43
Superficie Cono de Deyección Reciente (CDR)	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,09	0,08	0,08	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,060	5,99
Superficie Cono de Deyección Antiguo (CDA)	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,05	0,08	0,08	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,055	5,54
Coluvión Reciente (CR)	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,08	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,050	4,96
Coluvión Antiguo (CA)	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,046	4,60
Coluvio Aluvial Reciente (CAR)	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,035	3,49
Coluvio Aluvial Antiguo (CAA)	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,05	0,06	0,05	0,032	3,21
Neck (N)	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,05	0,07	0,07	0,029	2,89
Cerro Testigo (CT)	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,022	2,22
Terraza Media (TM)	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,018	1,83
Terraza Baja y Cauce Actual (TBCA)	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,017	1,66
Elaboración: Sarango, (2022)																	1	100



A continuación, tenemos los cálculos para determinar λ_{max} , la cual se utiliza en la determinación de la Razón de Consistencia de la geomorfología.

Tabla 34: Matriz para determinación de λ_{max} del parámetro de geomorfología

Geomorfología	D	RM	RCMA	RCA	RCM	RCB	CDR	CDA	CR	CA	CAR	CAA	N	CT	TM	TBCA	Vector suma ponderada	λ_{max}
Deslizamientos (D)	0,1414	0,25	0,2274	0,19	0,1746	0,2228	0,18	0,1662	0,15	0,138	0,14	0,13	0,116	0,09	0,073	0,07	2,450	17,32
Relieve Montañoso (RM)	0,0707	0,12	0,2274	0,19	0,1746	0,1485	0,18	0,1662	0,15	0,138	0,14	0,13	0,116	0,09	0,073	0,07	2,180	17,53
Relieve Colinado muy Alto (RCMA)	0,0707	0,06	0,1137	0,19	0,1746	0,1485	0,18	0,1662	0,15	0,138	0,14	0,13	0,116	0,09	0,073	0,07	2,005	17,63
Relieve Colinado Alto (RCA)	0,0707	0,06	0,0569	0,09	0,1746	0,1485	0,12	0,1108	0,15	0,138	0,105	0,10	0,116	0,09	0,073	0,07	1,671	17,60
Relieve Colinado Medio (RCM)	0,0707	0,06	0,0569	0,05	0,0873	0,1485	0,12	0,1108	0,15	0,138	0,105	0,10	0,116	0,09	0,073	0,07	1,536	17,59
Relieve Colinado Bajo (RCB)	0,0471	0,06	0,0569	0,05	0,0436	0,0743	0,12	0,1108	0,10	0,092	0,105	0,10	0,116	0,09	0,073	0,07	1,299	17,49
Superficie Cono de Deyección Reciente (CDR)	0,0471	0,04	0,0379	0,05	0,0436	0,0371	0,06	0,1108	0,10	0,092	0,07	0,06	0,087	0,07	0,073	0,07	1,044	17,42
Superficie Cono de Deyección Antiguo (CDA)	0,0471	0,04	0,0379	0,05	0,0436	0,0371	0,03	0,0554	0,10	0,092	0,07	0,06	0,087	0,07	0,073	0,07	0,958	17,31
Coluvión Reciente (CR)	0,0471	0,04	0,0379	0,03	0,0291	0,0371	0,03	0,0277	0,05	0,092	0,07	0,06	0,087	0,07	0,073	0,07	0,851	17,14
Coluvión Antiguo (CA)	0,0471	0,04	0,0379	0,03	0,0291	0,0371	0,03	0,0277	0,02	0,046	0,07	0,06	0,087	0,07	0,073	0,07	0,780	16,96
Coluvio Aluvial Reciente (CAR)	0,0354	0,03	0,0284	0,03	0,0291	0,0248	0,03	0,0277	0,02	0,023	0,035	0,06	0,058	0,04	0,055	0,05	0,592	16,96
Coluvio Aluvial Antiguo (CAA)	0,0354	0,03	0,0284	0,03	0,0291	0,0248	0,03	0,0277	0,02	0,023	0,017	0,03	0,058	0,04	0,055	0,05	0,542	16,91
Neck (N)	0,0354	0,03	0,0284	0,02	0,0218	0,0186	0,02	0,0185	0,02	0,015	0,017	0,02	0,029	0,04	0,073	0,07	0,476	16,45
Cerro Testigo (CT)	0,0354	0,03	0,0284	0,02	0,0218	0,0186	0,02	0,0185	0,02	0,015	0,017	0,02	0,014	0,02	0,037	0,03	0,369	16,67
Terraza Media (TM)	0,0354	0,03	0,0284	0,02	0,0218	0,0186	0,01	0,0138	0,01	0,011	0,012	0,01	0,007	0,01	0,018	0,03	0,304	16,57



Geomorfología	D	RM	RCMA	RCA	RCM	RCB	CDR	CDA	CR	CA	CAR	CAA	N	CT	TM	TBCA	Vector suma ponderada	λ_{max}
Terraza Baja y Cauce Actual (TBCA)	0,0354	0,03	0,0284	0,02	0,0218	0,0186	0,01	0,0138	0,01	0,011	0,012	0,01	0,007	0,01	0,009	0,02	0,278	16,73
																	Suma Promedio	274,27 17,14

Elaboración: Sarango, (2022)

En cuanto a la determinación de la consistencia de la variable de geomorfología se tiene:

Índice de Consistencia (IC):

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

$$IC = \frac{17,14 - 16}{16 - 1} = 0,08$$

Índice de Consistencia Aleatoria (ICA):

n	3	4	5	6	9	10	11	12	13	14	15	16
ICA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,452	1,484	1,513	1,535	1,555	1,57	1,583	1,595

Razón de Consistencia (RC):

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

$$RC = \frac{0,08}{1,595} = 0,05 \leq 0,1 \rightarrow \text{Aceptable}$$



6.3.1.2 Pesos para la Pendiente

La parroquia San Pedro de la Bendita presenta pendientes verticales mayores a 55°, empinadas de 35° a 55°, y muy inclinadas de 15° a 35° por lo que estas tendrán una mayor ponderación al momento de determinar la peligrosidad a deslizamientos. La ponderación de pesos se detalla a continuación:

Tabla 35: Matriz de comparación de pares de las pendientes

Pendiente	> 55	35 a 55°	15 a 35°	5 a 15°	0 a 5°
> 55	1,00	2,00	3,00	3,00	4,00
35 a 55°	0,50	1,00	2,00	3,00	3,00
15 a 35°	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00
5 a 15°	0,33	0,33	0,50	1,00	2,00
0 a 5°	0,25	0,33	0,33	0,50	1,00
SUMA	2,42	4,17	6,83	9,50	13,00
1/SUMA	0,41	0,24	0,15	0,11	0,08

Elaboración: Sarango, (2022)

La normalización y el vector prioridad de las pendientes se presentan en la tabla 36:

Tabla 36: Matriz de normalización y vector priorización de las pendientes

Pendiente	> 55	35 a 55°	15 a 35°	5 a 15°	0 a 5°	Vector priorización	%
> 55	0,41	0,48	0,44	0,32	0,31	0,391	39,13
35 a 55°	0,21	0,24	0,29	0,32	0,23	0,257	25,72
15 a 35°	0,14	0,12	0,15	0,21	0,23	0,169	16,91
5 a 15°	0,14	0,08	0,07	0,11	0,15	0,110	11,00
0 a 5°	0,10	0,08	0,05	0,05	0,08	0,072	7,24
						1	100

Elaboración: Sarango, (2022)

A continuación, tenemos los cálculos para determinar λ_{max} , la cual se utiliza en la determinación de la Razón de Consistencia de las pendientes.

