UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

Generación del mapa geomorfológico a escala 1:25000, de las parroquias rurales San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma, correspondiente a la parte norte del cantón Catamayo, provincia de Loja, Ecuador

AUTOR:

Eduardo Alfredo Abad Chiriboga

DIRECTOR:

Ing. Walter Simón Tambo Encalada

Previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial.

Loja – Ecuador

2021

CARRERA DE INGENIERIA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Certificado Nro. 016-S-CGAYOT-FEIRNNR-UNL

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc. **DIRECTOR DE TESIS.**

CERTIFICA:

Que el estudiante: **EDUARDO ALFREDO ABAD CHIRIBOGA C.I: 1105686008,** aprobó la asignatura de Trabajo de Titulación en el XI Ciclo del período académico: 23-04-2019 al 07-09-2019; respecto del desarrollo del trabajo de titulación denominado **"GENERACION DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, DE LAS PARROQUAS RURALES SAN PEDRO DE LA BENDITA, ZAMBI Y GUAYQUICHUMA, CORRESPONDIENTE A LA PARTE NORTE DEL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR"** opción de titulación escogida dentro del período académico de culminación de sus estudios, siendo las 10H30 del día 12 de marzo del 2020, se certifica que se ha cumplido con el cien por ciento (100%) del trabajo de titulación y está en condiciones de continuar con los procesos que correspondan.

Loja, 12 de marzo del 2020

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.
DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, Eduardo Alfredo Abad Chiriboga, declaro ser el autor del presente trabajo de titulación: "Generación del mapa geomorfológico a escala 1:25000, de las parroquias rurales San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma, correspondiente a la parte norte del cantón Catamayo, provincia de Loja, Ecuador", y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Además, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja a la publicación del proyecto de tesis en el Repositorio Institucional para fines académicos.

Firma Firmado electrónicamente por: EDUARDO ALFREDO ABAD CHIRIBOGA

Eduardo Alfredo Abad Chiriboga

C.I: 1105686008

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, Eduardo Alfredo Abad Chiriboga, declaro ser el autor del presente trabajo de titulación: "Generación del mapa geomorfológico a escala 1:25000, de las parroquias rurales San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma, correspondiente a la parte norte del cantón Catamayo, provincia de Loja, Ecuador", como requisito para obtener el título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que publique mi trabajo de titulación con fines académicos.

Los interesados pueden hacer uso de la información presentada dirigiéndose al Repositorio de la Universidad, donde la Institución no se responsabiliza por posibles plagios que realicen terceras personas.

Para constancia de la autorización, a los 18 días del mes de octubre del dos mil veintiuno, en la ciudad de Loja, firma el autor.

Firma: Firmado electrónicamente por:
EDUARDO ALFREDO
ABAD CHIRIBOGA

Autor: Eduardo Alfredo Abad Chiriboga
Cédula: 1105686008
Dirección: Electricista Alto
Correo Electrónico: eaabadc@unl.edu.ec
Celular: 0990908234

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Walter Simón Tambo Encalada. Mg.Sc.
Tribunal de Grado: Ing. Fermín Alexander Gonzalez Sisalima. Mg.Sc.
Ing. Maritza Ximena Ochoa Tapia. Mg.Sc.
Ing. Carlos Danilo Ortega Vallejo. Mg.Sc.

DEDICATORIA

Primeramente, dedico el presente trabajo a mis padres, hermanos y familiares cercanos, todos forman parte de este trabajo, directa o indirectamente ya que supieron contribuir con su apoyo y motivación.

Eduardo Alfredo Abad Chiriboga

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios, que ha sabido darme la fuerza para enfrentar cada uno de los obstáculos que se me han presentado, a mi padre y de forma muy especial a mi madre, que ha sido la fuerza y la luz que me ha guiado hasta aquí, mi motivación y mis ganas de ser alguien en la vida, eres ese consejo diario y esa experiencia envidiable que guía mi camino; a mis hermanos por su compañía y apoyo incondicional; a mi familia en general por su cariño y palabras de aliento, a mis amigos por sus palabras en momentos complicados, a Cecibel Dávila, por siempre brindarme su compañía y apoyo. Finalmente, a mis maestros por la sabiduría y consejos compartidos, al Ing. Walter Tambo, por ser el principal apoyo para este trabajo, gracias por el respaldo y conocimientos.

Eduardo Alfredo Abad Chiriboga

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN II

AUTORÍA III

DEDICATORIA V

AGRADECIMIENTO VI

1. Titulo 1

2. Resumen 2

3. Introducción 4

4. Revisión de la Literatura 8

4.1. Geomorfología. 8

4.2. Geoforma 8

4.3. Génesis 9

4.4. Índices de Relieve 10

4.4.1. Índices Topográficos 10

4.4.2. Índices de Formas de Terreno 10

4.4.2.1. Sombreado. 11

4.4.2.2. Pendiente. 11

4.4.2.3. Curvaturas. 11

4.5. Sistemas de Información Geográfica 12

4.5.1. Tipos de datos 13

4.5.1.1. Ráster. 13

4.5.1.2. Vector. 13

4.5.1.3. TIN (Triangulated Irregular Networks). 13

4.5.1.4. Modelo Digital De Elevación (DEM). 14

4.6. Imagen Satelital 14

4.7. Cartografía 14

4.8. Geología 14

4.8.1. Roca 14
4.8.2. Depósito superficial 15
4.8.3. Afloramiento 15
4.9. Amenazas Geológicas 15
4.9.1. Deslizamientos 15
4.10. Fotointerpretación 15
4.11. Zonificación 16
4.11.1. Susceptibilidad a Deslizamientos 16
5. Materiales y Métodos 17
5.1. Materiales 17
5.2. Método 17
5.3. Recopilación de Información 19
5.3.1. Bibliográfica 19
5.3.2. Cartográfica 19
5.4. Clasificación Automática de las Unidades de Relieve 20
5.4.1. Modelo Digital de Elevación 21
5.4.2. Modelamiento Topográfico 22
5.4.3. Análisis de Componentes Principales 24
5.4.4. Clasificación No Supervisada 25
5.4.5. Análisis SIG 27
5.4.6. Asignación Temática 30
5.4.6.1. Macrorelieve. 31
5.4.6.2. Mesorelieve. 32
5.4.7. Interpretación de Unidades Temáticas 34
5.5. Mapa Geológico 35
5.6. Mapa de Pendientes 36
5.7. Mapa de Uso Actual del Suelo 37

5.8. Mapa de Isoyetas 38
5.9. Mapa de Susceptibilidad 39
5.10. Insumos para elaborar el mapa de Susceptibilidad 42
6. Resultados 43
6.1. Ubicación y Acceso 43
6.2. Clima 44
6.3. Hidrografía 44
6.4. Geología 45
6.4.1. Geología Regional 45
6.4.2. Geología Local 50
6.4.2.1. Unidad El Tigre. 51
6.4.2.2. Unidad La Victoria. 53
6.4.2.3. Unidad La Bocana. 54
6.4.2.4. Unidad Bramaderos. 55
6.4.2.5. Unidad Chaguarpamba. 55
6.4.2.6. Unidad Changaimina. 57
6.4.2.7. Unidad Guayabal. 58
6.4.2.8. Formación Catamayo. 60
6.4.2.9. Depósitos Cuaternarios. 61
6.4.2.10. Rocas Intrusivas. 63
6.5. Pendientes 64
6.6. Geomorfología 66
6.6.1. Montaña 67
6.6.1.1. Relieve Montañoso. 67
6.6.2. Serranía 68
6.6.2.1. Relieve Colinado Alto. 68
6.6.2.2. Relieve Colinado Medio. 69

6.6.3. Penillanura 70
6.6.3.1. Vertientes Irregulares. 70
6.6.3.2. Coluvión. 71
6.6.3.3. Coluvio Aluvial. 71
6.6.4. Pie de Monte 72
6.6.4.1. Colinas Bajas. 72
6.6.4.2. Cuestas 73
6.6.5. Valle 74
6.6.5.1. Terraza Aluvial. 74
6.6.6. Validación de Geoformas 75
6.7. Uso Actual del Suelo 83
6.8. Precipitaciones 85
6.9. Susceptibilidad a Deslizamientos 87
6.9.1. Determinación de los pesos de la geomorfología. 87
6.9.2. Determinación de los pesos de geología. 88
6.9.3. Determinación de los pesos de pendientes. 91
6.9.4. Determinación de los pesos de uso actual del suelo 92
6.9.5. Determinación de los pesos de isoyetas. 93
6.9.6. Determinación de los pesos de Susceptibilidad 94
6.9.7. Interpretación del Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos 95
6.9.7.1. Correlación con los puntos de deslizamientos. 100
7. Discusión de Resultados 103
8. Conclusiones 109
9. Recomendaciones 111
10. Referencias Bibliográficas 112
11. Anexos 116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Unidades del Relieve 31
Tabla 2: Clasificación de las pendientes 37
Tabla 3: Datos de Estaciones Meteorológicas 38
Tabla 4: Precipitación en las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma. . 39
Tabla 5: Esquema del método de jerarquías analíticas para la asignación de pesos. 40
Tabla 6: Escala de Saaty para determinar el valor de Xij 40
Tabla 7: Red Hidrográfica del cantón Catamayo 45
Tabla 8: Resultados de las pendientes del área de estudio. 64
Tabla 9: Unidades geomorfológicas de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma. 66
Tabla 10. Puntos de validación en campo de unidades geomorfológicas 75
Tabla 11: Inventario de deslizamientos de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma. 78
Tabla 12: Usos de Suelo de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma. 83
Tabla 13: Isoyetas presentes en el área de estudio. 85
Tabla 14: Matriz de valoración de la geomorfología 87
Tabla 15. Matriz normalizada para la variable geomorfología 88
Tabla 16. Matriz de valoración de la geología 90
Tabla 17. Matriz normalizada para la variable geología 91
Tabla 18: Matriz de valoración de la pendiente. 91
Tabla 19. Matriz normalizada para la variable pendiente 92
Tabla 20: Matriz de valoración del uso actual del suelo 92
Tabla 21. Matriz normalizada para la variable de uso actual del suelo 93
Tabla 22: Matriz de valoración de isoyetas 93
Tabla 23. Matriz normalizada para la variable de isoyetas 93
Tabla 24: Matriz de valoración de la susceptibilidad final. 94
Tabla 25. Matriz normalizada para las variables de susceptibilidad final 94
Tabla 26: Clases de susceptibilidad a deslizamientos. 95
Tabla 27. Puntos de corroboración de zonas de susceptibilidad 100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema general de la metodología empleada en el proyecto. 18
Figura 2: Esquema del modelo cartográfico. 20
Figura 3: DEM de la zona en estudio..... 21
Figura 4: Modelamiento Topográfico 23
Figura 5: Índices Topográficos generados 23
Figura 6: Configuración del PCA 24
Figura 7: Elementos generados a partir del PCA 25
Figura 8: Configuración de los parámetros para la clasificación automática 26
Figura 9: Clasificación automática (ISODATA) 27
Figura 10: Configuración del filtro de suavizado. 28
Figura 11: Comparación de los ráster con y sin filtro de suavizado 29
Figura 12: Unidades filtradas. 29
Figura 13. Fotointerpretación de Unidades Geomorfológicas 30
Figura 14: Visualización de la zona de estudio en ArcScene 10.5 34
Figura 15.Calibración de Unidades Geomorfológicas con ayuda de fotografías 35
Figura 16: Mapa de Ubicación del área de estudio. 43
Figura 17: Acceso al cantón Catamayo; a) aéreo, b) terrestre. 44
Figura 18: Afloramiento geológico de la Unidad El Tigre. 52
Figura 19: Afloramiento geológico 2 de la Unidad El Tigre. 52
Figura 20: Afloramiento geológico 3 de la Unidad El Tigre. 53
Figura 21: Afloramiento geológico 3 de la Unidad La Bocana. 54
Figura 22: Afloramiento geológico de la Unidad Chaguarpamba. 56
Figura 23: Afloramiento geológico de la Unidad Chaguarpamba. 56
Figura 24: Afloramiento geológico de la Unidad Changaimina. 57
Figura 25: Afloramiento geológico 1 de la Unidad Guayabal. 59
Figura 26: Afloramiento geológico 2 de la Unidad Guayabal. 59
Figura 27: Afloramiento geológico de la Formación Catamayo. 60
Figura 28: Afloramiento geológico de la Formación Catamayo. 61
Figura 29. Afloramiento geológico de depósito aluvial..... 62
Figura 30. Afloramiento geológico de depósito 62
Figura 31. Afloramiento geológico de depósito 63

Figura 32: Mapa de pendientes de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma 65
Figura 33. Relieve montañoso identificado: a) Sitio Rumipotrero en la Unidad La Bocana, b) Sitio El Tambo en la Unidad El Tigre, c) Sitio Miraflores en la Unidad Chaguarpamba 67
Figura 34. Relieve colinado alto identificado: a) Sitio La Chora en la Unidad Chaguarpamba, b) Sitio Las Aradas en la Unidad Chaguarpamba, c) Sitio Togueros en la Unidad Guayabal. 68
Figura 35. Relieve colinado medio identificado: a) Sitio Togueros en Unidad Guayabal, b) Sitio El Limo en Unidad Guayabal, c) Sitio Santa Ana en Unidad La Bocana. 69
Figura 36. Vertientes irregulares identificadas: a) y b) Sitio La Concha en la Unidad Guayabal, c) Sitio La Bendita en Unidad Chaguarpamba. 70
Figura 37. Coluvión identificado cerca de la Hacienda Monterrey 71
Figura 38. Coluvio aluvial identificado en el sector Togueros en la Unidad Guayabal 72
Figura 39. Colinas bajas identificadas: a) Sitio Ingenio Monterrey representado por depósitos aluviales, b) Sitio Guayabal en la Unidad Guayabal, c) Sitio Ingenio Monterrey en la Unidad Guayabal 73
Figura 40. Cuesta identificada: a) Sitio Rumi de la Unidad La Bocana, b) Casco urbano de San Pedro de la Bendita de la formación Catamayo. 74
Figura 41. Terraza aluvial identificada al margen del rio Guayabal 75
Figura 42: Deslizamiento 1, parroquia Guayquichuma. 80
Figura 43: Deslizamiento 2, parroquia Guayquichuma. 80
Figura 44: Deslizamiento 3, parroquia Guayquichuma. 81
Figura 45: Deslizamiento 4, parroquia Guayquichuma. 81
Figura 46: Deslizamiento 4, vista panorámica. 82
Figura 47: Mapa de Uso Actual de Suelo de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma 84
Figura 48: Mapa de pendientes de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma 86
Figura 49: Esquema “Model Builder” para la generar el mapa de susceptibilidad a deslizamientos. 95
Figura 50: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma 99

1. Titulo

GENERACIÓN DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25 000, DE LAS PARROQUIAS RURALES SAN PEDRO DE LA BENDITA, ZAMBI Y GUAYQUICHUMA, CORRESPONDIENTE A LA PARTE NORTE DEL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR

2. Resumen

En la actualidad, la mayoría de entidades utilizan Sistemas de Información Geográfica enfocados en la generación de cartografía digital, es por eso que el presente proyecto investigativo se desarrolló bajo el título de "Generación del Mapa Geomorfológico a escala 1:25000, de las parroquias rurales San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma, correspondiente a la parte norte del cantón Catamayo, provincia de Loja, Ecuador", el mismo que comprende la caracterización cuantitativa del relieve utilizando el método de la Clasificación Automática ISODATA, aplicado al Modelo de Elevación Digital (DEM) en el Software ENVI 5.3. Además del procedimiento mencionado se perfeccionó con observación en 3D e interpretación del paisaje mediante salidas de campo; como resultado se obtuvieron 9 geoformas de mesorelieve y 5 con respecto a macrorelieve, de las cuales se han definido 4 clases genéticas. Se complementó el trabajo de investigación con la generación del mapa de susceptibilidad a deslizamientos de la zona de estudio.

Abstract

Currently, most entities use geographic information systems focused on the generation of digital cartography, which is why this research project was developed under the title of "Generation of the Geomorphological Map at 1:25000 scale, of the rural parishes of San Pedro de la Bendita, Zambi and Guayquichuma, corresponding to the northern part of the canton Catamayo, province of Loja, Ecuador", The same one that comprises the quantitative characterization of the relief using the method of automatic classification isodata, applied to the Digital Elevation Model (DEM) in the ENVI 5.3 software. In addition to the aforementioned procedure, it was perfected with 3D observation and landscape interpretation by means of field trips; as a result, 9 geoforms of mesorelief and 5 with respect to macrorelief were obtained, of which 4 genetic classes have been defined. Complemented the research work with the generation of the landslide susceptibility map of the study area.

3. Introducción

La geomorfología es una rama de la geografía física y de la geología que tiene como objetivo el estudio de las formas de la superficie terrestre enfocado a describir, entender su génesis y su actual comportamiento. La geomorfología se centra en el estudio de las formas del relieve, pero dado que éstas son el resultado de la dinámica litosférica en general, integra como insumos, conocimientos de otras ciencias de la Tierra, tales como la climatología, la hidrografía, la pedología, la glaciología, y también de otras ciencias, para abarcar la incidencia de fenómenos biológicos, geológicos y antrópicos, en el relieve. (Agueda, J.; Anguita, F.; Araña, V.; López Ruiz, J. y Sánchez de la Torre, L. , 1977)

En la provincia de Loja y específicamente en el cantón Catamayo, se determina un índice de crecimiento poblacional de 1,7% anual según INEC, por lo que la población ha aumentado considerablemente, llegando a 31421 habitantes según el último censo del 2010; esto se ve influenciado en la necesidad de espacios urbanizables. (INEC, 2010)

El crecimiento poblacional del cantón Catamayo está directamente relacionado con su ubicación geográfica, ya que es una conexión entre regiones; tiene un clima cálido y lugares turísticos llamativos (Turismo, 2017), creando la necesidad de espacios apropiados para la construcción de viviendas. Según INEC (2010), el 36% de la población reside en área rural, razón por la cual existe un deficiente control para que las viviendas se construyan en zonas estables y con estudios técnicos.

Atendiendo a la problemática mencionada, el proyecto de generación del Mapa Geomorfológico a escala 1:25 000 del cantón Catamayo, sector San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma, propondrá una metodología para mitigar los impactos negativos como: pérdidas económicas y problemas sociales por asentamientos poblacionales mal planificados; generar ideas desarrollistas apropiadas para la zona, continuidad de las actividades cotidianas del cantón y por ende garantizar la calidad de vida de los pobladores.

El proyecto en cuestión tiene el objetivo resaltar las características relevantes sobre el paisaje, geología, litología y geoformas que se encuentran en las parroquias rurales San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma, esto con el fin de ayudar al Ordenamiento Territorial del cantón. Una clara información cartográfica permitirá ejecutar proyectos para el desarrollo de comunidades que se encuentren en zonas con características singulares, promoviendo así la gestión de riesgos gracias al mapa de susceptibilidad a deslizamientos.

En este contexto el presente trabajo de titulación se encuentra conformado por 11capítulos, tal como se muestra a continuación:

En el capítulo 1, 2 y 3 se indica el título del trabajo, que es el nombre del trabajo realizado; el resumen que describe superficialmente la metodología empleada para el levantamiento de las unidades geomorfológicas y la introducción donde se describe de forma clara y concisa información relevante sobre el tema tratado, además de abordar cada lineamiento realizado en el proyecto de investigación.

En el capítulo 4 se describen cada uno de los objetivos, los mismos que son la base para cumplir con el tema de investigación y en el capítulo 5 se tiene la revisión de literatura que comprende la conceptualización de los términos más relevantes a tratar durante la realización del trabajo, con la finalidad de comprender todo lo descrito.

En el capítulo 5 se describe los materiales que se usaran y la metodología a seguir durante el trabajo de investigación, aquí se mencionan los insumos, herramientas y equipos utilizados, así como las técnicas y procesos enfocados en el desarrollo correcto del proyecto, ya sea en el trabajo de oficina como en el trabajo de campo. Dentro de la metodología se indica la secuencia de pasos para lograr los objetivos establecidos, entre estos se tiene la generación de los índices topográficos en base al Modelo Digital de Elevación obtenido de ALOS PALSAR con una resolución de 12.5 metros y el proceso para la clasificación automática No Supervisada (ISODATA) en el software ENVI 5.3; seguidamente se definen las unidades geomorfológicas

con la validación en campo. Para determinar la geología se tomó como base a las cartas geológicas de Zaruma y Catamayo a escala 1:50000 con su respectiva validación en campo; para obtener las pendientes se ejecutó la herramienta slope y se reclasificó en base a la clasificación de Demek; en cuanto al uso actual del suelo se ejecutó la herramienta Maximun Likelihood Classification, tomando como referencia puntos de control levantados en campo y registrados a partir de fotointerpretación; para obtener las isoyetas se realizó una interpolación de precipitaciones medias anules registradas en el INAMHI de 10 estaciones meteorológicas circundantes al área de estudio. Considerando todos estos insumos se generó el mapa de susceptibilidad mediante un análisis jerárquico de Saaty.

En el capítulo 6 se indica los resultados que involucran parámetros como ubicación y acceso del área de estudio, hidrografía, geología regional y local; también se registra el levantamiento de las unidades geomorfológicas como factores asociados a las precipitaciones medias anuales, pendientes y uso actual del suelo.

En el capítulo 7 se tiene la discusión de resultados, donde se indicó la génesis y edad de las unidades geomorfológicas identificadas, tomando en cuenta la geología de la localidad; también se indica los resultados de acuerdo a la susceptibilidad a deslizamientos obtenida.

Dentro del capítulo 8 se exponen las conclusiones las mismas que muestran los resultados generados en base a los objetivos planteados; en el capítulo 9 se establecen las recomendaciones que trata de ideas y opiniones que mejoren la ejecución de investigaciones futuras.

Finalmente, se tiene la bibliografía, misma que comprende un conjunto de documentos que se utilizó como base de información para la ejecución del presente trabajo, estos detallados en forma de lista ordenada alfabéticamente; y en el último capítulo los anexos que respaldan todo lo descrito en el proyecto.

Objetivos

- **Objetivo General**

Elaborar la cartografía geomorfológica a escala 1:25000, de las parroquias rurales ubicadas al norte del cantón Catamayo (San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma), mediante el uso de una plataforma SIG y con el uso de información geográfica.

- **Objetivos específicos**

  Generar la cartografía para identificar los índices de relieve más sobresalientes.

  Caracterizar los índices de relieve más importantes dentro del área de estudio.

  Elaborar el mapa geomorfológico y el mapa de susceptibilidad a deslizamientos.

4. Revisión de la Literatura

4.1. Geomorfología.

La Geomorfología es el estudio científico de las formas de la superficie terrestre. Por elipse, los geógrafos emplean frecuentemente la palabra morfología, y llaman morfólogo al especialista de esta ciencia. Se distingue, habitualmente, una geomorfología estructural que estudia el relieve, y una estructura climática que se interesa por el modelado. (George, 1974)

Es una rama de la geografía física y de la geología1 que tiene como objetivo el estudio de las formas de la superficie terrestre enfocado a describir, entender su génesis y su actual comportamiento. Por su campo de estudio, la geomorfología tiene vinculaciones con otras ciencias. Uno de los modelos geomorfológicos más popularizados explica que las formas de la superficie terrestre son el resultado de un balance dinámico, que evoluciona en el tiempo, entre procesos constructivos y destructivos, dinámica que se conoce de manera genérica como ciclo geográfico. (Agueda, J.; Anguita, F.; Araña, V.; López Ruiz, J. y Sánchez de la Torre, L. , 1977)

La Geomorfología es el estudio de todos los procesos de erosión y sedimentación, por efecto de los diferentes agentes meteóricos, tectónicos, volcánicos, antrópicos, etc. que han actuado y actúan sobre el relieve terrestre, en los últimos dos millones de años, es decir, desde el inicio del Cuaternario, y que afecta hasta los fondos oceánicos (Bergoeing, 2008)

4.2. Geoforma

La geoforma se refiere a cualquier componente o rasgo físico de la superficie terrestre que ha sido el resultado de la interacción de los procesos endógenos (internos), formadores de los rasgos principales del relieve y los procesos exógenos (externos) asociados con el desgaste del relieve primario a través del tiempo geológico. (Lugo Hubp, 1988)

4.3. Génesis

Es el conjunto de fenómenos que, en el ciclo geológico, conducen a la formación de montañas o cadenas montañosas, producido principalmente por diastrofismo (pliegues, fallas, o combinaciones de estos). Por lo general emplea también este estilo para las formaciones montañosas originadas por la actividad volcánica o por la erosión (Teixeira, A., & Teixeira, J. A. , 2008)

Deposicional (Dep).- Se refiere a formas originadas en el transporte por agentes erosivos como el agua, el hielo o el viento, que constituyen medios de acarreo. (Centeno, J., Fraile, J., & otros., 1994)

Denudativo (Den).- Incluye un grupo de procesos de desgaste de la superficie terrestre. En este contexto, el principal proceso identificable como forma de relieve son los coluviones y coluvio aluviales, formas originadas en la acción de la gravedad en combinación con el transporte de las aguas. (Centeno, J., Fraile, J., & otros., 1994)

Estructural (Est).- Obedece a un patrón organizado del buzamiento de los estratos y al plegamiento de rocas sedimentarias consolidadas y metamórficas de origen sedimentario.

Tectónico erosivo (Tec).- Corresponde a levantamientos tectónicos que generan formas montañosas y colinadas de diversa altura y pendientes, y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en grado variable por los procesos erosivos. (Centeno, J., Fraile, J., & otros., 1994)

Volcánico (Vol).- Son formas producidas por erupciones volcánicas que han sufrido los efectos de la denudación y que aún conservan rasgos definidos de sus formas iniciales. Las rocas ígneas extrusivas, lavas y piroclastos, constituyen los materiales parentales que conforman el soporte de este tipo de geoformas. (Centeno, J., Fraile, J., & otros., 1994)

Glaciar (Glc).- Proviene de los procesos erosivos ocurridos en relieves primarios por acción de las masas de hielo (circos, valles glaciares, rocas aborregadas, etc.) y de los procesos de

transportación y sedimentación supraglaciar, endoglaciar y subglaciar de material detrítico pobremente clasificado (morrenas laterales, terminales, centrales, etc). (Centeno, J., Fraile, J., & otros., 1994)

4.4. Índices de Relieve

4.4.1. Índices Topográficos

Con la aparición y desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha hecho necesario la aplicación de un concepto, concebido ya a finales de la década de los 1950 (Ch. Miller y R. Laflamme, 1958) para modelar, analizar y visualizar los fenómenos relacionados con la topografía, o con variables de distribución continua, de una forma numérica y procesable por ordenadores: los Modelos Digitales de Terreno (MDT). (MAE, 2013)

- Índices topográficos primarios (derivables directamente a partir de los datos de altura representados en el modelo)
- Índices topográficos secundarios o compuestos (implican combinaciones de los atributos topográficos primarios)

4.4.2. Índices de Formas de Terreno

Este algoritmo realiza un análisis cualitativo de la morfología del relieve. Tomando una celda de un MDT y sus 8 celdas vecinas, se puede clasificar la forma de la celda central en función de los valores del conjunto con las siguientes categorías:

- Cima.
- Depresión.
- Plano.
- Línea de ruptura convexa.
- Línea de ruptura cóncava.
- Cresta.
- Canal.

4.4.2.1. Sombreado.

El análisis del sombreado del relieve es una técnica que se utiliza para generar de forma automática mapas de relieve sombreados. El sombreado del relieve se utiliza para realzar visualmente los elementos del terreno simulando los efectos de iluminación de la luz del sol sobre la superficie del terreno. El sombreado estima valores de reflectancia de la superficie a partir de la posición del sol a cualquier altitud y en cualquier azimut. La reflectancia se calcula como un rango de valores entre 0 y 100. (Exelis Visual Information Solutions, 2015)

4.4.2.2. Pendiente.

La pendiente es una forma de medir el grado de inclinación del terreno. A mayor inclinación mayor valor de pendiente. La pendiente se mide calculando la tangente de la superficie. La tangente se calcula dividiendo el cambio vertical en altitud entre la distancia horizontal.

Normalmente la pendiente se expresa en planimetría como un porcentaje de pendiente que equivale al valor de la tangente (pendiente) multiplicado por 100. (Ministerio del Ambiente, 2013)

*Porcentaje de Pendiente = Altura / Base * 100*

Otra forma de expresar la pendiente es en grados. Para calcular los grados se utiliza el valor de arco tangente de la pendiente:

Pendiente en Grados = Arco Tangente (Altura / Base)

4.4.2.3. Curvaturas.

- **Curvatura Horizontal (Curvatura en planta)**

Curvatura en el plano que corta la superficie según la curva de nivel. Una curvatura horizontal convexa (valores negativos) representa una zona en la que el flujo tiende a dispersarse (divergente), mientras que si es cóncava (valores positivos) el flujo tiende a concentrarse (convergente), ya que las líneas de flujo convergen. Si es plana, son valores cero. (Ministerio del Ambiente, 2013)

- **Curvatura Vertical (Curvatura en perfil)**

Curvatura según el plano de la máxima pendiente. Los valores positivos de las celdas indican una curvatura convexa (zonas en las que el agua experimenta una aceleración, ya que la pendiente aumenta), mientras que los negativos indican una curvatura cóncava (zonas con tendencia a acumular agua, ya que la pendiente disminuye). (Ministerio del Ambiente, 2013)

- **Curvatura Longitudinal**

La curvatura longitudinal se calcula o se define como la intersección con el plano de la pendiente normal y la dirección del aspecto. (Ministerio del Ambiente, 2013)

- **Curvatura Transversal**

La curvatura transversal se define como la intersección con el plano de la pendiente y la dirección perpendicular del aspecto. (Ministerio del Ambiente, 2013)

- **Mínima y Máxima Curvatura**

La curvatura de una superficie en un punto es el producto de la curvatura máxima y mínima. Se determina tomando la curvatura máxima y mínima de sus secciones en un punto. (Ministerio del Ambiente, 2013)

4.5. Sistemas de Información Geográfica

Según el NCGIA (National Center For Geographic Information and Analysis, 1990), "un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión".

Este sistema permite manejar por separado la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, siendo posible trabajar con ellas de manera rápida y facilitando la posibilidad de relacionar la información existente (Gutiérrez J. y Gould, M., 1994)

4.5.1. Tipos de datos

Los objetos que vemos en el mundo real (carreteras, uso de suelo, altitud, litología, precipitación) se encuentran representados por medio de datos. Estos objetos o fenómenos del mundo real se pueden dividir en dos abstracciones: objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: ráster y vectorial.

4.5.1.1. Ráster.

Un ráster es una imagen digital representada en mallas, en donde esta malla contiene celdas con cierto tipo de valores. En este modelo, las entidades geográficas son representadas por medio de celdas y está organizada en forma de renglones y columnas, como una matriz. La posición de cada celda está definida por una columna y un renglón. El valor de cada celda indica el valor del atributo o características que representa, cuyo origen se sitúa en el extremo superior izquierdo, al contrario de lo que ocurre con el sistema de coordenadas cartesiano cuyo origen se encuentra en el punto inferior izquierdo. (Ch. Miller y R. Laflamme, 1958)

4.5.1.2. Vector.

La base del modelo datos vector, es asumiendo que el mundo real puede ser dividido en elementos claramente definidos, donde cada elemento consiste en un objeto identificable con su propia geometría de punto, línea y polígono. En principio, cada punto en el mapa y cada punto en el terreno que representa goza de una ubicación usando dos o tres números en un sistema de coordenadas, como en el N, E y elevación en el sistema de coordenadas cartesiano. (Ch. Miller y R. Laflamme, 1958)

4.5.1.3. TIN (Triangulated Irregular Networks).

Un TIN es una red de triángulos, que varían en tamaño y en función de la rugosidad del terreno. En este modelo, los vértices del arreglo triangular se posicionan en los puntos de mayor importancia, donde la elevación es conocida. En el modelo, las coordenadas x-y-z de todos los

puntos, como también los atributos de inclinación y dirección, son almacenadas. (Ch. Miller y R. Laflamme, 1958)

4.5.1.4. Modelo Digital De Elevación (DEM).

Es una representación digital que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo, por medio de un conjunto de puntos con coordenadas x, y, y z respecto a un sistema de georreferenciación conocido (Ch. Miller y R. Laflamme, 1958)

4.6. Imagen Satelital

La imagen satelital es una representación visual de los datos reflejados por la superficie de la tierra que captura un sensor remoto. Los datos son enviados a una estación en donde se procesan y se convierten en imágenes. (Bakker, 2005)

4.7. Cartografía

Está definida como el arte, la ciencia y la técnica del diseño, producción y utilización de representaciones que trasmiten información espacial mediante un sistema geométrico de símbolos gráficos (Pérez, 2011).

4.8. Geología

Es la ciencia que estudia la Tierra, su origen, formación y especialmente de los materiales que lo conforman, tiene por objeto entender la evolución del planeta y sus habitantes, desde los tiempos más antiguos hasta la actualidad mediante el análisis de las rocas (Duque, 2013).

4.8.1. Roca

Es un agregado natural que se presenta en nuestro planeta en masas de grandes dimensiones, formados por uno o más minerales, pueden ser consideradas como el resultado final de la evolución de sistemas físico – químicos, desarrollados como consecuencia directa de la actividad geológica exógena (meteorización, sedimentación y diagénesis) y endógena (magmatismo y metamorfismo) (F. Lutgens y E. Tarbuck , 2005).

4.8.2. Depósito superficial

Es un conjunto de materiales sólidos acumulados, según el agente más importante que contribuyó a estas rocas acumularse, los depósitos se pueden llamar: aluvial, glacial, pelágico, abisal, eólica, marina y continental, subaérea, subacuático, terrígeno, coluvial, río, etc. (Teixeira, A., & Teixeira, J. A. , 2008)

4.8.3. Afloramiento

Parte de una formación rocosa que está expuesta en la superficie de la Tierra, misma que permite describir características geológicas como: tipo de material, orientación de las capas y presencia de estructuras (fracturas, fallas, pliegues, entre otras) (Complutense, 2004).

4.9. Amenazas Geológicas

Es la probabilidad de ocurrencia de un evento (sismos, deslizamientos, inundaciones, huracanes, tsunamis, erupciones volcánicas, etc.) potencialmente dañino, caracterizado por una cierta intensidad, dentro de un período dado y en un área determinada (Noriega., 2005).

4.9.1. Deslizamientos

Un deslizamiento es el movimiento de una porción de terreno a través de una superficie de rotura neta con la preservación general de la estructura interna original. (Copons R. y Tallada A., 2009)

Se puede diferenciar dos tipos de deslizamientos:

- Deslizamientos rotacionales: La superficie de rotura es circular, a modo de cuchara, generalmente tienen una relación Dr/Lr entre 0.15 y 0.33
- Deslizamientos traslacionales: La superficie de rotura es totalmente plana, generalmente, tienen una relación Dr/Lr de menos de 0.1.

4.10. Fotointerpretación

Es una técnica o arte apropiada para examinar imágenes fotográficas de un área u otros elementos, con el propósito de identificar diferentes componentes captados por la película, que

se encontraban sobre la superficie en el momento de la captura y que pueden suministrar información de interés (Chuvieco, 1996).

4.11. Zonificación

Se definen como acciones dirigidas a orientar la utilización del suelo de acuerdo a su vocación de uso, de tal manera que a la vez que se logre su óptimo aprovechamiento y mayor bienestar de la población, se mantenga la integridad física y productiva del suelo y sus recursos asociados (C. Gómez y García J., 2006)

4.11.1. Susceptibilidad a Deslizamientos

Es el grado en el cual una unidad de terreno puede ser afecta por movimientos de masa, bajo la influencia de agentes tales como altas precipitaciones, actividad antrópica, cortes naturales y/o artificiales y sismos. (C. Ayala y Corominas, 2002)

La susceptibilidad del suelo a los movimientos de ladera, se define como la favorabilidad del ambiente físico y de los elementos inherentes de las masas de terreno y superficie como la geología, pendiente, geomorfología, usos del suelo, a la ocurrencia de deslizamientos. (Vidal, 2012)

Susceptibilidad, indica la predisposición del terreno a la ocurrencia o no del fenómeno. (Fernández, 2014)

5. Materiales y Métodos

5.1. Materiales

- GPS GARMIN 78S.
- Martillo Geológico ESTWING.
- Brújula Brunton.
- Fundas plásticas ziploc.
- Libreta de campo.
- Carta topográfica. (Catamayo, escala 1;50000).
- Hoja geológica (Catamayo, escala 1;50000).
- Cámara fotográfica.
- HCl al 10%.
- Fichas de caracterización.
- Computador.
- Bibliografía especializada.
- Impresora.
- Modelo Digital de Elevación (MDE), píxel 12,5 x 12,5 metros.
- Ortofoto de Catamayo.
- Software: ArcGIS 10.5.
- Software: ENVI 5.3.
- Microsoft Office 2013: Word, Excel, Power Point.

5.2. Método

En el presente trabajo de titulación se aplicó una metodología combinada, ya que inicialmente se obtuvo información de diversas procedencias y formatos sobre la cartografía geomorfológica, así mismo, se generó insumos digitales mediante trabajo de campo, fotointerpretación y el uso de plataformas de información geográfica.

Para llegar a los objetivos se aplicó la metodología planteada por (Ministerio del Ambiente, 2013), que consiste en la Clasificación Automática No Supervisada (Isodata), la cual crea agrupamientos espectrales o clusters, los cuales deben ser interpretados por el analista para definir la clase temática respectiva.

