



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

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

**CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y
ORDENAMIENTO TERRITORIAL**

SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS MEDIANTE EL USO DE SIG, A ESCALA 1: 10
000, DEL TRAMO VIAL COMPRENDIDO DESDE: EL REDONDEL DEL BARRIO EL
PLATEADO HASTA EL ANTIGUO PEAJE DEL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE
LOJA

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

AUTOR:

Edgar Mauricio Cabrera Malla

DIRECTOR:

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg, Sc.

Loja - Ecuador

2021

CERTIFICACIÓN

Ingeniero.

Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS Y DOCENTE DE 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, realizado por el señor egresado: EDGAR MAURICIO CABRERA MALLA con C.I.; 1105150690, en su proceso de investigación denominado: “SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS MEDIANTE EL USO DE SIG, A ESCALA 1: 10 000, DEL TRAMO VIAL COMPRENDIDO DESDE: EL REDONDEL DEL BARRIO EL PLATEADO HASTA EL ANTIGUO PEAJE DEL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA”, previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, el mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, en consecuencia me permito autorizar para su presentación, sustentación y defensa

Loja, 24 de agosto del 2021



Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, EDGAR MAURICIO CABRERA MALLA, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

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



Firma:

C.I: 1105150690

Fecha: 04 de Noviembre del 2021

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, EDGAR MAURICIO CABRERA MALLA, declaro ser el autor de la tesis titulada: “SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS MEDIANTE EL USO DE SIG, A ESCALA 1: 10 000, DEL TRAMO VIAL COMPRENDIDO DESDE: EL REDONDEL DEL BARRIO EL PLATEADO HASTA EL ANTIGUO PEAJE DEL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA”, como requisito para optar al grado de: INGENIERO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los cuatro días del mes de Noviembre del dos mil veintiuno.



Firmado digitalmente por:
**EDGAR MAURICIO
CABRERA MALLA**

Firma:

Autor: Edgar Mauricio Cabrera Malla

Cédula: 1105150690

Correo electrónico: edgarcabrera1717@hotmail.com

Teléfono: 0988506918

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg, Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg, Sc.

Ing. Maritza Ximena Ochoa Tapia, Mg, Sc.

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg, Sc.

DEDICATORIA

A Dios por brindarme sabiduría para culminar mis estudios y fortaleza para saber sobrellevar los momentos complicados a lo largo de mi etapa estudiantil.

A mis padres y hermanos, los cuales son una guía indispensable para el cumplimiento de mis objetivos, brindándome sus sabios consejos y siendo el sostén fundamental en mi crecimiento personal y profesional.

A mi familia, ya que con una palabra de aliento me motivaron a seguir adelante y no desistir en mis metas.

Edgar Mauricio Cabrera Malla

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Loja, por abrirme las puertas de sus aulas y permitir mi formación profesional y personal.

A los docentes de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, por impartir sus conocimientos hacia mi persona a los largo de 5 años de vida estudiantil.

Al Ing. Fermín González Mg. Sc., director de tesis, por brindar su conocimiento y tiempo al encaminar mi trabajo de investigación de buena manera, destacando su amabilidad y paciencia a lo largo de la carrera y proyecto de investigación.

A mis padres y hermanos, los cuales me motivan a seguir cumpliendo mis objetivos, todos ellos siendo un pilar importante en la consecución de mi trabajo de investigación, brindándome su apoyo desinteresado, este logro cumplido es por ellos.

A mi pareja sentimental, la cual con una palabra de aliento me da fortaleza para no decaer en momentos difíciles.

Edgar Mauricio Cabrera Malla

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----|
| CERTIFICACIÓN..... | II |
| AUTORÍA..... | III |
| CARTA DE AUTORIZACIÓN..... | IV |
| DEDICATORIA..... | V |
| AGRADECIMIENTO..... | VI |
| TABLA DE CONTENIDOS..... | VII |
| 1. TÍTULO..... | 1 |
| 2. RESUMEN..... | 2 |
| ABSTRACT..... | 4 |
| 3. INTRODUCCIÓN..... | 6 |
| 4. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 9 |
| 4.1 Susceptibilidad a deslizamientos..... | 9 |
| 4.2 Movimientos en Masa..... | 11 |
| 4.2.1 Clasificación de los movimientos en masa..... | 12 |
| 4.2.2 Velocidad de los movimientos en masa..... | 21 |
| 4.2.2 Factores de inestabilidad..... | 23 |
| 4.2.3 Inventario de Movimientos en masa..... | 26 |
| 4.3 Sistemas de Información Geográfica..... | 27 |
| 4.3.1 Métodos de análisis de los SIG..... | 27 |
| 4.3.2 Integración de los Métodos de Susceptibilidad a deslizamientos con los Sistemas de Información Geográfica..... | 30 |
| 4.3.3 Elaboración de mapas de susceptibilidad a deslizamientos..... | 30 |
| 4.3.4 Variables para elaborar un mapa de susceptibilidad a deslizamientos..... | 31 |
| 5. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 33 |

| | |
|---|-----|
| 5.1 Materiales..... | 33 |
| 5.2 Método..... | 34 |
| 5.3 Metodología..... | 35 |
| 5.3.1 Variables condicionantes a deslizamientos..... | 35 |
| 5.3.2 Variables desencadenantes a deslizamientos..... | 51 |
| 5.4 Determinación de susceptibilidad a deslizamientos..... | 54 |
| 6. RESULTADOS..... | 58 |
| 6.1 Ubicación y acceso..... | 58 |
| 6.1.2 Clima..... | 59 |
| 6.1.3 Datos Socioeconómicos..... | 60 |
| 6.2 Análisis de Susceptibilidad en la zona de estudio..... | 63 |
| 6.2.1 Topografía..... | 63 |
| 6.2.2 Pendientes..... | 64 |
| 6.2.3 Mapa de Cobertura y Uso actual de suelo..... | 65 |
| 6.2.4 Geomorfología..... | 67 |
| 6.2.5 Geología..... | 68 |
| 6.3 Análisis de Factores desencadenantes..... | 94 |
| 6.3.1 Precipitaciones..... | 94 |
| 6.3.2 Temperatura..... | 97 |
| 6.4 Determinación de la Susceptibilidad a movimientos por remoción en masa..... | 98 |
| 6.4.1 Factores Condicionantes..... | 98 |
| 6.4.2 Factores desencadenantes..... | 103 |
| 6.4.3 Obtención del mapa de Susceptibilidad a deslizamientos..... | 104 |
| 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 109 |
| 8. CONCLUSIONES..... | 112 |

| | |
|-------------------------|-----|
| 9. RECOMENDACIONES..... | 115 |
| 10. BIBLIOGRAFÍA..... | 117 |
| 11. ANEXOS..... | 121 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1.- Clasificación de la susceptibilidad a deslizamientos con base a la observación de la morfología del terreno..... | 10 |
| Tabla 2.- Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos (Sarkar y Kanungo, 2004)..... | 10 |
| Tabla 3.- Velocidad de los movimientos de remoción en masa..... | 22 |
| Tabla 4.- Causas de movimientos del terreno | 23 |
| Tabla 5.- Métodos de análisis de susceptibilidad..... | 27 |
| Tabla 6.- Factores, Procesos y criterios involucrados en la generación de deslizamientos..... | 35 |
| Tabla 7.- MDT utilizados en la zona de estudio | 36 |
| Tabla 8.- Quebradas presentes en la zona de estudio..... | 38 |
| Tabla 9.- Categorización de pendientes | 39 |
| Tabla 10.- Ortofotos utilizadas en la zona de estudio | 40 |
| Tabla 11.- Grupos de geoformas según su génesis | 42 |
| Tabla 12.- Valores índice para la variable Geomorfología..... | 43 |
| Tabla 13.- Pesos criterio de la variable uso de suelo | 46 |
| Tabla 14.- Ubicación de carta geológica "Loja" escala 1:100 000 | 47 |
| Tabla 15.- Pesos asignados a la variable Geología | 48 |
| Tabla 16.- Pesos asignados a la variable precipitaciones..... | 52 |
| Tabla 17.- Rangos asignados a la variable temperatura..... | 54 |
| Tabla 18.- Criterios de asignación de pesos a subvariables..... | 54 |
| Tabla 19.- Pesos criterio mediante el método suma de rangos | 56 |
| Tabla 20.- Coordenadas de la zona de estudio..... | 59 |
| Tabla 21.- Población de la Provincia de Loja | 61 |
| Tabla 22.- Población del Cantón Catamayo..... | 62 |
| Tabla 23.- Área y porcentaje que ocupan las superficies de pendiente | 64 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 24.- Cobertura y uso de suelo en la zona de estudio | 65 |
| Tabla 25.- Geoformas en la zona de estudio | 67 |
| Tabla 26.- Formaciones Geológicas y rocas intrusivas de la zona de estudio | 68 |
| Tabla 27.- Afloramientos levantados en la zona de estudio | 73 |
| Tabla 28.- Inventario de deslizamientos | 93 |
| Tabla 29.- Datos de precipitaciones de las estaciones tomadas para la zona de estudio | 95 |
| Tabla 30.- Datos de precipitaciones anuales | 96 |
| Tabla 31.- Datos de temperatura de las estaciones tomadas para la zona de estudio | 97 |
| Tabla 32.- Datos de temperatura promedio anual | 98 |
| Tabla 33.- Pesos asignados a la variable Cobertura y uso de suelo | 99 |
| Tabla 34.- Pesos asignados a la variable pendiente | 101 |
| Tabla 35.- Pesos asignados a la variable Geomorfología | 101 |
| Tabla 36.- Pesos asignados a la variable Geología | 102 |
| Tabla 37.- Pesos asignados a las variables condicionantes..... | 103 |
| Tabla 38.- Pesos asignados a la variable precipitaciones..... | 103 |
| Tabla 39.- Pesos asignados a la variable temperatura..... | 103 |
| Tabla 40.- Pesos asignados a las variables desencadenantes | 104 |
| Tabla 41.- Categorías de Susceptibilidad a deslizamientos | 104 |
| Tabla 42.- Efectividad del método utilizado..... | 108 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.- Elementos de un movimiento en masa..... | 13 |
| Figura 2.- Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG (1990)..... | 15 |
| Figura 3.- Tipos de deslizamientos rotacionales..... | 16 |
| Figura 4.- Deslizamientos Traslacionales | 17 |
| Figura 5.- Ángulo de desplazamiento | 18 |
| Figura 6.- Longitud y ángulo de recorrido..... | 19 |
| Figura 7.- Caída de rocas | 20 |
| Figura 8.- Tipos de Flujos..... | 21 |
| Figura 9.- Uso de SIGs para el análisis de distribución de deslizamientos. | 32 |
| Figura 10.- Mosaico MDT de la zona de estudio | 37 |

| | |
|---|-----|
| Figura 11.- Mosaico de ortofotos de la zona de estudio | 41 |
| Figura 12.- Visualización 3D de la zona de estudio. | 41 |
| Figura 13.- Uso de la herramienta Suma Ponderada | 55 |
| Figura 14.- Ubicación del sitio de estudio | 58 |
| Figura 15.- Actividades productivas en la provincia de Loja | 63 |
| Figura 16.- Porcentaje que ocupan las pendientes en la zona de estudio | 64 |
| Figura 17.- Afloramientos levantados en la zona de estudio | 74 |
| Figura 18.- Afloramiento N.- 1 | 76 |
| Figura 19.- Afloramiento N.-5 | 77 |
| Figura 20.- Afloramiento N.- 10..... | 78 |
| Figura 21.- Afloramiento N.-15. Margen Izquierdo y derecho | 79 |
| Figura 22.- Afloramiento N.-18..... | 80 |
| Figura 23.- Afloramiento N.- 23 | 81 |
| Figura 24.- Afloramiento N.- 25 | 82 |
| Figura 25.- Afloramiento N.- 29 | 83 |
| Figura 26.- Afloramiento N.- 43..... | 84 |
| Figura 27.- Falla inversa Huancabamba | 87 |
| Figura 28.- Intrusión de arenisca en esquistos | 88 |
| Figura 29.- Falla Catamayo | 89 |
| Figura 30.- Buffer realizado a las fallas determinadas en campo | 90 |
| Figura 31.- Contacto entre Intrusión Duraznillo y Unidad Chiguinda | 91 |
| Figura 32.- Columna estratigráfica de la zona de estudio..... | 92 |
| Figura 33.- Precipitaciones de la zona de estudio..... | 96 |
| Figura 34.- Temperatura de la zona de estudio..... | 98 |
| Figura 35.- Valores de susceptibilidad obtenidos..... | 105 |

1. TÍTULO



SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS MEDIANTE EL USO DE SIG, A ESCALA 1: 10
000, DEL TRAMO VIAL COMPRENDIDO DESDE: EL REDONDEL DEL BARRIO EL
PLATEADO HASTA EL ANTIGUO PEAJE DEL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE
LOJA



2. RESUMEN

La presente investigación consistió en realizar un mapa de susceptibilidad a deslizamientos a escala 1: 10 000, del tramo vial concerniente desde el barrio El Plateado con coordenadas X: 696095,1; Y: 9559711,8 de la ciudad de Loja, hasta el antiguo peaje del cantón Catamayo con coordenadas X: 684849,2; Y: 9559706,7 identificando y caracterizando zonas susceptibles a producirse deslizamientos.

Para ello se trabajó con distintas variables condicionantes a deslizamientos, las cuales fueron definidas según el autor en orden jerárquico de la siguiente manera: Geología, Pendientes, Geomorfología, Cobertura y uso de suelo, además para coadyuvar con el análisis de las zonas susceptibles se trabajó con dos factores desencadenantes los cuales fueron implementados por la incidencia provocada en la inestabilidad del terreno, estos factores son: precipitaciones trabajada en mm/año y temperaturas anuales en °C.

La información recolectada en campo fue procesada en el software ArcGIS 10,3 a partir del Método Espacial Multicriterio de Suma de Rangos, el cual, como menciona Estrella, O (2016), se basa en la asignación de pesos para las variables del mapa de susceptibilidad, el mismo que considera los factores que influyen en la inestabilidad mediante asignación de pesos o criterios de expertos, los pesos fueron asignados acorde a la metodología de Janssen y Van Herwijnen (1994) y el orden jerárquico se determinó según el autor denotando los siguientes valores: Geología (0,29), Pendientes (0,24), Geomorfología (0,19), Cobertura y uso de suelo (0,14), Precipitación (0,10) y Temperatura (0,05).

Se efectuó una correlación entre los resultados obtenidos en gabinete y las condiciones reales del terreno se realizando un inventario de deslizamientos, identificándose: 8 deslizamientos rotacionales, distribuidos a lo largo del tramo vial y 6 deslizamientos de tipo traslacional, los cuales al igual que los anteriores se encontraron dispersos a lo largo de toda la zona de estudio.

Del resultado obtenido 8 deslizamientos se ubican en zona de susceptibilidad alta, y los restantes 6 se ubican en zonas de susceptibilidad muy alta, verificando la efectividad del método.

Como resultado final en la aplicación del Método de Suma de Rangos se obtuvo el mapa de susceptibilidad a deslizamientos a escala 1:10 000, obteniendo los siguientes resultados: de un total de 4560,01 ha: el rango de susceptibilidad muy baja ocupa el 1,93% equivalente a una extensión de 88,20 ha, susceptibilidad baja ocupando el 12,90% equivalente a una extensión de 588,10 ha, susceptibilidad media ocupando el 35,23% equivalente a 1606,47 ha, susceptibilidad alta, se debe destacar que es el rango que mayor presencia tiene en la zona de estudio ocupando el 41,89% el cual es equivalente a una extensión de 1909,89 ha, y finalmente el rango de susceptibilidad muy alta ocupando el 8,05 % de la total de la zona lo que refiere una extensión de 367,35 ha.

La finalidad del trabajo investigativo es que se pueda usar como herramienta coadyuvante, misma que favorezca a la toma de decisiones de los distintos organismos gubernamentales en la elaboración de Planes de Ordenamiento Territorial, adecuación y/o mejoramiento vial y correcta disposición espacial de posibles asentamientos humanos cercanos al área de influencia de la zona de estudio.

Palabras clave: Susceptibilidad a deslizamientos, factores condicionantes, factores desencadenantes, jerarquías analíticas, ArcGIS 10.3, rangos.

ABSTRACT

The present investigation consisted in making a map of susceptibility to landslides at a scale of 1: 10 000, of the road section concerned from the El Plateado neighborhood with coordinates X: 696095.1; Y: 9559711.8 from the city of Loja, up to the old tollbooth of the Catamayo canton with coordinates X: 684849.2; Y: 9559706.7 identifying and characterizing areas susceptible to landslides.

For this purpose, we worked with different variables that condition landslides, which were defined according to the author in hierarchical order as follows: Geology, slopes, Geomorphology, coverage and land use, in addition to assist with the analysis of susceptible areas, we worked with two triggering factors which were implemented by the incidence caused in the instability of the terrain, these factors are: precipitation worked in mm/year and annual temperatures in oC.

The information collected in the field was processed in ArcGIS 10.3 software using the Spatial Multicriteria Rank Sum Method, which, as mentioned by Estrella, O (2016), is based on the assignment of weights for the variables of the susceptibility map, the same that considers the factors that influence instability by assigning weights or expert criteria, the weights were assigned according to the methodology of Janssen and Van Herwijnen (1994) and the hierarchical order was determined according to the author denoting the following values: Geology (0.29), Slopes (0.24), Geomorphology (0.19), Land cover and land use (0.14), Precipitation (0.10) and Temperature (0.05).

A correlation was made between the results obtained in the office and the real conditions of the terrain, making an inventory of landslides, identifying: 6 rotational landslides, distributed along the road section and 8 translational landslides, which like the previous ones were scattered throughout the study area. From the results obtained, 8 landslides are located in high susceptibility

zones, and the remaining ones are located in very high susceptibility zones, verifying the effectiveness of the method.

As a final result of the application of the Sum of Ranges Method, the landslide susceptibility map was obtained at a scale of 1:10,000, obtaining the following results: of a total of 4,560.01 ha: 88,20 ha, correspond to very low susceptibility occupying 1,93%, 588,10 ha correspond to low susceptibility occupying 12,90%, 1606,47 ha, correspond to medium susceptibility occupying 35,23%, 1909,89 ha, correspond to high susceptibility occupying 41,89%, finally 367,35 ha, which correspond to very high susceptibility occupying 8,05 % .

The purpose of the research work is to be used as an adjuvant tool, which can be used to support the decision making process of the different governmental agencies in the elaboration of Land Management Plans, adaptation and/or improvement of roads and the correct spatial disposition of possible human settlements near the area of influence of the study zone.

Keywords: Landslide susceptibility, conditioning factors, triggers factors, analytical hierarchies, ArcGIS 10.3, ranges.

3. INTRODUCCIÓN

“La susceptibilidad, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que puedan ocurrir deslizamientos”. Suarez, J. (1998).

Los estudios de susceptibilidad a deslizamientos permiten identificar zonas propensas a la ocurrencia de estos fenómenos, las cuales pueden verse afectadas debido a la propia litología de los materiales o diversos agentes mismos que pueden ser geomorfológicos e hidrológicos, propios del entorno en los cuales se ubican dichos materiales.

El estudio realizado tiene como propósito analizar zonas susceptibles a deslizamientos en la vía Panamericana – Troncal Sur, en el tramo definido entre el redondel del barrio El Plateado, hasta el antiguo peaje del cantón Catamayo, a partir del análisis de variables condicionantes y desencadenantes que permitan reconocer las condiciones reales de terreno, mediante métodos de interpretación de ortofotos a escala 1:5000, trabajo de campo y manejo de herramientas SIG.

A partir del análisis de las distintas variables trabajadas, mismas entre las cuales se tienen: Geología, Pendientes, Geomorfología, Cobertura y uso de suelo, Precipitaciones y Temperatura se realizó el mapa final de susceptibilidad a deslizamientos mediante el Método Espacial Multicriterio de Suma de Rangos, asignando pesos a cada subvariable y variable, en dependencia de las observaciones y labores realizadas en campo y gabinete por el autor. Se enfatiza que para corroborar los datos obtenidos en el mapa de susceptibilidad a deslizamientos se realizó un inventario de deslizamientos, teniendo una totalidad de 8 deslizamientos en zona de susceptibilidad alta, entre los cuales se encuentran 3 deslizamientos traslacionales y 5 deslizamientos rotacionales, y, una totalidad de 6 deslizamientos en zona de susceptibilidad muy

alta, entre los cuales se tienen 3 deslizamientos rotacionales y 3 deslizamientos traslacionales , verificando una efectividad del 88,56% en el método utilizado, en cuando a número de deslizamientos presentes en zona de susceptibilidad alta y muy alta, todo ello se desprende de un correcto trabajo en campo y una acertada asignación de pesos a las variables analizadas.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar la susceptibilidad a deslizamientos en el tramo vial comprendido desde El redondel del Barrio “El Plateado” hasta el antiguo Peaje del cantón Catamayo de la provincia de Loja por medio de un Sistema de Información Geográfica.

Objetivos Específicos.

- Caracterizar las variables condicionantes a deslizamientos presentes en el área de estudio como medio de verificación conjunta al proceso de fotointerpretación.
- Generar un mapa de variables desencadenantes a deslizamientos en la zona de estudio en un lapso de tiempo de 20 años atrás.
- Elaborar un mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos mediante el Método Multicriterio de Suma de Rangos.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Susceptibilidad a deslizamientos

Soeters y van Westen (1996) citados por Aristizábal y Yokota (2006), definen la susceptibilidad como la posibilidad de que un fenómeno ocurra en un área de acuerdo con las condiciones locales del terreno. Los factores detonantes, como precipitación, sismicidad y actividad volcánica no son considerados dentro de la definición.

Según Suarez J. (1998) La susceptibilidad, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que puedan ocurrir deslizamientos.

Ayala C, (2002) dice que la susceptibilidad está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso determinado, en este caso movimientos por remoción en masa.

“Para determinar los grados de susceptibilidad se puede utilizar algunos métodos, cuyo objetivo principal es indicar y priorizar las zonas de probable ocurrencia de peligros geológicos. El inventario de movimientos en masa sirve para validar los modelos generados”.¹

Vargas (2004) define a la susceptibilidad a deslizamientos como “la predisposición natural o potencialidad que tiene un área para que se presenten fenómenos de remoción en masa bajo la influencia de agentes tales como altas precipitaciones, cortes naturales y/o artificiales y sismos”.

Las siguientes tablas indican la clasificación de susceptibilidad a deslizamientos y criterios en la determinación del grado de susceptibilidad según Crozier, (1986) y Suarez, (2009).

¹ Ayala Carcedo, F. (2002). Una reflexión sobre los mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera, su naturaleza, funciones, problemática y límites.

Tabla 1.- Clasificación de la susceptibilidad a deslizamientos con base a la observación de la morfología del terreno

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

Fuente: Crozier, 1986

Tabla 2.- Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos (Sarkar y Kanungo, 2004)

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

Fuente: Elaborado por el autor a partir de Suarez. J, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, pág., 359.

4.2 Movimientos en Masa

Corominas y García Yagüe definen a los movimientos de ladera como los movimientos del terreno o desplazamientos que afectan a los materiales en laderas o escarpes. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad (Corominas y García Yagüe, 1997). Los hundimientos de cavidades o de materiales están excluidos de estos movimientos (Varnes, 1978).

Los movimientos en masa, también denominados procesos gravitacionales, de ladera o de gravedad asistida (llamados así, porque además de la gravedad, en el movimiento intervienen otros factores como el agua, etc), son procesos en los que la gravedad impulsa directamente a los materiales propiciando fenómenos de autotraslación, dando lugar a un conjunto de diversos fenómenos cuyo nexo común está en la necesidad de una inclinación del terreno para su desarrollo. Estas masas movidas y su velocidad, a partir de ciertos umbrales, son las que entrañan peligros y causan destrozos de vidas y bienes humanos. La amplia distribución actual de actividades humanas, unida a la gran extensión de zonas sujetas a movimientos de ladera, da lugar a que este sea uno de los riesgos naturales que afectan a todo tipo de regiones. La influencia humana en este riesgo se debe tanto a la presencia de elementos vulnerables como a la influencia humana directa o indirecta en el proceso natural. UNDRO (1991).

Se entiende como movimiento de ladera, el movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente (Cruden, 1991).

Remondo, J (2001) enfatiza que los movimientos en masa contribuyen de manera apreciable a la evolución del paisaje; la principal expresión geomorfológica de esta evolución es la transferencia de masa desde las zonas de denudación hasta las áreas de sedimentación. La denudación es la consecuencia de la actuación de agentes erosivos, entre ellos los movimientos en

masa. Los procesos de ladera no solo producen denudación y transporte, sino que modifican las condiciones de las laderas, facilitando la erosión por parte de otros agentes externos. Además, los movimientos en masa generan formas y depósitos que constituyen en sí mismos elementos significativos del paisaje.

4.2.1 Clasificación de los movimientos en masa.

Para la clasificación de los movimientos en masa se presenta el sistema propuesto originalmente por Varnes (1978), el cual tipifica los principales tipos de movimiento y basa fundamentalmente en el mecanismo de rotura y propagación del movimiento utilizando criterios morfológicos.

4.2.1.1 Deslizamientos

Sharpe, (1938) define un deslizamiento como un movimiento perceptible ladera debajo de una masa relativamente seca de tierra, roca o de una mezcla de ambas, a través de un mecanismo de deslizamiento o desprendimiento. Posteriormente Terzaghi, el padre de la mecánica de suelos, centra su definición en un desplazamiento rápido de una masa de roca, suelo residual o sedimentos de una ladera, en el cual el centro de gravedad de la masa que se desplaza se mueve hacia abajo y hacia el exterior (Terzaghi, 1950). Tiempo después, Varnes especifica que este movimiento hacia debajo de los materiales formadores de las laderas puede incluir materiales naturales y artificiales (Varnes, 1958).

A. Geomorfología de un deslizamiento

Un movimiento en masa comprende una parte alta o superior convexa con una cabeza, cima, cresta o eskarpe, donde se presentan procesos de denudación o erosión; una parte intermedia semi-recta y una parte baja o inferior cóncava con un pie, pata o base, en la cual ocurren principalmente procesos de deposición (Suárez, 2009). Un movimiento en masa puede ser descrito por las características geomorfológicas de la masa desplazada y el terreno alrededor del movimiento.

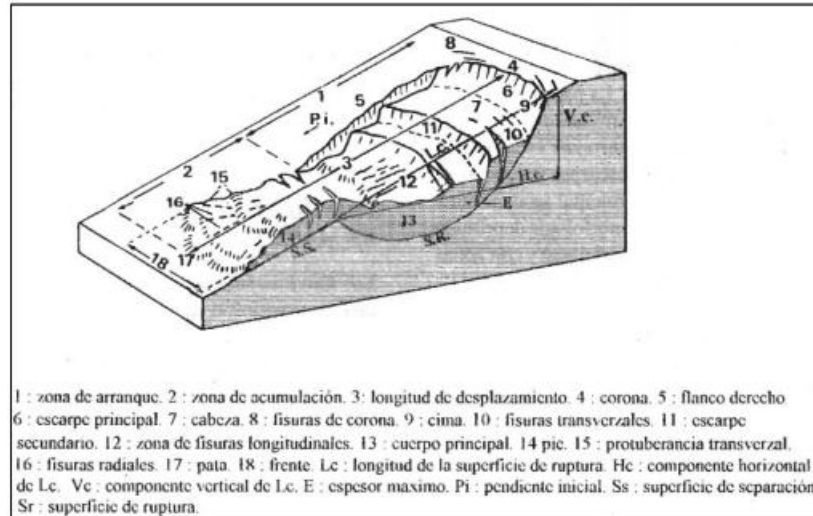


Figura 1.- Elementos de un movimiento en masa

Fuente: Millies & Lacroix, 1981

En un movimiento en masa se definen los siguientes elementos constitutivos (Suárez, 2009):

- **Cabeza:** Parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. Arriba de la cabeza está la corona.
- **Cima:** El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- **Corona:** El material que se encuentra en el sitio, (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.
- **Escarpe principal:** Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de la falla.
- **Escarpe secundario:** Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.

- **Superficie de falla:** Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de ésta, se desplaza. En algunos movimientos no hay superficie de falla.
- **Pie de la superficie de falla:** La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- **Base:** El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
- **Punta o uña:** El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
- **Cuerpo principal del deslizamiento:** El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.
- **Superficie original del terreno:** La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.
- **Costado o flanco:** Un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo.

B. Dimensiones de un deslizamiento.

Según Suarez, (2009) para dimensionar un deslizamiento se utiliza la terminología recomendada por el IAEG.