Tabla 37: Matriz para determinación de λ_{max} del parámetro de pendientes

Pendiente	> 55	35 a 55°	15 a 35°	5 a 15°	0 a 5°	Vector suma ponderada	λ_{max}
> 55	0,39	0,51	0,51	0,33	0,29	2,033	5,20
35 a 55°	0,20	0,26	0,34	0,33	0,22	1,338	5,20
15 a 35°	0,13	0,13	0,17	0,22	0,22	0,865	5,12
5 a 15°	0,13	0,09	0,08	0,11	0,14	0,555	5,05
0 a 5°	0,10	0,09	0,06	0,06	0,07	0,367	5,08
						Suma	25,64
						Promedio	5,13

Elaboración: Sarango, (2022)

En cuanto a la determinación de la consistencia para la variable de pendientes se tiene:

Índice de Consistencia (IC):

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

$$IC = \frac{5,13 - 5}{5 - 1} = 0,03$$

Índice de Consistencia Aleatoria (ICA):

n	3	4	5	6	9	10	11	12	13	14	15	16
ICA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,452	1,484	1,513	1,535	1,555	1,57	1,583	1,595

Razón de Consistencia (RC):

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

$$RC = \frac{0,03}{1,115} = 0,03 \leq 0,1 \rightarrow \text{Aceptable}$$

6.3.1.3 Pesos para la Litología

La ponderación de la litología se la realizó tomando en cuenta las condiciones de meteorización observada en campo, de las características de las rocas encontradas y la pendiente del sitio, siendo así los aglomerados volcánicos, brechas y diferentes tipos de tobas se determinó como la litología más incidente para que se produzcan movimientos en masa debido a que estos materiales se encuentran altamente meteorizados y están asociados a pendientes importantes. Seguidamente las filitas, cuarcitas y pizarras de la Unidad Chaguarpamba asociadas a limolitas y lutitas con pendientes altas y grado de meteorización considerable.

Las limolitas, arcillas y metalutitas intercaladas con material metamórfico (pizarras y filitas) de la Unidad Yunguilla se consideró como el tercer factor más influyente para un movimiento de remoción en masa, debido a que son materiales con un grado de humedad y meteorización alto.

Los intrusivos granodioríticos y dioríticos junto con las lavas y brechas basálticas y andesíticas se encontraron como materiales duros y competentes que no presentan meteorización elevada y por tanto no inciden de manera significativa en un deslizamiento.

Los depósitos aluviales y coluviales son los que menor importancia se consideró ya que si bien son materiales poco consolidados por su edad geológica y están asociados a pendientes suaves. Las ponderaciones detalladas de la litología se detallan a continuación:



Tabla 38: Matriz de comparación de pares de la litología

Litología	UG	Uch	Uy	UT	FC	G	D	Ucha	DC	DA
Aglomerados en matriz arcillosa, brechas volcánicas, tobas andesíticas, líticas, arenosas y de cristal, riolita y toba riolítica (UG)	1,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00
Tobas de cristales, filitas, cuarcita, pizarra, limolita y lutitas (Uch)	0,50	1,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00
Limolitas, arcilla, metalutitas con intercalaciones de filitas y pizarras (Uy)	0,50	0,50	1,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00
Areniscas, limolitas y lutitas no metamorfizadas con intercalaciones de cuarcitas, pizarras y pizarra (UT)	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	2,00	3,00	4,00	4,00
Arcillas y limolitas de tonalidades verdes y púrpuras (FC)	0,33	0,33	0,33	0,50	1,00	2,00	2,00	3,00	4,00	4,00
Granodiorita (G)	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	4,00
Diorita (D)	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	3,00	3,00
Lavas y brechas andesíticas a basálticas (Ucha)	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	1,00	2,00	2,00
Material poco consolidado con clastos de filitas, cuarcitas, pizarras, tobas y granodioritas (DC)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00
Clastos de material ígneo y metamórfico en matriz arenosa (DA)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,50	0,50	1,00
SUMA	4,33	5,83	7,33	9,33	13,83	15,33	17,17	22,00	30,50	32,00
1/SUMA	0,23	0,17	0,14	0,11	0,07	0,07	0,06	0,05	0,03	0,03

Elaboración: Sarango, (2022)



La normalización y el vector prioridad de la litología se presentan en la tabla 39:

Tabla 39: Matriz de normalización y vector priorización de la litología

Litología	UG	Uch	Uy	UT	FC	G	D	Ucha	DC	DA	Vector priorización	%
Aglomerados en matriz arcillosa, brechas volcánicas, tobas andesíticas, líticas, arenosas y de cristal, riolita y toba riolítica (UG)	0,23	0,34	0,27	0,21	0,22	0,20	0,17	0,14	0,13	0,13	0,20	20
Tobas de cristales, filitas, cuarcita, pizarra, limolita y lutitas (Uch)	0,12	0,17	0,27	0,21	0,22	0,20	0,17	0,14	0,13	0,13	0,18	18
Limolitas, arcilla, metalutitas con intercalaciones de filitas y pizarras (Uy)	0,12	0,09	0,14	0,21	0,22	0,20	0,17	0,14	0,13	0,13	0,15	15
Areniscas, limolitas y lutitas no metamorfozadas con intercalaciones de cuarcitas, pizarras y pizarra (UT)	0,12	0,09	0,07	0,11	0,14	0,13	0,12	0,14	0,13	0,13	0,12	12
Arcillas y limolitas de tonalidades verdes y púrpuras (FC)	0,08	0,06	0,05	0,05	0,07	0,13	0,12	0,14	0,13	0,13	0,09	9
Granodiorita (G)	0,08	0,06	0,05	0,05	0,04	0,07	0,12	0,14	0,13	0,13	0,08	8
Diorita (D)	0,08	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,06	0,09	0,10	0,09	0,06	6
Lavas y brechas andesíticas a basálticas (Ucha)	0,08	0,06	0,05	0,04	0,02	0,02	0,03	0,05	0,07	0,06	0,05	5
Material poco consolidado con clastos de filitas, cuarcitas, pizarras, tobas y granodioritas (DC)	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,03	3
Clastos de material ígneo y metamórfico en matriz arenosa (DA)	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	3
											1	100

Elaboración: Sarango, (2022)



A continuación, tenemos los cálculos para determinar λ_{max} , la cual se utiliza en la determinación de la Razón de Consistencia de la litología.

Tabla 40: Matriz para determinación de λ_{max} del parámetro de pendientes

Geología	UG	Uch	Uy	UT	FC	G	D	Ucha	DC	DA	Vector suma ponderada	λ_{max}
Aglomerados en matriz arcillosa, brechas volcánicas, tobas andesíticas, líticas, arenosas y de cristal, riolita y toba riolítica (UG)	0,20	0,35	0,31	0,23	0,28	0,25	0,19	0,14	0,13	0,11	2,21	10,83
Tobas de cristales, filitas, cuarcita, pizarra, limolita y lutitas (Uch)	0,10	0,18	0,31	0,23	0,28	0,25	0,19	0,14	0,13	0,11	1,93	11,02
Limolitas, arcilla, metalutitas con intercalaciones de filitas y pizarras (Uy)	0,10	0,09	0,15	0,23	0,28	0,25	0,19	0,14	0,13	0,11	1,69	11,04
Areniscas, limolitas y lutitas no metamorfizadas con intercalaciones de cuarcitas, pizarras y pizarra (UT)	0,10	0,09	0,08	0,12	0,19	0,17	0,13	0,14	0,13	0,11	1,26	10,82
Arcillas y limolitas de tonalidades verdes y púrpuras (FC)	0,07	0,06	0,05	0,06	0,09	0,17	0,13	0,14	0,13	0,11	1,01	10,73
Granodiorita (G)	0,07	0,06	0,05	0,06	0,05	0,08	0,13	0,14	0,13	0,11	0,88	10,46
Diorita (D)	0,07	0,06	0,05	0,06	0,05	0,04	0,06	0,09	0,10	0,09	0,67	10,38
Lavas y brechas andesíticas a basálticas (Ucha)	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05	0,07	0,06	0,48	10,31
Material poco consolidado con clastos de filitas, cuarcitas, pizarras, tobas y granodioritas (DC)	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,34	10,26
Clastos de material ígneo y metamórfico en matriz arenosa (DA)	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,30	10,39
											Suma Promedio	106,24 10,62

Elaboración: Sarango, (2022)



En cuanto a la determinación de la consistencia para la variable de litología se tiene:

