



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**

**Zonificación de susceptibilidad a deslizamientos a través de Sistemas de  
Información Geográfica, en la zona sur de la parroquia rural Bellavista, cantón  
Espíndola, provincia de Loja.**

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

**AUTOR:**

Alex Paúl Sánchez Reinoso

**DIRECTOR:**

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

Loja - Ecuador  
2022

## Certificación

Ingeniero.

Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN.**

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de titulación, realizado por el señor egresado: **Sánchez Reinoso Alex Paúl**, con C.I.; **1724734585**, en su proceso de investigación denominado: **Zonificación de susceptibilidad a deslizamientos a través de Sistemas de Información Geográfica, en la zona sur de la parroquia rural Bellavista, cantón Espíndola, provincia de Loja**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, el mismo que ha cumplido con el cien por ciento (100%) del trabajo de titulación, por lo que autorizo su presentación para la evaluación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 23 de marzo de 2022



Firmado electrónicamente por:  
**WALTER SIMON  
TAMBO ENCALADA**

---

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Alex Paúl Sánchez Reinoso**, declaro ser el autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o 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 Institucional - Biblioteca Virtual.

.....

**Firma**

**C.I.:** 1724734585

**Fecha:** 17 de junio del 2022

**Correo electrónico:** [apsanchezr@unl.edu.ec](mailto:apsanchezr@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0995777400 / 072139458

## **Carta de autorización**

Yo, **Alex Paúl Sánchez Reinoso**, declaro ser autor del trabajo de titulación: **Zonificación de susceptibilidad a deslizamientos a través de Sistemas de Información Geográfica, en la zona sur de la parroquia rural Bellavista, cantón Espíndola, provincia de Loja**, como requisito para optar al grado de: **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, 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, a los diecisiete días del mes de junio del dos mil veintidós, en la ciudad de Loja firma el autor.

**Firma:** .....

**Autor:** Alex Paúl Sánchez Reinoso

**Cédula:** 1724734585

**Dirección:** Cdla. Zamora Huayco, cl. Río Santiago entre cl. Río Upano y cl. Río Ucayali.

**Correo electrónico:** apsanchezr@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0995777400 / 072139458

### **DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Trabajo de Titulación:** Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

**Tribunal de Grado:**

- Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho, Mg. Sc.
- Ing. Carlos Danilo Ortega Vallejo, Mg. Sc.
- Ing. Maritza Ximena Ochoa Tapia, Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

*Para mi familia, por ser el pilar más importante en mi vida y mi razón de ser.*

*Mis abuelos; Julio Sánchez, Rosa Ortega y María Magdalena, por acogerme en mi vida universitaria y quererme con su amor tan sincero, brindarme su apoyo incondicional y la sabiduría para afrontar la vida.*

*Mis padres; Nelson Aníbal y Mariana de Jesús, por guiarme, aconsejarme y darme la mejor enseñanza de vida para afrontar las adversidades y quienes a pesar de la distancia nunca me dejaron solo.*

*A mis hermanos; Andrés Fernando, Julio César y Joel Alexander a quienes tanto quiero y aprecio, y en especial a mi hermano Nelson Aníbal, por ser mi ejemplo a seguir, la persona que más admiro y mi inspiración para ser mejor persona.*

***Alex Paúl Sánchez Reinoso***

## **Agradecimiento**

*A la Universidad Nacional de Loja, por abrirme sus puertas y permitirme culminar una etapa maravillosa en mi vida, formándome en lo profesional y personal.*

*A la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial y a todos sus docentes, quienes a lo largo de mi vida universitaria compartieron sus conocimientos, consejos y paciencia para mi formación profesional.*

*A mi director de Tesis, Ing. Walter Tambo Mg. Sc., por su tiempo como docente y también guía en el desarrollo de mi trabajo de titulación, a quién le agradezco por su amabilidad, paciencia y tiempo dedicado en encaminar de la mejor manera la culminación de mi proyecto.*

*A mis abuelos, padres, hermanos y demás familiares por nunca dejarme solo, por sus consejos, aliento y apoyo incondicional, los cuales motivan mi vida para alcanzar mis metas y ser mejor persona cada día.*

*A Bri, por los años y momentos vividos y ser cómplice de mis triunfos y frustraciones.*

*A mis amigos y compañeros que me brindaron su valiosa amistad, consejos y grandes momentos vividos.*

***Alex Paúl Sánchez Reinoso***

## Índice de Contenidos

Certificación .....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria .....	v
Agradecimiento .....	vi
Índice de contenidos.....	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras .....	xii
Índice de anexos .....	xv
1. Título .....	1
2. Resumen .....	2
2.1 Abstract .....	3
3. Introducción.....	4
4. Marco Teórico .....	7
4.1 Susceptibilidad a deslizamientos.....	7
4.2 Fenómenos de Remoción en Masa.....	8
4.2.1 Clasificación.....	9
4.2.1.1 Deslizamientos. ....	9
4.2.2 Causas generales de los movimientos del terreno.....	13
4.3 Sistemas de Información Geográfica .....	14
4.3.1 Partes de un SIG.....	14
4.4 Integración de los SIG con los métodos de susceptibilidad.....	15
4.4.1 Elaboración de mapas de susceptibilidad.....	15
4.4.2 Métodos de análisis SIG en susceptibilidad.....	15
4.4.2.1 Métodos Cualitativos.....	15
4.4.2.2 Métodos Cuantitativos.....	16

4.4.2.3 Métodos Semi- cuantitativos.....	16
5. Metodología.....	17
5.1 Área de estudio.....	17
5.1.1 Acceso.....	17
5.1.2 Clima.....	18
5.1.3 Hidrografía.....	18
5.2 Materiales.....	19
5.3 Método de estudio.....	20
5.4 Metodología de trabajo.....	20
5.4.1 Metodología para el primer objetivo.....	20
5.4.1.1 Mapa topográfico.....	21
5.4.1.2 Mapa de pendientes.....	21
5.4.1.3 Mapa de cobertura y uso actual del suelo.....	22
5.4.1.4 Mapa Geológico.....	28
5.4.1.5 Geomorfología.....	29
5.4.1.6 Isoyetas.....	32
5.4.2 Metodología para el segundo objetivo.....	34
5.4.3 Metodología para el tercer objetivo.....	34
5.4.3.1 Suma Ponderada.....	36
6. Resultados.....	38
6.1 Análisis de variables susceptibles a deslizamientos.....	38
6.1.1 Topografía.....	38
6.1.2 Pendientes.....	38
6.1.3 Cobertura y Uso Actual del Suelo.....	40
6.1.4 Geología.....	44
6.1.4.1 Geología Regional.....	44
6.1.4.2 Geología Local.....	45



6.1.5 Geomorfología .....	63
6.1.5.1 Unidad genética. ....	65
6.1.5.2 Unidad geomorfológica. ....	66
6.1.6 Isoyetas.....	72
6.2 Inventario de deslizamientos.....	73
6.3 Implementación del Método Jerárquico Analítico AHP de Saaty .....	85
6.3.1 Valoración y normalización de variables de susceptibilidad a deslizamientos... 85	
6.3.1.1 Variable Geomorfología.....	87
6.3.1.2 Variable Geología.....	89
6.3.1.3 Variable Pendientes. ....	90
6.3.1.4 Variable Cobertura y Uso Actual del Suelo. ....	92
6.3.1.5 Variable Precipitaciones (isoyetas). ....	93
6.4 Mapa de susceptibilidad a deslizamientos .....	95
6.5 Correlación Inventario de Deslizamientos .....	98
7. Discusión .....	100
8. Conclusiones.....	103
9. Recomendaciones .....	106
10. Bibliografía.....	107
11. Anexos.....	110

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos con base en la observación de la morfología del terreno.....	7
<b>Tabla 2.</b> Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos.....	8
<b>Tabla 3.</b> Clasificación abreviada de movimientos de ladera, según Varnes (1978).....	9
<b>Tabla 4.</b> Causas de los movimientos del terreno .....	13
<b>Tabla 5.</b> Micro cuencas de la parroquia rural Bellavista.....	18
<b>Tabla 6.</b> Materiales de campo y oficina .....	19
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de las pendientes (Demek, 1972) .....	22
<b>Tabla 8.</b> Tipos de uso y cobertura vegetal.....	23
<b>Tabla 9.</b> Cobertura y uso de suelo modificado para la zona sur de la parroquia Bellavista....	24
<b>Tabla 10.</b> Ubicación de la Hoja Geológica Las Aradas a escala 1:100 000.....	28
<b>Tabla 11.</b> Sistema de clasificación de unidades geomorfológicas del área de estudio .....	30
<b>Tabla 12.</b> Estaciones meteorológicas del sector de estudio.....	33
<b>Tabla 13.</b> Esquema del Método AHP de Saaty .....	35
<b>Tabla 14.</b> Escala de Saaty para determinar el valor de xij .....	35
<b>Tabla 15.</b> Barrios principales del área de estudio y sus cotas .....	38
<b>Tabla 16.</b> Valores de pendiente del área de estudio .....	39
<b>Tabla 17.</b> Valores de Cobertura y Uso Actual del Suelo del área de estudio.....	40
<b>Tabla 18.</b> Puntos de validación de cobertura y uso actual del suelo del área de estudio .....	41
<b>Tabla 19.</b> Afloramientos mapeados en el área de estudio .....	46
<b>Tabla 20.</b> Puntos de verificación litológico del área de estudio.....	47
<b>Tabla 21.</b> Valores de la geología del área de estudio .....	63
<b>Tabla 22.</b> Valores de unidades geomorfológicas del área de estudio.....	64
<b>Tabla 23.</b> Puntos de validación de unidades geomorfológicas del área de estudio.....	64
<b>Tabla 24.</b> Valores de precipitación media anual (mm/año) de estaciones meteorológicas consideradas para el área de estudio .....	72
<b>Tabla 25.</b> Valores de precipitación media anual (mm/año) del área de estudio.....	73
<b>Tabla 26.</b> Inventario de deslizamientos localizados en el área de estudio .....	74
<b>Tabla 27.</b> Valoración y normalización de variables susceptibles a deslizamientos en el área de estudio .....	86
<b>Tabla 28.</b> Valoración y normalización de la variable geomorfología en matriz de Thomas Saaty, 1980.....	87

<b>Tabla 29.</b> Valoración y normalización de la variable geología en matriz de Thomas Saaty, 1980 .....	89
<b>Tabla 30.</b> Valoración y normalización de la variable pendientes en matriz de Thomas Saaty, 1980.....	90
<b>Tabla 31.</b> Valoración y normalización de la variable cobertura y uso actual del suelo en matriz de Thomas Saaty, 1980.....	92
<b>Tabla 32.</b> Valoración y normalización de la variable precipitaciones en matriz de Thomas Saaty, 1980.....	93
<b>Tabla 33.</b> Clases de susceptibilidad a deslizamientos según criterios de Sarkar & Kanungo (2004).....	95
<b>Tabla 34.</b> Correlación entre deslizamientos inventariados y zonas susceptibles a deslizamientos en el área de estudio.....	99
<b>Tabla 35.</b> Eficiencia del proceso de valoración entre deslizamientos levantados y las zonas susceptibles a deslizamientos del área de estudio.....	100

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Nomenclatura de un deslizamiento.....	10
<b>Figura 2.</b> Dimensiones de los deslizamientos .....	11
<b>Figura 3.</b> Desplazamiento de rotación en una ladera .....	12
<b>Figura 4.</b> Deslizamiento de traslación de una ladera.....	13
<b>Figura 5.</b> Ubicación geográfica del área de estudio, zona sur de la parroquia Bellavista, cantón Espíndola.....	17
<b>Figura 6.</b> Fotointerpretación de ortofoto y digitalización de polígonos de pastizales en ArcMap 10.5.....	25
<b>Figura 7.</b> Fotointerpretación de ortofoto y digitalización de polígonos de cultivos en ArcMap 10.5.....	26
<b>Figura 8.</b> Fotointerpretación de ortofoto y digitalización de polígonos de vegetación herbácea en ArcMap 10.5 .....	26
<b>Figura 9.</b> Visualización y fotointerpretación del área de estudio en Google Earth Pro 7.3 para cobertura y uso actual del suelo .....	27
<b>Figura 10.</b> Comparación de imágenes satelitales entre Google Earth Pro (versión 7.3) y ArcGIS (10.5).....	27
<b>Figura 11.</b> Modelo TIN del área de estudio en 3D visto en ArcScene 10.5.....	30
<b>Figura 12.</b> Ortofoto del área de estudio en 3D visto en ArcScene 10.5 .....	31
<b>Figura 13.</b> Edición de polígonos de unidades geomorfológicas sobre base del modelo TIN en ArcMap 10.5 .....	31
<b>Figura 14.</b> Edición de polígonos de unidades geomorfológicas sobre ortofoto en ArcMap 10.5 .....	32
<b>Figura 15.</b> Herramienta Suma Ponderada - Weighted Sum en ArcGIS 10.5.....	37
<b>Figura 16.</b> Vegetación arbustiva PC CUS1 .....	41
<b>Figura 17.</b> Vegetación arbustiva PC CUS2.....	41
<b>Figura 18.</b> Pastizal PC CUS3 .....	42
<b>Figura 19.</b> Pastizal PC CUS7 .....	42
<b>Figura 20.</b> Vegetación herbácea PC CUS10 .....	42
<b>Figura 21.</b> Cultivo PC CUS6.....	43
<b>Figura 22.</b> Cultivo PC CUS9.....	43
<b>Figura 23.</b> Cuerpo de agua PC CUS5.....	43
<b>Figura 24.</b> Cuerpo de agua PC CUS11.....	43

<b>Figura 25.</b> Área poblada PC CUS12 .....	43
<b>Figura 26.</b> Localización de afloramientos y puntos de control litológico en el área de estudio .....	48
<b>Figura 27.</b> Afloramiento No. 3 en la vía Amaluza-Bellavista.....	49
<b>Figura 28.</b> Afloramiento No. 35 en la vía a San Ramón .....	50
<b>Figura 29.</b> Afloramiento No. 44 en vía Bellavista-Llamacanche.....	51
<b>Figura 30.</b> Afloramiento No. 40 en el sector San Ramón .....	52
<b>Figura 31.</b> Afloramiento No. 49 en el sector Piedra Blanca .....	53
<b>Figura 32.</b> Afloramiento No. 50 en el sector Piedra Blanca .....	54
<b>Figura 33.</b> Afloramiento No. 52 en la vía Piedra Blanca-Llamacanche .....	55
<b>Figura 34.</b> Afloramiento No. 53 en la vía Piedra Blanca-Llamacanche .....	56
<b>Figura 35.</b> Afloramiento No, 54 en la vía Piedra Blanca-Llamacanche .....	57
<b>Figura 36.</b> Afloramiento No. 11 en la vía Cerro Guambo .....	58
<b>Figura 37.</b> Afloramiento No. 26 en la vía San José .....	59
<b>Figura 38.</b> Depósito aluvial situado a los márgenes del río Espíndola .....	60
<b>Figura 39.</b> Afloramiento No. 46 (contacto litológico) en el sector Llamacanche.....	60
<b>Figura 40.</b> Brecha volcánica.....	61
<b>Figura 41.</b> Veta de cuarzo .....	61
<b>Figura 42.</b> Falla inferida sector Condorhuasi.....	62
<b>Figura 43.</b> Falla inversa inferida sector San Ramón .....	62
<b>Figura 44.</b> Relieve montañoso PC GEO1 .....	66
<b>Figura 45.</b> Relieve montañoso PCGEO2 .....	66
<b>Figura 46.</b> Relieve colinado alto PC GEO3 .....	67
<b>Figura 47.</b> Relieve colinado alto PCGEO4 .....	67
<b>Figura 48.</b> Coluvio aluvial antiguo PC GEO5 .....	68
<b>Figura 49.</b> Coluvio aluvial antiguo PCGEO6 .....	68
<b>Figura 50.</b> Coluvión reciente PC GEO7.....	69
<b>Figura 51.</b> Coluvión antiguo PCGEO8 .....	69
<b>Figura 52.</b> Terraza media PC GEO9 .....	69
<b>Figura 53.</b> Terraza media PC GEO10 .....	70
<b>Figura 54.</b> Terraza baja PC GEO11 .....	70
<b>Figura 55.</b> Terraza baja PC GEO12 .....	71
<b>Figura 56.</b> Laguna PC GEO13 .....	71

<b>Figura 57.</b> Deslizamiento PC GEO14 .....	72
<b>Figura 58.</b> Deslizamiento No.1 en la vía Amaluza-Bellavista .....	75
<b>Figura 59.</b> Deslizamiento No.2 en la vía Amaluza-Bellavista .....	76
<b>Figura 60.</b> Deslizamiento No.3 en la vía Amaluza-Bellavista .....	77
<b>Figura 61.</b> Deslizamiento No.4 en la vía Amaluza-Bellavista .....	78
<b>Figura 62.</b> Deslizamiento No.5 en la vía Bellavista-Llamacanche .....	79
<b>Figura 63.</b> Deslizamiento No. 5 (flanco oeste), intervenido por maquinaria pesada .....	80
<b>Figura 64.</b> Deslizamiento No. 5 (flanco este), tipo rotacional .....	81
<b>Figura 65.</b> Deslizamiento No.6 en la vía al barrio San José .....	81
<b>Figura 66.</b> Deslizamiento No.7 en la vía al barrio San José .....	82
<b>Figura 67.</b> Deslizamiento No.8 en la vía al barrio San José .....	83
<b>Figura 68.</b> Deslizamiento No.9 en la vía al barrio San José .....	84

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1.</b> Mapa de red hídrica.....	110
<b>Anexo 2.</b> Descripción de afloramientos.....	110
<b>Anexo 3.</b> Inventario de estaciones meteorológicas (INAMHI) .....	110
<b>Anexo 4.</b> Inventario de deslizamientos .....	110
<b>Anexo 5.</b> Mapa topográfico .....	110
<b>Anexo 6.</b> Mapa de pendientes .....	110
<b>Anexo 7.</b> Mapa de cobertura y uso actual del suelo.....	110
<b>Anexo 8.</b> Hoja geológica Las Aradas escala 1:100 000.....	110
<b>Anexo 9.</b> Mapa geológico .....	110
<b>Anexo 10.</b> Mapa geomorfológico .....	110
<b>Anexo 11.</b> Mapa de isoyetas (precipitaciones) .....	110
<b>Anexo 12.</b> Mapa de susceptibilidad a deslizamientos.....	110
<b>Anexo 13.</b> Certificación de traducción del resumen .....	111

## **1. Título**

Zonificación de susceptibilidad a deslizamientos, a través de Sistemas de Información Geográfica, en la zona sur de la parroquia rural Bellavista, cantón Espíndola, provincia de Loja.



## 2. Resumen

El presente proyecto de investigación se centra en realizar un mapa de susceptibilidad a deslizamientos en la zona sur de la parroquia rural Bellavista en el cantón Espíndola de la provincia de Loja, usando para ello los Sistemas de Información Geográfica o SIG como herramienta de vinculación a este tipo de fenómenos de remoción en masa. Para esto, es necesario generar mapas temáticos de los factores condicionantes del terreno como geomorfología, geología, pendientes, cobertura y uso actual del suelo además de considerarse las precipitaciones. Pese a que en este tipo de estudios no se analizan factores desencadenantes, se lo ha hecho así por reflejar la realidad que existe en la parroquia Bellavista en cuanto a la incidencia de las lluvias en la presencia de deslizamientos. Para la generación de los mapas fue necesario levantamiento de información en campo, así como en oficina, además de realizar un inventario de deslizamientos para correlacionar los resultados.

Para la obtención del mapa de susceptibilidad a deslizamientos, se ha optado por aplicar la metodología del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) de Thomas Saaty (1980), al ser un método semicuantitativo multicriterio que permite al autor analizar y valorar las variables y subvariables asociados a la generación de deslizamientos según su grado de incidencia. Así, este análisis dio como resultado el siguiente orden jerárquico de variables; geomorfología, geología, pendientes, cobertura y uso del suelo y precipitaciones. Luego de la asignación de pesos, la información es geoprocesada en el software ArcGIS 10.5, el cual realiza una superposición de todos los mapas creados usando la herramienta “Suma Ponderada” obteniéndose así el mapa de susceptibilidad a deslizamientos.

Los resultados obtenidos reflejan que el 55,51 % del territorio presenta una moderada susceptibilidad, 29,22 % alta susceptibilidad, 11,71 % baja susceptibilidad y con un 2,64 % y 0,92 % del área existe una muy alta susceptibilidad y muy baja susceptibilidad respectivamente. Esto fue correlacionado con el inventario de deslizamientos (9 en total) para los cuales se obtuvo que la mayoría de ellos se encuentran dentro de la clase de *alta* y *muy alta susceptibilidad*, por ello, se ha obtenido que la eficiencia del proceso de evaluación fue del 89,00 %. Así, se considera que el área de estudio se encuentra bajo condiciones favorables y latentes de que se susciten deslizamientos y genere riesgo en la población.

- **Palabras clave:** SIG, deslizamientos, susceptibilidad, factores condicionantes, geología, Saaty, Bellavista.

## 2.1 Abstract

This research project focuses on making a landslide susceptibility map for the southern area of Bellavista in Espindola, Loja. To do this, Geographic Information Systems (GIS) were used as a link tool for this type of mass removal phenomena. Therefore, it is necessary to generate thematic maps about the determining factors of land such as geomorphology, geology, slopes, coverage, current land use, and also precipitation. Even though determining factors are not usually analyzed in this type of study, they are taken into account in this research to reflect the reality in Bellavista regarding the influence that rain has on landslides. For generating the maps, it was necessary to collect information by doing fieldwork, analyze the data and compare it to previous studies, and do an inventory of landslides to correlate the results.

To create the landslide susceptibility map, it has been decided to apply Thomas Saaty's (1980) methodology of the Analytical Hierarchy Process (AHP) since it is a semi-quantitative multicriteria method that makes it possible to analyze and assess the variables and sub-variables related to landslide generation according to their degree of impact. Thus, this analysis resulted in the following hierarchical order of variables; geomorphology, geology, slopes, land coverage and use, and precipitation. After assigning the hierarchical order, the information is processed in ArcGIS 10.5, which is a software that makes a superposition of all the maps created by using the "Weighted Sum" tool, then the landslide susceptibility map is generated as a result.

The results obtained reflect that 55.51% of the land presents moderate susceptibility, 29.22% high susceptibility, 11.71% low susceptibility, 2.64% very high susceptibility, and 0.92% of the land presents very low susceptibility. This was correlated to the inventory of landslides (9 in total); for which, it was found that most of them present high and very high susceptibility. For that reason, it was discovered that the efficiency of the evaluation process was 89.00%. Hence, it is considered that the studied area of land is under favorable and latent conditions for landslides to occur and risk the population..

- **Keywords:** GIS, landslides, susceptibility, determining factors, geology, Saaty, Bellavista.

### **3. Introducción**

Para Suárez (1998), la susceptibilidad por lo general tiende a expresar la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones intrínsecas del terreno, es decir que es propia del terreno que indica que tan favorable o desfavorable son las condiciones que presenta para que llegue a ocurrir deslizamientos.

Los fenómenos de remoción en masa o FRM, son uno de los principales peligros geológicos a los cuales la población se encuentra expuesta. Considerando a los deslizamientos como uno más comunes, es importante estudiarlos, conocer su naturaleza y aquellos factores que los desatan, para de esta manera controlarlos mediante métodos de estabilización, evitando así problemas que pudiesen llegar a ocasionar en caso de que se presenten. Así mismo, es importante señalar que en los últimos años la vinculación de los Sistemas de Información Geográfica para analizar, evaluar y solventar estos problemas geológicos ha tenido un auge importante, considerando el potencial que ofrecen los SIG para el procesamiento de información geográfica, la fotointerpretación de imágenes satelitales y ortofotos, manejo de datos espaciales, etc., contribuyen enormemente a la sociedad en ámbitos de gestión, prevención y mitigación por deslizamientos o cualquier otro FRM, aportando al desarrollo y planificación de un territorio en particular.

Se sabe que el área de estudio tiene varios antecedentes respecto a problemas causados por los deslizamientos, por ello, en el PDOT Parroquial de Bellavista se menciona y zonifica aquellas zonas que representan mayor amenaza para la población, así como zonas vulnerables y de alto riesgo. Sin embargo, no existen estudios relacionados a susceptibilidad a deslizamientos, por lo que el desarrollo de la presente investigación tiene como objetivo y alcance el poder generar información que resulte útil al GAD Parroquial y se tome iniciativa en realizar estudios más enfocados a este ámbito y así generar buenas bases para un desarrollo ideal y sin riesgos para su población.

Por ello, el presente proyecto nace bajo la problemática que presenta la parroquia Bellavista respecto a los deslizamientos que se generan en el sector, especialmente en las temporadas invernales donde el sector económico y social es el más golpeado, pues muchas de las veces las vías de comunicación son inhabilitadas producto de deslizamientos que cierran los principales caminos de la parroquia, dejando incomunicada y vulnerable a los pobladores.

Así, es importante el desarrollo del proyecto pues tiene como finalidad vincular los SIG con la temática relacionada a susceptibilidad de deslizamientos en la zona sur de la parroquia rural

Bellavista, aplicando para ello metodologías de trabajo que asocien lo teórico-práctico con lo informático al generar bases de información útil para ser geoprocesada en los SIG y que generen información importante respecto a aquellas zonas donde existe mayor susceptibilidad a deslizamientos y que en base a ello, se brinde información a su población para resguardar su integridad, entre muchos otros beneficios.

Con el desarrollo de la presente investigación, se pretende brindar información útil respecto a zonas susceptibles a deslizamientos en el sitio, pudiendo resultar de gran ayuda en el desarrollo de la parroquia Bellavista, en la actualización de los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, así como en la toma de decisiones del GAD Parroquial en cuanto a futuros proyectos sociales, económicos y urbanísticos que pueda llegar a beneficiar a su población y velar por el bien común de los mismos.

## **Objetivos**

### **General**

- Elaborar el mapa de zonificación de susceptibilidad a deslizamientos, correspondiente a la zona sur de la parroquia rural Bellavista del cantón Espíndola, provincia de Loja.

### **Específicos**

- Generar los mapas temáticos de las variables a analizar como son la geología, geomorfología, pendientes, uso actual del suelo e isoyetas como cartografía base para el análisis de susceptibilidad a deslizamientos a través del trabajo de campo y el análisis y procesamiento de imágenes satelitales.
- Realizar el levantamiento y caracterización de deslizamientos encontrados mediante un inventario a través de la observación directa y levantamiento de datos en campo.
- Jerarquizar y ponderar las variables utilizadas para la susceptibilidad a deslizamientos mediante el método estadístico multicriterio de jerarquización analítica (AHP - Analytic Hierarchy Process) de Saaty, 1980.

## 4. Marco Teórico

### 4.1 Susceptibilidad a deslizamientos

La susceptibilidad del terreno a deslizarse, se entiende como la posibilidad o favorabilidad del medio físico y elementos inherentes del suelo o superficie (como geología, geomorfología, pendiente, usos del suelo, cobertura del suelo, etc.) a que ocurran los movimientos en masa, es decir, indica que tan favorable o desfavorable son las propiedades o condiciones del terreno para que se desate un deslizamiento (Suárez, 2009).

La susceptibilidad se define como la propensión o preferencia de un determinado sitio a ser afectado o encontrarse bajo influencia de un proceso puntual, en este caso los movimientos en masa (Ayala Carcedo y Corominas, 2002).

En definitiva, se trata en cuán favorable es el ambiente físico del terreno y de sus propiedades para la ocurrencia de estos movimientos gravitacionales, es decir, la susceptibilidad indica la predisposición del terreno a deslizarse, pero no implica el aspecto temporal del mismo.

En la Tabla 1 se presenta la clasificación de susceptibilidad a deslizamientos de acuerdo a la morfología del terreno descrita por Crozier (1986).

**Tabla 1. Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos con base en la observación de la morfología del terreno**

Susceptibilidad	Criterio
VI Muy alta	Taludes con deslizamientos activos. Los movimientos pueden ser continuos o estacionarios.
V Alta	Taludes sujetos con frecuencia a actividades de deslizamiento. La activación de los deslizamientos resulta cuando ocurren eventos con intervalos de recurrencia menor a cinco años.
IV Medianamente alta	Taludes con actividad de deslizamientos poco frecuente. La activación de deslizamientos ocurre en los eventos con intervalos de recurrencia mayores a cinco años
III Mediana	Taludes con antigua evidencia de actividad de deslizamiento, pero que no han presentado movimientos en los últimos cien años.
II Baja	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos, pero que se consideran probables que se desarrollen en el futuro. Sin embargo, los análisis de esfuerzos como la analogía con otros taludes o el análisis de los factores, muestran una posibilidad baja de que lleguen a presentarse deslizamientos.
I Muy baja	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos y que, por análisis de esfuerzos, analogías con otros taludes, o por análisis de los factores de estabilidad, se considera muy improbable que se desarrollen deslizamientos en el futuro previsible.

*Fuente: Crozier (1986)*

En la Tabla 2 se define los criterios para determinar los distintos grados de susceptibilidad a deslizamientos según Sarkar & Kanungo (2004).

**Tabla 2. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos**

<b>Susceptibilidad</b>	<b>Criterio</b>
Muy alta	Laderas con zonas de fallas, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe una alta posibilidad de que ocurran.
Alta	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta a moderadas y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
Moderada	Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados, donde no han ocurrido deslizamientos, pero no existe completa seguridad de que no ocurran.
Baja	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados, no saturados, con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.
Muy baja	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos.

*Fuente: Sarkar & Kanungo (2004)*

Suárez (2009): “El mapa de susceptibilidad muestra donde hay o no, condiciones para que puedan ocurrir deslizamientos. La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como una lluvia o un sismo NO se considera en un análisis de susceptibilidad” (p. 533).

#### **4.2 Fenómenos de Remoción en Masa**

Los procesos o fenómenos de remoción en masa (FRM) son movimientos gravitacionales que se producen por factores naturales, así como antrópicos (actividades humanas) causando en muchos de los casos serios daños.

Según Suárez (1998), las zonas de montañas tropicales tienden a ser generalmente muy susceptibles a presentar estos problemas, principalmente porque tienden a conjugarse algunos elementos que propician o activan estos movimientos de remoción en masa tales como: el gradiente topográfico, la sismicidad, la meteorización de los materiales y las precipitaciones intensas.

Varnes (1978) por otra parte definió a estos fenómenos como movimientos ladera abajo o hacia fuera por acción gravitacional, siendo fundamental la intromisión de un factor detonante que desencadene o active dicho movimiento, como la acción sísmica, volcánica, humedad del terreno o la presión de gases.

Es fundamental conocer sobre la dinámica de estos fenómenos geológicos, en especial cuando a deslizamientos se refiere, puesto que son de los más destructivos y mucho más cuando causan importantes daños a la vida humana produciendo muerte y destrucción a la propiedad (Brabb & Harrod, 1989). Análogamente, González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, y Oteo (2002),

hace mención a los problemas que se generan por estos procesos, siendo riesgos geológicos potenciales, que pueden llegar a causar daños de tipo; económicos, sociales y humanos, al afectar sus actividades y construcciones.

#### 4.2.1 Clasificación

La clasificación más usada y aceptada para los movimientos de remoción en masa, es la planteada por Varnes (1978) en la cual relaciona el tipo de movimiento asociado al tipo de material.

En la tabla 3 se presenta la clasificación de los diferentes tipos de movimientos de ladera definidos por Varnes (1978).

**Tabla 3. Clasificación abreviada de movimientos de ladera, según Varnes (1978)**

Tipo de movimiento	Tipo de material		
	Roca	Suelo	
		Grano grueso	Grano Fino
<i>Caídas</i>	Caída de rocas	Caída de detritos	Caída de suelos
<i>Basculamientos</i>	Basculamiento de rocas	Basculamiento de detritos	Basculamiento de suelos
<i>Deslizamientos</i>	<i>Rotacionales</i> Deslizamiento rotacional de rocas	Deslizamiento rotacional de detritos	Deslizamiento rotacional suelos
	<i>Traslacionales</i> Deslizamiento traslacional de rocas	Deslizamiento traslacional de detritos	Deslizamiento traslacional de suelos
<i>Separaciones laterales</i>	Separación lateral en roca	Separación lateral en detritos	Separación lateral en suelos
<i>Flujos</i>	Flujos de rocas	Flujos de detritos	Flujo de suelos
<i>Complejos</i>	Combinación de dos o más tipos		

*Fuente: Varnes (1978)*

##### 4.2.1.1 Deslizamientos.

Son movimientos ladera debajo de una masa de suelo o roca, que ocurre preferentemente a lo largo de una superficie de falla (Cruden & Varnes, 1996).