- **Ancho de la masa desplazada W_d :** Ancho máximo de la masa desplazada, perpendicular a la longitud L_d .
- **Ancho de la superficie de falla W_r :** Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicular a la longitud L_r .
- **Longitud de la masa deslizada L_d :** Distancia mínima entre la punta y la cabeza.

- **Longitud de la superficie de falla L_r :** Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
- **Profundidad de la masa desplazada D_d :** Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d .
- **Profundidad de la superficie de falla D_r :** Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por W_r y L_r .
- **Longitud total L :** Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.
- **Longitud de la línea central L_c :** Distancia que hay desde la punta (o uña) hasta la corona del deslizamiento, a lo largo de los puntos ubicados sobre la superficie original y equidistantes de los bordes laterales o flancos.

Igualmente, se deben medir alturas del nivel freático, alturas de los escarpes, radios de rotación del movimiento, pendientes de la superficie antes y después de la falla. En los deslizamientos la escala horizontal debe ser igual a la vertical. Se recomienda que las dimensiones sean identificadas en planos en planta y perfil del deslizamiento.

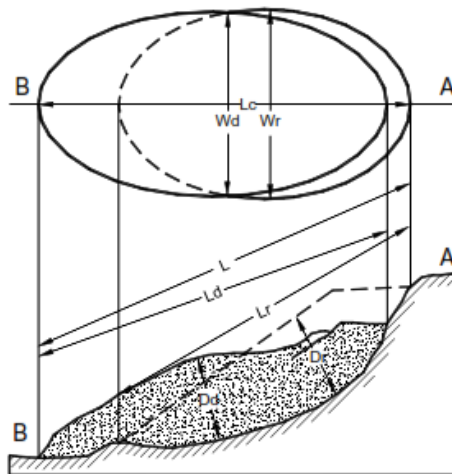


Figura 2.- Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG (1990)

Fuente: Suarez, J. (2009)

C. Tipos de deslizamientos

I. Deslizamientos Rotacionales

González de Vallejo (2002), enfatiza que los deslizamientos rotacionales son más frecuentes en suelos cohesivos «homogéneos». La rotura, superficial o profunda, tiene lugar a favor de superficies curvas o en «forma de cuchara». Una vez iniciada la inestabilidad, la masa empieza a rotar, pudiendo dividirse en varios bloques que deslizan entre sí y dan lugar a «escalones» con la superficie basculada hacia la ladera y a grietas de tracción estriadas. Sus dimensiones más frecuentes varían entre varias decenas y centenares de metros, tanto en longitud como en anchura, y pueden ser superficiales o profundos (el límite puede establecerse en torno a los 10 m). La parte inferior de la masa deslizada se acumula al pie de la ladera formando un depósito tipo lóbulo con grietas de tracción transversales. Dependiendo del tipo de suelos y del contenido en agua, se pueden generar flujos.

A continuación (figura 3) se presenta diferentes modelos de deslizamientos curvos o rotacionales; los de tipo sucesivo se dan en arcillas duras fisuradas con pendientes cercanas a su ángulo de equilibrio y en arcillas blandas muy sensitivas, donde el primer deslizamiento da lugar a una acumulación de arcilla remoldeada que fluye y deja sin sustento al material superior de la ladera, provocándose sucesivas roturas. Son roturas poco profundas pero de gran continuidad lateral.

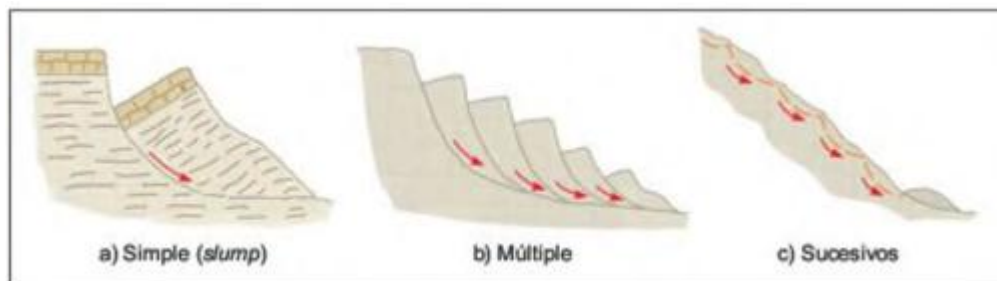


Figura 3.- Tipos de deslizamientos rotacionales
Fuente: González de Vallejo, (2002)

II. Deslizamientos Traslacionales

González de Vallejo, (2002) señala que en los deslizamientos traslacionales la rotura tiene lugar a favor de superficies planas de debilidad preexistentes (superficie de estratificación, contacto entre diferentes tipos de materiales, superficie estructural, etc.); en ocasiones, el plano de rotura es una fina capa de material arcilloso entre estratos de mayor competencia. No suelen ser muy profundos, aunque sí muy extensos y alcanzar grandes distancias. Pueden darse en suelos y en rocas y las masas que deslizan en ocasiones son bloques rectangulares previamente independizados por discontinuidades o por grietas de tracción (deslizamientos de bloques). Son frecuentes en este tipo de inestabilidades los movimientos a impulsos o en fase diferentes en el tiempo según las condiciones de resistencia de los planos de deslizamiento, que no tienen por qué presentar una pendiente elevada.



Figura 4.- Deslizamientos Traslacionales
Fuente: González de Vallejo, (2002)

D. Volumen de un deslizamiento

El volumen del deslizamiento se mide en metros cúbicos después de la falla. El volumen aproximado de un desplazamiento de rotación puede calcularse utilizando la expresión²:

$$Vol_{des} = \left(\frac{1}{6} \pi D_r \times W_r \times L_r \right) F_{ex}$$

Donde

² Suarez, J. (2009). Deslizamientos, análisis Geotécnico. Pg 6.

Fex: Factor de expansión del suelo al ser perturbado.

El volumen de material medido antes del deslizamiento, generalmente aumenta con el movimiento debido a que el material se dilata. El término “Factor de expansión” puede ser utilizado para describir este aumento en volumen, como un porcentaje del volumen antes del movimiento. Este factor es comúnmente de 1.25 a 1.30. En algunas ocasiones, como en el caso de la roca el factor de expansión puede ser hasta de un 70% (F expansión = 1.7). El volumen del deslizamiento es importante para determinar la amenaza y el riesgo en los flujos y avalanchas. De acuerdo con el volumen y la concentración de sedimentos se puede determinar la velocidad del flujo.

E. Ángulo de desplazamiento y longitud del recorrido

El ángulo de desplazamiento α determina el volumen de material de un flujo y su velocidad. A menor α , el volumen total puede ser mayor, pero la velocidad del movimiento tiende a ser menor. Sin embargo, la velocidad también depende de la pendiente de la zona de desprendimiento y la longitud del recorrido, Suarez, J (2009).

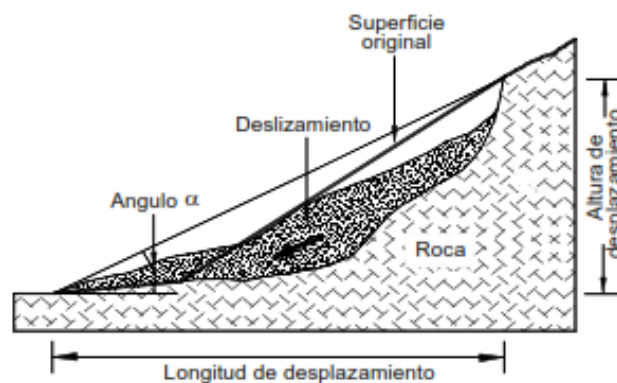


Figura 5.- Ángulo de desplazamiento
Fuente: Suarez, J. (2009)

En los movimientos de flujo, especialmente en los flujos rápidos, el ángulo y la longitud de recorrido, pueden determinar la magnitud del riesgo. El ángulo de desplazamiento inicial

determina las condiciones al inicio del movimiento y el ángulo de recorrido afecta el proceso del flujo hasta que se detiene o alcanza su longitud total de recorrido. Esta longitud depende del ángulo de inclinación y geometría del talud, del tipo de material, del contenido de agua, del volumen del deslizamiento y del confinamiento del canal de flujo, entre otros factores.

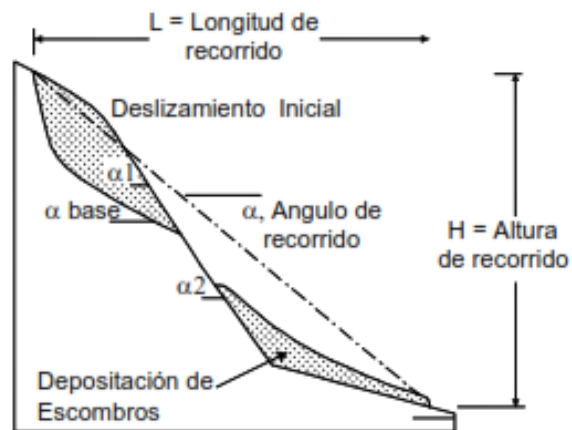


Figura 6.- Longitud y ángulo de recorrido.
Fuente: Hunter y Fell, (2003).

Hunter y Fell (2003) indican algunas de las condiciones que influyen en la longitud de recorrido:

- La distancia de recorrido es significativamente mayor, cuando el canal de flujo es confinado.
- Los deslizamientos de menor volumen (menos de 500 m^3), con canales de flujo no confinados, depositan los materiales a lo largo de la totalidad del recorrido independientemente del ángulo de desplazamiento. Si el ángulo de inclinación del canal de flujo es menor de 15° , la longitud de recorrido es relativamente corta.
- En los deslizamientos de gran volumen, con canales de flujo no confinados, parte del deslizamiento se deposita sobre el talud de origen y otra parte, a lo largo del canal de

recorrido. En este caso las distancias de recorrido son significativas aún para pendientes pequeñas del canal de flujo.

- Los deslizamientos rápidos, a lo largo de canales parcialmente confinados, generalmente muestran características similares a aquellos de los canales no confinados.

4.2.1.2 Caída.

Según Suarez, J (1998), en los caídos una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de corte y desciende principalmente, a través del aire por caída libre, a saltos o rodando.

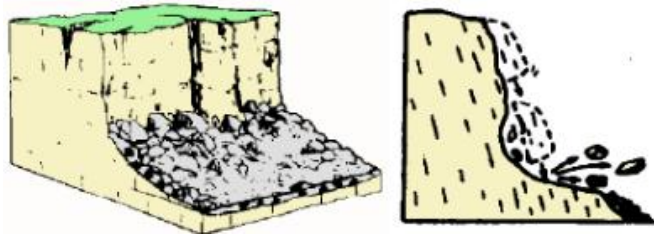


Figura 7.- Caída de rocas
Fuente: Varnes 1996.

4.2.1.3 Flujos.

Un flujo es un movimiento espacialmente continuo, en el que las superficies de corte son de corta duración, de espaciamiento corto y usualmente no se preservan; la distribución de velocidades en la masa que se desplaza se compara con la de un fluido viscoso.³

³ Cruden & Varnes, 1996.

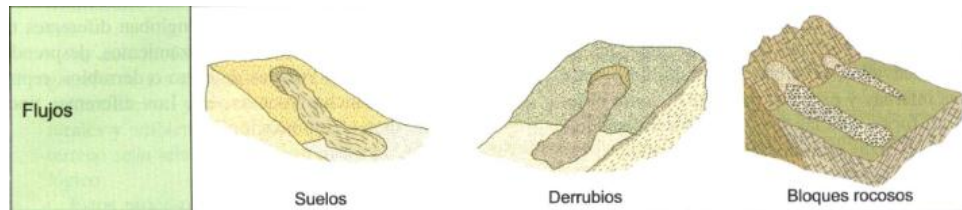


Figura 8.- Tipos de Flujos
Fuente: González de Vallejo, 2002

4.2.1.4 Extensiones Laterales.

“En los esparcimientos laterales el modo de movimiento dominante es la extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión. El mecanismo de falla puede incluir elementos no solo de rotación y translación sino también de flujo. Generalmente, los movimientos son complejos y difíciles de caracterizar”. Suarez, J (1998).

4.2.1.5 Movimientos complejos.

Son aquellos que resultan de la combinación de dos o más tipos de movimientos elementales. Estos movimientos alcanzan generalmente gran tamaño (Antoine, 1992). Durante el colapsamiento, la carga del terreno es transferida a los fluidos de los poros (generalmente agua), lo que ocasiona un incremento en la presión de estos últimos y, por ende, la pérdida de resistencia, ocasionando el flujo deslizante. Hutchinson, (1988).

4.2.2 Velocidad de los movimientos en masa.

La velocidad del movimiento tiene gran influencia sobre el poder destructivo de un deslizamiento. Generalmente, los deslizamientos extremadamente rápidos, corresponden a catástrofes de gran violencia, ocasionalmente con muchos muertos y cuyo escape es poco probable. Suarez, J (2009), expresa que los factores de inestabilidad se podrían definir como las características externas e internas que actúan sobre los materiales de una zona específica, los cuales actúan como agentes catalíticos para la aparición de un evento catastrófico.

Generalmente, la velocidad del movimiento es lenta al principio y puede aumentar (gradual o instantáneamente) aumentar de velocidad de acuerdo con el tipo de movimiento. Por ejemplo, un movimiento de volteo es extremadamente lento en su inicio (por un largo período de tiempo) pero instantáneamente, puede convertirse en un caído extremadamente rápido. Otro aspecto importante de la velocidad, es que permite monitorear el desarrollo del proceso. Con el tiempo, el monitoreo es muy importante, especialmente en las áreas urbanas o cuando está amenazada una obra importante de infraestructura (Vías, presas, oleoductos etc.).

En la siguiente tabla se indica la escala de velocidades de movimientos, propuesta por Cruden & Varnes, (1996), la cual se considera como escala única de rata de movimiento.

Tabla 3.- Velocidad de los movimientos de remoción en masa

| Clase | Descripción | Velocidad (mm) | Desplazamiento | Poder destructor |
|-------|-----------------------|--------------------|----------------|---|
| 7 | Extremadamente rápida | 5×10^3 | 5m/seg | Catástrofe de violencia mayor; edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchas muertes, escape improbable. |
| 6 | Muy rápida | 5×10^1 | 3m/min | Alguna pérdida de vidas; velocidad demasiado alta para permitir a todas las personas escapar. |
| 5 | Rápida | 5×10^{-1} | 1.8m/hora | Escape posible; estructuras, propiedades y equipos destruidos |
| 4 | Moderada | 5×10^{-3} | 13m/mes | Algunas estructuras temporales y poco sensitivas pueden mantenerse temporalmente. |
| 3 | Lenta | 5×10^{-5} | 1.6m/año | Construcciones remediales se pueden realizar durante el movimiento. Algunas estructuras insensitivas pueden |

| | | | | |
|---|----------------------|--------------------|----------|--|
| | | | | mantenerse con mantenimiento frecuente. |
| 2 | Muy lenta | 5×10^{-7} | 16mm/año | Algunas estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento |
| 1 | Extremadamente lenta | | | Movimientos imperceptibles sin instrumentos; posible construcción pero teniendo ciertas precauciones |

Fuente: Cruden & Varnes (1996)

4.2.2 Factores de inestabilidad.

Cruden & Varnes, (1996) categorizaron a los factores que favorecen a la inestabilidad en distintos aspectos, los cuales se detallaran a continuación:

Tabla 4.- Causas de movimientos del terreno

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

Fuente: Cruden & Varnes, 1996

Por otra parte Duque, G (2001). Señala que las causas de la inestabilidad pueden ser intrínsecas, detonantes y contribuyentes.⁴

4.2.2.1 Causas intrínsecas.

Las causas intrínsecas suelen ser naturales y se relacionan con las aguas subterráneas, con los materiales, con la tectónica, con la topografía abrupta, etc. En la evaluación de la amenaza estas causas pueden configurar los factores de la susceptibilidad del material al movimiento masal.

En las causas intrínsecas hay que tener en cuenta los siguientes factores inherentes a los materiales:

- Factores relacionados con la composición y fábrica textural
- Factores relacionados con el estado de alteración de los materiales o de degradación mecánica.
- Factores relacionados con la actitud estructural

4.2.2.2 Causas Detonantes.

En los detonantes hay que tener en cuenta los órdenes de las amenazas. Las amenazas de primer orden no son causadas por otras amenazas, pero pueden ser detonantes de las de segundo orden.

Las de tercer orden son causadas por las de primero o segundo orden. Estas son:

- Primer orden: sismos, huracanes, erupciones volcánicas y lluvias.
- Segundo orden: deslizamientos, maremotos, inundaciones, sequías.
- Tercer orden: aludes, avalanchas, flujos.

⁴ Duque, G. (2001). Manual de Geología Para Ingenieros. Universidad Nacional de Colombia. Pg. 444.

4.2.2.3 Causas Contribuyentes.

Las causas contribuyentes son similares a las causas detonantes o a las intrínsecas, pero su acción se limita simplemente a la anticipación del evento. Son aquellas que afectan de alguna manera las propiedades intrínsecas del sistema o que agravan el factor detonante del evento. Por ejemplo, la remoción del soporte (natural o artificial), el sobre empinamiento (por acción hídrica), las sobrecargas (construcciones, saturación, deposiciones)

4.2.2.4 Precipitaciones como factor detonante.

Existen en la literatura muchos trabajos que analizan el papel jugado por el clima en el desarrollo de los movimientos de ladera, entre los que pueden destacarse las revisiones realizadas por Corominas (2000); Corominas (2006), González Díez et al. (2005); González Díez, (2015).

Caine (1980) estudió las relaciones existentes entre la formación de deslizamientos y las precipitaciones, mediante un inventario de casos que aportaba una amplia casuística y una gran variabilidad de condiciones geológicas y climáticas. En su estudio investigó un total de 73 deslizamientos superficiales (es decir argayos con profundidades inferiores a tres metros) situados en laderas no afectadas por alteraciones antrópicas ni por socavamiento basal fluvial. Del análisis de los datos obtuvo una relación entre la intensidad de precipitación y la duración de las tormentas para la producción de deslizamientos ($I=14.82 D^{0.39}$, donde I es la intensidad de precipitación, medida en mm/h, y D es la duración de la precipitación medida en horas). Sus resultados muestran un ajuste muy bueno con lluvias de duración entre 10 minutos y 3 días. Posteriormente, Crozier (1997) plantea un tratamiento similar al de Caine, pero deshaciendo el sesgo estadístico implícito en el estudio de Caine, puesto que incluye eventos climáticos en los que no se desarrollaron deslizamientos.

Tomando como base la idea inicial de Caine, otros autores (Cannon y Ellen, 1985; Wieczoreck, 1987; o Wieczoreck et al., 2000), llevaron a cabo análisis similares. Estos autores proponen considerar el papel de la lluvia antecedente junto con la intensidad y duración de la precipitación. Así, Cannon y Ellen trabajaron en deslizamientos superficiales de las montañas North Shore (Columbia Británica), mientras que Wieczoreck et al. (2000) lo hizo en las montañas Blue Mountains (Virginia).

Uno de los resultados más interesantes a nivel científico, en los trabajos presentados hasta el momento, es el concepto de umbral de precipitación. Un umbral es el nivel mínimo o máximo de alguna magnitud a partir del cual un proceso tiene lugar (Reichenbach, 1998). Por ejemplo, en relación con los movimientos de ladera, por debajo de este umbral hay pocas probabilidades de que se produzca un deslizamiento, mientras que por encima aumenta rápidamente la posibilidad de formación de los mismos.

La comparación de los datos demuestra la variabilidad de las condiciones hidroclimáticas responsables de la ocurrencia de deslizamientos y enfatiza la necesidad que tienen los umbrales de calibrarse para regiones específicas, dado que los valores de estos autores se sitúan sobre la línea de Caine (González Díez, 2015).

4.2.3 Inventario de Movimientos en masa.

El mapa inventario debe incluir todos los movimientos ocurridos hasta la fecha de elaboración del mapa, representando las inestabilidades puntualmente o zonalmente. Puede incluir información adicional que indique el tipo de movimiento, la edad, la actividad, la litología del material movilizado, etc. La información contenida y su representación estarán en función de la escala y del nivel de detalle de la cartografía y del tamaño de las inestabilidades (Ávila et al.)

El conocimiento de los movimientos en masa de tierra en un área particular se expresa por un mapa de inventario de deslizamiento que muestra las localizaciones y los contornos de los movimientos en masa. Un inventario de movimientos en masa es un conjunto de datos que puede representar eventos únicos o múltiples. Los mapas a pequeña escala muestran sólo las ubicaciones de movimientos en masa de tierra, mientras que los mapas a gran escala pueden distinguir las fuentes de movimientos en masa de los depósitos, clasificar los diferentes tipos de deslizamientos de tierra y mostrar otros datos pertinentes (Cardona & Giraldo, 2016) 2015).

4.3 Sistemas de Información Geográfica

Burrough (1986), conceptualiza un sistema de información geográfica como un poderoso grupo de herramientas para recolectar, almacenar, recuperar, transformar y presentar datos en forma espacial. Por tanto, la información que se añada a los SIG será procesada y analizada acorde a las necesidades que se requieran resolver.

Star (1990), define un SIG como un “sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas”.

4.3.1 Métodos de análisis de los SIG.

Los métodos para el análisis de movimientos de ladera se enunciarán a continuación, teniendo en cuenta que para la realización del estudio se utilizará un método semi – Cuantitativo de Evaluación Multicriterio.

Tabla 5.- Métodos de análisis de susceptibilidad

| Método | Método | Característica | Ventaja | Desventaja |
|---------------|-----------------|-------------------------------------|---|--|
| Cuantitativos | Determinísticos | - Basados en el equilibrio límite. | - Mejor de todos los métodos. | Únicamente se utilizan para deslizamientos traslacionales. |
| | | - Datos de entrada son derivados de | - Muestran un grado de fiabilidad alto. | |

| | | | | | |
|---------------------------|-----------------|---|--|---|---|
| | | | ensayos de laboratorio. | | |
| Cualitativos | Heurísticos | - | Se basan en el conocimiento de los factores que producen inestabilidad. | - | Los factores son ordenados y ponderados según su importancia. |
| | | | | | - Mucha subjetividad en el tratamiento de información . |
| Semi Cuantitativos | - Multicriterio | - | Son metodologías cualitativas que utilizan procedimientos de ponderación y calificación. | - | Evalúa cuantitativamente la asignación de pesos |
| | | | | | - Mucha subjetividad en el tratamiento de información |

Fuente: Van Westen, 1994 & Carrara, 1995.

4.3.1.1 Método Multicriterio.

En este método se integran factores condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad, así como técnicas de evaluación Multicriterio basados en jerarquías analíticas y sumas lineales ponderadas de pesos de factores y clases.

Permite evaluar cuantitativamente la consistencia en la asignación de pesos con lo que se reduce la subjetividad inherente a esta, que es típica de los métodos de indexación. Este método requiere la creación de una base de datos mediante la selección y el cartografiado de los factores del terreno condicionantes de la inestabilidad.⁵

Barredo (1996), indica que en la aplicación de las técnicas de evaluación multicriterio se combinan y valoran simultáneamente criterios (base para la toma de decisión). Estos se componen de factores, aspectos que fortalecen o debilitan los criterios, a través del manejo de sus atributos (variables) dentro de unas determinadas reglas de decisión y valoración.

⁵ Sarango, J. (2016). "Evaluación de riesgo por deslizamiento en los sectores de Gunudel–Gulagpamba pertenecientes a la Parroquia y Cantón Saraguro, Provincia de Loja". Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

Para dar forma a una estructura a partir de los métodos de evaluación multicriterio es necesario desarrollar un laborioso proceso que parte de acotar el objetivo de la evaluación. Seguidamente, el trabajo se centra en establecer qué criterios son relevantes para este objetivo, y qué importancia relativa tiene cada uno de ellos para proceder a su medida y efectuar su valoración. En este orden de cosas, habrá que establecer cuáles son las variables del territorio indicativas de cada factor, y por derivación de cada criterio, y cuál es la forma adecuada para su medida. Tales decisiones, denominadas en la terminología de estas técnicas “reglas de decisión” o “juicios de valor” son parte esencial de la evaluación y presuponen un conocimiento preciso del objeto con relación al cual se pretende establecer la evaluación y de las alternativas entre las que elegir. Una indagación de este estilo ha de realizarse con relación a objetivos concretos.⁶

Las ventajas de utilizar las técnicas de evaluación Multicriterio combinadamente con SIG se sitúan en poder resolver con todo rigor la interrelación de las diversas variables del territorio. Un atributo cualquiera contenido en cada una de las capas de información de un SIG, pueden ser dentro de él, ponderados como un factor positivo o negativo para un determinado objetivo. Y puede igualmente ser valorado en conjunción con otros y en función de ello contrarrestado, potenciado o anulado. La utilidad de estos procedimientos es reconocida y el campo de aplicación de la evaluación multicriterio, combinada con SIG, para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio es muy extenso, citamos algunos trabajos: Eastman et al. (1993), Malczewski (1999), Gómez y Barredo (2005, anteriormente Barredo, 1996), Bosque y García (1999), Barredo y Bosque (1995), Bosque y Moreno (2004).

⁶ Galacho, F. (2006). “Tratamiento con SIG y Técnicas de Evaluación Multicriterio de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanísticos: residenciales y comerciales”. Universidad de Málaga, España.

4.3.2 Integración de los Métodos de Susceptibilidad a deslizamientos con los Sistemas de Información Geográfica.

Se han realizado varias definiciones en torno a los Sistemas de Información Geográfica en adelante SIG o GIS, en siglas inglesas- (Cebrián y Mark, 1986; Burrough, 1988; Bracken y Webster, 1990; NCGIA, 1990). De manera simple un Sistema de Información Geográfica se puede contemplar como un conjunto de mapas de la misma porción del territorio, donde un lugar concreto tiene la misma localización en todos los mapas incluidos en el sistema de información (Bosque, 1992). Así es posible realizar análisis de sus características espaciales y temáticas para obtener un mejor conocimiento de esa zona. Un S.I.G. se puede considerar esencialmente como una tecnología (un sistema de hardware y software) aplicada a la resolución de problemas territoriales (Bosque, 1992).

Un S.I.G. puede contener varios modelos de datos de los objetos geográficos: el modelo vectorial, el modelo ráster, el jerárquico-recursivo, etc., todos ellos válidos para los mapas planos formados por puntos, líneas y polígonos. Cada modelo está mejor preparado para realizar unas determinadas tareas (Bosque, 1992).

4.3.3 Elaboración de mapas de susceptibilidad a deslizamientos.

Los mapas de susceptibilidad a deslizamientos permitirán localizar zonas posibles a sufrir fenómenos de remoción en masa (deslizamientos, caídas, flujos etc.) Todo ello mediante la caracterización y la cuantificación de las variables condicionantes del sitio de estudio, entre las cuales tenemos (geología, geomorfología, pendientes y uso de suelo). Ayala, C (2012).

Suarez, J (2009) señala que el mapa de susceptibilidad muestra donde hay o no, condiciones para que puedan ocurrir deslizamientos. La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como una lluvia o un sismo no se considera en un análisis de susceptibilidad. Describe de igual manera

que el mapa de susceptibilidad es un mapa en el cual se zonifican las unidades de terreno que muestran una actividad de deslizamientos similar o de igual potencial de inestabilidad, que se obtiene de un análisis multivariable entre los factores del terreno que afectan la susceptibilidad a los deslizamientos y el mapa de inventario de deslizamientos

No existe un procedimiento estandarizado para la preparación de mapas de susceptibilidad a los deslizamientos y sí existe mucha libertad en la determinación de los pasos a seguir y los niveles de susceptibilidad varían de acuerdo con los criterios de diversos autores

La susceptibilidad se puede evaluar de dos formas diferentes:

- **Sistema de la experiencia.** Se utiliza la observación directa de la mayor cantidad de deslizamientos ocurridos en el área estudiada y se evalúa la relación entre los deslizamientos y la geomorfología del terreno.
- **Sistema teórico.** Se mapea el mayor número de factores que se considera que pueden afectar la ocurrencia de deslizamientos y luego, se analiza la posible contribución de cada uno de estos factores.

4.3.4 Variables para elaborar un mapa de susceptibilidad a deslizamientos.

Suarez (2009), considera que para la elaboración del mapa de susceptibilidad se tienen en cuenta generalmente tres elementos:

- Relieve y mapa de pendientes.
- Características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del terreno.
- Inventario de deslizamientos ocurridos en el pasado.

En áreas de montañas de alta pendiente y valles semiplanos se pueden identificar las áreas de acuerdo con su relieve, el cual es uno de los factores que más afecta la susceptibilidad a los deslizamientos.

