



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

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

**CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y  
ORDENAMIENTO TERRITORIAL**

**ELABORACIÓN DE UN MAPA  
GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000,  
MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS  
PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO  
PERTENECIENTE AL CANTÓN CATAMAYO,  
PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR**

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERA EN  
GEOLOGÍA AMBIENTAL &  
ORDENAMIENTO TERRITORIAL

**AUTORA:**

VERÓNICA MARISOL MINGO MOROCHO

**DIRECTOR:**

ING. WALTER SIMÓN TAMBO ENCALADA, MG. SC.

**LOJA - ECUADOR  
2020**



## II. CERTIFICACIÓN

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS Y DOCENTE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

### **CERTIFICA:**

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema se versa en “**ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTE AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR**”, realizado por la señorita egresada: **Verónica Marisol Mingo Morocho**, previo a la obtención del título de Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, se autoriza su presentación para la evaluación y posterior sustentación correspondiente.

Loja, 06 de marzo de 2020



Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**



### III. AUTORÍA

Yo, **Verónica Marisol Mingo Morocho**, declaro ser autora del proyecto de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'V. Mingo Morocho', written over a faint grid.

**Cédula:** 1105105520

**Fecha:** Loja, 30 de abril de 2020



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

Yo, **VERÓNICA MARISOL MINGO MOROCHO** declaro ser autora de la tesis titulada: **“ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTE AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR”**, como requisito para optar al grado 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 RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, a los treinta días del mes de abril de dos mil veinte, en la ciudad de Loja firma la autora.

**Firma:**

**Autor:** Verónica Marisol Mingo Morocho

**Cédula:** 11052055520

**Dirección:** Loja, Av. Isidro Ayora, Barrio Belén

**Correo Electrónico:** verito.95geminis@gmail.com

**Teléfono:** 072552443

**Celular:** 0989452619

#### **DATOS COMPLEMENTARIOS**

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

**Tribunal de Grado:** Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho, Mg.Sc.

Ing. Carlomango Nixon Chamba Tacuri, Mg.Sc.

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg, Sc.



## V. DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres y hermanos que me han apoyado constantemente durante este trayecto, especialmente a mi guerrero Oscar, que con su ejemplo de lucha, perseverancia y constancia me mantuvo de pie cuando quise rendirme; a mis amigos que gracias a su compañía, amistad y locuras me enseñaron mucho más de la vida; todas estas personas fueron mi motivación y principales protagonistas para alcanzar este sueño tan importante en mi vida.

*Verónica Mingo*



## VI. AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente al dueño de mi vida que es Dios, primordial guía en cada uno de mis pasos, gracias a Él pude llegar hasta ese destino; a mis padres por su amor y apoyo incondicional en cada uno de mis días, por enseñarme a valorar cada momento vivido y cada logro alcanzado; a mis hermanos y amigos por compartir sus gozos conmigo y finalmente a mis maestros por su paciencia y por haber compartido sus conocimientos a lo largo de toda mi preparación académica y de manera especial, al Ing. Walter Tambo, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento y enseñanza permitió el desarrollo de este trabajo.

*Verónica Mingo*



## TABLA DE CONTENIDOS

<b>II. CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>II</b>
<b>III. AUTORÍA.....</b>	<b>III</b>
<b>IV. CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTORA, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO. ....</b>	<b>IV</b>
<b>V. DEDICATORIA .....</b>	<b>V</b>
<b>VI. AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XII</b>
<b>1. TÍTULO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. RESUMEN .....</b>	<b>2</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>4. REVISIÓN DE LA LITERATURA .....</b>	<b>6</b>
4.1. Geomorfología .....	6
4.1.1. Geoforma .....	6
4.1.2. Génesis.....	6
4.1.2.1. Depositional.....	6
4.1.2.2. Denudativo .....	7
4.1.2.3. Estructural .....	7
4.1.2.4. Tectónico erosivo .....	7
4.1.2.5. Volcánico .....	7
4.2. Índices de Relieve .....	7
4.2.1. Índices Topográficos .....	7
4.2.2. Índice de Formas del Terreno.....	8
4.2.2.1. Curvaturas .....	8
4.2.2.2. Sombreado.....	9
4.2.2.3. Pendiente .....	9
4.3. Sistemas De Información Geográfica .....	9
4.3.1. Tipos de datos.....	10
4.3.1.1. Ráster.....	10
4.3.1.2. Vector.....	10



4.3.2.	TIN (Triangulated Irregular Networks).....	11
4.3.3.	Modelo Digital De Elevación (DEM).....	11
4.4.	Teledetección .....	11
4.5.	Imagen Satelital.....	11
4.6.	Cartografía.....	12
4.7.	Geología .....	12
4.7.1.	Roca .....	12
4.7.2.	Depósito superficial.....	12
4.7.3.	Afloramiento.....	12
4.8.	Amenazas Geológicas .....	13
4.8.1.	Deslizamientos.....	13
4.9.	Fotointerpretación .....	13
4.10.	Zonificación .....	13
4.10.1.	Susceptibilidad a Deslizamientos .....	14
<b>5.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
5.1.	Materiales .....	15
5.1.1.	Materiales de campo.....	15
5.1.2.	Materiales de oficina .....	15
5.2.	Método .....	15
5.3.	Recopilación de Información .....	17
5.3.1.	Bibliográfica.....	17
5.3.2.	Cartográfica .....	18
5.4.	Clasificación automática .....	18
5.4.1.	Modelo Digital de Elevación.....	20
5.4.2.	Modelamiento Topográfico .....	20
5.4.3.	Análisis de Componentes Principales.....	22
5.4.4.	Clasificación No Supervisada.....	24
5.4.5.	Análisis SIG.....	25
5.4.6.	Asignación Temática .....	28
5.4.6.1.	Macrorelieve.....	29
5.4.6.2.	Mesorelieve .....	29
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>



6.1.	Ubicación y Acceso .....	39
6.1.1.	Ubicación.....	39
6.1.2.	Acceso .....	40
6.2.	Clima .....	40
6.3.	Hidrografía.....	41
6.4.	Geología.....	42
6.4.1.	Geología Regional .....	42
6.4.2.	Geología Local .....	44
6.5.	Geomorfología .....	58
6.5.1.	Inventario de deslizamientos .....	65
6.6.	Pendientes.....	69
6.7.	Uso Actual de Suelo.....	71
6.8.	Precipitaciones .....	73
6.9.	Susceptibilidad a Deslizamientos.....	75
6.9.1.	Determinación de los pesos de la geomorfología.....	75
6.9.2.	Determinación de los pesos de la geología.....	77
6.9.3.	Determinación de los pesos de la pendiente.....	79
6.9.4.	Determinación de los pesos del uso actual de suelo.....	79
6.9.5.	Determinación de los pesos de las isoyetas.....	80
6.9.6.	Determinación de los pesos de la Susceptibilidad Final.....	80
6.9.7.	Interpretación del Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos.....	82
<b>7.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>86</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>89</b>
<b>9.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>91</b>
<b>10.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>92</b>
<b>11.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>96</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Tipos de Curvaturas.....	9
<b>Figura 2:</b> Esquema general de la metodología empleada en el proyecto. ....	17
<b>Figura 3:</b> Esquema del modelo cartográfico. ....	19
<b>Figura 4:</b> DEM de la zona en estudio.....	20
<b>Figura 5:</b> Modelamiento Topográfico .....	21
<b>Figura 6:</b> Índices Topográficos generados a partir del DEM.....	22
<b>Figura 7:</b> Configuración del PCA.....	23
<b>Figura 8:</b> Elementos generados a partir del PCA .....	23
<b>Figura 9:</b> Configuración de los parámetros para la clasificación automática .....	24
<b>Figura 10:</b> Clasificación automática (ISODATA) .....	25
<b>Figura 11:</b> Configuración del filtro de suavizado.....	26
<b>Figura 12:</b> Comparación de los ráster con y sin filtro de suavizado .....	27
<b>Figura 13:</b> Ejemplo de las unidades clasificadas empleando las funciones de filtrado. 27	
<b>Figura 14:</b> Interpretación de las unidades del relieve.....	32
<b>Figura 15:</b> Información levantada en campo en ambiente SIG .....	32
<b>Figura 16:</b> Mapa de Ubicación del área de estudio .....	39
<b>Figura 17:</b> Acceso al cantón Catamayo; a) aéreo, b) terrestre. ....	40
<b>Figura 18:</b> Esquisto grafitoso y esquisto micáceo.....	46
<b>Figura 19:</b> Granitoides (rocas graníticas) con alteración terrosa, presencia de plagioclasas.....	47
<b>Figura 20:</b> Tobas andesíticas basálticas con presencia de carbonatos amorfos, junto a una discordancia de conglomerados con clastos andesíticos.....	48
<b>Figura 21:</b> Brechas volcánicas de composición andesítica y presencia de tobas dacítica .....	49
<b>Figura 22:</b> Tobas dacíticas consolidadas, con alta humedad.....	50
<b>Figura 23:</b> Brechas volcánicas con clastos de andesitas subangulares.....	51
<b>Figura 24:</b> Intercalaciones de lutitas, areniscas y carbón, presencia de pátinas de azufre. ....	52
<b>Figura 25:</b> Arcillas de varias tonalidades, lotización Isabel Arias .....	53
<b>Figura 26:</b> Brechas, tobas y flujos volcánicos, sector de Catamayito. ....	54
<b>Figura 27:</b> Aglomerados con clastos de andesitas.....	55



<b>Figura 28:</b> Depósitos coluviales, conglomerado con clastos angulosos de andesitas y esquistos.....	56
<b>Figura 29:</b> Depósitos aluviales, conglomerados con cantos redondeados de cuarcitas, andesitas y filitas. ....	56
<b>Figura 30:</b> Granitos de tonalidades gris.....	57
<b>Figura 31:</b> Brechas andesíticas y vetillas de carbonatos entre las fisuras .....	57
<b>Figura 32:</b> Mapa geomorfológico a nivel de mesorelieve de las parroquias de Catamayo y El Tambo .....	64
<b>Figura 33:</b> Deslizamiento 26, sector de Trapichillo .....	66
<b>Figura 34:</b> Deslizamiento 7, sector de Huacabamba .....	67
<b>Figura 35:</b> Deslizamiento 20, sector La Palma .....	67
<b>Figura 36:</b> Deslizamiento 17, sector La Era junto al margen de la vía intervalles.....	68
<b>Figura 37:</b> Deslizamiento 16, ubicado en el sector de la Era, presencia de tuberías de riego .....	68
<b>Figura 38:</b> Mapa de pendientes de las parroquias de Catamayo y El Tambo .....	70
<b>Figura 39:</b> Mapa de precipitaciones de las parroquias de Catamayo y El Tambo .....	74
<b>Figura 40:</b> Mapa de uso actual de suelo, de las parroquias de Catamayo y El Tambo .	72
<b>Figura 41:</b> Diagrama de flujo “Model Builder” para la obtención del mapa de susceptibilidad a deslizamientos.....	82
<b>Figura 42:</b> Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de las parroquias de Catamayo y El Tambo .....	85



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Leyenda de Unidades del Relieve .....	28
<b>Tabla 2:</b> Clasificación de las pendientes .....	34
<b>Tabla 3:</b> Datos de Estaciones Meteorológicas.....	35
<b>Tabla 4:</b> Clasificación de precipitación de las parroquias Catamayo y El Tambo.....	36
<b>Tabla 5:</b> Esquema del método de jerarquías analíticas para la asignación de pesos. ....	37
<b>Tabla 6:</b> Escala de Saaty para determinar el valor de Xij.....	37
<b>Tabla 7:</b> Red Hidrográfica del cantón Catamayo .....	41
<b>Tabla 8:</b> Unidades geomorfológicas de las parroquias de Catamayo y El Tambo.....	58
<b>Tabla 9:</b> Inventario de deslizamientos de las parroquias de Catamayo y El Tambo.....	65
<b>Tabla 10:</b> Resultados de la caracterización de la pendiente de la zona de estudio.....	69
<b>Tabla 11:</b> Resultados de la caracterización de uso actual de suelo, de la zona de estudio. .....	71
<b>Tabla 12:</b> Resultados de la caracterización de las precipitaciones de la zona de estudio. .....	73
<b>Tabla 13:</b> Matriz de valoración de la geomorfología .....	76
<b>Tabla 14:</b> Matriz de valoración de la geología. ....	78
<b>Tabla 15:</b> Matriz de valoración de la pendiente. ....	79
<b>Tabla 16:</b> Matriz de valoración del uso actual del suelo .....	80
<b>Tabla 17:</b> Matriz de valoración de isoyetas .....	80
<b>Tabla 18:</b> Matriz de valoración de la susceptibilidad final.....	81
<b>Tabla 19:</b> Categorías susceptibilidad a deslizamientos. ....	82



## 1. TÍTULO

Elaboración de un mapa geomorfológico a escala 1:25000, mediante una plataforma SIG de las parroquias Catamayo y el Tambo perteneciente al cantón Catamayo, provincia de Loja, Ecuador.



## 2. RESUMEN

En los últimos años se ha experimentado una evolución cartográfica impresionante, por lo que se observa cada vez más la utilización de sistemas de información geográfica para la gestión y el análisis digital del terreno. Bajo este punto de vista el presente proyecto de investigación titulado “Elaboración de un mapa geomorfológico a escala 1:25000, mediante una plataforma SIG de las parroquias Catamayo y el Tambo perteneciente al cantón Catamayo, provincia de Loja, Ecuador”, tuvo como fin la caracterización cuantitativa del paisaje a través de la técnica de clasificación automática Isodata sobre la base del modelo digital de elevación, en el software ENVI 5.3., adicionalmente se complementó con interpretación en 3D y observaciones de campo, dando como resultado un total de 10 geoformas a nivel de mesorelieve y 5ª nivel de macrorelieve asociadas a 4 clases genéticas. Todo ello se encuentra sustentado a nivel teórico y metodológico.

Como un aporte a la gestión física de su territorio, se incluyó también la determinación de la susceptibilidad a deslizamientos, punto importante que considerar al momento de realizar asentamientos humanos, por tanto, en su conjunto este estudio contribuye a la ejecución de planes de ordenamiento que permitan una mejor expansión de la población, además de un adecuado uso y ocupación del territorio.



## ABSTRACT

In recent years it has experienced an impressive cartographic evolution, so it is observed more and more the use of geographic information systems for the management and digital analysis of the land. Against this background the present research project entitled "development of a geomorphological map at 1:25 000 scale through a gis platform of the parishes of Catamayo and El Tambo belonging to the Canton Catamayo, Province of Loja, Ecuador", aimed at the quantitative characterization of the landscape through the automatic classification technique isodata on the basis of the digital elevation model, in the ENVI 5.3 software, was also complemented with 3d interpretation and field observations, Resulting in a total of 10 geoforms at the mesorelief level and 5 macrorelief level associated with 4 genetic classes. All of this is supported on a theoretical and methodological level.

As a contribution to the physical management of its territory, it was also included the determination of the susceptibility to landslides, an important point to consider when carrying out human settlements. Therefore, this study contributes to the implementation of management plans that allow better expansion of the population, as well as an adequate use and occupation of the territory.



### 3. INTRODUCCIÓN

La geomorfología es una ciencia esencialmente genética, evolutiva y dinámica, cuyo objetivo es comprender como se han originado y como han evolucionado, hasta el presente, los distintos elementos y propiedades del relieve. (Tricart, 1979)

Desde 1950, la provincia de Loja ha experimentado un crecimiento demográfico muy importante, está habitada por aproximadamente 520.000 personas al año 2018, 448.966 según el último censo nacional (2010), siendo la décima provincia más poblada del país; este aumento poblacional se traduce a la necesidad de realizar estudios que permitan brindar un criterio técnico para la expansión de la zona urbana de una manera ordenada, evitando así los asentamientos humanos en zonas vulnerables que ponen en verdadero riesgo la vida de las personas. (INEC, 2010)

El cantón Catamayo no es la excepción, puesto que en los últimos cinco años se ha identificado presencia de inmigrantes, tanto por su ubicación geográfica como troncal de tránsito a los diferentes cantones de Loja, como por su conexión con las provincias de la Costa (Sánchez B. , 2004); y debido a dicha actividad humana que allí se desarrolla, tiende a romper el equilibrio dinámico del sector mediante las practicas empleadas en la agricultura, ganadería, minería, entre otras, mismas que se encuentra de una manera desordenada. (Gutiérrez I. y Pérez S., 2015); es por ello, que nace la necesidad de generar información cartográfica geomorfológica a una escala semi - detallada (1:25 000), pues la cartografía actual es muy generalizada, y no presenta el nivel de detalle que permita conocer de cerca la dinámica de los procesos geomorfológicos de las parroquias de Catamayo y El Tambo, información que es necesaria para la elaboración de Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, ayudando en ese contexto a una mejor expansión de su territorio.

En este contexto, el presente trabajo de titulación dispone de la siguiente secuencia:

En los capítulos 1, 2 y 3 se especifica el título, es decir, el tema investigado; el resumen, que describe a breves rasgos el método utilizado para el desarrollo de la caracterización geomorfológica, y, la introducción, en donde se hace mención de la importancia de la



investigación, así como también, de la estructura lógica junto a datos relevantes, que sigue el proyecto.

En el capítulo 4 y 5 se detalla, los objetivos, mismos que permiten alcanzar el propósito de esta investigación y la revisión de literatura, donde se describe conceptos afines a la geomorfología, especificando términos que permitan la comprensión del proyecto.

En el capítulo 6 se describe dos componentes, por una parte, los materiales utilizados en las fases de campo y oficina como insumos cartográficos, brújula, martillo, entre otros, y la metodología, es decir, la secuencia y herramientas SIG que se emplean para elaborar la cartografía digital, con ello se hace referencia a la geomorfología, geología, uso actual del suelo, mapa de precipitaciones, pendientes y en su conjunto el mapa de susceptibilidad a deslizamientos.

El capítulo 7 contempla los resultados, donde se detalla la ubicación y acceso del área de estudio, la caracterización biofísica, la caracterización geológica, geomorfológica con su respectivo inventario de deslizamientos, pendiente, precipitaciones y uso actual del suelo, adicionalmente se complementó este estudio con la caracterización de la susceptibilidad a deslizamientos aplicando la metodología de SAATY.

En el capítulo 8 se presenta la discusión, que viene siendo el diagnóstico de las unidades geomorfológicas determinadas durante este proceso, desde el punto de vista de la génesis, es decir, los procesos responsables de la evolución del relieve.

Finalmente, en los capítulos 9, 10, 11 y 12 se detallan las conclusiones, diseñadas tomando en cuenta los resultados obtenidos; las recomendaciones, que son importantes para mejorar futuras investigaciones; las referencias bibliográficas, de documentos y textos utilizados como sustento en la investigación y los anexos, correspondiente a fichas de campo y mapas finales que respaldan la investigación.

Por tal motivo los objetivos de la investigación se han orientado en primera instancia generar la base cartográfica que permita identificar los principales índices de relieve, como segundo objetivo se plantea caracterizar los principales índices de relieve y finalmente elaborar el mapa geomorfológico y zonificar áreas de susceptibilidad a deslizamientos.



## **4. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

### **4.1. Geomorfología**

A lo largo de la historia se ha venido definiendo a la geomorfología de acuerdo a varios autores, a continuación, se enumeran algunos conceptos:

Ciencia que tiene como objeto el estudio de las formas de la superficie terrestre enfocado a describir, entender su génesis y su actual comportamiento (Ordóñez, 1950)

Etimológicamente, la palabra geomorfología viene de tres raíces griegas: geos (tierra), morpho (forma) y logos (tratados), es decir es “El estudio de las formas del relieve terrestre”. Es la ciencia que se propone describir formas y explicar el relieve, su evolución y los procesos de su modelado. (Derruau, 1966)

(Shumm, 1991), establece que la geomorfología “es la ciencia que estudia los fenómenos sobre y cerca de la superficie terrestre y se preocupa de las interacciones entre varios tipos de materiales y procesos”.

#### **4.1.1. Geoforma**

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

#### **4.1.2. Génesis**

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

##### **4.1.2.1. Depositional**

Acción y efecto de abandonar los materiales que lleva en suspensión un agente de transporte. Debe ser preferido a deposición (Lugo Hubp, 1988).



#### **4.1.2.2. Denudativo**

Conjunto de procesos morfogenéticos que provocan la eliminación de los materiales meteorizados superficiales de un terreno dejando al descubierto sus porciones más profundas, anteriormente ocultas (Lugo Hubp, 1988).

#### **4.1.2.3. Estructural**

Etapa del trabajo geomorfológico en la cual se extraen del estudio geológico todos los elementos necesarios para la explicación del relieve. El análisis estructural permite definir la naturaleza (edad y litología) y la disposición (tectónica) de los terrenos que constituyen las geoformas (Lugo Hubp, 1988).

#### **4.1.2.4. Tectónico erosivo**

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

#### **4.1.2.5. Volcánico**

Establece que son formas producidas por erupciones volcánicas que han sufrido los efectos de la denudación y que aún conservan rasgos definidos de sus formas iniciales (Centeno, J., Fraile, J., & otros. , 1994).

### **4.2. Índices de Relieve**

#### **4.2.1. Índices Topográficos**

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

- Índices topográficos primarios (derivables directamente a partir de los datos de altura representados en el modelo)



- Índices topográficos secundarios o compuestos (implican combinaciones de los atributos topográficos primarios)

#### **4.2.2. Índice 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.

##### **4.2.2.1. Curvaturas**

###### **4.2.2.1.1. Curvatura Horizontal (Curvatura en planta)**

Es una medida de la convergencia o divergencia del flujo. Es un indicativo del patrón de distribución del agua superficial y de materiales sólidos a través de la dirección de la pendiente. El flujo del agua superficial y subsuperficial converge cuando  $ch < 0$ , y diverge cuando  $ch > 0$ . (Exelis Visual Information Solutions, 2015)

###### **4.2.2.1.2. Curvatura Vertical (Curvatura en perfil)**

Refleja el cambio en el ángulo de la pendiente, por lo tanto, controla el cambio de la velocidad del flujo de masa a lo largo de la ladera.

Las curvaturas; vertical y plana, influyen como un indicador de lineamientos geológicos, estructuras en anillo, y puede ser utilizada para determinar la morfología de fallas. (Correa, 2012)

###### **4.2.2.1.3. 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.

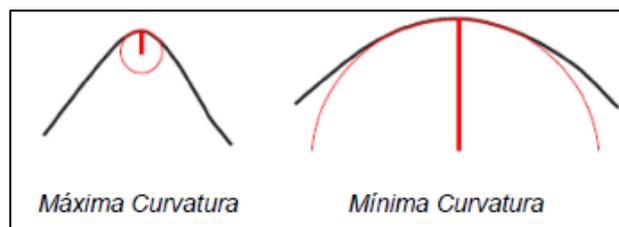


#### 4.2.2.1.4. Curvatura Transversal

La curvatura transversal se define como la intersección con el plano de la pendiente y la dirección perpendicular del aspecto.

#### 4.2.2.1.5. Mínima y Máxima Curvatura

La curvatura de una superficie en un punto es el producto de la curvatura máxima y mínima. Se determina tomando la curvatura máxima y mínima de sus secciones en un punto. (Exelis Visual Information Solutions, 2015)



**Figura 1:** Tipos de Curvaturas  
**Fuente:** (Exelis Visual Information Solutions, 2015)

#### 4.2.2.2. Sombreado

El sombreado del relieve realza visualmente los elementos del terreno simulando los efectos de iluminación de la luz del sol sobre la superficie del terreno. Estima valores de reflectancia de la superficie a partir de la posición del sol a cualquier altitud y en cualquier azimut. (Exelis Visual Information Solutions, 2015)

#### 4.2.2.3. Pendiente

Son los más básicos en un estudio morfométrico. Estos reflejan la inclinación de las laderas dentro de una cierta distancia y elevación, pueden ser expresada en grados, porcentaje y fracción. La inclinación de la ladera está asociada principalmente con la composición litológica y condiciones ambientales como densidad de vegetación y grado de saturación. (Lugo Hubp, 1988)

### 4.3. Sistemas De Información Geográfica

Según el NCGIA (Centro Nacional para la Investigación Geográfica y Análisis, 1990), “un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar



la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión”.

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

### **4.3.1. Tipos de datos**

Los objetos que vemos en el mundo real (carreteras, uso de suelo, altitud, litología, precipitación) se encuentran representados por medio de datos. Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: ráster y vectorial.

#### **4.3.1.1. Ráster.**

Es un modelo de datos espaciales que define el espacio como una matriz de celdas de igual tamaño dispuestas en filas y columnas, y compuestas de bandas simples o múltiples. Cada celda contiene un valor de atributo y las coordenadas de ubicación. A diferencia de una estructura de vector, que almacena coordenadas de forma explícita, las coordenadas del mapa de bits se encuentran en el orden de la matriz. (Sánchez, 2016)

#### **4.3.1.2. Vector.**

El formato vectorial define objetos geométricos (puntos, líneas y polígonos) mediante la codificación explícita de sus coordenadas. Los puntos se codifican en formato vectorial por un par de coordenadas en el espacio, las líneas como una sucesión de puntos conectados y los polígonos como líneas cerradas (formato orientado a objetos).

Este formato resulta especialmente adecuado para la representación de entidades reales ubicadas en el espacio (carreteras, ríos, parcelas de cultivo); también resulta más adecuado que el ráster cuando se manejan datos que suponen un valor promediado sobre una extensión de territorio que se considera homogénea, los límites de la misma pueden ser arbitrarios o no (por ejemplo, estadísticas municipales, datos piezométricos en acuíferos, etc.). (Sánchez, 2016)



#### **4.3.2. TIN (Triangulated Irregular Networks).**

(Alonso, 2008) define al TIN como parte de un conjunto de puntos, en los que se conoce la elevación, formando tripletas de triángulos cercanos no colineales, con forma de mosaicos. En ocasiones se parte de las curvas de nivel que, tras descomponerse en un conjunto de puntos, genera una red irregular de triángulos.

#### **4.3.3. Modelo Digital De Elevación (DEM)**

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

A partir de la información contenida en un Modelo Digital de Elevación es posible construir un conjunto de modelos derivado; además refleja características del terreno como (pendiente, sombras, curvaturas, orientación, etc.)

#### **4.4. Teledetección**

La teledetección bibliográficamente se ubican sus inicios en la década de los 60, inicialmente aplicada en plataformas áreas hasta llegar a las actuales plataformas satelitales para la obtención de imágenes de la superficie.

Es una técnica que se enfoca en la observación remota de la superficie. La singularidad o particularidad que hace a esta técnica tan relevante y útil para las geociencias es la forma en la que obtiene información de las propiedades físicas (generalmente llegando a cuantificar) de un objeto o superficie sin la necesidad de tener un contacto directo con este, generalmente la información obtenida es representada mediante imágenes que dejan ver las características de dicho objeto o superficie. (Chuvieco, 1996)

#### **4.5. 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)



## **4.6. Cartografía**

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

## **4.7. Geología**

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

### **4.7.1. Roca**

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

### **4.7.2. Depósito superficial**

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

### **4.7.3. Afloramiento**

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



## **4.8. Amenazas Geológicas**

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

### **4.8.1. Deslizamientos**

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

Se puede diferenciar dos tipos de deslizamientos:

- Deslizamientos rotacionales: La superficie de rotura es circular, a modo de cuchara, generalmente tienen una relación  $D_r/L_r$  entre 0.15 y 0.33 (Skempton y Hutchinson, 1969).
- Deslizamientos traslacionales: La superficie de rotura es totalmente plana, tienen generalmente, una relación  $D_r/L_r$  de menos de 0.1.

## **4.9. Fotointerpretación**

Es una técnica o arte apropiada para examinar imágenes fotográficas de un área u otros elementos, con el propósito de identificar diferentes componentes captados por la película, que se encontraban sobre la superficie en el momento de la captura y que pueden suministrar información de interés. (Chuvieco, 1996).

## **4.10. Zonificación**

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



#### **4.10.1. Susceptibilidad a Deslizamientos**

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

Se entiende la “susceptibilidad a los deslizamientos” de una unidad de terreno, como la predisposición natural o potencialidad que dicha unidad tiene, para que al interior de ella se presenten fenómenos de remoción en masa, bajo la influencia de agentes tales como: altas precipitaciones, cortes naturales y/o artificiales, litología, sismos. (Vásquez, 2002)

Es la facilidad o propensión de determinadas zonas a generar movimientos en masa, o a ser impactadas por un evento. (Programa Integración Participativa de la Gestión Ambiental y de Riesgo en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, 2008)



## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Materiales

Para la realización de la presente investigación fue necesario disponer de los siguientes materiales de campo y oficina.

#### 5.1.1. Materiales de campo

- GPS Garmin.
- Martillo Geológico.
- Brújula Brunton.
- Fundas plásticas ziploc.
- Libreta de campo.
- HCl al 10%.
- Carta Geológica de Loja escala 1:50000
- Carta Geológica de Gonzanamá escala 1:50000
- Cámara fotográfica.

#### 5.1.2. Materiales de oficina

- Computador.
- Bibliografía especializada.
- Impresora.
- Modelo Digital de Elevación (MDE), píxel 12,5 x 12,5 metros
- Ortofotos de Catamayo a escala 1: 5000
- Software: ArcGIS 10.5.
- Software: ENVI 5.3.
- Microsoft Office 2013: Word.

### 5.2. Método

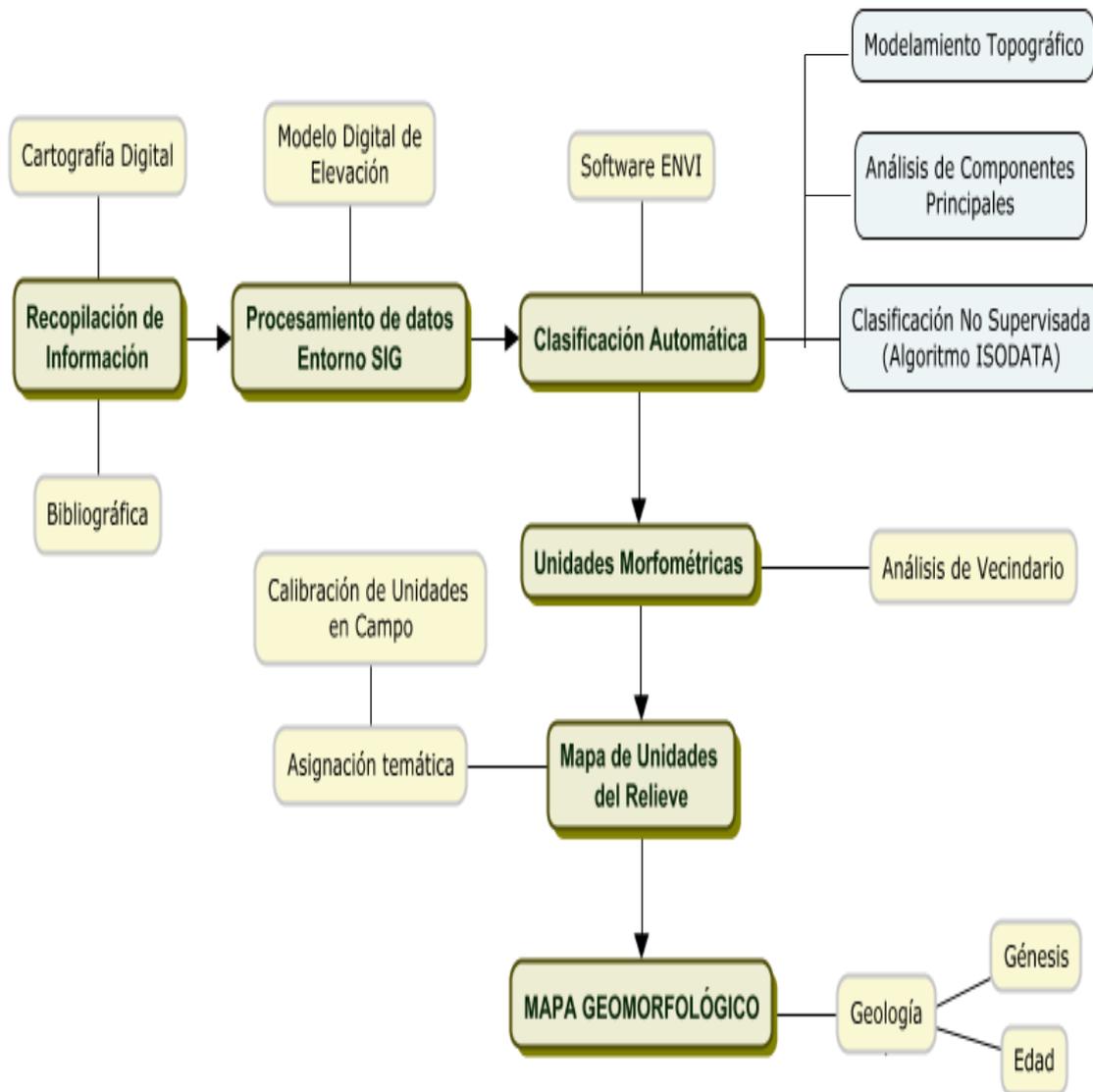
Para la elaboración del presente proyecto de investigación se consideró en primera instancia la recopilación de información de diversas procedencias y formatos, enfocados a la obtención de la cartografía geomorfológica y utilizando las técnicas de cartografía digital, fotointerpretación y trabajo de campo.



Además, se aplicó la metodología propuesta por el (Ministerio del Ambiente, 2013), que utiliza el método de Clasificación Automática No Supervisada (Isodata), el mismo que crea agrupamientos espectrales o clusters en los cuales el analista debe intentar asociar una clase temática a cada uno de dichos grupos. Se trata de un método iterativo que requiere relativamente poca intervención humana, siendo usual que el analista deba especificar:

- Número máximo de clusters (número de clases) que el algoritmo debe identificar.
- Máximo porcentaje de píxeles (umbral de cambio) cuyos valores se permite permanezcan incambiables entre iteraciones. Cuando se alcanza dicho número el algoritmo se detiene.
- Máximo número de iteraciones. Cuando se alcanza dicho número el algoritmo se detiene.
- Número mínimo de miembros en un cluster. Si un cluster contiene menos de dicho mínimo es eliminado y los miembros son asignados a un cluster alternativo.
- Máxima desviación estándar. Cuando la desviación estándar para un cluster excede el máximo especificado y el número de miembros que contiene es más que el doble del mínimo especificado, el cluster se divide en otros dos clusters.
- Suele también fijarse valores mínimos para las distancias entre los centros de los clusters. Cuando la distancia resulta inferior a dichos valores los clusters se fusionan.

En la figura 2, se esquematiza las fases realizadas para la producción de la cartografía geomorfológica.



**Figura 2:** Esquema general de la metodología empleada en el proyecto.  
**Fuente:** La Autora, 2020

### 5.3. Recopilación de Información

Comprende la fase inicial del proyecto relacionada a la búsqueda de información tanto bibliográfica como cartográfica, para su posterior revisión y análisis con el fin de establecer características que sean necesarias tomar en cuenta para la elaboración de cada uno de los componentes de la investigación.

#### 5.3.1. Bibliográfica

Se ha tomado como referencia por su grado de importancia, el siguiente material bibliográfico:



Modelo de Unidades Geomorfológicas del Ecuador (2013), obtenido del geoportal del Ministerio del Ambiente; en este documento se detalla la metodología para realizar una clasificación automática de las unidades de relieve a partir de los índices topográficos derivados del DEM.