Los deslizamientos, es todo aquel movimiento ladera abajo de una masa de roca, tierra o escombros, debido a la fuerza de gravedad, incluyendo entre ellos los flujos a lo largo de los cauces cuando el material se mezcla con la corriente del agua (Ojeda & Muñoz, 2001).

Así, en la Figura 1 se presenta las partes de un deslizamiento en términos generales definido por Suárez (2009).



#### 4.2.1.1.1 Partes de un deslizamiento.

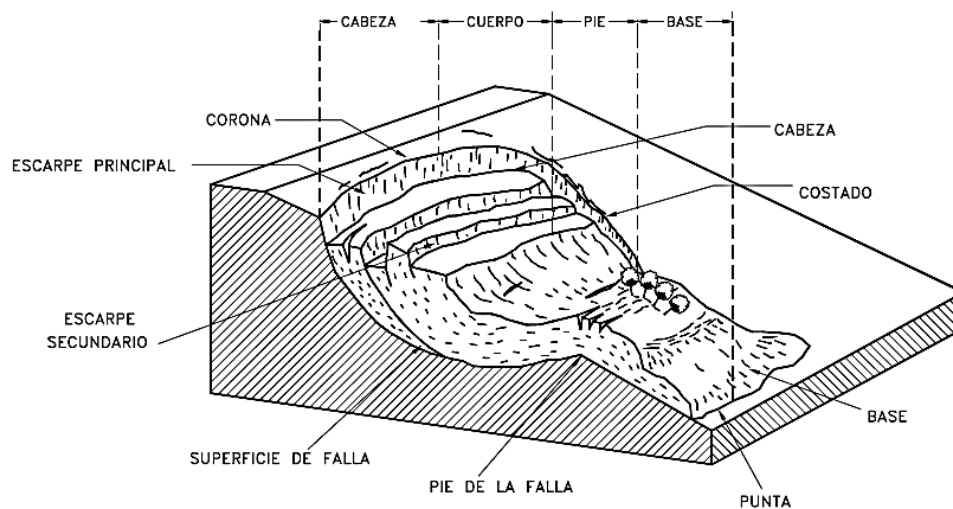


Figura 1. Nomenclatura de un deslizamiento

Fuente: Suárez (2009)

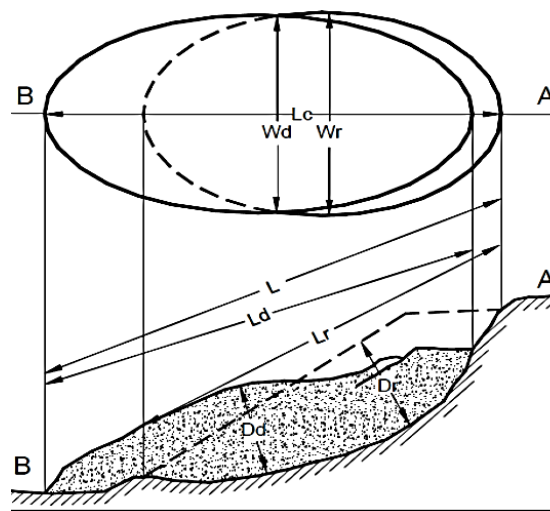
Para Suárez Díaz (2009), las partes que conforman un deslizamiento son:

- **Cabeza:** corresponde a la parte superior del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- **Cima:** Es el punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- **Corona:** El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.
- **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. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.
- **Escarpe secundario:** Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.
- **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.
- **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.
- **Base:** El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

- **Punta o uña:** El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
- **Cuerpo principal del deslizamiento:** El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.
- **Superficie original del terreno:** La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.
- **Costado o flanco:** Un lado (perfil lateral) del movimiento.

#### 4.2.1.1.2 Dimensiones.

En la figura 2, se muestra las dimensiones morfométricas de un deslizamiento en términos generales, la cual ha sido definida según Suárez (2009).



**Figura 2. Dimensiones de los deslizamientos**

*Fuente: Suárez (2009)*

- **Ancho de la masa desplazada (Wd):** Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud,  $L_d$ .
- **Ancho de la superficie de falla (Wr):** Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud  $L_r$ .
- **Longitud de la masa deslizada (Ld):** Distancia mínima entre la punta y la cabeza.
- **Longitud de la superficie de falla (Lr):** Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
- **Profundidad de la masa desplazada (Dd):** Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por  $W_d$  y  $L_d$ .
- **Profundidad de la superficie de falla (Dr):** Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por  $W_r$  y  $L_r$ .

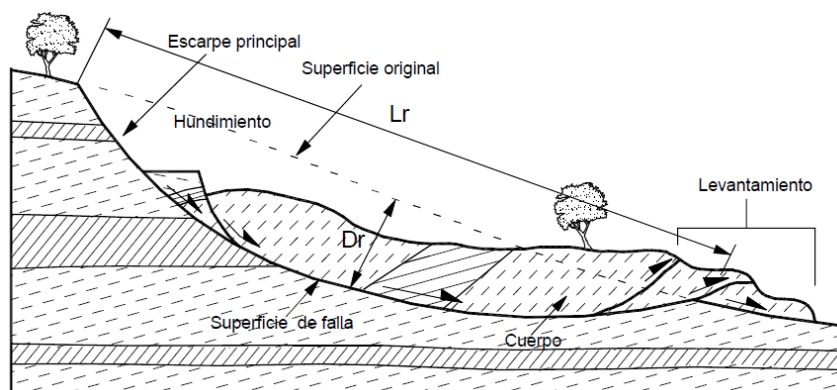
- **Longitud total (L):** Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.
- **Longitud de la línea central (Lc):** desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento.

#### 4.2.1.1.3 Tipos.

##### a) Deslizamientos rotacionales

Cruden & Varnes (1996), señalan que estos deslizamientos, se desplazan a lo largo de superficies de falla preferentemente curvas y cóncavas las cuales presentan una deformación baja del material. Estos deslizamientos suelen tener generalmente una relación  $D_r/L_r$  (máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie del terreno / Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona) entre 0,15 y 0,33 (Skempton & Hutchinson, 1969).

En la figura 3, se muestra la representación básica de un deslizamiento del tipo rotacional, identificando además las partes que lo conforman según lo expuesto por Suárez (2009).



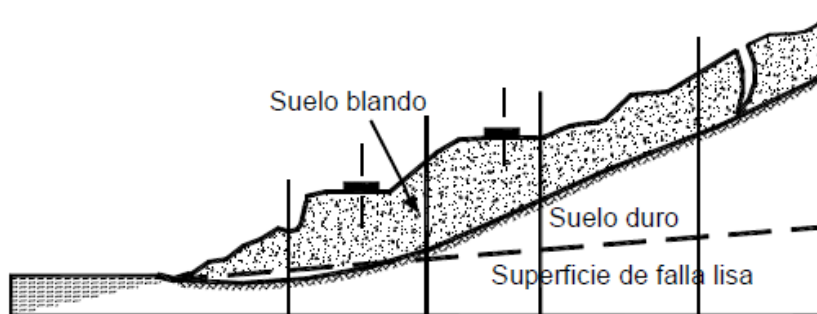
**Figura 3. Desplazamiento de rotación en una ladera**

*Fuente: Suárez (2009)*

##### b) Deslizamientos traslacionales

Los deslizamientos traslacionales son aquella masa de suelo o roca que se desplaza a favor de la gravedad a lo largo de una superficie de falla preferentemente plana o ligeramente ondulada, con un movimiento rotacional nulo o muy escaso (Suárez, 2009). Igualmente, estos deslizamientos tienen una relación  $D_r/L_r$  de menos de 0,1 (Skempton & Hutchinson, 1969).

En la siguiente figura, se muestra la representación de un deslizamiento tipo traslacional con sus características más representativas según Suárez (2009).



**Figura 4. Deslizamiento de traslación de una ladera**

*Fuente: Suárez (2009)*

**c) Deslizamientos compuestos**

Como su nombre lo indica, es un tipo de deslizamiento más complejo que los anteriores pues suele presentar más de dos clases de movimientos simultáneos en diferentes partes de la masa deslizada. Así, en los deslizamientos compuestos la superficie de rotura se da a lo largo de planos de plegamiento, por la presencia de varias discontinuidades planares o por la combinación de superficies de rotura (Hutchinson, 1988).

**4.2.2 Causas generales de los movimientos del terreno**

Existe gran variedad de causas internas y externas, algunas de ellas han sido categorizadas por Cruden & Varnes (1996) en base a procesos de diversa índole, así como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 4. Causas de los movimientos del terreno**

Causas de índole geológica	Causas por procesos físicos
Materiales débiles	Precipitación intensa
Materiales sensibles	Derretimiento rápido de nieve o hielo
Materiales intemperizados	Eventos de precipitación extraordinarios
Materiales sujetos a cizallamiento	Actividad sísmica
Materiales con fisuras y diaclasas	Erupciones volcánicas
Discontinuidades orientadas adversamente (esquistosidad, etc.)	Gelifracción
Discontinuidades estructurales (fallas, discordancias, etc.)	Expansión e hidratación de arcillas
Permeabilidad contrastante	
Contraste de materiales con diferente plasticidad	
Causas morfológicas	Causas de origen antrópico
Levantamientos tectónicos o volcánicos	Excavación de laderas o del pie de las laderas
Erosión glacial	Incremento de peso en las laderas
Erosión fluvial al pie de las laderas	Disecación de cuerpos de agua (presas)
Erosión marina al pie de los acantilados	Deforestación
Erosión glacial al pie de las laderas	Irrigación
Erosión en márgenes laterales	Actividad minera
Erosión subterránea	Vibraciones artificiales
Remoción de la vegetación (por incendios y sequías)	

*Fuente: Cruden & Varnes (1996)*

Sin embargo, se puede determinar que los deslizamientos son desencadenados principalmente por dos factores, ya que estos movimientos se producen cuando una porción del terreno se vuelve *débil* para soportar su propio peso y cede (Ayala, 2000).

- **Factores condicionantes:** o pasivos, aquellos que dependen únicamente de la naturaleza, estructura, y forma del terreno, p ej., topografía, litología, condiciones hidrogeológicas, estados tenso-deformacionales, intemperismo y cobertura vegetal.
- **Factores desencadenantes:** o activos, aquellos factores externos que provocan inestabilidad y desencadenan los movimientos al modificar las condiciones preexistentes del terreno, p. ej., precipitaciones, sismicidad, erosión, vibraciones, resequedad del suelo, acciones antrópicas, etc., (Seisdedos Santos, 2009).

### 4.3 Sistemas de Información Geográfica

Según Olaya (2011), un Sistema de Información Geográfica o simplemente SIG, es una herramienta que permite la lectura, edición, almacenamiento y en términos generales, gestión de datos espaciales. Del mismo modo, permite realizar un *análisis de dichos datos*, lo cual implica poder realizar consultas sencillas a la elaboración de complejos modelos y fundamentalmente, la generación de resultados tales como; mapas, informes, gráficos, etc.

Por otra parte, Tomlin (1990) considera que un SIG es un elemento que permite; analizar, presentar e interpretar hechos relativos a la superficie terrestre, es decir, es un conjunto de *software* y *hardware* diseñado para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos como una definición clásica de un SIG.

Con lo anteriormente mencionado, una definición más precisa es decir que un SIG es básicamente un *sistema* que integra; tecnología informática, las personas y la información geográfica, así como la forma en que los conceptos fundamentales en los que el propio SIG se sustenta suponen una integración de distintas disciplinas (Korte, 2001).

#### 4.3.1 Partes de un SIG

Un SIG se define como un poderoso grupo de herramientas para recolectar, almacenar, recuperar, transformar y presentar datos en forma espacial (Burrough & McDonnell, 1998).

Generalmente un SIG se compone de:

- Entrada de datos y verificación
- Almacenamiento y manipulación de datos
- Transformación y análisis de datos

- Salida y presentación de información

#### **4.4 Integración de los SIG con los métodos de susceptibilidad**

El tema de poder integrar un SIG en el análisis de susceptibilidad a deslizamientos, consiste en la vinculación de datos geológicos, geomorfológicos, pendientes, uso actual del suelo, etc., es decir aquellas variables que se consideren en el análisis y el uso del SIG que permita analizar esta información y trabajar en base a los resultados que se deseen obtener.

Para Bosque (1992), el tema de poder contemplar y analizar en conjunto los mapas de una misma zona o terreno, da lugar al análisis de sus características espaciales y temáticas para obtener mayor conocimiento de dicha zona.

##### **4.4.1 Elaboración de mapas de susceptibilidad**

Para González de Vallejo et al. (2002) los mapas de susceptibilidad clasifican la estabilidad relativa del terreno, en categorías que generalmente son de estables a inestables, es decir, este mapa muestra los lugares donde es más propenso a producirse los deslizamientos, indicando donde hay o no las condiciones favorables para su activación.

Para la elaboración de estos mapas de susceptibilidad, Suárez (2009) considera que por lo general se tienen en cuenta tres elementos:

- Relieve y mapa pendientes
- Características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del terreno, e;
- Inventario de deslizamientos ocurrido en el pasado

##### **4.4.2 Métodos de análisis SIG en susceptibilidad**

Existen varios métodos para analizar la susceptibilidad a movimientos de ladera, así como el más idóneo para la realización de los respectivos mapas, varían en función de los distintos autores (Ayala y Corominas, 2002).

###### **4.4.2.1 Métodos Cualitativos.**

Según Kouli, Loupasakis, Soupios, & Vallianatos (2010), los métodos cualitativos son los más básicos, utilizan un *índice de deslizamiento*, el mismo que está basado en el criterio netamente de expertos para poder identificar las zonas donde confluyen o se conjugan las condiciones geológicas, geomorfológicas, etc., que hagan susceptibles a deslizamientos a un territorio dado. Entre algunos autores que proponen este tipo de métodos se tiene; Anbalagan (1992); Leroi (1997); Guzzeti (1999), entre otros. Así se puede determinar que:

- **Características:** se basan netamente en la experiencia o criterio de expertos.
- **Ventajas:** Los factores que influyen en los FRM son ponderados por los expertos según su grado de importancia para desatarlos.
- **Desventajas:** Alto grado de subjetividad en la ponderación y tratamiento de la información disponible.

#### 4.4.2.2 Métodos Cuantitativos.

Estos métodos se basan netamente en expresiones matemáticas, mismas que tienden a conjugar aquellos factores causales y los deslizamientos de tierra (Kouli et al., 2010). Los métodos mayormente empleados son los *determinísticos* y *estadísticos*. Para ambos casos se tiene un grado de complejidad, así como sus resultados serán de alta fiabilidad, todo en dependencia del tipo de estudio que se requiera realizar, así como del presupuesto con el que se cuente, ya que, para ambos casos es necesario invertir en ensayos de laboratorio.

- **Características:** Están basados en expresiones matemáticas, como en el equilibrio límite, donde los datos de entrada son derivados de ensayos de laboratorio.
- **Ventajas:** Es el que mejores resultados presenta de todos los métodos, por lo que su grado de fiabilidad es muy alto.
- **Desventajas:** El requerimiento de ensayos de laboratorio que suelen resultar costosos (en dependencia del caso) así como en su aplicabilidad a deslizamientos traslacionales.

#### 4.4.2.3 Métodos Semi- cuantitativos.

Los métodos semicuantitativos, como su nombre lo indica, es una metodología cualitativa que utiliza una evaluación por ponderación y jerarquización siendo el método más usado el *proceso de análisis jerárquico*.

- **Características:** método de evaluación cuantitativa que usa procesos de ponderación y calificación de variables.
- **Ventajas:** Integra técnicas de evaluación multicriterio, donde evalúa cuantitativamente la asignación de pesos en orden jerárquico por el método AHP, además de ser uno de los métodos más empleados para este tipo de estudios.
- **Desventajas:** Grado de subjetividad alto, en cuanto al tratamiento de la información y su resultado.

## 5. Metodología

### 5.1 Área de estudio

El área de estudio corresponde a la zona sur de la parroquia rural Bellavista, misma que se encuentra ubicada en el sur del Ecuador, en la provincia de Loja, cantón Espíndola, siendo la parroquia Bellavista una de las siete parroquias del cantón localizada al occidente de la misma en el límite internacional con la República del Perú cubriendo un área de 36,39 km<sup>2</sup> de extensión.

Geográficamente, la parroquia Bellavista está limitada por:

- **Norte:** Río Pindo y la Parroquia rural 27 de Abril.
- **Sur:** Río Amaluza y la Parroquia rural Jimbura.
- **Este:** Parroquia urbana Amaluza (cabecera cantonal del cantón Espíndola).
- **Oeste:** República del Perú.

Así, las coordenadas UTM WGS 84 de referencia de ubicación del área de estudio son las siguientes:

- **Norte (Y):** 672 000
- **Este (X):** 9 496 000

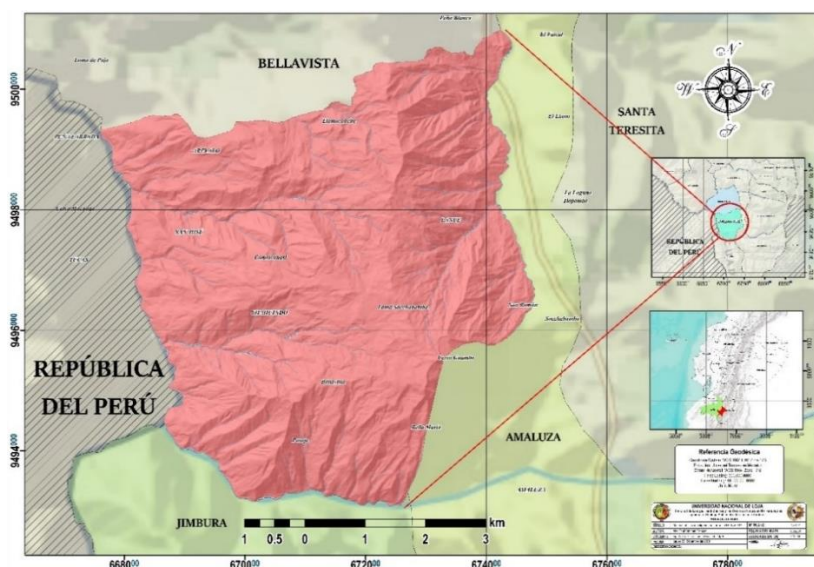


Figura 5. Ubicación geográfica del área de estudio, zona sur de la parroquia Bellavista, cantón Espíndola

Elaborado por: Sánchez A. (2022)

#### 5.1.1 Acceso

El acceso al área de estudio partiendo por vía terrestre desde la ciudad de Quito, se lo realiza desde el Terminal Terrestre Quitumbe por la vía Panamericana Troncal Sierra hasta el Terminal



Terrestre de la ciudad de Loja en un tiempo estimado de 12 horas con 654 km aproximadamente. De la ciudad de Loja, se toma la carretera pasando por: Catamayo-Gonzanamá-Cariamanga para finalmente llegar por vía de 3<sup>er</sup> orden al barrio Jibiruche, para a partir de ahí, trasladarse a la cabecera parroquial Bellavista. El tiempo estimado desde la ciudad de Loja-Bellavista es de alrededor de 6 horas.

Igualmente, por vía aérea se traslada del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito con destino al aeropuerto de la ciudad de Catamayo en un tiempo estimado de 45 min, para a partir de ahí seguir por vía terrestre como se ha mencionado anteriormente.

### 5.1.2 Clima

El clima que predomina en el área de estudio en la parroquia Bellavista es el cálido ecuatorial, esto debido a la temperatura que presenta la zona llegando a tener variaciones promedio que oscilan entre los 17 °C y 20 °C principalmente por la influencia de la corriente del niño (mayormente de enero a abril-mayo) según la información del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias y el Instituto Espacial Ecuatoriano.

En cuanto a las precipitaciones que se manifiestan dentro de la parroquia Bellavista, se registra en promedio alrededor de 900 y 800 mm al año en la mayor parte de la superficie con variaciones de hasta 1 000 mm/año, especialmente al noroeste de la parroquia y en áreas puntualizadas del sur.

### 5.1.3 Hidrografía

La hidrografía que domina el área de estudio en la parroquia Bellavista, está siendo abastecida por la cuenca hidrográfica binacional Catamayo-Chira según el Sistema de Cuencas Hidrográficas registradas en el Ecuador, misma que abarca el territorio del cantón Espíndola a través de vertientes naturales, quebradas y drenajes menores, de la cual se desprende algunas microcuencas tal y como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5. Micro cuencas de la parroquia rural Bellavista**

<b>Micro – cuenca</b>	<b>ha</b>	<b>%</b>
Drenajes Menores	3 580,6	46,39
R. Tambillo	2 612,93	33,85
Q. Naranjillo	1 479,05	19,16
R. Amaluza	20,33	0,26
No aplicable	24,85	0,32
<b>Total</b>	<b>7 717,76</b>	<b>100</b>

*Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano (2014)*

En la parroquia se registran periodos de lluvias que abastecen a estos afluentes hídricos entre perennes e intermitentes, especialmente en los meses de *octubre y abril* y desde *diciembre hasta abril* en las zonas bajas. **VER ANEXO 1**

Los principales cursos de agua que se presentan en el área de estudio son:

- Río Amaluza
- Río Espíndola
- Quebrada Grande
- Quebrada del Chorro
- Quebrada Chahuindo
- Quebrada Sidra
- Quebrada Pitayo
- Quebrada Cauharangu
- Quebrada Arévalo y Guannapu

## 5.2 Materiales

Para la realización del proyecto se requiere de los siguientes materiales:

**Tabla 6. Materiales de campo y oficina**

Campo	Oficina
<ul style="list-style-type: none"> <li>• GPS</li> <li>• Martillo geológico</li> <li>• Brújula tipo Brunton</li> <li>• Lupa de bolsillo</li> <li>• Libreta de campo</li> <li>• Fichas de caracterización de afloramientos</li> <li>• Fichas de inventario de deslizamientos</li> <li>• Cámara fotográfica</li> <li>• Cinta métrica (15 m)</li> <li>• Fundas Ziploc</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computador portátil</li> <li>• Impresora</li> <li>• Imágenes satelitales (Google Earth Pro versión 7.3, SAS Planet v.201212-2020)</li> <li>• Ortofoto de la parroquia (2010) Resolución: 0,8 * 0,8 m/pixel</li> <li>• MDT Bellavista. Resolución: 5 * 5 m/pixel</li> <li>• Software ArcGIS versión 10.5 (ArcMap, ArcScene)</li> <li>• Software AutoCAD versión 2014</li> <li>• Base de datos (Infoplan, IGM, etc.)</li> <li>• Documentos bibliográficos (PDyOT parroquia rural Bellavista 2019 – 2023, PUGS cantón Espíndola 2019 – 2023)</li> <li>• Microsoft Office 2013 (Word, Excel, Power Point)</li> </ul>

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

### 5.3 Método de estudio

Los métodos que sustentaron el desarrollo de la investigación fueron los siguientes: *inductivo*, *deductivo*, *bibliográfico*, de *observación* y *experimental*.

El método *inductivo* es aquel método científico que alcanza conclusiones generales partiendo de hipótesis o antecedentes en particular, mientras que el *deductivo* es todo lo contrario, alcanza conclusiones particulares partiendo de lo general. Ambos fueron acertados en el proyecto, puesto que para llegar al mapa final de susceptibilidad de todo el territorio se partió del análisis de variables específicas como geología, geomorfología, etc., Por otra parte, se analizó el contexto general del territorio de estudio para llegar a decisiones puntuales de evaluación.

El método *bibliográfico* cumplió con la finalidad de recolectar fuentes de información para el sustento teórico de la presente investigación, y en igual medida a lo práctico. Por ende, este método fue indispensable en el desarrollo de la investigación.

De igual manera, el método de *observación* aportó sustancialmente a la investigación especialmente en el trabajo netamente de campo. Finalmente, el método *experimental* es el que mayor aporte generó a la investigación puesto que, en él, el investigador analiza y controla a su interés las variables de la investigación hasta alcanzar sus metas, también conocido como método científico.

### 5.4 Metodología de trabajo

#### 5.4.1 Metodología para el primer objetivo

- *Generar los mapas temáticos de las variables a analizar como son la geología, geomorfología, pendientes, uso actual del suelo e isoyetas como cartografía base para el análisis de susceptibilidad a deslizamientos a través del trabajo de campo y el análisis y procesamiento de imágenes satelitales.*

Según Suárez (1998), menciona que para los mapas de susceptibilidad se analiza las condiciones de estabilidad o inestabilidad de una determinada área, en donde existen o no las condiciones para que puedan ocurrir los deslizamientos y en donde los factores detonantes como la lluvia o los sismos no son considerados en análisis de susceptibilidad.

Sin embargo, para este análisis de susceptibilidad a deslizamientos se analizaron las condiciones intrínsecas del territorio de la zona sur de la parroquia rural Bellavista como son: pendientes, cobertura y uso actual del suelo, geología y geomorfología con una excepción al

método propuesto por Suárez (1998), en el cual se ha considerado la variable desencadenante de precipitaciones debido al alto impacto que tiene sobre el área de estudio en cuanto a la generación de deslizamientos.

Para eso se ha establecido elaborar la siguiente cartografía base;

- Mapa topográfico a escala **1:10 000**
- Mapa de pendientes a escala **1:10 000**
- Mapa de cobertura y uso actual del suelo a **escala 1:10 000**
- Mapa geológico a escala **1:10 000**
- Mapa geomorfológico a escala **1:10 000**
- Mapa de precipitaciones o isoyetas a escala **1:10 000**

A continuación, se detalla la metodología que se empleó para la generación de la cartografía base como cumplimiento del primer objetivo.

#### **5.4.1.1 Mapa topográfico.**

Un elemento sustancial en el desarrollo del mapa de susceptibilidad parte de una buena base topográfica de la zona de estudio. Para el presente proyecto investigativo, la topografía se la obtuvo a partir de un MDT con una resolución de pixel de 5 x 5 m.

A continuación, se muestra de forma detallada los pasos empleados dentro ArcGIS 10.5 para el análisis de la información topográfica.

1. Partiendo del MDT de la parroquia, las curvas se generaron desde: *ArcToolbox/3D Analyst Tools/Raster Surface/Contour*. En la ventana de diálogo se ingresó el MDT, se guardó la entidad de salida (curvas) como polilíneas, se colocó el *intervalo de las curvas* y se ejecutó la herramienta. Para este caso, las curvas fueron generadas cada *10 m*.
2. Es recomendable *suavizar* las curvas para lo cual se prosiguió de la siguiente manera: *ArcToolbox/Cartography Tools/Generalization/Smooth Line* teniendo en cuenta la tolerancia de la suavización. Así se generaron las curvas de nivel que sirvieron para la creación del mapa topográfico correspondiente.
3. Adicional a ello, se añadió la ortofoto de la zona de estudio para la digitalización de vías, caminos, senderos, red hídrica, poblados, etc., que complementen al mapa topográfico.

#### **5.4.1.2 Mapa de pendientes.**

Para generar el mapa temático de pendientes, se partió desde la base topográfica de la siguiente manera.

1. Se trabajó a partir del MDT concerniente a la zona de estudio considerando para ello el tamaño de celda que para la escala de trabajo a 1:10 000, el tamaño óptimo de celda es de 5 x 5 m, esto según la fórmula planteada por el cartógrafo analítico Waldo Tobler (1987): *Resolución del ráster (en metros) = (Escala / 1 000) / 2*.
2. Luego, se procedió a generar las pendientes de la siguiente manera: *ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Surface/Slope*, aquí se ingresó el MDT y se guardó la entidad de salida, considerando además si la pendiente será calcula en *grados* o en *porcentaje*. Para el caso de estudio se optó por pendientes en grados.
3. Se procedió a reclasificar el ráster creado, así: *ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify*, en donde se ingresó el ráster de la pendiente, se seleccionó el campo *VALUE* y se reclasificó por el *método manual* en las clases que se crean correspondientes usando la clasificación propuesta por *Demek (1972)*. Se ejecutó la herramienta y se obtuvo el ráster de pendientes reclasificado.

**Tabla 7. Clasificación de las pendientes (Demek, 1972)**

Categoría (grados)	Término de la pendiente	Gradiente en %
0 – 5	Ligeramente inclinado	3,5 – 8,7
> 5 – 15	Fuertemente inclinado	8,7 – 26,8
> 15 – 35	Muy inclinado	26,8 – 70
> 35 – 55	Empinado	70 – 143
> 55 - 90	Vertical	143 - ∞

*Fuente: Demek (1972)*

4. Finalmente, se convirtió el modelo ráster a modelo vectorial (polígono) para su edición, así: *ArcToolbox/Conversion Tools/From Raster/Raster to polygon* y del resultado de ello, se creó el polígono al cual se aplica la herramienta *Dissolve* en *Geoprocessing* disolviéndolo a través de su campo *GRIDCORE*, esto para crear una entidad poligonal para cada clase de pendiente. El resultado es el mapa final de pendientes de la zona de estudio correspondiente, al cual se le agregó campos como: clase, descripción y área (km<sup>2</sup> y porcentaje) para su posterior análisis.

#### **5.4.1.3 Mapa de cobertura y uso actual del suelo.**

Para la generación del mapa de cobertura y uso actual del suelo, se recurrió a la fotointerpretación de la ortofoto del área de estudio del año 2010 (0,8\*0,8 m/píxel) en ArcGIS 10.5, así como el análisis de imágenes satelitales brindadas por el software SAS Planet con tamaños de celda de 0,6 \* 0,6 m/píxel. La ventaja del software libre SAS Planet, es que brinda capturas de imágenes satelitales proporcionadas por los diferentes satélites disponibles,

agilizando así la fotointerpretación en aquellas zonas donde la ortofoto se encuentra bloqueada por nubosidad, sombras, etc.

Para la categorización de las diferentes coberturas y usos de suelo, se tomó como referencia la clasificación empleada por el MAGAP (2015), como se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8. Tipos de uso y cobertura vegetal**

<b>Tipos de uso y cobertura vegetal</b>			
<b>Número</b>	<b>Nivel I</b>	<b>Nivel II</b>	<b>Nivel III</b>
1	Bosque	Bosque nativo	Bosque nativo
		Plantación forestal	Plantación forestal de Eucalipto Plantación forestal de pino Plantación talada
2	Vegetación arbustiva y páramo	Vegetación arbustiva	Vegetación arbustiva
		Vegetación herbácea	Vegetación herbácea
		Páramo	Pajonal Almohadilla o Humedal
3	Tierra agropecuaria	Cultivos	Suelo cultivado Suelo arado
		Pastizales	Pasto con manejo Pasto degradado
4	Agua	Cuerpos de agua	Lago o laguna Reservorio
		Cursos de agua	Ríos Quebradas Canal de riego
		Vegetación lacustre	Totora
		Afloramiento rocoso	Afloramientos rocosos Suelos erosionados
5	Erial	Áreas sin cobertura vegetal	Suelos descubiertos
		Área poblada	Área poblada
6	Zonas antrópicas	Vías	Vías, Senderos
		Infraestructura	Estructuras diversas
7	Otras coberturas	Área quemada	Área quemada
8	Sin información	Cubierta humo	Cubierta humo
		Nubes	Nubes
		Sombra	Sombra

*Fuente: MAE – MAGAP (2015)*

Para generar el mapa de Cobertura y Uso Actual del Suelo se procedió de la siguiente manera:

1. Se cargó la ortofoto de la zona de estudio en ArcMap 10.5, a partir de la cual se efectuó el análisis. La ortofoto cuenta con un tamaño de celda de 0,8 \* 0,8 m/píxel.
2. Se creó el archivo “.shapefile” tipo polígono, y se digitalizó fotointerpretando la ortofoto de los distintos tipos de cobertura de suelo que se observaron, ayudándose para ello, de las capturas de imágenes satelitales que se obtuvieron de Google Earth Pro y SAS Planet.