“El relieve relativo representa la máxima altura entre la divisoria de aguas arriba de los taludes y el valle abajo del mismo. Si se posee un mapa geológico, a cada formación se le puede asignar un grado de susceptibilidad y se pueden combinar la formación geológica y el relieve, para identificar áreas diferentes dentro de la misma formación. Combinando mapas de pendientes y de geología dentro de un sistema de información geográfica, se pueden lograr resultados interesantes. Se recomienda localizar, con mucha precisión, las áreas cubiertas por coluviones, las cuales son generalmente de susceptibilidad alta, al igual que las áreas con procesos intensos de erosión y las áreas de influencia de las grandes fallas geológicas.”⁷

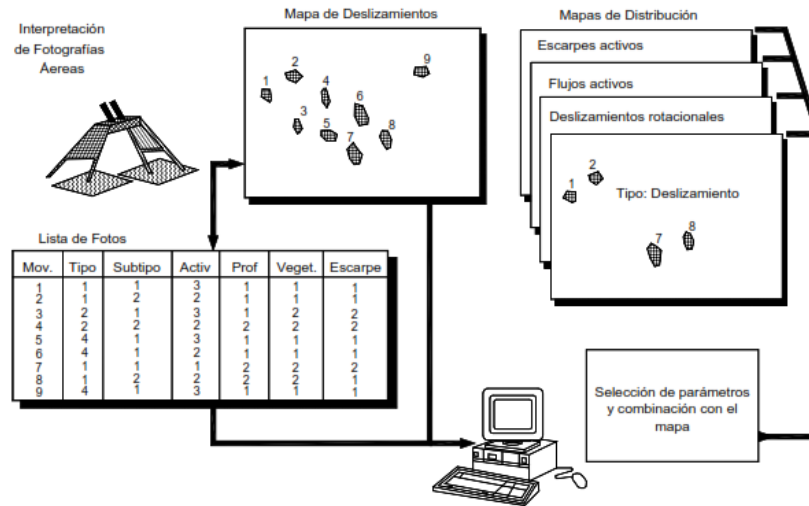


Figura 9.- Uso de SIGs para el análisis de distribución de deslizamientos
Fuente: Soeters y Van Westen, 1996.

⁷ Suárez, J. (2009). Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Cap. 13. Pg. 536.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales

Los materiales a utilizados para la realización del mapa de susceptibilidad a deslizamientos de la zona de estudio son los siguientes:

Para el trabajo de Campo:

- Martillo Geológico
- GPS
- Brújula azimutal Brunton.
- Escalímetro
- Lupa
- Libreta de campo
- Ácido Clorhídrico al 10%
- Cartas geológicas: Loja y Gonzanamá a escala 1:100 000
- Cartas topográficas: Loja: Norte – Sur, Nambacola y Catamayo a escala 1: 50 000
- Cámara fotográfica
- Fichas de campo
- MDT con tamaño de pixel de 5 x 5m
- Ortofotos a escala 1:5000

Para el trabajo de gabinete

HARDWARE

- Computador
- Impresora
- Flash memory

SOFTWARE

- ArcGIS 10.3
- AutoCAD 2014
- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- Microsoft Power Point

5.2 Método

Para el desarrollo del trabajo de investigación de susceptibilidad a deslizamientos mediante herramientas SIG en el tramo comprendido desde el redondel del Barrio el Plateado hasta el antiguo peaje del cantón Catamayo, se aplicó el Método de Evaluación Multicriterio de Suma de Rangos mismo que integra factores condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad de laderas y asocia diversas técnicas para cuantificar los parámetros elegidos, entre ellas se tiene la ponderación de factores y clases la cual será utilizada procesamiento de los datos obtenidos. El método seleccionado permitió evaluar cuantitativamente la consistencia en la asignación de pesos con lo que se pudo reducir la subjetividad al momento del trabajo en gabinete. El funcionamiento y aplicación del método se puede visualizar en la **figura 13**.

A partir de las conceptualizaciones y técnicas propuestas por el método antes mencionado se realizó una base de datos mediante la selección y cartografiado de los factores condicionantes de inestabilidad del terreno, mismos que al ser correlacionados en campo y en gabinete se procedieron a indexarse e integrarse en un Sistema de Información Cartográfica.

A continuación, se citarán los factores, procesos y criterios escogidos en el estudio de Susceptibilidad a deslizamientos mediante el método propuesto:

Tabla 6.- Factores, Procesos y criterios involucrados en la generación de deslizamientos

| Factores | Procesos | Criterios |
|----------------------|------------------------|--|
| Geología | Deslizamientos | Litología y |
| Pendientes | superficiales | unidades |
| Geomorfología | Movimientos en masa | geomorfológicas, inclinación de las pendientes |
| Uso de suelo | Deposición | Cobertura vegetal y uso de suelo |
| Precipitación | Escurrimientos | Cursos de agua. |
| Temperatura | Erosión, meteorización | Estado in-situ de los materiales |

Fuente: Abril, Alexandra (2011). Acoplada por el autor en la zona de estudio.

5.3 Metodología

5.3.1 Variables condicionantes a deslizamientos.

La caracterización de las variables se las realizó en campo como en gabinete, describiendo cada una de las variables a utilizar para confeccionar el mapa de Susceptibilidad a deslizamientos en la zona de estudio.

Las variables que se analizaron fueron las siguientes:

- Topografía del Terreno escala 1:10000
- Geología, escala 1:10 000
- Pendiente del Terreno, escala 1:10000
- Geomorfología, escala 1:10000
- Cobertura y Uso Actual de Suelo, escala 1:10000
- Isoyetas e isotermas, escala 1:10000, con registros de los últimos 20 años

5.3.1.1 Topografía.

Se partió de un análisis y reconocimiento del tramo vial establecido, a partir de la observación directa con el objeto de hacer una evaluación preliminar de la región.

Así mismo la información concerniente a la topografía del tramo vial, fue levantada mediante el análisis y procesamiento de modelos digitales de elevación (MDT), otorgados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería a través de su geoportal SIGTIERRAS y el uso de programas que permiten obtener este tipo de información.

A los MDT, se les asignó el tamaño de pixel correspondiente para trabajar a una escala 1:10 000, siguiendo el criterio de Tobler, W (1988), aplicando un Resample, ajustando el tamaño del pixel a 5 x 5 m.

Los MDT utilizados, para la zona de estudio fueron los siguientes:

Tabla 7.- MDT utilizados en la zona de estudio

| N.- | Descripción | N.- | Descripción |
|------------|--------------------|------------|--------------------|
| 1 | NVI-F3d-A4 | 15 | NVI-F3d-F4 |
| 2 | NVI-F3d-B3 | 16 | NVI-F4c-A3 |
| 3 | NVI-F3d-B4 | 17 | NVI-F4c-A4 |
| 4 | NVI-F3d-C3 | 18 | NVI-F4c-D1 |
| 5 | NVI-F3d-C4 | 19 | NVI-F4c-D2 |
| 6 | NVI-F3d-D2 | 20 | NVI-F4c-D3 |
| 7 | NVI-F3d-D4 | 21 | NVI-F4c-D4 |
| 8 | NVI-F3d-E1 | 22 | NVII-B1b-A2 |
| 9 | NVI-F3d-E2 | 23 | NVII-B1b-B1 |
| 10 | NVI-F3d-E3 | 24 | NVII-B1b-B2 |
| 11 | NVI-F3d-E4 | 25 | NVII-B1b-C1 |
| 12 | NVI-F3d-F1 | 26 | NVII-B1b-C2 |
| 13 | NVI-F3d-F2 | 27 | NVII-B2a-A1 |
| 14 | NVI-F3d-F3 | 28 | NVII-B2a-A2 |

Fuente: SIG tierras.

Posterior a ello se realizó un mosaico de los modelos MDT de la zona de estudio, para una mejor interpretación del sector.



Figura 10.- Mosaico MDT de la zona de estudio
Fuente: El Autor

A. Trabajo de Campo

El trabajo de campo tiene como propósito corroborar la información obtenida del procesamiento de los modelos digitales de elevación y digitalización de ortofotos. En este apartado se realizó un reconocimiento general de la zona de estudio. Al final se obtuvo el mapa topográfico a escala 1:10 000, con el Datum WGS84, Zona 17 Sur, la que nos sirvió como base para la ejecución del proyecto.

B. Trabajo de Oficina

Las curvas de nivel se generaron con la herramienta Contour, a un intervalo definido por el autor de 4 m, para tener así una mejor visualización de toda la zona de estudio.

Posteriormente se suavizaron las curvas de nivel y se procedió a digitalizar: red vial, infraestructura, red hídrica y demás aspectos con la ayuda de ortofotos a escala 1:5000 otorgadas por el mismo organismo gubernamental.

En referencia al mapa topográfico obtenido se observa que la longitud de la vía Panamericana Troncal Sur cuenta con una longitud de 27,23 Km la cual parte desde el redondel del barrio el

Plateado hasta el antiguo peaje del cantón Catamayo, misma vía se encuentra rodeada en su gran mayoría por: quebradas y vaguadas, las cuales pueden ser un factor de inestabilidad en la zona.

Ver **Anexo 1**

Siendo las principales quebradas existentes en el tramo vial establecido las siguientes:

Tabla 8.- Quebradas presentes en la zona de estudio

| N.- | Nombre | Ubicación |
|------------|------------------------|------------------|
| 1 | Quebrada Carigán | Loja |
| 2 | Quebrada Limpiacocha | Loja |
| 3 | Quebrada Paja Blanca | Loja |
| 4 | Quebrada Duraznillo | Catamayo |
| 5 | Quebrada Pitayo | Catamayo |
| 6 | Quebrada Chiriguana | Catamayo |
| 7 | Quebrada Agua Amarilla | Catamayo |

Fuente: El Autor

Se puede apreciar que la mayor densidad estructural y poblacional se encuentra en el barrio El Plateado de la ciudad de Loja, encontrándose muy pocas viviendas y centros poblados a lo largo del tramo vial dirigido a Catamayo.

Se enfatiza la importancia que tiene la vía Panamericana en la conexión a distintas localidades de la provincia, de igual manera se puede visualizar que de ella se desprenden vías secundarias dirigidas a distintas parroquias rurales del cantón.

5.3.1.2 Pendientes del terreno.

Para la elaboración del mapa de pendientes del terreno se partió de la topografía base, los datos obtenidos fueron procesados a través del software ArcGIS 10.3.

El mosaico de MDT realizado a partir de los datos proporcionados por SIGTIERRAS, fue la base principal para realizar el mapa de pendientes, el tamaño de pixel con el que se trabajó fue de

5 x 5 metros, siguiendo el principio de Tobler, W (1988), ya que para el tamaño indicado, corresponde una escala 1: 10 000, con la cual se trabajaron todos los mapas posteriores.

Siguiente a ello se realizó el primer modelo de pendientes a partir de la herramienta Spatial Analyst Tools/Surface/Slope.

Posterior a ello se reclasifico el resultado obtenido mediante la herramienta Spatial Analyst Tools Reclassify, para ello se siguieron los criterios establecidos por Demek (1972), el cual agrupa las pendientes en 5 categorías como se indica a continuación:

Tabla 9.- Categorización de pendientes

| Categoría (grados) | Término de la pendiente | Gradiente en % |
|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| 0 – 5 | Muy Baja | 3.5 – 8.7 |
| > 5 – 15 | Baja | 8.7 – 26.8 |
| > 15 – 35 | Media | 26.8 – 70 |
| > 35 – 55 | Alta | 70 – 143 |
| > 55 - 90 | Muy Alta | 143 - ∞ |

Fuente: Demek, (1972).

Para concluir con el mapa: el modelo Raster reclasificado lo convertimos a polígono para determinar campos como: área, perímetros y los rangos anteriormente descritos.

El mapa resultante fue clasificado en base a la interacción de las pendientes con las demás variables, corroborando todo ello con la visualización de ortofotos otorgadas por el SIGTIERRAS y finalmente la correlación de estos datos con el procesamiento de la información en el software ArcGIS 10,3. Siendo así la clasificación más pertinente en cuatro rangos.

Siguiendo los criterios de Demek (1972), y según el área que ocupan las pendientes en la zona de estudio, los cuatro rangos agrupados fueron los siguientes: pendientes muy bajas con un área de: 242,26 ha, pendientes bajas con un área de: 1279,17 ha, pendientes medias con un área de: 2911,23, pendientes altas con un área de: 126,68 ha.

La clasificación de acuerdo a las características de Demek, fue la ideal para el sector estudiado, resultando el área con pendientes de muy bajas a altas, y, sin presencia de pendientes muy altas mayores a 55°.

El valor para el factor pendiente se asignó de acuerdo al área que ocupen las mismas a lo largo del tramo vial, asociando todo ello con la litología de los materiales.

5.3.1.3 Mapa Geomorfológico.

El mapa geomorfológico se lo realizó mediante un proceso de fotointerpretación de ortofotos de la zona de estudio a escala 1:5000, con la ayuda de la topografía obtenida a partir del Modelo Digital de Elevación del terreno a escala 1:10 000.

Las ortofotos otorgadas por el SIGTIERRAS para la elaboración del estudio de susceptibilidad a deslizamientos en la zona de estudio fueron las siguientes:

Tabla 10.- Ortofotos utilizadas en la zona de estudio

| N.- | Descripción | N.- | Descripción |
|------------|--------------------|------------|--------------------|
| 1 | NVI-F3d-A4 | 15 | NVI-F3d-F4 |
| 2 | NVI-F3d-B3 | 16 | NVI-F4c-A3 |
| 3 | NVI-F3d-B4 | 17 | NVI-F4c-A4 |
| 4 | NVI-F3d-C3 | 18 | NVI-F4c-D1 |
| 5 | NVI-F3d-C4 | 19 | NVI-F4c-D2 |
| 6 | NVI-F3d-D2 | 20 | NVI-F4c-D3 |
| 7 | NVI-F3d-D4 | 21 | NVI-F4c-D4 |
| 8 | NVI-F3d-E1 | 22 | NVII-B1b-A2 |
| 9 | NVI-F3d-E2 | 23 | NVII-B1b-B1 |
| 10 | NVI-F3d-E3 | 24 | NVII-B1b-B2 |
| 11 | NVI-F3d-E4 | 25 | NVII-B1b-C1 |
| 12 | NVI-F3d-F1 | 26 | NVII-B1b-C2 |
| 13 | NVI-F3d-F2 | 27 | NVII-B2a-A1 |
| 14 | NVI-F3d-F3 | 28 | NVII-B2a-A2 |

Fuente: SIG tierras.

Posterior a ello se realizó un mosaico de las ortofotos de la zona de estudio, para una facilidad de visualización y graficación de las geoformas.

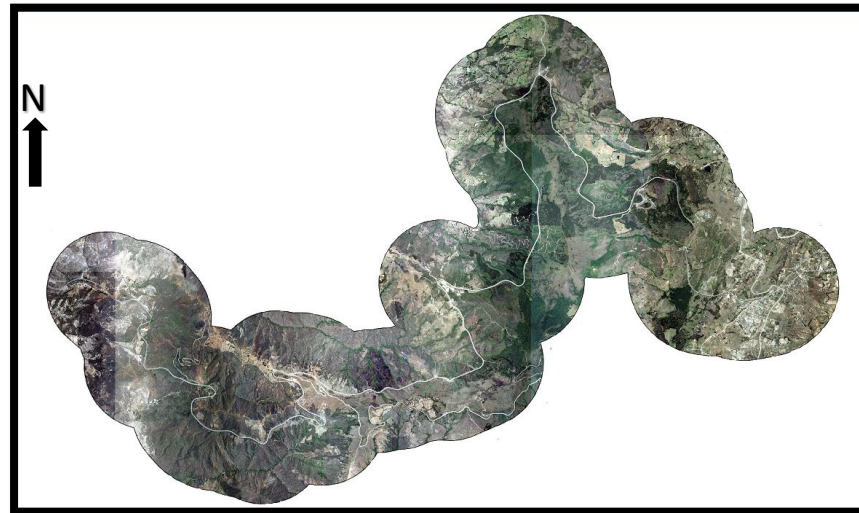


Figura 11.- Mosaico de ortofotos de la zona de estudio
Fuente: El Autor

Para coadyuvar al proceso de graficación de las geoformas se realizó un modelo TIN de la zona de estudio mediante el software ArcGIS 10.3, añadiendo el mismo a la extensión ArcScene, la cual nos dio una vista en 3D del terreno, para su posterior digitalización. De la tabla de campos obtenida a partir de la graficación se procedieron a añadir campos de: Unidad geomorfológica, génesis, litología y pendiente.

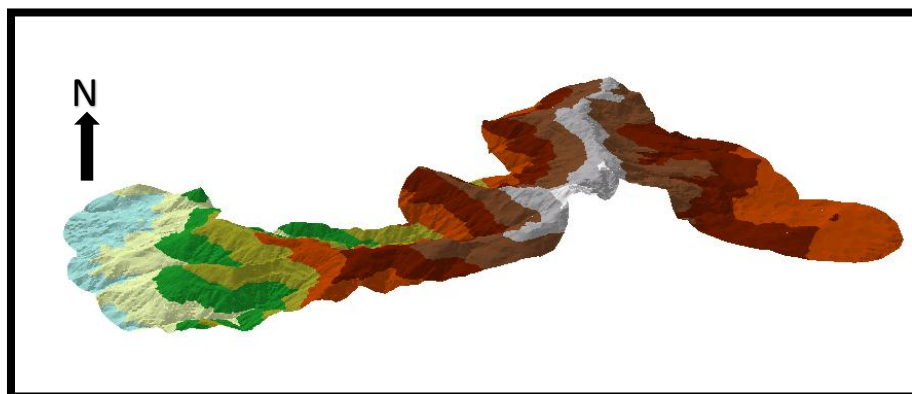


Figura 12.- Visualización 3D de la zona de estudio
Fuente: El Autor.

Dicha graficación y asignación de nombres a las distintas geoformas fue corroborado del mapa de unidades geomorfológicas elaboradas por el MAG a escala 1:25 000.

La clasificación y asignación de nombres a las distintas geoformas se la realizó según su Génesis con la ayuda de la Memoria Técnica del cantón Loja y Catamayo, en su proyecto denominado “Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional a escala 1:5000”.

Tabla 11.- Grupos de geoformas según su génesis

| Código | Origen | Unidad Geomorfológica | Descripción |
|---------------|----------------------------|------------------------------|---|
| Tm | Deposicional o acumulativo | Terraza media | Superficie plana limitada por un escarpe, ubicada por encima de la terraza baja; corresponde a un antiguo nivel de sedimentación del río. Presenta pendientes bajas debido a que ha sido ya modelado por los agentes erosivos |
| Co | Denudativo | Coluvio aluvial antiguo | Formado por la acción de la depositación de materiales aluviales sumado a los aportes gravitacionales laterales de las formas colinadas que lo rodean, muestra cierto grado de disección, cubierto con vegetación más desarrollada, que indica un mayor nivel de madurez o antigüedad. |
| Can | Denudativo | Coluvión antiguo | Está compuesto por materiales detríticos, transportados desde las partes altas de las laderas por acción de la gravedad y depositados en las partes intermedias o al pie de las mismas. Los materiales depositados son de carácter angular poco clasificados y sin estratificación, con pequeñas cantidades de material de grano fino, presenta mayor grado de disección, tiene vegetación pionera más desarrollada, que indica cierto nivel de madurez o antigüedad. |
| Sn | Tectónico - erosivo | Superficie ondulada | Caracterizada por exhibir cimas redondeadas, aunque esporádicamente se encuentran cimas planas, estas unidades morfológicas se encuentran dispersas la Norte y centro Sur del cantón |

| | | | |
|-----------|---------------------|---------------------------|---|
| R2 | Tectónico – erosivo | Relieve colinado muy bajo | Estos relieves se caracterizan por presentar pendientes que fluctúan entre 5 a 70 % con desniveles relativos de 5 a 15 m, presentando cimas agudas, redondeas y planas de vertientes rectilíneas, convexas, mixtas e irregulares; se asocian a una cobertura vegetal de tipo herbácea y arbustiva |
| R3 | Tectónico – erosivo | Relieve colinado bajo | Posee desniveles relativos de 15 a 25 m, asociados a cimas rectilíneas, convexas, de vertientes mixtas e irregulares. |
| R4 | Tectónico – erosivo | Relieve colinado medio | Posee desniveles relativos de 5 a 200 m, caracterizados por cimas agudas de vertientes irregulares. |
| R5 | Tectónico – erosivo | Relieve colinado alto | Constituyen elevaciones que llegan a los 200 m de desnivel relativo. |
| R6 | Tectónico – erosivo | Relieve colinado muy alto | Presenta desniveles relativos de 200 a 300 m, geográficamente se ubican dispersos a lo largo de todo el cantón |
| R7 | Tectónico - erosivo | Relieve montañoso | Estos relieves tienen desniveles relativos que sobrepasan los 300 m. |
| Br | Erosivo | Barranco | Este tipo de geoformas presentan pendientes media a fuerte y fuerte que va de 25 a 70% con desniveles relativos de 0 a 25 m y longitud de vertientes < a 250 m |

Fuente: CLIRSEN, 2012

Su valoración se la dio según las características litológicas de las geoformas y su presencia en porcentaje en la zona de estudio, teniendo en cuenta que el apartado geomorfológico es un factor condicionante del suelo, lo cual influye en la ocurrencia de fenómenos de inestabilidad.

Teniendo a continuación una tabla de valores índice establecida por el Instituto Espacial Ecuatoriano (2013), la cual sirvió como base para la posterior valoración establecida según criterios del autor.

Tabla 12.- Valores índice para la variable Geomorfología

| Unidad Genética | Unidad Geomorfológica | Pesos |
|------------------------|------------------------------|--------------|
| | Macizo rocoso | |
| | Relieve montañoso | |
| | Relieve colinado muy alto | |
| | Relieve colinado alto | |
| | Relieve colinado medio | |

| | | |
|-----------------------------------|--|---|
| Tectónico - erosivo | Relieve colinado bajo | 4 |
| | Relieve colinado muy bajo | |
| | Relieve ondulado | |
| | Relieve escalonado | |
| | Superficie ondulada | |
| | Vertiente abrupta | |
| Estructural | Frente de cuesta | 3 |
| | Superficie de cuesta | |
| Glacial | Circo Glaciar | 4 |
| | Fondo de valle glaciar | |
| | Morrena de fondo | |
| | Morrena lateral | |
| Tectónico | Escarpe de terraza | 3 |
| | Escarpe de deslizamiento | |
| Denudativo | Glacis de erosión | 3 |
| | Coluvión antiguo | |
| | Coluvión antiguo | |
| | Coluvio aluvial antiguo | |
| | Coluvio aluvial reciente | |
| Fluvio Lacustre | Depresión Lagunar | 1 |
| Deposicional - erosivo | Terraza alta | 2 |
| Erosivo | Barranco | 3 |
| | Talud de derrubios | |
| Deposicional o Acumulativo | Cono de derrubios | 3 |
| | Superficie de cono de deyección antiguo | |
| | Superficie de cono de deyección reciente | |
| | Vertiente de cono de deyección antiguo | |
| | Glacis de esparcimiento | |
| | Terraza alta | |
| | Terraza media | |
| | Terraza baja y cauce actual | |
| | Valle intramontano | |
| | Valle fluvial | |

Fuente: IEE, (2013)

En los cantones Loja y Catamayo se pueden identificar las siguientes características genéticas de las geoformas:

- **Tectónico Erosivo:** La geomorfología los cantones Loja y Catamayo tienen su origen en procesos tectónico erosivos. Todos los paisajes de este nivel conservan rastros de su origen por erosión consecutiva a los episodios de encajonamiento de la red fluvial. Ellos asocian: grandes vertientes rectilíneas dominantes, relieves muy disectado en lomas y tiras longitudinales, separadas por quebradas en V que bajan paralelamente a la pendiente de la vertiente, y, vertientes compuestas heterogéneas con resaltos sobre las formaciones con litología diferenciada.
- **Erosivo:** Corresponde a las formas originadas en la superficie terrestre como producto de la acción erosiva de formas deposicionales preexistentes, se encuentran presentes en la parte noreste y sur del cantón Loja.
- **Denudativo:** en la zona de estudio las principales geoformas relacionadas con este tipo de génesis son: coluvión antiguo, los cuales están formados por acción de gravedad al transportar materiales detríticos al pie o parte media de laderas, y, el Coluvio - aluvial antiguo, mismo que se forma por la acción de la depositación de materiales aluviales sumado a los aportes gravitacionales laterales de las formas colinadas que lo rodean, se encuentran ubicados en los cantones Loja y Catamayo respectivamente.
- **Estructural:** En el cantón Loja, corresponden a geoformas de superficie de cuesta (escaso buzamiento y pendiente media), y frente de cuesta (pendientes fuertes y buzamientos mayores), en el cantón Catamayo obedece a un patrón organizado del buzamiento de los estratos y al plegamiento de las rocas sedimentarias consolidadas y vulcano – sedimentarias.

5.3.1.4 Mapa de Cobertura y Uso de suelo.

Para la obtención del mapa de cobertura y uso de suelos la metodología empleada partió de la graficación directa mediante polígonos en el software ArcGIS 10.3 de los distintos usos de suelo

en dependencia de los rasgos y características del suelo observados en las ortofotos de la zona de estudio a escala 1:5000 y su posterior correlación con el "Proyecto de Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio Nacional a escala 1:25000" realizado por el IGM.

A partir de la tabla de atributos obtenida de la graficación de los polígonos en los distintos usos de suelo, se procedieron a añadir campos de: categoría, cobertura y uso de suelo.

Teniendo a continuación una tabla de valores índice establecida por la Secretaría de Gestión de Riesgos (2014). Amenazas por movimientos en masa. Escenarios mensuales, la cual sirvió como base para la posterior valoración establecida según criterios del autor.

Tabla 13.- Pesos criterio de la variable uso de suelo

| Descripción | Peso |
|-----------------------------------|------|
| Bosque Nativo | 1 |
| Vegetación arbustiva | 2 |
| Vegetación herbácea | |
| Páramos | 3 |
| Pasto cultivado | |
| Plantación forestal | |
| Cultivos anuales | 4 |
| Cultivos permanente | |
| Cultivos semipermanentes | |
| Mosaico agropecuario | |
| Área sin cobertura vegetal | 5 |
| Artificial | |
| Glaciares | |
| Infraestructura | |
| Natural | |
| Zonas pobladas | |

Fuente: SNGR 2014.

Los valores están agrupados acorde al rango de susceptibilidad, siendo la valoración 1 la de menor grado de susceptibilidad y la valoración 5 la de mayor grado.

Dichos valores serán reclasificados acorde a las características encontradas en la zona de estudio, pudiendo variar los rangos según los criterios del autor.

5.3.1.5 Mapa Geológico

El mapa geológico se lo realizó a partir de la observación e interpretación de los materiales observados directamente en campo, a través de la descripción de afloramientos naturales y artificiales en la zona de estudio, tomando como base de estudio el mapa topográfico realizado a escala 1: 10 000, y con la ayuda de la hoja geológica Loja, 56: N VI – F, a escala 1:100 000.

Los materiales e insumos utilizados para realizar las labores de campo, tanto en reconocimientos de materiales, descripción e interpretación de los mismos y recolección de datos para su posterior análisis en gabinete fueron los siguientes: brújula Brunton, gps, martillo geológico, libreta de campo, ácido clorhídrico y cámara fotográfica.

A continuación se detalla la ubicación y zonas coadyuvantes de la carta geológica utilizada:

Tabla 14.- Ubicación de carta geológica "Loja" escala 1:100 000

| | | |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------|
| Santa Rosa N VI - C | Saraguro N VI – D | Gualaquiza Ñ VI - C |
| Zaruma N VI - E | Loja N VI - F | Paquisha Ñ VI - E |
| Cariamanga N VII - A | Gonzanamá N VII - B | Zamora Ñ VII - A |

Fuente: INIGEMM, 2017

De la misma manera se tomaron muestras de suelo representativas en dependencia de las formaciones y litologías existentes en la zona, para así identificar de manera correcta la

conformación de los suelos. Dichos materiales fueron enviados a laboratorio para realizar ensayos granulométricos.

Finalmente obtenida la litología a detalle del área se procedió a realizar el mapa geológico a escala 1:10000 de la zona, graficando directamente en el software ArcGIS 10.3 cada una de las formaciones con sus respectivos datos estructurales.

Teniendo a continuación una tabla de valores índice establecida por la Secretaría de Gestión de Riesgos (2014). Amenazas por movimientos en masa. Escenarios mensuales, la cual sirvió como base para la posterior valoración establecida según criterios del autor en dependencia de la observación, interpretación y análisis de los materiales encontrados en campo.

