



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

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

Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

**Elaboración sobre la base SIG de un mapa geomorfológico a
escala 1:10 000 de la parroquia Buenavista perteneciente al cantón
Chaguarpamba, provincia de Loja**

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

AUTORA:

Daniela Andreina Loaiza Balcázar

DIRECTOR:

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg.Sc.

Loja-Ecuador

2022

Certificación

Ingeniero

Walter Simón Tambo Encalada, Mg.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de titulación, realizado por la señorita egresada: **Loaiza Balcázar Daniela Andreina** con C.I.; 1724904717, en su proceso de investigación denominado: **Elaboración sobre la base SIG de un mapa geomorfológico a escala 1:10 000 de la parroquia Buenavista perteneciente al cantón Chaguarpamba, provincia de Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, el mismo que ha cumplido con el cien por ciento (100%) del trabajo de titulación, por lo que autorizo su presentación para la evaluación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 24 de marzo de 2022



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

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Daniela Andreina Loaiza Balcázar**, declaro ser autora del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Digital Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula: 1724904717

Fecha: 19 de julio del 2022

Correo electrónico: daniela.loaiza@unl.edu.ec

Celular: 0969511666

Carta de autorización

Yo, **Daniela Andreina Loaiza Balcázar**, declaro ser autora del trabajo de titulación denominado: **Elaboración sobre la base SIG de un mapa geomorfológico a escala 1:10 000 de la parroquia Buenavista perteneciente al cantón Chaguarpamba, provincia de Loja**, como requisito para optar el título de Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial; autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los diecinueve días del mes de julio del dos mil veinte y dos.

Firma:



Autora: Daniela Andreina Loaiza Balcázar

Cédula: 1724904717

Dirección: Loja, Barrio la Banda

Correo electrónico: daniela.loaiza@unl.edu.ec

Celular: 0969511666

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del trabajo de titulación: Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg.Sc.

Dedicatoria

A mi madre, Josefina, quién sin dudar momento alguno me brindó su apoyo indeleble acompañándome en cada decisión tomada durante esta etapa, induciendo en mí valores y principios de humildad y superación.

A mis padrinos, Rosa y Remigio, quienes con su apoyo y consejos supieron aportar en mi formación siempre el amor, la unión y comprensión.

A mis hermanas, Lis, Rosy y Omaira, por su ayuda incondicional y consideración.

Daniela Andreina Loaiza Balcázar

Agradecimiento

A Dios, por cada día de vida acompañándome con su bendición, este logro alcanzado es gracias a él.

A la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, que mediante la Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial y a sus docentes por haber contribuido sus conocimientos teóricos y técnicos a lo largo de mi formación profesional y personal.

Al Ing. Walter Tambo director de la tesis, por el tiempo y dedicación invertida para que se pueda desarrollar y concluir la presente investigación.

A mis amigos y amigas, por brindarme su amistad, compañía, apoyo y mucha paciencia, siendo ellos con quién tengo gratos recuerdos de momentos de diversión y aprendizaje.

Finalmente, agradezco a mis familiares que me han sabido brindar su apoyo constante y muy buenos consejos para seguir superándome.

Daniela Andreina Loaiza Balcázar

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xiii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Geomorfología.....	6
4.2. Geoformas	6
4.2.1. Tipos de geoformas	6
4.3. Génesis del relieve.....	7
4.3.1. Factores desencadenantes de los procesos geomorfológicos	7
4.3.2. Procesos morfogenéticos.....	8
4.4. Relieve.....	9
4.4.1. Formas de Relieves	9
4.4.1. Clasificación de Unidades del Relieve	10
4.5. Índices del relieve.....	14
4.5.1. Morfología.....	14
4.5.2. Morfometría.....	14
4.6. Topografía	15
4.7. Cartografía.....	16
4.7.1. Cartografía geomorfológica.....	16
4.8. Fotografía aérea	16
4.9. Ortofoto	17

4.10.	Imagen satelital.....	17
4.11.	Fotointerpretación	17
4.12.	Sistemas de información geográfica.....	17
4.13.	Modelos para la información geográfica.....	18
4.13.1.	Modelos geográficos	18
4.13.2.	Modelos de representación o de datos.....	19
4.13.3.	Modelo de almacenamiento.....	23
4.14.	Índices topográficos	23
4.14.1.	Índices topográficos primarios	24
4.14.2.	Índices topográficos secundarios.....	25
4.15.	Índices de formas del terreno	25
4.16.	Método de clasificación automática	25
4.16.1.	ISODATA (Clasificación no supervisada).....	25
4.17.	Generación de índices topográficos.....	26
4.17.1.	Software ENVI.....	26
5.	Metodología.....	27
5.1.	Descripción del Área de estudio.....	27
5.1.1.	Ubicación.....	27
5.1.2.	Clima	27
5.1.3.	Hidrografía	32
5.1.4.	Geología Regional.....	34
5.2.	Materiales	38
5.2.1.	Materiales de campo.....	38
5.2.2.	Materiales de oficina	38
5.3.	Métodos.....	38
5.3.1.	Metodología para el primer objetivo	40
5.3.2.	Metodología para el segundo objetivo	50
5.3.3.	Metodología para el tercer objetivo.....	59
6.	Resultados	61
6.1.	Resultados para el primer objetivo	61
6.1.1.	Topografía	61
6.1.2.	Pendientes.....	63
6.1.3.	Rasgos morfológicos del relieve	65
6.2.	Resultados para el segundo objetivo	67
6.2.1.	Geología Local	67
6.2.2.	Cobertura y uso actual del suelo.....	77
6.2.3.	Ambientes Genéticos.....	79

6.2.4.	Interpretación Geomorfológica	80
6.3.	Resultados para el tercer objetivo.....	90
6.3.1.	Puntos de control validados en campo	90
6.3.2.	Cartografía Geomorfológica.....	90
7.	Discusión	92
8.	Conclusiones	94
9.	Recomendaciones	96
10.	Bibliografía	97
11.	Anexos	100

Índice de tablas

Tabla 1 Categorización de las formas del relieve.....	10
Tabla 2 Índices Topográficos.....	24
Tabla 3 Red Hidrográfica de la parroquia Buenavista	32
Tabla 4 Temática de las Unidades del Relieve	58
Tabla 5 Clasificación de pendientes de la parroquia Buenavista.....	63
Tabla 6 Unidades Geomorfológicas de la parroquia Buenavista	80
Tabla 7 Temperatura media mensual de estaciones cerca de la zona de estudio	100
Tabla 8 Precipitación media anual de estaciones cerca de la zona de estudio	100
Tabla 9 Puntos de Control de Geoformas	101

Índice de figuras

Figura 1 Esquema de representación del modelo ráster	20
Figura 2 Ejemplo de archivos ráster. Modelo Digital del Elevaciones	21
Figura 3 Esquema de representación del modelo Vectorial	22
Figura 4 Mapa de Ubicación de la zona de estudio.....	27
Figura 5 Mapa de Temperaturas media mensual de la zona de estudio	29
Figura 6 Mapa de Precipitaciones anual de la zona de estudio	31
Figura 7 Mapa de la Hidrografía de la zona de estudio	33
Figura 8 Mapa Geológico Regional de la parroquia Buenavista	37
Figura 9 Diagrama del proceso y diseño de la cartografía geomorfológica.....	39
Figura 10 Ajuste y delimitación del MDT	41
Figura 11 Delimitación de la parroquia Buenavista en la Ortofoto	41
Figura 12 Visualización de la superficie DEM del terreno de la parroquia Buenavista	43
Figura 13 Generación de los Índices topográficos a partir del DEM.....	45
Figura 14 Índice topográfico de la Pendiente.....	45
Figura 15 Sombreado del Relieve	46
Figura 16 Curvatura en Perfil.....	47
Figura 17 Curvatura en Planta.....	47
Figura 18 Curvatura Longitudinal.....	48
Figura 19 Curvatura Transversal.....	49
Figura 20 Curvatura Mínima.....	49
Figura 21 Curvatura Máxima	50
Figura 22 Selección de la herramienta Foward PCA	51
Figura 23 Selección de los subconjuntos espectrales.....	51
Figura 24 Criterios del PCA.....	52
Figura 25 Gráfica Estadística de los Componentes Principales	52
Figura 26 Ráster Multivariante del PCA.....	53
Figura 27 Selección de la herramienta Isodata Classification.....	54
Figura 28 Asignación de parámetros para la clasificación Isodata	54
Figura 29 Clasificación No Supervisada (Isodata).....	55
Figura 30 Parámetros para Análisis de Vecindario	56
Figura 31 Aplicación y contraste del análisis de vecindario	56
Figura 32 Modelo resultante de la agregación de filtro	57

Figura 33 Representación de la clasificación de las unidades del relieve.....	57
Figura 34 Categorización del relieve en base al modelamiento 3D.....	58
Figura 35 A). Zonas altas B). Zonas bajas de la zona de estudio.....	61
Figura 36 Mapa Topográfico de la zona de estudio.....	62
Figura 37 Mapa de Pendientes de la zona de estudio.....	64
Figura 38 Superficies coluviales.....	65
Figura 39 A). Grado erosivo en relieve cóncavo B). Zonas altas que benefician a un drenaje vertical.....	66
Figura 40 Procesos denudativos.....	66
Figura 41 Deslizamiento en vía principal de la zona de estudio.....	66
Figura 42 Lutitas consolidadas.....	68
Figura 43 Lutitas negras depositadas laminarmente.....	68
Figura 44 Lutitas negras depositadas laminarmente.....	69
Figura 45 Arcillas limosas.....	69
Figura 46 Arcillas con grado de meteorización alto.....	70
Figura 47 Arcillas.....	70
Figura 48 Lutitas afectadas por procesos de deformación.....	71
Figura 49 Material limo arenoso intercalado en lutitas.....	71
Figura 50 Contacto entre lutitas decamétricas y limolitas consolidadas.....	72
Figura 51 Lutitas laminadas y presencia de arcilla altamente plásticas.....	73
Figura 52 Material limo arenoso y arcilloso con la presencia de cuarcitas.....	73
Figura 53 Andesita Porfirítica en la quebrada Lambedero.....	74
Figura 54 Rocas Volcánicas localizadas en la quebrada Chipianga.....	75
Figura 55 Toba Andesíticas localizada en la quebrada El Guango.....	75
Figura 56 Tobas andesíticas con textura afanítica-porfirítica con xenolitos de la quebrada Hcda. Nueva.....	75
Figura 57 Macizos rocosos aflorantes y altamente meteorizado.....	76
Figura 58 Depósitos coluviales en el sector de Hacienda Nueva.....	76
Figura 59 A). Pastizales B). Cultivos C). Zonas Boscosas D). Áreas Antrópicas.....	77
Figura 60 Mapa de Cobertura Vegetal y Uso Actual del suelo de la zona de estudio.....	78
Figura 61 Ambiente Tectónico-Erosivo.....	79
Figura 62 Terrazas aluviales propio de un ambiente deposicional.....	79
Figura 63 Ambiente denudativo.....	80
Figura 64 Macrorelieve de Serranía.....	81

Figura 65 Relieve Montañoso al sur de la parroquia	82
Figura 66 Barrio Hacienda Nueva localizado al Pie de Monte	82
Figura 67 Valle en V	83
Figura 68 Relieve Montañoso A). Sureste, sector La Delicia C). Suroeste, sector El Guango C). Sur, sector Lambederos D). Centro, cabecera parroquial Buenavista con vista al norte ...	84
Figura 69 Cimas A). Cima Aguda, sector Pan de Azúcar, B). Cima aguda, sector La Paica C). Cima Redondeada, sector Hcda. Nueva D). Cima Redondeada, sector Buenavista	85
Figura 70 Relieve colinado alto: A) Sector Potrerillos B) Sector Artoncillo.....	85
Figura 71 Vertientes A). Sector El Guango, B). Sector El Palmar C). Sector alto del barrio Ombomba D). Sector Valle Hermoso	86
Figura 72 Colinas Bajas A). Sector Hcda. Nueva, B). Sector El Guango C). Sector Ombomba D). Sector Corral Viejo E).NE al límite parroquial.....	87
Figura 73 Conos de Deyección: A). Sector NE, cerca de la entrada del territorio B). Vía principal.....	88
Figura 74 Coluvión: A). Sector suroeste, B). Sector sureste.....	88
Figura 75 Terrazas Aluviales: A). Sector sureste, B). Sector noreste C). Sector suroeste.....	89
Figura 76 Planicies: A). Sector Guango al SW, B). Parte baja del centro hacia el este.....	89
Figura 77 Mapa de Ubicación de Puntos de Control de las Geoformas	90
Figura 78 Mapa de Unidades Geomorfológicas.....	91

Índice de anexos

Anexo 1. Datos de la zona de estudio	100
Anexo 2. Fotointerpretación.....	102
Anexo 3. Caracterización Geológica con Afloramientos.....	104
Anexo 4. Caracterización Geomorfológica	104
Anexo 5. Mapas Temáticos de la parroquia Buenavista	104
Anexo 6. Certificación de traducción al idioma inglés	105

1. Título

Elaboración sobre la base SIG de un mapa geomorfológico a escala 1:10 000 de la parroquia Buenavista perteneciente al cantón Chaguarpamba, provincia de Loja.

2. Resumen

La decisión de estudiar el territorio de la parroquia Buenavista elaborando su cartografía geomorfológica a escala 1:10000, se da por la necesidad de información que permita solucionar los problemas (deslizamientos en especial en la época invernal afectando a las vías de ingreso a los centros poblados, otro de los problemas es la apertura de accesos que siendo una actividad antrópica se produce la desestabilización de los taludes, puesto a que muy pocas veces se considera las variables geológicas y geomorfológicas) y asegurar que las planificaciones en un futuro no excedan el grado aceptable del uso del territorio, permitiendo un conocimiento más amplio y a su vez la utilidad y el beneficio de este tipo de mapa dentro de la zona de estudio, por lo que, identificar y determinar las unidades geomorfológicas son los objetivos logrados para esta investigación. Esto se logró utilizando la metodología propuesta por el MAE (2013), donde se realizó sobre el modelo digital de elevación (MDE) una previa clasificación automatizada mediante el software ENVI, para luego complementar la información obtenida con observación directa en campo e interpretación en un modelado 3D del relieve.

Se registraron 4 unidades a nivel macro y 11 a mesorelieve dentro de 3 ambientes genéticos, de los cuales, a nivel macro la categoría de montaña es la más representativa de la zona con un valor aproximado del 62 % de la superficie total de la parroquia, valor que también representa a la categoría más significativa del meso relieve que es la unidad geomorfológica del relieve montañoso que abarca la zona sur, sureste y suroeste.

El relieve de la parroquia Buenavista, se encuentra dentro de las estribaciones de la cordillera occidental de los Andes, con cotas que van desde los 456 hasta los 2184 m s.n.m, por ello presenta un relieve montañoso con una extensión de 27.74 km² del territorio total.

Palabras clave: escala, geomorfología, MDE, unidades geomorfológicas, macro y meso relieve, cotas, clasificación automatizada.

2.1. Abstract

The decision to study the territory of Buenavista parish by elaborating its geomorphological cartography at a scale of 1:10000, is due to the need for information which allows to solve the problems (landslides, especially in the winter season affecting the access roads to the populated centers, as well as the opening of accesses, which being an anthropic activity, destabilize the slopes, since the geological and geomorphological variables are rarely considered) and to ensure that future planning does not exceed the acceptable extension of land use, allowing a broader knowledge and, in turn, the usefulness and the benefit of this type of map within the study area. Therefore, identifying and determining the geomorphological units are the achieved objectives for this research. This was achieved by using the proposed methodology by the MAE (2013), where a previous automated classification was carried out on the digital elevation model (DEM) using the ENVI software, to then complement the information obtained with direct observation in the field and interpretation in a 3D model of the relief.

Four macro-level units and eleven meso-relief units were recorded within three genetic environments, from which, at the macro-level, the mountain category is the most representative of the area with a value of approximately 62% of the total area of the parish, a value that also represents the most significant category of the meso-relief that is the geomorphological unit of the mountainous relief that covers the south, southeast and southwest areas.

The relief of Buenavista parish is located within the foothills of the western mountain range of the Andes, with altitudes ranging from 456 until 2184 meters above sea level, which is why it has a mountainous relief with an extension of 27.74 Km² of the total territory.

Keywords: scale, geomorphology, DEM, geomorphological units, macro and meso relief, foothills, automated classification.

3. Introducción

La geomorfología se encarga de la descripción y explicación de las características de las formas del relieve encontradas en la superficie de la Tierra. Esta prioriza su génesis y los distintos procesos de evolución que las han originado. Es una ciencia íntimamente relacionada con la geología que comprende el estudio directo sobre el terreno lo que permite resaltar las características peculiares de las formas en estudio (Elorza, 2008).

La geomorfología del Ecuador ha sido modelada por el levantamiento de la Cordillera de los Andes, influencia orogénica, que conlleva otros procesos estructurales (fallas), de vulcanismo (volcanes) y litológicos (suelos), que junto con el tiempo (factor evolutivo que define el estado de sus formas), han creado espacios con características muy particulares donde se han desarrollado una gran variedad de ecosistemas que se ubican sobre estas unidades morfológicas (MAE, 2013).

La generación de información confiable, viable y actualizada permite una adecuada planificación y gestión del uso del territorio no solo a escala nacional y regional, sino también a escala local que es importante para los Planes de Ordenamientos Territorial (MAE, 2013).

En la parroquia Buenavista del cantón Chaguarpamba de la provincia de Loja, existe una escasa investigación acerca de la geomorfología de forma detallada, lo que hace que la poca información geomorfológica no se encuentre actualizada y no presente el nivel de detalle que se requiere para conocer de manera puntual la dinámica de los procesos actuantes sobre el relieve (Rimacuna, 2012), y la influencia de las diferentes actividades humanas que se desarrollan permanentemente y sobre todo de manera desordenada dentro del territorio en el ámbito agrícola y ganadero, entre otras.

Debido a esto surge la necesidad de un levantamiento de información cartográfica geomorfológica a una escala detallada (1:10 000) a partir de las distintas combinaciones del modelamiento del relieve con sus variables topográficas de la parroquia Buenavista (zona de estudio), donde dicha información contribuirá en el desarrollo de una buena base informativa para regular y gestionar la expansión del territorio y su uso, además de ello para futuros trabajos dedicados al análisis del riesgo de amenazas naturales en el territorio.

A su vez, ayudará a la toma de decisiones futuras por medio de las autoridades del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Buenavista, efectuando así un pertinente progreso del territorio parroquial, mediante el desarrollo de la planificación de estrategias productivas y las actividades de los habitantes de la parroquia.

El presente trabajo investigativo se elaboró 12 capítulos con el siguiente orden:

En el capítulo 1,2 y 3 se especifica el tema de investigación (Título), el resumen donde se describe brevemente el método para el desarrollo de la cartografía geomorfológica, y la introducción hace referencia a la importancia del proyecto.

En el capítulo 4 y 5 se describe los objetivos que son la finalidad del desarrollo de dicha investigación, posteriormente está la revisión de literatura, donde se mencionan algunos conceptos referidos a la geomorfología, e involucrando términos necesarios que permitan una mejor comprensión y desarrollo de la investigación.

En el capítulo 6, se detalla los materiales y métodos de investigación, utilizados en las distintas fases de campo y oficina, como también los métodos de investigación bibliográfico, cuantitativos y cualitativos que permitieron la recopilación de información obtenida a partir de Notas secundarias que nos proyectaron a la cartografía geomorfológica conjuntamente con un análisis de los datos obtenidos.

En el capítulo 7 y 8, se tiene la metodología aplicada de manera lógica y secuencial para la elaboración de la cartografía; y los respectivos resultados abarcando la descripción general del área de estudio (ubicación, clima, hidrografía, geología regional), la topografía, pendientes, rasgos morfológicos del relieve, la caracterización geológica, la cobertura vegetal, interpretación geomorfológica, los puntos de control validados en campo y la cartografía geomorfológica.

En el capítulo 9,10, 11 y 12 se describen las conclusiones, elaboradas en base a los objetivos considerando los resultados obtenidos; las recomendaciones planteadas con el fin de mejorar próximas investigaciones; las referencias bibliográficas utilizadas como soporte de la investigación; y finalmente los anexos como respaldo de la investigación, donde está la información levantada in situ por medio de fichas de campo y mapas finales. En este contexto, los objetivos de la presente investigación son:

Objetivo General

Elaborar la cartografía geomorfológica a escala 1:10 000, mediante la aplicación de la base SIG de la parroquia Buenavista perteneciente al cantón Chaguarpamba, provincia de Loja.

Objetivos Específicos

- ✓ Identificar los principales índices de relieve presentes en la zona de estudio.
- ✓ Determinar las unidades geomorfológicas en base a la categorización del relieve.
- ✓ Realizar un mapa a detalle de la geomorfología de la parroquia Buenavista a escala 1:10 000.

4. Marco teórico

4.1. Geomorfología

Se define a la Geomorfología como una ciencia que estudia e investiga los distintos fenómenos sobre y cerca de la superficie terrestres, vinculando las interacciones entre varios tipos de materiales y procesos, incluyendo los sólidos, líquidos y gaseosos (Elorza, 2008).

4.2. Geoformas

Se entienden, en términos generales, como 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 y la formación de las llanuras aluviales, eólicas y marinas por los distintos modelados morfodinámicos (Robertson et al., 2013).

4.2.1. Tipos de geoformas

Las geoformas según grupos genéticos del inventario inicial del Ecuador, elaborado por Sigtierras presenta lo siguiente:

4.2.1.1. Fluvial. Se conoce que los ríos son los principales escultores de un relieve, y el agua es el principal agente erosión y transporte, es así que existen las Formas y depósitos ligados a ríos y al flujo de agua habitualmente encauzada. También se incluyen formas resultantes de la erosión generalizada por agua (Caicedo, 2014).

4.2.1.2. Laderas. Formas y depósitos relacionados con la evolución y dinámica de las laderas o vertientes. Se acumulan en su pie el proceso morfogenético causando el fracturamiento y desprendimiento de fragmentos de roca producto del intemperismo físico (POMCA, 2012).

4.2.1.3. Estructural. Formas o modelados estructurales, resultado de la interacción entre los diversos procesos erosivos y la litología y estructura de las rocas, conjuntamente con la deformación de la litosfera y procesos de esfuerzos, con la finalidad de determinar los movimientos con respecto al material original determinando los ejes de deformación (Ghiglione, 2019).

4.2.1.4. Tectónico-Erosivo. Formas sin rasgos característicos (geoformas banales), no ligadas a ningún sustrato litológico concreto, de génesis tectónica y modeladas por la erosión con diferentes grados de intensidad, por ejemplo, los relieves ondulados, colinados y montañosos (Val, 2014).

4.2.1.5. Poligénicas. Formas y depósitos que tienen su origen en dos o más grupos genéticos o que son de difícil adscripción a uno de ellos (Val, 2014).

4.3. Génesis del relieve

Conjunto de fenómenos que van evolucionando con la dinámica del ciclo geográfico mediante una serie de procesos constructivos y destructivos, que conducen al origen diverso y desarrollo de distintas formas de relieves.

- **Relieves controlados por disposición tectónica**

La tectónica o conocido como diastrofismo comprende aquellos procesos más superficiales del proceso dinámico encontrado en la litosfera, es decir, sus manifestaciones geodinámicas internamente que afectan directa e indirectamente a niveles externos de la corteza, ya sea desplazando, deformando y dislocando los materiales que los constituyen e interfieren con los procesos que exteriormente actúan sobre ellos (Jiménez, 1995).

- **Relieves controlados por la litología**

La litología constituye un control fundamental de las formas de relieve a todas las escalas, e incluso regional, manifestándose directamente los caracteres químico-mineralógicos, texturales, arquitecturales del material, es decir, el macizo puede presentar una litogénesis y características capaces de manifestarse en un tipo de morfología o cuando domina un tipo de roca cuya composición es susceptible a una erosión específica sobre cualquier otro material (Jiménez, 1995).

4.3.1. Factores desencadenantes de los procesos geomorfológicos

Según Pedraza (1996), los factores desencadenantes de los procesos geomorfológicos pueden categorizarse en cuatro grandes grupos:

4.3.1.1. Factores geográficos. Considerados como factores de origen exógeno, tales como el relieve, suelo, clima como la presión, temperatura y vientos; y la acción de los cuerpos de agua como la escorrentía, la acción fluvial y marina que producen distintos modelados en el relieve.

4.3.1.2. Factores bióticos. El efecto de los factores bióticos sobre el relieve suele oponerse a los procesos del modelado, especialmente considerando la vegetación, sin embargo, existen no pocos animales que colaboran con el proceso erosivo.

4.3.1.3. Factores geológicos. Se vincula a los factores como la tectónica, el diastrofismo, la orogénesis y el vulcanismo, son procesos constructivos y de origen endógeno que se oponen al modelado e interrumpen el ciclo geográfico.

4.3.1.4. Factores antrópicos. La acción del hombre sobre el relieve es muy variable, dependiendo de la actividad que se realice, en este sentido es muy difícil generalizar, pudiendo incidir a favor o en contra de los procesos erosivos.

De los cuatro factores previamente mencionados, solo los factores geográficos contribuyen siempre en dirección al desarrollo e influyen en la dinámica del ciclo geográfico, mientras que los otros factores (bióticos, geológicos y antrópicos) interfieren al normal desarrollo del ciclo en la superficie terrestre.

4.3.2. *Procesos morfogenéticos*

Consecuentemente, con la interacción de los factores desencadenantes de los procesos geomorfológicos, se dan los procesos morfogenéticos sucesivamente, como la erosión, transporte y sedimentación de los materiales (Pedraza, 1996).

4.3.2.1. Erosión. Proceso de arranque de materiales por procesos geológicos, es decir, es el mecanismo geológico para la denudación. La erosión se encuentra beneficiada por la meteorización, la alteración y la disgregación previa de las rocas.

4.3.2.2. Transporte. Es la movilización de los fragmentos de la roca previamente meteorizada. Los efectos del transporte son reflejados tanto en el cauce por donde se transporta el material, como en el propio clasto desplazado.

4.3.2.3. Sedimentación. Se refiere a la acumulación de los materiales transportados por un agente geológico, se produce en condiciones ambientales de las que queda un registro sedimentario. La sedimentación puede ocurrir después de un recorrido realizado por un agente de transporte, en cuyo caso se habla de sedimentación alóctona, o puede ocurrir en el mismo sitio en que se formó el material, en cuyo caso se habla de sedimentación autóctona.

4.4. Relieve

Es el resultado de la interacción de las fuerzas endógenas y exógenas, las primeras actúan como creadoras de las grandes elevaciones y depresiones, es decir distintas unidades morfoestructurales, producidas esencialmente por movimientos de componente vertical, y las segundas actúan como fuerzas desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar o erosionar el relieve originado (Elorza, 2008).

El relieve es el objeto formal de estudio de la geomorfología, esta ciencia se considera como un baluarte en el estudio y análisis del territorio a través del estudio del origen, forma, dinámica, evolución y distribución de las formas de la superficie terrestre. Los fundamentos y alcances de esta ciencia no se han limitado al estudio morfológico (cualitativo) y morfográfico (cuantitativo) de las diferentes geoformas, sino que se ha constituido como la piedra angular para el estudio de problemas específicos relacionados con la evaluación del medioambiente, el estudio del impacto natural, de los riesgos, los paisajes y el ordenamiento territorial entre otros (Espinosa & Arroyo, 2011).

4.4.1. Formas de Relieves

La superficie terrestre se forma por una sucesión de irregularidades, depresiones y elevaciones, con magnitudes variables, denominadas formas del relieve. Las formas pueden cartografiarse y analizarse por morfometría, teniendo en cuenta los influjos estructurales tanto dinámicos como estáticos.

Para Leontiev (1979), existe una clasificación del relieve debido a la diversidad de tamaño de las formas, distinguiendo 6 categorías de formas de relieve.

Tabla 1 *Categorización de las formas del relieve*

FORMA DE RELIEVE	ALTURAS (m)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN	DESCRIPCIÓN
Formas planetarias del relieve	20 000 máxima 2 500 – 6500 promedio	1:50 000 000	Formas que abarcan decenas y cientos de millones de km ² . Se incluyen las plataformas continentales, las plataformas oceánicas, las zonas de transición y las dorsales o cordilleras medio-oceánicas.
Megaformas	11 000 máxima 500 – 4 000 promedio	1:10 000 000 1:1 000 000	Abarcan decenas a cientos de miles de km ² , como las grandes cadenas montañosas.
Macroformas	200 – 2 000	1:1 000 000 1:100 000	Abarcan áreas de cientos a miles de km ² , por ejemplo, las sierras que componen las cadenas montañosas, las fosas submarinas, las grandes llanuras.
Mesoformas	200 - 300	1:50 000 1:10000 (cartografía a detalle)	Son formas que ocupan áreas de decenas de km ² ; es el caso de las poljas y las montañas aisladas
Microformas	metros y decenas de metros	1:25 000 1:5000 (cartografía a detalle)	Formas pequeñas del relieve que no sobrepasa los pocos km ² , como las dolinas, las dunas, las cárcavas.
Nanoformas	0.1 a 1 – 2 m	1:5 000 (cartografía a detalle)	Las formas enanas del relieve, que no pasan de 1 m ² , como el lapiés y las rizaduras de oleaje.

Nota. (Leontiev, 1979)

Acerca de la formación del relieve, es necesario agregar dos grandes procesos naturales que cotidianamente van ayudando a que el relieve se vaya modificando. Estos procesos son la *erosión* (desgaste del relieve) y la *sedimentación* (acumulación de materiales), que, en largos períodos de tiempo, llevan a la formación de planicies, montañas y valles, es decir dinámicamente: el viento, con su constante acción, puede erosionar montañas y convertirlas en mesetas; por otro lado, ese material que se desprende del cerro o montaña, puede sedimentar y levantar otras zonas que estaban hundidas en el territorio. Lo mismo sucede con otros agentes que erosionan y sedimentan el territorio, como la acción de los ríos, las lluvias, y los glaciares.

4.4.1. Clasificación de Unidades del Relieve

El relieve del Ecuador se caracteriza por una extraordinaria diversidad de paisajes. La presencia, en su parte media del gran eje montañoso que constituye la Cordillera de los Andes, dio origen a la separación de país en tres regiones o llamados conjuntos continentales, cuyas delimitaciones y definiciones son aún irrefutables: en el centro los relieves montañosos de la cordillera de los Andes; al oeste las llanuras y relieves colinados de la región costanera; y al este las cordilleras, colinas y llanuras de la Amazonía (Winckell, 1992).

4.4.1.1. Macrorelieve. Los relieves asociados a un macrorelieve se caracterizan por ser complejos de paisajes, describe áreas de tierras bajas en donde existen subunidades geomorfológicas, es decir implica que la morfología del relieve se debe a los procesos geomorfológicos endógenos y/o exógenos mucho mayor a los que originaron inicialmente a la forma del relieve (Villota, 1997), distinguiendo relieves como:

- **Cordillera**

Es una gran acumulación de montañas que se produce por el plegamiento de la corteza terrestre, por su imponencia de estructura (maciza, alta y volcánica), influye en la mayoría de los fenómenos asociados a un lugar geográfico, como es el clima, la flora y la fauna.

La Cordillera de los Andes es la principal cadena montañosa del continente sudamericano, comienza en Venezuela y termina en la Antártica, presentando una fuerte actividad volcánica y sísmica en toda su extensión (Rodríguez, 2011).

- **Serranía**

Se entiende como un conjunto de sierras que se caracteriza por su extensión superficial donde suelen tener mayor longitud que altitud, es decir, un conjunto de montañas o sistemas montañosos (Pedraza, 1996).

- **Montaña**

Es una elevación natural de terreno superior a 700 m respecto a su base y se deben a procesos endógenos de plegamiento, magmatismo intrusivo y extrusivo, aunque también hay montañas erosivas, originadas por la disección de una estructura de formación endógena. Puede ser una forma aislada o constituida por grandes grupos alineados o unidos conjuntos llamados cordilleras y sierras (Hubp J. , 2011).

- **Llanura**

Son terrenos de gran extensión planos o suavemente ondulados cuya altitud no supera los 200 metros sobre el nivel del mar o en el fondo de valles. En la geomorfología el término planicie o llanura se aplica también a los grandes territorios con relieve de poca diferencia altitudinal (Hubp J. , 2011).

- **Penillanura**

Terreno de poca altitud y escasos relieves producida en la última etapa del ciclo de denudación o erosión de una región montañosa. Es la forma de relieve que suele ocupar grandes extensiones y que, por efecto de la erosión, presenta una superficie suavemente inclinada, con una mínima diferencia de altura entre los valles y los interfluvios. Está formada por materiales antiguos y erosionados (Pedraza, 1996).

- **Piedemontes**

Territorio llano u ondulado contiguo a una cadena montañosa, se localiza especialmente en las partes bajas de montañas y sierras hasta el punto de inflexión con el valle o la llanura (Pedraza, 1996).

- **Valle**

Es una llanura entre montañas, una depresión de la superficie terrestre entre dos vertientes, con forma inclinada y alargada, que conforma una cuenca hidrográfica en cuyo fondo se aloja un curso fluvial. Dentro de esta forma se diferencian dos tipos de valles: valle en U y valle V, el primero se localiza en laderas de pendiente fuerte y fondo nivelado y ancho; en perfil transversal presenta la forma de la letra correspondiente, generalmente son de origen glaciar. El segundo, es el que presenta en sección transversal un perfil de fondo estrecho, con laderas de fuerte inclinación y ancho en la porción superior, es característico del relieve montañoso y de origen fluvial (Hubp J. , 2011).

4.4.1.2. Mesorelieve. Hace referencia a escalas espaciales locales, es decir comprende las formas de relieve de menor magnitud que representan a un paisaje tridimensional caracterizado por uno o más atributos morfométricos como su pendiente, tipo y su grado de erosión; este tipo de relieve incluye unidades geomorfológicas como: colinas, terrazas, planicie, vertientes, cuevas, mesetas y chevrones (Villota, 1997). Dentro de este grupo se distinguen relieves como:

- **Mesetas**

Son formas del relieve caracterizadas por ser planas con una elevación sobre el nivel del mar, considerando un mínimo de interrupciones como cerros y ríos en su interior. Su origen puede tener varias explicaciones: por un lado, la erosión de zonas que anteriormente fueron

cerros o montañas, o bien, la sedimentación de algún territorio que terminó finalmente por formar un plano relleno de material proveniente de otro relieve más alto (Anaya, 2008).

- **Colina**

Es una eminencia del terreno con laderas suaves, alargada con una base fácil de delimitar que, en general, no supera los 100 metros desde la base hasta la cima.

- **Depresiones**

Son áreas hundidas. Suelen estar recorridas por ríos, que excavan depresiones alargadas llamadas valles (Anaya, 2008).

- **Terrazas**

Son zonas llanas, bajas y estrechas formadas por depósitos aluviales de arenas características del cuaternario combinado con guijarros grandes. Se localizan a ambos lados del plano inundable y originado por repetidos descensos del nivel de base de erosión (Pedraza, 1996).