### **5.3.2. Cartográfica**

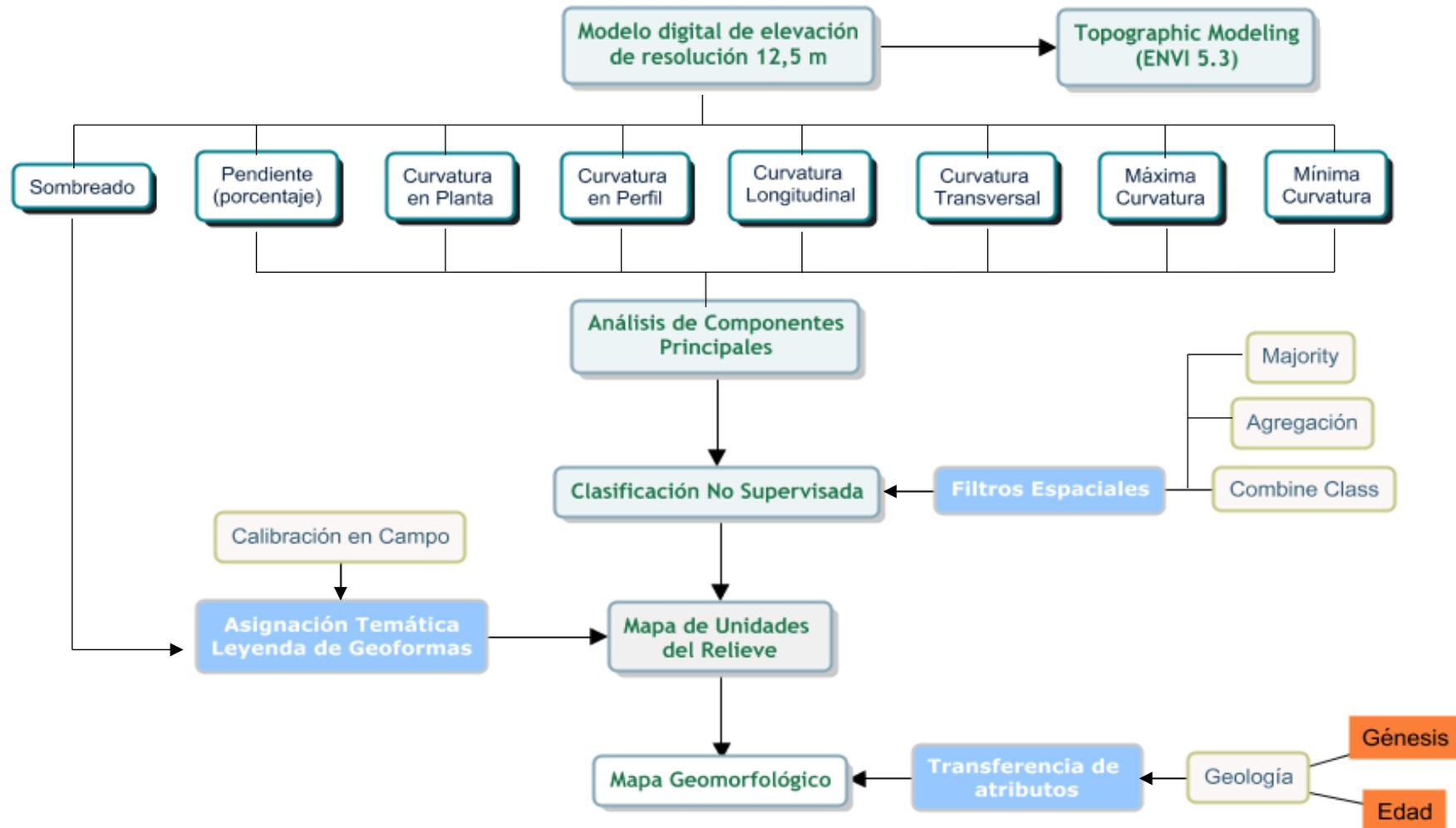
En el proceso de recopilación cartográfica digital se consideró los diversos geoportales e Instituciones como: ALASKA SATELLITE FACILITY, INAMHI y GAD de Catamayo, de donde se obtuvo los siguientes insumos:

- Modelo digital de Elevación ALOS PALSAR, con una resolución espacial de 12,5 metros, obtenido del geoportal <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>
- Ortofotos de Catamayo proporcionadas del GAD de Catamayo a escala 1: 5000 del año del año 2010 – 2011.
- Registro Isoyetas serie 1981 – 2010 del INAMHI.
- Límite cantonal, parroquial y base topográfica de Catamayo, escala 1: 25.000.

### **5.4. Clasificación automática**

Para realizar la clasificación automática se inició del diseño de un modelo cartográfico (ver figura 3), mismo que representa la metodología en una secuencia de pasos lógicos para obtener como resultado final el mapa geomorfológico de la zona de estudio.

El modelamiento comienza con el empleo del DEM de las parroquias de Catamayo y El Tambo, con un pixel de resolución de 12,5 metros mediante el cual se obtiene una serie de índices topográficos que posteriormente a partir de un análisis de componentes principales se elimina información redundante, estas nuevas variables no correlacionadas servirán de insumo para realizar la clasificación no supervisada (algoritmo Isodata), el resultado de la clasificación genera clústers, es decir, unidades poco definidas a las que se le aplica una serie de filtros espaciales, un proceso de edición y una calibración en campo que permita clasificar de mejor manera las unidades de relieve; consecuentemente en otra fase de la investigación, se efectúa la atribución de la geología, esto con el objeto de definir su génesis y edad y con ello obtener el mapa geomorfológico.



**Figura 3:** Esquema del modelo cartográfico.

**Fuente:** Adaptación del proyecto del MAE, “Modelo de Unidades Geomorfológicas”, 2013.

**Elaborado:** La Autora, 2020



### 5.4.1. Modelo Digital de Elevación

El relieve puede ser interpretado como el conjunto de propiedades geométricas de la superficie de la tierra, posibles de ser modeladas por procesamiento digital de datos de elevación. En este proyecto de investigación el modelo de elevación digital (DEM) con una resolución espacial de 12,5 metros, es el dato a partir del cual se calculan las diversas propiedades del relieve de manera automática.

Cabe recalcar que para este estudio se utilizó el DEM sin recortar, ya que en la interpretación de unidades de relieve en los límites administrativos de las parroquias de Catamayo y el Tambo debe considerarse todo el contexto espacial para poder discernir de mejor manera las unidades en estas zonas, se considera un error interpretar sin conocer lo que se encuentra más allá de las fronteras de la zona de estudio.

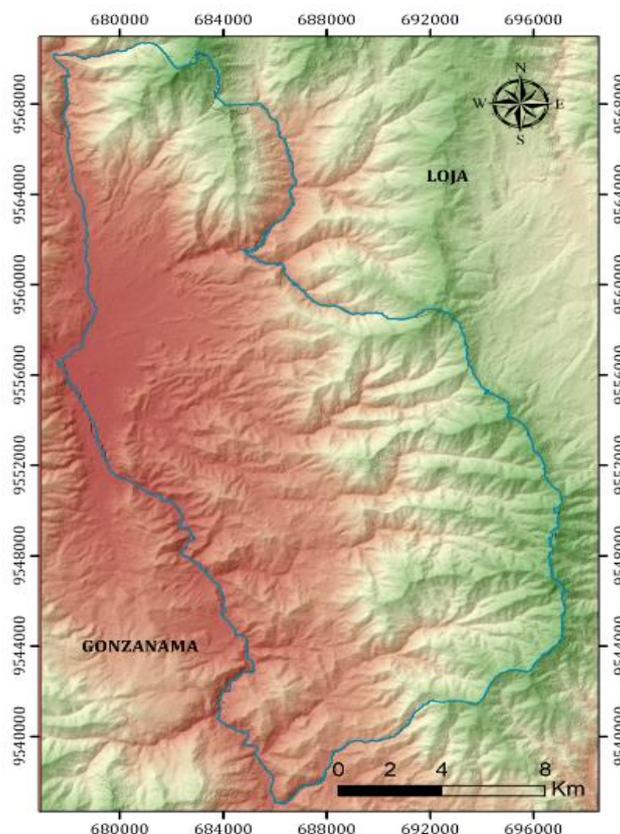


Figura 4: DEM de la zona en estudio.

Fuente: La Autora, 2020

### 5.4.2. Modelamiento Topográfico

Entre las múltiples variables (índices topográficos) que se pueden extraer del DEM, se han escogido siete (excluyendo el sombreado, pero cuyo parámetro se consideró al momento de



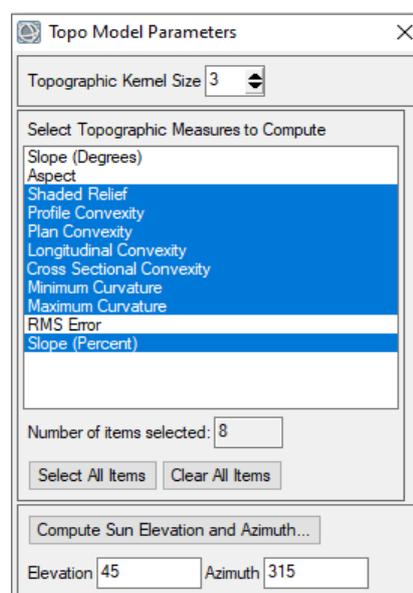
realizar la asignación temática), tomando como referencia el criterio dado por (Wood, 1996), quien menciona los siguientes:

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

Para generar los índices topográficos se dirige al *ToolBox* del software ENVI 5.3, se selecciona el parámetro *Terrain > Topographic Modeling*, en donde se ingresa el DEM; al ejecutarse la herramienta se despliega el cuadro de diálogo de entrada *Topo Model Parameters*, que debe ser configurada de acuerdo a las siguientes características:

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

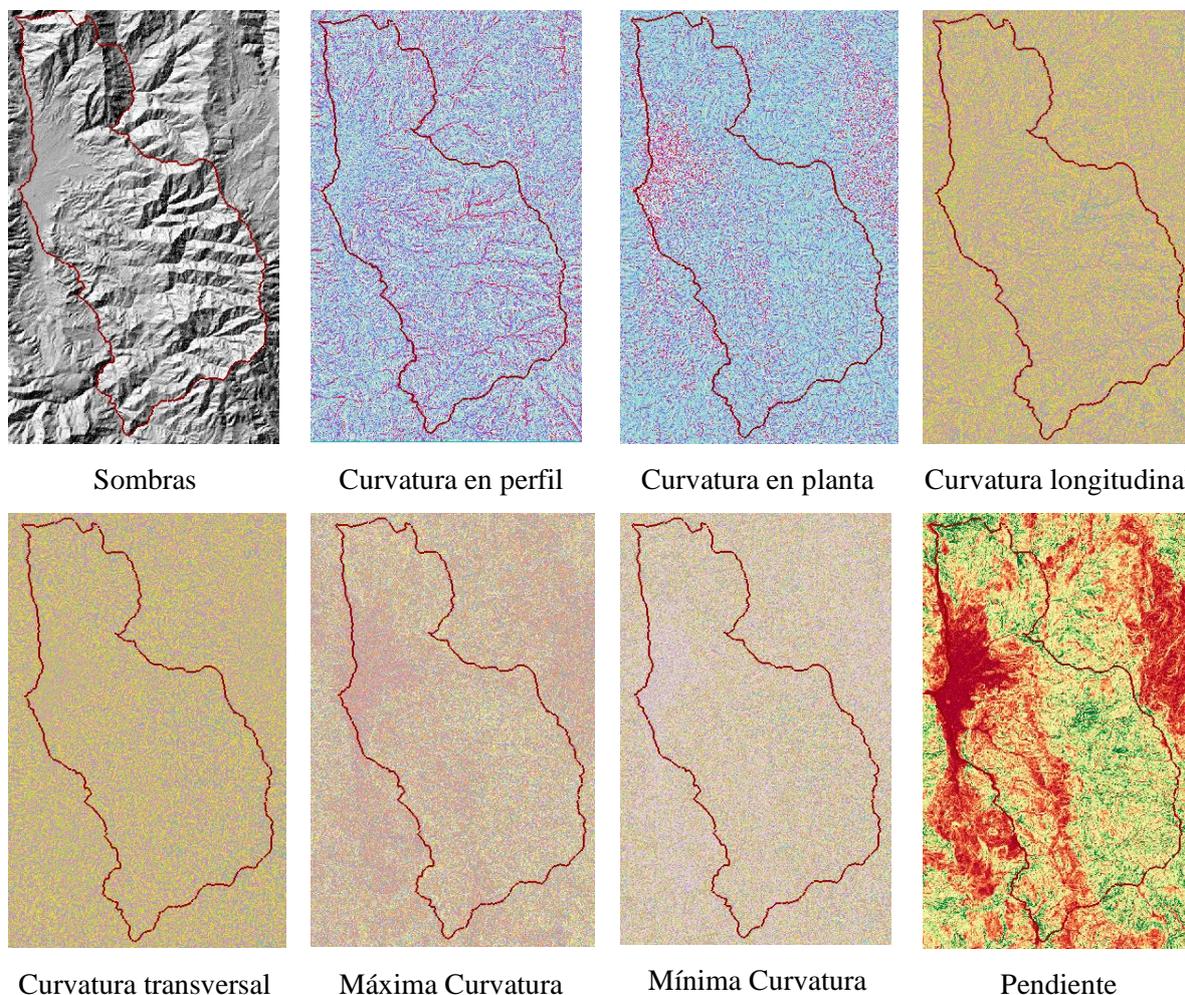
En *Select Topographic Measures to Compute*, se elige las medidas topográficas a calcular, para el caso de estudio 8 variable (la herramienta crea una banda separada para cada medida topográfica): pendiente en porcentaje, 6 curvaturas y una capa de sombreado, para esta última variable (Shaded Relief) se ingresó datos de elevación del sol de 315° y azimut de 45°, datos que el software ArcMap utiliza automáticamente.



**Figura 5:** Modelamiento Topográfico  
**Fuente:** La Autora, 2020



Este modelamiento da como resultado un archivo ráster multivariante, es decir que posee las 8 capas de índice topográficos, mismo que se lo puede visualizar en una combinación RGB al igual que se lo hace con imágenes multispectrales.



**Figura 6:** Índices Topográficos generados a partir del DEM.

**Fuente:** La Autora, 2020

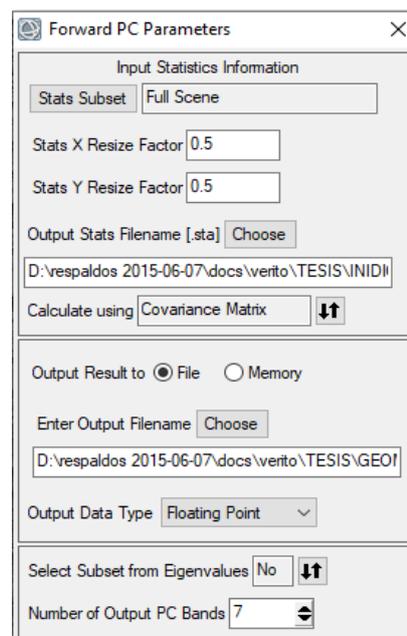
### 5.4.3. Análisis de Componentes Principales

El análisis de componentes principales es un procedimiento que se realiza para eliminar la redundancia de los datos, es decir, permite producir bandas (índices topográficos) no correlacionadas, para separar los componentes del ruido, y reducir la dimensionalidad del conjunto de datos (bandas individuales). (Exelis Visual Information Solutions, 2015)

Para calcular el PCA en ENVI se lo realiza a través de la herramienta **Forward PCA Rotation New Statistics & Rotate** (ver figura 7), tomando en cuenta los siguientes criterios:



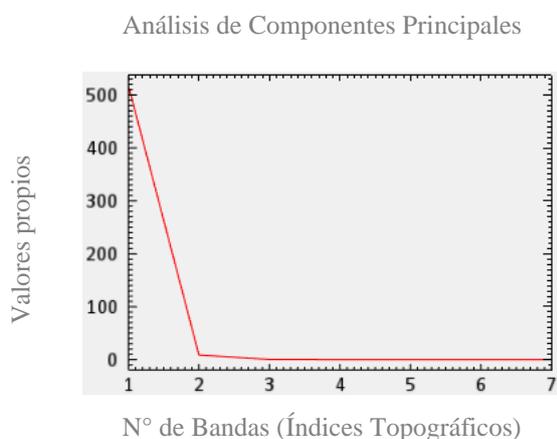
- **Factores de Redimensionamiento X/Y**, equivalente al tamaño de celda, definido en 0.5 permitiendo a la herramienta mantener una velocidad óptima en los cálculos estadísticos.
- Calculo a partir de una **Matriz de Covarianza**, debido a que los datos no difieren mucho entre las bandas y no se requiere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



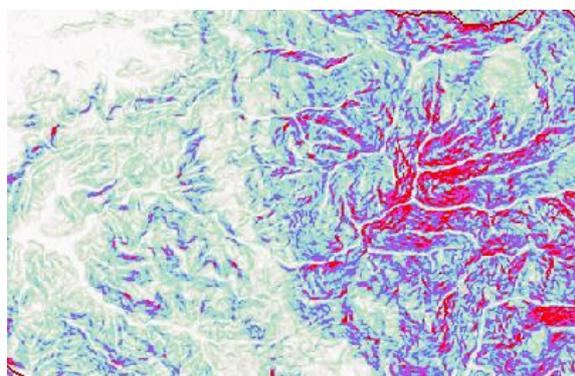
**Figura 7:** Configuración del PCA  
**Fuente:** La Autora, 2020

Como resultado del PCA se obtienen dos archivos:

- Una tabla comparativa que muestra las capas no correlacionadas y estadísticas de ruido, donde la primera banda del PCA contiene el mayor porcentaje de variación de datos y la segunda banda contiene la segunda mayor variación de datos, y así sucesivamente. Las últimas bandas de los componentes principales aparecen con ruido, ya que contienen muy poca variación en los datos originales.
- Un archivo ráster multivariante que posee las capas de salida de la herramienta de ACP.



**Tabla de Estadísticas**



**Ráster de componentes Principales**

**Figura 8:** Elementos generados a partir del PCA  
**Fuente:** La Autora, 2020

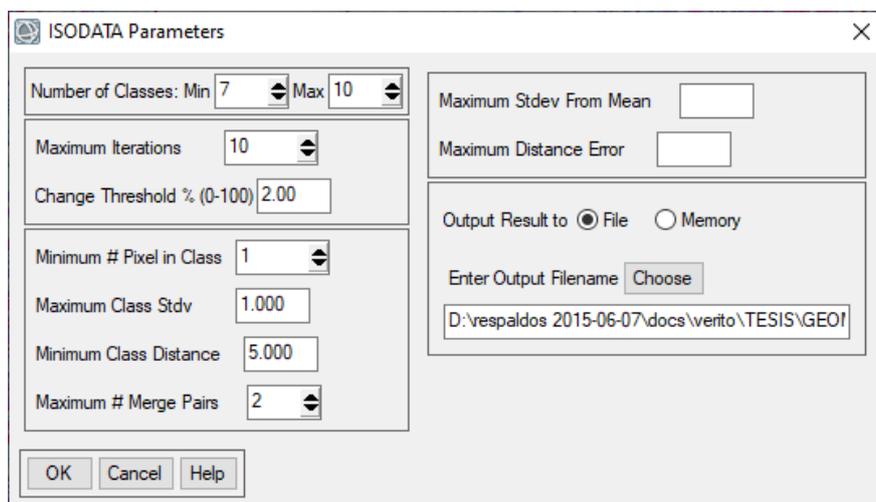


#### 5.4.4. Clasificación No Supervisada

Una vez ejecutado el análisis de componentes principales, se inició con el proceso de clasificación automática, este proceso es una clasificación no supervisada utilizando el algoritmo ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique), para ello, las variables que ingresan a este proceso son los tres primeros componentes de las siete variables topográficas originales, ya que es justamente en estos, donde se encuentra la información más relevante en cuanto al relieve, es decir, estas definen límites discretos de cada una de las unidades de relieve en función de sus características topográficas (curvaturas y pendiente), las cuales son las más importantes y las más utilizadas para este tipo de análisis.

Para poder realizar la clasificación automática en el software ENVI 5.3, nos dirigimos a la herramienta *IsoData Classification*, aquí debemos definir ciertos parámetros como el número de clases que buscamos, el número de iteraciones y el umbral de cambio.

Para la zona de estudio se ha configurado de la siguiente manera:



**Figura 9:** Configuración de los parámetros para la clasificación automática

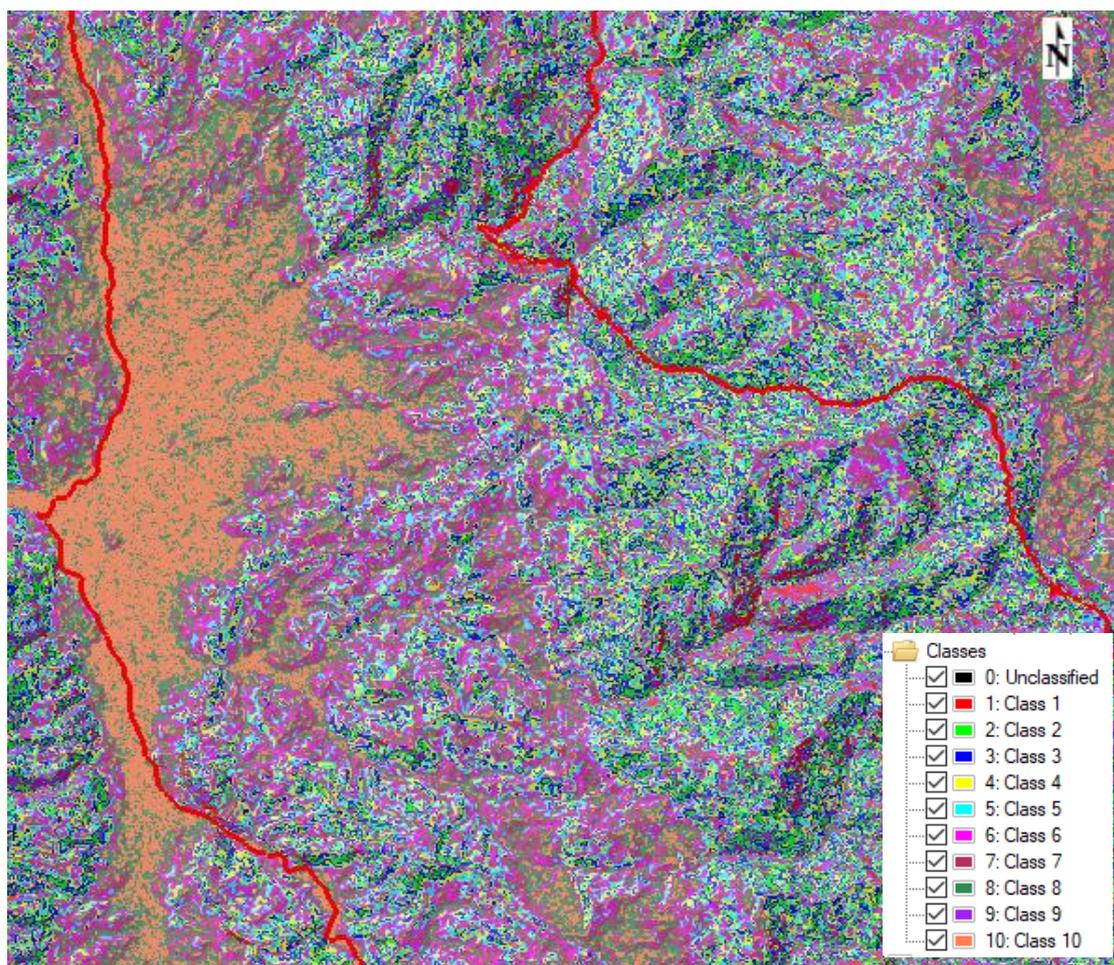
**Fuente:** La Autora, 2020

- **Number of Classes (Número de clases):** 10 que es el valor estimado correspondiente a las unidades que se pueden representar de acuerdo a la realidad del área de estudio y en función de la leyenda temática.
- **Maximum Iterations (Número de iteraciones):** 10, pues es un valor adecuado que permite al software continuar el ciclo que sigue el algoritmo varias veces hasta cumplir el % del Umbral de convergencia, una vez cumplido este criterio el proceso de clasificación termina. Mucha de las veces el proceso termina antes de las 10 iteraciones.



- **Change Threshold (Umbral de convergencia):** 2% ya que este valor indica la confianza en la clasificación, una vez que el porcentaje de píxeles que cambian de clase durante una iteración sea menor que el valor umbral el proceso de clasificación se detiene.

Después de haber finalizado el proceso nos queda como resultado un modelo en cual no se visualiza una unidad de relieve específica, por el contrario, se observan unidades dispersas y desordenadas, tal como se aprecia en la ver figura 10.



**Figura 10:** Clasificación automática (ISODATA)

**Fuente:** La Autora, 2020

#### 5.4.5. Análisis SIG

Para que las unidades que se encuentran dispersas se agrupen para formar un conjunto más específico se requiere de una post-clasificación, es decir, se realizó ciertos filtros que permiten minimizar el ruido y afinar las unidades para el proceso interpretación, de acuerdo al sistema de clasificación a emplearse.



Como primer paso se utilizó un análisis de vecindario con ayuda de la herramienta *Majority Analysis* cuya función consiste en remover el ruido, es decir, permite eliminar los píxeles aislados (efecto pimienta) y que no son representativos.

Para el cálculo de la aplicación de este filtro, la herramienta debe configurarse de acuerdo a la unidad mínima cartografiada que corresponde al objeto más pequeño que se puede representar en un mapa en función de la escala de trabajo.

Para determinar la UMC se utilizó la siguiente fórmula:

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

Donde:

E = escala del modelo de elevación digital.

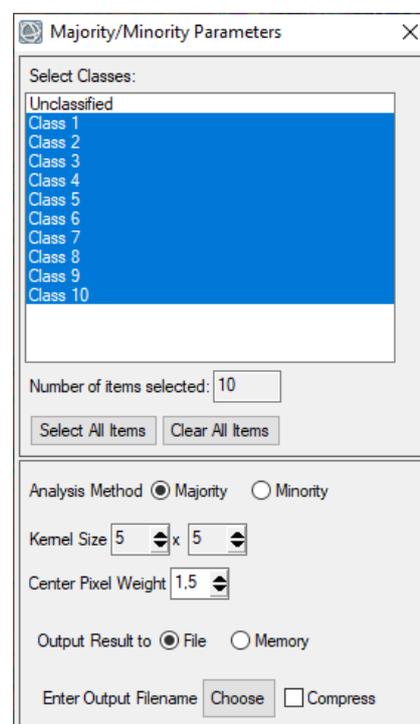
MUM = mínima unidad mapeable = 5 mm \* 5 mm

Por lo tanto,

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

$$UMC = 15625 m^2 = 1,56 Ha$$

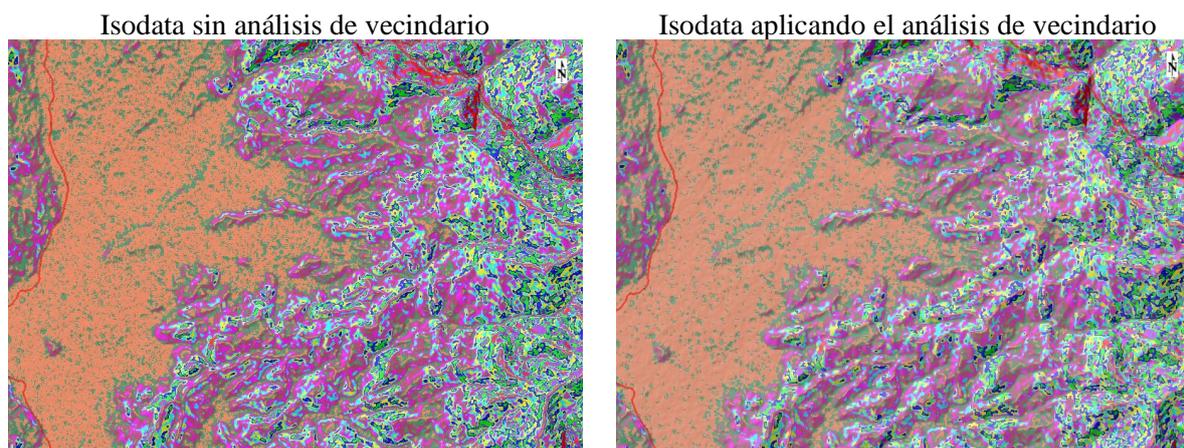
- **Tamaño de Matriz de suavizado:** 5 x 5 (En un mapa, el tamaño mínimo que debe ocupar una unidad cartográfica ha de ser de al menos 25 mm<sup>2</sup>; un cuadrado de 5 mm de lado) (Rossiter, 1994)).
- **Área mínima cartografiada:** 1,56 Ha (en función de la escala cartográfica 1:25000 que corresponde al modelo ALOS PALSAR utilizado como insumo para el análisis).



**Figura 11:** Configuración del filtro de suavizado.

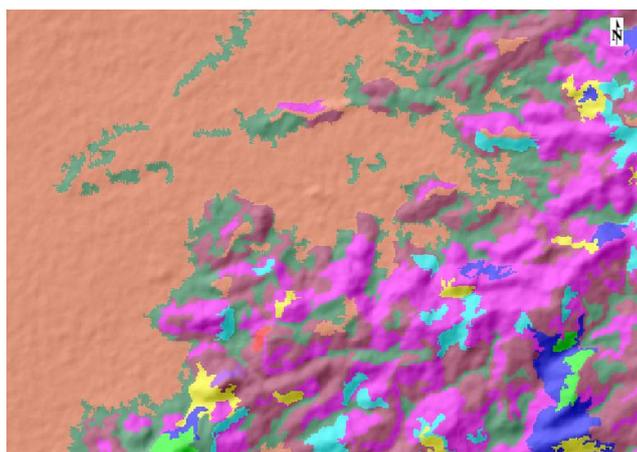
**Fuente:** La Autora, 2020

Cada uno de los resultados en el valor del píxel central se sustituye por el resultado de la función de filtrado, con este análisis de vecindario se genera una nueva capa temática la cual suaviza las unidades morfométricas.



**Figura 12:** Comparación de los ráster con y sin filtro de suavizado  
**Fuente:** La Autora, 2020

Esta nueva capa temática generada por el análisis de vecindario nos presenta una capa más limpia, podemos ver unidades más definidas pero aún necesita otro proceso que consiste en eliminar los clusters. Para esto se utilizó la herramienta *Classification Aggregation*, que permitió remover estos pequeños grupos mediante la sustitución de los valores de los píxeles de estos grupos con el valor de la clase más cercana.



**Figura 13:** Ejemplo de las unidades clasificadas empleando las funciones de filtrado.  
**Fuente:** La Autora, 2020

En este ejemplo se puede observar como se ha limpiado la imagen ráster y ahora es mucho más interpretable dichas unidades, esta porción corresponde al sector céntrico de Catamayo.

Para finalizar el proceso de filtrado nos damos cuenta que aún existen áreas despreciables que pueden agruparse, para ello, la última herramienta que se ha usado es la de *Combine Class*, esta función permite como su nombre lo indica, combinar clases individuales, pero que



corresponden a una misma clase temática, sin realizar cambios al número de clases de la clasificación final.

Se obtiene como resultado un archivo en formato ráster (ver figura 24), constituido por las unidades morfométricas (geoformas de nivel 4) listas para ser asignadas a un atributo, por lo que en una siguiente etapa se edita y afina cada recinto, debido a que la clasificación automática no es un modelo cartográfico totalmente preciso, para ello se emplea como insumos la calibración de campo y la interpretación en 3D.

#### 5.4.6. Asignación Temática

Lo que se busca en esta etapa es asignar a cada unidad morfométrica un atributo, el objetivo es nombrar a cada clase en función del sistema de clasificación propuesto por el Ministerio del Ambiente en el proyecto *Modelo de Unidades Geomorfológicas para la Representación Cartográfica de Ecosistemas en el Ecuador Continental*, en este punto se hace énfasis en que las unidades de relieve fueron ingresadas a partir de los nombres correspondientes al mesorelieve, para posteriormente ser generalizadas a macrorelieve.

**Tabla 1:** Leyenda de Unidades del Relieve

Macrorelieve	Mesorelieve
Montaña	Relieves Montañosos
Serranía	Relieve Colinado Alto
	Relieve Colinado Mediano
Penillanura	Vertientes Irregulares
	Coluvión
	Coluvio Aluvial
Pie de Monte	Colinas Bajas
	Cuesta
Valle	Terraza Aluvial
	Planicie

**Fuente:** (Josse et al, 2003), Modificado por el Ministerio del Ambiente.

**Elaborado:** La Autora, 2020

Debemos recordar que el sistema de clasificación es jerárquico, por tal razón es recomendable partir de lo específico a lo general y así poder y ubicar las unidades en distintas categorías, directamente relacionadas con la información disponible y el nivel de detalle requerido para nuestro caso de estudio.



#### 5.4.6.1. Macrorelieve

Comprende asociaciones o complejos de paisajes que pueden describirse en términos de unas mismas características mesoclimáticas, morfológicas, de material litológico y/o edad, y que presentan relación con los procesos geomorfológicos endógenos y/o exógenos mayores que lo originaron. (Villota, 1997)

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

**Montaña:** Grandes elevaciones naturales del terreno que poseen un desnivel desde la línea de base hasta la cumbre mayor a 300 m, cuya altura y formas se deben a plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre. Su cima puede ser aguda, subaguda, semi redondeada, redondeada y tabular, su pendiente es  $>30\%$ . (De Pedraza, 1996)

**Serranía:** Corresponden a relieves que forman parte de una serie o sistema montañoso. Se componen de una alineación montañosa principal que hace de eje de la misma y, en algunos casos, de otros cordales montañosos de menor altitud. Son de carácter estructural, plegado y denudativo. (De Pedraza, 1996).

**Penillanura:** Terreno de poca altitud y escasos relieves producida en la última etapa del ciclo de denudación. Es la forma de relieve que suele ocupar grandes extensiones y que, por efecto de la erosión, presenta una superficie suavemente ondulada. Está formada por materiales antiguos y erosionados (De Pedraza, 1996).

**Piedemonte:** Partes bajas de montañas y serranías hasta el punto de inflexión con el valle o la llanura. Hace referencia al Piedemonte Andino (De Pedraza, 1996).

**Valle:** Llanura de tierra con pendientes menores al 8%, es aquella depresión entre dos elevaciones del terreno. Los valles se pueden presentarse en forma de U, V y plano (De Pedraza, 1996).

#### 5.4.6.2. Mesorelieve

Son las formas del relieve de menor magnitud que representan a un paisaje (geofomas), a escala local y, caracterizada por uno o más atributos morfométricos, litológicos y estructurales. (Villota, 1997).



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

- **Relieves Montañosos:** A este grupo se incluyen las montañas cuya altura y formas se deben a plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en diverso grado por los procesos de denudación fluvio-erosional y glaciárica, respectivamente.
- **Colinas:** Elevación natural y aislada del terreno con un desnivel desde la línea de base hasta la cumbre menor a 300 m, cuyas laderas presentan una inclinación promedio superior al 16% y divergen en todas direcciones a partir de la cima relativamente estrecha, siendo su base aproximadamente circular. Pueden reconocerse colinas altas, medias y bajas.
- **Vertientes:** Es una superficie topográfica inclinada situada entre los puntos altos (picos, crestas, bordes de mesetas o puntos culminantes del relieve) y los bajos (pie de vertientes o vaguadas). El perfil de una vertiente puede ser regular, irregular, mixta, rectilínea, convexa y cóncava (es decir, con rupturas de pendiente), dependiendo de la litología y la acción de la erosión.
- **Coluvión:** se presenta en las partes bajas y medias de las laderas, producto de la acumulación de materiales (suelo residual y/o fragmentos de roca) por arroyada difusa, meteorización, en todos los materiales coluviales predominan fragmentos de carácter angular, poco clasificados y sin estratificación. (Del Valldurre, 2014)
- **Coluvio Aluvial:** se presentan en dos tipos de formas: a) con su límite inferior siguiendo el del valle y el superior dibujando unas suaves crestas hacia la ladera, b) los que rellenan vaguadas, y cuyos materiales proceden asimismo tanto de la ladera como del transporte de estos materiales por una restringida dinámica fluvial. (Del Valldurre, 2014)
- **Cuestas:** Paisaje homoclinal formado como consecuencia de la incisión o fallamiento perpendicular al buzamiento de estratos sedimentarios suavemente plegados o basculados; se caracteriza por su ladera estructural por lo común más larga que el escarpe, con buzamientos que varían entre 2° y 8° aproximadamente, lo cual les otorga una mayor estabilidad al paisaje y a sus suelos, por la menor incidencia de los procesos erosivos.



- **Planicie:** Espacio natural que constan de relieves bajos o de mínima altitud, con pendientes menores al 8%. Las planicies más comunes toman lugar a territorios bajos, en los cuales todavía el terreno no ha ganado gran altura, o también en los valles que se generan naturalmente entre cadenas montañosas.
- **Terrazas:** Son zonas llanas, bajas y estrechas formadas por depósitos aluviales de arenas características del Cuaternario combinados con guijarros grandes. Se localizan a ambos lados del plano inundable y originado por repetidos descensos del nivel de base de erosión.

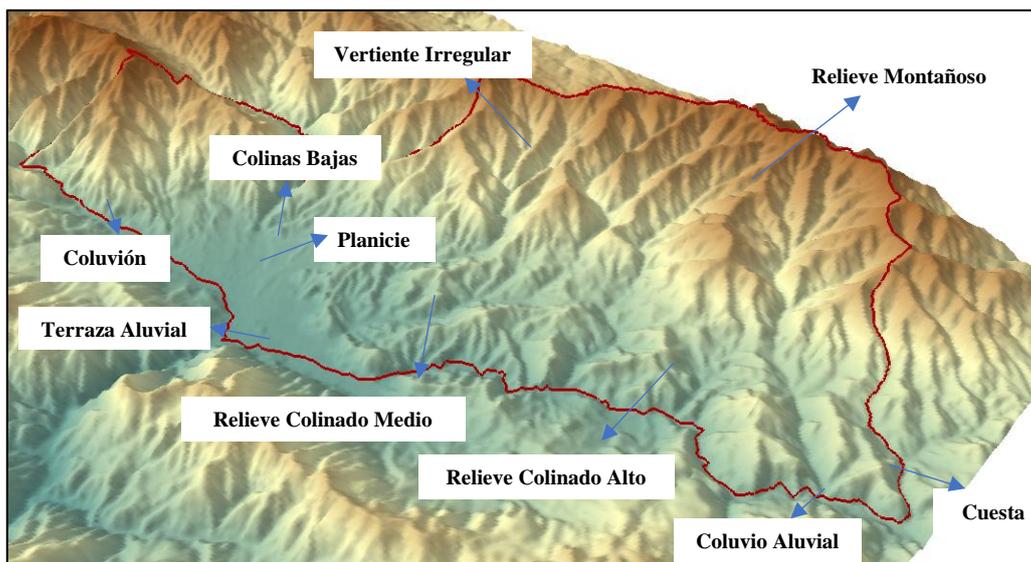
Una vez definido la leyenda emplearse se precedió a realizar una calibración de estas unidades ya definidas en el terreno, para esto, se levantó información en campo acompañado de fotografías que es la mejor ayuda que el intérprete puede tener.