Tabla 15.- Pesos asignados a la variable Geología

| Litología | Peso |
|---|-------------|
| Rocas ultrabásicas | 1 |
| Rocas ultrabásicas y básicas | |
| Andesitas a riolitas, piroclastos | |
| Calizas, lodolitas | |
| Calizas, lutitas | |
| Calizas, lutitas metamorfizadas con metavolcánicas | |
| Calizas, lutitas no metamorfizadas | |
| Calizas, lutitas, areniscas | |
| Calizas, lutitas, volcanoclásticos | |
| Conglomerados, areniscas tobáceas, lutitas | |
| Conglomerados, areniscas, lutitas | |
| Conglomerados, areniscas, lutitas rojas | |
| Conglomerados, areniscas, volcanoclásticos | |
| Conglomerados, tobas, brechas | |
| Coquinas, areniscas, lodolitas | |
| Escombros de avalanchas | |
| Esquistos negros | |
| Esquistos pelíticos y grafíticos, paragneis | |
| Esquistos verdes y negros | |
| Esquistos verdes, negros, azules y eclogitas | |
| Esquistos y gneises semipelíticos | |
| Esquistos, metalavas, metagrauwacas | |
| Flujos de lava y piroclastos andesíticos a riolíticos | |
| Gabro, diorita | |
| Gabro, riolita | |
| Gnéis migmatítico | |
| Granito | |

| | |
|---|---|
| Granito gnéisico per – alumínico | |
| Granodiorita | |
| Granodiorita, diorita no deformadas | |
| Granodiorita, diorita, granito gnéisico | |
| Granodiorita, diorita, pórfido | |
| Lavas andesíticas a riolíticas, piroclastos | |
| Lavas andesíticas y basálticas, piroclastos | |
| Lavas andesíticas, piroclastos, lutitas | |
| Lavas andesíticas, tobas, volcanoclástos | |
| Lavas andesíticas, tobas, brechas | |
| Lavas y piroclastos calco alcalinos, capas rojas. | |
| Mármol, pizarras | |
| Mantos basálticos | |
| Metagrauwacas, metalavas | 2 |
| Metagrauwacas, pizarras | |
| Metalavas basálticas y andesíticas, esquistos | |
| Piroclastos lahares, flujos de lava | |
| Pizarras, cuarcitas | |
| Sienita y cuarzo monzonita no deformados | |
| Terrazas marinas bioclásticas | |
| Terrazas, conglomerados, arenas, lutitas | |
| Terrazas, sedimentos fluviales | |
| Turbiditas finas | |
| Turbiditas gruesas | |
| Turbiditas, lutitas | |
| Volcanoclástos, capas rojas | |
| Melange ofiolítico | |
| Abanico volcánico, lahares | |
| Arcillas, tobas, areniscas, conglomerados | 3 |
| Arenas, conglomerados, arcillas | |
| Complejo Máfico – ultramáfico | |
| Arcillas marinas de estuario | |
| Arcillas, arenas | |
| Arcillas, areniscas, lavas | |
| Arcillas, areniscas, lignito | |
| Arcillas, lutitas tobáceas, yeso | |
| Arenas, conglomerados, arcillas | |
| Areniscas tobáceas | |
| Areniscas tobáceas, conglomerados, diatomitas | |
| Capas rojas, lutitas, rocas volcánicas | |
| Complejo de migmatitas | 4 |
| Limolitas calcáreas | |
| Lutitas blancas | |
| Lutitas chocolates | |
| Lutitas rojas, yeso | |
| Lutitas silíceas | |
| Lutitas, arcillas, arenas | |
| Lutitas, areniscas | |
| Lutitas, areniscas, conglomerados | |

| | |
|--------------------------------------|---|
| Lutitas, calizas negras, areniscas | |
| Lutitas, calizas, lavas, piroclastos | |
| Lutitas, calizas, volcanoclásticos | |
| Lutitas, capas rojas | |
| Lutitas, cherts, areniscas | |
| Lutitas, grauwacas | |
| Lutitas, grauwacas, gravas | |
| Lutitas, grauwacas, piroclastos | |
| Lutitas, limolitas | |
| Serpentinitas | |
| Abanico aluvial mayor | |
| Anfibolitas basálticas | |
| Areniscas y cuarcitas | |
| Areniscas, conglomerados | 5 |
| Areniscas, limolitas, lutitas | |
| Areniscas, lutitas, tobas | |
| Pegmatitas | |

Fuente: SNGR 2014

➤ **Inventario de deslizamientos**

El inventario de deslizamientos se realizó en el tramo vial establecido para el presente estudio, el mismo que se encaminó en relacionar los factores condicionantes y desencadenantes a deslizamientos y su influencia con la inestabilidad de los materiales en el terreno.

El procedimiento llevado a cabo para la realización del inventario fue en base a la metodología sugerida por el Proyecto Multinacional Andino Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA –GCA) (2007), utilizando las fichas de campo normalizadas y adaptadas para la zona de estudio.

En base a los resultados obtenidos a partir del levantamiento de información en campo se asignaron valores de susceptibilidad a este parámetro de acuerdo a la presencia o no de los mismos en la zona de estudio.

5.3.2 Variables desencadenantes a deslizamientos

5.3.2.1 Mapa de Isoyetas

Para la realización del mapa de isoyetas se tomó la información del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), a partir de los anuarios obtenidos se utilizó información de precipitación anual expresada en mm/año. Ver **Anexo 8**.

Las estaciones seleccionadas para realizar el mapa de isoyetas fueron las siguientes.

- La Argelia – Loja (M0033)
- Malacatos (M0143)
- Quinara (M0145)
- Yangana (M0147)
- Gonzanamá (M0149)
- Catacocha (M0515)
- San Lucas (M0432)
- Nambacola (M1214)
- El Tambo (M0759)
- La Toma: Catamayo (M0060)
- Guayquichuma (M0758)
- Cajanuma (M0543)

Una vez obtenidos los datos de precipitaciones de cada estación meteorológica o hidrológica en un lapso de 20 años, se procede a transcribirlos en una hoja de cálculo Excel, para la posterior exportación hacia el programa ArcGIS 10.3.

Una vez exportados los puntos con coordenadas WGS 84 y el respectivo valor de precipitación se realiza una interpolación mediante la herramienta IDW, en este caso relacionando los datos de precipitaciones en un lapso de 20 años con los cantones de Loja y Catamayo respectivamente.

Teniendo a continuación una tabla de valores índice establecida por la Secretaría de Gestión de Riesgos (2014). Amenazas por movimientos en masa. Escenarios mensuales, la cual sirvió como base para la posterior valoración establecida según criterios del autor.

Tabla 16.- Pesos asignados a la variable precipitaciones

| Precipitación acumulado (mm/año) | Peso |
|-------------------------------------|------|
| 0 – 100 | 1 |
| 100 – 200 | 2 |
| 200 – 300 | 3 |
| 300 – 400 | 4 |
| >400 | 5 |

Fuente: SNGR 2014

5.3.2.2 Mapa de Isotermas

El factor temperatura influye en forma negativa para la generación de movimientos en masa, ya que la parte oeste de la zona de estudio (antiguo peaje), se encuentra en una zona de clima tropical, con temperatura superior a los 21°C, favoreciendo a procesos de erosión de materiales, por tanto pérdida soporte en los taludes, lo que conllevaría a la generación de movimientos como caídas o desprendimientos.

El mapa de isothermas se lo realizó en base a los anuarios Meteorológicos del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), de los cuales se identificó las estaciones cercanas a la zona de estudio, procediendo a recopilar datos de temperatura en °C de cada una de las mismas en un lapso de tiempo de 20 años atrás. Ver **Anexo 10**.

Las estaciones utilizadas para realizar el mapa de isoyetas fueron las siguientes:

- La Argelia (M0033)
- Malacatos (M0143)
- Quinara (M0145)
- Yangana (M0147)
- Amaluza (M0150)
- Cariamanga (M0146)
- La Toma (M0060)

Una vez obtenidos los datos de temperatura anual en cada una de las estaciones se procede a transcribirlos en una tabla de Excel para posteriormente importarlos hacia el software ArcGIS 10.3.

Importados los datos con los respectivos puntos de estaciones meteorológicas en Datum WGS 84, se realiza una interpolación mediante la herramienta IDW, correlacionando los valores de temperatura con los cantones Loja y Catamayo de la Provincia de Loja.

Los valores de precipitación obtenidos en el mapa realizado se ponderaron acorde a los criterios del autor, basándose en las aseveraciones de Weinert's (1974), el cual menciona que a mayor temperatura, mayor es el número de reacciones químicas que se producen en las rocas y suelos, por ende favorece a procesos de erosión y meteorización de materiales.

Se destaca que el tipo de clima fue asignado acorde a Naranjo, P (1981), el mismo que por cada rango de temperatura obtenida le asigna una denotación climática.

Los rangos obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 17.- Rangos asignados a la variable temperatura

| Temperatura | | |
|---|-----------------------|--------------|
| Temperatura media anual (°C) | Tipo de clima | Rango |
| 16,21 – 17,90 | Temperado | 1 |
| 17,90 – 21,9 | Subtropical | 2 |
| 21,9 – 24 | Tropical o tórrido | 3 |

Fuente: Naranjo, P. (1981)

5.4 Determinación de susceptibilidad a deslizamientos

Para la realización del mapa de susceptibilidad a deslizamientos se utilizó el Método de Evaluación Multicriterio de Suma de Rangos, coadyuvado con el método heurístico, el cual considera los factores que influyen en la inestabilidad mediante asignación de pesos o criterios de acuerdo a la importancia.

El procedimiento consiste en asignar pesos a cada una de las variables condicionantes a deslizamientos, con cada una de sus subvariables, teniendo un rango de valores entre 1 – 5, siendo el primer valor asociado a una susceptibilidad “muy baja”, la numeración 5 a aquellos factores y parámetros que están asociados a susceptibilidad “muy alta” para la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa.

La asignación de los distintos pesos a las subvariables se dio en dependencia a la siguiente tabla:

Tabla 18.- Criterios de asignación de pesos a subvariables

| Asignación de Pesos a Subvariables | |
|---|-------------|
| Descripción | Peso |
| Condiciones biofísicas muy poco favorables para que se produzcan deslizamientos | 1 |
| Condiciones biofísicas poco favorables para que se produzcan deslizamientos | 2 |

| | |
|---|---|
| Condiciones biofísicas moderadas para que se produzcan deslizamientos | 3 |
| Condiciones biofísicas severas para que se produzcan deslizamientos | 4 |
| Condiciones biofísicas muy severas para que se produzcan deslizamientos | 5 |

Fuente: Tambo, W (2011)

Posteriormente se utilizó la herramienta Model Builder, que es una herramienta que permite diseñar flujogramas, la creación de modelos y modificación de sus propiedades, también se considerará un lenguaje de programación visual para la creación de flujos de trabajo.⁸

Dados los pesos a cada subvariable se utilizó la herramienta suma ponderada la misma que ofrece la posibilidad de ponderar y combinar varias entradas para crear un análisis integrado tal como se explica en la figura 13.

La herramienta Suma ponderada superpone varios rásters al multiplicar cada uno por su ponderación y sumar los resultados.

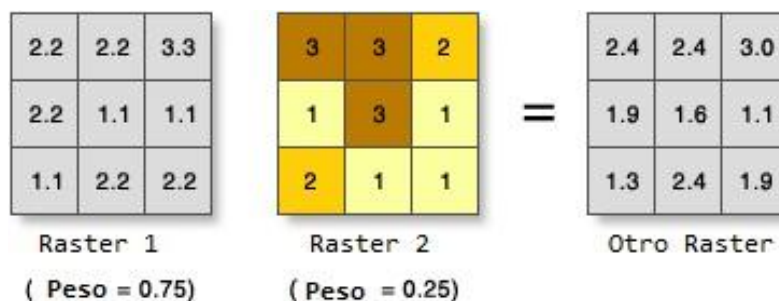


Figura 13.- Uso de la herramienta Suma Ponderada
Fuente: ArcGIS, 10.3

En la figura 13 los valores de las celdas se multiplican por su factor de peso, y los resultados se suman para crear el ráster de salida. Por ejemplo, considere la celda superior izquierda. Los valores

⁸ Catálogo de Ayuda de ArcGIS 10.3.

para las dos entradas se convierten en $(2,2 * 0,75) = 1,65$ y $(3 * 0,25) = 0,75$. La suma de 1.5 y 0.75 es de 2.4.⁹

A partir de la identificación y valoración de las subvariables, se les asignó un peso a las variables a deslizamientos acorde a las características e importancia en el surgimiento de fenómenos de remoción en masa, utilizando los criterios establecidos por Janssen y Van Herwijnen (1994).

Tabla 19.- Pesos criterio mediante el método suma de rangos

| Número de criterio | Pesos de criterio usando el Método de Suma de Rangos | | | | | |
|--------------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | W1 | W2 | W3 | W4 | W5 | W6 |
| 2 | 0.66 | 0.33 | | | | |
| 3 | 0.50 | 0.33 | 0.17 | | | |
| 4 | 0.40 | 0.30 | 0.20 | 0.10 | | |
| 5 | 0.33 | 0.27 | 0.20 | 0.13 | 0.07 | |
| 6 | 0.29 | 0.24 | 0.19 | 0.14 | 0.10 | 0.05 |

Fuente: Janssen y Van Herwijnen (1994).

Este método calcula el peso, w_k , para el criterio k de acuerdo con la Fórmula 1, donde n es el número de criterios. Las ponderaciones se ajustan al orden de clasificación de los criterios definidos por el conjunto S , lo que significa que $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n \geq 0$.

Los pesos criterio total se calculan utilizando la siguiente fórmula:

$$wk = \frac{n + 1 - k}{\sum_{i=1}^n (n + 1 - i)}$$

Donde:

wk = Peso total

n = Número de criterios

⁹ Catálogo de Ayuda de ArcGIS 10.3.

k = Peso de criterio

i = constante

Finalmente para la elaboración del mapa de Susceptibilidad a deslizamientos se usaron los criterios emitidos por Sarkar y Kanungo (2004), apreciados en la tabla **2**, los cuales consisten en el análisis e interrelación de los distintos factores analizados.

6. RESULTADOS

6.1 Ubicación y acceso

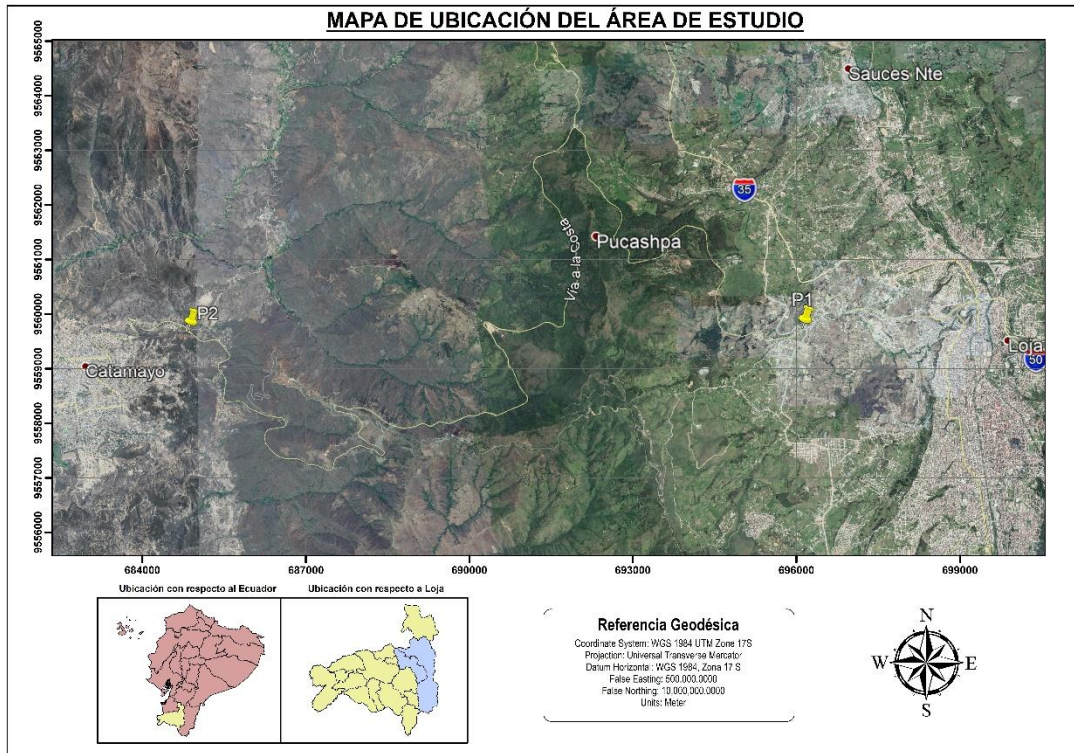


Figura 14.- Ubicación del sitio de estudio
Fuente: El autor, elaborado a partir de Google Earth

La provincia de Loja se encuentra ubicada al sur del Ecuador, a 675 Km de la capital del país. Los cantones Loja y Catamayo se encuentran ubicados al Noroccidente de la provincia de Loja. Se encuentran limitados en su parte Norte por los cantones Saraguro, Chaguarpamba y El Oro respectivamente, y en la parte Sur por el cantón Gonzanamá y la parte Norte del Perú.

El acceso al sitio de se puede realizar mediante vía terrestre desde la capital del Ecuador, tomando el corredor arterial Troncal de la Sierra E35, o desde las terminales de las distintas provincias hacia el cantón Loja.

Por vía aérea se puede acceder desde el aeropuerto Mariscal Sucre de la ciudad de Quito hasta el aeropuerto ciudad de Catamayo del cantón Catamayo, provincia de Loja en un tiempo de 1 hora.

Para el caso del aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo de la ciudad de Guayaquil hasta el aeropuerto ciudad de Catamayo, el vuelo se realiza en tiempo de 30 minutos.

El sitio de estudio corresponde a la Carretera Panamericana – Transversal Sur comprendida desde el redondel del barrio El plateado en la ciudad de Loja hasta el antiguo peaje del cantón Catamayo ubicado al Noroccidente de la provincia de Loja.

En el siguiente cuadro se especifica la ubicación exacta del punto de partida del proyecto y punto final del mismo, con Proyección UTM y sistema de coordenadas WGS 84, zona 17 Sur.

Tabla 20.- Coordenadas de la zona de estudio

| Ubicación | | |
|-----------------|----------|-----------|
| Coordenadas | X (m) | Y (m) |
| Punto de inicio | 696095,1 | 9559711,8 |
| Punto final | 684849,2 | 9559706,7 |

Fuente: El autor.

6.1.2 Clima

Como menciona el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Ciudad de Loja, El cantón tiene un tipo de clima Ecuatorial Mesotérmico Semi – Húmedo, se encuentra a una altura de 2.100 m.s.n.m. Los factores que dan origen al clima del cantón son los mismos factores que afectan a la región andina, especialmente la latitud y el relieve, en términos más generales, la zona de convergencia intertropical (ZCIT), el efecto de la interacción Océano Pacífico – atmósfera (Fenómeno El Niño Oscilación del Sur y Corriente Fría de Humboldt) y la cubierta vegetal.

Se entiende como temperatura a (aire en estado de calor que tiene la atmósfera como consecuencia de la absorción de la energía solar y los intercambios energéticos que se producen entre la atmósfera y la superficie terrestre) teniendo así datos con un promedio de 20,3°C, con una mínima de 19,9°C., en el mes de febrero y una máxima de 20,8°C., en el mes de diciembre.

La precipitación, es el elemento meteorológico más importante y variable. El área en estudio se encuentra en la Región Interandina, donde las precipitaciones se encuentran influenciadas, por el desplazamiento de la zona de Convergencia Intertropical y por la influencia de perturbaciones tropicales, lo señalado, presenta un esquema indefinido en toda la región.

Según estudios realizados por El Ministerio de Transporte y Obras Públicas, la precipitación media anual en los cantones de Loja y Catamayo, se establece con un valor medio de 644,8 mm, en el mes de Julio se presenta la mínima precipitación del año, la cual tiene un valor de 18,254 mm y la máxima precipitación en el año se registra en el mes de marzo con un valor de 106,25 mm.

La humedad relativa promedio del aire, entre los cantones Loja y Catamayo es de 67,3%, con fluctuaciones extremas entre 64,3 % y 70,95%. Hay mayor humedad atmosférica entre los meses de Octubre a Mayo, con enero, febrero, marzo y abril como los meses con mayores cifras (69-70%) y menor humedad relativa los meses de junio - septiembre.

6.1.3 Datos Socioeconómicos

El estudio realizado es de gran importancia para el desarrollo, económico del país, ya que dicha arteria vial a construirse permitirá, aumentar la eficiencia de transporte entre las distintas provincias del sur del país (disminuyendo el descongestionamiento vehicular), así mismo servirá para el transporte y comercialización de productos provenientes de las distintas zonas, por ende dicho estudio de susceptibilidad a deslizamientos servirá como un soporte para la toma de decisiones de los organismos gubernamentales para la toma de decisiones al momento de su construcción.

➤ Población

En este apartado se describirá la cantidad de habitantes en la provincia de Loja, mencionando la totalidad entre los distintos cantones y enfatizando la población presente en la ciudad de Loja sector urbano y periferia.

Tabla 21.- Población de la Provincia de Loja

| Población por género | Habitantes hombres | Habitantes mujeres | Total |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|
| Provincia | 220 794 | 228 172 | 448 966 |
| Cantón | 103 430 | 111 385 | 214 855 |
| Loja (urbano y periferia) | 86 631 | 93 986 | 180 617 |

Fuente: Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial de Loja.

En el siguiente gráfico se puede observar la población total entre hombres y mujeres existentes en la provincia de Loja, información que fue obtenida a partir del PDOT del cantón Loja, año 2014.

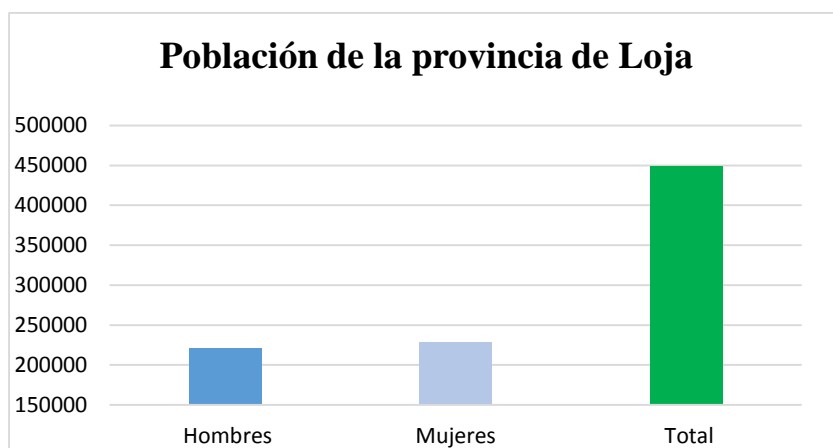


Figura N.- 8 Población de la Provincia de Loja

Fuente: El autor a partir de PDOT Loja

En lo que respecta a la población del cantón Catamayo, los datos fueron obtenidos a partir de estudio realizado por Bravo, F (2013), en donde enfatiza que: el 76,5% de la población total del cantón Catamayo se concentra en la cabecera cantonal, mientras que el 23,5% vive en las parroquias rurales, provocando una distribución desigual.

Tabla 22.- Población del Cantón Catamayo

| Parroquias | Hombres | % | Mujeres | % | Total |
|-------------------------------------|---------|------|---------|------|--------|
| Catamayo (cabecera cantonal) | 11 577 | 49.3 | 11 878 | 50.6 | 23 455 |

Fuente: Bravo, F (2013) Propuesta de reestructuración del centro recreativo Guayabal

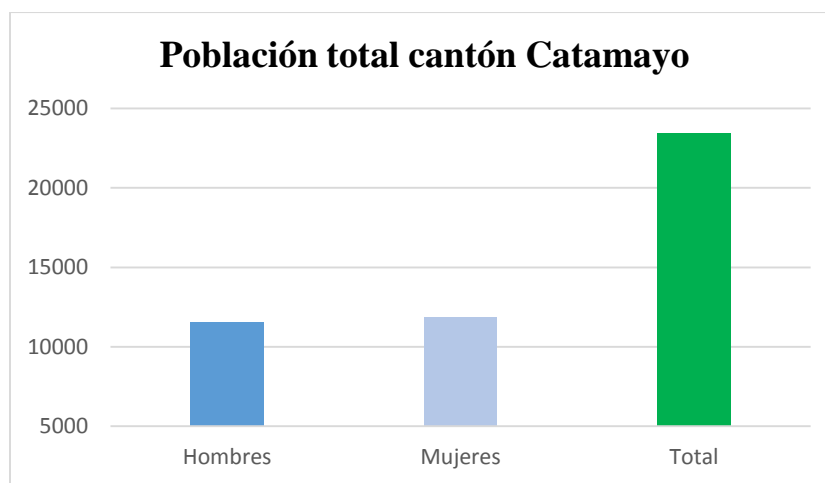


Figura N.- 9 Población total del cantón Catamayo

Fuente: El autor a partir de Bravo, F (2013).

➤ Población Económicamente activa

En el cantón la Población Económicamente Activa es de 82.1 mil personas. De los cuales más de la mitad (59%) son hombres. El 94.5% de la PEA está ocupada. La principal rama de actividad de la población económicamente activa es el comercio al por mayor y menor (20.7%), construcción (10.7%), enseñanza (10.6%) industrias manufactureras (8.5), agricultura ganadería y pesca (7.9%), administración pública (7.6%), transporte y comunicación (6.2%) y el resto de la población se dedica a otras actividades (27.8%). En los sectores rurales de la provincia, se dedican principalmente a las actividades agropecuarias, comercio informal, albañilería que ofertan su mano de obra en la ciudad y en otras ciudades del país.

A continuación se muestra un gráfico en porcentaje de las actividades productivas en la provincia de Loja.

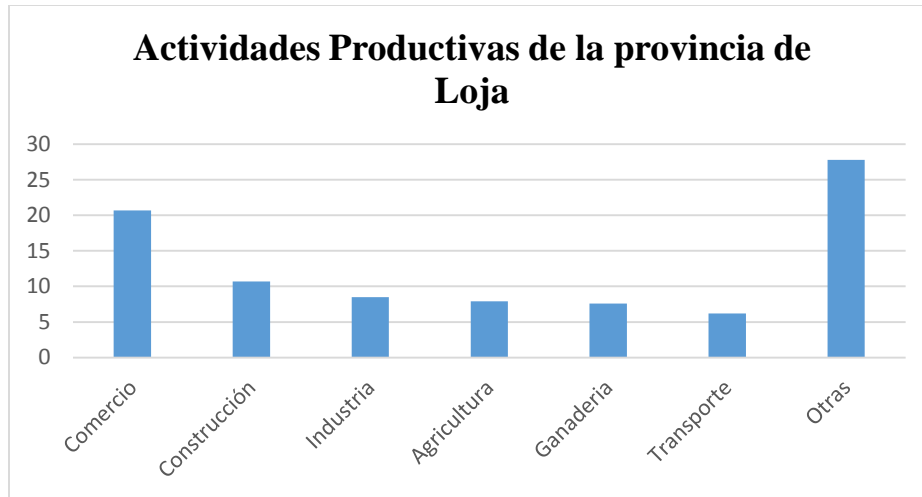


Figura 15.- Actividades productivas en la provincia de Loja
Fuente: El autor a partir de PDOT Loja

6.2 Análisis de Susceptibilidad en la zona de estudio

6.2.1 Topografía.

La base topográfica de la zona de estudio se realizó a 1 km a cada costado de la vía Panamericana, contando con una extensión de 4560,01 ha, abarcando los cantones Loja y Catamayo.

En el mapa topográfico obtenido se digitalizaron: infraestructuras, quebradas, drenajes, vaguadas, senderos, caminos de herradura y la vía principal a dos carriles que es la prioridad de estudio. Como resultado final se obtuvo el mapa a escala 1:10 000, con curvas de nivel principales a una distancia de 20 m, y curvas de nivel secundarias con un distanciamiento de 4 m, todo ello para una mejor visualización de la zona, toda la información procesada fue georeferenciada con el Datum WGS84 zona 17 Sur. Ver **Anexo 1**.

La cota menor de la zona es de 1366 m.s.n.m ubicada al oeste de la zona de estudio en el cantón Catamayo y la cota más alta de 2938 m.s.n.m, ubicada al sur-este de la zona de estudio en el sector Cerro Villonaco.

6.2.2 Pendientes.

A partir del mapa topográfico a escala 1:10000 obtenido del Modelo Digital de Elevación (MDT), se generó el mapa de pendientes, mismo que fue realizado en base a la clasificación propuesta por J, Demek. (1972), en el procesamiento de la información se obtuvo la siguiente clasificación.