- **Planicie**

Gran extensión de terreno que no presenta fuertes desniveles y consta de relieves bajos o de una mínima altitud, con pendientes menores al 8%. Estas geoformas tienen lugar en territorios bajos, en los cuales todavía el terreno no ha ganado mayor altura o también en los distintos valles que se generan naturalmente entre cadenas montañosas (Pedraza, 1996).

- **Vertientes**

Superficie topográfica inclinada, es decir, pendiente de una montaña o elevación del terreno situada entre los puntos altos y los bajos (Anaya, 2008).

- **Chevrons**

Son pliegues simétricos con flancos rectos y charnelas agudas casi sin curvatura, se caracterizan por contener pendientes entre 40 y 70%.

4.5. Índices del relieve

Definidas como propiedades cuantitativas y cualitativas del relieve terrestre que se obtienen para un mejor conocimiento del mismo y para interpretar la relación entre los índices y los parámetros que se relacionan con la caracterización de un relieve. A continuación, se describen los índices del relieve.

4.5.1. Morfología

Parámetro que refleja la dinámica externa de un territorio sometido a diferentes grados de alteración natural y antrópica, percibiendo una heterogeneidad espacial de las formas de la superficie topográfica como respuesta a los procesos geológicos internos y fenómenos externos que interfieren en los procesos, es decir, se encarga de la representación de los aspectos descriptivos y cualitativos de las formas de relieve (Pedraza, 1996), entre ellos incluye aspectos como:

- Aspecto exterior de las formas del relieve, su forma y sección
- Dimensiones de la forma del relieve
- Elementos de la forma del relieve, como su inclinación de ladera, carácter del parteaguas.
- Caracterización de los límites
- Rocas constituyentes del relieve

4.5.2. Morfometría

Las formas del relieve terrestre se pueden definir por su semejanza a partir de una cuantificación de determinados elementos del relieve, de todo ello se encarga la morfometría (Hubp, Elementos de Geomorfología Aplicada. Métodos Cartográficos, 1988).

Expresado de otra manera, la morfometría se ocupa del análisis del relieve mediante la expresión cuantitativa de determinados aspectos del relieve o de procesos que actúan sobre él. Dichas expresiones cuantitativas se denominan índices morfométricos, y a raíz de esta representación se forman los mapas morfométricos (Worschitz, 2008). Como índices morfométricos más utilizados se encuentran los siguientes:

4.5.2.1. Ángulo de la Pendiente. Caracteriza a todo plano desviado de la horizontal del suelo, se miden frecuentemente en porcentaje y dicho nivel puede ser de subida o bajada. En base ello, se establece medir los ángulos de áreas extensas mediante cálculos realizados en los mapas topográficos, considerándolos como una base para la generación de los mapas de ángulo de la pendiente elaborados a partir de las curvas de nivel previamente su digitalización para la utilización de los modelos digitales de elevación.

La pendiente de una ladera no solo depende del balance entre las fuerzas de levantamiento y erosión, sino también del tipo de roca, ya que su composición química y tamaño de componentes de una roca pueden controlar el desarrollo de laderas de pendientes suaves o fuertes (Caballero, 2014).

4.5.2.2. Disección vertical o desnivel relativo. Denominado también como amplitud del relieve o profundidad de disección, expresa el grado de profundización sujeto por las corrientes de agua superficiales en su acción erosiva sobre la superficie terrestre; esta disección se caracteriza por ser un indicador del trabajo erosivo a causa del escurrimiento permanente de las aguas superficiales (Casanova, 2011).

4.5.2.3. Disección horizontal o longitud de vertiente. Este índice morfométrico expresa el grado de desmembramiento de la superficie terrestre provocado por la acción de las corrientes de agua superficiales, incluyendo aguas permanentes y temporales. En consecuencia, el escurrimiento superficial en el terreno fluye a lo largo de un cauce y erosiona la superficie sobre la cual corre, mismas que interrumpen la continuidad de la superficie inicial coincidiendo con el talweg o vaguada (Worschitz, 2008).

Los índices morfométricos explicados anteriormente y los mapas morfométricos que a partir de aquellos se confeccionan y la información obtenida de un solo índice morfométrico puede llevar a conclusiones erróneas si no se le compara con la de otros índices de manera de que cada uno permita corroborar la validez de los otros.

4.6. Topografía

La topografía es considerada una ciencia que trata a los principios y métodos utilizados para la determinación de las distintas posiciones relativas de puntos de la superficie terrestre, mediante la aplicación de la geometría y por medio de las medidas de los tres elementos de espacio, como la distancia, dirección y una elevación (Guzmán, 2012).

4.7. Cartografía

Ciencia encargada del estudio y elaboración de mapas para la representación de diferentes extensiones de territorio, considerada como el lenguaje de la Geografía por la razón de que representa el territorio terrestre previo a su descripción desde el punto de vista geométrico por cuestiones de proyecciones y escalas, y descriptivo por cuestiones de inventario, con la finalidad de ubicar con exactitud las diferentes entidades geográficas (Buzai, 2013).

4.7.1. Cartografía geomorfológica

Contiene información que es aplicable en diversos aspectos de la actividad humana sobre el medio físico; este mapa contiene información morfométrica, morfogenética y morfodinámica constituye un documento básico que debe ser reelaborado en determinados aspectos en función de las necesidades concretas de aplicación (Espinosa & Arroyo, 2011).

4.7.1.1. Consideraciones generales para la cartografía geomorfológica. El sistema jerárquico semidetallado de levantamiento, pretende ser flexible y aplicable sobre una gran diversidad de ambientes y una gran gama de escalas. Para su elaboración se plantean algunos principios básicos que deben cumplirse para el desarrollo de un levantamiento geomorfológico (Robertson et. al, 2013).

Las unidades básicas de clasificación deben reunir cinco aspectos básicos:

- 1) Génesis o agentes morfogenéticos dominante que sea identificable, ejemplo: glacial, estructural, volcánico, fluvial eólico, marino, antrópico, etc.
- 2) Procesos secundarios o procesos específicos de degradación o erosión que modifican la estructura básica, ejemplos: morrenas, crestas estructurales, terrazas aluviales, etc.
- 3) Estructura interna incluyendo composición y estructura sedimentaria, ejemplos: torrencial, lacustre, plegado, masivo, diaclasada, aluvial etc.
- 4) Morfometría (rango de pendientes característico de la unidad)
- 5) Edad relativa o exacta, ejemplo: reciente, antiguo o subcreciente

4.8. Fotografía aérea

Es una proyección perspectiva de un área del terreno desde el centro de un centro de proyección elevado, de manera que los puntos se encuentran desplazados y tiene una escala decreciente. Si la relación entre la estación de cámara y la escena, la fotografía aérea puede ser vertical, oblicua u horizontal. La información obtenida en base a las fotografías tiene por objeto

brindar medidas de las entidades geográficas, para finalidades cartográficas y análisis de medida (Instituto Cartográfico y Geológico, 2020).

4.9.Ortofoto

Una ortofoto es generada a partir de fotografías aéreas que han sido rectificadas para adaptarse a la forma del terreno, de tal forma que el punto de vista de la cámara no afecte a la posición real de los objetos y en la que todos los elementos están a una misma escala, libre de errores y deformaciones y por ende dará una información válida para posteriores análisis de la superficie.

Se la define como una fotografía con escala constante y propiedades de una proyección ortogonal, formada a partir de una fotografía en proyección central mediante rectificación diferencial, donde los objetos ocupan sus posiciones horizontales reales (Instituto Cartográfico y Geológico, 2020).

4.10. 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).

4.11. 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 (Chuvienco, 1996).

4.12. Sistemas de información geográfica

Los SIG son un conjunto de programas diseñados para la representación y gestión de grandes volúmenes de datos sobre ciertos aspectos del mundo real, estos sistemas se orientan frecuentemente a facilitar información para la toma de decisiones por medio de un conjunto de procesos sistemáticos que permiten producir a raíz de datos no tratados, por ende estos sistemas permiten gestionar y analizar la información espacial, con aplicaciones de multipropósito en campos como la planificación urbana, la gestión catastral, ordenación del territorio, el medio

ambiente, la planificación del transporte, el mantenimiento y la gestión en redes públicas y otras (Gutiérrez et. al, 2013).

4.13. Modelos para la información geográfica

La información geográfica tiene características propias y únicas, y su recolección, compilación y su análisis presenta problemas únicos, por ello la realidad representada por la información geográfica es frecuentemente continua y siempre infinitamente compleja, por el mismo hecho es que tiene que ser discretizada, es decir abstraída y generalizada o interpretada para su posterior tratamiento y análisis (Gutiérrez et. al, 2013).

Los SIG tiene una capacidad única para integrar muchos tipos de datos. Utiliza la ubicación espacial y superposiciones de mapas digitales para integrar y analizar el contenido de nuestro mundo, lo que permite descubrir relaciones entre todos los tipos de datos.

Estos modelos son una representación digital del mundo real en base a una colección de datos referenciados en el espacio que actúa como un modelo de la realidad.

El problema principal reside en el hecho de que el detalle real que encontramos en la naturaleza es prácticamente infinito, mientras que la representación y almacenamiento de esa realidad es finita, por ello es necesario extraer una variedad de elementos y valores característicos, los mismos que se representen como valores numéricos dentro del SIG, ya que es lo que maneja un software (Olaya, 2014). El proceso que conlleva desde la realidad hasta dichos valores numéricos, pasa por tres niveles:

- ☞ Establecimiento de un modelo geográfico
- ☞ Establecimiento de un modelo de representación
- ☞ Establecimiento de un modelo de almacenamiento

4.13.1. Modelos geográficos

Es un modelo conceptual de la realidad geográfica y su comportamiento, dentro de este modelo se trata de conceptualizar el espacio en estudio, las variables tratadas y la variación a lo largo del espacio, en otras palabras, los modelos geográficos nos proporcionan una concepción particular del espacio geográfico y sus atributos. Entre los modelos geográfico se destacan dos:

- ☞ *Campos*, tratan de un modelo de variación dimensional en el cual en cada punto se tiene un valor de variable estudiada. Se tiene campo escalar, donde a cada punto del espacio vectorial origen se le asocia un único valor escalar; por otro lado, campo vectorial se los denomina así, en el cual el espacio vectorial de destino es multidimensional.
- ☞ *Entidades discretas*, a diferencia del anterior este modelo no asocia a cada punto geográfico un valor, sin embargo, este concibe un entorno geográfico como un espacio vacío sobre el que se sitian varios elementos o entidades que lo van complementando.

4.13.2. Modelos de representación o de datos

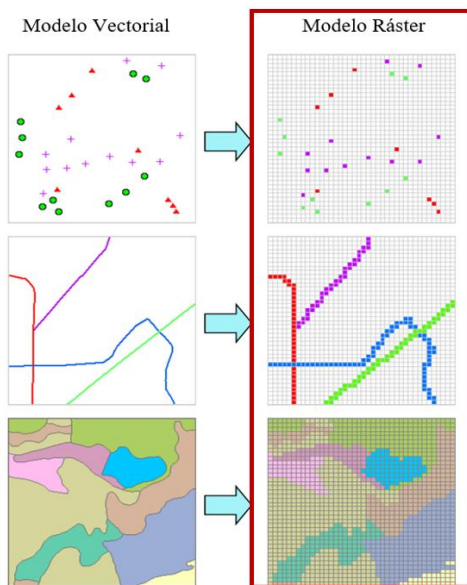
Se describe que las reglas según las cuales se modeliza el mundo real por medio de objetos discretos constituyen el modelo de datos (Gutiérrez et. al, 2013).

Los principales modelos de representación de la información geográfica dentro de un SIG, se han venido utilizando tradicionalmente para definir a los SIG en sí, en función de si sus capacidades se hallaban más enfocadas al manejo y análisis de información en formato ráster o en formato vectorial (Olaya, 2014).

4.13.2.1. Modelo ráster. Para este modelo se divide de manera sistematica la zona de estudio en una serie de unidades mínimas denominadas celdas, y para cada una de estas se recoge la información pertinente que la describe; esto conlleva a que, el modelo ráster centre su interés en las propiedades del espacio que en la representación precisa de los elementos que lo conforman. Cada una de esas celdas se considera como indivisible y es identificable por su número de fila y columna; y en cuanto a la información temática, a cada celda le corresponde normalmente un único valor relativo a la variable que se está representando, por ejemplo: altitud, uso del suelo, materiales geológicos, etc., (Olaya, 2014).

Es importante mencionar que, el modelo ráster cubre todo el espacio, sin dejar vacíos, lo que no ocurre necesariamente en un modelo vectorial.

Figura 1 Esquema de representación del modelo ráster



Nota. (Gutiérrez et. al, 2013)

La potencia del modelo ráster radica en su simplicidad, debida a que la malla tiene siempre la misma distribución espacial, lo que permite cálculos rápidos y complejos entre multitud de capas de información.

El tamaño de los píxeles define la resolución de la capa y, a diferencia de lo que sucede con el modelo vectorial, no conlleva normas topológicas, ya que éstas se encuentran implícitas en la matriz de datos. Este modelo es habitualmente utilizado para representar variables continuas, tanto cualitativas como cuantitativas.

El modelo ráster también permite representar no sólo elementos del mundo real, sino también variables que presentan una variación continua sobre el espacio, es decir las superficies. Por ejemplo, se puede representar un modelo digital del terreno (MDT), el mismo que no sólo se lo aplica a la variable altitud sino a cualquier otra variable que presenten alguna variación continua sobre el espacio, como la presión atmosférica, precipitaciones, etc.

4.13.2.2. Modelo digital del terreno. Este tipo de modelo es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua, es decir son archivos ráster utilizados ampliamente extendida y en los cuales cada uno de los píxeles representa el valor de una variable continua determinada, como por ejemplo temperaturas.

Hay que tener presente que los MDT son modelos y no reconstrucciones de la realidad, por eso es importante utilizar un mismo modelo a la hora de realizar análisis sobre un mismo conjunto de datos, para que los resultados sean comparables entre sí (Capdevila & Mínguez, 2012).

El Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2013) plantea distintas características existentes en los modelos digitales de terreno, estas son:

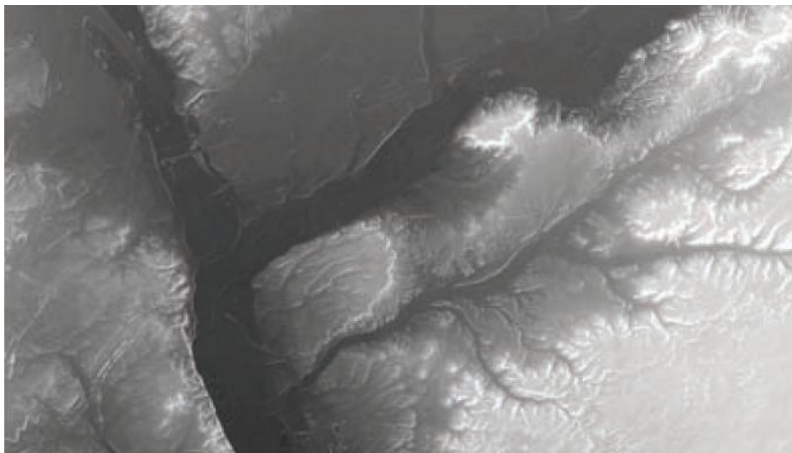
- ✓ Los datos se encuentran estructurados (una simple lista de alturas no es un MDT)
- ✓ Existe una relación entre la posición geográfica y el valor de la altura
- ✓ Los datos están codificados en cifras, lo que permite su tratamiento por medios informáticos
- ✓ Los datos tienen una distribución continua (se excluyen las variables discretas representables por polígonos, líneas o puntos)
- ✓ Posibilidades de análisis a partir de MDT

La obtención de variables del terreno de manera automática a partir de los MDT ha abierto nuevas posibilidades dentro del campo de la geomorfología cuantitativa y en el apoyo a las técnicas de cartografía de suelos como la obtención de mapas de pendientes, orientaciones y delineación de formas del terreno y en la predicción de propiedades del suelo (MAE, 2013).

✓ **Modelo digital de elevaciones**

Entre los MDT, los de mayor uso son los modelos digitales de elevaciones (MDE) que representa la altura para cada unidad de terreno, es la pieza clave del análisis geomorfométrico siendo el equivalente informatizado de la cartografía clásica de elevaciones representada mediante curvas de nivel. A partir de ellos se pueden obtener documentos muy útiles en estudios arqueológicos como modelos de pendientes, cuencas de drenaje, zonas de visibilidad, etc.

Figura 2 Ejemplo de archivos ráster. Modelo Digital del Elevaciones



Nota. (Capdevila & Mínguez, 2012)

4.13.2.3. Modelo vectorial. En este modelo, no existen unidades fundamentales que dividen la zona recogida, sino que se recoge la variabilidad y características de esta mediante entidades geométricas, para cada una de las cuales dichas características son constantes. La forma de estas entidades (su frontera), se codifica de modo explícito, a diferencia del modelo ráster, donde venía implícita en la propia estructura de la malla (Olaya, 2014).

Si el modelo ráster era similar al modelo conceptual de campos, el vectorial lo es al de entidades discretas, pues modeliza el espacio geográfico mediante una serie de primitivas geométricas que contienen los elementos más destacados de dicho espacio. Estas primitivas son de tres tipos:

- **Puntos**

Son objetos espaciales de 0 dimensiones: tienen una localización en el espacio, pero no tienen ni longitud ni anchura.

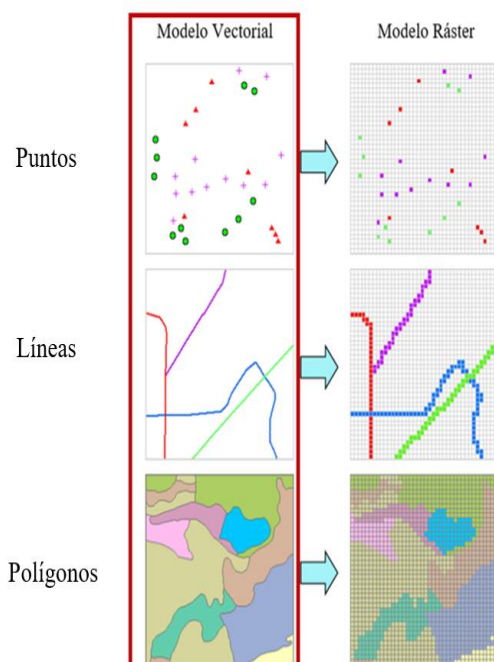
- **Líneas**

Son objetos espaciales de 1 dimensión, ya que tienen longitud, pero no anchura. Las líneas están definidas mediante una sucesión de puntos.

- **Polígonos**

Son objetos espaciales de 2 dimensiones, ya que tienen longitud y anchura. Se representan mediante una sucesión de líneas que cierran (un anillo).

Figura 3 Esquema de representación del modelo Vectorial



Nota. (Gutiérrez et. al, 2013)

El modelo vectorial se caracteriza por generar una estructura de datos más compacta que el modelo ráster, por ello genera una codificación eficiente de la topología. Sin embargo, una desventaja de este tipo de modelo es que el tratamiento y realce de las imágenes digitales no puede ser realizado de manera eficiente en el formato vectorial (Gutiérrez et. al, 2013).

4.13.3. Modelo de almacenamiento

Los modelos de almacenamiento son el último escalón en la cadena de etapas distintas que llevan desde la realidad existente al conjunto de simples valores numéricos que se almacenan y manejan en un SIG y que modelizan dicha realidad. Los modelos de representación definen una forma de recoger la realidad mediante unidades básicas (sean estas celdas en una malla, o bien primitivas geométricas definidas de una u otra manera), mientras que los modelos de almacenamiento plantean básicamente un esquema de cómo convertir dichas unidades en valores numéricos de la forma más eficiente.

Los modelos de almacenamiento deben atender principalmente a dos necesidades básicas, que son las que definirán su idoneidad para cada tarea y tipo de datos:

- **Minimizar el espacio ocupado por los datos**

Un modelo de representación que minimice el tamaño de los datos, unido a un manejo óptimo de memoria, son requisitos de suma importancia para todo SIG que maneje datos ráster, máxime considerando los grandes volúmenes de datos que hoy en día se manejan, tales como los correspondientes a imágenes de alta resolución.

- **Maximizar la eficiencia de cálculo**

La necesidad de maximizar la eficiencia de cálculo afecta principalmente a las representaciones vectoriales ya que en ellas las operaciones son complejas. La forma en que se estructuran los valores de cada entidad ha de minimizar el número de accesos necesarios a estos, para de este modo obtener un mejor rendimiento en todas las operaciones de análisis.

4.14. Índices topográficos

Para la obtención de información topográfica y geomorfológica es necesario iniciar con los mapas topográficos y a través de la fotointerpretación de las fotografías aéreas, todo este tipo de análisis se lo logra mediante distintos procesos semiautomáticos para la generación de información a través de los índices topográficos (MAE, 2013).

Mediante la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica se puede modelar, analizar y visualizar los distintos fenómenos relacionados con la topografía o con las variables de distribución continua, de una manera numérica y procesable por los modelos digitales de terreno. Los índices topográficos se clasifican en índices topográfico primarios y secundarios.

4.14.1. Índices topográficos primarios

Basados en el análisis de las propiedades geométricas de la superficie del terreno (pendiente, aspecto, curvatura y otros valores derivados) y pueden ser obtenidos mediante técnicas computacionales basadas en funciones matemáticas, es decir, derivables directamente a partir de los datos de altura representados en el modelo (Correa, 2012).

Tabla 2 Índices Topográficos

Índice para el Modelamiento Topográfico	
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.
Sombreado	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.
Curvatura en planta u horizontal	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.
Curvatura transversal	La curvatura transversal se define como la intersección con el plano de la pendiente y la dirección perpendicular del aspecto.
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.
Curvatura en perfil o vertical	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).
Máxima y mínima 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.

Nota. (MAE, 2013)

4.14.2. Índices topográficos secundarios

Implican combinaciones de los atributos topográficos primarios, son índices que caracterizan la variabilidad espacial de algunos procesos superficiales o propiedades de los suelos.

4.15. Índices de formas del 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

4.16. Método de clasificación automática

Una clasificación automática es un proceso que se limita a la agrupación de conjuntos de objetos en clases a través del uso de técnicas de inteligencia artificial o estadísticas, principalmente en aquella del tipo digital.

Este método se dirige a definir las clases espectrales o clusters presentes en una imagen, misma que no implica ningún conocimiento previo del área de estudio, por lo que la intervención humana se centra más en la interpretación que en la consecución de los resultados.

4.16.1. ISODATA (Clasificación no supervisada)

Los algoritmos de agrupamientos, en cuanto opciones son numerosas, sin embargo, uno de los más extendidos para la creación de estos clusters, es el método conocido como ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique). Se trata de un método iterativo que requiere relativamente poca intervención humana, siendo usual que el analista deba especificar.

El método no supervisado crea agrupamientos espectrales o clusters en los cuales el analista debe intentar asociar una clase temática a cada uno de dichos grupos. Un modelo de clasificación no supervisada eficaz, permite a las entidades relacionadas con los recursos y aspectos de un territorio, lo que hace fundamentalmente una posterior verificación en campo de la clasificación que se obtenga de una zona específica.

Los parámetros para el algoritmo ISODATA son los siguientes:

- ✓ **Número de clases:** El criterio se basa fundamentalmente en lo que se puede apreciar en el modelo topográfico por parte del intérprete más las referencias de información secundaria como lo es el mapa de geoformas del Ecuador y el mapa de paisajes naturales.
- ✓ **Iteraciones:** El número de iteraciones se estandariza en 10, significa el ciclo que sigue el algoritmo hasta cumplir con el umbral de convergencia de clasificación de los píxeles, esto nos asegura que todos los píxeles sean asignados a una unidad morfométrica (cluster), una vez cumplido el criterio el algoritmo se detiene.
- ✓ **Umbral de convergencia:** Este umbral se establece en 98%, corresponde el máximo porcentaje de píxeles cuyos valores se permite permanezcan incambiados entre iteraciones, una vez que ha llegado al umbral el algoritmo se detiene.

El método de la clasificación no supervisada desde el punto de vista estadístico, es el más adecuado para delimitar los grupos de valores homogéneos dentro de una imagen determinada, sin embargo, en ocasiones resulta complejo señalar unos parámetros de control significativo, puesto que el analista desconoce, iniciando con el número de grupos espectrales presentes en la imagen, ni el valor idóneo de dispersión interna o la distancia entre los distintos grupos, por ello el análisis no supervisado se convierte en un proceso interactivo, en donde el analista establece unos valores arbitrarios que se van modificando a la vista de los resultados.

4.17. Generación de índices topográficos

Para la generación de los índices se suele utilizar el software ENVI, un potente software para el análisis topográfico, el cual es un paquete informático probado con un módulo específico para modelamiento del relieve.

4.17.1. Software ENVI

Es el software especializado en el procesamiento y análisis de imágenes geoespaciales, proporciona herramientas de pre-proceso automático que permiten obtener información fácil y rápido, a través de sencillos flujos de trabajo (Esri, 2016).

Este algoritmo se basa en un estudio para la caracterización geomorfológica a partir de modelos digitales de elevación, en el cual se calcula las variables topográficas más relevantes para aquello, y que actualmente es la mejor herramienta para este tipo de análisis.

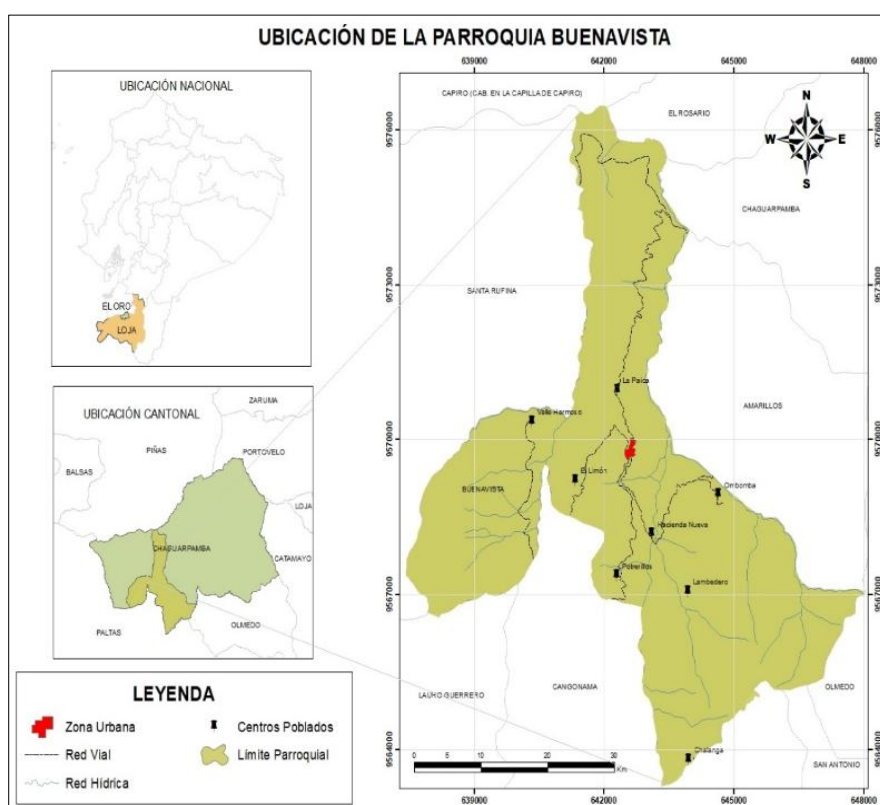
5. Metodología

5.1. Descripción del Área de estudio

5.1.1. Ubicación

El área de estudio se ubica en la región Sierra Sur del Ecuador, en la provincia de Loja, cantón Chaguarpamba, específicamente la parroquia Buenavista misma que comprende una extensión superficial de 4441 ha, el cual abarca todo el territorio parroquial (Figura 4).

Figura 4 Mapa de Ubicación de la zona de estudio



5.1.2. Clima

Para la identificación del tipo de clima establecido en la zona de estudio, se acudió a la recopilación de información del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), en base a dicha información se logró identificar factores meteorológicos que condicionan el territorio, como lo es la temperatura y precipitación que se encuentran relacionados directamente con la altitud de la zona.

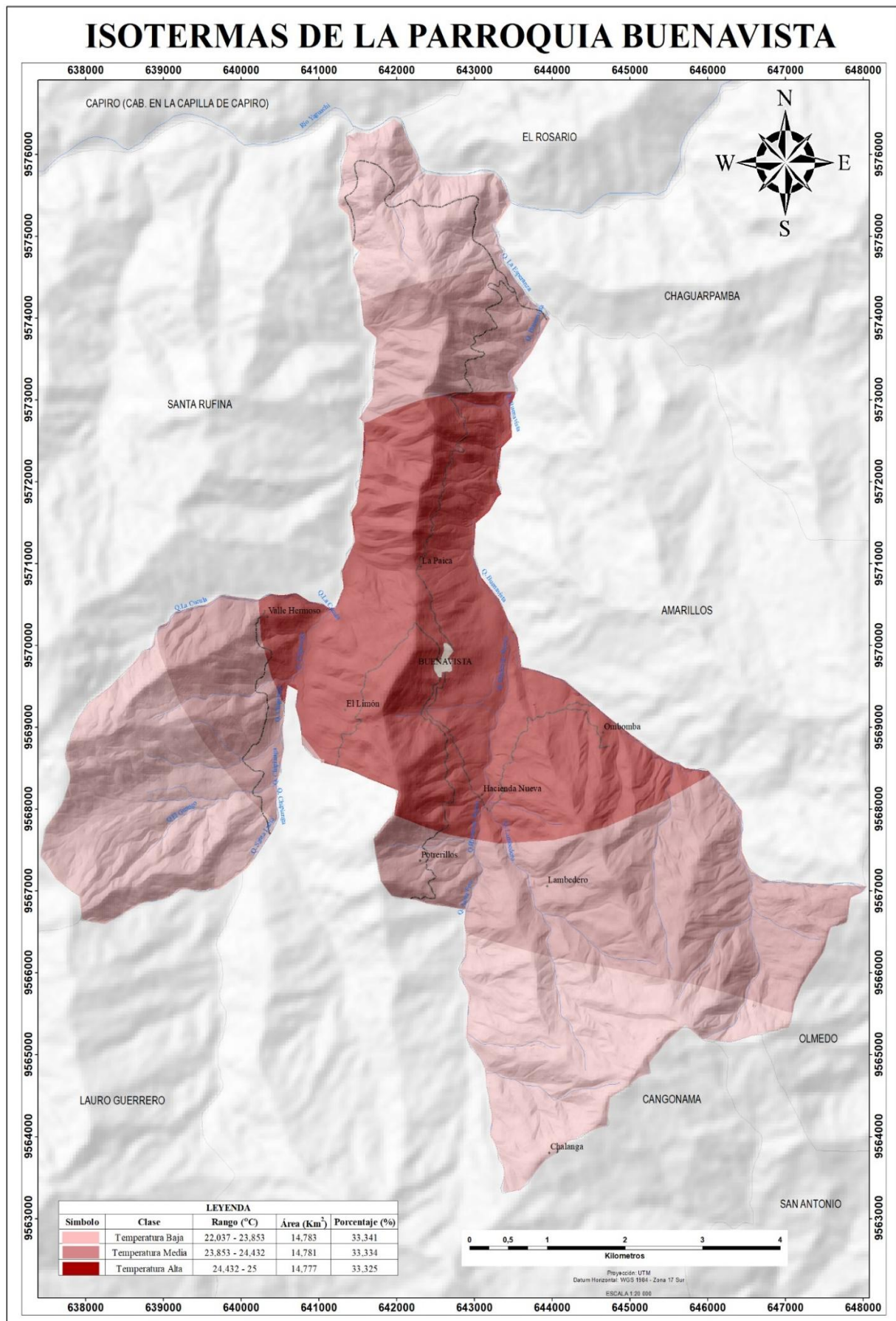
- Temperatura

La provincia de Loja está influenciada por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y por el efecto de las corrientes del Océano Pacífico, que afectan de manera directa a la parte occidental de la misma, teniendo incidencia inmediata sobre las condiciones climáticas de la

zona de estudio. La corriente de Humboldt al producir inversión estacional de la temperatura en las capas bajas de la troposfera, tienen también un efecto inhibitor sobre las lluvias porque transporta aire frío y seco desde el sur, por lo que de mayo-junio a diciembre se caracteriza por la presencia precipitaciones, sean estas horizontales (neblina no densa) o verticales (garuas) de baja intensidad.

Con la información obtenida del análisis de los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas y de mayor influencia en el área, las cuales son Huertas, Cazaderos, Chaguarguayco y El Lucero (Anexo 1 Tabla 7), se logró la representación de las temperaturas contempladas en la parroquia, donde la distribución de la temperatura varía en un promedio de 22 a 25 °C (Figura 5). Donde la temperatura máxima promedio mensual se presenta en los meses de octubre y mayo, y en cuanto a la temperatura mínima se presenta en el mes de febrero.