Toda esta información se la ingresó a una aplicación móvil llamada AVENZA MAPS que está integrado por un GPS permitiendo con ello, levantar la información georeferenciada con su respectiva fotografía del paisaje.

Según criterios geográficos de accesibilidad, se pudo levantar 93 puntos y 185 fotografías en las parroquias de Catamayo y el Tambo, información que es importante y necesaria en el proceso de interpretación.

#### **5.4.7. Interpretación de Unidades Temáticas**

En este punto lo que se busca es interpretar las unidades basándose en uno de los índices topográficos más importantes como lo es el sombreado, pues esta variable permite realzar las formas del relieve. Además, se utilizó visualizaciones en 3D, para interpretar de mejor manera las unidades, junto a las fotografías levantadas en campo.



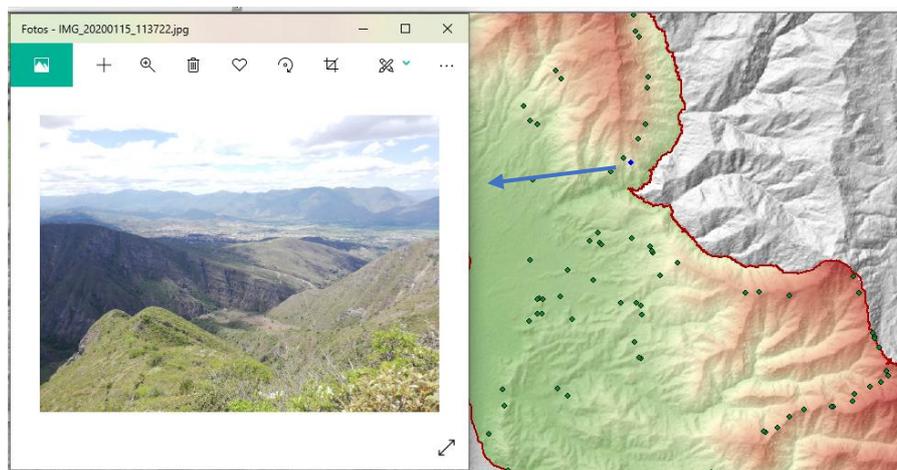
**Figura 14:** Interpretación de las unidades del relieve

**Fuente:** La Autora, 2020

El enlace de los puntos GPS con las fotografías se lo hizo mediante un hipervínculo en la tabla de atributos del software ArcGIS, a través de un código común, es decir la carpeta debe tener el mismo nombre de cada punto GPS.

Con esta herramienta de hipervínculo al momento de desplegar la información levantada también se desplegará las fotos de ese punto.

Y es así como se obtiene el mapa de unidades de relieve listo para asignar a cada variable su respectiva génesis y edad, tomando en cuenta la geología presente en la zona de estudio y con ello obtener como resultado el mapa Geomorfológico de las parroquias de Catamayo y el Tambo. (ver anexo 3: mapa geomorfológico)



**Figura 15:** Información levantada en campo en ambiente SIG

**Fuente:** La Autora, 2020



## 5.5. Mapa geológico

Se toma como referencia la carta geológica de Loja y Gonzanamá, Hoja 56 a escala 1: 50 000 información necesaria como punto de partida para el estudio geológico a detalle.

En base al mapa topográfico se ubicaron 166 afloramientos tanto naturales como artificiales en vías, de donde se extrajo la mayor cantidad de información geológica posible, así mismo, se tomaron muestras de mano para su respectivo análisis petrográfico en el laboratorio.

La descripción litológica y datos estructurales de cada afloramiento se fue registrando mediante fichas de campo (ver anexo 1) con su respectiva fotografía georeferenciada a través de la aplicación móvil AVENZA MAPS especificando los parámetros de fichas campo (ver anexo 1; Fichas de caracterización de afloramientos), donde se recolectan datos referentes a las características texturales y propiedades generales como: color, composición, mineralogía, textura (tamaño, forma y acomodo de los elementos de la roca) y estructura (rasgos macroscópicos de una unidad litológica) y espesor de las unidades litológicas y suelos, en metros.

## 5.6. Mapa de pendientes

Los mapas de pendientes reflejan la inclinación de las laderas dentro de una cierta distancia y elevación, cuya inclinación puede estar asociada principalmente con la composición litológica y condiciones ambientales como densidad de vegetación y grado de saturación.

En el caso de estudio, para la elaboración de dicho mapa se utilizó la plataforma Arcgis 10.5, en donde se procedió a realizar los siguientes pasos lógicos:

- Generación de la pendiente (Slope) utilizando la herramienta *Spatial Analyst Tools – Surface – Slope*. En *Input raster* subimos el DEM obtenido del satélite ALOS PALSAR, con una resolución espacial de 12,5 metros y en *Output Raster* le damos la dirección y nombre de la capa.
- Reclasificación de la pendiente, utilizando la herramienta *Spatial Analyst Tools – Reclass – Reclassify*, esta opción permite categorizar la misma mediante una clasificación que el autor considere se ajuste a las características de la zona, en este caso se procedió a usar la clasificación de DEMEK, 1972 (ver tabla 2).



**Tabla 2:** Clasificación de las pendientes

Color	Clase	Rango (°)
	Ligeramente inclinado	0° - 5°
	Fuertemente inclinado	5° - 15°
	Muy inclinado	15° - 35°
	Empinado	35° - 55°
	Vertical	> 55°

**Fuente:** DEMEK, 1972

- Conversión de Raster a Vector, y como su nombre mismo lo indica convierte un formato ráster a un formato vectorial con el fin de poder editar los campos en la tabla de atributos, para ello se dirige a la opción *Conversion Tools – From Raster – Raster to Polygon*.
- Finalmente, se disuelve por el gridcode los campos que se encuentre repetidos, usando la opción *Data Management Tools – Generalization – Dissolve*. En la tabla de atributos se añadió nuevos fields con los campos de: Clase (text), rango (text), área (double) y porcentaje (double) y se procedió a asignarle el color correspondiente al mapa.

### 5.7. Mapa de uso actual del suelo

La delimitación del uso del suelo, se realizó a partir de una interpretación visual de acuerdo al procesamiento digital de imágenes a nivel de pixels, utilizando el método de clasificación supervisada en ArcGIS 10.5, esta clasificación parte de un grupo de elementos pertenecientes a la imagen, conocidos como áreas de entrenamiento, de los que se conoce con un nivel de exactitud alto la clase a la que pertenecen. La clasificación del conjunto de la imagen es el proceso por el que a cada elemento contenido en la imagen se le asigna una categoría, basándose en los atributos contenidos en las áreas de entrenamiento. La clasificación supervisada fuerza el resultado para que se corresponda con coberturas del suelo definidas por el usuario, y por tanto, de su interés.

El proceso inicia con la asignación de puntos sobre la ortofoto, tomando en consideración una interpretación visual y el conocimiento previo de la unidad de la superficie de estudio.

Posteriormente se genera y guarda una firma espectral con la herramienta **Create Signatures**, que permite crear un archivo de firmas espectrales de clases definidas por datos de muestra de entrada y un conjunto de mapas ráster.



Una vez generado el archivo de firmas espectrales, el algoritmo seleccionado fue el de **Maximum Likelihood Classification** (máxima similitud) ya que esta herramienta calcula la probabilidad que un determinado pixel pertenezca a una clase específica, luego cada pixel es asignado a la clase con la probabilidad más alta. Por lo tanto, las áreas de entrenamiento son comparadas con el resto de la imagen basándose en la similitud de las firmas espectrales.

Como resultado se obtiene cinco clases (zona urbana, cuerpo de agua, tierra agropecuaria, vegetación arbustiva y bosque nativo). A estas unidades se las transformó a formato vector para editar y afinar ciertas unidades, ya que cualquier método de clasificación automático nunca será perfecto, por lo que siempre deberá tener un proceso de edición.

### 5.8. Mapa de Isoyetas

Para elaborar el mapa de Isoyetas del área de estudio se tomaron en cuenta los datos de precipitaciones en mm/año, registrados en 10 estaciones meteorológicas y pluviométricas, mismas que se obtuvieron de la página del INHAMI en un periodo de 29 años desde el año 1981-2010.

**Tabla 3:** Datos de Estaciones Meteorológicas

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

**Fuente:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

**Elaborado:** La Autora, 2020

Una vez considera las estaciones con las cuales se va a trabajar se procedió a generar la interpolación utilizando el método de IDW, esta herramienta se encuentra en *Spatial Analyst Tools – Interpolation – IDW*.

Posterior a ello se despliega una ventana y se la configura de la siguiente manera:



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

Es importante mencionar que al momento de realizar la interpolación se debe considerar todas las estaciones así estén fuera del polígono de estudio, puesto que de lo contrario fuese un error despreciar dichos datos de precipitaciones.

Puesto que no existe una clasificación definida, se procedió a realizar la reclasificación en intervalos iguales de 3 categorías, tomando en cuenta los datos mínimos y máximos de precipitaciones que existe en el área de estudio. (ver tabla 4)

**Tabla 4:** Clasificación de precipitación de las parroquias Catamayo y El Tambo

FID	Clase	Rango (mm/año)
1	Muy Baja	301,45 - 530,54
2	Baja	530,54 - 759,63
3	Media	759,63 - 988,72

**Fuente:** La Autora, 2020

Posterior a ello se realizó una conversión del modelo ráster a un modelo vectorial, seguido de un *disolve* (*disolver*) según el *gridcode*, opción que permite descartar campos repetidos y en la tabla de atributos se añadió nuevos *fields* (campos) de: Clase (*text*), rango (*text*), área (*double*) y porcentaje (*double*) y se procedió a asignarle el color correspondiente al mapa.

## 5.9. Mapa de susceptibilidad

Para la realización del mapa de susceptibilidad a deslizamientos se utilizó la metodología desarrollado por (Saaty., 1980).

El proceso de análisis jerárquico (AHP) propone la asignación de un vector de pesos  $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]$  a los criterios de un cierto problema de decisión multicriterio. Para ello se compara cada criterio  $i$  con cada criterio  $j$ , obteniendo unos valores  $a_{ij}$  que es posible agrupar en una matriz cuadrada de orden  $n$ , la llamada matriz de comparaciones por pares,  $A = [a_{ij}]$ , es decir, el número de filas y columnas está definido por el número de criterios a ponderar, estableciendo una matriz de comparación de importancia (tomándolos en pares) cada uno de los criterios con los demás, para posteriormente determinar el promedio por cada fila y posteriormente el total el cual establece los pesos “ $W_j$ ”. En la tabla 5, se muestra un esquema del método de jerarquías analíticas para asignación de pesos.



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

Matriz De Comparación Por Pares					Promedio	Total
Factores	A	B	C	D		
A	$X_{AA}$	$X_{AB}$	$X_{AC}$	$X_{AD}$	=Promedio( $X_{AA}$ : $X_{AD}$ )	$W_A$
B	$X_{BA}$	$X_{BB}$	$X_{BC}$	$X_{BD}$	=Promedio( $X_{BA}$ : $X_{BD}$ )	$W_B$
C	$X_{CA}$	$X_{CB}$	$X_{CC}$	$X_{CD}$	=Promedio( $X_{CA}$ : $X_{CD}$ )	$W_C$
D	$X_{DA}$	$X_{DB}$	$X_{DC}$	$X_{DD}$	=Promedio( $X_{DA}$ : $X_{DD}$ )	$W_D$
					Suma (Columna)	Suma = 1

**Fuente:** Thomas Saaty, 1980

La razón de comparar de dos en dos los criterios, es para facilitar la comparación de todos a la vez por parte del experto (la autora). En los trabajos de Saaty, ensayan cierto número de escalas de medida para la estimación de los coeficientes  $a_{ij}$  de acuerdo a la tabla 6.

**Tabla 6:** Escala de Saaty para determinar el valor de  $X_{ij}$

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

**Fuente:** Thomas Saaty, 1980

Es importante recalcar que cada una de las variables para el presente análisis serán colocadas en forma jerárquica, es decir, ordenando las variables desde las que tienen mayor influencia a que se produzca un deslizamiento hasta los de menor influencia.

Una vez que se elabora la matriz de comparaciones pareadas se realiza el proceso de sintetización, donde se determina la prioridad de cada uno de los elementos que se comparan.

Para definir la calidad de la decisión final, se designa la consistencia del juicio del experto. De esta manera, el AHP permite medir el grado de consistencia entre las opiniones pareadas proporcionadas por el experto. La consistencia de los juicios del experto, se calcula a partir del autovalor máximo ( $\lambda_{m\acute{a}x}$ ), y se compara con el número de criterios que es n, en el caso que estos valores sean iguales, se verifica que el juicio es completamente consistente. En relación a esto, Saaty proporciona tablas de consistencia para medir ésta. Asimismo, también define la razón



de consistencia (RC), a partir del índice de consistencia (IC) y del índice de consistencia aleatorio (ICA):

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

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

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

El valor de  $n_{m\acute{a}x}$  se calcula de  $AW = n_{m\acute{a}x}W$  observando que la ecuación es:

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

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

Si IC es menor al 10% la inconsistencia se considera como aceptable, en cambio, si el decisor no logra un IC adecuado, debe revisarse sus juicios. En la práctica esto puede llevar a un largo proceso de sucesivas correcciones.

### 5.10. Elementos para elaborar un mapa de susceptibilidad

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

- Geomorfología, donde se encuentra inmerso el inventario de deslizamientos.
- Geología
- Pendientes
- Uso actual del suelo.
- Isoyetas (Precipitaciones mm/año)

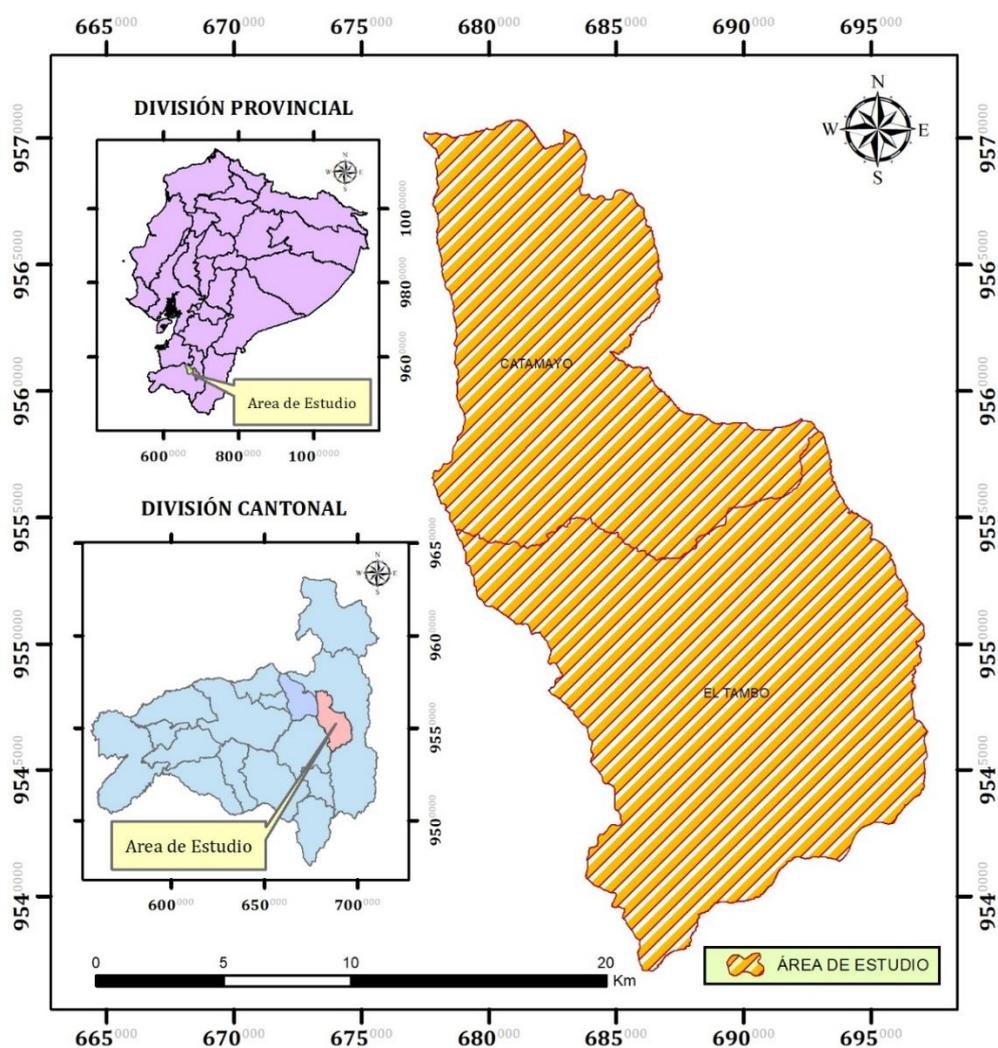


## 6. RESULTADOS

### 6.1. Ubicación y Acceso

#### 6.1.1. Ubicación

El área de estudio se ubica en las parroquias Catamayo y el Tambo, pertenecientes al cantón Catamayo, provincia de Loja, con una extensión de 349,84 km<sup>2</sup>, se encuentra ubicado al Nor-Occidente de la provincia de Loja, a 38 km de la capital provincial, al Sur del Ecuador, en el hemisferio Sur-Occidental. Limita al Norte con el cantón Loja; al Sur con el cantón Gonzanamá y Loja, al Este con el cantón Loja y al Oeste con el cantón Gonzanamá y la parroquia de San Pedro de la Bendita. Por su ubicación geográfica se ha convertido en una ciudad de paso hacia varios lugares de Ecuador, además de poseer el aeropuerto Ciudad de Catamayo, medio con el que comunica a Loja con el resto del país.



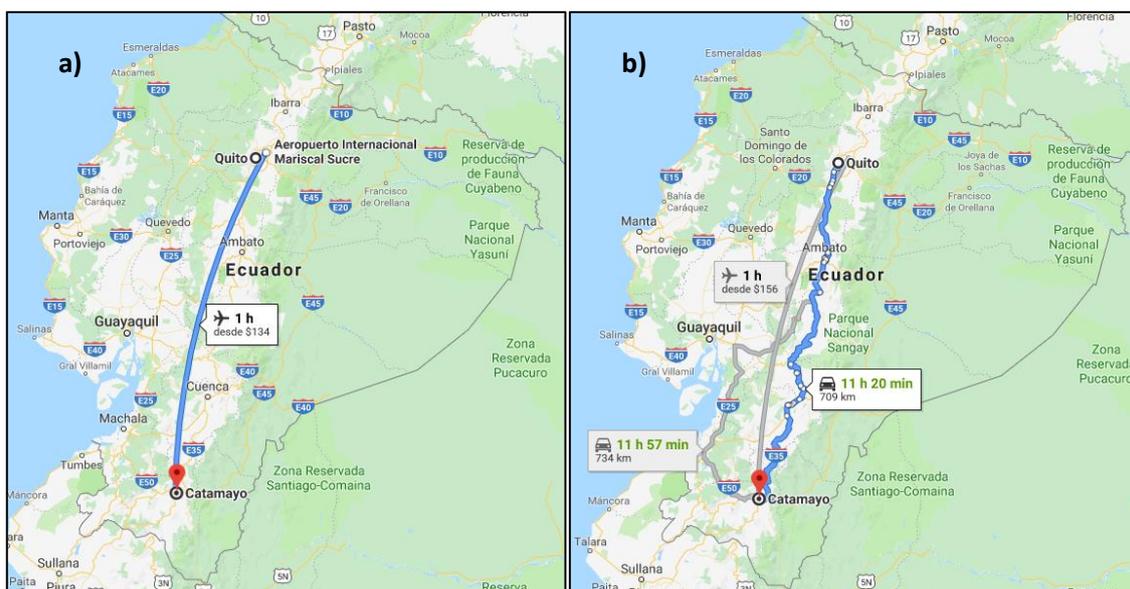
**Figura 16:** Mapa de Ubicación del área de estudio  
**Elaborado por:** La Autora, 2020



## 6.1.2. Acceso

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

El acceso terrestre se lo puede realizar por la carretera E35 que conecta Quito-Cuenca-Loja-Catamayo con una distancia aproximada de 709 km y un tiempo de viaje aproximado de 11h20min y por la región costa la carretera E25 con una distancia de 734 km y un tiempo estimado de 11h57min.



**Figura 17:** Acceso al cantón Catamayo; a) aéreo, b) terrestre.

**Fuente:** Google Maps, 2020

## 6.2. Clima

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

El relieve de la zona intercepta como barrera la penetración de aire húmedo y provocan fuertes contrastes térmicos a corta distancia. El río Catamayo, permite el paso durante la mayor parte



del año el aire cálido y seco, que viene del desierto del Sur, contribuyendo a la desertificación y Suroccidental.

### 6.3. Hidrografía

El 76% del área del cantón pertenece a la cuenca de Catamayo – Chira, específicamente a las parroquias de: El Tambo, Catamayo y San Pedro de la Bendita, mientras que el 24% restante del área pertenece a la cuenca de Puyango – Tumbes con un área de 16.215 Ha. ubicados en las parroquias de Zambí y Guayquichuma respectivamente.

Con respecto a ello la zona de estudio la red hidrográfica se ubica en la zona alta de la cuenca hidrográfica del Río Catamayo y el Río Guayabal, es parte integral de la cuenca principal Catamayo-Chira en una extensión de 20.441,28 ha. Además, se halla conformada por 6 microcuencas, y 15 quebradas respectivamente. En la tabla siguiente se aprecia en detalle la distribución de la red hidrográfica presente en el territorio.

**Tabla 7:** Red Hidrográfica del cantón Catamayo

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

**Fuente:** Base de datos SENPLADES 2011

**Elaboración:** Equipo PDYOT 2014 – 2019



## 6.4. Geología

### 6.4.1. Geología Regional

Se refiere a la composición de las formas del relieve que se encuentran relacionados directamente con el tipo de sustrato rocoso (litología) o formación superficial. En dependencia del tipo de litología, se pueden relacionar los procesos exógenos que pueden modelar la geoforma, como fenómenos de erosión, tipo de drenaje y movimientos en masa, estos tipos de procesos pueden ser identificados en la fotografía aérea y que se relacionan con la información secundaria obtenida directamente de las cartas geológicas a escala 1:100 000 de Kennerley, Almeida 1973 y Steinmann y Hungerbuhler.

Dentro de la geología regional se destaca que la cuenca Catamayo se encuentra dentro del graben Catamayo - Cariamanga - Huancabamba. Es importante destacar que rocas de la Formación Sacapalca de edad Paleocénica son las que predominan el área de estudio. Hacia el S-W se extienden las rocas de la Formación Loma Blanca y al E encontramos rocas metamórficas de la Formación Chiguinda. Además, una gran extensión de material volcano-sedimentarios cubre el centro de la cuenca Catamayo, característicos de la Formación Gonzanamá.

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

Las unidades geológicas que se destacan dentro del área de estudio podemos describirla de la siguiente manera:

La **Unidad Chiguinda** está formado por rocas metamórficas de grado de metamorfismo bajo a medio, de edad Paleozoica; litológicamente se compone de esquistos grafitosos, pizarras, lentes de cuarcitas, metasamitas. Forman un cinturón de hasta 30 km de ancho en la parte sur de la Cordillera Real. Está flanqueada hacia el W por metagranitos de Tres lagunas y hacia el E por migmatitas de Sabanilla y esquistos, donde se acuña hacia el norte. Se asume que se deriva de una cuenca intracratónica y se la considera similar a rocas carboníferas y devónicas de la Depresión Perú-Bolivia. En el área de Catamayo esta unidad aflora en la parte sureste, estas rocas metamórficas se las puede visualizar en la vía principal Loja-Catamayo. Los esquistos tienen una foliación de dirección SW – SE.



La **Unidad Tres Lagunas** (Unidad Sabanilla), comprende una suite de gneises pelíticos y cuarzo feldespáticos de grado medio a alto. Los contactos con las adyacentes Unidades Chigüinda e Isimanchi son tectónicos. Paragénesis minerales comunes son: sillimanita-biotita-cuarzo-albita, cianita-biotita-ortoclaza-cuarzo, es decir asociaciones de alto grado metamórfico. La edad es de pérmico triásico (Litherland et al., 1994).

El intrusivo granodiorítico está formado por granodioritas de grano grueso, con tonalidades gris a rosado, el mismo que contiene xenolitos de rocas volcánicas. El cuerpo intrusivo superficialmente está muy meteorizado en el cantón Catamayo se localizan en pequeños afloramientos en la parte noreste del cantón y como un granito metasomático en el sector del Villonaco.

La **Unidad Sacapalca**, constituido mayormente por productos sedimentarios y volcánicos. Las litologías sedimentarias típicas incluyen conglomerados, areniscas y limolitas. La secuencia sedimentaria contiene gran cantidad de líticos volcánicos de composición andesítica. Las rocas volcánicas mayormente son brechas y en menor proporción lavas que ocurren intercaladas entre los paquetes sedimentarios. La Unidad Sacapalca ocurre como una secuencia elongada de rumbo N-S, entre las rocas metamórficas del Terreno Loja-Olmos y las rocas volcánicas y volcano-sedimentarias de la Cuenca Lancones-Alamor. La unidad tiene una edad Paleoceno-Eoceno (Jaillard et al., 1996) es probable porque la unidad esta intruída por el Plutón San Lucas (59-51 Ma; Aspden et al., 1992) y por la intrusión de El Tingo (47-50 ± 3 Ma; Kennerley, 1980).

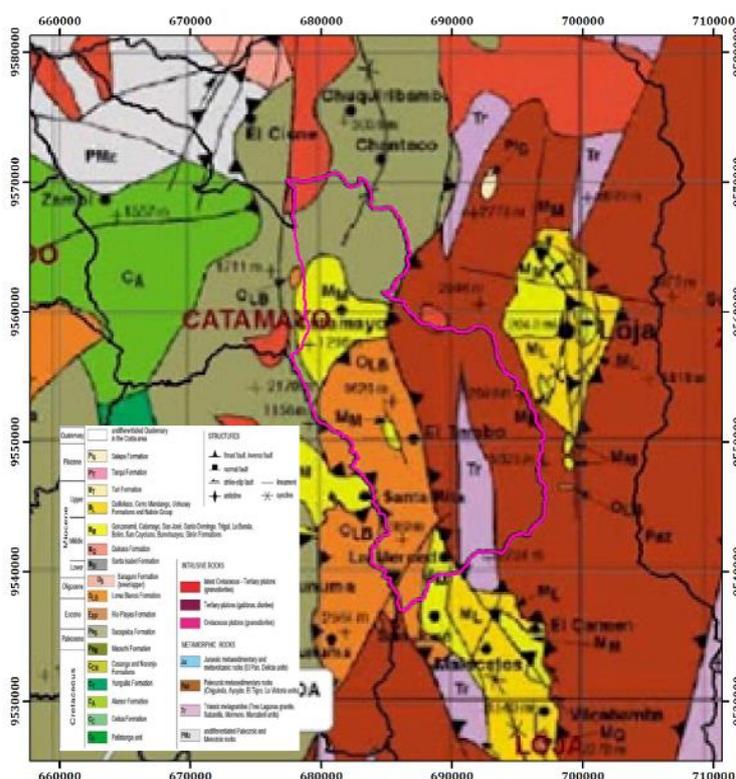
La **Formación Loma Blanca** de edad Eoceno-Oligoceno, la secuencia de este periodo agrupa a un conjunto de litologías que varían desde mantos de rocas volcanoclásticas de composición ácida hasta estratos de sedimentos de origen continental. Las litologías incluyen rocas sedimentarias con matriz volcánica y tobas riolíticas. La secuencia de origen volcánico depositado en un ambiente continental, es correlacionable con el evento volcánico denominado Saraguro. Estas rocas volcánicas son incluidas en la Formación Loma Blanca definida por Hungerbühler (2000). En el cantón Catamayo esta formación está presente al suroeste limitando con el cantón Gonzanamá.

**Formación Gonzanamá** de edad Paleoceno, se encuentra en una franja estrecha a lo largo del borde oriental ocupado por la formación Sacapalca, es una secuencia de sedimentos y volcánicos intercalados. Los sedimentos están bien estratificados en capas de 2 a 30 cm de



espesor y consiste de lutitas predominantemente negras, limolitas y areniscas de grano grueso. Estratos de chert y concreciones calcáreas se pueden encontrar en las lutitas, así como capas de caliza cerca de Nambacola. Un conglomerado basal y rizaduras de areniscas afloran cerca de Gerinoma, las rocas volcánicas son andesíticas y consisten principalmente en tobas y tobas aglomerática con lavas intercaladas.

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



**Figura 18:** Mapa Geológico de la Provincia de Loja.

**Elaborado:** Steinmann y Hungerbuhler

#### 6.4.2. Geología Local

Las parroquias de Catamayo y El Tambo están conformadas principalmente por material volcano-sedimentario y lavas andesíticas, además intruye cuerpos ígneos ácidos tipo granodiorítico, los volcano sedimentos comprenden: tobas riolíticas, tobas dacíticas, aglomerados volcánicos, lavas volcánicas, adicionalmente depósitos aluviales que están formada por limos, arenas y gravas, así como también, rocas metamórficas, volcánicas y volcano-sedimentarias, que se ubican al margen de los ríos Guayabal y Catamayo



La Unidad Chiguinda conformada por rocas metamórficas que constituye el basamento de la Cuenca de Catamayo, evidenciándose afloramientos en los sectores de Cocha Seca y Loma de Huacabamba, formados por filitas, esquisto grafitoso y micáceo, y cuarcitas, presentes en algunos sitios con algo grado de meteorización. Así mismo, en la zona centro sur, se observa material coluvial con clasto angulosos conformado por esquisto y filitas principalmente pertenecientes a dicha unidad.

Las rocas sedimentarias observadas en campo, están constituidos por arcillas, conglomerados intercalados con lutitas púrpuras y areniscas, además de capas de caliza y yesos localizadas localmente en el sector de San José, siguiendo la misma secuencia en el sector de La Merced se aprecian capas de lutitas marrones con intercalaciones de turba y carbón, y pátinas de azufre.

Estructuralmente la zona de estudio se encuentra atravesado por fallas regionales N-S, y fallas menores con orientaciones preferenciales NE-SW, NW-SE y E-W; entre las fallas regionales se encuentra las fallas Picota y Catamayo de dirección NW-SE, que controlan los bordes de la cuenca de Malacatos y el borde oriental de la cuenca de El Tambo-Catamayo (Litherland y otros, 1994); además existe un plegamiento que implica fuerzas compresionales, por lo que sugiere que estas fallas que presentan pendientes menores a 45° y al extenderse hasta varios kilómetros pueden ser fallas inversas de cabalgamiento. (Corrochano D., Reyes P., & Solís B., 2017)

En su conjunto, todas las litologías presentes en la zona, por procesos diferentes y eventos tectónicos fueron formando la Cuenca hasta la actualidad. (ver anexo 2: mapa geológico local)

Para fines del proyecto de investigación, las rocas han sido clasificadas en unidades de lo más antiguo a lo más joven de acuerdo a su ambiente de formación; el levantamiento geológico se realizó a través de visitas a los sectores en donde se procedió a la descripción de afloramientos en fichas técnicas, mismas que se encuentran en el apartado de (anexo 1), en donde se pudo evidenciar que la zona está compuesta por la litología que se detalla a continuación:

#### **6.4.2.1. Unidad Chiguinda**

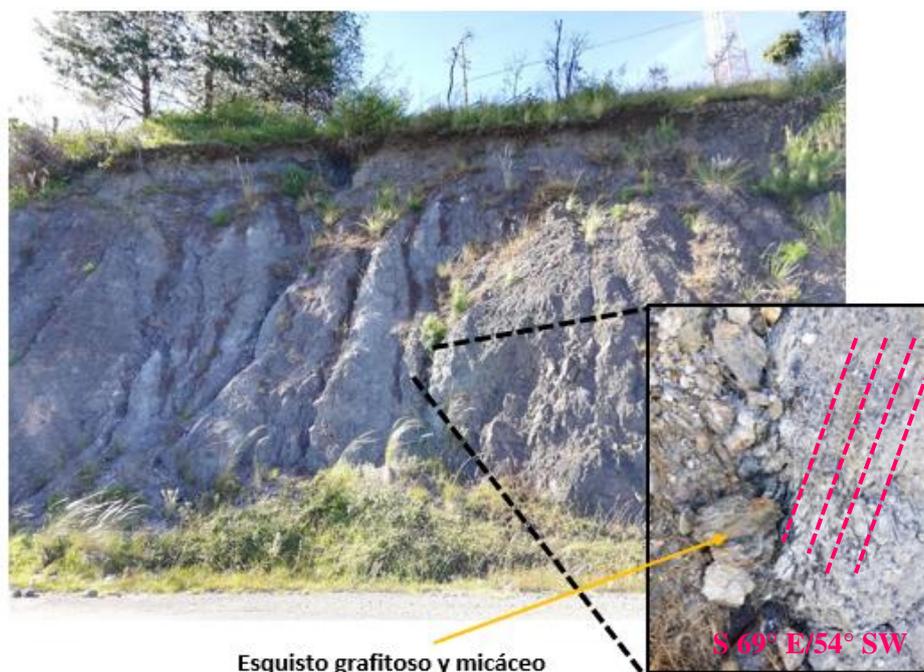
Los principales afloramientos de esta unidad se encuentran en las vías Loja-Catamayo y Loja-El Tambo, en las coordenadas UTM: 689485E; 9557776N y 692166E; 9553616N. Además, afloramientos adicionales se localizan en los sectores aledaños a La Era y La Palma.



La unidad consiste de intercalaciones de filitas, cuarcitas, esquistos grafitosos y esquistos micáceos. Las filitas y esquistos grafitosos son de color gris oscuro y textura lepidoblástica, mientras que los esquistos micáceos son de coloración café, con cristales de micas de 2-3mm de tamaño, medianamente meteorizados. Se intercalan niveles de cuarcitas de espesores menores a 40 cm, de grano fino a medio, color gris blanquecino y textura granoblástica. Los minerales que integran estas rocas tienen diferentes grados de dureza, entre 2 y 7,5 en la escala de Mohs y se rompen con facilidad.

La orientación general de la foliación de las rocas metamórficas es de norte-noroeste a sur-suroeste. Sin embargo hay sitios donde el clivaje de las filitas es casi horizontal cerca de la Loma Huacabamba. Se puede deducir de edad Paleozoico. (Kennerley, 1973).

Esta unidad se encuentra en contacto tectónico con las Unidades Infiernillo y Gonzabal hacia el oeste, mientras que hacia el sur-este se infiere en contacto tectónico con las Unidades Tres Lagunas y Capilla.



**Figura 19:** Esquisto grafitoso y esquisto micáceo.

**Fuente:** La Autora, 2020

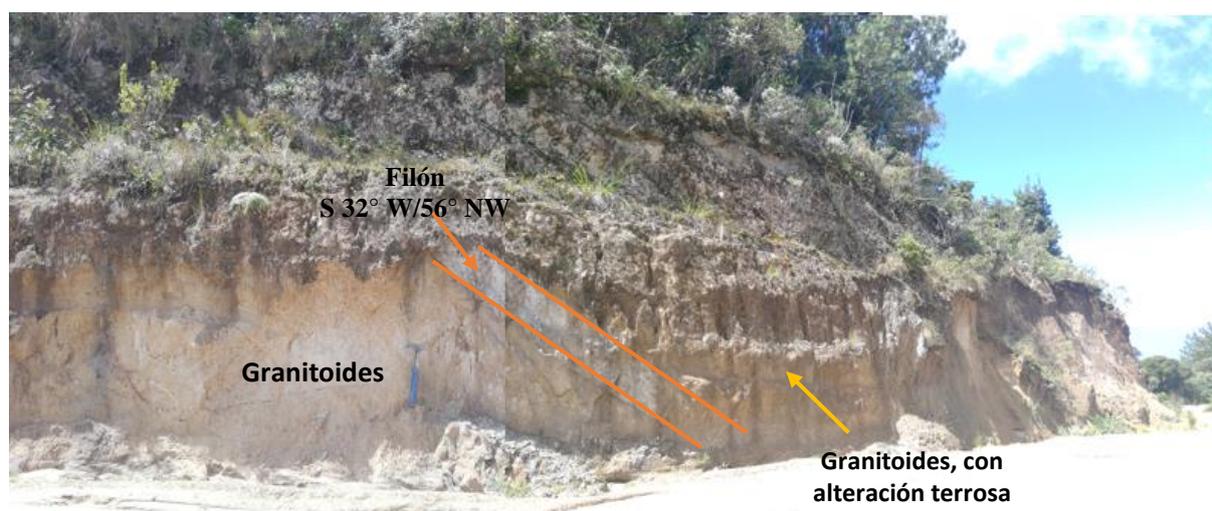
#### 6.4.2.2. Unidad Tres Lagunas

La Unidad Tres Lagunas se localiza en el extremo suroriental de la zona de estudio y los principales afloramientos se aprecian en las carreteras Loja – El Tambo, cerca de los sectores La Palma y La Argentina.