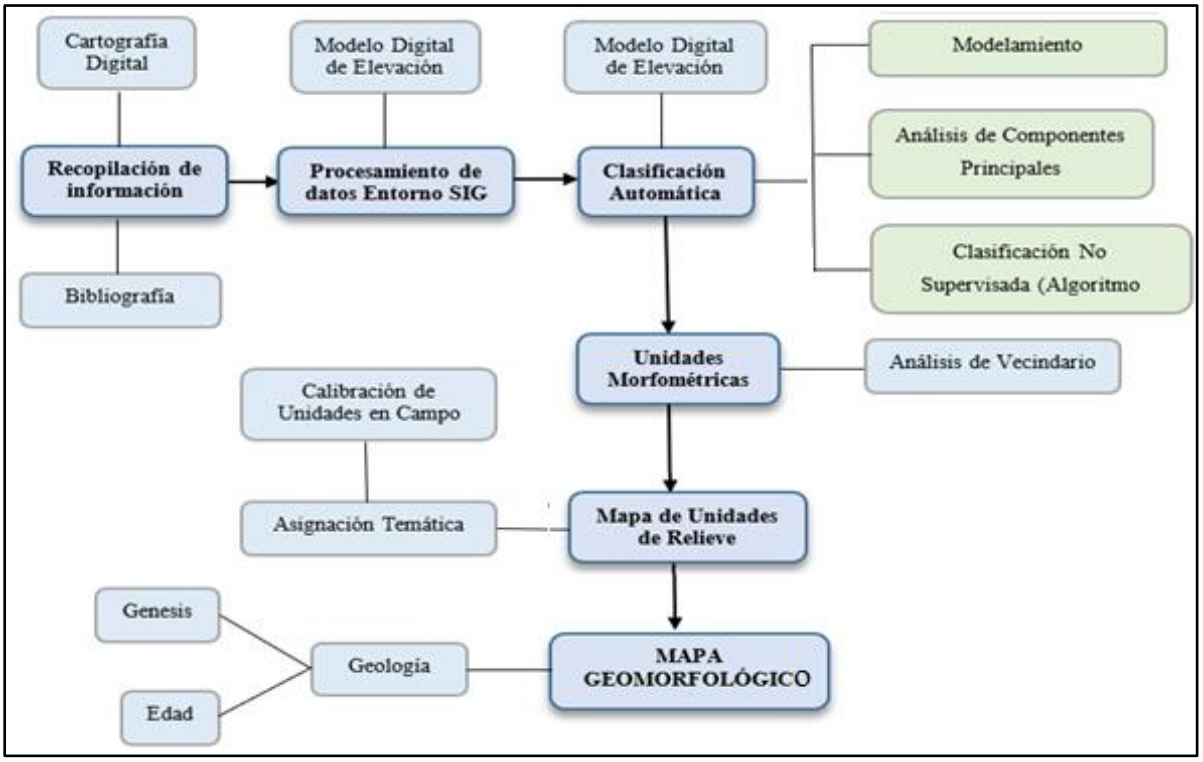


Figura 1: Esquema general de la metodología empleada en el proyecto.
Fuente: El Autor, 2020

Para la aplicación de este método iterativo el analista debe especificar los siguientes:

- Número máximo de clusters (número de clases) que el algoritmo debe identificar.
- Máximo porcentaje de pixeles (umbral de cambio) cuyos valores se permite permanezcan incambiados entre iteraciones. Cuando se alcanza dicho número el algoritmo se detiene.
- Máximo número de iteraciones. Cuando se alcanza dicho número el algoritmo se detiene.
- Mínimo número de miembros en un clusters. Si un cluster contiene menos de dicho mínimo es eliminado y los miembros son asignados a un cluster alternativo.

- Máxima desviación estándar. Cuando la desviación estándar para un cluster excede el máximo especificado y el número de miembros que contiene es más que el doble del mínimo especificado, el cluster se divide en otros dos clusters.
- Suele también fijarse valores mínimos para las distancias entre los centros de los clusters. Cuando la distancia resulta inferior a dichos valores los clusters se fusionan.

5.3. Recopilación de Información

Consistió en la recopilación de información referencial para desarrollar la fotointerpretación y de esta forma generar datos e insumos necesarios para cumplir con las especificaciones requeridas en el trabajo mediante la revisión y análisis de los mismos.

5.3.1. Bibliográfica

El material bibliográfico en el que se basó el trabajo de titulación se describe a continuación según su grado de importancia:

- "Modelo de Unidades Geomorfológicas del Ecuador" (2013), descargado del geoportal del Ministerio del Ambiente, el cual detalla la metodología para realizar una clasificación automática de las unidades de relieve a partir de los índices topográficos derivados del Modelo Digital de Elevación (geoformas de nivel 4, escala 1: 50.000 – 100.000).
- "Metodología del Levantamiento Geomorfológico" (2015), del Instituto Espacial Ecuatoriano; consiste en la asignación de la génesis de cada unidad de relieve con respecto a su litología, y así generar la cartografía geomorfológica del área de estudio (geoformas de nivel 5, escala 1: 25.000).

5.3.2. Cartográfica

Respecto a la información cartográfica digital y física se menciona diferentes entidades y sitios web: ALASKA SATELLITE FACILITY, INAMHI, INIGEMM y GAD de Catamayo.

Los insumos obtenidos de los sitios mencionados son los siguientes:

* Modelo Digital de Elevación (DEM) ALOS PALSAR, con una resolución espacial de 12,5 metros, obtenido del geoportal https://vertex.daac.asf.alaska.edu/
* Ortofotos de Catamayo.
* Hoja geológica de Catamayo, escala 1;50000
* Hoja geológica de Zaruma, escala 1;50000 (borrador)
* Registro Isoyetas serie 1981 – 2010 del INAMHI de 10 estaciones meteorológicas
* Límite administrativo cantonal, parroquial y base topográfica del GAD de Catamayo, escala 1: 25.000.

5.4. Clasificación Automática de las Unidades de Relieve

Primeramente, se diseñó un modelo cartográfico (Ver Figura 2) para demostrar proceso de la metodología enfocada en la obtención del mapa geomorfológico del área de trabajo.

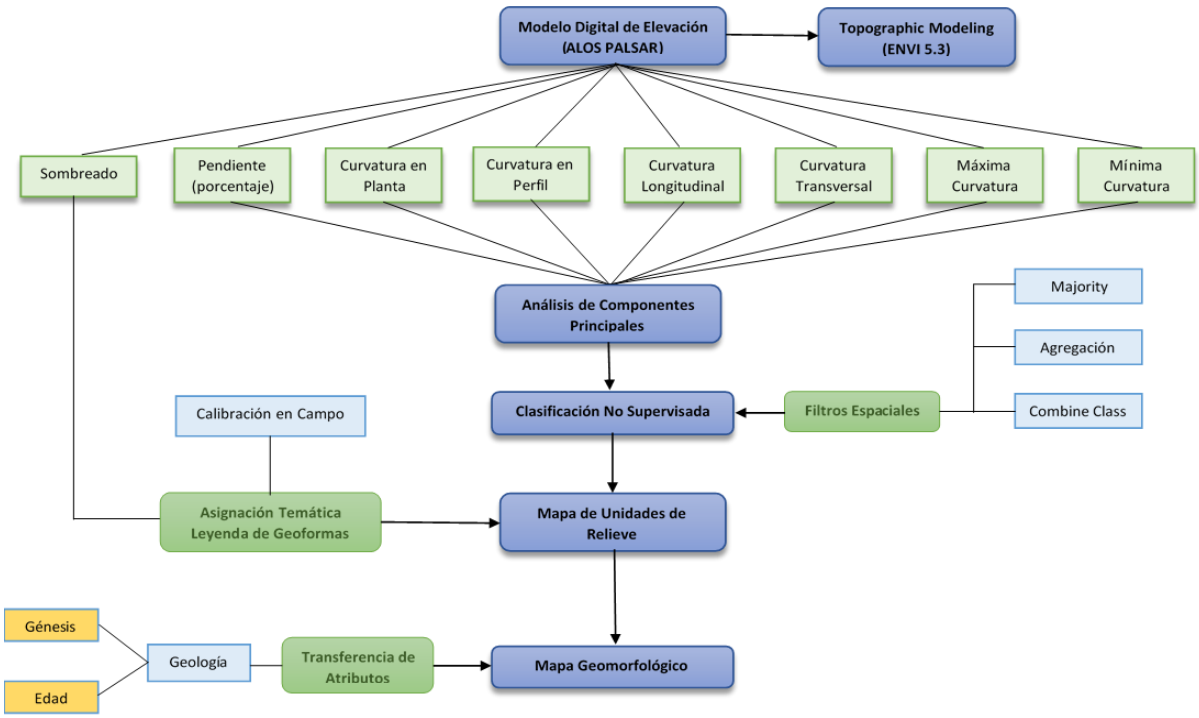


Figura 2: Esquema del modelo cartográfico.
Fuente: Adaptación del proyecto del MAE, "Modelo de Unidades Geomorfológicas", 2013.
Elaborado: El Autor, 2020

Mediante el procesamiento del DEM del cantón Catamayo en el software ENVI 5.3, se inició el modelamiento con un tamaño de pixel de 12.5 metros, con el cual se obtuvieron

diferentes índices topográficos que, sometidos a un análisis de componentes principales permitieron desvincular información redundante. Las variables no correlacionadas se usaron para ejecutar la Clasificación No Supervisada (algoritmo ISODATA), como resultado se obtuvo "clusters" o clases de relieve poco definidas que fueron sometidas a varios filtros espaciales y validación en campo para definirlas específicamente. La asignación de la geología permitió definir la génesis y edad a cada una de las unidades de relieve para la obtención del mapa geomorfológico de las parroquias urbanas San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma.

5.4.1. Modelo Digital de Elevación

El Modelo Digital de Elevación con resolución espacial de 12.5 metros, es el insumo básico para obtener la morfometría de las diferentes unidades de relieve, mediante la aplicación de un conjunto de herramientas.

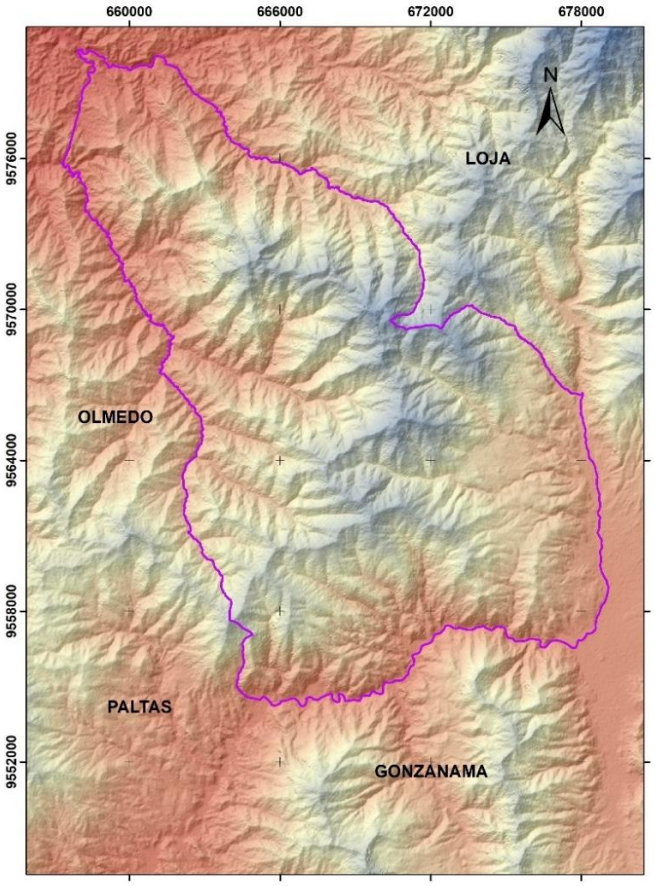


Figura 3: DEM de la zona en estudio.
Fuente: El Autor, 2020

Fue importante considerar el procesamiento de todo el DEM, ya que para obtener datos confiables fue necesario considerar lo que se encuentra fuera de las fronteras del área de estudio.

5.4.2. Modelamiento Topográfico

Para cumplir los requerimientos planteados en este trabajo de investigación, fue necesario extraer siete variables (índices topográficos) mediante el procesamiento del DEM; se excluyó la extracción del sombreado, pero fue considerada al momento de realizar la asignación temática en base al criterio planteado por (Wood, 1996), que menciona:

- La **pendiente** (%) calcula la magnitud de la gradiente máxima.
- La **convexidad en planta** mide la velocidad de cambio de la pendiente a lo largo del perfil.
- La **convexidad horizontal** mide la tasa de cambio del aspecto a lo largo del plano. Estas dos medidas, están en direcciones ortogonales con la convexidad del perfil en la dirección de los efectos de gravedad máxima y la convexidad del plano en la dirección de efectos de gravedad mínimos.
- La **curvatura longitudinal** mide la curvatura superficial ortogonalmente en la pendiente descendente.
- La **curvatura de la sección transversal** mide la curvatura de la superficie ortogonalmente a través de las direcciones de la pendiente.
- Las **curvaturas mínimas y máximas** se aplican a la superficie total.

Los índices topográficos se obtuvieron mediante el uso de la herramienta ***Topographic Modeling***, la que se encuentra en el parámetro ***Terrain*** de la Caja de Herramientas (***ToolBox***) del software ENVI 5.3, se cargó el DEM y se configuró de la siguiente forma:

En cuanto a la opción ***Topographic Kernel Size*** se ingresó un vecindario de 3 x 3 pixeles (tamaño del kernel), que corresponde a una matriz que escanea todo el DEM de pixel en pixel para generar los índices apropiadas en función de los algoritmos de cada uno de ellos.

En ***Select Topographic Measures to Compute***, se eligió las medidas topográficas a calcular, para el caso de estudio 8 variable (se considera una banda separada para cada medida topográfica): pendiente en porcentaje, 6 curvaturas y una capa de sombreado, para esta última variable (Shaded Relief) se ingresó datos de elevación del sol de 45° y azimut de 315°, datos que el software ArcGIS utiliza de manera automática. Del modelamiento resultó un archivo ráster (multivariante) que posee 8 capas de índices topográficos. La visualización de este ráster es posible en una combinación RGB, similar con imágenes multiespectrales.

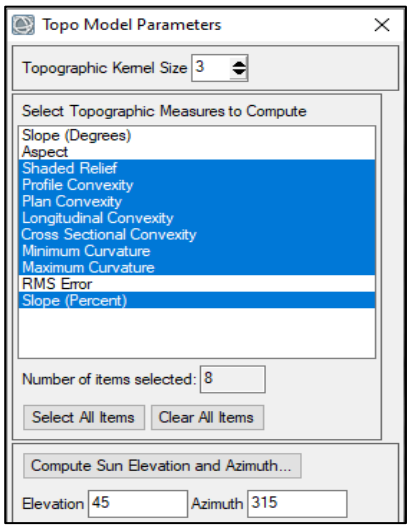


Figura 4: Modelamiento Topográfico
Fuente: El Autor, 2020

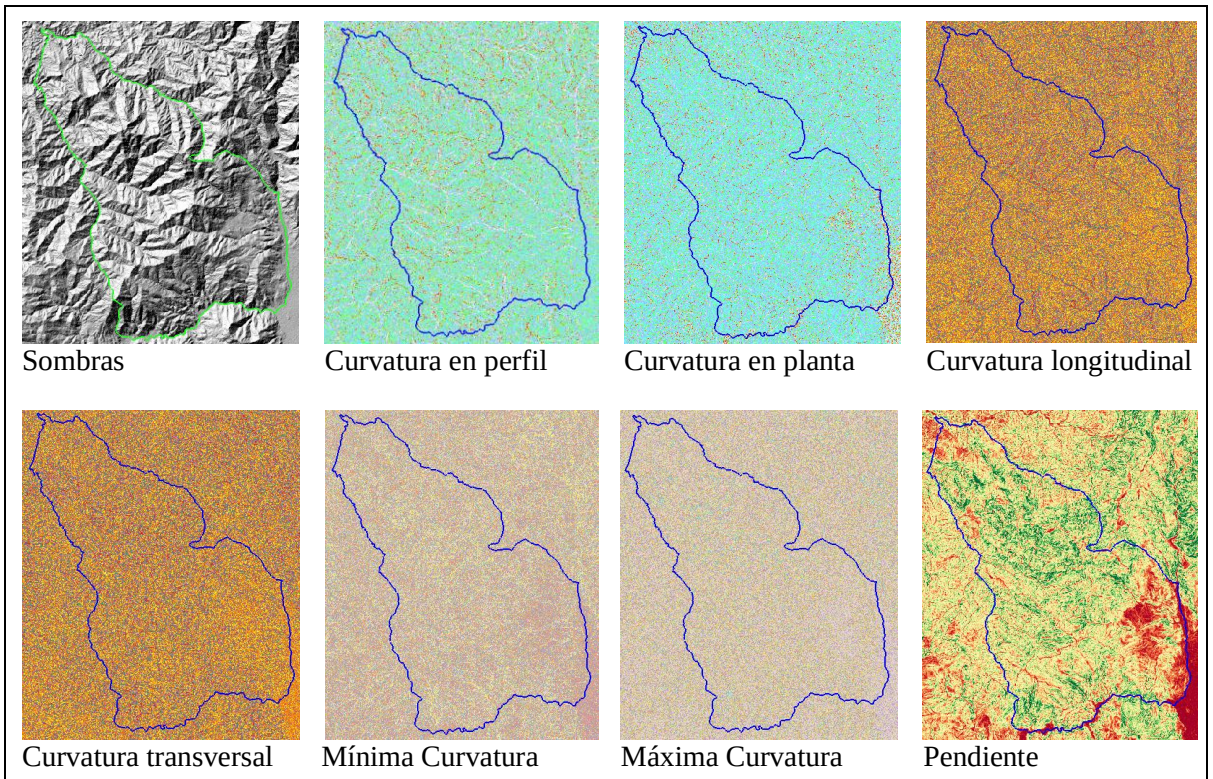


Figura 5: Índices Topográficos generados
Fuente: El Autor, 2020

5.4.3. Análisis de Componentes Principales

Es una técnica utilizada para describir un conjunto de datos en términos de nuevas variables (índices topográficos) no correlacionadas. Los componentes se ordenan por la cantidad de varianza original que describen, por lo que la técnica es útil para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos. Técnicamente, el ACP busca la proyección según la cual los datos queden mejor representados en términos de mínimos cuadrados. (Exelis Visual Information Solutions, 2015)

Para realizar el PCA en el software ENVI 5.3 se utilizó la herramienta ***Forward PCA Rotation New Statistics & Rotate*** (Ver Figura 6), considerando lo siguiente:

- ***Factores de Redimensionamiento X/Y***, equivalente al tamaño de celda, definido en 0.5 para que la herramienta funcione a velocidad óptima en los cálculos estadísticos.
- Calculo a partir de una ***Matriz de Covarianza,*** ya que los datos no cambian mucho entre las bandas y no es necesaria la normalización de las mismas.
- ***Elección de un subconjunto de valores propios***, aquí la herramienta permite seleccionar el número de bandas PC de salida, que por defecto son iguales al número de bandas de entrada.

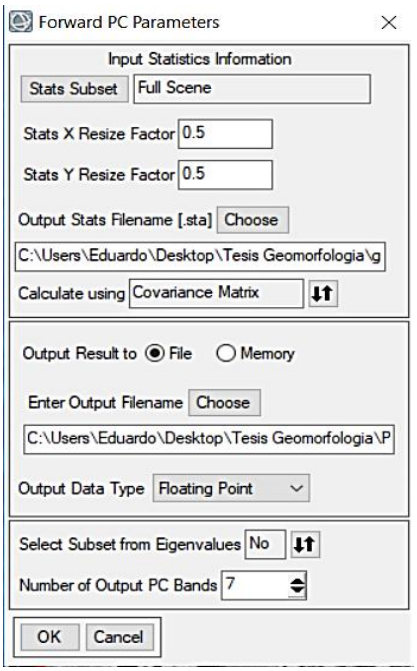


Figura 6: Configuración del PCA

Fuente: El Autor, 2020

El Análisis de Componentes Principales arroja como resultado dos archivos:

- Una gráfica comparativa que muestra las capas no correlacionadas y estadísticas de ruido, la primera banda del PCA contiene el mayor porcentaje de variación de datos y la segunda banda contiene la segunda mayor variación de datos, y así sucesivamente.

Las últimas bandas de los componentes principales aparecen con ruido, ya que contienen muy poca variación en los datos originales.

- El archivo ráster multivariante con las capas de salida de la herramienta de ACP.

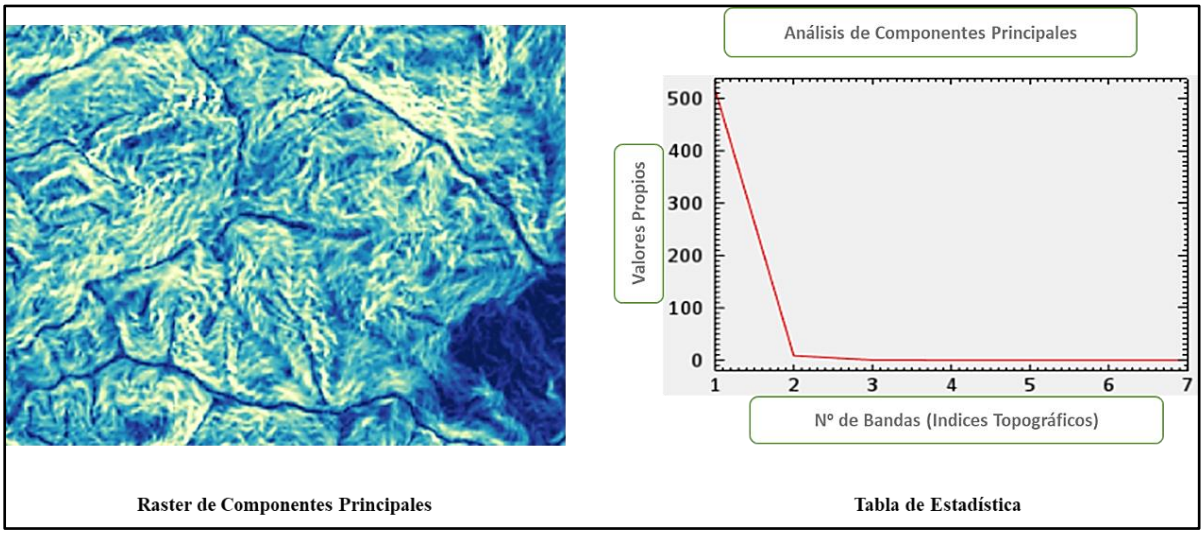


Figura 7: Elementos generados a partir del PCA
Fuente: El Autor, 2020

5.4.4. Clasificación No Supervisada

Posterior al ACP, se ejecutó la clasificación automática no supervisada mediante el uso del algoritmo ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique)

En el software ENVI 5.3, el funcionamiento de la herramienta IsoData Classification consiste en calcular los medios de clase uniformemente distribuidos en el espacio de datos, y luego agrupa iterativamente los píxeles restantes utilizando técnicas de distancia mínima. Cada iteración recalcula los medios y reclasifica los píxeles con respecto a los nuevos medios. Este proceso continuó hasta que el porcentaje de píxeles que cambian de clases durante una iteración fue menor que el umbral de cambio o el número máximo de iteraciones que se alcanza. Para ello se debieron ajustar parámetros como el número de clases buscadas, el número de iteraciones y el umbral de cambio.

Para la zona de estudio estos parámetros se han definido de la siguiente forma. (Ver Figura 8).

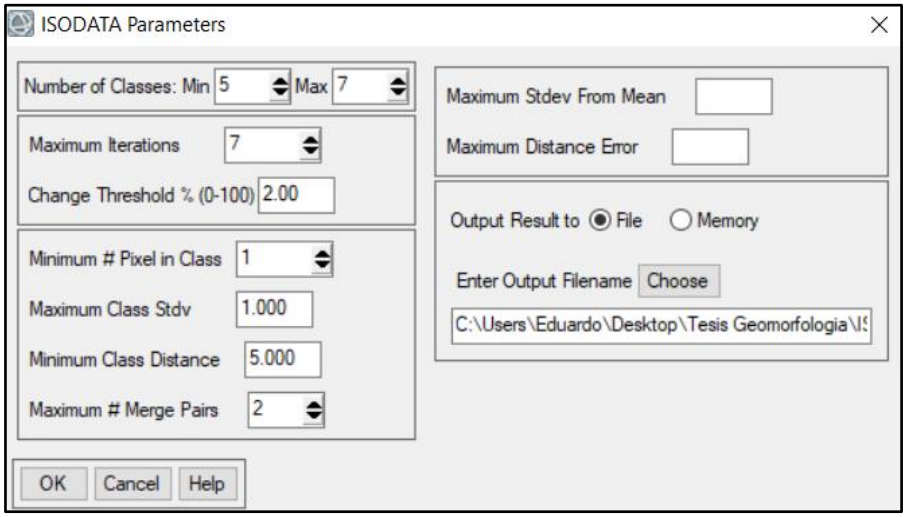


Figura 8: Configuración de los parámetros para la clasificación automática
Fuente: El Autor, 2020

- **Number of Classes (Número de clases):** 7 es el valor estimado correspondiente a las unidades que se pueden representar de acuerdo a la realidad del área de estudio y en función de la leyenda temática.
- **Maximum Iterations (Número de iteraciones):** 7, pues es un valor adecuado que permite al software continuar el ciclo que sigue el algoritmo varias veces hasta cumplir él % del Umbral de convergencia, una vez cumplido este criterio el proceso de clasificación termina. Mucha de las veces el proceso termina antes de las 7 iteraciones.
- **Change Threshould (Umbral de convergencia):** 2% ya que este valor indica la confianza en la clasificación, una vez que el porcentaje de píxeles que cambian de clase durante una iteración sea menor que el valor umbral el proceso de clasificación se detiene.

Una vez culminado el proceso, se obtuvo como resultado un modelo en cual no se visualiza una unidad de relieve específica, por el contrario, se observan unidades dispersas y desordenadas, tal como se aprecia en la figura 9.

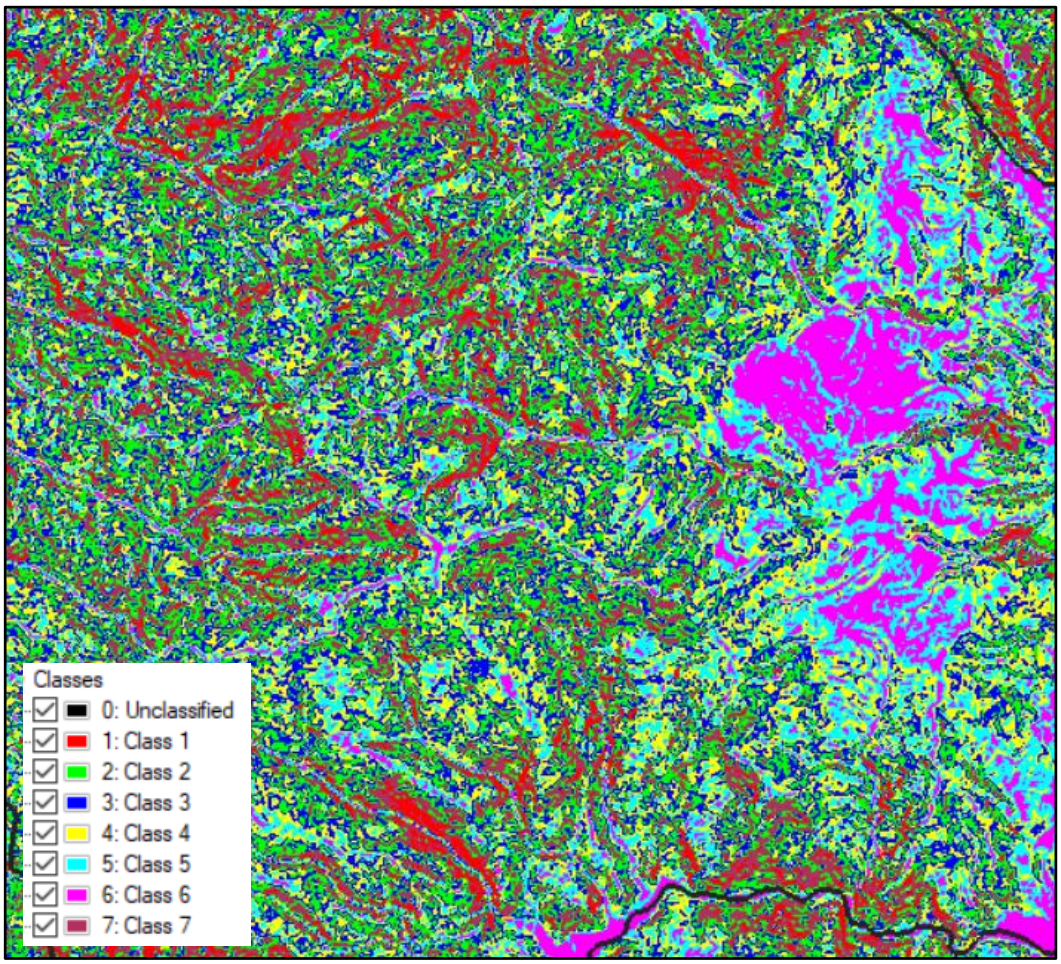


Figura 9: Clasificación automática (ISODATA)
Fuente: El Autor, 2020

5.4.5. Análisis SIG

Se realizó una post-clasificación con la finalidad de que las unidades que se encuentran dispersas se agrupen para formar un conjunto. Al aplicar los filtros adecuados fue posible minimizar el ruido y pulir las unidades para el proceso de interpretación.

Primeramente, se utilizó la herramienta ***Majority Analysis*** cuya función consiste en remover el ruido, es decir, permite eliminar los pixeles aislados y que no son representativos.

La herramienta se configuró de acuerdo la unidad mínima cartografiada que corresponde al objeto más pequeño que se puede representar en un mapa en función de la escala de trabajo.

La fórmula para el cálculo de la UMC es la siguiente:

$$\boldsymbol{UMC} = (\boldsymbol{MUM} \times \left[\frac{\boldsymbol{E}}{\mathbf{1000}}\right]^{\mathbf{2}})$$

Donde:

E = escala del modelo de elevación digital.

MUM = mínima unidad mapeable = 5 mm * 5 mm

Por lo tanto,

$$UMC = (25mm^2 \times \left[\frac{25000}{1000}\right]^2 \frac{m^2}{mm^2})$$

UMC = 15625 m^2 = 1,56 Ha

- **Tamaño de Matriz de suavizado**: 5 x 5 (En un mapa, el tamaño mínimo que debe ocupar una unidad cartográfica ha de ser de al menos 25 mm^2; un cuadrado de 5 mm de lado) (Vink, 1975)
- **Área mínima cartografiada:** 1,56 Ha (en función de la escala cartográfica 1:25000 que corresponde al modelo ALOS PALSAR utilizado como insumo para el análisis).

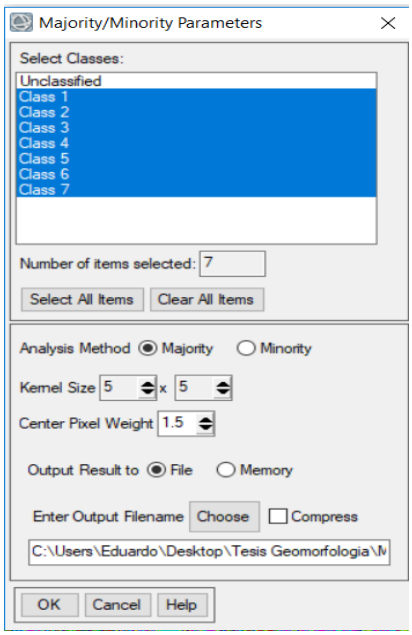
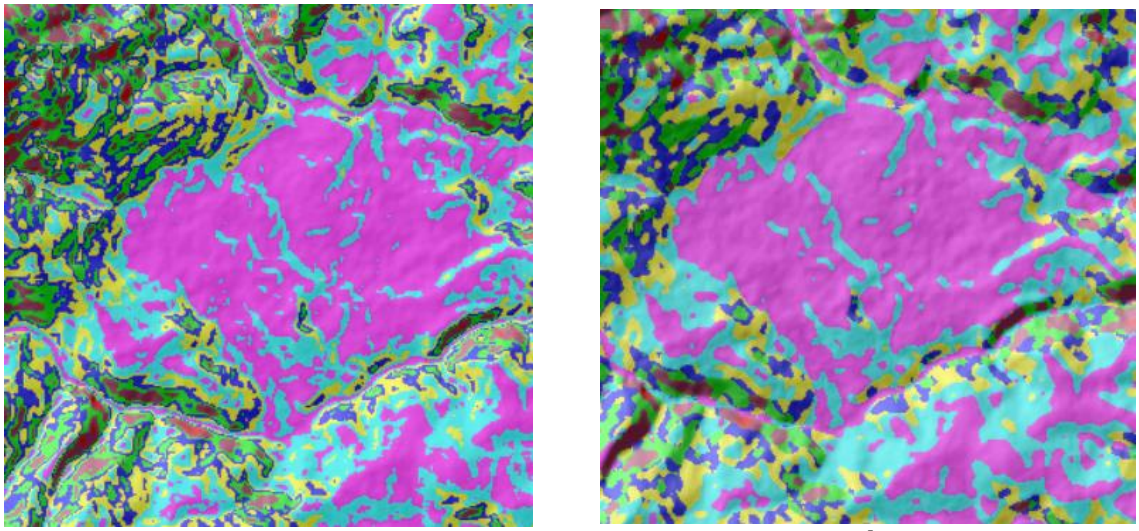


Figura 10: Configuración del filtro de suavizado.
Fuente: El Autor, 2020

Los valores de píxel central se sustituyeron por el resultado de la función de filtrado, dicho análisis de vecindario genera una nueva capa temática, la cual suaviza las unidades morfométricas.



ISODATA sin análisis de vecindario **ISODATA con análisis de vecindario**

Figura 11: Comparación de los ráster con y sin filtro de suavizado
Fuente: El Autor, 2020

La capa temática que se obtuvo de esta herramienta es más limpia y con unidades mejor definidas, sin embargo, fue necesario aplicar otro filtro denominado ***Classification Aggregation***, que elimina pequeños grupos de pixeles al sustituir su valor por el de otros más cercanos. La configuración de esta herramienta se realizó en función de la escala de trabajo.

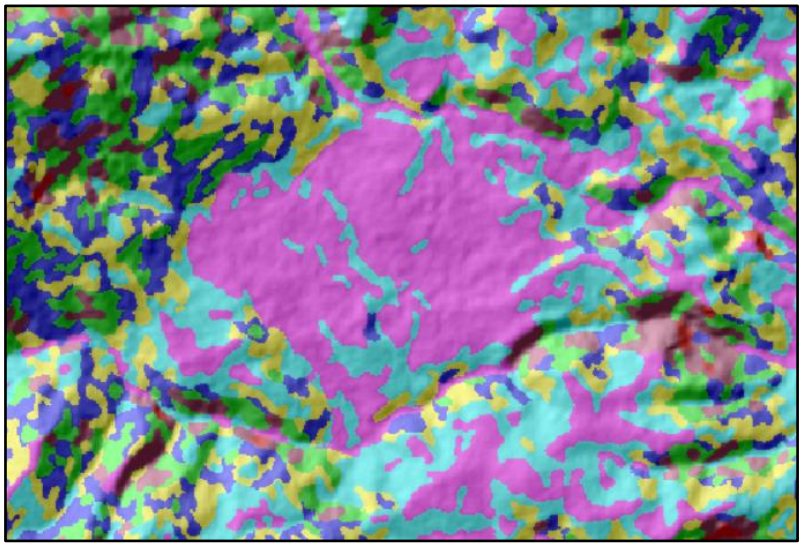


Figura 12: Unidades filtradas.
Fuente: El Autor, 2020

En la figura 12 se aprecia de mejor manera las diferentes unidades existentes y por consiguiente se facilita la interpretación.

A simple vista, las unidades se identifican de mejor manera, pero aun fue necesario aplicar un filtro más, para ello usamos la herramienta ***Combine Class,*** nos permite combinar clases individuales que corresponden a una misma clase temática, sin alterar el número de clases.

Una vez ejecutados todos los filtros mencionados se obtuvo como archivo final un formato ráster, conformado por las unidades morfométricas, a las cuales se les añadió un atributo, es decir, se editó y perfeccionó cada recinto basado en la información recopilada en campo y la fotointerpretación en tercera dimensión.

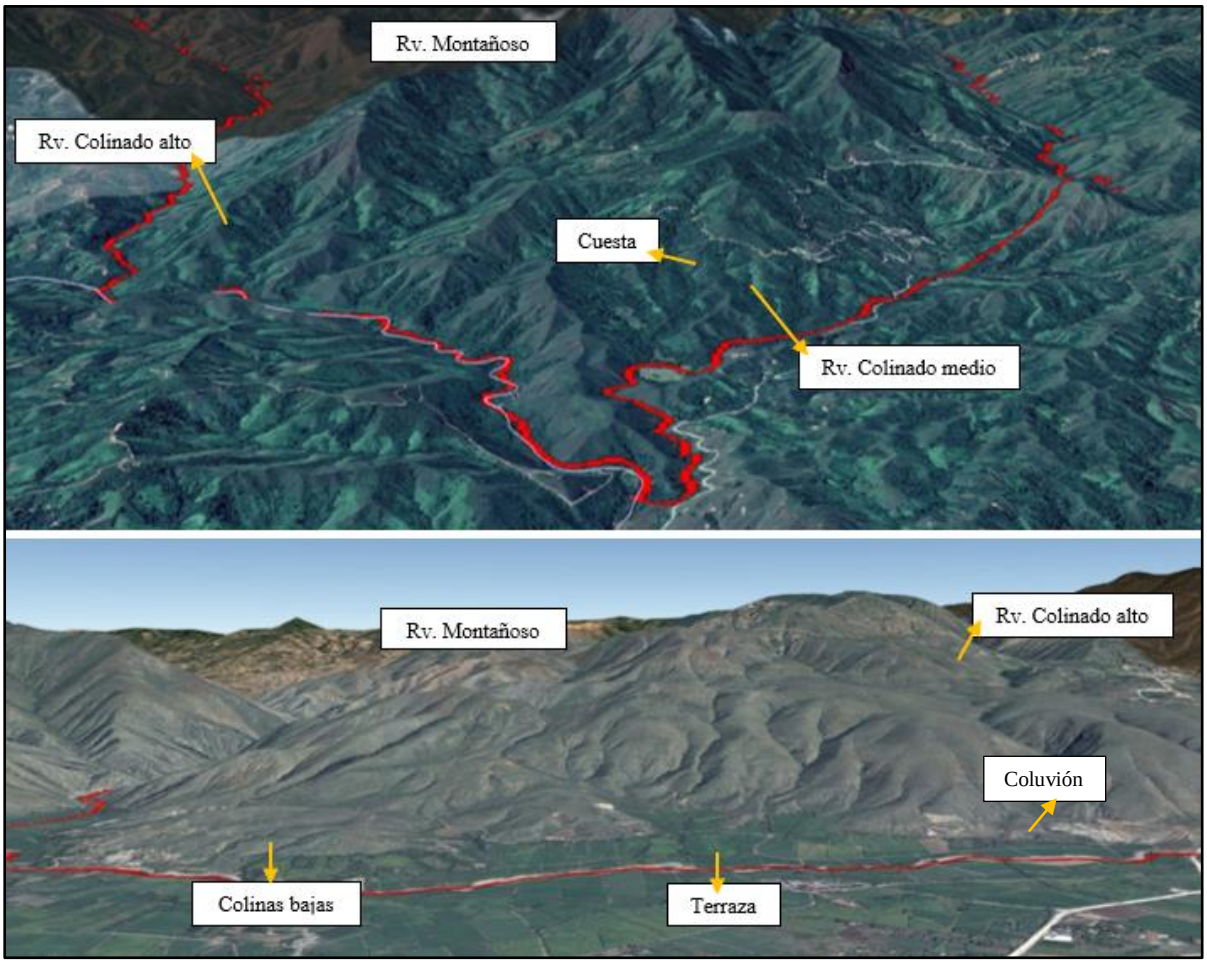


Figura 13. Fotointerpretación de Unidades Geomorfológicas
Fuente: El Autor, 2020

5.4.6. Asignación Temática

Cada una de las clases morfométricas consta de un atributo particular. Se nombró a cada clase en base al sistema de clasificación propuesto por el Ministerio del Ambiente en su proyecto *Modelo de Unidades Geomorfológicas para la Representación de Ecosistemas en el*

Ecuador Continental; la asignación de nombres tuvo relación con características de mesorelieve para culminar clasificándolas dentro de macrorelieve.