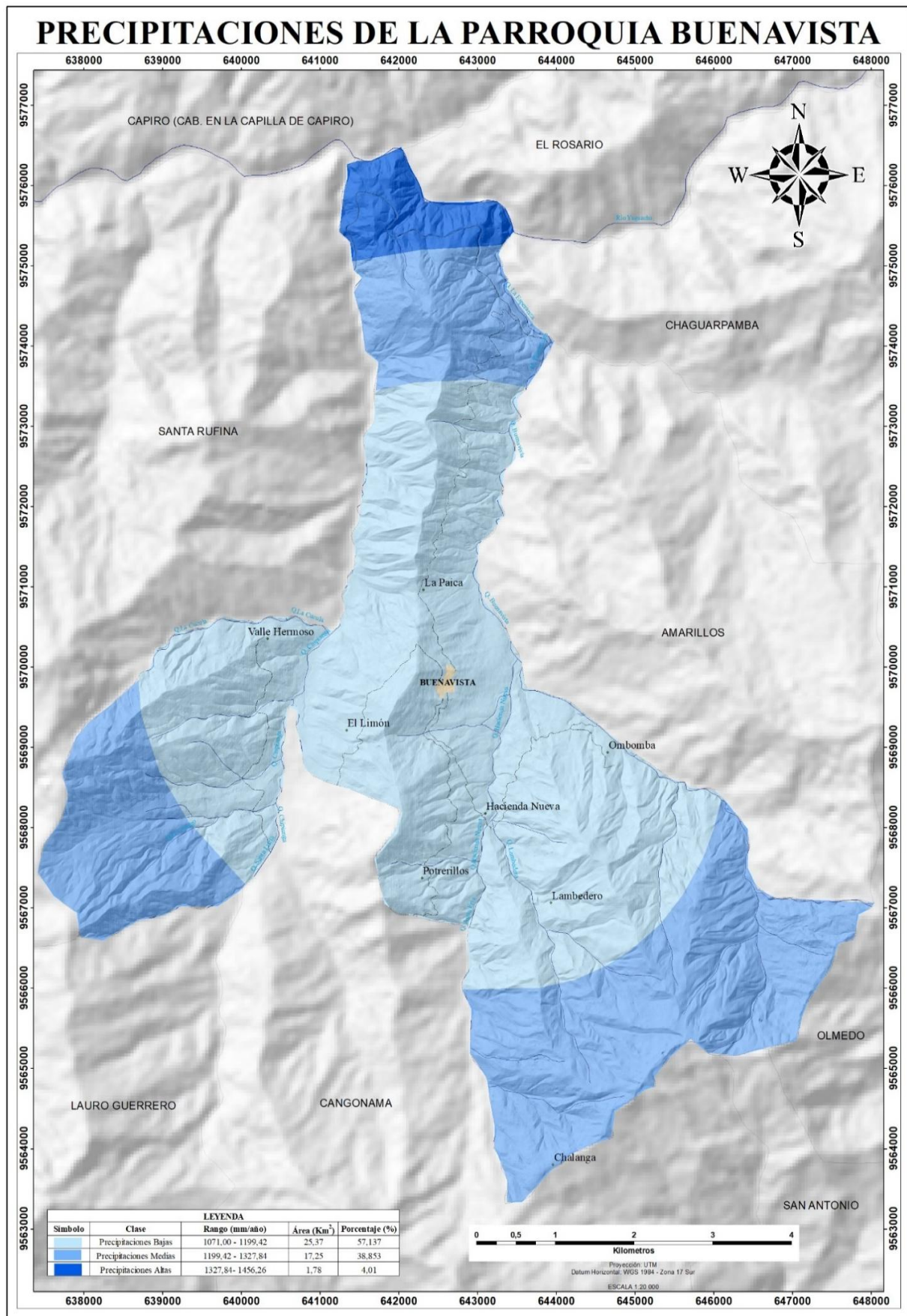
Figura 5 Mapa de Temperaturas media mensual de la zona de estudio



- **Precipitaciones**

La precipitación media anual fue analizada de los registros de las estaciones meteorológicas por el INAMHI, tomando directamente las estaciones Huertas, Cazaderos, Chaguarguayco y El Lucero (Anexo 1 Tabla 8), de esta manera, en el territorio de la parroquia Buenavista las precipitaciones van en el orden de 1071 mm hasta los 1456 mm por año, y los meses con mayor precipitación son desde abril a marzo (Figura 6).

Figura 6 Mapa de Precipitaciones anual de la zona de estudio



5.1.3. Hidrografía

La parroquia Buenavista cuenta con cursos de agua superficiales de manera permanente, misma que se constituye de 3 microcuencas: Buenavista, Chipianga y San José, cuyos afluentes desembocan favoreciendo a la subcuenca del Río Yaguachi (Tabla 3). La microcuenca Buenavista está conformada por las quebradas: Agua fría, Lambedero, Hacienda Nueva, Buenavista y La Esperanza; la microcuenca Chipianga se conforma de las quebradas: Santa Lucía, El Guango, Chipianga y La Cucula; y la microcuenca San José está formada por los drenajes menores (Figura 7).

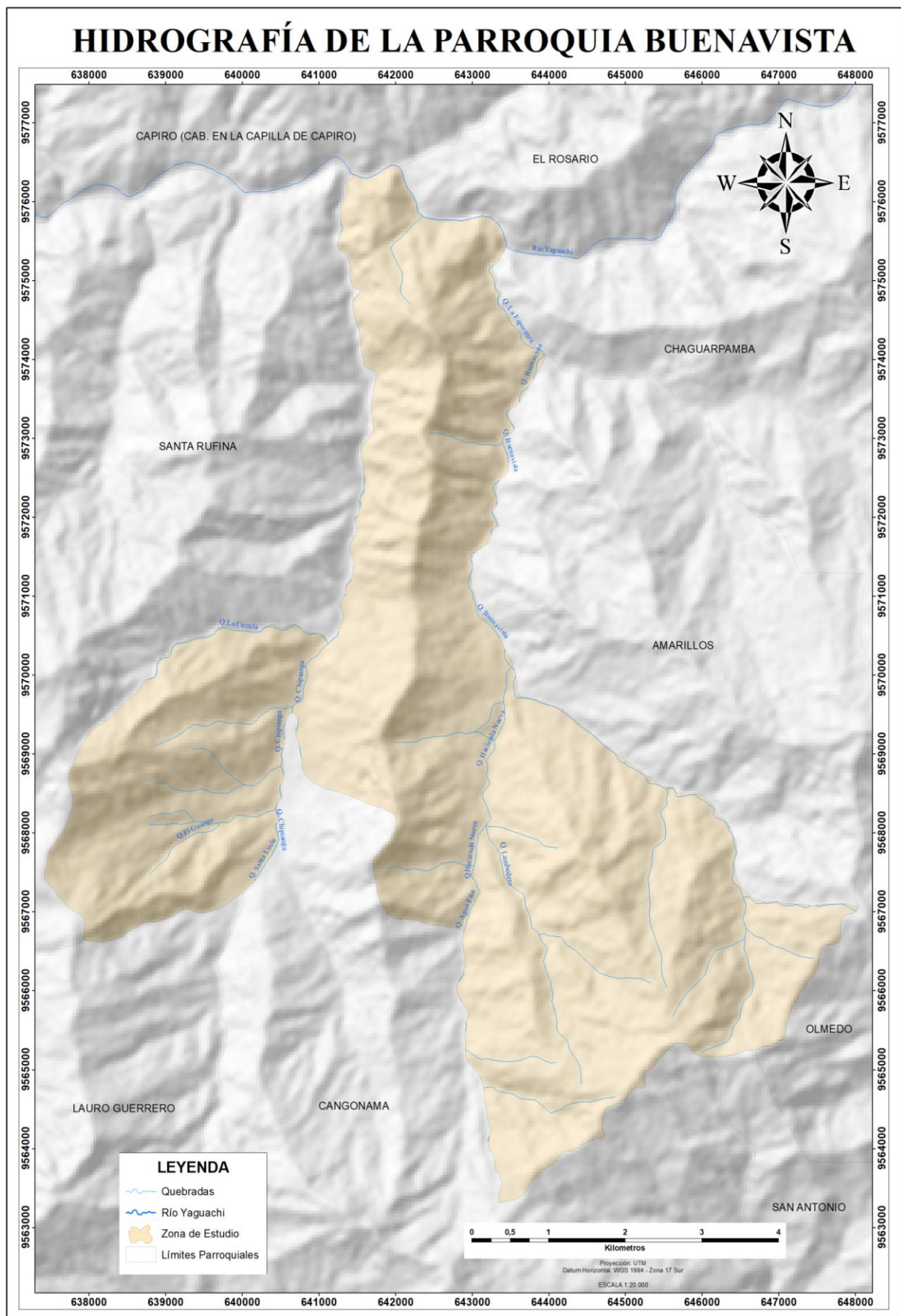
La microcuenca de la quebrada Buenavista (Figura 7), desde la vertiente conocida como Chinchal es la que abastece a la comunidad de la cabecera parroquial, y actualmente conserva abundante vegetación; otro uso del recurso hídrico está destinado para el riego y ganadería involucrando a las quebradas Chipianga y Buenavista que aún no presenta un alto grado de contaminación.

Tabla 3 Red Hidrográfica de la parroquia Buenavista

CUENCA	SUBCUENCA	MICROCUENCA	AFLUENTES	LONGITUD (Km)
Río Puyango- Tumbes	Río Yaguachi	Buenavista	Q. Agua Fría	1,24
			Q. Lambedero	3,70
			Q. Buenavista	10,42
			Q. Hacienda Nueva	2,75
			Q. La Esperanza	1,53
		Chipianga	Q. Santa Lucía	0,02
			Q. El Guango	1,18
			Q. Chipianga	3,29
		San José	Q. La Cucula	2,41
			Drenajes menores	9,99

Nota. Tomado de (GAD Parroquial Buenavista, 2015)

Figura 7 Mapa de la Hidrografía de la zona de estudio



5.1.4. Geología Regional

La región está constituida por rocas metamórficas del paleozoico y triásico del Bloque Amotape–Tahuín, secuencias sedimentarias cretácicas de margen pasivo sobreyaciendo a dicho bloque, y rocas volcanoclásticas y volcanosedimentarias cretácicas de la cuenca Alamor–Lancones. El conjunto está parcialmente cubierto por rocas volcánicas de arco continental terciario. La información posteriormente descrita se compiló y consolidó de los estudios realizados por Aspden (1995) y Kennerley (1980).

Las unidades geológicas identificadas entorno al área de estudio son 6 (Figura 8), de las cuales solamente 4 de ellas afloran directamente en el área de interés, a continuación, se describen dichas unidades:

La **Unidad Ciano** del cretácico abarca la mayor parte del área de estudio, formando varias franjas entre las fajas tectónicas y erosionales de las unidades Cética y Chaguarpamba. Consiste de capas bien estratificadas de lutitas, limolitas, arcillolitas y areniscas.

Las lutitas, limolitas y arcillolitas son de color verde y negro, ocurren en capas centimétricas, finamente laminadas, que contienen mayormente granos de plagioclasas y esporádicos granos de cuarzo, además de esporádicos líticos volcánicos, clorita, epidota, circón y minerales opacos. Por otro lado, las areniscas son de color verde, grano fino a medio, contienen mayormente líticos de origen volcánico, además de granos de plagioclasas alterada, cuarzo, sericita, granos de cuarzo micro granular y arcillas.

Al norte, desde el sector de Buenavista hacia el este, la secuencia está plegada y afectada por un fuerte clivaje de cizalla, desarrollando características de metamorfismo de bajo grado y generando pizarras y filitas. Y, por otro lado, al Sur Oeste de Buenavista las areniscas, limolitas y lutitas constituyen secuencias rítmicas de color gris verdoso a negro, silicificadas y con parches de oxidación.

En la **Unidad Celica** de la era del cretácico se define una secuencia volcanoclástica de grano medio a grueso intercalada con mantos de rocas volcánicas, que forman varios cuerpos alargados de diferente magnitud.

Las rocas volcanoclásticas incluyen hialoclastitas, tobas de cristales y microbrechas. Las hialoclastitas son gris verdoso, grano fino y textura piroclástica, con líticos volcánicos en matriz con piroxeno, plagioclasa y vidrio volcánico, de igual forma las tobas de cristales, pero con grano medio. En cambio, las microbrechas determinadas son gris-verdosas, grano medio, textura brechosa, contienen fragmentos de composición básica a intermedia con textura traquítica en matriz constituida por microlitos de plagioclasa y fenocristales de plagioclasa y

clinopiroxeno. Como minerales de alteración ocurre clorita, epidota, cuarzo, calcita y minerales opacos en la matriz como en los líticos.

Lo relevante de esta unidad se enfoca de una u otra manera en el que el contacto con la Unidad Chaguarpamba es concordante, mientras el contacto con la Unidad Ciano es discordante.

La **Unidad Chaguarpamba** perteneciente al cretácico, se constituye por dos cuerpos alargados de dirección E-O a NE-SO en la zona central e inferior derecha. La secuencia consiste de rocas de color verde, grano fino a medio, generalmente estratificadas, incluyen tobas arenosas, aglomerados finos y lentes subordinados de lutitas y limolitas, constituidas por materiales mayormente de origen volcanosedimentario. Las tobas arenosas con alineación de minerales, están constituidas por líticos oscuros de grano fino y granos de cuarzo, soportados en una matriz limosa. Los aglomerados están constituidos por clastos centimétricos de rocas de origen volcánico, soportados en escasa matriz limo-arenosa. Las lutitas y limolitas de color gris y negro, ocurren en capas métricas a decamétricas concordantes a las facies gruesas. En El Triunfo (vía Chaguarpamba-El Pindo), estos niveles sedimentarios contienen restos de microfósiles (amonites y bivalvos).

La relación con la Unidad Celica no está establecida, pero se interpreta como discordante por la presencia de ventanas erosionales de rocas volcanoclásticas de grano grueso al Este de Chaguarpamba. Por otra parte, el contacto con la Unidad Ciano es tectónico, marcado por la presencia de franjas de rocas variablemente afectadas por clivaje pizarroso y de fractura.

La **Unidad EL Tigre** perteneciente a la era del Paleozoico, se extiende como un cinturón Este a Oeste, misma que consiste en una secuencia sedimentaria que incluye arcosas, grauvacas, lutitas y limolitas incluyendo niveles de areniscas de grano fino, todas con bajo grado de metamorfismo. Las areniscas son cuarzosas con muscovita, están intercaladas con limolitas verdosas y filitas negras fuertemente fracturadas con vetillas de cuarzo.

El contacto entre las Unidades El Tigre y Guerras en el sector Orianga-Guerras-Los Amarillos es tectónico y está representado por la falla Orianga de rumbo variable.

La **Unidad Guerras** del cretácico, constituye una sucesión de rocas sedimentarias siliciclásticas, estratificadas, de grano medio a grueso. Incluye conglomerados y areniscas, además de estratos gruesos de aglomerados intercalados con capas de limolitas.

Los conglomerados de color gris claro con parches rojizos, contienen clastos de arenisca cuarzosa, limolita gris oscura y granos de cuarzo, soportados en matriz arenosa. Las areniscas son de color blanco, grano medio a grueso, contienen granos de cuarzo y feldespatos, además de pequeños granos de plagioclasa, muscovita detrítica y arcilla. Los aglomerados de color gris

verdoso están constituidos mayormente de líticos de origen volcánico de tonalidad verde-púrpura, con matriz arenosa con fenocristales y microlitos de plagioclasa, y granos de cuarzo. Las limolitas son de color rojo púrpura, se presentan en capas decimétricas bien estratificadas. Por su posición estratigráfica se le asigna una edad Jurásico tardío a Cretácico temprano.

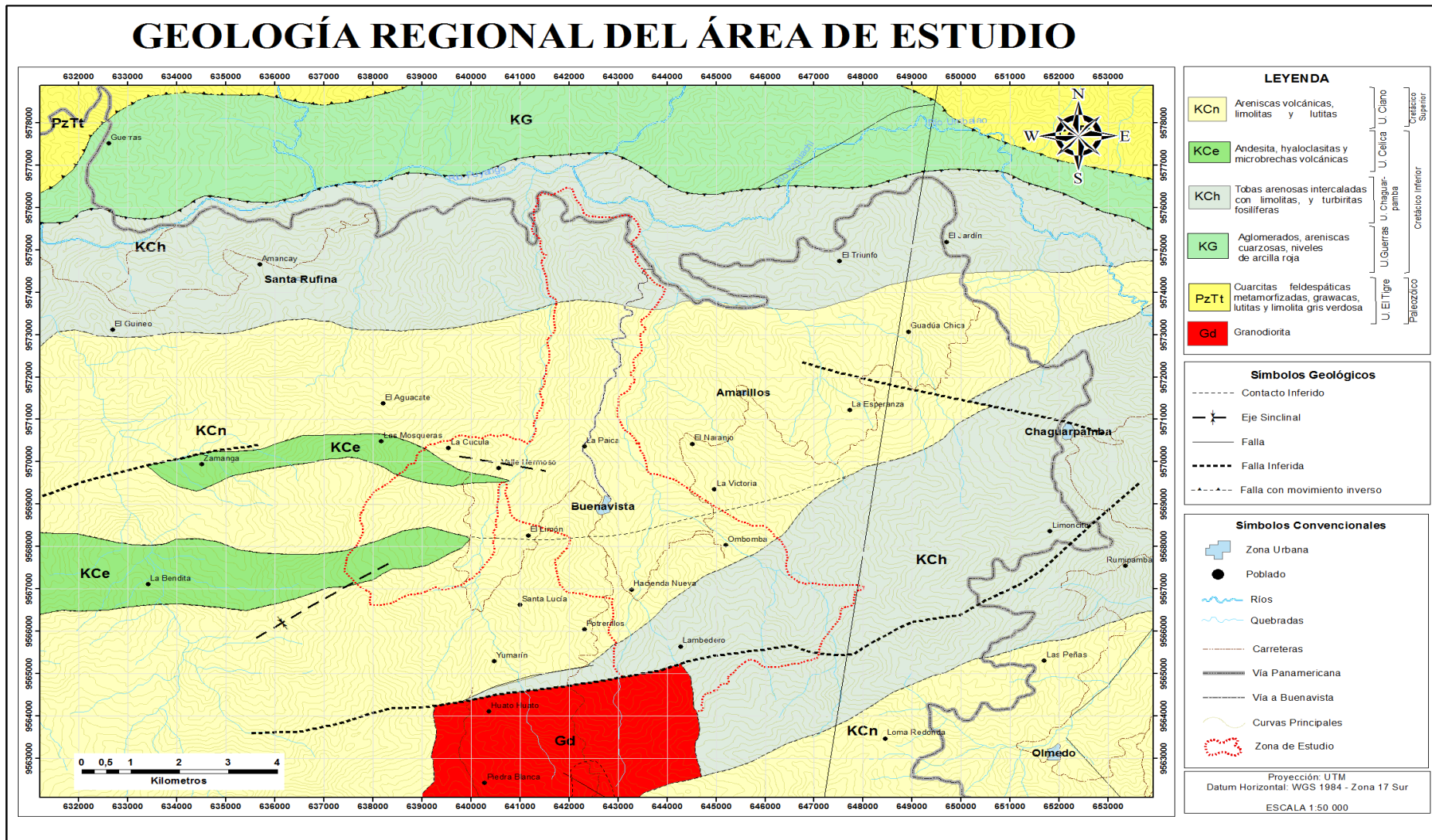
Los **Intrusivos** identificados al sur del entorno al área de estudio, se caracterizan intrusiones mesozoicas y cenozoicas, incluyendo pequeños cuerpos subvolcánicos. Las intrusiones cenozoicas mayormente emplazadas en la zona, constituyen cuerpos de pequeñas dimensiones incluyendo el granito y granodiorita no foliadas a medianamente foliadas.

Existen varios intrusivos de variadas dimensiones dioríticos, tonalíticos y granodioríticos, así como cuerpos subvolcánicos de composición intermedia, textura subporfirítica, con relictos de piroxeno, fenocristales y microlitos de plagioclasa que constituyen geformas subredondeadas. Los intrusivos dioríticos y granodioríticos emplazados en las unidades pre-cretácicas se les atribuye una edad terciaria.

En este contexto geológicamente, las rocas más antiguas constituyen el basamento metamórfico pre-cretácico de la unidad El Tigre, y durante el Jurásico superior - Cretácico inferior sobre el Bloque Amotape-Tahuín (BAT) se depositaron los sedimentos continentales de la Unidad Guerras, en un ambiente posiblemente de margen pasivo.

En el Aptiano, en un ambiente de arco de islas se emplazan los basaltos y gabros subordinados de afinidad toleítica, superpuesta por una secuencia volcanoclástica proximal del Albiano (Unidad Celica) y por rocas volcanoclásticas más distales del Cenomaniano (Unidad Chaguarpamba), todas como parte de un complejo ensamblaje de rocas oceánicas relacionadas a un arco insular. En el Coniaciano al Santoniano, se depositaron las unidades sedimentarias Ciano con el aporte mayormente de la erosión del arco volcánico oceánico y en menor proporción del BAT.

Figura 8 Mapa Geológico Regional de la parroquia Buenavista



Nota. El polígono de líneas rojas entrecortadas indica el área de estudio. Adaptado de la hoja geológica de Zaruma por (INIGEMM, 2013)

5.2.Materiales

Para el cumplimiento de la presente investigación se dispuso de distintos materiales de campo y oficina.

5.2.1. *Materiales de campo*

- GPS Garmin 64x
- Brújula Brunton
- Martillo geológico
- Cinta métrica
- Ácido Clorhídrico al 10%
- Libreta de campo
- Fichas de afloramientos y de caracterización geomorfológica
- Cámara fotográfica

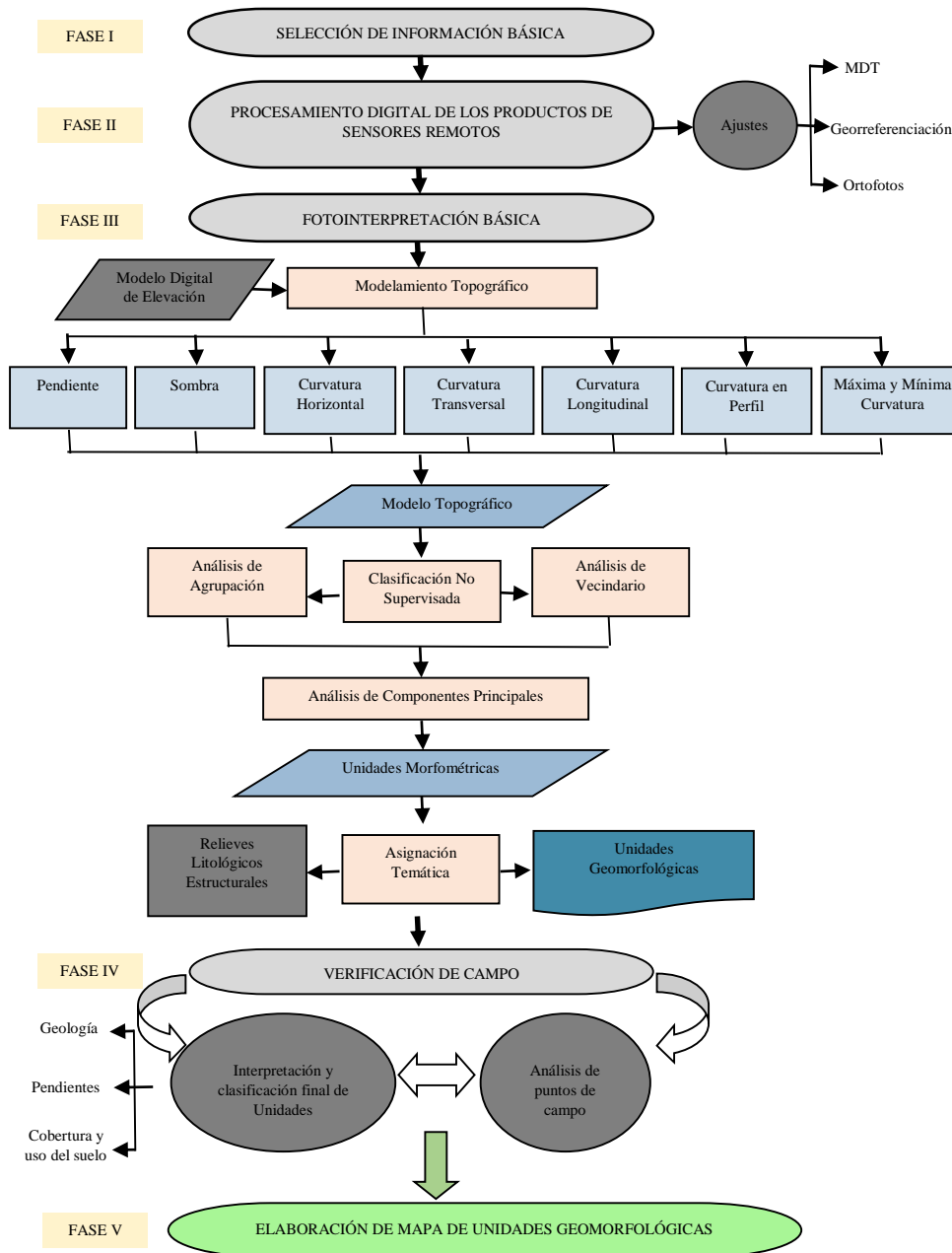
5.2.2. *Materiales de oficina*

- Computador
- Microsoft Office 2019
- Software ArcGIS 10.5
- Software ArcScene 10.5
- Software ENVI 5.3
- Ortofotos con resolución espacial de 30 cm del año 2012
- MDT con tamaño del pixel de 5m x 5m
- Mapa Topográfico a escala 1 50 000 en formato ráster del cantón Chaguarpamba
- Hoja Geológica de Zaruma (2013) a escala 1 100 000

5.3.Métodos

La metodología presentada a continuación es una propuesta preliminar apoyada en grandes lineamientos para los levantamientos geomorfológicos aplicados actualmente, basándose en la obtención y recopilación de los insumos principales (MDT y Ortofotos). Y tomando como referente los distintos criterios técnicos empleados en las principales fases del levantamiento y conocimientos previos en geomorfología o ciencias afines, así como en formación relacionada con el procesamiento digital de imágenes, la fotointerpretación, el manejo de herramientas SIG y el trabajo en campo (Figura 9).

Figura 9 Diagrama del proceso y diseño de la cartografía geomorfológica



Para la elaboración y cumplimiento de la identificación de geformas del relieve mediante sistemas de información geográfica, se consideró como guía la metodología planteada por el Ministerio del Ambiente, año 2013, que “representa la categoría intermedia de unidades geomorfológicas a escala de paisaje (10–200 km), implica relaciones de relieve de tipo geogénico, litológico y topográficos, y también representa la categoría a escala local (1-10km), que representa un paisaje de geformas” (MAE, 2013), misma que contiene procedimientos para la respectiva elaboración de una cartografía geomorfológica y utiliza el método de Clasificación Automática No Supervisada (Isodata), orientado a definir las clases espectrales o clusters presentes en una imagen, misma que no implica ningún conocimiento previo del área

de estudio, por lo que la intervención del analista se centra más en la interpretación de asociar una clase temática a cada uno de los grupos.

Como parte final del proceso se realizará una verificación directa, en territorio, donde se establecerán puntos de campo para un análisis e identificación in situ que permita la reinterpretación y clasificación final de las unidades, de esta manera se dará una validación de la información con el propósito de obtener una cartografía final de las distintas geoformas del relieve del terreno presentadas específicamente en el área de estudio.

5.3.1. Metodología para el primer objetivo

5.3.1.1. Selección de información base. Inicialmente esta fase abarca la investigación y selección de información base, que consistió en la búsqueda y recopilación de una data cartográfica digital, conjuntamente con distintos mapas geológicos, topográficos y levantamiento de distinta información requerida dentro del área, realizados previamente en otros estudios, esto con el fin de partir de una idea general a una particular para el cumplimiento de la investigación.

Para la cartografía digital se consideró al geoportal de Sig Tierras para solicitar la ortofotografía correspondiente a la zona de estudio, y a instituciones como el GAD de Chaguarpamba (2015) y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), mediante esta recopilación cartográfica se obtuvo los siguientes insumos principales:

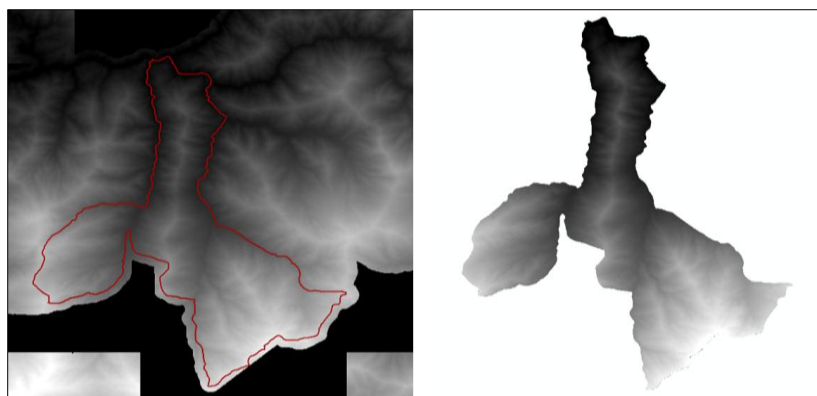
- ✓ Modelo Digital de Elevación, con una resolución de 5 metros
- ✓ Ortofotos con resolución espacial de 30 cm del año 2012, facilitadas por el GAD de Chaguarpamba
- ✓ Base cartográfica de la parroquia Buenavista (2015) a escala 1 25 000.

5.3.1.2. Procesamiento y ajustes digitales de la información cartográfica. Dentro de esta etapa se realizó el procesamiento para las ortofotos y MDT, mismo que consistió en la agrupación y ajustes digitales de esta información básica con la finalidad de optimizar la cartografía, y a futuro esto facilite la interpretación de los rasgos geomorfológicos en el área trabajada.

Se consideró las propiedades del modelo original y sin omisión de las mismas, considerando su resolución y georreferenciación, con el fin de generar el respectivo modelamiento del relieve y posteriormente la determinación de los índices topográficos.

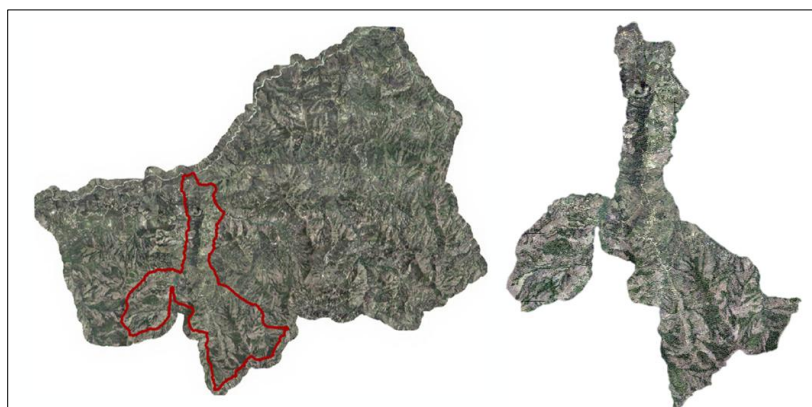
☞ *Procesamiento del MDT*

Figura 10 Ajuste y delimitación del MDT



☞ *Procesamiento de la Ortofoto*

Figura 11 Delimitación de la parroquia Buenavista en la Ortofoto



5.3.1.3. Fotointerpretación básica. Esta fase se orientó en el procesamiento de obtener información previa del terreno, mediante la presentación fotográfica de la superficie a estudio. Donde se reconoció y ubicó parcialmente algunos de los diferentes elementos representados en la imagen, como las distintas características específicas de paisaje y el entorno propio y general de las formas y divisiones del terreno.

La importancia de esta técnica radica en la obtención de información primaria válida, tomando en cuenta las variables relacionadas a los fenómenos geológicos, geomorfológicos, hidrográficos que son claramente visualizados, interpretados y con mayor certeza analizados posteriormente a través de la observación directa en campo.

En sí, este apartado de fotointerpretación es una técnica básica, pero a su vez esencial, que condesciende la adquisición de información a priori para la posterior identificación, interpretación y finalmente la elaboración del mapa geomorfológico (Anexo 2).

Es así como, la metodología en este apartado comprende la fotointerpretación digital con el insumo principal de las ortofotos con tamaño de pixel 0.3 x 0.3 metros del año 2012, y empleando el software ArcGIS 10.5, donde simultáneamente el proceso se facilita verificando la confiabilidad y autenticidad a la par con los resultados obtenidos de los distintos índices topográficos y posteriormente con la clasificación no supervisada (Anexo 2).

La fotointerpretación finalizará, con la verificación de la cartografía preliminar de las geoformas a escala 1:10 000 con proyección UTM Datum WGS1984 Zona 17 Sur, donde nuevamente con la ayuda de la fotointerpretación y la fase de campo se identificará y delimitará las diferentes unidades geomorfológicas existentes en el área de estudio (Anexo 4), en base a las características del relieve y la información adquirida por los procesos previos.

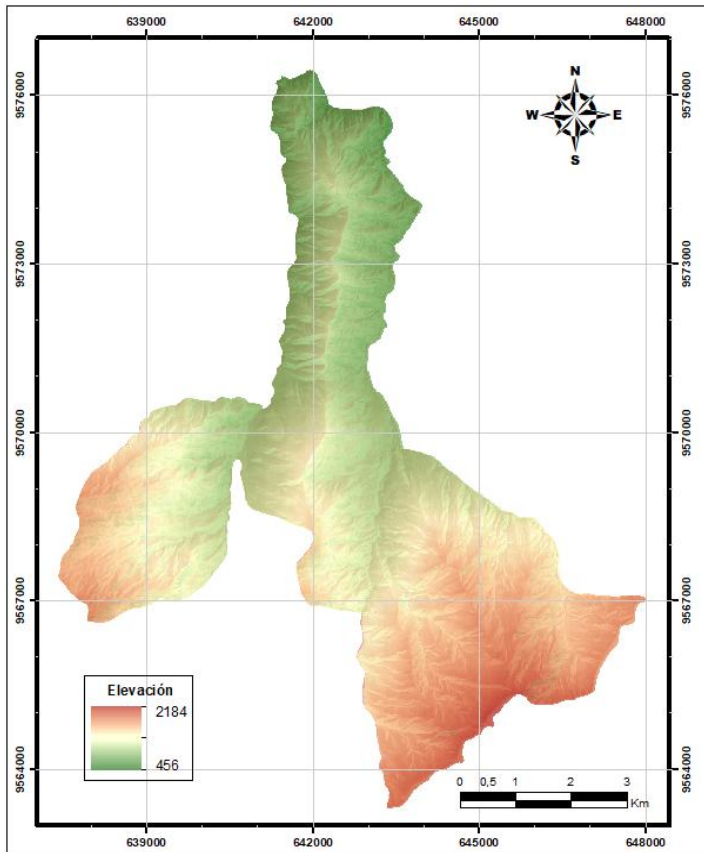
5.3.1.4. Modelamiento de la cartografía geomorfológica. El modelamiento inicia a partir del modelo digital del terreno, realizado en el siguiente acápite (5.3.1.5.), del cual consiguientemente se generó una serie de índices topográficos (5.3.1.6) donde se eliminó la información redundante a partir de un análisis de componentes principales (5.3.2.1.); estas nuevas variables no correlacionadas sirven de insumo para el proceso de clasificación automática (5.3.2.2.), donde dicho resultado de la clasificación genera los clusters, estos representan unidades morfométricas, indicando una unidad de relieve o un conjunto de estas.

Para luego realizar la atribución temática de acuerdo a la leyenda planteada, junto a esto se realiza una serie de filtros espaciales (5.3.2.3.) y un proceso de edición y calibración para extraer las variables estadísticas del modelo digital del terreno, esto con el objetivo igualmente de ayudar a clasificar de mejor manera las unidades de relieve en función de su desnivel relativo y su elevación.

5.3.1.5. Procesamiento del DEM. El modelo digital de elevación contiene un modelado cuantitativo y permite el análisis de la superficie topográfica relacionándola intrínsecamente con otros componentes característicos de la superficie del terreno.

La confiabilidad de una clasificación automatizada de relieve, depende fundamentalmente de la precisión del DEM (Figura 12), los datos digitales de la forma de la superficie del terreno que brindan estos modelos se encuentran basados en celdas con información para ser utilizada como datos de entrada que permitan cuantificar las características de la superficie y obtener los mejores resultados.

Figura 12 Visualización de la superficie DEM del terreno de la parroquia Buenavista



El procesamiento del modelo digital de elevación partió de la información base recopilada, para la precisión del mismo se consideró un pretratamiento de la información y luego una selección de la resolución espacial apta para la escala de estudio, finalmente ese análisis garantizará la calidad del estudio.