Índice de Consistencia (IC):

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

$$IC = \frac{10,62 - 10}{10 - 1} = 0,07$$

Índice de Consistencia Aleatoria (ICA):

n	3	4	5	6	9	10	11	12	13	14	15	16
ICA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,452	1,484	1,513	1,535	1,555	1,57	1,583	1,595

Razón de Consistencia (RC):

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

$$RC = \frac{0,07}{1,484} = 0,05 \leq 0,1 \rightarrow \text{Aceptable}$$

6.3.1.4 Pesos para el Uso de Suelo

Dentro de la clasificación de uso de suelo se escogió el uso de infraestructura como el factor más incidente a la hora de producirse deslizamientos, el segundo factor incidente que se consideró dentro del uso de suelo es el agrícola ya que abarca territorios que si bien en algunos casos no presentan pendientes elevadas el grado de degradación es importante y la pérdida de cobertura para la producción tiene una repercusión importante lo que hace que se pueda desencadenar un deslizamiento, el uso de suelo agropecuario mixto y pecuario se han considerado como siguientes factores al momento de producir un deslizamiento, esto principalmente por la cría de animales y la producción del agro afectan pueden afectar a la estabilidad de estas zonas produciendo movimientos de remoción en masa, luego se consideró el uso de conservación y protección que se extiende en la mayoría del territorio de la parroquia y que en su mayoría este cubierto por vegetación arbustiva y arbórea principalmente.

Por último, los usos de tierras improductivas y agua representan menor incidencia a desencadenar deslizamientos respectivamente ya que se dan en terrenos de poca pendiente y litologías no muy meteorizadas. La asignación de pesos se detalla a continuación:

Tabla 41: Matriz de comparación de pares del uso de suelo

Uso de Suelo	Infraestructura	Agrícola	Agropecuario mixto	Pecuario	Conservación y protección	Tierras improductivas	Agua
Infraestructura	1,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	4,00
Agrícola	0,50	1,00	2,00	3,00	3,00	3,00	4,00
Agropecuario mixto	0,50	0,50	1,00	2,00	3,00	3,00	4,00
Pecuario	0,33	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00
Conservación y protección	0,33	0,33	0,33	0,50	1,00	2,00	4,00
Tierras improductivas	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	1,00	4,00
Agua	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00
SUMA	3,25	4,75	6,42	10,08	12,75	15,25	25,00
1/SUMA	0,31	0,21	0,16	0,10	0,08	0,07	0,04

Elaboración: Sarango, (2022)

La normalización y el vector prioridad del uso de suelo se presentan en la tabla 42:

Tabla 42: Matriz de normalización y vector priorización del uso de suelo

Uso de Suelo	Infraestructura	Agrícola	Agropecuario mixto	Pecuario	Conservación y protección	Tierras improductivas	Agua	Vector priorización	%
Infraestructura	0,31	0,42	0,31	0,30	0,24	0,20	0,16	0,276	27,57
Agrícola	0,15	0,21	0,31	0,30	0,24	0,20	0,16	0,224	22,37
Agropecuario mixto	0,15	0,11	0,16	0,20	0,24	0,20	0,16	0,172	17,22
Pecuario	0,10	0,07	0,08	0,10	0,16	0,20	0,16	0,123	12,33
Conservación y protección	0,10	0,07	0,05	0,05	0,08	0,13	0,16	0,092	9,20
Tierras improductivas	0,10	0,07	0,05	0,03	0,04	0,07	0,16	0,075	7,46
Agua	0,08	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,038	3,85
								1	100

Elaboración: Sarango, (2022)

A continuación, tenemos los cálculos para determinar λ_{max} , la cual se utiliza en la determinación de la Razón de Consistencia del uso de suelo.

Tabla 43: Matriz para determinación de λ_{max} del parámetro de uso de suelo

Uso de Suelo	Infraestructura	Agrícola	Agropecuario mixto	Pecuario	Conservación y protección	Tierras improductivas	Agua	Vector suma ponderada	λ_{max}
Infraestructura	0,28	0,45	0,34	0,37	0,28	0,22	0,15	2,091	7,58
Agrícola	0,14	0,22	0,34	0,37	0,28	0,22	0,15	1,730	7,73
Agropecuario mixto	0,14	0,11	0,17	0,25	0,28	0,22	0,15	1,322	7,68
Pecuario	0,09	0,07	0,09	0,12	0,18	0,22	0,15	0,938	7,60
Conservación y protección	0,09	0,07	0,06	0,06	0,09	0,15	0,15	0,681	7,40
Tierras improductivas	0,09	0,07	0,06	0,04	0,05	0,07	0,15	0,539	7,23
Agua	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,04	0,279	7,25



Suma 52,48
Promedio 7,50

Elaboración: Sarango, (2022)

En cuanto a la determinación de la consistencia para la variable de uso de suelo se tiene:

Índice de Consistencia (IC):

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

$$IC = \frac{7,5 - 7}{7 - 1} = 0,08$$

Índice de Consistencia Aleatoria (ICA):

n	3	4	5	6	7	10	11	12	13	14	15	16
ICA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,484	1,513	1,535	1,555	1,57	1,583	1,595

Razón de Consistencia (RC):

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

$$RC = \frac{0,08}{1,341} = 0,06 \leq 0,1 \rightarrow \text{Aceptable}$$

6.3.2 Peso para el factor desencadenante

El factor desencadenante se pondero en base las intensidades de lluvia en la zona, siendo así las intensidades altas se ponderaron con mayor importancia y se han elegido como vector prioridad para determinar la peligrosidad, asimismo las intensidades medias se determinaron como segundo valor en cuanto a su importancia y por ultimo las intensidades bajas, esta ponderación se siguió en base a la lógica de que, a mayor intensidad de lluvia, mayor probabilidad de que ocurra un deslizamiento.

Tabla 44: Matriz de comparación de pares del factor desencadenante

Intensidad	11 – 8 mm/h	8 - 4 mm/h	4 - 0 mm/h
11 - 8 mm/h	1,00	3,00	4,00
8 - 4 mm/h	0,33	1,00	3,00
4 - 0 mm/h	0,25	0,33	1,00
SUMA	1,58	4,33	8,00
1/SUMA	0,63	0,23	0,13

Elaboración: Sarango, (2022)



La normalización y el vector prioridad del factor desencadenante se presentan en la tabla 45:

Tabla 45: Matriz de normalización y vector priorización del factor desencadenante.

Intensidad	11 - 8 mm/h	8 - 4 mm/h	4 - 0 mm/h	Vector priorización	%
11 - 8 mm/h	0,63	0,69	0,50	0,608	60,80
8 - 4 mm/h	0,21	0,23	0,38	0,272	27,21
4 - 0 mm/h	0,16	0,08	0,13	0,120	11,99
				1	100

Elaboración: Sarango, (2022)

A continuación, tenemos los cálculos para determinar λ_{max} , la cual se utiliza en la determinación de la Razón de Consistencia del factor desencadenante.

Tabla 46: Matriz para determinación de λ_{max} del parámetro del factor desencadenante

Intensidad	11 - 8 mm/h	8 - 4 mm/h	4 - 0 mm/h	Vector suma ponderada	λ_{max}
11 - 8 mm/h	0,61	0,82	0,48	1,904	3,13
8 - 4 mm/h	0,20	0,27	0,36	0,835	3,07
4 - 0 mm/h	0,15	0,09	0,12	0,363	3,02
				Suma	9,22
				Promedio	3,07

Elaboración: Sarango, (2022)

En cuanto a la determinación de la consistencia para la variable desencadenante se tiene:

Índice de Consistencia (IC):

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

$$IC = \frac{3,07 - 3}{3 - 1} = 0,04$$

Índice de Consistencia Aleatoria (ICA):

n	3	4	5	6	7	10	11	12	13	14	15	16
ICA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,484	1,513	1,535	1,555	1,57	1,583	1,595

Razón de Consistencia (RC):

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

$$RC = \frac{0,04}{0,525} = 0,07 \leq 0,1 \rightarrow \text{Aceptable}$$

6.3.3 Pesos del parámetro de evaluación

El factor que permite determinar la peligrosidad es el parámetro de evaluación que en este caso es el período de retorno, en base a esto los factores más importantes de esta variable fueron los periodos de retorno más bajos, ya que en tiempos cortos hay mayor probabilidad de que ocurra un deslizamiento.