Tabla 1: Unidades del Relieve

Macrorelieve	Mesorelieve
Montaña	Relieves Montañosos
Serranía	Colinas Altas
	Colinas Medianas
Penillanura	Vertientes Irregulares
	Coluvión
	Coluvio Aluvial
Piedemonte	Colinas Bajas
	Cuesta
Valle	Terraza Aluvial
	Planicie

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2013)
Elaborado: El Autor, 2020

5.4.6.1. Macrorelieve.

Representa la categoría intermedia de unidades geomorfológicas a escala de paisaje (10–200 km), implica relaciones de relieve de tipo geogenético, litológico y topográficos. Se distinguieron relieves menores que los anteriores como: cordilleras, llanuras, valles, montañas, serranía, piedemontes, penillanura. (Ministerio del Ambiente, 2013)

Dentro de la zona en estudio se pudo encontrar como unidad que encierra a otras (macrorelieve), las siguientes unidades que se describen a continuación:

Montaña: Grandes elevaciones naturales del terreno que poseen un desnivel desde la línea de base hasta la cumbre mayor a 300 m, cuya altura y formas se deben a plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre. Su cima puede ser aguda, subaguda, semiredondeada, redondeada y tabular, su pendiente es >30%. (Ministerio del Ambiente, 2013)

Serranía: Corresponden a relieves que forman parte de una serie o sistema montañoso. Se componen de una alineación montañosa principal que hace de eje de la misma y, en algunos

casos, de otros cordales montañosos de menor altitud. Son de carácter estructural, plegado y denudativo. (Ministerio del Ambiente, 2013)

Penillanura: Terreno de poca altitud y escasos relieves producida en la última etapa del ciclo de denudación. Es la forma de relieve que suele ocupar grandes extensiones y que, por efecto de la erosión, presenta una superficie suavemente ondulada, sin apenas diferencia de altura entre los valles y los interfluvios. Está formada por materiales antiguos y erosionados. (Ministerio del Ambiente, 2013)

Piedemonte: Partes bajas de montañas y serranías hasta el punto de inflexión con el valle o la llanura. Hace referencia al Piedemonte Andino. (Ministerio del Ambiente, 2013)

Valle: Llanura de tierra con pendientes menores al 8%, es aquella depresión entre dos elevaciones del terreno. Los valles se pueden presentar en forma de U, V y plano. (Ministerio del Ambiente, 2013)

5.4.6.2. Mesorelieve.

Son las unidades geomorfológicas menores, de escala local (1-10 km) y que representan a un paisaje tridimensional (geoformas) caracterizado por uno o más atributos morfométricos, litológicos y estructurales.

Las definiciones conceptuales de mesorelieve establecidas de acuerdo al área en estudio son las siguientes:

- **Relieves Montañosos:** A este grupo se incluyen las montañas cuya altura y formas se deben a plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en diverso grado por los procesos de denudación fluvio –erosional y glaciárica, respectivamente. (Ministerio del Ambiente, 2013)
- **Colinas:** Elevación natural y aislada del terreno con un desnivel desde la línea de base hasta la cumbre menor a 300 m, cuyas laderas presentan una inclinación

promedia superior al 16% y divergen en todas direcciones a partir de la cima relativamente estrecha, siendo su base aproximadamente circular. Pueden reconocerse colinas altas, medias y bajas. (Ministerio del Ambiente, 2013)

- **Vertientes:** Es una superficie topográfica inclinada situada entre los puntos altos (picos, crestas, bordes de mesetas o puntos culminantes del relieve) y los bajos (pie de vertientes o vaguadas). El perfil de una vertiente puede ser regular, irregular, mixta, rectilínea, convexa y cóncava (es decir, con rupturas de pendiente), dependiendo de la litologíay la acción de la erosión. (Ministerio del Ambiente, 2013)
- **Coluvión:** (Bates, R.L. y Jackson, 1980) definen un coluvión como una masa incoherente de materialessueltos y heterogéneos, de suelo o fragmentos de roca depositados por lavado de lalluvia, reptación o deslizamiento, los cuales comúnmente se depositan en la base de lasladeras. El coluvión típico es una mezcla de fragmentos angulares y materiales finos.
- **Coluvio Aluvial:** se trata de acumulación de materiales aluviales y de materiales de ladera producto de la erosión de relieves montañosos; presenta pendientes de 12 a 25% y desnivel menor a 15 metros. (Ministerio del Ambiente, 2013)
- **Cuestas:** Paisaje homoclinal formado como consecuencia de la incisión o fallamiento perpendicular al buzamiento de estratos sedimentarios suavemente plegados o basculados; se caracteriza por su ladera estructural por lo común más larga que el escarpe, con buzamientos que varían entre 2° y 8° aproximadamente, lo cual les otorga una mayor estabilidad al paisaje y a sus suelos, por la menor incidencia de los procesos erosivos. (Ministerio del Ambiente, 2013)
- **Planicie:** Espacio natural que constan de relieves bajos o de mínima altitud, con pendientes menores al 8%. Las planicies más comunes toman lugar a territorios bajos, en los cuales todavía el terreno no ha ganado gran altura, o también en los

valles que se generan naturalmente entre cadenas montañosas. (Ministerio del Ambiente, 2013)

- **Terrazas:** Son zonas llanas, bajas y estrechas formadas por depósitos aluviales de arenas características del Cuaternario combinados con guijarros grandes. Se localizan a ambos lados del plano inundable y originado por repetidos descensos del nivel de base de erosión. (Ministerio del Ambiente, 2013)

5.4.7. Interpretación de Unidades Temáticas

Para interpretar las unidades temáticas fue necesario considerar el sombreado del área, ya que permite una mejor visualización del relieve. De la misma forma, se utilizó ArcScene 10.5 para observar el terreno en 3 dimensiones y con ayuda de las fotografías se definió las unidades con eficacia.

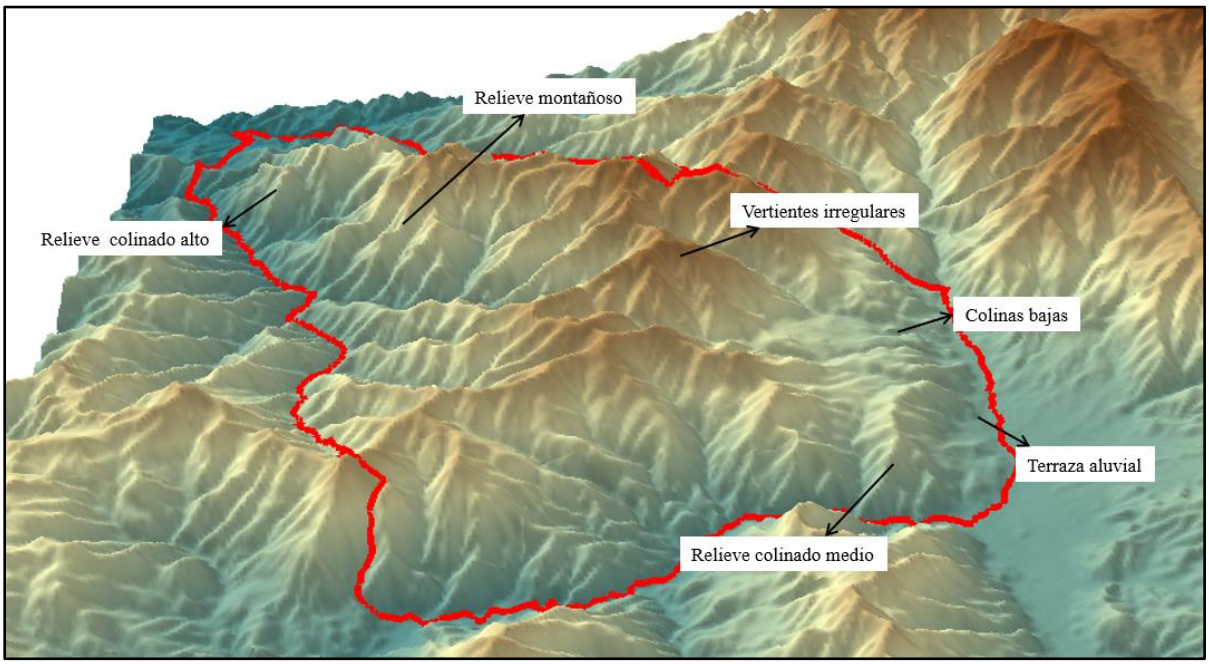


Figura 14: Visualización de la zona de estudio en ArcScene 10.5
Fuente: El Autor, 2020

Para comprender y validar las unidades temáticas se creó un hipervínculo de puntos GPS con fotografías representando cada unidad en la aplicación AVENZA MAPS, que permite ingresar puntos con su respectiva coordenada, fotografías y descripción, mismos que pueden ser exportados en diferentes formatos para trabajar en plataformas SIG. Como resultado se

obtuvo el mapa de unidades de relieve, a las mismas que se les asignó edad y génesis en base a la geología del área correspondiente, con el fin de generar el mapa Geomorfológico de la parte norte del cantón Catamayo. (Ver Anexo 6)

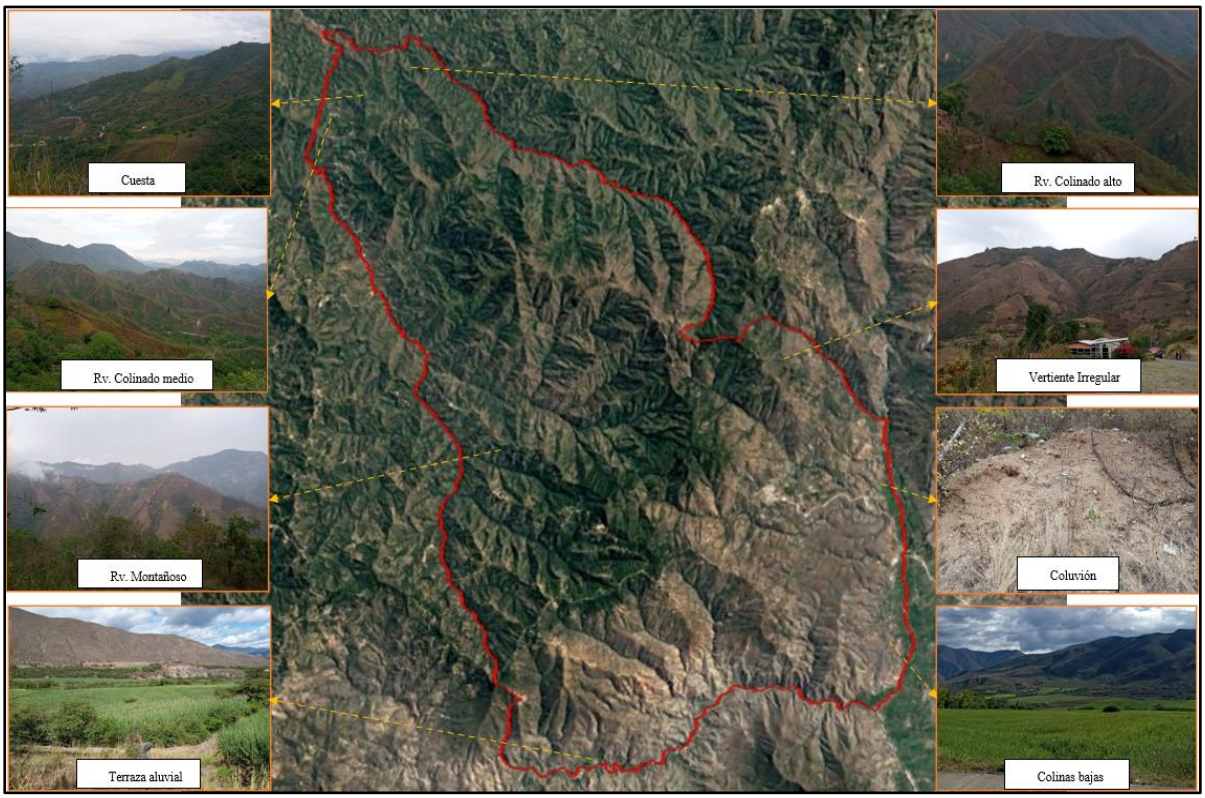


Figura 15. Calibración de Unidades Geomorfológicas con ayuda de fotografías
Fuente: El Autor, 2020

5.5. Mapa Geológico

El área de estudio cubre un polígono rectangular de 289,77 Km2, que comprende la parte norte del cantón Catamayo. Como material de ayuda para el levantamiento geológico del área de investigación se utilizaron cartas geológicas de Catamayo y Zaruma a escala 1:50 000 del INIGEMM, las mismos que fueron digitalizados mediante el uso de programas de SIG, a partir de esto se realizó una calibración y validación en campo mediante levantamiento de 130 afloramientos a lo largo de las vías que comunican las parroquias de San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma, esto permitió obtener información relevante sobre la geología y estructuras.

Se realizaron 5 salidas de campo para desarrollar el levantamiento de información geológica en San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma desde donde se planifico diversas travesías, tanto por carreteras principales como por caminos vecinales, pequeños senderos y quebradas.

La información recopilada fue plasmada en fichas de campo (ver Anexo 1) que permite registrar fotografías, coordenadas, litologías y parámetros geométricos del afloramiento, además como insumo adicional se utilizó la aplicación para celular llamada AVENZA MAPS, la cual ha facilitado el registro de información, y la georreferenciación de la misma. El trabajo de campo permitió representar un modelo geológico y geomorfológico.

En algunos casos fue necesario la recolección de muestras de roca para su posterior validación litológica, en este apartado se tuvo colaboración del técnico encargado del laboratorio de petrografía de la carrera de Geología.

El método empleado se basó en la descripción de afloramientos, y correlación entre la información levantada en campo y la cartografía antes mencionada, esto permitió digitalizar la geología local del área de estudio, dando como resultado una cartografía geológica a escala 1:25000.

5.6. Mapa de Pendientes

Este mapa expresa el desnivel del terreno en un área específica, correlacionado con su litología, vegetación y grado de saturación. Se obtuvo mediante el uso de una serie de herramientas del software ArcGIS 10.5 que se detallan a continuación:

- Generación de la pendiente utilizando la herramienta ***Slope***, la misma que se encuentra *Spatial Analyst Tools – Surface*. En *Input raster* se cargó el DEM de ALOS PALSAR, con una resolución espacial de 12,5 metros.
- Reclasificación de la pendiente, utilizando la herramienta ***Reclassify***, que se encuentra en *Spatial Analyst Tools / Reclass* y permite categorizar las pendientes según una

clasificación que se ajuste a las características de la zona. Para este trabajo en particular se utilizó la clasificación de DEMEK, 1972 (Ver Tabla 2).

Tabla 2: Clasificación de las pendientes

Color	Clase	Rango
	Ligeramente Inclinado	0 º - 5º
	Medianamente Inclinado	5 º - 15 º
	Fuertemente Inclinado	15 º - 35º
	Empinado	35 º - 55º
	Vertical	> 55º

Fuente: DEMEK, 1972

- Conversión de Raster a Vector, se convirtió un formato ráster a un formato vectorial para editar los campos en la tabla de atributos, para ello se dirige a la opción *Conversion Tools – From Raster – Raster to Polygon*.
- Para finalizar, se disolvió por el gridcode los campos que se encuentre repetidos, usando la opción *Data Management Tools – Generalization – Dissolve*. En la tabla de atributos se añadió nuevos campos de: clase (text), rango (text), área (double) y porcentaje (double) y se asignó los colores correspondientes en el mapa.

5.7. Mapa de Uso Actual del Suelo

Este mapa se generó en base a la interpretación visual del área de estudio, mediante el método de clasificación supervisada en ArcGIS 10.5, esta opción permitió clasificar el ráster por medio de cada píxel de una celda; para ello fue importante conocer las posibles clases (uso actual del suelo), de esta forma se marcó puntos y asignó un valor numérico para cada clase.

Una vez se culminó con la asignación de puntos se generó y guardó una firma espectral con la herramienta *Create Signatures* que se encuentra en **ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Multivariate**

Se ingresó la imagen ráster y el shapefile con el campo de los valores numéricos de cada clase en la configuración de la herramienta **Maximum Likelihood Classification,** la que se

ubicó en *ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Multivariate*. Esto permitió calcular la probabilidad de que un pixel pertenezca a una clase en particular y asignarlo a la clase con la probabilidad más alta.

Como resultado del analisis se generó un mapa con cinco clases (zona urbana, cuerpo de agua, tierra agropecuaria, vegetación arbustiva y bosque nativo) que se las convirtió a formato vector para ultimar detalles. Cabe recalcar que a la ortofoto no se le realizó alguna modificación con respecto a la nubosidad existente en la parte este de la parroquia Guayquichuma; las correcciones debidas se las realizaron en archivo vectorial donde se han ajustado los polígonos, para ello fue necesario la revisión e interpretación de imágenes satelitales de Google Earth Pro conjuntamente con información levantada en campo.

5.8. Mapa de Isoyetas

El mapa de isoyetas se generó mediante el análisis de datos de precipitaciones en mm/año de 10 estaciones meteorológicas y pluviométricas, descargadas de la página del INAMHI en un periodo de 29 años (1981-2010).

Tabla 3: Datos de Estaciones Meteorológicas

FID	Nombre	Código	X	Y	Altitud	P_media (mm/año)
0	Cajanuma	M0543	698995	9548378	2267	909,500
1	Catacocha	M0515	650235	9551207	1808	885,210
2	El Tambo-Loja	M0759	688478	9549169	1580	743,329
3	La Argelia-Loja	M0033	699469	9553261	2160	944,788
4	La Toma-Catamayo	M0060	680630	9558124	1230	301,311
5	Malacatos	M0143	691652	9533403	1453	652,903
6	Nambacola	M0763	673596	9541796	1822	730,560
7	Portovelo	M0479	653166	9589378	747	1152,010
8	San Lucas	M0432	692844	9586943	2525	1284,763
9	Zaruma	M0180	653970	9590667	1100	1447,149

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

Elaborado: El Autor, 2020

Se realizó una interpolación de los datos con ayuda de la herramienta IDW que se encuentra en *Spatial Analyst Tools – Interpolation – IDW*. La configuración de la herramienta es la siguiente:

- En Input point features: se elige el shape de las estaciones.
- Z value field: se selecciona el campo que contenga los datos de las precipitaciones
- en *Output Ráster* le damos la dirección y nombre de la capa.

La interpolación se consideró tanto dentro como fuera del polígono de estudio para evitar errores en los valores de precipitaciones; al no contar con una clasificación definida, se realizó una clasificación de intervalos iguales en 4 clases. (Ver Tabla 4)

Tabla 4: Precipitación en las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma.

Fid	Clase	Rango (mm/año)
1	Muy Baja	301,45 - 530,54
2	Baja	530,54 - 759,63
3	Media	759,63 - 988,72
4	Alta	988,72 - 1217,81

Fuente: El Autor, 2020

Una vez generado el archivo ráster se realizó una conversión a modelo vectorial con ayuda de la herramienta ***Rrom Raster a polygon,*** esta se encuentra en ***Arctoolbox*** / ***Conversión tools.*** Seguidamente se disolvió por gridcode para unir polígonos repetidos de una misma clase, se añadió campos para clase, rango, área y porcentaje.

5.9. Mapa de Susceptibilidad

El mapa de susceptibilidad a deslizamientos se obtuvo basado en la metodología desarrollada por (Saaty, T., 1980).

El proceso de análisis jerárquico (AHP) consiste en la asignación de un vector de pesos w = [w1, w2,…, wn] a los criterios de un cierto problema de decisión multicriterio; se compara cada criterio i con cada criterio j, obteniendo unos valores aij que es posible agrupar en una matriz cuadrada de orden n, la llamada matriz de comparaciones por pares, A = [aij], es decir,

el número de filas y columnas está definido por el número de criterios a ponderar, estableciendo una matriz de comparación de importancia (tomándolos en pares) cada uno de los criterios con los demás, para posteriormente determinar el promedio por cada fila y posteriormente el total el cual establece los pesos "Wj". En la tabla 5, se muestra un esquema del método de jerarquías analíticas para asignación de pesos.

Tabla 5: Esquema del método de jerarquías analíticas para la asignación de pesos.

Matriz de comparación por pares					Promedio	Total
Factores	**A**	**B**	**C**	**D**		
A	X_{AA}	X_{AB}	X_{AC}	X_{AD}	=Promedio(X_{AA}: X_{AD})	W_A
B	X_{BA}	X_{BB}	X_{BC}	X_{BC}	=Promedio(X_{BA}: X_{BC})	W_B
C	X_{CA}	X_{CB}	X_{CC}	X_{CD}	=Promedio(X_{CA}: X_{CD})	W_C
D	X_{DA}	X_{DB}	X_{DC}	X_{DD}	=Promedio(X_{DA}: X_{DD})	W_D
					Suma (Columna)	Suma = 1

Fuente: Thomas Saaty, 1980

El objetivo de comparar de dos en dos los criterios, es para facilitar la comparación de todos a la vez por parte del experto (el autor). En los trabajos de Saaty, ensayan cierto número de escalas de medida para la estimación de los coeficientes aij de acuerdo a la Tabla 6.

Tabla 6: Escala de Saaty para determinar el valor de Xij

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 el otro (j).
3	Fuerte preferencia	Prácticamente la dominancia del criterio (i) sobre el otro (j) está demostrada
4	Alta preferencia	Existe evidencia que determina la supremacía del criterio (i)

Fuente: Thomas Saaty, 1980

Se realizó el proceso de sintetización, donde se determinó la importancia de cada uno de los elementos que se comparan. El proceso matemático requirió el cálculo de los valores y vectores característicos.

Se designó la consistencia del juicio del experto para definir la calidad de la decisión final y de esta manera, el AHP permite medir el grado de consistencia entre las opiniones pareadas proporcionadas por el experto. La consistencia de los juicios del experto, se calcula a partir del autovalor máximo ($n_{máx}$), y se comparó con el número de criterios que es n, en el caso que estos valores sean iguales, se verificó que el juicio es completamente consistente. En relación a esto, Saaty proporciona tablas de consistencia para medir ésta. Asimismo, también define la razón de consistencia (RC), a partir del índice de consistencia (IC) y del índice de consistencia aleatorio (ICA):

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

Donde IC es el índice de consistencia de A y se calculó mediante la expresión:

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

El valor de $n_{máx}$ se calculó de AW = $n_{máx}$W observando que la ecuación es:

$$\sum_{j=1}^{n} = \mathrm{a}_{ij}\overline{w} = n_{max}\overline{w}, i = 1, 2, \ldots, n \text{ dado que } \sum_{i=1}^{n} = \overline{w_1} = 1, \text{obtuvimos:}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{n} \mathrm{a}_{ij}\,\overline{w_1}\right) = n_{max}\sum_{i=1}^{n}\overline{w_1}$$

Si Índice de Consistencia (IC) es menor al 10% la inconsistencia se considera como aceptable, en cambio, si no logra un IC adecuado, se debe revisar los juicios para aplicar las respectivas correcciones.

5.10. Insumos para elaborar el mapa de Susceptibilidad

Para la elaboración del mapa de susceptibilidad se tuvo en cuenta generalmente estos elementos:

- Pendientes
- Geología
- Geomorfología, complementado por el inventario de deslizamientos
- Uso Actual del Suelo
- Isoyetas (Precipitaciones mm/año)

6. Resultados

6.1. Ubicación y Acceso

El cantón Catamayo se encuentra ubicado al Nor-Occidente de la provincia de Loja, a 38 km de la capital provincial, al sur del Ecuador, en el hemisferio Sur occidental. Limita al Norte con los cantones de Loja, Chaguarpamba y parte de El Oro; al Sur con el cantón Gonzanamá y Loja, al este con el cantón Loja y al Oeste con los cantones Chaguarpamba, Olmedo y Paltas.

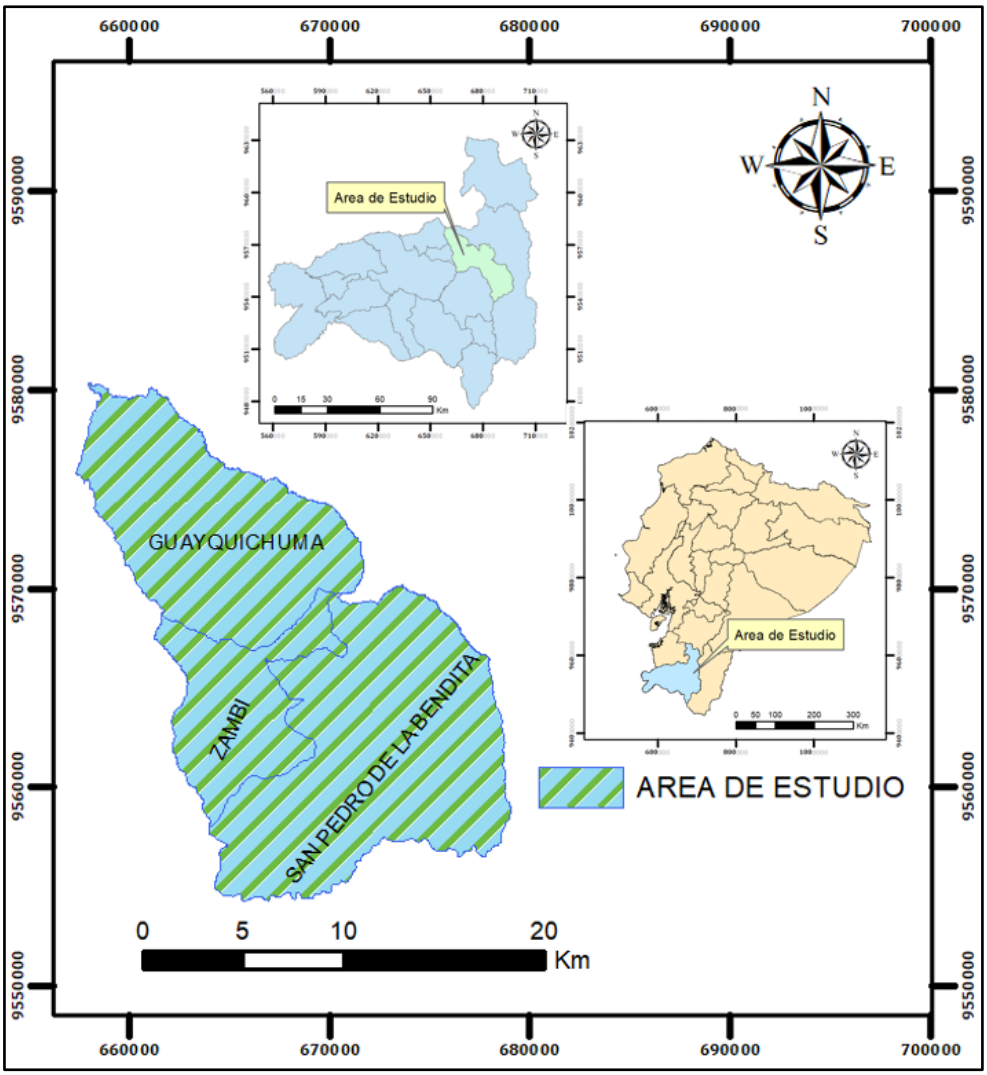


Figura 16: Mapa de Ubicación del área de estudio.
Fuente: El Autor, 2020.

Por su ubicación geográfica se ha convertido en una ciudad de paso hacia varios lugares de Ecuador, además de poseer el Aeropuerto Ciudad de Catamayo, medio con el que comunica a Loja con el resto del País.

El acceso desde la ciudad de Quito se lo puede realizar por vía aérea hasta la ciudad de Catamayo con un tiempo de viaje de 1h; y luego por la vía terrestre que conecta Catamayo-El Tambo con un tiempo estimado de 30min.

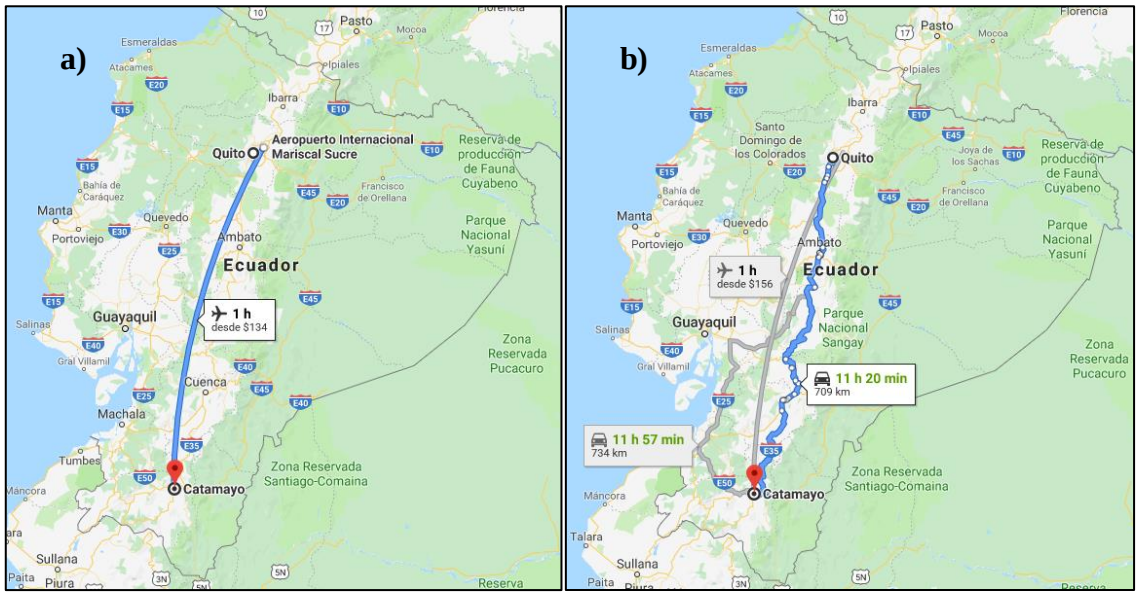


Figura 17: Acceso al cantón Catamayo; a) aéreo, b) terrestre.
Fuente: Google Maps, 2020

6.2. Clima

De acuerdo a la clasificación de pisos térmicos de Cañadas (1983), en el Cantón Catamayo predominan los climas tropical y subtropical. Las temperaturas mínimas de 12 a 14°C, se presentan sobre la cúspide la cordillera de los Andes, en la parte alta del Cantón, en las cotas de 2600 a 2800 msnm, mientras que en la cabecera cantonal las temperaturas son mayores a 22°C, correspondiente a la cota 1200 msnm, el clima es subtropical. (PDYOT, 2014-2019)

En el cantón Catamayo existen los siguientes climas: en la cabecera cantonal es de seco–subtropical a seco tropical, mientras que en las parroquias el clima es de seco templado a húmedo templado, en la parroquia de Guayquichuma el clima es húmedo subtropical.

6.3. Hidrografía

El 76% del área del cantón pertenece a la cuenca de Catamayo – Chira, específicamente a las parroquias de: El Tambo, Catamayo y San Pedro de la Bendita, mientras que el 24% restante

del área pertenece a la cuenca de Puyango – Tumbes con un área de 16.215 hectáreas ubicadas en las parroquias de Zambi y Guayquichuma respectivamente.

Tabla 7: Red Hidrográfica del cantón Catamayo

Cuenca	Subcuenca	Microcuenca	Quebradas	Áreas (Ha)
Río Puyango-Tumbes	Río Luis	Río Luis	Q. Rumipotrero	3658,418
			Drenajes Menores	1588,401
	Río Yaguachi	Río Yaguachi	Q. Guardarín	10968,378
			Q. El Cedro	
			Q. Inquna	
Río Catamayo-Chira	Río Guayabal	Río Guayabal	Q. Naranjillo	1075,590
			Q. La concha	1947,289
			Q. San Pedro	2634,541
			Q. Urito Huaser	279,600
			Q. La Viña	1854,387
			Q. Yuras	1080,792
			Q. Limón	1204,038
			Q. Duraznillo	592,715
	Río Catamayo	Q. Indiucho	Q. Malla	10225,516
			Q. Juanes	
		Q. Catamayo	Q. El Huaycu	3872,454
		Q. San Agustín	Q. De las achiras	4834,876
			Q. Sapos Amarillos	
		Q. Santo Domingo	Q. Naranja Dulce	552,795
		Río Catamayo	Drenajes menores	14676,349

Fuente: Base de datos SENPLADES 2011
Elaboración: Equipo PDYOT 2014 – 2019

6.4. Geología

6.4.1. Geología Regional

Dentro de la geología regional se destaca que la cuenca Catamayo se encuentra dentro del graven Catamayo - Cariamanga - Huancabamba. Es importante destacar que rocas de la Formación Sacapalca de edad Paleocénica son las que predominan el área de estudio. Hacia el Sur Este se extienden las rocas de la Formación Loma Blanca y al Este se encuentran rocas

metamórficas de la Formación Chiguinda. Además, una gran extensión de material volcanosedimentarios cubre el centro de la cuenca Catamayo, característicos de la Formación Gonzanamá. (Ver Anexo 3)

La Formación Sacapalca regionalmente no continua al norte del Ecuador, pero si es característica para los Andes Centrales. Esta misma Formación aflora también al Norte del Perú y se la conoce en ese país como la Formación Llama y que forma parte del cinturón volcanogénico de Calipuy en el Perú.

Regionalmente la Formación Saraguro es la continuación de la Formación Sacapalca, estas dos Formaciones son características para la evolución orogénica de todo el cinturón de los Andes Centrales. Estos grandes cinturones volcanogénico que asoma en Ecuador, Perú y Chile, en la actualidad se los reconoce más por la edad que tienen, es decir se lo denomina cinturón volcánico neogénico, debido a que termina su evolución en el Neógeno, y comienzos del paleoceno con la depositación del volcanismo regional del grupo Saraguro.

La evolución geodinámica de la cuenca Catamayo guarda rasgos similares o parecidos a las cuencas Miocénicas del sur del Ecuador como Loja, Malacatos Vilcabamba, Nabón, Girón, etc., que presentan facies costeras marinas y sedimentarias continentales de edad Mioceno Medio a tardío.

- **Unidad Sacapalca.-** (Paleógeno) Estudios recientes indican que tiene un ancho de aproximadamente 25 kilómetros, que se extiende desde el Norte de Catacocha hacia el Sur Occidente hasta los límites con el Perú, y una rama de esta formación se prolonga en sentido NE hasta Chuquiribamba entre Catamayo y Saraguro (Kennerley J. , 1973) dentro de esta formación, la litología que se presenta corresponde a lavas andesíticas, rocas de tipo piroclásticos. Las lavas se presentan resistentes a la erosión y se ubican en las partes más altas de la cuenca Catamayo, mientras que las rocas de tipo piroclásticos corresponden a tobas andesíticas, tobas aglomeráticas y aglomerados

subordinados. Las lavas son pórfidos andesíticos de color café o gris, con un gran contenido de minerales máficos, observándose en algunos casos enstatita, hornblenda, augita. Estas rocas se diferencian de las andesitas de la formación Celica por su color. En Catamayo a esta unidad se le incluye estratos no definidos del paleoceno que son intruídos por el Plutón de San Lucas de 39,1 +- 3 Ma (Steinmann, 1997) y el intrusivo de El Tingo de 21,2 +/- 2 ,6 Ma (Hungerbuhler, 1997).

Esta Unidad según (Pratt, 1997), representa depósitos en un ambiente terrestre de volcanes andesíticos y por flujos de escombros. En la cuenca Catamayo la formación Sacapalca se encuentra intruída por rocas granodioritas en el sector de El Tingo, y por una estructura riolítica característica para esta formación, como es el neck de Guayabal. Destacamos además otras formaciones en geología regional como la formación Loma Blanca y formación Gonzanamá.

- **Formación Gonzanamá**.- (Paleoceno) es de edad paleocénica y descansa discordante sobre la formación Sacapalca, consiste básicamente de rocas de origen volcanosedimentarios como arcillas de color café oscuro, lutitas de color gris, areniscas tobáceas y tobas. Se cree que esta formación tiene un espesor de aproximadamente 1000 metros. En la cuenca de Catamayo esta formación ocupa el centro de la cuenca, la cual en su mayoría está cubierta por un aluvión.
- **Formación Loma Blanca.-** (Oligoceno-Mioceno) Se le conoce con este nombre para hacer mención al cerro Loma Blanca, esta formación aparece en el extremo Sur de la cuenca Catamayo, básicamente contempla la parte basal en un aglomerado, y luego por una secuencia de tobas blancas de grano medio con estratificación, cuyas capas tienen un ángulo de inclinación de aproximadamente 124 grados, en dirección SE.

  Las rocas de esta formación están envueltas en una matriz limosa, los clastos, principalmente tobas abigarradas conservan tamaños que van desde milimétricos a

centimétricos. La formación esta sobrepuesta por una secuencia de tobas aglomeráticas, tobas y flujos piroclásticos, cuyo ambiente de depositación es de tipo continental. Es preciso indicar que la Formación Loma Blanca descansa discordantemente sobre la formación Gonzanamá. Según Kennerley (J.B), 1973 esta formación tiene un espesor de más de 1500m, aún su edad es desconocida, sin embargo, Kennerley le asigna una edad equivalente a la formación Saraguro (oligoceno-mioceno inferior).

- **Unidad Chiguinda.-** está formado por rocas metamórficas de grado de metamorfismo bajo a medio, de edad Paleozoica; litológicamente se compone de esquistos grafitosos, pizarras, lentes de cuarcitas, metasamitas. Forman un cinturón de hasta 30 km de ancho en la parte sur de la Cordillera Real. Está flanqueada hacia el W por metagranitos de Tres lagunas y hacia el E por migmatitas de Sabanilla y esquistos de Upano, donde se acuña hacia el norte. Se asume que se deriva de una cuenca intracratónica y se la considera similar a rocas carboníferas y devónicas de la Depresión Perú-Bolivia. En el área de Catamayo esta unidad aflora en la parte sureste, estas rocas metamórficas se las puede visualizar en la vía principal Loja-Catamayo. Los esquistos tienen una foliación de 130ºN con un buzamiento de 63 SW; y una dirección de 29ºN con un buzamiento de 30 SE.
- **Unidad El Tigre.-** La Unidad El Tigre fue definida por Aspden y otros (1995) como una faja semipelítica ligeramente metamorfizada que en gran parte conserva su estratificación primaria. Se encuentra localizada en el extremo noroccidental de la zona de estudio. Los principales afloramientos se exponen en la vía San Pedro de la Bendita - El Cisne, en el sector conocido como La Ramada, además se observan pequeños afloramientos en el corte de la vía El Cisne – Ambocas.