En este contexto, la precisión y detalle del MDT, será la base para el análisis morfométrico previamente obtenido de los índices topográficos del terreno, este MDT cuenta con las siguientes características:

- 5 metro de pixel
- Elevación mínima de 456 m s.n.m
- Elevación máxima de 2184 m s.n.m

5.3.1.5.1. Modelado Topográfico. La topografía de una superficie es la base del paisaje y uno de los principales factores que intervienen y controlan los procesos que tienen lugar en la superficie de determinado territorio.

- *Pendiente:* representa el cambio de elevación a lo largo de una distancia determinada, es decir, mide la tasa máxima de cambio de elevación entre un punto dado y sus puntos circundantes.

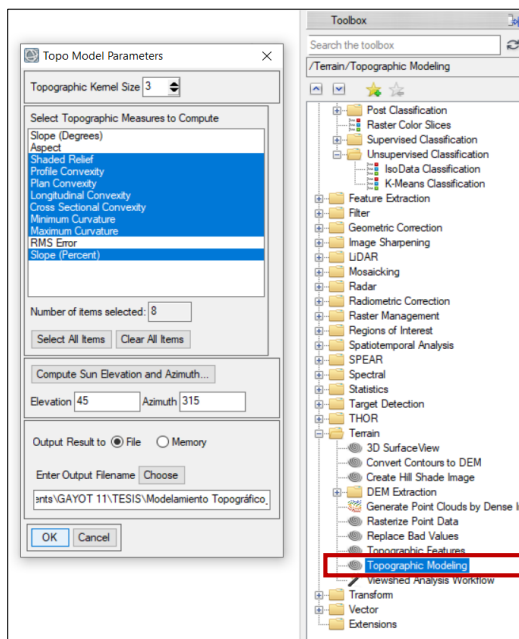
- *Sombreado*: realza visualmente los elementos del terreno, simulando los efectos de la posición de la luz del sol.
- *Curvatura de perfil o vertical*: es la curvatura de la superficie a lo largo de la dirección cuesta abajo más empinada, donde se maximizan los efectos de la gravedad.
- *Curvatura horizontal o en planta*: mide la tasa de cambio del aspecto a lo largo de un contorno, ortogonal a la dirección de la pendiente más pronunciada, donde se minimizan los efectos de la gravedad.
- *Curvatura longitudinal*: mide la curvatura ortogonalmente en la pendiente descendente. Puede determinar si el agua que fluye se acelerará o desacelerará en un punto determinado.
- *Curvatura Transversal*: mide la curvatura ortogonalmente a través de la dirección cuesta abajo más empinada. Puede determinar si el agua que fluye convergerá o divergirá en un punto determinado.
- *Mínima curvatura*: es la curvatura local más pequeña en cualquier dirección
- *Máxima curvatura*: es la curvatura local más grande en cualquier dirección.

A este modelo se le realizó diferentes combinaciones de bandas correspondientes a las variables topográficas finalmente generadas, con el propósito de una interpretación acorde al estudio, misma que permite posteriormente la asignación temática de las unidades de relieve.

5.3.1.6. Generación de los Índices topográficos. Las variables o índices del territorio se obtuvieron mediante varios procesos automáticos dirigidos al modelo digital de elevación utilizando el software ENVI 5.3 (Figura 13).

Donde inicialmente se ingresó el DEM al software, luego con la selección de la herramienta *Terrain* → *Topographic Modeling* → *Topographic Kernel Size* (se utilizó un vecindario de 3x3) donde escanea todo el modelo de pixel en pixel para definir los índices en función de algoritmos de cada uno de ellos → *Select Topographic Measures to Compute* (seleccionamos la variables topográficas, como: el sombreado, pendiente, curvatura en perfil, curvatura en planta, curvatura longitudinal, curvatura transversal, la máxima y mínima curvatura) → *Compute Sun Elevation and Azimut* (respecto a la variable topográfica del sombreado es correspondiente ubicar los datos de azimut de 315° y elevación de 45° correspondientes al sol).

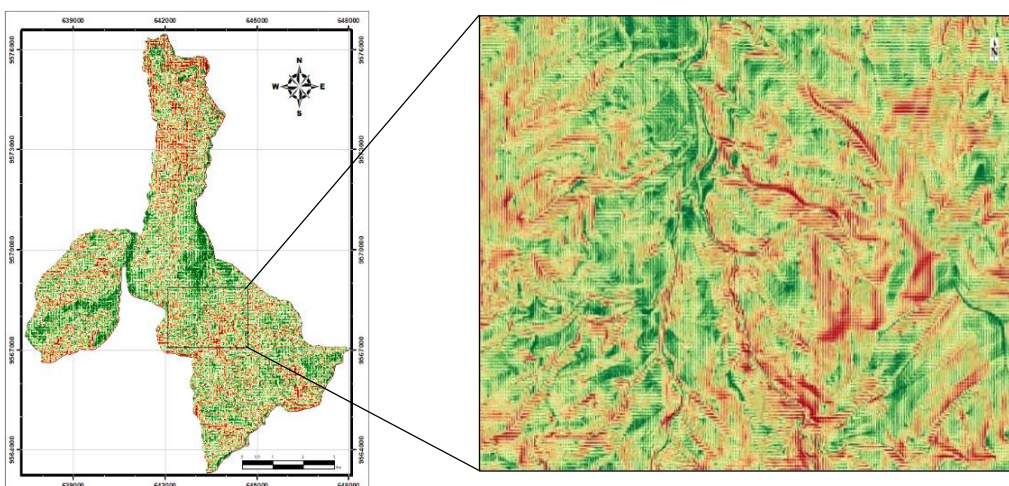
Figura 13 Generación de los Índices topográficos a partir del DEM



Estas variables fueron calculadas automáticamente en el software, donde las distintas combinaciones del modelo ayudarán para la interpretación y análisis geoespacial que a través de sus herramientas permitirá posteriormente el modelamiento del relieve mediante la asignación temática de las unidades, es así que a continuación se describe los siguientes índices topográficos con su respectivo análisis:

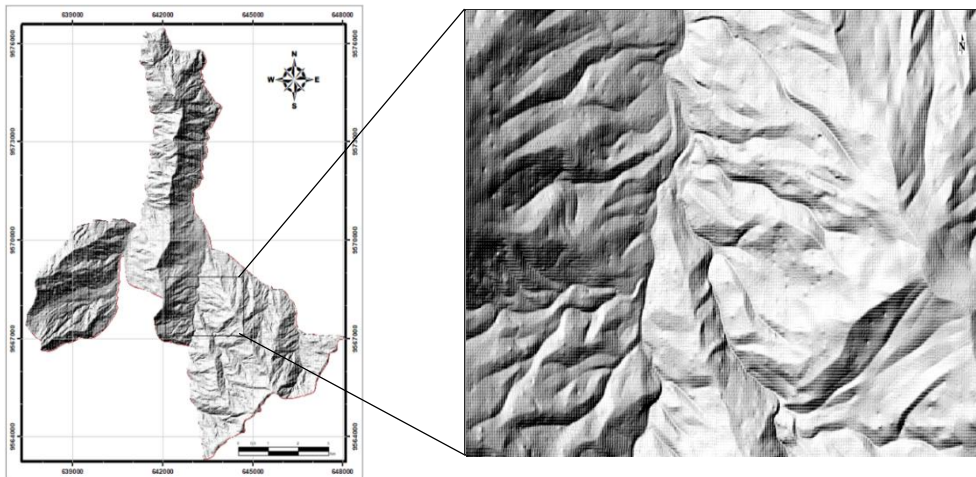
Pendiente, refleja la variación máxima de la elevación representando el ángulo entre el plano horizontal y el tangencial a la superficie de un punto. Los elementos del modelo de pendiente resultante tienen una representación gráfica en una escala pseudocolor espectral, donde el color verde y sus derivados se asigna a zonas que tienden a ser más llanas y el color rojo e intermedios representa a las pendientes máximas del modelo (Figura 14).

Figura 14 Índice topográfico de la Pendiente



Sombreado, refleja la topografía del MDE de forma más realista este índice del relieve sombreado nos permite mejorar la visualización del territorio, y además de ello se tuvo en cuenta la posición dada del Sol definida por su azimut de 315° y su elevación sobre el horizonte de 45° . Esta capa resultante corrige el relieve en la ortofoto, y sus sombras proyectan otros elementos del relieve situados entorno a la celda considerada, la representación mediante una escala de grises se ha realizado de forma que el color oscuro a negro corresponde a valores bajos tendientes a 0° , aumentando la luminosidad en sentido horario: gris claro hacia el Este, gris medio al Sur, gris oscuro al Oeste, etc., (Figura 15). En este contexto, este índice topográfico permitirá realizar un análisis de visibilidad con respecto a la conexión visual entre el sol y una determinada celda, o a su vez, el relieve nos puede bloquear la línea de visión representando zonas situadas en sombra.

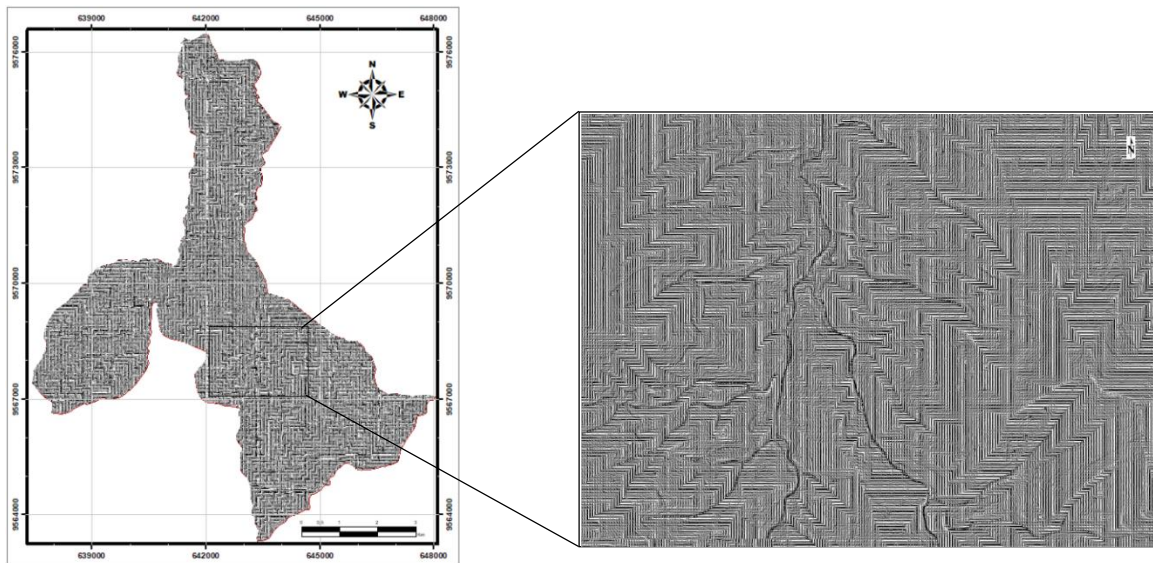
Figura 15 Sombreado del Relieve



Curvatura en perfil o vertical, es paralela a la dirección de la pendiente, indicando la pendiente máxima y estima el valor de curvatura para un punto del MDE, donde se necesita no solo el punto donde calcularla sino también un plano que corte a la superficie mismo.

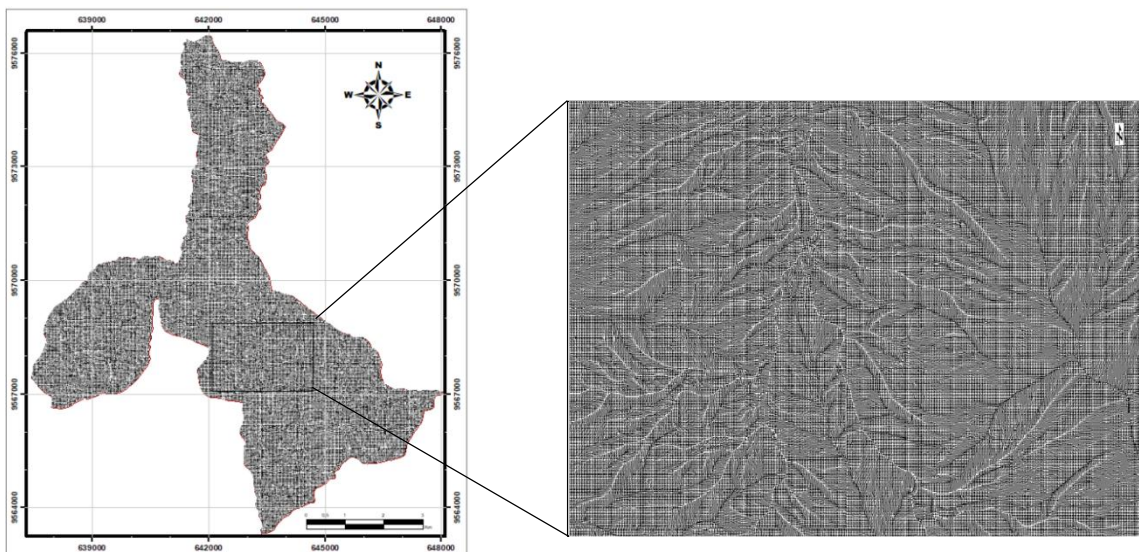
Este tipo de curvatura altera la aceleración y desaceleración del flujo, influyendo directamente en la erosión y sedimentación de la superficie. La capa resultante tiene una representación gráfica en escala de grises (Figura 16) donde el color negro representa los valores negativos indicando que la superficie es convexa hacia arriba en esas celdas, y por otro lado, los valores positivos representados en colores claros a blanco nos indica que la superficie es cóncava arriba en esas celdas, representando valores de cero e indicando superficies lineales.

Figura 16 Curvatura en Perfil



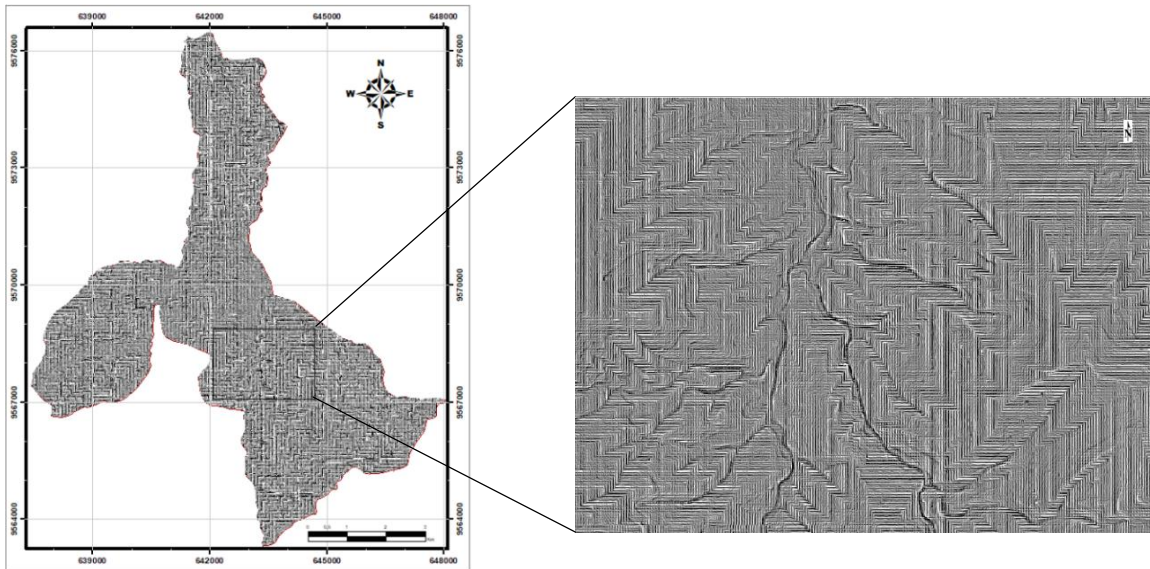
Curvatura en planta u horizontal, llega a ser perpendicular a la dirección de la pendiente máxima, esta influye en la convergencia y divergencia del flujo en el terreno. En la obtención de estas curvaturas en el terreno, se demuestra que los valores positivos representados por el color blanco indican que la superficie es lateralmente convexa en ese conjunto determinado de celdas, por otro lado, el color negro representa los valores negativos indicando que la superficie del terreno es lateralmente cóncava en esas celdas; de igual manera los valores de cero representados en escasos pixeles con el color gris a claro demuestran que la superficie es lineal (Figura 17).

Figura 17 Curvatura en Planta



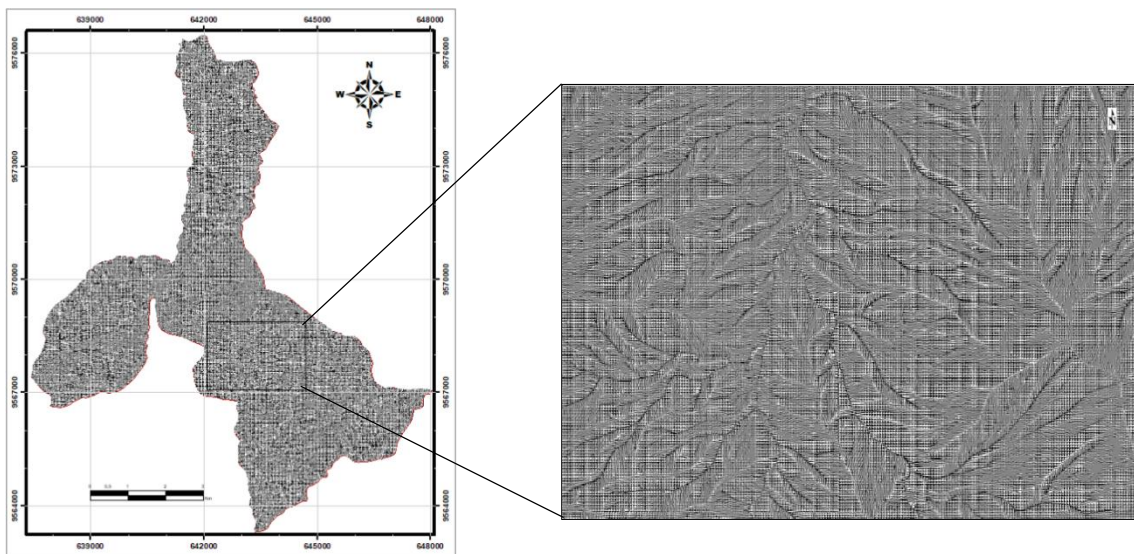
Curvatura Longitudinal, encargada de medir la curvatura ortogonalmente en la pendiente descendente, esta puede llegar a determinar si el agua que fluye por esa superficie, se acelerará o desacelerará en un punto determinado. Gráficamente el modelo de esta curvatura representa tonos oscuros a zonas de depresión y tonos claro a zonas de crestas, entonces de esta manera el flujo superficial del suelo se desacelera cuando los valores de la curvatura son menores a cero y el flujo se acelera cuando los valores de la curvatura son mayores a cero (Figura 18).

Figura 18 Curvatura Longitudinal



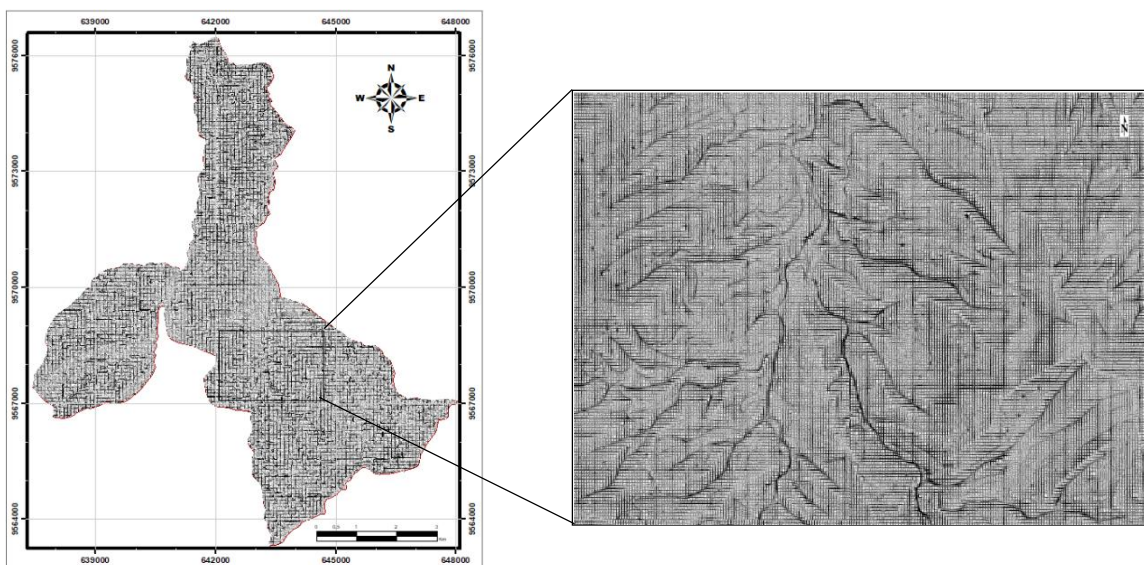
Curvatura Transversal, encargada de medir la curvatura ortogonalmente a través de la dirección cuesta abajo más empinada, la misma que puede determinar si el agua que fluye en esa superficie convergerá o divergirá en un punto determinado. Es decir, el flujo del agua superficial converge cuando los valores de la curvatura son menores a cero representados gráficamente en tonalidades oscuras, y el flujo diverge cuando estos valores son mayores a cero, es decir positivos representados en tonalidades claras (Figura 19).

Figura 19 Curvatura Transversal



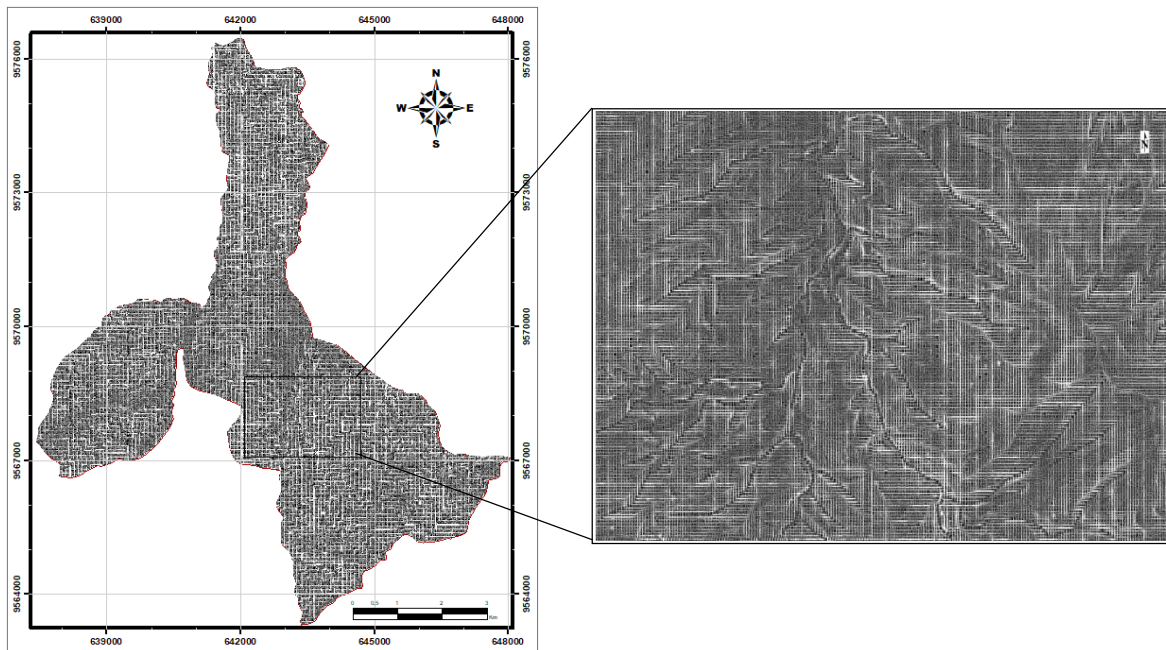
Curvatura Mínima, representa el modelo de la curvatura construido a base del MDE, donde indica la curvatura local más pequeña en cualquier dirección (Figura 20).

Figura 20 Curvatura Mínima



Curvatura Máxima, representa la curvatura máxima o más grande en cualquier dirección de una superficie en un punto (Figura 21).

Figura 21 Curvatura Máxima



En este contexto respecto al análisis morfométrico de los índices topográficos, la curvatura llega a ser la tasa de cambio de la pendiente y dichos valores obtenidos de estas curvaturas se pueden usar para encontrar los patrones de erosión, así como la distribución del agua en tierra u otros procesos físicos, acentuando diferentes aspectos de la forma que tiene la pendiente y permitiendo las medidas tanto de la concavidad o conexidad de las laderas. Estas curvaturas inciden y controlan el cambio de la velocidad del flujo de masa y el cambio en el ángulo de la orientación, a lo largo de la ladera.

En sí, las zonas cóncavas se han representado en tonos claros y las convexas en tonos oscuros, lo que permite diferenciar claramente el cambio de las superficies de las laderas, asimismo los valores de las curvaturas permiten evaluar y diferenciar someramente las formas del relieve.

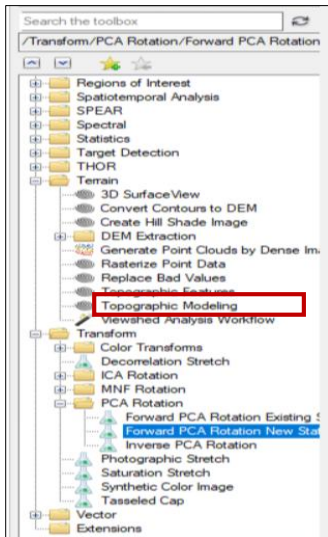
5.3.2. Metodología para el segundo objetivo

5.3.2.1. Análisis de Componentes Principales (PCA). El Análisis de Componentes Principales permitió eliminar la redundancia de los datos, con la finalidad de reducir la dimensionalidad de los conjuntos de bandas individuales no correlacionadas, es decir, resumirá un amplio grupo de variables en un nuevo grupo más pequeño, sin la omisión ni pérdida significativa de la información original.

Dicho esto, el PCA sintetiza las bandas originales, creando unas nuevas, donde los denominados componentes principales de la imagen recojan la mayoría de la información original.

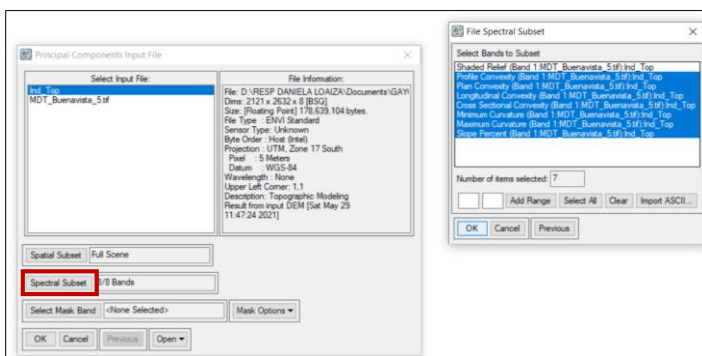
Para el procedimiento del PCA en el software ENVI, se seleccionó la herramienta *Transform* → *PCA Rotation* → *Forward PCA Rotation New Statics & Rotate* (Figura 22).

Figura 22 Selección de la herramienta Foward PCA



En la nueva ventana seleccionamos la generación del modelamiento del relieve, luego la opción *Spectral Subset* para el seleccionamiento de los índices topográficos generados con anterioridad (Figura 23).

Figura 23 Selección de los subconjuntos espectrales

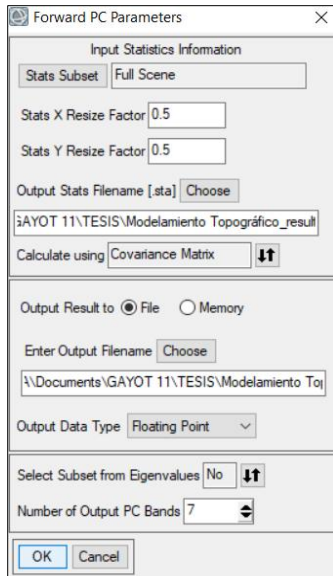


En la nueva ventana *Foward PCA Parameters*, se establecen distintos criterios que ayudarán a obtener el resultado del análisis de componentes principales.

- El tamaño de celda de 0.5 en X e Y, para la optimización en los cálculos estadísticos
- El cálculo también se lo realiza usando la Matriz de Covarianza, por el poco cambio de las bandas y ausencia de la corrección de estas.

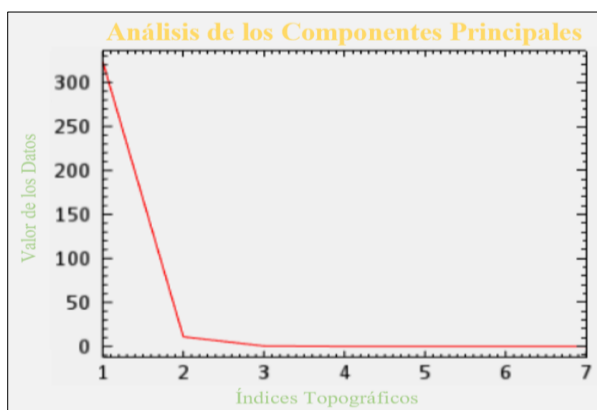
- Y el número de las bandas de los Componentes Principales serán por defecto el número de bandas de salida (Figura 24).

Figura 24 Criterios del PCA



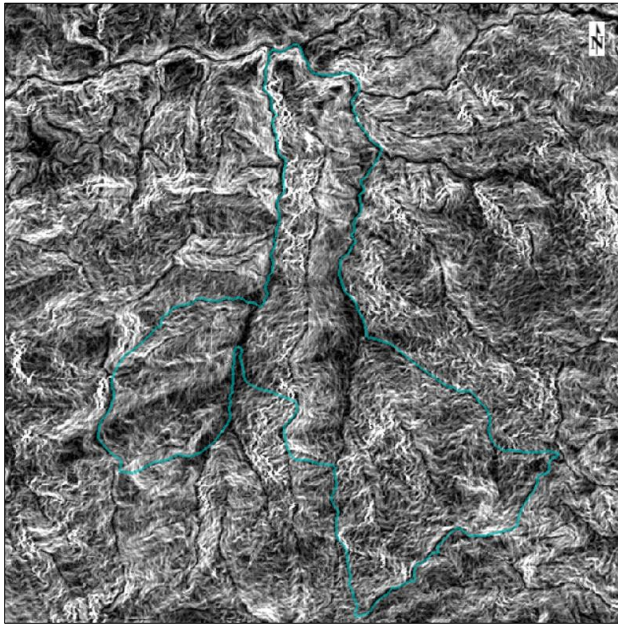
En el resultado del ACP, debido a que los datos topográficos son a menudo altamente correlacionados, la transformación a componentes principales se utiliza para producir bandas no correlacionadas de salida, es decir la primera banda contendrá el mayor porcentaje de variación y la segunda banda contendrá el segundo mayor porcentaje de variación, y así sucesivamente. Las últimas bandas de los componentes principales se atribuyen con ruido, debido a la escasa variación en sus datos originales (Figura 25).

Figura 25 Gráfica Estadística de los Componentes Principales



Finalmente, a partir de las capas de salida necesarias en el Analisis de Componente Principales se genera un archivo raster multivariante para la posterior Clasificación No Supervisada (Figura 26).

Figura 26 Ráster Multivariante del PCA



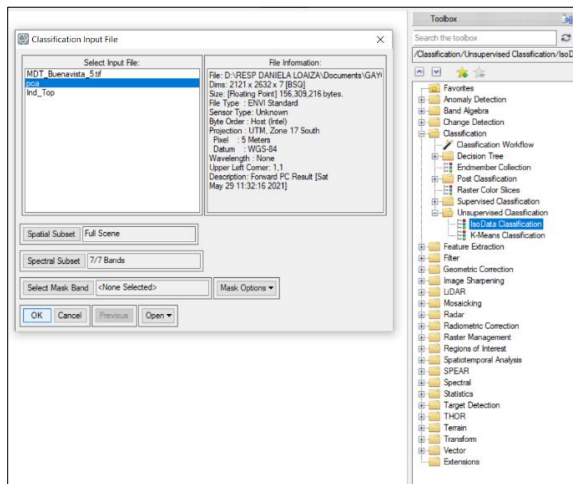
5.3.2.2. Clasificación No Supervisada (ISODATA). Es importante mencionar que algunas formas del relieve poseen características previamente específicas, que permiten ser reconocidas mediante los valores de algunas variables topográficas, sin embargo, para el reconocimiento y a su vez la clasificación de estas formas del relieve, es necesario utilizar varios métodos de clasificación.

Es así que, luego de la generación de los índices topográficos y el análisis de componentes principales, se realizó el método que mejor se ajusta, siendo esta la clasificación automática basada en píxeles, método correspondiente a una clasificación no supervisada, este algoritmo ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) es el que se utilizará para el modelo de unidades geomorfológicas, el mismo que consiste en generar clusters, que llegan a representar las unidades morfométricas, es decir una geoforma o conjunto de ellas.

Esta clasificación marcará la calidad final de lo obtenido en la cartografía geomorfológica, no obstante, también permitirá mejorar la disposición de los datos, de manera que sean más evidentes los clusters, y establecer en base a las categorías un mejor conocimiento del territorio. En este contexto, la clasificación no supervisada procede a una búsqueda automática de valores homogéneos contenidos en grupos dentro de la imagen, por lo que se tendrá la labor de encontrar las correspondencias entre dichos grupos y las distintas categorías de interés.

Así mismo, para el proceso de esta clasificación se utilizó el software Envi 5.3, dirigiéndonos a la herramienta → *Unsupervised Classification* → *IsoData Classification* donde se nos abrirá una ventana para seleccionar el ráster multivariante del PCA (Figura 27).

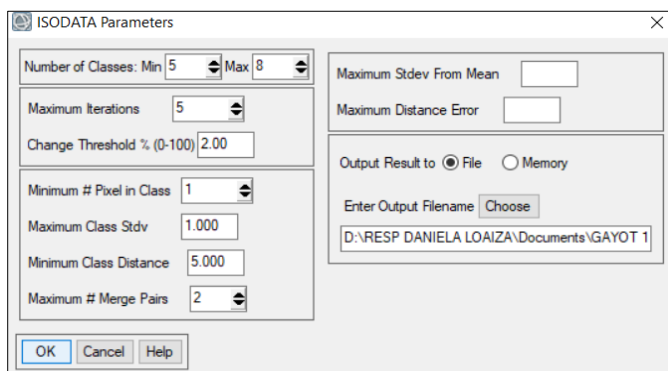
Figura 27 Selección de la herramienta Isodata Classification



Luego de dicha selección, se nos abrirá otra nueva ventana que nos permitirá establecer diferentes parámetros para la generación de las distintas unidades morfométricas en base a los parámetros del algoritmo ISODOTA, determinando el número de clases, iteraciones y umbral de convergencia (Figura 28).