Tabla 23.- Área y porcentaje que ocupan las superficies de pendiente

| Pendiente | Rango | Área (ha.) | Porcentaje (%) |
|-----------|-----------|----------------|----------------|
| Muy Baja | 0 – 5 | 242,26 | 5,31 |
| Baja | > 5 – 15 | 1279,17 | 28,05 |
| Media | > 15 – 35 | 2911,93 | 63,85 |
| Alta | > 35 – 55 | 126,68 | 2,77 |
| Total | | 4560.01 | 100 |

Fuente: El autor.

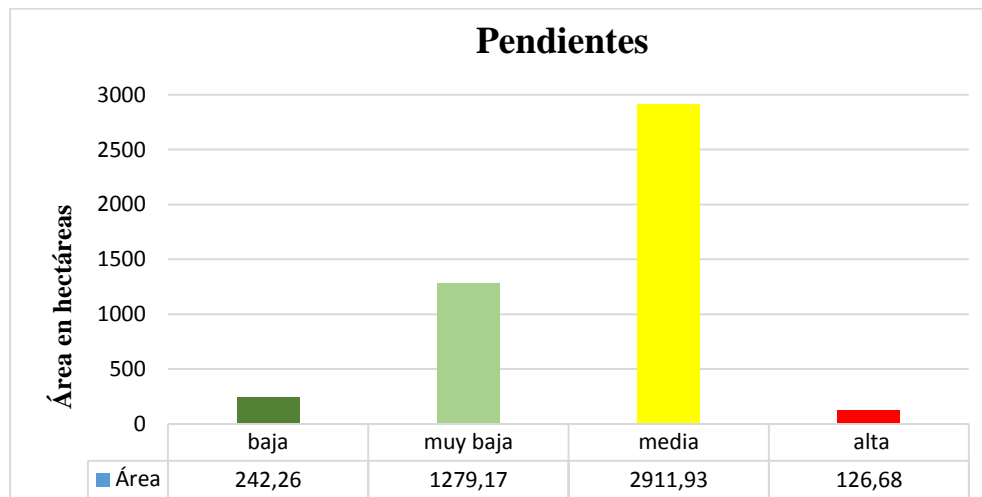


Figura 16.- Porcentaje que ocupan las pendientes en la zona de estudio

Fuente: El Autor.

A partir del mapa de pendientes obtenido, ver **Anexo 2**, se sintetizó los resultados en un gráfico de barras, en el mismo se puede evidenciar que las pendientes que mayor predominancia tienen en el terreno son las pendientes medias, las cuales cuentan con una extensión de 2911,93 ha, y un

porcentaje de 63.85%; mientras que las pendientes que menor extensión presentan en la zona son las altas con 126,68 ha, y un porcentaje de 2,77 %.

6.2.3 Mapa de Cobertura y Uso actual de suelo.

El mapa de cobertura y uso actual de suelo se lo realizó en base al mapa topográfico a escala 1: 10 000 y a las ortofotos del área de estudio a escala 1:5000 obtenidas a partir del Geoportal SIGTIERRAS. Como resultado de la digitalización de los distintos usos de suelo en el programa ArcGIS 10.3 se obtuvo el mapa de cobertura y uso de suelo a escala 1:10000, ver **Anexo 3**. En la siguiente tabla se detallarán los resultados sintetizados.

Tabla 24.- Cobertura y uso de suelo en la zona de estudio

| Nivel | Uso de suelo | Cobertura de suelo | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------------|-----------------------|
| Área sin cobertura vegetal | Tierras improductivas | Área en proceso de erosión | 16,19 | 0,349 |
| | Tierras improductivas | Área erosionada | 7,03 | 0,15 |
| Bosque Nativo | Conservación y Protección | Bosque Húmedo poco alterado | 178,14 | 3,84 |
| | Conservación y Protección | Bosque Húmedo medianamente alterado | 30,48 | 0,65 |
| | Conservación y Protección | Bosque Húmedo muy alterado | 44,6 | 0,96 |
| | Conservación y Protección | Bosque seco muy alterado | 18,82 | 0,4 |
| Cultivo semipermanente | Agrícola | Brócoli | 3,32 | 0,07 |
| | Agrícola | Maíz | 213,16 | 4,59 |
| | Agrícola | Invernadero | 2,12 | 0,04 |
| | Agrícola | Tomate de riñón | 40,31 | 0,865 |
| Infraestructura | Antrópico | Área en proceso de urbanización | 53,99 | 1,16 |
| | Antrópico | Centro poblado | 18,21 | 0,39 |
| | Antrópico | Complejo industrial | 2,05 | 0,04 |
| Artificial | Antrópico | Cantera | 1,64 | 0,03 |
| | Antrópico | Vertedero de basura | 16,25 | 0,35 |

| | | | | |
|-----------------------------|---------------------------|--|----------------|------------|
| Cuerpo de agua | Agua | Lago/Laguna | 4,9 | 0,1 |
| Plantación forestal | Protección o Producción | Eucalipto | 143,2 | 3,08 |
| | Protección o Producción | Pino | 493 | 10,62 |
| Vegetación arbustiva | Conservación y Protección | Matorral Húmedo poco alterado | 681,93 | 15,13 |
| | Conservación y Protección | Matorral Húmedo medianamente alterado | 36,64 | 0,78 |
| | Conservación y Protección | Matorral Húmedo muy alterado | 129,54 | 2,79 |
| | Conservación y Protección | Matorral seco poco alterado | 858,62 | 18,94 |
| | Conservación y Protección | Matorral seco muy alterado | 33,3 | 0,71 |
| Mosaico Agropecuario | Agropecuario mixto | Misceláneo de hortalizas | 2,64 | 0,05 |
| | Agropecuario mixto | Misceláneo indiferenciado | 27,59 | 0,59 |
| | Agropecuario mixto | Pasto cultivado con presencia de árboles | 142,27 | 3,25 |
| Páramo | Conservación y Protección | Páramo arbustivo medianamente alterado | 275,9 | 6,16 |
| | Conservación y Protección | Páramo arbustivo muy alterado | 135,57 | 2,92 |
| | Conservación y Protección | Páramo herbáceo medianamente alterado | 17,68 | 0,38 |
| | Conservación y Protección | Páramo herbáceo muy alterado | 6,51 | 0,14 |
| | Conservación y Protección | Páramo arbustivo poco alterado | 4,15 | 0,08 |
| | Conservación y Protección | Páramo herbáceo poco alterado | 2,87 | 0,06 |
| Pasto cultivado | Pecuario | Pasto cultivado | 737,16 | 16,32 |
| Vegetación herbácea | Conservación y Producción | Vegetación herbácea húmeda muy alterada | 20,72 | 0,44 |
| | Conservación y Protección | Vegetación herbácea húmeda poco alterada | 137,75 | 2,96 |
| | Conservación y Producción | Vegetación herbácea seca muy alterada | 21,59 | 0,46 |
| TOTAL | | | 4560,01 | 100 |

Fuente: SIG Tierras, adaptado por El Autor

6.2.4 Geomorfología.

El mapa geomorfológico se realizó a partir de la generación de un mapa de sombras (hillshade) de la zona de estudio, ayudado de igual manera del mapa de pendientes a escala 1:10 000, y las ortofotos a escala 1:5000 otorgadas por el SIGTIERRAS; dichos insumos permitieron la graficación mediante polígonos y visualización global de los desniveles del terreno, todo ello realizado en el software ArcGIS 10.3.

El resultado final fue el mapa geomorfológico de la zona de estudio a escala 1:10000, ver **Anexo 4**, en el cual se han identificado las siguientes unidades geomorfológicas:

Tabla 25.- Geoformas en la zona de estudio

| Nombre | Génesis | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|---|---------------------|------------------|-----------------------|
| Barranco | Erosivo | 6,19 | 0,13 |
| Coluvio – aluvial antiguo | Denudativo | 44,35 | 0,97 |
| Coluvión antiguo | Denudativo | 124,14 | 2,71 |
| Glacis de esparcimiento | Deposicional | 5,14 | 0,11 |
| Deslizamientos | No aplica | 2,57 | 0,04 |
| Relieve colinado alto | Tectónico - erosivo | 41,10 | 0,89 |
| Relieve colinado bajo | Tectónico - erosivo | 172,24 | 3,67 |
| Relieve colinado medio | Tectónico - erosivo | 699,64 | 15,58 |
| Relieve colinado muy alto | Tectónico - erosivo | 281,04 | 5,99 |
| Relieve colinado muy bajo | Tectónico - erosivo | 49,49 | 1,07 |
| Relieve montañoso | Tectónico erosivo | 2849,04 | 62,31 |
| Superficie cono de deyección muy disectado | Deposicional | 11,62 | 0,25 |
| Superficie de cuesta destruida | Estructural | 217,01 | 4,74 |
| Superficie ondulada | Tectónico – erosivo | 13,71 | 0,30 |

| | | | | |
|-----------------------------------|--------------|-------------|---------|------|
| Superficie intervenida | plana | No aplica | 2,57 | 0,07 |
| Vertiente abrupta | | Estructural | 27,19 | 0,59 |
| Vertiente disectada | | Estructural | 12,88 | 0,28 |
| Total | | | 4560,01 | 100 |

Fuente: SIG Tierras, adaptado por El Autor

6.2.5 Geología

6.2.5.1 Geología Regional

En la zona de estudio se encuentran distintas formaciones geológicas, las cuales presentan materiales de diversa índole variando entre sedimentarios, metamórficos e ígneos, ver en el **Anexo**

5. Las distintas formaciones se describirán a continuación:

Tabla 26.- Formaciones Geológicas y rocas intrusivas de la zona de estudio

| Formación | Litología | Periodo |
|-----------------------------------|---|------------------|
| Unidad Infiernillo | Flujos laharíticos masivos jóvenes, y conglomerados de composición andesítica. | Plioceno |
| Grupos Nabón y Quillollaco | Arcillas, tobas, areniscas, conglomerados | Mioceno/Plioceno |
| Formación Belén | Lutitas y limolitas con restos vegetales intercalados con areniscas y conglomerados | Mioceno |
| Formación San Cayetano | Areniscas, limolitas, lutitas con restos vegetales, dolomitas, restos de carbón | Mioceno |
| Formación La Banda | Calizas, dolomitas, capas de cherts | Mioceno |
| Formación Trigal | Areniscas, limolitas tobáceas y conglomerados | Mioceno |

| | | |
|------------------------------|--|---------------------|
| Formación Loma Blanca | tobas, tobas aglomeráticas, igminbritas, pómez, brechas volcánicas, flujos | Oligoceno |
| Unidad Gonzabal | Secuencias volcanosedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito-basálticas. | Paleoceno |
| Unidad Sacapalca | Lavas andesíticas, tobas andesíticas, tobas aglomeráticas y conglomerados subordinados | Paleoceno/Oligoceno |
| Rocas Intrusivas | Granito | Cenozoico |
| | Esquistos pelíticos, y paragneis con bandas de cuarzo y sericita | Paleozoico |
| Unidad Chiguinda | Pizarras, cuarcitas | Paleozoico |

Fuente: Instituto Nacional de Investigación Geológico, Minero, Metalúrgico, 2008.

Unidad Infiernillo.- Estudiada a partir de los afloramientos expuestos en la vía Catamayo- El Tambo. Consiste de una secuencia de flujos laharíticos, medianamente litificados y meteorizados, con cantos y guijarros de andesitas porfiríticas. Se observan además conglomerados de color café con clastos andesíticos subredondeados a redondeados. Esta unidad sobreyace discordante a los sedimentos de la Formación Catamayo y en contacto tectónico con las rocas metamórficas de la Unidad Chiguinda. Se infiere que es de edad pliocénica, según las relaciones estratigráficas observadas.¹⁰

Formación Quillollaco.- Esta presente al este y oeste de la cuenca de Loja, sobrepuesto al resto de formaciones por una discordancia angular. La formación alcanza espesores hasta un máximo

¹⁰ Instituto Nacional de Investigación Minero Metalúrgico. (2017). Proyecto de Investigación Geológica y disponibilidad de ocurrencia de recursos minerales en Ecuador. Hoja Geológica Loja (N.-56).

de 600 m, al este de la ciudad de Loja. La formación está dominada por conglomerados muy granulados con pocas intercalaciones de areniscas. La estructura de la cuenca no está completamente entendida y el fallamiento es probablemente más importante que lo registrado. En general los sedimentos están plegados en un sinclinal asimétrico que presenta un eje en dirección norte-sur situado cerca del lado este de la cuenca detrás de la formación Quillollaco, en el lado oeste de la cuenca, la estratificación buza suavemente al este, o esta curvada ligeramente formando escarpados visibles y taludes inclinados.

Formación San Cayetano.- (Kennerley, 1973) Descrita originalmente solo en la parte oriental de la cuenca de Loja, sin embargo, aflora en los cortes entre la independencia: Virgenpamba y La Banda – Jipiro – La Rivera. Está constituida por intercalaciones de areniscas, limolitas y lutitas con abundantes restos vegetales y de fauna fósil. Adicionalmente se observan capas de carbón lignito (UTM: 699981E, 9561127N) diatomitas intercaladas con lutitas silíceas grises y calizas con niveles de chert, que han sido discriminadas en el Miembro La Banda. La formación San Cayetano tiene una edad de $13,8 \pm 1,2$ a $10,0 \pm 1,4$ Ma. (Hungerbühler, 1997).

Formación La Banda.- Definida como parte de la formación San Cayetano. Aflora en los cortes realizados en la Quebrada La Banda – Bolonia y la independencia Virgenpamba, en las partes oriental y occidental de la cuenca. Esta unidad consiste de calizas masivas, estromatolíticas, laminadas y dolomitas con lutitas que incluyen capas estratiformes de chert, además de areniscas calcáreas y diatomitas. Corrochano (2014) reporta la presencia de gasterópodos ostrácodos, bivalvos y foraminíferos. Para esta unidad la edad es de $11,1 \pm 1,2$ Ma. (Hungerbühler, 1997).

Formación Trigal.- Descrita originalmente en la parte occidental de la cuenca sedimentaria de Loja y aflora principalmente en los cortes de la vía de acceso a Loja desde Catamayo y en el sector

de Carigán (UT M695818 E; 9562368 N). Litológicamente está compuesta por una secuencia de areniscas y limolitas tobáceas café-verdosas y conglomerados.

Lapo, A (2016) describe que la Formación Trigal se encuentra descansando discordante en las rocas metamórficas paleozoicas Unidades Chiguinda y Agoyán, y sobrepuesta a la Formación La Banda, ambos concordante y discordante. El contacto entre la Formación Trigal y la parte occidental de la Formación San Cayetano en la parte Oriental de la cuenca es formado por la falla de cobijadura. Se le asigna una edad del Mioceno según, Hungerbühler (1997).

Formación Loma Blanca.- Tiene una potencia de 2002 m (Kennerley, 1973 - 1980). Comprende rocas volcánicas de acidez intermedia tales como tobas, tobas aglomeráticas, igminbritas, pómez, brechas volcánicas, flujos; además la presencia de diques y sills, revelan la proximidad de algunos centros eruptivos que frecuentemente los intruyen (Hungerbühlher, 2002), esta formación es considerada como la más antiguas de la cuenca de Malacatos, después de la Unidad Chiguinda. Hacia el Norte ocupan el ancho total de la cuenca, pero en dirección Sur están cubiertas de sedimentos que le permiten aflorar solamente en una banda estrecha a lo largo del lado oeste de la cuenca.

Las tobas son generalmente de color amarillo y de composición riolítica andesítica (Pilatasig, 2005). Los aglomerados pueden contener bloques parcialmente quebrados de más o menos un metro de diámetro. En el Sur, las tobas dominan y los aglomerados contienen muchos cristales de cuarzo y fragmentos de filitas que miden desde 1 a 4 cm de diámetro. Estos últimos se presume que han sido extraídos de la pared del conducto que atravesó las filitas de la serie Zamora, por donde fueron expulsados los piroclastos. (Hungerbühlher, 2002).

Unidad Gonzabal.- Inicialmente cartografiada como parte de la Formación Sacapalca (Pratt y otros, 1997). Consiste de una secuencia volcanosedimentaria. Cuyos principales afloramientos se

encuentran a lo largo de la vía Catamayo- Gonzabal y Taquil – Chantaco. La secuencia incluye tobas líticas, brechas, niveles de conglomerados granodrecientes con estratificación cruzada local y lavas andesito – basálticas subporfíricas. La unidad se encuentra en contacto fallado con la Unidad Chiguinda y subyace discordantemente a la formación Catamayo y a las unidades oligocénicas, por lo que se infiere que es de edad paleocénica tardía.

Unidad Sacapalca.- (Paleógeno) Estudios recientes indican que tiene un ancho de aproximadamente 25 kilómetros, que se extiende desde el Norte de Catacocha hacia el Sur Occidente hasta los límites con el Perú, y una rama de esta formación se prolonga en sentido NE hasta Chuquiribamba entre Catamayo y Saraguro (Kennerley 1973) dentro de esta formación, la litología que se presenta corresponde a lavas andesíticas, rocas de tipo piroclásticas. Las lavas se presentan resistentes a la erosión y se ubican en las partes más altas de la cuenca Catamayo, mientras que las rocas de tipo piroclásticas corresponden a tobas andesíticas, tobas aglomeráticas y aglomerados subordinados. Las lavas son pórfidos andesíticos de color café o gris, con un gran contenido de minerales máficos observándose en algunos casos enstatita, hornblenda, augita. Estas rocas se diferencian de las andesitas de la formación Celica por su color. En Catamayo a esta unidad se le incluye estratos no definidos del paleoceno que son intruídos por el Plutón de San Lucas de $39,1 \pm 3$ Ma (Steinmann 1997) y el intrusivo de El Tingo de $21,2 \pm 2,6$ Ma (Hungerbuhler 1997).

Unidad Chiguinda.- Las rocas que constituyen esta serie geológica, se localizan al Este de la cuenca en los alrededores del Parque Nacional Podocarpus, y se correlacionan con el Grupo Salas en el Perú que aflora al sureste de la cuenca Catamayo chira, constituyendo el basamento rocoso de estos sectores. Al sur de la ciudad de Loja, a lo largo del camino de Loja a Yangana existe un predominio de esquistos alternados con pizarras, estas últimas aumentan de porcentaje en el sector

entre Vilcabamba y Yangana hasta el Nudo de Sabanilla, en cambio existe un predominio de gneis biotíticos y cuarcitas. La dirección general de la foliación de las rocas está entre NNE-SSW. Y NNW-SSE., y están plegadas isoclinalmente siguiendo ejes de dirección igual.

Estas rocas se presentan de fracturadas a muy fracturadas, siendo las cuarcitas y los gneis las que han resistido de mejor manera a la actividad tectónica. A la serie Zamora se la denomina actualmente Unidad Chiguinda.

5.2.5.2 Geología Local

El tramo vial establecido para la zona de estudio, abarca una extensión de 27,23 Km, en el mismo encontraron distintas formaciones de las cuales se desprenden litologías específicas en cada una de las mismas. Ver **Anexo 6**.

Tabla 27.- Afloramientos levantados en la zona de estudio

| N.- | Coordenadas | | | Datum | Tipo | Formación |
|-----|-------------|---------|------|--------|-----------|----------------------|
| | X | Y | Z | | | |
| 1 | 695324 | 9559645 | 2257 | WGS 84 | Natural | Trigal |
| 2 | 694872 | 9559605 | 2262 | | Antrópico | Trigal |
| 3 | 694582 | 9559970 | 2274 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 4 | 694582 | 9560164 | 2282 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 5 | 694482 | 9561017 | 2336 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 6 | 694233 | 9561535 | 2392 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 7 | 693701 | 9561301 | 2434 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 8 | 692608 | 9562083 | 2539 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 9 | 692351 | 9562800 | 2565 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 10 | 692147 | 9563287 | 2602 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 11 | 691788 | 9562875 | 2564 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 12 | 691411 | 9562712 | 2538 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 13 | 691389 | 9562557 | 2536 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 14 | 692031 | 9563148 | 2584 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 15 | 691985 | 9560329 | 2519 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 16 | 691916 | 9560191 | 2525 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 17 | 691281 | 9557721 | 2490 | | Antrópico | Intrusivo Duraznillo |
| 18 | 691684 | 9559785 | 2505 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 19 | 691459 | 9559821 | 2499 | | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 20 | 691137 | 9559693 | 2474 | | Antrópico | Intrusivo Duraznillo |
| 21 | 690911 | 9559692 | 2476 | | Antrópico | Intrusivo Duraznillo |
| 22 | 690901 | 9559690 | 2477 | | Antrópico | Intrusivo Duraznillo |
| 23 | 690429 | 9559821 | 2472 | | Antrópico | Intrusivo Duraznillo |

| | | | | | |
|----|--------|---------|------|-----------|----------------------|
| 24 | 690485 | 9559864 | 2472 | Antrópico | Intrusivo Duraznillo |
| 25 | 690572 | 9559792 | 2474 | Antrópico | Intrusivo Duraznillo |
| 26 | 690769 | 9559369 | 2438 | Antrópico | Intrusivo Duraznillo |
| 27 | 690846 | 9558265 | 2360 | Antrópico | Intrusivo Duraznillo |
| 28 | 691138 | 9558576 | 2391 | Antrópico | Intrusivo Duraznillo |
| 29 | 691033 | 9558737 | 2403 | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 30 | 689504 | 9558007 | 2261 | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 31 | 688033 | 9558289 | 2147 | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 32 | 687951 | 9558265 | 2144 | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 33 | 687756 | 9558329 | 2126 | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 34 | 687924 | 9558199 | 2103 | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 35 | 687972 | 9558187 | 2100 | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 36 | 687636 | 9557359 | 1941 | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 37 | 685501 | 9559422 | 1586 | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 38 | 685599 | 9559161 | 1630 | Antrópico | Unidad Chiguinda |
| 39 | 685560 | 9558653 | 1652 | Antrópico | Formación Sacapalca |
| 40 | 685710 | 9558390 | 1680 | Antrópico | Formación Sacapalca |
| 41 | 686314 | 9557812 | 1789 | Antrópico | Formación Sacapalca |
| 42 | 686415 | 9558115 | 1752 | Natural | Unidad Chiguinda |
| 43 | 685530 | 9559392 | 1575 | Antrópico | Formación Sacapalca |

Fuente: El Autor

Se realizó la descripción geológica de 43 afloramientos naturales y artificiales, los cuales se indican en la siguiente imagen:

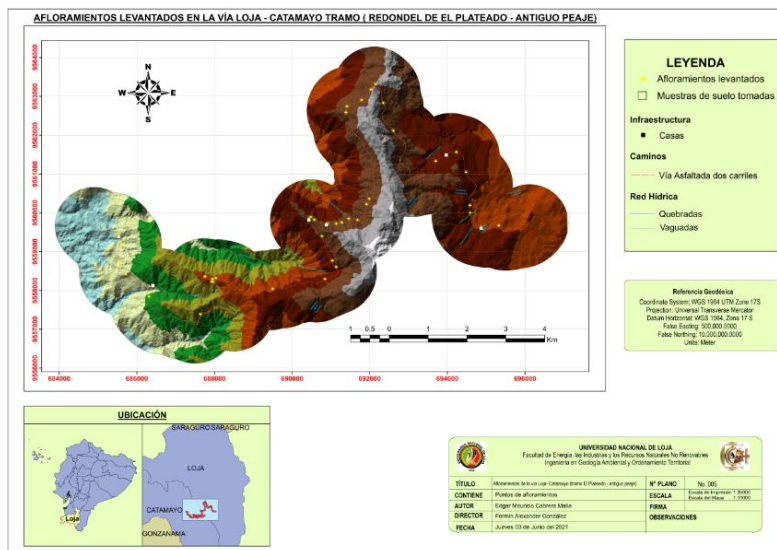


Figura 17.- Afloramientos levantados en la zona de estudio

Fuente: El Autor

A continuación se pueden observar los afloramientos más representativos del sector:

Afloramiento N.-1

Perteneciente a la formación Trigal, en el cual se puede identificar la presencia de materia orgánica con un espesor de 0,05 m, posterior a ello se observan limolitas altamente meteorizadas y disgregadas de coloración gris oscuro encontrándose en un espesor de 1,40 m. Posteriormente se identifican intercalaciones de areniscas de tonalidades más claras (marrones), este material se encontró con espesor de 0,2 m y finalmente se observó la presencia de micro conglomerados de tonalidades gris oscuras dispuestos de forma horizontal con espesor inferior a 0,05 m. Debido al poco espesor y gran meteorización de esta capa de materiales resultó difícil la toma de datos estructurales, precautelando la obtención de datos erróneos en esta zona.

Ensayos granulométricos realizados en laboratorio, en ese punto de afloramiento denotaron un porcentaje de finos del 53,73% de una muestra inicial de 410.38gr (**ver anexo 13**), dando como resultado un material arcilloso (limolitas), corroborando las observaciones en campo, se observó de igual manera que este material se encontraba expandido encontrándose con un espesor aproximado de 1,40 m, dicha expansión se debe a factores climáticos, específicamente producto de las precipitaciones en el sector, el porcentaje de arena en la muestra inicial de 410.38gr fue de 45,53%, encontrándose en menor cantidad que los materiales finos (limolitas), corroborando de igual manera las observaciones en campo como los ensayos en laboratorio.

Los resultados de los ensayos granulométricos AASHTO, definieron a este material con una clasificación: A – 7 – 6 = Regular a Pobre. Por otra parte, la clasificación SUCS denotó a este material como: CH1 = Arcilla de alta plasticidad arenosa.

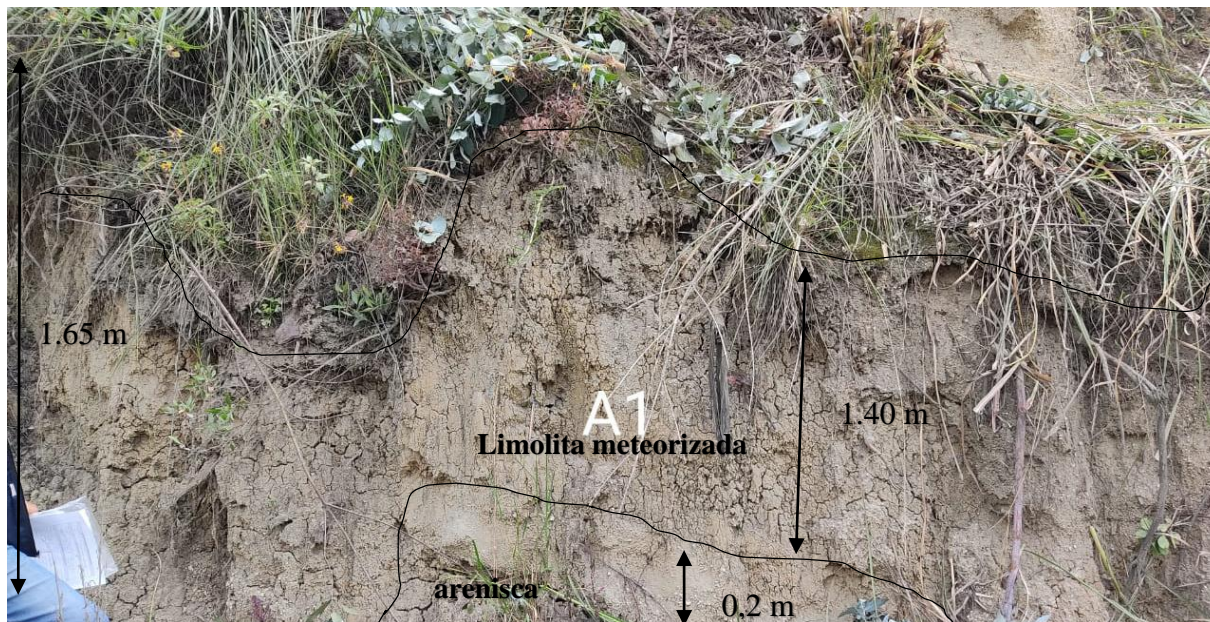


Figura 18.- Afloramiento N.- 1
Fuente: El Autor

Afloramiento N.- 5

El afloramiento se encuentra ubicado al margen derecho de la vía en sentido Loja – Catamayo, el mismo pertenece a la Unidad Chiguinda.

En la parte superior del afloramiento se observa materia orgánica con un espesor de 0,15 m, anterior a ello se observa fragmentos de esquistos con diámetros inferiores a 0,10 m, los cuales se encuentran entre una matriz oscura de suelo orgánico, el espesor de esta capa oscila entre el 1,20 m de espesor, la cual va disminuyendo su volumen a medida que se acerca al flanco izquierdo del talud.