  Afloran principalmente meta-limolitas gris verdosas que se intercalan con meta-grauvacas de grano medio color verde obscuro. Ocasionalmente se intercalan pizarras

de color gris a negro con filitas de color verdoso y café obscuro. Una muestra de filita presenta al microscopio, textura grano lepidoblástica, con cristales de cuarzo, sericita, biotita y vetillas de cuarzo.

- **Unidad Chaguarpamba**.- La Unidad Chaguarpamba fue definida por INIGEMM (2013) y corresponde a una secuencia volcano-sedimentaria, descrita anteriormente como Formación Zambi (Kennerley J. , 1973).

  Esta unidad aflora al extremo suroccidental de la zona de estudio. Sus principales afloramientos se encuentran en la carretera San Pedro de la Bendita - Las Chinchas y afloramientos menores en la vía a Zambi.

  Consiste principalmente de areniscas tobáceas masivas, de grano fino a medio, color verdoso, localmente presenta intercalaciones de lutitas y areniscas. La secuencia se encuentra ligeramente deformada y está intruída por diques andesíticos.

- **Unidad Changaimina**.- En INIGEMM (2013) se menciona que esta unidad constituye las facies lávicas de composición intermedia, descritas anteriormente como Formación Sacapalca. En tanto que (Kennerley J. , 1973) la definió como una secuencia de rocas volcánicas y volcanoclásticas calco alcalinas de composición ácida a intermedia.

  Su mejor exposición se encuentra en una pequeña área al sur de la zona de estudio. Los principales afloramientos se ubican en el margen del río Catamayo.

  En general está constituida por lavas andesíticas y andesítico-basálticas de color gris verdoso, con textura afanítica a subporfirítica. Localmente afloran lavas andesíticas de textura porfirítica, con cristales subhedrales de plagioclasa, anfíbol y minerales secundarios como clorita, pirita diseminada y óxidos.

- **Depósitos Cuaternarios**.- Corresponde a materiales que han sido depositados a los márgenes del río Catamayo, estos depósitos por lo general forman terrazas amplias sobre las cuales se depositan limos arenas y gravas.

6.4.2. Geología Local

En cuanto a la geología del cantón Catamayo, (San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma) está conformada por lavas andesíticas afaníticas y tobas de colores grises intercaladas con tobas riolíticas, además de areniscas tobáceas de color verdoso, lutitas y limolitas; el extremo norte del cantón se evidencia la presencia de areniscas, limolitas y lutitas no metamorfizadas, así como cuarcitas, pizarras, filitas, metagrauvacas verdosas, esquistos moscovíticos y biotíticos, además intruyen cuerpos ígneos ácidos tipo granodiorítico y granítico La mayoría de afloramientos en el sector de San Pedro de la Bendita presentan laminas o capas de carbonatos y óxidos. Se incluyen además otras litologías post volcánicas como el neck o cuello volcánico columnar de Guayabal, y el intrusivo de El Tingo. (Ver anexo 4).

Estructuralmente la zona de estudio se encuentra influenciada por varias familias de fallas, la mayoría con dirección NE-SW.

En cuanto al tema estructural, con respecto a las hojas geológicas utilizadas, se infirió todas las fallas que se representan en el mapa ya que en campo se dificulto la observación directa por motivos de vegetación y movimientos en masa. La mayoría de fallas en la zona norte del área de estudio presentan una dirección NE-SW, a diferencia de las fallas que se encuentran al extremo inferior del mapa, ya que estas presentan una dirección N-S, aproximadamente, la misma dirección que el rio Guayabal, esto posiblemente ya que es una zona de contacto entre litologías. La direccionalidad de las fallas obedece a la deformación de la Cordillera Real, por lo que se trataría posiblemente de fallas transpresivas.

Las litologías encontradas se han sido clasificadas en unidades de lo más antiguo a lo más joven de acuerdo a su ambiente de formación, como se destalla a continuación:

6.4.2.1. Unidad El Tigre.

La Unidad El Tigre fue definida por Aspden y otros (1995) como una faja semipelítica ligeramente metamorfizada que en gran parte conserva su estratificación primaria.

Se encuentra localizada en la zona céntrica del polígono estudiado. Los principales afloramientos se exponen en la vía San Pedro de la Bendita - El Cisne, en el sector conocido como La Ramada, además se observan pequeños afloramientos en el corte de la vía El Cisne – Ambocas. En el tramo de la vía Guayquichuma – Chiguango también se evidencia litología perteneciente a esta formación que constan con diversos datos de estructuras

Afloran principalmente meta-limolitas gris verdosas que se intercalan con meta-grauvacas de grano medio color verde obscuro. Ocasionalmente se intercalan pizarras de color gris a negro con filitas de color verdoso y café obscuro. Una muestra de filita presenta al microscopio, textura grano lepidoblástica, con cristales de cuarzo, sericíta, biotita y vetillas de cuarzo.

La Unidad El Tigre se infiere de edad paleozoica, se estima que se encuentra en contacto tectónico con la Unidad La Victoria (al norte) y mediante contacto tectónico con las unidades Guayabal y Chaguarpamba (sur-sureste).

Un afloramiento perteneciente a esta formación se localiza en las coordenadas 658936E, 9576621N, a 830 metros de Guayquichuma aproximadamente, sus dimensiones son 60 metros de alto, 50 metros de ancho, el material es un tanto masivo, con meteorización media y presencia de oxidación. El material encontrado es arenisca de color gris con betillas de carbonatos.

Basado en la Hoja Geológica de Zaruma, el afloramiento se localiza en la zona de contacto entre la Unidad La Bocana y la Unidad El tigre, en campo se observa el cambio de litología, pero difícilmente se localiza el contacto entre las dos unidades.

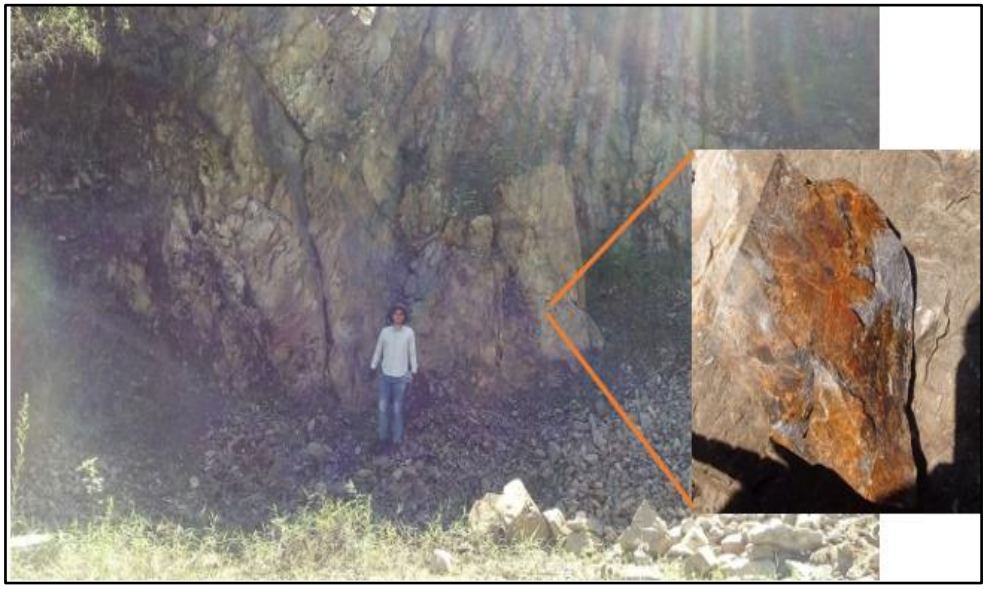


Figura 18: Afloramiento geológico de la Unidad El Tigre.
Fuente: El Autor, 2020

El segundo afloramiento se ubica en las coordenadas 659387E y 9576074N, tiene 40m de alto y 50 m de ancho con meteorización media-alta, de textura fina, humedad baja, con aparente estratificación. El afloramiento presenta cierta inestabilidad, ya que existe la presencia de conos de deyección. El material de este afloramiento es filita de color gris con datos estructurales 220/60

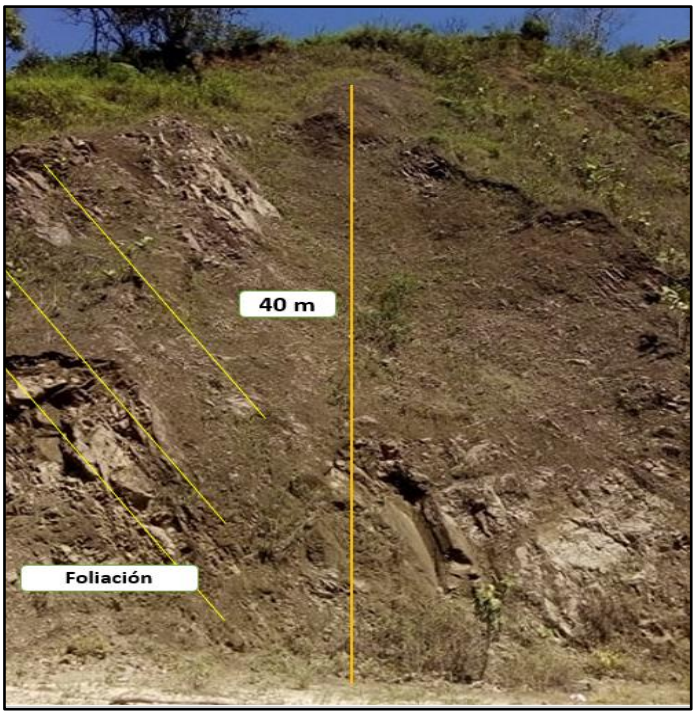


Figura 19: Afloramiento geológico 2 de la Unidad El Tigre.
Fuente: El Autor, 2020

Este tercer afloramiento se localiza en las coordenadas 658672 y 9574653, con una altura estimada mayor a 100 metros y 70 metros de ancho.

El material en cuestión se encuentra sumamente compacto, poco meteorizado, se trata de limolita de color amarillento con betillas de cuarzo

Figura 20: Afloramiento geológico 3 de la Unidad El Tigre.
Fuente: El Autor, 2020

6.4.2.2. Unidad La Victoria.

Los principales afloramientos se exponen en la vía El Cisne-Porotillo-Portovelo (UTM: 669969E; 9 575986N). Consiste de pizarras grises, filitas con tonalidades marrones y cuarcitas negras. El conjunto de litologías en general se encuentra deformado y fuertemente meteorizado.

En el sector de Porotillo afloran filitas de color marrón fuertemente meteorizadas, intercaladas con capas métricas de cuarcitas con pizarrosidad marcada en dirección noreste y buzamientos subverticales hacia el noroeste.

La Unidad La Victoria se infiere que es de edad paleozoica y se encuentra hacia el oeste en contacto tectónico con la Unidad La Bocana, al este en contacto tectónico con la Unidad El Tigre y al sur está también en contacto tectónico con la Unidad Chaguarpamba.

En base a la Hoja Geológica de Zaruma, esta Unidad se encuentra en una zona montañosa, por lo que no ha sido posible el levantamiento de información geológica.

6.4.2.3. Unidad La Bocana.

Los afloramientos de esta unidad se encuentran en las vías Guayquichuma-Catamayo y Guayquichuma-El Cisne en las coordenadas UTM: 658647E; 9578244N y terminan en 658936E; 9576621N en donde se infiere un contacto con la litología de la Unidad El Tigre.

La Unidad consta de metagranodioritas de medio a alto grado expuesta como una extensa faja al norte de la zona de estudio. Aproximadamente a 800 metros del centro poblado de Guayquichuma, las rocas gnéisicas presentan textura bandeada, son de color gris, grano medio a grueso, contienen biotita, moscovita, plagioclasas y presentan cierto grado oxidación superficial, la dirección preferencial de la foliación es E-O buzando al N. En este sector las rocas metamórficas se encuentran cortadas por diques métricos de composición básica, textura afanítica y cloritizados

Puesto que las rocas forman parte del complejo de granitoides Moromoro, la unidad correspondería al Triásico (Aspden et al., 1995).

El afloramiento indicado posteriormente presenta una altura de 8 metros y 10 de ancho, es de coloración rojiza en la superficie y amarillenta al momento de realizar la limpieza del talud, de humedad media-alta, se ubica aproximadamente a 800 metros al norte de la parroquia Guayquichuma. Según el análisis en laboratorio se trata de metagranodiorita altamente meteorizada.

Figura 21: Afloramiento geológico 3 de la Unidad La Bocana.
Fuente: El Autor, 2020.

6.4.2.4. Unidad Bramaderos.

En campo no se localizó esta formación por términos de accesibilidad, pero basándose en la hoja geológica podemos mencionar que se trata de una secuencia netamente volcanoclástica que antes era parte de la formación Celica. La litología comprende brechas, aglomerados y tobas basalto-andesíticas con alteración de clorita y epidota que en otros trabajos se les atribuía también a la Formación Alamor.

Los materiales encontrados se los determina como Unidad Bramaderos, en base a las facies litológicas, a su posición estratigráfica y a la importancia en la magnitud de los afloramientos encontrados en el sector de Bramaderos que constituye la localidad tipo (UTM: 630274E, 9549292N), de donde toma su nombre, extendiéndose hacia el puente de Río Playas (UTM: 645041, 9554489N).

6.4.2.5. Unidad Chaguarpamba.

Los afloramientos relevantes se encuentran en el sector Las Chinchas, Zambi y en la parroquia San Pedro de la Bendita (UTM:668910E; 9561399N) de meteorización media, humedad baja. Se trata de una intercalación de Lutitas de color amarillento a rojizo con coloración negra (materia orgánica) por aparente meteorización.

La Unidad Chaguarpamba fue definida por INIGEMM (2013) y corresponde a una secuencia volcano-sedimentaria, descrita anteriormente como Formación Zambi (Kennerley, 1973).

Esta unidad aflora en el centro de la zona de estudio. Sus principales afloramientos se encuentran en la carretera San Pedro de la Bendita - Las Chinchas y afloramientos menores en la vía a Zambi. Consiste principalmente de areniscas tobáceas masivas, de grano fino a medio, color verdoso, localmente presenta intercalaciones de lutitas y areniscas. En el sector de Zambi aflora una secuencia rítmica formada por lutitas verdes, limolitas café verdosas y areniscas de grano fino color gris, con vetillas de calcita en los planos de estratificación.

La Unidad Chaguarpamba, se encuentra al noroccidente en contacto tectónico con las unidades El Tigre y La Victoria, al suroriente está en contacto fallado con la Unidad Guayabal, también se encuentra intruída por un cuerpo porfirítico de composición dacítica.

Un afloramiento ubicado en las coordenadas 661893E y 9567840N, a 880m del centro poblado de Zambi, posee una altura de 80 metros y 50 metros de ancho; el material encontrado en el sector es lutita grafitoza altamente meteorizada.

Figura 22: Afloramiento geológico de la Unidad Chaguarpamba.
Fuente: El Autor, 2020

El segundo afloramiento representativo de esta Unidad se encontró en las coordenadas 667949E y 9561998N, aproximadamente a 2km de la Y de las Chinchas.

Figura 23: Afloramiento geológico de la Unidad Chaguarpamba.
Fuente: El Autor, 2020

Sus dimensiones son, 150 metros de alto y aproximadamente 100 metros de ancho, el material encontrado en el presente afloramiento se trata de arenisca tobácea de coloración rojiza (posiblemente debido a oxidación de hierro), altamente meteorizada, con humedad media y vegetación arbustiva.

6.4.2.6. Unidad Changaimina.

Esta unidad constituye las facies lávicas de composición intermedia, descritas anteriormente como Formación Sacapalca. En tanto que Kennerley (1973) la definió como una secuencia de rocas volcánicas y volcanoclásticas calco alcalinas de composición ácida a intermedia.

Su mejor exposición se encuentra en una pequeña área al sur de la zona de estudio. Los principales afloramientos se ubican en el margen del río Catamayo (UTM: 672 072E; 9 557 055N y UTM: 673 024E; 9 557 334N), subyace discordantemente a la Unidad Guayabal.

En general está constituida por lavas andesíticas y andesítico-basálticas de color gris verdoso, con textura afanítica a subporfirítica. Localmente afloran lavas andesíticas de textura porfirítica, con cristales subhedrales de plagioclasa, anfíbol y minerales secundarios como clorita, pirita diseminada y óxidos.

Según la Hoja Geológica de Catamayo, la Unidad se encuentra al sur de la parroquia San Pedro de la Bendita, en la orilla derecha del río Catamayo.

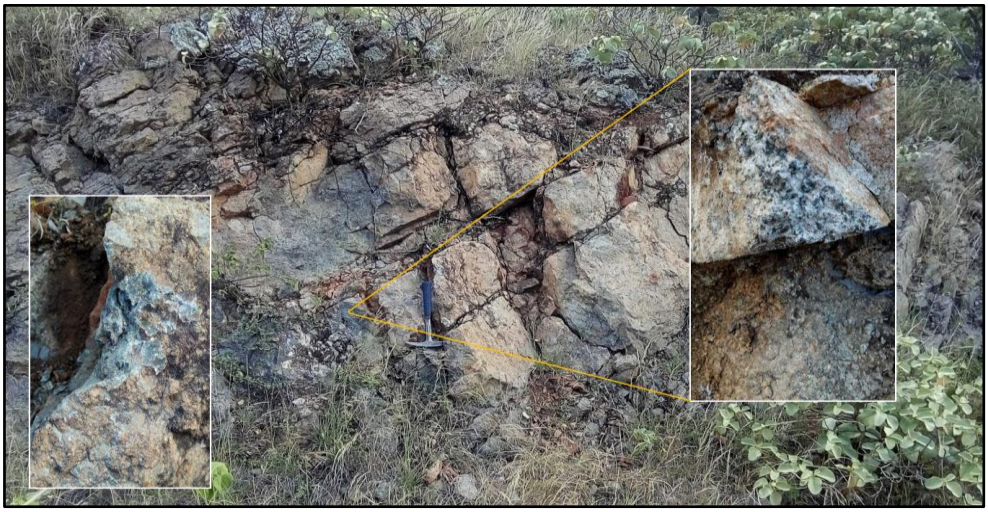


Figura 24: Afloramiento geológico de la Unidad Changaimina.
Fuente: El Autor, 2020

El afloramiento mostrado anteriormente corresponde a esta Unidad se encontró en las coordenadas 668461E y 9561636N, aproximadamente a 4km de los encuentros de los ríos Guayabal y Boquerón. Sus dimensiones son 2 metros de alto y aproximadamente 15 metros de ancho, el material encontrado en el presente afloramiento se trata de lavas andesíticas de coloración verdosa, como se muestra en la figura 24, el afloramiento también presenta cierto nivel de oxidación, está presente una meteorización alta con baja humedad y vegetación arbustiva.

6.4.2.7. Unidad Guayabal.

Esta unidad fue definida exactamente en las proximidades del río Guayabal. Los principales afloramientos están en la carretera Catamayo-San Pedro de la Bendita-Las Chinchas, consiste principalmente de una secuencia volcanoclástica de composición intermedia a ácida.

En la carretera Catamayo-San Pedro de la Bendita afloran lavas andesíticas afaníticas, color gris oscuro, masivas, fuertemente fracturadas, con vetillas milimétricas de cuarzo y óxidos de color rojizo, se observan tobas andesíticas de color gris claro cortadas por vetillas de cuarzo de hasta 2 cm de espesor y tobas riolíticas de color crema-amarillento fuertemente argilitizadas.

Afloran también aglomerados con matriz soportada, color púrpura, con clastos andesíticos porfiríticos fuertemente fracturados y alterados, se observan localmente brechas volcánicas de color rosado con clastos angulosos heterolíticos.

En los tramos de la vía San Pedro de la Bendita - El Cisne - Las Chinchas se observan lavas andesíticas porfiríticas, color verdoso y púrpura, fuertemente meteorizadas; se intercalan capas de aglomerados clasto-soportados color gris verdoso y purpura, con clastos andesíticos y dacíticos subredondeados, afectados por vetillas de calcita de hasta 2 cm de espesor.

Un afloramiento identificado dentro de la Unidad Guayabal cuenta con coordenadas 676044E y 9565218N, al noreste del centro poblado de San Pedro de la Bendita, comprende

una altura de 2 metros y 15 metros de ancho. El material encontrado se trata de toba riolítica de color blanquecino altamente meteorizado

Figura 25: Afloramiento geológico 1 de la Unidad Guayabal.
Fuente: El Autor, 2020

El segundo afloramiento descrito tiene coordenadas 676327E y 9565066N, aproximadamente a 2,5 km de San Pedro de la Bendita, tiene 3 metros de alto y 12 de ancho, el material presente es toba riolítica de color blanquecino con presencia de carbonatos, el material se encuentra medianamente meteorizado y de humedad baja.

Figura 26: Afloramiento geológico 2 de la Unidad Guayabal.
Fuente: El Autor, 2020

6.4.2.8. Formación Catamayo.

En la parroquia de San Pedro de la Bendita se ha descrito afloramientos a lo largo de la vía al Cisne, se determina la presencia de conglomerados con clastos volcánicos andesíticos de colores verde y púrpura, intercalados con lutitas púrpuras y areniscas amarillas de grano grueso, siguiendo el recorrido se observa lutitas de variadas coloraciones alternadas con areniscas finas de color blanco y amarillo. Existen vetillas de carbonatos de 2 cm de espesor en la mayoría de los afloramientos descritos. Basado en la carta geológica de Catamayo se ha determinado que un afloramiento, aparentemente de la formación Catamayo, se encuentra sobre la Unidad Guayabal, la misma que se caracteriza como una secuencia volcanoclástica de composición intermedia a ácida. Exhibe principalmente lavas andesíticas afaníticas y tobas de colores grises intercaladas con tobas riolíticas de color blanquecino. Por sus relaciones estratigráficas se infiere una edad oligo-miocénica.

El segundo afloramiento descrito se encuentra aproximadamente 200 metros adelante, con coordenadas 674318E y 9564832N, existe la presencia de lutitas púrpuras y conglomerados con presencia de carbonatos, la estratificación se define como horizontal con buzamiento inapreciable.

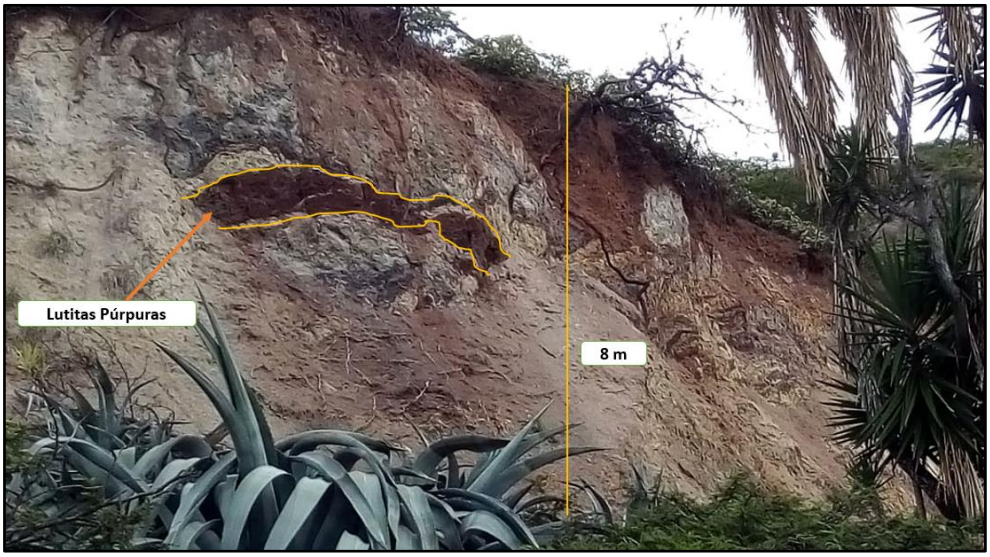


Figura 27: Afloramiento geológico de la Formación Catamayo.
Fuente: El Autor, 2020

El afloramiento 3, al igual que el anterior está compuesto de lutitas y conglomerados con presencia de carbonatos, pertenecientes a la Formación Catamayo. El afloramiento esta poco erosionado de textura fina, tiene una altura de 6 metros aproximadamente y un ancho de 36 metros; los datos estructurales medidos determinan un azimut de 47^0 , buzamiento de 21^0 y dirección de buzamiento de 138^0

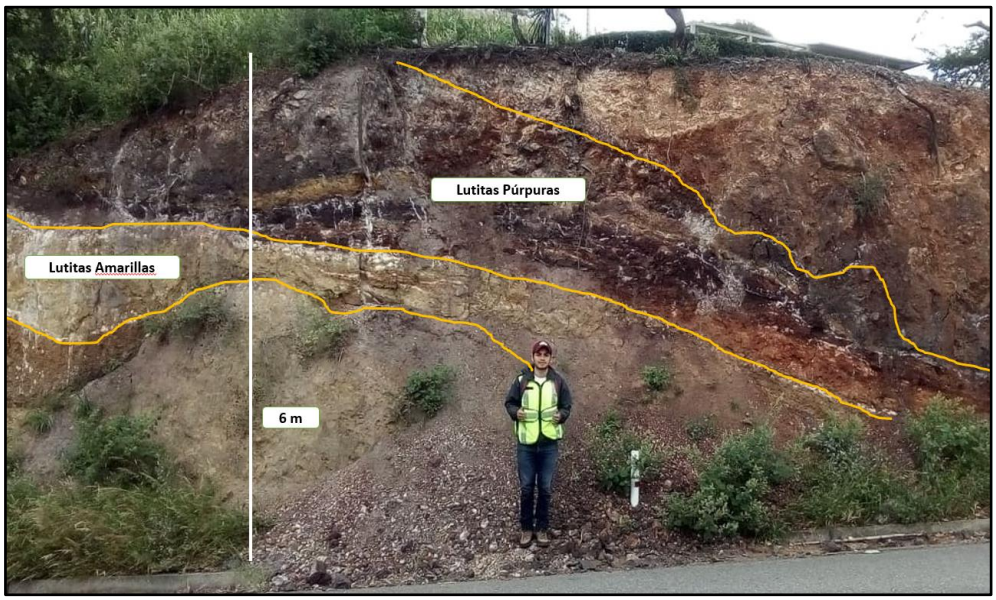


Figura 28: Afloramiento geológico de la Formación Catamayo.
Fuente: El Autor, 2020

6.4.2.9. Depósitos Cuaternarios.

- **Deposito Aluvial**

Material producto del transporte y depósito de detritos por acción del agua, constituido de arenas, arcillas, gránulos, guijarros, cantos y bloques, por lo general de forma redondeada. Se ubican principalmente a lo largo del cauce del río Guayabal, formando terrazas, como el siguiente afloramiento, con coordenadas 678609E y 9563094N.

Litológicamente se encuentra representado por cantos de varios tamaños con rangos de 4 a 25 centímetros, con formas redondeadas a subredondeadas, tiene una altura de 3 metros y ancho indefinido por lo que se trata de una terraza aluvial.

Figura 29. Afloramiento geológico de depósito aluvial
Fuente: El Autor, 2020

- **Deposito Coluvial**

Material producto del desprendimiento y alteración in situ de los macizos rocosos a lo largo de las laderas. Uno de los afloramientos registrado asociado a esta litología se encuentra a las afueras de San Pedro de la Bendita, en la vía San Pedro de La Bendita – El Cisne, el cual presenta las siguientes coordenadas 675510E y 9566885N.

Litológicamente se encuentra representado por clastos angulosos transportados por acción del agua (derrubios) y gravedad, presentan una matriz arcillosa, este afloramiento tiene una altura de 7 metros y 15 de ancho.

Figura 30. Afloramiento geológico de depósito
Fuente: El Autor, 2020

6.4.2.10. Rocas Intrusivas.

Se confirma la presencia de un cuerpo intrusivo denominado como Diorita, ubicada al noroeste y en la parte alta de la parroquia San Pedro de la Bendita (UTM: 672239; 9566306), así como al suroeste de la misma parroquia (UTM: 672830; 9561331); estas rocas se encuentran intruídas por diques de composición andesítica y textura afanítica a subporfirítica.

Figura 31. Afloramiento geológico de depósito
Fuente: El Autor, 2020

El siguiente afloramiento es uno de los más representativos dentro de esta litologia, se encuentra en las coordenadas 675881E y 9556881N, consiste en rocas de nombre Diorita, de color gris oscuro, textura fanerítica, grano fino, estructura masiva, altamente fracturada, con plagioclasa, cuarzo, anfíbol y feldespato alcalino. El afloramiento tiene una altura de 9 metros y 20 metros de ancho y se ubica al margen derecho del río Catamayo.

La descripción de afloramientos ha permitido modificar los vértices de la formación Catamayo definida en la Hoja Geológica de Catamayo.

6.5. Pendientes

Se obtuvo el mapa de pendientes mediante el procesamiento SIG a partir del modelo digital de elevación, las pendientes fueron representadas en grados de acuerdo a la clasificación de DEMEK 1972, dando un total de 5 clases de pendientes.

Tabla 8: Resultados de las pendientes del área de estudio.

Color	Clase	Rango	Área (km^2)	Porcentaje
	Ligeramente inclinada	0° - 5°	6,21	2,06
	Fuertemente Inclinada	5° - 15°	35,71	11,83
	Muy inclinado	15° - 35°	206,22	68,31
	Empinado	35° - 55°	53,25	17,64
	Vertical	> 55°	0,50	0,16

Fuente: El Autor, 2020

Una vez realizado el procesamiento se tiene que en el área de estudio existen pendientes de 0° a 76,10°.

En la zona de estudio predominan las pendientes muy inclinadas en un área de 206.22 km^2 con valores de 15° a 35°, representando un 68.31% del área total estudiada, se encuentra simbolizado por el color amarillo; seguidamente se tiene las pendientes empinadas con valores de 35° a 55° en un área de 53.25 km^2 equivalente al 17.64%; en menor extensión con un área de 35.71 km^2, encontramos las pendientes fuertemente inclinadas representadas de color verde claro, consideradas estos tres tipos de pendientes como las más susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos y se encuentran ligados a relieves montañosos e irregulares, relieve colinado alto y relieve colinado medio.

En menor extensión se tienen las pendientes ligeramente inclinadas con rangos de 0° a 5°, ubicados específicamente hacia el SE del mapa, en la parroquia San Pedro de la Bendita y en las proximidades del río Guayabal, a esta clase se le atribuye una coloración verde oscuro, y se localizan en un área de 6.25 km^2; en este tipo de pendientes se puede generar movimientos de masa como reptaciones, y se asocia a unidades de relieve de coluvio aluvial, coluvión, y terraza

aluvial. Finalmente, con tan solo un 0.16% de área total se encuentran las pendientes verticales asociada esta clase específicamente al relieve montañoso. (Ver Figura 32).

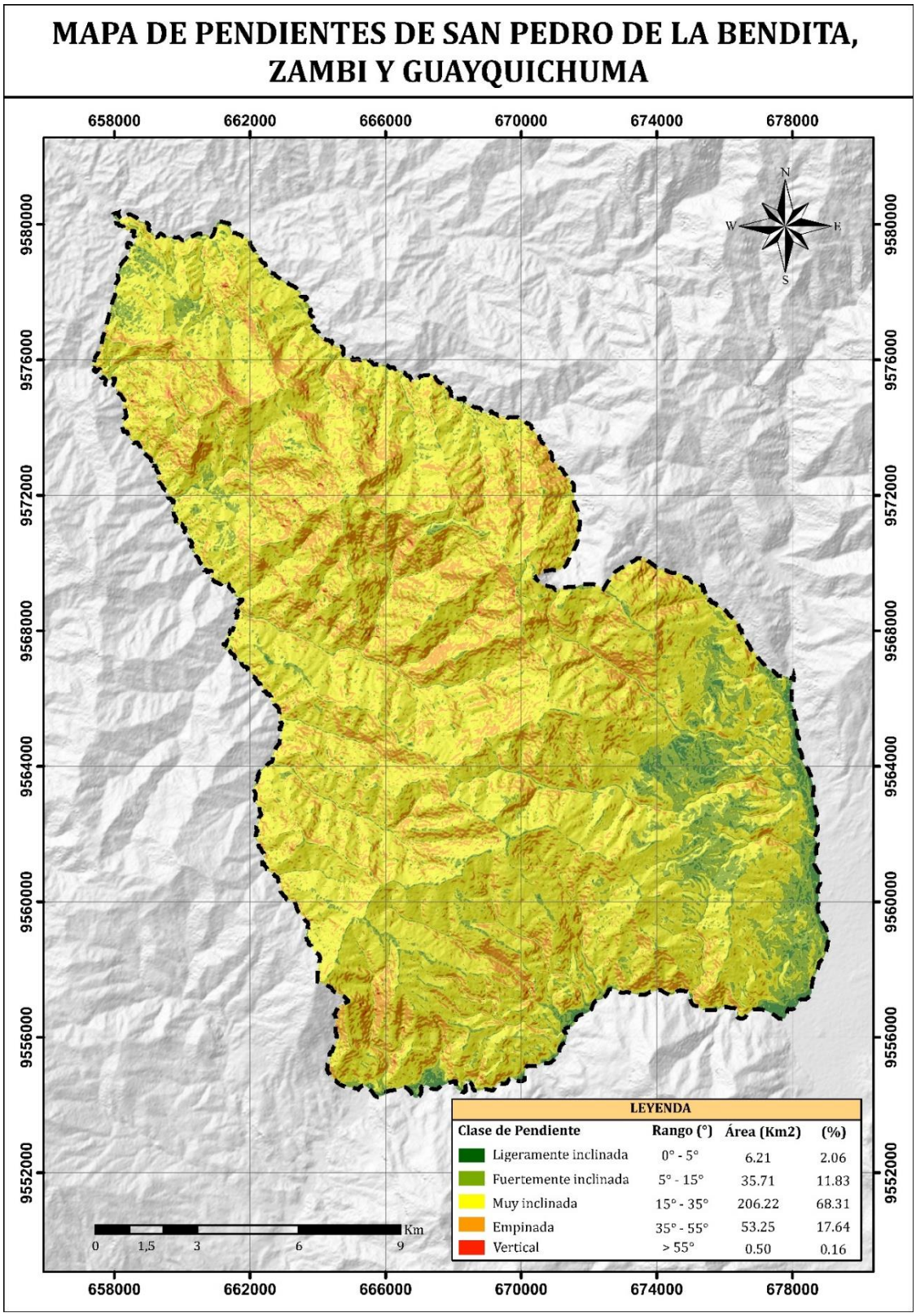


Figura 32: Mapa de pendientes de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma
Fuente: El Autor, 2020

6.6. Geomorfología

El levantamiento de unidades geomorfológicas en el área de estudio se obtuvo correlacionando información cartográfica como pendientes, geología, unidades morfométricas, ortofotos, visualizaciones en 3D y con su respectiva validación realizada con el trabajo de campo, lo cual permitió describir de mejor manera las unidades de relieve y confirmar la existencia de las mismas.

Dentro de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma se han definido unidades de macrorelieve y unidades de Mesorelieve, para macrorelieve se determinó cinco unidades: montaña, serranía, penillanura, pie de monte, valle; y nueve unidades para mesorelieve: relieve montañoso, relieve colinado alto y medios, vertiente irregular, coluvión, coluvio aluvial, colinas bajas, cuesta y terraza aluvial. (Ver tabla 9 y Anexo 6).

Tabla 9: Unidades geomorfológicas de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma.

Macrorelieve	Mesorelieve	Génesis	Edad	Área	%
Montaña	Relieve Montañoso	Tectónico - Erosivo	Cretácico-Oligo-Miocénica-Paleozoico-Triásico	208,72	69,14
Serranía	Relieve Colinado Alto	Tectónico - Erosivo	Paleozoica - Cretácico - Oligo-Mioceno	51,55	17,08
	Relieve Colinado Medio		Paleozoica-Cretácico-Cuaternaria-Oligo-Mioceno - Paleoceno	10,57	3,50
Penillanura	Vertiente Irregular	Tectónico - Erosivo	Cretácico	21,2	7,02
		Estructural	Paleozoica - Cretácico		
	Coluvión	Denudativo	Paleozoica - Cretácico - Oligo-Mioceno	2,30	0,76
	Coluvio Aluvial		Oligo-Miocénica-Cuaternaria-Paleozoica	0,68	0,22
Pie de monte	Colinas Bajas	Deposicional	Cuaternario-Oligo-Miocénica	2,65	0,88
	Cuesta	Estructural	Triásico	0,53	0,18
		Deposicional	Mioceno		
Valle	Terraza Aluvial	Deposicional	Cuaternaria	3,70	1,23

Fuente: El Autor, 2020

Tomando en cuenta el macrorelieve que corresponde, se describió cada una de las unidades de mesorelieve.

6.6.1. Montaña

6.6.1.1. Relieve Montañoso.

Con un área de 208,72 km^2 es la unidad más representativa dentro de la zona de estudio a nivel de mesorelieve, representa el 69,14% del territorio, predomina en la zona alta de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma, se caracteriza por pendientes muy inclinadas (15° - 35°) a empinadas (35° - 55°), dentro de esta unidad de relieve existe un desnivel relativo variado, pero que fácilmente supera los 300 m.