Litológicamente está constituida por cuerpos intrusivos (granitoides) de textura fanerítica de grano medio a grueso, localmente cizallada, lo que genera la formación diaclasas que presenta una dirección  $N32^{\circ}E/50^{\circ}NW$  por el sector La Argentina. Las rocas exhiben cristales de plagioclasa, moscovita, biotita y feldespato en menor cantidad. En la vía Loja-El Tambo (UTM: 690272E; 9549888N) afloran rocas graníticas con alteración terrosa y mínimo grado de metamorfismo, además la presencia de un filón con una orientación de  $S32^{\circ}W/56^{\circ}NW$ .

Para esta unidad se reporta una edad triásica (Litherland y otros, 1994). Al oeste de esta zona se encuentra intruída por el cuerpo granítico y las brechas volcánicas y flujos aglomeráticos de la unidad Capilla.



**Figura 20:** Granitoides (rocas graníticas) con alteración terrosa, presencia de plagioclasas.

**Fuente:** La Autora, 2020

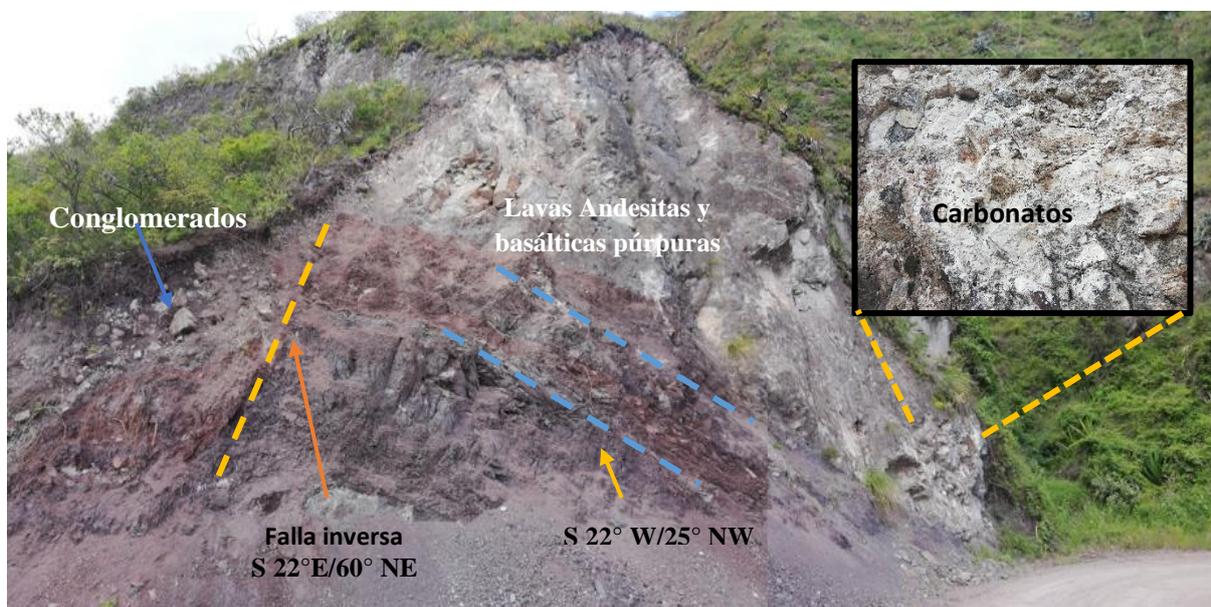
### 6.4.2.3. Unidad Gonzabal

Los principales afloramientos se encuentran al extremo norte del área de investigación, en la vía Chichaca – Trapichillo (UTM: 684965E; 9567969N).

Consiste de una secuencia volcano-sedimentaria caracterizada por tobas andesitas y andesitas basálticas masivas, de textura porfirítica y color gris, intercalándose con capas de conglomerados granodecrecientes con estratificación cruzada y matriz arenosa con clastos de andesitas y andesitas basálticas, subredondeados a redondeados rellenos de carbonatos amorfos, así mismo la presencia de una falla inversa con una orientación  $S22^{\circ}E/60^{\circ}NE$  y un desplazamiento de 1,65m; por otra parte en el sector de Chiniloma, en la base de esta secuencia volcano-sedimentaria se observan estratos de lavas andesíticas y basálticas púrpuras, areniscas y brechas volcánicas que generalmente presenta una orientación  $S22^{\circ}W/25^{\circ}NW$ .



Se le infiere una edad Paleocénica tardía tomando como referencia correlaciones estratigráficas entre unidades adyacentes. La unidad se encuentra hacia el este en contacto fallado con las rocas metamórficas de la Unidad Chiguinda, hacia el extremo sur se encuentra en contacto discordante a los sedimentos de la Formación Catamayo y a los flujos laharíticos de la Unidad Infiernillo. Al oeste subyace discordante de las unidades Tesalia.



**Figura 21:** Tobas andesíticas basálticas con presencia de carbonatos amorfos, junto a una discordancia de conglomerados con clastos andesíticos.

**Fuente:** La Autora, 2020

#### 6.4.2.4. Unidad Capilla

Defina por los afloramientos que se ubican en la parte del sector Capilla, de allí su nombre.

Está comprendida principalmente por andesitas y andesitas basálticas de color verde oscuro, textura porfirítica, junto con brechas volcánicas con líticos fragmentos de roca muy alterada de composición andesítica con una direccionalidad de  $S68^{\circ}W/30^{\circ}NW$  y dacítica donde se la puede observar en ciertos sectores muy diaclasada (UTM: 689730E; 9552687N), además de flujos aglomeráticos. La andesita basáltica en ciertos lugares (UTM: 689932E; 9543620N) presenta una cierta direccionalidad estructural, macroscópicamente se observa una pequeña alineación mientras que microscópicamente los minerales máficos no se encuentra alineados. Así mismo, en las coordenadas UTM: 689918E; 9546008N, se aprecia material residual en forma de arcilla roja producto de la alteración de las riolitas, su color se debe a la presencia de óxidos de hierro.

Por sus relaciones estratigráficas se le asume una edad Paleocénica. Esta unidad se encuentra hacia el este en contacto fallado con la unidad Tres Lagunas y Chiguinda y hacia el oeste



igualmente en contacto fallado con la unidad Infiernillos y Huayco y en contacto directo con los depósitos coluviales.



**Figura 22:** Brechas volcánicas de composición andesítica y presencia de tobas dacítica  
**Fuente:** La Autora, 2020

#### 6.4.2.5. Unidad Uritusinga

Esta unidad se encuentra en extremo este del mapa, definida por los afloramientos ubicados en la vía Punzara – El Tambo en el sector del cerro Uritusinga (UTM: 697253E; 9546395N).

Litológicamente está compuesto de flujos piroclásticos de brechas polilíticas y tobas dacíticas en ciertos sitios consolidada y grado de humedad alto (UTM: 696308E; 9547831N), con cristales de cuarzo y biotita. En el contacto fallado con la unidad Tres Lagunas se observa material arcilloso producto de la actividad tectónica que se pudo evidenciar en la zona de muestreo.

Se encuentran discordante y aislada sobre el basamento metamórfico, pero se estima por sus correlaciones estratigráficas una edad Eoceno – Oligoceno.



**Figura 23:** Tobas dacíticas consolidadas, con alta humedad  
**Fuente:** La Autora, 2020

#### **6.4.2.6. Unidad Tesalia**

La unidad se localiza hacia el noroccidente de la zona de estudio extiende hasta sitios aledaños al cerro Chucadel (UTM: 682560E; 9568950N).

Litológicamente consiste de brechas y autobrechas volcánicas de composición básica a intermedia. Las brechas son color gris oscuro, presentan líticos angulares a subangulares de andesitas con textura afanítica, además, de lavas andesíticas de textura porfirítica, colores gris verdosos y púrpuras, con cristales de plagioclasa y minerales de alteración como clorita y epidota.

Para esta unidad se estima una edad relativa Oligocénica. Se encuentra en contacto discordante sobre a la Unidad Gonzabal hacia el sureste, mientras que al oeste está intruída por cuerpos de composición granodiorítica.

#### **6.4.2.7. Formación Loma Blanca**

En la zona de estudio esta unidad se encuentra en el extremo sur, en sectores aledaños al barrio La Meced.

Litológicamente consiste de una secuencia de brechas volcánicas de color gris verdoso, con clastos de limolitas y andesitas de tamaños que varían desde los 0,08m a 0,8m, subangulares, clastosoportados en matriz tobácea, con alteración propilítica. Además, se intercalan con tobas



andesíticas púrpuras y areniscas finas volcánicas color púrpura, con granos subredondeados de rocas volcánicas.

De acuerdo con trabajos anteriores, se interpreta a la Formación Loma Blanca como parte de un arco volcánico continental del Oligoceno-Miocénica con una potencia aproximada de 2000 metros. (Hungerbühler, 1997)

Esta unidad descansa sobre las Unidades Tres Lagunas y Capilla y entra en contacto discordante al este con los depósitos aluviales y las rocas sedimentarias de la formación Santo Domingo.



**Figura 24:** Brechas volcánicas con clastos de andesitas subangulares  
**Fuente:** La Autora, 2020

#### 6.4.2.8. Formación Santo Domingo

Los afloramientos principales se observan a lo largo de la vía Malacatos - El Tambo, en los sectores de Santo Domingo y La Merced.

Litológicamente está formada por dos asociaciones de facies diferentes, cuyo tránsito es gradual y se interpreta como un cambio lateral de facies (Hungerbühler, 1997). La asociación de facies inferior y superior está compuesta mayoritariamente por facies lutíticas y evaporíticas (Miembro Yesos); con niveles enriquecidos en yeso que han sido explotados en la antigüedad mediante minería artesanal.



La asociación de facies intermedia está caracterizada por la presencia de lutitas, areniscas y capas de turba y carbón (Miembro Carbón). La unidad comienza con una secuencia de unos 100 m dominada por lutitas de color marrón oscuro (lutitas “chocolate”), ocasionalmente bioturbadas, que alternan cíclicamente con limos marrones de base y techo planos; también se observan intercalaciones muy esporádicas de areniscas de grano medio a grueso, las mismas que presentan una dirección  $S2^{\circ}E/42^{\circ}NE$ . Los materiales finos suelen presentar una pátina de azufre y adquieren una tonalidad amarillenta muy característica. También finas vetas de yeso, dispuestas de manera subhorizontal u oblicua a la estratificación, siguiendo planos de fracturación preferentes que aparecen a lo largo de toda la unidad.



**Figura 25:** Intercalaciones de lutitas, areniscas y carbón, presencia de pátinas de azufre. (UTM: 689160E; 9540892N)

**Fuente:** La Autora, 2020

La Formación Santo Domingo sobreyace concordantemente a la Formación San José y se estima un espesor aproximado de 700 metros definida por (Hungerbühler y otros, 2002), quienes además le asignaron una edad comprendida entre 14,2 y 10,5 Ma.

#### 6.4.2.9. Formación Catamayo

Los principales afloramientos están ubicados en los sectores de Trapichillo y Catamayo.

Litológicamente está compuesto por aglomerados con clastos volcánicos andesíticos de colores verde y púrpura, intercalados con lutitas púrpuras y areniscas amarillas de grano fino a grueso,



además de calizas y yeso que encuentran rellenando fracturas. Sobreyacen concordantemente limolitas estratificadas con una direccionalidad N25°W/25°SW de tonalidad gris clara y amarillenta, fracturadas, con rellenos de yeso y nódulos calcáreos que tienen una tonalidad gris clara verdosa. Además, por la lotización Isabel Arias se pueden apreciar depositación de arcilla de coloración blanquecino, amarillo y púrpura que abarca una gran extensión. Así mismo, se puede observar en las coordenadas (UTM: 682760E; 9556796N) tobas de composición dacítica cuya orientación es de S42°W/48°SE.

La potencia estimada es de aproximadamente 400 m. (Hungerbühler, 1997) asume una edad de Mioceno Medio. Los sedimentos de la Formación Catamayo sobreyacen discordantes a la Unidad Gonzabal y subyacen discordantemente a las brechas volcánicas de la Unidad Huayco.



**Figura 26:** Arcillas de varias tonalidades, lotización Isabel Arias (UTM: 681662E; 9557001N)  
**Fuente:** La Autora, 2020

#### **6.4.2.10. Unidad Huayco**

En la parte Oeste de la parroquia del Tambo se observa los principales afloramientos de esta unidad, en los sectores de La Era, el casco urbano del Tambo, Cequilla y Catamayito.

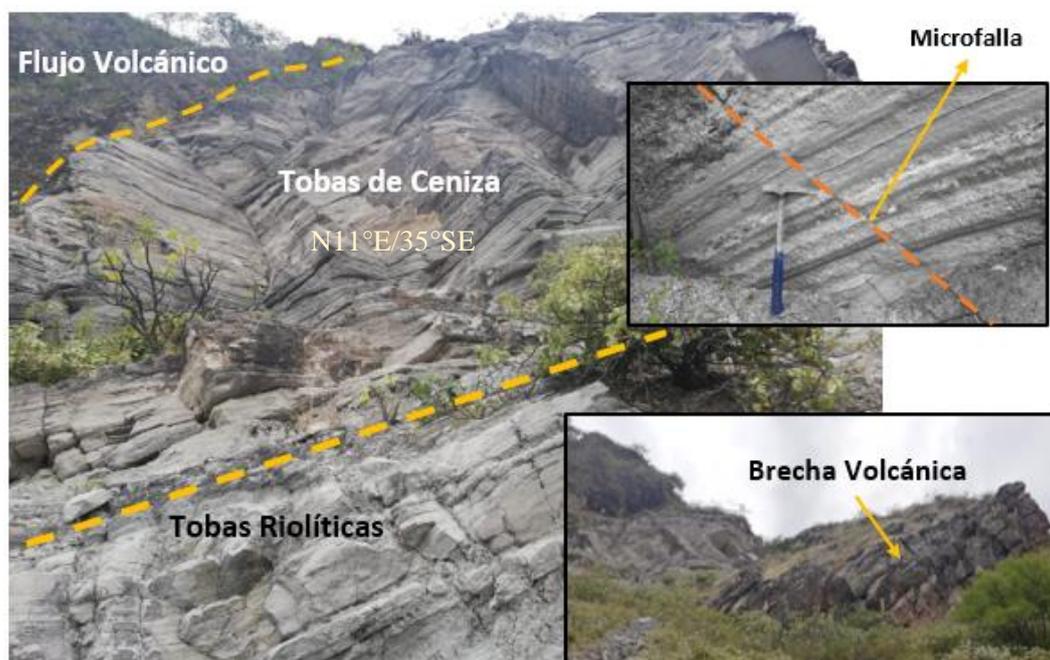
Litológicamente está constituido por aglomerado con clastos andesíticos de textura porfirítica y matriz arenosa, de tonalidades verdes, con intercalaciones de brechas volcánicas con clastos andesíticos subredondeados a subangulosos de tamaño de gránulos a guijarros, además en el sector de Catamayito (UTM: 680294E; 9553636N) la presencia de rocas volcano sedimentarias estratificadas distribuidas en una secuencia lo que enmarca diferentes eventos de depositación, en la base por brechas volcánicas intercaladas con tobas riolíticas y tobas de ceniza con potencia



de 4-6 m de espesor con dirección N11°E/35°SE y flujos volcánicos. También, existe la presencia de carbonatos como material de relleno entre las fisuras, además de una micro falla normal con un buzamiento de 38° y un desplazamiento de 0,09 m.

Así mismo, en el sector de Patacorral se observa la presencia de tobas riolíticas alteradas con tonalidades de diferente coloración que se deben a la contaminación, el color púrpura por hidróxidos de hierro (limonita), el color amarillo debido a la presencia de azufre y lo negro a materia orgánica.

Por las relaciones estratigráficas se estima una edad Miocénica. Esta unidad sobryace a los sedimentos de la formación Catamayo y se subyace discordantemente con la Unidad Infiernillos.



**Figura 27:** Brechas, tobas y flujos volcánicos, sector de Catamayito.

**Fuente:** La Autora, 2020

#### 6.4.2.11. Unidad Infiernillos

Sus principales afloramientos se ubican la parte central de la zona de estudio, en el sector de Infiernillos, de la cual toma el nombre.

Comprende una secuencia de flujos laharíticos de color gris, mal sorteados, de matriz arenosa, medianamente litificados y meteorizados, con cantos de andesitas porfiríticas de tamaños que varían desde los 0,15m a 0,5m, localmente contiene vetillas milimétricas de calcita. En el sector



de Catamayo aflora una secuencia de aglomerados de color café, con clastos andesíticos subredondeados a redondeados soportados en una matriz limo-arcillosa, cortados por vetillas de calcita, esta secuencia tiene una base erosiva, marcando de esa manera una discordancia entre la Formación Catamayo y la Unidad Infiernillo.

La potencia estimada es de 150 a 200 m aproximadamente. Se estima una edad Pliocénica con base en las relaciones estratigráficas observadas.

La Unidad Infiernillo sobreyace discordante a las brechas volcánicas de la Unidad Huayco y en contacto tectónico con las rocas metamórficas de la Unidad Chigiüinda. En la parte norte sobreyace discordantemente a la Unidad Gonzabal.



**Figura 28:** Aglomerados con clastos de andesitas  
**Fuente:** La Autora, 2020

#### 6.4.2.12. Depósitos Cuaternarios

Corresponden a cuerpos medianamente consolidados y en gran extensión. Se encuentran a lo largo del río Catamayo y morfológicamente se presentan como terrazas aluviales, incluyen bloques y cantos subredondeados a redondeados de rocas volcánicas y en menor porcentaje rocas metamórficas.

##### – Depósito Coluvial

Estos depósitos son acumulaciones formadas por alteración y desintegración in situ de las rocas ubicadas en las laderas superiores adyacentes y la acción de la gravedad. Involucran clastos distribuidos caóticamente y de diferentes tamaños compuestos por granitos, andesitas, filitas,



esquistos y cuarcitas. Los clastos presentan formas angulares, subangulares hasta subredondeados.



**Figura 29:** Depósitos coluviales, conglomerado con clastos angulosos de andesitas y esquistos

**Fuente:** La Autora, 2020

#### – Depósito Aluvial

Están conformados principalmente por cantos, bloques y guijarros poco consolidados de origen metamórfico y volcánico, en matriz limo-arcillosa, representados principalmente por esquistos, cuarcitas y granodioritas.



**Figura 30:** Depósitos aluviales, conglomerados con cantos redondeados de cuarcitas, andesitas y filitas.

**Fuente:** La Autora, 2020

#### 6.4.2.13. Rocas Intrusivas

Se identificaron cuerpos intrusivos que se localizan al nor-oeste del área de estudio. Los principales afloramientos del intrusivo se localizan principalmente en el sector de Naranjillo (UTM: 67998E; 9567676N).



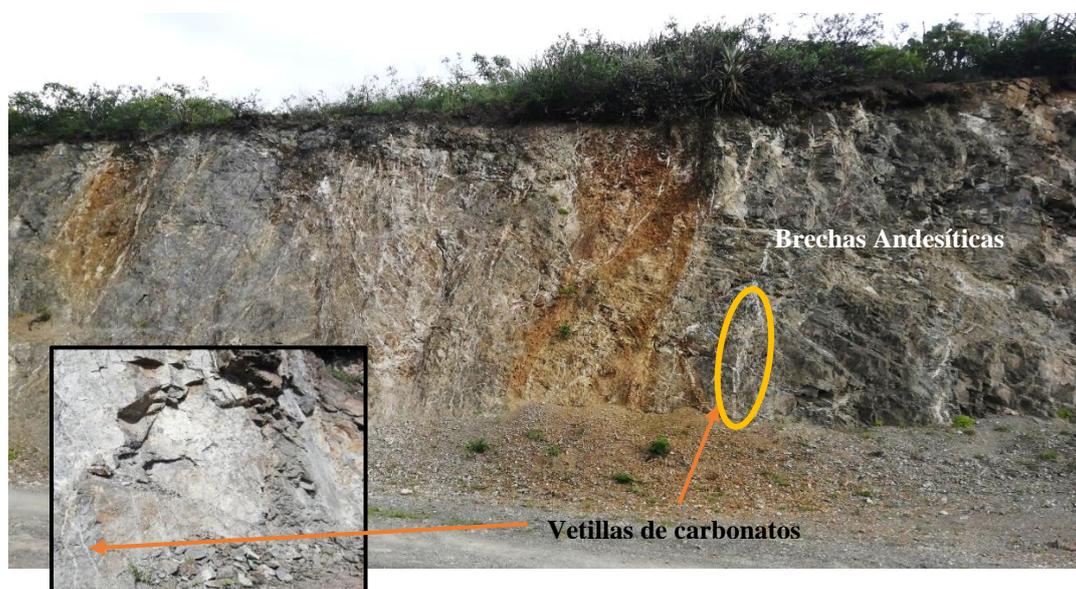
El intrusivo de consiste de granito de tonalidad gris, con textura fanerítica, estructura masiva, con cristales de plagioclasa, cuarzo, feldespatos alcalino y anfíbol, en estas rocas se observan xenolitos de rocas volcánicas que podrían pertenecer a la Unidad Tesalia.



**Figura 31:** Granitos de tonalidades gris  
**Fuente:** La Autora, 2020

#### 6.4.2.14. Rocas Volcánicas, Piroclásticas y Brechas

Los pórfidos andesíticos y las brechas andesíticas afloran en la vía Trapichillo-Chichaca, estas rocas son de color gris, textura porfirítica, estructuras masivas, con minerales de feldespatos potásicos y presentan alteración argílica acompañada de vetillas de carbonatos entre las fisuras, en ciertas zonas las andesitas se presentan en estructuras columnares esto debido a diferentes facies de formación.



**Figura 32:** Brechas andesíticas y vetillas de carbonatos entre las fisuras  
**Fuente:** La Autora, 2020



## 6.5. Geomorfología

Se ha definido las unidades a nivel de macro y meso relieve obteniéndose como resultado 5 unidades a nivel de macrorelieve y 10 unidades a nivel de mesorelieve (ver tabla 8), las cuales representan bastante bien el paisaje de la zona de estudio, de acuerdo al sistema de clasificación propuesto, mismo que fue ajustado a la realidad del área, tal como se aprecia en el anexo 3- mapa geomorfológico.

**Tabla 8:** Unidades geomorfológicas de las parroquias de Catamayo y El Tambo.

Macrorelieve	Mesorelieve	Génesis	Edad	Área	%
Montaña	Relieve Montañoso	Tectónico - Erosivo	Plioceno – Mioceno – Oligoceno – Triásico – Paleozoico	224,80	64,27
Serranía	Relieve Colinado Alto	Tectónico - Erosivo	Plioceno – Mioceno – Paleoceno – Triásico – Paleozoico	18,02	5,15
	Relieve Colinado Medio		Cuaternario – Plioceno – Mioceno – Oligoceno – Paleozoico	27,00	7,72
Penillanura	Vertiente Irregular	Tectónico - Erosivo	Cuaternario – Plioceno – Mioceno – Oligoceno	24,64	7,04
		Estructural	Mioceno – Paleoceno – Paleozoico		
	Coluvión	Denudativo	Mioceno – Paleozoico	4,77	1,36
	Coluvio Aluvial		Cuaternario – Mioceno – Oligoceno – Paleoceno	1,28	0,37
Pie de monte	Colinas Bajas	Deposicional	Cuaternario – Plioceno – Mioceno – Paleoceno	3,07	0,88
	Cuesta	Estructural	Mio – Oligocénica	2,17	0,62
Deposicional		Miocénica			
Valle	Planicie	Deposicional	Cuaternario – Plioceno – Mioceno	35,80	10,24
	Terraza Aluvial		Cuaternario – Plioceno – Mioceno	8,21	2,35

Fuente: La Autora, 2020

Cada una de estas unidades se las va describiendo en función del macrorelieve que es la geofoma que engloba a las unidades de mesorelieve.



## – Montaña

### *Relieve Montañoso*

Es la unidad más representativa en la zona de estudio a nivel de mesorelieve con un área de 224,80 km<sup>2</sup> que representa el 64,27% del territorio, dominante en la zona alta de las parroquias de Catamayo y el Tambo, se caracteriza por pendientes muy inclinadas (15° - 35°) a empinadas (35° - 55°), y un desnivel relativo variado que supera con facilidad los 300 m.

Geológicamente está compuesto por rocas metamórficas de la unidad Chiguinda de edad Paleozoico, rocas intrusivas como el granito procedente del Batolito de San Lucas que flora en ciertos lugares de la zona, granitoides cizallados de la unidad Tres Lagunas de edad Triásica, así como también, brechas volcánicas, aglomerados con clastos de andesitas y flujos laharíticos de las unidades Loma Blanca, Huayco e Infiernillos de edad Oligocénica, Miocénica y Pliocénica, respectivamente, en su conjunto todas estas litologías dan formas redondeadas y agudas en sus cimas; por otra parte en esta unidad podemos encontrar vegetación tipo arbustiva, sauces, duraznillos, cedros que representan el bosque nativo del área en estudio, así mismo, plantaciones temporales como maíz y camote.

## – Serranía

### *Relieve Colinado Alto*

Se encuentran ubicados principalmente en los sectores: La Palma, La Era, Cequilla, Trapichillo y Atillo, comprenden relieves muy fuertes, con pendientes que van desde los 15° a 55°. Se caracterizan por tener cimas redondeadas y vertientes convexas.

Litológicamente está formado por esquistos grafitosos de la unidad Chiguinda de edad Paleozoica, granitoides de la unidad Tres Lagunas de edad Triásica, rocas volcano-sedimentarias de la unidad Gonzabal y brechas volcánicas de la unidad Capilla ambos de edad Paleocénica, así como también, aglomerados con clastos de andesitas y tobas riolíticas de la unidad Huayco de edad Miocénica y flujos laharíticos de la unidad Infiernillos de edad Pliocénica, además, la cobertura vegetal presente es de tipo arbustiva y además existe cultivos de maíz. El área de esta unidad es de 18,02 km<sup>2</sup> correspondientes al 5,15%.



### ***Relieve Colinado Medio***

Estos relieves se encuentran al oeste de las parroquias, en los sectores: La Era, Capilla, Patacorral, Tambo Viejo, Los Tejares, San José y Trapichillo. La pendiente de estos relieves varía de 15 a 35°, presenta un relieve con cimas redondeadas y vertientes convexas. La cobertura vegetal está caracterizada por la presencia de cultivos temporales de maíz y permanentes limón, naranja, lima, y de vegetación arbustiva y arbórea. El área de esta unidad es de 27 km<sup>2</sup> que representa el 7,72% de la superficie total.

Está compuesto de depósitos coluviales de edad Cuaternaria, flujos laharíticos de edad pliocénica, aglomerados con matriz arenosa con clastos andesíticos y tobas riolíticas de diferentes tonalidades de la unidad Huayco, junto a arcillas, lutitas púrpuras y tobas dacíticas de la formación Catamayo, ambas de edad Miocénica, así también tobas andesíticas y areniscas y brechas volcánicas de la unidad Loma blanca de edad Oligocénica-Miocénica y andesitas de color verdoso, flujos aglomeráticos de la unidad Capilla y rocas volcano-sedimentaria de la unidad Gonzabal, mismas que presentan una edad Paleocénica.

#### **– Penillanura**

### ***Vertientes Irregulares***

Esta unidad se encuentra dispersa por toda la zona de estudio, comprende 24,64 km<sup>2</sup> que corresponde al 7,04% de las parroquias, se caracteriza por presentar formas cóncavas y convexas, grandes niveles relativos que van desde 200 a más de 300 m y un amplio rango de pendientes que varían desde los 0° hasta 55°, aunque predominan las pendientes muy inclinadas (15° - 35°), en cuanto a su cobertura vegetal se puede encontrar matorrales, además de plantaciones de tomate, maíz y camote.

Por su geología esta geoforma presenta dos orígenes, por una parte tectónico-erosivo compuesta principalmente de depósitos aluviales de edad Cuaternaria; tobas riolíticas y flujos laharíticos de la unidad Infiernillos de edad Pliocénica; brechas volcánicas y tobas riolíticas de la unidad Huayco, y arcillas de diversas tonalidades de la formación Catamayo, ambas de edad Miocénica; además de aglomerados, brechas y areniscas volcánicas de la formación Loma Blanca de edad Oligocénica-Miocénica; y un origen estructural formada por la estratificación con una orientación S2°E/42°NE de lutitas marrones con intercalaciones de turba y carbón de la formación Santo Domingo de edad Miocénica; así mismo, andesitas y rocas volcano-



sedimentarias estratificadas con una dirección S35°W/25°NW y la presencia de calcita entre las fisuras formando parte de la unidad Gonzabal de edad Paleocénica; y esquistos y filitas cuya foliación presenta una orientación N22°E/54°NW la unidad Chiguinda de edad Paleozoica.

### ***Coluvión***

Se ubica de manera dispersa por toda la superficie del área de estudio y ocupa una extensión de 4,77 km<sup>2</sup>, lo cual equivale al 1,36% de la superficie total. Se caracteriza principalmente por su grado de disección y la presencia de vegetación pionera tipo arbustiva, cultivos anuales y semipermanentes, lo que indica cierto nivel antigüedad.

Es de origen denudativo, pues se compone de materiales transportados y depositados al pie de los relieves montañosos de composición volcano-sedimentaria y presencia de fragmentos angulares rocosos, asociados a las unidades Huayco, Capilla y Gonzabal, así como a los granitos del Batolito de San Lucas que aflora en la parte norte del área de estudio. Por su composición geológica se asume edad Paleocénica-Miocénica.

### ***Coluvio Aluviales***

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

Geológicamente está conformado por conglomerados de varias composiciones generalmente ligado a los depósitos aluviales y coluviales de edad Cuaternaria, además de aglomerados de la unidad Huayco de edad Miocénica, brechas volcánicas, tobas andesíticas de la unidad Loma Blanca de edad Oligo-Miocénica y materiales volcano-sedimentarias de edad Paleocénica de la unidad Gonzabal. Esta unidad ocupa una extensión de 1,28 km<sup>2</sup> correspondientes al 0,37 %.

### **– Pie de Monte**

### ***Colinas Bajas***

Esta geoforma se ubica en el sector centro norte de la zona de estudio, en las cercanías de la zona urbana de Catamayo y ocupa una extensión de 3,07 km<sup>2</sup>, lo cual equivale al 0,88 % de la



superficie total. Morfológicamente estas geformas presentan formas de valle en V y cimas redondeadas, asociadas a vertientes de forma convexa, así mismo las pendientes que predominan son de tipo ligeramente inclinado ( $0^{\circ} - 5^{\circ}$ ) y fuertemente inclinado ( $5^{\circ} - 15^{\circ}$ ).

Litológicamente se asocia las arcillas, lutitas y tobas dacíticas de la formación Catamayo de edad Miocénica, además comprende zonas pequeñas de los depósitos aluviales de edad Cuaternaria, flujos laharíticos y aglomerados de la unidad Infiernillos de edad Pliocénica y andesitas y rocas volcano-sedimentarias de la unidad Gonzabal de edad Paleocénica. En su mayor parte se encuentran cubiertos por matorrales montanos secos que es un tipo de vegetación arbustivas típica de la zona.

### ***Cuestas***

Se ubica por los sectores de La Merced y la zona urbana de Catamayo, el área de esta unidad es de  $2,17 \text{ km}^2$  que representa el 0,62% de la superficie total, está asociada a pendientes ligeramente inclinadas ( $0^{\circ} - 5^{\circ}$ ) y fuertemente inclinadas ( $5^{\circ} - 15^{\circ}$ ), en cuanto a su cobertura vegetal se puede encontrar plantaciones permanentes de limones, naranja y plantaciones temporales de maíz.

Por su contexto geológico presenta dos orígenes, un estructural que está formado principalmente por lutitas marrones intercalados con areniscas y capas de turba y carbón que presentan una estratificación cuya dirección es  $S2^{\circ}E/42^{\circ}NE$ , perteneciente a la formación Santo Domingo de edad Miocénica, y un origen deposicional que está compuesta por arcillas, lutitas y tobas dacíticas la formación Catamayo de edad Miocénica.

### **– Valle**

### ***Planicie***

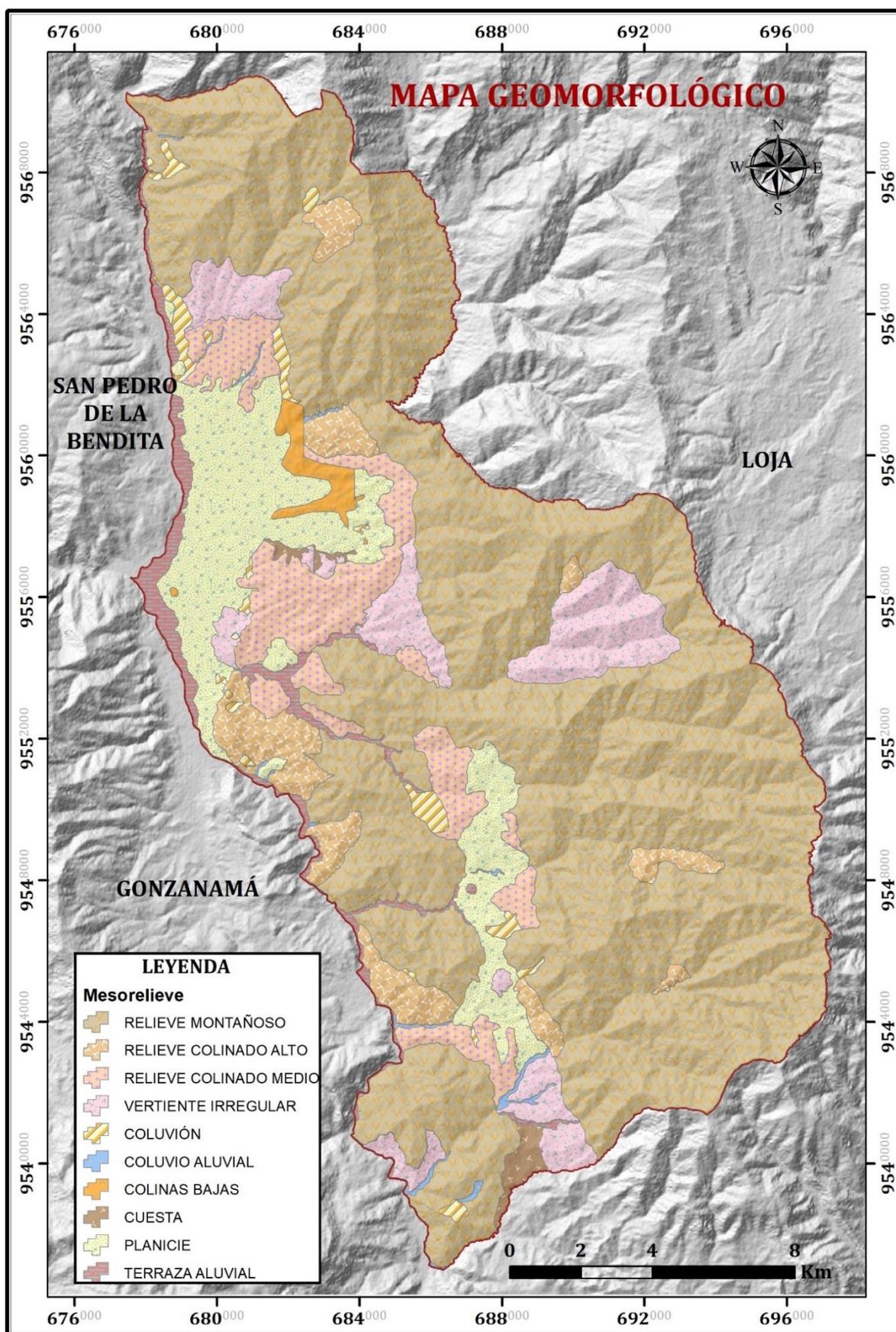
Unidad formada por materiales depositados de las partes altas. Se lo ubica puntualmente en las zonas urbanas de las parroquias de Catamayo y El Tambo, posee una pendiente media de  $0^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ . Litológicamente está formada por depósitos aluviales de edad Cuaternaria, lutitas, arcillas, tobas y areniscas de la formación Catamayo y aglomerados con clastos andesíticos y brechas volcánicas de la unida Huayco, ambas de edad Miocénica, además de aglomerados y tobas riolíticas de la unidad Infiernillos de edad Pliocénica, ligada a una cobertura vegetal de tipo agrícola, principalmente podemos observar las plantaciones de caña “Monterey” que forma



parte de geoforma. Ocupa una superficie de 35,80 km<sup>2</sup>, lo cual equivale al 10,24% de la superficie total.