Anterior a ello se encuentran bloques de esquistos con pátinas de oxidación, es decir la roca al tener interacción con la atmosfera da lugar a la formación de una pátina la cual tiene un color distinto al de la roca, estas pátinas son visibles en toda la estructura de la roca, observándose de igual manera la disgregación de materiales vertidos directamente a la calzada de la vía, el espesor de esta capa oscila entre los 4m, y sus datos estructurales son rumbo N 36° E, buzamiento 22°, y dirección de buzamiento hacia el SE.

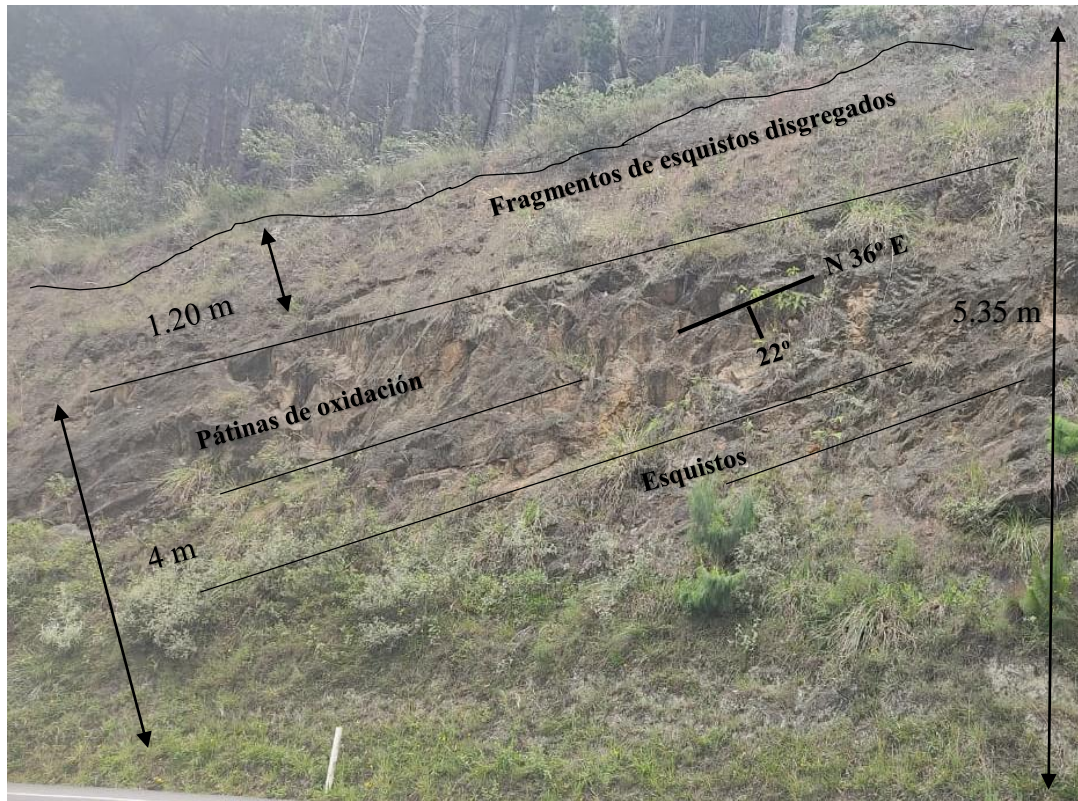


Figura 19.- Afloramiento N.-5
Fuente: El Autor

Afloramiento N.-10

El afloramiento se encuentra ubicado al margen derecho de la vía Panamericana en sentido Loja – Catamayo, en la entrada a la parroquia rural Gualiel.

Se puede apreciar el afloramiento como un bloque masivo de roca metamórfica, en este caso esquistos pertenecientes a la Unidad Chuiguinda, el afloramiento puede constituir la terminación de la hoya de Loja y marca el descenso al cantón Catamayo.

Los esquistos que constituyen el afloramiento se encuentran de manera compacta aunque al estar expuestos de manera directa a las condiciones atmosféricas se ven disgregados en su parte inferior, identificando grandes cantidades de fragmentos de roca. Así mismo las tonalidades de las rocas observadas varían entre gris claro a amarillenta o marrón, todo esto supone una oxidación de los materiales producto de cambios de temperatura en el sector.

El rumbo de los materiales es de S24°E, buzamiento: 23°, dirección de buzamiento: SW. La altura total de este afloramiento es de 18 m.

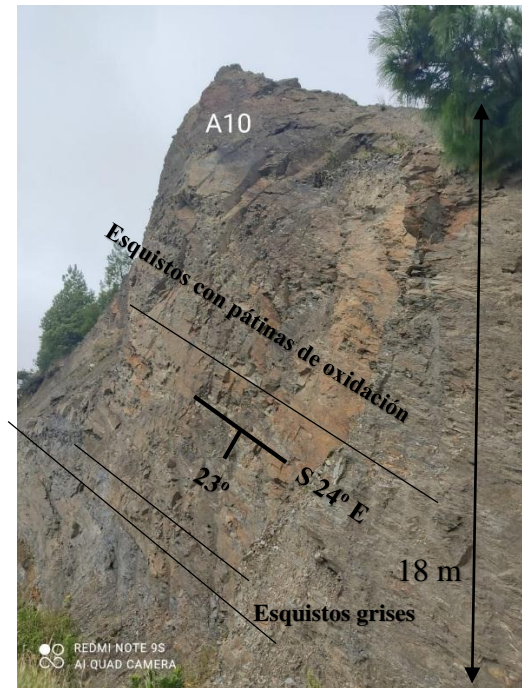


Figura 20.- Afloramiento N.- 10
Fuente: El Autor

Afloramiento N.- 11

El afloramiento pertenece a la Unidad Chiguinda (basamento metamórfico), se encuentra ubicada al margen izquierdo de la vía en sentido Loja – Catamayo.

En la parte superior se observa cobertura vegetal con presencia de pequeños matorrales de 0,1 m de espesor. Anterior a ello y en un bloque masivo de 2.40 m se observa la presencia de esquistos de coloración oscura con intercalaciones de cuarcitas de coloración lechosa en pequeños lentes de 0,15 m de diámetro.

Los esquistos cuentan con un rumbo de S 15 ° E, buzamiento: 26°, dirección de buzamiento: SW.

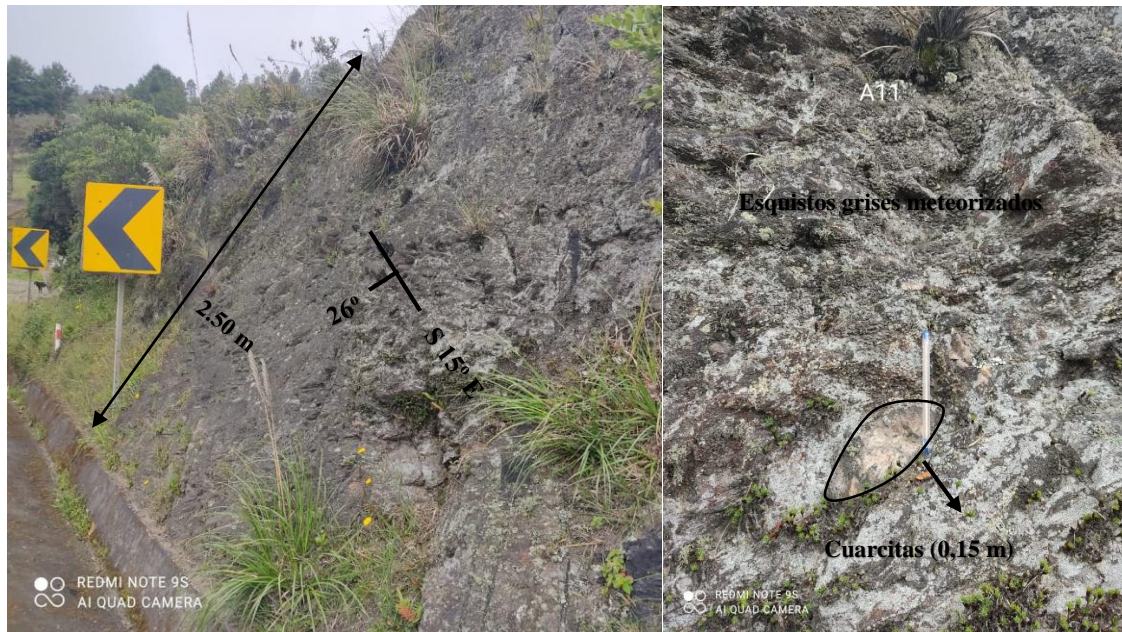


Figura 21.- Afloramiento N.-15. Margen Izquierdo y derecho
Fuente: El Autor

Afloramiento N.- 18

El afloramiento se encuentra ubicado al margen izquierdo de la vía en sentido Loja – Catamayo, perteneciente a la unidad Chiguinda.

En la parte superior se observa la presencia de pinos y materia vegetal con espesor de 0,8 m, anterior a ello se observa un material arcilloso con intercalaciones de coloración gris oscuro y claro, con un espesor de 1 m, mismo material se encuentra meteorizado debido a variación de agentes externos como precipitación y temperatura del sector. Finalmente se observan bloques de esquistos de tonalidad gris clara con dimensiones superiores a los 0,4 m, se observaron con rumbo: N 22 °E, buzamiento: 18°, dirección de buzamiento: SE

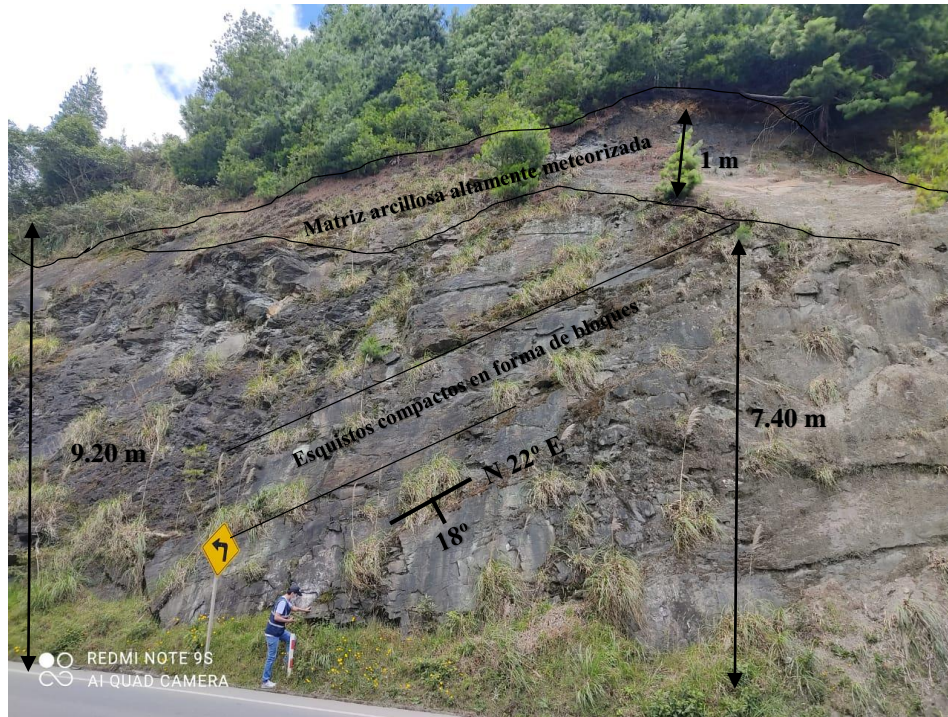


Figura 22.- Afloramiento N.-18
Fuente: El Autor

Afloramiento N.- 23

El afloramiento se encuentra ubicado al margen derecho de la vía Panamericana en sentido Loja – Catamayo.

En la parte superior se observa la presencia de cobertura vegetal con un espesor de 0,1 m, anterior a ello se observa fragmentos de esquistos cubiertos por una matriz de suelo de coloración oscuro, este material junto a los esquistos cuentan con un espesor de 0,72 m, anterior a ello se observa una capa de arenisca de grano fino la cual va disminuyendo su espesor a medida que se acerca a los flancos del talud, dicha capa tiene un espesor de 0,40 m, anterior a estos materiales se observan esquistos con diámetros que oscilan entre 0,10 m a 0,30 m, de manera fragmentada de coloración gris oscuro. Finalmente se encuentra material disgregado directamente en el pie del talud, los cuales se encuentran meteorizados y vertidos directamente en la calzada vial.



Figura 23.- Afloramiento N.- 23
Fuente: El Autor

Afloramiento N.- 25

El afloramiento se encuentra ubicado al margen izquierdo de la vía Panamericana en sentido Loja – Catamayo. Se encuentra formando parte de una intrusión de granito, el cual en superficie se encuentra altamente meteorizado desprendiéndose su estructura con gran contenido de cuarzo y presencia de feldespatos de potasio de color blanco.

En aspectos más detallados a manera microscópica, es un estudio realizado por González, D (2015), en el intrusivo Duraznillo, menciona que el volumen de la roca se divide de la siguiente manera: cuarzo 26%, feldespato de potasio 47%, plagioclasa 15%, biotita 8% y entre la moscovita y lepidolita forman un 4%.

En la sección derecha del afloramiento se puede observar un corte en el talud, el cual puede deberse a causas de agentes externos, las cuales generan reacciones químicas en la roca y conllevan a la meteorización de los materiales, provocando grietas en la roca. En la sección izquierda del

afloramiento de coloración naranja, se observa una brecha de esquistos de diámetros inferiores a 0,05 m, la cual se correlaciona con los bloques de granito en la misma dirección.

En el afloramiento se pueden observar lentes de esquistos de coloración gris oscura con espesores de 0,40 m y extensión de 1,80 a 2 m, finalmente en su parte inferior se identificó vetillas de cuarzo con espesor de 0,02 m.

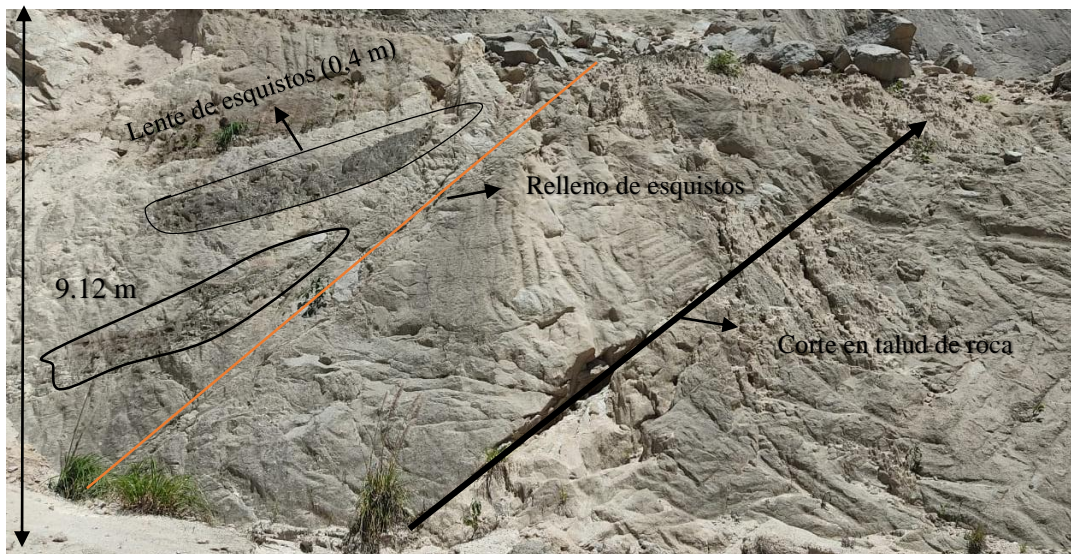


Figura 24.- Afloramiento N.- 25
Fuente: El Autor

Afloramiento N.- 29

El afloramiento se encuentra formando parte de la Unidad Chiguinda, ubicado al margen izquierdo de la vía Panamericana en sentido Loja – Catamayo.

En la parte superior del afloramiento se encontró materia vegetal escasa, con un espesor de 0,05 m, anterior a ello en el flanco izquierdo del afloramiento se observa esquistos contenidos en una matriz arenosa de color gris claro, siendo resultado de procesos de meteorización, teniendo un espesor de 2 m.

Posterior a ello se observan bloques de esquistos de tonalidades gris claro a marron, producto de la oxidación de algunos materiales en su estructura, con un espesor de 4.70 m, el rumbo que presentan dichos bloques es S 86° E, buzamiento de 40° y una dirección de buzamiento SW.



Figura 25.- Afloramiento N.- 29
Fuente: El Autor

Afloramiento N.- 43

El afloramiento se encuentra ubicado en el cantón Catamayo, al margen de la vía Panamericana en sentido Loja – Catamayo, corresponde a la formación Sacapalca.

En la parte superior cuenta con materia vegetal y matorrales con un espesor considerable, aproximadamente 0,6 m, anterior a ello se encuentran tobas en clastos de material volcánico subangular con granos minerales de tamaño medio (0,02 – 0,05 m) contenido en una matriz arenosa de coloración marrón claro, con un espesor de 5,60 m, las tobas contenidas en la matriz presentan diámetros mayores a los 0,15 m.

Se puede observar además el desprendimiento de materiales a la vía, lo cual posteriormente puede originar un posible deslizamiento en la zona.

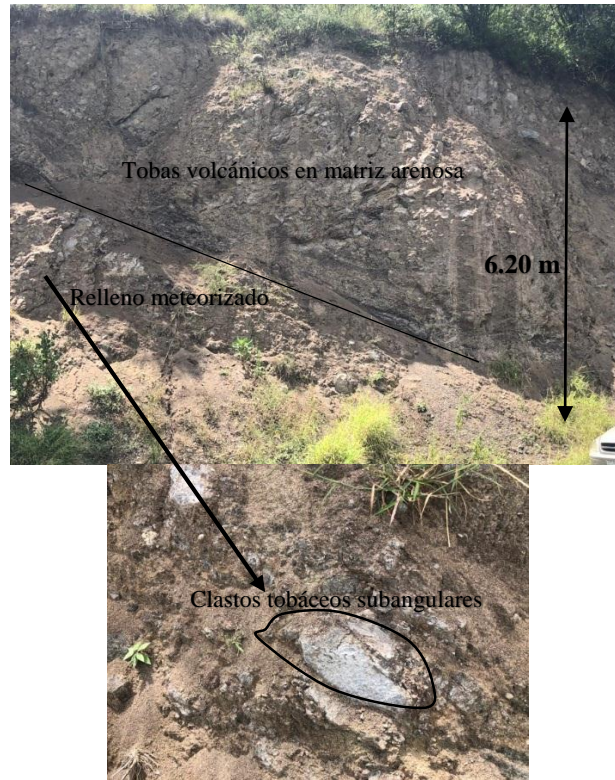


Figura 26.- Afloramiento N.- 43
Fuente: El Autor

➤ **Análisis e Interpretación Geológica**

En afloramientos descritos en el área de estudio, se pudieron identificar cuatro tipos de formaciones, iniciando con la Formación Trigal, la cual se encuentra presente en los dos primeros afloramientos del área de estudio, observando materiales arenosos, de coloración café y marrón los cuales en los ensayos granulométricos realizados, **anexo 13**, se encuentra en un porcentaje de 45,53% de una totalidad de muestra de 410.38 gr. En estratos inferiores se observa material limo arcilloso de coloración gris oscura, mismos que detallan un porcentaje total de 53.73%, siendo los más presentes en el total de la muestra de suelo tomada, y, un Índice de Plasticidad (IP) de 26,24%, lo cual nos indica un rango moderado de plasticidad sin embargo, este valor nos puede indicar la

presencia de un suelo potencialmente expansivo según detalla Aysen, A (2012), en su libro Soil Mechanics Basic Concepts and Engineering Application. La toma de datos estructurales en estos afloramientos resulta complicada ya que los materiales al encontrarse con un porcentaje de humedad considerable, 22,34%, tienden a expandirse, corroborando en campo los mismos resultados obtenidos en laboratorio.

Posterior a ello se observaron materiales pertenecientes a la unidad Chiguinda, la cual está conformada por esquistos, filitas, cuarcitas. En el caso de la zona de estudio se pudieron observar la presencia de esquistos de tonalidades gris oscura a clara, observándose además una coloración naranja debido a la oxidación de los materiales propios de la estructura de los mismos, todas estas rocas con un rumbo variable de NE – NW – SE y un buzamiento que oscila entre los 40° a 11°, se debe que en distintos afloramientos de la zona, se observó la presencia de una matriz arcillosa con fragmentos de esquistos meteorizados con diámetros variables entre los 0,05 – 0,15 m.

A la altura del Km 13,83 de la zona de estudio se encuentra un intrusivo de granito, el cual se encuentra al lado izquierdo del tramo vial, en sentido Loja – Catamayo con un espesor que sobrepasa los 30 m, con una gran meteorización de los materiales. Según David, G (2015), el intrusivo denominado “Duraznillo” o “Plutón Catamayo” Aflora en el barrio Duraznillo, concesión Minera El Durazno y debajo de la urna de la Virgen del Cisne en la carretera nueva Loja- La Toma.

Los suelos arcillosos presentes en la zona, se observaron a lo largo de todo el tramo vial, con tonalidades variables de oscuras, grises, arenisca de color amarillentos de grano fino (con presencia de micas moscovitas, a la altura de la urna de la virgen del Cisne), dichos materiales según el ensayo granulométrico: muestra 3 el cual se observa en el **anexo 13**, denotan la presencia de un 72.15% de materia arenosa, todo ello en una totalidad de muestra de 624.39 gr, y un porcentaje de finos inferior que oscila entre los 27.46%, siendo estos resultados corroborados tanto en campo

como en laboratorio. La clasificación que se le da a este tipo de suelos según la norma SUCS es de: SM = arena limosa; y, la clasificación AASHTO es de: A – 2 – 4 = Arena limosa o arcillosa.

De la misma manera a lo largo del tramo se puede apreciar arcillas de coloración rojisa las cuales según el Estudio de Impacto ambiental realizado por el MTOP, dicha coloración se debe al exceso de Hierro en estos suelos, mismo elemento se encuentra en rangos de 100 a 250 ppm. Los resultados del análisis granulométrico en laboratorio de este tipo de suelos denotó un porcentaje de finos del 65.74% de un total de muestra de 689.72%, siendo las observaciones en campo correctas, ya que a estas zonas se las caracterizó como materia sedimentaria. La clasificación SUCS es de: CL = arcilla de baja plasticidad arenosa; y, la clasificación AASHTO es de: A – 6 = suelos arcillosos.

Finalmente en el km 26 del tramo vial estudiado, perteneciente a la Formación Sacapalca se puede observar la presencia de una matriz arenosa de coloración marrón claro, con una erosión considerable debido a que se observa desprendimiento de materiales que afectan directamente a la vía, dicha matriz tiene la presencia de rocas semicirculares de tobas blancas de grano medio, por el peso de las mismas, las cuales presentan diámetros mayores a los 0,15 m.

➤ **Fallas**

En la zona de estudio se pueden apreciar distintas estructuras, las cuales inciden en la estabilidad del terreno, mediante la observación e interpretación de rasgos geológicos en campo.

En el barrio El Plateado se pueden identificar estas estructuras por la inestabilidad y rompimiento de la meseta de la vía en distintos puntos.

Observándose así una falla de tipo inverso según lo menciona el INIGEMM, denominada falla Huancabamba, la cual se encuentra ubicada en coordenadas X: 694581, Y: 9559796, y una dirección NE/SW, la acción de esta falla se observa en el desprendimiento del margen izquierdo

de la vía, debido al desbordamiento de la quebrada que ha sido producto de las intensas lluvias y que circula por la falla Huancabamba. Litológicamente se observan material coluvial en la parte superior de la zona, intercalada con presencia de fragmentos de esquistos.

Posteriormente se puede apreciar la continuación de la falla Huancabamba en la zona de estudio, la cual a 1 Km, posterior del punto inicial de la falla, con coordenadas X: 694756, Y:9560676, en este sector se puede visualizar la falla de mejor manera, ya que se observa el relleno de la falla con cuarcita de diámetros que oscilan entre 0,1 – 0,2 m, apreciándose una deformación en las filitas, observándose una compresión en los mismos y haciendo que el techo se levante contra el muro, propio de una falla inversa. La dirección de esta falla es NE, con rumbo N 42° E y buzamiento de 18° SE.

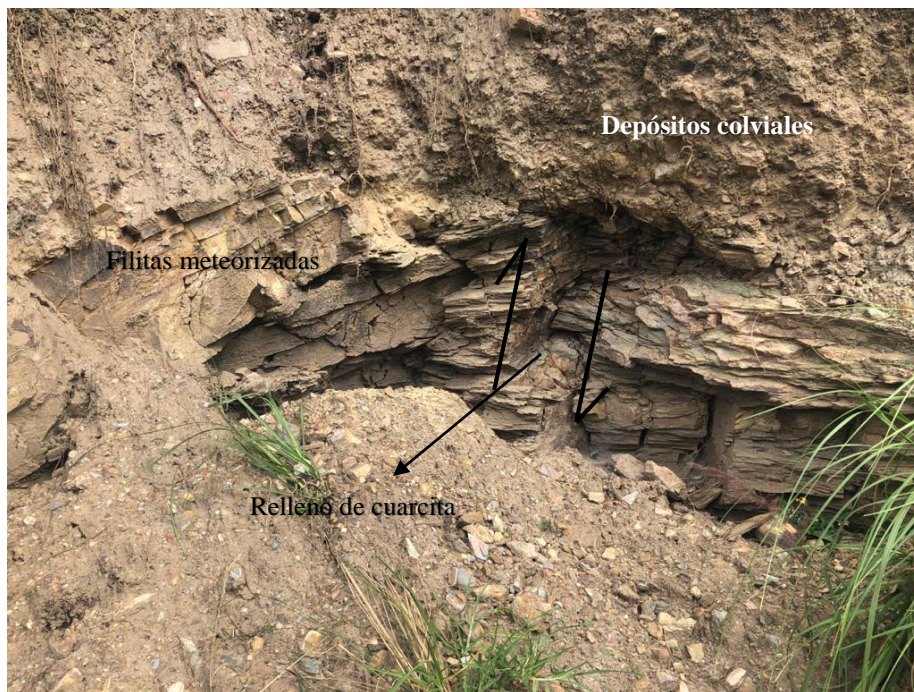


Figura 27.- Falla inversa Huancabamba
Fuente: El Autor

En el sector del Cerro Villonaco se aprecia una intrusión de arenisca de coloración marrón con granos visiblemente pronunciados ubicada en coordenadas: X: 688841, Y: 9557932, la cual se

encuentra cortando a un bloque de esquistos de tonalidad café oscuro, altamente alterado, con presencia de pequeños lentes de arenisca cubriendo las paredes externas de la roca.

La intrusión de material arenoso de tonalidad marrón claro se encuentra fallada, con un visible desplazamiento lateral de 1,40 m, hacia el NE, resultando perceptible ya que en la parte superior del bloque se observan bancos realizados de manera antrópica para reforzar la estabilidad del talud analizado. La intrusión cuenta con un fuerte buzamiento de 47° SE y un rumbo de $N38^\circ E$.

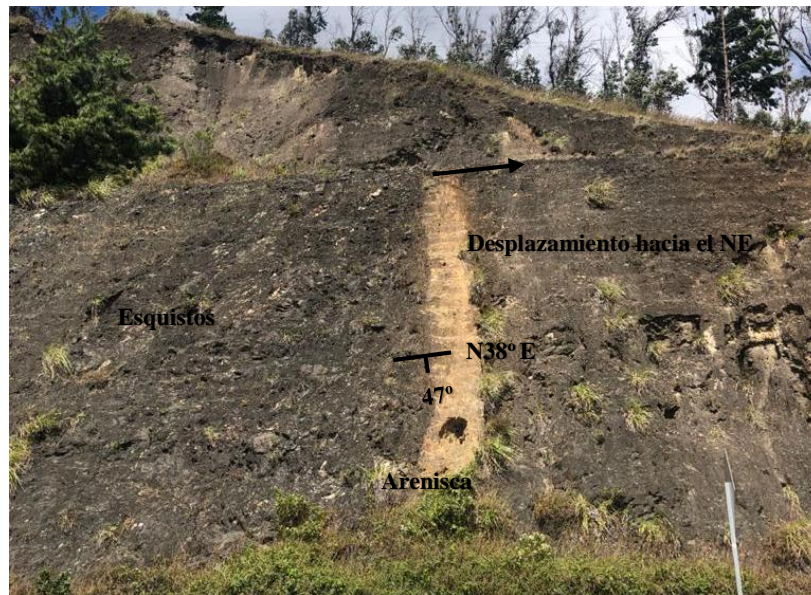


Figura 28.- Intrusión de arenisca en esquistos
Fuente: El Autor

En el Cantón Catamayo se puede apreciar una falla denominada Falla Catamayo, con coordenadas X: 685602, Y: 9559151, la cual junto se encuentra en el borde oriental de la cuenca. La identificación se la realizó en base a carta Geológica de Loja a escala 1: 100000 y ortofotos de la zona.