3. Finalmente, se creó los campos pertinentes de la capa como: cobertura de suelo, tipo de uso de suelo, área que abarca, porcentaje, etc., con la finalidad de facilitar el análisis de resultados obtenidos.
4. Las clases o categorías de cobertura y uso de suelo que fueron empleadas en la elaboración del mapa, fue una adaptación de la clasificación publicada por el MAG (2015) respecto al NIVEL II del mismo, teniendo así:

**Tabla 9. Cobertura y uso de suelo modificado para la zona sur de la parroquia Bellavista**

Número	Cobertura	Uso de Suelo	Código
1	Vegetación arbustiva	Conservación y Protección	Vgt-Arb
2	Vegetación herbácea	Conservación y Protección	Vgt-Hrb
3	Cultivos	Agrícola	Clt
4	Pastizales	Pecuario	Pst
5	Cuerpo de agua	Agua	Crp-Ag
6	Área poblada	Antrópico	Ar-Pbl

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

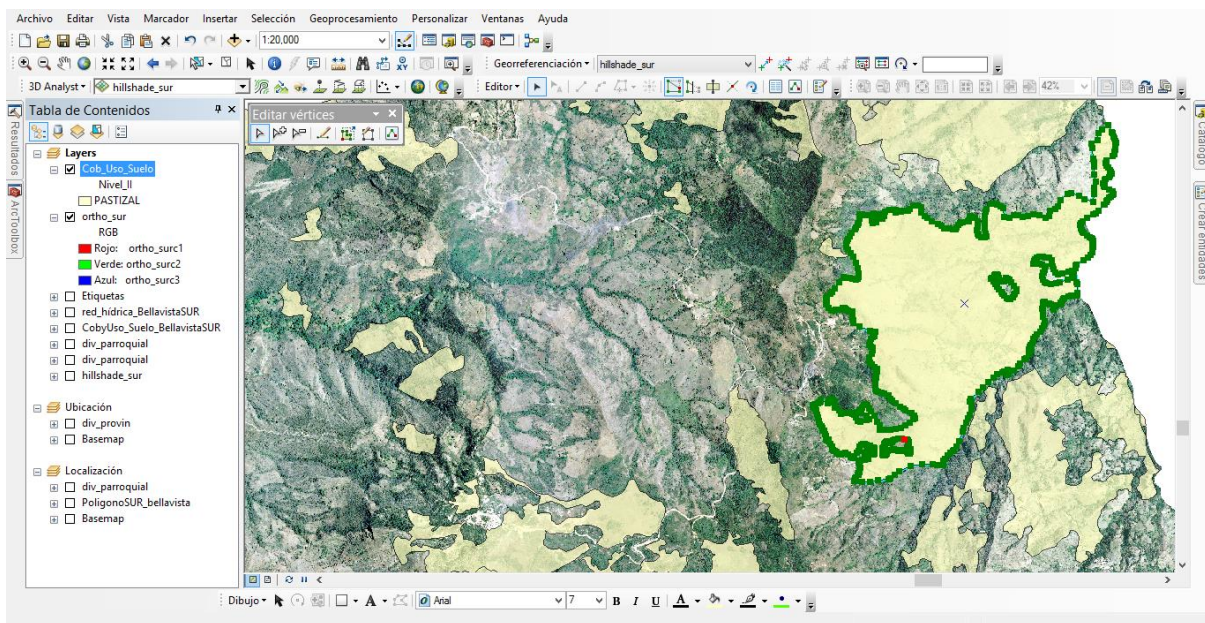
Además, el proceso de fotointerpretación abarcó un análisis espacial en base a ciertos criterios fotointerpretativos para identificar las diferentes coberturas y usos de suelo:

- **Tamaño:** criterio muy útil en la identificación de diferentes objetos, ya que se basó en la comparación de los tamaños relativos de una cobertura respecto a otra conocida. Así, se pudo identificar arbustos de pastizales y de vegetación con menor tamaño como la herbácea.
- **Forma:** criterio que explicó la clasificación de los objetos, ya que las formas observadas en las imágenes satelitales se pudieron relacionar directamente con la forma de los objetos de la vida real y percibidos habitualmente.
- **Sombra:** criterio que permitió la identificación de objetos que no pudieron ser fácilmente reconocidos en el plano vertical que muestra la ortofoto, dando así una referencia de la forma del objeto en un plano horizontal especialmente en áreas con bajo contraste tonal.
- **Tono y color:** con la tonalidad se pudo conocer características de la superficie interpretada. Por ejemplo, superficies y coberturas suaves abiertas como la vegetación herbácea y pastizales presentan una tonalidad más clara, mientras que los arbustos, cultivos y cuerpos de agua presentan tonalidades y colores más fuertes y oscuros.
- **Textura:** constituido por repeticiones tonales de grupos de coberturas, mismos que son muy pequeños para ser reconocidos como objetos individuales.

Todo este proceso fue corroborado y relacionado con la información obtenida de:

- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019-2023 de la parroquia Bellavista
- Plan de Uso y Gestión del Suelo 2019-2023 del cantón Espíndola.
- Memoria Técnica de los Sistemas Productivos del cantón Espíndola en su proyecto “GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1: 25 000” del IEE-MAGAP.
- “Mapa de Cobertura y uso de la tierra y Sistemas productivos agropecuarios del Ecuador continental (versión editada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería en 2020), escala 1:25 000, año 2009 – 2015” del IEE-MAG.
- Verificación de lo observado directamente en campo.

En la figura 6 se observa el proceso de fotointerpretación de la ortofoto del área de estudio y digitalización de los polígonos de pastizales en el software ArcGIS 10.5.

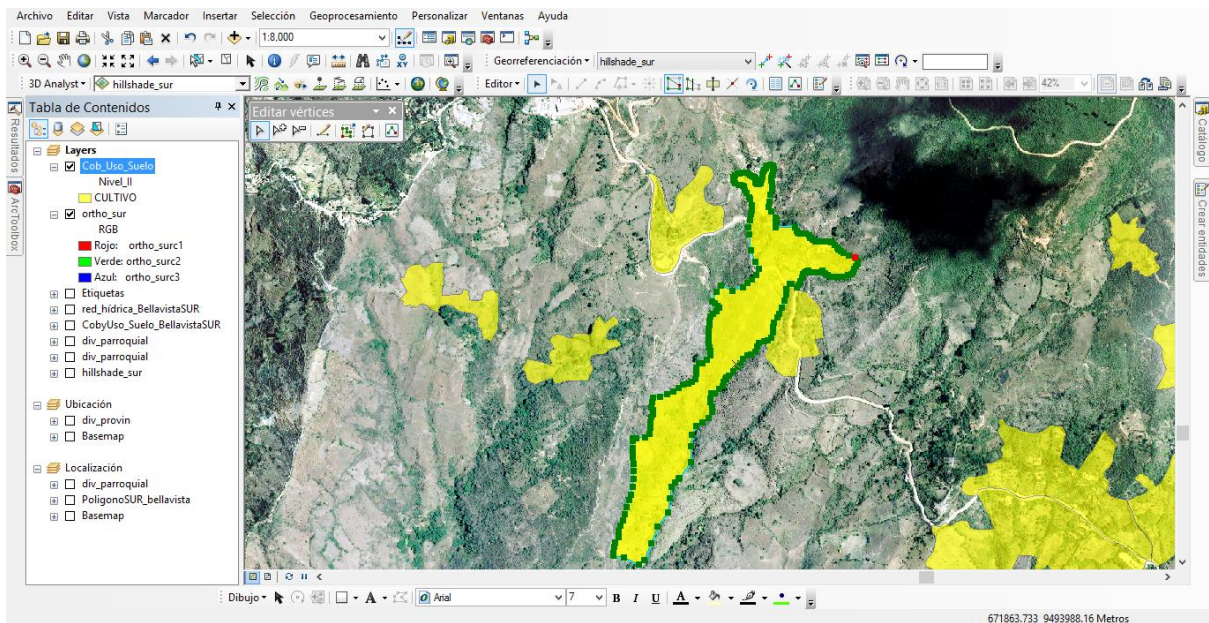


**Figura 6. Fotointerpretación de ortofoto y digitalización de polígonos de pastizales en ArcMap 10.5**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

En la figura 7 se observa el proceso de fotointerpretación de la ortofoto del área de estudio y digitalización de los polígonos de cultivos en el software ArcGIS 10.5.

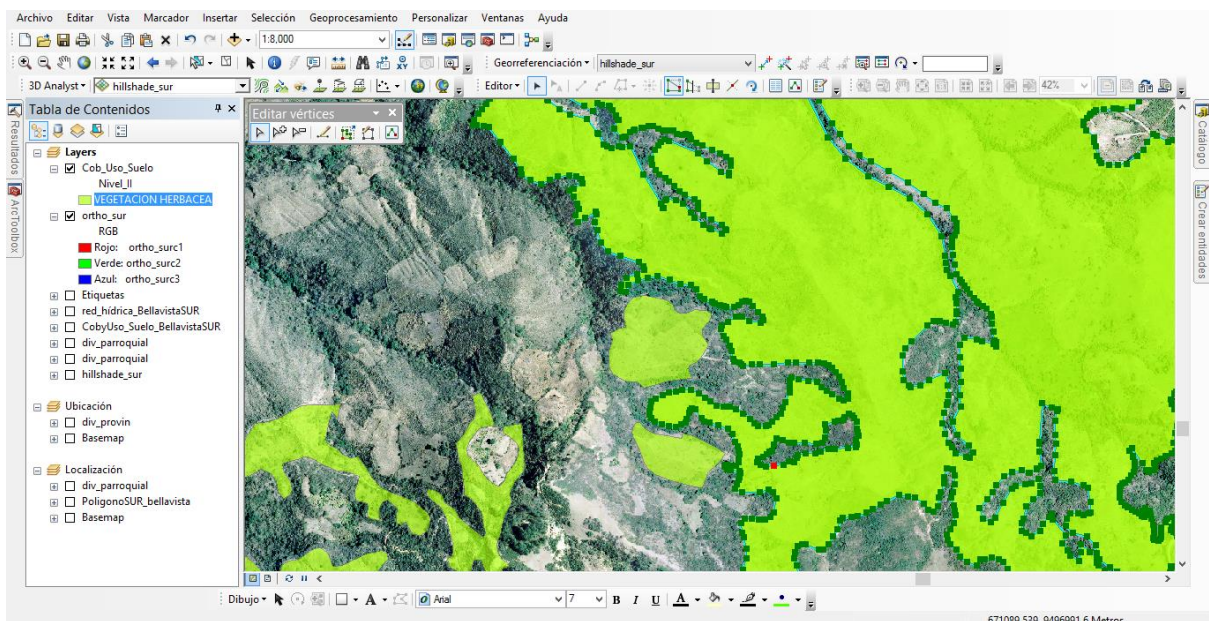




**Figura 7. Fotointerpretación de ortofoto y digitalización de polígonos de cultivos en ArcMap 10.5**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

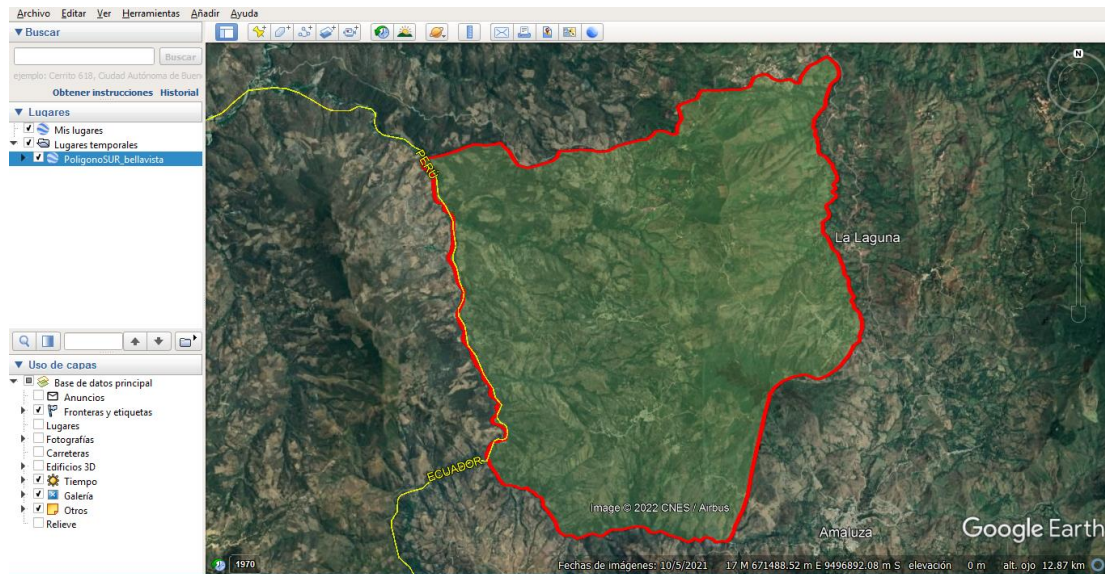
En la figura 8 se observa el proceso de fotointerpretación de la ortofoto del área de estudio y digitalización de los polígonos de vegetación herbácea en el software ArcGIS 10.5.



**Figura 8. Fotointerpretación de ortofoto y digitalización de polígonos de vegetación herbácea en ArcMap 10.5**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

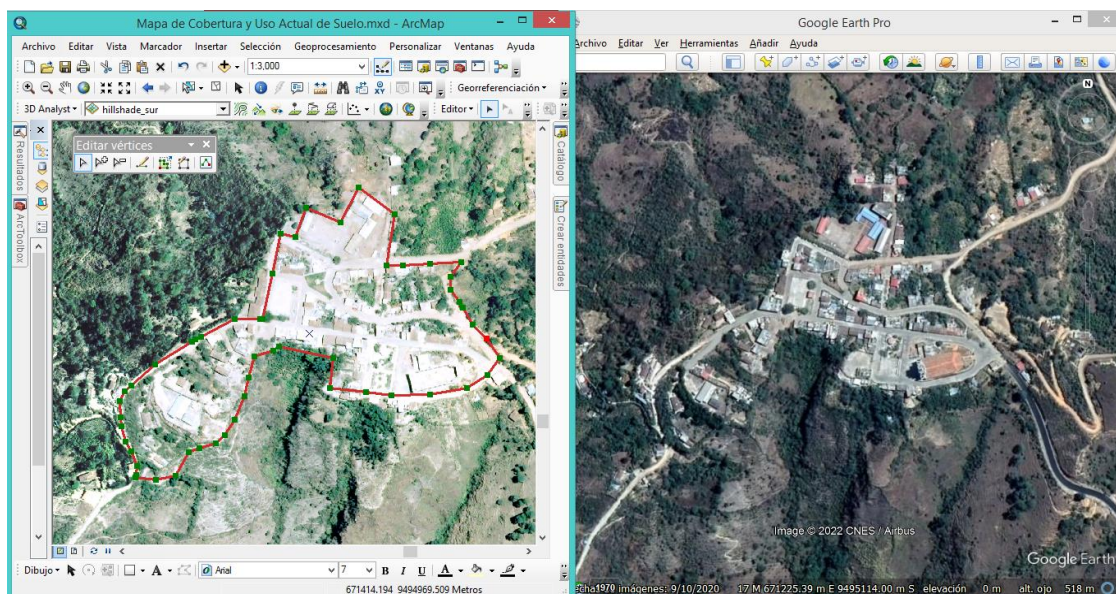
En la figura 9 se observa el proceso de fotointerpretación del área de estudio en el programa Google Earth Pro como ayuda a la posterior digitalización de los polígonos de cobertura y uso actual del suelo en el software ArcGIS 10.5.



**Figura 9. Visualización y fotointerpretación del área de estudio en Google Earth Pro 7.3 para cobertura y uso actual del suelo**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

En la Figura 10 se observa el proceso de fotointerpretación de la ortofoto del área de estudio en el software ArcGIS 10.5 y la comparación con las imágenes satelitales desde Google Earth Pro al tener imágenes más actualizadas del área de estudio.



**Figura 10. Comparación de imágenes satelitales entre Google Earth Pro (versión 7.3) y ArcGIS (10.5)**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

#### 5.4.1.4 Mapa Geológico.

La generación del mapa geológico del área de estudio comprendió varias fases, la primera de ellas fue la obtención de la información base que sirvió como recurso para la visita a campo como; mapa topográfico del área a escala 1:10 000 (generada anteriormente) así como la Hoja Geológica de Las Aradas (Hoja 58: N VII-D) a escala 1:100 000 del año 2017 publicado por el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.

**Tabla 10. Ubicación de la Hoja Geológica Las Aradas a escala 1:100 000**

Cariamanga N VII-A	Gonzanamá N VII-B	Zamora Ñ VII-A
Macará N VII-C	<b>Las Aradas N VII-D</b>	Nuevo Paraíso Ñ VII-C
Lagunas N VIII-E	Zumba N VII-F	Río Vergel Ñ VII-E

*Fuente: INIGEMM (2017)*

La segunda fase consistió en la visita a campo, donde la información geológica se levantó mediante la descripción de afloramientos, observación, análisis y descripción de los materiales litológicos observados, toma de muestras, mapeo de datos estructurales como azimut, buzamiento y dirección de buzamiento de estructuras. **VER ANEXO 2**

El mapeo geológico se realizó únicamente en aquellas zonas donde el terreno fue accesible, esto es: vías principales y secundarias, senderos, caminos de herradura, etc., debido a que el área en cuestión es muy montañosa y el acceso a ciertos lugares resultó imposible de hacerlo. Adicional a ello, debido a la escala de trabajo se tomó diversos puntos de verificación en aquellos afloramientos y lugares donde no existían cambios litológicos notables descritos ya en las fichas de descripción de afloramientos.

La última fase consistió en la elaboración del mapa geológico, sirviéndose para ello de las fichas descriptivas de afloramientos obtenidas durante el levantamiento de campo y su posterior digitalización en ArcGIS 10.5 de la siguiente manera:

1. Se creó una base de datos en Excel con todos los datos de los afloramientos descritos en campo, así como los puntos de verificación tomados, esto es: coordenadas UTM, sector o referencia, litología, datos estructurales, etc.

2. Se agregaron los puntos a ArcMap 10.5, se creó una entidad “.shp” para la geología y se fue digitalizando manualmente por polígonos en función de la litología de cada punto tomado.
3. Finalmente se creó campos para su posterior análisis como: litología, formación a la que pertenece, área que abarcan (en km<sup>2</sup> y %), etc., y se generó el mapa geológico del área de estudio con su respectiva simbología.

#### **5.4.1.5 Geomorfología.**

La generación del mapa temático geomorfológico partió de un proceso fotointerpretativo de la ortofoto del área de estudio y del modelo TIN (Red Irregular de Triangulación) que es una representación 3D del terreno.

Para la realización del proceso de digitalización de las geoformas que conforman la zona de estudio se fundamentó primordialmente en el análisis del TIN, ya que con la ayuda de la extensión ArcScene de ArcGIS 10.5, permitió obtener una visualización en tres dimensiones del relieve del área en cuestión, facilitando así el análisis espacial, identificación y digitalización de las unidades geomorfológicas en formato “.shp”.

Además, la identificación de las geoformas se sustentó en el Catálogo descriptivo de objetos geomorfológicos del Ecuador, Joaquín del Val, Idurre B. (2014), donde se establece los lineamientos para identificar los diferentes tipos de unidades geomorfológicas.

Para la generación del mapa geomorfológico, se prosiguió de la siguiente manera:

1. Generación del TIN a partir del MDT del área de estudio con un tamaño de pixel de 5x5 m/pixel de acuerdo a la escala de trabajo y fotointerpretación de la ortofoto.
2. Se cargó el TIN a la extensión ArcScene que permitió una visualización 3D del terreno identificando las posibles unidades geomorfológicas a digitalizarse.
3. Se creó una entidad “.shapefile” tipo polígono correspondiente a geomorfología y se prosiguió a la digitalización de las diferentes geoformas identificadas.
4. Finalmente, del polígono obtenido, se generó campos como: unidad geomorfológica, génesis, litología, pendiente, área que abarca (en km<sup>2</sup> y %), etc.

De igual manera, para la definición de las geoformas se ha basado en el Sistema de Clasificación de Unidades Geomorfológicas del MAE (2013), en el cual se establece una estructura jerárquica del relieve.

Así, en la siguiente tabla se muestra el sistema de clasificación de unidades geomorfológicas para el área de estudio:

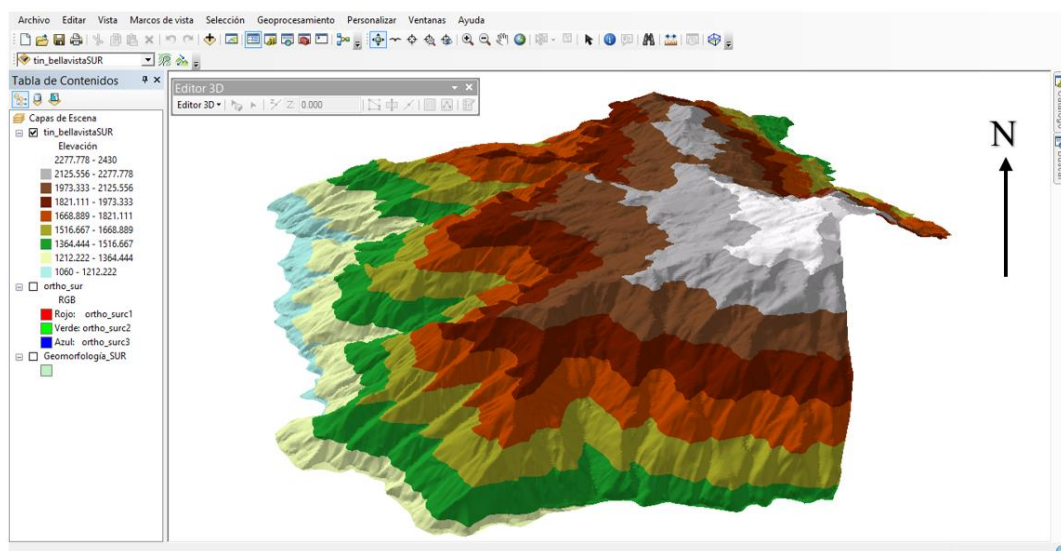
**Tabla 11. Sistema de clasificación de unidades geomorfológicas del área de estudio**

Región Biogeográfica	Relieve General	Macrorelieve	Mesorelieve
ANDES	De Montaña	Cordillera	Relieve montañoso Laguna
		Serranía	Relieve colinado alto
		Valle Tectónico	Terraza media Terraza baja
		Piedemonte	Coluvión reciente y antiguo Coluvio aluvial antiguo

*Fuente: Ministerio del Ambiente del Ecuador (2013)*

Todo este proceso fue correlacionado y corroborado con:

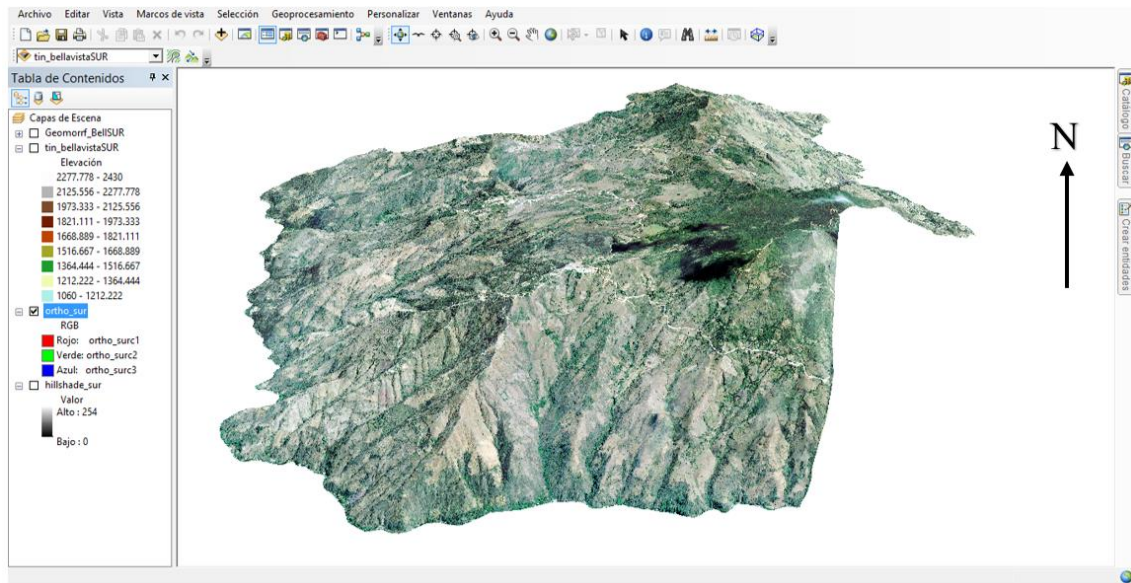
- Memoria Técnica de Geomorfología del cantón Espíndola en su proyecto “GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1: 25 000” del IEE-MAGAP.
- Mapa geomorfológico del cantón Espíndola a escala 1:25 000, año 2013 del MAG-SIGTIERRAS-IEE.
- Ratificación de lo observado directamente en campo.



**Figura 11. Modelo TIN del área de estudio en 3D visto en ArcScene 10.5**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

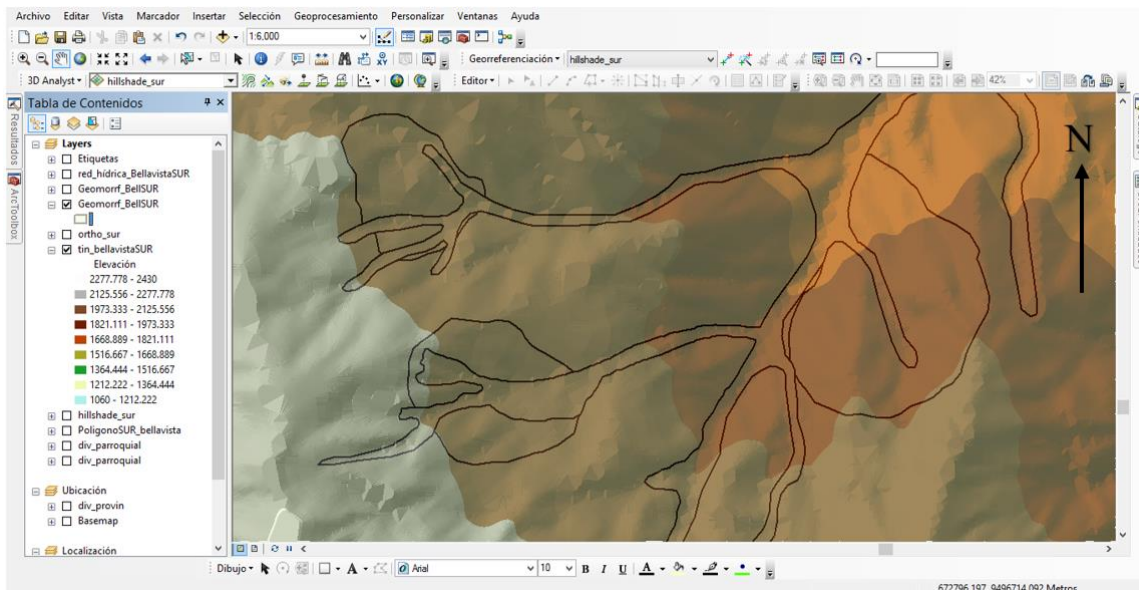
En la figura 12 se muestra la fotointerpretación sobre la ortofoto del área de estudio en 3D al ajustarla a una superficie con datos de elevación como es el TIN desde la extensión ArcScene de ArcGIS 10.5 para la digitalización de unidades geomorfológicas.



**Figura 12. Ortofoto del área de estudio en 3D visto en ArcScene 10.5**

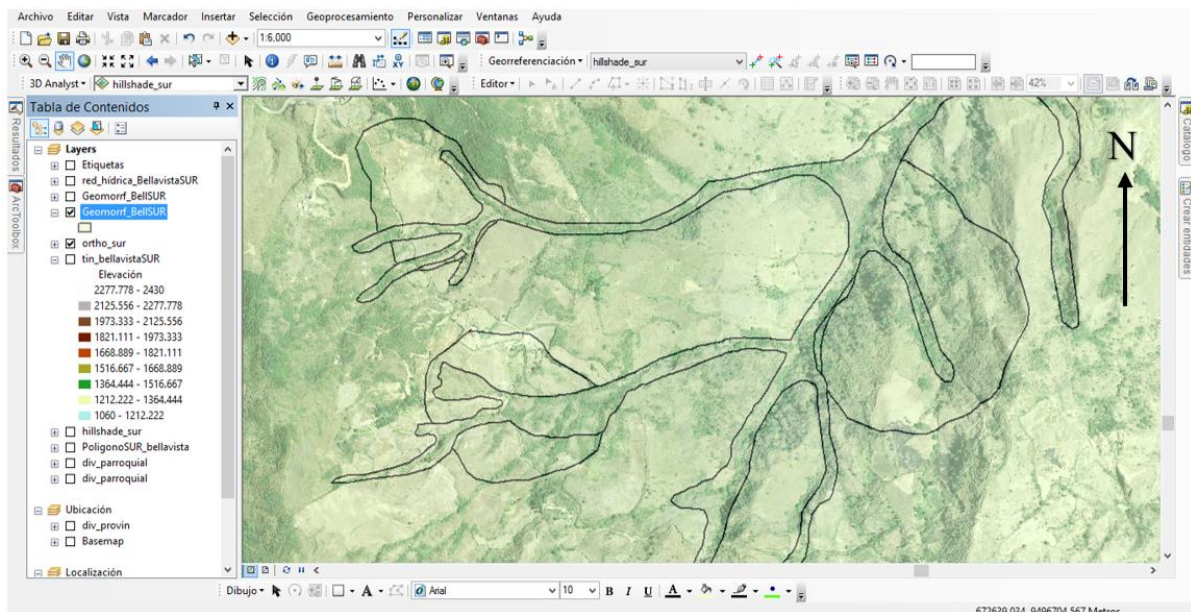
*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

En la figura 13 se muestra la fotointerpretación de unidades geomorfológicas sobre el modelo TIN.



**Figura 13. Edición de polígonos de unidades geomorfológicas sobre base del modelo TIN en ArcMap 10.5**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*



**Figura 14. Edición de polígonos de unidades geomorfológicas sobre ortofoto en ArcMap 10.5**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

#### **5.4.1.6 Isoyetas.**

Pese a que en estudios sobre susceptibilidad a deslizamientos no se analizan los factores desencadenantes como las precipitaciones, se decidió considerar esta variable como parte del análisis de susceptibilidad debido a que la lluvia es uno de los agentes que mayor grado de incidencia tienen sobre la inestabilidad del terreno en la parroquia Bellavista en cuanto a deslizamientos ya que, en épocas invernales es común que se susciten este tipo de fenómenos.

Para la elaboración del mapa de isoyetas, se recopiló información de los Anuarios Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), a partir de los datos de precipitaciones anuales expresadas en mm/año. **VER ANEXO 3**

Para esto se tomó las siguientes consideraciones:

- Registro de todas aquellas estaciones meteorológicas que se encuentren localizadas en un radio de influencia de 65 km alrededor del área de estudio.
- Recopilación de la precipitación anual (mm/año) de dichas estaciones tomadas a lo largo del período 1990 – 2013.
- Descarte de aquellas estaciones meteorológicas que no cumplan con el registro de precipitación anual de al menos 15 años.

En base a esto, en la Tabla 12 se muestra las estaciones sobre las cuales se realizó el mapa de precipitaciones o isoyetas del área de estudio.

**Tabla 12. Estaciones meteorológicas del sector de estudio**

Número	Código	Estación
1	M0033	La Argelia - Loja
2	M0143	Malacatos
3	M0145	Quinara
4	M0146	Cariamanga
5	M0147	Yangana
6	M0149	Gonzanamá
7	M0150	Amaluza INAMHI
8	M0433	El lucero INAMHI
9	M0434	Sozoranga INAMHI
10	M0438	Jimbura
11	M0439	Sabiango INAMHI
12	M0515	Catacocha
13	M0544	Colaisaca

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

La confección del mapa temático de isoyetas consideró los siguientes pasos:

1. Se creó una base de datos en Excel, respecto a los valores de precipitación media anual (mm/año) de las estaciones meteorológicas consideradas para el estudio.
2. Se ingresó la tabla de Excel a ArcGIS 10.5 y se exportó los datos a formato “shape”, de forma que se generen puntos de las estaciones georreferenciadas y con su respectivo sistema de proyección.
3. Para la generación del mapa de isoyetas se usó el método IDW el cual se generó de la siguiente manera: *ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Interpolation/IDW*. El método IDW está basado principalmente en la inversa de la distancia elevada a una potencia matemática. Este método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra (ESRI, 2016).
4. En la herramienta IDW se ingresó el shape de puntos de las estaciones meteorológicas que contiene los valores de precipitación media anual. Posterior a ello, se escogió el campo que contiene el valor de precipitación de la capa de puntos, se eligió el tamaño de celda del ráster de salida (5 x 5 m/pixel), y finalmente se seleccionó el polígono de estudio como límite de extensión en *enviroments/processing extent*.
5. Se recortó el ráster creado respecto al polígono de estudio así: *ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Extraction/Extract by Mask*. En donde se eligió el ráster de entrada (generado anteriormente) y el polígono de estudio sobre el cuál se recortó el ráster.
6. Finalmente, al ráster creado, se lo reclasificó por el método manual en 3 clases, se lo convirtió a polígono, se le aplicó la herramienta *dissolve* para finalmente obtener el mapa final sobre el cuál se calculó áreas, porcentajes y demás campos necesarios.