### ***Terraza Aluvial***

Abarca un área de 8,21 km<sup>2</sup>, que representa el 2,35% del territorio, corresponde a superficies ligeramente inclinadas, menores a 5°, debido a su inclinación y además a su ubicación pues se encuentran a los márgenes de los ríos y quebradas, es propensa a inundación. Comprenden zonas en donde el material se ha ido depositando acorde a la geología del sector que está formado por depósitos aluviales compuesto por cantos redondeados y subredondeados de rocas metamórficas y volcánicas de edad Cuaternaria, así como también, tobas riolíticas de la unidad Infiernillos y aglomerados en matriz arenosa de la unidad Huayco, de edades Pliocénica y Miocénica respectivamente.



**Figura 33:** Mapa geomorfológico a nivel de mesorelieve de las parroquias de Catamayo y El Tambo  
**Fuente:** La Autora, 2020



### 6.5.1. Inventario de deslizamientos

Adicional a la información geomorfológica, se ha establecido mediante visita de campo y por fotointerpretación el inventario de deslizamientos, al ser procesos de remoción en masa que afectan la visualización del paisaje y en muchos casos el tránsito normal de vehículos pues muchos de ellos se ubican en los cortes de las vías.

Estos deslizamientos se presentan frecuentemente debido a procesos geodinámicos, condiciones de altas pendientes, por la acción del agua, condiciones geológicas (tipo de material), y en algunos casos, por la escasa vegetación. A continuación, se presenta la Tabla No. 9 en la que se enlista los procesos de remoción en masa presentes en el área de estudio.

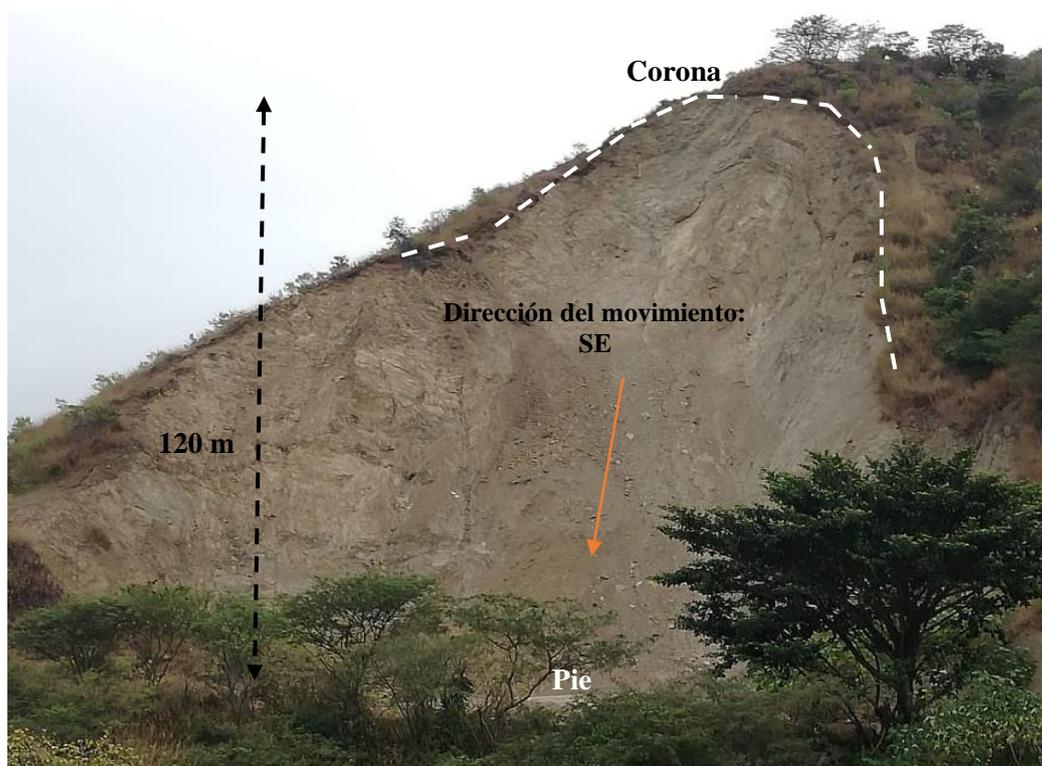
**Tabla 9:** Inventario de deslizamientos de las parroquias de Catamayo y El Tambo.

Deslizamientos	Sector	COORDENADAS UTM/WGS84		Área (Ha)	Porcentaje
		X	Y		
1	Chichaca	685399,32	9566107,89	0,04	0,19
2	Chichaca	685340,25	9566603,76	0,05	0,20
3	Chichaca	685048,21	9567251,63	0,06	0,26
4	Chiniloma	685446,28	9565224,67	0,16	0,70
5	El Tambo	689669,71	9550042,62	0,01	0,04
6	El Tambo	689773,07	9550010,19	0,05	0,21
7	Huacabamba	693492,14	9554346,94	1,45	6,37
8	Huacabamba	694142,72	9554581,85	0,26	1,15
9	Huacabamba	694036,42	9554866,84	0,12	0,53
10	Huacabamba	692930,57	9554098,06	0,34	1,49
11	Huacabamba	692870,01	9553820,97	0,07	0,31
12	La Argentina	696291,65	9547498,31	0,01	0,05
13	La Argentina	693740,95	9546902,42	0,06	0,25
14	La Capilla	689892,23	9545607,32	0,03	0,12
15	La Era	689959,23	9543679,38	0,32	1,42
16	La Era	689640,75	9543556,27	0,31	1,38
17	La Era	689058,95	9544095,40	0,35	1,55
18	La Era	689324,73	9543197,75	0,01	0,06
19	La Palma	694408,39	9549748,69	0,08	0,36
20	Las Aradas	690155,62	9552858,48	0,47	2,08
21	Las Aradas	692475,12	9553568,06	0,25	1,10
22	Las Aradas	692100,20	9553626,94	0,23	1,03
23	Las Aradas	691425,04	9553558,65	0,09	0,41
24	Las Aradas	689281,36	9552846,64	0,11	0,49
25	Naranjillo	679248,05	9569368,17	15,53	68,22
26	Trapichillo	681434,11	9563876,83	2,29	10,04
<b>TOTAL</b>				<b>22,76</b>	<b>100,00</b>

Fuente: La Autora, 2020



En consecuencia, los sitios que se han determinado como susceptibles a estos movimientos en orden jerárquico de acuerdo a la extensión que ocupan en el terreno, podemos encontrar con un 68,22% el deslizamiento 25 ubicado en el sector de Naranjillo que debido a su ubicación, no se pudo acceder al sitio por lo que se procedió a tomar sus datos mediante fotointerpretación y con ayuda de la ortofoto de Catamayo e imágenes del Google Earth Pro, y al ser un sitio constituido por granodioritas, se le asume que se encuentran muy alteradas, dando lugar a depósitos arenosos de grano fino y que asociado a una pendiente empinada ( $35^{\circ}$ - $55^{\circ}$ ) inducen a que este tipo de movimientos se activen, provocando un movimiento de masa, pero que a la fecha se encuentra latente; Así mismo, tenemos el deslizamiento 26 en el barrio Trapichillo que representa el 10,04% litológicamente está compuesto por tobas andesíticas altamente meteorizadas, poco consolidado debido a la humedad que presenta dichos materiales y sumado a una pendiente muy inclinada de  $43^{\circ}$ , ocasiona inestabilidad al talud.



**Figura 34:** Deslizamiento 26, sector de Trapichillo  
**Fuente:** La Autora, 2020

Por otra parte, en la zona de Huacabamba se encuentra el deslizamiento 7 que implica el 6,37% formado por filitas altamente meteorizadas no consolidadas, así como la presencia de material arenoso-arcilloso cubriendo el talud, además de una pendiente muy inclinadas de  $50^{\circ}$ , provocando que la resistencia de los materiales disminuya y con ello que se genere este proceso de remoción en masa.



**Figura 35:** Deslizamiento 7, sector de Huacabamba

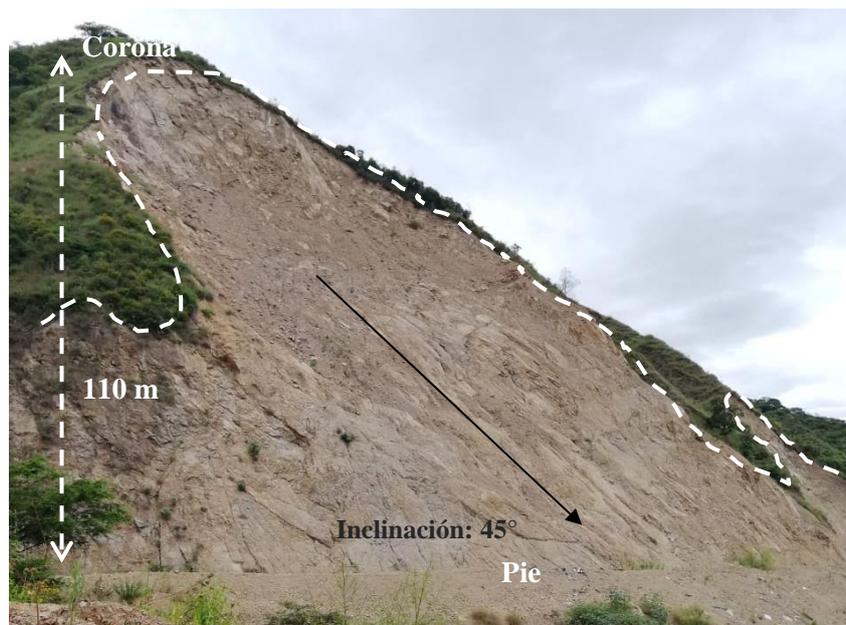
**Fuente:** La Autora, 2020

Finalmente, los 23 deslizamientos restantes ocupan áreas menores al 5% del total de territorio afectado y se los considera como movimientos menores, pues su extensión no representa un riesgo significativo, pero eso no quiere decir que sean despreciables.



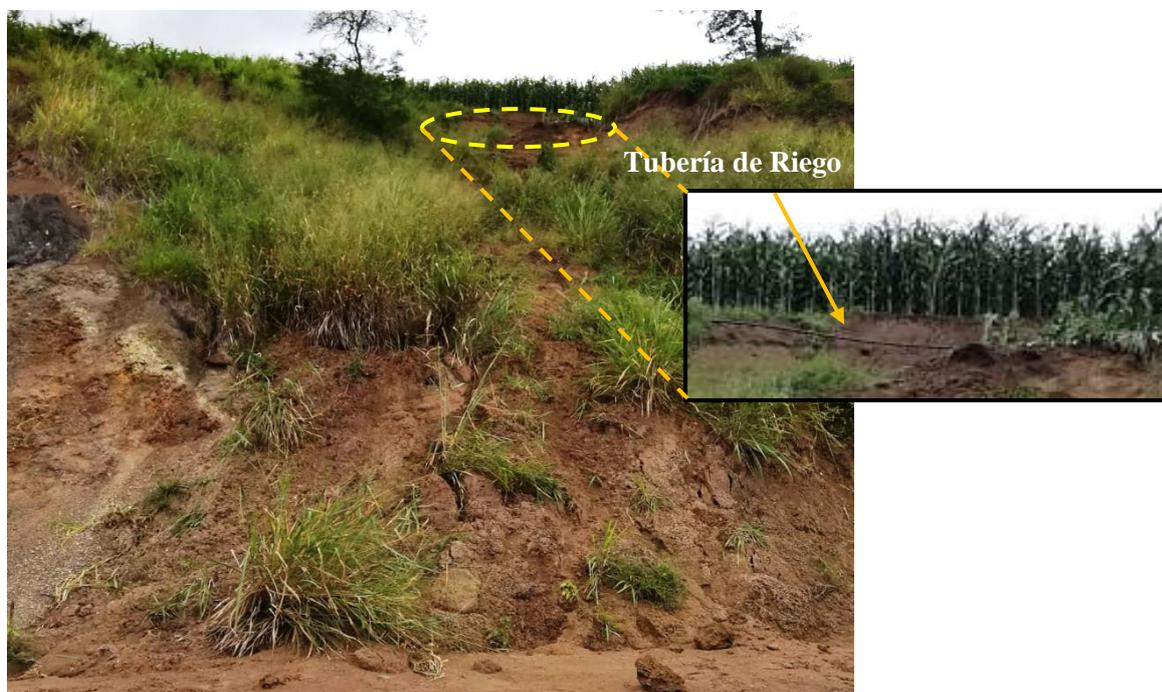
**Figura 36:** Deslizamiento 20, sector La Palma

**Fuente:** La Autora, 2020



**Figura 37:** Deslizamiento 17, sector La Era junto al margen de la vía intervalles  
**Fuente:** La Autora, 2020

Cabe recalcar que dichos deslizamientos 16 de ellos se encuentran activos y los 10 restantes se encuentran latentes, así mismo, se localizan al margen de las vías de primer y segundo orden, a excepción del deslizamiento 25 que se ubica en una zona de relieve montañoso formando parte de la Loma Semata; además, todos estos movimientos presentan alto grado de meteorización debido a la presencia de fuentes de agua ya sea por cauce natural y en algunos casos transportada por tuberías en mal estado que son utilizadas para riego.



**Figura 38:** Deslizamiento 16, ubicado en el sector de la Era, presencia de tuberías de riego  
**Fuente:** La Autora, 2020



## 6.6. Pendientes

Las pendientes obtenidas mediante el procesamiento SIG a partir del modelo digital de elevación se aprecia en la tabla 10, representadas en grados de acuerdo a la clasificación de DEMEK 1972, dando un total de 4 clases de pendientes.

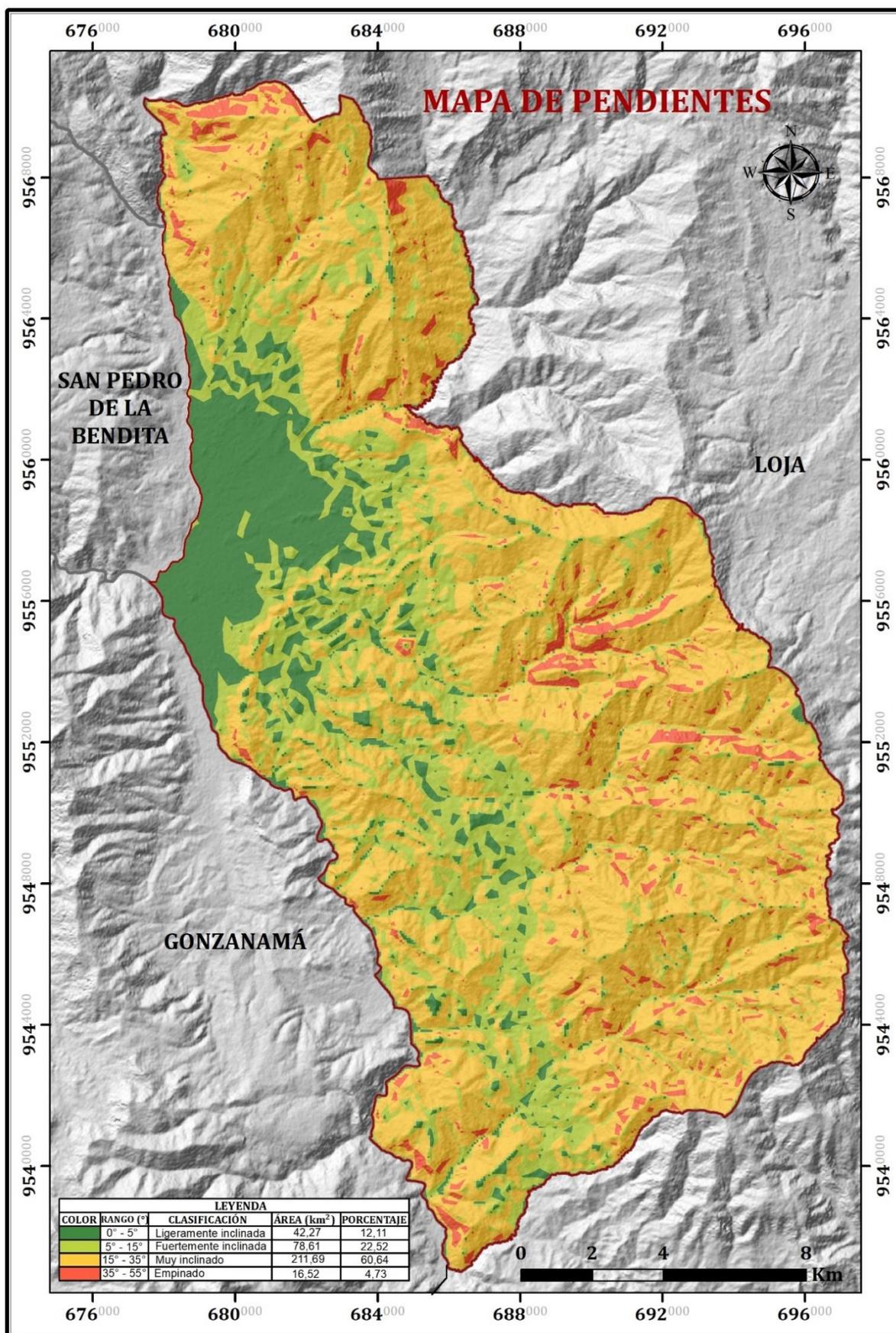
**Tabla 10:** Resultados de la caracterización de la pendiente de la zona de estudio.

Color	Clase	Rango (°)	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje
	Ligeramente inclinada	0° - 5°	42,27	12,11
	Fuertemente inclinada	5° - 15°	78,61	22,52
	Muy inclinada	15° - 35°	211,69	60,64
	Empinado	35° - 55°	16,52	4,73

**Fuente:** La Autora, 2020

Se observa en la figura 39 que los lugares de menos pendiente corresponden a relieves ligeramente inclinadas con pendientes que varían desde los 0° a 5°, presentan una superficie de 42,27 km<sup>2</sup> representando el 12,11% del territorio, ubicados principalmente hacia el NW del mapa, que forma parte del casco urbano, es decir, donde se localiza la mayor parte de asentamientos humanos de las parroquias de Catamayo y El Tambo, así como también, las principales plantaciones de caña de azúcar. Así mismo, se encuentran las pendientes fuertemente inclinadas con rangos que van desde los 5° a 15°, distribuyéndose de N a S en un área de 78,61 km<sup>2</sup>, es decir, el 22,52% de la zona de estudio. Es importante mencionar, que estas dos clases están asociadas en su mayoría a planicies y terrazas aluviales.

Por otra parte, los lugares con mayor pendiente, están ligados principalmente a relieves montañosos, obteniendo dentro de la misma 2 clases, la clase muy inclinada que se distribuye a lo largo de toda la zona de estudio con mayor tendencia hacia el E, en un área de 211,69 km<sup>2</sup> correspondiente al 60,64% del territorio, siendo la categoría predominante en el mapa, y en cual se ubican 22 de los 26 deslizamientos cartografiados; Así también, se localizan de forma dispersa por toda la zona de estudio, los relieves empinados con pendientes que van desde los 35° a 55°, presentan una extensión de 16,52 km<sup>2</sup>, equivalente al 4,73% de la superficie total, cabe recalcar que a esta clase se relaciona los 4 deslizamientos restantes.



**Figura 39:** Mapa de pendientes de las parroquias de Catamayo y El Tambo  
**Fuente:** La Autora, 2020



## 6.7. Uso Actual de Suelo

Mediante el desarrollo de la clasificación supervisada en la zona de estudio se ha determinado 5 tipos de coberturas, las cuales se pueden apreciar en la tabla 11.

**Tabla 11:** Resultados de la caracterización de uso actual de suelo, de la zona de estudio.

Color	Cobertura	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje
	Bosque Nativo	28,08	8,02
	Vegetación Arbustiva	197,88	56,54
	Tierra Agropecuaria	112,67	32,19
	Zona Antrópica	10,52	3,00
	Cuerpo de Agua	0,83	0,24

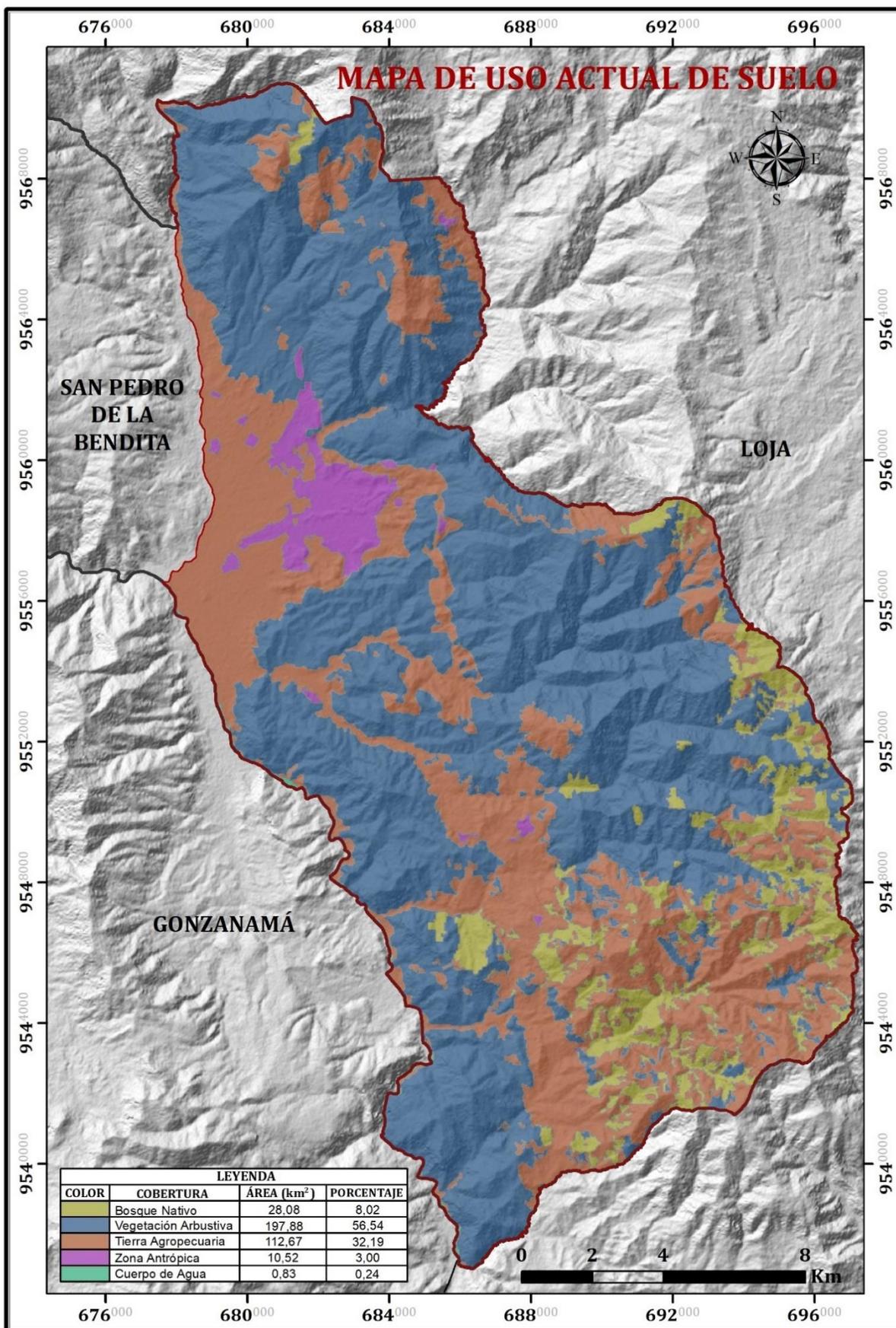
Fuente: La Autora, 2020

Siendo la Vegetación Arbustiva el uso de suelo que ocupa la mayor parte de la zona de estudio en un 56,54%, en donde se puede encontrar kikuyo, yaragua, chilena en la parte alta y media de El Tambo, además de pastos naturales y el matorral seco montano, siendo este último un tipo de vegetación característico de las zonas de Catamayo convirtiéndose en atractivos turísticos muy visitados.

Por otro lado, referido a las zonas de aprovechamiento para el desarrollo económico de la población se tiene las Tierras Agropecuarias que se caracterizan por la obtención de productos de ciclo corto como maíz, yuca, camote, además plantaciones temporales de tomate, limones, naranja y caña de azúcar principalmente en la zona de Catamayo; todos estos cultivos se despliegan en parcelas de terreno conformando el 32.19%.

Asimismo, se tiene las áreas de Bosque Nativos las que se caracterizan por especies como: ducos, tarume, duraznillo, cedro, sauce, entre otros, siendo zonas no afectadas por el avance de las actividades productivas, se encuentran establecidas en la parte E del territorio en un 8,02%.

Adicionalmente, existen áreas de uso Antrópico que se refieren a la ocupación de los asentamientos humanos de las parroquias de Catamayo y El Tambo, estas áreas contienen al 3% del territorio; y, finalmente, los cuerpos de agua ocupan un 0,24% del territorio que generalmente comprende parte de los recursos hídricos principales tanto de los ríos Guayabal y Catamayo.



**Figura 40:** Mapa de uso actual de suelo, de las parroquias de Catamayo y El Tambo  
**Fuente:** La Autora, 2020



## 6.8. Precipitaciones

Una vez desarrollado la interpolación mediante datos de 29 años (1981-2010) tomadas de las 10 estaciones más cercanas al área de estudio, se ha obtenido los datos de precipitación ocurrente en la zona, estos valores se muestran la tabla 12.

**Tabla 12:** Resultados de la caracterización de las precipitaciones de la zona de estudio.

Color	Clase	Rango (mm/año)	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje
	Muy Baja	301,45 - 530,54	71,37	20,40
	Baja	530,54 - 759,63	193,64	55,35
	Media	759,63 - 988,72	84,81	24,24

**Fuente:** La Autora, 2020

Es así que, el territorio, se encuentra atravesado por el rango de 3 categorías de acuerdo a la intensidad de las precipitaciones, esto es, en categoría media con intensidades de lluvia que van desde los 759,63 a 988,72 mm/año, localizándose en la parte E de la parroquia El Tambo, correspondiente a los sectores de La Palma y La Argentina, siendo el 24,24% del territorio, además es necesario destacar que en esta categoría se asocia 11 de los 26 deslizamientos existentes en la zona de estudio.

En categoría baja se registran precipitaciones que van desde los 530, 54 a 759,63 mm/año, se ubica en la parte central y NW del área investigada, siendo este rango el más predominante abarcando un 55,35% del territorio y en cual se encuentran ligados los 14 deslizamientos restantes.

Sin embargo, es importante recalcar que, aunque exista diferentes rangos de precipitaciones, en estas dos últimas categorías se evidencia un régimen similar de humedad, que está íntimamente asociado a los deslizamientos que se han generado a estas zonas.

Finalmente, en categoría muy baja se encuentra la mayor parte de asentamientos humanos, pues este rango se ubica específicamente en el casco urbano de la cabecera cantonal con precipitaciones que varían desde los 301,45 a 530,54 mm/año, correspondiente al 20,40%, y en donde no existe evidencia de que se produzca algún tipo de movimientos de masa; por lo tanto, lo que se puede observar es que conforme nos vamos hacia el W existe una disminución de la intensidad.

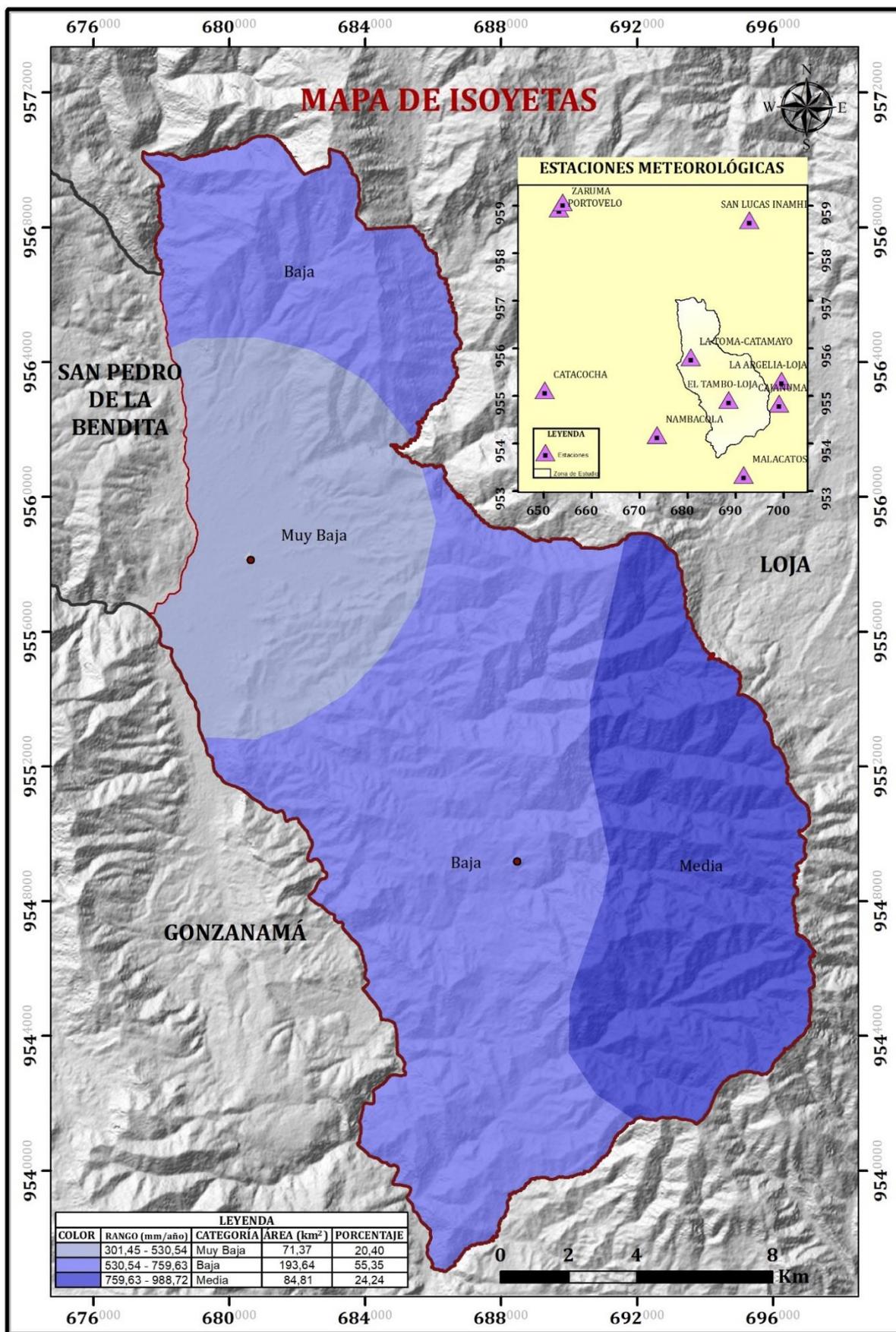


Figura 41: Mapa de precipitaciones de las parroquias de Catamayo y El Tambo  
 Fuente: La Autora, 2020



## **6.9. Susceptibilidad a Deslizamientos**

Para realizar la valoración de la susceptibilidad a deslizamientos, se aplicó la metodología del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) de Thomas L. Saaty, el mismo que utiliza la asignación de pesos a cada una de las variables de los mapas de geomorfología, geología, pendientes, uso e isoyetas, que representan la importancia de cada uno de estos criterios en la generación de deslizamientos, es decir, se procedió a ordenarlos de forma jerárquica iniciando con las variables de mayor influencia a que se produzca un deslizamiento hasta los de menor influencia, por tanto los factores que tengan mayor afectación a estos movimientos en masa deben contener un mayor peso.

Dentro de este análisis, se presentan las tablas de la normalización de cada mapa generado para obtener el peso de cada variable.

### **6.9.1. Determinación de los pesos de la geomorfología.**

Geomorfológicamente las parroquias de Catamayo y El Tambo presentan relieves accidentados en la mayor parte del territorio, es así que, las planicies y terrazas aluviales, al ser relieves de menor pendiente no se consideran como factores condicionantes a procesos de remoción en masa, así mismo, los relieves compuesto por coluvio aluviales y coluviones presenta poca evidencia a procesos de desestabilización debido a sus características litológicas y de pendiente, por otra parte, los relieves colinados altos y medios y las colinas bajas ya se observa ciertas anomalías que pueden incidir para que se produzca este tipo de movimientos, a diferencia de las vertientes irregulares, las cuestas, el relieve montañoso y los deslizamientos, que son unidades que ya presentan indicios y en algunos casos ya se observa zonas desestabilizadas, debido a acciones antrópicas como apertura de vías y agua superficial mal canalizada, que han provocado que estos movimientos se activen.

Cabe recalcar que dentro de esta sección se ha colocado al inventario de deslizamientos, mismo que se representa como la variable con mayor peso, al ser sitios que, por diversos factores como el tipo de litología junto con sus características de humedad y meteorización, el grado de la pendiente, el tipo de vegetación y las actividades antrópicas han hecho que en estas zonas ya se produzca este tipo de movimientos de masa.



**Tabla 13:** Matriz de valoración de la geomorfología

<b>Geomorfología</b>	<b>Deslizamientos</b>	<b>Relieve Montañoso</b>	<b>Cuesta</b>	<b>Vertiente Irregular</b>	<b>Relieve Colinado Medio</b>	<b>Colinas Bajas</b>	<b>Relieve Colinado Alto</b>	<b>Coluvión</b>	<b>Coluvio Aluvial</b>	<b>Planicie</b>	<b>Terraza Aluvial</b>	<b>PESOS</b>
Deslizamientos	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	0,195
Relieve Montañoso	1/2	1	2	2	3	3	3	3	3	4	4	0,156
Cuesta	1/2	1/2	1	2	2	3	3	3	3	4	4	0,136
Vertiente Irregular	1/3	1/2	1/2	1	2	2	3	3	3	3	4	0,111
Relieve Colinado Medio	1/3	1/3	1/2	1/2	1	2	2	2	2	3	3	0,084
Colinas Bajas	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1	2	3	2	3	4	0,081
Relieve Colinado Alto	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1	2	3	3	4	0,071
Coluvión	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1/3	1/2	1	3	3	4	0,061
Coluvio Aluvial	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/3	1/3	1	3	2	0,045
Planicie	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	2	0,032
Terraza Aluvial	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1/4	1/4	1/4	1/2	1/2	1	0,026
												<b>1,00</b>

**Fuente:** (Saaty., 1980)

**Elaboración:** La Autora, 2020



### **6.9.2. Determinación de los pesos de la geología**

En este sentido, se ha colocado cada uno de su peso en función del grado de meteorización que se pudo observar en campo y el tipo de pendiente, es así que se tiene como materiales que presentan menor incidencia a que ocurra procesos desestabilizadores, a los depósitos aluviales pese a que son materiales poco consolidados, pero se localizan en pendientes ligeramente inclinadas, y así mismo, las brechas volcánicas y los pórfidos ambos de composición andesítica, pues su grado de meteorización y el índice de humedad es bajo, volviéndolas rocas muy competentes.

Siguiendo la misma secuencia, se encuentran los coluviales; las arcillas, lutitas y tobas dacíticas de la formación Catamayo; y las brechas y areniscas volcánicas, tobas andesíticas de la formación Loma Blanca como materiales poco influyentes a que se produzcan deslizamientos.

Por otra parte, los flujos laharíticos y aglomerados de la unidad Infiernillos; las rocas intrusiva donde se ubica un deslizamiento y el que cubre mayor extensión; las brechas volcánicas y rocas volcano-sedimentarias de las Unidades Tesalia y Gonzabal, las lutitas de la formación Santo Domingo; las filitas, cuarcitas y esquistos de la formación Chuiguinda y los granitoides de la unidad Tres Lagunas, que a pesar de ser en algunos casos rocas y materiales competentes por las características de alta humedad y pendiente muy inclinadas se vuelven más vulnerables, además en estas tres últimas unidades se presentan la mayor parte de los deslizamientos, 17 para ser exactos.

Finalmente, las andesitas y brechas de la unidad Capilla, los aglomerados de la unidad Huayco y flujos piroclásticos de la unidad Uritusinga, materiales que, por el efecto de agentes erosivos, actividades antrópicas, han provocado que este fenómeno de remoción en masa se active en este tipo de litologías y se genere hasta la fecha 8 deslizamientos.