La observación en campo denotó una extensión de la zona de falla considerable de aproximadamente 8 m y una zona de falla de 0,80 m. La estructura se encuentra cortando bloques de esquistos de coloración gris oscura y cuarcitas. La falla presenta una dirección $N 17^\circ E$ y un buzamiento de 23° SE. Debido al difícil acceso de la zona, la identificación del tipo de falla es de

gran dificultad, sin embargo Eguez, G (2018) sugiere una cinemática inversa, con una pequeña componente dextral que se deduce del desplazamiento en las quebradas.



Figura 29.- Falla Catamayo
Fuente: El Autor

Se menciona que a partir del mapa obtenido se realizó un buffer de 50 m, a los costados de la falla Catamayo y Huancabamba, las cuales fueron analizadas y visualizadas en campo, el buffer realizado se lo integró a la variable Geología, asignándole así un valor específico de susceptibilidad, lo cual coadyuvó a la correcta determinación de susceptibilidad a deslizamientos. Dicha labor se realizó debido a que las fallas son un factor importante para la ocurrencia de deslizamientos, las cuales combinadas con la litología de los materiales y el ángulo de pendiente en la que se encuentran los mismos, crean zonas de debilidad e inestabilidad en los materiales circundantes.

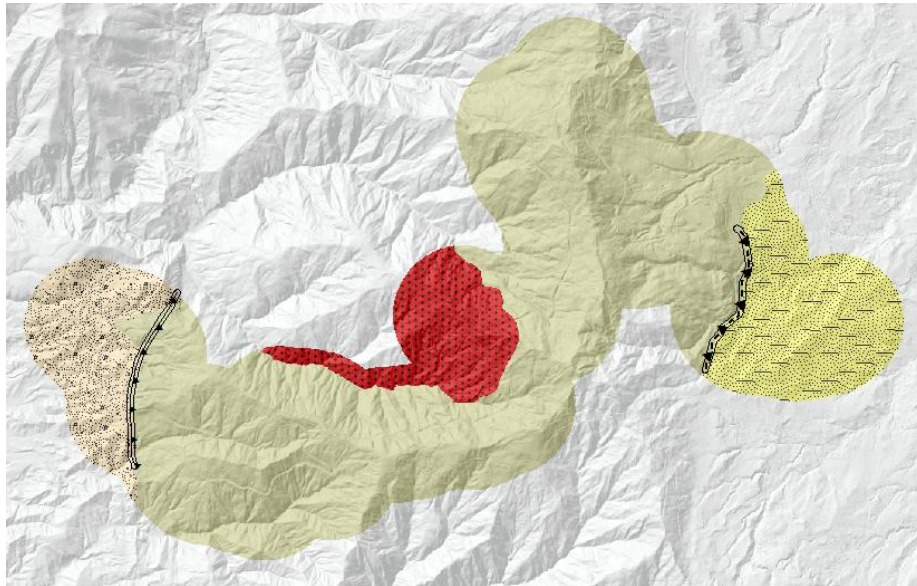


Figura 30.- Buffer realizado a las fallas determinadas en campo (Izq. Falla Catamayo, Der. Falla Huancabamba)
Fuente: El autor.

➤ **Contactos**

Se pudo apreciar un contacto en el sector de la urna de la Virgen del Cisne a la altura del Villonaco, aunque la vegetación hacía dificultoso su observación, con la ayuda del mapa Geológico a escala 1:100000 del cantón Loja se pudo identificar el mismo.

El contacto está dado entre la Unidad Chiguinda en donde afloran esquistos y cuarcitas y el intrusivo denominado “Duraznillo” o “Plutón Catamayo” en donde aflora en su parte superior un material arenoso, disgregado de coloración amarilla de grano fino. El contacto se presenta con un rumbo N 54° W y un buzamiento fuerte de 51° hacia el NE,



Figura 31.- Contacto entre Intrusión Duraznillo y Unidad Chiguinda
Fuente: El Autor

➤ **Columna Estratigráfica**

Los afloramientos más representativos en la zona de estudio denotan rocas metamórficas, como esquistos pertenecientes a la Unidad Chiguinda. De la misma manera se pueden identificar materiales sedimentarios como areniscas meteorizadas y limolitas – arcillas (formando parte de una matriz limo arcillosa). Describiendo igual la presencia de rocas ígneas como granito perteneciente al intrusivo “Duraznillo” y tobas pertenecientes a la unidad Sacapalca.

Todas ellas se describen a continuación con enfatizando su era, periodo, litología y potencia, la cual se la describió acorde a las labores realizadas en campo.

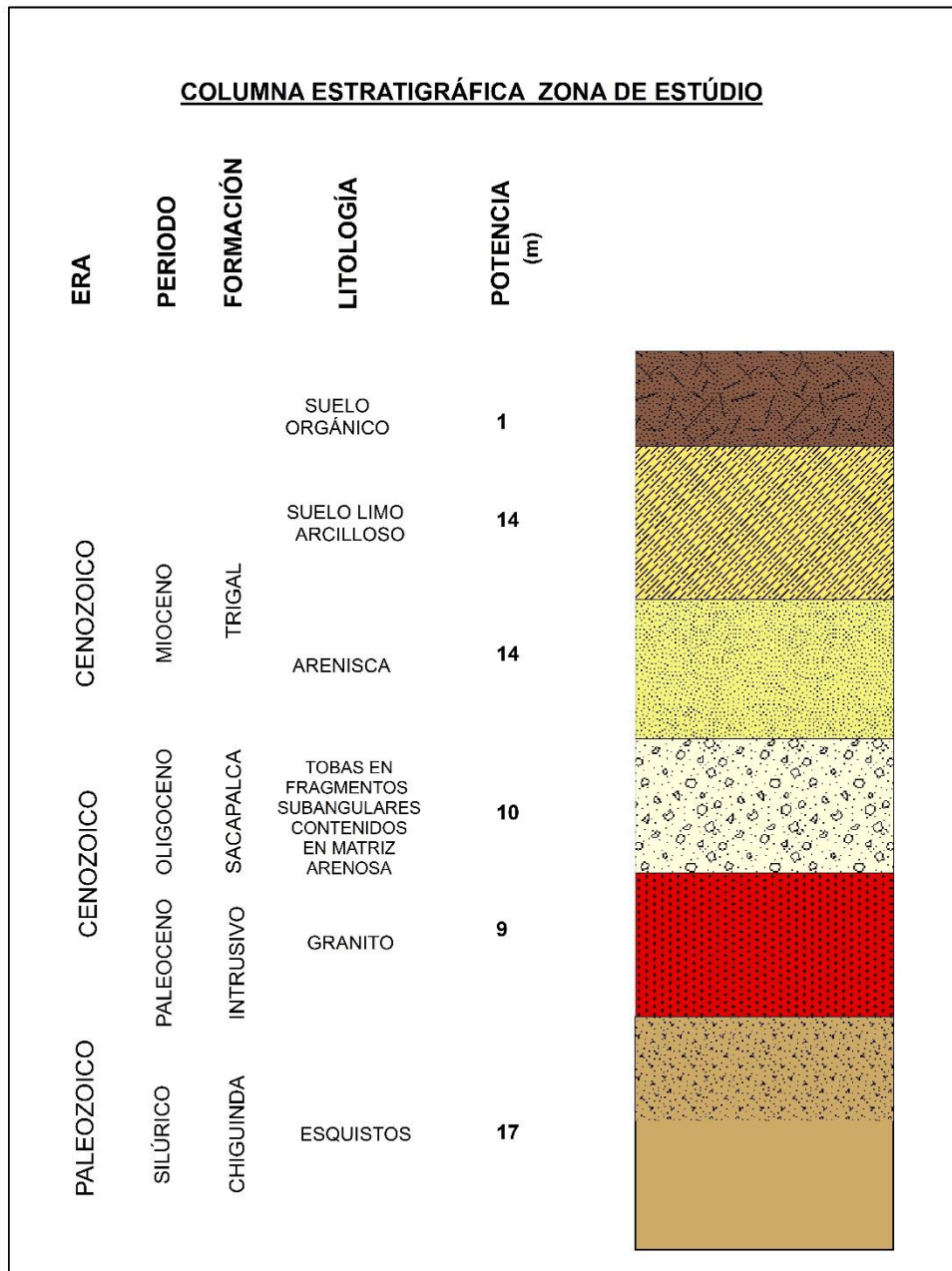


Figura 32.- Columna estratigráfica de la zona de estudio
Fuente: El Autor

6.2.5.3 Inventario de deslizamientos

El inventario de deslizamientos de la zona de estudio se realizó con la finalidad de verificar el estado actual de los materiales, identificando así la correlación que tienen los mismos con los

factores condicionantes a deslizamientos, como es el caso de Geomorfología Geología, Pendientes y Cobertura y uso del suelo.

Se realizó la clasificación del tipo de deslizamientos de acuerdo a los criterios establecidos por Skempton & Hutchinson (1969), los cuales mencionan que, para deslizamientos rotacionales la relación D/L entre 0,11 y 0,33, donde D es la profundidad de la superficie de falla y L su longitud, y, para deslizamientos traslacionales la relación D/L es de 0,1 o menos.

Se pudieron describir un total de 14 deslizamientos en la zona de estudio en las fechas correspondientes del 1 – 6 de Mayo del año 2021, los mismos se muestran a continuación:

Tabla 28.- Inventario de deslizamientos

| N. | Coordenadas | | | Tipo | Dimensiones (m) | | | Área (ha) | Dr/Lr |
|----|-------------|---------|------|------------------------------|-----------------|-------|----------|-----------|-------|
| | X | Y | Z | | Largo Lr | Ancho | Prof. Dr | | |
| 1 | 694860 | 9559608 | 2244 | Deslizamiento - traslacional | 12 | 34 | 1 | 0,094 | 0,083 |
| 2 | 694559 | 9560289 | 2271 | Deslizamiento - traslacional | 14 | 22 | 1,25 | 0,052 | 0,089 |
| 3 | 694439 | 9561233 | 2339 | Deslizamiento - traslacional | 22 | 22 | 1,6 | 0,022 | 0,072 |
| 4 | 692277 | 9563144 | 2581 | Deslizamiento - rotacional | 12 | 11 | 1,8 | 0,006 | 0,15 |
| 5 | 691841 | 9561757 | 2533 | Deslizamiento - rotacional | 12 | 14.2 | 3 | 0,017 | 0,25 |
| 6 | 692125 | 9560618 | 2532 | Deslizamiento - rotacional | 7 | 6 | 1,2 | 0,007 | 0,17 |
| 7 | 692022 | 9560392 | 2539 | Deslizamiento - traslacional | 12 | 17 | 0,80 | 0,076 | 0,066 |
| 8 | 692009 | 9560397 | 2534 | Deslizamiento - rotacional | 7 | 12 | 1 | 0,015 | 0,14 |
| 9 | 688133 | 9558053 | 2071 | Deslizamiento - rotacional | 70 | 85 | 20 | 1,96 | 0,28 |

| | | | | | | | | | |
|-----------|--------|---------|------|---------------------------------|----|-----|------|-------|-------|
| 10 | 686188 | 9558183 | 1718 | Deslizamiento - traslacional | 6 | 3.5 | 0,55 | 0,031 | 0,916 |
| 11 | 685520 | 9559397 | 1575 | Deslizamiento - rotacional | 10 | 9 | 1,4 | 0,032 | 0,14 |
| 12 | 685160 | 9559500 | 1549 | Deslizamiento - rotacional | 18 | 25 | 4 | 0,13 | 0,22 |
| 13 | 692737 | 9561943 | 2509 | Deslizamiento - traslacional | 35 | 27 | 1,2 | 0,068 | 0,034 |
| 14 | 695126 | 9559612 | 2248 | Deslizamiento - rotacional | 14 | 33 | 1,9 | 0,063 | 0,14 |

Fuente: El Autor

En cada uno de ellos se observaron distintas causas que originaron la desestabilización de los materiales, variando entre exceso de lluvias, pendientes elevadas y el estado de los materiales en el tramo vial, la identificación de esos factores se dio a partir de la observación directa de los movimientos y la forma en que los materiales se desplazaban. Se pudo identificar movimientos en forma de deslizamiento traslacional, ya que el desprendimiento se mostraba en forma de láminas, sin haber un socavamiento del talud, sino un movimiento de masa de roca y/o tierra planar.

El segundo tipo de deslizamientos analizados corresponden a deslizamientos rotacionales, en los cuales la dinámica del movimiento se observa a manera de una masa compacta desplazada sobre una superficie cóncava, según la observación y análisis en campo este tipo de movimientos de daban a partir del exceso de humedad en el terreno, acompañado de pendientes altas en los taludes.

Las fichas de ubicación y descripción de deslizamientos se describen en el **anexo 15**.

6.3 Análisis de Factores desencadenantes

6.3.1 Precipitaciones

Las precipitaciones son un factor de gran importancia para la generación de deslizamientos, ya que en las visitas de campo realizadas, al realizar el inventario de deslizamientos, las mismas

fueron el factor fundamental en la generación de deslizamientos, constatándose en el exceso de humedad de los materiales lo cual genera un exceso de peso y por ende el fallamiento del talud.

Los datos de precipitación en mm/año obtenidos a partir de los anuarios meteorológicos e hidrológicos del INAMHI periodo (1994 – 2013), con la respectiva ubicación de las estaciones tomadas para el estudio se muestran a continuación:

Tabla 29.- Datos de precipitaciones de las estaciones tomadas para la zona de estudio

| ESTACIÓN | CÓDIGO | X | Y | Z | PRECIPITACIÓN (mm/año) |
|----------------------|--------|--------|---------|------|---------------------------|
| LA ARGELIA - LOJA | M0033 | 699469 | 9553261 | 2160 | 85,15 |
| MALACATOS | M0143 | 691652 | 9533403 | 1453 | 56,33 |
| QUINARA INAMHI | M0145 | 694711 | 9522583 | 1559 | 74,75 |
| YANGANA | M0147 | 702314 | 9516575 | 1835 | 93,73 |
| GONZANAMÁ | M0149 | 674127 | 9532242 | 2042 | 128,74 |
| CATACOA | M0515 | 650478 | 9551575 | 1808 | 74,57 |
| SAN LUCAS | M0432 | 693085 | 9587311 | 2525 | 109,92 |
| NAMBACOLA | M1214 | 674147 | 9542563 | 1835 | 43,16 |
| EL TAMBO | M0759 | 688720 | 9549537 | 1580 | 26,48 |
| GUAYQUICHUMA | M0758 | 659898 | 9577512 | 850 | 72,02 |
| CAJANUMA | M0543 | 699237 | 9548746 | 2267 | 103,83 |
| LA TOMA | M0060 | 680588 | 9557924 | 1230 | 42,56 |

Fuente: INAMHI

Se destaca de igual manera la temporada invernal al momento de realizar el trabajo de investigación en campo lapso Marzo – Abril, se presentó con una intensidad mucho mayor a años anteriores, debido a ello los deslizamientos en la zona de estudio se presentaron en un número considerable debido a este factor.

Según la metodología expuesta por la Secretaría de Gestión de Riesgos (2014). Movimientos en masa. Escenarios mensuales, las precipitaciones acumuladas en mm/año son clasificadas en rangos de 100mm/año. De acuerdo a la zona de estudio y acoplado la metodología antes mencionada, se agruparon las precipitaciones en 3 rangos, todo ello para mayor facilidad en la

gestión y procesamiento de la información en el programa ArcGIS 10.3, como en su mejor visualización.

El primer rango de precipitación es de 26.50 – 55 mm/año, abarcando un área de 22495,55 ha, siendo el menor rango de la zona de estudio, ubicado en la el cantón Catamayo (parte final de zona de estudio), posterior a ello se ha descrito un rango de 55 – 75 mm/año, ocupando un área de 97003,75 mm/año ocupando la parte central de la zona de estudio (sector Villonaco), finalmente se tiene el mayor rango de precipitaciones 75 – 110 mm/año, ocupando un área de 133823,18 ha, se encuentra en el cantón Loja, en su parte norte y una franja colindante con el Cantón Zamora, su visualización se aprecia en el **Anexo 7**.

Los resultados obtenidos se mostrarán en la siguiente tabla:

Tabla 30.- Datos de precipitaciones anuales

| PRECIPITACIONES | | |
|------------------------------|----------------|------------|
| Precipitación media (mm/año) | Área (ha) | Área (%) |
| 26,50 – 55 | 1788,11 | 39,17 |
| 55 - 75 | 2048,57 | 44,98 |
| 75 – 110 | 723,33 | 15,874 |
| TOTAL | 4560,01 | 100 |

Fuente: El Autor

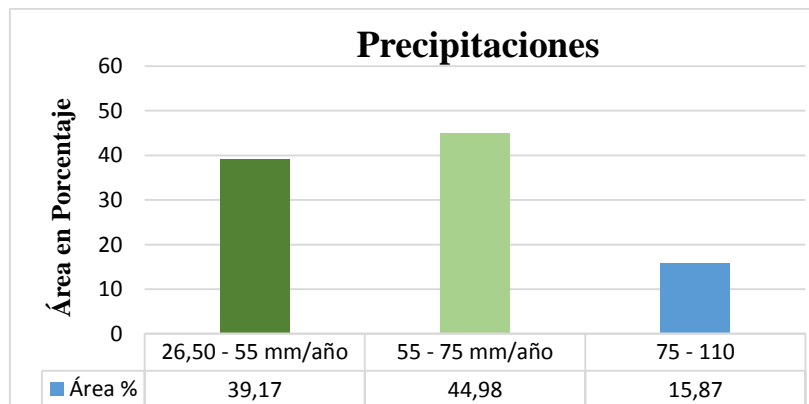


Figura 33.- Precipitaciones de la zona de estudio

Fuente: El autor

6.3.2 Temperatura

La temperatura favorece a los procesos de meteorización de los materiales, disgregándolos, disminuyendo su cohesión y volviéndolos sueltos, según Weinert's (1974), las reacciones químicas se duplican con cada 10° C de aumento de la temperatura ejerciendo una profunda influencia en la meteorización. Todo ello se ve reflejado en la zona del cantón Catamayo, ya que las temperaturas son mayores en relación a la ciudad de Loja, por ende los cambios bruscos de la misma hacen que sea un factor fundamental para la ocurrencia de deslizamientos.

Los datos de temperatura en °C obtenidos a partir de los anuarios meteorológicos tomados del INAMHI periodo (1994 – 2013), con la respectiva ubicación de las estaciones tomadas para el estudio se muestran a continuación:

Tabla 31.- Datos de temperatura de las estaciones tomadas para la zona de estudio

| ESTACIÓN | CÓDIGO | X | Y | Z | TEMPERATURA (°C) |
|----------------------|--------|--------|---------|------|---------------------|
| LA ARGELIA - LOJA | M0033 | 699469 | 9553261 | 2160 | 16,2 |
| MALACATOS | M0143 | 691652 | 9533403 | 1453 | 20,1 |
| QUINARA INAMHI | M0145 | 694711 | 9522583 | 1559 | 21 |
| YANGANA | M0147 | 702314 | 9516575 | 1835 | 19,0 |
| AMALUZA | M0150 | 674106 | 9493048 | 1672 | 20,8 |
| CARIAMANGA | M0146 | 660414 | 9520874 | 1950 | 18,0 |
| LA TOMA | M0060 | 680588 | 9557924 | 1230 | 24,0 |

Fuente: INAMHI

En la zona de estudio se delimitaron tres rangos de temperatura, el primer rango varía entre 16,21 – 17,9 °C, ocupando una extensión de 18313,49 ha, ubicándose en el cantón Loja, el siguiente valor oscila entre 17,9 – 21,9 °C, siendo el valor medio, ocupando una extensión de 204293,27 ha, siendo en su mayoría este tipo de clima en el cantón Loja, en su parte centro norte y sur, finalmente se tiene el mayor valor de temperatura con rangos entre 21,9 – 24 °C con una

extensión de 30695,48 ha, ubicado en el cantón Catamayo (parte final de la zona de estudio). El mapa de isoyetas generado, se identifica en el **anexo 9**.

Los resultados obtenidos y las denotaciones climáticas adoptadas según Naranjo, P (1981), se mostrarán en la siguiente tabla:

Tabla 32.- Datos de temperatura promedio anual

| TEMPERATURA | | | |
|------------------------------|--------------------|----------------|------------|
| Temperatura media anual (°C) | Tipo de clima | Área (ha) | Área (%) |
| 16,21 – 17,90 | Temperado | 1231,35 | 27,08 |
| 17,90 – 21,9 | Subtropical | 2090,25 | 45,79 |
| 21,9 – 24 | Tropical o tórrido | 1238,40 | 27,12 |
| TOTAL | | 4560,01 | 100 |

Fuente: El Autor a partir de Naranjo, P (1981).

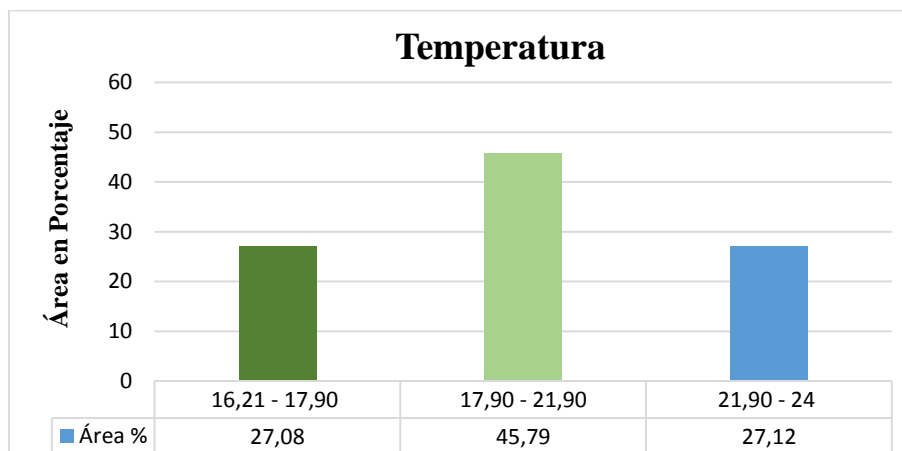


Figura 34.- Temperatura de la zona de estudio

Fuente: El autor

6.4 Determinación de la Susceptibilidad a movimientos por remoción en masa

6.4.1 Factores Condicionantes.

La susceptibilidad a deslizamientos se obtuvo a partir de la combinación de los factores condicionantes a deslizamientos entre los cuales se tiene: Geología, Pendientes, Geomorfología, y

Cobertura y uso de suelo. El método utilizado es la Evaluación Multicriterio, a partir de la metodología Suma de Rangos, en el cual se aplicaron los criterios de Janssen y Van Herwijnen (1994).

Los valores asignados van en orden jerárquico de 1 – 5, siendo 1 asignada a una categoría de susceptibilidad “muy baja” para que se produzcan deslizamientos y 5 asignada a una categoría de susceptibilidad “muy alta” para que se produzcan deslizamientos, a continuación se detallarán los valores establecidos a las subvariables de cada una de las variables condicionantes a deslizamientos.

➤ **Cobertura y uso de suelo**

Tabla 33.- Pesos asignados a la variable Cobertura y uso de suelo

| Nivel | Uso de suelo | Cobertura de suelo | Peso |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------|
| Área sin cobertura vegetal | Tierras improductivas | Área en proceso de erosión | 4 |
| | Tierras improductivas | Área erosionada | 4 |
| Bosque Nativo | Conservación y Protección | Bosque Húmedo medianamente alterado | 3 |
| | Conservación y Protección | Bosque Húmedo muy alterado | 4 |
| | Conservación y Protección | Bosque Húmedo poco alterado | 3 |
| | Conservación y Protección | Bosque seco muy alterado | 5 |
| | | | |
| Cultivo semipermanente | Agrícola | Brócoli | 1 |
| | Agrícola | Maíz | 1 |
| | Agrícola | Invernadero | 1 |
| | Agrícola | Tomate de riñón | 1 |
| Infraestructura | Antrópico | Área en proceso de urbanización | 1 |
| | Antrópico | Centro poblado | 1 |

| | | | |
|---------------------------------|------------------------------|--|----------|
| | Antrópico | Complejo industrial | 1 |
| | Antrópico | Cantera | 1 |
| Artificial | Antrópico | Vertedero de basura | 1 |
| Cuerpo de agua | Agua | Lago/Laguna | 1 |
| | Protección o Producción | Eucalipto | 2 |
| Plantación forestal | Protección o Producción | Pino | 1 |
| | Conservación y Protección | Matorral Húmedo medianamente alterado | 3 |
| | Conservación y Protección | Matorral Húmedo muy alterado | 4 |
| Vegetación arbustiva | Conservación y Protección | Matorral Húmedo poco alterado | 3 |
| | Conservación y Protección | Matorral seco muy alterado | 4 |
| | Conservación y Protección | Matorral seco poco alterado | 2 |
| | Agropecuario mixto | Misceláneo de hortalizas | 1 |
| Mosaico | Agropecuario mixto | Misceláneo indiferenciado | 2 |
| Agropecuario | Agropecuario mixto | Pasto cultivado con presencia de árboles | 1 |
| | Conservación y Protección | Páramo arbustivo medianamente alterado | 2 |
| | Conservación y Protección | Páramo arbustivo muy alterado | 5 |
| | Conservación y Protección | Páramo herbáceo medianamente alterado | 4 |
| Páramo | Conservación y Protección | Páramo herbáceo muy alterado | 1 |
| | Conservación y Protección | Páramo arbustivo poco alterado | 1 |
| | Conservación y Protección | Páramo herbáceo poco alterado | 1 |

| | | | |
|----------------------------|---------------------------|--|----------|
| Pasto cultivado | Pecuario | Pasto cultivado | 2 |
| | Conservación y Producción | Vegetación herbácea húmeda muy alterada | 4 |
| Vegetación herbácea | Conservación y Protección | Vegetación herbácea húmeda poco alterada | 1 |
| | Conservación y Producción | Vegetación herbácea seca muy alterada | 2 |

Fuente: SNGR (2014), adaptado por el autor

➤ Pendientes

Tabla 34.- Pesos asignados a la variable pendiente

| Pendiente | Rango | Peso |
|------------------|--------------|-------------|
| Muy Baja | 0 – 5 | 1 |
| Baja | > 5 – 15 | 2 |
| Media | > 15 – 35 | 4 |
| Alta | > 35 – 55 | 5 |

Fuente: El autor

➤ Geomorfología

Tabla 35.- Pesos asignados a la variable Geomorfología

| Nombre | Génesis | Pesos |
|--|---------------------|--------------|
| Glacis de esparcimiento | Deposicional | 1 |
| Superficie cono de deyección muy disectado | Deposicional | 1 |
| Zonas planas | No aplica | 1 |
| Superficie ondulada | Tectónico – erosivo | 1 |
| Superficie plana intervenida | No aplica | 1 |
| Vertiente disectada | Estructural | 1 |
| Coluvio – aluvial antiguo | Denudativo | 2 |
| Barranco | Erosivo | 4 |
| Relieve colinado alto | Tectónico - erosivo | 2 |
| Relieve colinado bajo | Tectónico - erosivo | 1 |

| | | |
|--------------------------------|---------------------|----------|
| Relieve colinado muy bajo | Tectónico – erosivo | 1 |
| Coluvión antiguo | Denudativo | 3 |
| Relieve colinado medio | Tectónico – erosivo | 4 |
| Deslizamientos | Deposicional | 5 |
| Vertiente abrupta | Estructural | 4 |
| Relieve colinado muy alto | Tectónico - erosivo | 4 |
| Relieve montañoso | Tectónico erosivo | 4 |
| Superficie de cuesta destruida | Estructural | 5 |

Fuente: El autor

➤ **Geología**

Tabla 36.- Pesos asignados a la variable Geología

| Litologías | Peso |
|---|-------------|
| Arenas con presencia de moscovita. | 2 |
| Granito en bloques | 2 |
| Filitas | 3 |
| Tobas en una matriz arenosa | 3 |
| Esquistos gráfícos. | 3 |
| Arcillas de coloración rojiza | 4 |
| Esquistos, esquistos meteorizados con presencia de cuarcita | 5 |
| Limolitas con intercalación de areniscas. | 4 |
| Geología Estructural | |
| Falla Huancabamba | 5 |
| Falla Catamayo | 5 |

Fuente: El Autor.