Tabla 47: Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación

Tiempo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
2 años	1,00	2,00	2,00	3,00	3,00	4,00
5 años	0,50	1,00	2,00	3,00	3,00	4,00
10 años	0,50	0,50	1,00	2,00	3,00	3,00
25 años	0,33	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00
50 años	0,33	0,33	0,33	0,50	1,00	2,00
100 años	0,25	0,25	0,33	0,33	0,50	1,00
SUMA	2,92	4,42	6,17	9,83	12,50	17,00
1/SUMA	0,34	0,23	0,16	0,10	0,08	0,06

Elaboración: Sarango, (2022)

La normalización y el vector prioridad del parámetro de evaluación se presentan en la tabla 48:

Tabla 48: Matriz de normalización y vector priorización del parámetro de evaluación.

Tiempo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	Vector priorización	%
2 años	0,34	0,45	0,32	0,31	0,24	0,24	0,317	31,67
5 años	0,17	0,23	0,32	0,31	0,24	0,24	0,250	25,04
10 años	0,17	0,11	0,16	0,20	0,24	0,18	0,178	17,78
25 años	0,11	0,08	0,08	0,10	0,16	0,18	0,118	11,82
50 años	0,11	0,08	0,05	0,05	0,08	0,12	0,082	8,21
100 años	0,09	0,06	0,05	0,03	0,04	0,06	0,055	5,48
							1	100

Elaboración: Sarango, (2022)

A continuación, tenemos los cálculos para determinar λ_{max} , la cual se utiliza en la determinación de la Razón de Consistencia del parámetro de evaluación:

Tabla 49: Matriz para determinación de λ_{max} del parámetro del parámetro de evaluación.

Tiempo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	Vector suma ponderada	λ_{max}
2 años	0,32	0,50	0,36	0,95	0,25	0,22	2,589	8,17
5 años	0,16	0,25	0,36	0,35	0,25	0,22	1,584	6,33
10 años	0,16	0,13	0,18	0,24	0,25	0,16	1,108	6,23



Tiempo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	Vector suma ponderada	λ_{max}
25 años	0,11	0,08	0,09	0,12	0,16	0,16	0,725	6,13
50 años	0,11	0,08	0,06	0,06	0,08	0,11	0,499	6,08
100 años	0,08	0,06	0,06	0,04	0,04	0,05	0,336	6,13
							Suma	39,08
							Promedio	6,51

Elaboración: Sarango, (2022)

En cuanto a la determinación de la consistencia para la variable desencadenante se tiene:

Índice de Consistencia (IC):

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

$$IC = \frac{6,51 - 6}{6 - 1} = 0,1$$

Índice de Consistencia Aleatoria (ICA):

n	3	4	5	6	7	10	11	12	13	14	15	16
ICA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,484	1,513	1,535	1,555	1,57	1,583	1,595

Razón de Consistencia (RC):

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

$$RC = \frac{0,1}{1,252} = 0,08 \leq 0,1 \rightarrow \text{Aceptable}$$

Todos los pesos y ponderaciones de las variables tanto condicionantes como desencadenantes y parámetro de evaluación se detallan en la tabla 50:

Tabla 50: Resumen de las variables y ponderaciones calculadas.

NOMBRE	PESO	FACTOR		PARÁMETRO		VARIABLE		Ppar x Pvari
		NOMBRE	PESO	NOMBRE	PESO	CLASIFICACIÓN	PESO	
SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTOS	80%	Condicionante	40%	Geomorfología	0.41	Deslizamientos	0.141	0.057
						Relieve Montañoso	0.124	0.051
						Relieve Colinado muy Alto	0.114	0.046
						Relieve Colinado Alto	0.095	0.039
						Relieve Colinado Medio	0.087	0.035
						Relieve Colinado Bajo	0.074	0.030
						Superficie Cono de Deyección	0.060	0.024
						Superficie Cono de Deyección	0.055	0.023
						Coluvión Reciente	0.050	0.020
						Coluvión Antiguo	0.046	0.019
						Coluvio Aluvial Reciente	0.035	0.014
						Coluvio Aluvial Antiguo	0.032	0.013
						Neck	0.029	0.012
						Cerro Testigo	0.022	0.009
						Terraza Media	0.018	0.007
				Terraza Baja y Cauce Actual	0.017	0.007		
				Pendiente	0.29	Vertical	0.391	0.113
						Empinada	0.257	0.074
						Muy Inclinada	0.169	0.049
						Fuertemente Inclinada	0.110	0.032
						Ligeramente Inclinada	0.072	0.021
				Litología	0.21	Aglomerados en matriz arcillosa,	0.204	0.042
						Tobas de cristales, filitas, cuarcita,	0.175	0.036
						Limolitas, arcilla, metalutitas con	0.153	0.032
						Areniscas, limolitas y lutitas no	0.116	0.024
						Arcillas y limolitas de tonalidades	0.094	0.020
						Granodiorita	0.084	0.018
						Diorita	0.064	0.013
						Lavas y brechas andesíticas a	0.046	0.010
						Material poco consolidado con	0.033	0.007
				Clastos de material ígneo y	0.029	0.006		
				Uso de Suelo	0.10	Infraestructura	0.28	0.027
						Agrícola	0.22	0.022
Agropecuario mixto	0.17	0.017						
Pecuario	0.12	0.012						
Conservación y protección	0.09	0.009						
Tierras improductivas	0.07	0.007						
Desencadenante	60%	Intensidad de Lluvia	1.00	Agua	0.04	0.004		
				10.30 - 7.68 mm/h	0.608	0.608		
				7.68 - 5.06 mm/h	0.272	0.272		
				5.06 - 2.44 mm/h	0.120	0.120		
PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	20%	Tiempo de Retorno	1.000	2 años	0.317	0.129		
				5 años	0.250	0.102		
				10 años	0.178	0.072		
				25 años	0.118	0.048		
				50 años	0.082	0.033		
				100 años	0.055	0.022		

Elaboración: Sarango, (2022)

6.3.4 Susceptibilidad a deslizamientos

El valor de susceptibilidad necesario para determinar la peligrosidad en San Pedro de la Bendita, se obtuvo mediante el uso de los shapefiles de las variables condicionantes (litología, pendientes, geomorfología y uso de suelo) y el factor desencadenante de intensidad de lluvia, cabe recalcar que la susceptibilidad no considera un factor tiempo determinado. A continuación, en la tabla 51 se muestran los valores determinados para la susceptibilidad en base a las operaciones realizadas.



Tabla 51: Valor de la susceptibilidad a deslizamientos

Condicionante			Desencadenante			Susceptibilidad
\sum Pparametro x Pvariable	Peso Cond	Valor condicionante	\sum Pparametro x Pvariable	Peso Desen	Valor des	Valor susceptibilidad
0,24		0,096	0,608		0,36	0,461
0,18		0,073	0,608		0,36	0,438
0,14		0,057	0,608		0,36	0,422
0,11		0,043	0,608		0,36	0,407
0,08		0,034	0,608		0,36	0,399
0,06		0,022	0,608		0,36	0,387
0,04		0,017	0,608		0,36	0,381
0,03	0,40	0,013	0,608	0,60	0,36	0,378
0,03		0,011	0,608		0,36	0,376
0,02		0,010	0,608		0,36	0,375
0,01		0,006	0,608		0,36	0,370
0,01		0,005	0,608		0,36	0,370
0,01		0,005	0,608		0,36	0,369
0,01		0,004	0,608		0,36	0,368
0,01		0,003	0,608		0,36	0,368
0,01		0,003	0,608		0,36	0,367

Elaboración: Sarango, (2022)

6.3.5 Peligrosidad a Deslizamientos

El valor de la peligrosidad se determinó utilizando los valores de la susceptibilidad más el parámetro de evaluación, a continuación, se muestra el resultado de esta operación para determinar el peligro en la parroquia San Pedro de la Bendita.