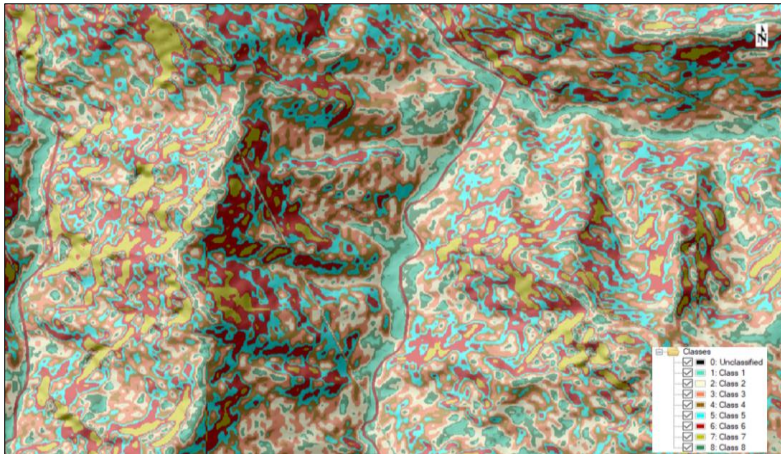
- *Número de clases:* 8 refleja el número de clases que pueden representarse acorde a la escala y a la realidad de la zona a analizar, dichas clasificaciones no se excederán a menos que las agrupaciones contengan menos que el mínimo número de píxeles.
- *Máximo número de iteraciones:* 5 correspondiente al número de veces que se repite el algoritmo de entrenamiento, este puede variar entre 0 y 100.
- *Umbral de convergencia:* 2 representa la máxima probabilidad con un umbral.

Figura 28 Asignación de parámetros para la clasificación Isodata



Posterior al proceso realizado, nos da como resultado un modelo de clasificación donde se visualiza una variedad de unidades dispersas (Figura 29).

Figura 29 Clasificación No Supervisada (Isodata)



Desde el punto de vista del estudio de datos cuantitativos, este tipo de algoritmo Isodata se caracteriza por ser el más acorde y óptimo en cuanto se refiere a delimitación de grupos de valores de píxeles homogéneos, sin embargo, una vez obtenido el modelo resulta un poco complejo por desconocimiento del valor idóneo de dispersión interna o el número y distancia entre los grupos espectrales presentes en la imagen, por ello el análisis de la clasificación no supervisada se convierte en un proceso múltiple y a la vez interactivo al momento de interpretar y establecer ciertos valores arbitrarios, que posteriormente se irán modificando con la corroboración de resultados en campo.

5.3.2.3. Análisis del vecindario. Dentro del modelo de la clasificación no supervisada, se obtuvo unidades dispersas y para solventar este problema, se suele aplicar una técnica de suavización del resultado dirigidos a los filtros de peso bajo, la idea central de este análisis es, conocer que sobre la imagen clasificada no se puede aplicar un proceso de filtro convencional, ya que cualquier promedio de píxeles del vecindario introduciría cambios imprevisibles en la clasificación.

Por ello, para el análisis de vecindario se utiliza la herramienta \rightarrow *Majority Analysis*, encargada de remover los píxeles aislados o a su vez no representativos dentro de la clasificación.

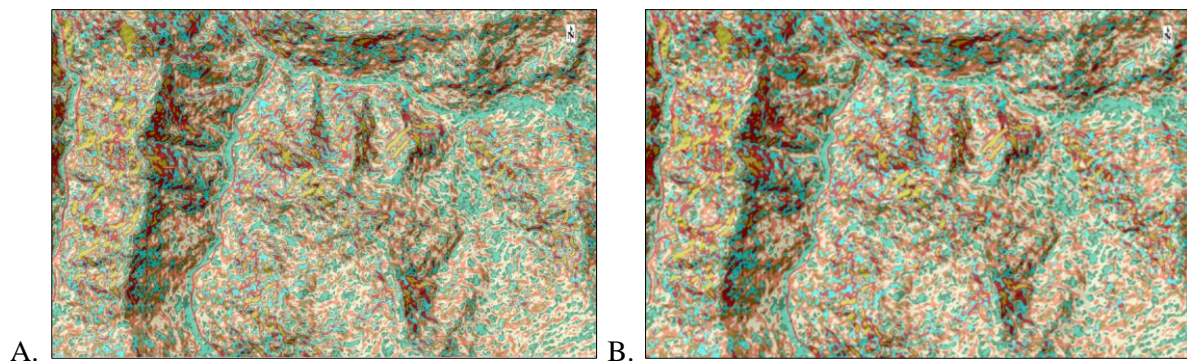
Para el cálculo de este filtro, se configuro ciertos parámetros que se asignaron en base a la escala que se requiere representar finalmente, entonces por ello, se realiza el cálculo para la elección del valor del peso del píxel central o el área mínima cartografiable (*UMC*) donde se utilizó la fórmula establecida por la metodología planteada por Blaschke (2001), dónde se requiere la escala (*E*) del modelo de elevación digital, la unidad mínima cartografiable (*MUM*) lo cual nos indicará la unidad más pequeña de superficie, normalmente este valor corresponde

a 5 mm² de lado, que garantiza la operatividad cartográfica del mapa (Figura 30). Dicho esto, se aplica la fórmula: $UMC = (MUM * [\frac{E}{1000}]^2)$

Figura 30 Parámetros para Análisis de Vecindario

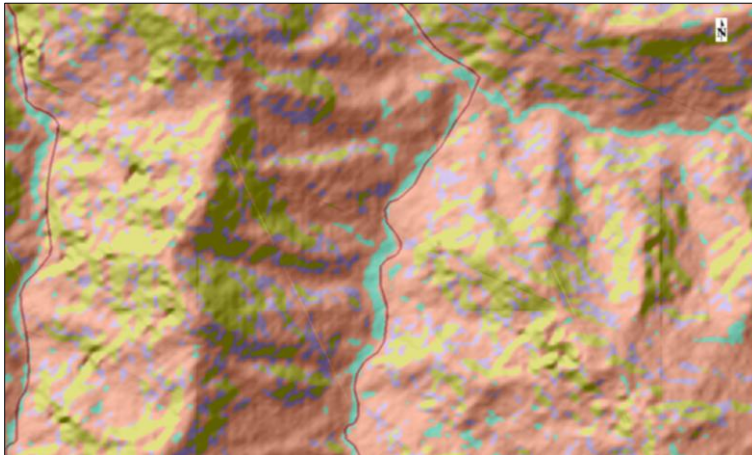
La finalidad de este suavizado es la reasignación de aquellos pixeles aislados, o a su vez de poca significancia, proporcionando una distribución espacial más específica y nítida de las distintas categorías previamente obtenidas (Figura 31 A-B). En vista de ello, se comparó la clase asignada a cada pixel con la que ofrecen los pixeles vecinos, lo que supone que, si dicha clase es similar a los pixeles del entorno, se mantiene la asignación original obtenida con la clasificación automática, o si no se modifica.

Figura 31 Aplicación y contraste del análisis de vecindario



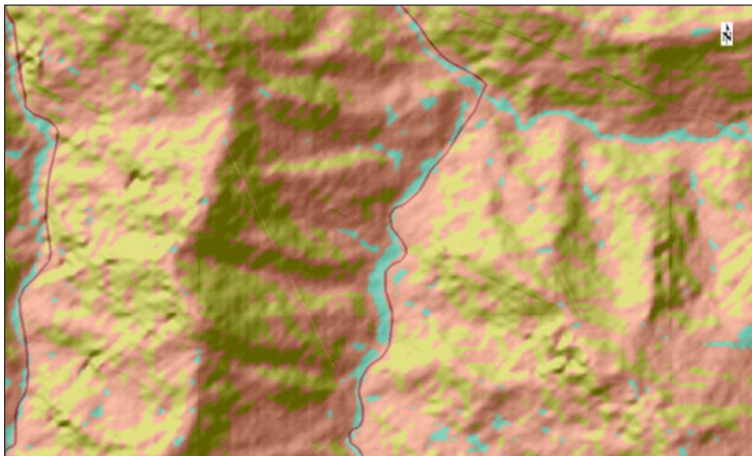
Con el contraste del análisis de vecindario se dio una nueva capa resultante un poco más limpia, donde se define mejor las unidades, sin embargo, para que esta se encuentre con las unidades más definidas se realiza otro proceso para la eliminación de los clusters. La siguiente herramienta utilizada \rightarrow *Classification Agregation* remueve ciertos pequeños grupos por medio de la sustitución de los valores de los pixeles de dichos grupos con otros valores de la clase que se encuentre más cerca (Figura 32).

Figura 32 Modelo resultante de la agregación de filtro



Sin embargo, posterior a la agregación del filtrado aún existen áreas que pueden ser despreciables agrupándolas, sin alterar el número de clases de la clasificación final, para ello se utilizó la herramienta de \rightarrow *Combine Class*, misma que agrupará clases que se encuentran en una misma clase temática dentro de la clasificación (Figura 33).

Figura 33 Representación de la clasificación de las unidades del relieve



5.3.2.4. Asignación temática: Con la jerarquización establecida por el (MAE, 2013), en el Modelo de Unidades Geomorfológicas para la Representación Cartográfica, se ha realizado las necesarias adaptaciones para lograr un modelo coherente y eficaz de la cartografía geomorfológica de la zona de estudio.

La categorización se basa en el sistema jerárquico del análisis fisiográfico según Villota (1997), modificado por el (MAE, 2013) (Tabla 4), mismo que consiste en un método moderno para interpretar la superficie terrestre con escala máxima 1: 10 000, en macro y mesorelieve (MAE, 2013), es decir se la considera factible para el nivel de detalle propuesto en la presente investigación.

Para la respectiva y correcta asignación temática de las geoformas establecidos como unidades básicas de mapeo, se determinaron los subniveles oportunos al macrorelieve, correspondientes a áreas más específicas de relieve con menor magnitud o escala local (1-10km mesorelieve), que representan el nivel de mayor nivel de detalle de esta jerarquía, simbolizando agrupaciones de geoformas adyacentes con ciertas características comunes como: geología, modelado o génesis, topografía, etc., que configuran la morfología del terreno.

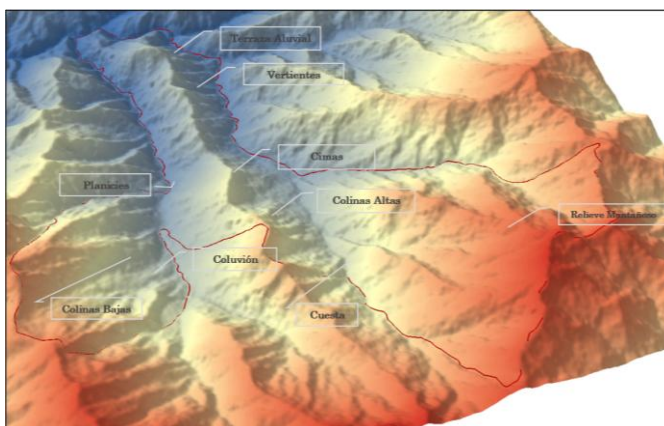
Tabla 4 *Temática de las Unidades del Relieve*

Macrorelieve	Mesorelieve
Montaña	Relieve Montañoso
Serranía	Cimas
	Colinas Altas
	Vertientes
Pie de Monte	Colinas Bajas
	Coluvión
Valle	Terrazas
	Planicie

Nota. Leyenda de Unidades Geomorfológicas adaptada del (MAE, 2013)

5.3.2.1. Interpretación de unidades temáticas: Para llevar a cabo dicha interpretación se hizo uso del modelo digital del terreno, ortofoto y topografía realizando una superposición en el software ArcGIS 10.5 para proceder con la digitalización de las geoformas, también fue necesario el sombreado del relieve, el cual ayudó a una interpretación puntual con el realce de las formas del relieve que tiene el lugar de estudio. Sin embargo, pese a este proceso de interpretación también fue necesario una percepción del relieve en 3D mediante el software ArcScene 10.5 para un mejor análisis y categorización de las unidades a nivel de mesorelieve, dando una mejor perspectiva a la identificación y corroboración posterior en campo de las distintas unidades del relieve en el territorio, tomando puntos representativos y enfocados a la generalización del relieve en estudio (Figura 34).

Figura 34 Categorización del relieve en base al modelamiento 3D



5.3.3. Metodología para el tercer objetivo

5.3.3.1. Verificación en campo: Obtenidos los distintos mapas preliminares y a su vez representativos de la zona de estudio, se procedió a realizar varias salidas de campo, donde se cubrió todos los tipos de geoformas determinadas en la previa clasificación del relieve con un total 11 salidas de campo, cada salida tuvo una duración de 8 a 10 horas, mismas que fueron aplicadas principalmente a través de los ejes viales y diferentes lugares accesibles.

Para el levantamiento de información geomorfológica se usó el GPS Garmin 64x, determinando puntos que corroboren la identificación de las geoformas (Anexo 1 Tabla 9). Además, se utilizó fichas de campo en las que se caracterizan los principales atributos morfológicos y morfométricos de las geoformas (Anexo 4) como: cobertura vegetal, desnivel relativo, forma de cima, forma de vertiente y de valle, génesis y pendientes, como también, se consideró aspectos como la geología, para verificar in situ las diferentes unidades de relieve.

5.3.3.2. Mapa de pendientes: La pendiente, al conformar una característica fundamental resultante de la topografía influye de manera directa en los procesos de conformación del terreno; siendo también uno de los principales elementos del modelado del relieve. Por ello, el proceso para la obtención del componente de pendientes en ArcGIS 10.5 inicia a partir del modelo digital del terreno, donde se realizó en el software lo siguiente:

- Generación de la pendiente, utilizamos la herramienta →*ArcToolbox* →*Spatial Analyst Tools* →*Surface* →*Slope*. En →*Input raster* (seleccionamos el DEM, con una resolución espacial de 5 metros) y en →*Output raster* le damos la dirección y nombre de la capa.
- Reclasificación de la pendiente, se utilizó la herramienta →*ArcToolbox* →*Spatial Analyst Tools* →*Reclass* →*Reclassify* (se categorizó la pendiente estableciendo las clases en dependencia de las características ajustadas a la zona de estudio, de acuerdo a la clasificación de Demek, 1972) (Tabla 5, pag.63).
- Conversión de raster a vector, para ello se utilizó la opción →*ArcToolbox* →*Conversion Tools* →*From Raster* →*Raster to Polygon*, con la finalidad de convertir un formato ráster a un formato vectorial para poder editar los campos en la tabla de atributos.
- Finalmente, se disuelve en el campo gridcode los caracteres repetidos, usando la opción →*Data Management Tools* →*Generalization* →*Dissolve*. En la tabla de atributos se añadió nuevos campos: clase (text), rango (text), área (double), porcentaje (double), y por último se asignó el color correspondiente al mapa (Figura 37, pag.64).

5.3.3.3. Mapa de cobertura y Uso Actual del Suelo: Mediante el uso de las ortofotos facilitadas por el GAD Chaguarpamba y el uso del shapefile de cobertura y uso de suelo del año 2018, que se encuentra en la web del MAE en su extensión mapa interactivo, se pudo determinar los usos de suelo actuales de la parroquia. Para corroborar la información digital propuesta por las Notas mencionadas, se realizó visitas de campo para una interpretación visual directa y conocimiento de la superficie durante el levantamiento de información, con el propósito de argumentar lo obtenido telemáticamente en el computador.

Para la elaboración del mapa de coberturas se procedió a cargar los shapefiles al programa ArcGIS 10.5, realizando un clip o corte en referencia a la zona de estudio para finalmente definir las clases y uso actual del suelo.

5.3.3.4. Mapa Geológico Local: El levantamiento geológico se lo realizó a través de la utilización de fichas de campo donde se consideró las diferentes características de los afloramientos (Anexo 3) como: sus coordenadas UTM/WGS84, sus datos estructurales como rumbo y buzamiento tomados con la brújula Brunton, también la geometría del afloramiento haciendo uso de la cinta métrica, asimismo se consideró una observación puntual de su composición litológica y grado de alteración del material, elementos que conllevaron a su posterior identificación de la unidad litológica dentro de la hoja geológica de Zaruma del año 2013, adaptada como una referencia previa regionalmente a la parroquia.

La confección final del mapa geológico se realizó en el software ArcGIS 10.5 mediante el procesamiento de la data obtenida en campo y el uso de las ortofotos conjuntamente con los distintos mapas preliminares de la zona de estudio.

5.3.3.5. Interpretación y clasificación final de las unidades de relieve: La información recopilada en campo fue procesada en gabinete en el software ArcGIS 10.5, y se consideró nuevamente una fotointerpretación (Anexo 2) para la complementación y reajuste final de las unidades geomorfológicas dentro del territorio abarcado. Esta actividad se complementó con la categorización jerárquica de lo general a lo particular del relieve, definiendo el mesorelieve obtenidos con los puntos GPS levantados en el acápite (5.3.3.1).

5.3.3.6. Elaboración del mapa geomorfológico: En este contexto, una vez realizadas las fases anteriores y la caracterización de las formas del relieve en sus rasgos morfológicos principales, se obtuvo el mapa con las unidades de relieve, a la par con su respectiva génesis y edad conjuntamente con la geología contenida en la zona de estudio, conllevando todo ello a un resultado final de la elaboración del mapa geomorfológico de la parroquia Buenavista.

6. Resultados

6.1. Resultados para el primer objetivo

Se consideró los aspectos del relieve como su topografía, pendiente y los rasgos morfológicos con los procesos actuantes sobre él, mismos que permite un análisis del relieve, involucrando a los índices esenciales en la geomorfología de la zona de estudio.

6.1.1. Topografía

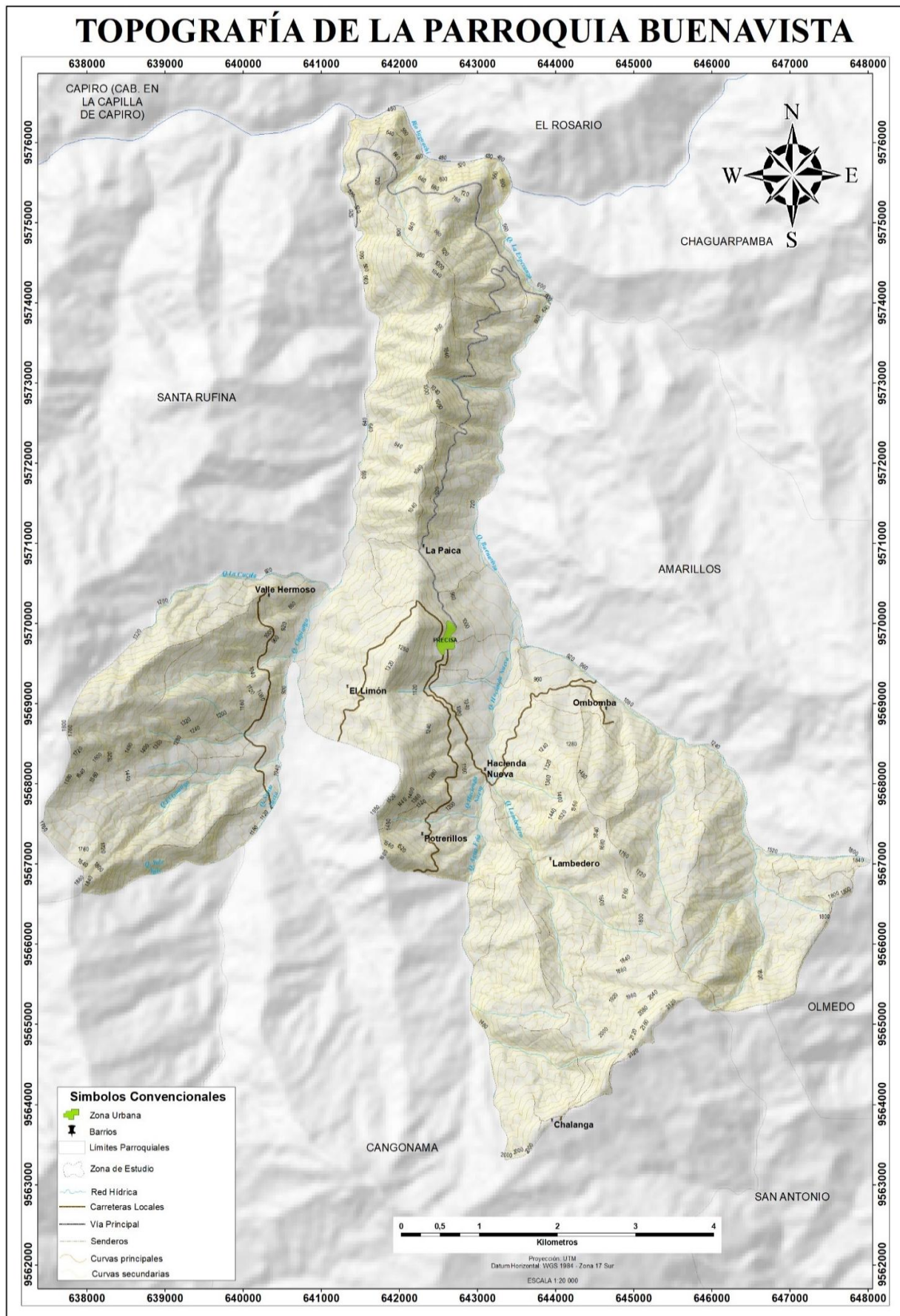
El componente topográfico es uno de los principales a considerar para la caracterización del espacio físico, necesario para comprender el entorno de la zona de estudio y lo que conlleva a conocer el uso y aprovechamiento del territorio favoreciendo la interpretación integral del área investigada. Es así que, en la zona de estudio se presentan cotas de elevación que van desde los 456 m s.n.m hasta los 2184 m s.n.m, identificando que las zonas más altas se ubican al Sur y las zonas más bajas al norte (Figura 35 A-B).

Figura 35 A). Zonas altas B). Zonas bajas de la zona de estudio



Conforme a eso se ha elaborado la cartografía respectiva, demostrando en la figura 36 la representación topográfica de la parroquia Buenavista, donde particularmente se diferencian comportamientos diferentes de las curvas de nivel. En el sector central las curvas se presentan con un trazo lineal de carácter homogéneo y alargado orientándose hacia el norte, mismas que engloban elevaciones de cimas alargadas y agudas. En el sector SE y SW las curvas son sumamente sinuosas comprendiendo un relieve montañoso, y a su vez evidenciando que dentro de estos sectores en las zonas más bajas además de determinar un sistema de drenaje permanente se incluye el desarrollo de valle, mismo que se caracteriza por formarse desde la parte alta hasta llegar a las partes más bajas de la zona, donde comienza un estrechamiento al cauce de las quebradas de manera brusca hasta la propia desembocadura al afluente principal Río Yaguachi, en que forma un valle en V pronunciado, demostrando de esta manera un comportamiento por efectos litológicos o tectónicos.

Figura 36 Mapa Topográfico de la zona de estudio



6.1.2. Pendientes

De acuerdo a la clasificación de Demek en 1972, se obtuvo una clasificación de 4 clases de pendientes a partir del modelo digital de elevación determinando de esta manera su representación dentro del terreno en área y porcentaje de cada rango de clasificación (Tabla 5).

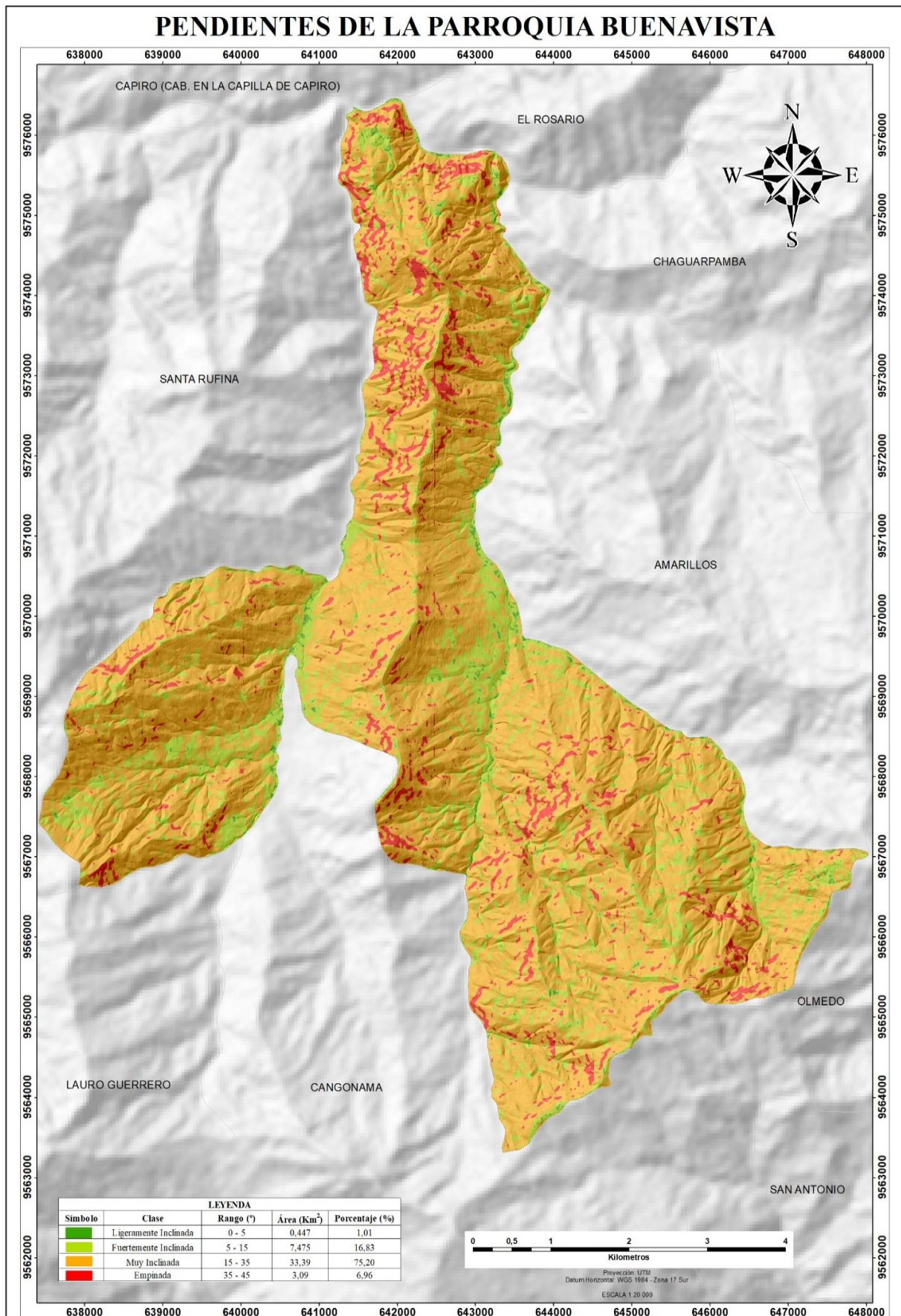
Tabla 5 Clasificación de pendientes de la parroquia Buenavista

Clase	Rango (°)	Área (Km ²)	Porcentaje (%)
Ligeramente Inclinada	0 - 5	0,44	1,01
Fuertemente Inclinada	5 - 15	7,47	16,83
Muy Inclinada	15 - 35	33,39	75,20
Empinada/Abrupta	35 - 45	3,09	6,96

En los resultados obtenidos, el territorio de estudio cuenta con un porcentaje mínimo en cuanto se refiere a pendientes ligeramente inclinadas dentro de un rango de variación de 0° a 5° lo cual representa un porcentaje del 1,01% del total territorial con una extensión de área mínima de 0,447 km² identificadas en las zonas más bajas ubicadas de forma dispersa en varias zonas del territorio; así mismo existe un porcentaje del 16,83 % que comprende pendientes fuertemente inclinadas en el rango de 5° a 15° representado un área del 7,48 km² donde se encuentran distribuido principalmente la cabecera cantonal y algunos asentamientos humanos y barrios de la parroquia (Figura 37).

Por otro lado, el relieve característico y predominante de la zona hace alusión a pendientes muy inclinadas características de un relieve montañoso, donde su rango varía entre los 15° a 35° abarcando área de 33,39 km² de extensión que se distribuye y complementa casi a toda la zona de estudio, lo cual representa puntualmente al 75,20 % del territorio total de la parroquia. Así mismo, la última y no menos importante clase de pendientes en el territorio son las pendientes empinadas que se caracterizan por tener entre 35° a 45° de inclinación, mismas que comprenden un 6,96 % del territorio total abarcando un área de 3,09 km² principalmente en zonas de NW y SE de la superficie (Figura 37).

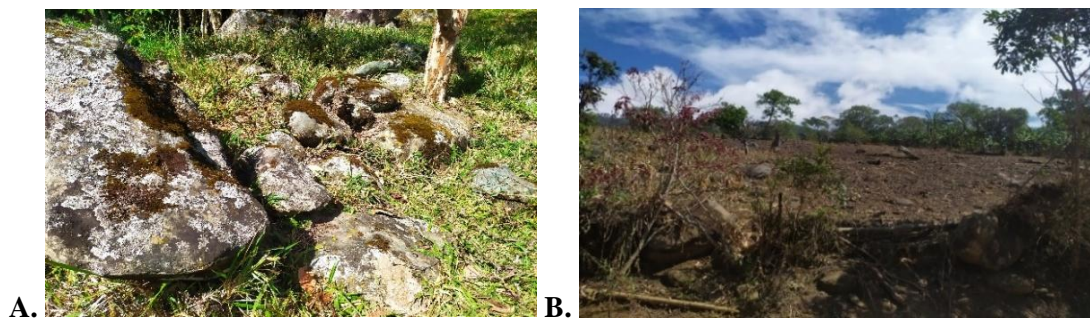
Figura 37 Mapa de Pendientes de la zona de estudio



6.1.3. Rasgos morfológicos del relieve

La caracterización del relieve se efectuó en base a los distintos rasgos morfológicos, permitiendo determinar dichas fisonomías o aspectos, de esta manera previamente con ayuda del procesamiento digital del terreno en el software Envi 5.3 y la aplicación del software ArcGIS 10.5 se estableció una caracterización cualitativa y cuantitativa respectivamente. Y posteriormente con una corroboración en campo se identificó áreas con pendientes desde una ligera inclinación en las partes más bajas a pendientes muy empinadas en las laderas de sus relieves montañosos, y formas del terreno bien definidos que modelan y determinan el relieve, comprobando también áreas del territorio sometidas a una intensiva erosión y a media ladera existe un transporte de materiales presentando los cantos rodados, representativos de los coluvios (Figura 38 A-B).

Figura 38 Superficies coluviales



La curvatura o convexidad de la superficie permitió la identificación de formas de bajo relieve como las terrazas aluviales de diferentes niveles, que se relacionan y se ven influenciados con las redes hidrográficas que conforman la parroquia. Además, se representa características de un terreno con pendiente suave, abarcando las planicies. Por otro lado, la presentación de las curvaturas en pendientes con rasgos moderados a altas inclinaciones, son aspectos morfológicos característicos en formas de alto relieve, es decir, relieves montañosos que componen mayoritariamente a las zonas de la parroquia.

Asimismo, permitieron considerar la influencia directa tanto en la persistencia como en el grado erosivo y sedimentación de las superficies. Todo ello confirma, que en el modelamiento del relieve también influye los rasgos hídricos y a su vez la cantidad de agua que accede y atraviesa el terreno, es así que en los relieves convexos el agua de precipitación circula por la superficie hacia las zonas más bajas creando una erosión local, mientras que lo contrario sucede en las áreas de relieve cóncavo (Figura 39 A). También el drenaje y recorrido del agua se ven

influenciado por el relieve, razón por la que en las áreas altas del territorio existe un drenaje vertical rápido, mismo que pasará de manera oblicua en las laderas.

Figura 39 A). Grado erosivo en relieve cóncavo B). Zonas altas que benefician a un drenaje vertical



Los rasgos más predominantes están constituidos por relieves altos, en forma de estrechas montañas alargadas con una topografía irregular (Figura 39 B) presentando laderas con fuertes inclinaciones, por ello la morfodinámica actual del territorio se caracteriza por una gran diversidad de acciones genéticas entre ellas se debe recalcar los procesos erosivos o denudativos (Figura 40 A-B) como la corrosión difusa o concentrada y los deslizamientos (Figura 41) relacionados estrechamente con procesos de meteorización y fuerza de la gravedad como condicionante, que de una u otro manera afectan directa e indirectamente al modelado del relieve, al tender a formar el equilibrio de las pendientes en aquellas zonas en que los procesos morfodinámicos y a su vez antropogénicos han provocado la ruptura de las mismas.

Figura 40 Procesos denudativos

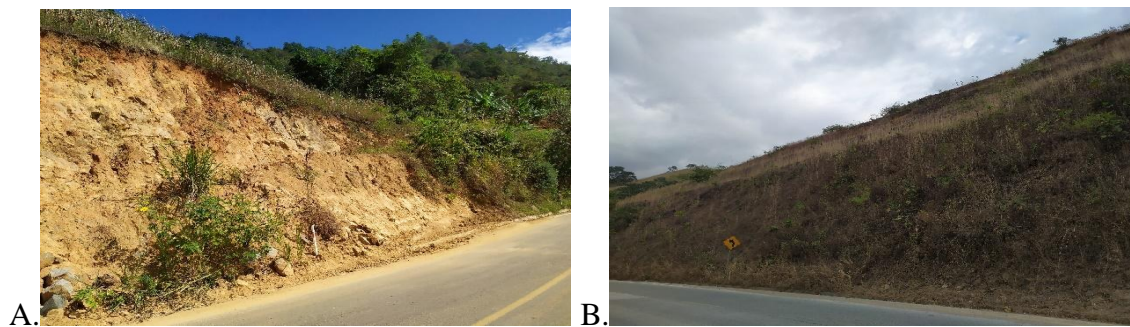


Figura 41 Deslizamiento en vía principal de la zona de estudio



En base a los índices topográficos se estableció una clasificación del relieve, en la que se distinguen a las unidades subsecuentes en orden decreciente y jerárquico, donde existen 8 clases a nivel de mesorelieve que para su identificación y descripción es de manera directa en campo. Ante todo, ello, los índices determinados en el área de estudio se enfocan en las particularidades del territorio que denotan los aspectos morfológicos del relieve, que una vez identificados estos rasgos llegan a ser el resultado de varias interacciones de los efectos tanto climáticos, litológicos, y distintos procesos tectónicos, erosivos como deposicionales, que destacan las características morfológicas más relevantes del relieve.

6.2.Resultados para el segundo objetivo

6.2.1. Geología Local

El material geológico de la zona de estudio es asignado al periodo Cretácico donde su secuencia geodinámica ocurre principalmente de manera erosional. Es así que, la parroquia Buenavista se encuentra principalmente en un ambiente volcano-sedimentario, donde abarca mayoritariamente la Unidad Ciano presentando sedimentos cretácicos como lutitas deformadas por tectonismo, limos y de manera más representativas las arcillas con una cantidad menor de arenisca e intercalaciones de rocas volcánicas también encontradas en los depósitos coluviales de las partes bajas de la zona observados principalmente en la zona SE y SW. Por otro lado, al norte de la parroquia afloran materiales de la Unidad Chaguarpamba como lentes subordinados de lutitas grisáceas a negras en capas decamétricas a métricas.