➤ **Pesos asignados a las variables condicionantes**

Los valores asignados a los factores condicionantes a deslizamientos han sido establecidos en referencia a visitas de campo realizadas en la zona de estudio, realización de mapas temáticos y la interpretación de ortofotos y MDT del sector estudiado. El orden jerárquico establecido según los criterios del autor es el siguiente:

Tabla 37.- Pesos asignados a las variables condicionantes

| Variables | Peso |
|--------------------------|-------------|
| Geología | 0,29 |
| Pendientes | 0,24 |
| Geomorfología | 0,19 |
| Cobertura y uso de suelo | 0,14 |

Fuente: Janssen y Van Herwijnen (1994), adaptado por el autor.

6.4.2 Factores desencadenantes

➤ Precipitaciones

Tabla 38.- Pesos asignados a la variable precipitaciones

| PRECIPITACIONES | |
|---|--------------|
| Precipitación media (mm/año) | Pesos |
| 26,50 – 55 | 2 |
| 55 - 75 | 3 |
| 75 – 110 | 4 |

Fuente: El autor

➤ Temperatura

Tabla 39.- Pesos asignados a la variable temperatura

| TEMPERATURA | | |
|-------------------------------|-----------------------|--------------|
| Temperatura media (°C) | Tipo de clima | Pesos |
| 16,21 – 17,90 | Temperado | 1 |
| 17,90 – 21,9 | Subtropical | 2 |
| 21,9 – 24 | Tropical o tórrido | 2 |

Fuente: El autor

➤ Pesos asignados a los factores desencadenantes

Los factores desencadenantes han sido establecidos a partir del análisis e interpretación de los anuarios meteorológicos e hidrológicos del INAMHI, cuyos datos de precipitación en mm/ año y temperatura en °C, fueron caracterizados en el software ArcGIS 10.3. El orden jerárquico establecido según los criterios del autor es el siguiente:

Tabla 40.- Pesos asignados a las variables desencadenantes

| Variables | Peso |
|------------------|-------------|
| Precipitación | 0,10 |
| Temperatura | 0,05 |

Fuente: El autor

6.4.3 Obtención del mapa de Susceptibilidad a deslizamientos.

El mapa de susceptibilidad a deslizamientos el cual se visualiza en el **anexo 11**, se obtuvo a partir de la caracterización de los factores condicionantes y desencadenantes a deslizamientos, los cuales al aplicar la herramienta **suma ponderada** acorde a los pesos criterio asignados, dio como resultado el mapa final, mismo que fue agrupado en cinco categorías de acuerdo a la metodología descrita por Sarkar y Kanungo (2004).

El modelo seguido para la obtención del Mapa de Susceptibilidad a deslizamientos a escala 1:10 000 se observa en el **Anexo 12**

A continuación se muestra la clasificación obtenida por categorías.

Tabla 41.- Categorías de Susceptibilidad a deslizamientos

| Categoría | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|------------------|------------------|-----------------------|
| Muy baja | 88,20 | 1,93 |
| Baja | 588,10 | 12,90 |
| Media | 1606,47 | 35,23 |
| Alta | 1909,89 | 41,89 |
| Muy alta | 367,35 | 8,05 |
| TOTAL | 4560,01 | 100 |

Fuente: El Autor.

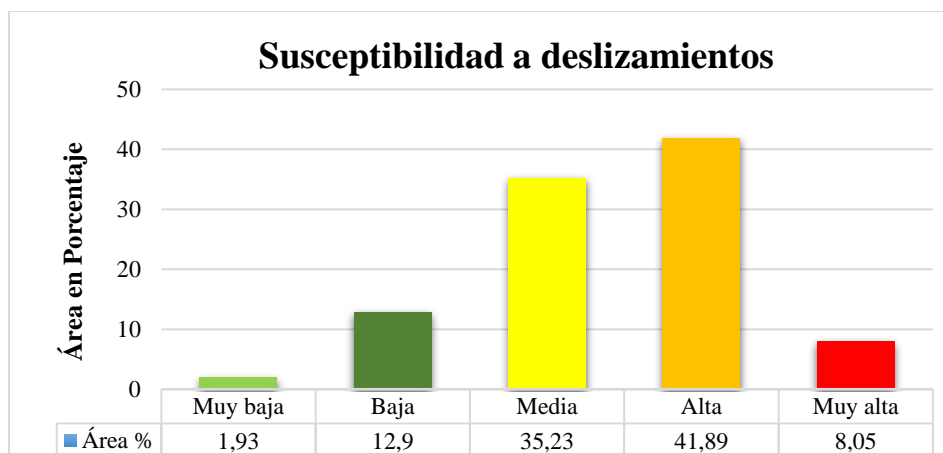


Figura 35.- Valores de susceptibilidad obtenidos.
Fuente: El Autor

➤ **Susceptibilidad muy baja**

Constituye el 1,93% de la totalidad de la zona de estudio, equivalente a la menor extensión de la zona con 88,20 ha, se encuentra presente flanco este de la zona de estudio, en el cantón Loja, en el cual se pueden apreciar muy bajas con rangos entre 0 – 5°, la litología de sus materiales está constituido por una matriz limo - arenosa, de tonalidades marrones a café oscuro, esquistos bien consolidados en cuanto a su geomorfología, esta zona se define como un relieve colinado bajo hasta relieve colinado medio, finalmente en cuanto a la cobertura y uso de suelo correspondiente a pasto cultivado, cultivos agrícolas de maíz y árboles como el eucalipto.

➤ **Susceptibilidad baja**

Las zonas con este rango de susceptibilidad ocupan el 12,90% de la totalidad de la zona de estudio, equivalente a una extensión de 588,10 ha, los sectores con el rango de susceptibilidad baja se encuentran distribuidos en la parte este de la zona de estudio específicamente en el Barrio el Plateado, parte central colindante al intrusivo Duraznillo sector de la urna de la Virgen del Cisne y parte Noroeste del antiguo peaje en el cantón Catamayo. Las pendientes varían entre rangos de 0 – 15°, los rasgos litológicos de estas zonas varían entre esquistos bien consolidados, arenas con presencia de moscovita y granito, correspondientes a las formaciones Chiguinda y el intrusivo

denominado “Duraznillo”, en lo referente a la Geomorfología constituyen relieves colinados medios y altos, además pequeñas zonas de superficies conos de deyección con pendientes menores a 5°, finalmente en lo correspondiente a la cobertura y uso de suelo estas zonas indican áreas en procesos de urbanización, centro poblados, cultivos de maíz y matorrales secos poco alterados.

➤ **Susceptibilidad Media**

Ocupa el 35,23% de la totalidad de la zona de estudio, equivalente a una extensión de 1606,47 ha, siendo el segundo rango más preponderante en la zona de estudio. Según el mapa de susceptibilidad obtenido este rango se encuentra localizado cercano a los márgenes de la vía Panamericana, teniendo coherencia ya que los mismos al tener la presencia de taludes pueden ocasionar deslizamientos en la zona. La litología de este rango denota esquistos meteorizados, filitas meteorizadas y materiales sedimentarios como limolitas con intercalaciones de areniscas, correspondientes a la Unidad Chiguinda y formación Trigal respectivamente, además de una pequeña porción de rocas volcánicas extrusivas, como tobas en una matriz arenosa, perteneciente a la formación Sacapalca. En cuanto a las pendientes se presentan zonas con pendientes entre 15 – 35°. La Geomorfología de la zona presenta relieves colinados medios a muy altos, relieves montañosos y coluviones antiguos. Finalmente, la cobertura y uso de suelo está representada por diversidad de factores como: paramo arbustivo medianamente alterado, matorral seco poco alterado, pasto cultivado con presencia de árboles y bosque húmedo poco alterado.

➤ **Susceptibilidad alta**

El rango de susceptibilidad alta ocupa el 41,89% de la totalidad del área de estudio, siendo este rango el que mayor extensión ocupa en la zona: 1909,89 ha, este rango de susceptibilidad se encuentra colindando la vía Panamericana, en sectores específicos a deslizamientos levantados, los cuales se distribuyen en el cantón Loja y Catamayo respectivamente. La Geología de los

sectores pertenecientes a este rango de susceptibilidad está comprendida entre esquistos meteorizados, filitas, cuarcitas, y tobas en una matriz arenosa. Se pueden además observar pendientes que van en rangos entre 15 – 55°. La Geomorfología de este rango de susceptibilidad denota en su mayoría, superficies de cuesta destruida, relieves montañosos y relieves colinados muy altos. Finalmente la cobertura y uso de suelo entra constituida por zonas de: Matorrales húmedos muy alterados, bosque seco y húmedo muy alterado y páramo herbáceo muy alterado.

➤ **Susceptibilidad muy alta**

El rango de susceptibilidad muy alta ocupa el 8,05 % de la totalidad del área de estudio, equivalente a extensión de 367,35 ha, este rango es considerado de importancia ya que junto con el grado de susceptibilidad alta constituyen zonas en las cuales se puede generar un deslizamiento. Este nivel de susceptibilidad se encuentra distribuido en zonas específicas, cercanas a los deslizamientos inventariados y en las inmediaciones a las fallas localizadas en el sector de estudio. La Geología de estos sectores con rango muy alto está constituida por esquistos con pátinas de oxidación de coloración marrón claro, esquistos meteorizados, tobas en una matriz arenosa meteorizada y disgregada. Las Pendientes de estos sectores alcanzan los mayores niveles de todo el sector: 35 - 55°. En cuanto a la Geomorfología en estas zonas se encuentran relieves Montañosos, superficies de cuesta destruida, Finalmente la Cobertura y uso de suelo contiene zonas de: bosque seco muy alterado, páramo arbustivo muy alterado, matorral seco y matorral húmedo muy alterado.

El mapa de susceptibilidad a deslizamientos a escala 1:10000 del tramo vial que corresponde al sector del Barrio El Plateado hasta el antiguo peaje del cantón Catamayo, Provincia de Loja, se visualiza en el **Anexo 11**.

➤ **Efectividad del método**

La efectividad del método se determinó a partir del número de deslizamientos presentes en las zonas de susceptibilidad alta y muy alta. La determinación de efectividad por el área que ocupan los deslizamientos en la zona, no resulta viable en esta investigación, debido a que el área que ocupan los deslizamientos a lo largo del tramo vial no resulta mayor a 3 ha.

Se asignó un porcentaje de 20% de efectividad de método a cada clasificación de susceptibilidad, ascendiendo este valor a los rangos subsiguientes, todo ello se puede visualizar de mejor manera en la siguiente tabla:

Tabla 42.- Efectividad del método utilizado

| Categoría susceptibilidad | Efectividad % | Número de deslizamientos | Efectividad Total % |
|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Muy baja | 20 | 0 | 0 |
| Baja | 40 | 0 | 0 |
| Media | 60 | 0 | 0 |
| Alta | 80 | 8 | 45,71 |
| Muy alta | 100 | 6 | 42,85 |
| TOTAL | | 14 | 88,56 |

Fuente: El Autor

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La zona de estudio se encuentra situada en la parte noroccidental de la ciudad de Loja, en este sector de estudio, sobreyace la formación Trigal, misma que se encuentra descansando discordantemente sobre la Unidad Chiguinda, el segundo sector se encuentra en la parte nororiental del cantón Catamayo, en dicho sector se encuentra presente la denominada cuenca Catamayo, ubicada sobre el graben Catamayo - Cariamanga – Huancabamba. La cuenca Catamayo guarda rasgos similares o parecidos a las cuencas Miocénicas del sur del Ecuador como Loja, Malacatos, Vilcabamba.

Para la ejecución del proyecto se utilizó el Método Espacial Multicriterio, el cual es considerado un método semi-cuantitativo, el mismo permite asignar valores a las distintas variables en dependencia de observaciones directas y criterios del autor. El análisis de las variables obtenidas en campo, las cuales se desprendieron de la obtención topográfica del sector a escala 1:10000, subsiguiente a ello, variables como Geología, Pendientes, Geomorfología, Cobertura y uso de suelo, Precipitación y Temperatura y la posterior obtención del mapa de susceptibilidad a deslizamientos a escala 1:10 000 fueron desarrollados a partir de un proceso de Suma de Rangos ejecutado en el software ArcGIS 10.3.

De acuerdo al trabajo realizado en campo en lo pertinente a descripción de afloramientos se pudo determinar las diferentes litologías de la vía Panamericana en el tramo vial establecido, teniendo en primer lugar la formación Trigal, en la cuales se identificaron materiales sedimentarios los cuales varían entre areniscas, materiales limo-arcillosos y limolitas, los espesores no exceden los 14 m en el caso de los materiales limo - arcillosos y limolitas y los 2 m, en el caso de las areniscas. Posterior a los materiales especificados se observan rocas metamórficas pertenecientes a la formación Chiguinda, las cuales varían entre esquistos y pizarras de tonalidades distintas en

dependencia de su ubicación, las mismas varían en función de la oxidación de los mismos y la meteorización a causa de factores externos, todos estos materiales con un espesor que oscila entre los 8 – 17 m. De la misma manera afloran materiales ígneos como granitos pertenecientes al intrusivo “Duraznillo” y, finalmente materiales extrusivos, más específicamente volcánicos extrusivos como Tobas, dicha formación tiene una potencia no mayor a los 10 m, todos estos materiales mencionados pertenecientes a la Formación Sacapalca

En lo concerniente a la Geomorfología del sector se identificaron 17 unidades geomorfológicas las cuales están distribuidas en la zona de estudio, siendo los relieves montañosos y los relieves colinados muy altos las superficies más propensas a que pueda darse la ocurrencia de deslizamientos, las mismas que cuentan con una pendiente alta la cual oscila entre 35 – 45° y una génesis idéntica la cual está relacionada a procesos tectónicos – erosivos. La graficación e interpretación de las unidades se realizó en base a la observación directa en campo y graficación a partir de Ortofotos a escala 1:5000 de la zona analizada.

En referencia a los factores condicionantes y desencadenantes con menor incidencia a deslizamientos como son cobertura y uso de suelo, precipitaciones en mm/año y temperatura en °C, fueron desarrollados en base al análisis e interpretación de ortofotos, y síntesis de anuarios meteorológicos del INAMHI. Para la Cobertura y uso de suelo los parámetros más representativos y de mayor incidencia son los bosques, matorrales y páramos muy alterados, los cuales ocasionan al terreno una pérdida de cohesión y un aumento del peso, favoreciendo a la gravedad por ende a la ocurrencia de deslizamientos en las distintas zonas.

Las precipitaciones del sector se clasificaron en 3 distintos rangos, de acuerdo a la cantidad de mm/año obtenidos en cada estación meteorológica e hidrológica, mismas que son un factor gatillo especialmente en sectores de pendientes altas y zonas de materiales arcillosos, debido a la

expansión de los mismos o a la aceleración de fenómenos de meteorización. Se constató que las precipitaciones mayores se localizan en la ciudad de Loja, asignándole un rango moderado de susceptibilidad y las precipitaciones medias se ubicaban en el sector del Cerro Villonaco, todo ello siendo corroborado acorde al inventario de deslizamientos realizado en la zona, ubicándose un número considerable de deslizamientos en estos sectores.

La temperatura en el sector de estudio se dividió en tres rangos diferentes, siendo la más preponderante para la ocurrencia de deslizamientos los rangos de 21,9 – 24 °C, ya que según Weinert's (1974), las reacciones químicas se duplican con cada 10° C de aumento de la temperatura. De acuerdo a la interpretación de las distintas litologías cercanas a la zona del peaje del cantón Catamayo, se pudo identificar que la erosión y meteorización de los materiales a causa de la temperatura, la cual disminuye la cohesión de los mismos, así mismo como su resistencia, aspectos por los cuales se disgregan y proyectan hacia los márgenes viales.

De acuerdo al mapa de susceptibilidad obtenido a escala 1:10 000 en el tramo vial correspondiente: redondel barrio El Plateado – antiguo peaje del cantón Catamayo se puede evidenciar la confiabilidad del método aplicado, ya que al correlacionar los rangos de susceptibilidad obtenidos con el inventario de deslizamientos realizado de un total de 14 deslizamientos se identifican 6 deslizamientos en zona de susceptibilidad muy alta y 8 deslizamientos en zona de susceptibilidad alta, evidenciando así el correcto análisis de los diferentes factores condicionantes y desencadenantes, levantamiento de información geológica en campo e inventario de deslizamientos.

8. CONCLUSIONES

- Se digitalizó la topografía del sector enmarcando los siguientes elementos: vías principales y secundarias, senderos, caminos de herradura, centros poblados, quebradas, vaguadas, curvas de nivel secundarias a una intervalo de 4 m, y curvas de nivel primarias con un intervalo de 20 m, siendo la cota más baja de 1380 m.s.n.m, ubicada en la oeste de la zona de estudio en el cantón Catamayo y la cota más alta de 2940 m.s.n.m ubicada al sur-este de la zona de estudio en el sector Cerro Villonaco.
- Se identificaron 17 unidades Geomorfológicas en la zona de estudio, todo ello con la ayuda de la interpretación de ortofotos, digitalización y corroboración en campo de los datos obtenidos, siendo las geoformas que más extensión abarcan en la zona los relieves montañosos ocupando el 62,31% equivalente a una extensión de 2847,04 ha, haciendo énfasis que este tipo de geoformas junto al relieve colinado muy alto son las zonas de mayor incidencia a que pueda ocasionarse deslizamientos, a causa de su pendiente alta a muy alta de 35 – 55°.
- Se identificaron las siguientes formaciones concernientes a la zona de estudio: Formación Trigal, constituida de: material limo-arcilloso y pequeñas capas de arenisca intercalada de micro conglomerados, Unidad Chiguinda: constituida por Esquistos, pizarras, cuarcitas, Intrusivo “Duraznillo”, constituido de: granito, arena de coloración amarillenta con presencia de moscovita, Formación Sacapalca, constituida de: tobas en una matriz arenosa de coloración gris claro.
- Se analizó que las pendientes son un factor condicionante de importancia para el posible surgimiento de deslizamientos, siendo clasificada el área el 4 tipos: pendientes muy bajas,

bajas, medias y altas, siendo las más preponderantes en el área de estudio las pendientes medias de 15 – 35° ocupando el 63.85 % equivalente a una extensión de 2911,93 ha.

- Se determinó 37 tipos de cobertura de suelo con distintos usos los cuales varían entre: conservación y protección, producción, agropecuario agrícola y antrópico, siendo la de mayor extensión la cobertura concerniente al matorral seco poco alterado con el 18,94 % equivalente a una extensión de 858,62 ha.
- Se identificó 14 deslizamientos teniendo: 6 deslizamientos traslacionales, localizados en la Formación Trigal y Unidad Chiguinda y 8 deslizamientos de tipo rotacional, los cuales se encuentran ubicados en la Formación Trigal, Unidad Chiguinda y Formación Sacapalca. Entre litologías en las cuales se encuentran los deslizamientos se tiene: materiales limo-arcillosos, esquistos meteorizados y fragmentados y tobas en una matriz arenosa de coloración gris claro.
- Se asignó distintos tipos de valoraciones a las variables condicionantes y desencadenantes aplicando los principios de Janssen y Van Herwijnen (1994), y en dependencia de la importancia establecida por el autor se fijaron los siguientes pesos en orden jerárquico: Geología (0,29), Pendientes (0,24), Geomorfología (0,19), Cobertura y uso de suelo (0,14), Precipitación (0,10) y Temperatura (0,05).
- Se obtuvo un mapa de susceptibilidad a deslizamientos realizado en base a la metodología propuesta teniendo 5 rangos de susceptibilidad las mismas que son: susceptibilidad muy baja ocupado el 1,93% equivalente a una extensión de 88,20 ha, susceptibilidad baja ocupando el 12,90% equivalente a una extensión de 588,10 ha, susceptibilidad media ocupando el 35,23% equivalente a 1606,47 ha, susceptibilidad alta, se debe destacar que es el rango que mayor presencia tiene en la zona de estudio ocupando el 41,89% el cual es

equivalente a una extensión de 1909,89 ha, y finalmente el rango de susceptibilidad muy alta ocupando el 8,05 % de la total de la zona lo que refiere una extensión de 367,35 ha.

- Se comprobó una efectividad del 88,56 % en el método utilizado ya que a partir del inventario de deslizamientos realizado se pudo verificar que 8 deslizamientos se encuentran en el rango de susceptibilidad alta y los 6 deslizamientos restantes de un total de 14 se encuentran en el rango de susceptibilidad muy alta, teniendo así una confiabilidad elevada para posteriores análisis que se deseen realizar en distintas zonas.

9. RECOMENDACIONES

- En la zonas donde se inventariaron deslizamiento es necesario que se realicen medidas de estabilización, que puedan disminuir la pendiente y humedad del terreno, debido a que estos factores mencionados pueden ser trabajados de manera antrópica, evitando la caída directa de materiales en la calzada, los cuales pueden ser causas de posibles accidentes.
- Se recomienda actualizar de manera periódica la información utilizada para la elaboración del mapa de susceptibilidad a deslizamientos del tramo vial correspondiente al redondeo del Barrio el Plateado del cantón Loja, hasta el antiguo peaje del cantón Catamayo, ya que las condiciones litológicas y ambientales varían, por tanto modifican el relieve, pudiendo aparecer nuevas aspectos de inestabilidad en la zona.
- Es pertinente que al momento en el que se realicen labores ingenieriles en el tramo vial analizado sea necesario realizar ensayos SPT, con la finalidad de identificar las condiciones del subsuelo, reconociendo niveles freáticos, ya que estos aspectos pueden generar deslizamientos en la zona.
- Se debe realizar un mantenimiento periódico del tramo vial Loja – Catamayo por parte de las autoridades competentes, ya que en al momento de realizar el trabajo de campo investigativo se pudo apreciar material producto de los deslizamientos en la calzada vial, siendo este un peligro para los vehículos que diariamente circulan por la carretera.
- La metodología utilizada en el trabajo investigativo puede ser utilizada como base para futuros proyectos o estudios realizados, sugiriendo la aplicación de ensayos hidrológicos y/o Geofísicos, los cuales brindaran información más detallada de la zona logrando un análisis global del territorio.

- Los estudios realizados en el presente trabajo pueden ser utilizados como guía por parte de los distintos organismos gubernamentales para la elaboración o actualización de Planes de Ordenamiento Territorial, ya que a partir de los mismos se puede tener especial cuidado en las zonas en las cuales el terreno es más susceptible a la ocurrencia de deslizamientos.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A. (2011). “Estudio e implementación de un modelo para la zonificación de áreas susceptibles a deslizamiento mediante el uso de sistemas de información geográfica: caso de estudio sector Quimsacocha”. (Tesis de Grado Previo a la Obtención del título de Ingeniero Civil). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Ayala Carcedo y Corominas (2002). “Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG” Madrid – España, Instituto Geológico y Minero de España
- Ambalagan, R. 1992. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineering Geology* (32): 269-277
- Bosque, Sendra, J., (1992). *Sistemas de Información Geográfica*, Rialp, S.A.
- Castro, L. (2014). *Susceptibilidad a Deslizamiento en la Vía de Integración Barrial, Sector Menfis Central hasta el Barrio Obrapía*. (Tesis de Grado Previo a la Obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial). Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- Corominas, D; García, Yagüé, A. (1997). Terminología de los movimientos de laderas. En: IV Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables. Granada, España
- Cruden, D. y Varnes, D. (1996) “Landslide types and processes”. In: Turner, K., y Schuster, R. ed., *Landslides investigation and mitigation: Washington D.C, USA*. National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247.
- Correa, C (2013). “Análisis de la Susceptibilidad a Procesos de Remoción en Masa en Estructuras Lineales mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica”. (Tesis de Grado presentada como requisito para la obtención del título de Magíster en Sistemas de Información Geográfica). Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.

- Crozier, M.J. (1986), "Landslides: Causes, Consequences and Environment, Croom Helm", London, 1965, p 49.
- DIRECCION NACIONAL DE GEOLOGÍA (2007) "Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas". Servicio Nacional de Geología y Minería. Publicación Geología Multinacional N°4. Países de la Región Andina.
- Duque Escobar, Gonzalo. (2003). Manual de Geología para Ingenieros. Colombia: Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.
- Estrella, O. (2016). "Análisis de Susceptibilidad a Movimientos de masa mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica en la Parroquia Urbana San José, Cantón Catamayo, Provincia de Loja". (Tesis de Grado Previo a la Obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial). Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- Eras, M (2014). "Determinación de zonas susceptibles a movimientos en masa en el Ecuador, a escala 1:1000000, utilizando en método de ponderación de parámetros". (Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniera Geológica). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
- Frederick S. Merrit, (s/f). Manual del Ingeniero Civil, Cuarta edición, Tomo I, pg.12.
- González de Vallejo, L. Ferrer, M. Ortuño, L. Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Educación.
- Galacho, F. (2006). "Tratamiento con SIG y Técnicas de Evaluación Multicriterio de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanísticos: residenciales y comerciales". Universidad de Málaga, España.
- González, A., Remondo, J., Cendrero, A. (2005). "Consideraciones sobre la relación entre movimientos de ladera y el Clima". En: J. Corominas; E. Alonso, M. Romana, M. Hürliman

- (eds.). VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. UPC Valencia. 3: 1103-1130.
- Hunter, G., Fell, R., (2003). Travel distance angle for rapid landslides in constructed and natural slopes. *Canadian Geotechnical Journal* 40, 1123–1141 No 6.
 - Janssen y Van Herwijnen (1994). PESOS DE CRITERIOS USANDO EL MÉTODO DE SUMA DE RANGO.
 - J. Jiménez, C. Irigaray, R. El Hamdouni, P. Fernández and J. Chacón (2008). Análisis de la Susceptibilidad a los Movimientos de ladera mediante ArcGIS en la Cuenca vertiente al Embalse de Rules, Granada, España.
 - Kennerley. J.B. 1973. Geology of Loja Province. Southern Ecuador. Inst. Geol. Sci., London, Overseas Division, Report. No. 23.
 - Núñez L, & Martínez V (2002). Guía Metodológica para elaborar mapas de susceptibilidad a movimientos de ladera en la Cuenca del Lago de Atitlán, Guatemala. Pg., 12.
 - San Millán, E. (2015). “Influencia de las precipitaciones en la ocurrencia de los movimientos de ladera en Cantabria”. Universidad de Cantabria, España.
 - Sarango, J. (2016). “Evaluación de riesgo por deslizamiento en los sectores de Gunudel–Gulagpamba pertenecientes a la Parroquia y Cantón Saraguro, Provincia de Loja”. (Tesis de Grado Previo a la Obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial). Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
 - Sarkar y Kanungo, 2004. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos, Cuadro tomado de la Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo. 2004
 - Suárez, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Cap. 1. Caracterización de los Movimientos.

- Suárez, J. (2009). Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Cap. 13.
- UNDRO, (1991). "Natural Disasters and Vulnerability Analysis", Report of Experts Group Meeting, Geneva.
- Van Westen, C.J. Rengers, N. Terlien, M, and Soeters, R. 1997. Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. Geologisches Rundschau. Pp. 404-414
- Varnes (1978), "Tipos de movimientos de pendiente y procesos. En: Informe Especial 176: Análisis y Control" (Eds: Schuster, RL y Krizek, RJ). Transporte y Carretera la Junta de Investigación de la Academia Nacional de Ciencias, Washington DC, 11-33.
- Varnes D.J. (1984) "Landslide hazard Zonation "A Review of Principles and practice. UNESCO Press, París 63 p.
- Tarbuck, Edward J. & Lutgens, Frederick K. (2005). Ciencias de la Tierra. Una Introducción a la geología física. Madrid: Pearson. Prentice Hall. Madrid. ISBN: 84-205-4400-0.

11. ANEXOS

ANEXO 1. Mapa Topográfico (CD Nro. 2)

ANEXO 2. Mapa de Pendientes (CD Nro. 2)

ANEXO 3. Mapa de Cobertura y uso de suelo (CD Nro. 2)

ANEXO 4. Mapa Geomorfológico (CD Nro. 2)

ANEXO 5. Mapa de Geología regional (CD Nro. 2)

ANEXO 6. Mapa de Geología local (CD Nro. 2)

ANEXO 7. Mapa de Isoyetas (CD Nro. 2)

ANEXO 8. Inventario de anuarios hidrológicos (CD Nro. 2)

ANEXO 9. Mapa de Isotermas (CD Nro. 2)

ANEXO 10. Inventario de anuarios meteorológicos (CD Nro. 2)

ANEXO 11. Mapa de Susceptibilidad a deslizamientos (CD Nro. 2)

ANEXO 12. Model Builder (CD Nro. 2)

ANEXO 13. Muestras de suelo (CD Nro. 2)

ANEXO 14. Fichas de descripción de afloramientos (CD Nro. 2)

ANEXO 15. Fichas de inventario de deslizamientos (CD Nro. 2)

ANEXO 16. Cortes geológicos (CD Nro. 2)