Tabla 52: Valor de la peligrosidad a deslizamientos

Susceptibilidad		Parámetro de evaluación		Peligrosidad
Valor susceptibilidad	Peso susceptibilidad	Valor parámetro evaluación	Peso parámetro evaluación	Valor Peligrosidad
0,461		0,055		0,3794
0,438		0,055		0,3613
0,422		0,055		0,3487
0,407		0,055		0,3369
0,399		0,055		0,3300
0,387		0,055		0,3204
0,381		0,055		0,3161
0,378	0,80	0,055	0,20	0,3131
0,376		0,055		0,3115
0,375		0,055		0,3107
0,370		0,055		0,3073
0,370		0,055		0,3070
0,369		0,055		0,3066
0,368		0,055		0,3057
0,368		0,055		0,3052
0,367		0,055		0,3050

Elaboración: Sarango, (2022)

6.3.6 Mapa de Peligrosidad a Deslizamientos

Para la confección del mapa final de peligrosidad a deslizamientos a escala 1:10 000 DATUM WGS 84 /UTM (*Anexo 15: Mapa de Peligrosidad a Deslizamientos*) en la parroquia San Pedro de la Bendita se utilizó la suma de las variables condicionantes y desencadenantes además del parámetro de evaluación con una probabilidad de ocurrencia del 1% en un periodo de retorno de 100 años. Luego se clasificó en 4 niveles de peligrosidad (tabla 53), para finalmente obtener así el mapa final de peligrosidad.

Tabla 53: Nivel y rango de peligrosidad en la parroquia San Pedro de la Bendita

Nivel de peligro	Rango		
Peligro alto	0,3487	$\leq P \leq$	0,3794
Peligro medio	0,3369	$\leq P <$	0,3487
Peligro bajo	0,3300	$\leq P <$	0,3369
Peligro muy bajo	0,3052	$\leq P <$	0,3300

Elaboración: Sarango, (2022)

Los valores de peligrosidad en cuanto área y porcentaje se detallan a continuación:

Tabla 54: Clases de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia San Pedro de la Bendita.

CLASE	Área km ²	Porcentaje %
Muy baja peligrosidad a deslizamientos	6,87	4,68
Baja peligrosidad a deslizamientos	4,53	3,09
Media peligrosidad a deslizamientos	33,15	22,57
Alta peligrosidad a deslizamientos	102,32	69,66

Elaboración: Sarango, (2022)

- **Muy baja peligrosidad a deslizamientos**

Corresponde a 6,87 km², equivalente a 4,68 % de territorio, se localizan en las zonas cercanas a los ríos Catamayo y Guayabal, dentro de esta clase de peligrosidad se encuentran unidades geomorfológicas como terrazas bajas y medias, coluvio aluvial antiguo y reciente, coluvión reciente y antiguo, con litologías de clastos de material ígneo y metamórfico en una matriz arenosa propios de los depósitos cuaternarios (aluviales y coluviales), por arcillas y limolitas de la formación Catamayo, las pendientes en esta zona van de ligera a fuertemente inclinadas con rangos de 0° a 15°. El uso de suelo en esta área es principalmente agrícola, agropecuario, tierras improductivas y agua. En cuanto a intensidades de lluvia se extiende por zonas de baja a media intensidad con rangos de 0 a 8 mm/h.

- **Baja peligrosidad a deslizamientos**

Esta clasificación abarca 4,53 km² es decir un 3,09 % del área total de la parroquia, se ubica geomorfológicamente sobre terrazas bajas y medias, cerro testigo, coluvión antiguo y



reciente, coluvio aluvial antiguo y reciente, superficie cono de deyección antiguo y reciente y relieve colinado bajo, medio y alto, las pendientes en esta clase van de ligeramente inclinadas a muy inclinadas en un rango de 0° a 35°. Litológicamente comprende materiales con clastos de material metamórfico como filitas, pizarras, cuarcitas y volcanosedimentos como tobas andesíticas en matriz arenosa propia de los depósitos aluviales y coluviales, arcillas y limolitas de diferentes tonalidades de la formación Catamayo. Referente al uso de suelo se tiene una ocupación de infraestructura, agrícola, agropecuario mixto y de conservación y protección. La intensidad de lluvia va de baja a media intensidad con rangos de 0 a 8 mm/h en estas zonas.

- **Media peligrosidad a deslizamientos**

La peligrosidad media abarca 33,15 km². equivalentes al 22.57 % del área total, presenta litologías características de depósitos cuaternarios como bloques, cantos y guijarros de rocas ígneas y metamórficas en matriz arenosa, arcillas, conglomerados y limolitas de tonalidades verdes a purpuras de la Formación Catamayo, sedimentos volcanoclásticos, filitas, pizarras, limolitas y lutitas de Unidad Chaguarpamba, lavas andesíticas a basálticas de la Unidad Changaimina; aglomerados volcánicos y material volcanosedimentario, tobas líticas, andesíticas y riolíticas de la Unidad Guayabal; limolitas, arcillas y metalutitas de la Unidad Yunguilla, e intrusivos granodioríticos y dioríticos; las pendientes van de ligeramente inclinadas a empinadas con un rango de 0° a 55°, dentro de esta clasificación los usos de suelo son principalmente conservación y protección, agropecuario mixto, pecuario e infraestructura, Las unidades geomorfológicas dentro de esa clase son relieve montañoso, relieve colinado medio, relieve colinado muy alto, coluvión antiguo y neck, tres deslizamientos se levantaron dentro de esta clasificación.

- **Alta peligrosidad a deslizamientos**

Esta clasificación es la que más área abarca en nuestra área de estudio con 102,32 km² es decir un 69,66 %, geomorfológicamente encontramos relieves montañosos; relieve colinado muy alto y alto, el uso de suelo es de conservación y protección, agropecuario mixto, infraestructura y pecuario, las pendientes van de fuertemente inclinadas a verticales con un rango de 15° a > 55°, las litologías representan principalmente aglomerados volcánicos en matriz arcillosa, brechas, tobas líticas, andesíticas y riolíticas de la Unidad Guayabal, areniscas y limolitas no metamorfizadas de la Unidad El Tigre, sedimentos volcanoclásticos, filitas, pizarras, limolitas y lutitas de Unidad Chaguarpamba, lavas andesíticas a basálticas de la



Unidad Changaimina, limolitas, arcillas y metalutitas de la Unidad Yunguilla, la intensidad de lluvia va de baja a alta intensidad con rangos de 0 a 11 mm/h.

Además de estos rangos de peligrosidad se realizó el mapa de peligrosidad a deslizamientos para un periodo de retorno de 25 años (**Anexo 16: Mapa de Peligrosidad a Deslizamientos periodo de retorno 25 años**) para complementar y comparar con el mapa final obtenido de esta investigación.

6.3.7 Correlación entre los deslizamientos y las zonas de peligrosidad

En este estudio se obtuvo 4 clases de peligrosidad en la parroquia San Pedro de la Bendita: Muy Baja Peligrosidad, Baja Peligrosidad, Media Peligrosidad y Alta Peligrosidad; y se ha levantado un total de 22 deslizamientos por medio de trabajo de campo y fotointerpretación.

La correlación refleja el grado de certidumbre que tiene el mapa final obtenido producto del análisis de todas las variables utilizadas, para esto se utilizó la herramienta Intersect del ArcGIS 10.8, así se pudo determinar que los deslizamientos se ubican en las 2 últimas clases de peligrosidad distribuyéndose de la siguiente manera:

Tabla 55: Correlación de los deslizamientos levantados con las diferentes clases de peligrosidad.