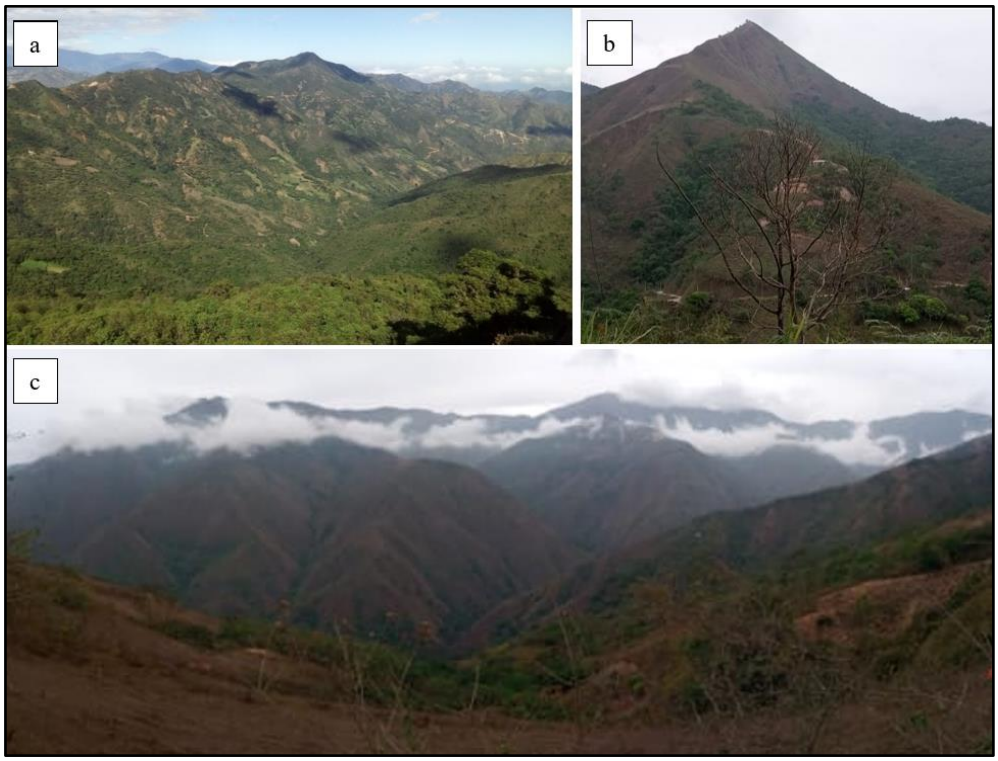


Figura 33. Relieve montañoso identificado: a) Sitio Rumipotrero en la Unidad La Bocana, b) Sitio El Tambo en la Unidad El Tigre, c) Sitio Miraflores en la Unidad Chaguarpamba
Fuente: El Autor, 2020

Esta unidad se compone por rocas volcánicas de la Unidad Guayabal de edad Oligo-Miocénica, rocas intrusivas como diorita y granodiorita; pizarras, filitas, cuarcitas y esquistos de la Unidad La Victoria de edad Paleozoica; areniscas, limolitas, lutitas, cuarcitas y filitas de la Unidad El Tigre de edad Paleozoica igualmente; sedimentos volcanoclásticos y lutitas de la Unidad Chaguarpamba de edad Cretácica; metagranodioritas de la Unidad La Bocana con edad Triásica.

El paisaje en esta unidad se observa con formas redondeadas y agudas con valles en V, respecto a su cobertura predomina la vegetación arbustiva y bosque nativo, en menor extensión se puede mencionar la presencia de tierras agropecuarias. Dentro de esta unidad de relieve se logró apreciar erosión hídrica en barrancos.

6.6.2. Serranía

6.6.2.1. Relieve Colinado Alto.

Se presenta distribuido en forma aleatoria dentro de toda la zona de estudio, al noreste de Guayquichuma, en Chiguango, cerca de Zambi, en Las Chinchas y alrededor de San Pedro de la Bendita, comprenden relieves muy fuertes, con pendientes que van desde los 15° a 55°, su desnivel relativo varía de 75 a 200 metros; consta de cimas redondeadas y vertientes heterogéneas., con valles en V.

Figura 34. Relieve colinado alto identificado: a) Sitio La Chora en la Unidad Chaguarpamba, b) Sitio Las Aradas en la Unidad Chaguarpamba, c) Sitio Togueros en la Unidad Guayabal.
Fuente: El Autor, 2020

Está formado por metagranodioritas de la Unidad La Bocana con edad Triásica y en su mayoría por sedimentos volcanoclásticos y lutitas de la Unidad Chaguarpamba de edad

Cretácica; su cobertura vegetal es de tipo arbustiva y tierra agropecuaria. Esta unidad de relieve cuenta con un área de 51,55 km^2, que corresponde al 17,08% de la superficie total del terreno estudiado. En esta unidad de relieve se logró identificar la presencia de erosión hídrica concentrada en barrancos.

6.6.2.2. Relieve Colinado Medio.

El Relieve Colinado Medio se encuentra principalmente cerca de los centros poblados de Guayquichuma y San Pedro de la Bendita, en menor proporción en el centro del Relieve Montañoso y al sur de la zona de estudio, cerca del río Guayabal. La pendiente de estos relieves varía de 15 a 35°, y su desnivel relativo está entre 25 y 75; el uso de suelo está caracterizado por la presencia de vegetación arbustiva y tierra agropecuaria. El área de esta unidad es de 10,57 km^2, el cual corresponde al 3,50% de la superficie total.

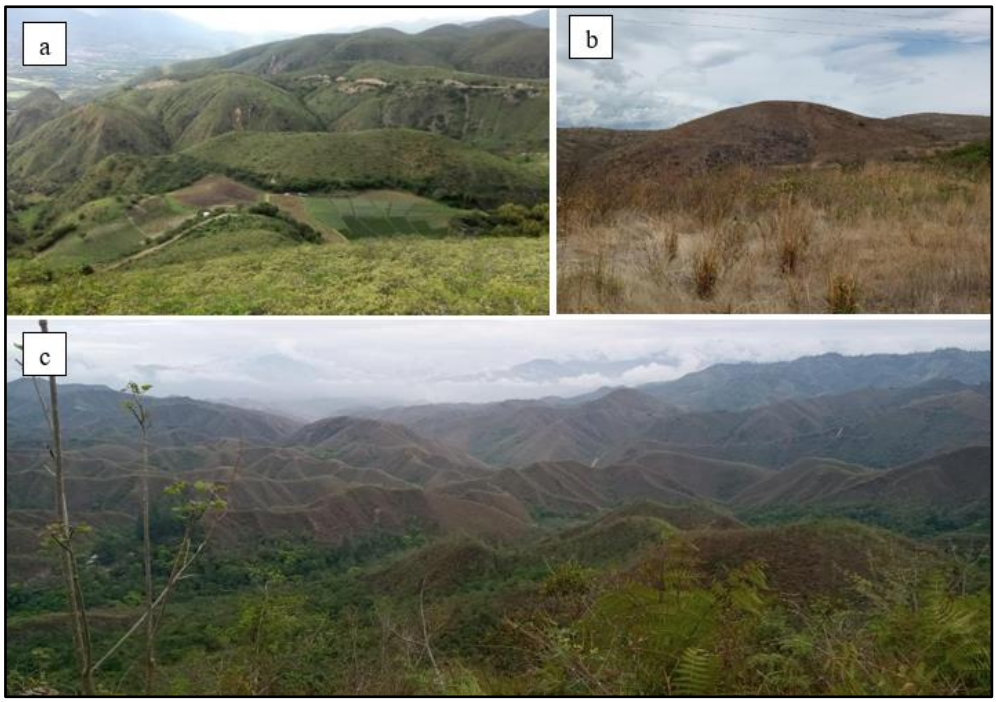


Figura 35. Relieve colinado medio identificado: a) Sitio Togueros en Unidad Guayabal, b) Sitio El Limo en Unidad Guayabal, c) Sitio Santa Ana en Unidad La Bocana.
Fuente: El Autor, 2020

Está compuesto de depósitos coluviales de edad cuaternaria, rocas volcánicas de la Unidad Guayabal de edad Oligo-Miocénica; arcillas, lutitas púrpuras y tobas dacíticas de la formación Catamayo, de edad Miocénica; en Guayquichuma, por metagranodioritas de la Unidad La

Bocana con edad Triásica. La cobertura vegetal predominante en esta unidad es la vegetación arbustiva y tierras agropecuarias.

6.6.3. Penillanura

6.6.3.1. Vertientes Irregulares.

En su mayoría se encuentra distribuida en la parte central de la zona de estudio, comprende 21,2 km^2 que corresponde al 7,02% de la superficie total, se caracteriza por presentar formas cóncavas, convexas, es decir, formas heterogéneas. Se trata de grandes niveles, desde 200 a más de 300 metros y pendientes que varían desde los 0° hasta 55°, aunque predominan las pendientes muy inclinadas (15° - 35°), en cuanto a su cobertura vegetal se puede encontrar arbustos.

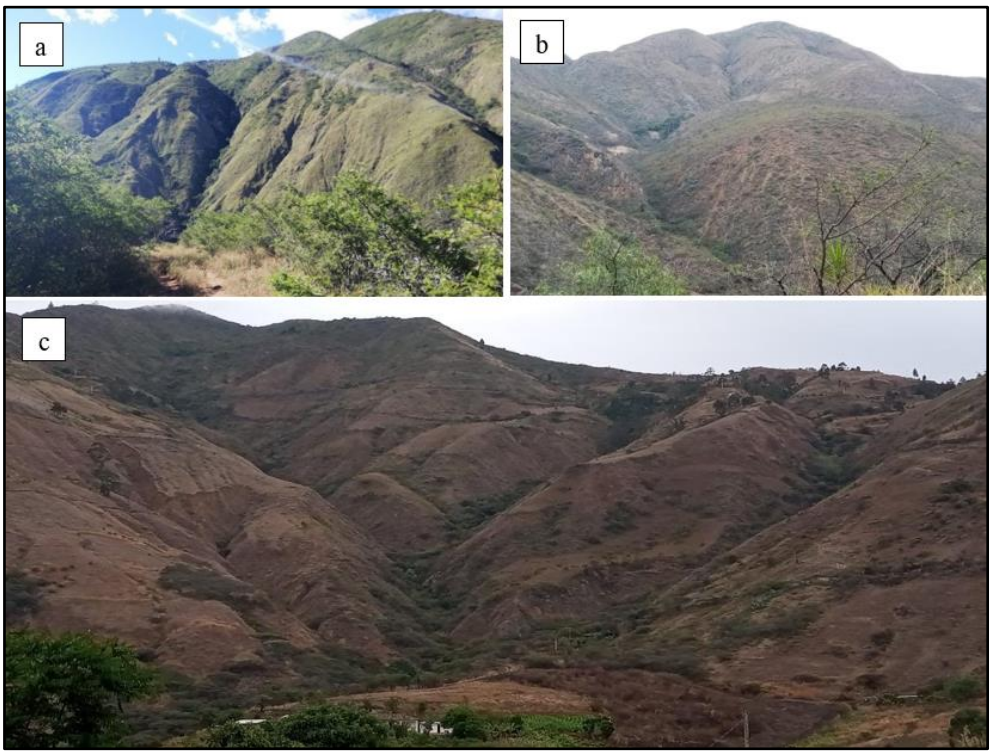


Figura 36. Vertientes irregulares identificadas: a) y b) Sitio La Concha en la Unidad Guayabal, c) Sitio La Bendita en Unidad Chaguarpamba.
Fuente: El Autor, 2020

Esta geoforma presenta dos orígenes, tectónico-erosivo o estructural, compuesta principalmente de sedimentos volcanoclásticos y lutitas de la Unidad Chaguarpamba de edad Cretácica y de lutitas, cuarcitas y filitas de la Unidad El Tigre de edad Paleozoica.

6.6.3.2. Coluvión.

Se ubica de manera dispersa al sur del área de estudio y ocupa una extensión de 2,30 km^2, lo cual equivale al 0,76% del área total. Se caracteriza por su grado de disección, la vegetación es escasa y las pocas que existen indican cierto nivel de madurez o antigüedad. Tienen diferentes niveles de pendientes entre el 5 al 25° con desniveles relativos hasta de 20 metros.

Es de origen denudativo, pues se compone de materiales transportados y depositados al pie de los relieves montañosos de composición volcano-sedimentaria y presencia de fragmentos angulares rocosos, asociados a la unidad Guayabal, por su composición geológica se asume edad Oligo-Miocénica.

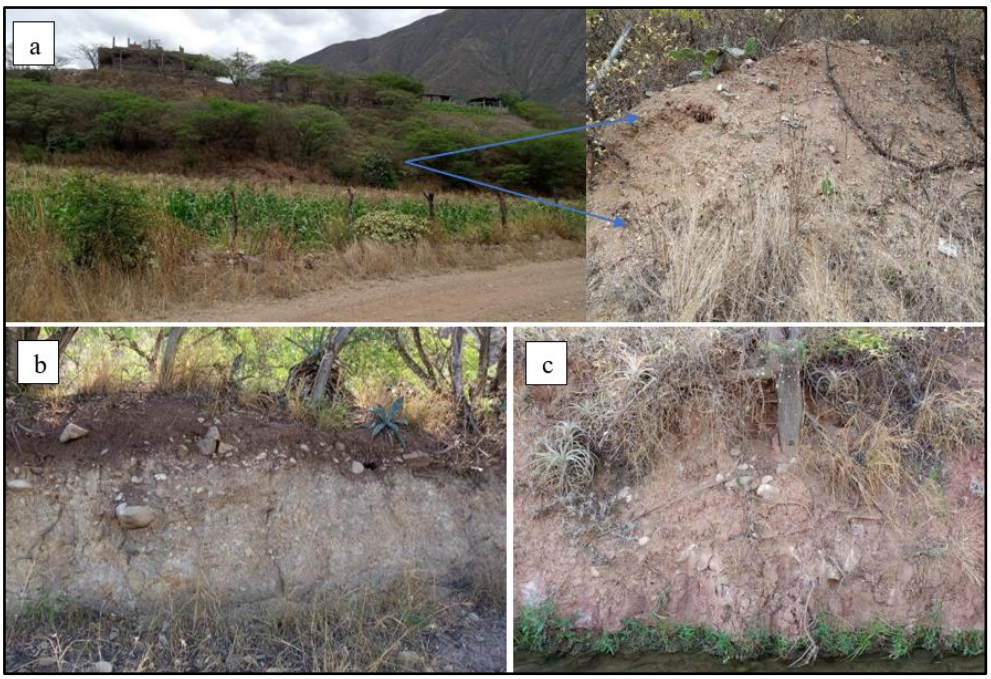


Figura 37. Coluvión identificado cerca de la Hacienda Monterrey
Fuente: El Autor, 2020

6.6.3.3. Coluvio Aluvial.

Ubicados de forma dispersa en área de estudio, cuyo material es producto de la erosión de las partes altas de las formaciones existentes y de la depositación de materiales aluviales por corrientes fluviales, sumado a los aportes gravitacionales laterales de las formas colinadas que la rodean y que presentan material sedimentario, tiene pendientes que van desde los 0° hasta 15°.

Litológicamente está conformado por conglomerados ligado a los depósitos aluviales y coluviales de edad cuaternaria, además de rocas volcánicas de la Unidad Guayabal de edad Oligo-Miocénica; de lutitas, cuarcitas y filitas de la Unidad El Tigre de edad Paleozoica.

Esta unidad consta con un área de 0,68 km^2, por lo tanto, el 0,22 % del territorio en general.

Figura 38. Coluvio aluvial identificado en el sector Togueros en la Unidad Guayabal
Fuente: El Autor, 2020

6.6.4. Pie de Monte

6.6.4.1. Colinas Bajas.

Esta geoforma se ubica al sureste de la zona de estudio, en las cercanías del río Guayabal y ocupa una extensión de 2,65 km^2, lo cual equivale al 0,88 % de la superficie total. Estas unidades presentan formas de valle en V y cimas redondeadas, asociadas a vertientes de forma convexa, así mismo las pendientes que predominan son de tipo ligeramente inclinado (0° – 5°) y fuertemente inclinado (5° – 15°), característicamente se encuentra desniveles relativos de 5 a 25 metros.

Litológicamente se asocia rocas volcánicas de la Unidad Guayabal de edad Oligo-Miocénica y material sedimentario correspondiente a depósitos aluviales y coluviales del Cuaternario. En su mayor parte se encuentran cubiertos por matorrales secos, vegetaciones arbustivas típica de la zona.

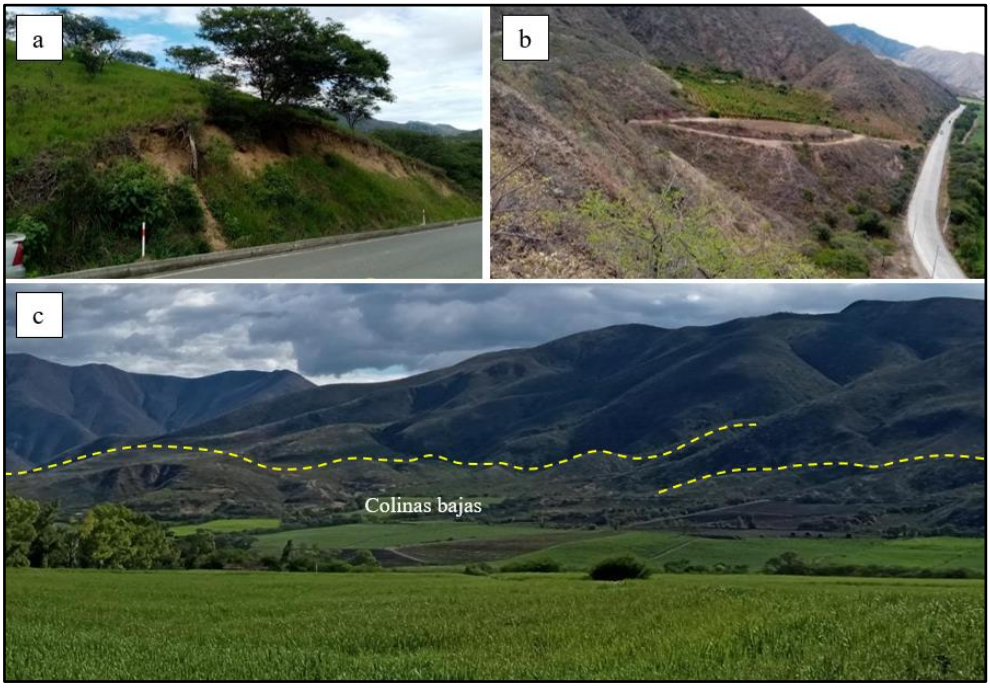


Figura 39. Colinas bajas identificadas: a) Sitio Ingenio Monterrey representado por depósitos aluviales, b) Sitio Guayabal en la Unidad Guayabal, c) Sitio Ingenio Monterrey en la Unidad Guayabal
Fuente: El Autor, 2020

6.6.4.2. Cuestas.

Se ubica en los sectores de San Pedro de la Bendita y Guayquichuma, el área de esta unidad es de 0,53 km^2 que corresponde 0,18% de la superficie total, está asociada a pendientes ligeramente inclinas (0° - 5°) y fuertemente inclinadas (5° - 15°), su cobertura vegetal se conforma de tierras agropecuarias.

En cuanto a su litología presenta dos orígenes, un estructural que está formado principalmente por lutitas marrones intercalados con areniscas y capas de turba y carbón de la formación Catamayo de edad miocénica y por metagranodioritas de la Unidad La Bocana con edad Triásica y otro origen deposicional, que conforma la formación Catamayo compuesta por arcillas, lutitas y tobas dacíticas de edad miocénica. Muestra erosión hídrica laminar como consecuencia de procesos erosivos.

Figura 40. Cuesta identificada: a) Sitio Rumi de la Unidad La Bocana, b) Casco urbano de San Pedro de la Bendita de la formación Catamayo.
Fuente: El Autor, 2020

6.6.5. Valle

6.6.5.1. Terraza Aluvial.

Presenta un área de 3,70 km^2, correspondiente al 1,23% del territorio, corresponde a superficies ligeramente inclinadas, menores a 5°, debido a su inclinación y porque se encuentran a los márgenes de los ríos y quebradas. Comprenden zonas de depositación de material que obedece a la geología del sector que corresponde a depósitos aluviales compuesto por cantos redondeados y subredondeados de rocas metamórficas y volcánicas con matriz arcillo-arenosa de edad Cuaternaria. Esta unidad de relieve es aprovechada para la siembra de caña de azúcar.

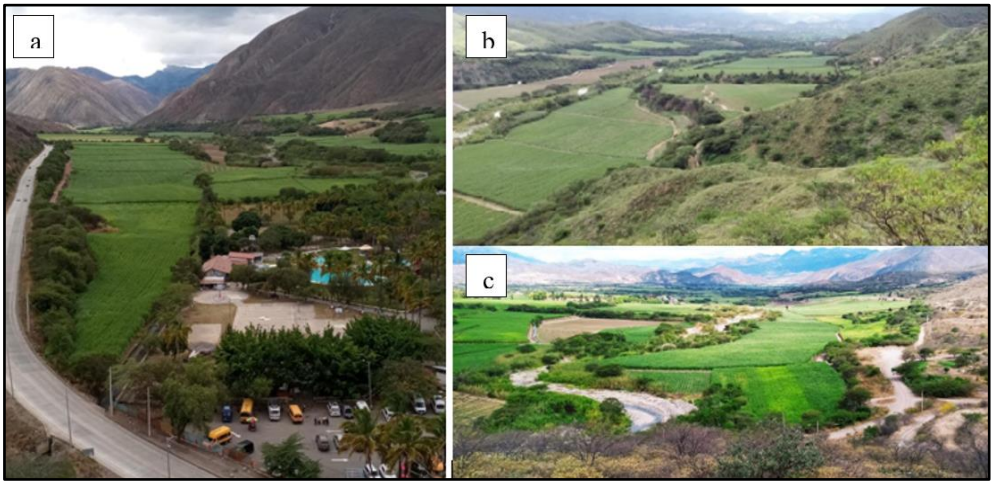


Figura 41. Terraza aluvial identificada al margen del rio Guayabal
Fuente: El Autor, 2020

6.6.6. Validación de Geoformas

La validación de las unidades de relieve se lo realizó mediante 90 puntos de control, los cuales fueron georrefenciados en la aplicación Avenza Maps, la misma que permitió registrar características geomorfológicas de las geoformas e incorporar fotografías. Dentro de este apartado también se llenaron fichas de campo las cuales involucran características morfométricas, morfológicas y morfodinámicas. (Ver Anexo 2)

Los puntos de control levantados se encuentras descritos en la tabla siguiente:

Tabla 10. Puntos de validación en campo de unidades geomorfológicas

FID	Sector	Macrorelieve	Mesorelieve	COORDENADAS UTM/WGS84	
				X	Y
0	Guayabal	Piedemonte	Colinas bajas	678267	9561599
1	Guayabal	Piedemonte	Colinas bajas	678298	9562358
2	El Limo	Serranía	Relieve colinado medio	676036	9563586
3	Las Conchas	Penillanura	Coluvio aluvial	674403	9565389
4	Hacienda Monterrey	Penillanura	Coluvión	677750	9565390
5	Hacienda Monterrey	Penillanura	Coluvión	677937	9564918
6	Hacienda Monterrey	Penillanura	Coluvión	677934	9564871
7	Rumi	Piedemonte	Cuesta	658683	9578299
8	Hacienda Monterrey	Penillanura	Coluvión	677939	9564670
9	Hacienda Monterrey	Penillanura	Coluvión	677964	9564861
10	La Primavera	Serranía	Relieve colinado alto	661690	9569027
11	Miraflores	Serranía	Relieve colinado alto	661894	9567866

12	Guayquichuma	Serranía	Relieve colinado medio	658361	9578834
13	El Tambo	Montaña	Relieve montañoso	657905	9576951
14	Chiguango Alto	Montaña	Relieve montañoso	659624	9576558
15	Chiguango Alto	Montaña	Relieve montañoso	660580	9574338
16	El Carmelo	Montaña	Relieve montañoso	662836	9568715
17	La Chora	Montaña	Relieve montañoso	664009	9564892
18	Las Chinchas	Montaña	Relieve montañoso	667039	9562129
19	Las Chinchas	Montaña	Relieve montañoso	670929	9559718
20	Guayabal	Valle	Terraza aluvial	678604	9562581
21	Guayabal	Valle	Terraza aluvial	678642	9561411
22	Hacienda Monterrey	Valle	Terraza aluvial	678165	9564144
23	Las Conchas	Penillanura	Vertiente irregular	674209	9565083
24	La Bendita	Penillanura	Vertiente irregular	674292	9568954
25	Rumipotrero	Montaña	Relieve montañoso	662058	9577492
26	Rumipotrero	Montaña	Relieve montañoso	661350	9577497
27	Rumipotrero	Montaña	Relieve montañoso	661473	9578174
28	Rumi	Montaña	Relieve montañoso	659493	9577482
29	El Tambo	Montaña	Relieve montañoso	661071	9575886
30	Rumi	Montaña	Relieve montañoso	659522	9578498
31	El Tambo	Montaña	Relieve montañoso	657862	9575746
32	El Tambo	Montaña	Relieve montañoso	659747	9574853
33	Chiguango Bajo	Montaña	Relieve montañoso	660024	9572820
34	La Primavera	Serranía	Relieve colinado alto	660788	9571334
35	La Primavera	Serranía	Relieve colinado alto	661274	9569845
36	Miraflores	Serranía	Relieve colinado alto	662685	9566646
37	El Carmelo	Montaña	Relieve montañoso	665211	9565687
38	Las Chinchas	Montaña	Relieve montañoso	667353	9564290
39	La Chora	Montaña	Relieve montañoso	665490	9564125
40	Las Aradas	Montaña	Relieve montañoso	663535	9562114
41	Las Aradas	Montaña	Relieve montañoso	662875	9561149
42	Aguasillas	Montaña	Relieve montañoso	664390	9557907
43	Aguasillas	Montaña	Relieve montañoso	666295	9557297
44	Illaca	Montaña	Relieve montañoso	666752	9555621
45	Illaca	Montaña	Relieve montañoso	666330	9555027
46	Illaca	Montaña	Relieve montañoso	669555	9556035
47	Illaca	Montaña	Relieve montañoso	667650	9557496
48	Las Chinchas	Montaña	Relieve montañoso	669775	9562004
49	San Vicente	Montaña	Relieve montañoso	672713	9561200
50	San Vicente	Montaña	Relieve montañoso	673445	9560161

51	El Breo	Montaña	Relieve montañoso	674440	9557856
52	San Vicente	Montaña	Relieve montañoso	674288	9561860
53	Las Conchas	Montaña	Relieve montañoso	674760	9565869
54	El Breo	Montaña	Relieve montañoso	676020	9558561
55	Chambellán	Montaña	Relieve montañoso	676273	9560578
56	Rumipotrero	Serranía	Relieve colinado alto	660627	9577653
57	Rumipotrero	Serranía	Relieve colinado alto	661200	9579401
58	Rumi	Serranía	Relieve colinado medio	659035	9577651
59	Chiguango	Penillanura	Coluvión	660660	9572436
60	Aguasillas	Serranía	Relieve colinado alto	664018	9560466
61	Las Aradas	Serranía	Relieve colinado alto	665448	9562038
62	La Chora	Penillanura	Vertiente irregular	664405	9563521
63	Las Chinchas	Penillanura	Vertiente irregular	667353	9560019
64	El Breo	Serranía	Relieve colinado alto	671220	9557496
65	El Breo	Serranía	Relieve colinado alto	677130	9557358
66	El Breo	Serranía	Relieve colinado medio	678090	9557916
67	El Breo	Serranía	Relieve colinado medio	678239	9559477
68	Togueros	Penillanura	Coluvio aluvial	675975	9564794
69	Togueros	Serranía	Relieve colinado medio	675755	9564421
70	San Vicente	Serranía	Relieve colinado alto	673135	9562866
71	San Vicente	Penillanura	Vertiente irregular	672021	9563997
72	Las Conchas	Penillanura	Vertiente irregular	672526	9566302
73	La Bendita	Serranía	Relieve colinado medio	675131	9567506
74	La Bendita	Serranía	Relieve colinado medio	675891	9567143
75	Las Conchas	Serranía	Relieve colinado alto	675612	9565458
76	Togueros	Serranía	Relieve colinado alto	676908	9565686
77	Togueros	Penillanura	Coluvión	676622	9565231
78	Hacienda Monterrey	Penillanura	Coluvión	677399	9566600
79	La Bendita	Penillanura	Coluvión	675879	9567853
80	La Bendita	Penillanura	Coluvión	675799	9568615
81	Hacienda Monterrey	Penillanura	Coluvión	677068	9566928
82	Hacienda Monterrey	Penillanura	Coluvión	676665	9567642
83	Hacienda Monterrey	Valle	Terraza aluvial	678004	9566532
84	Hacienda Monterrey	Penillanura	Coluvión	677837	9566251
85	Togueros	Serranía	Relieve colinado alto	677539	9565956
86	Hacienda Monterrey	Valle	Terraza aluvial	678081	9565286
87	Hacienda Monterrey	Valle	Terraza aluvial	678430	9563870
88	Hacienda Monterrey	Penillanura	Coluvio aluvial	677905	9564026
89	Hacienda Monterrey	Piedemonte	Colinas bajas	677694	9563489

Fuente: El Autor, 2020

6.6.7. Inventario de Deslizamientos

Este apartado se ha considerado dentro del trabajo ya que forma parte de la morfodinámica del relieve, es decir por lo general los movimientos en masa se producen como consecuencia de procesos geodinámicos, a más de ello por su topografía, precipitaciones y tipo de litología presente.

Mediante información levantada en campo y por fotointerpretación se generó el inventario de deslizamientos, los mismos que en su mayoría se manifiestan por alteración del relieve debido a la apertura de vías y altas precipitaciones. Los deslizamientos han sido registrados con su respectiva coordenada, área y porcentaje con respecto al área total de estudio (Ver Tabla 11).

Tabla 11: Inventario de deslizamientos de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma.

No	Sector	COORDENADAS UTM/WGS84		Área (Ha)	Porcentaje
		X	**Y**		
1	Guayquichuma	660390	9570907	0,01	0,08
2	Guayquichuma	659804	9571518	0,07	0,45
3	Guayquichuma	659677	9572148	0,70	4,41
4	Guayquichuma	659436	9572419	2,27	14,37
5	Guayquichuma	659358	9573349	0,13	0,81
6	Guayquichuma	659097	9573424	0,38	2,38
7	Guayquichuma	659090	9573539	0,10	0,60
8	Guayquichuma	658892	9573640	0,03	0,19
9	Guayquichuma	658574	9574325	0,04	0,27
10	Guayquichuma	658613	9574166	0,03	0,19
11	Guayquichuma	658620	9574230	0,26	1,62
12	Guayquichuma	658675	9575469	0,02	0,13
13	Guayquichuma	658695	9575472	0,01	0,09
14	Guayquichuma	659414	9576094	0,54	3,41
15	Guayquichuma	659006	9576597	0,44	2,81
16	Guayquichuma	658674	9578244	0,03	0,22
17	Guayquichuma	659007	9578261	0,01	0,08
18	Guayquichuma	659094	9578198	0,01	0,05
19	Guayquichuma	659410	9578032	0,04	0,24
20	Guayquichuma	660177	9577271	0,01	0,08

21	Guayquichuma	660257	9577335	0,01	0,04
22	Guayquichuma	660306	9576979	0,17	1,10
23	Guayquichuma	660604	9576927	0,02	0,16
24	Guayquichuma	661638	9577889	0,07	0,45
25	Guayquichuma	661843	9577801	0,03	0,18
26	Guayquichuma	661958	9577787	0,03	0,21
27	Guayquichuma	662081	9577836	0,01	0,07
28	Guayquichuma	660461	9570780	0,04	0,26
29	Guayquichuma	660562	9570761	0,03	0,20
30	Guayquichuma	660672	9570814	0,03	0,22
31	Guayquichuma	661197	9572424	0,51	3,21
32	Guayquichuma	661281	9572481	0,02	0,10
33	Guayquichuma	661347	9572542	0,02	0,15
34	Guayquichuma	661393	9572600	0,02	0,10
35	Guayquichuma	661611	9572787	0,04	0,25
36	Guayquichuma	661698	9569035	0,40	2,50
37	Guayquichuma	661728	9568735	0,42	2,66
38	Zambi	662246	9568235	0,09	0,56
39	Zambi	661943	9567858	0,30	1,89
40	Zambi	663791	9566087	0,07	0,44
41	Zambi	666288	9563438	0,07	0,43
42	Zambi	667677	9563178	0,24	1,54
43	Zambi	667754	9563013	1,87	11,85
44	Zambi	667593	9562947	0,29	1,85
45	Zambi	668602	9562177	0,03	0,18
46	Zambi	668476	9562145	0,28	1,79
47	Zambi	668656	9562117	0,21	1,30
48	Zambi	668880	9562094	0,37	2,33
49	San Pedro de la Bendita	666078	9560344	2,91	18,38
50	San Pedro de la Bendita	665331	9559623	0,12	0,79
51	San Pedro de la Bendita	669504	9561243	0,82	5,20
52	San Pedro de la Bendita	672745	9563182	0,05	0,30
53	San Pedro de la Bendita	674530	9565358	0,43	2,73
54	San Pedro de la Bendita	675418	9568395	0,28	1,75
55	San Pedro de la Bendita	675376	9568467	0,21	1,31
56	San Pedro de la Bendita	674779	9569566	0,09	0,55
57	San Pedro de la Bendita	675208	9562789	0,08	0,51
		TOTAL		**15,82**	**100,00**

Fuente: El Autor, 2020

Un deslizamiento descrito se localiza en las coordenadas 658936, 9576621, a 830 metros de Guayquichuma aproximadamente, sus dimensiones son 60m de alto, 50m de ancho, el material es un tanto masivo, con meteorización media y presencia de oxidación. Se trata de un deslizamiento rotacional con pendiente de 15° a 35°, con presencia de vegetación arbustiva

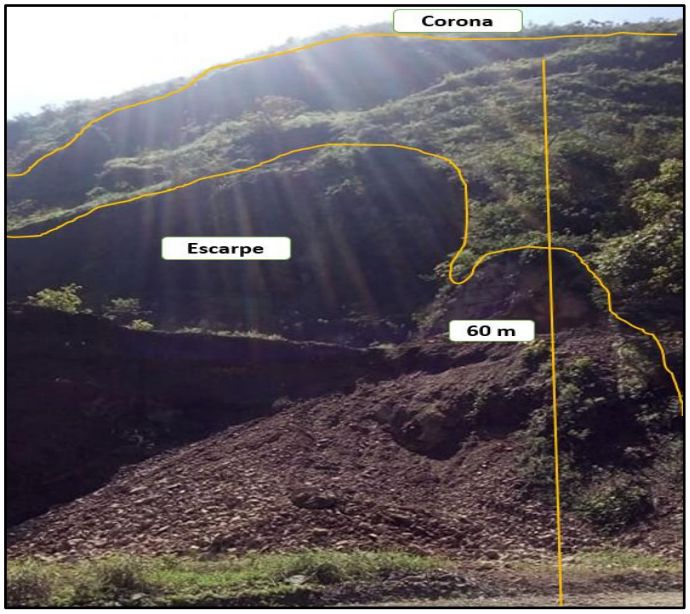


Figura 42: Deslizamiento 1, parroquia Guayquichuma.
Fuente: El Autor, 2020

El segundo deslizamiento descrito se ubica en las coordenadas 659387 y 9576074, tiene 40 metros de alto y 50 metros de ancho, con meteorización media-alta, de textura fina, humedad baja, con aparente estratificación.

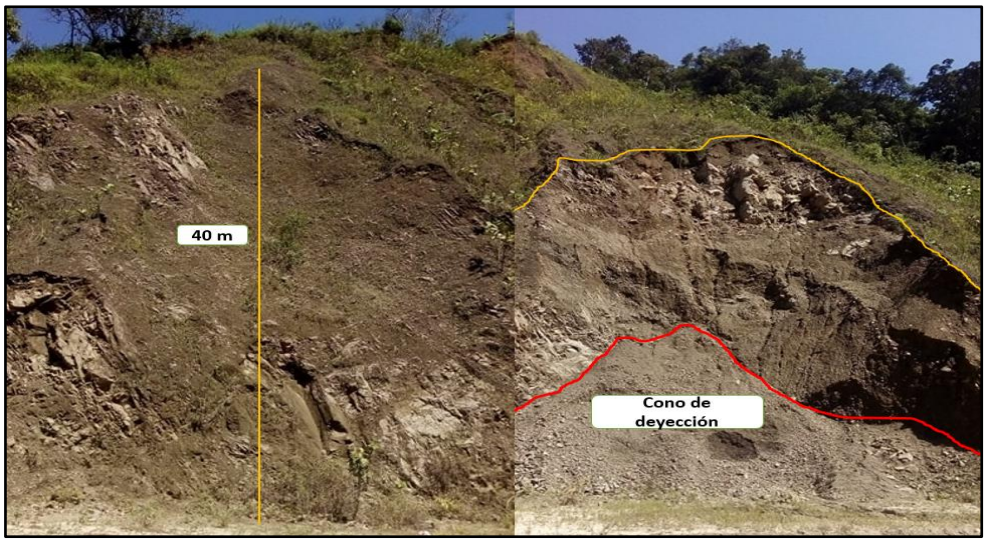


Figura 43: Deslizamiento 2, parroquia Guayquichuma.
Fuente: El Autor, 2020

Un tercer deslizamiento ha sido descrito en las coordenadas 660347 y 9570948, en el sector Chiguango. Tiene una altura de 15 metros y 9 metros de ancho. El material encontrado en el deslizamiento se trata de arenisca altamente meteorizada, de color amarillo y rojizo. Se trata de un deslizamiento rotacional.

Figura 44: Deslizamiento 3, parroquia Guayquichuma.
Fuente: El Autor, 2020.

El siguiente deslizamiento se encontró en las coordenadas 667949E y 9561998N, aproximadamente a 2 km de la Y de las Chinchas. Sus dimensiones son 150 metros de alto y aproximadamente 100 metros de ancho, el material encontrado en el deslizamiento se trata de arenisca tobácea de coloración rojiza, posiblemente debido a oxidación. Es importante mencionar que se trata del deslizamiento más grande encontrado en toda la zona de estudio.

Figura 45: Deslizamiento 4, parroquia Guayquichuma.
Fuente: El Autor, 2020

Figura 46: Deslizamiento 4, vista panorámica.
Fuente: El Autor, 2020

Como se puede observar en la tabla 11, el sector con más deslizamientos (37 deslizamientos) es la parroquia de Guayquichuma, con el 44,32%, que corresponde a un área de 7,01 hectáreas. La litología predominante en este sector es de la Unidad El Tigre y La Bocana que están conformadas por areniscas, limolitas y lutitas, no metamorfizadas con intercalaciones de cuarcitas y filitas y metagranodioritas, paragneis, gneises migmatíticos y ortogneises, respectivamente. Seguidamente, la parroquia Zambi con un total de 11 deslizamientos, los cuales abarcan un área de 3,82 hectáreas y 24,15% del área total estudiada. En esta área se encuentran sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas pertenecientes a la Unidad Chaguarpamba

Los 9 deslizamientos restantes se localizan en la Parroquia San Pedro de la Bendita, los mismos que cubren un área de 4,98 hectáreas y por lo tanto 31,51% del área total; en el área predominan secuencias volcánicas y volcanosedimentarias, tobas andesíticas y riolíticas de la Unidad Guayabal y sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas de la Unidad Changuarpamba.

De los deslizamientos que se describieron en la parroquia Guayquichuma, 8 eran rotacionales según el análisis de la relación Dr/Lr y 3 traslacionales. La mayoría de deslizamientos se encuentran en fuertes pendientes y donde la cantidad de precipitaciones son elevadas.

6.7. Uso Actual del Suelo

Al ejecutar la clasificación no supervisada se ha definido 5 tipos de uso de suelo dentro de la zona de estudio, los mismos que se muestran con su área y porcentaje. (Ver Tabla 12),

Tabla 12: Usos de Suelo de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma.