#### **5.4.2 Metodología para el segundo objetivo**

- ***Realizar el levantamiento y caracterización de deslizamientos encontrados mediante un inventario a través de la observación directa y levantamiento de datos en campo.***

Para el levantamiento y caracterización de deslizamientos presentes en el área de estudio, se recurrió a la realización de un inventario donde se recolectó las características más sobresalientes de los deslizamientos localizados en campo mediante una ficha técnica que tiene el formato adoptado por el Proyecto Multinacional Andino, Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GCA) del 2007. **VER ANEXO 4**

La finalidad de haber realizado este inventario de deslizamientos, fue poder correlacionar la ubicación de los deslizamientos encontrados en campo con el mapa de zonas susceptibles a deslizamientos obtenido a partir de la conjugación de las variables consideradas en el presente estudio por el método analítico de Saaty.

Esto evidenció la eficiencia del proceso de análisis y valoración obtenida por el autor, es decir, verificar si los deslizamientos encontrados en campo se localizan en zonas de alta susceptibilidad en base a los resultados finales obtenidos para el mapa de susceptibilidad a deslizamientos de la zona sur de la parroquia rural Bellavista.

#### **5.4.3 Metodología para el tercer objetivo**

- ***Jerarquizar y ponderar las variables utilizadas para la susceptibilidad a deslizamientos mediante el método estadístico multicriterio de jerarquización analítica (AHP - Analytic Hierarchy Process) de Saaty, 1980.***

Una vez generados los mapas temáticos base de pendientes, cobertura y uso actual del suelo, geología, geomorfología y precipitaciones, se jerarquizó y ponderó estas variables mediante el método estadístico multicriterio de jerarquización analítica de Saaty (1980) para finalmente obtener el mapa de susceptibilidad a deslizamientos de la zona sur de la parroquia Bellavista.

Este método consistió en proporcionar evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de las variables y subvariables analizadas, determinando su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión. Es por eso que se considera un ***método semicuantitativo***, porque combinó un análisis subjetivo y cuantitativo a la vez.

Thomas Saaty (1980), propone la asignación de pesos  $w = [w_1, w_2 \dots w_n]$  a las diferentes variables de un problema en concreto, donde se comparó cada criterio (i) con cada criterio (j) obteniéndose de esta manera valores ( $a_{ij}$ ) a los cuales se los agrupó en una matriz cuadrada.

Se utilizó la matriz de comparaciones por pares  $A = (a_{ij})$ , donde el número de filas y columnas quedó definido por las variables que se analizaron y ponderaron. Así se determinó el vector principal que define los pesos “ $W_j$ ” que a su vez proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de criterios.

En la Tabla 13 se muestra el esquema o matriz del método AHP de Thomas Saaty (1980) para la valoración de variables a analizar.

**Tabla 13. Esquema del Método AHP de Saaty**

Factores	Matriz de comparación por pares				Vector Principal
	A	B	C	D	
A	XAA	XAB	XAC	XAD	WA
B	XBA	XBB	XAB	XBD	WB
C	XCA	XBC	XCC	XCD	WC
D	XDA	XDB	XDC	XDD	WD

*Fuente: Thomas Saaty (1980)*

Este método de Saaty determinó la importancia de cada criterio de cada fila en relación al criterio de cada columna correspondiente, tal como se mostró en la tabla anterior. Así, se completó la tabla analizando cada variable y se calculó el peso de cada variable.

Saaty (1980 y 1994) y Saaty & Vargas (2001), en sus trabajos analizan las escalas de medida y exponen una escala para la estimación de los coeficientes  $a_{ij}$ .

En la Tabla 14 se expone la escala de nivel de importancia para la valoración en la matriz según el método de Thomas Saaty (1980).

**Tabla 14. Escala de Saaty para determinar el 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 de deslizamiento
2	Moderada preferencia	Pasadas experiencias favorecen ligeramente al criterio (i) sobre otro (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: Thomas Saaty (1980)*

Para poder determinar la calidad del análisis y decisión final se estableció la *consistencia del juicio* del autor, es decir, el método AHP permitió medir el grado de consistencia entre las opiniones pareadas proporcionadas por el autor. Saaty (1980), define la razón de consistencia (RC) a partir del índice de consistencia (IC) y del índice de consistencia aleatorio (ICA):

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

Dónde: IC es el índice de Consistencia de A y se calcula por:

$$IC = \frac{nmáx - n}{n - 1}$$

Y donde ICA es el índice de consistencia aleatoria y se calcula por:

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

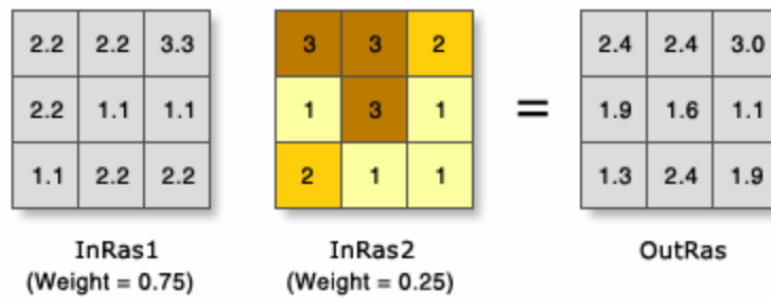
- Entonces: si **RC < 0,1** o **10 %** la consistencia es *razonable* o *aceptable*, mientras que si **RC > 0,1** o **10 %** existe una *inconsistencia* y se debe revisar los juicios empleados en la valoración.

#### 5.4.3.1 Suma Ponderada.

Una vez ya elaborados los mapas temáticos de cada una de las variables consideradas, se prosiguió a “normalizarlos” con la finalidad de obtener el mapa final de susceptibilidad a deslizamientos. Esto se logró mediante la herramienta “suma ponderada” o *WeightedSum* empleado en el programa ArcGIS (versión 10.5), para ello se siguió lo siguiente:

1. Para cada mapa temático creado, en su tabla de atributos se creó el campo “PESO” del tipo *texto*, esto con la finalidad de que cada subvariable de cada variable tenga su propio peso.
2. Estos pesos asignados a las subvariables, son aquellos que fueron obtenidos mediante la evaluación multicriterio de Saaty (1990) a través de su matriz de jerarquización. Del mismo modo, se obtuvo el peso o importancia de cada variable considerada, es decir, qué importancia tiene la variable geología, geomorfología, pendientes, cobertura y uso de suelo e isoyetas, para que se produzca deslizamiento.
3. Una vez que cada mapa temático contenga el peso correspondiente de sus subvariables, se los transformó a formato ráster en función del campo peso.
4. Finalmente se “sumaron” todos los ráster creados de cada variable mediante *weighted sum* o *ráster calculator*, y se asignó los pesos de las variables obtenidas de igual forma

por Saaty (como se explicó en el punto 2). Como resultado de ello, se generó el mapa de susceptibilidad a deslizamientos al cual se lo reclasificó en función de las clases que el autor consideró.



**Figura 15. Herramienta Suma Ponderada - Weighted Sum en ArcGIS 10.5**

*Fuente: Esri (2016)*

La herramienta funciona multiplicando los valores de celda por su peso o “weight” y los resultados se suman para crear el ráster de salida (OutRas). Por ejemplo, para la celda superior izquierda, los valores de los dos ráster son:  $(2,2 * 0,75) = 1,65$  y  $(3 * 0,25) = 0,75$ . La suma y valor de celda del ráster de salida sería:  $1,65 + 0,75 = 2,4$

## 6. Resultados

### 6.1 Análisis de variables susceptibles a deslizamientos

#### 6.1.1 Topografía

El mapa topográfico del área de estudio fue elaborado a partir del MDT de la parroquia Bellavista con una resolución de pixel de 5 x 5 m. A partir de ello, se obtuvieron las curvas de nivel con una equidistancia de 10 m las secundarias y 50 m las principales. Adicional a ello, se realizó la digitalización de la red vial entre carreteras, calles, senderos, red hídrica como vaguadas, quebradas, ríos, vertientes, cuerpos de agua, y zonas pobladas, etc. **VER ANEXO 5**

De esta manera, se puede identificar de mejor manera como está estructurado el relieve terrestre en el área de estudio, dando así una vista preliminar de aquellas zonas donde existe una mayor elevación como es el caso del Cerro Guambo, el punto con mayor elevación de todo el territorio, ubicado al sureste del área a un poco más de 2 400 m.s.n.m., y extendiéndose a en dirección al norte por la Loma Socchabamba a 2 250 m.s.n.m.

A continuación, se muestran los principales barrios del área de estudio y la altura a la que se encuentran.

**Tabla 15. Barrios principales del área de estudio y sus cotas**

<b>Barrio</b>	<b>Altura (msnm)</b>
Bellavista	2 120
Bella María	2 000
Pasaje	1 800
San José	1 400
San Ramón	1 750
Lance	2 140
Condorhuasi	1 750
Llamacanche	1 800

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

#### 6.1.2 Pendientes

En la elaboración del mapa de pendientes de la zona sur de la parroquia rural Bellavista, se lo reclasificó y modificó en función de las categorías propuestas por Demek (1972) y tal como se lo citó en la metodología, el mapa fue obtenido a partir del MDT de la zona de estudio con una resolución de pixel de 5 x 5 m/pixel.

Mediante la aplicación de esta metodología, en la Tabla 16 se muestra los resultados que se obtuvieron para las pendientes en el área de estudio:

**Tabla 16. Valores de pendiente del área de estudio**

<b>Categoría</b>	<b>Rango (°)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
Ligeramente inclinado	0 – 5	1,19	3,27
Fuertemente inclinado	5 – 15	3,48	9,58
Muy inclinado	15 – 35	21,66	59,54
Empinado	35 – 77,05	10,05	27,61
<b>Total</b>		<b>36,39</b>	<b>100</b>

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

En este contexto, con los resultados obtenidos puede evidenciarse que gran porcentaje del territorio en estudio presenta un relieve con *pendientes muy inclinadas* que varían de 15° a 35°, esto es cerca de 21,66 km<sup>2</sup>, es decir más de la mitad de la zona en estudio (59,54 % del territorio). Esto se puede observar a lo largo de toda la superficie del área considerando que gran parte del territorio está dominado por zonas montañosas. Básicamente todos los barrios principales localizados en el sector se encuentran asentados en áreas donde predominan fuertemente este tipo de pendientes.

Con un 27,61 % del territorio, es decir 10,05 km<sup>2</sup> existe un relieve con *pendientes empinadas* la cual domina las zonas sur, este y noreste del polígono de estudio, específicamente en las inmediaciones de los barrios; Pasaje al sur, Lance al este y Condorhuasi al centro-noreste. Está muy relacionada con las pendientes muy inclinadas, siendo ambas la que dominan el 84,88 % de todo el territorio, considerándose ello muy importante al momento de realizar el análisis de factores que inciden en los deslizamientos al ser zonas donde mayormente se producen estos fenómenos en masa.

De igual manera, el territorio en estudio presenta *pendientes fuertemente inclinadas* cubriendo un 9,58 % del mismo correspondiente a 3,48 km<sup>2</sup> del territorio. Esto es evidente en la zona central del polígono en zonas de baja montaña y en piedemontes como la que está cerca de la Loma Socchabamba y en Bellavista y en partes de la zona norte por el barrio Llamacanche.

Las pendientes categorizadas como *ligeramente inclinadas* se encuentran entre las que menos dominan la zona de estudio. Presentan pendientes de 0° a 5° y corresponderían a aquellas zonas de planicie, donde por lo general no tienden a generar problemas en cuanto a deslizamientos sino más bien otros tipos de fenómenos en masa como reptaciones. Abarca un área de 1,19 km<sup>2</sup> correspondiente a 3,27 % de territorio.

En el **ANEXO 6** puede observarse el resultado obtenido para el mapa de pendientes del área de estudio correspondiente a la zona sur de la parroquia Bellavista, derivado del procesamiento de información geográfica en el software ArcGIS versión 10.5.

### 6.1.3 Cobertura y Uso Actual del Suelo

La cobertura y uso del suelo es una variable importante dentro del análisis a susceptibilidad a deslizamientos por el hecho de tratarse de un factor estabilizador o no del terreno en función de las condiciones intrínsecas del mismo. Por un lado, se puede tener un tipo de cobertura de suelo que ofrezca resistencia a deslizamientos por tener raíces fuertes que de cierta manera sostengan el terreno e impidan la acumulación de aguas superficiales al absorberla. Por otro lado, se encuentran ciertas coberturas que no ofrecen estas condiciones de estabilidad y facilitan los medios para volver inestable el terreno.

Por todo ello, el mapa de cobertura y uso actual del suelo del área de estudio fue obtenido a partir de la digitalización de áreas sobre ortofotos e imágenes satelitales que permitan identificar las diferentes coberturas y usos, además de su posterior correlación y ajuste en base a lo observado en campo mediante puntos de verificación. **VER ANEXO 7**

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para cobertura y uso actual de suelo identificados para el área de estudio ubicado en la parroquia Bellavista.

**Tabla 17. Valores de Cobertura y Uso Actual del Suelo del área de estudio**

<b>Código</b>	<b>Cobertura del Suelo</b>	<b>Uso de Suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
Vgt-Arb	Vegetación arbustiva	Conservación y Protección	14,35	39,42
Vgt-Hrb	Vegetación herbácea	Conservación y Protección	7,62	20,95
Cl	Cultivos	Agrícola	3,94	10,81
Pst	Pastizales	Pecuario	10,37	28,49
Crp-Ag	Cuerpos de agua	Agua	0,07	0,20
Ar-Pbl	Área poblada	Antrópico	0,04	0,11
<b>Total</b>			<b>36,39</b>	<b>100</b>

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

Estos resultados fueron corroborados y ajustados en la visita en campo a través de la observación directa y la toma de varios puntos de validación de las diversas coberturas y usos de suelo observados a lo largo del recorrido por el área de estudio tal y como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 18. Puntos de validación de cobertura y uso actual del suelo del área de estudio**

No.	Código	Coordenadas UTM WGS84			Referencia	Cobertura de suelo	Uso de suelo
		X	Y	Z (msnm)			
1	PC CUS1	671 579	9 495 131	2 096	Vía Cerro Guambo	Vegetación Arbustiva	Conservación y Protección
2	PC CUS2	672 604	9 494 984	2 299	Vía Cerro Guambo	Vegetación Arbustiva	Conservación y Protección
3	PC CUS3	674 024	9 496 886	1 912	Vía San Ramón	Pastizal	Pecuario
4	PC CUS4	672 987	9 495 032	2 412	Cerro Guambo	Vegetación Arbustiva	Conservación y Protección
5	PC CUS5	672 054	9 496 105	2 151	Vía Bellavista- Llamacanche	Cuerpo de agua	Agua
6	PC CUS6	668 849	9 497 502	1 505	San José	Cultivos (yuca)	Agrícola
7	PC CUS7	672 141	9 497 566	2 057	Vía San Ramón	Pastizal	Pecuario
8	PC CUS8	674 615	9 496 198	1 804	Tramo final San Ramón	Cultivos	Agrícola
9	PC CUS9	671 880	9 494 498	2 025	Vía Amaluza- Bellavista	Cultivos (maíz)	Agrícola
10	PC CUS10	670 045	9 494 613	1 780	Vía Bellavista- Pasaje	Vegetación Herbácea	Conservación y Protección
11	PC CUS11	668 261	9 497 234	1 090	Río Espíndola	Cuerpo de agua	Agua
12	PC CUS12	671 150	9 495 145	2 110	Bellavista	Zona Poblada	Antrópico

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

- **Vegetación arbustiva**

Se puede evidenciar que la cobertura arbustiva tiene dominancia respecto al resto de coberturas de suelo en el área de estudio con 14,35 km<sup>2</sup>, es decir 39,42 % de toda el área. Su presencia puede evidenciarse en toda la extensión del área con mayor densidad en el Cerro Guambo debido a su escasa intervención humana que ha permitido su conservación natural. Se caracteriza por ser una vegetación exuberante y frondosa muy verde lo que evidencia la presencia de agua considerable.



**Figura 16. Vegetación arbustiva PC CUS1**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*



**Figura 17. Vegetación arbustiva PC CUS2**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*



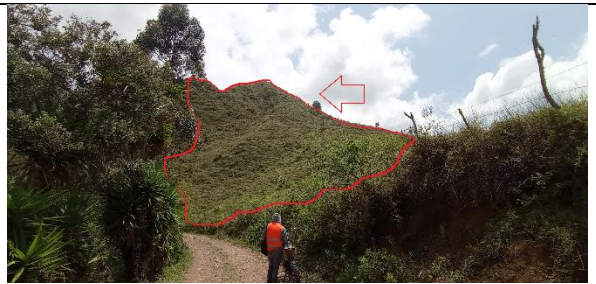
- **Pastizales**

Con 10,37 km<sup>2</sup> de área, es decir, 28,49 % de todo el territorio está cubierto por pastizales. Estos pastizales se los localiza en todo el territorio del área de estudio con una mayor presencia en la parte oriental en barrios como Lance, al sur en Pasaje y en la parte central por Bellavista. Su presencia en el área se da como pastos altos y medios con pocos árboles y arbustos, generalmente localizados en laderas y con coloraciones verdosas y amarillentas en zonas con menos presencia de agua.



**Figura 18. Pastizal PC CUS3**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*



**Figura 19. Pastizal PC CUS7**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

- **Vegetación herbácea**

La vegetación herbácea por otra parte, está abarcando 20,95 % del total del área con 7,62 km<sup>2</sup>. Se puede observar este tipo de cobertura alternada con la arbustiva y entre pastizales, sin embargo, se identifica mayor presencia en la zona centro-norte, toda la parte occidental del área por barrios como San José y en pequeñas zonas del sur.



**Figura 20. Vegetación herbácea PC CUS10**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

- **Cultivos**

Por otra parte, los cultivos son parte fundamental de la vida de los pobladores dentro del área de estudio, llegando a localizarse un sinnúmero de áreas destinadas a la agricultura, un tipo de cobertura que se los ha categorizado como cultivos y que alcanzan cerca de 3,94 km<sup>2</sup> del territorio, es decir, 10,81 % de todo el terreno. Están localizados en sitios puntuales, en

barrios como; Bella María, San Ramón, Llamacanche, San José, Lance y a lo largo del tramo vial Amaluzá-Bellavista.



**Figura 21. Cultivo PC CUS6**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*



**Figura 22. Cultivo PC CUS9**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

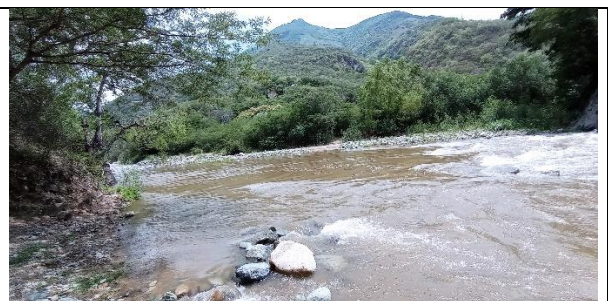
- **Cuerpos de agua y áreas pobladas**

Finalmente, el tipo de cobertura que se encuentra en menor proporción son los cuerpos de agua y áreas pobladas. Esto tiene sentido en cuanto a que los cuerpos de agua únicamente se han registrado a los ríos Amaluzá al límite sur y Río Espíndola al límite occidental con el Perú además de una laguna al centro del área de estudio abarcando un área de 0,07 km<sup>2</sup>, o sea cerca de 0,20 % del territorio. Por otra parte, el área poblada identificada es la cabecera parroquial Bellavista con tan solo 0,04 km<sup>2</sup>, es decir, 0,11 % de todo el territorio.



**Figura 23. Cuerpo de agua PC CUS5**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*



**Figura 24. Cuerpo de agua PC CUS11**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*



**Figura 25. Área poblada PC CUS12**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

## 6.1.4 Geología

### 6.1.4.1 Geología Regional.

La geología que domina el área de estudio en la parroquia Bellavista puede ser descrita en términos generales como materiales volcánicos y volcánico-sedimentarios. Considerando que la parroquia se encuentra al sur de la provincia de Loja en el cantón Espíndola, su geología se describe en la Hoja Geológica Las Aradas a escala 1:100 000 (Hoja 58, N VII-D). **VER ANEXO 8**

Regionalmente, el área de estudio se asienta en las estribaciones de la Cordillera Real con un contraste morfológico marcado, formado principalmente de materiales continentales del paleoceno y oligoceno volcánicos y depósitos volcánico-sedimentarios. Se conoce que el área de estudio está dominada por tres tipos de formaciones antes enmarcadas en la Fm. Sacapalca pero que en la actualidad se la ha dividido, teniendo así:

- **Unidad Changaimina ( $P_{C_{Ch}}$ )**

Definida por Kennerley (1973) con el nombre de Fm. Sacapalca y redefinida en la hoja geológica de Gonzanamá, escala 1:50 000 (INIGEMM, 2015) como Unidades: Changaimina y Río Guayucu. Los afloramientos están al occidente de la hoja en las localidades: El Tablón (UTM: 671 444 E, 9 492 780 N) y Jibiruche (UTM: 669 963 E, 9 501 762 N). Conformada por lavas andesíticas y basálticas, brechas volcánicas, aglomerados, tobas andesíticas, brechas piroclásticas e ignimbritas de composición andesítica, con texturas afaníticas, porfiríticas y piroclásticas.

Estas rocas están infrayaciendo discordantemente a la U. Río Guayucu, se infiere un contacto tectónico con las rocas metamórficas de la cordillera Real. Esta unidad alcanza un espesor ~ 500 m en superficie. Hungerbühler (1997), reporta una edad de  $66,9 \pm 5,8$  Ma, para la Fm. Sacapalca, por relaciones estratigráficas se asume una edad paleocénica. De acuerdo con sus características petrográficas es interpretada como parte de un arco volcánico continental.

- **Unidad Río Guayucu ( $P_{C_{Rg}}$ )**

La mejor exposición de esta unidad se encuentra en el sector de Machay (UTM: 671 673 E, 9 489 613 N), en la vía entre Amaluza y Socchabamba (UTM: 675 833 E, 9 495 464 N). Conformada por tobas andesíticas estratificadas, areniscas volcánicas, limolitas y arcillolitas, intercaladas con andesitas de color gris y tobas ácidas. Se encuentra sobreyaciendo

discordantemente a las rocas volcánicas de la U. Changaimina y en contacto tectónico con rocas metamórficas a lo largo del sistema de fallas Las Aradas. Esta secuencia volcano-sedimentaria presenta un espesor de 200 a 300 m. La edad se asume por relaciones estratigráficas y es inferida como paleocénica.

- **Unidad El Ingenio ( $Q_{?Ei}$ )**

Hungerbühler (1997), infiere una posible edad eocénica tardía a oligocénica. Definida en este trabajo con base en la discriminación de las tobas dacíticas y riolíticas, anteriormente incluidas dentro de la Fm. Sacapalca descrita por Kennerley, J. (1973). Afloramientos de este tipo se encuentra en las zonas de Machay (UTM: 671 884 E, 9 489 398 N) y Peña Blanca (UTM: 673 698 E, 9 500 347 N). Consta de volcano-sedimentos estratificados y no estratificados de tobas líticas, brechas volcánicas heterolíticas color marrón verdosas con líticos volcánicos y metamórficos, a nivel local se encuentran areniscas.

En algunos de sus afloramientos muestran alteraciones hidrotermales como silicificación, argilitización, propilitización y caolinización. Se encuentra sobreyaciendo discordantemente a la U. Río Guayucu y en algunos casos, cubriendo a la unidad volcánica Changaimina; y en contacto tectónico, con las rocas metamórficas a lo largo del sistema de fallas Las Aradas. Presenta espesores de 300 a 400 m.

#### **6.1.4.2 Geología Local.**

La geología local se levantó por mapeo geológico mediante descripción de afloramientos ya sean naturales o antrópicos y que brinden la información litológica necesaria para la generación del mapa geológico del área de estudio. Este proceso radicó en recorrer todas las zonas accesibles para la toma de datos litológicos, estructurales y toma de muestras para su posterior análisis y descripción petrográfica macroscópica. **VER ANEXO 9**

En base al mapa geológico regional y carta topográfica, se planeó la ruta y puntos de levantamiento geológico de acuerdo a la escala de trabajo. Sin embargo, al ser un área que regionalmente no presenta cambios litológicos muy diferenciados donde predominan materiales volcano-sedimentarios, se levantaron datos en afloramientos de mayor relevancia y con rasgos litológico-estructural interesantes, dejando a aquellos afloramientos con mismas litologías y características estructurales iguales como *puntos de validación*.

En la tabla 19, se muestra los afloramientos que fueron levantados en campo por mapeo geológico, así como la unidad geológica a la que pertenecen:

**Tabla 19. Afloramientos mapeados en el área de estudio**

No.	Coordenadas UTM WGS84			Referencia	Tipo	Formación
	X	Y	Z (msnm)			
1	672 728	9 493 994	1 935	Vía Amaluza-Bellavista	Antrópico	U. Changaimina
2	672 654	9 494 036	1 966	Vía Amaluza-Bellavista	Antrópico	Dep. Coluvial
3	672 251	9 494 112	1 966	Vía Amaluza-Bellavista	Antrópico	U. Changaimina
4	670 601	9 494 918	2 050	Vía Bellavista-Pasaje	Antrópico	U. Changaimina
5	670 386	9 494 992	1 960	Vía Bellavista -Pasaje	Antrópico	U. Changaimina
6	670 184	9 494 935	1 890	Vía Bellavista -Pasaje	Antrópico	U. Changaimina
7	670 045	9 494 613	1 780	Vía Bellavista -Pasaje	Antrópico	U. Changaimina
8	669 956	9 494 445	1 692	Vía Bellavista -Pasaje	Antrópico	U. Changaimina
9	671 616	9 494 771	2 053	Vía Amaluza-Bellavista	Antrópico	U. Changaimina
10	671 454	9 494 966	2 090	Vía Amaluza-Bellavista	Antrópico	Dep. Coluvial
11	671 490	9 495 013	2 127	Vía Cerro Guambo	Antrópico	Dep. Coluvial
12	671 682	9 495 166	2 157	Vía Cerro Guambo	Antrópico	U. Changaimina
13	671 778	9 495 166	2 170	Vía Cerro Guambo	Antrópico	U. Changaimina
14	671 965	9 495 202	2 198	Vía Cerro Guambo	Antrópico	Dep. Coluvial
15	672 597	9 494 985	2 293	Vía Cerro Guambo	Antrópico	U. Changaimina
16	672 993	9 495 062	2 365	Vía Cerro Guambo	Antrópico	U. Changaimina
17	671 477	9 495 278	2 072	Vía Bellav.-Llamacanche	Antrópico	Dep. Coluvial
18	671 646	9 495 612	2 064	Vía Bellav.-Llamacanche	Antrópico	Dep. Coluvial
19	671 720	9 495 727	2 073	Vía Bellav.-Llamacanche	Antrópico	Dep. Coluvial
20	671 677	9 496 450	2 100	Vía Bellav.-Llamacanche	Antrópico	Dep. Coluvial
21	671 438	9 496 586	2 078	Vía San José	Antrópico	Dep. Coluvial
22	671 122	9 496 680	2 044	Vía San José	Antrópico	Dep. Coluvial
23	670 852	9 496 702	1 946	Vía San José	Antrópico	Dep. Coluvial
24	670 391	9 496 568	1 891	Vía San José	Antrópico	Dep. Coluvial
25	670 128	9 496 557	1 890	Vía San José	Antrópico	Dep. Coluvial
26	670 029	9 496 491	1 847	Vía San José	Antrópico	Dep. Coluvial
27	669 441	9 496 178	1 728	Vía San José	Antrópico	Dep. Coluvial
28	669 239	9 497 243	1 448	Vía San José	Antrópico	Dep. Coluvial
29	669 066	9 497 489	1 402	Vía San José	Antrópico	U. Changaimina
30	671 820	9 496 773	2 132	Vía Bellav.-Llamacanche	Antrópico	Dep. Coluvial
31	672 118	9 497 085	2 073	Vía Bellav.-Llamacanche	Antrópico	Dep. Coluvial
32	672 052	9 497 359	2 054	Vía Bellav.-Llamacanche	Antrópico	Dep. Coluvial
33	672 549	9 497 457	2 064	Vía San Ramón	Antrópico	Dep. Coluvial
34	672 809	9 496 965	2 055	Vía San Ramón	Antrópico	Dep. Coluvial
35	673 220	9 496 724	2 054	Vía San Ramón	Antrópico	U. Changaimina
36	673 506	9 496 939	2 051	Vía San Ramón	Antrópico	Dep. Coluvial
37	673 778	9 497 164	1 917	Vía San Ramón	Antrópico	Dep. Coluvial
38	674 024	9 496 886	1 912	Vía San Ramón	Antrópico	U. Changaimina
39	674 165	9 496 743	1 902	Vía San Ramón	Antrópico	U. Changaimina
40	674 615	9 496 198	1 783	Vía San Ramón	Antrópico	U. Río Guayucu
41	672 661	9 497 958	2 139	Barrio Lance	Antrópico	Dep. Coluvial
42	671 834	9 498 043	1 993	Vía Bellav.-Llamacanche	Antrópico	Dep. Coluvial
43	671 880	9 498 358	1 955	Vía Bellav.-Llamacanche	Antrópico	U. Changaimina
44	671 340	9 498 543	1 883	Vía Bellav.-Llamacanche	Antrópico	U. Changaimina
45	670 744	9 498 680	1 777	Vía Bellav.-Llamacanche	Antrópico	U. Changaimina
46	670 612	9 498 789	1 800	Vía Bellav.-Llamacanche	Antrópico	U. El Ingenio
47	670 289	9 499 001	1 750	Vía Bellav.-Llamacanche	Antrópico	U. Changaimina
48	674 034	9 500 175	1 531	Piedra Blanca	Antrópico	U. Río Guayucu
49	674 012	9 500 463	1 542	Piedra Blanca	Antrópico	U. Río Guayucu
50	673 900	9 500 601	1 553	Piedra Blanca	Antrópico	U. Río Guayucu
51	673 781	9 500 557	1 578	Piedra Blanca	Antrópico	U. Río Guayucu
52	673 548	9 500 398	1 595	P. Blanca-Llamacanche	Antrópico	U. El Ingenio
53	673 233	9 500 411	1 770	P. Blanca-Llamacanche	Antrópico	U. El Ingenio
54	672 953	9 500 303	1 936	P. Blanca-Llamacanche	Antrópico	U. El Ingenio
55	672 538	9 500 350	1 940	P. Blanca-Llamacanche	Antrópico	U. El Ingenio
56	672 037	9 499 893	1 946	P. Blanca-Llamacanche	Antrópico	U. El Ingenio

No.	Coordenadas UTM WGS84			Referencia	Tipo	Formación
	X	Y	Z (msnm)			
57	671 442	9 498 839	1 862	P. Blanca-Llamacanche	Antrópico	U. El Ingenio

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

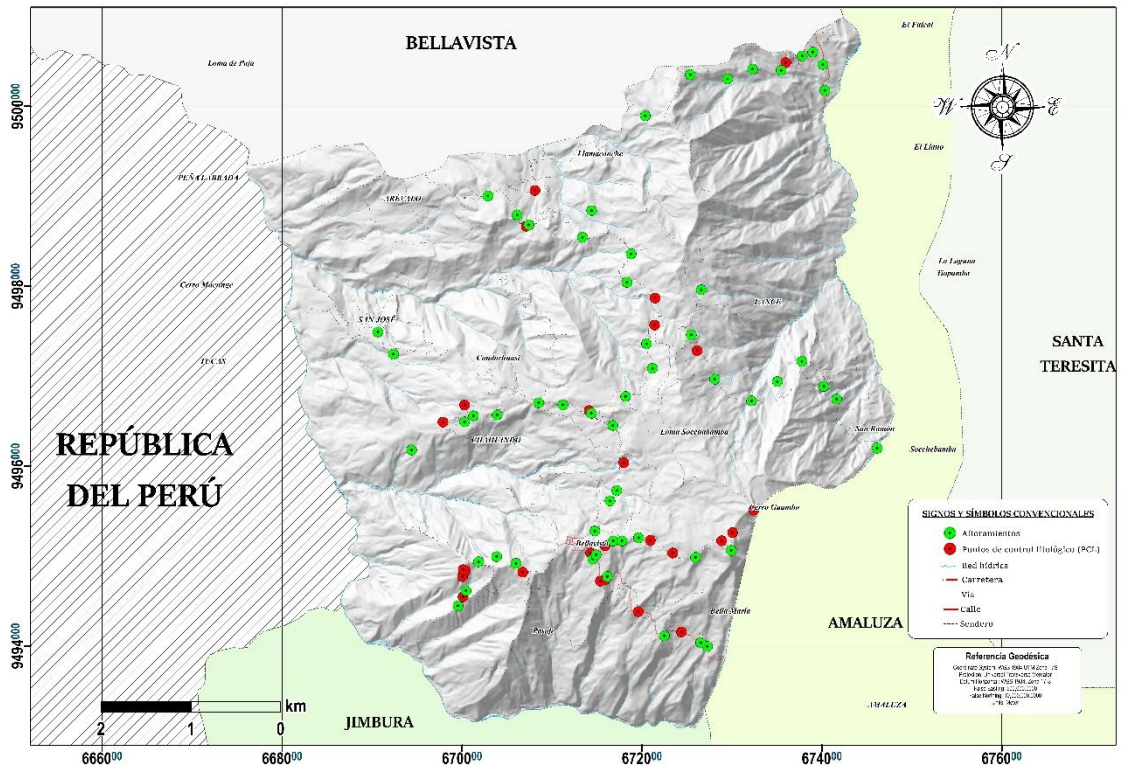
De igual manera, los *puntos de validación litológico* fueron considerados en la confección del mapa geológico del área de estudio, cuyas especificaciones se muestran la Tabla 20:

**Tabla 20. Puntos de verificación litológico del área de estudio**

No.	Código	Coordenadas UTM WGS84			Referencia	Formación
		X	Y	Z (msnm)		
1	PCL 1	672 440	9 494 155	1 950	Vía Amaluza-Bellavista	U. Changaimina
2	PCL 2	671 960	9 494 380	2 015	Vía Amaluza-Bellavista	U. Changaimina
3	PCL 3	670 675	9 494 820	2 005	Vía Bellavista-Pasaje	U. Changaimina
4	PCL 4	670 038	9 494 838	1 838	Vía Bellavista-Pasaje	U. Changaimina
5	PCL 5	670 006	9 494 770	1 781	Vía Bellavista-Pasaje	U. Changaimina
6	PCL 6	670 013	9 494 545	1 732	Vía Bellavista-Pasaje	U. Changaimina
7	PCL 7	670 015	9 494 848	1 734	Vía Bellavista-Pasaje	U. Changaimina
8	PCL 8	671 590	9 494 737	2 054	Vía Amaluza-Bellavista	U. Changaimina
9	PCL 9	671 539	9 494 720	2 055	Vía Amaluza-Bellavista	Dep. Coluvial
10	PCL 10	671 431	9 495 035	2 111	Vía Amaluza-Bellavista	Dep. Coluvial
11	PCL 11	671 590	9 495 113	2 136	Vía Cerro Guambo	Dep. Coluvial
12	PCL 12	672 093	9 495 173	2 220	Vía Cerro Guambo	Dep. Coluvial
13	PCL 13	672 343	9 495 032	2 237	Vía Cerro Guambo	U. Changaimina
14	PCL 14	672 887	9 495 169	2 335	Vía Cerro Guambo	U. Changaimina
15	PCL 15	673 008	9 495 259	2 400	Vía Cerro Guambo	U. Changaimina
16	PCL 16	673 243	9 495 509	2 416	Vía Cerro Guambo	U. Changaimina
17	PCL 17	671 798	9 496 035	2 093	Vía Bellavista-Llamacanche	Dep. Coluvial
18	PCL 18	671 415	9 496 616	2 081	Vía a San José	Dep. Coluvial
19	PCL 19	670 030	9 496 678	1 851	Vía a San José	Dep. Coluvial
20	PCL 20	669 789	9 496 487	1 724	Vía a San José	Dep. Coluvial
21	PCL 21	672 141	9 497 566	2 057	Vía a San Ramón	Dep. Coluvial
22	PCL 22	672 613	9 497 283	2 082	Vía a San Ramón	Dep. Coluvial
23	PCL 23	672 147	9 497 868	2 018	Vía Bellavista-Llamacanche	U. Changaimina
24	PCL 24	670 714	9 498 665	1 804	Vía Bellavista-Llamacanche	U. El Ingenio
25	PCL 25	670 812	9 499 063	1 746	Vía Bellavista-Llamacanche	U. El Ingenio
26	PCL 26	673 600	9 500 483	1 628	Vía Piedra Blanca (Peña)	U. Río Guayucu

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

Así mismo, en la Figura 26 se puede observar tanto los afloramientos, así como los puntos de verificación levantados en campo.