Las rocas volcánicas constituyen el basamento del territorio, aflorando principalmente en las partes bajas de las quebradas y comprendiendo lavas andesíticas a andesitas basálticas con tonalidades que varían de gris a verde y con intercalaciones de tobas andesíticas de la Unidad Celica. De esta manera, en el inventario geológico se registró y caracterizó afloramientos, misma se dio mediante el uso de fichas técnicas a lo largo de la vía principal y varias zonas accesibles dentro del límite territorial (Anexo 3), de los cuales fueron evidencia primordial para las características litológicas del sector, donde se detalla a continuación conforme a la unidad geológica correspondiente:

- Unidad Ciano

La litología perteneciente a esta formación comprende en su mayoría al territorio, donde se visualizaron claramente características sedimentarias tanto de roca consolidada, así como la mezcla de otros materiales disgregados, su litología indica la presencia de lutitas laminadas con rumbo S83°E y una dirección de buzamiento de 53°NE compactadas con coloraciones variadas desde claras amarillentas a oscuras grises, unas más consolidadas que otras, y también se

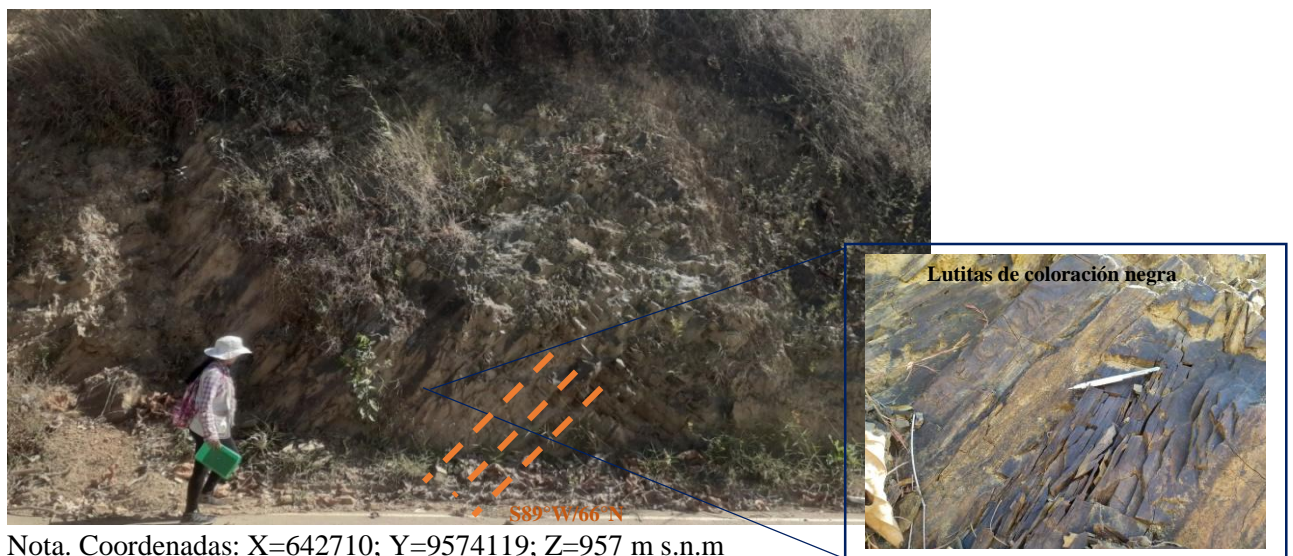
presenta cambios gradacionales no definidos entre arcillas y limolitas de considerable potencia (Figura 42).

Figura 42 Lutitas consolidadas



En la parte céntrica de la parroquia con dirección N, se puede apreciar afloramientos que están constituidos por lutitas con rumbo S89°W y dirección de buzamiento 66°NW con tonalidad negra de origen bituminoso, mismas que también tienen una alta cantidad de oxidaciones de hierro, y presentadas también como finas laminaciones de capas centimétricas (Figura 43).

Figura 43 Lutitas negras depositadas laminarmente



En la parte cerca al límite suroeste en el sector del barrio Potrerillos, se aprecian afloramientos de lutitas negras y una variedad de tonos como rosado, púrpura y marrón que se encuentran muy finamente laminadas, presentando un alto grado de alteracion y contenido de oxidaciones con rumbo S11°W y dirección de buzamiento 43°NW (Figura 44).

Figura 44 Lutitas negras depositadas laminarmente



Nota. Coordenadas: X=642285; Y=9566902; Z=1413 m s.n.m

Al extremo sur del territorio en el sector del barrio Hacienda Nueva, se presentan afloramientos que litológicamente están formados por arcillas limosas de grano fino y de coloración que varían de marrón a rosado caracterizándose por ser fácilmente disgregables, también se observó intercalaciones muy escasas de limos con un grano muy fino de 0.002 mm de apariencia talcosa, que durante la presencia de agua se provoca la mezcla tanto de estos sedimentos o partículas de polvo y arcilla produciendo lodo (Figura 45).

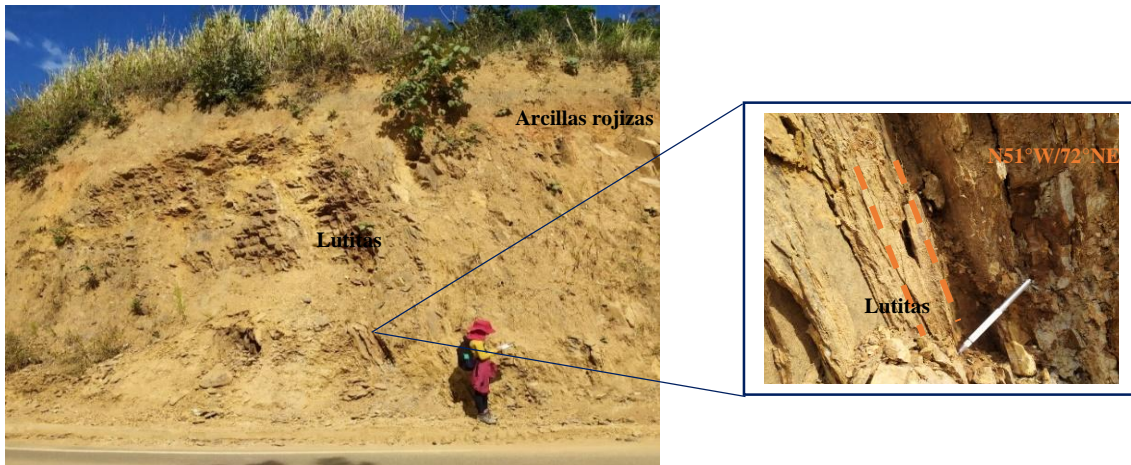
Figura 45 Arcillas limosas



Nota. Coordenadas: X=642999; Y=9568197; Z=1085 m s.n.m

Al centro del polígono territorial se presenta una litología que claramente pertenece a la Unidad Ciano caracterizada por la presencia de arcillas que son muy fácilmente erosionables, con una variación tanto en tonalidad que van de rojizas a amarillentas y potencia de las capas que subrayasen sobre las lutitas con rumbo N51°W y una dirección de buzamiento de 72°NE que en algunos casos las cubre totalmente (Figura 46).

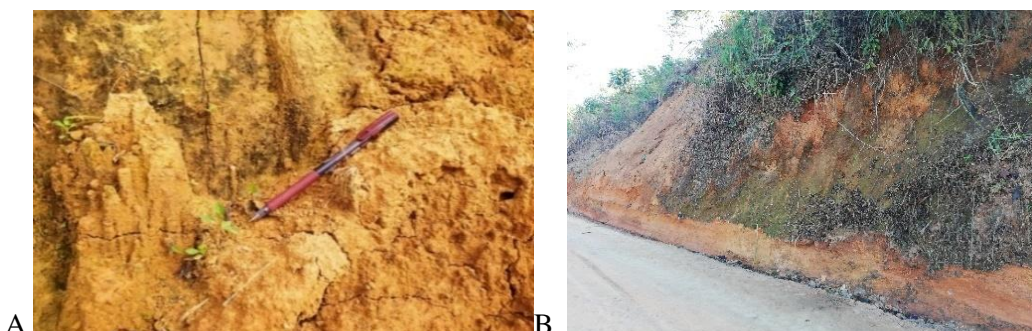
Figura 46 Arcillas con grado de meteorización alto



Nota. Coordenadas: X=642462; Y=9571480; Z=934 m s.n.m

Estas arcillas encontradas en el territorio estando pulverizadas y húmedas se tornan plásticas, donde existen alternancias de arcillas rojas y amarillentas, y en el territorio es muy frecuente obsérvalas en surcos, suelos, sedimentos y en suspensión en agua turbulenta en las quebradas bajas, donde su tamaño de partículas favorece esa flotación en el agua. Sin embargo, las arcillas rojas son las más abundantes y su color se debe a la presencia de hidróxido de hierro (Figura 47 A-B).

Figura 47 Arcillas

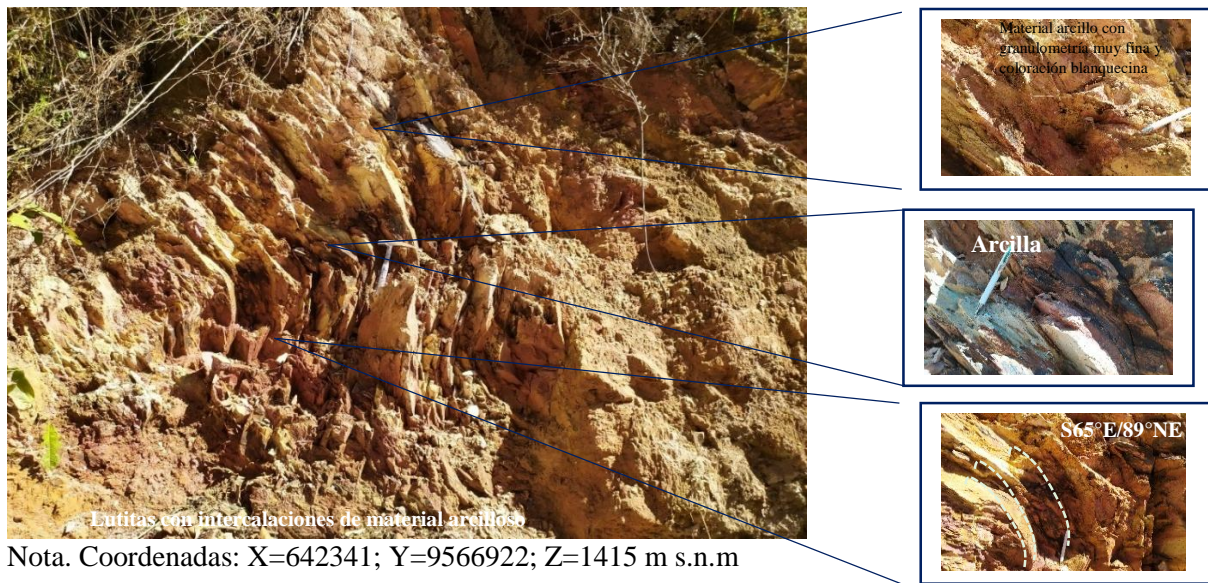


Nota. Coordenadas: A) X=642683; Y=9569589; X=1052 m s.n.m B) X=642360; Y=9573148; X=1008 m s.n.m

Por otro lado, al sureste se da la presencia de arcillas con un grano muy fino, con intercalaciones de lutitas en capas estratificadas que han sido afectadas por procesos de deformación donde surge consecuentemente una estratificación con tendencia vertical con

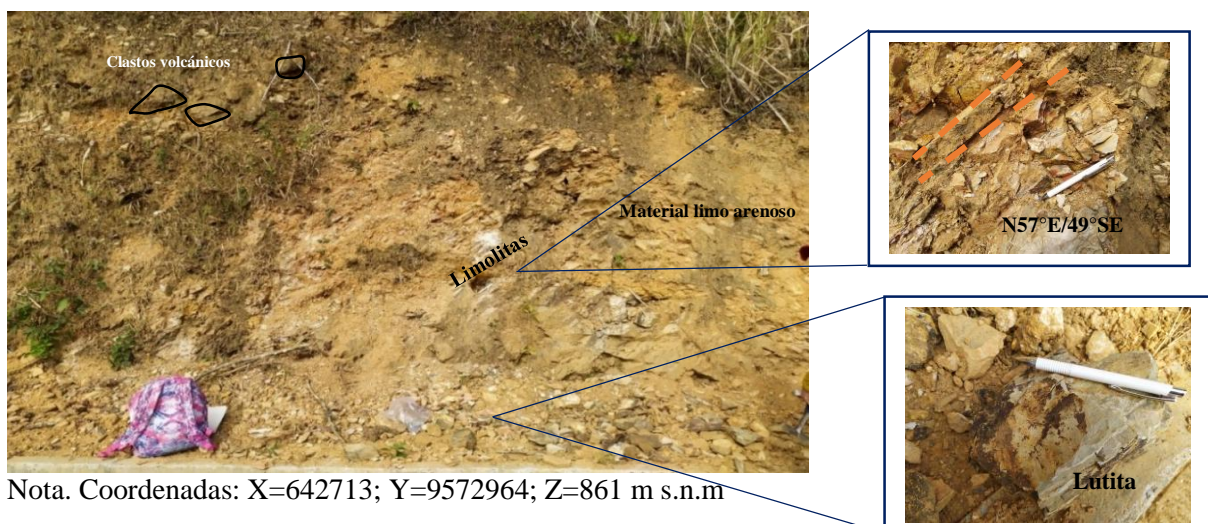
rumbo S65°E y una dirección de buzamiento de 89°NE, con una gama de color muy amplio y una distribución granulométrica común con respecto a los demás materiales aflorantes en el territorio. Parcialmente en una mínima porción se presenta arcilla con una coloración blanca de un grano fino producto de la meteorización de las rocas volcánicas, y a su vez alteradas por procesos externos (Figura 48).

Figura 48 Lutitas afectadas por procesos de deformación



Las limolitas también son presenciadas a lo largo de la vía principal que conecta a la zona urbana de la parroquia, estas varían de tonalidad amarillentas a verdosas con intercalaciones de lutitas con rumbo N57°E y una dirección de buzamiento de 49°SE, con material limo arenoso presentados como estructuras sedimentarias con estratificación cruzada y marcos de ondulación que van de rojizos a amarillos claros siendo estos a su vez la transición entre las lutitas y arcillas (Figura 49).

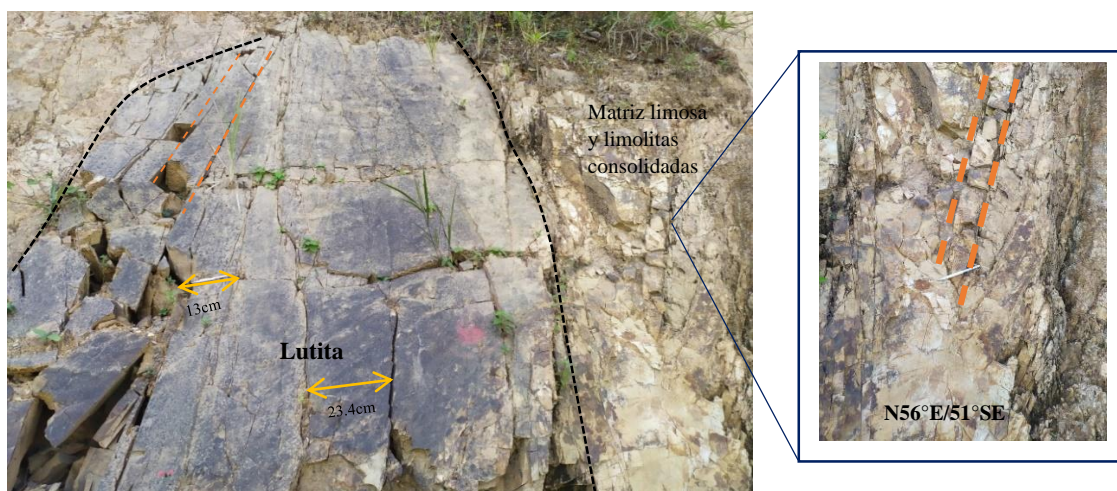
Figura 49 Material limo arenoso intercalado en lutitas



- Unidad Chaguarpamba

La formación Chaguarpamba está constituida por una litología similar a la formación Ciano, presentando de esta manera un ambiente de materiales volcansedimentarios y procesos físicos mecánicos que afectaron a la roca expuesta originalmente y entrando en contacto las lutitas con las limolitas que presentan un rumbo $N56^{\circ}E$ y una dirección de buzamiento de $51^{\circ}SE$. Las lutitas se presentan con un espesor de capas mayores a 10 cm, y a suma de ello la meteorización física, genera de esta manera las partículas del tamaño de limo que fueron transportadas y depositadas a sitios aledaños, mismo por el viento o agua, a su vez se encuentran ocupando extensiones grandes en la superficie identificada con una matriz limosa (Figura 50).

Figura 50 Contacto entre lutitas decamétricas y limolitas consolidadas



Nota. Coordenadas: X=642936; Y=9573164; Z=829 m s.n.m

Existe la presencia de lentes subordinados de lutitas con un rumbo $N75^{\circ}E$ y una dirección de buzamiento $52^{\circ}SE$, con intercalaciones de limolitas en diversos colores que van de negro a gris oscuro componiéndose de materia orgánica, y a su vez otras tornan una coloración amarillenta a marrón, este afloramiento presenta parcialmente un escurrimiento de agua, donde también se evidencia la existencia de arcillas con alta plasticidad y la mezcla de limos con estas arcillas más la absorción del agua en los mismos sedimentos, producen lodo de coloración tanto negra como amarillo marrón estando aledaña la presencia de cuarcita en pequeñas cantidades conjuntamente con material de granulometría mayor característico de limo-arenoso (Figura 51).

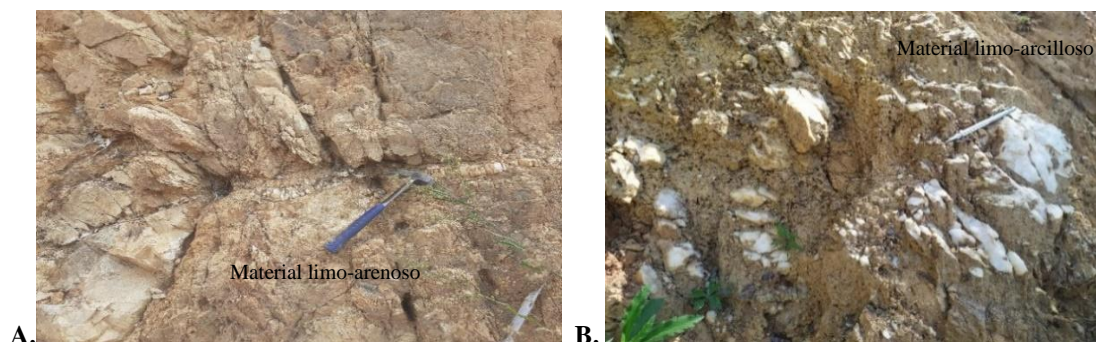
Figura 51 Lutitas laminadas y presencia de arcilla altamente plásticas



Nota. Coordenadas: X=642844; Y=9573266; Z=827 m s.n.m

Los procesos de la diagénesis son los que intervienen en el comportamiento de las rocas sedimentarias a partir de los sedimentos, que en general tendieron a la reducción de su resistencia aumentando la compacidad de dichos materiales. Estos procesos iniciaron antes del reposo de los componentes del sedimento, razón por la cual los fragmentos que forman las rocas pueden quedar cubiertos por capas de óxidos metálicos y se formaron arcillas a partir de algunos minerales disgregados, en este contexto en la parte norte cerca al límite territorial afloran arcillas con intercalaciones de material limo arcilloso de grano medio a fino sumamente alterado y coloraciones rojizas a amarillentas pálidas, contando con la presencia de cuarcitas.

Figura 52 Material limo arenoso y arcilloso con la presencia de cuarcitas



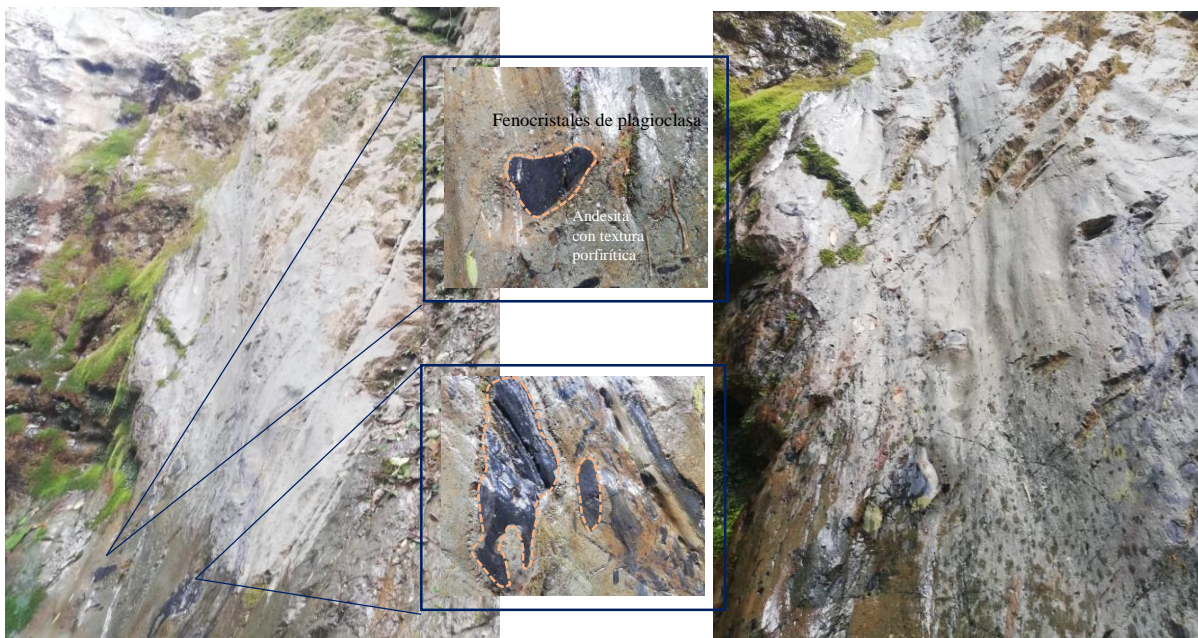
A. Nota. Coordenadas.: A. X=643341; Y=9547226; Z=734 B. X=643260; Y=9574440; Z=698 m s.n.m

- Unidad Celica

Aunque en la superficie del polígono territorial son más comunes las rocas sedimentarias también existen en menor proporción estas rocas ígneas extrusivas que generalmente son muy duras y densas, y en su estado natural inalterado poseen una resistencia muy alta al querer ser cortadas, sin embargo, al fracturarse y a su vez meteorizarse llegan a ser débiles, por ello el principal problema que presentan estas rocas es su fácil desintegración al secarse y humedecerse y la presencia de arcillas como subproducto del proceso de meteorización de las mismas.

Esta formación consiste principalmente de lavas andesíticas, generalmente presentándose en la zona de investigación como una roca masiva homogénea de color verde distintivo. En este contexto, la andesita complementa el basamento y en los que se destacan enclaves microgranulares un poco redondeados o elipsoidales de diferentes tamaños, apreciando su textura microporfídica con fenocristales de plagioclasa, y una estructura masiva a ligeramente bandeada, muy deformada y alterada con un grado de meteorización medio a alto. Este tipo de rocas fueron encontradas generalmente al SE, SW, N y partes de las quebradas del territorio donde presentan rocas de color verde con una textura porfirítica (Figura 53).

Figura 53 Andesita Porfirítica en la quebrada Lambedero



Nota. Coordenadas: X=643446; Y=9567409; Z=1232 m s.n.m

Las rocas volcánicas de la Unidad Celica afloran a poca profundidad referida a la localización de las quebradas, encontradas con un rumbo N87°W y una dirección de

buzamiento 64°SW , evidenciando que en secuencia sobreyace los materiales sedimentarios de la Unidad Ciano producto de los procesos geodinámicos (Figura 54).

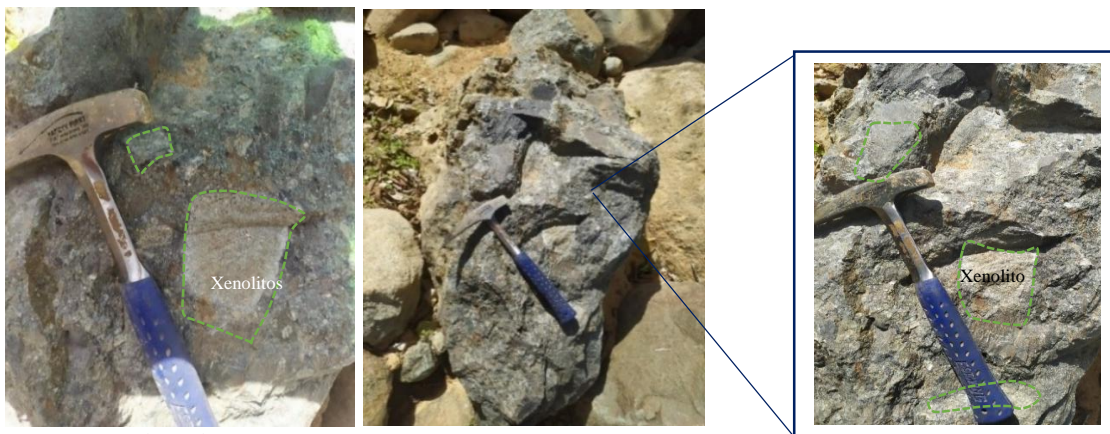
Figura 54 Rocas Volcánicas localizadas en la quebrada Chipianga



Nota. Coordenadas: X=640106; Y=9568200; Z=1075 m s.n.m

Al SW de la parroquia en la quebrada El Guango, se representa lavas andesitas intermedias con tonalidades verdosas a gris oscuras. Además de tobas andesíticas faneríticas al SE quebrada Hacienda Nueva con presencia de xenolitos, es decir fragmentos de rocas envueltos en una roca más grande durante su última fase de desarrollo y endurecimiento, dada aproximadamente en la edad cretácica (Figura 55 y 56).

Figura 55 Toba Andesíticas localizada en la quebrada El Guango



Nota. Coordenadas: X=640106; Y=9568200; Z=1075 m s.n.m

Figura 56 Tobas andesíticas con textura afanítica-porfirítica con xenolitos de la quebrada Hcda. Nueva

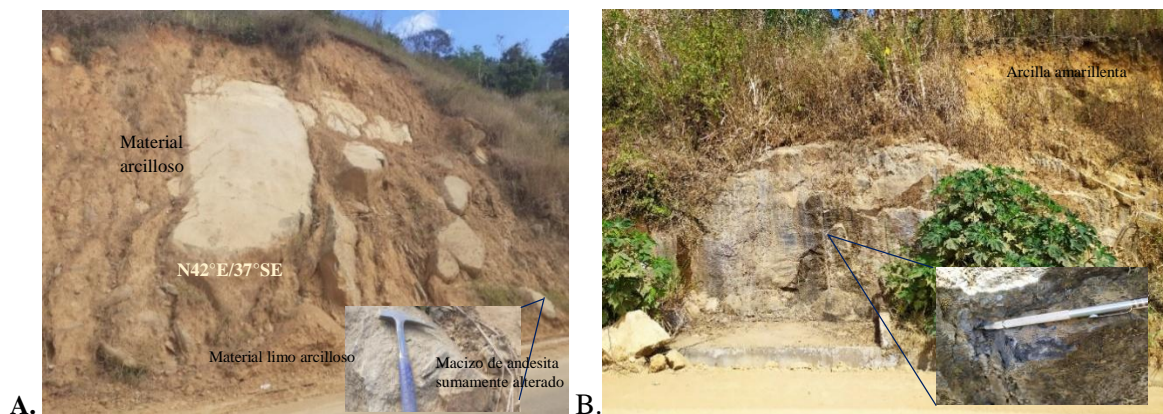


Nota. Coordenadas: X=643047; Y=9567752; Z=1102 m s.n.m

En vista de ello, dentro de esta unidad se presenta una extensa acumulación de rocas volcánicas andesíticas de textura tanto afanítica como fanerítica presenciadas generalmente en las quebradas del territorio.

Por otro lado, estos macizos rocosos se intercalan con una mínima frecuencia en sitios puntuales de series gradacionales de arcillas y material limo arcilloso en colores amarillentos y rojizos con propiedades plásticas altas aflorando con un rumbo N42°E y una dirección de buzamiento 37°SE (Figura 57 A-B).

Figura 57 Macizos rocosos aflorantes y altamente meteorizado



Nota. Coordenadas: A. X=642552; Y=9571739; Z=919 m s.n.m B. X=642587; Y=9571940; Z=915 m s.n.m

- Depósitos coluviales

Localizados en las superficies con inclinaciones bajas, al pie de las laderas, siendo el resultado del transporte gravitacional de los materiales resultantes de la desintegración de relieves primarios, estos depósitos se componen de bloques métricos de rocas ígneas rodadas fuertemente alteradas formando así coluviones un poco antiguos (Figura 58).

Figura 58 Depósitos coluviales en el sector de Hacienda Nueva



Nota. Coordenadas: X=643041; Y=9567826; Z=1096 m s.n.m

6.2.2. Cobertura y uso actual del suelo

La zona de estudio cuenta con cinco tipos de cobertura vegetal (Figura 60), siendo las más extensa las áreas agropecuarias las cuales ocupan el 80% del territorio, destinadas principalmente a pastizales destinados para la crianza y alimentación de ganado bovino y equino (Figura 59 A), también para sembríos de productos de ciclo corto como maíz (Figura 59 B) y maní conjuntamente con otras plantaciones como el plátano y caña de azúcar. Por otro lado, las zonas boscosas cuya cobertura original se ha ido alterando sucesivamente con la intervención antrópica, y por ende va perdiendo su continuidad en la vegetación, las mismas se ubican en las partes altas principalmente del SE y centro (Figura 59 C) ocupando el 19,34% del territorio total, mientras que las zonas antrópicas (poblados e infraestructuras) (Figura 59 D), la vegetación arbustiva y herbácea, y las zonas de cuerpos de agua tienen una cobertura y uso de suelo menor, con valores de 0,52%; 0,047%; y 0,045% respectivamente.

Figura 59 A). Pastizales B). Cultivos C). Zonas Boscosas D). Áreas Antrópicas

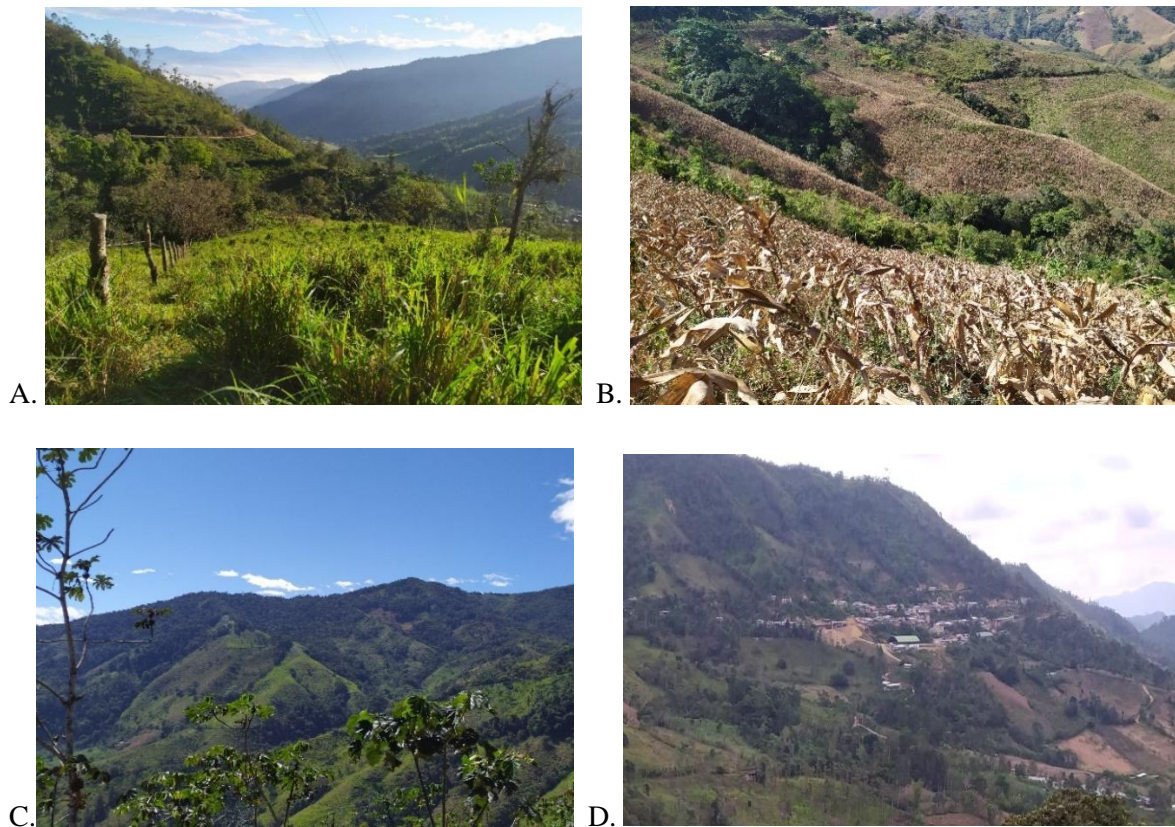
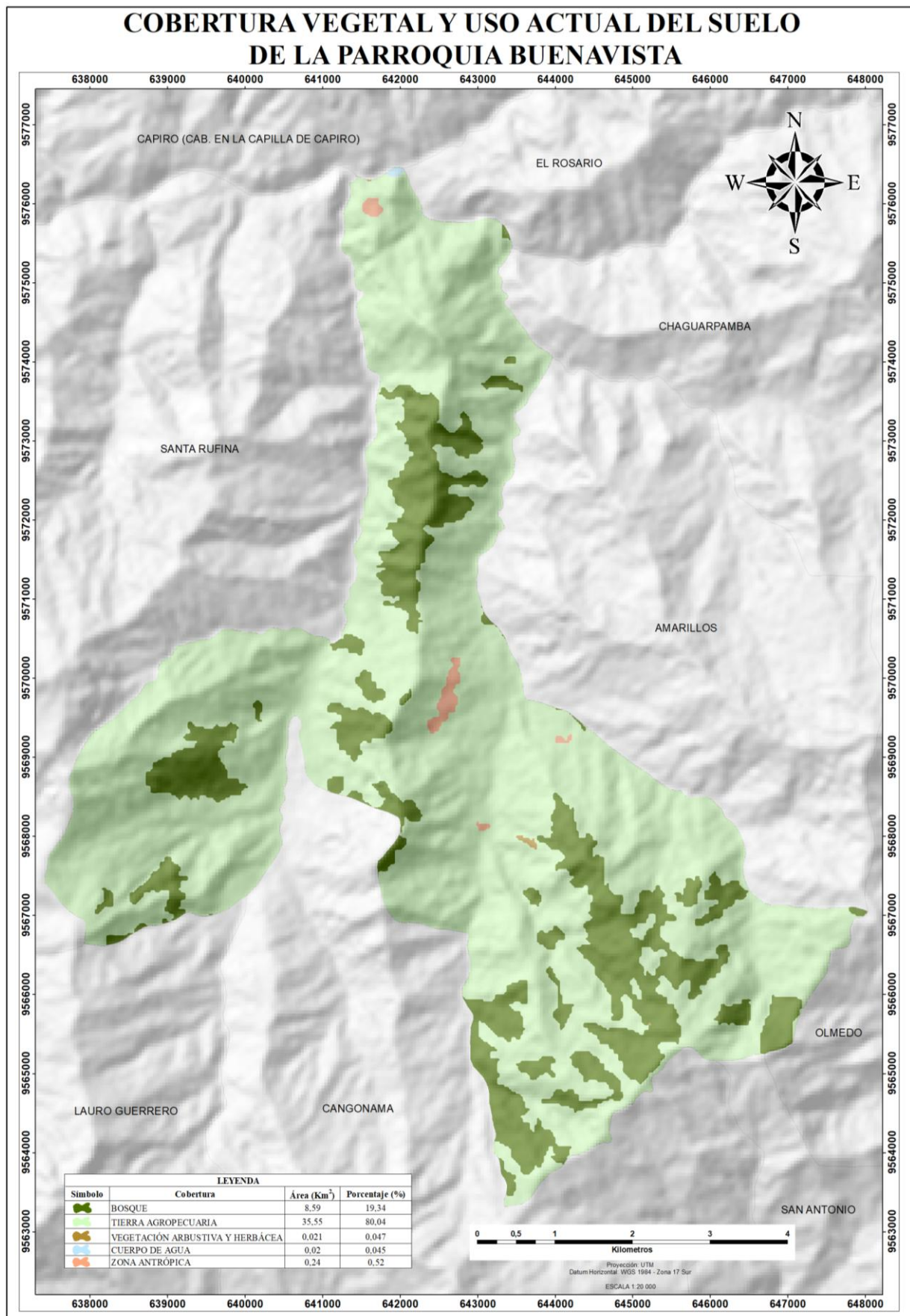


Figura 60 Mapa de Cobertura Vegetal y Uso Actual del suelo de la zona de estudio



6.2.3. Ambientes Genéticos

El territorio de la parroquia Buenavista genéticamente se ve relacionado con procesos volcano sedimentarios, ya que su modelado ha sido afectado tanto en mayor y menor grado por procesos erosivos, de transporte y sedimentación, por ello el relieve que se presenta actualmente se desencadena de los diferentes factores morfodinámicos asociados a la tectónica que han formado los relieves montañosos y en su mayoría han sido formas sometidas por efectos de meteorización y erosión produciendo cambios tanto progresivos y relevantes. En este contexto, los ambientes genéticos que forman los relieves característicos son:

- Tectónico-Erosivo

Corresponde a los levantamientos tectónicos que han generado las formas del relieve montañoso de la parroquia en sí, con las diferentes alturas y pendientes, y que aun han conservado los rasgos de sus estructuras originales a pesar de los procesos geodinámicos constantes en el territorio (Figura 61).