Color	Cobertura	Área (Km^2)	Porcentaje
	Bosque nativo	66,86	22,15
	Cuerpo de agua	0,73	0,24
	Tierra agropecuaria	89,46	29,63
	Vegetación arbustiva	143,85	47,65
	Zona antrópica	0,98	0,32

Fuente: El Autor, 2020

La zona de estudio tiene un área de 301, 88 Km^2, de los cuales la Vegetación Arbustiva es el uso de suelo que ocupa la mayor parte del área de estudio, ya que cubre el 47,65%, es decir comprende un área de 143,85 Km^2; El uso de suelo por Tierras Agropecuarias presenta el 29,63% del área total, este tipo suelo es de gran importancia económica, ya que se cosechan yuca, tomate, maíz, entre otros, además de presentar áreas de pastizales para la crianza de ganado. Se encuentra distribuido por toda el área de estudio, con predominancia en la parte sur.

La clase de Bosque Nativo se encuentra distribuida por todo el territorio en menor proporción que las anteriores, cubriendo el 22,15% del área total, esta clase se caracteriza por contener especies como: ducos, tarume, duraznillo, cedro, sauce, entre otros, como su nombre lo indica se trata de zonas que no has sido afectadas por actividades humanas y que conservan sus características naturales. Este tipo de cobertura se encuentra amenazado por el crecimiento de actividades humanas, ya sean el utilizado para asentamientos humanos o para actividades agropecuarias. El uso Antrópico comprende zonas de asentamientos humanos de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma, comprende el 0,32% del territorio; y, por último, los cuerpos de agua ocupan un 0,24% del territorio que generalmente involucra los ríos Guayabal y Catamayo. (Ver Figura 47)

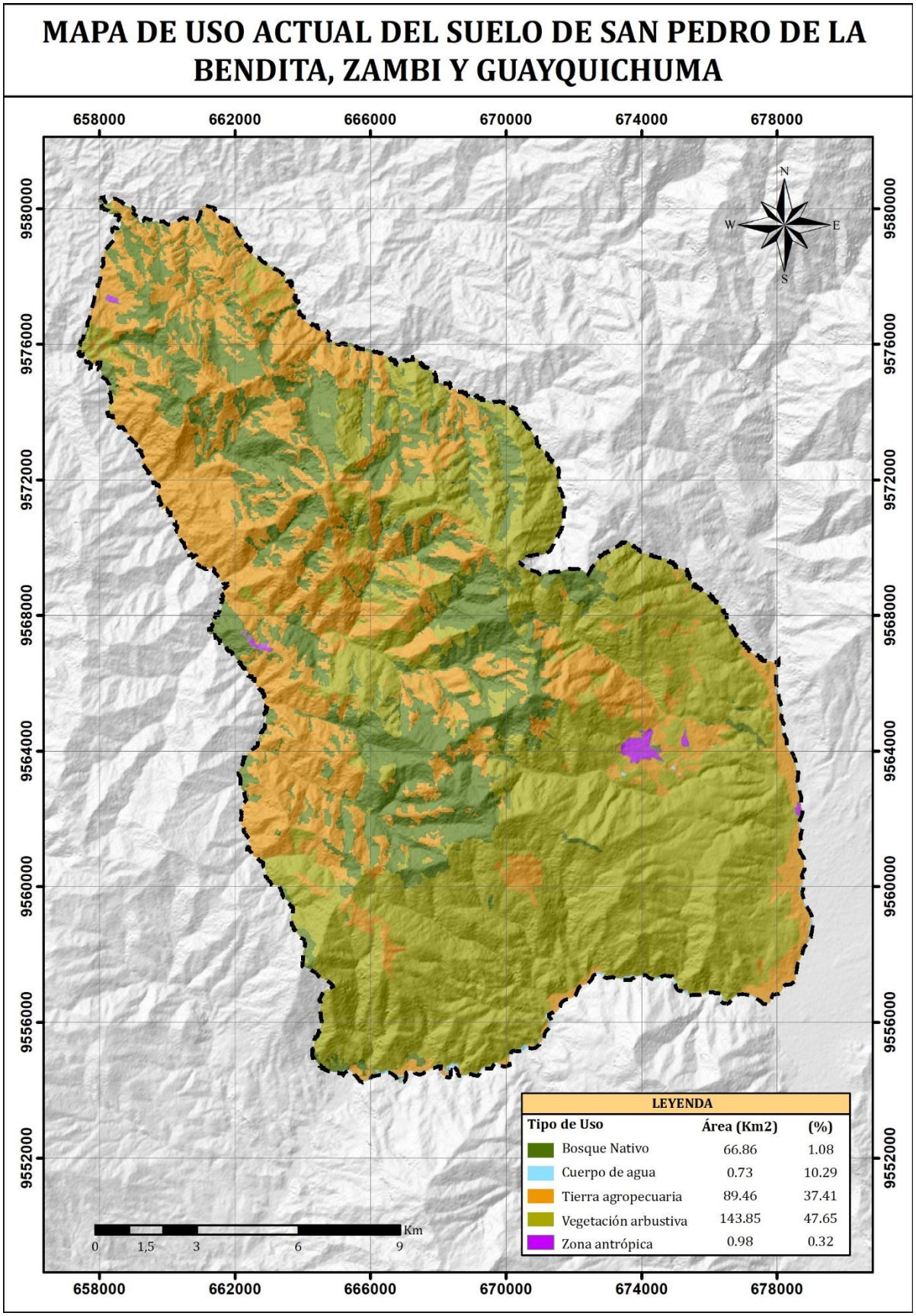


Figura 47: Mapa de Uso Actual de Suelo de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma
Fuente: El Autor, 2020

6.8. Precipitaciones

Para la generación del mapa de isoyetas se interpoló datos de precipitaciones de 29 años (1981-2010) de las 10 estaciones meteorológicas próximas al área de estudio.

Tabla 13: Isoyetas presentes en el área de estudio.

Color	Rango	Clase	Area (Km^2)	Porcentaje
	301,45 - 530,54	Muy Baja	29,27	9,69
	530,54 - 759,63	Baja	121,44	40,23
	759,63 - 988,72	Media	112,05	37,12
	988,72 - 1217,81	Alta	39,13	12,96

Fuente: El Autor, 2020

Como se muestra en la tabla 13, se obtuvieron 4 categorías dentro del territorio, en relación a la intensidad de precipitaciones; las precipitaciones más bajas (301,45 a 530,54 mm/año) se localizan en la zona sur del área de estudio dentro de la parroquia San Pedro de la Bendita, cerca al río Guayabal, esta isoyeta cubre el 9,69% del total del área estudiada; la isoyeta de clase Baja se encuentra de igual forma, dentro de la parroquia San Pedro de la Bendita y abarca el 40,23% del área total; la clase Media se encuentra aproximadamente desde Las Chinchas hasta 4,5 km antes de Guayquichuma, comprende el 37,12% del área total. Finalmente, la precipitación de clase alta se localiza en Guayquichuma con el 12,96% del total del territorio con valores de 988,72 a 1217,81 mm/año. Según los datos obtenidos se considera que la parte norte de la zona de estudio (parroquia Guayquichuma) presenta altos niveles de precipitaciones y en dirección al sur estas se presentan en menor intensidad. (Ver Figura 48).

Existe una relación directa entre las altas precipitaciones y la cantidad de deslizamientos, ya que en dicha parroquia se han reconocido 37 movimientos en masa.

Las altas precipitaciones presentes en la parroquia Guayquichuma contribuyen a la meteorización de dicha zona, ya que además de tratarse de materiales sumamente inestables, la cantidad de agua que absorbe el suelo provoca un sobrepeso del terreno sobrepasando el factor de seguridad de los taludes de la vía.

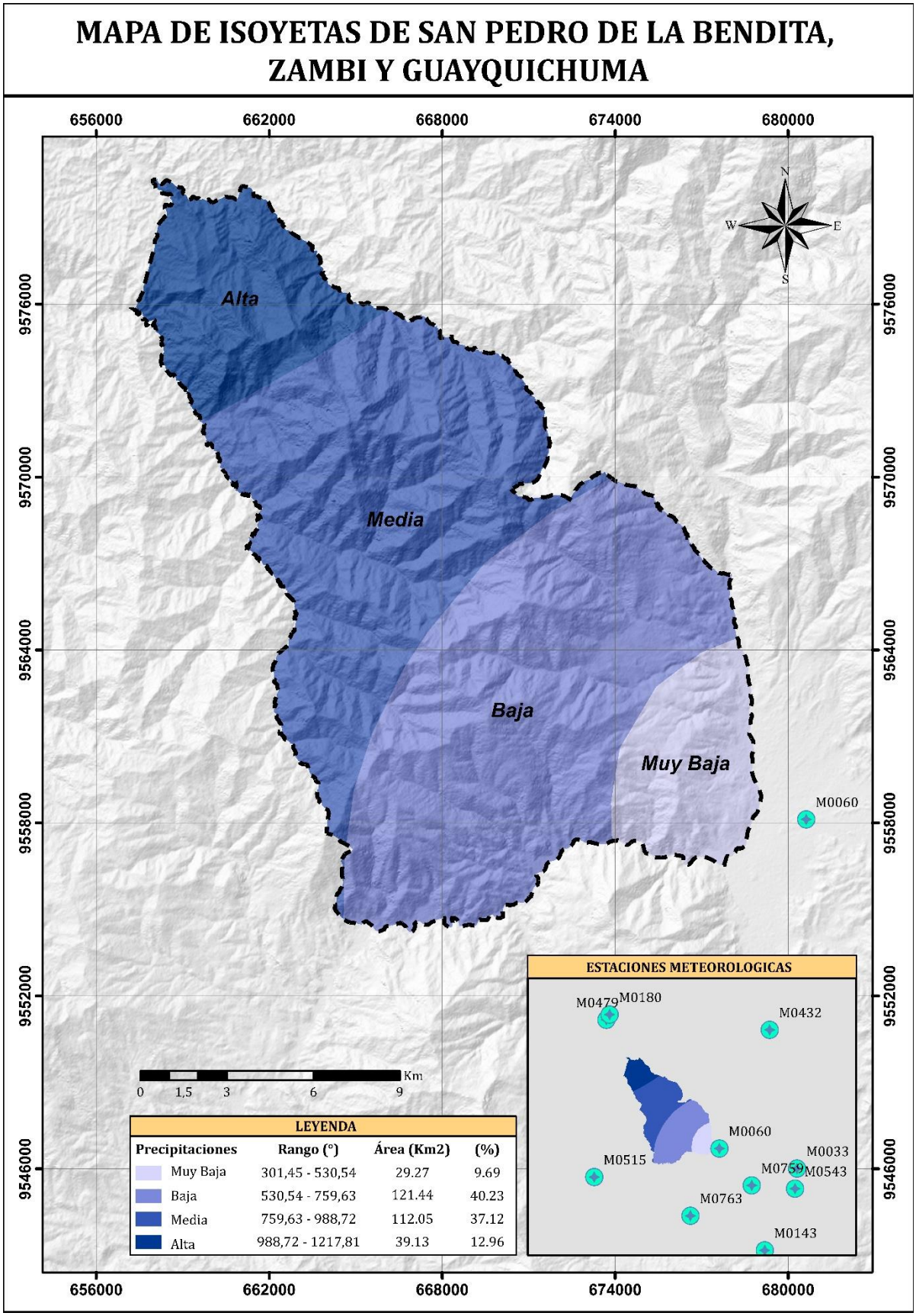


Figura 48: Mapa de pendientes de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma
Fuente: El Autor, 2020

6.9. Susceptibilidad a Deslizamientos

Se aplicó la metodología del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) de Thomas L. Saaty para la valoración mediante la asignación de pesos a cada una de las variables de los mapas de geomorfología, geología, isoyetas, pendientes y uso de suelo. El orden de estos representa su importancia con respecto a la susceptibilidad a deslizamientos, se los coloca de arriba hacia abajo, el que se encuentra en la parte superior será el que tiene más influencia para la manifestación de un deslizamiento. Para el análisis de los componentes, se presentan las tablas de la normalización de cada mapa generado para obtener el peso de cada variable.

6.9.1. Determinación de los pesos de la geomorfología.

Geomorfológicamente se ordenó de mayor a menor importancia, primero los deslizamientos, luego relieve montañoso, cuestas, vertientes irregulares, relieve colinado medio, colinas bajas, relieve colinado alto, coluvión, coluvio aluvial y por último terraza aluvial. Los deslizamientos se han colocado primero debido a que ya ha habido alteración del factor de seguridad y es más probable que se repita este fenómeno y los demás componentes se han colocado tomando en cuenta diversas características de la zona en la que se encuentran, como: pendientes, uso de suelo, litología y niveles de precipitación.

Tabla 14: Matriz de valoración de la geomorfología

Geomorfología	Deslizamientos	Relieve montañoso	Relieve colinado alto	Vertiente irregular	Relieve colinado medio	Cuesta	Colinas bajas	Coluvión	Coluvio aluvial	Terraza aluvial	Pesos
Deslizamientos	**1**	2	2	2	3	3	3	4	4	4	0,217
Relieve montañoso	0,50	**1**	2	2	3	3	3	4	4	4	0,185
Relieve colinado alto	0,50	0,50	**1**	2	2	3	3	3	4	4	0,147
Vertiente irregular	0,50	0,50	0,50	**1**	2	3	3	3	4	4	0,127
Relieve colinado medio	0,33	0,33	0,50	0,50	**1**	2	2	3	4	4	0,092
Cuesta	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	**1**	2	3	3	3	0,073
Colinas bajas	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	**1**	2	3	3	0,059
Coluvión	0,25	0,25	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	**1**	2	2	0,041
Coluvio aluvial	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33	0,50	**1**	2	0,031
Terraza aluvial	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33	0,50	1	**1**	0,029

Fuente: (Saaty, T., 1980)
Elaboración: El Autor, 2020

Tabla 15. Matriz normalizada para la variable geomorfología

MATRIZ NORMALIZADA										PESOS	R_MATRIZ	PROMEDIO
0,235	0,348	0,267	0,222	0,234	0,182	0,165	0,167	0,167	0,136	0,217	2,207	0,098
0,118	0,174	0,267	0,222	0,234	0,182	0,165	0,167	0,167	0,136	0,185	1,913	0,097
0,118	0,087	0,133	0,222	0,156	0,182	0,165	0,125	0,125	0,136	0,147	1,541	0,095
0,118	0,087	0,067	0,111	0,156	0,182	0,165	0,125	0,125	0,136	0,127	1,340	0,095
0,078	0,058	0,067	0,056	0,078	0,121	0,110	0,125	0,125	0,136	0,092	0,986	0,093
0,078	0,058	0,044	0,037	0,039	0,061	0,110	0,125	0,125	0,102	0,073	0,762	0,095
0,078	0,058	0,044	0,037	0,039	0,030	0,055	0,083	0,083	0,102	0,059	0,626	0,094
0,059	0,043	0,044	0,037	0,026	0,020	0,028	0,042	0,042	0,068	0,041	0,436	0,094
0,059	0,043	0,033	0,028	0,019	0,020	0,018	0,021	0,021	0,034	0,031	0,345	0,089
0,059	0,043	0,033	0,028	0,019	0,020	0,018	0,021	0,021	0,017	0,029	0,300	0,096
TOTAL										1,000	10,456	0,948

Índice de consistencia	0,051	Consistencia aleatoria	1,584	Razón de consistencia	0,032

Fuente: (Saaty, T., 1980)
Elaboración: El Autor, 2020

6.9.2. Determinación de los pesos de geología.

Las litologías se han ordenado conforme a la estabilidad observada en campo, ya que existen materiales que teóricamente son estables pero que presentan niveles de meteorización considerable. De mayor a menor importancia se colocaron: areniscas, limolitas y lutitas, no metamorfizadas con intercalaciones de cuarcitas y filitas de la Unidad El Tigre; metagranodioritas, paragneis, gneises migmatíticos y ortogneises de la Unidad La Bocana; pizarras, filitas, cuarcitas y esquistos micáceos de la Unidad La Victoria; sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas de la Unidad Chaguarpamba; rocas volcanoclásticas de grano fino, tobas y grauvacas de la Unidad Bramaderos; valanchas de bloques angulosos de rocas volcánicas y metamórficas pertenecientes a Deposito Coluvial; conglomerados, lutitas y areniscas, facies de calizas y yesos de la Formación Catamayo; secuencias volcánicas y volcanosedimentarias, tobas andesíticas y riolíticas de la Unidad Guayabal; andesitas

basálticas masivas de la Unidad Changaimina; diorita y granodiorita pertenecientes a Rocas Intrusivas y por último bloques, cantos y guijarros de rocas volcánicas y metamórficas subredondeados a redondeados, en matriz arenosa de Deposito Aluvial.

La mayor cantidad de deslizamientos se encuentran en las Unidades La Bocana y El Tigre, por lo que se encuentran en lo más alto de la tabla 11. De igual forma, al momento de jerarquizar se han considerado pendientes, uso de suelo e isoyetas, obteniendo el siguiente orden:

Tabla 16. Matriz de valoración de la geología

Geología	Areniscas, limolitas y lutitas, no metamorfizadas con intercalaciones de cuarcitas y filitas	Metagranodioritas, paragneis, gneises migmatíticos y ortogneises	Pizarras, filitas, cuarcitas y esquitosd micáceos	Sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas	Rocas volcanoclásticas de grano fino, tobas y grauvacas	Avalanchas de bloques angulosos de rocas volcánicas y metamórficas	Conglomerados, lutitas y areniscas, facies de calizas y yesos	Secuencias volcánicas y volcanosedimentarias, tobas andesíticas y riolíticas.	Andesitas basálticas masivas	Diorita	Granodiorita	Bloques, cantos y guijarros de rocas volcánicas y metamórficas subredondeados a redondeados, en matriz arenosa	**Pesos**
Areniscas, limolitas y lutitas, no metamorfizadas con intercalaciones de cuarcitas y filitas	**1**	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	0,179
Metagranodioritas, paragneis, gneises migmatíticos y ortogneises	0,50	**1**	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	0,152
Pizarras, filitas, cuarcitas y esquistos micáceos	0,50	0,50	**1**	2	2	3	3	3	3	4	4	4	0,135
Sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas	0,50	0,50	0,50	**1**	2	2	2	2	3	4	4	4	0,107
Rocas volcanoclásticas de grano fino, tobas y grauvacas	0,33	0,50	0,50	0,50	**1**	2	2	2	3	3	4	4	0,091
Avalanchas de bloques angulosos de rocas volcánicas y metamórficas	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	**1**	2	2	3	3	4	4	0,079
Conglomerados, lutitas y areniscas, facies de calizas y yesos	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50	**1**	2	3	3	4	4	0,072
Secuencias volcánicas y volcanosedimentarias, tobas andesíticas y riolíticas.	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50	**1**	2	3	3	3	0,057
Andesitas basálticas masivas	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	**1**	2	3	3	0,045
Diorita	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	**1**	2	3	0,034
Granodiorita	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33	0,50	**1**	2	0,026
Bloques, cantos y guijarros de rocas volcánicas y metamórficas subredondeados a redondeados, en matriz arenosa	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33	0,333	0,50	**1**	0,023

Fuente: (Saaty, T., 1980)
Elaboración: El Autor, 2020

Tabla 17. Matriz normalizada para la variable geología

MATRIZ NORMALIZADA												PESOS	R_MATRIZ	PROMEDIO
0,203	0,304	0,247	0,198	0,237	0,186	0,170	0,154	0,119	0,126	0,11	0,10	0,179	2,331	0,077
0,102	0,152	0,247	0,198	0,158	0,186	0,170	0,154	0,119	0,126	0,11	0,10	0,152	1,999	0,076
0,102	0,076	0,124	0,198	0,158	0,186	0,170	0,154	0,119	0,126	0,11	0,10	0,135	1,788	0,075
0,102	0,076	0,062	0,099	0,158	0,124	0,113	0,103	0,119	0,126	0,11	0,10	0,107	1,406	0,076
0,068	0,076	0,062	0,050	0,079	0,124	0,113	0,103	0,119	0,094	0,11	0,10	0,091	1,197	0,076
0,068	0,051	0,041	0,050	0,039	0,062	0,113	0,103	0,119	0,094	0,11	0,10	0,079	1,025	0,077
0,068	0,051	0,041	0,050	0,039	0,031	0,057	0,103	0,119	0,094	0,11	0,10	0,072	0,914	0,078
0,068	0,051	0,041	0,050	0,039	0,031	0,028	0,051	0,079	0,094	0,08	0,08	0,057	0,726	0,079
0,068	0,051	0,041	0,033	0,026	0,021	0,019	0,026	0,040	0,063	0,08	0,08	0,045	0,561	0,081
0,051	0,038	0,031	0,025	0,026	0,021	0,019	0,017	0,020	0,031	0,05	0,08	0,034	0,420	0,081
0,051	0,038	0,031	0,025	0,020	0,015	0,014	0,017	0,013	0,016	0,03	0,05	0,026	0,327	0,081
0,051	0,038	0,031	0,025	0,020	0,015	0,014	0,017	0,013	0,010	0,01	0,03	0,023	0,285	0,080
TOTAL												1,000	12,978	0,937

Índice consistencia	0,089	Consistencia aleatoria	1,650	Razón de consistencia	0,054

Fuente: (Saaty, T., 1980)
Elaboración: El Autor, 2020

6.9.3. Determinación de los pesos de pendientes.

En la zona de estudio predominan las pendientes empinadas con rangos de 35º a 55º, por lo que son estas zonas las más susceptibles a deslizamientos que las zonas de menor pendiente o ligeramente inclinadas.

Tabla 18: Matriz de valoración de la pendiente.

Pendientes		>55°	35° - 55°	15° - 35°	5° - 15°	0° - 5°	Pesos
		Vertical	Empinado	Muy inclinado	Fuertemente Inclinada	Ligeramente inclinada	
>55°	Vertical	1	2	2	3	4	0,370
35° - 55°	Empinado	0,50	1	2	2	3	0,247
15° - 35°	Muy inclinado	0,50	0,50	1	2	3	0,189
5° - 15°	Fuertemente Inclinada	0,33	0,50	0,50	1	2	0,120
0° - 5°	Ligeramente inclinada	0,25	0,33	0,33	0,50	1	0,073

Fuente: (Saaty, T., 1980)
Elaboración: El Autor, 2020

Tabla 19. Matriz normalizada para la variable pendiente

MATRIZ NORMALIZADORA					PESOS	M-MATRIZ	PROMEDIO
0,387	0,462	0,343	0,353	0,308	0,370	1,897	0,195
0,194	0,231	0,343	0,235	0,231	0,247	1,271	0,194
0,194	0,115	0,171	0,235	0,231	0,189	0,958	0,197
0,129	0,115	0,086	0,118	0,154	0,120	0,608	0,198
0,097	0,077	0,057	0,059	0,077	0,073	0,371	0,197
TOTAL					1,000	5,106	0,982

Índice de consistencia	0,026	Consistencia aleatoria	1,188	Razón de consistencia	0,022

Fuente: (Saaty, T., 1980)
Elaboración: El Autor, 2020

6.9.4. Determinación de los pesos de uso actual del suelo

El uso de suelo con mayor importancia se considera a la tierra agropecuaria, ya que las actividades antrópicas causan un desequilibrio en las condiciones normales del suelo. Seguidamente se tiene la vegetación arbustiva que se caracteriza por tener raíces pequeñas y encontrarse en pendientes inclinadas y en litología poco competente; luego se encuentra el bosque nativo que se convierte en un factor desencadénate al encontrarse en pendientes abruptas. Se concluye que cuerpo de agua y zona poblada son los de menor incidencia ya que abarcan áreas pequeñas y presentan bajas pendientes. El orden para los componentes de uso de suelo se lo expresa a continuación:

Tabla 20: Matriz de valoración del uso actual del suelo

Uso de suelo	Tierra agropecuaria	Vegetación arbustiva	Bosque nativo	Zona antrópica	Cuerpo de agua	**Pesos**
Tierra agropecuaria	**1**	2	3	3	4	0,386
Vegetación arbustiva	0,50	**1**	2	3	4	0,266
Bosque nativo	0,33	0,50	**1**	2	4	0,177
Zona antrópica	0,33	0,33	0,50	**1**	2	0,106
Cuerpo de agua	0,25	0,25	0,25	0,50	**1**	0,064

Fuente: (Saaty, T., 1980)
Elaboración: El Autor, 2020

Tabla 21. Matriz normalizada para la variable de uso actual del suelo

MATRIZ NORMALIZADORA					PESOS	M-MATRIZ	PROMEDIO
0,414	0,490	0,444	0,316	0,267	0,386	2,026	0,191
0,207	0,245	0,296	0,316	0,267	0,266	1,390	0,192
0,138	0,122	0,148	0,211	0,267	0,177	0,909	0,195
0,138	0,082	0,074	0,105	0,133	0,106	0,541	0,197
0,103	0,061	0,037	0,053	0,067	0,064	0,325	0,198
TOTAL					1,000	5,190	0,972

Índice de consistencia	0,047	Consistencia aleatoria	1,188	Razón de consistencia	0,040

Fuente: (Saaty, T., 1980), **Elaboración:** El Autor, 2020

6.9.5. Determinación de los pesos de isoyetas.

Las precipitaciones en las parroquias de San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma son desde 301,45 hasta 1217,81 mm/año, obteniendo 4 clases, muy baja, baja, media y alta. La isoyeta con clase alta es la de mayor relevancia, ya que las altas precipitaciones son un detonante para los deslizamientos, debido a que la infiltración de agua en los materiales genera que estos disminuyan su estabilidad.

Tabla 22: Matriz de valoración de isoyetas

Isoyetas		Alta	Media	Baja	Muy Baja	Pesos
988,72 - 1217,81	Alta	1	2	3	4	0,467
759,63 - 988,72	Media	0,50	1	2	3	0,267
530,54 - 759,63	Baja	0,33	0,50	1	2	0,163
301,45 - 530,54	Muy Baja	0,25	0,33	0,50	1	0,102

Fuente: (Saaty, T., 1980)
Elaboración: El Autor, 2020

Tabla 23. Matriz normalizada para la variable de isoyetas

MATRIZ NORMALIZADORA				PESOS	M-MATRIZ	PROMEDIO
0,480	0,522	0,400	0,467	0,467	1,901	0,246
0,240	0,261	0,300	0,267	0,267	1,134	0,235
0,160	0,130	0,200	0,163	0,163	0,657	0,249
0,120	0,087	0,100	0,102	0,102	0,390	0,262
TOTAL				1,000	4,083	0,992

Índice de consistencia	0,028	Consistencia aleatoria	0,990	Razón de consistencia	0,028

Fuente: (Saaty, T., 1980)
Elaboración: El Autor, 2020

6.9.6. Determinación de los pesos de Susceptibilidad

Para la generación del mapa de susceptibilidad a deslizamientos es necesario analizar los componentes para asignar el valor en base a su importancia. En primer lugar, se colocó la geomorfología, ya que tiene mayor influencia al momento de suscitarse un deslizamiento; seguidamente se ubicó la geología, ya que se comprobó que existen materiales muy inestables debido a meteorización; en tercer puesto se encuentra isoyetas, ya que se considera como un factor detonante en caso de deslizamientos; posterior se ubicó la pendiente, se sabe que es un factor muy importante al momento de analizar este tipo de fenómenos por el factor de seguridad de los taludes; en último puesto se colocó el uso actual del suelo, una variable que no influye demasiado al momento de ocurrir un deslizamiento y debido a que el territorio en su mayoría está dentro de la clase de vegetación arbustiva.

Tabla 24: Matriz de valoración de la susceptibilidad final.

Susceptibilidad final	Geomorfología	Geología	Pendiente	Uso Actual del suelo	Isoyetas	**Pesos**
Geomorfología	**1**	2	2	3	3	0,346
Geología	0,50	**1**	2	3	3	0,260
Pendiente	0,50	0,50	**1**	3	3	0,201
Uso Actual del suelo	0,33	0,33	0,33	**1**	3	0,118
Isoyetas	0,33	0,33	0,33	0,33	**1**	0,075

Fuente: (Saaty, T., 1980)
Elaboración: El Autor, 2020

Tabla 25. Matriz normalizada para las variables de susceptibilidad final

MATRIZ NORMALIZADORA					**PESOS**	**M-MATRIZ**	**PROMEDIO**
0,38	0,480	0,353	0,290	0,231	0,346	1,847	0,187
0,19	0,240	0,353	0,290	0,231	0,260	1,414	0,184
0,19	0,120	0,176	0,290	0,231	0,201	1,083	0,186
0,13	0,080	0,059	0,097	0,231	0,118	0,611	0,194
0,13	0,080	0,059	0,032	0,077	0,075	0,383	0,195
TOTAL					1,000	5,338	0,945

Índice de consistencia	0,084	Consistencia aleatoria	1,188	Razón de consistencia	0,071

Fuente: (Saaty, T., 1980),
Elaboración: El Autor, 2020

Al contar con cada uno de los pesos de las variables a considerar se procedió a realizar el mapa de susceptibilidad empleando la herramienta *Model Builder*, donde se cargan todas las herramientas necesarias y se ingresan los insumos de la siguiente forma:

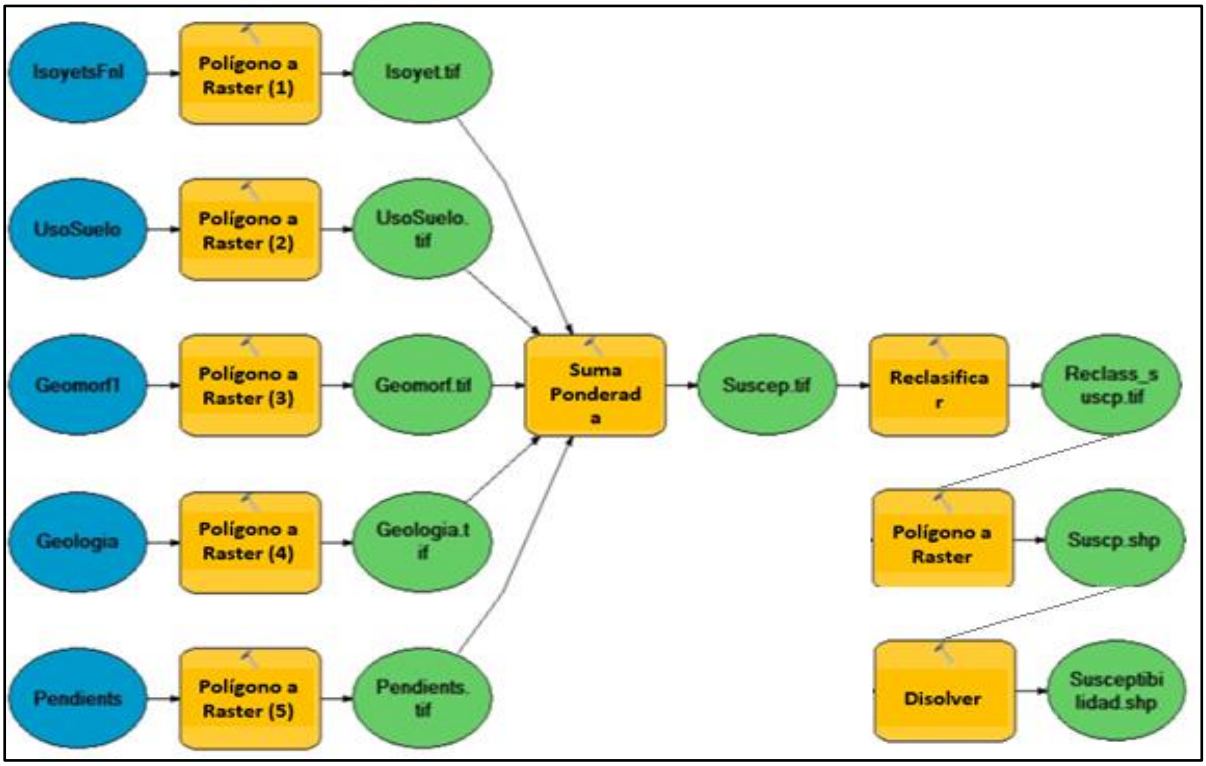


Figura 49: Esquema "Model Builder" para la generar el mapa de susceptibilidad a deslizamientos.
Fuente: El Autor, 2020

6.9.7. Interpretación del Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos

Con la herramienta de suma ponderada y al tener clara la jerarquía de cada una de las variables, se crea un ráster en donde se agrupan y se genera el mapa de susceptibilidad a deslizamientos de escala 1:25 000, se ha clasificado en 5 categorías como indica la tabla 26.

Tabla 26: Clases de susceptibilidad a deslizamientos.

Color	Clase	Rango	Área (Km^2)	Porcentaje
	Muy Baja	1,42 - 2,4	2,98	0,99
	Baja	2,4 - 3,39	16,35	5,42
	Media	3,39 - 4,38	145,06	48,05
	Alta	4,38 - 5,37	117,53	38,93
	Muy Alta	5,37 - 6,36	19,96	6,61

Fuente: El Autor, 2020

- Susceptibilidad Muy Baja

Corresponde a 2.98 km2, igual al 0.99%, localizadas en las cercanías del río Guayabal, dentro de esta zona de susceptibilidad se encuentran geoformas como colinas bajas, coluvión, terraza aluvial y coluvio aluvial; representados litológicamente por bloques, cantos y guijarros de rocas volcánicas y metamórficas en matriz arenosa característicos de depósitos cuaternarios, por conglomerados, lutitas y areniscas, facies de calizas y yesos de la formación Catamayo, por secuencias volcánicas y volcanosedimentarias, tobas andesíticas y riolíticas de la Unidad Guayabal y rocas intrusivas como la granodiorita, dentro de esta área se tienen pendientes ligeramente inclinadas a fuertemente inclinadas con rangos de 0° a 15°; y el uso de suelo generalmente está relacionado a la actividad agropecuaria, aquí también encontramos cuerpos de agua. La susceptibilidad baja a deslizamientos también se debe a que las precipitaciones en el sector son de muy bajas a bajas.

- Susceptibilidad Baja

Se encuentra relacionado a aquellas laderas con pequeñas fisuras y materiales poco erosionados, dentro de esta zona encontramos colinas bajas, coluvión, terraza aluvial y coluvio aluvial, relieve colinado medio y vertientes irregulares, abarcando un área de 16.35 km^2, igual al 5.42% en pendientes ligeramente inclinadas a muy inclinas con rangos de 0° a 35°; en cuanto a su uso de suelo, este en gran parte está ocupado por tierra agropecuaria y vegetación arbustiva, y las precipitaciones en este sector son de muy bajas a medias. Litológicamente encontramos materiales estables, poco meteorizados como bloques, cantos y guijarros de rocas volcánicas y metamórficas en matriz arenosa característicos de depósitos cuaternarios; conglomerados, lutitas y areniscas, facies de calizas y yesos de la formación Catamayo; secuencias volcánicas y volcanosedimentarias, tobas andesíticas y riolíticas de la Unidad Guayabal; sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas correspondientes a la Unidad

Changuarpamba; andesitas basálticas masivas de la Unidad Changaimina y rocas intrusivas como la granodiorita y diorita.

- Susceptibilidad Media

La susceptibilidad media es la clase que abarca mayor área estudio especialmente en la parroquia San Pedro de la Bendita, en laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados, donde se han podido registrar deslizamientos, cubre una extensión de 145,06 Km^2, los que significa el 48.05%, de igual forma presenta vegetación arbustiva, y tierra agropecuaria, a más de ellos aquí encontramos bosque nativo en pendientes de 5° a 55°, precipitaciones de clase baja a alta; litológicamente se caracteriza avalanchas de bloques angulosos de rocas volcánicas y metamórficas perteneciente a depósitos coluviales; conglomerados, lutitas y areniscas, facies de calizas y yesos de la formación Catamayo; secuencias volcánicas y volcanosedimentarias, tobas andesíticas y riolíticas de la Unidad Guayabal; sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas correspondientes a la Unidad Changuarpamba; rocas volcanoclásticas de grano fino, tobas y grauvacas de la Unidad Bramaderos; pizarras, filitas, cuarcitas y esquitos micáceos de la Unidad La Victoria, andesitas basálticas masivas de la Unidad Changaimina y rocas intrusivas como la diorita.

- Susceptibilidad Alta

La clase de susceptibilidad alta, con 117.53 km^2, lo mismo que es 38.93%, aquí tenemos relieve montañoso, relieve colinado alto y medio, como también vertientes irregulares; caracterizadas por pendientes muy inclinadas a verticales, es decir con rangos de 15° a >55°, sus materiales litológicos se encuentran seriamente alterados o meteorizados, donde se pueden mencionar sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas, correspondientes a la Unidad Changuarpamba; rocas volcanoclásticas de grano fino, tobas y grauvacas de la Unidad Bramaderos; pizarras, filitas, cuarcitas y esquitos micáceos de la Unidad La Victoria, metagranodioritas, paragneis, gneises migmatíticos y ortogneises de la Unidad La Bocana y

por último areniscas, limolitas y lutitas, no metamorfizadas con intercalaciones de cuarcitas y filitas de la Unidad El Tigre, prevalece la vegetación arbustiva y las isoyetas de clase media a alta.

- Susceptibilidad Muy Alta

La clase muy alta se localiza al norte de la zona de estudio, aproximadamente todo el territorio de Guayquichuma, esta clase abarca el 19.96 km^2 del territorio. Las precipitaciones en el sector son de medias a altas, en cuanto a su litología, los materiales son inestables, meteorizados y saturados y con presencia de discontinuidades desfavorables, dentro de esta área se han podido registrar un gran número de deslizamientos, según el análisis de la información generada, se determina que, de los 37 deslizamientos encontrados en la parroquia Guayquichuma, 20 de ellos se encuentran en el área de susceptibilidad muy alta. Se ubican en pendientes que van de 15° a >55°, dentro de esta área se encuentran bosque nativo y tierra agropecuaria.

En cuanto a la litología tenemos sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas correspondientes a la Unidad Changuarpamba; metagranodioritas, paragneis, gneises migmatíticos y ortogneises de la Unidad La Bocana y por último areniscas, limolitas y lutitas, no metamorfizadas con intercalaciones de cuarcitas y filitas de la Unidad El Tigre.

Para la validación de esta información se tomó en consideración el inventario de deslizamientos realizado durante el trabajo de campo.