CÓDIGO	Clases de Peligrosidad a deslizamientos	Área (km ²)	Porcentaje (%)
PDD-001	Alta peligrosidad	0,000082	0,015
PDD-002	Media peligrosidad	0,000288	0,052
PDD-003	Alta peligrosidad	0,023742	4,274
PDD-004	Alta peligrosidad	0,000027	0,005
PDD-005	Alta peligrosidad	0,000115	0,021
PDD-006	Alta peligrosidad	0,00078	0,140
PDD-007	Alta peligrosidad	0,000769	0,139
PDD-008	Media peligrosidad	0,001018	0,183
PDD-009	Alta peligrosidad	0,001674	0,301
PDD-010	Media peligrosidad	0,000158	0,028
PDD-011	Alta peligrosidad	0,036084	6,495
PDD-012	Alta peligrosidad	0,010276	1,850
PDD-013	Alta peligrosidad	0,036258	6,527
PDD-014	Alta peligrosidad	0,234938	42,290
PDD-015	Alta peligrosidad	0,024212	4,358
PDD-016	Alta peligrosidad	0,080238	14,443
PDD-017	Media peligrosidad	0,00039	0,070
PDD-018	Alta peligrosidad	0,018728	3,371
PDD-019	Alta peligrosidad	0,000993	0,179
PDD-020	Alta peligrosidad	0,035273	6,349
PDD-021	Alta peligrosidad	0,001959	0,353
PDD-022	Alta peligrosidad	0,047545	8,558

Elaborado por: Sarango, (2022)



Análisis de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo, provincia de Loja



Tomando en cuenta el inventario de deslizamientos realizado, 3 deslizamientos se encuentran en zona de peligrosidad media y 19 deslizamientos en peligrosidad alta (***Anexo 17: Mapa de Correlación de Deslizamientos con la Peligrosidad***), lo cual tomando en cuenta la clasificación de alta peligrosidad da como resultado una correlación del 86.36% entre las zonas de peligrosidad y el inventario de deslizamientos.



7. Discusión

El análisis de los deslizamientos en la parroquia San Pedro de la Bendita son un tema importante de analizar dentro de la gestión de riesgos para el ordenamiento territorial, debido a que se convierte en una herramienta para desarrollar proyectos y tomar decisiones de uso de suelo acordes a los problemas y necesidades de la población; por ello es indispensable el generar información cartográfica certera y actualizada a nivel de escala local, para de esta manera aportar en el desarrollo ordenado y seguro del territorio estudiado.

La peligrosidad a deslizamientos se define como la probabilidad y la intensidad con la que se producen los deslizamientos en un periodo de tiempo determinado mediante el análisis de las variables de susceptibilidad y el factor desencadenante, la metodología aplicada para este estudio es el método de evaluación multicriterio o proceso de análisis jerárquico (AHP) desarrollado por Saaty (1980), donde se consideraron de las variables condicionantes de la inestabilidad: pendiente, geología, geomorfología y uso de suelo; y las variable desencadenante: intensidad de lluvia.

Regionalmente según publicaciones anteriores la parroquia San Pedro de la Bendita se encuentra descansando sobre las Unidades El Tigre, Yunguilla, Volcánicos Sacapalca y Formación Zapotillo-Ciano sin embargo, en esta investigación según la información base obtenida se determinó que el área de estudio está conformada por nueve Unidades Litoestratigráficas como son: la Unidad El Tigre con litologías de areniscas, limolitas y lutitas no metamorfizadas, la Unidad Chaguarpamba con presencia de sedimentos volcanoclásticos y material metamórfico, la Unidad Changaimina donde existen rocas de tipo lavas andesíticas a basálticas, la Unidad Yunguilla con presencia de filitas, lutitas y limolitas, la Unidad Guayabal con secuencias volcánicas y volcanosedimentarias de composición intermedia a acida, la Formación Catamayo con presencia de conglomerados, lutitas, limolitas y arcillas; Depósitos Aluviales y Coluviales con material poco consolidado con cantos y bloques de rocas ígneas y metamórficas y cuerpos Intrusivos Dioríticos y Granodioríticos.

En base los datos de pendientes y geomorfología se determinó 15 geoformas, a las cuales con la finalidad de obtener mejores resultados se le agregó una geoforma adicional que fueron los deslizamientos identificados en el área de estudio teniendo así un total de 16 formas de relieve: relieve montañoso, relieve colinado muy alto, relieve colinado medio, coluvión antiguo, relieve colinado alto, coluvión reciente, terraza media, coluvio aluvial antiguo, terraza baja y cauce actual, deslizamiento, superficie cono de deyección antiguo, superficie cono de



deyección reciente, relieve colinado bajo, coluvio aluvial reciente, neck y cerro testigo, ordenadas en función del área que abarcan en la parroquia.

El uso de suelo está distribuido de manera predominante por zonas de conservación y protección (clasificación que ocupa el 87,74 %), zona agrícola, agropecuario mixto, uso pecuario, agua, tierras improductivas e infraestructura, este último considerado el más importante ya que abarca zonas estratégicas como vías que es en donde generalmente se producen y se pueden evidenciar los deslizamientos principalmente por la acción antrópica.

Las intensidades de lluvia consideradas como factor desencadenante reflejan que para un periodo de retorno de 100 años en la parroquia San Pedro de la Bendita tenemos intensidades que oscilan en rangos de 0 a 11 mm/h, lo cual permite determinar que este factor influenciará de manera directa en este intervalo de tiempo para que se produzcan nuevos deslizamientos, esto debido a que el agua se infiltra y debilita los materiales haciendo menos resistente y por tanto más inestables.

Analizando la peligrosidad se puede tomar en cuenta el Proyecto de Fortalecimiento de Capacidades Institucionales Públicas y Comunitarias para la Gestión de Riesgos, en el cual se presenta un mapa de amenazas por movimientos en masa del Cantón Catamayo a escala 1:50 000 en el que se determina cinco niveles de amenaza: Sin, Baja, Media, Alta y Muy Alta amenaza.

En cuanto al análisis de peligrosidad de la parroquia San Pedro de la Bendita, refleja que el mayor porcentaje de peligro corresponde a **Alta Peligrosidad a deslizamientos** (69,66%), ubicada sobre formas de relieve como relieves montañosos; relieve colinado muy alto y relieve colinado alto, el uso de suelo es de conservación y protección, agropecuario mixto, infraestructura y pecuario, las pendientes van de ligeramente inclinadas a verticales con un rango de 15° a > 55°, las litologías representan aglomerados volcánicos en matriz arcillosa, brechas, tobas líticas, andesíticas y riolíticas de la Unidad Guayabal, areniscas y limolitas no metamorfizadas de la Unidad El Tigre, sedimentos volcanoclásticos, filitas, pizarras, limolitas y lutitas de Unidad Chaguarpamba, lavas andesíticas a basálticas de la Unidad Changaimina, limolitas, arcillas y metalutitas de la Unidad Yunguilla, las precipitaciones son considerables en cuanto a su intensidad con rangos de 4 a 11 mm/h por lo que inciden de manera significativa para que se produzcan deslizamientos. Esta clasificación se extiende por los sectores de



Alamala, Santiago, Naranjillo, Shilin, Las Chinchas, Girón, Tarapo, San Vicente, El Limo, Illaca y Chambellán.

La **peligrosidad media** representa un 25,57 % de territorio, extendiéndose principalmente por la cabecera parroquial, La Bendita, El Tingo, Alamala, Las Chinchas y Pueblo Viejo, abarca zonas con pendientes de ligera a fuertemente inclinadas (0° - 55°), usos de suelo conservación y protección, agropecuario mixto, pecuario e infraestructura, sobre litologías características de depósitos cuaternarios y de las Unidades Chaguarpamba, Guayabal, Changaimina, Yunguilla y Formación Catamayo y sobre geoformas como relieve montañoso, relieve colinado medio, relieve colinado muy alto, coluvión antiguo y neck. Las precipitaciones son menos intensas que las anteriores, pero igual reflejan mucha importancia en la ocurrencia de movimientos en masa.