Figura 61 Ambiente Tectónico-Erosivo



- Deposicional

Estas zonas se relacionan con la depositación de materiales transportados por consecuencia de los procesos mecánicos que permiten la desintegración de los materiales preexistentes (Figura 62).

Figura 62 Terrazas aluviales propio de un ambiente deposicional



- Denudativo

Dentro de este ambiente se encuentra la forma de relieve de coluviones y conos de deyección, resultado del desgaste de material ubicados en las partes superiores del relieve, además por la acción del agua hacia las partes bajas, afectando a la forma original por acciones de la gravedad y en combinación con el transporte de materiales (Figura 63).

Figura 63 Ambiente denudativo



6.2.4. Interpretación Geomorfológica

Las unidades morfométricas interpretadas se convierten en unidades geomorfológicas categorizadas previamente con la asignación temática. Es así que, con el levantamiento de las unidades del relieve directamente en el territorio de la parroquia de Buenavista se ha logrado identificar un total de 11 tipos de unidades geomorfológicas definidas e interpretadas de manera jerárquica a escala local que representan mayoritariamente al territorio en estudio (Tabla 6).

Tabla 6 Unidades Geomorfológicas de la parroquia Buenavista

Macrorelieve	Mesorelieve	Génesis	Edad	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Montaña	Relieve Montañoso	Tectónico-Erosivo	Paleoceno-Cretácico Jurásico-Mesozoico	27,74	62,42
	Vertiente Abrupta			4,6	10,36
	Vertiente Irregular			7,59	17,08
Serranía	Cima Aguda	Tectónico-Erosivo	Cuaternario-Cretácico Inferior-Mesozoico	0,34	0,76
	Cima Redondeada			1,85	4,16
	Colina Alta			0,22	0,49
Pie de Monte	Colina Baja	Tectónico-Erosivo	Paleoceno-Cretácico Medio-Mesozoico	0,43	0,96
	Cono de Deyección			0,01	0,03
	Coluvión			Denudativo	Plioceno-Cretácico Inferior Cuaternario-Cenozoico
Valle	Planicie	Deposicional	Plioceno-Cuaternario- Cenozoico	0,64	1,44
	Terraza			0,52	1,16

6.2.4.1. Identificación de unidades geomorfológicas a nivel de macrorelieve: Para la asignación temática de forma específica que facilita y simplifica estudiar el área desde el punto de vista geomorfológico, fue necesario una previa clasificación de manera jerárquica, de lo general a lo particular, del relieve a nivel macro mismo que se categorizó en 4 niveles diferenciados como el relieve de montaña y serranía, pie de monte y valle, donde cada uno engloba una subdivisión que representa al mesorelieve.

6.2.4.1.1. Serranía

Comprendida desde el centro hacia el norte de la parroquia, abarcando el 32,85% del territorio con 14,6 km² principalmente a los sectores de La Paica, Reina del Cisne, Pan de Azúcar, Artoncillo y Corral Viejo, y caracterizada por presentar relieves muy fuertes con una extensión superficial de mayor longitud que altitud y con pendientes que varían desde los 15° a 45° llegando a ser pendientes empinadas, contemplando también vertientes irregulares y rectilíneas como cimas agudas y redondeadas (Figura 64).

Figura 64 Macrorelieve de Serranía



6.2.4.1.2. Relieve Montañoso

La geomorfología de relieves montañosos ocupa la mayor extensión del área con 27,74 km² representando el 62,42% del territorio total, esta unidad también cuenta con rasgos geomorfológicos representativos con superficies de mayor inclinación, generalmente superior a los 20° en algunos casos los 45°, por ende, comprende elevaciones naturales de alturas considerables (Figura 65).

Figura 65 Relieve Montañoso al sur de la parroquia



6.2.4.1.3. Pie de monte

Unidad ubicada tanto en la base como en las faldas del relieve montañoso, misma que representa el 2,13% abarcando 0,95 km², donde existen asentamientos de los poblados como los barrios de Hacienda Nueva, Valle Hermoso y la misma cabecera parroquial Buenavista (Figura 66).

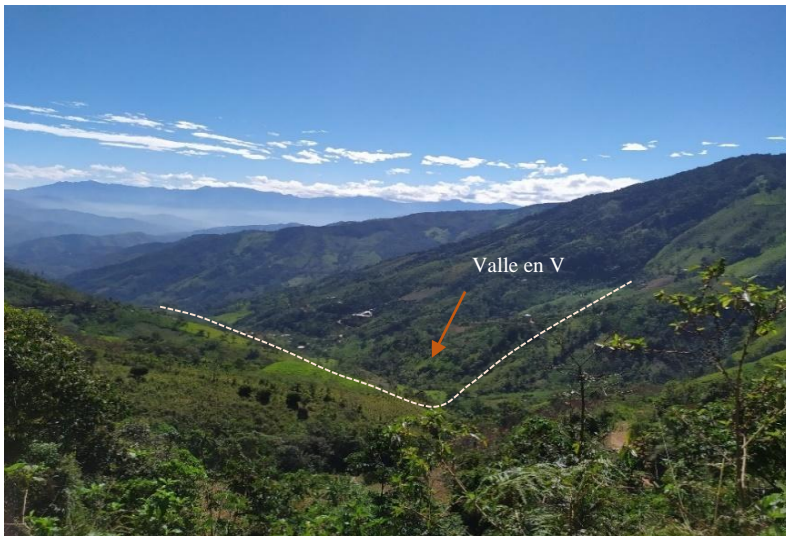
Figura 66 Barrio Hacienda Nueva localizado al Pie de Monte



6.2.4.1.4. Valle

Formado genéticamente a causa de la erosión fluvial, representa 2,6% misma que abarca una mínima extensión de 1,16 km² del territorio total, se localiza desde la parte alta hasta llegar a las partes más bajas de la parroquia, donde comienza un estrechamiento al cauce de las quebradas hasta la desembocadura al afluente principal Río Yaguachi, en el que se forma un valle en V (Figura 67).

Figura 67 Valle en V

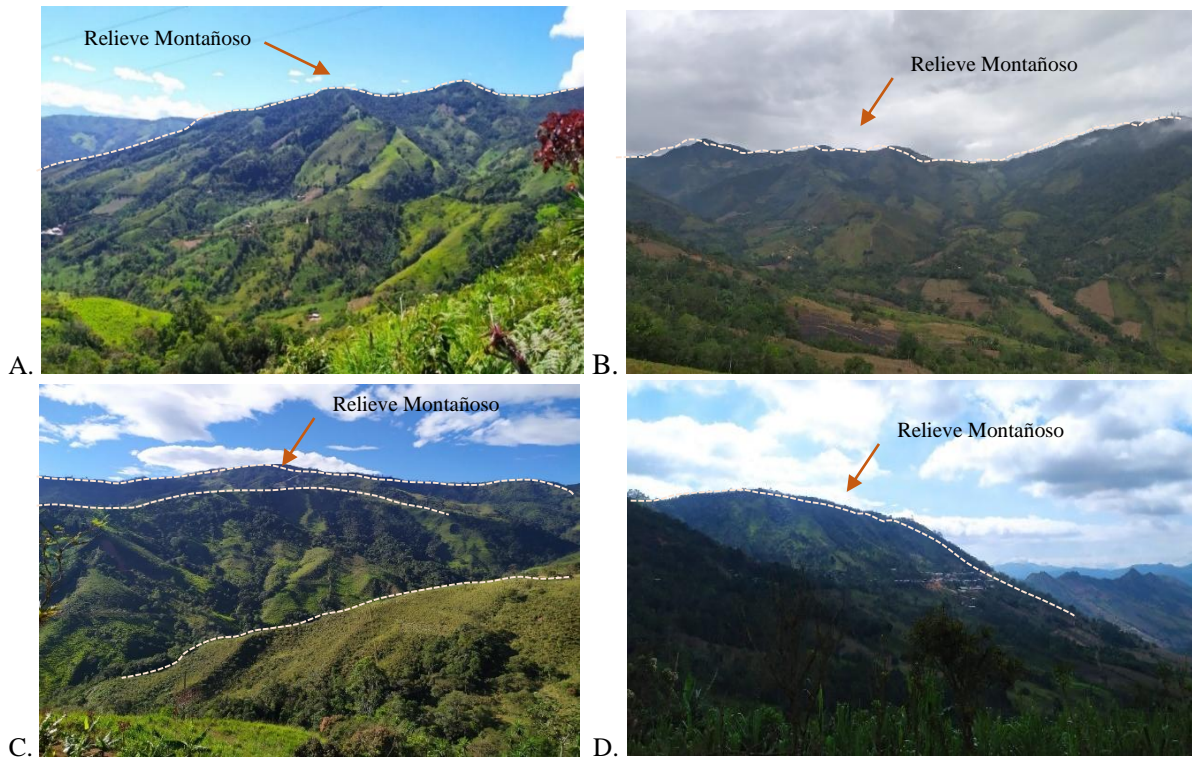


6.2.4.2. Identificación de unidades geomorfológicas a nivel de mesorelieve: Las unidades a nivel macrorrelieve previamente identificadas en el territorio, llegan a ser geoformas que engloban a las unidades de mesorelieve descritas a continuación.

6.2.4.2.1. *Relieve montañoso*

Es la unidad más representativa en la zona de estudio, distribuida en la parte Sur, Este, Oeste y Norte, incluye montañas con alturas que superan los 2000 m s.n.m contando con pendientes desde ligeramente inclinadas hasta zonas con pendientes muy inclinadas (Figura 68 B), cuyo ambiente genético es tectónico-erosivo, y morfológicamente también presentan cimas agudas y vertientes cóncavas (Figura 68 A), o cimas redondeadas y vertientes convexas (Figura 68 D), en este caso también están representados por relieves colinados altos y bajos con desniveles desde 100 hasta mayores a 300 m. Por otra parte, tanto en las partes altas como en laderas del relieve, sus superficies se encuentran medianamente disectadas (Figura 68 C) dando origen un relieve con declives de buzamientos medianamente fuertes.

Figura 68 Relieve Montañoso A). Sureste, sector La Delicia C). Suroeste, sector El Guango C). Sur, sector Lambederos D). Centro, cabecera parroquial Buenavista con vista al norte

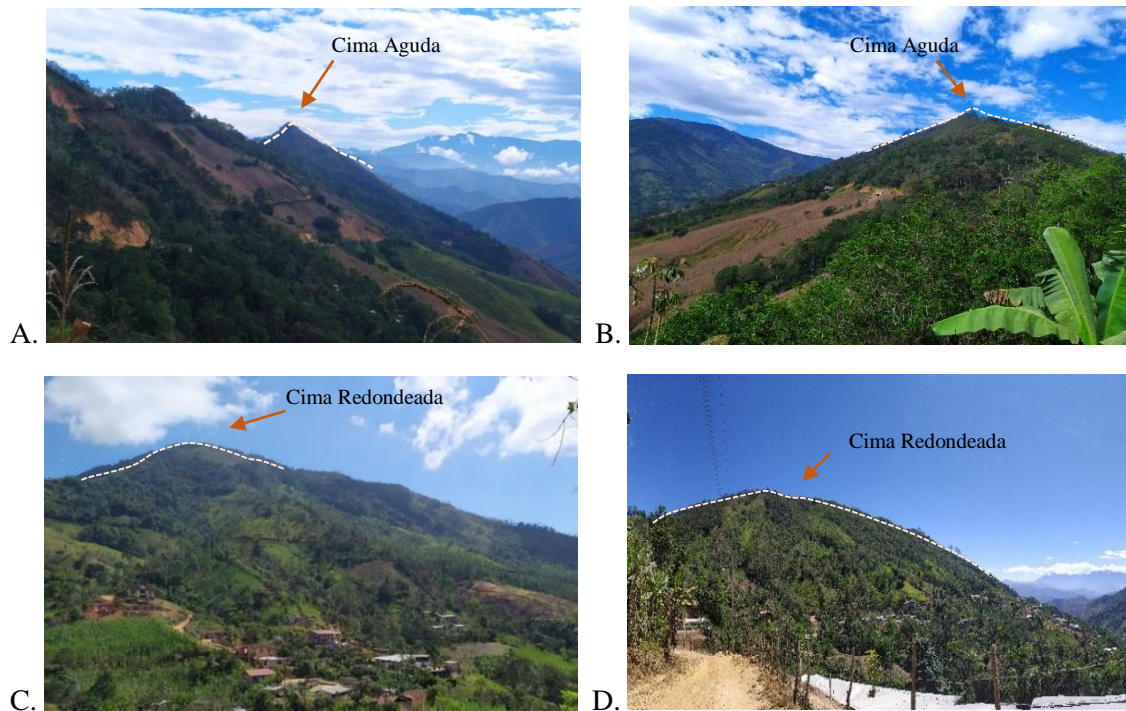


Esta unidad se conforma por tobas volcánicas andesíticas con presencia de bloques subredondeados de textura tanto afanítica y porfirítica localizados de manera acumulativa en las partes de las quebradas, perteneciente al periodo del Cretácico correspondiente a la Unidad Celica y Ciano, y su modelado se ve intrínsecamente influenciado y desarrollado por una translocación muy acentuada de arcilla producto principalmente de los procesos sedimentarios iniciando desde la alteración física de la roca sólida, la erosión, transporte y la deposición para finalmente dar la génesis a este tipo de rocas sedimentarias, material que básicamente abarca a la mayoría del territorio.

6.2.4.2.2. Cimas

Ubicadas en los puntos más altos de los relieves montañosos y representado el 4,92 % con una extensión de 2,19 km², dando características de formación agudas (Figura 69 A-B) y redondeadas (Figura 69 C-D). Estas unidades se ven influenciadas a procesos morfogenéticos dominantes principalmente la meteorización física como el desgaste de sus superficies altas a causa de las actividades agropecuarias y agentes meteorológicos e incluyendo el transporte de los materiales sobre laderas largas (Figura 69 B) con pendientes que varían desde ligeramente inclinadas (Figura 69 C) a muy inclinadas (Figura 69 A), considerando superficies que se encuentran mediamente y fuertemente diseccionadas (Figura 69 A,B,C).

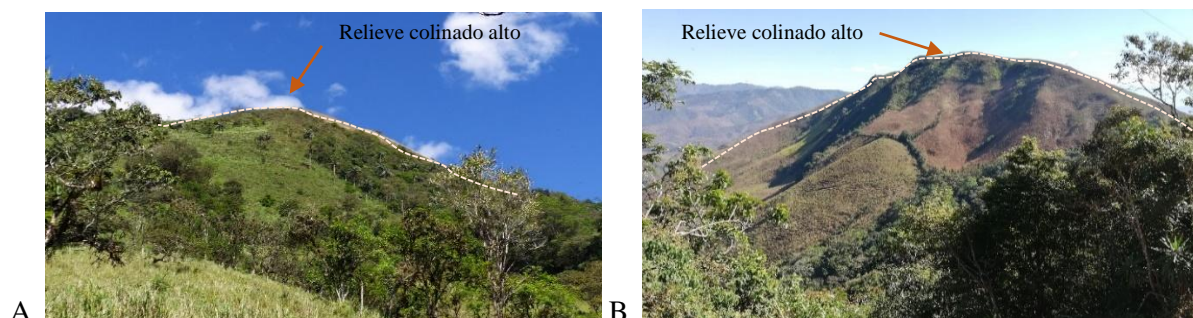
Figura 69 Cimas A). Cima Aguda, sector Pan de Azúcar, B). Cima aguda, sector La Paica C). Cima Redondeada, sector Hcda. Nueva D). Cima Redondeada, sector Buenavista



6.2.4.2.3. *Relieve colinado alto*

Ubicados en las partes altas principalmente en el sector Artoncillo y la parte alta del barrio Hacienda Nueva con una extensión territorial de 0,22 km² que abarca el 0,49 %. Presentan desniveles de 100 hasta 200 m con cimas redondeadas y sus laderas tienen pendientes que van desde fuertemente inclinadas (Figura 70 A) a muy inclinadas (Figura 70 B). Litológicamente sus superficies cuentan con materiales arcillosos y capas de lutitas, donde intervienen procesos complementarios de disgregación física, y es así que, por la meteorización de las rocas ígneas volcánicas, que se componen mayoritariamente de minerales como plagioclasas, se desarrolla este tipo de material con alto contenido de hierro, además el uso de suelo que tiene esa unidad es netamente pastizales y cultivos (Figura 70 A- B), en contorno a su laderas en las parte cóncavas del relieve presenta una vegetación arbustiva de manera parcial.

Figura 70 Relieve colinado alto: A) Sector Potrerillos B) Sector Artoncillo

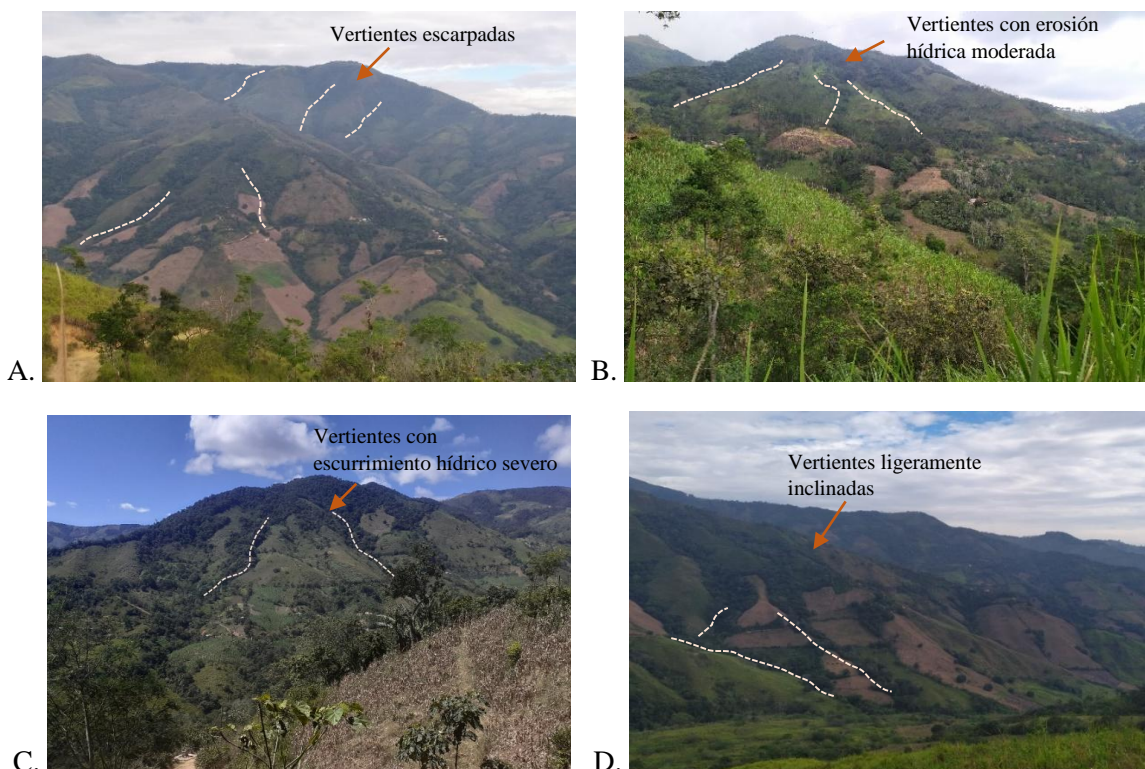


6.2.4.2.4. Vertientes

Está compuesta por relieves montañosos, que se caracteriza por presentar laderas heterogéneas y escarpadas, y son unidades del relieve que se encuentran propensas a la erosión. El material que conforma esta unidad tiene su origen en levantamientos tectónicos que han generado dichos relieves montañosos y colinados de diversa altura con pendientes de ligeramente inclinadas ($>10^\circ$) (Figura 71 D) a pendientes abruptas con 45° (Figura 71 A), los cuales han sido afectados en un grado muy variable por procesos erosivos. También, cabe mencionar que estos materiales que forman básicamente los suelos del territorio, se han desarrollado a partir de andesitas de composición intermedia cuya composición mineral comprende el de las plagioclasas, y por ende la meteorización ha dado lugar a los materiales arcilloso.

Los procesos morfogenéticos que dominan en esta unidad, son la erosión hídrica superficial ligera (Figura 71 D), moderada (Figura 71 B) y severa (Figura 71 A-C), como escurrimiento difuso y puntual que, debido a las precipitaciones sobre los relieves montañosos de la parroquia, también desencadena fenómenos de remoción en masa, los cuales se producen debido a las mismas pendientes fuertes y a la inestabilidad de las mismas. Por otro lado, la mayoría de las Notas hídricas que irrigan a las vertientes medias y bajas se localizan al SE (Figura 71 B) y SW (Figura 71 A) con una extensión de $12,19 \text{ km}^2$.

Figura 71 Vertientes A). Sector El Guango, B). Sector El Palmar C). Sector alto del barrio Ombomba D). Sector Valle Hermoso

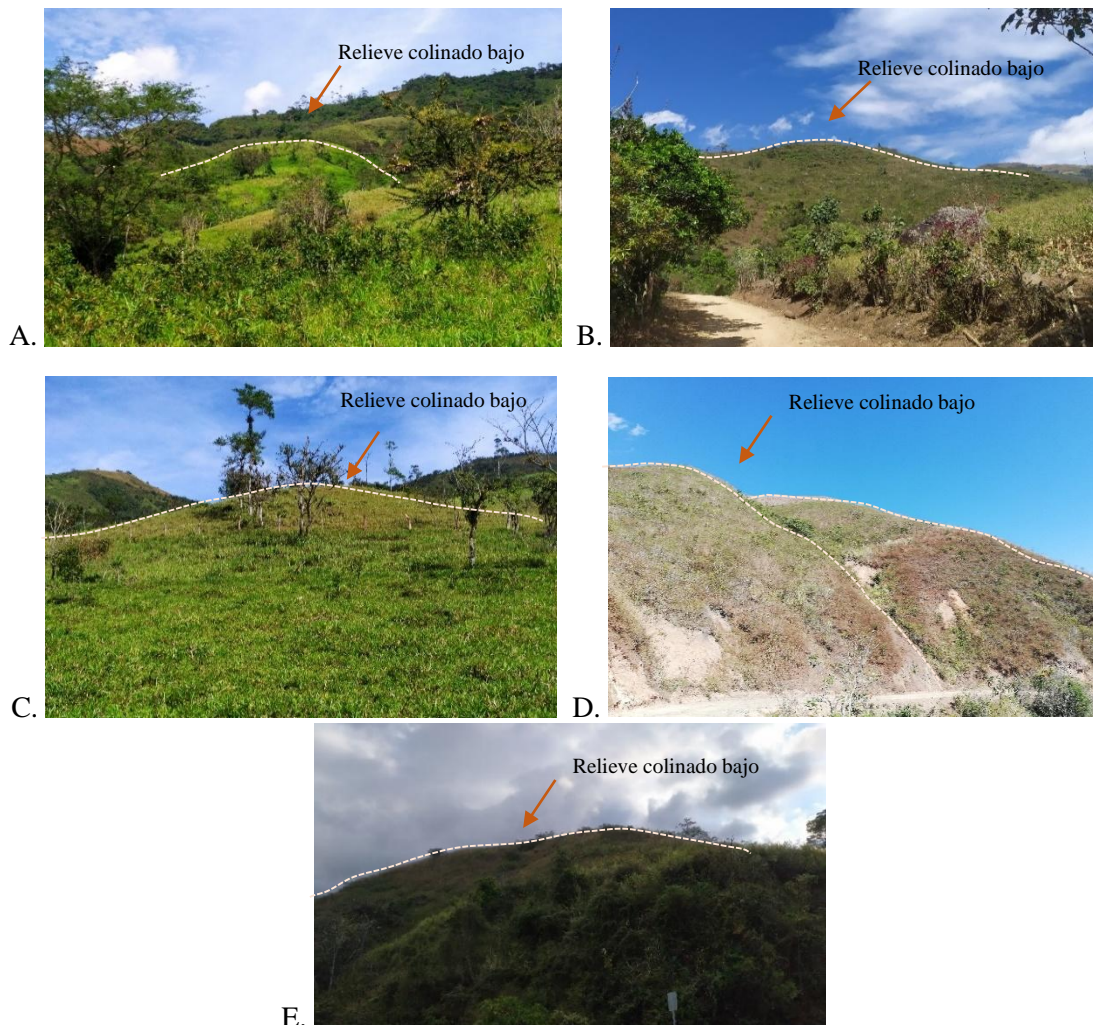


6.2.4.2.5. *Relieves colinados bajos*

Este tipo de relieve es producto de los procesos erosivos y de disección que actúan sobre las rocas sedimentarias de la formación Ciano (limolitas, arcillas, lutitas), presentado formas de terreno de cimas redondeadas y laderas un poco alargadas con pendientes ligeramente inclinadas (0° - 5°) (Figura 72 C) a muy inclinadas (15° - 35°) (Figura A-B) e inclusive a pendientes empinadas (35° - 45°) (Figura 72 D-E). Estas geoformas se asocian a una litología de rocas sedimentarias limo-arcillosas de la unidad Ciano de la edad del Cretácico medio, y también en sus laderas el uso del suelo es para cultivos y pastizales perennemente (Figura 72 A, B, C).

Este tipo de relieve se encuentra disperso al SE, NE y SW abarcando una mínima extensión territorial de $0,43 \text{ km}^2$ representando el $0,96 \%$, en los sectores Hacienda Nueva, El Guango, Ombomba, Corral Viejo y cerca al puente Buenavista al límite parroquial con Amarillos.

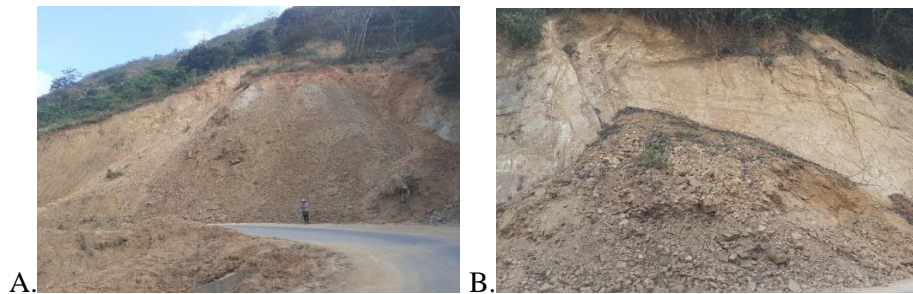
Figura 72 Colinas Bajas A). Sector Hcda. Nueva, B). Sector El Guango C). Sector Ombomba D). Sector Corral Viejo E).NE al límite parroquial



6.2.4.2.6. *Cono de Deyección*

Localizados en el eje vial principal que conecta a la parroquia, están compuestos especialmente por un material de matriz fina arcillosa originada por causa de deslizamientos, caracterizándose por un abundante material transportado y acumulado al pie de ladera dejando en evidencia la profunda erosión pluvial, mismos que se vinculan intrínsecamente a la morfodinámica encontrada de manera activa en el territorio, que a su vez deforman y modelan continuamente el paisaje geomorfológico; siendo otra causal además de su composición litológica, la inestabilidad de la pendiente del talud con la sobresaturación del uso de suelo en las partes altas por la intervención antrópica.

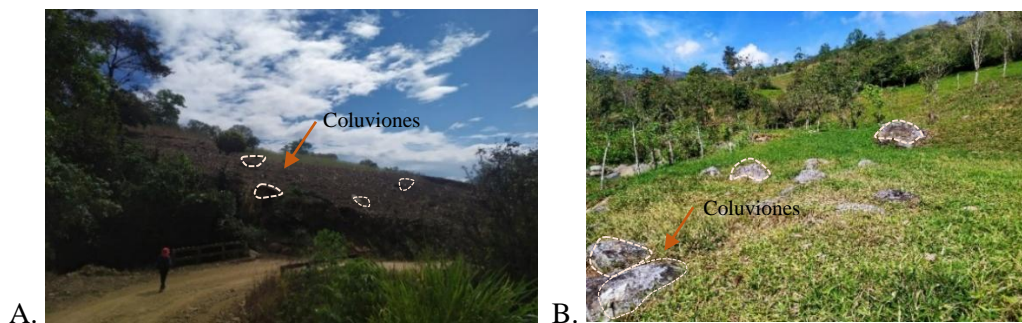
Figura 73 Conos de Deyección: A). Sector NE, cerca de la entrada del territorio B). Vía principal



6.2.4.2.7. *Coluvión*

Ubicados de manera dispersa en el área de estudio, localizados principalmente al NE, SW y SE con una extensión territorial de 0,51 km² y un porcentaje de 1,14 %. Es una unidad con ambiente genético denudativo compuesto por materiales que han sido transportados y depositados al pie (Figura 74 B) y a media ladera de las montañas (Figura 74 A), consta de material volcano sedimentario con presencia de fragmentos rocosos tanto angulares como redondeados que se asocian a la unidad Celica asumiendo que pertenecen a la edad del cretácico inferior. Sin embargo, los materiales que destacan dentro de estas unidades son superficies con materiales arcillosos con pendientes que van de hasta 20°, por otro lado, estas superficies son de uso de cultivos y pastizales de manera permanente.

Figura 74 Coluvión: A). Sector suroeste, B). Sector sureste



6.2.4.2.8. *Terraza aluvial*

Pertenecen a zonas bajas que han tenido su formación por depósitos aluviales y por repetido descenso del nivel de erosión, abarcando un área de 0,52 km² localizadas principalmente a los márgenes de las quebradas que transporta los sedimentos aluviales (Figura 75 A-B) y también recibe aportes laterales de naturaleza coluvial (Figura 75 C), compuesta por materiales de arrastre como cantos de varios tamaños redondeados y subredondeados de rocas volcánicas del cretácico inferior, y sedimentos de granulometría variable desde gravillas, arenas y material muy fino del Cuaternario.

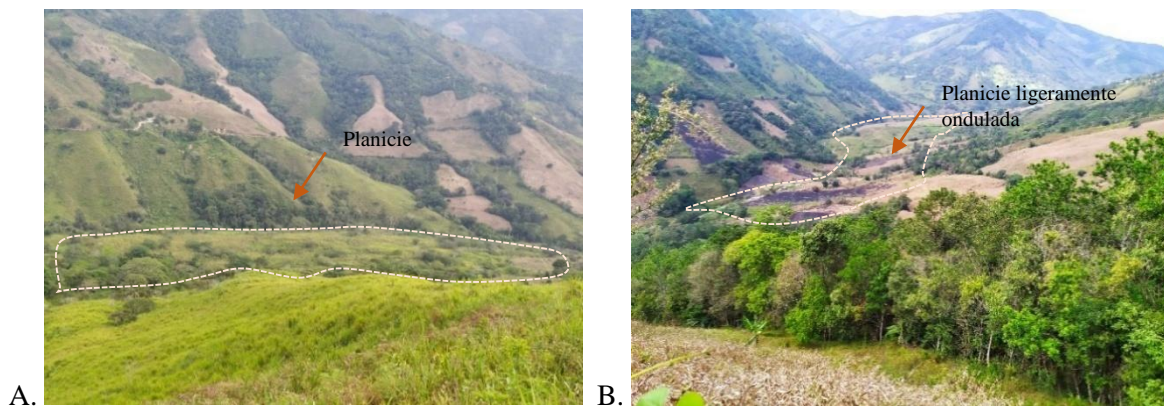
Figura 75 Terrazas Aluviales: A). Sector sureste, B). Sector noreste C). Sector suroeste



6.2.4.2.9. *Planicie*

Esta unidad presenta una topografía plana a ligeramente ondulada (Figura 76 A-B), con desniveles que no sobrepasan los 2m. El ambiente genético presentado en esta unidad se caracteriza por ser deposicional del cuaternario, constituido por limos y sedimentos de arcillas. Estas planicies de igual forma son aprovechadas para cultivos y pastizales abarcando 0,64 km² que representa el 1,44 % del territorio total.