**Figura 26. Localización de afloramientos y puntos de control litológico en el área de estudio**

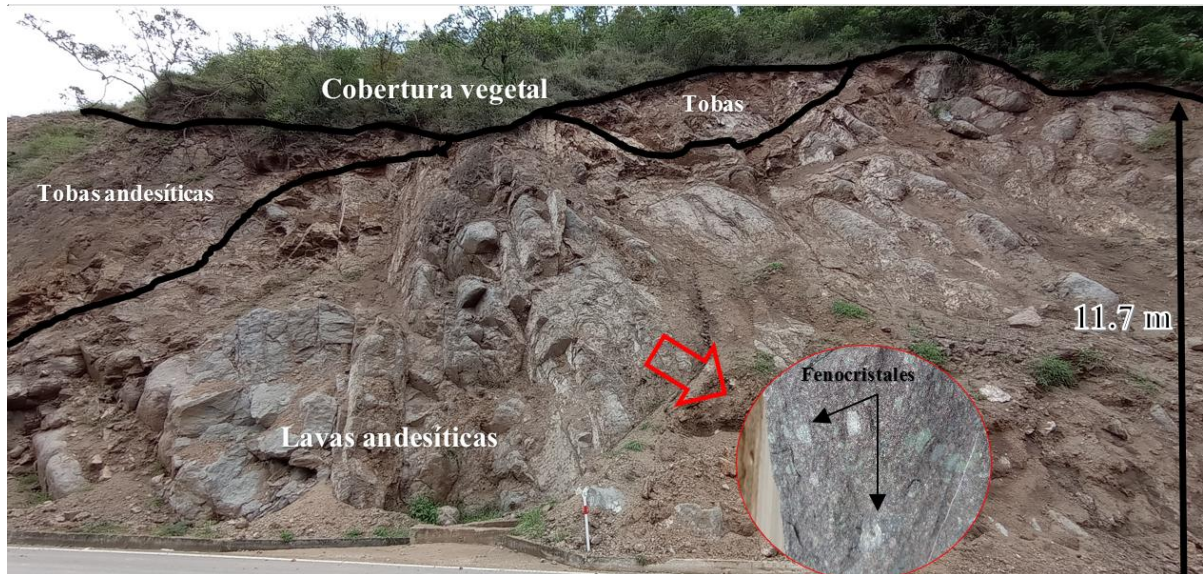
*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

A continuación, se muestra la descripción de los afloramientos más representativos de los 57 levantados en campo y que conjuntamente con los puntos de verificación, sirvieron para la confección del mapa geológico del área de estudio en la parroquia rural Bellavista para un total de 83 afloramientos.

#### 6.1.4.2.1 Unidad Changaimina ( $P_{Ch}$ ).

Se encuentra abarcando gran extensión del área de estudio y cuya litología en términos generales está compuesta de *lavas andesíticas-basálticas*, *brechas piroclásticas* y *tobas andesíticas*.

- **Afloramiento No. 3**



**Figura 27. Afloramiento No. 3 en la vía Amaluz-Bellavista**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

Este afloramiento se encuentra en el tramo vial Amaluz-Bellavista al sureste del área de estudio por el sector de Bella María. Se localiza en un relieve montañoso y es de tipo artificial pues aflora como talud de vía, además presenta una cobertura vegetal arbustiva abundante de 20 a 30 cm y tiene una altura aproximada de 11,7 m.

Litológicamente se encuentra constituido de lavas andesíticas masivas de color gris claro con textura porfirítica cubierta de una superficie intemperizada. Las andesitas están compuestas de fenocristales de 3 a 6 cm de plagioclasas (blanco/gris) y de hornblenda (verdes), esto es por ser un mineral del grupo de los anfíboles más comunes en este tipo de rocas de composición intermedia, todo ello en un matriz de grano fino. Adicional a ello, sobreyaciendo a las lavas andesíticas se encuentran tobas altamente meteorizadas de composición andesítica también. Las tobas están compuestas por una serie de materiales piroclásticos consolidados y asociados a las lavas andesíticas y presentan una tonalidad grisácea-marrón.

Al ser un afloramiento de origen volcánico, la toma de datos estructurales no es posible y por su grado alto de meteorización del mismo, lo convierte en un talud altamente inestable.



- **Afloramiento No. 35**



**Figura 28. Afloramiento No. 35 en la vía a San Ramón**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

El presente afloramiento se encuentra situado en la vía Bellavista-San Ramón al este del área de estudio. Es un afloramiento tipo artificial pues forma parte del talud de vía situado en un relieve montañoso con una altura considerable de aproximadamente 15,5 m y sobre el cual existe una exuberante cobertura vegetal.

Litológicamente está constituido de lavas basálticas de coloración marrón-rojiza oscura las cuales superficialmente se encuentran altamente meteorizadas y disgregadas, pero al interior conserva su estructura columnar característica. Estas columnas basálticas presentan una inclinación (buzamiento) de  $65^\circ$  al NE con un azimut de  $310^\circ$ . La coloración de estas lavas se debe a su composición, pues al ser basálticas predominan los minerales ferromagnesianos como los piroxenos y anfíboles que le dan su color característico. Por otra parte, en el flanco este del afloramiento se encuentran brechas piroclásticas oscuras como un posible contacto litológico con las lavas basálticas, pues estas brechas se encuentran en un grado más alto de fragmentación y meteorización donde no existe la presencia de las columnas basálticas.

- **Afloramiento No. 44**



**Figura 29. Afloramiento No. 44 en vía Bellavista-Llamacanche**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

Este afloramiento se localiza en el tramo vial Bellavista-Llamacanche al norte del área de estudio. Es un afloramiento de tipo artificial al encontrarse al constado de la vía además de situarse en un relieve tipo montañoso.

Litológicamente se trata de lavas basálticas altamente meteorizadas y disgregadas por las lluvias con una tonalidad rojo-parda que denota la oxidación de sus minerales. Pese a ser lavas de origen basáltico, no presenta una estructura columnar sino más bien masivo fácilmente disgregable. La oxidación es intensa debido a la humedad del ambiente y la composición mineral de este tipo de lavas, pues al ser tipo basáltico, sus minerales son ricos en hierro y magnesio (anfíboles y piroxenos) lo que provoca su oxidación.

Adicional a ello, existe redes de vetillas muy delgadas de sílice en todo el afloramiento siendo la principal la localizada en el flanco oeste con una inclinación de  $86^\circ$  al SW con un azimut de  $161^\circ$ . Según lo mencionado por Kennerley, J. (1973), este afloramiento estaría situado cerca de una zona de alteración hidrotermal con la Unidad El Ingenio donde existen alteraciones de tipo silicificación, argilitización y propilitización.

#### **6.1.4.2.2 Unidad Río Guayucu ( $P_{CRg}$ ).**

Esta unidad aparece en el extremo noreste del área de estudio en una zona conocida como Piedra Blanca (peña) y también aflora en una pequeña parte del límite oriental en el barrio San Ramón. Litológicamente se encuentra dominada por una secuencia volcano-sedimentaria de *areniscas volcánicas, limolitas, arcillolitas y andesitas*.

- **Afloramiento No. 40**



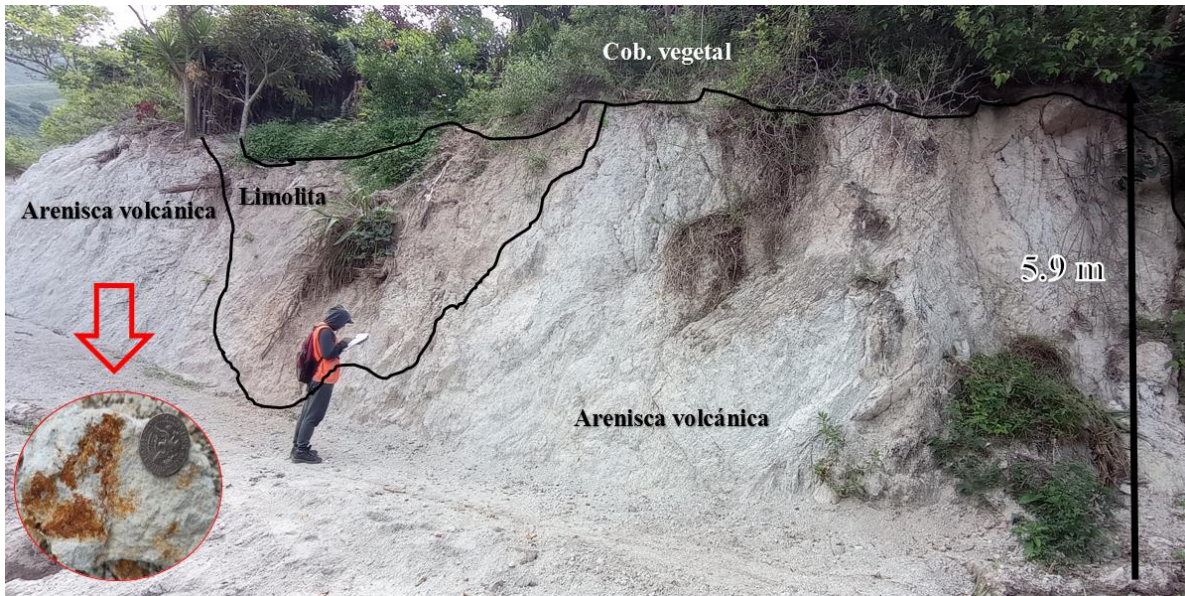
**Figura 30. Afloramiento No. 40 en el sector San Ramón**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

El presente afloramiento se encuentra localizado en el extremo oriental del área de estudio, específicamente en el barrio San Ramón al límite con la parroquia Amaluza. Se trata de un afloramiento tipo artificial situado a un costado de la vía donde el tipo de relieve dominante es montañoso. Presenta una altura de alrededor de 4,2 m y cubierto en la parte superior por una densa vegetación arbustiva. La capa orgánica tiene un espesor de 50 cm aproximadamente.

Litológicamente está constituido de materiales volcano-sedimentarios con delgadas capas de arcillolitas de origen piroclástico de 10 a 12 cm de espesor intercaladas de areniscas blanquecinas de origen volcánico por su contenido mineral (feldespatos y micas). Las arcillolitas piroclásticas se encuentran altamente húmedas y disgregadas con una tonalidad marrón oscuro cuyo estrato se encuentra inclinado  $34^\circ$  al SW y un azimut de  $179^\circ$ . Por otra parte, las areniscas volcánicas se encuentran en forma masiva cuya superficie está altamente erosionada lo que provoca la acumulación de un pequeño derrubio en la base del afloramiento.

- **Afloramiento No. 49**



**Figura 31. Afloramiento No. 49 en el sector Piedra Blanca**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

El afloramiento está situado en el sector Piedra Blanca al extremo noreste del área de estudio al límite con la parroquia Amaluza. Es un afloramiento tipo artificial pues resulta de la apertura de la vía que conduce hasta el sector que además se encuentra en un relieve colinado alto con una altura de aproximadamente 5,9 m y cuya vegetación es exuberante dominada por arbustos y árboles con una capa orgánica de 15 cm.

Litológicamente está compuesta de una alternancia volcano-sedimentaria de areniscas volcánicas blancas con marcas de oxidación intercaladas de limolitas de tonalidades marrón claro. Las areniscas se encuentran medianamente alteradas por lo que conserva un color blanco más intenso con una textura de grano medio a grueso (entre 0,6 mm a 2 mm) constituido de feldespatos cálcico producto de la meteorización de andesitas y con zonas de oxidación. Por otra parte, las limolitas se encuentran en forma masiva con tamaños de partículas finas (entre 0,002mm a 0,06mm) medianamente intemperizadas.

- **Afloramiento No. 50**



**Figura 32. Afloramiento No. 50 en el sector Piedra Blanca**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

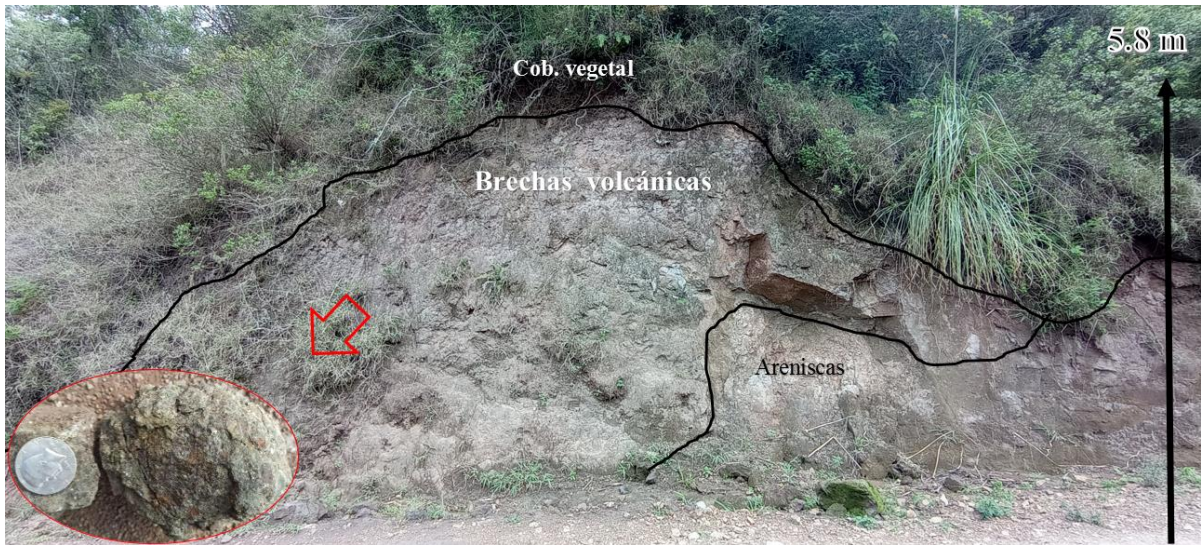
El presente afloramiento se encuentra localizado de igual manera al extremo noreste del área de estudio en el sector Piedra Blanca. Es de tipo artificial al encontrarse como talud de vía y situado sobre un relieve colinado alto. Tiene una altura de 5,9 m aproximadamente con una vegetación arbustiva considerable.

En cuanto a su composición litológica, este afloramiento está constituido de andesitas grises con textura porfirítica, es decir, presenta fenocristales con tamaños de 4 a 5 cm de plagioclasas de tonalidades blancas y grises en una matriz de grano fino. Si bien el afloramiento está compuesto por andesitas en su totalidad, existen zonas donde éstas están cubiertas por materia orgánica formando superficies de meteorización.

#### **6.1.4.2.3 Unidad El Ingenio ( $O_{?Ei}$ ).**

Esta unidad geológica aparece al norte del área de estudio específicamente por el barrio Llamacanche. En términos generales, su litología está compuesta de una secuencia de **tobas dacíticas, brechas volcánicas y areniscas**.

- **Afloramiento No. 52**



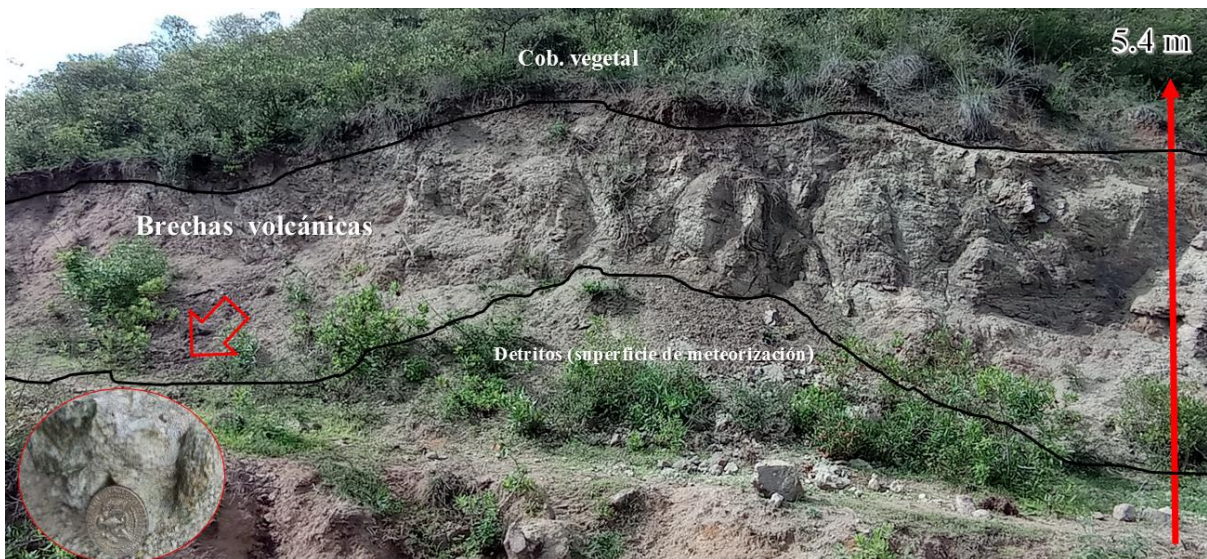
**Figura 33. Afloramiento No. 52 en la vía Piedra Blanca-Llamacanche**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

El presente afloramiento se encuentra situado en el sector noreste del área de estudio, específicamente en el tramo Piedra Blanca-Llamacanche. Está localizado dentro de un relieve montañoso y tiene una altura aproximada de 5,8 m sobre el cual existe vegetación arbustiva abundante con presencia de árboles.

Litológicamente está constituido por brechas volcánicas intercaladas con areniscas. Las brechas volcánicas tienen una coloración verdosa con fragmentos de rocas volcánicas angulosas en una matriz andesíticas. La coloración verdosa es propia de esta unidad litológica puesto que su composición parte de rocas volcánicas intermedias como andesitas donde predominan los anfíboles, siendo la hornblenda la más sobresaliente que presta su color verdoso en granos cristalinos gruesos con un tamaño mayor a 2 mm. Las areniscas tienen un tamaño de grano medio a grueso (entre 0,6 mm a 2 mm) altamente meteorizados con una tonalidad marrón clara y cubierta en partes por una superficie de materia orgánica.

- **Afloramiento No. 53**



**Figura 34. Afloramiento No. 53 en la vía Piedra Blanca-Llamacanche**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

El afloramiento mostrado está situado en el tramo Piedra Blanca-Llamacanche dentro de un relieve montañoso en la parte nororiental del área de estudio. Presenta una altura aproximada de 5,4 m y sobre el mismo existe vegetación arbustiva exuberante.

Litológicamente, el afloramiento está constituido de brechas volcánicas verdosas compactas altamente meteorizadas cuyos fragmentos se depositan como detritos en la base del mismo. Las brechas presentan granos minerales gruesos mayores a 2 mm dentro de una matriz andesítica como cementante. Los granos minerales presentan coloraciones variadas siendo la tonalidad verde la predominante, esto es debido a que los minerales y fragmentos angulosos de la brecha provienen de rocas volcánicas como las andesitas donde estos minerales son muy comunes como feldespatos cálcicos, anfíboles (hornblenda) y piroxenos.

- **Afloramiento No. 54**



**Figura 35. Afloramiento No, 54 en la vía Piedra Blanca-Llamacanche**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

Este afloramiento está localizado al nororiente del área de estudio en el sector Piedra Blanca. Forma parte del relieve montañoso del sector el cual está cubierto por vegetación arbustiva densa y cuya capa orgánica tiene alrededor de 20 cm de espesor.

Su litología está compuesta por tobas dacíticas masivas altamente compactas de textura porfirítica al presentar fenocristales de feldespatos blanco/gris y en menor proporción cuarzo, hornblenda verdosa, además de pequeñas trazas de micas negras (biotita) en una matriz de grano fino color gris claro típico de las dacitas. Su contenido en cuarzo es mayor considerando que las tobas dacíticas se forman a partir de materiales volcánicos de composición dacítica y por ende presenta mayor cantidad de cuarzo que las brechas volcánicas andesíticas.

#### **6.1.4.2.4 Depósito coluvial ( $Q_c$ ).**

Estos depósitos son datados al cenozoico, específicamente al período cuaternario ya que son materiales más jóvenes. Litológicamente está compuesta de **bloques y fragmentos de rocas volcánicas en matriz arenosa** producto de la alteración y desprendimiento de rocas volcánicas de la Unidad Changaimina y que han sido transportados por acción gravitatoria y depositados a lo largo de las laderas montañosas.



- **Afloramiento No. 11**



**Figura 36. Afloramiento No. 11 en la vía Cerro Guambo**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

Este afloramiento está situado en la vía al Cerro Guambo al sureste del área de estudio a 10min de Bellavista. Está localizado en las laderas del cerro Guambo en un relieve montañoso sobre el cual se presencia vegetación arbustiva muy densa.

Litológicamente, este depósito coluvial está constituido de bloques volcánicos andesíticos de textura porfirítica con tamaños de entre 20 a 30 cm de color gris. Además, presenta fragmentos angulosos de menor tamaño (2 a 5 cm) de coloraciones oscuras asociados a la Unidad Changaimina inmersa en una matriz arenosa de grano grueso muy alterada y con tonalidad anaranjada-amarillenta debido a la alteración (oxidación) de los minerales máficos de las lavas basálticas.

- **Afloramiento No. 26**



**Figura 37. Afloramiento No. 26 en la vía San José**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

El presente depósito coluvial es descrito en este afloramiento localizado en el tramo vial de Bellavista al sector San José al centro-oeste del área de estudio. Se puede evidenciar la presencia de una vasta vegetación arbustiva además de estar situado en las laderas del relieve montañoso que predomina en la zona.

Su litología se basa en grandes bloques de más de 70 cm de tipo andesítico de color gris con textura porfirítica y altamente alterado. Se encuentra también fragmentos angulosos del mismo material, pero con menores dimensiones de entre 10 a 15 cm y los más pequeños alcanzan los 2 cm envueltos en una matriz arenosa de grano grueso muy alterada de color marrón-amarillento.

#### **6.1.4.2.5 Depósito aluvial ( $Q_A$ ).**

Son depósitos jóvenes datados al período cuaternario ubicados principalmente a los márgenes del río Espíndola por ser el de mayor envergadura. Está compuesto de **cantos volcanoclásticos**, **arenas** y **limos** procedentes de la Unidad Changaimina originados por el transporte y depósito de material clástico.



**Figura 38. Depósito aluvial situado a los márgenes del río Espíndola**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

En la figura anterior se muestra un depósito aluvial que forma parte de la terraza baja al margen del río Espíndola en el sector noroeste del área de estudio. Está compuesto de cantos subredondeados de origen volcanoclástico andesítico con presencia de arenas y limos.

#### 6.1.4.2.6 Contactos.

- **Afloramiento No. 46**



**Figura 39. Afloramiento No. 46 (contacto litológico) en el sector Llamacanche**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

El afloramiento se encuentra situado en el sector Llamacanche al norte del área de estudio y se trata de un **contacto litológico** entre las Unidades Changaimina y El Ingenio. En base a su

descripción en campo, se ha identificado características distintivas del mismo tanto en su composición litológica como en la coloración de los materiales. En el flanco oeste del afloramiento se puede distinguir material volcánico de color rojo-pardo oscuro perteneciente a las lavas basálticas de la Unidad Changaimina con zonas puntuales de oxidación. Por otra parte, el flanco este del afloramiento está compuesto de brechas volcánicas con tonalidades verdosas debido a los granos minerales andesíticos como la hornblenda, además de ser un material mayormente meteorizado y con fragmentos angulosos de rocas volcánicas.

El contraste litológico es notable tanto en la litología como en las tonalidades completamente diferenciadas en ambos casos, lo que supone ser un afloramiento que muestre un posible contacto litológico entre ambas unidades.

#### **6.1.4.2.7 Mineralización.**



**Figura 40. Brecha volcánica**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

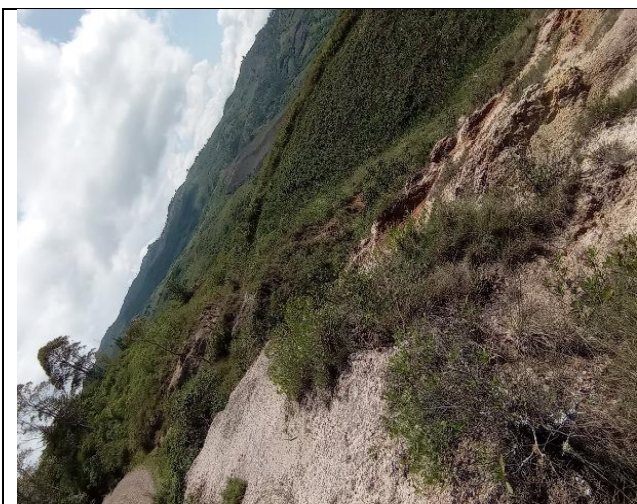


**Figura 41. Veta de cuarzo**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

La **figura 40** muestra una brecha volcánica verde como parte de la Unidad El Ingenio donde este tipo de mineralizaciones es muy común. La muestra de brecha está compuesta por fragmentos angulosos de rocas volcánicas intercaladas con granos minerales verdes, blancos y grises de origen andesítico-dacítico como hornblenda piroxenos, feldespatos y plagioclasas además de cuarzo. La **figura 41** muestra una veta de 9 a 10 cm de espesor de cuarzo lechoso presente en la Unidad El Ingenio.

#### 6.1.4.2.8 Fallas geológicas.



**Figura 42. Falla inferida sector Condorhuasi**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*



**Figura 43. Falla inversa inferida sector San Ramón**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

En base a la hoja geológica de Las Aradas a escala 1:100 000 del INIGEMM (2017), en el área de estudio existen dos fallas geológicas que pertenecen al sistema de fallas Las Aradas las cuales presentan una dirección preferencial NNE-SSW, pero marcadas como fallas inferidas, es decir, que no han sido observables claramente en superficie.

Con el objetivo de observar en campo posibles indicios de estas fallas, se recorrió varias zonas accesibles del área de estudio, pero no se encontraron afloramientos donde puedan ser mapeadas. Sin embargo, se identificaron zonas donde la morfología del terreno era discontinua al entorno. Así, en la **figura 42** se observa rasgos diferenciados del terreno en el sector de Condorhuasi por donde pasaría la falla inferida con dirección N-S y en donde la superficie topográfica se presenta con cambios de pendientes abruptas y desniveles considerables, además de la presencia de material brechado muy meteorizado, algo común en este tipo de zonas de cizallamiento. En la **figura 43** se puede observar indicios de la falla inversa inferida que pasaría por esta zona al este del área en el sector San Ramón al límite con la parroquia Amaluza. Esta falla inversa inferida tendría dirección N-S siguiendo el sentido de la quebrada Guannapu.

Así, los resultados obtenidos para el mapa geológico del área de estudio se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 21. Valores de la geología del área de estudio**

<b>Formación/Unidad</b>	<b>Edad Geológica</b>	<b>Litología</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
Depósito Aluvial (Q <sub>A</sub> )	Cuaternario	Cantos volcanoclásticos, arenas y limos	0,06	0,16
Depósito Coluvial (Q <sub>C</sub> )	Cuaternario	Bloques y fragmentos de rocas volcánicas en matriz arenosa	1,96	5,37
U. El Ingenio (O <sup>?Ei</sup> )	Oligoceno	Tobas dacíticas, brechas volcánicas y areniscas	1,71	4,69
U. Río Guayucu (Pc <sub>Rg</sub> )	Paleoceno	Areniscas volcánicas, limolitas, arcillolitas y andesitas	0,61	1,68
U. Changaimina (Pc <sub>Ch</sub> )	Paleoceno	Lavas andesíticas-basálticas, brechas piroclásticas y tobas andesíticas	32,06	88,1
<b>Total</b>			<b>36,39</b>	<b>100</b>

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

### **6.1.5 Geomorfología**

La geomorfología presente en la parroquia Bellavista en general es muy irregular, siendo un relieve muy accidentado típico de la serranía ecuatoriana donde se ven rastros marcados de los procesos formadores del relieve.

El mapa geomorfológico del área de estudio se generó a partir de la interpretación del modelo 3D del terreno, es decir del modelo TIN generado del MDT de la parroquia. Con el modelo TIN es importante poder interpretar correctamente y en conjunto con el mapa de pendientes, litológico, mapa de sombras y las ortofotos, las geoformas que son observables directamente, esto con ayuda de la extensión ArcScene y su posterior corroboración y ajuste de datos. **VER ANEXO 10**

Con ayuda del catálogo descriptivo de objetos geomorfológicos del Ecuador, se pudo identificar ciertas características propias de las unidades geomorfológicas como; génesis, pendiente dominante y desnivele relativo.

Así, la Tabla 22 muestra las unidades geomorfológicas identificadas dentro del área de estudio.