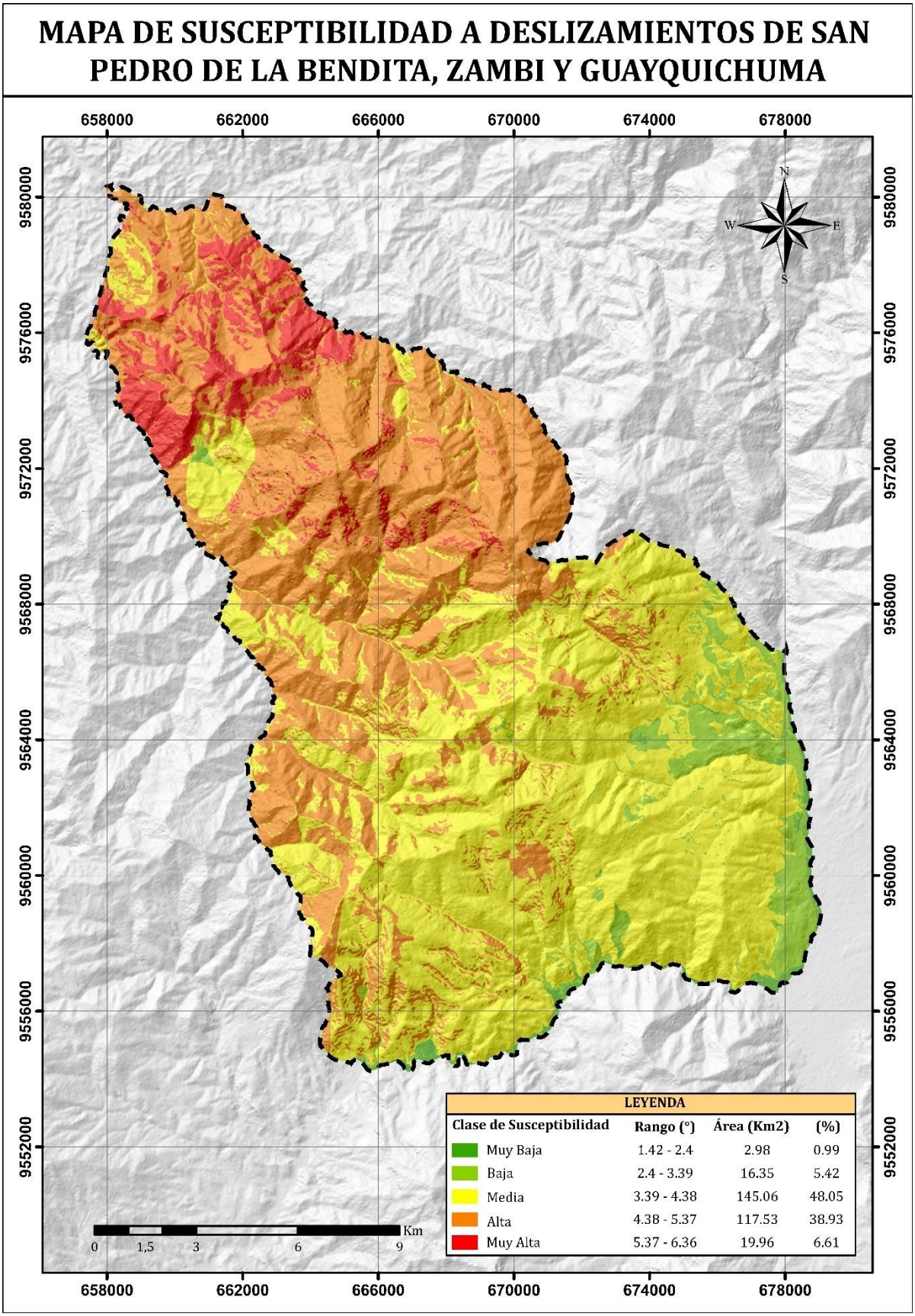


Figura 50: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma
Fuente: El Autor, 2020

6.9.7.1. Correlación con los puntos de deslizamientos.

Las zonas de susceptibilidad a deslizamientos obtenidas en las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma son: muy bajas, bajas, medias, altas y muy altas; donde a partir de la correlación se ha verificado que los deslizamientos cartografiados se encuentran en las tres últimas clases de susceptibilidad, siendo un total de 57 deslizamientos.

En cuanto al inventario de deslizamientos, se puede decir que el mayor número se encuentra ubicado en las vías que conectan a las parroquias, donde se ha podido observar que en cuanto al material litológico que los compone se encuentra muy meteorizado y en pendientes de rangos de 15° a 55°; en relación a la geomorfología tenemos que este tipo de movimientos en masa dentro del área de estudio se presentan en relieves montañosos con un total de 40, en relieve colinado alto con un total de 10, relieve colinado medio con 2, en vertientes irregulares tenemos 4 y en la cuesta un deslizamiento. También se debe considerar que justamente donde existen el mayor número de deslizamientos, se dan mayor número de precipitaciones, siendo sin duda este un factor contribuyente a la rotura de la ladera, donde se puede dar lugar al aumento de la presión de los poros, lo que reduce la resistencia del material, a más de ello el agua actúa como un agente de meteorización.

A continuación, se muestra la distribución de los deslizamientos levantados en el área de estudio relacionado a la clase de susceptibilidad.

Tabla 27. Puntos de corroboración de zonas de susceptibilidad

N°	Sector del deslizamiento	Área de deslizamiento (Ha)	Clase de Susceptibilidad	Unidad de relieve
0	La Primavera	0,011919	Alta	Relieve colinado alto
1	Chiguango Bajo	0,07162	Muy alta	Relieve colinado alto
2	Chiguango Bajo	0,698098	Muy alta	Relieve montañoso
3	Chiguango	2,27378	Muy alta	Relieve montañoso
4	Chiguango	0,128094	Muy alta	Relieve montañoso
5	Chiguango	0,376103	Muy alta	Relieve montañoso
6	Chiguango	0,09518	Muy alta	Relieve montañoso
7	Chiguango	0,030433	Muy alta	Relieve montañoso

8	Chiguango	0,042087	Muy alta	Relieve montañoso
9	Chiguango	0,030147	Muy alta	Relieve montañoso
10	Chiguango	0,256882	Muy alta	Relieve montañoso
11	El Tambo	0,02084	Muy alta	Relieve montañoso
12	El Tambo	0,014599	Muy alta	Relieve montañoso
13	El Tambo	0,539858	Muy alta	Relieve montañoso
14	Santa Ana	0,443892	Muy alta	Relieve montañoso
15	Rumi	0,034355	Alta	Cuesta
16	Rumi	0,011966	Muy alta	Relieve colinado medio
17	Rumi	0,008118	Alta	Relieve colinado medio
18	Rumi	0,037252	Muy alta	Relieve montañoso
19	Rumipotrero	0,012274	Muy alta	Relieve montañoso
20	Rumipotrero	0,006902	Muy alta	Relieve montañoso
21	Rumipotrero	0,174284	Muy alta	Relieve montañoso
22	Rumipotrero	0,024677	Muy alta	Relieve montañoso
23	Rumipotrero	0,071322	Alta	Relieve montañoso
24	Rumipotrero Alto	0,028607	Muy alta	Relieve montañoso
25	Rumipotrero Alto	0,032906	Muy alta	Relieve montañoso
26	Rumipotrero Alto	0,010756	Muy alta	Relieve montañoso
27	Chiguango Bajo	0,040712	Alta	Relieve montañoso
28	Chiguango Bajo	0,030892	Alta	Relieve colinado alto
29	Chiguango Bajo	0,034812	Alta	Relieve colinado alto
30	Chiguango	0,507702	Alta	Relieve montañoso
31	Chiguango	0,01603	Alta	Relieve montañoso
32	Chiguango	0,024059	Alta	Relieve montañoso
33	Chiguango	0,015613	Alta	Relieve montañoso
34	Chiguango	0,040029	Alta	Relieve montañoso
35	Miraflores	0,396296	Alta	Relieve colinado alto
36	Miraflores	0,42028	Alta	Relieve colinado alto
37	Miraflores	0,088006	Alta	Relieve colinado alto
38	Miraflores	0,298836	Alta	Relieve colinado alto
39	El Carmelo	0,069698	Alta	Relieve montañoso
40	La Chora	0,068112	Alta	Relieve montañoso
41	La Chora	0,243821	Alta	Relieve montañoso
42	La Chora	1,874147	Alta	Relieve montañoso
43	La Chora	0,293216	Alta	Relieve montañoso
44	La Chora	0,028796	Alta	Relieve montañoso
45	Las Chinchas	0,283277	Alta	Relieve montañoso
46	Las Chinchas	0,205593	Alta	Relieve montañoso
47	Las Chinchas	0,368	Media	Relieve montañoso

48	Aguasillas	2,907866	Alta	Vertiente irregular
49	Aguasillas	0,124763	Alta	Relieve montañoso
50	Las Chinchas	0,822865	Alta	Relieve montañoso
51	San Vicente	0,04774	Media	Relieve colinado alto
52	Las Conchas	0,431452	Alta	Relieve colinado alto
53	La Bendita	0,276542	Alta	Vertiente irregular
54	La Bendita	0,207097	Alta	Vertiente irregular
55	La Bendita	0,087213	Alta	Vertiente irregular
56	El Limo	0,081344	Media	Relieve montañoso

Fuente: El Autor, 2020

En función al inventario de deslizamientos se tiene que 3 deslizamientos se encuentran en susceptibilidad media, 31 deslizamientos en susceptibilidad alta y 23 deslizamientos dentro de la susceptibilidad muy alta. Considerando tanto la susceptibilidad alta como muy alta se tiene una eficacia del método de Saaty de 94,74%.

7. Discusión de Resultados

La importancia de contar con información cartográfica confiable y actualizada enfocada en la gestión del territorio, es fundamental, ya que a partir de esto es posible la ejecución idónea de proyectos que ayudan al desarrollo del cantón, también reconoce la importancia del relieve como un factor que controla la distribución de la población.

En el área de estudio se ha realizado con anterioridad un trabajo (PDYOT de Catamayo 2014-2019) con información proporcionada por SENPLADES las cuales recopilan información del estudio realizado por PRONAREG (1984) dentro del cual mencionan como formas de relieve colinas altas, colinas medianas, laderas coluviales, relieve escarpado, talud de derrubios, terraza aluvial, terraza baja, vertientes convexas, vertientes cóncavas, vertientes irregulares, zonas urbanas y zonas deprimidas. Esta información ha servido de guía para determinar de mejor forma las unidades geomorfológicas en el presente trabajo de investigación.

La metodología usada en el presente proyecto de investigación es la propuesta por el Ministerio del ambiente (2013) para determinar el Modelo de Unidades Geomorfológicas para la Representación cartográfica de Ecosistemas del Ecuador Continental, en este caso la escala trabajada es de 1:25.000. Esta metodología se basa en un análisis cuantitativo, en la que se delinean automáticamente mediante una clasificación No supervisada Isodata de las formas del terreno, descritas como elementos tridimensionales de la superficie de la tierra tomando en cuenta su forma, tamaño y topografía, elementos que van desde unidades de macrorelieve a unidades de mesorelieve. En este caso la metodología realiza un análisis a través de procesos semiautomáticos para la generación de la información a través de índices topográficos a partir de un MDT de ALOS PALSAR con empleo de herramientas SIG, en esta ocasión la generación de los índices se hizo con ENVI 5.3, un potente software para el análisis topográfico, que da como resultado agrupaciones espectrales (morfometría)

El resultado obtenido de la clasificación no supervisada se lo ajusta y edita en el Software ArcGIS 10.5 ya que por ser un proceso automático no posee una precisión absoluta y tomando en cuenta que dentro de la representación cartográfica de las geoformas, el análisis de la calidad de los datos es necesaria para que puedan servir de insumo para generar información posterior, se realizó un proceso de validación en campo con un mapeo de las geoformas, como también interpretación de ortofotos, visualizaciones en 3D y el mapa de sombras; con todo ello se pudo pasar de un mapa de unidades morfométricas a unidades morfológicas.

Como resultado del procesamiento de la información mediante la metodología seguida en las parroquias San Pedro de la Bendita, Zambi y Guayquichuma a escala de 1:25000, se definió 9 geoformas con respecto a mesorelieve y 5 en cuanto a macrorelieve. El trabajo de campo ha permitido corroborar la información obtenida en cuanto a las geoformas y generar cartografía adicional como geología, la misma que ha permitido establecer la génesis (tectónico-erosivo, estructural, denudativo y deposicional.) y edad (Cuaternario - Paleozoico) de las unidades de relieve; uso actual del suelo, y mapa de susceptibilidad; dentro de esta última se involucraron variables como isoyetas y pendientes a más de las mencionadas anteriormente.

Como se ha mencionado los resultados de geomorfología fueron obtenidos empleando la metodología del MAE, definiendo 6 atributos a cada unidad geomorfológica (macrorelieve, mesorelieve, génesis, edad, área y porcentaje). los atributos mencionados fueron establecidos mediante procesos digitales dentro de una plataforma SIG y por técnicas de fotointerpretación controladas en computadora.

La unidad geomorfológica identificada dentro de la génesis tectónico – erosivo, es decir de génesis tectónica y que ha sido modelada por la erosión con diferentes niveles de intensidad de diferentes factores tanto endógenos como exógenos son: relieve montañoso, relieve colinado alto, relieve colinado medio y vertientes irregulares; estas geoformas comprenden 281.44 km^2, equivalente al 93.23% y se han desarrollado sobre las materiales volcano – sedimentarios de la

Unidad Bramaderos y Unidad Guayabal; volcanoclásticos de la Unidad Chaguarpamba; y metamórficos de la Unidad La Bocana y El Tigre, presentan desniveles relativos característicos como: 25 - 75 metros para Relieve Colinado Medio, de 75 – 200 metros para el Relieve Colinado Alto, y un rango >200 metros para Relieve Montañoso, y se caracterizan por pendientes fuertemente inclinadas a verticales.

La geoforma relacionada a la génesis estructural en el área de estudio con las vertientes irregulares y cuesta, las mismas que se encuentran dispersas por la zona de estudio y abarcan un área de 10.86 km^2, siendo el 3.6% del área total. Litológicamente se encuentran representados por sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas, de la Unidad Chaguarpamba; también por areniscas, limolitas y lutitas de la Unidad El Tigre, encontrándose entre pendientes fuertemente inclinadas a verticales con rangos de 5° a >55°.

También se encuentra geoforma de génesis denudativo abarcando un área de 2.98 km^2, equivalente al 0.98% del área total y se encuentra representado por coluviones y coluvio aluvial, litológicamente se depósitos cuaternarios y en pendientes que van de 0° a 55°.

Además, se encuentra unidades geomorfológicas de origen deposicional cubriendo un area de 6.62km^2 que constituyen un 2.19% del territorio, en la cual encontramos colinas bajas, cuesta y terraza aluvial; donde esta última sigue el curso del río Guayabal, presenta pendientes ligeramente inclinadas; en cambio, las colinas bajas y cuestas tienen pendientes que varían entre ligera a fuertemente inclinadas. Dentro de esta unidad se tiene la depositación de material transportado por medios mecánicos producto de la desintegración de materiales preexistentes.

Para dar confiabilidad al trabajo de investigación después de haber definido las unidades de relieve se realizó la validación de estas geoformas mediante 90 puntos de control levantados en campo, con el fin de corroborar la información generada, teniendo dentro del macrorelieve de montaña un total de 35 puntos, 23 dentro de serranía, 22 en penillanura, 4 en piedemonte y por ultimo 6 en valle; dentro del mesorelieve se tiene que 35 puntos correspondes a relieve

montañoso, 15 al relieve colinado alto, 8 al relieve colinado medio, 6 a las vertientes irregulares, 1 a la cuesta, 3 a colinas bajas, 13 a coluvión, 3 a coluvio aluvial y 6 puntos registrados de terraza aluvial.

De la metodología implementada se han obtenido resultados de alta relación espacial entre la morfometría y la validación de macrorelieve y mesorelieve, ya que las geoformas definidas presentan características de gran calidad y validez, por lo tanto, esta información podría ser utilizada para actualizar el PDOT del cantón Catamayo, y ser empleada como insumo dentro del apartado de susceptibilidad a deslizamientos.

Con respecto al objetivo relacionado a la susceptibilidad de deslizamientos, se lo realizó mediante el análisis jerárquico de Saaty, donde se involucró cuatro variables condicionantes como la geología, la geomorfología, pendientes, uso actual del suelo y un factor desencadenante como son las precipitaciones; para lograr un correcto juicio de importancia se valoró y revisó varias veces la información a más de ello se consideró las características reales de cada variable observadas en el trabajo de campo, además se involucró el inventario de deslizamientos, el mismo que permitió corroborar las zonas de mayor susceptibilidad.

Las zonas de alta y muy alta susceptibilidad a deslizamientos, está comprendida por geoformas de relieve montañoso, relieve colinado alto, relieve colinado medio y vertientes irregulares; con litologías pertenecientes a la Unidad El Tigre, donde encontramos areniscas, limolitas y lutitas, no metamorfizadas con intercalaciones de cuarcitas y filitas, la Unidad La Bocana con metagranodioritas, paragneis, gneises migmatíticos y ortogneises, la Unidad La Victoria con pizarras, filitas, cuarcitas y esquitos micáceos, la Unidad Chaguarpamba caracterizada por sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas, estas zonas de susceptibilidad se encuentran con pendientes desde los 15° hasta los 76° de inclinación, provocando que dichas zonas sean más susceptibles a deslizamientos y por ende no debería

implementarse ninguna actividad antrópica relacionada a la expansión poblacional de las parroquias y su desarrollo, sin haber realizado un estudio previo para su ejecución.

Las zonas susceptibilidad media a deslizamientos, está comprendida por geoformas de relieve montañoso, relieve colinado alto, relieve colinado medio, vertientes irregulares y cuestas; litológicamente pertenecientes a la Formación Catamayo con conglomerados, lutitas y areniscas, facies de calizas y yesos, a la Unidad La Victoria con pizarras, filitas, cuarcitas y esquitos micáceos, a la Unidad Chaguarpamba, caracterizada por sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas, a la Unidad Guayabal con secuencias volcánicas y volcanosedimentarias, tobas andesíticas y riolíticas, a la Unidad Changaimina con andesitas basálticas masivas, a la Unidad Bramaderos con rocas volcanoclásticas de grano fino, tobas y grauvacas, esta zona de susceptibilidad se encuentran con pendientes desde los 5° hasta los 55° de inclinación.

Las zonas de susceptibilidad a deslizamientos de menor área, son la susceptibilidad baja y muy baja, en donde dichas zonas presentan geoformas de relieve colinado medio, colinas bajas, terrazas aluviales, coluvio aluvial y coluvión; con litologías pertenecientes a la depósitos cuaternarios, la Formación Catamayo con conglomerados, lutitas y areniscas, facies de calizas y yesos, la Unidad Guayabal con secuencias volcánicas y volcanosedimentarias, tobas andesíticas y riolíticas, a la Unidad Changaimina con andesitas basálticas masivas, y rocas intrusivas como la diorita y granodiorita, las pendientes en esta zona están entre 0° a 15° de inclinación, por ellos dicha zona es menos susceptible a deslizamientos; además en estas zonas las precipitaciones son escasas. Se encuentra cubierto en mayor parte por cultivos y cuerpos de agua.

El resultado obtenido en cuanto a las zonas de susceptibilidad también es importante validarlo para darle mayor credibilidad al trabajo de investigación, por esta razón se realiza una correlación de los deslizamientos cartografiados donde se describe la zona de susceptibilidad

con la que se encuentran asociado. Dentro de este apartado se registraron 57 deslizamientos, 37 de ellos en la parroquia Guayquichuma, 11 en Zambi y los 9 restantes en San Pedro de la Bendita. Los deslizamientos ubicados en Guayquichuma conforman un área de 7,01 hectáreas; los de Zambi 3,82 hectáreas y los de San Pedro un área de 4,98 hectáreas.

Es importante mencionar, al demostrarse que la susceptibilidad más alta se localiza en la parroquia Guayquichuma, que los 37 deslizamientos encontrados en dicha parroquia, 23 de ellos se encuentran sobre susceptibilidad muy alta y 14 sobre susceptibilidad alta, considerando el valor de estos deslizamientos se tiene que la eficacia del método utilizado para la generación del mapa de susceptibilidad a deslizamientos es de 94.74%.

Trabajos de susceptibilidad a deslizamientos no se han realizado a detalles dentro de la zona de estudio, por lo que el presente trabajo es de gran importancia al momento de ejecutar proyectos de ampliación de zonas urbanizables.

8. Conclusiones

Se ha obtenido la cartografía base mediante el procesamiento del DEM en la plataforma SIG, utilizando una variedad de herramientas y datos, enfocados en la identificación de unidades de relieve, analizando sombreado y curvaturas.

Las unidades geomorfologías presentan 3 características o atributos como: edad, génesis y una clase superior que las contiene. Para determinar la edad y génesis se utilizó como base la geología del área de estudio, que se obtuvo mediante el levantamiento de información en campo e información digital.

Se han identificado 5 unidades de macrorelieve y 9 unidades de mesorelieve las cuales han sido generadas por 4 procesos como: tectónico-erosivo, estructural, denudativo y deposicional. La identificación de las unidades, a más de ser mediante un procesamiento de información digital. Se ha logrado a través de análisis del terreno en 3D e interpretación de fotografías, ya sean aéreas o del paisaje.

La unidad geomorfológica de macrorelieve denominada como Montaña cubre un área de 208,72 km^2, correspondiente al 69,14% del área total, convirtiéndose en la unidad de predominante en la zona; la unidad denominada serranía cuenta con 62,12 km^2, que corresponde al 20,58% del área total de estudio; la unidad de macrorelieve denominada penillanura cubre 24 km^2, es decir el 8% del área; la unidad de macrorelieve nombrada como valle ocupa 3,70 km^2 , es decir 1,23%; la menor unidad de macrorelieve es piedemonte, con 3,18 km^2, lo que es igual a 1,06%.

Con respecto al mesorelieve, el Relieve Montañoso presenta la mayor extensión con 208,72 km^2, es decir, el 69,14% del área total; la unidad de mesorelieve denominada relieve colinado alto tiene 51,55 km^2 de extensión, es decir, el 17,08%; relieve colinado medio cuenta con 10,57 km2, el cual corresponde al 3,50%; vertientes irregulares tiene una extensión de 10,57 km^2, el cual corresponde al 3,50%; Coluvión cuenta con 2,72 km^2 de extensión, lo cual equivale al

0,90% del área total; coluvio aluvial consta con un área de 0,68 km^2, por lo tanto, el 0,22 % del área de estudio; colinas bajas presenta una extensión de 2,65 km^2, lo cual equivale al 0,88%; el área de la unidad geomorfológica denominada terraza aluvial es de 3,70 km^2, correspondiente al 1,23%; y por último tenemos la unidad denominada cuesta, que cuenta con menor área, con 0.53 km^2, que corresponde al 0.18% del área.

El mapa de susceptibilidad se ha generado utilizando 5 componentes o variables, que son: geomorfología, geología, uso de actual del suelo, pendientes e isoyetas. La geomorfología se ha complementado con el inventario de deslizamientos, el cual consta con 57 deslizamientos levantados mediante salidas de campo y fotointerpretación. Se ha obtenido 5 clases de susceptibilidad que presentan los siguientes rangos: susceptibilidad muy baja de 1,42 a 2,4; susceptibilidad baja de 2,4 a 3,39; susceptibilidad media de 3,39 a 4,38; susceptibilidad alta de 4,38 a 5,37 y, por último, susceptibilidad muy alta de 5,37 a 6,36.

La susceptibilidad muy baja representa el 0,99% del área (2,98 km^2); susceptibilidad baja el 5,42% del área (16,35 km^2); susceptibilidad media el 48,05% del área (145,06 km^2); susceptibilidad alta comprende el 38,93% del área, es decir, 117,53 km^2 y para finalizar la susceptibilidad muy alta cubre el 6,61% del área total, que se refiere a 19,96 km^2.

9. Recomendaciones

La información recopilada en campo debe ser lo más clara y ordenada posible, con el objetivo de facilitar el trabajo de oficina y, por ende, la obtención de resultados confiables.

Utilizar información bibliográfica actualizada y fundamentada, necesaria para enfocar mejor de mejor manera el cumplimiento de los objetivos.

El tratamiento o gestión del DEM debe realizarse en base a un polígono uniforme, ya que, si se lo trabaja recortado, se dificulta la correlación con las geoformas que se encuentran próximas al área de estudio y nuestros resultados pueden verse afectados.

La aplicación de los filtros luego de la Clasificación Automática No Supervisada Isodata es primordial para mejor interpretación de las unidades morfométricas y por ende obtener mejores resultados finales.

Es muy importante el uso de cartografía homóloga de diferentes fuentes o escalas, con la finalidad de tener indicios al momento de realizar la validación en campo y en oficina.

10. Referencias Bibliográficas

Agueda, J.; Anguita, F.; Araña, V.; López Ruiz, J. y Sánchez de la Torre, L. . (1977). *Geología.* Madrid, España: Rueda.

Arcila, G. (2003). *Sistemas de Información Geográfica y Medio Ambiente: Principios Básicos. Universidad de Cadiz.* Cadiz, España.

Bakker, X. (2005). En *Taller: Análisis y modelamiento espacial.* Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Bates, R.L. y Jackson. (1980). *Glassary of Geology.* Virginia: American Geological Institute.

Bergoeing, J. P. (2008). *Interpretación Geomorfológica del volcán Barú, Panamá.* Pan American Institute of Geography and History.

C. Ayala y Corominas, 2. (2002). *Mapas de suscpetibilidad a movimientos de ladera con técnicas SIG.* Madrid, España: Ariel.

C. Gómez y García J. (2006). Guía técnico científica para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Colombia.

Centeno, J., Fraile, J., & otros. (1994). *Geomorfología Práctica: Ejercicios de fotointerpretación y planificación geoambiental.* Madrid, España: Rueda.

Ch. Miller y R. Laflamme. (1958). En *Modelos Digitales de Terreno.* Massachussetts.

Ch. Miller y R. Laflamme. . (1958). *En Modelos Digitales de Terreno.* Massachussetts, USA.

Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de Teledetección espacial (3ª ed.). Madrid, España: Rialp.

CLIRSEN. (2010). *Proyecto: "Generación de Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1:25.000". Geomorfología. Metodología.* Quito, Ecuador.

Complutense. (2004). Diccionario de Ciencias de la Tierra.

Copons R. y Tallada A. (2009). Movimiento de Ladera: Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra.

Duque, G. (2013). Manual de Geología para ingenieros. Manizales, Colombia.

Erwin, R. (1985). *(1985). Cartografía general (séptima edición).* Barcelona, España: Omega.

Exelis Visual Information Solutions. (2015). Harris Geospatial. Retrieved from www.harrisgeospatial.com.

F. Lutgens y E. Tarbuck . (2005). Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física. (8° ed). Madrid, España: Pearson S.A.

Fernández, L. M. (2014). *CALCULO DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTO DELTERRENO EN LORCA MEDIANTE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA.* Madrid.

Francisco, V. (1987). *Introducción a la Geografía Física,.* Mexico: Ed. Herrero.

Francisco, V. R. (s.f.). *Introducción a la Geografía Física,.* Ed. Herrero.

George, P. (1974). *Diccionario de la Geografia* . Francia: Presses Universitaires de France.

Gutiérrez J. y Gould, M. (1994). En *Sistemas de Información Geográfica.* Madrid, España.

Hungerbuhler, D. (1997). *Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador.* Amsterdam.

INEC. (2010). *Censo Económico y Social 2010.* Loja, Ecuador.

Instituto Espacial Ecuatoriano . (2015). Generación de Geoinformación Para la Gestión delTerritorio a Nivel Nacional. Geomorfología. Metodología.

Josse. (2003). *El Sistema de Clasificación de NatureServe.*

Josse et al. (2003). Sistema de Clasificación de Ecosistemas para el Ecuador continental.

Kennerley, J. (1973). *Geology of loja province southern Ecuador.* London: Prince Gate.

Kennerley, J. (1973). *Geology of Loja Province, southern Ecuador, Report No 23.* London: Institute of Geological Sciences (Overseas Division). Photogeological Unit.

Lugo Hubp, J. (1988). *Elementos de geomorfológica aplicada (Métodos cartográficos)* . México: Instituto de Geografía, UNAM.

MAE. (2013). Modelo de Unidades Geomorfológicas para la Representación Cartográfica de Ecosistemas en el Ecuador Continental. Quito, Ecuador.

Ministerio del Ambiente. (2013). Modelo de Unidades Geomorfológicas para la Representación Cartográfica de Ecosistemas en el Ecuador Continental. Quito, Ecuador.

Noriega., A. (2005). Inestabilidad de laderas, mapas de amenazas, recomendaciones técnicas para su elaboración.

PDYOT. (2014-2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Catamayo.*

Pérez, A. (2011). Introducción a los Sistemas de Información Geográfica y Geotelemática. Barcelona, España: UOC.

Pratt, W. (1997). *MAPA GEOLÓGICO DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL ENTRE 3° - 4° S, ESCALA 1:200000.* Quito.

Saaty, T. (1980). How to make a decision: the analytic hierarchy process. En T. Saaty. Pittsburgh.

SENPLADES. (2010). *Análisis Geomorfológico de Catamayo.* Quito, Ecuador.

Solutions, E. V. (2012).

Steinmann. (1997). *Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador.* Amsterdam.

Summerfield; Tricart. (1991). *Global Geomorphology. Longman, Principes et méthodes de la géomorphologie.* Masson, Paris.

Teixeira, A., & Teixeira, J. A. . (2008). Novo Dicionário Geológico - Geomorfológico. Río de Janeiro, Brazil.

Turismo, M. d. (2017). *Análisis de movilidad en la provincia de Loja.* Loja, Ecuador.

Vidal, J. N. (2012). *SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA DE MOVIMIENTOS DE LADERA MEDIANTE SIG.* Madrid.

Villota, H. (1997). *Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno.* Santa Fé, Bogotá.

Villota, H. (1997). Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno. Santa Fé, Bogotá.

Vink, A. P. (1975). *Land Use in Advancing Agriculture.* Berlin.

Wood, J. (1996). *The Geomorphological Characterization of Digital Elevation Models.* University of Leicester. Leicester.: Doctoral Thesis.

11. Anexos

ANEXO 1

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

(FICHAS)

ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS SAN PEDRO DE LA BENDITA, ZAMBI Y GUAYQUICHUMA PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR

Ficha para caracterización de afloramientos | **FICHA N°** | **1**

DATOS GENERALES

LOCALIZACION GEOGRAFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	**Datum**	WGS-1984
Cantón	Catamayo	**Coord. X**	668910
Parroquia	San Pedro de la Bendita	**Coord. Y**	9561399
Barrio	Sector Las Chinchas	**Altura (m.s.n.m.)**	1823

CARACTERISTICAS			DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Tipo de afloramiento	Natural		Lutita de color amarillento a rojizo con poca humedad
Formación	Unidad Chaguarpamba		
Estado de afloramiento	Meteorización media		
Humedad	Baja		
Textura	Bloques		
Estructura	Masivo		
Tipo de Material	Lutita		
Dimensiones	**Ancho**	100 m	
	Alto	7 m	

ELEMENTOS DE YACENCIA		OTRAS OBSERVACIONES:
Azimut		Afloramiento localizado dentro de la Unidad Chaguarpamba
Buzamiento		
Dirección de Bz.		

FOTOGRAFÍA

ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS SAN PEDRO DE LA BENDITA, ZAMBI Y GUAYQUICHUMA PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR

Ficha para caracterización de afloramientos | **FICHA N°** | **2**

DATOS GENERALES

LOCALIZACION GEOGRAFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	**Datum**	WGS-1984
Cantón	Catamayo	**Coord. X**	674140
Parroquia	San Pedro de la Bendita	**Coord. Y**	9564603
Barrio	La Concha	**Altura (m.s.n.m.)**	1696

CARACTERISTICAS			DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Tipo de afloramiento	Natural		Lava andesítica de color verdoso, de dureza alta y con presencia de caliza
Formación	Unidad Guayabal		
Estado de afloramiento	Meteorización media		
Humedad	Baja		
Textura	Bloques		
Estructura	Masivo		
Tipo de Material	Tobas andesíticas		
Dimensiones	**Ancho**	6 m	
	Alto	3 m	

ELEMENTOS DE YACENCIA		OTRAS OBSERVACIONES:
Azimut	105	Afloramiento localizado dentro de la Formación Catamayo
Buzamiento	54°	
Dirección de Bz.	193	

FOTOGRAFÍA

ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS SAN PEDRO DE LA BENDITA, ZAMBI Y GUAYQUICHUMA PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR

Ficha para caracterización de afloramientos | **FICHA N°** | **3**

DATOS GENERALES

LOCALIZACION GEOGRAFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	**Datum**	WGS-1984
Cantón	Catamayo	**Coord. X**	674184
Parroquia	San	**Coord. Y**	9564648
Barrio	La Concha	**Altura (m.s.n.m.)**	1692

CARACTERISTICAS			DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Tipo de afloramiento	Artificial		Lutita púrpura y conglomerados con presencia de caliza
Formación	Formación Catamayo		
Estado de afloramiento	Estable con presencia de erosión		
Humedad	Media		
Textura	Fina		
Estructura	Estratificada		
Tipo de Material	Sedimentario		
Dimensiones	**Ancho (m)**	30	
	Alto (m)	6.5	

ELEMENTOS DE YACENCIA		OTRAS OBSERVACIONES:
Azimut	47°	Presencia de lámina de caliza sobre las lutitas
Buzamiento	20°	
Dirección de Bz.	137°	

FOTOGRAFÍA

ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS SAN PEDRO DE LA BENDITA, ZAMBI Y GUAYQUICHUMA PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR

Ficha para caracterización de afloramientos | **FICHA N°** | **4**

DATOS GENERALES

LOCALIZACION GEOGRAFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	**Datum**	WGS-1984
Cantón	Catamayo	**Coord. X**	674237
Parroquia	San Pedro de la Bendita	**Coord. Y**	9564700
Barrio		**Altura (m.s.n.m.)**	1687

CARACTERISTICAS			DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Tipo de afloramiento	Artificial		Lutita púrpura y conglomerados con presencia de caliza
Formación	Formación Catamayo		
Estado de afloramiento	Estable poco erosionado		
Humedad	Baja		
Textura	Fina		
Estructura	Estratificada		
Tipo de Material	Sedimentario		
Dimensiones	**Ancho (m)**	36	
	Alto (m)	7	

ELEMENTOS DE YACENCIA		OTRAS OBSERVACIONES:
Azimut	47°	
Buzamiento	21°	
Dirección de Bz.	138°	

FOTOGRAFÍA

	ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS SAN PEDRO DE LA BENDITA, ZAMBI Y GUAYQUICHUMA PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR		
	Ficha para caracterización de afloramientos	**FICHA N°**	**5**

DATOS GENERALES			
LOCALIZACION GEOGRAFICA		**COORDENADAS**	
Provincia	Loja	**Datum**	WGS-1984
Cantón	Catamayo	**Coord. X**	674321
Parroquia	El Tambo	**Coord. Y**	9564794
Barrio		**Altura (m.s.n.m.)**	1677

CARACTERISTICAS			**DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA**
Tipo de afloramiento	Artificial		Lutita púrpura y conglomerados con presencia de caliza
Formación	Formación Catamayo		
Estado de afloramiento	Estable poco erosionado		
Humedad	Baja		
Textura	Fina		
Estructura	Estratificada		
Tipo de Material	Sedimentario		
Dimensiones	**Ancho (m)**	30	
	Alto (m)	7	

ELEMENTOS DE YACENCIA		**OTRAS OBSERVACIONES:**
Azimut	47°	Presencia de pliegues pequeños
Buzamiento	21°	
Dirección de Bz.	138°	

FOTOGRAFÍA

ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS SAN PEDRO DE LA BENDITA, ZAMBI Y GUAYQUICHUMA PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR

Ficha para caracterización de afloramientos

FICHA N° **6**

DATOS GENERALES

LOCALIZACION GEOGRAFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	**Datum**	WGS-1984
Cantón	Catamayo	**Coord. X**	674468
Parroquia	San Pedro de la Bendita	**Coord. Y**	9564990
Barrio		**Altura (m.s.n.m.)**	1656

CARACTERISTICAS			DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Tipo de afloramiento	Artificial		Conglomerados, lutitas y areniscas/Secuencias volcánicas y volcanosedimentarias
Formación	Contacto		
Estado de afloramiento	Estable poco erosionado		
Humedad	Baja		
Textura	Fina		
Estructura	Estratificada y Masiva		
Tipo de Material	Volcanosedimentos		
Dimensiones	**Ancho (m)**	35	
	Alto (m)	12	

ELEMENTOS DE YACENCIA		OTRAS OBSERVACIONES:
Azimut		Posible contacto entre la Fm Catamayo y la Unidad Guayabal
Buzamiento		
Dirección de Bz.		

FOTOGRAFÍA

ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS SAN PEDRO DE LA BENDITA, ZAMBI Y GUAYQUICHUMA PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR

Ficha para caracterización de afloramientos

FICHA N° **7**

DATOS GENERALES

LOCALIZACION GEOGRAFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	**Datum**	WGS-1984
Cantón	Catamayo	**Coord. X**	674464
Parroquia	San Pedro de la Bendita	**Coord. Y**	9565027
Barrio		**Altura (m.s.n.m.)**	

CARACTERISTICAS			DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Tipo de afloramiento	Artificial		Tobas riolíticas
Formación	Unidad Guayabal		
Estado de afloramiento	Estable, poco erosionado		
Humedad	Baja		
Textura	Intermedia		
Estructura	Masiva		
Tipo de Material	Volcánico		
Dimensiones	**Ancho (m)**	25	
	Alto(m)	7	

ELEMENTOS DE YACENCIA		OTRAS OBSERVACIONES:
Azimut		
Buzamiento		
Dirección de Bz.		