La **clasificación de peligrosidad Muy Baja y Baja** se ubica en las riberas de los ríos Catamayo y Guayabal abarcando los barrios El Breo, El tingo y la cabecera parroquial de San Pedro de la Bendita, presentan zonas con unidades de relieve como terrazas bajas y medias, coluvio aluvial antiguo y reciente, coluvión reciente y antiguo, superficie cono de deyección reciente y antiguo, con litologías de clastos de material ígneo y metamórfico en una matriz arenosa propios de los depósitos cuaternarios (aluviales y coluviales) y por arcillas y limolitas de la formación Catamayo, con pendientes de ligera a muy inclinadas (0° a 35°) y usos principalmente agrícola, pecuario, agropecuario, infraestructura y agua. La intensidad de lluvia en estas zonas es de baja a media con rangos de 0 a 8 mm/h.

Estas clasificaciones de peligrosidad de manera general se correlacionan con los trabajos previos realizados en la parroquia principalmente en las zonas de baja, media y alta peligrosidad, su variación se da debido a las variables utilizadas, ya que el trabajo realizado por la secretaria nacional de riesgos utiliza pendientes, litología, estructuras, precipitación media anual, sismos y efectos antrópicos, mientras que en esta investigación se utilizó la geomorfología, pendientes, litología, uso de suelo y además el factor desencadenante de intensidad de lluvia con una evaluación de probabilidad del 1% con periodo de retorno de 100 años.

El resultado obtenido mediante esta metodología ha permitido definir las zonas con peligrosidad a deslizamientos tomando en cuenta el factor desencadenante, la correlación con el inventario de deslizamientos realizado y las zonas de peligrosidad refleja un 86.36% de



Análisis de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo, provincia de Loja



eficacia en el método utilizado ya que tomando en cuenta las clases de Alta Peligrosidad 19 de los 22 deslizamientos levantados están dentro de estas zonas, solamente tres deslizamientos se encuentra en la clasificación de Media Peligrosidad. Por lo expuesto anteriormente esta investigación de peligrosidad resulta ser una base de información confiable principalmente para procesos de desarrollo y ordenamiento territorial, asimismo, esta investigación servirá como base para estudios de vulnerabilidades y riesgos frente a deslizamientos que existen y que se producirán a través del tiempo en la parroquia.



8. Conclusiones

La parroquia San Pedro de la Bendita, está conformada por 9 Unidades Litológicas: Unidad El Tigre, Unidad Chaguarpamba, Unidad Changaimina, Unidad Yunguilla, Unidad Guayabal, Formación Catamayo, Depósitos Coluviales, Depósitos Aluviales, Intrusivo Granodiorítico e Intrusivo Diorítico, determinadas mediante el levantamiento de afloramientos, descripción macroscópica de las rocas y fotointerpretación.

Litológicamente en donde hay mayor peligrosidad a deslizamientos la parroquia se encuentra definida por tobas, filitas, cuarcitas, pizarras, lutitas y limolitas de la Unidad Chaguarpamba representando un 39 % de territorio, aglomerados en matriz arcillosa, brecha volcánica, tobas andesíticas, líticas, arenosas y de cristales, riolita y tobas riolíticas de la Unidad Guayabal con 35,39 %, limolitas, arcillas, metalutitas con intercalaciones de pizarras y filitas de la Unidad Yunguilla representan 10,29 % del área total, y con un porcentaje de 1 % corresponde a areniscas, limolitas y lutitas, no metamorfizadas con intercalaciones de cuarcitas, filitas y pizarras de la Unidad El Tigre.

En el área de estudio estructuralmente existen principalmente fallas y pliegues identificados mediante fotointerpretación y observación, siendo así se identificó 5 pliegues y 11 fallas geológicas.

La geomorfología en el área de estudio está conformada por un total de 16 geoformas de las cuales a nivel territorial las unidades geomorfológicas con relieve montañoso 109,84 km² (75,19 %), relieve colinado muy alto 15,26 km² (10,44 %), relieve colinado alto 2,60 km² (1,78 %), relieve colinado medio 6,97 km² (4,77 %) y relieve colinado bajo 0,17 km² (0,12 %) son en donde existe mayor peligrosidad a deslizamientos.

Las pendientes verticales con 0,17 km² (0,12 %), empinadas 42,72 km² (29,30 %), y muy inclinadas 79,07 km² (53,98 %) están asociadas a zonas con mayor peligrosidad, mientras que las pendientes fuertemente inclinadas 18,41 km² (12,56 %) y ligeramente inclinadas 5,92 km² (4,04 %) son las que se asocian a zonas de menor peligrosidad.

En el uso de suelo se identificó 7 categorías, de las cuales el mayor porcentaje es de uso de Conservación y Protección 87,74 % (129,33 km²) en donde se registran zonas con alta peligrosidad a deslizamientos, seguido por el uso agropecuario mixto 4,65 % (6,85 km²), pecuario 2,75 % (4,06 km²), agrícola 3,15 % (4,64 km²), infraestructura 1,22 % (1,80 km²) y



los usos de agua 0,43 % (0,63 km²) y tierras improductivas 0,06 % (0,08 km²) abarcan zonas con peligrosidades muy bajas a moderadas.

En cuanto a la intensidad de lluvias determinadas en base al método Gumbel para las 10 estaciones analizadas en un periodo de retorno de 100 años y con la probabilidad del 1% se concluye que la intensidad de lluvia media es la que mayor área representa (102,68 km²) teniendo un rango de precipitación de 4 a 8 mm/h, seguidas de las intensidades bajas (37,03 km²) con rango de 0 a 4 mm/h, ultimo las intensidades altas (6,97 km²) tienen un rango de 8 mm/h a 11 mm/h. Además, se determinó que a menor tiempo de duración mayor intensidad de lluvia o en su contrario en mayor tiempo, menor es la intensidad de las precipitaciones.

En la parroquia San Pedro de la Bendita el 4,68 % (6,87 km²) corresponde a muy baja peligrosidad, el 3,09 % (4,53km²) corresponde a baja peligrosidad a deslizamientos, el 33,15% (22,57km²) corresponde a peligrosidad media y el 69,66% (102,32km²) corresponde a una alta peligrosidad a deslizamientos, correlacionándose en parte con estudios realizados anteriormente en el sector.

Se establece que las zonas mayor propensas a deslizamientos se encuentran de media y alta peligrosidad las cuales tienen las siguientes características: pendientes muy inclinadas, empinadas y verticales, formas de relieve montañosos, colinado muy alto, alto, medio y bajo, usos de suelo de conservación y protección e infraestructura e intensidades de lluvia altas principalmente.

Se determina que la eficacia del método de evaluación multicriterio utilizado es de 86,36 % tomando en cuenta la correlación de los deslizamientos levantados y el mapa de peligrosidad final, ya que tenemos que de los 22 deslizamientos levantados 19 de ellos se sitúan en zonas de alta peligrosidad, el mismo que también ha sido correlacionado con estudios previos a diferente escala realizados en la zona de estudio, para ratificar la veracidad de los resultados.



9. Recomendaciones

Las ponderaciones dadas al utilizar la metodología de evaluación multicriterio por Análisis Jerárquico Analytic Hierarchy Process (AHP) desarrollado por Saaty (1980) deben ser acordes a la realidad y características de las variables ya que una mala ponderación puede traer consigo errores en los resultados.

Realizar estudios de caracterización geológica – geotécnica en las zonas de alta peligrosidad para así determinar a nivel puntual medidas estructurales de prevención y/o mitigación frente a deslizamientos.

En los deslizamientos encontrados se pueden aplicar medidas de estabilización por parte del GAD Parroquial, como impermeabilización, modificación geométrica del talud, drenaje, entre otros, según sea el caso de inestabilidad, lo cual ayudará a minimizar el riesgo que estos fenómenos representan a los pobladores de la parroquia San Pedro de la Bendita.

Profundizar el análisis de rangos de intensidad y duración de lluvias para la determinación de posibles deslizamientos, esto mediante el análisis de datos meteorológicos con intervalos de tiempo más antiguos.

Considerar la realización de un análisis de vulnerabilidad en el área de estudio como insumo para la una evaluación de riesgos geológicos y meteorológicos de la parroquia.

Considerar el presente trabajo de investigación dentro de la actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia, de tal manera que aporte en la toma de decisiones de uso de suelo y planificación en base a las características territoriales de San Pedro de la Bendita.