Figura 76 Planicies: A). Sector Guango al SW, B). Parte baja del centro hacia el este

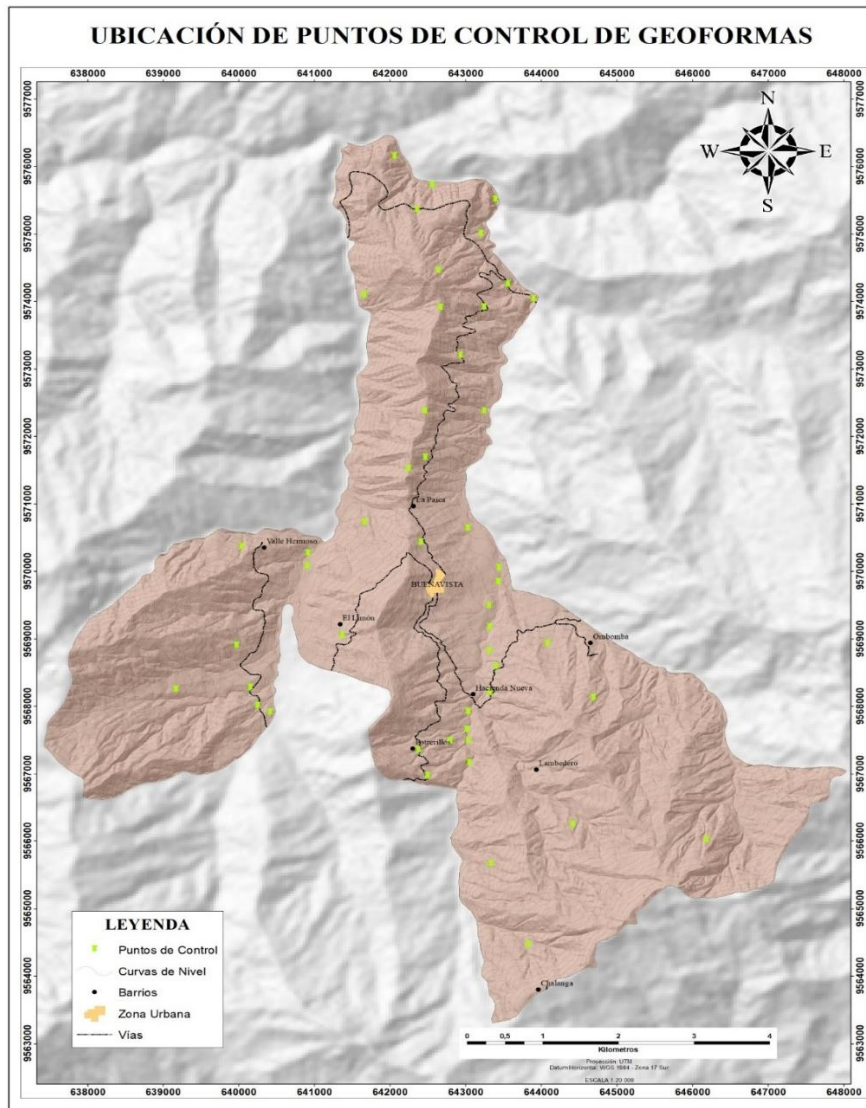


6.3. Resultados para el tercer objetivo

6.3.1. Puntos de control validados en campo

Durante el proceso de validación de campo se realizó 48 puntos de control (Anexo 1 Tabla 9) que permitieron la comprobación directa de las unidades geomorfológicas, identificadas dentro de los límites de la zona de estudio. En el siguiente mapa se muestra los puntos de control, realizados durante la verificación en campo (Figura 77).

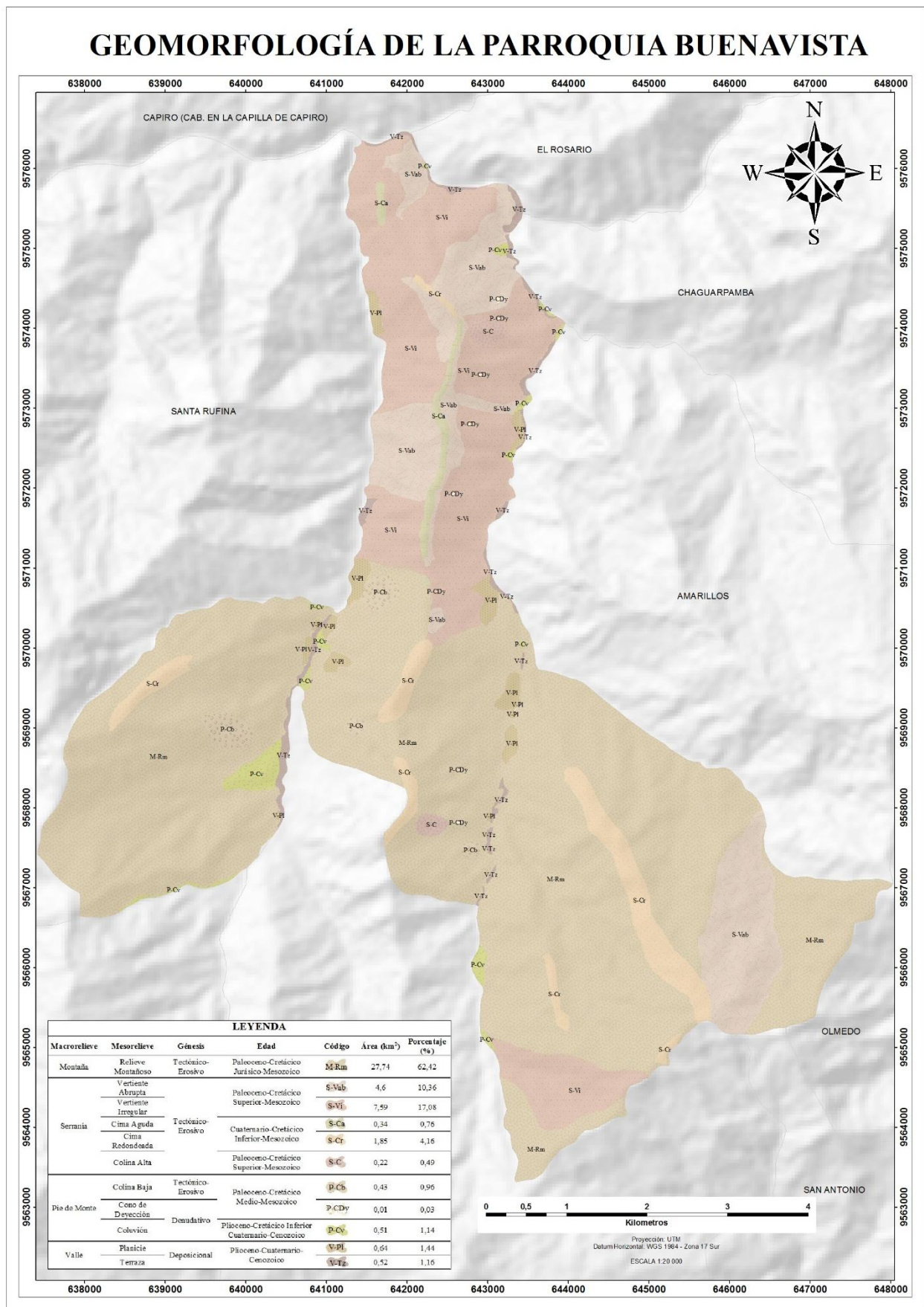
Figura 77 Mapa de Ubicación de Puntos de Control de las Geoformas



6.3.2. Cartografía Geomorfológica

Finalmente se determinó un número de 88 geoformas, siendo interpretadas con sus distintas variables del relieve que definen y representan el territorio en estudio, siendo el relieve montañoso la de mayor extensión territorial con un 62,42% y la de menor extensión en las partes bajas del relieve la geoforma de coluvios con el 1,14% (Figura 78).

Figura 78 Mapa de Unidades Geomorfológicas



7. Discusión

Para la generación de un análisis geomorfológico a una escala de mayor detalle, fue necesario la aplicación de un agrupamiento previo conocido como Isodata o clasificación no supervisada procesada en el software ENVI, en función a los distintos índices topográficos (pendiente, sombreado, curvatura en perfil, planta, transversal, longitudinal, mínima y máxima) procesados de manera automática, que determinaron los diferentes aspectos o rasgos morfológicos del relieve, resultando 8 clases a nivel de mesorelieve en función del sistema de clasificación ajustado a la realidad del territorio, recalcando que este tipo de procesamientos automatizados no siempre corresponden a una absoluta precisión, razón necesaria para realizar de manera combinada un trabajo en campo y una interpretación en 3D.

Las unidades de relieve resultantes fueron identificadas en terreno, correspondientemente con su composición litológica y sus rasgos morfológicos relacionados directamente con los procesos morfogenéticos y morfodinámicos, determinando que, para la conformación del relieve existente han actuado de forma interactiva los procesos exógenos y endógenos; siendo estos procesos exógenos de génesis denudativo y deposicional, el primero ha modelado las formas más elevadas o positivas del relieve, y el segundo proceso ha sido el encargado de rellenar las depresiones o formas negativas del territorio. Por otra parte, en el territorio se vinculan los procesos endógenos, mismos que han sido los responsables de la tectónica involucrando la orogenia en el relieve; y es importante aclarar que estos dos procesos actuantes en conjunto han sido los responsables del relieve actualmente visualizado.

Las geoformas contempladas a procesos de génesis tectónico-erosivo abarcan la mayoría de la superficie territorial con un porcentaje de 96,23% del territorio total, mismas que se relacionan directamente a los relieves montañosos, las vertientes abruptas e irregulares, las cimas agudas y redondeadas, las colinas altas y bajas, donde sus superficies denotan pendientes desde fuertemente inclinadas (5° a 15°), muy inclinadas (15° a 35°) y empinadas (35° a 45°).

Por otro lado, las geoformas vinculadas a procesos de origen denudativo engloban un mínimo porcentaje del 1,17% de la extensión territorial total, siendo estas representadas por los coluviones y conos de deyección, que han sido formados a causa de materiales transportados por caídas gravitatorias y depositados al pie y a media ladera, en pendientes de 0° a 15° .

De igual manera, las geoformas relacionadas a procesos deposicionales son representadas en una extensión territorial pequeña por las planicies y terrazas aluviales, con el 1,44% y 1,16% respectivamente, ubicadas en las zonas bajas que han tenido su formación a causa de la depositación de materiales de arrastre y por repetidos descensos del nivel de erosión,

que a su vez presentan una topografía plana a ligeramente ondulada con pendientes que varían de 0° a 15° de inclinación.

En este contexto, menciono que el resultado final fue 4 unidades de macrorelieve y 11 a nivel de mesorelieve, siendo así que las unidades conformadas dentro de la parroquia en su totalidad fueron de 88 geofomas, mismas que guardan estrecha relación tanto de tipo geológico y topográfico en la disposición de cada unidad, tomando en cuenta la esencial dependencia que este relieve tiene con los procesos morfodinámicos como la meteorización y la erosión vinculando también las condiciones climáticas que son variables a través del tiempo; donde a raíz de estas condiciones y procesos se desencadenan los deslizamientos de materiales favorecidos por la fuerza de gravedad, siendo una evidencia de ello la formación de conos de deyección, mismos que constituyen un agente fundamental del modelado del relieve en el territorio.

De esta manera, finalmente el resultado de la investigación geomorfológica se expresó a través de un Mapa de las Unidades Geomorfológicas en el que se representa cada una de las geofomas identificadas en la parroquia, considerando que en cualquier investigación con fines de estudios geomorfológicos es imprescindible reconocer que el modelado y comportamiento del relieve está en dependencia de los procesos morfogenéticos condicionantes, mismos que se encuentran ligados para la conformación final del paisaje, ya que desde el punto de vista geológico, que es la razón y a su vez la rama principal de donde se desprenden la aplicación de los distintos métodos geomorfológicos, el objetivo principal fue identificar las unidades de relieve y los procesos actuantes conjuntamente con la composición geológica que le dio origen al relieve resultante.

8. Conclusiones

La generación de la cartografía geomorfológica, se la realizó mediante el modelado topográfico creando las superficies del relieve a partir del modelo digital de elevación con una resolución de 5 metros, permitió mediante los procesos automatizados, la creación de los principales índices topográficos y/o relieve considerando el sombreado, pendiente, las curvaturas en planta, perfil, transversal, longitudinal, mínima y máxima, para una previa interpretación y análisis a partir de las distintas combinaciones del modelamiento del relieve con sus variables topográficas.

Con la identificación en campo y la fotointerpretación de las unidades de relieve, con ayuda de ortofotos con resolución de 30cm, se categorizó a nivel macro relieve 4 niveles, lo que permitió definir 11 unidades de manera definida e interpretadas de forma jerárquica a escala local, siendo estas modeladas por 3 procesos morfogenéticos (tectónico-erosivo, denudativo y deposicional).

El relieve de la parroquia Buenavista, se encuentra dentro de las estribaciones de la cordillera occidental de los Andes, con cotas que van desde los 456 hasta los 2184 m s.n.m, por ello presenta un relieve montañoso con una extensión de 27,74km² (62,42%) del territorio, que está caracterizado con un basamento de rocas volcánicas aflorando principalmente en las partes de las quebradas como las andesitas basálticas y tobas andesíticas de la edad cretácica, y en las partes más altas la presencia de material sedimentario como lutitas, limolitas, arcillas e intercalaciones de algunas rocas volcánicas; y minoritariamente se encuentran los depósitos coluviales con una extensión de 0,51 km² (1,14%) del territorio total, dados por procesos denudativos y depositación de materiales volcano sedimentario con presencia de fragmentos rocosos tanto angulares como redondeados asumidos a la edad del cretácico inferior y el cuaternario por sus condiciones litológicas.

El territorio de la parroquia Buenavista genéticamente se ve relacionado con procesos volcano sedimentarios, siendo afectado en mayor y menor grado por procesos erosivos, de transporte y sedimentación, por ello el relieve se caracteriza por las formas distintivas dadas y determinantes por la acción de los diferentes agentes morfogénicos sobre la superficie, estos rasgos se ven reflejados en el paisaje, donde las características finales del relieve están en dependencia del predominio de los procesos morfodinámicos y que no solo dependen de la edad de cada proceso actuante, sino también de las condiciones climáticas variables a la que se somete el territorio a través del tiempo, que han producido cambios tanto progresivos y

relevantes dentro del relieve, y a la vez que condiciona el desarrollo de la vegetación que es otro elemento controlador del paisaje.

El levantamiento de las distintas unidades de relieve presentes en la parroquia Buenavista, fue resultado de la información generada previamente con el procesamiento de una clasificación no supervisada en el software ENVI, a partir del modelo digital de elevación, que permitió el análisis de la superficie topográfica vinculándola intrínsecamente con los componentes o rasgos característicos de la superficie del terreno que ayudaron a obtener una información previa de las unidades geomorfológicas que poseen características específicas, y a su vez estas permitieron ser reconocidas mediante algunas variables topográficas para posteriormente corroborarlas en el campo y tener la representación de las unidades geomorfológicas de la zona de estudio.

9. Recomendaciones

La clasificación utilizada ha sido previamente adaptada a la zona de estudio con su asignación temática correspondiente, misma que puede ser modificada en dependencia de la escala y características requeridas por la zona en estudio, siendo recomendable la utilización de insumos con una precisión y detalle adecuada a la escala requerida.

La resolución del DEM condiciona y define los resultados esperados, por ello es recomendable una alta resolución para emplear este tipo de metodología orientada a una clasificación basada en el tamaño de los píxeles, ya que en dependencia de ello se darán buenos resultados.

Para este tipo de estudios geomorfológicos es importante vincular las distintas variables como la topografía, hidrografía, clima, geología, cobertura vegetal y los distintos rasgos morfológicos que conjuntamente con los ambientes genéticos y los procesos dinámicos, desempeñan un papel fundamental dentro del modelado del relieve como resultado de la interacción de todas estas variables.

El software ENVI es una herramienta accesible, que a su vez facilita el análisis respectivo, sin embargo, las diferentes investigaciones realizadas en base al uso de esta herramienta radican en un previo conocimiento del relieve a estudio.

10. Bibliografía

- Anaya. (2008). El relieve y sus formas. En *Geografía e Historia* (págs. 10-15). Madrid: Grupo Anaya, S.A. Obtenido de <https://primerosocialessek.files.wordpress.com/2012/10/tema-2-el-relieve-terreste.pdf>
- Aspden. (1995). *Breve descripción Geológica*. S/C: S/E.
- Bakker, X. (2005). En *Taller: Análisis y modelamiento espacial*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Blaschke. (2001). *Resolución y escala- tecnicas de percepción remota cuantitativa* .
- Buzai, G. (2013). *Sistema de Información Geográfica (SIG). Teoría y Aplicación*. Luján. Buenos Aires. Argentina: GESING-PRODISIG.
- Caballero, C. (2014). *Elementos de la Geomorfología*. Obtenido de Geofísica UNAM. Geomorfología Dinámica: <http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/cursos/GgiaGeomorf.pdf>
- Caicedo, J. (2014). *Academia Edu*. Obtenido de Geosfera. Sistema Fluvial: https://www.academia.edu/3664998/Sistema_Fluvial
- Capdevila, E., & Mínguez, C. (2012). *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica*.
- Casanova, L. (2011). Introducción y Generalidades. En *Apuntes de Topografía* (págs. 1-38). Venezuela: S/E.
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección Espacial* (3ª edición). Madrid, España: Rialp.
- Correa, N. (2012). *Método para la caracterización de las fomas del terreno en zonas de montaña utilizando Modelos Digitales de Elevación. Caso: Departamento del Cauca*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Espinosa, L., & Arroyo, K. (2011). *Geomorfología en México. Una visión histórica, metodológica y aplicada*. España: Editorial Académica Española.
- Esri. (2016). *SIG Soluciones*. Obtenido de ENVI: <https://www.sigsa.info/productos/envi>

- GAD Cantonal Chaguarpamba. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Chaguarpamba: S/E.
- GAD Parroquial Buenavista. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Buenavista*. Buenavista: S/E.
- Ghiglione, M. (2019). Geología Estructural. Introducción. *ResearchGate*, 1-30. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/332354298_GEOLOGIA_ESTRUCTURAL_INTRODUCCION
- Gutiérrez, J., Gould, M., García, J., Rodríguez, E., Carpio, J., & Díaz, J. (2013). *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica y al Software ArcGIS*. Madrid: Facultad de Geografía e Historia.
- Guzmán, J. (2012). *Topografía*. México: Red Tercer Milenio S.C.
- Hubp, J. (1988). *Elementos de Geomorfología Aplicada. Métodos Cartográficos*. México: IgG. UNAM.
- Hubp, J. (2011). *Diccionario Geomorfológico*. México: Instituto de Geografía. UNAM.
- INIGEMM. (2013). *Proyecto "Modelo piloto para la determinación del potencial geológico-mineralógico de las zonas Zaruma y Cariamanga a escala 1:100 000"*. Quito - Ecuador: INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR DEL ECUADOR, 2013.
- Instituto Cartográfico y Geológico. (2020). *Generalidades Geológicas*. Obtenido de ICGT: <https://www.icgc.cat/es/Web/Ayuda/Preguntas-frecuentes/Diferencias-entre-fotografia-aerea-y-ortofoto>
- Jiménez, J. (1995). *Geomorfología General*. España: Síntesis S.A.
- Kennerley. (1980). *Investigación histórica geológica del Ecuador*.
- Leontiev, O. (1979). *Geomorfología General*. Moscú: Escuela Superior.
- MAE. (2013). *Modelo de Unidades Geomorfológicas para la Representación Cartográfica de Ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito: S/E. Obtenido de <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Gobierno%20Provincial%20Azuay/limites%20GPA/EstudioLimitesAzuayLoja/Geoformas453103936428118386.pdf>

- MAE. (2013). *Sistema de Clasificación de Ecosistemas para el Ecuador Continental*. Quito-Ecuador: S/E.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. España: Create Space.
- Pedraza, J. (1996). *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Rueda.
- POMCA. (2012). *Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Geomorfología. Colombia: Minambiente.
- Rimacuna, J. (12 de Abril de 2012). Lluvias causaron daños. *La Hora*, pág. A7. Obtenido de https://issuu.com/la_hora/docs/diario_la_hora_loja_12_de_abril_2011/7
- Rodriguez, C. (2011). *América Latina: Geografía Física y Humana*. Santiago de Chile: Ministerio de Educación.
- Val, J. (2014). *Unidades Geomorfológicas. Catálogo descriptivo de objetos geomorfológicos del Ecuador*.
- Villota, H. (1997). Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno. *Revista CIAF*, 83-117.
- Winckell, A. (1992). *Los Paisajes Naturales del Ecuador. Los Grandes Rasgos del Relieve en el Ecuador*. Quito. Ecuador: IGM. CEDIG.
- Worschitz, R. (2008). *Geomorfología*. Obtenido de Indicadores Geomorfológicos: <http://pdfhumanidades.com/sites/default/files/apuntes/Indicadores%20geomorfol%C3%B3gicos%20-%20Te%C3%B3rico.pdf>

11. Anexos

Anexo 1. Datos de la zona de estudio

Tabla 7 *Temperatura media mensual de estaciones cerca de la zona de estudio*

Estación	Temperatura Media (°C)	Altura (m)	COORDENADAS UTM WGS 84 17S	
			X	Y
Huertas	19	1350	652630,15	9601574,63
Cazaderos	25	270	558275,2	9548598
Chaguaguayco	25	290	576473,9	9555993
El Lucero	20	1300	670092,75	9513587,38

Nota. Tomado del Anuario Meteorológico, 1990-2013

Tabla 8 *Precipitación media anual de estaciones cerca de la zona de estudio*

Estación	Media Anual (mm/año)	Altura (m)	COORDENADAS UTM WGS 84 17S	
			X	Y
Huertas	2054	1350	652630,15	9601574,63
Cazaderos	1071	270	558275,2	9548598
Chaguaguayco	1354	290	576473,9	9555993
El Lucero	1325	1300	670092,75	9513587,38

Nota. Tomado del Anuario Meteorológico, 1990-2013

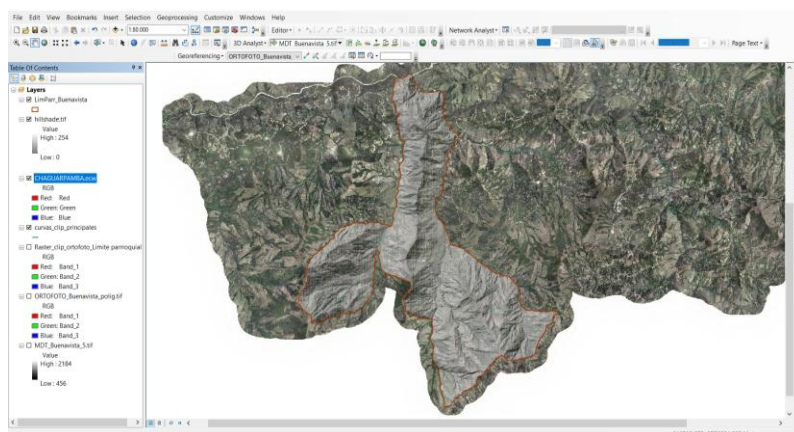
Tabla 9 *Puntos de Control de Geformas*

PUNTOS DE CONTROL			
Coordenadas			Sector
X	Y	Z (m.s.n.m)	
642491	9566956	1371	Huato-Huato
642372	9567341	1301	Potrerillos
643312	9568187	1098	Hacienda Nueva
643401	9568573	1080	La Delicia
644077	9568916	1114	Ombomba
640242	9567995	1098	El Guango
640148	9568264	1075	El Guango
642927	9573189	826	Artoncillo
643242	9573901	757	Vía Principal
643554	9574241	627	Entrada a Buenavista
643893	9574024	606	Puente Buenavista
643030	9567907	1087	Hacienda Nueva
642240	9571508	1033	Reina del Cisne
642662	9573896	941	Corral Viejo
642634	9574446	947	Corral Viejo
642457	9572365	1029	Pan de Azúcar
642464	9571677	977	Pan de Azúcar
640030	9570349	1049	Valle Hermoso
640913	9570255	829	Quebrada La Cucúla
640902	9570063	829	Quebrada La Cucúla
642789	9567475	1184	Hacienda Nueva
641359	9569032	1127	El limón
643304	9569477	911	Quebrada Buenavista
643310	9568810	999	Quebrada Buenavista
640411	9567898	1089	Potrerillos
643011	9567644	1121	Quebrada Agua Fría
643035	9567479	1136	Quebrada Agua Fría
643045	9567152	1183	Lambedero
646181	9566011	1871	Lambedero
644411	9566236	1665	Lambedero
643023	9570629	801	La Paica
643436	9570040	832	La Paica
643424	9569831	843	Quebrada Buenavista
643313	9569160	927	Quebrada Buenavista
642404	9570417	1046	Buenavista
643821	9564456	1767	Parte alta de Chipianga
643389	9575503	495	Balneario Agua y Sol
643196	9574995	569	Balneario Agua y Sol
641651	9574082	633	Artoncillo
642056	9576140	568	Cuatro Lomas
642349	9575348	703	Vía Panamericana
639164	9568239	1281	El Guango
639963	9568891	1136	Valle Hermoso
643331	9565653	1527	Lambedero
643242	9572363	696	Quebrada Buenavista
642551	9575715	503	Yaguachi
641657	9570715	887	La Paica
644683	9568118	1431	Ombomba

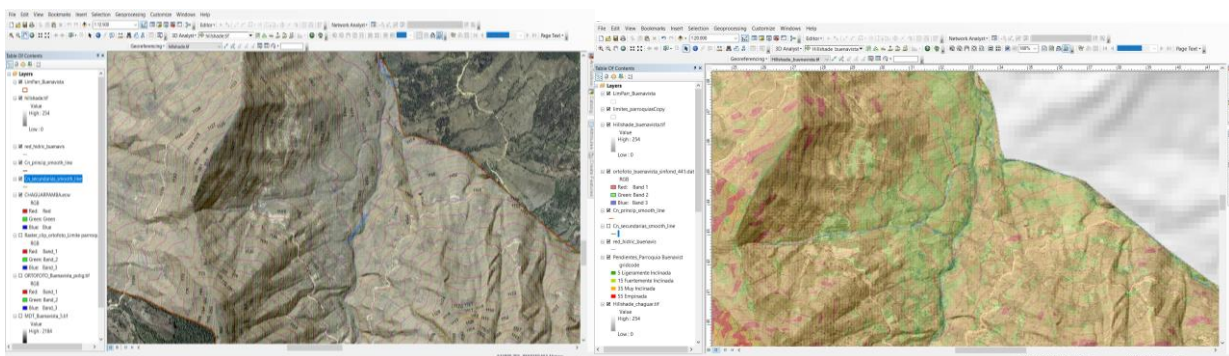
Anexo 2. Fotointerpretación

FOTOINTERPRETACIÓN PARA LA DELIMITACIÓN DE LAS GEOFORMAS DE LA PARROQUIA BUENAVISTA

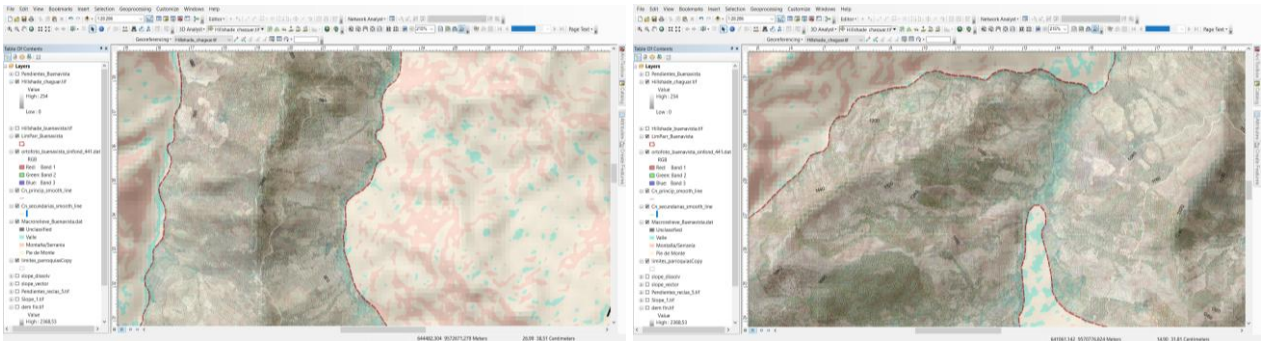
Una vez obtenidas las ortofotos con tamaño de pixel 0.3 x 0.3 metros, se delimitó el polígono en estudio trasponiendo el sombreado del relieve en sí, que le dió un realce visual a la superficie del terreno siendo este un índice primario que ayudó a representar previamente la morfología general y divisiones del relieve.



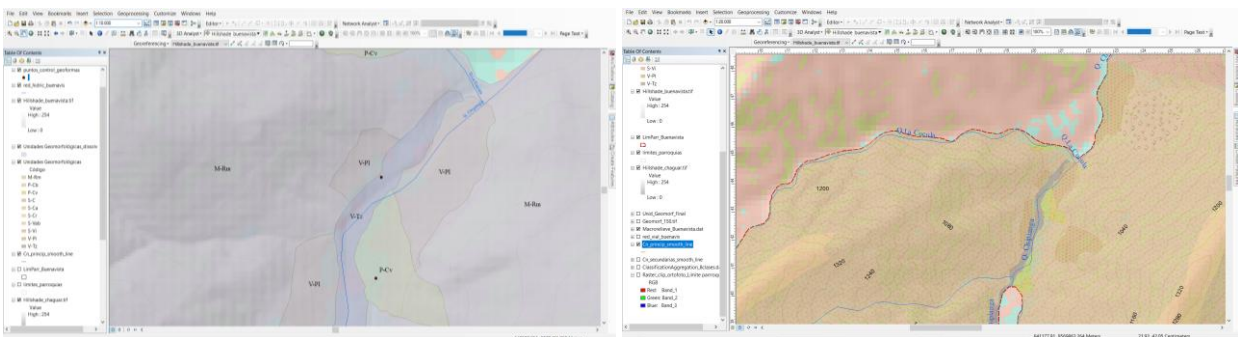
Para complementar la interpretación previa, se generó las curvas de nivel cada 8 metros considerando el detalle de la información a obtener. Las altitudes obtenidas mediante las curvas de nivel, la red hidrográfica y los rangos de pendientes fueron de gran ayuda dentro de la delimitación de las geoformas permitiendo comprobar y asimilar el tipo de relieve en sí.



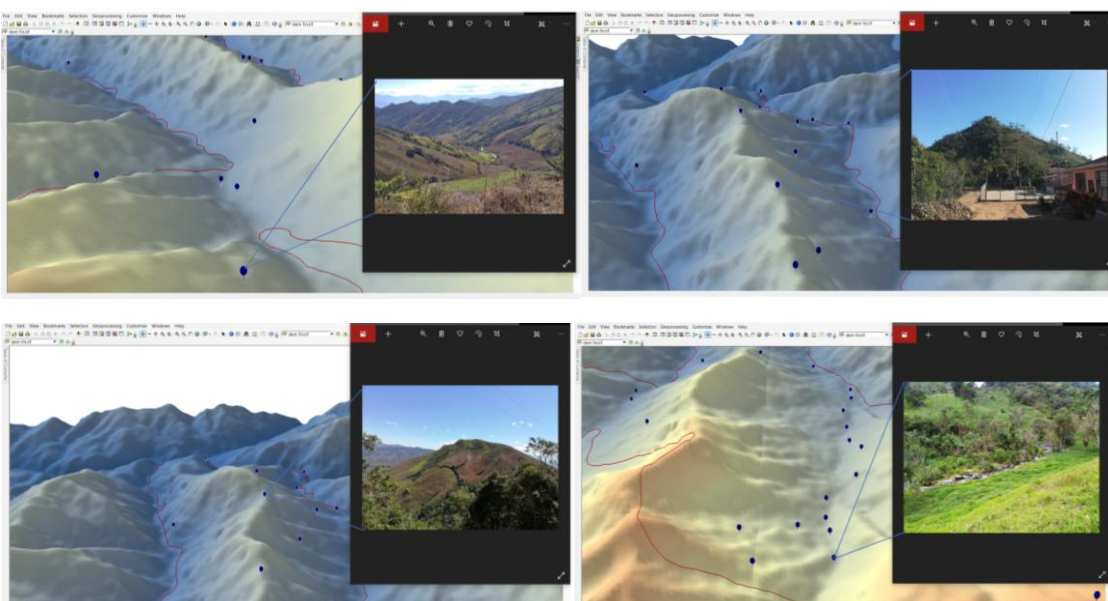
Una vez extraídas las unidades morfométricas en base los índices topográficos realizados en el software Envi 5.3, se adquirió ya una idea general del relieve presente en la zona de estudio para una posterior fotointerpretación, realizada sobre el DEM y las ortofotos, en la cual se fue determinando las distintas formas del relieve, mismas que generaron una información relevante por medio de la observación directa de las características y rasgos visibles en las ortofotos.



Una vez obtenido los datos directos en campo de las geofomas, se delimitó en el software ArcGIS 10.5 en base a los puntos georreferenciados de campo las diferentes unidades geomorfológicas existentes en el área de estudio con la respectiva asignación temática.



Para llevar a cabo la interpretación y una mejor perspectiva del modelado del relieve, se realizó visualizaciones 3D mediante ArcScene 10.5 considerando los puntos de las geofomas obtenidos en campo, conjuntamente con las variables topográficas del resultado de la clasificación automática, para posteriormente determinar las unidades geomorfológicas.



Anexo 3. Caracterización Geológica con Afloramientos

Anexo 4. Caracterización Geomorfológica

Anexo 5. Mapas Temáticos de la parroquia Buenavista

- a) Mapa de Ubicación
- b) Mapa de Temperaturas
- c) Mapa de Precipitaciones
- d) Mapa de Hidrografía
- e) Mapa Geológico Regional
- f) Mapa Topográfico
- g) Mapa de Pendientes
- h) Mapa Geológico Local
- i) Mapa de Cobertura Vegetal y Uso Actual del Suelo
- j) Mapa Geomorfológico

Ubicados en el CD-R No.1

Anexo 6. Certificación de traducción al idioma inglés

María Eduarda Ludeña Piedra

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN IDIOMA INGLES

Certifico. -

Que la traducción del documento adjunto por la señorita **Daniela Andreina Loaiza Balcázar** con número de cédula de ciudadanía **1724904717**, cuyo tema de investigación se titula **“Elaboración sobre la base SIG de un Mapa Geomorfológico a escala 1:10000 de la parroquia Buenavista perteneciente al cantón Chaguarpamba, provincia de Loja”**, ha sido realizado por mi persona en calidad de licenciada en pedagogía del idioma inglés.

Esta es una traducción textual del documento adjunto, y el traductor es competente para realizar traducciones.

Lo certifico en honor a la verdad, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.



María Eduarda Ludeña Piedra

Licenciada De Inglés

C.I: 1105333825

Número de registro: 1031-2020-2199488