FOTOGRAFÍA

ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS SAN PEDRO DE LA BENDITA, ZAMBI Y GUAYQUICHUMAPERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR

Ficha para caracterización de afloramientos

FICHA N° **8**

DATOS GENERALES

LOCALIZACION GEOGRAFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	**Datum**	WGS-1984
Cantón	Catamayo	**Coord. X**	674296
Parroquia	San Pedro de la Bendita	**Coord. Y**	9565454
Barrio		**Altura (m.s.n.m.)**	

CARACTERISTICAS			DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Tipo de afloramiento	Artificial		
Formación	Unidad Chaguarpamba		
Estado de afloramiento	Estable, poco erosionado		
Humedad	Baja		
Textura	Fina		
Estructura	Estratificada		
Tipo de Material	Sedimentario		
Dimensiones	**Ancho (m)**	40	
	Alto (m)	6	

ELEMENTOS DE YACENCIA		OTRAS OBSERVACIONES:
Azimut	142°	
Buzamiento	30°	
Dirección de Bz.	52°	

FOTOGRAFÍA

	ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS SAN PEDRO DE LA BENDITA, ZAMBI Y GUAYQUICHUMAPERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR		
	Ficha para caracterización de afloramientos	**FICHA N°**	**9**

DATOS GENERALES			
LOCALIZACION GEOGRAFICA		**COORDENADAS**	
Provincia	Loja	**Datum**	WGS-1984
Cantón	Catamayo	**Coord. X**	674355
Parroquia	San Pedro de la Bendita	**Coord. Y**	9565594
Barrio		**Altura (m.s.n.m.)**	

CARACTERISTICAS			**DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA**
Tipo de afloramiento	Artificial		
Formación	Unidad Chaguarpamba		
Estado de afloramiento	Estable, poco erosionado		
Humedad	Baja		
Textura	Fina		
Estructura	Estratificada		
Tipo de Material	Sedimentario		
Dimensiones	**Ancho (m)**	25	
	Alto (m)	9	

ELEMENTOS DE YACENCIA		**OTRAS OBSERVACIONES:**
Azimut	41°	Estratos verticales
Buzamiento	88°	
Dirección de Bz.	131°	

FOTOGRAFÍA

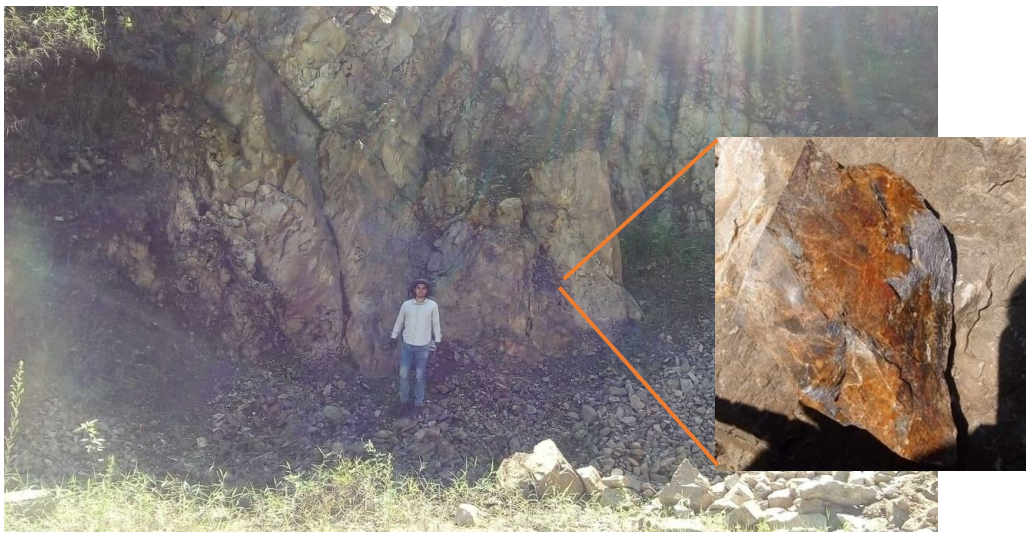
	ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS SAN PEDRO DE LA BENDITA, ZAMBI Y GUAYQUICHUMAPERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR		
	Ficha para caracterización de afloramientos	**FICHA N°**	**10**

DATOS GENERALES			
LOCALIZACION GEOGRAFICA		**COORDENADAS**	
Provincia	Loja	**Datum**	WGS-1984
Cantón	Catamayo	**Coord. X**	658936
Parroquia	Guayquichuma	**Coord. Y**	9576621
Barrio		**Altura (m.s.n.m.)**	

CARACTERISTICAS			**DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA**
Tipo de afloramiento	Artificial		Arenisca de coloración gris con betillas de carbonatos
Formación	Unidad El Tigre		
Estado de afloramiento	Inestable, meteorización media-alta		
Humedad	Baja		
Textura	Fina		
Estructura	Masiva		
Tipo de Material	Sedimentario		
Dimensiones	**Ancho (m)**	50	
	Alto (m)	60	

ELEMENTOS DE YACENCIA		**OTRAS OBSERVACIONES:**
Azimut		Deslizamiento
Buzamiento		
Dirección de Bz.		

FOTOGRAFÍA



ANEXO 2.

CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA

(FICHAS)

DESCRIPCIÓN GEOMORFOLOGICA

1. UBICACIÓN

1.1. DIVISIÓN POLITICO ADMINISTRATIVA

PROVINCIA	Loja
CANTÓN	Catamayo
PARROQUIA	Guayquichuma
SECTOR	Rumi

1.2. LOCALIZACIÓN (UTM, WGS84 Zona 17S)

COORD. X:	658683	m
COORD. Y:	9578299	m
ALTITUD	931	msnm

2. REGISTRO DE LA OBSERVACIÓN

2.1. CODIGO	1
2.2. NOMBRE DEL OBSERVADOR	Eduardo Abad

3. MORFOLOGIA

3.1. MACRORELIEVE: Piedemonte

3.2. MESORELIEVE: Cuesta

3.3. FORMA DE CIMA
1 ☐ Aguda
2 ☑ Redondeada
3 ☐ Plana
4 ☐ Inexistente

3.4. FORMA DE VERTIENTE
1 ☑ Concava
2 ☐ Convexa
3 ☑ Rectilinea
4 ☐ Irregular
5 ☐ Mixta

3.5. FORMA DE VALLE
1 ☐ En U
2 ☐ En V
3 ☐ Plano

4. MORFOMETRIA

4.1. PENDIENTE
1 ☐ Plana de 0 a 2%
2 ☐ Muy suave de 2 a 5%
3 ☐ Suave de 5 a 12%
4 ☐ Media de 12 a 25%
5 ☑ Media a Fuerte 25 a 40%
6 ☐ Fuerte 40 a 70%
7 ☐ Muy fuerte 70 a 100%
8 ☐ Escarpado > a 100%

4.2. DESNIVEL RELATIVO
1 ☐ 0 a 5 m
2 ☐ 5 a 15 m
3 ☐ 15 a 25 m
4 ☐ 25 a 50 m
5 ☐ 50 a 100 m
6 ☐ 100 a 200 m
7 ☑ 200 a 300 m
8 ☐ > a 300 m

4.3. LONGITUD DE LA VERTIENTE
1 ☐ Muy corta, < a 15 m
2 ☐ Corta, 15 a 50 m
3 ☐ Mod. larga, 50 a 250 m
4 ☐ Larga, 250 a 500 m
5 ☐ Muy larga, > a 500 m

5. MORFODINAMICA

5.1. MOVIMIENTOS EN MASA

A. TIPOS	B. GRADO	C. MAGNITUD	D. MATERIAL	E. ESTADO
1 ☑ Dz	1 ☐ Alto	1 ☐ Grande	1 ☐ Roca	1 ☐ Activo
2 ☐ Cd	2 ☐ Medio	2 ☐ Mediano	2 ☐ Detritos	2 ☑ Latente
3 ☐ Rp	3 ☑ Bajo	3 ☑ Pequeño	3 ☐ Suelo	3 ☐ Estabilizado
4 ☐ Fl			4 ☐ Mixto	4 ☐ Relicto
5 ☐ Otros _____				

F. # eventos en la geoforma: ____

5.2. EROSION

A. TIPOS
N ☐ Sin evidencias de erosion
Wl ☑ Erosion hídrica laminar
Ws ☐ Erosion hídrica concentrada en surcos
Wc ☐ Erosion hídrica concentrada en carcavas
Wb ☐ Erosion hídrica en barrancos
M ☐ Erosion eolica

B. AREA AFECTADA
1 ☑ 0 – 5%
2 ☐ 5 – 10%
3 ☐ 10 – 25%
4 ☐ 25 – 50%
5 ☐ > 50%

6. COBERTURA VEGETAL

1. Arborea ☐
2. Arbustiva ☑
3. Herbácea ☐
4. Cultivo anual ☐
5. Cultivo semipermanente ☐
6. Cultivo permanente ☐
7. Eriales ☐

CODIGOS _____

7 FOTO-ESQUEMA

DESCRIPCIÓN GEOMORFOLOGICA

1. UBICACIÓN

1.1. DIVISIÓN POLITICO ADMINISTRATIVA

PROVINCIA	Loja
CANTÓN	Catamayo
PARROQUIA	Guayquichuma
SECTOR	Rumi

1.2. LOCALIZACIÓN (UTM, WGS84 Zona 17S)

COORD. X:	658361	m
COORD. Y:	9578834	m
ALTITUD	800	msnm

2. REGISTRO DE LA OBSERVACIÓN

2.1. CODIGO	2
2.2. NOMBRE DEL OBSERVADOR	Eduardo Abad

3. MORFOLOGIA

3.1. MACRORELIEVE: Serranía

3.2. MESORELIEVE: Relieve colinado medio

3.3. FORMA DE CIMA
1 ☑ Aguda
2 ☑ Redondeada
3 ☐ Plana
4 ☐ Inexistente

3.4. FORMA DE VERTIENTE
1 ☐ Concava
2 ☐ Convexa
3 ☐ Rectilinea
4 ☐ Irregular
5 ☑ Mixta

3.5. FORMA DE VALLE
1 ☑ En U
2 ☑ En V
3 ☐ Plano

4. MORFOMETRIA

4.1. PENDIENTE
1 ☐ Plana de 0 a 2%
2 ☐ Muy suave de 2 a 5%
3 ☐ Suave de 5 a 12%
4 ☑ Media de 12 a 25%
5 ☐ Media a Fuerte 25 a 40%
6 ☐ Fuerte 40 a 70%
7 ☐ Muy fuerte 70 a 100%
8 ☐ Escarpado > a 100%

4.2. DESNIVEL RELATIVO
1 ☐ 0 a 5 m
2 ☐ 5 a 15 m
3 ☑ 15 a 25 m
4 ☑ 25 a 50 m
5 ☐ 50 a 100 m
6 ☐ 100 a 200 m
7 ☐ 200 a 300 m
8 ☐ > a 300 m

4.3. LONGITUD DE LA VERTIENTE
1 ☐ Muy corta, < a 15 m
2 ☐ Corta, 15 a 50 m
3 ☐ Mod. larga, 50 a 250 m
4 ☐ Larga, 250 a 500 m
5 ☐ Muy larga, > a 500 m

5. MORFODINAMICA

5.1. MOVIMIENTOS EN MASA

A. TIPOS
1 ☑ Dz
2 ☐ Cd
3 ☐ Rp
4 ☐ Fl
5 ☐ Otros _____

B. GRADO
1 ☐ Alto
2 ☑ Medio
3 ☐ Bajo

C. MAGNITUD
1 ☐ Grande
2 ☐ Mediano
3 ☐ Pequeño

D. MATERIAL
1 ☐ Roca
2 ☐ Detritos
3 ☐ Suelo
4 ☑ Mixto

E. ESTADO
1 ☑ Activo
2 ☐ Latente
3 ☐ Estabilizado
4 ☐ Relicto

F. # eventos en la geoforma: _____

5.2. EROSION

A. TIPOS
N ☐ Sin evidencias de erosion
Wl ☐ Erosion hídrica laminar
Ws ☐ Erosion hídrica concentrada en surcos
Wc ☑ Erosion hídrica concentrada en carcavas
Wb ☑ Erosion hídrica en barrancos
M ☐ Erosion eolica

B. AREA AFECTADA
1 ☐ 0 – 5%
2 ☑ 5 – 10%
3 ☐ 10 – 25%
4 ☐ 25 – 50%
5 ☐ > 50%

6. COBERTURA VEGETAL

1. Arborea ☐
2. Arbustiva ☑
3. Herbácea ☐
4. Cultivo anual ☐
5. Cultivo semipermanente ☐
6. Cultivo permanente ☐
7. Eriales ☐

CODIGOS _____

7 FOTO-ESQUEMA

DESCRIPCIÓN GEOMORFOLOGICA

1. UBICACIÓN

1.1. DIVISIÓN POLITICO ADMINISTRATIVA

PROVINCIA	Loja
CANTÓN	Catamayo
PARROQUIA	Guayquichuma
SECTOR	Guayquichuma

1.2. LOCALIZACIÓN (UTM, WGS84 Zona 17S)

COORD. X:	659880	m
COORD. Y:	9576502	m
ALTITUD	1328	msnm

2. REGISTRO DE LA OBSERVACIÓN

2.1. CODIGO	3
2.2. NOMBRE DEL OBSERVADOR	Eduardo Abad

3. MORFOLOGIA

3.1. MACRORELIEVE: Montaña

3.2. MESORELIEVE: Relieve motañoso

3.3. FORMA DE CIMA
- 1 [x] Aguda
- 2 [ ] Redondeada
- 3 [ ] Plana
- 4 [ ] Inexistente

3.4. FORMA DE VERTIENTE
- 1 [ ] Concava
- 2 [ ] Convexa
- 3 [ ] Rectilinea
- 4 [ ] Irregular
- 5 [ ] Mixta

3.5. FORMA DE VALLE
- 1 [ ] En U
- 2 [x] En V
- 3 [ ] Plano

4. MORFOMETRIA

4.1. PENDIENTE
- 1 [ ] Plana de 0 a 2%
- 2 [ ] Muy suave de 2 a 5%
- 3 [ ] Suave de 5 a 12%
- 4 [ ] Media de 12 a 25%
- 5 [ ] Media a Fuerte 25 a 40%
- 6 [x] Fuerte 40 a 70%
- 7 [ ] Muy fuerte 70 a 100%
- 8 [ ] Escarpado > a 100%

4.2. DESNIVEL RELATIVO
- 1 [ ] 0 a 5 m
- 2 [ ] 5 a 15 m
- 3 [ ] 15 a 25 m
- 4 [ ] 25 a 50 m
- 5 [ ] 50 a 100 m
- 6 [ ] 100 a 200 m
- 7 [x] 200 a 300 m
- 8 [x] > a 300 m

4.3. LONGITUD DE LA VERTIENTE
- 1 [ ] Muy corta, < a 15 m
- 2 [ ] Corta, 15 a 50 m
- 3 [ ] Mod. larga, 50 a 250 m
- 4 [ ] Larga, 250 a 500 m
- 5 [x] Muy larga, > a 500 m

5. MORFODINAMICA

5.1. MOVIMIENTOS EN MASA

A. TIPOS
- 1 [ ] Dz
- 2 [ ] Cd
- 3 [ ] Rp
- 4 [ ] Fl
- 5 [ ] Otros _____

B. GRADO
- 1 [ ] Alto
- 2 [ ] Medio
- 3 [ ] Bajo

C. MAGNITUD
- 1 [ ] Grande
- 2 [ ] Mediano
- 3 [ ] Pequeño

D. MATERIAL
- 1 [ ] Roca
- 2 [ ] Detritos
- 3 [ ] Suelo
- 4 [ ] Mixto

E. ESTADO
- 1 [ ] Activo
- 2 [ ] Latente
- 3 [ ] Estabilizado
- 4 [ ] Relicto

F. # eventos en la geoforma: _____

5.2. EROSION

A. TIPOS
- N [ ] Sin evidencias de erosion
- Wl [ ] Erosion hídrica laminar
- Ws [ ] Erosion hídrica concentrada en surcos
- Wc [ ] Erosion hídrica concentrada en carcavas
- Wb [ ] Erosion hídrica en barrancos
- M [ ] Erosion eolica

B. AREA AFECTADA
- 1 [ ] 0 – 5%
- 2 [ ] 5 – 10%
- 3 [ ] 10 – 25%
- 4 [ ] 25 – 50%
- 5 [ ] > 50%

6. COBERTURA VEGETAL
- 1. Arborea [✓]
- 2. Arbustiva [ ]
- 3. Herbácea [ ]
- 4. Cultivo anual [ ]
- 5. Cultivo semipermanente [ ]
- 6. Cultivo permanente [ ]
- 7. Eriales [ ]

CODIGOS _____

7 FOTO-ESQUEMA

DESCRIPCIÓN GEOMORFOLOGICA

1. UBICACIÓN

1.1. DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA

PROVINCIA	Loja
CANTÓN	Catamayo
PARROQUIA	San Pedro
SECTOR	Las Conchas

1.2. LOCALIZACIÓN (UTM, WGS84 Zona 17S)

COORD. X:	6574209	m
COORD. Y:	9565083	m
ALTITUD	1639	msnm

2. REGISTRO DE LA OBSERVACIÓN

2.1. CODIGO	4
2.2. NOMBRE DEL OBSERVADOR	Eduardo Abad

3. MORFOLOGIA

3.1. MACRORELIEVE: Penillanura

3.2. MESORELIEVE: Vertientes irregulares.

3.3. FORMA DE CIMA
1 ☐ Aguda
2 ☑ Redondeada
3 ☐ Plana
4 ☐ Inexistente

3.4. FORMA DE VERTIENTE
1 ☐ Concava
2 ☐ Convexa
3 ☐ Rectilínea
4 ☑ Irregular
5 ☐ Mixta

3.5. FORMA DE VALLE
1 ☐ En U
2 ☑ En V
3 ☐ Plano

4. MORFOMETRIA

4.1. PENDIENTE
1 ☐ Plana de 0 a 2%
2 ☐ Muy suave de 2 a 5%
3 ☐ Suave de 5 a 12%
4 ☐ Media de 12 a 25%
5 ☐ Media a Fuerte 25 a 40%
6 ☑ Fuerte 40 a 70%
7 ☐ Muy fuerte 70 a 100%
8 ☐ Escarpado > a 100%

4.2. DESNIVEL RELATIVO
1 ☐ 0 a 5 m
2 ☐ 5 a 15 m
3 ☐ 15 a 25 m
4 ☐ 25 a 50 m
5 ☐ 50 a 100 m
6 ☐ 100 a 200 m
7 ☐ 200 a 300 m
8 ☑ > a 300 m

4.3. LONGITUD DE LA VERTIENTE
1 ☐ Muy corta, < a 15 m
2 ☐ Corta, 15 a 50 m
3 ☐ Mod. larga, 50 a 250 m
4 ☐ Larga, 250 a 500 m
5 ☑ Muy larga, > a 500 m

5. MORFODINAMICA

5.1. MOVIMIENTOS EN MASA

A. TIPOS
1 ☐ Dz
2 ☐ Cd
3 ☐ Rp
4 ☐ Fl
5 ☐ Otros _____

B. GRADO
1 ☐ Alto
2 ☐ Medio
3 ☐ Bajo

C. MAGNITUD
1 ☐ Grande
2 ☐ Mediano
3 ☐ Pequeño

D. MATERIAL
1 ☐ Roca
2 ☐ Detritos
3 ☐ Suelo
4 ☑ Mixto

E. ESTADO
1 ☑ Activo
2 ☐ Latente
3 ☐ Estabilizado
4 ☐ Relicto

F. # eventos en la geoforma: _____

5.2. EROSION

A. TIPOS
N ☐ Sin evidencias de erosion
Wl ☐ Erosion hídrica laminar
Ws ☐ Erosion hídrica concentrada en surcos
Wc ☐ Erosion hídrica concentrada en carcavas
Wb ☐ Erosion hídrica en barrancos
M ☐ Erosion eolica

B. AREA AFECTADA
1 ☐ 0 – 5%
2 ☐ 5 – 10%
3 ☐ 10 – 25%
4 ☐ 25 – 50%
5 ☐ > 50%

6. COBERTURA VEGETAL

1. Arborea ☐
2. Arbustiva ☑
3. Herbácea ☐
4. Cultivo anual ☐
5. Cultivo semipermanente ☐
6. Cultivo permanente ☐
7. Eriales ☐

CODIGOS _____

7 FOTO-ESQUEMA

DESCRIPCIÓN GEOMORFOLOGICA

1. UBICACIÓN

1.1. DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA

PROVINCIA	Loja
CANTÓN	Catamayo
PARROQUIA	San Pedro
SECTOR	Guayabal

1.2. LOCALIZACIÓN (UTM, WGS84 Zona 17S)

COORD. X:	677750	m
COORD. Y:	9565390	m
ALTITUD	1356	msnm

2. REGISTRO DE LA OBSERVACIÓN

2.1. CODIGO	5
2.2. NOMBRE DEL OBSERVADOR	Eduardo Abad

3. MORFOLOGIA

3.1. MACRORELIEVE: Penillanura

3.2. MESORELIEVE: Coluvión

3.3. FORMA DE CIMA
1 ☐ Aguda
2 ☑ Redondeada
3 ☐ Plana
4 ☐ Inexistente

3.4. FORMA DE VERTIENTE
1 ☐ Concava
2 ☑ Convexa
3 ☐ Rectilinea
4 ☐ Irregular
5 ☐ Mixta

3.5. FORMA DE VALLE
1 ☐ En U
2 ☐ En V
3 ☑ Plano

4. MORFOMETRIA

4.1. PENDIENTE
1 ☐ Plana de 0 a 2%
2 ☐ Muy suave de 2 a 5%
3 ☐ Suave de 5 a 12%
4 ☐ Media de 12 a 25%
5 ☐ Media a Fuerte 25 a 40%
6 ☐ Fuerte 40 a 70%
7 ☐ Muy fuerte 70 a 100%
8 ☐ Escarpado > a 100%

4.2. DESNIVEL RELATIVO
1 ☐ 0 a 5 m
2 ☐ 5 a 15 m
3 ☐ 15 a 25 m
4 ☑ 25 a 50 m
5 ☐ 50 a 100 m
6 ☐ 100 a 200 m
7 ☐ 200 a 300 m
8 ☐ > a 300 m

4.3. LONGITUD DE LA VERTIENTE
1 ☐ Muy corta, < a 15 m
2 ☐ Corta, 15 a 50 m
3 ☐ Mod. larga, 50 a 250 m
4 ☐ Larga, 250 a 500 m
5 ☑ Muy larga, > a 500 m

5. MORFODINAMICA

5.1. MOVIMIENTOS EN MASA

A. TIPOS	B. GRADO	C. MAGNITUD	D. MATERIAL	E. ESTADO
1 ☐ Dz	1 ☐ Alto	1 ☐ Grande	1 ☐ Roca	1 ☑ Activo
2 ☐ Cd	2 ☐ Medio	2 ☐ Mediano	2 ☐ Detritos	2 ☐ Latente
3 ☐ Rp	3 ☐ Bajo	3 ☐ Pequeño	3 ☐ Suelo	3 ☐ Estabilizado
4 ☐ Fl			4 ☑ Mixto	4 ☐ Relicto
5 ☐ Otros _____				

F. # eventos en la geoforma: _____

5.2. EROSION

A. TIPOS
N ☐ Sin evidencias de erosion
Wl ☐ Erosion hídrica laminar
Ws ☐ Erosion hídrica concentrada en surcos
Wc ☐ Erosion hídrica concentrada en carcavas
Wb ☐ Erosion hídrica en barrancos
M ☐ Erosion eolica

B. AREA AFECTADA
1 ☐ 0 – 5%
2 ☐ 5 – 10%
3 ☐ 10 – 25%
4 ☐ 25 – 50%
5 ☐ > 50%

6. COBERTURA VEGETAL

1. Arborea ☐
2. Arbustiva ☑
3. Herbácea ☐
4. Cultivo anual ☐
5. Cultivo semipermanente ☐
6. Cultivo permanente ☐
7. Eriales ☐

CODIGOS _____

7 FOTO-ESQUEMA

DESCRIPCIÓN GEOMORFOLOGICA

1. UBICACIÓN

1.1. DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA

PROVINCIA	Loja
CANTÓN	Catamayo
PARROQUIA	San Pedro
SECTOR	Las Conchas

1.2. LOCALIZACIÓN (UTM, WGS84 Zona 17S)

COORD. X:	674403	m
COORD. Y:	9565389	m
ALTITUD	1630	msnm

2. REGISTRO DE LA OBSERVACIÓN

2.1. CODIGO	6
2.2. NOMBRE DEL OBSERVADOR	Eduardo Abad

3. MORFOLOGIA

3.1. MACRORELIEVE: Penillanura

3.2. MESORELIEVE: Coluvio aluvial.

3.3. FORMA DE CIMA
1 ☐ Aguda
2 ☐ Redondeada
3 ☐ Plana
4 ☑ Inexistente

3.4. FORMA DE VERTIENTE
1 ☐ Concava
2 ☑ Convexa
3 ☐ Rectilinea
4 ☐ Irregular
5 ☐ Mixta

3.5. FORMA DE VALLE
1 ☑ En U
2 ☐ En V
3 ☐ Plano

4. MORFOMETRIA

4.1. PENDIENTE
1 ☐ Plana de 0 a 2%
2 ☐ Muy suave de 2 a 5%
3 ☑ Suave de 5 a 12%
4 ☐ Media de 12 a 25%
5 ☐ Media a Fuerte 25 a 40%
6 ☐ Fuerte 40 a 70%
7 ☐ Muy fuerte 70 a 100%
8 ☐ Escarpado > a 100%

4.2. DESNIVEL RELATIVO
1 ☐ 0 a 5 m
2 ☐ 5 a 15 m
3 ☐ 15 a 25 m
4 ☑ 25 a 50 m
5 ☐ 50 a 100 m
6 ☐ 100 a 200 m
7 ☐ 200 a 300 m
8 ☐ > a 300 m

4.3. LONGITUD DE LA VERTIENTE
1 ☐ Muy corta, < a 15 m
2 ☐ Corta, 15 a 50 m
3 ☐ Mod. larga, 50 a 250 m
4 ☐ Larga, 250 a 500 m
5 ☑ Muy larga, > a 500 m

5. MORFODINAMICA

5.1. MOVIMIENTOS EN MASA

A. TIPOS	B. GRADO	C. MAGNITUD	D. MATERIAL	E. ESTADO
1 ☐ Dz	1 ☐ Alto	1 ☐ Grande	1 ☐ Roca	1 ☑ Activo
2 ☐ Cd	2 ☐ Medio	2 ☐ Mediano	2 ☐ Detritos	2 ☐ Latente
3 ☐ Rp	3 ☐ Bajo	3 ☐ Pequeño	3 ☐ Suelo	3 ☐ Estabilizado
4 ☐ Fl			4 ☑ Mixto	4 ☐ Relicto
5 ☐ Otros _____				

F. # eventos en la geoforma: _____

5.2. EROSION

A. TIPOS
N ☐ Sin evidencias de erosion
Wl ☐ Erosion hídrica laminar
Ws ☐ Erosion hídrica concentrada en surcos
Wc ☐ Erosion hídrica concentrada en carcavas
Wb ☐ Erosion hídrica en barrancos
M ☐ Erosion eolica

B. AREA AFECTADA
1 ☐ 0 – 5%
2 ☐ 5 – 10%
3 ☐ 10 – 25%
4 ☐ 25 – 50%
5 ☐ > 50%

6. COBERTURA VEGETAL

1. Arborea ☐
2. Arbustiva ☑
3. Herbácea ☐
4. Cultivo anual ☐
5. Cultivo semipermanente ☐
6. Cultivo permanente ☐
7. Eriales ☐

CODIGOS _____

7 FOTO-ESQUEMA

DESCRIPCIÓN GEOMORFOLOGICA

1. UBICACIÓN

1.1. DIVISIÓN POLITICO ADMINISTRATIVA

PROVINCIA	Loja
CANTÓN	Catamayo
PARROQUIA	Guayquichuma
SECTOR	La Primavera

1.2. LOCALIZACIÓN (UTM, WGS84 Zona 17S)

COORD. X:	761690	m
COORD. Y:	9569027	m
ALTITUD	1065	msnm

2. REGISTRO DE LA OBSERVACIÓN

2.1. CODIGO	7
2.2. NOMBRE DEL OBSERVADOR	Eduardo Abad

3. MORFOLOGIA

3.1. MACRORELIEVE: Serranía

3.2. MESORELIEVE: Relieve colinado alto

3.3. FORMA DE CIMA
- 1 ☐ Aguda
- 2 ☑ Redondeada
- 3 ☐ Plana
- 4 ☐ Inexistente

3.4. FORMA DE VERTIENTE
- 1 ☐ Concava
- 2 ☐ Convexa
- 3 ☐ Rectilinea
- 4 ☐ Irregular
- 5 ☑ Mixta

3.5. FORMA DE VALLE
- 1 ☐ En U
- 2 ☑ En V
- 3 ☐ Plano

4. MORFOMETRIA

4.1. PENDIENTE
- 1 ☐ Plana de 0 a 2%
- 2 ☐ Muy suave de 2 a 5%
- 3 ☐ Suave de 5 a 12%
- 4 ☐ Media de 12 a 25%
- 5 ☑ Media a Fuerte 25 a 40%
- 6 ☐ Fuerte 40 a 70%
- 7 ☐ Muy fuerte 70 a 100%
- 8 ☐ Escarpado > a 100%

4.2. DESNIVEL RELATIVO
- 1 ☐ 0 a 5 m
- 2 ☐ 5 a 15 m
- 3 ☐ 15 a 25 m
- 4 ☐ 25 a 50 m
- 5 ☐ 50 a 100 m
- 6 ☑ 100 a 200 m
- 7 ☐ 200 a 300 m
- 8 ☐ > a 300 m

4.3. LONGITUD DE LA VERTIENTE
- 1 ☐ Muy corta, < a 15 m
- 2 ☐ Corta, 15 a 50 m
- 3 ☐ Mod. larga, 50 a 250 m
- 4 ☐ Larga, 250 a 500 m
- 5 ☑ Muy larga, > a 500 m

5. MORFODINAMICA

5.1. MOVIMIENTOS EN MASA

A. TIPOS
- 1 ☑ Dz
- 2 ☐ Cd
- 3 ☐ Rp
- 4 ☐ Fl
- 5 ☐ Otros _____

B. GRADO
- 1 ☐ Alto
- 2 ☐ Medio
- 3 ☑ Bajo

C. MAGNITUD
- 1 ☐ Grande
- 2 ☐ Mediano
- 3 ☐ Pequeño

D. MATERIAL
- 1 ☐ Roca
- 2 ☐ Detritos
- 3 ☐ Suelo
- 4 ☑ Mixto

E. ESTADO
- 1 ☑ Activo
- 2 ☐ Latente
- 3 ☐ Estabilizado
- 4 ☐ Relicto

F. # eventos en la geoforma: _____

5.2. EROSION

A. TIPOS
- N ☐ Sin evidencias de erosion
- Wl ☐ Erosion hídrica laminar
- Ws ☐ Erosion hídrica concentrada en surcos
- Wc ☐ Erosion hídrica concentrada en carcavas
- Wb ☑ Erosion hídrica en barrancos
- M ☐ Erosion eolica

B. AREA AFECTADA
- 1 ☐ 0 – 5%
- 2 ☑ 5 – 10%
- 3 ☐ 10 – 25%
- 4 ☐ 25 – 50%
- 5 ☐ > 50%

6. COBERTURA VEGETAL
- 1. Arborea ☐
- 2. Arbustiva ☑
- 3. Herbácea ☐
- 4. Cultivo anual ☐
- 5. Cultivo semipermanente ☐
- 6. Cultivo permanente ☐
- 7. Eriales ☐

CODIGOS _____

7 FOTO-ESQUEMA

DESCRIPCIÓN GEOMORFOLOGICA

1. UBICACIÓN

1.1. DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA

PROVINCIA	Loja
CANTÓN	Catamayo
PARROQUIA	San Pedro
SECTOR	Ingenio Monterrey

1.2. LOCALIZACIÓN (UTM, WGS84 Zona 17S)

COORD. X:	678160	m
COORD. Y:	9557863	m
ALTITUD	1239	msnm

2. REGISTRO DE LA OBSERVACIÓN

2.1. CODIGO	8
2.2. NOMBRE DEL OBSERVADOR	Eduardo Abad

3. MORFOLOGIA

3.1. MACRORELIEVE: Piedemonte

3.2. MESORELIEVE: Colinas bajas

3.3. FORMA DE CIMA
1 ☐ Aguda
2 ☑ Redondeada
3 ☐ Plana
4 ☐ Inexistente

3.4. FORMA DE VERTIENTE
1 ☐ Concava
2 ☐ Convexa
3 ☐ Rectilinea
4 ☐ Irregular
5 ☑ Mixta

3.5. FORMA DE VALLE
1 ☐ En U
2 ☑ En V
3 ☐ Plano

4. MORFOMETRIA

4.1. PENDIENTE
1 ☐ Plana de 0 a 2%
2 ☐ Muy suave de 2 a 5%
3 ☑ Suave de 5 a 12%
4 ☐ Media de 12 a 25%
5 ☐ Media a Fuerte 25 a 40%
6 ☐ Fuerte 40 a 70%
7 ☐ Muy fuerte 70 a 100%
8 ☐ Escarpado > a 100%

4.2. DESNIVEL RELATIVO
1 ☐ 0 a 5 m
2 ☐ 5 a 15 m
3 ☑ 15 a 25 m
4 ☐ 25 a 50 m
5 ☐ 50 a 100 m
6 ☐ 100 a 200 m
7 ☐ 200 a 300 m
8 ☐ > a 300 m

4.3. LONGITUD DE LA VERTIENTE
1 ☐ Muy corta, < a 15 m
2 ☑ Corta, 15 a 50 m
3 ☐ Mod. larga, 50 a 250 m
4 ☐ Larga, 250 a 500 m
5 ☐ Muy larga, > a 500 m

5. MORFODINAMICA

5.1. MOVIMIENTOS EN MASA

A. TIPOS	B. GRADO	C. MAGNITUD	D. MATERIAL	E. ESTADO
1 ☐ Dz	1 ☐ Alto	1 ☐ Grande	1 ☐ Roca	1 ☐ Activo
2 ☐ Cd	2 ☐ Medio	2 ☐ Mediano	2 ☐ Detritos	2 ☐ Latente
3 ☐ Rp	3 ☐ Bajo	3 ☐ Pequeño	3 ☐ Suelo	3 ☐ Estabilizado
4 ☐ Fl			4 ☐ Mixto	4 ☐ Relicto
5 ☐ Otros _____				

F. # eventos en la geoforma: _____

5.2. EROSION

A. TIPOS
N ☐ Sin evidencias de erosion
Wl ☐ Erosion hidrica laminar
Ws ☐ Erosion hidrica concentrada en surcos
Wc ☐ Erosion hidrica concentrada en carcavas
Wb ☐ Erosion hidrica en barrancos
M ☐ Erosion eolica

B. AREA AFECTADA
1 ☐ 0 – 5%
2 ☑ 5 – 10%
3 ☐ 10 – 25%
4 ☐ 25 – 50%
5 ☐ > 50%

6. COBERTURA VEGETAL

1. Arborea ☐
2. Arbustiva ☑
3. Herbácea ☐
4. Cultivo anual ☐
5. Cultivo semipermanente ☐
6. Cultivo permanente ☐
7. Eriales ☐

CODIGOS _____

7 FOTO-ESQUEMA

DESCRIPCIÓN GEOMORFOLOGICA

1. UBICACIÓN

1.1. DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA

PROVINCIA	Loja
CANTÓN	Catamayo
PARROQUIA	San Pedro
SECTOR	Hacienda Monterrey

1.2. LOCALIZACIÓN (UTM, WGS84 Zona 17S)

COORD. X:	678604	m
COORD. Y:	9562632	m
ALTITUD	1250	msnm

2. REGISTRO DE LA OBSERVACIÓN

2.1. CODIGO	9
2.2. NOMBRE DEL OBSERVADOR	Eduardo Abad

3. MORFOLOGIA

3.1. MACRORELIEVE: Valle

3.2. MESORELIEVE: Terraza aluvial

3.3. FORMA DE CIMA
- 1 ☐ Aguda
- 2 ☑ Redondeada
- 3 ☐ Plana
- 4 ☑ Inexistente

3.4. FORMA DE VERTIENTE
- 1 ☐ Concava
- 2 ☐ Convexa
- 3 ☐ Rectilinea
- 4 ☐ Irregular
- 5 ☑ Mixta

3.5. FORMA DE VALLE
- 1 ☐ En U
- 2 ☐ En V
- 3 ☑ Plano

4. MORFOMETRIA

4.1. PENDIENTE
- 1 ☐ Plana de 0 a 2%
- 2 ☑ Muy suave de 2 a 5%
- 3 ☐ Suave de 5 a 12%
- 4 ☐ Media de 12 a 25%
- 5 ☐ Media a Fuerte 25 a 40%
- 6 ☐ Fuerte 40 a 70%
- 7 ☐ Muy fuerte 70 a 100%
- 8 ☐ Escarpado > a 100%

4.2. DESNIVEL RELATIVO
- 1 ☑ 0 a 5 m
- 2 ☐ 5 a 15 m
- 3 ☐ 15 a 25 m
- 4 ☐ 25 a 50 m
- 5 ☐ 50 a 100 m
- 6 ☐ 100 a 200 m
- 7 ☐ 200 a 300 m
- 8 ☐ > a 300 m

4.3. LONGITUD DE LA VERTIENTE
- 1 ☐ Muy corta, < a 15 m
- 2 ☑ Corta, 15 a 50 m
- 3 ☐ Mod. larga, 50 a 250 m
- 4 ☐ Larga, 250 a 500 m
- 5 ☐ Muy larga, > a 500 m

5. MORFODINAMICA

5.1. MOVIMIENTOS EN MASA

A. TIPOS
- 1 ☐ Dz
- 2 ☐ Cd
- 3 ☐ Rp
- 4 ☐ Fl
- 5 ☐ Otros _____

B. GRADO
- 1 ☐ Alto
- 2 ☐ Medio
- 3 ☐ Bajo

C. MAGNITUD
- 1 ☐ Grande
- 2 ☐ Mediano
- 3 ☐ Pequeño

D. MATERIAL
- 1 ☐ Roca
- 2 ☐ Detritos
- 3 ☐ Suelo
- 4 ☐ Mixto

E. ESTADO
- 1 ☐ Activo
- 2 ☐ Latente
- 3 ☐ Estabilizado
- 4 ☐ Relicto

F. # eventos en la geoforma: _____

5.2. EROSION

A. TIPOS
- N ☐ Sin evidencias de erosion
- Wl ☑ Erosion hídrica laminar
- Ws ☐ Erosion hídrica concentrada en surcos
- Wc ☐ Erosion hídrica concentrada en carcavas
- Wb ☐ Erosion hídrica en barrancos
- M ☐ Erosion eolica

B. AREA AFECTADA
- 1 ☐ 0 – 5%
- 2 ☑ 5 – 10%
- 3 ☐ 10 – 25%
- 4 ☐ 25 – 50%
- 5 ☐ > 50%

6. COBERTURA VEGETAL
- 1. Arborea ☐
- 2. Arbustiva ☐
- 3. Herbácea ☐
- 4. Cultivo anual ☐
- 5. Cultivo semipermanente ☐
- 6. Cultivo permanente ☑
- 7. Eriales ☐

CODIGOS _____

7 FOTO-ESQUEMA

ANEXO 3.

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL

(CD 2)

ANEXO 4.

MAPA GEOLÓGICO LOCAL

(CD 2)

ANEXO 5.

MAPA DE PENDIENTES

(CD 2)

ANEXO 6

MAPA GEOMORFOLÓGICO

(CD 2)

ANEXO 7

MAPA DE USO ACTUAL DEL SUELO

(CD 2)

ANEXO 8

MAPA DE ISOYETAS

(CD 2)

ANEXO 9

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS

(CD 2)