10. Bibliografía

- Alcaldia de Medellín, & Tecnológico de Antioquia I.U. (2016). Movimientos En Masa. *Alcaldia de Medellín, 1*, 25.
- Alcántara García, D. (2014). *Topografía y sus aplicaciones*. Editorial Continental.
- Arculus, J. ., Lapierre, H., & Jaillard, É. (1999). *Geochemical window into subduction and accretion processes: Rapas metamorphic complex*.
- Aspden, J., & Duque, P. (1995). *The El Oro Metamorphic Complex, Ecuador: geology and economic mineral deposits*.
- Ayala, L. (2018). *Notas Esenciales Sobre el Mapeo Geológico*.
<https://www.explorock.com/notas-esenciales-sobre-mapeo-geologico/>
- British Society for Geomorphology. (2019). *10 Razones por las cuáles la Geomorfología es importante*. 2–3.
- Burrough, P. (1986). *Principles of Geographical Inforamtion Systems for Land Resources Assessment*. Oxford University Press.
- Campos, A. (1978). Relacion de Estimacion de Precipitaciones de Lluvia Horaria-Diaria en dos zonas Geográficas de México. *Tecnología y Ciencias de Agua, 3* (2), 141–152.
<https://acortar.link/nDgzb8>
- Carihua, J., & Vargas, J. (2018). *Estimación de las Intensidades Máximas de Precipitación para Diferentes Tiempos de Duración y Periodos de Retorno, y su conseptualizacion en mapas para la Region de Huanuco*. Universidad Nacional Hermilio Valdizan.
- CENEPRED. (2019). Manual para la Evaluación del riesgo originador por Fenómenos Naturales. *Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción Del Riesgo de Desastres., 3*, 1–117. [https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Borrador EVAR V3/MANUAL_EVArv3-PRE.pdf](https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Borrador_EVAR_V3/MANUAL_EVArv3-PRE.pdf)
- Chuquimarca, J. L. (2015). *Susceptibilidad a Deslizamientos De La Parroquia San Pedro De La Bendita - Cabecera Parroquial; Cantón Catamayo, Provincia De Loja*. Universidad Nacional de Loja.



Cordinación Nacional de Protección Civil. (2016). *Causas que propician deslizamientos y medidas de prevención.*

Echevest, H. (2017). *Manual de Levantamiento Geológico.*

Gillispe, C. (1951). *Genesis and geology, a study relations of scientific thought, natural theology and social opinion in Great Britain.* Harvard Univ. Press.

Gobierno Autonomo Descentralizado Parroquial de San Pedro de la Bendita. (2019). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la parroquia San Pedro de la Bendita 2019-2023.*

Gómez, J. (2008). *Amenaza por deslizamiento en America Latina.* 81.

González de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica* (Prentice H).

Guachamín, J., García, F., Arteaga, M., & Cadena, J. (2015). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. In *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología* (Issue 2).

INAMHI. (2022). *Datos metereologicos de estaciones.*

Infante, A. R. (2000). Geomorfología. *Instituto Superior Minero Metalurgico Facultad De Geologia Y Minas*, 0–34.

INIGEMM. (2013). *Modelo piloto para la determinación del potencial geológico-mineralógico de las zonas Zaruma y Cariamanga escala 1:100000.*

INNOVA PERÚ Centro de Especialización. (2020). *Sistemas de Información Geográfica aplicados en la Gestión de Riesgo de Desastres.*

Jaillard, E., Ordoñez, M., Berrones, G., Bengston, P., Bonhome, M., Jimenez, M., & Zambrano, I. (1996). Sedimentary and tectonic evolution of the arc zone of Southwestern Ecuador during Late Cretaceous and Early Tertiary times. *Journal of South American Earth Sciences*, 134–139.

Jauregui, L. (2017). *Introducción a la topografía Luis Jauregui 1* (pp. 1–24). http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Topograf%EDa/TEMA_1.pdf



- Kissel, C., Mitouard, P., & Laj, C. (1990). *Post-Oligocene rotations in southern Ecuador and northern Perú, and the formation the Huancabamba deflection in the Andean Cordillera*. [http://doi.org/10.1016/0012-821X\(90\)90035-V](http://doi.org/10.1016/0012-821X(90)90035-V)
- Litherland, M., Aspden, J., & Jemielita, R. (1994). The metamorphic belt of Ecuador. *British Geological Survey*, 147.
- López Vergara, M. . (1988). *Manual de Fotogeología*. CIMET.
- Murillo, D., Ortega, I., Carrillo, J. D., Pardo, A., & Rendón, J. (2012). a Comparison of Interpolation Methods for Creating Noise Maps in Urban Environments. *Ing. USBMed*, 3(1), 2027–5846.
- Navarro, S. (2008). *Manual de Topografía-Planimetría*. Universidad de Sevilla.
- Orozco, O. O. (1996). *Atlas Regional de Impactos Derivados de las Actividades Petroleras en Coatzacoalcos, Veracruz* (Primera Ed).
- Saaty, T. L. (1980). *Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparison are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process*.
- Sánchez, J. (2008). Hidrología e Hidrogeología. In *San Ramon - Dpto. Geología - Universidad Salamanca - España* (Vol. 1, pp. 120–134). <http://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>
- SENPLADES. (2012). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel escala 1:25000*.
- Servicio Geológico Mexicano. (1999). *Que es la Geología*. gov.mx
- Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes En Zonas Tropicales*, 429–472.
- Suárez, J. (2009). Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Nomenclatura y Clasificación de los Movimientos. *Erosion.Com*, 36. www.erosion.com.co
- Subsecretaría de Gestion de la Información y Analisis de Riesgos. (2019). *Análisis de Amenaza*



Análisis de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo, provincia de Loja



ante Movimiento en Masa. Propuesta metodológica para el análisis de amenaza ante movimientos en masa en Ecuador Continental.

Tomlin, C. D. (1990). *Geographic information systems and cartographic modelling.*

Varela, R. (2014). *Manual de Geología.*

Varnes, D. . (1978). *Slope Movement Types and Processes.* TRB-NRC.



11. Anexos

Anexo 1. Mapa Geológico Regional

Anexo 2. Ficha de caracterización de afloramientos.

Anexo 3. Ficha de descripción macroscópica de rocas.

Anexo 4. Mapa Topográfico.

Anexo 5. Ficha de Inventario de Deslizamientos.

Anexo 6. Cálculo de Intensidades de Lluvia.

Anexo 7. Mapa Geológico Local.

Anexo 8. Fotointerpretación.

a) Delimitación Microcuencas

b) Análisis Red Hídrica

c) Análisis de la Forma del Relieve

d) Análisis del Tono

e) Análisis de la Textura

f) Análisis de la Vegetación

Anexo 9. Cortes Geológicos.

Anexo 10. Mapa de Inventario de Deslizamientos.

Anexo 11. Mapa Geomorfológico.

Anexo 12. Mapa de Pendientes

Anexo 13. Mapa de Uso de Suelo.

Anexo 14. Mapa de Intensidad de Lluvia

Anexo 15. Mapa de Peligrosidad a Deslizamientos.

Anexo 16. Mapa de Peligrosidad a Deslizamientos con periodo de retorno de 25 años.

Anexo 17. Mapa de Corroboración de Deslizamientos con la Peligrosidad.

(Ubicados en el CD Nro 1)



Anexo 18: Certificado de traducción de Resumen.

Lic. Luisa Alexandra Morocho Angamarca, Mg.
DOCENTE DE LA UNIDAD EDUCATIVA SAN BARTOLOME

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al inglés del resumen de la tesis titulada "ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD A DESLIZAMIENTOS EN LA PARROQUIA SAN PEDRO DE LA BENDITA, CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA" del sr. Félix David Sarango Torres, egresado de la carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifico en honor a la verdad y autorizo a los interesados hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Cuenca, 25 de julio de 2022

Luisa Alexandra Morocho Angamarca,
Licenciada en Ciencias de la Educación mención Idioma Inglés
1105212474