Es por ello que al comparar cada una de los valores se determinó los siguientes pesos:



**Tabla 14:** Matriz de valoración de la geología.

Geología	Flujos piroclásticos de brechas polifíticas y tobas dacíticas	Aglomerados matriz arenosa y brechas volcánicas	Andesitas, brechas volcánicas y flujos aglomeráticos	Granitoides variablemente cizallados	Filitas, cuarcitas, esquistos micáceos y grafitosos	Lutitas, areniscas, capas de turba y carbón	Volcano-sedimentos, aglomerados, tobas y lavas andesíticas y basálticas	Brechas volcánicas básicas a intermedias, lavas andesíticas	Granito	Flujos laharíticos y aglomerados	Brechas volcánicas, tobas andesíticas y areniscas volcánicas	Arcillas, lutitas, limolitas, areniscas y tobas dacítica	Depósito Coluvial	Brechas volcánicas tipo andesíticas	Depósito Aluvial	PESOS
Flujos piroclásticos de brechas polifíticas y tobas dacíticas	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	0,144
Aglomerados matriz arenosa y brechas volcánicas	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	0,134
Andesitas, brechas volcánicas y flujos aglomeráticos	1/2	1/2	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	0,113
Granitoides variablemente cizallados	1/2	1/2	1/2	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	4	4	0,084
Filitas, cuarcitas, esquistos micáceos y grafitosos	1/3	1/2	1/2	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	0,085
Arcillas, lutitas, areniscas, capas de turba y carbón	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	3	2	3	2	4	4	4	0,078
Volcano-sedimentos, aglomerados, tobas y lavas andesíticas y basálticas	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	2	2	2	3	3	3	4	0,064
Brechas volcánicas básicas a intermedias, lavas andesíticas	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	2	2	3	3	4	4	0,056
Granito	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/3	1/2	1	1	2	2	3	3	3	4	0,054
Flujos laharíticos y aglomerados	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	3	3	3	4	0,049
Brechas volcánicas, tobas andesíticas y areniscas volcánicas	1/3	1/3	1/3	1/2	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	3	3	4	0,042
Arcillas, lutitas, limolitas, areniscas y tobas dacítica	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1	2	3	3	0,031
Depósito Coluvial	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1	3	3	0,027
Brechas volcánicas tipo andesíticas	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	3	0,022
Depósito Aluvial	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1/3	1	0,017
																<b>1,00</b>

Fuente: (Saaty., 1980)

Elaboración: La Autora, 2020



### 6.9.3. Determinación de los pesos de la pendiente.

El sector de estudio se caracteriza por presentar pendientes empinadas con rangos de 35° a 55°, por lo que son estas zonas las más susceptibles a deslizarse que las zonas de menor pendiente o ligeramente inclinadas.

**Tabla 15:** Matriz de valoración de la pendiente.

Pendientes		35° - 55°	15° - 35°	5° - 15°	0° - 5°	PESOS
		Empinado	Muy inclinado	Fuertemente inclinada	Ligeramente inclinada	
35° - 55°	Empinado	1	2	3	4	0,450
15° - 35°	Muy inclinado	1/2	1	3	4	0,321
5° - 15°	Fuertemente inclinada	1/3	1/3	1	2	0,142
0° - 5°	Ligeramente inclinada	1/4	1/4	1/2	1	0,087
						<b>1,00</b>

**Fuente:** (Saaty., 1980)

**Elaboración:** La Autora, 2020

### 6.9.4. Determinación de los pesos del uso actual de suelo.

En el área de estudio se consideró al cuerpo de agua y zona poblada como los de menor incidencia a que ocurra procesos desestabilizadores, ya que son terrenos de poca pendiente y litologías en gran medida competentes; de igual modo, tenemos el bosque nativo si bien son zonas con limitada actividad antrópica, puede suscitarse deslizamientos por presentar pendientes muy inclinadas, además de litologías con alto grado de meteorización, pese a que por sus grandes raíces presenten sistemas radicales de anclaje en el perfil del suelo, aumentando su resistencia a la ruptura y con ello la estabilidad del terreno a los movimientos de masa; así mismo, se encuentra la vegetación arbustiva, pues al ser un tipo de cobertura con raíces más pequeñas que la arbórea, la resistencia a la ruptura del suelo decrece, esto sumado a pendientes muy inclinadas y geológicamente con materiales poco competentes, se vuelve vulnerable antes estos fenómenos de remoción en masa; finalmente como uso de mayor incidencia se encuentra la tierra agropecuaria al ser sitios donde se generan degradación de suelos provocando pérdida de cobertura vegetal, que luego serán afectados directamente por agentes erosivos.



**Tabla 16:** Matriz de valoración del uso actual del suelo

Uso de Suelo	Tierra Agropecuaria	Vegetación Arbustiva	Bosque Nativo	Zona Antrópica	Cuerpo de Agua	PESOS
Tierra Agropecuaria	1	2	3	3	4	0,391
Vegetación Arbustiva	0,50	1	2	3	4	0,272
Bosque Nativo	0,33	0,50	1	2	2	0,154
Zona Antrópica	0,33	0,33	0,50	1	2	0,110
Cuerpo de Agua	0,25	0,25	0,50	0,50	1	0,073
						<b>1,00</b>

**Fuente:** (Saaty., 1980)

**Elaboración:** La Autora, 2020

### 6.9.5. Determinación de los pesos de las isoyetas.

En cuanto a las precipitaciones, las parroquias de Catamayo y El Tambo se caracterizan por fluctuaciones que van desde 301,45 hasta 988,72 mm/año, estos rangos se han clasificado en muy baja, baja y media, por lo que esta última categoría será la de mayor incidencia, pues la infiltración de aguas de lluvia genera que el grado de saturación de los materiales aumente provocando su inestabilidad y en el peor de los casos el colapso.

**Tabla 17:** Matriz de valoración de isoyetas

Isoyetas		759,63 - 988,72 (mm/año)	530,54 - 759,63 (mm/año)	301,45 - 530,54 (mm/año)	PESOS
		Media	Baja	Muy Baja	
759,63 - 988,72 (mm/año)	Media	1	2	4	0,557
530,54 - 759,63 (mm/año)	Baja	0,50	1	3	0,320
301,45 - 530,54 (mm/año)	Muy Baja	0,25	0,33	1	0,123
					<b>1,00</b>

**Fuente:** (Saaty., 1980)

**Elaboración:** La Autora, 2020

### 6.9.6. Determinación de los pesos de la Susceptibilidad Final

Para el realizar finalmente el análisis del mapa de susceptibilidad a deslizamientos se analiza todas las variables y se le asigna un valor en dependencia del grado de importancia que le desean colocar a cada uno, para ello se determinó a la geomorfología como la de mayor influencia pues es la variable que prácticamente cubre dos parámetros que inciden directamente en la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa como lo es la pendiente y la geología; como segundo lugar se colocó la geología debido a que en las visitas de campo se pudo observar que los materiales en gran parte se encuentran fracturados y presentan un rango de meteorización de media a alta;



como tercer puesto se encuentra las pendientes, si bien esta variable está directamente relacionada a los movimientos de masa, se la ha colocado en este puesto, al ser una variable como ya se mencionó se ha tomado en cuenta al realizar el mapa geomorfológico de la zona de estudio; en cuarto puesto se ha considerado el uso actual del suelo, es la variable que presenta un menor grado de influencia en la inestabilidad del terreno, puesto que la mayor parte del territorio lo comprende la vegetación arbustiva y esto ayuda a que se reduzca las presiones intersticiales evitando en cierta medida que se acelera la ocurrencia de deslizamientos; y finalmente, las isoyetas, siendo un factor desencadenante para que se generen este tipo de procesos, pero solo en periodos de altas precipitaciones, pues con ello se aumentan las fuerzas desestabilizadoras y reduce la resistencia del suelo, provocando el colapso en algunos casos, además a esto se le suma la humedad que presentan los materiales y que está en un rango de media a alta en sitios de altas pendientes y donde se observa la mayor parte de deslizamientos activos y latentes hasta la fecha.

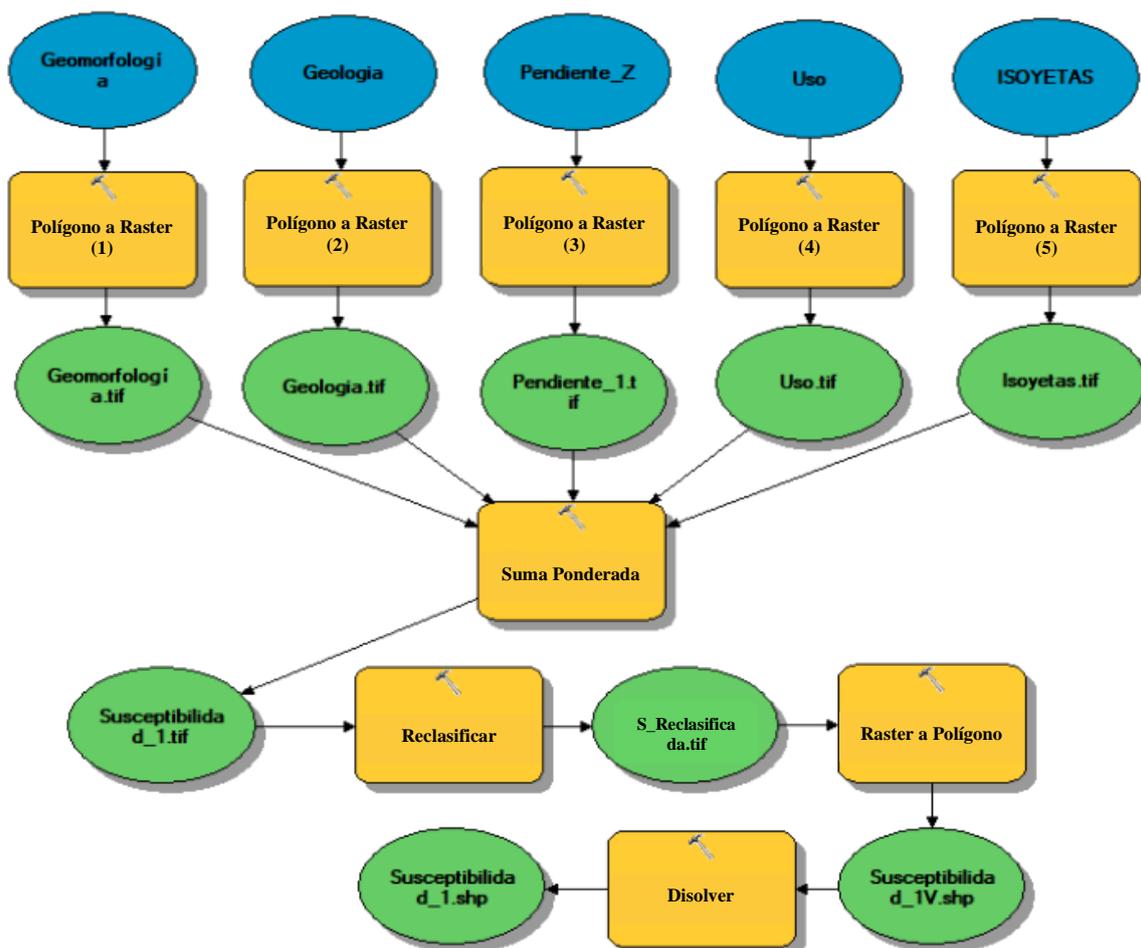
**Tabla 18:** Matriz de valoración de la susceptibilidad final.

SUCEPTIBILIDAD FINAL	Geomorfología	Geología	Pendiente	Uso Actual de Suelo	Isoyetas	PESOS
Geomorfología	<b>1</b>	2	2	3	3	0,346
Geología	1/2	<b>1</b>	2	3	3	0,260
Pendiente	1/2	1/2	<b>1</b>	3	3	0,201
Uso Actual de Suelo	1/3	1/3	1/3	<b>1</b>	3	0,118
Isoyetas	1/3	1/3	1/3	1/3	<b>1</b>	0,075
						<b>1,00</b>

**Fuente:** (Saaty., 1980)

**Elaboración:** La Autora, 2020

Una vez determinado cada uno de los pesos y para la realización del mapa se lo hizo mediante la herramienta Model Builder donde se ingresaron todas las variables antes descritas y las diferentes herramientas del software ArcGIS versión 10.5, obteniendo el siguiente modelo:



**Figura 42:** Diagrama de flujo “Model Builder” para la obtención del mapa de susceptibilidad a deslizamientos.  
**Fuente:** La Autora, 2020

### 6.9.7. Interpretación del Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos

De acuerdo a los criterios considerados y mediante la herramienta de suma ponderada, se ingresaron cada una de las variables en formato ráster para agruparlas y realizar un análisis completo, dando como resultado el mapa de susceptibilidad a deslizamientos de las parroquias de Catamayo y El Tambo, estos datos se desarrollaron a escala 1: 25 000, y están categorizados de acuerdo a 5 rangos mediante intervalos iguales, en los que se ha estimado el área y porcentaje que ocupan, como se observa en la tabla 19.

**Tabla 19:** Categorías susceptibilidad a deslizamientos.

Color	Clase	Rango	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
	Muy Baja	1,27 - 2,51	30,59	8,80
	Baja	2,51 - 3,52	39,97	11,49
	Moderada	3,52 - 4,57	72,07	20,72
	Alta	4,57 - 5,41	170,28	48,97
	Muy Alta	5,41 - 6,63	34,84	10,02

**Fuente:** La Autora, 2020



En base a los datos presentados, se establece que:

La categoría de susceptibilidad Muy Baja representa el 30,59 km<sup>2</sup> que constituye el 8,80% de la superficie total, donde predominan las planicie y terrazas aluviales, con pendientes ligeramente inclinados de 0° a 5°, además presenta precipitaciones muy bajas con rangos que van desde los 301,45 hasta 530,54 mm/año, así mismo, el principal uso de suelo es agrícola, con cultivos de caña de azúcar principalmente, se puede observar además, que esta zona se ubica sobre el casco urbano de la parroquia de Catamayo; litológicamente está conformado por arcillas de varias tonalidades, lutitas y limolitas, tobas dacíticas, además de los depósitos aluviales, pese a que este tipo de materiales es poco consolidado, pero al estar en sitios de menor pendiente, no son propensos a que ocurra este tipo de procesos de remoción en masa.

El 11,49% del territorio, es decir, los 39,97 km<sup>2</sup> presenta una susceptibilidad Baja, la litología predominante está conformada por aglomerados volcánicos, arcillas, lutitas y tobas dacíticas y riolíticas, con pendientes que van desde los 0° hasta los 15°, además presenta un régimen de intensidad en las precipitaciones con rango que van desde los 530,54 a 759,63 mm/año, categorizándose como baja; entre su vegetación se puede encontrar de tipo arbustivas y agrícola con plantaciones temporales como el camote, maíz, yuca, inmersos sobre relieves de origen deposicional y tectónico erosivo, entre los que se observar colinas bajas, una parte de las planicies, relieve colinado medio, y los coluvio aluviales, cabe recalcar que en esta zona se ubica el casco urbano de la parroquia de El Tambo.

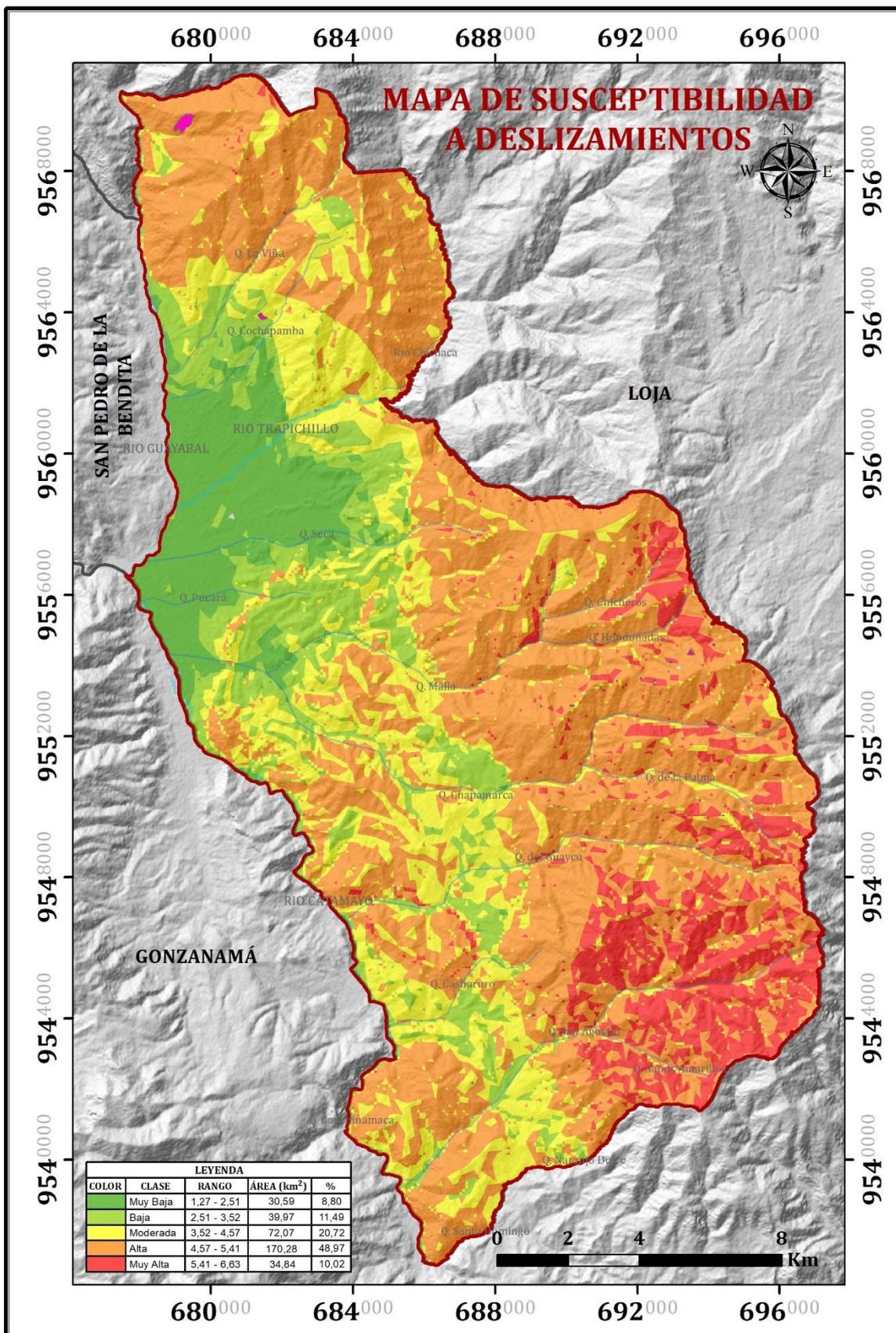
La susceptibilidad Moderada se encuentra dentro del 20,72% del área que corresponde a 72,07 km<sup>2</sup>, geológicamente está conformado por lutitas, brechas volcánicas, aglomerados y andesitas, con pendientes de fuertemente inclinados a muy inclinados con rangos que van desde los 5° a 35°, por lo que se puede observar relieves colinados altos y medios, así como también, un porcentaje de planicies y vertientes irregulares, adicionalmente presenta una intensidad de precipitaciones bajas con rangos que van desde los 530,54 a 759,63 mm/año y cobertura vegetal de tipo arbustiva dentro del cual se observan los matorrales seco montano.

La categoría de susceptibilidad Alta es la que representa la mayor parte del territorio con 170,28 km<sup>2</sup>, que corresponde al 48,97% de la superficie total, del cual el 0,014% corresponde a deslizamientos, litológicamente se encuentra formado por rocas metamórficas que en gran medida se encuentran fracturados, rocas volcano-sedimentarias, tobas, brechas volcánicas, además de los granitos que presentan alto grado de erosión, pese a que el grado de



precipitaciones es de medio a bajo, sin embargo, a pesar de que en estas zonas se presenta dos rangos distintos de precipitaciones, existe un régimen similar de humedad entre los materiales, que se evidencia claramente en las rocas metamórficas de la unidad Chiguinda y los granitoides de la unidad Tres Lagunas; por sus pendientes muy inclinadas a empinadas se le asocia a relieves montañosos y vertientes irregulares, en cuanto a su vegetación es de tipo arbustiva como el kikuyo, la chilena, entre otros, y agrícola, con cultivos de ciclo corto como el maíz y el camote, y además de árboles frutales.

Finalmente, en la categoría de susceptibilidad Muy Alta se tiene un área de 34,84 km<sup>2</sup>, que equivale al 10,02%, en el cual el 0,052% se asocia a los deslizamientos, generalmente en estas zonas las precipitaciones son medias con rangos que van desde los 759,53 a 988,72 mm/año, factor que ayuda a que se desencadenen este tipo de movimientos de masa, adicionalmente se encuentra sobre una cobertura de tipo agrícola ya que al ser una actividad donde se cultivan varios tipos de plantaciones se va modificando la estructura y resistencia natural del suelo ante este tipo de fenómenos de remoción en masa, así mismo presenta pendientes desde muy inclinadas hasta empinadas característico de relieves montañosos, geológicamente presentan granitoides variablemente cizallado, así como también rocas metamórficas poco competentes, cabe mencionar que en estas zonas el porcentaje de humedad de los materiales es de medio a alto.



**Figura 43:** Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de las parroquias de Catamayo y El Tambo  
Fuente: La Autora, 2020



## 7. DISCUSIÓN

La aplicación de la metodología de clasificación automática Isodata propuesta en este análisis geomorfológico, a escala 1:25000, constituye una vía de acercamiento entre la realidad matemático-estadística del procesamiento automatizado de los datos topográficos disponibles y la realidad morfométrica del relieve de las parroquias de Catamayo y El Tambo. Cabe recalcar que el resultado final, entró a un proceso de edición, pues cualquier método de clasificación automática no siempre corresponden con absoluta precisión debido a rasgos morfométricos similares que mezclan unas unidades con otras, razón por la cual es necesario para cualquier valoración del relieve, acompañar este tipo de análisis con interpretación en 3D y trabajo de campo.

En este contexto, el producto cartográfico obtenido mediante la metodología del Modelo de Unidades Geomorfológicas para la Representación Cartográfica de Ecosistemas del Ecuador Continental propuesta por el Ministerio del Ambiente, dio como resultado 5 unidades a nivel de macrorrelieve y 10 unidades a nivel de mesorelieve en función del sistema de clasificación ajustando a la realidad de la zona de estudio. Estas unidades morfométricas, se encuentran contrastadas con la litología obtenida durante los recorridos de campo, con el objetivo de determinar su génesis y edad, dando como procesos modeladores del paisaje cuatro tipos que corresponden a procesos tectónicos erosivos, estructurales, denudativos y deposicionales.

Las geoformas relacionadas a los procesos Tectónicos - Erosivos ocupan una mayor superficie en el área de estudio, cuyas formas no presentan rasgos característicos (Geoformas banales), de génesis tectónica y que han sido modeladas por la erosión con diferentes grados de intensidad, es así que, las unidades que se encuentran en este apartado son los relieves montañosos, relieves colinados altos, relieves colinados medianos y vertientes irregulares, los mismos que presentan pendientes de tipo muy inclinado ( $15^{\circ}$  a  $35^{\circ}$ ) y empinados ( $35^{\circ}$  a  $55^{\circ}$ ) y ocupan el 79,28% del área total.

Las geoformas relacionadas a procesos Estructurales, está representada por las vertientes irregulares y las cuestas, pues estas unidades son el resultado de la interacción entre los diversos procesos erosivos, la litología y estructura de las rocas y a los cambios activos que los procesos exógenos han podido ejercer sobre esos factores, mismos que se presentan en dos formas características, como estructuras estratificadas con direcciones  $S2^{\circ}E/42^{\circ}NE$  y  $N22^{\circ}E/54^{\circ}NW$ , así como también, estructuras foliadas con una orientación  $N22^{\circ}E/54^{\circ}NW$ ; generalmente



presentan pendientes fuertes a muy inclinadas ( $5^{\circ}$  a  $35^{\circ}$ ), constituyendo el 5,38% del área total de las parroquias.

Las geoformas relacionadas a procesos Denudativos, se constituyen como procesos de desgaste en superficie, ya que, por procesos gravitacionales, así como acción del agua han sufrido poco transporte desde su lugar de origen, presentando angulosidad en los clastos; las unidades asociados a este proceso son los coluviones y coluvio aluviales que presentan pendientes de ligera a fuertemente inclinadas ( $0^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ ) y constituyen el 1.73% del territorio.

Las geoformas relacionadas a procesos Deposicionales, está representado por las colinas bajas, planicies y terrazas aluviales, pues el origen de estas unidades está relacionado a la depositación de material transportado por medios mecánicos producto de la desintegración de materiales preexistentes, presentan pendientes ligeras a fuertemente inclinadas ( $0^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ ) y constituyen el 13,61% de la superficie total.

Así mismo, dentro de la caracterización geomorfológica, otro de los puntos que se debe analizar es la ocurrencia de deslizamientos, por lo que las características del terreno y los procesos que modelan la superficie se encuentran íntimamente ligados. En este sentido, mediante el inventario de 26 deslizamientos localizados en mayor cantidad en las vías de primer y segundo orden, fue posible evidenciar que los factores que mayor incidencia tienen para la ocurrencia de este tipo de movimientos, son el tipo de materiales que en la mayoría de los deslizamientos presentan una meteorización de media a alta, junto a un grado de humedad alto; las pendientes y sumado a estos, las actividades antrópicas como apertura de vías y los procesos erosivos provocados por las precipitaciones tanto naturales como antrópicas, es decir, en cierto lugares deslizados se pudo evidenciar la presencia de tuberías de riego que utilizan las personas del sector y que no se encuentran bien canalizadas, existiendo fugas de agua (ver figura 37), que alteran la litología existente, provocando este tipo de movimientos.

Adicionalmente, se generó el mapa de susceptibilidad a deslizamientos, que es el punto final de este análisis y con el que se relacionó cada uno de los mapas generados a fin de establecer zonas propensas a que se desarrolle este tipo de movimientos de masa, dando como resultado que las parroquias de Catamayo y el Tambo presentan una susceptibilidad Alta correspondiente al 48,97% de la superficie total y al comprobar que el método utilizado (Proceso de Análisis Jerárquico de SAATY) en el presente estudio presenta similitud con el inventario de deslizamientos, es decir, del 48,97% de susceptibilidad alta, el 0,014% se correlaciona con los



deslizamientos; así mismo, del 10,02% de susceptibilidad muy alta, el 0,052% se relaciona a los deslizamientos, hallándose en estas dos categorías la totalidad de los deslizamientos existentes en la zona de estudio, por lo mencionado anteriormente, estima que el resultado de susceptibilidad es confiable.

Por tanto, los resultados alcanzados en este trabajo, están orientados principalmente a detallar una metodología de cartografía geomorfológica que no se restringe únicamente a la morfometría del relieve, sino también a la distribución geológica, es decir, a los procesos que dieron origen a este tipo de relieves, junto a ello poder determinar mediante correlaciones estratigráficas su edad. Además, permitiendo de esta manera interpretar la relación entre las formas del relieve e identificar zonas de riesgo, junto a otras variables como geología, el uso actual que se le está dando al terreno, y el grado de precipitaciones que ocurre en esas zonas; todo ello a fin de establecer una zonificación a nivel de unidades de paisaje para una mejor administración y manejo sustentable del territorio.



## 8. CONCLUSIONES

La base cartográfica utilizada en el estudio del relieve de las parroquias de Catamayo y El Tambo, proviene de los índices topográficos generados a partir del DEM descargado de la plataforma ALOS PLASAR de resolución 12,5 metros, del cual se tomaron en cuenta, el sombreado, la pendiente, y las 6 curvaturas (perfil, planta, longitudinal, transversal, mínima y máxima curvatura), mismos que generan un conjunto de medidas que describen las formas topográficas permitiendo distinguir diferentes tipos de relieve, es decir, unidades morfométricas.

Si bien, el método de clasificación automática Isodata permitió obtener de forma rápida unidades morfométricas, sin embargo, no fue suficiente, por lo que adicional a ellos se generó la geología de la zona mediante levantamientos de campo, punto importante para determinar la génesis y edad y con ello se complementó las características necesarias para definir cada una de las geoformas.

La interpretación geomorfológica se perfeccionó mediante la fotointerpretación en 3D y por medio de fotografías aéreas, dando como resultado de acuerdo a la leyenda temática adaptada a la realidad de la zona de estudio, un total de 5 unidades a nivel de macrorrelieve y 10 unidades a nivel de mesorelieve, que forman parte de 4 tipos de procesos modeladores del paisaje correspondiente a tectónico-erosivo, estructural, denudativo y deposicional.

La unidad geomorfológica que predomina en el área de estudio es el relieve montañoso que presenta un origen tectónico-erosivo, con un área de 224,80 km<sup>2</sup> que representa el 64,27% del territorio, está compuesto de rocas metamórficas de edad paleozoica, rocas intrusivas, granitoides de edad triásica, brechas volcánicas, aglomerados y tobas riolíticas y andesíticas de edad oligo-miocénica y pliocénica respectivamente; y, en menor porcentaje se encuentra los coluvio aluviales de origen denudativo, con el 0,37% correspondiente al 1,28 km<sup>2</sup> de la superficie total, está conformado por materiales volcánico-sedimentario de edad paleocénica, brechas volcánicas, tobas andesíticas y aglomerados de edad oligo-miocénica y los depósitos aluviales y coluviales de edad cuaternaria.

El mapa de susceptibilidad a deslizamientos, es de gran importancia como insumo para generar acciones que conduzcan a una planificación adecuada del territorio y la prevención de los desastres, es así que, para la zona de estudio se analizaron como variables de mayor a menor



incidencia la geomorfología, geología, pendientes, uso e isoyetas, respectivamente, además, se determinó 26 zonas de deslizamientos 14 son rotacionales y 12 traslacionales, de los cuales 16 se encuentran activos y 10 latentes, producto en algunos casos de actividades antrópicas como apertura de vías e infiltraciones de agua por mal canalización de las tuberías de riego.

La información generada a partir del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) de Thomas L. Saaty, dio como resultado que el 8,80% del área se clasifica como muy baja; el 11,49% se describe por susceptibilidad baja; el 20,72% como susceptibilidad moderada; el 48,97% se caracteriza por la susceptibilidad alta, del cual el 0,014% de dicha superficie se correlaciona con los deslizamientos existentes en el área investigada, y finalmente el 10,02% se caracteriza por susceptibilidad muy alta, en el cual el 0,052% está asociado con los deslizamientos cartografiados en la zona de estudio.



## 9. RECOMENDACIONES

Para este tipo de metodología es recomendable utilizar Modelos Digitales de Elevación (DEM) de alta resolución, pues permitirán obtener unidades más limpias y precisas, que incluso podría funcionar muy bien en una clasificación orientada a objetos, ya que, en la clasificación de unidades basado en pixeles, dio muy buenos resultados.

A pesar de que los índices topográficos utilizados en esta investigación arrojaron buenos resultados, se puede adicionar otras más para darle un mayor enfoque.

Los rangos utilizados en cada una de las herramientas del ENVI 5.3 se definieron en función de la resolución que presenta el DEM y a los resultados que se esperaba en función del sistema de clasificación, sin embargo, estos pueden adaptarse de acuerdo a las características de cada zona y a los insumos con los que dispongan.

El sistema de clasificación propuesto ha sido adaptado a la realidad de la zona de estudio y la escala cartográfica utilizada, no obstante, esta leyenda temática puede ser modificada de acuerdo a los requerimientos de cada proyecto siempre y cuando exista una correlación entre el insumo y la escala temática y cartográfica a utilizar.

En las zonas deslizadas se debería aplicar medidas de estabilización como terraceo, impermeabilización de los materiales junto a un sistema de drenaje que evite la infiltración de las aguas de escorrentía superficial que es el principal factor desencadenante ante este tipo de movimientos de masa.



## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, F. (2008). *Sistemas de Información Geográfica*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Bakker, X. (2005). En *Taller: Análisis y modelamiento espacial*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- C. Ayala y Corominas. (2002). *Mapas de susceptibilidad a movimientos de ladera con técnicas SIG*. Madrid, España: Ariel.
- C. Gómez y García J. (2006). *Guía técnico científica para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas*. Colombia.
- Centeno, J., Fraile, J., & otros. . (1994). *Geomorfología Práctica: Ejercicios de fotointerpretación y planificación geoambiental*. Madrid, España: Rueda.
- Centro Nacional para la Investigación Geográfica y Análisis. (1990). *Fundamentos teóricos y conceptuales de SIGs*. Estados Unidos.
- Ch. Miller y R. Laflamme. (1958). En *Modelos Digitales de Terreno*. Massachussetts.
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección espacial (3ª ed.)*. Madrid, España: Rialp.
- CLIRSEN. (2012). *Generación de Geoinformación para la Gestión del territorio a nivel nacional, escala 1:25 000*. Loja, Ecuador.
- Complutense. (2004). *Diccionario de Ciencias de la Tierra*.
- Copons R. y Tallada A. (2009). *Movimiento de Ladera: Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*.
- Correa, N. (2012). *Método para la caracterización de las formas del Terreno. Caso: Departamento del Cauca*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Corrochano , D. (2014). *Geología Sedimentaria y Sedimentología dentro del Proyecto del Mapeo Geológico a Nivel Nacional a escala 1:50.000*. Quito: INIGEMM - PROMETEO.
- Corrochano D., Reyes P., & Solís B. (2017). *Revisión morfoestructural y tectónica del norte de la cuenca Malacatos- Vilcabamba (Mioceno, provincia de Loja, sur de Ecuador)*. *Geo Laitud*, 12.



- De Pedraza, J. (1996). *Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones*. Madrid.
- Del Valldurre, J. (2014). *Catálogo descriptivo de objetos geomorfológicos del Ecuador: Geoformas según grupos genéticos*. Ecuador.
- Duque, G. (2013). *Manual de Geología para ingenieros*. Manizales, Colombia.
- Exelis Visual Information Solutions. (2015). Harris Geospatial. Retrieved from [www.harrisgeospatial.com](http://www.harrisgeospatial.com).
- F. Lutgens y E. Tarbuck. (2005). *Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física*. (8° ed). Madrid, España: Pearson S.A.
- Gutiérrez I. y Pérez S. (2015). *Censo de movilidad humana en el cantón Catamayo, provincia de Loja (Ecuador)*. Loja, Ecuador.
- Gutiérrez J. y Gould, M. (1994). En *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid, España.
- Hungerbühler, D. (1997). *Neogene basins in the Andes of southern Ecuador: evolution, deformation and regional tectonic implications*. Zürich: Tesis Doctoral ETH Zürich.
- Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Peterson, D., Helg, U., Hammer, C. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth - Science Reviews*, 75-124.
- INEC. (2010). *Fascículo Provincial Loja*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/loja.pdf>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2000). *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras*. Bogotá.
- Josse et al. (2003). *Sistema de Clasificación de Ecosistemas para el Ecuador continental*.
- Kennerley, J. (1973). *Geology of Loja Province, southern Ecuador, Report No 23*. London: Institute of Geological Sciences (Overseas Division). Photogeological Unit.
- Litherland, M., Aspden, J., y Jemielita, R. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador*. Nottingham, Inglaterra: British Geological Survey. 147p.



- Lugo Hubp, J. (1988). *Elementos de geomorfológica aplicada (Métodos cartográficos)*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- Ministerio del Ambiente. (2013). Modelo de Unidades Geomorfológicas para la Representación Cartográfica de Ecosistemas en el Ecuador Continental. Quito, Ecuador.
- Noriega., A. (2005). Inestabilidad de laderas, mapas de amenazas, recomendaciones técnicas para su elaboración.
- Ordóñez, E. (1950). Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Coyoacán, México.
- PDYOT. (2014-2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Catamayo*.
- Pérez, A. (2011). Introducción a los Sistemas de Información Geográfica y Geotelemática. Barcelona, España: UOC.
- Programa Integración Participativa de la Gestión Ambiental y de Riesgo en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. (2008). *Manual metodológico para la evaluación de movimientos de ladera en el AMSS (El Salvador, CA)*. San Salvador.
- Rossiter, D. (1994). *Metodologías para el levantamiento del recurso suelo*.
- Saaty., T. (1980). How to make a decision: the analytic hierarchy process. University of Pittsburgh.
- Sampredro, F. (1980). *Cartilla de divulgación ecuatoriana No.28: Los sensores remotos en el Ecuador*. Quito, Ecuador: Casa de la Cultura Ecuatoriana.
- Sánchez B. (2004). *El impacto de la emigración en Loja*. Quito, Ecuador: Abya-Yala.
- Sánchez, V. (2016). Aplicación de Productos de Sensores Remotos y SIG en la Generación de Mapas Geomorfológicos. Manizales, Colombia.
- Shimoyama, T. (1984). Sulphur concentration in the Japanese Paleogene coal. *Special publication of the International Association of Sedimentologists*, 361-372.
- Shumm, S. (1991). *To Interpret the Earth, ten ways to be wrong*. New York: Cambridge University Press.



- Skempton y Hutchinson. (1969). *Stability of natural slopes and embankment foundations*. México.
- Teixeira, A., & Teixeira, J. A. (2008). *Novo Dicionário Geológico - Geomorfológico*. Río de Janeiro, Brazil.
- Tricart, J. (1979). *Mapas geomorfológicos*. Strasbourg, Francia.
- Vásquez, H. (2002). Evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos municipio de La Celia Departamento de Risaralda. Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER.
- Villota, H. (1997). Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno. Santa Fé, Bogotá.
- Wood, J. (1996). *The Geomorphological Characterization of Digital Elevation Models*. University of Leicester. Leicester.: Doctoral Thesis.
- Zinck, A. (2012). *Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos*. Holanda: Enschede, The Netherlands.