**Tabla 22. Valores de unidades geomorfológicas del área de estudio**

Unidad genética	Unidad geomorfológica	Pendiente dominante (%)	Desnivel relativo (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Denudativo	Coluvio aluvial antiguo	12 - 25	5 - 15	1,87	5,13
	Coluvión reciente y antiguo	25 - 40	25 - 100	1,79	4,92
	Deslizamientos	25 - 40	25 - 100	0,04	0,11
Fluvio Lacustre	Laguna	No aplicable	No aplicable	0,01	0,02
Tectónico erosivo	Relieve colinado alto	12 - 100	100 - 200	2,61	7,18
	Relieve montañoso	25 - 100	> 300	30,01	82,46
Deposicional o Acumulativo	Terraza baja	2 - 5	0 - 2	0,01	0,03
	Terraza media	2 - 5	2 - 5	0,05	0,14
<b>Total</b>				<b>36,39</b>	<b>100</b>

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

En la siguiente tabla se muestra los puntos de validación levantados en campo como medio de corroboración de las unidades geomorfológicas identificadas.

**Tabla 23. Puntos de validación de unidades geomorfológicas del área de estudio**

No.	Código	Coordenadas UTM WGS84			Referencia	Geoforma
		X	Y	Z (msnm)		
1	PC GEO1	672 987	9 495 032	2 412	Cima Cerro Guambo	Relieve montañoso
2	PC GEO2	670 732	9 494 828	2 062	Vía Pasaje	Relieve montañoso
3	PC GEO3	669 010	9 497 468	1 395	Barrio San José	Relieve colinado alto
4	PC GEO4	674 302	9 500 924	1 350	Sector Peña Blanca	Relieve colinado alto
5	PC GEO5	669 066	9 497 489	1 402	Barrio San José	Coluvio aluvial antiguo
6	PC GEO6	671 122	9 496 680	2 044	Sector Condorhuasi	Coluvio aluvial antiguo
7	PC GEO7	672 549	9 497 457	2 064	Vía San Ramón	Coluvión reciente
8	PC GEO8	674 024	9 496 886	1 912	Sector San Ramón	Coluvión antiguo
9	PC GEO9	667 686	9 499 213	1 072	Sector noroeste	Terraza media
10	PC GEO10	667 982	9 498 593	1 079	Sector San José	Terraza media
11	PC GEO11	667 885	9 498 628	1 073	Sector San José	Terraza baja
12	PC GEO12	667 638	9 499 214	1 051	Sector noroeste	Terraza baja
13	PC GEO13	672 054	9 496 105	2 151	Vía Bellavista-Llamacanche	Laguna
14	PC GEO14	669535	9496675	1696	Vía San José	Deslizamiento

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

De esta manera se puede definir lo siguiente:

#### **6.1.5.1 Unidad genética.**

Los resultados exponen la existencia de cuatro tipos de unidades genéticas en base a las geoformas identificadas en el área de estudio, estas son:

- **Denudativo:** este tipo de unidad genética también se la conoce como “laderas” debido a que sus formas del relieve y depósitos son el producto de la evolución y dinámica de las laderas o vertientes. Esto es visible al noreste del área de estudio en el límite con Amaluza con la presencia de coluviones recientes y antiguos, mientras que los depósitos coluvio aluviales antiguos son zonas de transición entre laderas y valles que son alimentados por diferentes depósitos de las laderas ocupando el fondo de vaguada, por ello es que se cartografían como polígonos angostos alrededor del fondo o cauce de quebradas.
- **Fluvio lacustre:** génesis asociado a formas y depósitos ligados a lagos y lagunas, así como áreas endorreicas (áreas en la que el agua acumulada solo tiene salida sea por evaporación o filtración), incluyendo depresiones con acumulación de agua ya sea de manera esporádica, temporal o permanente. En el área de estudio se encuentra la presencia de una laguna asociada a un ambiente fluvial, donde la acumulación del agua se da principalmente por las precipitaciones, así como su abastecimiento desde las partes altas de la montaña, y cuya dinámica y agotamiento se ve influido por la evaporación e infiltración.
- **Tectónico erosivo:** este tipo de génesis se caracteriza por no presentar rasgos característicos trascendentales como otros tipos, por ello sus geoformas no están sujetas a un tipo de sustrato litológico en concreto y como su nombre lo indica, son unidades geomorfológicas originadas a partir del tectonismo pero que con el paso de los años han sido modeladas por la acción erosiva en diferentes grados de intensidad. En el área de estudio predomina fuertemente este tipo de génesis pues más del 90 % de su territorio es montañoso y colinado lo cual es acertadamente visible por su relieve muy accidentado.
- **Deposicional o acumulativo:** también conocido como “fluvial”, este tipo de génesis está ligada a los depósitos y formas del relieve generados por acción de los ríos y cursos de agua generalmente encauzada. También se atribuyen geoformas resultantes de la acción erosiva que causa el agua. En el área de estudio, una muy

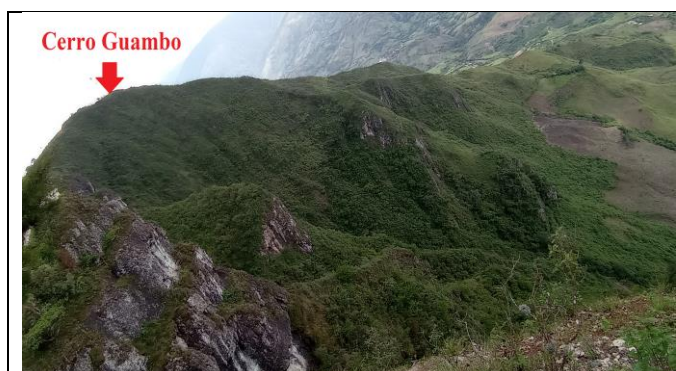


pequeña proporción de su territorio está dominada por este tipo de formas del relieve, principalmente por terrazas medias y bajas identificadas en el río Espíndola.

#### 6.1.5.2 Unidad geomorfológica.

- **Relieve montañoso**

Se establece que el área de estudio en un 82,46 % de su territorio (30,01 km<sup>2</sup>) está dominado por un relieve montañoso. Esto es claramente visible en toda la extensión del territorio, donde el relieve montañoso conserva sus rasgos estructurales originales a pesar de la intervención humana en determinadas zonas por asentamientos y por los procesos denudativos fluvio-erosionales. Este tipo de relieve es fácilmente visible desde el Cerro Guambo, el punto más alto del área de estudio que permite observar el relieve montañoso accidentado con desniveles relativos >300 m y pendientes dominantes de entre 25 % a 100 %.



**Figura 44. Relieve montañoso PC GEO1**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*



**Figura 45. Relieve montañoso PCGEO2**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

- **Relieve colinado alto**

Este tipo de geformas se encuentran localizadas al oeste del área de estudio y pueden ser identificadas desde el barrio San José con vista hacia el río Espíndola en el límite con el Perú.

Igualmente son visibles al este y noreste del territorio, específicamente por el barrio San Ramón y en Peña Blanca abarcando una extensión total de 2,61 km<sup>2</sup> y un 7,18 % del territorio.

Al igual que el relieve montañoso, este tipo de geformas llegan a tener altitudes predominantes con desniveles entre 100-200 m y pendientes dominantes de 12 % a 100%.



**Figura 46. Relieve colinado alto PC GEO3**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*



**Figura 47. Relieve colinado alto PCGEO4**

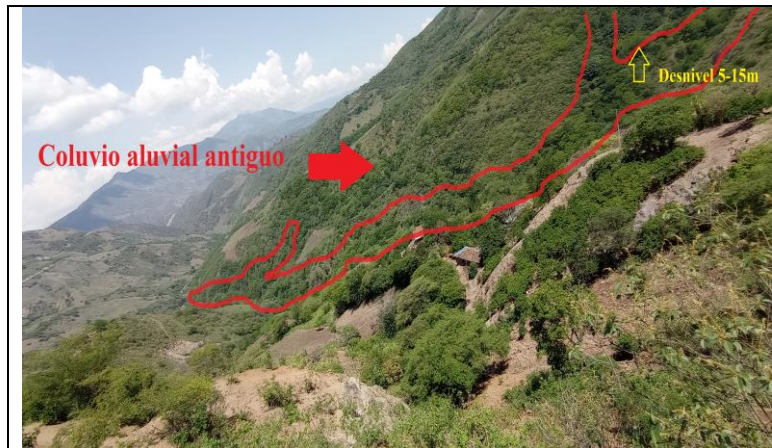
*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

- **Coluvio aluvial antiguo**

Los coluvio aluvial antiguos, son depósitos de transición entre las laderas montañosas y los valles de manera difusa donde los materiales procedentes por la dinámica fluvial o de las laderas, se encuentran rellenando vaguadas (parte más profunda de un valle por donde discurre el agua de lluvia o río).

En el área de estudio se encuentran ocupando únicamente un 5,13 % de todo el territorio, esto es alrededor de 1,87 km<sup>2</sup> y se encuentran localizadas a lo largo de los cursos de agua

perennes identificados en el sector, principalmente los asociados a las quebradas. Tienen pendientes dominantes de 12 % a 25 % y desniveles relativos de entre 5 a 15 m.



**Figura 48. Coluvio aluvial antiguo PC GEO5**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*



**Figura 49. Coluvio aluvial antiguo PCGEO6**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

- **Coluvión reciente y antiguo**

Los coluviones son geoformas que suelen presentarse en las partes medias y bajas de las laderas montañosas y resultan de la acumulación de materiales rocosos y residuales por acción de la lluvia, la meteorización y los movimientos en masa. Son antiguos porque su vegetación se encuentra bien desarrollada, lo que da indicios de que su formación sucedió hace mucho tiempo atrás además de tener una disección media a alta.

En el área de estudio comprenden un área de solamente 4,92 % equivalente a 1,79 km<sup>2</sup>, y están localizados al este del área (antiguos), pudiendo ser visualizados desde barrios como San Ramón y en el sector de Lance, mientras que los recientes se encuentran por toda el área central. Presentan desniveles de 25 a 100 m y cuyas pendientes varían de 25 % a 40 %.



**Figura 50. Coluvión reciente PC GEO7**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

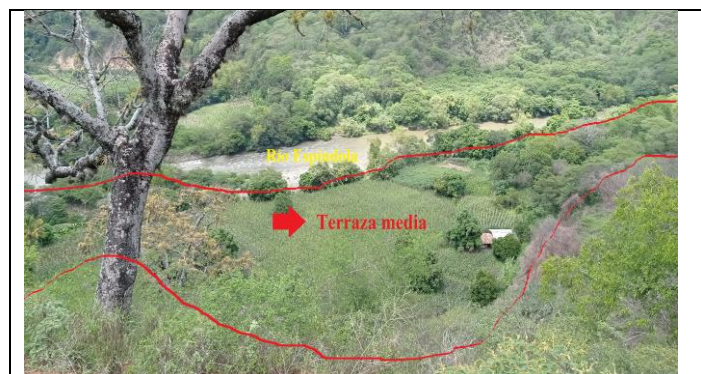


**Figura 51. Coluvión antiguo PCGEO8**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

- **Terraza media**

Las terrazas medias corresponden al segundo nivel por encima de la llanura de inundación con pendientes dominantes desde 2 % a 5 % y desniveles relativos de 2 a 5 m. Su presencia en el área de estudio es de 0,05 km<sup>2</sup>, es decir solamente 0,14 % de todo el territorio en cuestión y su formación se encuentra asociada a la acción de los ríos Espíndola y Amaluza.



**Figura 52. Terraza media PC GEO9**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*



**Figura 53. Terraza media PC GEO10**

**Elaborado por:** Sánchez A. (2022)

- **Terraza baja**

Las terrazas bajas corresponden el primer nivel por encima de la llanura de inundación y está asociado al cauce actual. Se caracteriza por crear una franja alrededor del canal fluvial el cuál es sometido a constantes cambios con alto contenido de material como cantos y bloques.

Son formas del relieve que tienen desniveles de 0 a 2 m y pendientes que van desde 2 % a 5 %. Su localización en el área de estudio está asociada a la acción del río Espíndola y Amaluza que, por su envergadura, generan las condiciones aptas para su formación. Abarcan solo 0,01 km<sup>2</sup>, es decir únicamente 0,03 % del territorio.



**Figura 54. Terraza baja PC GEO11**

**Elaborado por:** Sánchez A. (2022)



**Figura 55. Terraza baja PC GEO12**

**Elaborado por:** Sánchez A. (2022)

- **Laguna**

La laguna abarca un área relativamente baja respecto de las otras unidades geomorfológicas con tan solo 0,01 km<sup>2</sup>, esto es 0.02 % de todo el territorio. Su formación está asociado a un ambiente fluvial-lacustre pues la morfodinámica del sector de emplazamiento ofrece las características endorreicas de su génesis.



**Figura 56. Laguna PC GEO13**

*Elaborado por:* Sánchez A. (2022)

- **Deslizamientos**

Los deslizamientos forman parte de la morfodinámica actual del área de estudio que, conjuntamente con el proceso erosivo y denudativo del relieve, dan lugar a este tipo de unidades geomorfológicas asociadas también a los coluviones. Representan el 0.11 % del territorio (0.04 km<sup>2</sup>) de todo el territorio.



**Figura 57. Deslizamiento PC GEO14**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

### 6.1.6 Isoyetas

El análisis de esta variable es interesante pues en la visita de campo se pudo constatar que en la mayoría de casos, los materiales rocosos de afloramientos y de los deslizamientos levantados, muestran una clara tendencia a ser meteorizados y alterados fuertemente debido a la alta humedad al que han sido sometidos, lo cual está muy ligado a las precipitaciones constantes que se registran dentro del área de estudio.

El mapa de isoyetas fue elaborado en base a los datos de precipitación anual media (mm/año) registrado en 13 estaciones meteorológicas con un registro de datos de mínimo 15 años. Esta información fue obtenida a partir de los Anuarios Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI desde 1990 a 2013. **VER ANEXO 11**

La Tabla 24 muestra los resultados obtenidos de precipitación anual media obtenidos para las 13 estaciones meteorológicas.

**Tabla 24. Valores de precipitación media anual (mm/año) de estaciones meteorológicas consideradas para el área de estudio**

No.	Código	Estación	Coordenadas UTM WGS84			Precipitación (mm/año)
			X	Y	Z (msnm)	
1	M0033	La Argelia - Loja	699 711	9 553 630	2 160	1 020,3
2	M0143	Malacatos	691 894	9 533 772	1 453	646,7
3	M0145	Quinara	694 953	9 522 952	1 560	859,4
4	M0146	Cariamanga	660 414	9 520 874	1 950	1 429,0
5	M0147	Yangana	702 556	9 516 943	1 835	1 123,6
6	M0149	Gonzanamá	674 127	9 532 243	2 042	1 458,9
7	M0150	Amaluza INAMHI	674 106	9 493 049	1 672	925,0
8	M0433	El lucero INAMHI	669 587	9 513 515	1 180	941,6
9	M0434	Sozoranga INAMHI	634 395	9 521 872	1 510	1 332,3
10	M0438	Jimbura	670 398	9 488 357	2 094	1 284,9
11	M0439	Sabiango INAMHI	632 015	9 517 853	734	1 196,2
12	M0515	Catacocha	650 417	9 551 790	1 808	888,3
13	M0544	Colaisaca	645 033	9 522 745	2 410	1 235,5

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

A partir de ello, los resultados obtenidos para el mapa final de isoyetas de la zona sur de la parroquia Bellavista muestra 3 categorías diferentes de precipitaciones, esto en base a los datos de precipitación media anual existente dentro del territorio en estudio, esto es 925 mm/año (mínimo) y 1 156 mm/año (máximo).

**Tabla 25. Valores de precipitación media anual (mm/año) del área de estudio**

Categoría	Precipitación Media Anual (mm/año)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Precipitación baja	< 1 000	8,21	22,55
Precipitación media	1 000 – 1 100	19,39	53,29
Precipitación alta	> 1 100	8,79	24,16
<b>Total</b>		<b>36,39</b>	<b>100</b>

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

Tal y como evidencian los resultados obtenidos, se tiene que para las zonas localizadas al sureste y este del área de estudio existe una precipitación media anual categorizada como baja con menos de 1 000 mm/año, esto es en sectores como Bella María, parte de Bellavista, el cerro Guambo, Loma Socchabamba y barrio San Ramón abarcando alrededor de 8,21 km<sup>2</sup> de territorio, un 22,55 % del área total. Pese a ser categorizada como un área de “baja precipitación”, la cantidad de lluvia que cae al año es considerable y esto es claramente evidente en campo debido a la frondosidad de la vegetación y meteorización alta de materiales.

Igualmente, en zonas como Pasaje, Bellavista, Chahuindo, Condorhuasi, Lance y Llamacanche, predominan las precipitaciones medias con alrededor de 1 000 a 1 100 mm/año, es decir que 19,39 km<sup>2</sup> del territorio sufre precipitaciones más fuertes que en las zonas orientales, esto es 53,29 % del territorio.

Finalmente, las precipitaciones altas son más frecuentes en las zonas occidentales del territorio abarcando barrios como San José. La humedad de este sector es tal que el estado de vías y senderos es notablemente deteriorado, además de aportar recurso hídrico a los cursos de agua que discurren por esta zona que termina fluyendo hasta desembocar al río Espíndola al límite con Perú.

## **6.2 Inventario de deslizamientos**

El inventario de deslizamientos en el área de estudio se lo realizó para constatar la existencia de este tipo de fenómenos en masa y así poder caracterizarlos en base a lo observado en campo. La finalidad de su levantamiento y caracterización, es poder analizar y correlacionar la causa que originaron y desencadenaron los deslizamientos, considerando para ello los factores



condicionantes analizados anteriormente, así como el factor desencadenante como son las precipitaciones.

El análisis en campo del estado de los deslizamientos en cuanto a los materiales litológicos que lo componen, el relieve que predomina en la zona, la vegetación existente, las pendientes y la presencia de humedad relacionada a las aguas superficiales (lluvia), son fundamentales y ayudarán en el consiguiente proceso de valoración por el método de Saaty.

Además, el inventario sirve para correlacionar los resultados del mapa de susceptibilidad a deslizamientos en el área de estudio con los deslizamientos existentes y así verificar la eficiencia del proceso de análisis, investigación y zonificación.

En la siguiente tabla se muestra los deslizamientos levantados y caracterizados en el área de estudio por medio de una ficha técnica adoptada del “Proyecto Multinacional Andino” y dando como resultado un total de 9 deslizamientos.

**Tabla 26. Inventario de deslizamientos localizados en el área de estudio**

No.	Código	Coordenadas UTM WGS84			Referencia	Tipo
		X	Y	Z (msnm)		
1	DZ-01	672 701	9 494 000	1 934	Vía Amaluza-Bellavista	Rotacional
2	DZ-02	672 154	9 494 209	1 985	Vía Amaluza-Bellavista	Traslacional
3	DZ-03	671 867	9 494 668	2 016	Vía Amaluza-Bellavista	Traslacional
4	DZ-04	671 504	9 494 937	2 088	Vía Amaluza-Bellavista	Rotacional
5	DZ-05	671 853	9 496 159	2 148	Vía Bellavista-Llamacanche	Rotacional
6	DZ-06	671 262	9 496 640	2 063	Vía a San José	Rotacional
7	DZ-07	670 862	9 496 751	2 004	Vía a San José	Traslacional
8	DZ-08	669 535	9 496 675	1 696	Vía a San José	Rotacional
9	DZ-09	672 606	9 497 320	2 083	Vía a San Ramón	Rotacional

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

- **Deslizamiento No. 1 (DZ-01)**



**Figura 58. Deslizamiento No.1 en la vía Amaluza-Bellavista**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

El presente deslizamiento es uno de los tantos que se encuentran a lo largo del talud de la vía Amaluza-Bellavista por el sector Bella María.

Dadas las características observadas en campo, el deslizamiento se encuentra activo debido a la cantidad de material acumulado en la cuneta de la vía, además es tipo rotacional pues se puede observar cómo los materiales se han deslizado sobre una superficie ligeramente cóncava. Se presenta como un evento sencillo y lento con escarpe evidente de 1,60 m y ensanchándose al flanco izquierdo en forma semicircular y escasa presencia de vegetación sobre el mismo. La masa desplazada tiene una longitud de 12,65 m y se encuentra como una masa desintegrada de materiales coluviales arenosos y limosos provenientes del Cerro Guambo formando un tipo de suelo residual.

Entra las causas probables observadas se tiene: por exceso de agua al ser una zona de alta humedad, así como la apertura de la vía cuyo factor disparador son las abundantes lluvias y la apertura de la vía como tal, donde no existe un daño visible ni un método de estabilización.

- **Deslizamiento No. 2 (DZ-02)**



**Figura 59. Deslizamiento No.2 en la vía Amaluza-Bellavista**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

Este deslizamiento se encuentra situado a lo largo de la vía que conduce desde Amaluza hasta la cabecera parroquial Bellavista en el cantón Espíndola por el sector Bella María.

Dadas las características observadas en campo, el deslizamiento se encuentra en estado latente, es decir que no presenta rasgos de encontrarse activo en la actualidad pero que se activa en períodos de tiempo constantes. Tiene una longitud de 11,5 m y 12 m de ancho siendo un deslizamiento del tipo traslacional pues la forma de la masa desplazada sigue una superficie preferentemente plana o ligeramente ondulada. Se presenta como un evento sencillo y lento cuyo escarpe no es visible debido a la exuberante vegetación arbustiva del lugar. En cuanto a la masa desplazada se encuentra como una masa intacta de materiales coluviales compuestos principalmente de pequeños fragmentos de rocas volcánicas en una matriz arenosa de grano grueso de tonalidades rojizas en forma de suelo residual con un grado de humedad bajo. Puede observarse la presencia de cultivos sobre la masa desplazada con una inclinación contraria a la dirección del movimiento como indicador de este tipo de movimientos en masa.

Entre las causas probables que originaron este deslizamiento está la erosión concentrada y exceso de agua cuyo factor disparador son las lluvias y la apertura de la vía sumado al tipo de material encontrado. Además, no es perceptible algún daño visible que haya generado este deslizamiento pues se encuentra estabilizado por un muro de gaviones.

- **Deslizamiento No. 3 (DZ-03)**



**Figura 60. Deslizamiento No.3 en la vía Amaluza-Bellavista**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

Este deslizamiento está localizado por el sector Bella María en la vía que conduce desde Amaluza hasta el barrio Bellavista.

Dadas las características observadas en campo, el deslizamiento está en estado activo pues se encuentra parcialmente controlado ya que existen marcas visibles de trabajos realizados con maquinaria para retirar el material deslizado. Es del tipo traslacional con una longitud de 5,5 m y 11 m de ancho y se presenta como un evento sencillo y lento con un escarpe principal evidente de 1 m en forma semicircular con presencia escasa de vegetación sobre el mismo. La masa desplazada está en estado desintegrado formando suelo residual de material detrítico y matriz arenosa altamente meteorizada debido a la humedad de la zona.

Las causas probables que dio origen a este deslizamiento es la apertura de la vía, así como el exceso de agua y las lluvias como factor disparador. No se puede observar daños ocasionados a la vía, pero sí a los cultivos además de no tener algún método de estabilización.

- **Deslizamiento No. 4 (DZ-04)**



**Figura 61. Deslizamiento No.4 en la vía Amaluza-Bellavista**

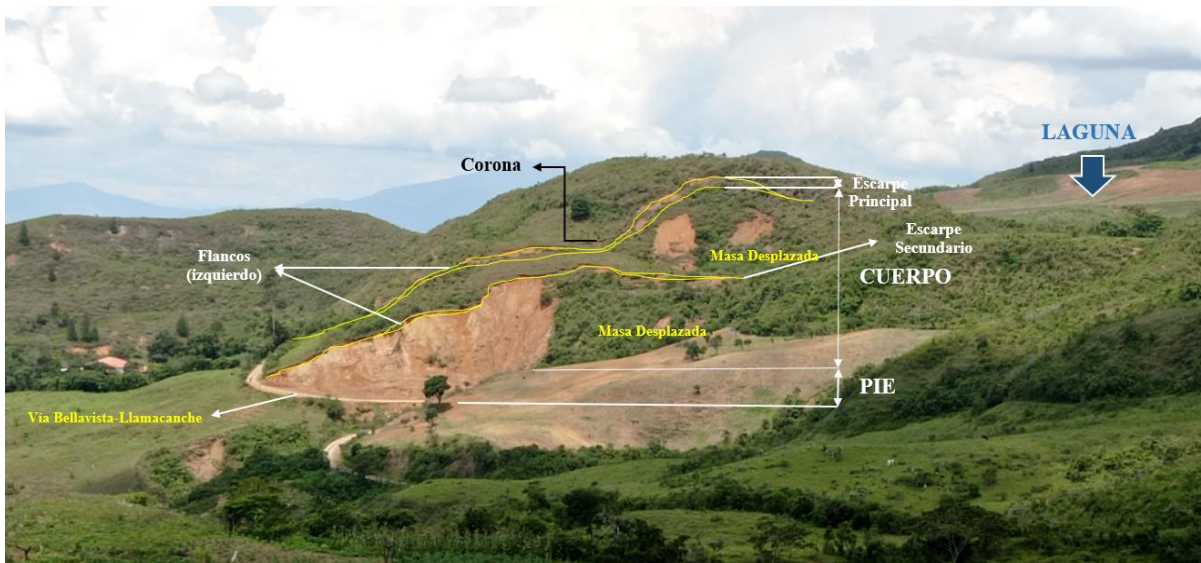
*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

El presente deslizamiento está situado en la vía Amaluza-Bellavista a escasos metros antes de llegar a la cabecera parroquial Bellavista.

Dadas las características observadas en campo se tiene que; el deslizamiento está en estado activo pues se puede evidenciar la presencia de material deslizado y depositado en la cuneta de la vía. Es un deslizamiento rotacional pues la masa desplazada se desliza sobre una superficie curva o cóncava observable. Tiene 6,3 m de ancho y 3,6 m de longitud, siendo un movimiento pequeño que se presenta de forma sencilla y lenta cuyo escarpe tiene 0,7 m de espesor y con forma semicircular y escasa presencia de vegetación herbácea sobre el mismo. La masa desplazada está desintegrada formada por los depósitos coluviales que provienen del Cerro Guambo y constituida de material arenoso-limoso de color marrón-pardo fácilmente disgregable y altamente meteorizado, esto debido a la humedad de la zona. Así mismo, la masa desplazada presenta vegetación arbustiva que ha sido arrastrada junto con el resto de materiales litológicos y cercas que colindan los terrenos presentes en el sector.

Al igual que los deslizamientos anteriores, la causa probable que originó este deslizamiento es la apertura de la vía, así como el exceso de agua proveniente de las lluvias. El daño observado es leve pues los materiales deslizados se encuentran obstaculizando la cuneta de la vía, sin embargo, no existe algún método de estabilización para el mismo.

- **Deslizamiento No. 5 (DZ-05)**



**Figura 62. Deslizamiento No.5 en la vía Bellavista-Llamacanche**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

El deslizamiento se encuentra ubicado en la vía que conecta Bellavista a los barrios del norte como Llamacanche en el centro del área de estudio. Es el deslizamiento de mayor extensión levantado en el área de estudio y el más complejo de todos.

Según la caracterización realizado en campo, el deslizamiento No. 5 se encuentra en estado latente y es potencialmente peligroso debido que abarca un área sumamente grande que ocasiona que parte de la montaña ceda y se deslice cerrando la vía como ha ocurrido en varias ocasiones generando graves daños, pues cierra la principal vía de comunicación entre los barrios del norte de la parroquia con la cabecera parroquial Bellavista y por ende el paso hacia la vía que conecta con Amaluza.

Es un evento múltiple y lento pues está conformado por dos movimientos, el primero es un deslizamiento rotacional en el flanco derecho cuya masa desplazada se desliza sobre una superficie curva, mientras que el otro deslizamiento se encuentra actualmente intervenido por maquinaria pesada debido a su reciente actividad y por ende parte la masa desplazada ha sido retirada para abrir la vía. Presenta dos escarpes, el principal de 1,5 m y el secundario de 1 m ambos con forma semicircular y observables en campo.

La masa desplazada es una mezcla entre material desintegrado y material intacto, esto puede evidenciarse al pie del talud como depósitos detríticos de origen volcánico perteneciente a la Unidad Changaimina, así como una matriz arenosa de grano grueso color anaranjado producto

de la geodinámica que ha provocado el transporte de materiales coluviales. Igualmente se puede evidenciar la presencia de abundante vegetación, tanto arbustiva como herbácea sobre el deslizamiento, así como en la masa desplazada, así como ojos de agua.

Entre las causas probables que originaron este deslizamiento se tiene; el exceso de agua en la zona debido principalmente a la presencia de una laguna en la parte superior de la montaña y partir de la cual discurre agua en dirección al deslizamiento (generando los ojos de agua), así como también la apertura de la vía como otra posible causa de la inestabilidad de la ladera.

El daño más visible se da a la vía, puesto que cuando el deslizamiento se activa, bloquea esta vía de comunicación principal dentro del área de estudio, además de no existir método alguno de estabilización. Sus dimensiones fueron obtenidas a partir de la ortofoto del área de estudio y con ayuda del software ArcGIS 10.5, obteniéndose así 21 947,53 m<sup>2</sup> de área.



**Figura 63. Deslizamiento No. 5 (flanco oeste), intervenido por maquinaria pesada**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

En la *figura* anterior se puede observar el área intervenida del deslizamiento donde maquinaria pesada retiró parte del material desplazado para habilitar la vía que conduce a la cabecera parroquial Bellavista.

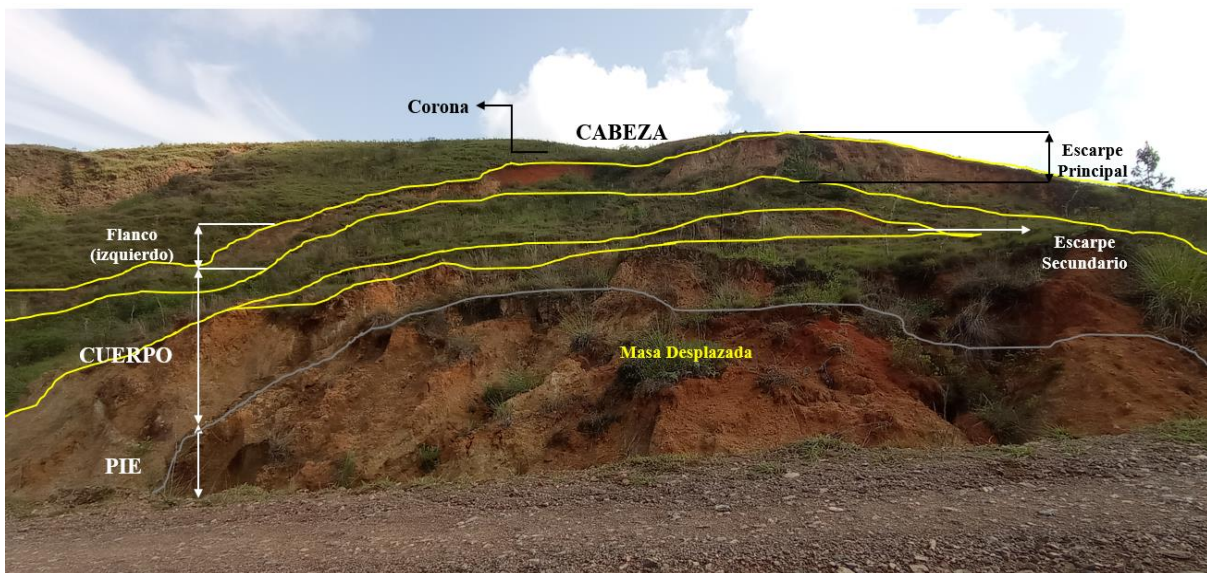


**Figura 64. Deslizamiento No. 5 (flanco este), tipo rotacional**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

La **figura 64** muestra el deslizamiento rotacional en el flanco este cuya masa desplazada está cubierta de una exuberante vegetación arbustiva con presencia de ojos de agua producto del agua que fluye desde la laguna situada en la parte posterior.

- **Deslizamiento No. 6 (DZ-06)**



**Figura 65. Deslizamiento No.6 en la vía al barrio San José**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

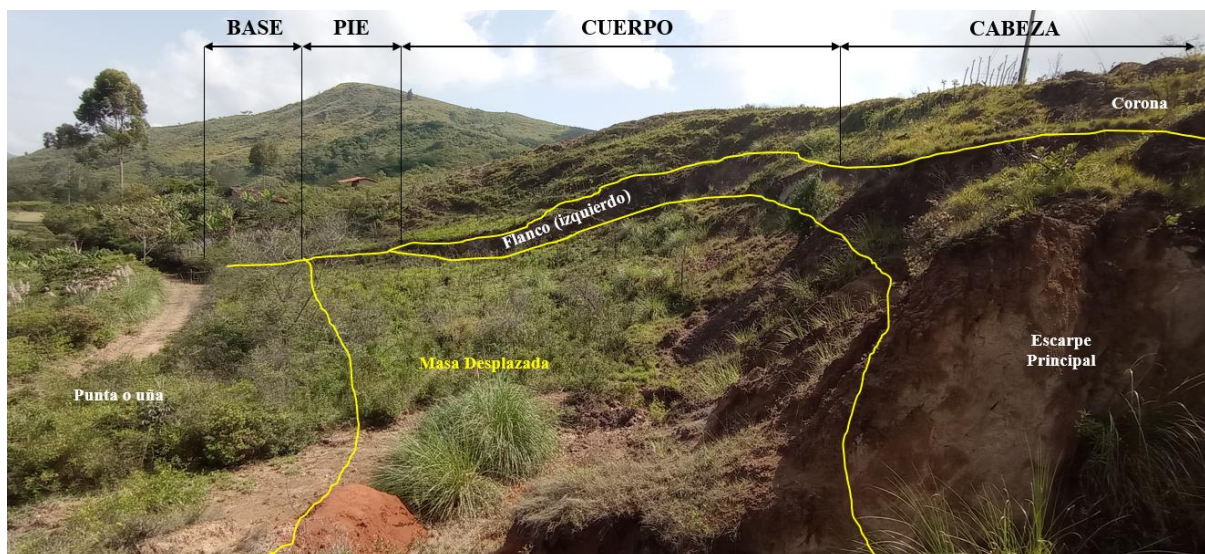
El presente deslizamiento está ubicado en el tramo vial de tercer orden que conduce de Bellavista hasta el barrio San José al oeste del área de estudio.



Dadas las características observadas en campo, el deslizamiento se encuentra en estado latente, pues no se evidencian rasgos de actividad reciente en el mismo, pero se activa con regularidad bajo las condiciones de la zona. Debido a la gran dimensión que presenta es difícil distinguir el tipo, sin embargo, por la forma en que se asienta la masa desplazada, así como la vegetación sobre la misma, se ha determinado que es de tipo rotacional cuyo movimiento es múltiple y lento ya que por su dimensión ciertas zonas se desprenden mientras que otras no generándose así dos escarpes, el principal con 2,2 m y el secundario de 1,6 m, ambos en forma semicircular y observables en campo. La masa desplazada se encuentra desintegrada formada por materiales coluviales donde predominan pequeños fragmentos de roca volcánica en una matriz arenosa amarillenta y anaranjada de grano grueso y altamente húmedo con presencia de pequeños ojos de agua.

La causa probable es por el exceso de agua, así como por la apertura de la vía que conduce al barrio San José, que ha vuelto inestable la ladera generando el deslizamiento. Sin embargo, no se evidencia daño alguno en la zona que perjudique a la población a excepción de cercos tumbados ni tampoco se evidencia algún método de estabilización. Las dimensiones aproximadas del deslizamiento son 52 m de ancho y 45 m de longitud.

- **Deslizamiento No. 7 (DZ-07)**



**Figura 66. Deslizamiento No.7 en la vía al barrio San José**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

El deslizamiento se encuentra ubicado a un costado del camino de tercer orden hacia el barrio San José al occidente del área de estudio.

Según las características del movimiento, se tiene que el deslizamiento se encuentra en estado latente debido a que sobre la masa desplazada es observable la presencia de cultivos, así como abundante vegetación herbácea y arbustos ligeramente inclinados en sentido contrario a la dirección del movimiento, lo cual indica la inactividad del deslizamiento en períodos prolongados de tiempo. El movimiento es de tipo traslacional pues la masa desplazada se desliza a lo largo de una superficie ligeramente plana de poca pendiente cuyo escarpe alcanza los 2,5 m y se ensancha en el flanco derecho del mismo. Por otra parte, la masa desplazada está conformada por materiales desintegrados, así como intactos en ciertas zonas, donde predominan materiales sueltos como arenas y limos formando suelo residual.

Entre la causa probable que originó este movimiento está el exceso de agua debido al alto grado de humedad de la zona, así como la erosión concentrada y la apertura de la vía, cuyo factor disparador es precisamente la apertura de vía conjuntamente con las lluvias que se dan en la zona. Tiene una longitud de 38 m y 43 m de ancho.

Los daños observables ocasionados por el deslizamiento son leves y se da principalmente a los cultivos que se encuentran en la zona además de no presentar método de estabilización.

- **Deslizamiento No. 8 (DZ-08)**



**Figura 67. Deslizamiento No.8 en la vía al barrio San José**

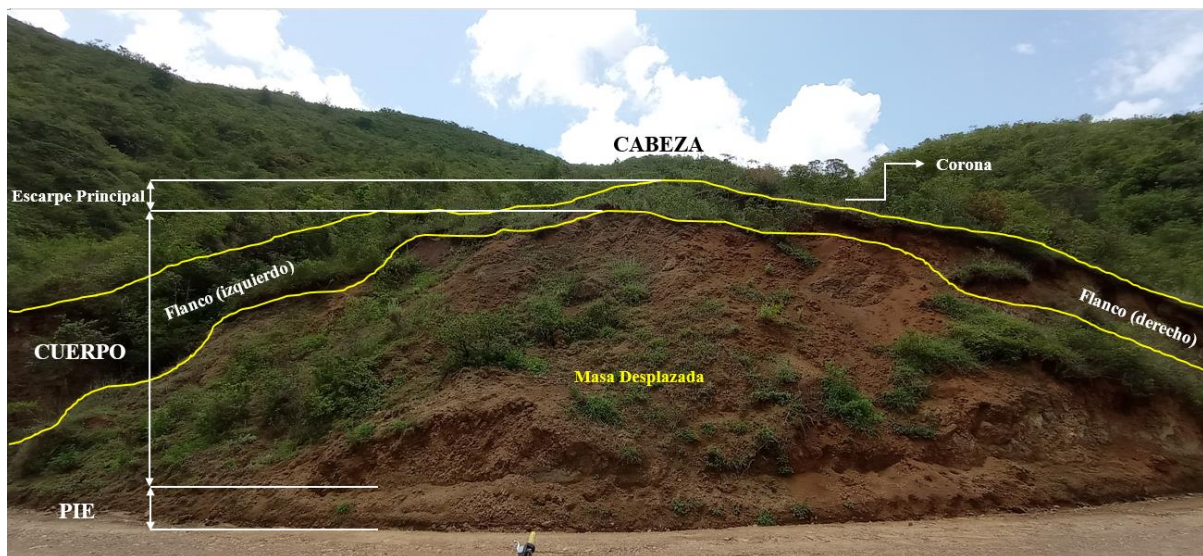
*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

Se encuentra situado en el tramo vial de tercer orden que va hacia el barrio San José desde la cabecera parroquial Bellavista al oeste del área de estudio.

Dadas las características observadas en campo, el deslizamiento No. 8 se encuentra en estado latente y es de tipo rotacional por las características que presenta además de ser un tipo de movimiento sencillo y lento con una longitud de 16,7 m y 19,4 m de ancho. Presenta un escarpe evidente de 2,30 m en forma semicircular que desaparece progresivamente al flanco derecho sobre el cual existe escasa vegetación herbácea. La masa desplazada se encuentra desintegrada en forma de suelo residual formada por material detrítico de origen volcánico color marrón debido al alto grado de intemperismo al que han sido sometido por la humedad de la zona además de encontrarse pequeños clastos de rocas volcánicas pertenecientes a la Unidad Changaimina.

El exceso de agua, la humedad, así como la apertura de la vía es analizada como los posibles causantes que dieron origen al deslizamiento y cuyo factor detonante evidente son las lluvias. El daño observado se da sobre la vía ya que el deslizamiento continúa al otro lado del camino convirtiéndolo en un evento peligroso.

- **Deslizamiento No. 9 (DZ-10)**



**Figura 68. Deslizamiento No.9 en la vía al barrio San José**

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

Situado al este del área de estudio en la vía que conduce desde la cabecera parroquial Bellavista hasta el barrio San Ramón.

Según lo caracterizado en campo, el deslizamiento se encuentra en estado latente ya que no se observa material depositado en la vía que evidencia actividad reciente. Es de tipo rotacional ya que la masa desplazada se observa deslizada sobre una superficie curva generando así un

escarpe visible de 0,6 m en el centro y se ensancha hacia ambos flancos hasta más de 1m en forma semicircular. Se presenta como un movimiento sencillo y lento cuya masa desplazada alcanza los 9,4 m sobre la cual existe la presencia de arbustos y constituida de material detrítico en matriz areno-limosa color anaranjado altamente meteorizado debido a la humedad que existe en la zona.

La apertura de la vía, el exceso de agua y la erosión concentrada se analizan como las posibles causas del deslizamiento el cual genera un daño leve a la vía al no contar con un método de estabilización.

### **6.3 Implementación del Método Jerárquico Analítico AHP de Saaty**

#### **6.3.1 Valoración y normalización de variables de susceptibilidad a deslizamientos**

El Proceso Jerárquico Analítico (AHP) propuesto por Tomas Saaty en 1980, permite que se analice, jerarquice y evalúe a criterio del autor, las variables consideradas en la susceptibilidad a deslizamientos en el área de estudio. Para ello, primero se analizó y jerarquizó las variables de susceptibilidad en orden de importancia teniendo así; geomorfología, geología, pendientes, cobertura y uso actual del suelo e isoyetas.

Se consideró la **geomorfología** como la variable de mayor jerarquía y por ende la más importante por el hecho de que esta rama de la geología es muy compleja en varios ámbitos; en primer lugar para la definición de unidades geomorfológicas es necesario conocer su origen de formación, las pendientes predominantes, el tipo de material litológico característico, etc., es decir, por definición la geomorfología ya toma en consideración las variables tanto geológica como las pendientes, además de ser el relieve un factor importante y clave en la activación de estos movimientos en masa debido a la geodinámica de la corteza terrestre. Por ello, se la consideró como la variable de mayor incidencia dentro del análisis de zonas susceptibles a deslizamientos en el área de estudio ubicado en la parroquia rural Bellavista.

El ambiente **geológico** de una zona en estudio por susceptibilidad es importante también, ya que, dependiendo del tipo de material litológico, existen zonas de más alto riesgo a deslizarse que otras, esto considerando que materiales sedimentarios y altamente alterados por lo general tienden a ser más propensos a fallar a lo largo de una superficie de rotura que materiales más compactos y resistentes como los ígneos. Adicional a ello, las **pendientes** en el área de estudio son importantes de considerar por el hecho de que forman parte del estado de reposo natural de los materiales con respecto a la gravedad, conociendo además que en aquellas zonas donde

predominen pendientes altas es más susceptible a deslizarse el suelo que en aquellas donde predominan planicies y donde se pueden dar otro tipo de movimientos en masa como reptaciones característico de zonas de baja pendientes como movimientos lentos. Por todo ello, las variables *geología* y *pendientes* fueron considerados de mayor importancia después de la variable *geomorfología*.

Por otra parte, la *cobertura y uso actual del suelo* dentro de este análisis se encuentra como la cuarta variable de mayor incidencia en la generación de deslizamientos. No es la de menor importancia ya que al igual que las variables anteriores, la cobertura del suelo está influyendo directa o indirectamente en la generación de deslizamientos, todo dependerá del tipo de cobertura y uso que se esté dando al suelo y el grado de intervención que se tenga, teniendo así zonas de mayor riesgo a deslizarse que otras.

Finalmente, las *precipitaciones* o isoyetas es la variable de menor peso dentro del análisis, si bien las lluvias por lo general son el factor desencadenante más importante dentro de la formación de deslizamientos, se le ha dado el menor peso por el hecho de que en estudios de susceptibilidad no se analizan los agentes desencadenantes, pero por el grado de importancia que tienen las precipitaciones sobre los deslizamientos se lo ha considerado, pero con el menor peso respecto de las variables condicionantes.

A continuación, se muestran las valoraciones de las variables y subvariables consideradas para el análisis a susceptibilidad a deslizamientos en la matriz de Saaty:

**Tabla 27. Valoración y normalización de variables susceptibles a deslizamientos en el área de estudio**

Variables						Normalización					Peso	Ponderación
	Geomorfología	Geología	Pendientes	Cobertura y uso actual del suelo	Precipitaciones (isoyetas)							
Geomorfología	1	2	2	3	3	0,38	0,48	0,35	0,29	0,23	<b>0,35</b>	<b>35%</b>
Geología	0,50	1	2	3	3	0,19	0,24	0,35	0,29	0,23	<b>0,26</b>	<b>26%</b>
Pendientes	0,50	0,50	1	3	3	0,19	0,12	0,18	0,29	0,23	<b>0,20</b>	<b>20%</b>
Cobertura y uso actual del suelo	0,33	0,33	0,33	1	3	0,13	0,08	0,06	0,10	0,23	<b>0,12</b>	<b>12%</b>
Precipitaciones (isoyetas)	0,33	0,33	0,33	0,33	1	0,13	0,08	0,06	0,03	0,08	<b>0,07</b>	<b>7%</b>
<i>Total</i>	<b>2,7</b>	<b>4,2</b>	<b>5,7</b>	<b>10,3</b>	<b>13</b>	<i>Σ Peso</i>					<b>1,00</b>	<b>100%</b>

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

- **Índice de consistencia (IC):**

$$IC = \frac{nmáx - n}{n - 1}$$

$$IC = \frac{5,34 - 5}{5 - 1}$$

$$IC = 0,08$$

- **Índice de consistencia aleatoria (ICA):**

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

$$ICA = \frac{1,98 * (5 - 2)}{5}$$

$$ICA = 1,19$$

- **Razón de consistencia (RC):**

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

$$RC = \frac{0,08}{1,19}$$

$$RC = 0,07 < 0,1 \rightarrow \text{ACEPTABLE}$$

### 6.3.1.1 Variable Geomorfología.

Tabla 28. Valoración y normalización de la variable geomorfología en matriz de Thomas Saaty, 1980

Geomorfología									Normalización								Peso
	Deslizamientos	Relieve montañoso	Coluvión reciente y antiguo	Relieve colinado alto	Laguna	Coluvio aluvial antiguo	Terraza media	Terraza baja									
Deslizamientos	<b>1</b>	2	2	2	3	4	4	4	0,28	0,41	0,30	0,21	0,23	0,22	0,15	0,15	<b>0,24</b>
Relieve Montañoso	0,50	<b>1</b>	2	3	3	4	4	4	0,14	0,20	0,30	0,32	0,23	0,22	0,15	0,15	<b>0,22</b>
Coluvión reciente y antiguo	0,50	0,50	<b>1</b>	2	3	4	4	4	0,14	0,10	0,15	0,21	0,23	0,22	0,15	0,15	<b>0,17</b>
Relieve colinado alto	0,50	0,33	0,50	<b>1</b>	2	3	4	4	0,14	0,07	0,08	0,11	0,15	0,16	0,15	0,15	<b>0,13</b>
Laguna	0,33	0,33	0,33	0,50	<b>1</b>	2	4	4	0,09	0,07	0,05	0,05	0,08	0,11	0,15	0,15	<b>0,09</b>
Coluvio aluvial antiguo	0,25	0,25	0,25	0,33	0,50	<b>1</b>	4	4	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,15	0,15	<b>0,07</b>
Terraza media	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	<b>1</b>	1	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,04	0,04	<b>0,04</b>
Terraza baja	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1	<b>1</b>	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,04	0,04	<b>0,04</b>
<b>Total</b>	<b>3,6</b>	<b>4,9</b>	<b>6,6</b>	<b>9,3</b>	<b>13</b>	<b>19</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>Σ Peso</b>								<b>1,00</b>

Elaborado por: Sánchez A. (2022)

Para la variable geomorfológica se ha considerado 8 subvariables siendo los *deslizamientos* y el *relieve montañoso* los que mayor incidencia tienen respecto del resto de subvariables, considerando que, al ser un tipo de relieve muy accidentado y dominante en extensión, es propicio para la generación de deslizamientos con pendientes dominantes de hasta 45° y desniveles relativos de más de 300 m.

Los *coluviones antiguos y recientes* se los ha considerado de mayor incidencia e importancia que el *relieve colinado alto* por el tipo de litología que los forman, ya que están compuestos de materiales coluviales producto del proceso denudativo del relieve lo que ha hecho que se depositen en las laderas medias y bajas de las montañas y cuya alteración y grado de saturación es tal que facilita altamente la activación de los deslizamientos, diferenciándose también de los *coluvio aluvial antiguo* por el hecho de que éstos por lo general se forman en zonas de transición entre laderas y zonas de planicie en la parte baja de las vaguadas alrededor de las quebradas donde predominan pendientes más bajas. Por otra parte, la *laguna* al igual que las *terrazas medias y bajas* son las de menor incidencia al ser geoformas que se ubican en zonas planas con pendientes de 2° a 5° y donde por lo general no suelen presentarse este tipo de fenómenos.

- **Índice de consistencia (IC):**

$$IC = \frac{nmáx - n}{n - 1}$$

$$IC = \frac{8,76 - 8}{8 - 1}$$

$$IC = 0,11$$

- **e de consistencia aleatoria (ICA):**

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

$$ICA = \frac{1,98 * (8 - 2)}{8}$$

$$ICA = 1,49$$

- **Razón de consistencia (RC):**

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

$$RC = \frac{0,11}{1,49}$$

$$RC = 0,07 < 0,1 \rightarrow \text{ACEPTABLE}$$

### 6.3.1.2 Variable Geología.

Tabla 29. Valoración y normalización de la variable geología en matriz de Thomas Saaty, 1980

Geología						Normalización					Peso
	Bloques y fragmentos de rocas volcánicas en matriz arenosa	Areniscas volcánicas, limolitas, arcillolitas y andesitas	Tobas dacíticas, brechas volcánicas y areniscas	Cantos volcanoclásticos, arenas y limos	Lavas andesíticas-basálticas, brechas piroclásticas y tobas andesíticas						
Bloques y fragmentos de rocas volcánicas en matriz arenosa	<b>1</b>	2	3	3	4	0,41	0,49	0,46	0,29	0,25	<b>0,38</b>
Areniscas volcánicas, limolitas, arcillolitas y andesitas	0,50	<b>1</b>	2	3	4	0,21	0,24	0,30	0,29	0,25	<b>0,26</b>
Tobas dacíticas, brechas volcánicas y areniscas	0,33	0,50	<b>1</b>	3	4	0,14	0,12	0,15	0,29	0,25	<b>0,19</b>
Cantos volcanoclásticos, arenas y limos	0,33	0,33	0,33	<b>1</b>	3	0,14	0,08	0,05	0,10	0,19	<b>0,11</b>
Lavas andesíticas-basálticas, brechas piroclásticas y tobas andesíticas	0,25	0,25	0,25	0,33	<b>1</b>	0,10	0,06	0,04	0,03	0,06	<b>0,06</b>
<b>Total</b>	<b>2,4</b>	<b>4,1</b>	<b>6,6</b>	<b>10,3</b>	<b>16</b>	<b><math>\Sigma</math> Peso</b>					<b>1,00</b>

Elaborado por: Sánchez A. (2022)

La variable geológica ha considerado 5 subvariables litológicas, siendo los **bloques y fragmentos de rocas volcánicas en matriz arenosa** los que mayormente inciden en los deslizamientos dentro del área de estudio al encontrarse formando depósitos coluviales altamente alterados y con alto grado de humedad y sobresaturación de sus materiales los cuales son fácilmente disgregables y propicios a deslizarse. Las **areniscas volcánicas, limolitas, arcillolitas y andesitas** alteradas de la Unidad Río Guayucu son materiales volcano-sedimentarios que al igual que las **tobas dacíticas y brechas volcánicas** de la Unidad El Ingenio, se encuentran menos alteradas que los depósitos coluviales pero que épocas invernales también se sobresaturan volviéndose en materiales frágiles, disgregables y susceptibles a deslizarse. Los **cantos volcanoclásticos, arenas y limos** a pesar de ser en parte sedimentarios, tienen origen volcánico y se encuentran formando las terrazas medias y bajas del área de estudio, por ende se le ha dado menos peso en el análisis al igual que las **lavas andesíticas-basálticas** de la Unidad Changaimina, ya que son materiales volcánicos que superficialmente se encuentran alterados en menos proporción que los anteriores pero que internamente se encuentran compactos e inalterados, generando así mayor resistencia a deslizarse.



- **Índice de consistencia (IC):**

$$IC = \frac{nmáx - n}{n - 1}$$

$$IC = \frac{5,33 - 5}{5 - 1}$$

$$IC = 0,08$$

- **Índice de consistencia aleatoria (ICA):**

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

$$ICA = \frac{1,98 * (5 - 2)}{5}$$

$$ICA = 1,19$$

- **Razón de consistencia (RC):**

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

$$RC = \frac{0,08}{1,19}$$

$$RC = 0,07 < 0,1 \rightarrow \text{ACEPTABLE}$$

### 6.3.1.3 Variable Pendientes.

Tabla 30. Valoración y normalización de la variable pendientes en matriz de Thomas Saaty, 1980

Pendientes	Pendientes				Normalización				Peso
	Empinado (> 35°-77.05°)	Muy inclinado (>15°-35°)	Fuertemente inclinado (>5°-15°)	Ligeramente inclinado (0°-5°)					
Empinado (> 35°-77.05°)	1	2	3	4	0,48	0,56	0,40	0,36	<b>0,45</b>
Muy inclinado (>15°-35°)	0,50	1	3	4	0,24	0,28	0,40	0,36	<b>0,32</b>
Fuertemente inclinado (>5°-15°)	0,33	0,33	1	2	0,16	0,09	0,13	0,18	<b>0,14</b>
Ligeramente inclinado (0°-5°)	0,25	0,25	0,50	1	0,12	0,07	0,07	0,09	<b>0,09</b>
<b>Total</b>	<b>2,08</b>	<b>3,58</b>	<b>7,50</b>	<b>11</b>	<b>Σ Peso</b>				<b>1,00</b>

Elaborado por: Sánchez A. (2022)

Para la variable de pendientes, se ha considerado 4 subvariables, siendo las pendientes *empinadas* las que mayormente inciden dentro de los deslizamientos al tener rangos altos de

inclinación entre 35° hasta la pendiente más alta dentro del área de estudio que llega a 77.05°, lo que facilita que materiales fallen a favor de la gravedad y se deslicen por la pendiente.

Sucesivamente, las pendientes *muy inclinadas* y *fuertemente inclinadas* han sido analizadas y evaluadas en función de su incidencia con este tipo de fenómenos de remoción en masa considerando que entre menos pendiente exista, menor es el riesgo de generarse deslizamientos (no siempre), ya que en pendientes *ligeramente inclinadas* de 0° a 5° se presentan otro tipo de movimientos como las reptaciones, y por ende se le asigna el menor peso de evaluación.

- **Índice de consistencia (IC):**

$$IC = \frac{nmáx - n}{n - 1}$$

$$IC = \frac{4,11 - 4}{4 - 1}$$

$$IC = 0,04$$

- **Índice de consistencia aleatoria (ICA):**

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

$$ICA = \frac{1,98 * (4 - 2)}{4}$$

$$ICA = 0,99$$

- **Razón de consistencia (RC):**

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

$$RC = \frac{0,04}{0,99}$$

$$RC = 0,04 < 0,1 \rightarrow \text{ACEPTABLE}$$

### 6.3.1.4 Variable Cobertura y Uso Actual del Suelo.

Tabla 31. Valoración y normalización de la variable cobertura y uso actual del suelo en matriz de Thomas Saaty, 1980

Cobertura y uso actual del suelo							Normalización						Peso
	Cultivos	Pastizales	Cuerpos de agua	Vegetación Herbácea	Vegetación Arbustiva	Área poblada							
Cultivos	<b>1</b>	2	3	3	3	4	0,36	0,44	0,42	0,35	0,21	0,22	<b>0,33</b>
Pastizales	0,50	<b>1</b>	2	2	4	4	0,18	0,22	0,28	0,23	0,28	0,22	<b>0,24</b>
Cuerpos de agua	0,33	0,50	<b>1</b>	2	3	3	0,12	0,11	0,14	0,23	0,21	0,17	<b>0,16</b>
Vegetación Herbácea	0,33	0,50	0,50	<b>1</b>	3	3	0,12	0,11	0,07	0,12	0,21	0,17	<b>0,13</b>
Vegetación Arbustiva	0,33	0,25	0,33	0,33	<b>1</b>	3	0,12	0,06	0,05	0,04	0,07	0,17	<b>0,08</b>
Área poblada	0,25	0,25	0,33	0,33	0,33	<b>1</b>	0,09	0,06	0,05	0,04	0,02	0,06	<b>0,05</b>
<b>Total</b>	<b>2,8</b>	<b>4,5</b>	<b>7,2</b>	<b>8,7</b>	<b>14,3</b>	<b>18</b>	<b>Σ Peso</b>						<b>1,00</b>

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

Para la variable de cobertura y uso actual del suelo se ha analizado 6 subvariables de las cuales; los **cultivos** se han considerado como la subvariable de mayor incidencia dentro de la formación de deslizamientos ya que son tierras dedicadas a las actividades agrícolas, donde el suelo es intervenido de tal manera que existe deforestación, adecuación e irrigación de tierras volviéndola muy inestable y susceptible. **Los pastizales** se localizan en zonas de alta y media montaña, en laderas y en sitios donde predominan pendientes altas, materiales muy alterados y sobresaturados que, al combinarse con este tipo de vegetación que se caracteriza por tener raíces poco arraigadas al suelo, ofrecen menor resistencia al terreno a deslizarse. Por otra parte, se ha considerado a los **cuerpos de agua** como la tercera subvariable de mayor importancia, pues la laguna localizada en la parte central del área de estudio, es la principal causa en la generación del deslizamiento No.5 (DZ-05), pues al ser una laguna formada por el ambiente fluvio-lacustre, gran parte de su agua se infiltra y sobesatura el terreno proporcionando las condiciones favorables para el debilitamiento y fallamiento de los materiales en el deslizamiento. La **vegetación herbácea** se define como pastos bajos con poco o nulo enraizado a diferencia de la **vegetación arbustiva** que a su vez se presenta como arbustos medianos y grandes, frondosos y en zonas altas de montaña con la diferencia de tener raíces más grandes, ramificadas y arraigadas al suelo lo que genera resistencia y sujeción disminuyendo la susceptibilidad. Así mismo el **área poblada** es la subvariable con menor incidencia ya que no propicia las características necesarias para la formación de deslizamientos.

- **Índice de consistencia (IC):**

$$IC = \frac{nmáx - n}{n - 1}$$

$$IC = \frac{6,42 - 6}{6 - 1}$$

$$IC = 0,08$$

- **Índice de consistencia aleatoria (ICA):**

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

$$ICA = \frac{1,98 * (6 - 2)}{6}$$

$$ICA = 1,32$$

- **Razón de consistencia (RC):**

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

$$RC = \frac{0,08}{1,32}$$

$$RC = 0,06 < 0,1 \rightarrow \text{ACEPTABLE}$$

### 6.3.1.5 Variable Precipitaciones (isoyetas).

Tabla 32. Valoración y normalización de la variable precipitaciones en matriz de Thomas Saaty, 1980

Precipitaciones (isoyetas)	Precipitaciones			Normalización			Peso
	Precipitación alta (>1 100 mm/año)	Precipitación media (1 000-1 100 mm/año)	Precipitación baja (<1 000 mm/año)				
Precipitación alta (>1 100 mm/año)	1	2	3	0,55	0,57	0,50	<b>0,54</b>
Precipitación media (1 000-1 100 mm/año)	0,50	1	2	0,27	0,29	0,33	<b>0,30</b>
Precipitación baja (<1 000 mm/año)	0,33	0,50	1	0,18	0,14	0,17	<b>0,16</b>
<b>Total</b>	<b>1,83</b>	<b>3,5</b>	<b>6</b>	<b>Σ Peso</b>			<b>1,00</b>

Elaborado por: Sánchez A. (2022)

Para esta variable se analizó 3 subvariables que corresponden a la intensidad de las precipitaciones registradas en las estaciones meteorológicas consideradas para el análisis. Así, las *precipitaciones altas* se las consideró con mayor incidencia por ser zonas donde se acumula una mayor cantidad de agua de lluvia registrada al año (mm/año) y existir una mayor sobresaturación de materiales litológicos favoreciendo la generación de deslizamientos. Sucesivamente, las *precipitaciones medias y bajas* son las que menor incidencia tienen respectivamente por registrar menor cantidad de lluvia y por ende menor cantidad de aguas superficiales que discurren saturando en menor proporción los materiales litológicos.

- **Índice de consistencia (IC):**

$$IC = \frac{nmáx - n}{n - 1}$$

$$IC = \frac{3,01 - 3}{3 - 1}$$

$$IC = 0,01$$

- **Índice de consistencia aleatoria (ICA):**

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

$$ICA = \frac{1,98 * (3 - 2)}{3}$$

$$ICA = 0,66$$

- **Razón de consistencia (RC):**

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

$$RC = \frac{0,01}{0,66}$$






$$RC = 0,01 < 0,1 \rightarrow \text{ACEPTABLE}$$

## 6.4 Mapa de susceptibilidad a deslizamientos

El mapa de susceptibilidad a deslizamientos del área de estudio localizado en la parroquia Bellavista se lo ha obtenido mediante la generación de los mapas temáticos de geomorfología, geología, pendientes, cobertura y uso actual del suelo y precipitaciones, los cuales han sido convertidos a modelo Ráster y superpuestos con la herramienta “Suma Ponderada”, considerando para ello los pesos obtenidos de la matriz de valoración de Thomas Saaty para posteriormente reclasificarlo en 5 clases de acuerdo a los criterios de susceptibilidad a deslizamientos de Sarkar & Kanungo (2004). **VER ANEXO 12**

La Tabla 33 muestra los resultados obtenidos para el mapa de susceptibilidad a deslizamientos del área de estudio en la zona sur de la parroquia Bellavista.

**Tabla 33. Clases de susceptibilidad a deslizamientos según criterios de Sarkar & Kanungo (2004)**

No.	Clase	Simbología	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
1	Muy baja susceptibilidad		0,33	0,92
2	Baja susceptibilidad		4,26	11,71
3	Moderada susceptibilidad		20,18	55,51
4	Alta susceptibilidad		10,62	29,22
5	Muy alta susceptibilidad		0,96	2,64
<b>TOTAL</b>			<b>36,39</b>	<b>100</b>

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

- **Muy alta susceptibilidad**

Estas áreas se definen como laderas con presencia de zonas de falla, materiales rocosos altamente meteorizados y saturados con discontinuidades desfavorables y donde han ocurrido deslizamientos o bien existe una alta posibilidad de que ocurran.

Así, alrededor del **2,64 %** del territorio presenta una **muy alta susceptibilidad a deslizamientos**, es decir **0,96 km<sup>2</sup>**. Esto puede evidenciarse en zonas puntuales como tramos de la vía Bellavista-Amaluza por el sector de Bella María al sur de la parroquia, así como en sectores del tramo vial Bellavista-Llamacanche, barrios como San Ramón y Lance al este, Chahuindo y San José al oeste y pequeñas zonas al norte por Llamacanche y al noreste al límite con Amaluza.

La geomorfología que predomina en este tipo de susceptibilidad son los deslizamientos, coluviones recientes y antiguos, así como pequeñas áreas de relieve montañoso cuya litología está representada por bloques y fragmentos de rocas volcánicas en matriz arenosa de los

depósitos coluviales y las areniscas volcánicas de la Unidad Río Guayucu conjuntamente con las limolitas, arcillolitas y andesitas alteradas localizadas al este y extremo noreste. Las pendientes dominantes varían entre 15° a 35° y hasta más de 35°, es decir muy inclinadas y empinadas en ciertas áreas. De igual manera, la susceptibilidad muy alta abarca coberturas como cultivos, pastizales, cuerpos de agua (laguna) y la vegetación herbácea y arbustiva en menor proporción y con precipitaciones que van desde altas hasta bajas.

- **Alta susceptibilidad**

Esta clase de susceptibilidad se caracteriza por ser laderas que tienen zonas de fallas, un grado de intemperismo de alto hasta moderado con discontinuidades desfavorables y han ocurrido deslizamientos o bien existe la posibilidad de que ocurran.

De acuerdo al mapa de susceptibilidad a deslizamientos obtenido del área de estudio, la clase de *alta susceptibilidad a deslizamientos* es la segunda clase que mayor área abarca dentro del territorio con **10,62 km<sup>2</sup>**, es decir un **29,7822 %** del área.

Su incidencia puede observarse en la mayor parte del territorio pues se conjugan varios factores desfavorables para que se produzcan deslizamientos en sectores como Pasaje al sur, Chahuindo, Condorhuasi y el barrio San José al este, Arévalo y Llamacanche al norte y Lance al este.

Este tipo de susceptibilidad está latente en varios tramos viales que conectan con la mayoría de barrios de la parroquia siendo un riesgo latente para la población. Su incidencia se presenta en un relieve más montañoso ya que es una unidad geomorfológica que domina el territorio de relieve muy accidentado además de encontrarse en áreas de coluviones recientes y antiguos pero en menor proporción donde las litologías predominantes son las lavas andesíticas-basálticas y brechas piroclásticas con tobas andesíticas de la Unidad Changaimina así como los bloques y fragmentos volcánicos en matriz arenosa de los depósitos cuaternarios y las tobas dacíticas con brechas volcánicas y areniscas de la Unidad El Ingenio.

Las pendientes que dominan en esta clase de susceptibilidad van desde las empinadas (>35°) y muy inclinadas (>15° - 35°), considerando el relieve montañoso accidentado además de las coberturas y usos de suelo presentes tales como; cultivos, pastizales y vegetación herbácea y arbustiva. En cuanto a la intensidad de las lluvias que inciden en esta categoría de susceptibilidad se observa dominancia de las precipitaciones altas y medias en las zonas este y norte del área de estudio.

- **Moderada susceptibilidad**

Estas áreas de susceptibilidad se caracterizan por ser laderas con algunas zonas de fallas, procesos de erosión intensa con materiales parcialmente saturados en la cual no han ocurrido deslizamientos pero que existe una posibilidad latente de que ocurran.

Desde este punto de vista, los resultados arrojan que más de la mitad del territorio en estudio presenta una *susceptibilidad moderada a deslizamientos*, esto es **55,51 %** del área, alrededor de **20,18 km<sup>2</sup>**. Al igual que la clase anterior, la *susceptibilidad moderada* es la clase más alta que se presenta en el territorio y la que mayor incidencia puede llegar a tener en caso de no tomar las debidas precauciones.

Abarca sectores como Bella María, Bellavista, San Ramón y zonas centrales del territorio especialmente en gran parte de los tramos viales más importantes que conectan a los barrios de la parroquia e incluso el Cerro Guambo.

Geomorfológicamente esta clase de susceptibilidad está dominada por un relieve montañoso y un relieve colinado alto localizado al oeste del área de estudio al límite con el Perú por el río Espíndola, así como en San Ramón al este y al extremo noreste.

Litológicamente está constituido por las lavas andesíticas y basálticas de la Unidad Changaimina y en menor proporción por materiales de la Unidad El Ingenio como tobas dacíticas y brechas volcánicas con areniscas las cuales se encuentran moderadamente alteradas.

Las pendientes que predominan son las muy inclinadas con 15° hasta los 35° e incluso pequeñas áreas con pendientes empinadas con inclinaciones mayores a los 35°. En cuanto a la cobertura y uso del suelo que se presenta en esta clase de susceptibilidad están tanto la vegetación herbácea y arbustiva como pastizales.

- **Baja susceptibilidad**

Esta categoría de susceptibilidad a deslizamientos se define como laderas que presentan algunas fisuras con materiales rocosos parcialmente erosionados, poco saturados y con discontinuidades favorables que reducen la posibilidad de generación de deslizamientos y en la que no existen indicios que permitan predecirlos.

Así, la *baja susceptibilidad a deslizamientos* es la tercera categoría que domina el área de estudio después de la moderada y la alta susceptibilidad, pero que abarca poca extensión con **4,26 km<sup>2</sup>**, es decir **11,71 %** del territorio.



Su dominancia se da en la parte central del área de estudio, cerca de la loma Socchabamba y Cerro Guambo en donde predomina el relieve Montañoso y en mayor medida los coluvios aluviales antiguos en las partes bajas de las laderas en zonas de transición con las planicies en el fondo de las vaguadas, es por ello que esta susceptibilidad baja se evidencia en los alrededores de quebradas donde tienden a depositarse materiales coluviales.

Litológicamente está compuesto en mayor proporción por brechas piroclásticas y tobas andesíticas de la Unidad Changaimina, así como tobas dacíticas al norte y areniscas volcánicas con limolita y arcillolitas al este y noreste de las Unidades El Ingenio y Río Guayucu respectivamente. Las pendientes que dominan esta clase de susceptibilidad son las fuertemente inclinadas con  $5^\circ$  hasta los  $15^\circ$  de inclinación en las partes bajas de laderas, así como también las muy inclinadas ( $15^\circ$  a  $35^\circ$ ) y en menor proporción las ligeramente inclinadas ( $0^\circ$  a  $5^\circ$ ). El tipo de cobertura y uso de suelo que compone esta clase de susceptibilidad es en gran parte tipo arbustivo y pastizales.

- **Muy baja susceptibilidad**

Por último, la muy baja susceptibilidad se define como aquellas laderas no meteorizadas con presencia de discontinuidades favorables que no presentan ningún indicio de que puedan ocurrir deslizamientos. Esto puede evidenciarse en la poca extensión que abarca en el territorio con  $0,33 \text{ km}^2$  lo que representa únicamente un  $0,92 \%$  de toda el área.

Geomorfológicamente está conformado por las terrazas medias y bajas, así como los coluvios aluviales antiguos en las zonas más bajas del área de estudio constituido principalmente de cantos volcanoclásticos, arenas y limos de los depósitos aluviales cuaternarios y también de las lavas andesíticas-basálticas con brechas piroclásticas y tobas andesíticas de la Unidad Changaimina.

Las pendientes ligeramente y fuertemente inclinadas dominan esta susceptibilidad con inclinaciones que van desde los  $0^\circ$  hasta los  $15^\circ$  e incluso mayor en las zonas de transición entre laderas y planicies. El tipo de cobertura de suelo que se presenta es arbustivo y pastizal.

## **6.5 Correlación Inventario de Deslizamientos**

Una vez obtenido el mapa de susceptibilidad a deslizamientos del área de estudio en la parroquia Bellavista, la correlación entre dicho mapa y el inventario de deslizamientos tiene como finalidad determinar la eficiencia del proceso en el análisis y valoración de las variables y subvariables, es decir, la correlación se ve reflejada en qué clase de susceptibilidad se encuentran situados los deslizamientos inventariados.

A continuación, la Tabla 34 muestra los deslizamientos distribuidos dentro del mapa de susceptibilidad y el área que abarca cada uno de ellos para cada clase. Para esto, se ha empleado la herramienta *Intersecar* en ArcMap 10.5.

**Tabla 34. Correlación entre deslizamientos inventariados y zonas susceptibles a deslizamientos en el área de estudio**

No.	Código	Área de deslizamiento (m <sup>2</sup> )	Clase de susceptibilidad	Área de susceptibilidad (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
1	DZ-01	101,65	Moderada susceptibilidad	101,65	100
			<b>TOTAL</b>	<b>101,65</b>	<b>100</b>
2	DZ-02	577,41	Moderada susceptibilidad	577,41	100
			<b>TOTAL</b>	<b>577,41</b>	<b>100</b>
3	DZ-03	1 426,42	Baja susceptibilidad	168,59	11,82
			Moderada susceptibilidad	1 257,83	88,18
			<b>TOTAL</b>	<b>1 426,42</b>	<b>100</b>
4	DZ-04	240,7	Alta susceptibilidad	94,71	39,34
			Muy alta susceptibilidad	146	60,66
			<b>TOTAL</b>	<b>240,7</b>	<b>100</b>
5	DZ-05	21 947,53	Baja susceptibilidad	32,69	0,15
			Moderada susceptibilidad	4 126,65	18,80
			Alta susceptibilidad	12 222,39	55,69
			Muy alta susceptibilidad	5 565,81	25,36
			<b>TOTAL</b>	<b>21 947,53</b>	<b>100</b>
6	DZ-06	7 629,7	Moderada susceptibilidad	304,97	4
			Alta susceptibilidad	2 236,97	29,32
			Muy alta susceptibilidad	5 087,76	66,68
			<b>TOTAL</b>	<b>7 629,7</b>	<b>100</b>
7	DZ-07	3 327,28	Baja susceptibilidad	87,28	2,62
			Moderada susceptibilidad	3 240	97,38
			<b>TOTAL</b>	<b>3 327,28</b>	<b>100</b>
8	DZ-08	2 788,24	Baja susceptibilidad	51,77	1,86
			Moderada susceptibilidad	480,97	17,25
			Alta susceptibilidad	2 255,51	80,89
			<b>TOTAL</b>	<b>2 788,24</b>	<b>100</b>
9	DZ-09	2 099,67	Moderada susceptibilidad	0,00096	4,57x10 <sup>-5</sup>
			Alta susceptibilidad	49,38	2,35
			Muy alta susceptibilidad	2 050,29	97,65
			<b>TOTAL</b>	<b>2 099,67</b>	<b>100</b>

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

Así, se puede determinar que gran parte de los 9 deslizamientos levantados en campo se encuentran dentro de zonas de *alta y muy alta susceptibilidad*, esto es alrededor de **2,97 ha** de las **4,01 ha** totales. Así, las **1,04 ha** de deslizamientos restantes, se ubican en zonas de *moderada susceptibilidad y baja susceptibilidad* lo que en términos de eficiencia del proceso de evaluación se tiene;

**Tabla 35. Eficiencia del proceso de valoración entre deslizamientos levantados y las zonas susceptibles a deslizamientos del área de estudio**

<b>Clases de susceptibilidad a deslizamientos</b>	<b>Eficiencia (%)</b>	<b>Área de deslizamientos (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Eficiencia Total (%)</b>
Muy baja susceptibilidad	20	0	0
Baja susceptibilidad	40	340,32	0,34
Moderada susceptibilidad	75	10 089,47	18,85
Alta susceptibilidad	90	16 858,96	37,80
Muy alta susceptibilidad	100	12 849,86	32,01
	<b>TOTAL</b>	<b>40 138,6</b>	<b>89,00%</b>

*Elaborado por: Sánchez A. (2022)*

## **7. Discusión**

Los deslizamientos como fenómeno natural y uno de los movimientos en masa más comunes y peligrosos que existen, se ha convertido en uno de las principales amenazas de índole geológico a la que la parroquia Bellavista está siendo constantemente sometida. Esto es debido principalmente a la dinámica e interacción de diversos factores y agentes, tanto naturales como también antrópicos, que ofrecen las condiciones necesarias para que se susciten este tipo de eventos dentro del territorio.

Entre los factores que han sido objeto de estudio en la zonificación de susceptibilidad a deslizamientos en la zona sur de la parroquia rural Bellavista se encuentran; su geomorfología, geología, pendientes, cobertura y uso actual del suelo, así como el análisis de la influencia que llegan a tener las precipitaciones en la generación de deslizamientos, zonificando de esta manera, aquellas zonas o sectores que tienen una mayor predisposición o probabilidad a fallar y provocar movimientos de ladera dentro del territorio.

Así, surgió la necesidad de zonificar áreas susceptibles a deslizamientos en la zona sur de la parroquia rural Bellavista en el cantón Espíndola al sur de la provincia de Loja, haciendo posible la vinculación de los SIG como una herramienta importante y con un gran potencial al momento de analizar este tipo de fenómenos, analizando a su vez el grado de incidencia que llegan a tener las diferentes características propias del territorio en cuestión, pues el dinamismo y evolución de la superficie terrestre puede llegar o no a ofrecer las características necesarias para la generación de deslizamientos.

En cuestión de análisis de los resultados obtenidos para el área de estudio en la zona sur de la parroquia Bellavista, se examina y contrasta la información final obtenida respecto a la realidad que refleja el territorio y el cómo los deslizamientos tienen incidencia directa sobre la población bajo 3 criterios: *estudios previos sobre susceptibilidad en el área; aspecto*

*socioeconómico de la población y; gestión, planificación y desarrollo de la parroquia Bellavista.*

Para el aspecto referente a *estudios previos sobre susceptibilidad*, los resultados obtenidos de zonificación de susceptibilidad a deslizamientos se contrastan y corroboran en base a otros estudios realizados en la parroquia, tal como es el realizado por el GAD Parroquial de Bellavista en su Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (2 019 - 2 203). Para ello, se analizan los resultados obtenidos específicamente para susceptibilidad por deslizamientos, sobre el cual el presente proyecto dio como resultado 5 tipos o clases de susceptibilidad, siendo la moderada y alta susceptibilidad la que dominan el área de estudio con cerca del 85 % del territorio, lo cual es un indicio de zonas que presentan las condiciones morfológicas y estructurales (discontinuidades) favorables para que se susciten deslizamientos, mientras que en el estudio realizado por el GAD Parroquial, se establecen únicamente dos clases; alta y mediana susceptibilidad a movimientos en masa, lo cual guarda cierto tipo de semejanza y coherencia en cuanto a aquellas zonas más propensas, ya que en ambos casos las zonas consideradas como moderada y mediana susceptibilidad, se localizan en zonas céntricas y de baja pendiente del área de estudio en sectores como Bellavista, las faldas del Cerro Guambo y Condorhuasi. Sin embargo, el presente estudio refleja un mayor nivel de detalle y esto se debe principalmente a la metodología empleada y las variables que fueron analizadas para el mismo, a su vez la escala de trabajo juega un papel fundamental a la hora de definir mayores rasgos característicos del territorio en cuanto a su inestabilidad, por ende se obtuvieron más clases de susceptibilidad y la zonificación del área quedó mejor definida en áreas dispersas por todo el territorio, aspecto que no se ve reflejado en el mapa de susceptibilidad del PDOT, pues no se hace mención a la metodología que fue empleada ni la escala de la información. Además, el mapa de susceptibilidad en el PDOT fue elaborado en base a los movimientos en masa en general, no únicamente sobre deslizamientos sino considerando también caídas, etc. Por ello, es importante reflejar la importancia que el presente proyecto tiene, pues sirve como información base en la generación y actualización de las amenazas que afectan a la parroquia Bellavista, ya que, para la elaboración del mapa de amenazas como tal, es necesario complementar el resto de amenazas por movimientos en masa como caídas, flujos, etc.

En cuanto al *aspecto socioeconómico* de la población, se considera de vital importancia mencionar que, de manera directa o indirecta, la generación de deslizamientos suscitados en el sector genera un entorpecimiento en sus actividades sociales y económicas diarias,

principalmente por el bloqueo de vías y caminos de comunicación dentro del territorio, lo que supone volver vulnerable a la población ante este tipo de fenómenos.

Sabiendo que la población de la parroquia Bellavista en su gran mayoría se dedica a labores relacionadas a la agricultura y ganadería (tanto para consumo propio como para la venta), los negocios familiares, fabricación de productos, etc., y que muchos de ellos subsisten gracias a estas actividades como principal fuente de ingresos, el hecho de suscitarse este tipo de eventos como son los deslizamientos, llega a representar un riesgo alto para estos sectores de la población vulnerables.

Así, los resultados obtenidos a través del levantamiento y caracterización de los deslizamientos mediante el inventario, muestran que todos ellos se encuentran situados a lo largo de las diferentes vías y caminos de herradura del área de estudio, especialmente en la vía Amaluza-Bellavista, lo cual es un indicativo del cómo la intervención y excavación de taludes en la apertura de nuevas vías y caminos, debilita totalmente las laderas y que al combinarse con la litología del sector, las pendientes, el relieve así como la escorrentía superficial y grado de saturación y meteorización de los materiales, facilitan la generación de deslizamientos y por consecuencia el bloqueo de estas vías de comunicación.

Referente al aspecto de *gestión, planificación y desarrollo* de la parroquia Bellavista, la zonificación de susceptibilidad realizada en el sector, permite brindar información importante para la población respecto de cuáles son las zonas con mayor posibilidad o más propensas a deslizarse, lo cual es sumamente importante al momento de gestionar y planificar adecuadamente el desarrollo y expansión territorial de la parroquia, pues en muchos de los casos, el desconocimiento acerca de este tipo de amenazas como son los deslizamientos y el ambiente sobre el cual se generan, hace que muchas de las veces las personas construyan sus viviendas en áreas susceptibles y peligrosas, y por ende se llegue a generar daños a infraestructuras y peor aún, pérdidas humanas. Este factor mencionado anteriormente referente a la construcción de viviendas en terrenos inestables, es importante de considerar, ya que en casos de que se susciten deslizamientos y lleguen a afectar a viviendas o lesiones a personas, se hace necesario una rápida capacidad de respuesta por parte de los actores de emergencia de la parroquia, lo cuál a su vez implica un ambiente desfavorecedor en aquellos sectores y barrios alejados, ya que pueden llegar a quedar incomunicados por bloqueo de vías y acceso al sector por los estragos relacionados a los deslizamientos, especialmente en épocas invernales. Sin embargo, en base a la experiencia en campo se ha podido evidenciar que existe un mayor daño

a las vías y caminos de la parroquia, debido a la inexistencia de sistemas de cunetas y alcantarillas que permitan la evacuación de las aguas pluviales.

Es así que, este tipo de mapas de susceptibilidad a deslizamientos nace bajo estas problemáticas relacionadas al entorpecimiento generado por dichos movimientos de ladera y que en términos generales, la finalización del proyecto arroja resultados esperados y coherentes a la realidad que refleja el área de estudio en Bellavista, pues durante la visita de campo se pudo analizar y constatar los problemas que acarrea la parroquia en cuanto a la generación de deslizamientos, mismos que provocan el cierre constante de las vías principales de comunicación entre barrios, entorpeciendo la actividad económica y social de la población, volviéndola vulnerable ante esta situación, como se lo ha mencionado anteriormente.

Por ello, los resultados obtenidos guardan coherencia con la problemática del área de estudio, que al ser una parroquia rural de relieve muy accidentado y cuya litología se encuentra predominantemente alterada por las fuertes lluvias, áreas sobreexplotadas por la actividad agrícola y la apertura de vías, ocasiona que determinadas zonas se vuelvan más inestables y por ende susceptibles a deslizamientos.

## **8. Conclusiones**

Se generaron los mapas temáticos de las variables que fueron utilizadas para el análisis de susceptibilidad a deslizamientos en la zona sur de la parroquia rural Bellavista, para lo cual se recurrió a diversas metodologías para cada uno de ellos en la que primó el análisis crítico del autor en la generación de los mismos, acorde a la escala de trabajo a 1:10 000, así como su validez y ajuste de información acorde a la realidad existente en el área de estudio. Para ello, los mapas temáticos de cada variable quedan representados por:

- El mapa temático geomorfológico se generó a partir del análisis espacial del modelo TIN del área de estudio, esto es una representación 3D del terreno y en base a los criterios de clasificación de unidades geomorfológicas como es; relieve general, macrorelieve y mesorelieve. A su vez, se analizaron aspectos implícitos en la elaboración del mismo como es; génesis, morfología, morfometría y morfodinámica, con lo cual se estableció 8 unidades geomorfológicas cuya predominancia está dada por el relieve montañoso y otros como; colinado alto, coluvión reciente y antiguo, deslizamientos, laguna, coluvio aluvial antiguo y terrazas media y baja.
- El mapa geológico se elaboró a partir del mapeo geológico de afloramientos y toma de datos estructurales del mismo, identificación de contactos litológicos y fallas. Así

se ha podido distinguir 3 unidades diferentes siendo la Changaimina la de mayor extensión, Río Guayucu y El Ingenio la más joven de las tres. Además, se han descrito varios depósitos coluviales en las laderas de montaña, así como depósitos aluviales asociados a la acción de los ríos del sector.

- El mapa de pendientes se ha elaborado directamente sobre la base SIG a través de un MDT y reclasificado en 4 clases según Demek (1972); definiendo de esta manera distintos tipos de pendientes que dominan el área de estudio caracterizado por un relieve muy escarpado con zonas de difícil acceso, especialmente en áreas de baja montaña, respecto a pendientes más suaves en el centro del territorio. Así se definieron; pendientes ligeramente inclinadas, fuertemente inclinadas, muy inclinadas y empinadas.
- Para la elaboración del mapa de cobertura del suelo, se recurrió a fotointerpretación, así como ajuste y validación de la información en campo. Para esto se basó en criterios de fotointerpretación tales como; color y tonalidad, textura, sombras, tamaño y forma de los objetos observados sobre imágenes satelitales que permitieron posteriormente distinguir 6 coberturas como; pastizal, cuerpo de agua vegetación arbustiva y herbácea, cultivos y área poblada.
- El mapa de precipitaciones fue generado a partir de una base de datos con información referente a las precipitaciones media anual de 13 estaciones meteorológicas a través de los anuarios del INAMHI. Considerando que las lluvias son un factor importante en la generación de deslizamientos, esta variable fue importante vincularla al análisis para la obtención del mapa de susceptibilidad. Así se pudo distinguir 3 clases; baja, media y alta precipitación.
- Se levantó y registró los deslizamientos encontrados en el área de estudio mediante un inventario con un total de 9 deslizamientos; 6 rotacionales y 3 traslacionales, los cuales están conformados por materiales altamente alterados y litológicamente se encuentran constituidos de depósitos coluviales procedentes de la acción erosiva de las zonas altas de relieve montañoso que, al interactuar con las fuertes precipitaciones se activan con frecuencia. Además, su correlación con el mapa de susceptibilidad a deslizamientos en el área de estudio ha mostrado una fuerte tendencia a presentarse con mayor frecuencia en zonas de alta y muy alta susceptibilidad.

- Igualmente, se pudo identificar que los deslizamientos inventariados se encuentran todos ellos a lo largo de las principales vías de acceso y comunicación dentro del área de estudio, especialmente la vía Amaluza-Bellavista, así como caminos de herradura que conectan la cabecera parroquial con todos los demás barrios, y que al ser obstruidos por los deslizamientos constantes que se suscitan en la zona, provoca entorpecimientos en las actividades socioeconómicas de su población.
- De igual manera, se jerarquizó y ponderó las variables y subvariables analizadas de acuerdo al criterio de análisis jerárquico de Thomas Saaty (1980) y a través de matrices de valoración, mismas que permitieron al autor determinar el grado de incidencia en orden jerárquico respecto a la influencia en la generación de deslizamientos obteniéndose así; geomorfología (0,35), geología (0,26), pendientes (0,20), cobertura y uso de suelo (0,12) e isoyetas (0,07), cuyo orden jerárquico demuestra el grado de incidencia sobre la generación de deslizamientos y refleja la realidad existente en el área de estudio en la parroquia Bellavista.,
- Se obtuvo el mapa de susceptibilidad a deslizamientos del área de estudio en base a la metodología propuesta, obteniéndose así 5 clases de susceptibilidad de acuerdo a los criterios propuestos por Sarkar & Kanungo (2004); muy baja susceptibilidad (0,92 %), baja susceptibilidad (11,71 %), moderada susceptibilidad (55,51 %), alta susceptibilidad (29,22 %) y muy alta susceptibilidad (2,64 %), para lo cual se concluye que el área de estudio presenta las condiciones necesarias para que se produzcan deslizamientos debido a las condiciones intrínsecas del territorio en cuestión de su relieve muy accidentado, así como un alto grado de intemperismo de los materiales litológicos de la zona que al tener altas pendientes y fuerte lluvias en temporadas invernales, se vuelve favorable a que se generen deslizamientos. Así mismo, se determinó que las áreas intervenidas por la población en cuanto a zonas de cultivos y pastizales, tienden a tener mayor influencia en la generación de deslizamientos al volver inestable el terreno.
- Finalmente, se ha correlacionado los deslizamientos inventariados respecto al mapa de susceptibilidad a deslizamientos del área de estudio, obteniendo así que los deslizamientos se encuentran en gran parte en zonas de alta susceptibilidad, así como en moderada y muy alta susceptibilidad, por lo cual se ha definido una eficiencia de 89,00 % del proceso de valoración.



## 9. Recomendaciones

- Es recomendable que, desde el punto de vista metodológico en la elaboración de los mapas temáticos, se analicen las diversas maneras de elaborar los mapas en el procesamiento de datos, además de las diferentes herramientas que brinda el software ArcGIS 10.5 para conseguir un mismo resultado, como el caso de la herramienta “Suma Ponderada” y “Calculadora Ráster” en la elaboración del mapa de susceptibilidad.
- Igualmente es recomendable que, en el proceso de fotointerpretación, se maneje con imágenes satelitales u ortofotos actuales o recientes, pues con el pasar de los años varían algunas características del terreno como la cobertura y uso actual del suelo, pudiendo generar información errónea al no estar actualizada.
- Desde el punto de vista investigativo, se recomienda en lo posible realizar estudios granulométricos de suelos o geotécnicos para mejorar resultados referentes al ámbito geológico, así como análisis mineralógicos en rocas cuya génesis sea similar y su distinción en campo resulte difícil.
- Así mismo, es recomendable realizar un análisis minucioso y correcto de todas las variables y subvariables a ser analizadas mediante la metodología del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) de Thomas Saaty (1980), pues una mala jerarquización y valoración de las variables, supondría menos eficiencia en la obtención del mapa de susceptibilidad a deslizamientos del área que se encuentre en estudio.
- Finalmente, se recomienda que este tipo de investigaciones se realicen con miras hacia el desarrollo adecuado de las parroquias o sectores donde se aplique el proyecto, pues el presente trabajo investigativo se lo puede considerar como base dentro de la actualización de los PDOT tanto para la parroquia Bellavista, así como para el cantón Espíndola, en cuanto al análisis de zonas susceptibles, amenazas, vulnerabilidad o riesgos.

## 10. Bibliografía

- Ayala Carcedo, F., & Corominas, J. (2002). Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. *Instituto Geológico y Minero de España*. Obtenido de <http://info.igme.es/ielig/documentacion/ci/ci156/documentos/d-ci156-02.pdf>
- Ayala, I. (2000). Landslides: Deslizamientos o movimientos del terreno. Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones Geográficas*. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112000000100002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112000000100002)
- Bosque Sendra, J. (1992). *Sistemas de Información Geográfica*. Ediciones Rialph, 1992.
- Bosque Sendra, J., & García, R. (2004). Asignación óptima de usos del suelo mediante generación de parcelas por medio de SIG y técnicas de evaluación multicriterio. *VII Conferencia Iberoamericana sobre SIG.*, (pág. 12). Mérida.
- Brabb, E. E., & Harrod, B. L. (1989). *Landslides: Extent and economic significance* (1era Edición ed.). (C. Press, Ed.) Rotterdam, Holanda: Balkema.
- Burrough, P., & McDonnell, R. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: OXFORD UNIVERSITY PRESS. Obtenido de [https://pdfs.semanticscholar.org/d8e0/b6b225b36cac23608b41a51e13ddb2746cbd.pdf?\\_ga=2.190958186.178574640.1594073106-1722802278.1594073106](https://pdfs.semanticscholar.org/d8e0/b6b225b36cac23608b41a51e13ddb2746cbd.pdf?_ga=2.190958186.178574640.1594073106-1722802278.1594073106)
- Crozier, M. J. (1986). *Landslides: causes, consequences and enviroment*. (C. Helm, Ed.)
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. En Cruden, & Varnes, *Landslide. Investiation and Mitigation* (pág. 247). Washington, D. C., Estados Unidos: Transportation Research Board Special Report. Obtenido de <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr247/sr247-003.pdf>
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica* (1era Edición ed.). (I. Capella, & S. Ayerra, Edits.) Madrid, España: PEARSON EDUCACIÓN, S.A. Obtenido de [https://www.academia.edu/23657344/PWiimir\\_at\\_BULLET\\_ll\\_ll\\_t\\_i\\_M\\_J\\_rm\\_m\\_r\\_11\\_at\\_BULLET\\_at\\_BULLET](https://www.academia.edu/23657344/PWiimir_at_BULLET_ll_ll_t_i_M_J_rm_m_r_11_at_BULLET_at_BULLET)
- Hutchinson, J. N. (1988). *Morfológica y GEOT parámetros de deslizamientos de tierra en relación con la geología y la hidrogeología. onnard (Ed.): Los deslizamientos de tierra.*

*Acta 5 Conferencia Internacional sobre desprendimientos de tierras*. Lausana: Vol. 1: 3-35.

Korte, G. B. (2001). *The GIS Book: How to implement, manage and assess the value of Geographic Information Systems* (5ta Edición ed.). Canada: On Word Press - Thompson Learning. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?id=\\_C6oPvJ5S\\_EC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=_C6oPvJ5S_EC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false)

Kouli, M., Loupasakis, C., Soupios, P., & Vallianatos, F. (2010). *Landslide hazard zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture*. Crete Island, Grecia: Natural Hazards. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/226856962\\_Landslide\\_hazard\\_zonation\\_in\\_high\\_risk\\_areas\\_of\\_Rethymno\\_Prefecture\\_Crete\\_Island\\_Greece](https://www.researchgate.net/publication/226856962_Landslide_hazard_zonation_in_high_risk_areas_of_Rethymno_Prefecture_Crete_Island_Greece)

Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 25.

Ojeda, J., & Muñoz, F. (2001). *Evaluación por Fenómenos de Remoción en masa*. Colombia.

Olaya, V. (2011). *Sistemas de Información Geográfica*. CreateSpace Independent Publishing Platform. Obtenido de [https://www.icog.es/TyT/files/Libro\\_SIG.pdf](https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf)

Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-hill.

Sarkar, S., & Kanungo, D. P. (2004). An Integrated Approach for Landslide Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and GIS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/209803158\\_An\\_Integrated\\_Approach\\_for\\_Landslide\\_Susceptibility\\_Mapping\\_Using\\_Remote\\_Sensing\\_and\\_GIS/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/209803158_An_Integrated_Approach_for_Landslide_Susceptibility_Mapping_Using_Remote_Sensing_and_GIS/citation/download)

Seisdedos Santos, J. (2009). *Los grandes paleo-desplazamientos de Güimar y La Orativa (Tenerife): Análisis geológico, mecanismos de inestabilidad u modelización geomecánica*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Departamento de eodinámica, Madrid. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/8293/1/T30639.pdf>

Skempton, A., & Hutchinson, J. (1969). Stability of natural slopes and embankment foundations. *7th International Conference on Soil Mechanics and Found.*

- México: State of the Art Report. Obtenido de [https://www.issmge.org/uploads/publications/1/38/1969\\_04\\_0005.pdf](https://www.issmge.org/uploads/publications/1/38/1969_04_0005.pdf)
- Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre erosión y deslizamientos. Obtenido de <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101.pdf>
- Suárez Díaz, J. (2009). *Deslizamientos. Análisis Geotécnico*. Bucaramanga, Colombia: UIS, Universidad Industrial de Santander. Obtenido de <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html>
- Tomlin, C. D. (1990). *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Englewoods Cliffs: Prentice Hall (Pearson). Obtenido de <https://www.erudit.org/fr/revues/cgq/1991-v35-n96-cgq2668/022222ar/>
- Torrijo, F. J. (2003). *Taludes y excavaciones en suelos*. Barcelona: Apuntes del Máster en Geotecnología.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes - Capítulo 2. En *Landslides: Analyst and Control*. Washington, D.C.: Academy Of Sciences, Report, Transportation Research Board Special.

## **11. Anexos**

**Anexo 1.** Mapa de red hídrica

**Anexo 2.** Descripción de afloramientos

**Anexo 3.** Inventario de estaciones meteorológicas (INAMHI)

**Anexo 4.** Inventario de deslizamientos

**Anexo 5.** Mapa topográfico

**Anexo 6.** Mapa de pendientes

**Anexo 7.** Mapa de cobertura y uso actual del suelo

**Anexo 8.** Hoja geológica Las Aradas escala 1:100 000

**Anexo 9.** Mapa geológico

**Anexo 10.** Mapa geomorfológico

**Anexo 11.** Mapa de isoyetas (precipitaciones)

**Anexo 12.** Mapa de susceptibilidad a deslizamientos

*Ubicados en el CD-R No.1*

Loja, 29 de junio de 2022

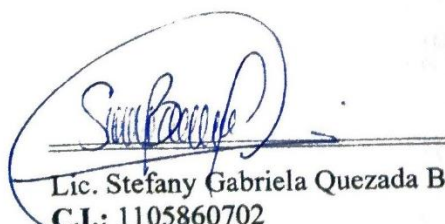
## CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, Stefany Gabriela Quezada Benitez, con cédula 1105860702 y con título de Licenciada en Ciencias de la Educación: Mención Inglés, registrado en el SENESCYT con número 1031-2021-2295813

### CERTIFICO:

Que he realizado la traducción de español al idioma inglés del resumen del presente estudio investigativo denominado **"Zonificación de susceptibilidad a deslizamientos a través de Sistemas de Información Geográfica, en la zona sur de la parroquia rural Bellavista, cantón Espíndola, provincia de Loja"** de autoría de **Alex Paúl Sánchez Reinoso**, portador de la cédula de identidad número **1724734585**, estudiante 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. Dicho estudio se encontró bajo la dirección de Ing. Walter Tambo, Mg. Sc., previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que este creyera conveniente.



Lic. Stefany Gabriela Quezada Benitez

C.I.: 1105860702

Registro del SENESCYT: 1031-2021-2295813