## 11. ANEXOS



## **ANEXO 1**

### **CARACTERIZACIÓN DE AFLORAMIENTOS**



**ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR**

Ficha para caracterización de afloramientos

FICHA N°

1

**DATOS GENERALES**

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo	Coord. X	689253
Parroquia	El Tambo	Coord. Y	9539817
Barrio	La Merced Baja	Altura (m.s.n.m.)	1575

CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA			
Tipo de afloramiento	Artificial	El afloramiento presenta dos facies. Y en la parte inferior 2,5 m de intercalaciones entre lutitas y limolitas, así como también la presencia de láminas de 0,10 m de turbas y carbón, así como también laminillas de azufre. En la parte superior 3,5 m de conglomerado con clastos subredondeados de tamaño 0,30 m, mal clasificados y matriz limo arcillosa, color café claro.			
Formación	Santo Domingo				
Estado de afloramiento	Estable poco erosionado				
Humedad	Media				
Estructura	Masiva-Laminar				
Tipo de Material	Sedimentario				
Dimensiones	<table border="1"> <tr> <td>Ancho</td> <td>6 m</td> </tr> <tr> <td>Alto</td> <td>7,5 m</td> </tr> </table>			Ancho	6 m
Ancho	6 m				
Alto	7,5 m				
ELEMENTOS DE YACENCIA		OTRAS OBSERVACIONES:			
Rumbo	N 14° E				
Buzamiento	49° SE				

**FOTOGRAFÍA**



Conglomerados con clastos subredondeados



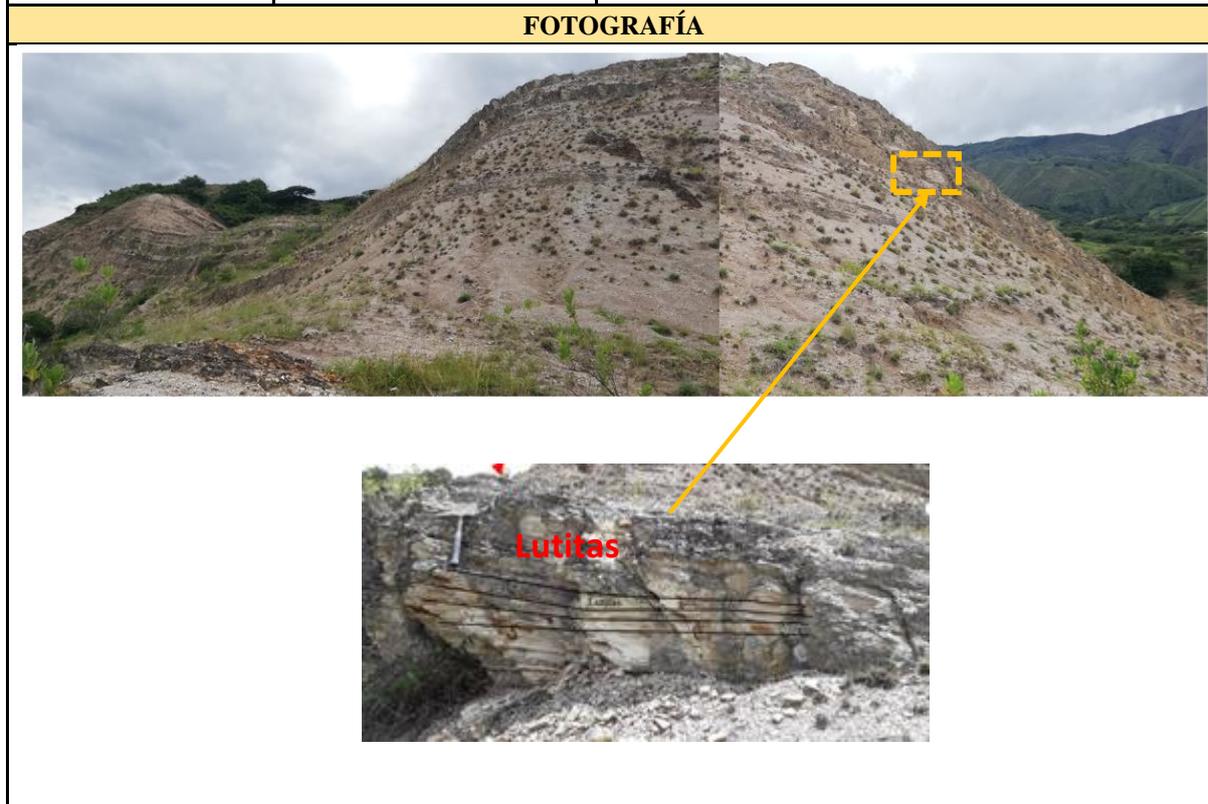
Intercalaciones de lutitas, limolitas, turbas y carbón.

Pequeñas láminas de azufre y nódulos de yeso.



	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>	
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>

DATOS GENERALES				
LOCALIZACION GEOGRAFICA			COORDENADAS	
Provincia	Loja		Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo		Coord. X	689217
Parroquia	El Tambo		Coord. Y	9539996
Barrio	La Merced Baja		Altura (m.s.n.m.)	1639
CARACTERISTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA		
Tipo de afloramiento	Artificial		El afloramiento tiene una cobertura vegetal de 0.3m y está constituido por diferentes estratos de lutitas diferenciadas por la tonalidad (crema, gris y un tono amarillento) esto como resultado de óxidos presentes; dispuestas en capas horizontales de 0,6 m de espesor, medianamente meteorizadas, en la parte inferior presenta conos de deyección del mismo material.	
Formación	Santo Domingo			
Estado de afloramiento	Estable, poco erosionado			
Humedad	Baja			
Estructura	Laminación			
Tipo de Material	Sedimentario			
Dimensiones	Ancho	100 m		
	Alto	45 m		
ELEMENTOS DE YACENCIA		OTRAS OBSERVACIONES:		
Rumbo				
Buzamiento				





**ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR**

Ficha para caracterización de afloramientos

FICHA N°

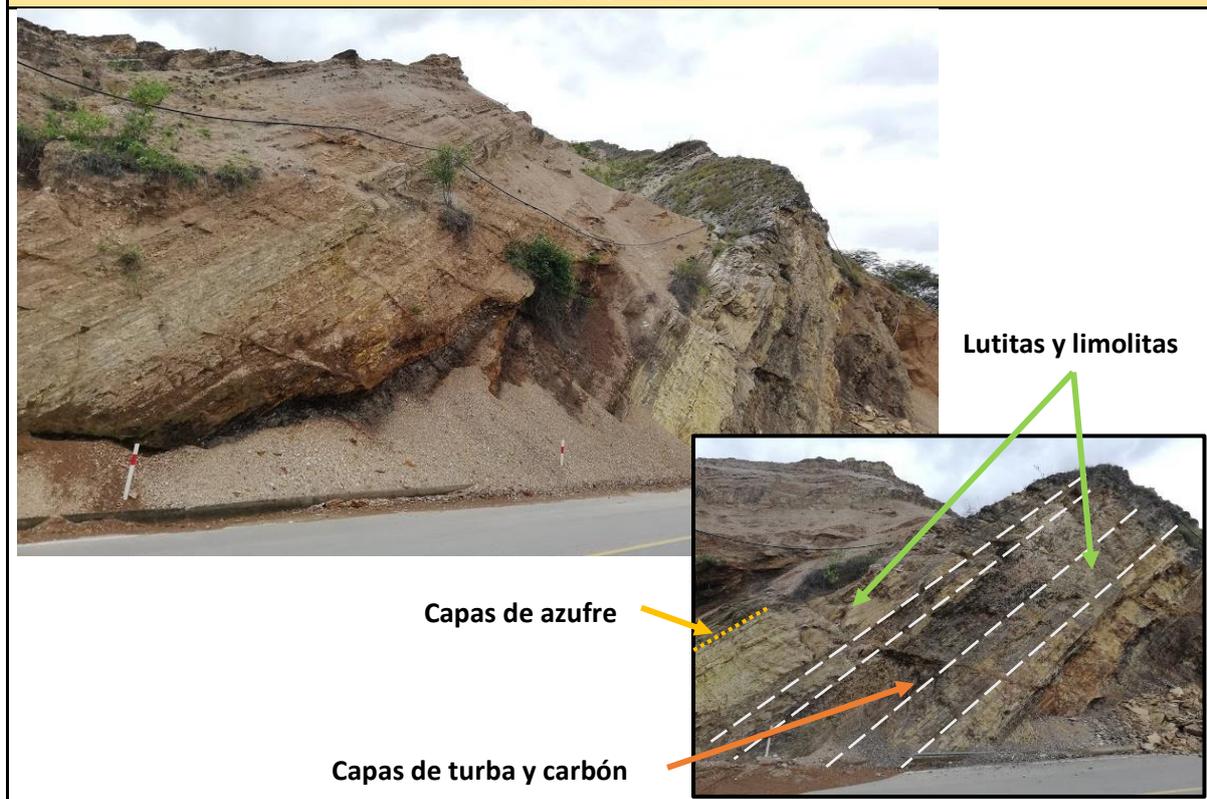
3

**DATOS GENERALES**

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo	Coord. X	689160
Parroquia	El Tambo	Coord. Y	9540892
Barrio	La Merced Baja	Altura (m.s.n.m.)	1607

CARACTERÍSTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento	Artificial	Lutitas de color marrón oscuro dispuestas en capas de espesores que varían de 0,3 a 0,80 m, medianamente meteorizadas, en la parte inferior presenta conos de deyección del mismo material.	
Formación	Santo Domingo		
Estado de afloramiento	Estable erosionado		
Humedad	Alta		
Estructura	Laminación		
Tipo de Material	Sedimentario		
Dimensiones	Ancho		
	Alto	45 m	
ELEMENTOS DE YACENCIA		OTRAS OBSERVACIONES:	
Rumbo	S2°E		
Buzamiento	42° NE		

**FOTOGRAFÍA**





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	FICHA N°	4

DATOS GENERALES				
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA			COORDENADAS	
Provincia	Loja		Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo		Coord. X	689531
Parroquia	El Tambo		Coord. Y	9540925
Barrio	La Merced Alta		Altura (m.s.n.m.)	1623
CARACTERÍSTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA		
Tipo de afloramiento	Artificial		Paraconglomerados con matriz limo arcillosa, y clastos oligomícticos angulosos y subredondeados con tamaños entre los 0,20 a 0,35 m, de color café claro, mal clasificados.	
Formación	Santo Domingo			
Estado de afloramiento	Estable en estado de erosión			
Humedad	Baja			
Estructura	Masivo			
Tipo de Material	Sedimentario			
Dimensiones	Ancho	5 m		
	Alto	3,5 m		
ELEMENTOS DE YACENCIA		OTRAS OBSERVACIONES:		
Rumbo				
Buzamiento				

**FOTOGRAFÍA**





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>5</b>

<b>DATOS GENERALES</b>				
<b>LOCALIZACION GEOGRAFICA</b>			<b>COORDENADAS</b>	
<b>Provincia</b>	Loja		<b>Datum</b>	WGS-1984
<b>Cantón</b>	Catamayo		<b>Coord. X</b>	689306
<b>Parroquia</b>	El Tambo		<b>Coord. Y</b>	9543208
<b>Barrio</b>	La Era		<b>Altura (m.s.n.m.)</b>	1559
<b>CARACTERISTICAS</b>		<b>DESCRPCIÓN LITOLÓGICA</b>		
<b>Tipo de afloramiento</b>	Artificial		El afloramiento se encuentro ubicado en el flanco derecho de la unión de las quebradas San Agustín y Sapos Amarillos. Está constituido por Brechas volcánicas de fragmento medio a fino de tamaños menores a 10 mm, cabe recalcar que el mismo se observó erosionado y muy fracturado por la presencia de humedad.	
<b>Formación</b>	Huayco			
<b>Estado de afloramiento</b>	Poco estable, con erosión			
<b>Humedad</b>	Media			
<b>Estructura</b>	Masivo			
<b>Tipo de Material</b>	Ígneo			
<b>Dimensiones</b>	<b>Ancho</b>	120 m		
	<b>Alto</b>	80 m		
<b>ELEMENTOS DE YACENCIA</b>		<b>OTRAS OBSERVACIONES:</b>		
<b>Rumbo</b>				
<b>Buzamiento</b>				
<b>FOTOGRAFÍA</b>				
				
Brecha de grano fino a medio				



	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>6</b>

<b>DATOS GENERALES</b>				
<b>LOCALIZACION GEOGRAFICA</b>			<b>COORDENADAS</b>	
<b>Provincia</b>	Loja		<b>Datum</b>	WGS-1984
<b>Cantón</b>	Catamayo		<b>Coord. X</b>	689194
<b>Parroquia</b>	El Tambo		<b>Coord. Y</b>	9543165
<b>Barrio</b>	La Era		<b>Altura (m.s.n.m.)</b>	1557
<b>CARACTERISTICAS</b>		<b>DESCRPCIÓN LITOLÓGICA</b>		
<b>Tipo de afloramiento</b>	Artificial		El afloramiento en su conjunto es un aglomerado, compuesta por fragmentos de composición dioríticas a gabros y matriz entre dacítica a riolítica muy compacta.	
<b>Formación</b>	Huayco			
<b>Estado de afloramiento</b>	Estable, sin erosión			
<b>Humedad</b>	Baja			
<b>Estructura</b>	Masivo			
<b>Tipo de Material</b>	Ígneo			
<b>Dimensiones</b>	<b>Ancho</b>	5 m		
	<b>Alto</b>	3 m		
<b>ELEMENTOS DE YACENCIA</b>		<b>OTRAS OBSERVACIONES:</b>		
<b>Rumbo</b>				
<b>Buzamiento</b>				

### FOTOGRAFÍA





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>7</b>

DATOS GENERALES				
LOCALIZACION GEOGRAFICA			COORDENADAS	
Provincia	Loja		Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo		Coord. X	688986
Parroquia	El Tambo		Coord. Y	9544207
Barrio	La Era		Altura (m.s.n.m.)	1672
CARACTERISTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA		
Tipo de afloramiento	Artificial		Está constituido por Brechas volcánicas de fragmento medio a fino de tamaños menores a 10 mm, cabe recalcar que el mismo se observó erosionado y muy fracturado por la presencia de humedad.	
Formación	Huayco			
Estado de afloramiento	Estable, poco erosionado			
Humedad	Baja			
Estructura	Masiva			
Tipo de Material	Ígneo			
Dimensiones	Ancho	500 m		
	Alto	97 m		
OTRAS OBSERVACIONES:				
Rumbo				
Buzamiento				
FOTOGRAFÍA				





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>8</b>

DATOS GENERALES				
LOCALIZACION GEOGRAFICA			COORDENADAS	
Provincia	Loja		Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo		Coord. X	688804
Parroquia	El Tambo		Coord. Y	9544226
Barrio	La Era		Altura (m.s.n.m.)	1662
CARACTERISTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA		
Tipo de afloramiento	Artificial		Paraconglomerado oligomígtico, con clastos de andesitas subredondeados y mal clasificados con tamaños que van desde los 0.05 m a 0,25 m, y presencia de una matriz limo-arcillosa.	
Formación	Huayco			
Estado de afloramiento	Estable, poco erosionado			
Humedad	Media			
Estructura	Masiva			
Tipo de Material	Metamórfico			
Dimensiones	Ancho	150 m		
	Alto	43 m		
OTRAS OBSERVACIONES:				
Rumbo				
Buzamiento				

FOTOGRAFÍA




	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	FICHA N°	9

**DATOS GENERALES**

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo	Coord. X	685919
Parroquia	El Tambo	Coord. Y	9549440
Barrio	Patacorral	Altura (m.s.n.m.)	1540

CARACTERÍSTICAS	DESCRPCIÓN LITOLÓGICA
-----------------	-----------------------

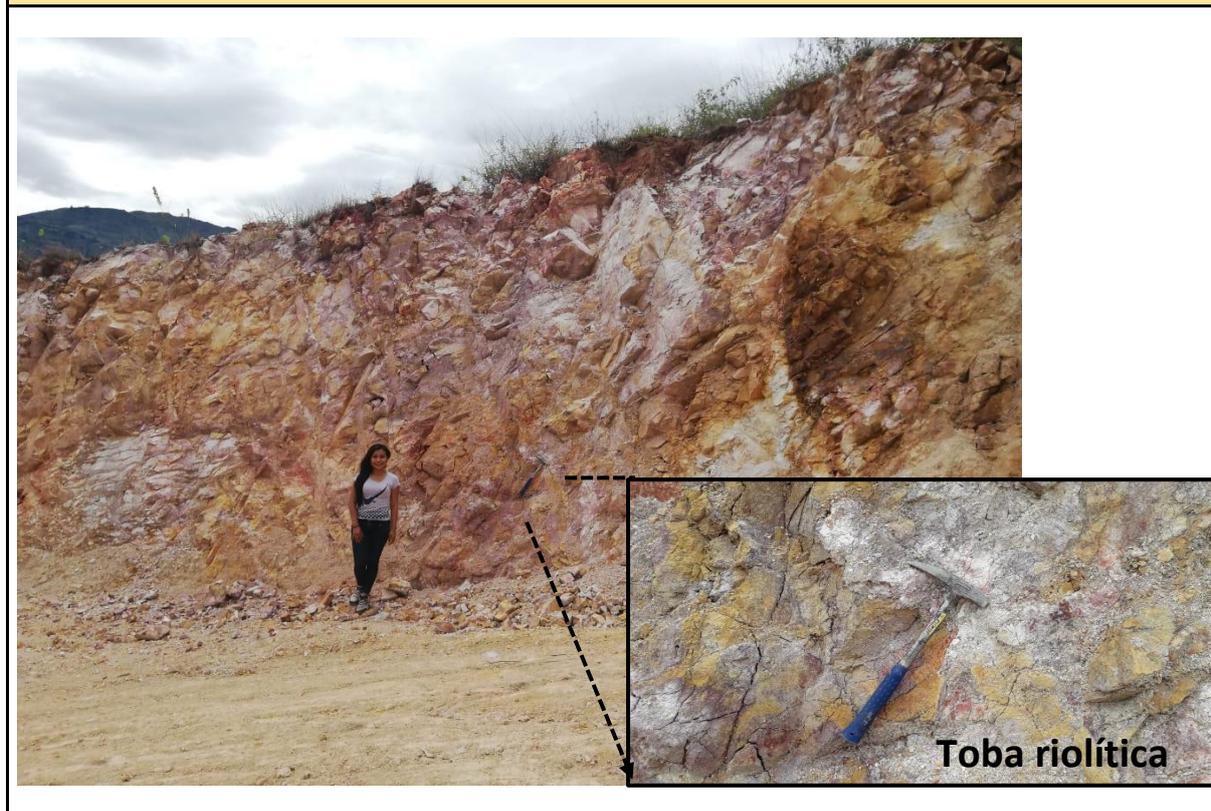
Tipo de afloramiento	Artificial
Formación	Huayco
Estado de afloramiento	Estable, poco erosionado
Humedad	Media
Estructura	Masiva
Tipo de Material	Volcano-sedimentaria
Dimensiones	Ancho 8 m
	Alto 5 m

El afloramiento está constituido por Tobas riolíticas alteradas residuales con tonalidades de diferente coloración que se deben a la contaminación, el color púrpura por hidróxidos de hierro (limonita), el color amarillo debido a la presencia de azufre y lo negro a materia orgánica.

**OTRAS OBSERVACIONES:**

Rumbo	
Buzamiento	

**FOTOGRAFÍA**

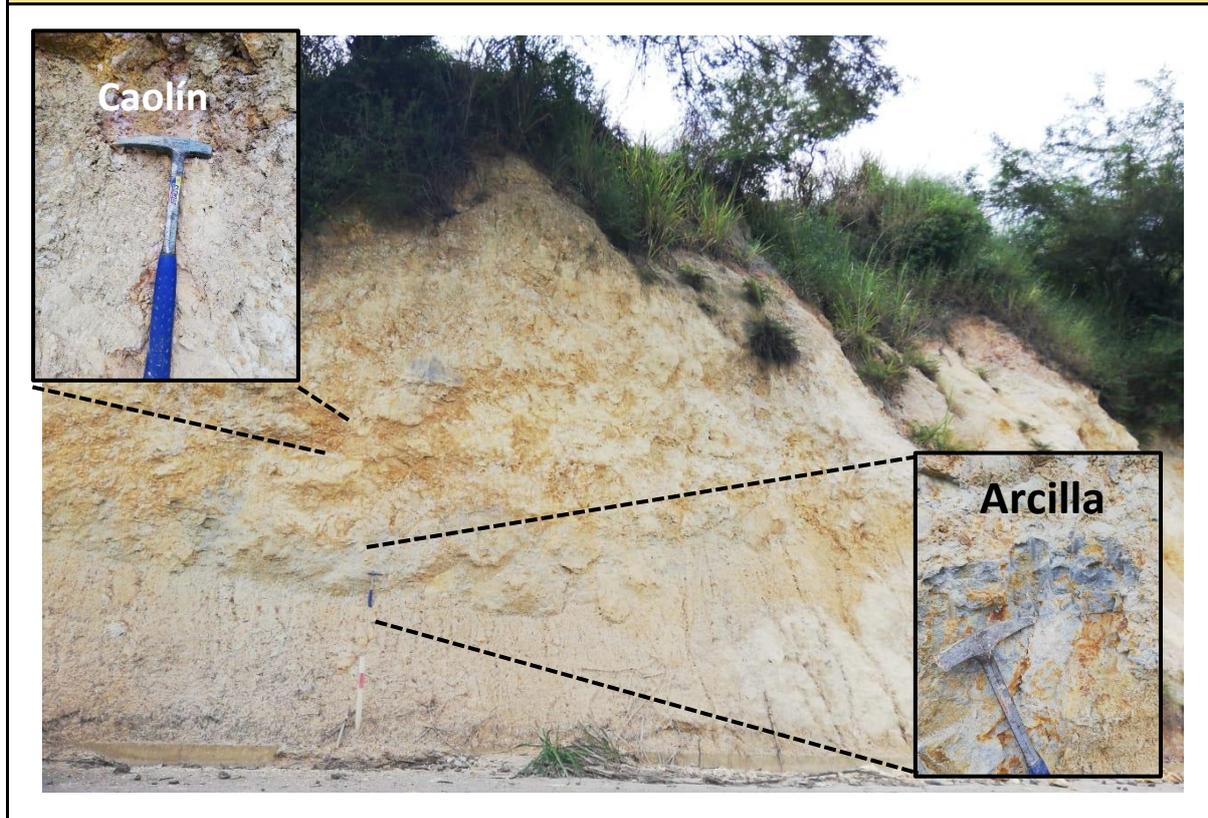




	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>10</b>

DATOS GENERALES				
LOCALIZACION GEOGRAFICA			COORDENADAS	
Provincia	Loja		Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo		Coord. X	685750
Parroquia	El Tambo		Coord. Y	9550575
Barrio	Pata Corral		Altura (m.s.n.m.)	1408
CARACTERISTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA		
Tipo de afloramiento	Artificial		El afloramiento tiene una cobertura vegetal de 0.20m y está constituido por caolín con un alto estado de meteorización de color amarillento, blanco y púrpura debido a la existencia de óxidos, es un afloramiento con una estructura masiva y posee vetillas pequeñas de yeso. Además, se puede observar en la parte inferior la presencia de un lente de arcilla muy compacto.	
Formación	Fm. Infiernillos			
Estado de afloramiento	Estable, poco erosionado			
Humedad	Media			
Estructura	Masiva			
Tipo de Material	Sedimentario			
Dimensiones	Ancho	20 m		
	Alto	7 m		
OTRAS OBSERVACIONES:				
Rumbo				
Buzamiento				

### FOTOGRAFÍA





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>11</b>

<b>DATOS GENERALES</b>				
<b>LOCALIZACION GEOGRAFICA</b>			<b>COORDENADAS</b>	
<b>Provincia</b>	Loja		<b>Datum</b>	WGS-1984
<b>Cantón</b>	Catamayo		<b>Coord. X</b>	680205
<b>Parroquia</b>	El Tambo		<b>Coord. Y</b>	9551010
<b>Barrio</b>	Chapamarca		<b>Altura (m.s.n.m.)</b>	1526
<b>CARACTERISTICAS</b>		<b>DESCRPCIÓN LITOLÓGICA</b>		
<b>Tipo de afloramiento</b>	Artificial		Afloramiento que presenta una estructura masiva constituida por tobas de ceniza de color púrpura, con un alto grado de meteorización y cubierta de una cobertura vegetal de potencia 0.37 metros.	
<b>Formación</b>	Infiernillos			
<b>Estado de afloramiento</b>	Estable, con erosión			
<b>Humedad</b>	Media			
<b>Estructura</b>	Masiva			
<b>Tipo de Material</b>	Volcano-sedimentario			
<b>Dimensiones</b>	<b>Ancho</b>	13 m		
	<b>Alto</b>	8 m		
<b>ELEMENTOS DE YACENCIA</b>		<b>OTRAS OBSERVACIONES:</b>		
<b>Rumbo</b>				
<b>Buzamiento</b>				

**FOTOGRAFÍA**

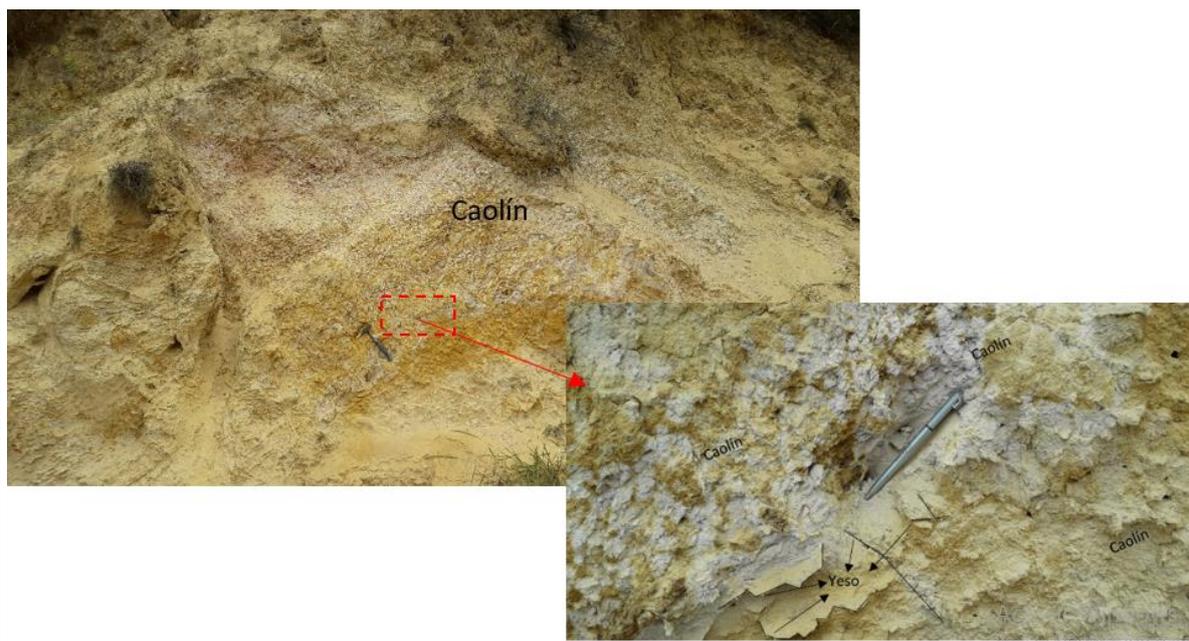




	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>12</b>

DATOS GENERALES				
LOCALIZACION GEOGRAFICA			COORDENADAS	
Provincia	Loja		Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo		Coord. X	686205
Parroquia	El Tambo		Coord. Y	9551010
Barrio	Chapamarca		Altura (m.s.n.m.)	1526
CARACTERISTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA		
Tipo de afloramiento	Artificial		El afloramiento tiene una cobertura vegetal de 0.10m y está constituido por caolín con un alto estado de meteorización de color amarillento, blanco y rosado debido a la existencia de óxidos, es un afloramiento con una estructura masiva y posee vetillas pequeñas de yeso.	
Formación	Infiernillos			
Estado de afloramiento	Estable, poco erosionado			
Humedad	Media			
Estructura	Masiva			
Tipo de Material	Sedimentario			
Dimensiones	Ancho	13 m		
	Alto	8 m		
ELEMENTOS DE YACENCIA		OTRAS OBSERVACIONES:		
Rumbo				
Buzamiento				

### FOTOGRAFÍA





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>13</b>

**DATOS GENERALES**

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo	Coord. X	682232
Parroquia	El Tambo	Coord. Y	9554280
Barrio	La Extensa	Altura (m.s.n.m.)	1240

CARACTERÍSTICAS	DESCRPCIÓN LITOLÓGICA
-----------------	-----------------------

Tipo de afloramiento	Artificial
Formación	Infiernillos
Estado de afloramiento	Estable, poco erosionado
Humedad	Media
Estructura	Masiva
Tipo de Material	Volcano-sedimenrio
Dimensiones	Ancho 500 m
	Alto 95 m

Presencia de una cobertura vegetal de 0,20 m. Aglomerado con clastos redondeados de andesitas mal clasificados, cuyos tamaños que van desde 0,10 m y 2,5 m y presenta una matriz limo arcillosa.

**OTRAS OBSERVACIONES:**

Rumbo	
Buzamiento	

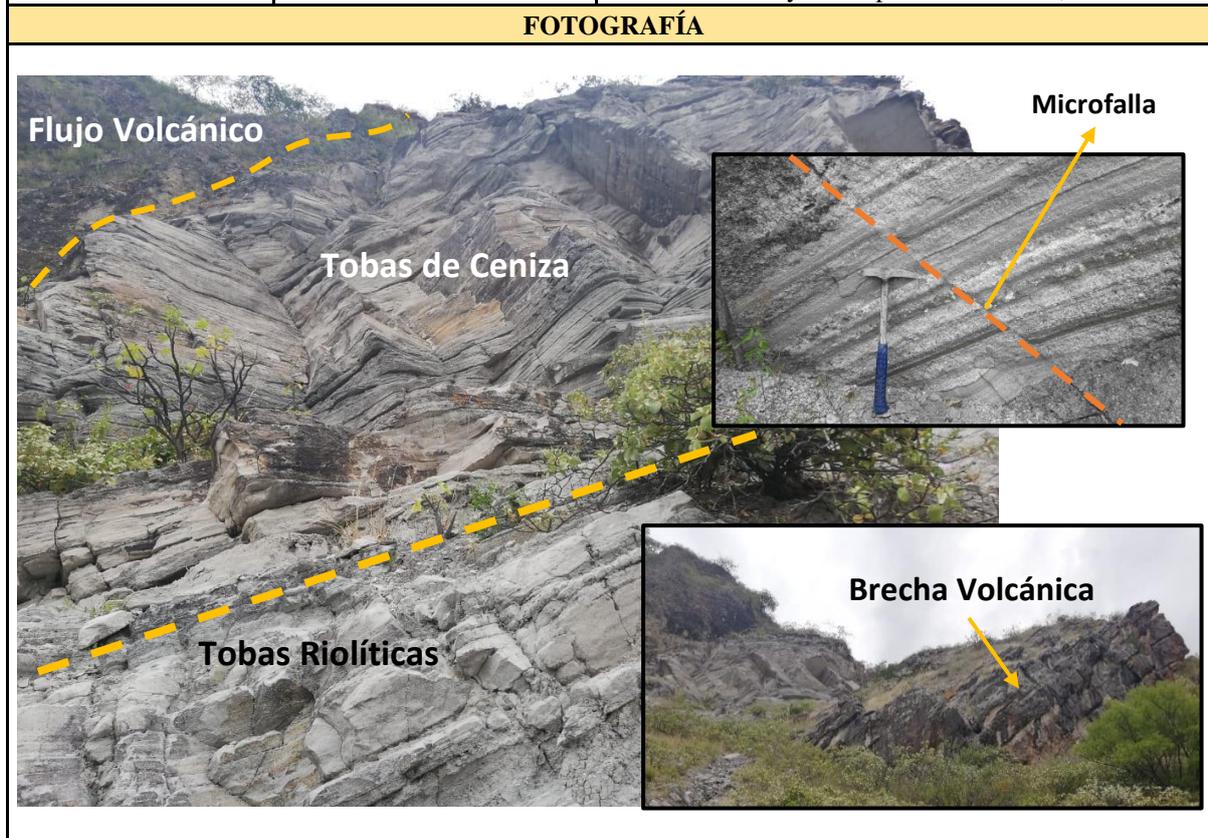
**FOTOGRAFÍA**





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>14</b>

DATOS GENERALES				
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA			COORDENADAS	
Provincia	Loja		Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo		Coord. X	680294
Parroquia	El Tambo		Coord. Y	9553636
Barrio	Catamayito		Altura (m.s.n.m.)	1218
CARACTERÍSTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA		
Tipo de afloramiento	Artificial		Este afloramiento presenta rocas volcano sedimentarias estratificadas distribuidas en una secuencia lo que enmarca diferentes eventos de depositación, en la base por brechas volcánicas intercaladas con tobas riolíticas y tobas de ceniza con potencia de 4-6 m de espesor con dirección N11°E/35°SE y flujo volcánico. También, existe la presencia de Carbonatos como material de relleno entre las fisuras.	
Formación	Huayco			
Estado de afloramiento	Estable, poco erosionado			
Humedad	Media			
Estructura	Laminar			
Tipo de Material				
Dimensiones	Ancho	500 m	<b>OTRAS OBSERVACIONES:</b> Presencia de una Microfalla normal con un buzamiento de 38° y un desplazamiento de 0,9 m	
	Alto	95 m		
Rumbo	N 11° E			
Buzamiento	35° SE			





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>15</b>

<b>DATOS GENERALES</b>				
<b>LOCALIZACION GEOGRAFICA</b>			<b>COORDENADAS</b>	
<b>Provincia</b>	Loja		<b>Datum</b>	WGS-1984
<b>Cantón</b>	Catamayo		<b>Coord. X</b>	679744
<b>Parroquia</b>	El Tambo		<b>Coord. Y</b>	95522606
<b>Barrio</b>	Cequilla		<b>Altura (m.s.n.m.)</b>	1195
<b>CARACTERISTICAS</b>		<b>DESCRPCIÓN LITOLÓGICA</b>		
<b>Tipo de afloramiento</b>	Artificial		En la parte superior del afloramiento existe la presencia de aglomerado con una potencia de 5 m, con clastos de andesitas subredondeados mal clasificados, con tamaños que varían desde 0.04 m a 0,50 m; y en la parte inferior se encuentra arcilla con varias tonalidades (púrpura, amarillo, café y gris) con una potencia de 10 m, también se puede observar la presencia de cárcavas de 0,2 m y conos de deyección.	
<b>Formación</b>	Huayco			
<b>Estado de afloramiento</b>	Estable, erosionado			
<b>Humedad</b>	Media			
<b>Estructura</b>	Masiva			
<b>Tipo de Material</b>	Sedimentario			
<b>Dimensiones</b>	<b>Ancho</b>	23 m		
	<b>Alto</b>	15 m		
<b>OTRAS OBSERVACIONES:</b>				
<b>Rumbo</b>				
<b>Buzamiento</b>				

**FOTOGRAFÍA**





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>16</b>

**DATOS GENERALES**

LOCALIZACION GEOGRAFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo	Coord. X	680444
Parroquia	El Tambo	Coord. Y	9551310
Barrio	Boquerón	Altura (m.s.n.m.)	1194

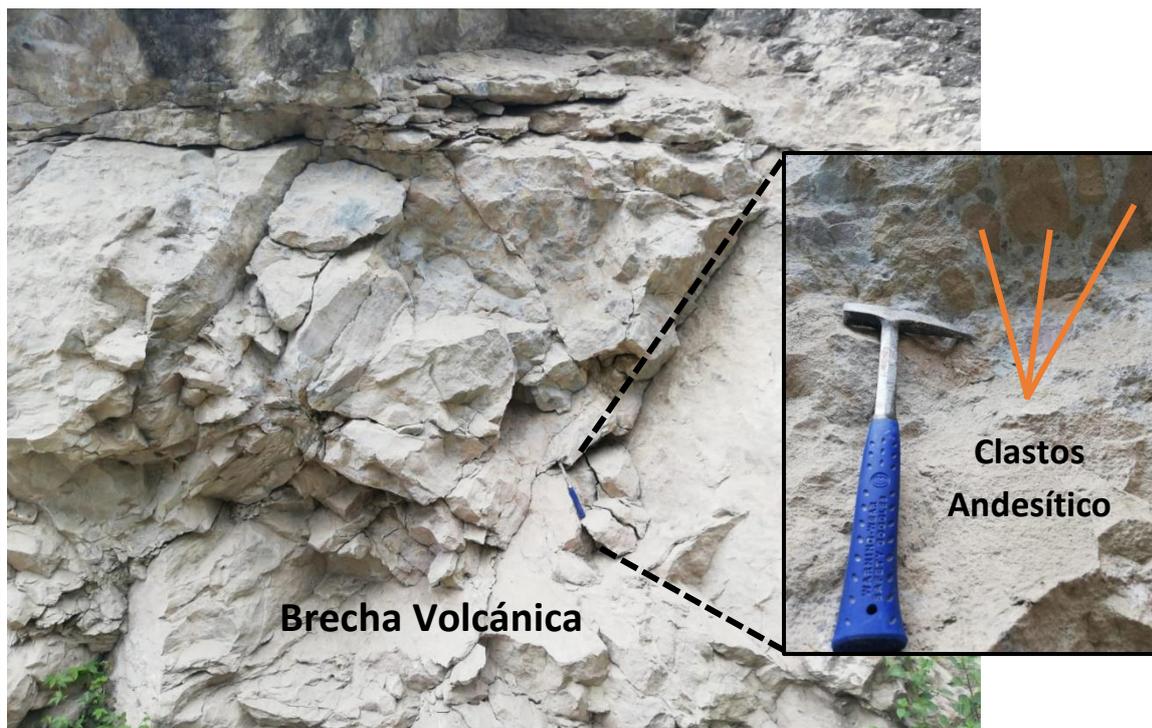
CARACTERISTICAS	DESCRPCIÓN LITOLÓGICA
-----------------	-----------------------

<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Tipo de afloramiento</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Artificial</td> </tr> <tr> <td>Formación</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Huayco</td> </tr> <tr> <td>Estado de afloramiento</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Estable, poco erosionado</td> </tr> <tr> <td>Humedad</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Media</td> </tr> <tr> <td>Estructura</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Masiva</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Material</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Dimensiones</td> <td style="text-align: center;">Ancho</td> <td style="text-align: center;">500 m</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Alto</td> <td style="text-align: center;">220 m</td> </tr> </table>	Tipo de afloramiento	Artificial		Formación	Huayco		Estado de afloramiento	Estable, poco erosionado		Humedad	Media		Estructura	Masiva		Tipo de Material			Dimensiones	Ancho	500 m	Alto	220 m	Las brechas volcánicas se sitúan a lo largo de la parte sur de la zona de estudio contiene clastos andesíticos angulosos-subangulosos de tamaño de 0,10-0,15 m, comprendido por tobas. En la zona del boquerón existen brechas de tonalidades verdosas de alteración cloritizada,
Tipo de afloramiento	Artificial																							
Formación	Huayco																							
Estado de afloramiento	Estable, poco erosionado																							
Humedad	Media																							
Estructura	Masiva																							
Tipo de Material																								
Dimensiones	Ancho	500 m																						
	Alto	220 m																						

**OTRAS OBSERVACIONES:**

Rumbo	
Buzamiento	

**FOTOGRAFÍA**





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>17</b>

DATOS GENERALES				
LOCALIZACION GEOGRAFICA			COORDENADAS	
Provincia	Loja		Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo		Coord. X	689903
Parroquia	Catamayo		Coord. Y	9542756
Barrio	La Era		Altura (m.s.n.m.)	1840
CARACTERISTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA		
Tipo de afloramiento	Natural		El afloramiento una cobertura vegetal de 0.5m y está constituido principalmente por arenisca de color gris claro y otras de color marrón debido al intemperismo al que han sido sometidos. Posee una matriz arcillosa que une a los granos minerales de sílice que presente una granulometría fina	
Formación	Tres Lagunas			
Estado de afloramiento	Estable con presencia de erosión			
Humedad	Media			
Estructura	Masivo			
Tipo de Material	Sedimentario			
Dimensiones	Ancho	12 m		
	Alto	4 m		
OTRAS OBSERVACIONES:				
Rumbo				
Buzamiento				

**FOTOGRAFÍA**

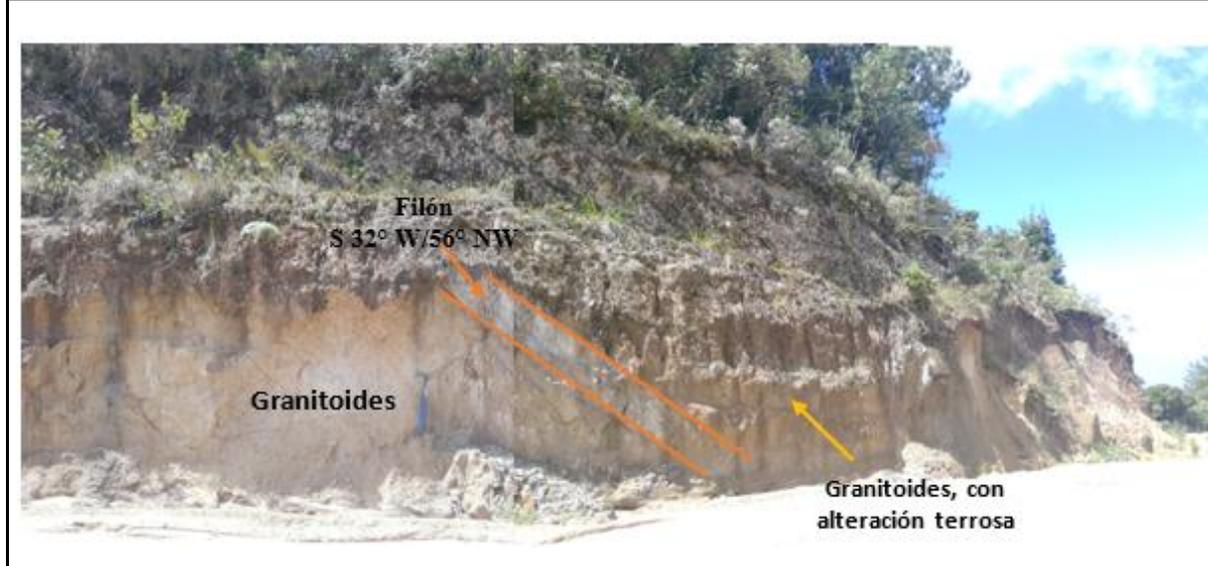




	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>18</b>

DATOS GENERALES				
LOCALIZACION GEOGRAFICA			COORDENADAS	
Provincia	Loja		Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo		Coord. X	689903
Parroquia	Catamayo		Coord. Y	9542756
Barrio	La Era		Altura (m.s.n.m.)	2703
CARACTERISTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA		
Tipo de afloramiento	Natural		El afloramiento una cobertura vegetal de 0.5m y está constituido principalmente por granitoides (rocas graníticas) de color blanquecino, se puede observar además una alteración terrosa, producto de los procesos erosivos, además la presencia de un filón	
Formación	Tres Lagunas			
Estado de afloramiento	Estable con presencia de erosión			
Humedad	Media			
Estructura	Masivo			
Tipo de Material	volcánico			
Dimensiones	Ancho	12 m		
	Alto	4 m		
OTRAS OBSERVACIONES:				
Rumbo	S 32° W			
Buzamiento	56° NW			

**FOTOGRAFÍA**





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	FICHA N°	19

**DATOS GENERALES**

LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo	Coord. X	689485
Parroquia	Catamayo	Coord. Y	9557776
Barrio	Cocha Seca	Altura (m.s.n.m.)	2376

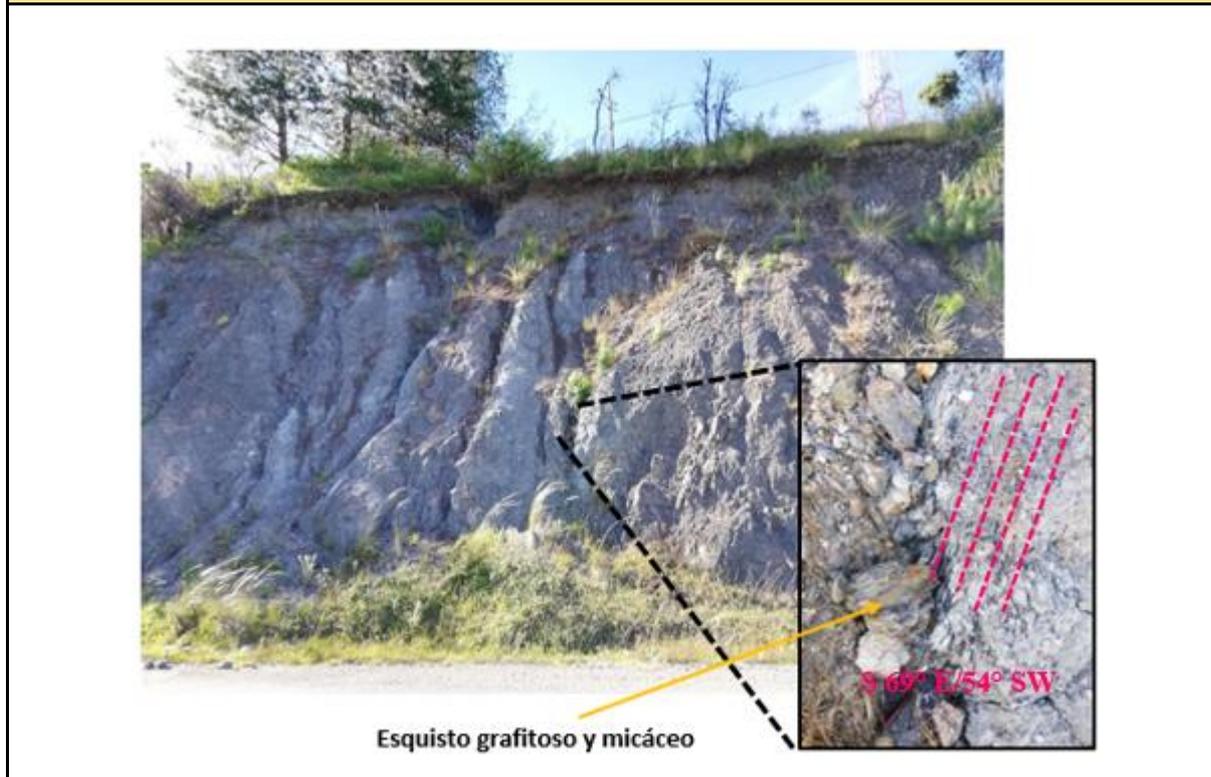
CARACTERISTICAS	DESCRPCIÓN LITOLÓGICA
-----------------	-----------------------

Tipo de afloramiento	Artificial	Esquisto grafitoso de coloración grisáceo y esquisto micáceo de grano medio con cristales de micas de 2-3mm de tamaño, de coloración café, medianamente meteorizado, con presencia de vegetación en todo el afloramiento.
Formación	Chiguinda	
Estado de afloramiento	Estable sin erosión	
Humedad	Media	
Estructura	Laminar	
Tipo de Material	Metamórfico	
Dimensiones	Ancho	
	Alto	3,5 m

**OTRAS OBSERVACIONES:**

Rumbo	S 69° E
Buzamiento	54° SW

**FOTOGRAFÍA**





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	FICHA N°	20

**DATOS GENERALES**

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo	Coord. X	685305
Parroquia	Catamayo	Coord. Y	9543475
Barrio		Altura (m.s.n.m.)	1725

CARACTERÍSTICAS	DESCRPCIÓN LITOLÓGICA
-----------------	-----------------------

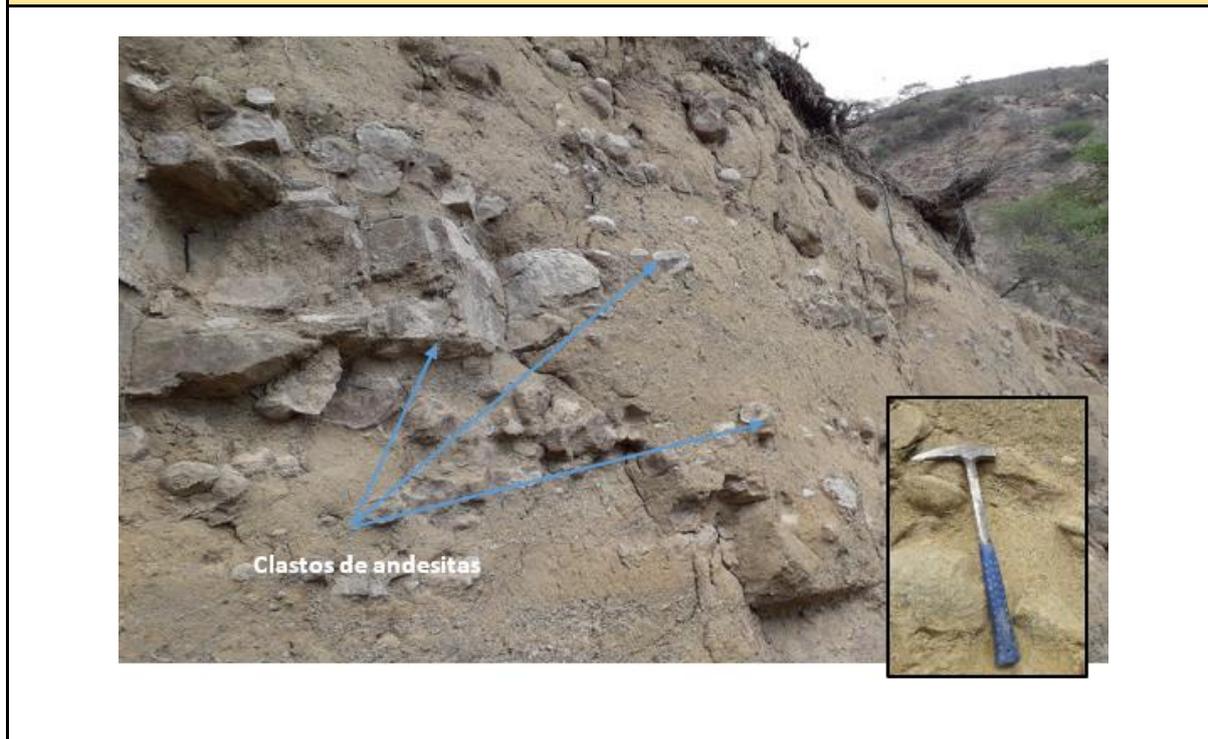
Tipo de afloramiento	Artificial
Formación	Loma Blanca
Estado de afloramiento	Estable sin erosión
Humedad	Baja
Estructura	Masiva
Tipo de Material	Volcano-sedimentaria
Dimensiones	Ancho 58 m
	Alto 10 m

Este afloramiento está constituido por brechas volcánicas con clastos de tamaños de guijarros subangulares de andesitas de color gris verdoso en matriz tobácea.

**OTRAS OBSERVACIONES:**

Rumbo	
Buzamiento	

**FOTOGRAFÍA**

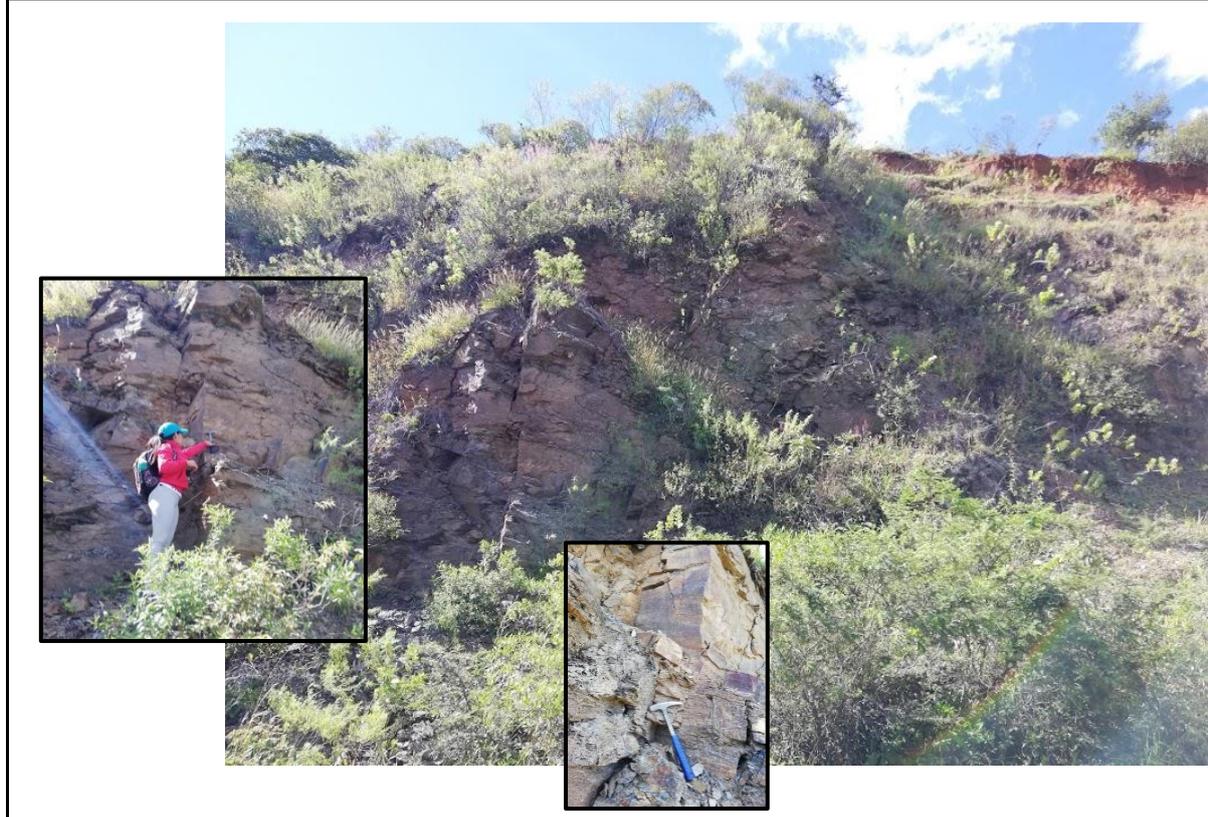




	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>21</b>

DATOS GENERALES				
LOCALIZACION GEOGRAFICA			COORDENADAS	
Provincia	Loja		Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo		Coord. X	686559
Parroquia	Catamayo		Coord. Y	9558853
Barrio			Altura (m.s.n.m.)	1960
CARACTERISTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA		
Tipo de afloramiento	Artificial		Esquito grafitoso de coloración grisáceo y esquisto micáceo de grano medio con cristales de micas de 2-3mm de tamaño, de coloración café, medianamente meteorizado, con presencia de vegetación en todo el afloramiento.	
Formación	Chuiguinda			
Estado de afloramiento	Estable con presencia de erosión			
Humedad	Media			
Estructura	Laminar			
Tipo de Material	Metamórfico			
Dimensiones	Ancho	12 m		
	Alto	8 m		
OTRAS OBSERVACIONES:				
Rumbo	N 10° E			
Buzamiento	30° SE			

**FOTOGRAFÍA**





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	FICHA N°	22

DATOS GENERALES				
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA			COORDENADAS	
Provincia	Loja		Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo		Coord. X	680073
Parroquia	Catamayo		Coord. Y	9554421
Barrio	El Limón		Altura (m.s.n.m.)	1180
CARACTERÍSTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA		
Tipo de afloramiento	Artificial		El afloramiento tiene una cobertura vegetal de 0.2m y está constituido principalmente por riolita de color gris claro en la parte inferior del afloramiento, y a su vez en la parte superior del mismo existe arcilla y material detrítico altamente meteorizado.	
Formación	Catamayo			
Estado de afloramiento	Estable con presencia de erosión			
Humedad	Media			
Estructura	Laminar			
Tipo de Material	Volcano-sedimentaria			
Dimensiones	Ancho	86 m		
	Alto	38 m		
OTRAS OBSERVACIONES:				
Rumbo				
Buzamiento				

**FOTOGRAFÍA**

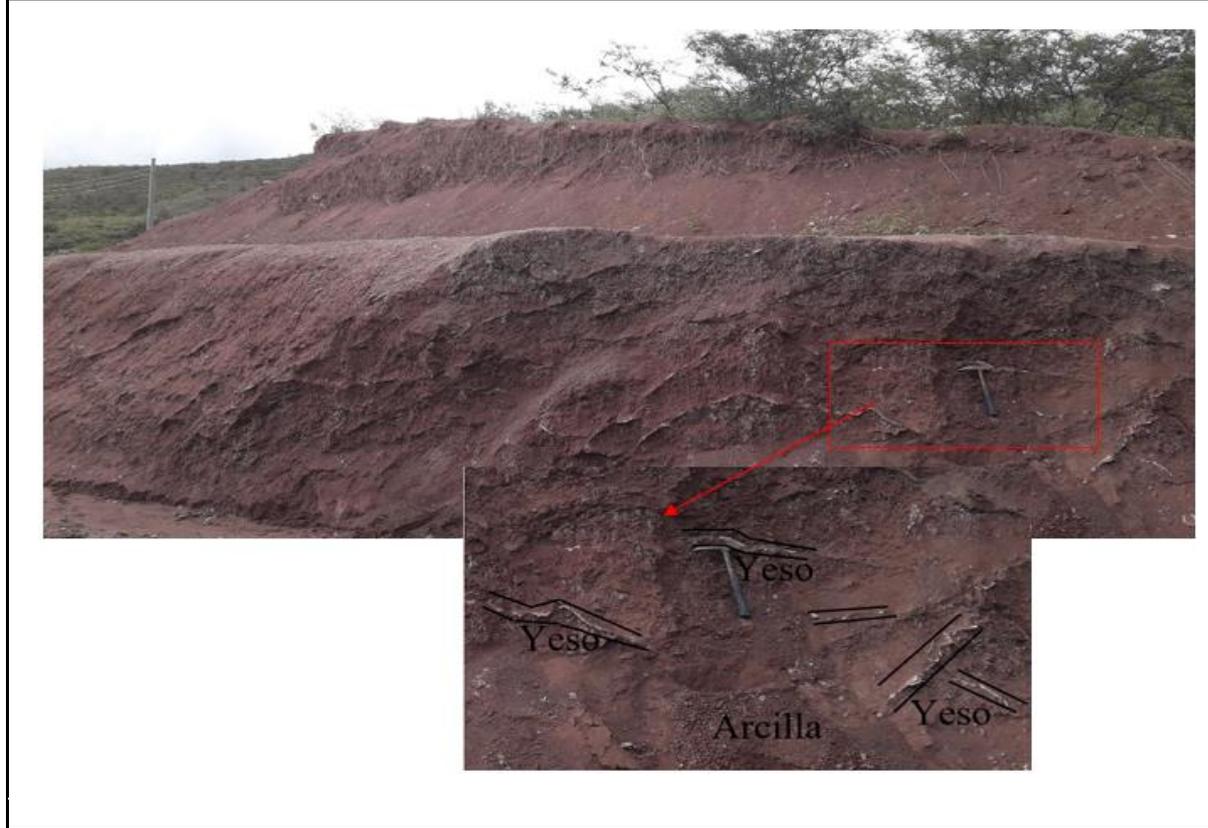




	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	FICHA N°	23

DATOS GENERALES				
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA			COORDENADAS	
Provincia	Loja		Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo		Coord. X	681317
Parroquia	Catamayo		Coord. Y	9561834
Barrio	Trapichillo		Altura (m.s.n.m.)	1314
CARACTERÍSTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA		
Tipo de afloramiento	Artificial		El afloramiento posee una cobertura vegetal de 0.3 m y está constituido por una arcilla de color púrpura con intercalaciones de pequeñas vetillas de yeso, y se puede evidenciar al tacto la presencia de arena.	
Formación	Catamayo			
Estado de afloramiento	Estable con presencia de erosión			
Humedad	Baja			
Estructura	Masivo			
Tipo de Material	Sedimentaria			
Dimensiones	Ancho	10 m		
	Alto	3 m		
OTRAS OBSERVACIONES:				
Rumbo				
Buzamiento				

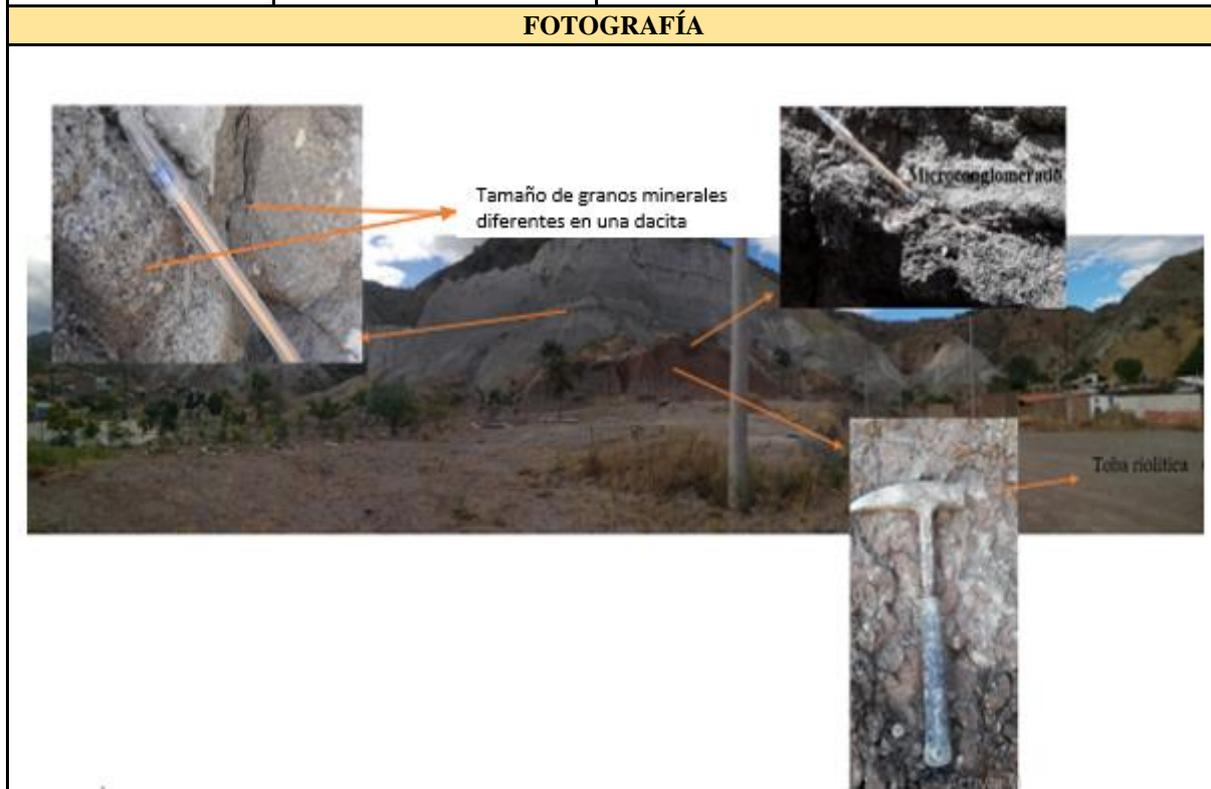
**FOTOGRAFÍA**





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>24</b>

DATOS GENERALES			
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
<b>Provincia</b>	Loja	<b>Datum</b>	WGS-1984
<b>Cantón</b>	Catamayo	<b>Coord. X</b>	6828
<b>Parroquia</b>	Catamayo	<b>Coord. Y</b>	9556799
<b>Barrio</b>	Santo de Guzmán	<b>Altura (m.s.n.m.)</b>	1324
CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
<b>Tipo de afloramiento</b>	Artificial		El afloramiento no posee una cobertura vegetal y se puede evidenciar 4 tipos de eventos geológicos distintos de acuerdo a la depositación. Primero existe una toba riolítica de color rojizo con una potencia de 5 metros, seguidamente un estrato de Microconglomerado con una potencia de 0.30m y posteriormente una dacita de color blanca con una textura cristalina, caracterizada por dos depositaciones diferentes que se ven reflejadas en el tamaño de los granos minerales
<b>Formación</b>	Catamayo		
<b>Estado de afloramiento</b>	Estable con presencia de erosión		
<b>Humedad</b>	Media		
<b>Estructura</b>	Masivo		
<b>Tipo de Material</b>	Sedimentaria		
<b>Dimensiones</b>	<b>Ancho</b>	10 m	
	<b>Alto</b>	3 m	
OTRAS OBSERVACIONES:			
<b>Rumbo</b>	S 42° W		
<b>Buzamiento</b>	48° SE		





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>25</b>

DATOS GENERALES				
LOCALIZACION GEOGRAFICA			COORDENADAS	
Provincia	Loja		Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo		Coord. X	687788
Parroquia	Catamayo		Coord. Y	9551242
Barrio			Altura (m.s.n.m.)	1657
CARACTERISTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA		
Tipo de afloramiento	Artificial		El afloramiento tiene una cobertura vegetal de 0.2m y está constituido principalmente por conglomerados con clastos distribuidos caóticamente y de diferentes tamaños compuestos por granodioritas, andesitas, filitas, esquistos y cuarcitas. Los clastos presentan formas angulares, subangulares hasta subredondeados.	
Formación	Coluviales			
Estado de afloramiento	Estable con presencia de erosión			
Humedad	Media			
Estructura	Masiva			
Tipo de Material				
Dimensiones	Ancho	11 m		
	Alto	9 m		
OTRAS OBSERVACIONES:				
Rumbo				
Buzamiento				

**FOTOGRAFÍA**





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>26</b>

DATOS GENERALES				
LOCALIZACION GEOGRAFICA			COORDENADAS	
Provincia	Loja		Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo		Coord. X	682583
Parroquia	Catamayo		Coord. Y	9549348
Barrio			Altura (m.s.n.m.)	1210
CARACTERISTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA		
Tipo de afloramiento	Artificial		El afloramiento está constituido principalmente por conglomerados con cantos redondeados de cuarcitas, andesitas y filitas en matriz limos-arcillosa, poco consolidado, además la presencia de cárcavas en la parte superior.	
Formación	Aluviales			
Estado de afloramiento	Estable con presencia de erosión			
Humedad	Alta			
Estructura	Masiva			
Tipo de Material				
Dimensiones	Ancho	8 m		
	Alto	4 m		
OTRAS OBSERVACIONES:				
Rumbo				
Buzamiento				

**FOTOGRAFÍA**





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	FICHA N°	27

DATOS GENERALES					
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS			
Provincia	Loja	Datum	WGS-1984		
Cantón	Catamayo	Coord. X	682150		
Parroquia	Catamayo	Coord. Y	9565809		
Barrio		Altura (m.s.n.m.)	2021		
CARACTERÍSTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA			
Tipo de afloramiento	Artificial	El afloramiento se encuentra constituido por brechas andesíticas afloran en la vía Trapichillo-Chichaca, estas rocas son de color gris, textura porfirítica, estructuras masivas, con minerales de feldespatos potásicos y presentan alteración argílica acompañada de vetillas de carbonatos entre las fisuras.			
Formación					
Estado de afloramiento	Estable con presencia de erosión				
Humedad	Baja				
Estructura	Masiva				
Tipo de Material	Volcánico				
Dimensiones	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">Ancho</td> <td style="text-align: center;">24 m</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Alto</td> <td style="text-align: center;">5 m</td> </tr> </table>			Ancho	24 m
Ancho	24 m				
Alto	5 m				
OTRAS OBSERVACIONES:					
Rumbo		(Empty space for observations)			
Buzamiento					

**FOTOGRAFÍA**





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	<b>FICHA N°</b>	<b>28</b>

DATOS GENERALES			
LOCALIZACION GEOGRAFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo	Coord. X	684305
Parroquia	Catamayo	Coord. Y	9562303
Barrio		Altura (m.s.n.m.)	1740
CARACTERISTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento	Artificial	El afloramiento se está constituido por pórfidos andesíticos con estructuras columnares formando un túnel, esto debido a diferentes facies de formación, presencia de minerales de feldespatos potásicos y presentan alteración argílica acompañada de vetillas de calcita entre las fisuras.	
Formación	Pórfido Andesítico		
Estado de afloramiento	Estable con presencia de erosión		
Humedad	Baja		
Estructura	Columnar		
Tipo de Material	Volcánica		
Dimensiones	Ancho		
	Alto	7 m	
OTRAS OBSERVACIONES:			
Rumbo			
Buzamiento			

**FOTOGRAFÍA**





	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	FICHA N°	29

DATOS GENERALES			
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia	Loja	Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo	Coord. X	685624
Parroquia	Catamayo	Coord. Y	9559273
Barrio		Altura (m.s.n.m.)	1420
CARACTERÍSTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento	Artificial	El afloramiento tiene una cobertura vegetal de 0.2m y está constituido principalmente por granitos de tonalidad gris, con textura fanerítica, estructura masiva, con cristales de plagioclasa, cuarzo, feldespato alcalino y anfíbol medianamente meteorizado.	
Formación			
Estado de afloramiento	Estable con presencia de erosión		
Humedad	Media		
Estructura	Masiva		
Tipo de Material	Rocas intrusivas		
Dimensiones	Ancho		
	Alto	25 m	
OTRAS OBSERVACIONES:			
Rumbo			
Buzamiento			
Dirección de Bz.			
FOTOGRAFÍA			

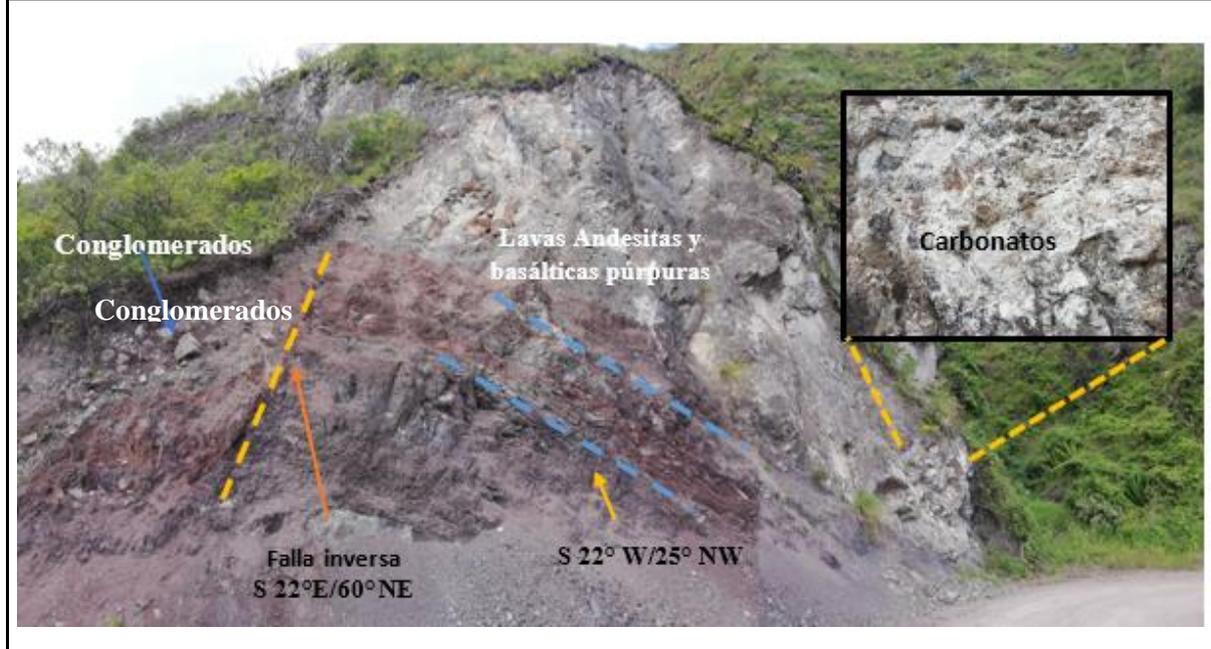




	<b>ELABORACIÓN DE UN MAPA GEOMORFOLÓGICO A ESCALA 1:25000, MEDIANTE UNA PLATAFORMA SIG DE LAS PARROQUIAS CATAMAYO Y EL TAMBO PERTENECIENTES AL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR</b>		
	Ficha para caracterización de afloramientos	FICHA N°	30

DATOS GENERALES				
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA			COORDENADAS	
Provincia	Loja		Datum	WGS-1984
Cantón	Catamayo		Coord. X	685426
Parroquia	Catamayo		Coord. Y	9566068
Barrio	Atillo		Altura (m.s.n.m.)	1948
CARACTERÍSTICAS		DESCRPCIÓN LITOLÓGICA		
Tipo de afloramiento	Artificial		El afloramiento consiste de una secuencia volcano-sedimentaria caracterizada por tobas andesitas basálticas de estructura masiva, de textura porfirítica y coloración gris, junto a una discordancia de conglomerados en matriz arenosa con clastos de andesitas y andesitas basálticas, subredondeados a redondeados rellenos de carbonatos amorfos.	
Formación	Gonzabal			
Estado de afloramiento	Estable con presencia de erosión			
Humedad	Media			
Estructura	Laminar			
Tipo de Material	Volcano-sedimentaria			
Dimensiones	Ancho	14 m		
	Alto	7 m		
OTRAS OBSERVACIONES:				
Rumbo	S 22° W		Además, podemos observar una falla de tipo inversa dirección S 22° E/60 NE y cuyo desplazamiento es de 1,65 m	
Buzamiento	25° NW			

**FOTOGRAFÍA**





## **ANEXO 2**

### **MAPA GEOLÓGICO LOCAL**



## **ANEXO 3**

### **MAPA GEOMORFOLÓGICO**



## **ANEXO 4**

### **MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS**