UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

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

Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

TÍTULO:

"SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN LA VIA DE INTEGRACION BARRIAL CON UN TRAMO DE 1.5 Km DESDE EL REDONDEL DE CARIGAN HACIA LA AVENIDA 8 DE DICIEMBRE UBICADA EN LA CIUDAD, CANTON Y PROVINCIA DE LOJA"

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

AUTOR:

René Marcelo Morocho Pizarro.

DIRECTOR:

Ing. Walter Simón Tambo Encalada Mg. Sc

Loja – Ecuador

2018

CERTIFICACIÓN

Loja, 11 de Mayo del 2018.

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.
DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

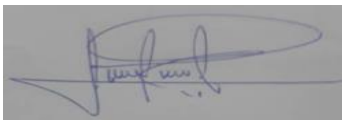
Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **"SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN LA VÍA DE INTEGRACIÓN BARRIAL CON UN TRAMO DE 1.5 Km DESDE EL REDONDEL DE CARIGÁN HACIA LA AVENIDA 8 DE DICIEMBRE UBICADA EN LA CIUDAD, CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA";** previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, realizado por el señor: René Marcelo Morocho Pizarro la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

AUTORÍA

Yo, **RENÉ MARCELO MOROCHO PIZARRO**, declaro ser autor del presente proyecto de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

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



Firma: ----------

Cédula: 110410693-3

Fecha: 14 de Junio del 2018.

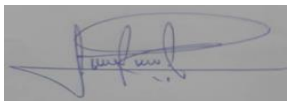
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, **RENÉ MARCELO MOROCHO PIZARRO**, declaro ser autor de la tesis titulada: **"SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN LA VÍA DE INTEGRACIÓN BARRIAL CON UN TRAMO DE 1.5 Km DESDE EL REDONDEL DE CARIGÁN HACIA LA AVENIDA 8 DE DICIEMBRE UBICADA EN LA CIUDAD, CANTÓN Y 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 catorce días del mes de Junio del dos mil dieciocho.

Firma: 

Autor: René Marcelo Morocho Pizarro

Cédula: 1104106933

Dirección: Loja, (Cdla. Pio Jaramillo Alvarado; Av. De los Paltas y Guajiros).

Correo Electrónico: renemorocho10@hotmail.com

Teléfono: 72722766 **Celular:** 0979541850

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

Tribunal de Grado: Ing. Carlomagno Nixon Chamba Tacuri, Mg. Sc.

Ing. Hernán Luís Castillo García, Mg. Sc.

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

DEDICATORIA

A Dios por toda la fortaleza que me ha dado.

De manera muy especial a mis Padres Braulio y Elvia, que me brindan su apoyo y amor inigualable, que con sus enseñanzas y dedicación me han permitido cumplir un sueño más. Así mismo a mi abuelita María que desde el cielo me cuida y protege, por el cariño y respaldo que me dio para lograr mis metas y nunca darme por vencido.

El Autor.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por el regalo de la vida, el cual ha sido mi guía y me ha permitido cumplir mis metas y sueños planteados. Así mismo a mis padres Braulio Morocho, Elvia Pizarro y hermanos Stalin y Pablo que siempre han estado ahí incluso cuando yo he fallado.

Agradezco de manera especial a la UNIVESIDAD NACIONAL DE LOJA, en su Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, que me abrieron las puertas y brindaron sus conocimientos para poder formarme.

Al Ing. Walter Tambo. Director de Tesis por sus valiosas sugerencias, orientaciones, tiempo y experiencia para que el presente trabajo tenga los resultados esperados.

De igual manera quiero agradecer a mis padrinos Segundo Pizarro y Fanny Valarezo, que han sido un pilar fundamental a lo largo de mi vida. Así mismo a todos mis amigos en especial a Luis Bravo, Mónica Morocho, Milena González con los cual pasamos nuestra vida universitaria, y me supieron colaborar para la culminación de mi trabajo.

El Autor.

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN ..... **¡Error! Marcador no definido.**
AUTORÍA ..... **¡Error! Marcador no definido.**
CARTA DE AUTORIZACIÓN ..... **¡Error! Marcador no definido.**
DEDICATORIA ii
AGRADECIMIENTO vi
ÍNDICE DE TABLAS x
ÍNDICE DE FIGURAS xi
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS xii
1. TEMA 13
2. RESUMEN 14
3. INTRODUCCIÓN 16
3.1. OBJETIVOS 17
3.1.1. Generales 17
3.1.2. Específicos 17
4. REVISIÓN DE LITERATURA 18
4.1. Susceptibilidad a deslizamientos 18
4.2. Zonificación de susceptibilidad a deslizamientos 18
4.3. Elaboración de mapas de susceptibilidad a deslizamientos 18
4.4. Elementos para elaborar un mapa de susceptibilidad 19
4.4.1. Metodologías para la elaboración de mapas de susceptibilidad 19
4.4.1.1. Métodos cualitativos 20
4.4.1.2. Métodos cuantitativos 21
4.4.1.3. Métodos semicuantitativos 22
4.5. Movimientos en masa 22
4.5.1. Clasificación de los movimientos de masa 23
4.5.1.1. Deslizamientos 26
4.6. Topografía 31
4.7. Geología 32
4.8. Geofísica 32
4.8.1. Sondeos eléctricos verticales 33
4.9. Sistemas de información geográfica. 34
4.9.1. Cartografía 34

4.9.2. Proyección cartográfica 34
4.9.3. Mapas temáticos 35
4.9.4. ArcGis 35
4.9.5. Modelo constructivo "MODEL BUILDER" 35
5. MATERIALES Y MÉTODOS 36
5.1. MATERIALES 36
5.2. METODOLOGÍA 36
5.2.1. Metodología para el primer objetivo 36
5.2.2. Metodología para el segundo objetivo 46
5.2.3. Metodología para el tercer objetivo 49
6. RESULTADOS 50
6.1. Descripción Biofísica del Sector 50
6.1.1. Ubicación y acceso 50
6.1.2. Clima 51
6.1.3. Hidrología 52
6.1.4. Datos Socio-Económicos. 54
6.2. Análisis de Susceptibilidad a Deslizamientos en el Sector de Estudio. 56
6.2.1. Topografía 56
6.2.2. Geología 57
6.2.2.1. Geología regional 57
6.2.2.2. Geología Local 59
6.2.2.3. Sondeos eléctricos verticales. 67
6.2.3. Geomorfología 72
6.2.3.1. Fluvial 73
6.2.3.2. Estructural - Fluvial 74
6.2.3.3. Poligénico 75
6.2.3.4. Otras 75
6.2.4. Pendientes 75
6.2.5. Uso actual de suelos 76
6.2.6. Isoyetas (precipitación) 77
6.3. Implementación del modelo de Evaluación Multicriterio 77
6.3.1. Valoración y normalización de los mapas generados 78
6.3.2. Aplicación de la Matriz de Jerarquización Analítica de Saaty (AHP) 83
6.3.3. Construcción del mapa de Susceptibilidad. 87

6.4. Zonificación de la susceptibilidad del área de estudio 88

7. DISCUSIÓN..... 91

8. CONCLUSIONES..... 94

9. RECOMENDACIONES 96

10. BIBLIOGRAFIA..... 97

11. ANEXOS..... 100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de movimientos de masa 23
Tabla 2. Condiciones geológicas que influyen en las fallas. 30
Tabla 3. Materiales utilizados 36
Tabla 4. Unidad genética. 42
Tabla 5. Unidad morfológica. 42
Tabla 6. Clases de pendientes. 43
Tabla 7. Desnivel relativo. 43
Tabla 8. Selección de radio para TPI. 44
Tabla 9. Categorías de pendientes. 44
Tabla 10. Rangos para isoyetas. 46
Tabla 11. Esquema del método de jerarquías analíticas para la asignación de pesos. 47
Tabla 12. Escala de Saaty para determinar el valor de xij. 47
Tabla 13. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos. 49
Tabla 14. Puntos de afloramientos. 66
Tabla 15. Coordenadas UTM de los sondeos eléctricos verticales. 67
Tabla 16. Descripción a detalle de la geomorfología de la zona de estudio. 73
Tabla 17. Categorías de pendientes. 76
Tabla 18. Clasificación de uso de Suelos. 76
Tabla 19. Isoyetas de la Zona de estudio. 77
Tabla 20. Matriz de valoración. Factor Geomorfología. 79
Tabla 21. Matriz de valoración. Factor Geología. 80
Tabla 22. Matriz de valoración. Factor Pendiente. 81
Tabla 23. Matriz de valoración. Factor Uso Actual del Suelo. 82
Tabla 24. Fórmula Razón de Consistencia. 83
Tabla 25. Matriz de valoración. Mapa de Susceptibilidad. 84
Tabla 26. Categorías de Susceptibilidad a deslizamientos del sitio de estudio. 88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Caída de rocas. 24
Figura 2. Basculamiento de columnas de roca. 24
Figura 3. Separación lateral. 25
Figura 4. Flujo de detritos 25
Figura 5. Nomenclatura de un deslizamiento. 26
Figura 6. Elementos morfológicos y morfométricos de un deslizamiento. 27
Figura 7. Deslizamiento rotacional. 29
Figura 8. Deslizamiento traslacional de detritos. 29
Figura 9. Configuración de Schumberger. 39
Figura 10. Curvas de resistividad del programa IPI2win. 41
Figura 11. Aplicación de la Extensión de Arcgis 10.2 "Land Facet Corridor Tools". 43
Figura 12. Ubicación del área de estudio. 51
Figura 13. Hidrología de la ciudad de Loja. 53
Figura 14. Población del Cantón Loja respecto a la Provincia 54
Figura 15. Población del sector de estudio con respecto a la ciudad de Loja. 55
Figura 16. Población económicamente activa en el Cantón Loja. 55
Figura 17. Columna estratigráfica de la Cuenca sedimentaria de Loja. 57
Figura 18. Curva de resistividad y capas de los geo-materiales del SEV1 en el programa IPI2win. 68
Figura 19. Perfil litológico del SEV 1. 68
Figura 20. Curva de resistividad y capas de los geo-materiales del SEV2 en el programa IPI2win. 69
Figura 21. Perfil litológico del SEV 2. 69
Figura 22. Curva de resistividad y capas de los geo-materiales del SEV3 en el programa IPI2win. 70
Figura 23. Perfil litológico del SEV3. 70
Figura 24. Curva de resistividad y capas de los geo-materiales del SEV4 en el programa IPI2win. 71
Figura 25. Perfil litológico del SEV4. 71
Figura 26. Diseño del Model Builder para la construcción de la cartografia de Susceptiblidad 88

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Estación total SOKKIA SET 550 RX. 37
Fotografía 2. Descripción de afloramientos. 38
Fotografía 3. Resistivimetro SYSCAL R1 PlUS, electrodos y Carretes de cables. 39
Fotografía 4. Colocación de electrodos M y N; A y B. 40
Fotografía 5. Toma de datos. 41
Fotografía 6. Arenisca del Afloramientos N°1. 59
Fotografía 7. Afloramiento N°2. 60
Fotografía 8. Descripción del Afloramientos N° 4. 61
Fotografía 9. Material del afloramiento N° 13. 61
Fotografía 10. Esquisto sericítico del Afloramiento N° 3. 62
Fotografía 11. Afloramiento N° 6. 62
Fotografía 12. Macizo rocoso del Afloramiento Nº 7. 63
Fotografía 13. Cárcavas presente en los afloramientos N. 14 y 16. 63
Fotografía 14. Pocillo N° 1. 64
Fotografía 15. Cuarcitas incrustadas dentro del esquisto en el afloramiento N° 12. 65
Fotografía 16. Material del Deposito coluvio-aluvial encontrado 66

1. TEMA

“SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN LA VÍA DE INTEGRACIÓN BARRIAL CON UN TRAMO DE 1.5 Km DESDE EL REDONDEL DE CARIGÁN HACIA LA AVENIDA 8 DE DICIEMBRE UBICADA EN LA CIUDAD, CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA”.

2. RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como finalidad identificar y caracterizar las zonas propensas a sufrir deslizamientos en la vía de Integración barrial con un tramo de 1.5 km desde el redondel de Carigán hacia la Avenida 8 de diciembre ubicada en la Ciudad, Cantón y Provincia de Loja.

En este proyecto se realizaron trabajos de campo y de oficina para la obtención de datos en los diferentes levantamientos: Topográfico, Geológico, Geomorfología, Pendientes, Uso actual del suelo e Isoyetas como un factor desencadenante; igualmente se realizó métodos indirectos como son los Sondeos Eléctricos Verticales, los cuales nos sirvió para determinar la litología y el contenido de agua en los estratos en el sector de estudio.

Para obtener del Mapa final de Susceptibilidad a deslizamientos se utilizó el Método de Evaluación Multicriterio (EMC), que constituye una metodología muy eficiente para la elaboración de dichos mapas implementada en SIG. La normalización inicial y ponderación de los mapas es a través de la Matriz de Jerarquización Analítica de Saaty (AHP), como resultado los mapas de las variables con sus respectivos pesos: Geomorfología (0.29), Geología (0.19), Uso actual de Suelo (0.19), Isoyetas (0.19), Pendiente (0.13). La obtención del mapa final se lo obtuvo mediante la herramienta suma pondera en ArcGis 10.2 y representado mediante un "Model Builder".

Como resultado final se obtuvo la susceptibilidad categorizado en 3 clases de acuerdo al criterio de Sakar y Kanungo (2004); reflejando que la mayoría del área de estudio posee una categoría **Baja** de 42.8 (Ha), **Media** 22.55 (Ha) y **Alta** 9.2 (Ha), está ultima ubicada en gran parte de la Formación Trigal y taludes de las vías y laderas pronunciadas.

Los resultados de este proyecto permitirán zonificar las áreas susceptibles a deslizarse de tal manera que sea una base para la aplicación de políticas públicas enfocadas a la prevención de riesgos en la vía y sus alrededores, además de ser elementos claves dentro de los proyectos de planificación y Ordenamiento Territorial.

Abstract

The purpose of this thesis is to identify and characterize the areas prone to landslides in the neighborhood integration path with a 1.5 km stretch from the Carigan ring road to the 8 de December Avenue located in the City, Canton and Province of Loja.

In this project, field and office work was carried out to obtain data in the different surveys: Topographic, Geological, Geomorphology, Slopes, Current land use and Isoyetas as a triggering factor; likewise, indirect methods such as vertical electrical probes were used, which helped us to determine the lithology and water content in the strata in the study sector.

To obtain the final Map of Susceptibility to landslides, the Multicriteria Evaluation Method (EMC) was used, which constitutes a very efficient methodology for the elaboration of those maps implemented in SIG. The initial normalization and weighting of the maps is through the Matrix. Of Saaty Analytical Hierarchy (AHP), as a result the maps of the variables with their respective weights: Geomorphology (0.29), Geology (0.19), Current land use (0.19), Isohyets (0.19), Slope (0.13). The obtaining of the final map was obtained by means of the sum tool pondered in ArcGis. 10.2 and represented by a "Model Builder".

The final result was the susceptibility categorized into 3 classes according to the criteria of Sakar and Kanungo (2004); reflecting that the majority of the study area has a Low category of 42.8 (Ha), Medium 22.55 (Ha) and High 9.2 (Ha), it is last located in much of the Trigal formation and slopes of the roads and steep slopes.

The results of this project will allow to zonify the susceptible areas to slide in such a way that it is a base for the application of public policies focused on the prevention of risks in the road and its surroundings, besides being key elements within the planning and development projects and Land Management.

3. INTRODUCCIÓN

El Ecuador geográficamente se encuentra situado en una de las zonas más altas de complejidad tectónica del mundo, en el punto de encuentro entre las placas de Nazca y Sudamérica. Siendo parte del denominado "cinturón de fuego del Pacífico", con una larga serie de volcanes en su mayoría activos que provoca una permanente actividad sísmica y volcánica, expuesta así a una alta susceptibilidad a deslizamientos.

Dentro de lo que concierne a la ciudad de Loja el crecimiento urbano no planificado y las características geológicas, topográficas y climáticas influyen negativamente a la ocurrencia de deslizamientos, hecho que se hace evidente durante eventos de precipitación extrema.

Considerando según (Cruden & Varnes, 1996); los deslizamientos son los más catastróficos y corresponden a las clases clasificadas como rápidas o extremadamente rápidas. Su peligrosidad radica en la capacidad que tienen de recorrer largas distancias en un tiempo muy pequeño y alcanzar zonas inicialmente consideradas fuera de peligro.

Es por ello que el presente proyecto denominado **"SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN LA VÍA DE INTEGRACIÓN BARRIAL CON UN TRAMO DE 1.5 Km DESDE EL REDONDEL DE CARIGÁN HACIA LA AVENIDA 8 DE DICIEMBRE UBICADA EN LA CIUDAD, CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA",** con una área de influencia de 200 metros a cada eje de la vía. Tiene como finalidad obtener un Mapa de Susceptibilidad a deslizamientos mediante la metodología de Matriz de Jerarquización Analítica de Saaty (AHP), aplicando sistemas de información geográfica SIG, considerando 5 variables como son geología, geomorfología, uso actual del suelo, pendientes e isoyetas.

Los resultados de la presente tesis se convierten en una herramienta para el municipio y empresas de construcción para el diseño de estrategias que permitan la disminución de la vulnerabilidad y el nivel de riesgo de la población frente a este tipo de amenaza, como la generación de políticas preventivas, mismos que pueden ser utilizados por los gobiernos y autoridades locales para la regulación del uso de suelo y la elaboración de planes de desarrollo urbano.

3.1. OBJETIVOS

3.1.1. Generales

Realizar el mapa de susceptibilidad a deslizamientos en la vía de integración barrial con un tramo de 1.5 km desde el redondel de Carigán hacia la avenida 8 de diciembre ubicada en la ciudad, Cantón y Provincia de Loja.

3.1.2. Específicos

- Identificar y caracterizar las variables aplicables en la elaboración del mapa de susceptibilidad a deslizamientos (geología, geomorfología, uso actual del suelo, pendientes e isoyetas) con un área de influencia de 200 m.

- Valorar las variables utilizadas para la susceptibilidad a deslizamientos mediante el método de evaluación multicriterio de jerarquización analítica de Saaty, 1980.

- Zonificar las áreas susceptibles a deslizamientos del área de estudio.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Susceptibilidad a deslizamientos

Según (Suarez, 2009); 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.

4.2. Zonificación de susceptibilidad a deslizamientos

Según (Suarez, 2009); Permite evaluar, parcialmente, la susceptibilidad y es una herramienta muy útil para la toma de decisiones, especialmente, en las primeras etapas de planeación de un proyecto. La zonificación consiste en la división del terreno en áreas homogéneas y la calificación de cada una de estas áreas de acuerdo con el grado real o potencial de susceptibilidad.

El mapeo puede realizarse sobre un área donde se tiene información de la ocurrencia de deslizamientos o se tiene un inventario de estos eventos, o sobre áreas en las cuales no se tiene conocimiento de deslizamientos en el pasado, pero se requiere predecir la posibilidad de amenazas hacia el futuro.

4.3. Elaboración de mapas de susceptibilidad a deslizamientos

(Vargas, 2002); En su informe "Evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos municipio de Balboa" nos dice que los mapas de susceptibilidad buscan delimitar las áreas donde existe una mayor potencialidad para la ocurrencia de deslizamientos, sin indicar de manera clara cuando y donde específicamente pueden éstos ocurrir. En ese sentido el concepto de susceptibilidad aquí utilizado se diferencia del concepto de amenaza, por cuanto este último implica determinar la probabilidad de ocurrencia en términos de tiempo, lugar y magnitud.

Según (Suarez, 2009); 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 los diversos autores pero siempre todo a partir de un software, por ejemplo ArcGis.

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.

4.4. Elementos para elaborar un mapa de susceptibilidad

(Suarez, 2009); Para la elaboración del mapa de susceptibilidad tomo en cuenta generalmente tres elementos.

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

4.4.1. Metodologías para la elaboración de mapas de susceptibilidad

Existen varias formas de analizar la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos (DDRMA, 1993):

- Datos históricos en el área de estudio o en las áreas de características similares.
- Análisis empíricos basados en correlaciones de acuerdo con sistemas de clasificación en estabilidad de taludes.
- Uso de evidencia geomorfológica junto con datos históricos o basada en criterios profesionales.
- Relación con la frecuencia e intensidad de los eventos detonantes, por ejemplo lluvias o sismos.
- Valoración directa basada en el criterio de un experto.
- Modelación de variables primarias contra eventos desencadenantes, junto con conocimiento de las características físicas.

- Aplicación de métodos formales probabilísticos, tomando en cuenta la incertidumbre en geometría, resistencia al cortante, mecanismos de deslizamiento y presiones piezométricas.

4.4.1.1. Métodos cualitativos

Los tipos básicos de métodos cualitativos utilizan índice de deslizamiento basadas en opiniones de expertos para identificar las áreas con similares características geológicas y geomorfológicas que son susceptibles a deslizamientos de tierra, (Kouli, 2009); Ejemplos de estos métodos han sido propuestos por:

- Otoño Nash (1987);
- Kienholz (1983-1988);
- Anbalagan (1992);
- Evans (1997);
- Leroi (1997);
- Atkinson y Massari (1998);
- Guzetti (1999);
- Otono (2006), entre otros.

En los métodos cualitativos o geomorfológicos los factores principales para el mapeo de amenazas de deslizamientos son el mapa de deslizamientos ocurridos en el pasado en la zona de estudio y su geomorfología.

Dentro de los métodos cualitativos más destacados se encuentran:

- Método de Evaluación por un experto

La evaluación por expertos es tal vez, el método del mapeo más utilizado. Este se basa en la experiencia adquirida en situaciones similares de un experto quien define las reglas y criterios de estabilidad y evolución de los movimientos. Las ventajas de la evaluación por parte de un experto implica el análisis multicriterio de la información detallada obtenida en campo la cual puede ser analizada en diferentes escalas, si no existe información se supone o se interpola en forma subjetiva; además es un método fácil y directo.

- Método Mora Vahrson Mora
    - Factores desencadenantes
        - Susceptibilidad litológica
        - Humedad del terreno
        - Pendiente del terreno
    - Factores detonantes
        - Sismicidad
        - Precipitaciones

4.4.1.2. Métodos cuantitativos

(Kouli, 2009); establece que Los métodos cuantitativos se basan en expresiones matemáticas que correlacionan los factores causales y deslizamientos de tierra. Los dos tipos de métodos cuantitativos que se utilizan comúnmente son:

- Método determinístico

El grado de amenaza se expresa por medio de un factor de seguridad, para lo cual es necesario elaborar modelos de análisis de estabilidad de taludes con base en la información obtenida, dichos modelos requieren de información específica sobre estratificación con, estructura, propiedades de resistencia de los materiales y modelos de simulación de niveles freáticos de acuerdo a periodos de retorno. Adicionalmente, además requiere de información muy completa, detallada y de gran claridad en los siguientes aspectos (Suarez, 1998):

- ❖ Localización de las áreas potencialmente inestables.
- ❖ Propiedades geológicas y geotécnicas de los materiales.
- ❖ Momento y circunstancias en las que el fenómeno puede ser activado.
- ❖ Distancia de propagación del fenómeno
- ❖ Formas de interacción entre el ambiente, el hombre y el problema analizado.
- ❖ Costo del daño causado.

- Método estadístico

Los factores se califican mediante el uso de puntajes ponderados y se combinan con ecuaciones matemáticas que determinan la probabilidad de ocurrencia del fenómeno. Los factores de inestabilidad de deslizamientos tales como el Angulo de la pendiente, el tipo de suelo, el uso del suelo, la cantidad de precipitación cubierta vegetal, entre otros;

se consideran como variables independientes responsables de los deslizamientos, mismos que son considerados variables dependientes. Se elabora una matriz de datos completa en la que las filas y las columnas representan las variables dependientes e independientes, respectivamente.

Se asignan valores de ponderación, los cuales son dados por un especialista, quien con base en una revisión bibliográfica adecuada soportada por su experiencia y conocimiento del área bajo análisis, asigna valores o pesos a los componentes de un factor indicando así su grado de contribución a la estabilidad relativa del terreno, (Westen, 1993).

4.4.1.3. Métodos semicuantitativos

Los métodos semicuantitativos son metodologías cualitativas que utilizan procedimientos de ponderación y calificación. Siento el más utilizado el AHP:

- **El proceso de análisis jerárquico (AHP)**

Fue desarrollado por Saaty, 1980. Está diseñado para resolver problemas de criterios múltiples. El AHP realiza una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión, tratando directamente con pares ordenados de prioridades de importancia, preferencia o probabilidad de pares de elementos en función de un atributo o criterio común representado en la jerarquía de decisión, (Saaty, 1980).

Para el análisis de la susceptibilidad de deslizamientos, dentro de un SIG, cual integran factores condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad de laderas como:

- Geología.
- Geomorfología.
- Pendientes.
- Uso actual del suelo.
- Isoyetas.

Mediante técnicas de evaluación multicriterio basadas en jerarquías analíticas y sumas lineales ponderadas de pesos de factores y clases.

4.5. Movimientos en masa

Los movimientos de masa según Varnes (1978), son movimientos hacia abajo y/o hacia fuera, de materiales que forman una ladera o talud, debido a la influencia de la gravedad

a partir de un factor que sirve de detonante o fuerza natural desencadenante como son: los sísmicos, volcánicos, presión de gases y exceso de humedad.

Se define como masas de terreno que se mueven por acción de la fuerza de la gravedad. Se aplica, en general, a movimientos rápidos del terreno, éstos suelen estar relacionados principalmente con sismos, aunque también pueden originarse por otras causas. La acción constante de la fuerza de gravedad y el debilitamiento progresivo de los materiales, principalmente por efecto de la meteorización física y química, hacen que los movimientos de masa sean muy abundantes a lo largo del registro geológico. (Ayala & Corominas, 2002).

4.5.1. Clasificación de los movimientos de masa

Para la clasificación de los deslizamientos se presenta el sistema propuesto por (Varnes, 1978)

Tabla 1. Clasificación de movimientos de masa

Tipo de movimiento		**Tipo de material**		
		Roca	**Suelo**	
			De grano grueso	**De grano fino**
Caídas		Caída de rocas	Caída de detritos	Caída de suelos
Basculamientos		Basculamiento de rocas	Basculamiento de detritos	Basculamiento de suelos
Deslizamientos	Rotacionales	Deslizamiento rotacional de rocas	Deslizamiento rotacional de detritos	Deslizamiento rotacional de suelos
	Traslacionales	Deslizamiento traslacional de rocas	Deslizamiento traslacional de detritos	Deslizamiento traslacional de suelos
Separaciones laterales		Separación lateral en roca	Separación lateral en detritos	Separación lateral en suelos
Flujos		Flujo de rocas	Flujo de detritos	Flujo de suelos
Complejos		Combinación de dos o más tipos		

Fuente: Varnes (1978).

a) Caídas

(Suarez, 2009); especifica que es el desprendimiento y caída de materiales del talud. En Las caídas se desprende una masa de cualquier tamaño desde un talud de pendiente fuerte a lo largo de una superficie en la cual el desplazamiento de corte es mínimo o no se da. Este desplazamiento se produce principalmente por caída libre, a saltos o rodando (Figura 1). Los caídos de suelo, en escarpes semiverticales, representan un riesgo importante para los elementos que están debajo del talud. Pueden incluir desde

suelo y partículas relativamente pequeñas, hasta bloques de varios metros cúbicos. Los fragmentos son de diferentes tamaños y generalmente se rompen en el proceso de caído. Los "caídos de roca" corresponden a bloques de roca relativamente sana; los caídos de residuos o "detritos" y de suelo.

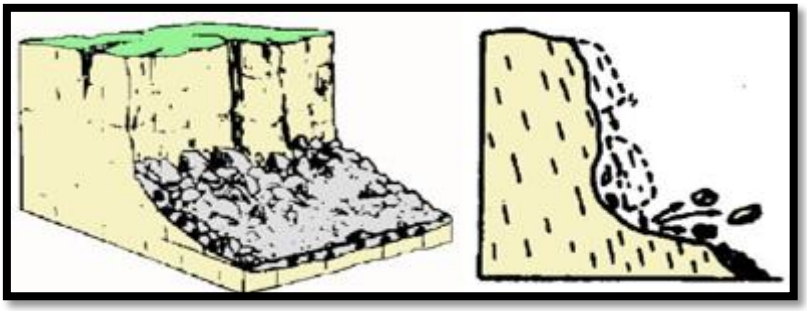


Figura 1. Caída de rocas.
Fuente: Cruden & Varnes (1996).

b) Basculamiento

(Suarez, 2009); estos movimientos consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad. Generalmente, los volcamientos ocurren en las formaciones rocosas, pero también, se presentan en suelos cohesivos secos y en suelos residuales (Figura 2). La inclinación puede abarcar zonas muy pequeñas o incluir volúmenes grandes hasta de varios millones de metros cúbicos.

Las características de la estructura de la formación geológica determinan la forma de ocurrencia de la inclinación. Las características de buzamiento y estratificación de los grupos de discontinuidades definen el proceso, la naturaleza del proceso, la altura y el tamaño del bloque inclinado.

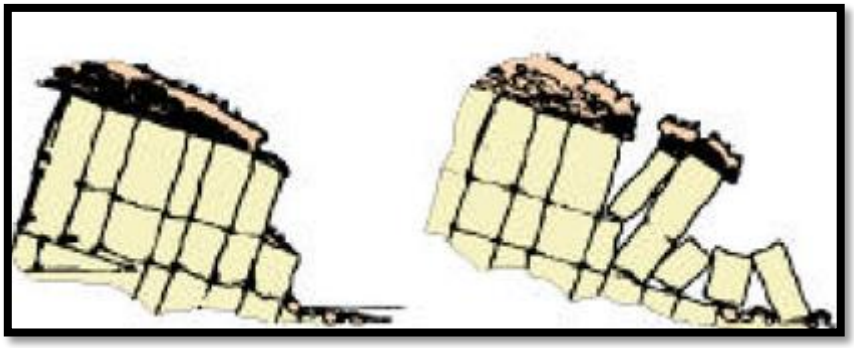


Figura 2. Basculamiento de columnas de roca.
Fuente: Cruden & Varnes (1996).

c) Separaciones laterales

(Suarez, 2009); Se denomina extensión o esparcimiento lateral a los movimientos con componentes, principalmente laterales, en taludes de baja pendiente. En los esparcimientos laterales el modo del movimiento dominante, es la extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión (sobre roca o sobre suelos plásticos). Las extensiones laterales ocurren comúnmente en las masas de roca, sobre suelos plásticos o finos, tales como arcillas y limos sensitivos que pierden gran parte de su resistencia al remoldearse.

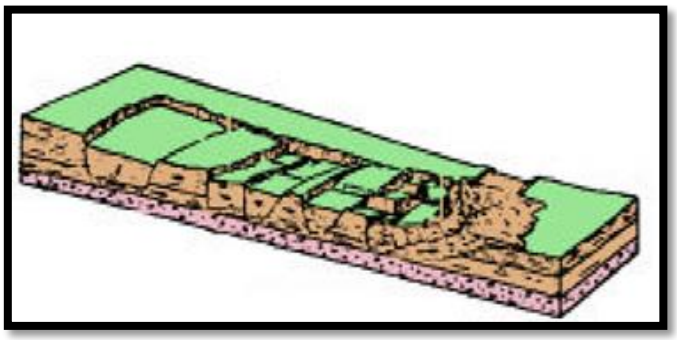


Figura 3. Separación lateral.
Fuente: Varnes (1978).

d) Flujos

(Suarez, 2009); En un "flujo" ocurre movimientos relativos de las partículas, o bloques pequeños, dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie. Las deformaciones relativas internas son muy grandes y fluyen en forma similar a un líquido viscoso. El flujo puede ser laminar a turbulento. Al aumentar la densidad y la viscosidad, el flujo puede transportar grandes bloques hacia la parte superior.

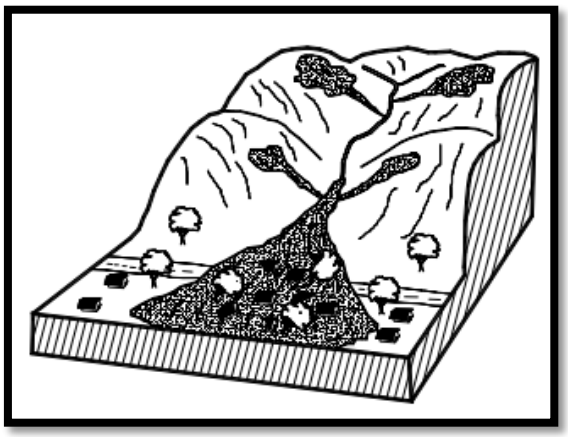


Figura 4. Flujo de detritos.
Fuente: Suárez (2009).

4.5.1.1. Deslizamientos

(Cruden , 1991); el término deslizamiento incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad.

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

- **Partes de un de deslizamiento**

Según el (IAEG, 1990); describen las siguientes partes:

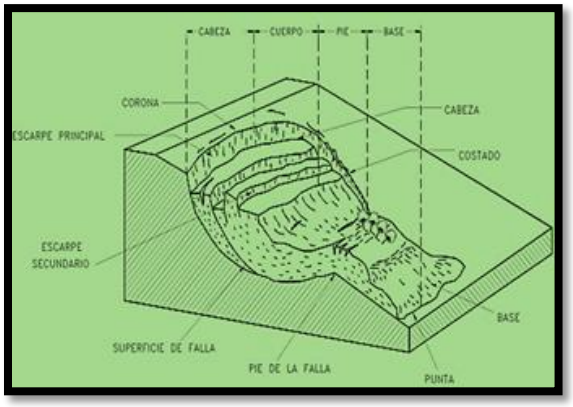


Figura 5. Nomenclatura de un deslizamiento.
Fuente: Varnes (1978).

- **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. El movimiento puede presentar varios cuerpos.
- **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.
- **Derecha e izquierda:** Para describir un deslizamiento se recomienda utilizar la orientación geográfica (Norte, Sur, Este, Oeste); pero si se emplean las palabras derecha e izquierda, deben referirse al deslizamiento observado desde la corona hacia el pie.

❖ **Dimensiones de un de deslizamiento.**

Según el (IAEG, 1990); como se muestra en la **(Figura 6)**, describiendo las siguientes partes:

- **Ancho de la masa desplazada (Wd):** Ancho máximo de la masa desplazada, perpendicular a la longitud Ld.
- **Ancho de la superficie de falla (W):** Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicular a la longitud Lr.
- **Longitud de la masa deslizada (Ld):** Distancia mínima entre la punta y la cabeza.

- **Longitud de la superficie de falla (Lr):** Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
- **Profundidad de la masa desplazada (Dd):** Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por Wd y Ld.
- **Profundidad de la superficie de falla (Dr):** Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por Wr y Lr.
- **Longitud total (L):** Distancia mínima desde la punta a la corona.
- **Longitud de la línea central (Lc):** 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.

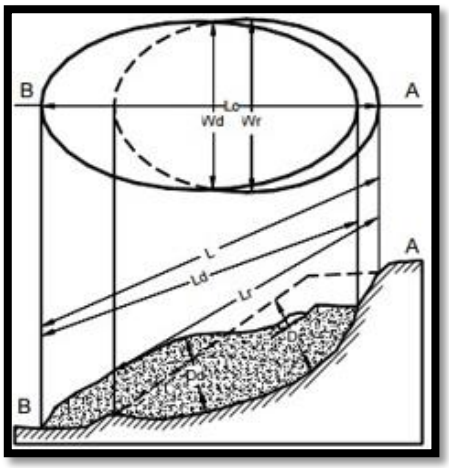


Figura 7. Elementos morfológicos y morfométricos de un deslizamiento.

Fuente: Gonzales de Vallejo, (2002).

❖ **Clasificación de los deslizamientos**

- **Deslizamiento Rotacional**

Estos deslizamientos se mueven a lo largo de superficies de ruptura curvas y cóncavas, con poca deformación interna del material. La cabeza del material desplazado se mueve verticalmente hacia abajo, mientras que la parte superior del material desplazado se bascula hacia el escarpe (Cruden & Varnes, 1996).

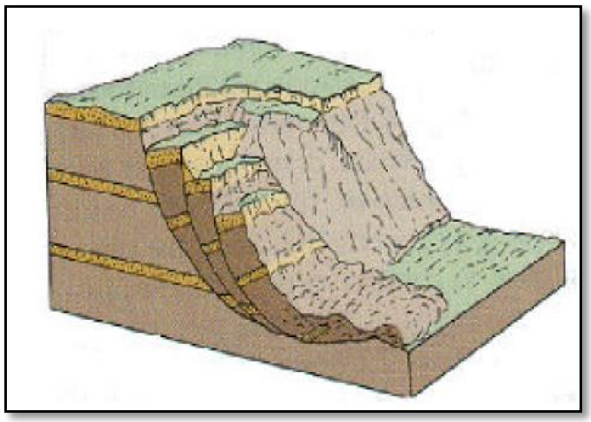


Figura 8. Deslizamiento rotacional.
Fuente: Skinner & Porter (1992).

- **Deslizamiento Traslacional**

La masa se desplaza a lo largo de una superficie de ruptura plana o suavemente ondulada y superponiéndose a la superficie original del terreno. La superficie de ruptura usualmente se orienta a lo largo de discontinuidades como fallas, juntas, planos de estratificación o el contacto entre roca y suelos residuales o transportados (Cruden & Varnes, 1996).

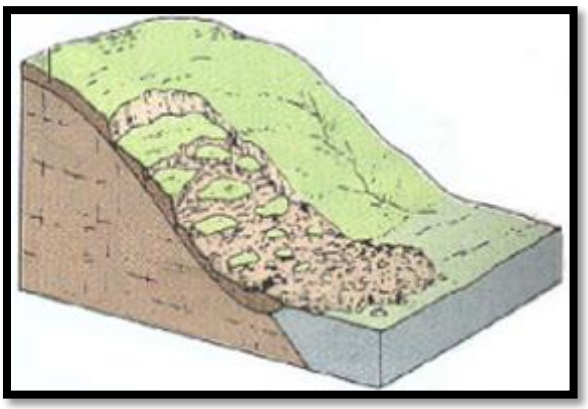


Figura 9. Deslizamiento traslacional de detritos.
Fuente: Skinner & Porter (1992).

- **Factores condicionantes y desencadenantes**

(INITER, 2005); establece que os factores que contribuyen a crear una situación de inestabilidad en una ladera o talud son múltiples y rara vez actúa uno solo. Estos se dividen en factores condicionantes y factores desencadenantes, sin embargo, acorde a la situación un mismo factor puede actuar como factor condicionante o como factor desencadenante.

a) Factores Condicionantes

(INETER, 2005); explica que Existe una gran variedad de factores condicionantes que inciden en los procesos de inestabilidad y son relativos a la propia naturaleza o características de la ladera, estos son:

- **Geológicos:** Se toma en cuenta dos consideraciones importantes:
  - ✓ **Litología:** El tipo de suelo o roca determina la resistencia del suelo a degradarse o a sufrir inestabilidad.
  - ✓ **Estructura:** La presencia de fallas locales, plegamientos o fisuras favorecen el proceso deslizamiento.

A continuación se resumen las condiciones geológicas que influyen en el desarrollo de determinado tipo de superficie de falla.

Tabla 2. Condiciones geológicas que influyen en las fallas.

Condiciones Geológicas	Superficie de falla probable
• Suelos no cohesivos. • Suelos residuales o coluviales, sobre roca. • Suelos arcillosos firmes, con alta presencia de grietas, zonas lluviosas.	Traslacional, con relación pequeña de profundidad / Longitud.
• Bloque deslizante. • Material rocoso fallado o altamente fisurado. • Suelos cohesivos duros, intactos y sobre pendientes inclinadas. Presencia de capas intercaladas de rocas sedimentarias, zonas lluviosas. • Suelos arcillosos duros fisurados. • Suelos altamente estratificados. • Rellenos de material de piedemonte, sobre materiales de origen coluvial.	Superficie planar.
• Capas gruesas de material residual o coluvial. • Arcillas blandas de origen lacustre. • Suelos cohesivos blandos.	Superficie curva, generalmente circular.

Fuente: Escuela de Ingeniería Civil ic-809 Ingeniería Geotécnica; Costa Rica.

- **Hidrológicos e Hidrogeológicos:** El agua se reconoce como factor importante en la estabilidad de pendientes, casi tan importante como la gravedad. Para representar el factor hidrológico en las evaluaciones de peligro de deslizamiento, se puede usar medidas indirectas que pueden ser cartografiadas para mostrar la influencia de la hidrología del área, tal

como la vegetación, la orientación de la pendiente (aspecto), o zonas de precipitación.

- **Geomorfológicos:** Involucra la dureza y resistencia de las rocas o suelos a la erosión, la fisiografía o relieve del terreno caracterizado por sus pendientes, Algunos de las características geomorfológicas analizados son áreas con altas pendientes, geometría de los taludes, topografía irregular.

b) Factores Desencadenantes

Son aquellos que disparan a detonan la inestabilidad en la ladera. (INETER, 2005). Estos factores son:

- **Naturales:** Las precipitaciones pluviales normales y extraordinarias, la filtración de agua pluvial en el terreno, las variaciones de temperatura y sismos son aquellos factores naturales que actúan como detonantes para que se produzcan fenómenos de deslizamientos de masa.

- **Antrópicos:** Se contempla las acciones realizadas por el hombre por desconocimiento o con fines de desarrollo, los cuales en incontables ocasiones han generado graves efectos adversos al no ser técnicamente planificados y ejecutados, entre estos se encuentran:

    - Deforestaciones
    - Cortes de taludes para construcción de vías
    - Asentamientos humanos en laderas
    - Deficientes prácticas agrícolas
    - Rellenos mal diseñados.

4.6. Topografía

Es una ciencia aplicada que se encarga de determinar las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la Tierra, así como la representación en un plano de una porción (limitada) de la superficie terrestre; es decir, estudia los métodos y procedimientos para hacer mediciones sobre el terreno y su representación gráfica o analítica a una escala determinada. También ejecuta replanteos (trazos) sobre el terreno para la realización de diversas obras de ingeniería, a partir de las condiciones del proyecto establecidas sobre un plano. Asimismo, realiza trabajos de deslinde, división

de tierras (agrodesia), catastro rural y urbano, así como levantamientos y trazos en trabajos subterráneos (Alcantara, 2007).

4.7. Geología

(Tarbuck, Lutgens, & Tasa, 2005), manifiestan que la Geología es la comprensión de la Tierra; la definen como un sistema multidimensional gigante, que consta de muchas partes separadas pero interactuantes. La geología en el concepto clásico se define como el conocimiento de la formación sucesiva de la corteza terrestre.

Según (Abramson, Lee, Sharma, & Boyce, 1996); detallan las características litológicas y enuncian que la clasificación de las rocas siempre hará referencia a su génesis (formación), así se tendrá la clasificación tradicional de: rocas ígneas intrusivas, rocas volcánicas, rocas metamórficas y rocas sedimentarias.

Desde este enfoque, se basa en el análisis de las características de las formaciones geológicas como son litología, génesis, composición, elementos de yacencia, estructuras, contactos, discordancias, diaclasas, fallas, fracturas, entre otros; con lo cual se genera una base de datos a una escala definida, (Btyth & FreitasN, 1995).

4.8. Geofísica

La geofísica es la ciencia que se encarga del estudio de la Tierra desde el punto de vista de la física. Su objeto de estudio abarca todos los fenómenos relacionados con la estructura, condiciones físicas e historia evolutiva de la Tierra, (Alvarez, 2003)

Según (Estrada, 2012); el objetivo principal y actual de la Geofísica es la determinación de la estructura y composición de la Tierra, así como la historia de sus variaciones pasadas, presentes y futuras. Obviamente este objetivo es compartido por la Geología, se diferencias en la metodología. Los geólogos adquieren el conocimiento de la Tierra mediante observaciones directas de las rocas, mientras que la Geofísica utiliza mediciones indirectas. No hay dudas entonces de que son ciencias complementarias.

También suele dividirse a la Geofísica en Pura y Aplicada, la primera sería aquella que estudia los fenómenos por el simple conocimiento del planeta en que habitamos, y la segunda aprovecharía de manera práctica los fenómenos ya conocidos, utilizando tecnología que le permita obtener algún beneficio para la humanidad. En esta última división no hay acuerdo entre todos los geofísicos, (Estrada, 2012).

(Gella & Bruggen , 1930); nombran los Principales métodos que se han desarrollado hasta hoy:

- Método sísmico
- Método de resistividad eléctrica
    - Sondeos eléctricos verticales (SEV)
- Métodos magnéticos y gravimétricos
- Refracción/Reflexión
- tomografías Geo-eléctricas
- Electromagnetismo
- Geo-radar o GPR
- El PID (Photo Ionization Detector) y el IR (Infra Red Analyzer)

4.8.1. Sondeos eléctricos verticales

(Orellana, 1982); En su obra Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua, define a los sondeos eléctricos vertical (SEV) como una serie de determinaciones de resistividad aparente, efectuadas con el mismo tipo de dispositivo y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción de corriente.

(Garcia, López, & Muñoz, 2001); establecen que Los Sondeos Eléctricos Verticales nos permiten suministrar una información cuantitativa de las propiedades conductoras del subsuelo y se puede determinar aproximadamente la distribución vertical de su resistividad. Por lo que la finalidad de esta metodología es la determinación de las capas del subsuelo y las resistividades o conductividades eléctricas de la misma, esto mediante mediciones realizadas en el lugar de estudio.

Usos:

- Exploración de Agua Subterránea.
- Medición de Resistividades Eléctricas del Subsuelo.
- Medición de espesores de aluviones (Depósitos de tipo aluvial), tales como gravas y arenas de río.
- Exploración de interfaces Aluvión– Roca (Depósitos de tipo aluvial), para depósitos auríferos de tipo aluvial.
- Ubicación de la superficie de corte en deslizamientos.

El objetivo del Sondeo Eléctrico Vertical en este trabajo investigativo, es determinar la presencia de agua en los estratos y delimitar capas del subsuelo a través de resistividades.

4.9. Sistemas de información geográfica.

Un sistema de información geográfica se define como un grupo de herramientas para recolectar, almacenar, recuperar, transformar y presentar datos de forma espacial del mundo real, (INEGI, 2014)

Generalmente un SIG contiene:

- ◊ Entrada de datos y verificación
- ◊ Almacenamiento y manipulación de datos
- ◊ Transformación y análisis de datos
- ◊ Salida y presentación de información

"Es un sistema de información compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelar y representar datos georeferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación", (Cebrian, 1988).

4.9.1. Cartografía

Según (IGAC, 2007), es el Arte de trazar cartas geográficas, ciencia que las estudia. Consiste en la representación, lo más exacta posible, de parte o toda la superficie de la Tierra u otro cuerpo celeste sobre una superficie plana o un mapa. Dada la curvatura terrestre, la representación plana requiere de algún tipo de proyección, de modo tal que el área, la distancia, la dirección y la forma del territorio cartografiado aparezcan reflejados con la mayor exactitud posible. Los satélites artificiales y la fotografía aérea son, hoy, instrumentos esenciales en una buena cartografía de base, a partir de la cual se obtienen mapas de menor detalle.

4.9.2. Proyección cartográfica

Consiste en establecer una radiación de semirrectas a través de un punto, llamado vértice de proyección; se consigue así una correspondencia entre cada punto interceptado en la esfera y su homólogo en el plano cortado por la misma semirrecta. Logrando definirse como una red de paralelos y meridianos sobre la cual puede ser dibujado un mapa. Para trazar las proyecciones se emplean actualmente cálculos

matemáticos muy precisos, pero la idea general se basa en la proyección de las sombras de los meridianos y paralelos de una esfera sobre una superficie que puede convertirse en plana sin deformaciones, tal como la superficie cilíndrica o la cónica. (IGN, 2013).

4.9.3. Mapas temáticos

Representa variables específicas del territorio, se centran en la información de un tema concreto y pueden llevar información adicional del relieve (Pérez, 2011)

4.9.4. ArcGis

Software que permite la construcción de mapas de una forma muy efectiva. Los mapas que se crean con ArcGis muestran información y al mismo tiempo permiten utilizarla para la consulta, el análisis, la planificación y la administración. Este es un concepto clave en ArcGis: los mapas constituyen a la vez un producto final del trabajo SIG y una herramienta utilizada en este trabajo. Un mapa de ArcGis es una ventana interactiva con la que los usuarios pueden visualizar, explorar, analizar y actualizar información geográfica, (ESRI).

4.9.5. Modelo constructivo "MODEL BUILDER"

Model Builder es una aplicación que se utiliza para crear, editar y administrar modelos. Los modelos son flujos de trabajo que encadenan secuencias de herramientas de geoprocesamiento y suministran la salida de una herramienta a otra herramienta como entrada. Model Builder también se puede considerar un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo. (ESRI).

Es muy útil para construir y ejecutar flujos de trabajo sencillos, pero también proporciona métodos avanzados para ampliar la funcionalidad de ArcGis, ya que permite crear y compartir los modelos a modo de herramienta.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. MATERIALES

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

Tabla 3. Materiales utilizados.

OFICINA	CAMPO
➢ **Computadora** ➢ **ArcGis 10.2** ➢ **AutoCAD** ➢ **Documentos Bibliográficos (investigaciones, artículos, libros, entre otros.)** ➢ **Cartas topográficas (1:50000) y geológicas (1:50000)** ➢ **Fotografías Aéreas (1:50000)** ➢ **Microsoft Office 2013: Word y PowerPoint.** ➢ **Flash Memory**	➢ Estación total S6 ➢ GPS ➢ Cámara fotográfica ➢ Libreta de campo ➢ Brújula ➢ Martillo geológico ➢ Lupa ➢ Machete ➢ EPPs ➢ Distanciómetro ➢ Escuadras ➢ Cinta métrica ➢ Graduador de 360° ➢ Ácido clorhídrico al 10%

Fuente: Autor.

5.2. METODOLOGÍA

Para realizar la susceptibilidad a deslizamiento en la vía de integración barrial "Ángel Felicísimo Rojas" en el sector desde el redondel de Carigán hacia la avenida 8 de diciembre, se siguió la siguiente metodología:

5.2.1. Metodología para el primer objetivo

- Identificar y caracterizar las variables aplicables en la elaboración del mapa de susceptibilidad a deslizamientos (geología, geomorfología, uso actual del suelo, pendientes e isoyetas) con un área de influencia de 200 m.

Como fase inicial se realizó un levantamiento topográfico a escala de 1:2000 con una área de influencia de 200 metros a cada lado del eje de la vía con el fin de tener una representación del relieve de la superficie del terreno con una posición exacta de los elementos naturales e infraestructuras el cual fue la base principal para poder describir

las variables que entraron en la generación de susceptibilidad a deslizamientos. Para ello se utilizó una estación total SOKKIA SET 550 RX.

Con la estación total se procedió a la toma de puntos, los mismos que serán debidamente codificados. El punto inicial (Sur) y final (Norte) con las siguientes coordenadas:

PUNTO INICIAL:	X: 695611	Y: 9561948	Z: 2212
PUNTO FINAL :	X: 696501	Y: 9563150	Z: 2138

Fotografía 1. Estación total SOKKIA SET 550 RX.

Fuente: Autor.

Todo es con la finalidad de tener la mayor precisión posible. Luego de haber tomado las coordenadas GPS con las estacione total mediante un trabajo de oficina se procedió a descargar los datos al ordenador, donde los puntos fueron ordenados en una tabla de Excel. Por medio de Excel se importó los datos al software ArcGis 10.2 y construimos las curvas de nivel mediante las herramientas con las que este software cuenta, y así la digitalización de los puntos obtenidos dándonos como resultado el mapa topográfico de la zona de estudio.

Ya para la identificación y caracterización en cuanto a las variables se realizó la siguiente metodología con la cual se llegó a la obtención de un mapa final para cada variable teniendo como base el mapa topográfico realizado:

Geología: para esto fue necesario contar con la carta geológica de la zona urbana de Loja escala 1: 5000 la cual nos permitió conocer a escala regional y que tipo de material existirá en el lugar de la zona de estudio;

Descripción de afloramientos, pozo y deslizamientos: a través de la observación de campo se describió técnicamente los afloramientos (taludes de los cortes de la vía y de caminos) **(Ver ANEXO N. 1),** haciendo la descripción geológica detallada con la ayuda de un martillo y ácido clorhídrico al 10% y tomando los parámetros estructurales de los estratos con brújula, en los deslizamientos presentes se llenó una ficha de inventario como se muestra en el **(ANEXO N. 2)** clasificando cada deslizamiento y tomando sus medidas y datos técnicos, todo para determinar el tipo de geología existente en la zona de estudio. Así como de pocillos que se pudo observar y determinar el tipo de material **(Ver ANEXO N. 3)** y corroborar con la información superficial generada con la metodología anterior.

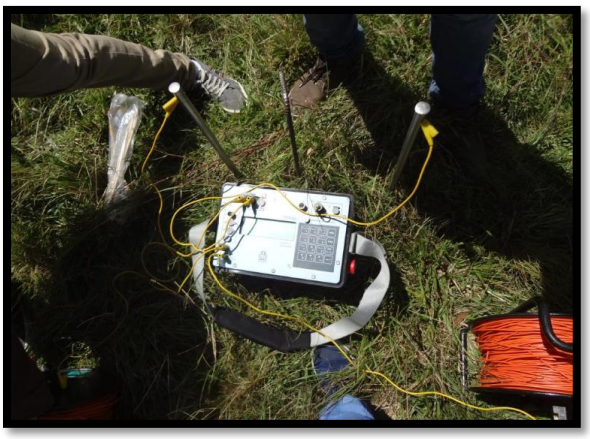
Fotografía 2. Descripción de afloramientos.

Fuente: Autor.

Sondeo eléctrico vertical (SEV): esto fue necesario para poder identificar la estratificación de nuestra zona de estudio, para lo cual realizamos 4 Sev, ubicados en lugares estratégicos, es decir, zonas relativamente planas y libres de construcciones civiles, teniendo en cuenta la fase de levantamiento geológico.

Para la realización de los SEV se utilizó el resistivímetro SYSCAL R1 PlUS, así mismo de otros materiales como electrodos, carretes de cable, brújula Brunton, y fichas de campo.

Fotografía 3. Resistivímetro SYSCAL R1 PlUS, electrodos y Carretes de cables.



Fuente: Autor.

El arreglo o configuración empleado es el de Schlumberger el cual se trata de una composición simétrica de los electrodos AMNB dispuestos en línea, donde la distancia de los electrodos detectores MN es mucho menor que la de los inyectores AB.

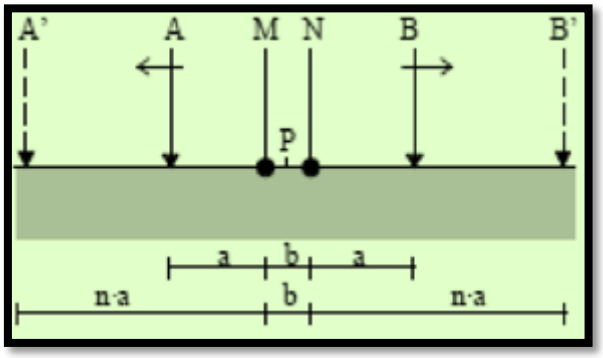


Figura 10. Configuración de Schumberger.

Fuente: Autor.

El sondeo consiste en separar progresivamente los electrodos inyectores A y B dejando los electrodos detectores M y N fijos en torno a un punto central fijo P. La representación de este sondeo muestra en ordenadas ρa, (resistividad aparente en Ωm) y en abscisas la distancia AB/2 (m) (Chelotti, Acosta , & Foster, 2009).

El procedimiento se detalla a continuación:

- Se eligió el lugar de sondeo de acuerdo a las características topográficas (relativamente plano) del lugar ya que se debe de considerar la abertura de carretes.
- Se ubicó el punto central SEV y del arreglo para asegurar su linealidad.
- Una vez hecho el arreglo se procedió a la toma de datos en el campo, con la ayuda de una ficha para los espaciamientos tanto de AB y MN
- Se midieron hacia ambos lados del arreglo las distancias en las que se ubicarán los electrodos de potencial M y N. Estas distancias son 0,2; 0,5; 2 y 5 metros comenzando del centro del SEV mediante la cinta métrica.
- Después se realiza las mediciones conforme a la distancia AB/2, configurando el aparato para que nos diera las repeticiones requeridas de datos.

Fotografía 4. Colocación de electrodos M y N; A y B.

Fuente: Autor.

- Se instaló el Equipo para realizar los SEV (SYSyscal Junior/ R1 Plus (Standard & Switch Versión), SCAL IRIS) y se enciende, dándole la configuración adecuada y se procedió a la toma de medidas conforme a la distancia AB/2, esperando a que el aparato nos diera 4 lecturas de datos.
- Se anotan en la ficha de campo **(Ver ANEXO N. 4)** los datos proporcionados por el dispositivo. Y se van cambiando las distancias AB y MN como indica el arreglo de Schlumberger.

Fotografía 5. Toma de datos.

Fuente: Autor.

- Por último los datos de espaciamientos tanto de AB y MN obtenidos en el campo fueron anotados en la ficha correspondiente para posteriormente pasarlos al programa IPI2Win, desarrollado por la Moscow State University, Geological Faculty, Department Of Geophysics. Este software permite realizar interpretaciones interactivas automatizadas y/o semiautomatizadas de SEV a partir de datos obtenidos en campo por cualquiera de los arreglos más populares utilizados en la prospección eléctrica y realizar de esta forma la interpretación de la curva y los perfiles Geoeléctricos, cuya profundidad es del (20-25) % de la abertura total de las líneas.

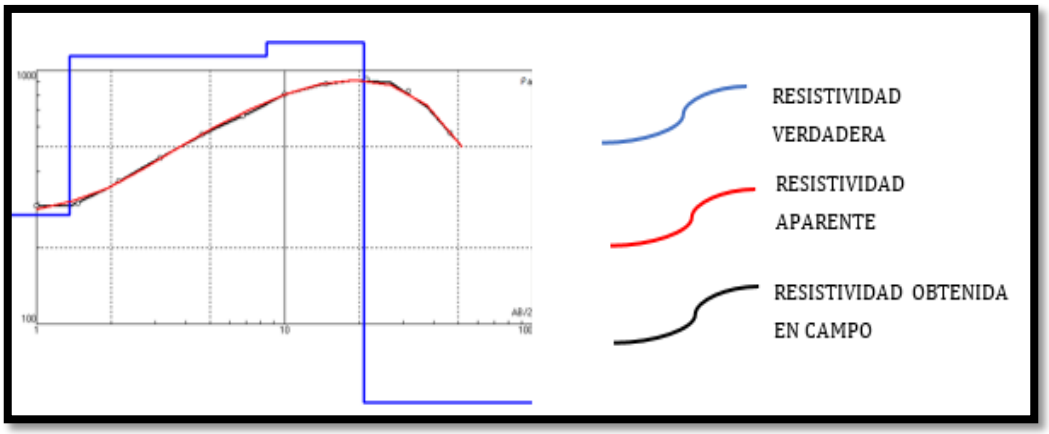


Figura 11. Curvas de resistividad del programa IPI2win.

Fuente: Autor.

Geomorfológico: Para realizar el levantamiento geomorfológico, se utilizó la metodología aplicada por (Clirsen, 2012), para lo cual se genera el mapa de sombras (Hillshade), el cual fue la base para observar claramente las geo-formas del terreno.

Las unidades geomorfológicas se determinaron en función de las curvas de nivel generadas en el levantamiento topográfico y la valoración del mapa de pendientes, generando en el software un shapefile correspondiente a un polígono con campos: Unidad genética, forma de relieve, litología y pendiente.

Génesis

UNIDAD GENÉTICA: Se refiere al proceso responsable (origen) de cada unidad geomorfológica en relación al ambiente de depositación. (Gustavsson, 2005)

Tabla 4. Unidad genética.

UNIDAD GENÉTICA	COD
Laderas	L
Fluvial	F
Poligenético	Pl
Otras	Ot

Fuente: Adaptado de CLIRSEN (2012).

Morfología

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA: Caracteriza la unidad geomorfológica mediante los aspectos cualitativos a través de un nombre específico, enmarcando las características específicas de cada unidad genética. (Cueva, 2005).

Tabla 5. Unidad morfológica.

UNIDAD MORFOLÓGICA	COD
Superficie de erosión	Lh5
Superficie plana ondulada	Lr5
Vertiente abrupta	La1
Vertiente cóncava	Lr1
Vertiente convexa	Lr2

Fuente: Adaptado de CLIRSEN (2012).

Morfometría

Corresponde al análisis cuantitativo del relieve, es decir que toma en cuenta los aspectos medibles de la descripción de la morfología (Tricar, 2002), las variables morfométricas deben ajustarse a los datos que determina el DTM (Modelo Digital del Terreno).

PENDIENTE: denota el grado de inclinación de las vertientes con respecto a la horizontal; expresado en porcentaje.

Tabla 6. Clases de pendientes.

TIPO	DESCRIPCION	COD
Muy Baja	0 a 5°	1
Baja	5 a 15 °	2
Media	15 a 35 °	3
Alta	35 a 55 °	4

Fuente: Adaptado de Demmek (1972).

DESNIVEL RELATIVO: corresponde a la altura existente entre la parte más baja (cota menor) y la parte más alta (cota mayor) de las unidades geomorfológicas.

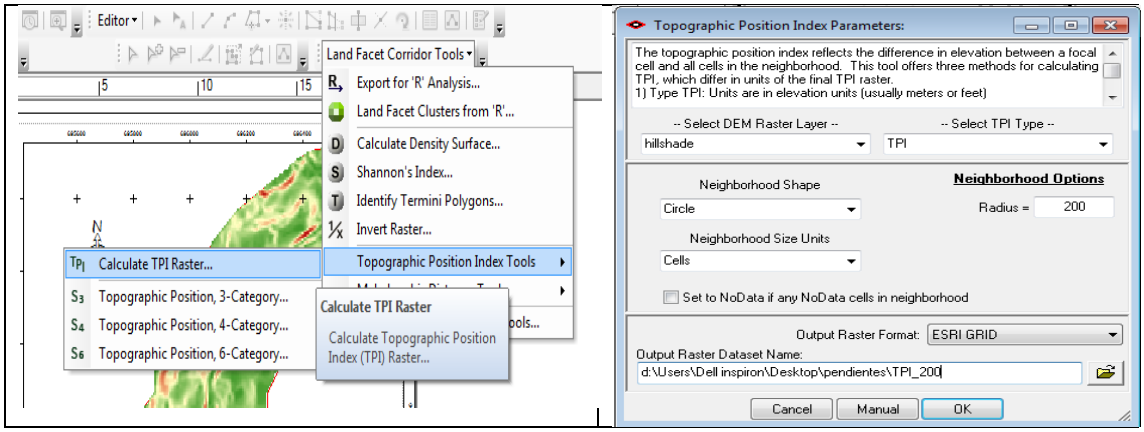
Tabla 7. Desnivel relativo.

TIPO	COD
0 - 5	1
>5 -15	2
>15 - 25	3
>25 - 50	4
>50 - 100	5

Fuente: Adaptado CLIRSEN (2012).

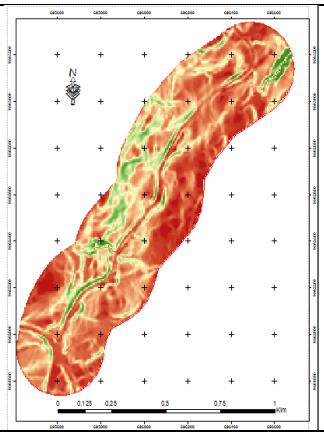
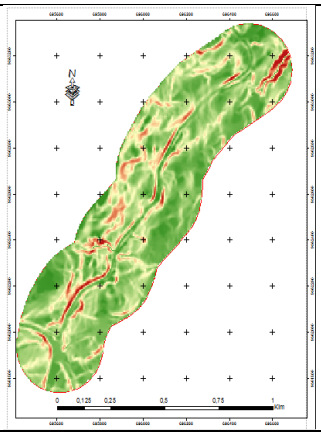
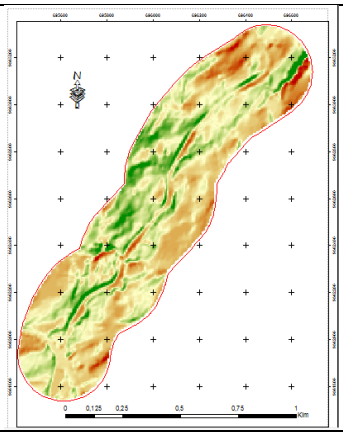
Para un mejor análisis se utilizó una herramienta de extensión "LAND FACET CORRIDOR TOOLS" la cual permitió dar un enfoque geográfico más puntual para el diseño que identifica la porción geográfica de una región que maximiza la continuidad y la diversidad de las unidades de paisaje definidas por rasgos topográficos y de suelo.

Figura 12. Aplicación de la Extensión de Arcgis 10.2 "Land Facet Corridor Tools".



Fuente: Autor.

Tabla 8. Selección de radio para TPI.

Radio 10	Radio 100	Radio 200
		

Fuente: Autor**.**

Pendiente: El mapa de Pendientes se obtuvo en base al mapa Topográfico, con las curvas de nivel primarias y secundarias, para esto se utilizó el programa ArcGis 10.2:

- Creamos Tin mediante: ArToolbox; herramienta 3D Análisis; Gestión de datos; Tin - crear Tin (se utilizara curvas de nivel y polígono del área de estudio).
- De Tin a Raster: ArToolbox, herramienta 3D Análisis; Conversión; desde Tin - Tin a raster.
- De raster a pendientes: ArToolbox; herramienta de análisis espacial; superficie raster - pendientes.
- Reclasificamos ArToolbox; herramienta de análisis espacial; reclasificar – reclasificación. Según la **(Tabla 9).**
- Luego de la reclasificación se pasa de Modelo "Raster a Polígono": herramienta de Conversión; desde Raster – de raster a Polígono.
- Disolvemos: con la herramienta de geoprocesamiento – disolver.
- Y finalmente al shape de polígono se procedió a dar rangos, calcular área y perímetros y la descripción según la tabla anteriormente descrita.

Tabla 9. Categorías de pendientes.

	Categoría	Rango (°)
	Muy Baja	0 - 5
	Baja	>5 - 15
	Media	> 15 - 35
	Alta	>35 - 55
	Muy Alta	>55 – 90

Fuente: Demmek (1972).

Uso de suelos: Se realizó mediante la base topografía creada anteriormente, fotografías aéreas; y observación de campo, se procede a dibujar polígonos de los diferentes tipos de uso de suelo, en el software ArcGis 10.2 delimitando por el método de clasificación supervisada: Vegetación (cultivos, matorral, plantaciones, Áreas desnudas); Infraestructura (área urbana, vía suelo desnudo, caminos secundarios, canal de agua lluvias).

Una vez que se terminó la zonificación se procedió a das colores y tramados a cada polígono dependiendo del uso del suelo que este represente, seguidamente realizamos los arreglos finales para obtener nuestro mapa de uso actual del suelo.

Precipitación (Isoyetas): El análisis correspondiente a las precipitaciones del área de estudio se realizó basado en la Tesis previo a la obtención del título académico de Máster elaborada por el Ing. Walter Tambo denominada "ESTUDIO DEL PELIGRO DE DESLIZAMIENTO DEL NORTE DE LA CIUDAD DE LOJA, PROVINCIA DE LOJA. ECUADOR" (2011). Para ello se fundamentó en datos de intensidad de lluvia, en mm/día, registrados en cuatro estaciones pluviométricas, mismas que se facilitaron por instituciones Ecuatorianas para el desarrollo del presente trabajo de tesis, teniendo así las siguientes estaciones:

- La Argelia, San Lucas y San Francisco, en donde la institución encargada de la recepción y manejo de datos es INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), perteneciente al Estado Ecuatoriano
- El Tambo, la cuarta estación, a cargo de la EX-PREDESUR, que actualmente pertenece a la SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo)

Los datos de intensidad de lluvia de las diferentes estaciones se muestran en los **(ANEXOS N. 5)** en donde se especifica la institución a la que pertenece y sus respectivos valores máximos de intensidad de lluvia en los diferentes meses del año, así como el número de año que componen las series disponibles de cada una de las estaciones. Seguido a ello se procedió a realizar un análisis estadístico de la información de intensidad de lluvia de cada una de las estaciones, con el fin de obtener el 1% de probabilidad. Esto se realizó mediante el método estadístico de distribución logarítmica normal, usando la herramienta ***Statgraphics Plus*** versión 2.1, que fue la que más se adaptó a las características de los datos a estudiar y por ser ésta la utilizada en la generalidad de los trabajos de estimación de peligro arrojando buenos resultados. (Tambo, 2011).

A partir de esta información se realizó nuestro mapa de intensidad de lluvias (mm/día).

Tabla 10. Rangos para isoyetas.

CLASE	RANGO (mm/día)
Baja	**63,29 – 63,99**
Media	**63,99 – 64,81**
Alta	**64,81 – 68,16**

Fuente: Autor, Modificado a partir del Ing. Walter Tambo (2011).

5.2.2. Metodología para el segundo objetivo

- Elaborar el mapa de susceptibilidad a deslizamientos mediante el método de evaluación multicriterio de jerarquización analítica (Saaty, 1980).

Antes de la creación del mapa de susceptibilidad, deberemos realizar una jerarquización de las variables como:

- Geología
- Geomorfología
- Pendientes
- Uso Actual del suelo
- Precipitaciones (isoyetas)

- **Método de Proceso de Análisis Jerárquico (Analytical Hierarchy Process, AHP)**

El proceso de análisis jerárquico (AHP) fue desarrollado por Saaty, 1980. Está diseñado para resolver problemas de criterios múltiples. El AHP realiza una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión, tratando directamente con pares ordenados de prioridades de importancia, preferencia o probabilidad de pares de elementos en función de un atributo o criterio común representado en la jerarquía de decisión.

El AHP propone la asignación de un vector de pesos w = [w1, w2,…, wn] a los criterios de un cierto problema de decisión multicriterio. Para ello se compara cada criterio (i) con cada criterio (j), obteniendo unos valores (aij) que es posible agrupar en una matriz cuadrada de orden (n), la llamada matriz de comparaciones por pares, A = [aij], es decir, el número de filas y columnas está definido por el número de criterios a ponderar, estableciendo una matriz de comparación de importancia (tomándolos en pares) cada uno de los criterios con los demás, para posteriormente determinar el vector principal,

el cual establece los pesos "Wj" que a su vez proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de criterios. En la **(Tabla 11),** se muestra un esquema del método de jerarquías analíticas para asignación de pesos.

El procedimiento empleado primeramente determina la importancia relativa del criterio de cada fila, en relación al criterio de su columna correspondiente, así, es preciso completar toda la matriz introduciendo los valores en el triángulo superior derecho, los valores en el triángulo superior izquierdo serán los valores inversos a los de las celdas correspondientes. Luego, es preciso sumar cada columna para obtener un valor marginal de columna, a continuación, generar una nueva matriz mediante la división de cada celda entre el marginal de su columna. Por último, calcular la media de los pesos para cada línea.

Tabla 11. Esquema del método de jerarquías analíticas para la asignación de pesos.

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

Fuente. Thomas Saaty (1980).

La razón de comparar de dos en dos los criterios, es para facilitar la comparación de todos a la vez por parte del experto (autor). En los trabajos de Saaty (1980 y 1994), Saaty y Vargas (2001) ensayan cierto número de escalas de medida y exponen la siguiente escala de medida para la estimación de los coeficientes aij de acuerdo a la **(Tabla 12).**

Tabla 12. Escala de Saaty para determinar el valor de xij.

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

Fuente. Thomas Saaty (1980).

Una vez que se elabora la matriz de comparaciones pareadas se realiza el proceso de sintetización, donde se determina la prioridad de cada uno de los elementos que se comparan. El proceso matemático requiere el cálculo de los valores y vectores característicos.

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

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

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

$$IC = \frac{\mathrm{nmax} - \mathrm{n}}{n - 1}$$

El valor de nmáx se calcula de AW = nmáxW observando que la ecuación es:

$$\sum_{j=1}^{n} = a_{ij}\overline{w} = n_{max}\overline{w},\ i = 1, 2, \ldots, n \text{ dado que } \sum_{i=1}^{n} \overline{w_i} = 1, \text{ obtenemos:}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\overline{w_j}\right) = n_{max}\sum_{i=1}^{n}\overline{w_i}$$

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

◊ **Mapa de susceptibilidad**

El mapa de susceptibilidad refleja las unidades de terreno condicionadas por los deslizamientos en donde puede existir menor o mayor inestabilidad, esta se obtiene a partir de un análisis multivariante entre los factores del terreno que generan susceptibilidad a los deslizamientos cuyos factores condicionantes y desencadenantes son, pendientes, geología, geomorfología, isoyetas y uso del suelo, estos factores han

sido normalizados y ponderados en relación al peso relativo obtenido a través de la matriz de jerarquización analítica de Saaty. Luego se realiza una clasificación final del mapa en 3 rangos según **(Tabla. 13).** Todo mediante ArcGIS 10.2.

Todo esto vendrá representado mediante un modelo de construcción "Model builder" que representara todo los paso a seguir para obtener el mapa final de susceptibilidad a deslizamientos mediante el software ArcGIS 10.2.

Tabla 13. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos.

SUSCEPTIBILIDAD	RANGO DE SUSCEPTIBILIDAD	CRITERIO
MUY ALTA	V	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente y saturadas y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe una alta posibilidad de que ocurran.
ALTA	IV	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	III	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	II	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados, no saturados, con discontinuidades desfavorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.
MUY BAJA	I	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos.

Fuente. Sakar & Kanungo (2004).

5.2.3. Metodología para el tercer objetivo

- Zonificar las áreas de susceptibilidad a deslizamientos del área de estudio.

Con la obtención del mapa final en los 3 rangos cuali-cuantitativos de susceptibilidad se procedió a la interpretación de resultados que no es más que el análisis de las áreas heterogéneas con sus áreas (m2) y porcentajes respetivo dentro del área de estudio.

Y se determinó en qué áreas se puede lograr un óptimo aprovechamiento del suelo y mayor bienestar de la población, manteniendo así la integridad física y productiva del suelo y sus recursos asociados. Es decir se divido en áreas con potencialidades y limitaciones para el desarrollo de proyectos tomando en cuenta a los fenómenos geológicos de los deslizamientos.

6. RESULTADOS

6.1. Descripción Biofísica del Sector

6.1.1. Ubicación y acceso

Geográficamente la provincia de Loja se encuentra ubicada al sur del Ecuador, comprende los cantones de: Loja, Chaguarpamba, Catamayo, Paltas, Puyango, Zapotillo, Gonzanama, Pindal, Celica, Sozoranga, Calvas, Macara, Quilanga, Espíndola, Olmedo y Saraguro.

El cantón Loja cuenta con 17 parroquias, 13 rurales (El Cisne, Gualel, San Lucas, Chuquiribamba, Santiago, Chantaco, Taquil, Jimbilla, Malacatos, San Pedro de Vilcabamba, Yangana, Quinara) y 6 parroquias urbanas "Ciudad de Loja" (Valle, Sagrario, San Sebastián, Sucre, Punzara y Carigán).

La ciudad de Loja y su entorno suburbano se encuentran ubicados al Sur de la Región Interandina (Sierra) de la república del Ecuador, en el valle de Cuxibamba, a 4º de latitud Sur. Tiene una extensión de 5.186,58 ha (52 km2).

El área de estudio se encuentra ubicado en la parte Nor-oeste de la ciudad de Loja específicamente en la parroquia urbana de Carigán, y en la barrio del mismo nombres; desde el redondel de Carigán hacia el Barrio Motupe con un tramo de 1.5 Km siguiendo la vía de integración Barrial "Ángel Felicísimo Rojas".

El acceso principal al área de estudio, se lo realiza por vía aérea desde Quito y/o Guayaquil, hasta la ciudad de Catamayo en el Aeropuerto "Ciudad de Catamayo", después se debe continuar por vía terrestre 33.39 km a través de la carretera Catamayo -Loja.

O vía terrestres desde el terminal de la Provincia de Quito o Guayaquil hasta el terminal terrestre de la ciudad de Loja.

Desde la ciudad de Loja se puede acceder desde el terminal terrestre a 15 minutos por medio de la carretera Panamericana vía a Cuenca hasta llegar al redondel de Carigán ubicada en el barrio del mismo nombre de ahí al margen derecho se ubicara la zona de estudio.

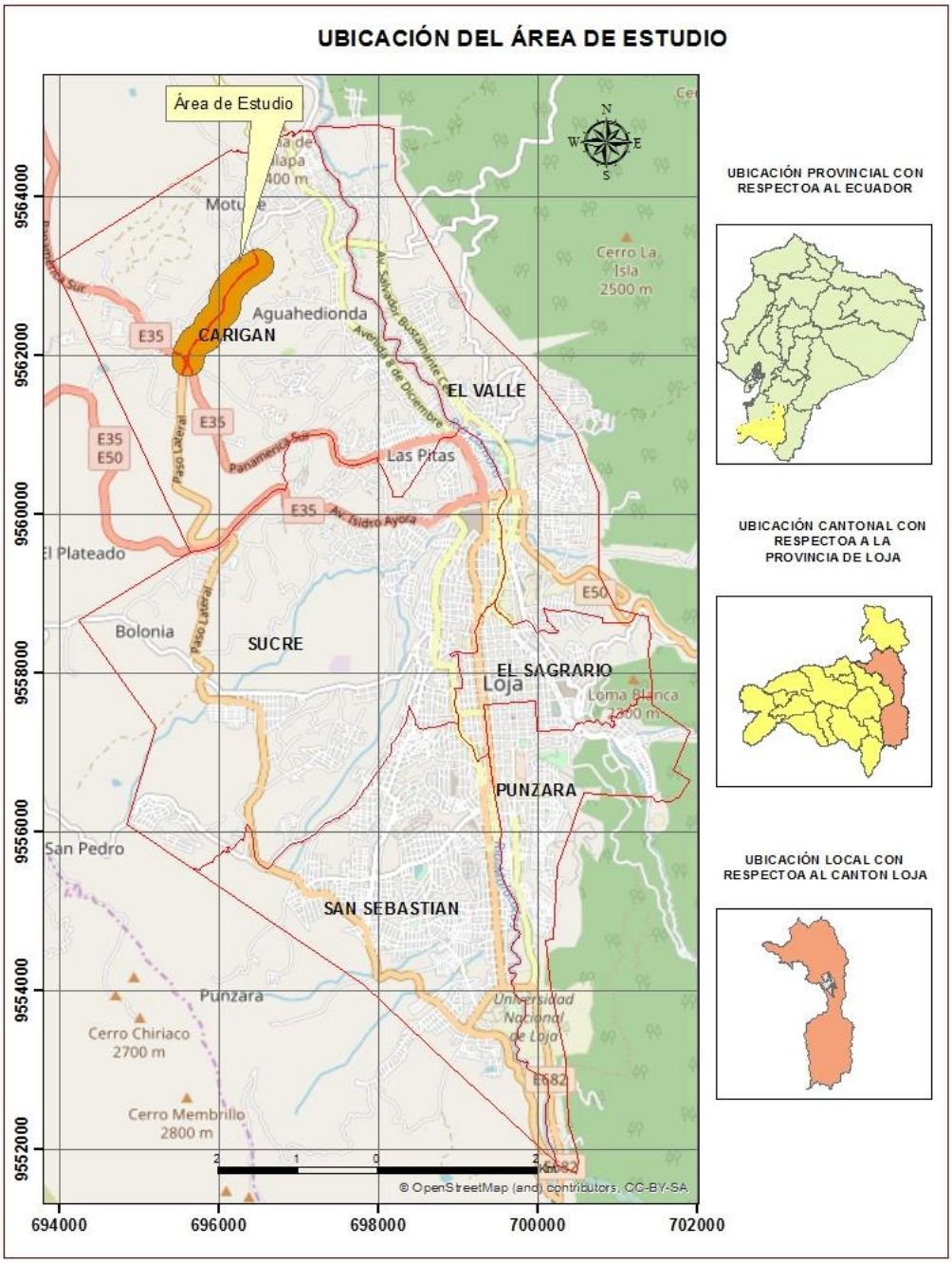


Figura 13. Ubicación del área de estudio.

Fuente: Autor a partir de información cartográfica escala 1: 5 000 base GPL**.**

6.1.2. Clima

El clima de la ciudad de Loja es temperado–ecuatorial subhúmedo, caracterizado por una temperatura promedio del aire es 16,9°C y una precipitación anual de 966,1 mm/año. En base datos publicados por el INAMHI del monitoreo de la Estación La Argelia la misma que se encuentra ubicada en las coordenadas Latitud N 9554269;

Longitud E 699905; y a una altura de 2160 m.s.n.m. en los datos registrados desde 2000 al 2010.

Así se encuentra una temperatura promedio anual de 16.9°C, entendiéndose por temperatura (aire en estado de calor que tiene la atmósfera como consecuencia de la absorción de la energía solar y los intercambio energéticos que se producen entre la atmósfera y la superficie terrestre) la temperatura máxima es de 19.9°C registrada en el mes de mayo del año 2010 y la más baja es de 15,1°C en el mes de julio del 2008. Y dentro de los meses con menor temperatura media podemos mencionar que se sitúan los meses desde junio, julio y agosto. **(ANEXO N.6).**

En lo que respecta a las precipitaciones de lo registrado desde el año 2000 hasta el 2010 se tiene un promedio anual de 966.1 mm registrándose como los meses con menores precipitaciones mayo a septiembre, el mes de marzo es el que registra mayor cantidad de precipitación. Cabe señalar que durante el año 2008 la cantidad de lluvias aumentó considerablemente evidenciándose una de las épocas invernales con mayor fuerza en la ciudad de Loja **(ANEXO N.7).**

La Humedad relativa media en la ciudad de Loja con registros desde 2000 a 2010 es en promedio de 74,6 % con una máxima de 82.8 % y una mínima de 69 %, los meses que registran menor humedad son los de julio a septiembre mientras que los meses de enero a junio presentan una mayor concentración de humedad en el aire.

Los vientos en la cuidad de Loja en base a los registros generados por INAMHI hasta el año 2010 registran una velocidad promedio de 3.1 m/s. registrándose meses con mayor intensidad de vientos los de julio y agosto cuyo máximos valores son de 10.0 y 9.4 m/s respectivamente. La dirección de vientos predominantes en nuestra ciudad de Loja se ve afectada por el relieve característico de la hoya pero se considera la dirección Sureste de los vientos.

6.1.3. Hidrología

La cuenca superior del río Zamora u hoya de Loja (230 km2) es parte del gran sistema del río Santiago (27.425 km2 de área drenada), afluente del Marañón–Amazonas y es el asiento de la actual ciudad de Loja. Del nudo de Cajanuma, límite meridional del valle de Loja, nace el sistema a través de dos ríos pequeños: el Malacatos y el Zamora Huayco. Estos ríos se unen al norte de la ciudad de Loja, dando origen al río Zamora y

engrosan su caudal recibiendo varios afluentes, denominados quebradas, entre ellas encontramos: Mónica, Quillollaco, Potrerillos, Violeta, Punzara, Pan de Azúcar, Alumbre, Las Pavas, San Cayetano, La Banda, El Salado, entre otras. (Geo Loja, 2007).

En la parte Noreste del área de estudio nace una quebrada la cual no se encuentra con un nombre definido, la cual cuenta con caudal muy bajo de aproximadamente 1m^3/min. Y a la parte Oeste de toda la zona de estudio atraviesa la Quebrada Carigán donde el caudal es bajo en épocas de verano, mientras que en época de invierno hay un incremento considerable que suele llegar hasta 1m^3/seg; aumentando así los caudales de las quebradas aguas abajo.

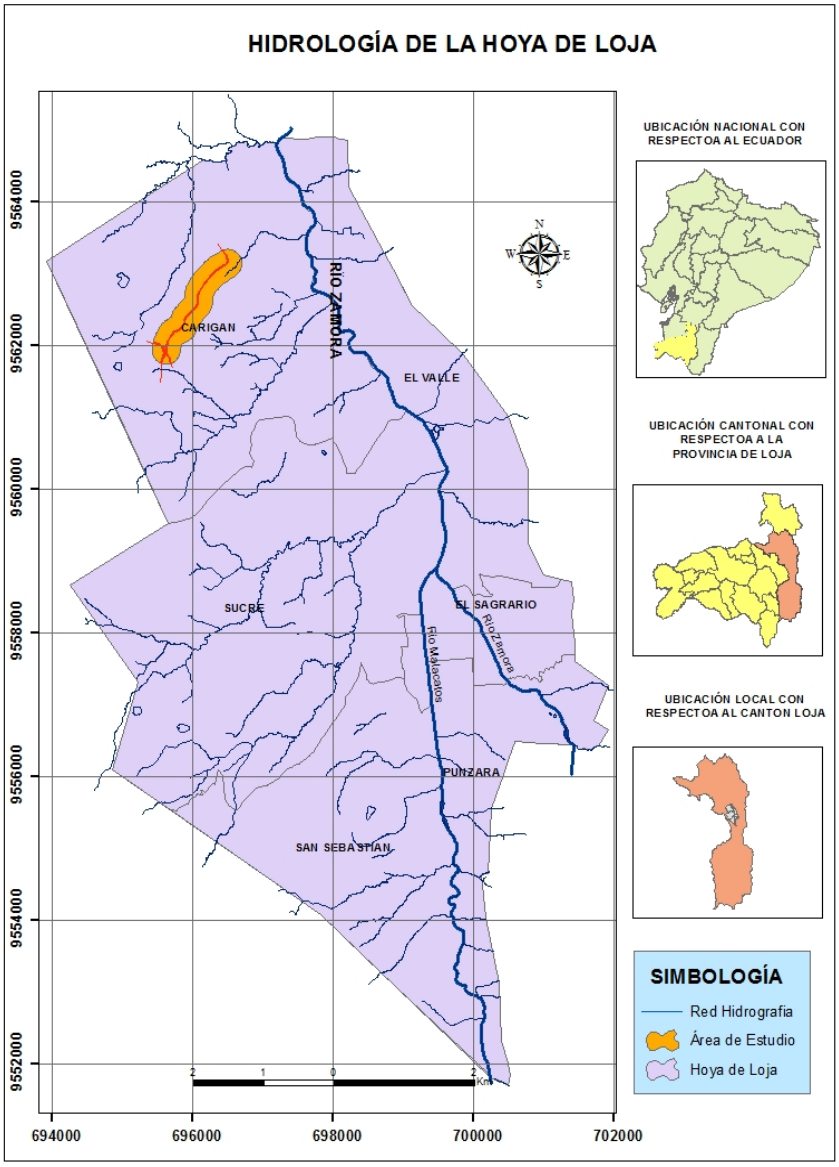


Figura 14. Hidrología de la ciudad de Loja.

Fuente: Autor a partir de información cartográfica escala 1: 5 000 base GPL.

6.1.4. Datos Socio-Económicos.

El estudio que se está desarrollando tiene significativa importancia debido a que dicha vía de integración se ha convertido en una mejora vial para la ciudad de Loja permitiendo el descongestionamiento de vehículos, en comercialización de productos, así como sirve de enlace entre diferentes parroquias rurales del cantón Loja; es por eso que se tiene como objetivo de estudio identificar deslizamientos existentes en la vía para proponer medidas de prevención y así mismo evitarlos ya que muchos de estos suele traer consecuencia a la población en cuento a infraestructura existente; perdida de productos, lo que se refleja es perdidas económicas; todo esto a los márgenes del eje vial.

Población:

Según el Censo de Población y Vivienda realizado el 28 de noviembre del año 2010, el cantón Loja tiene una población de 214855 personas, que corresponde al 47% de la población de la provincia, la cual tiene 448966 habitantes.

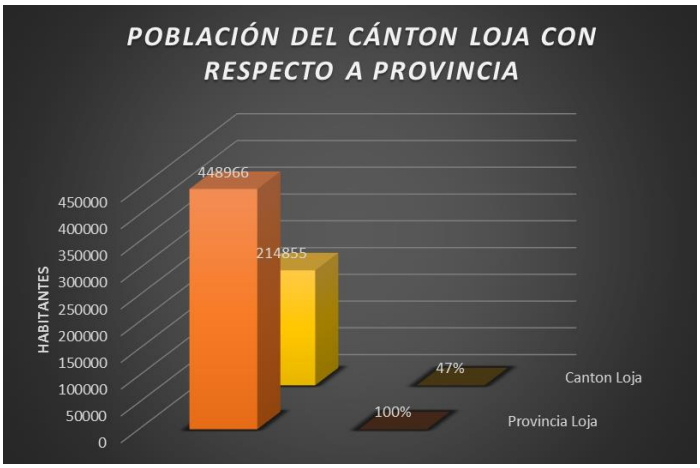


Figura 15. Población del Cantón Loja respecto a la Provincia

Fuente: Autor a partir de información INEC 2010.

La población urbana asciende a 170280, que representa el 79.3% de la población total del cantón. En el área rural, viven 10337 personas, que representa el 20.7% de la población.

En lo que respecta a la población de los barrios que abarca nuestra zona de estudio (Carigán y Turupamba) existen aproximadamente 500 personas que corresponde al 0,29 % de la población urbana.

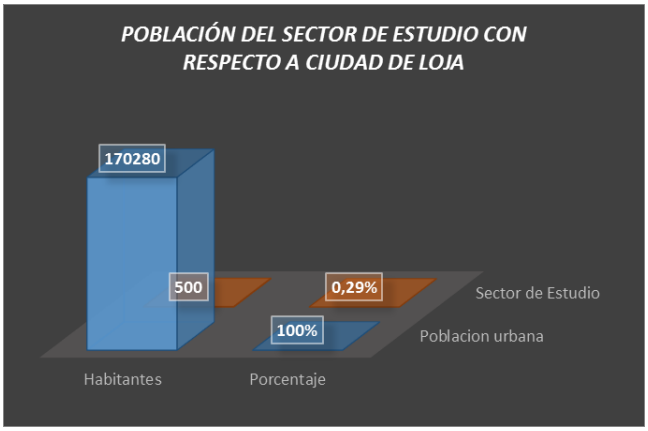


Figura 16. Población del sector de estudio con respecto a la ciudad de Loja.

Fuente: Autor a partir de información INEC 2010

Población Económicamente Activa

En el ámbito del empleo, 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 PEA 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 barrios de estudio, 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.

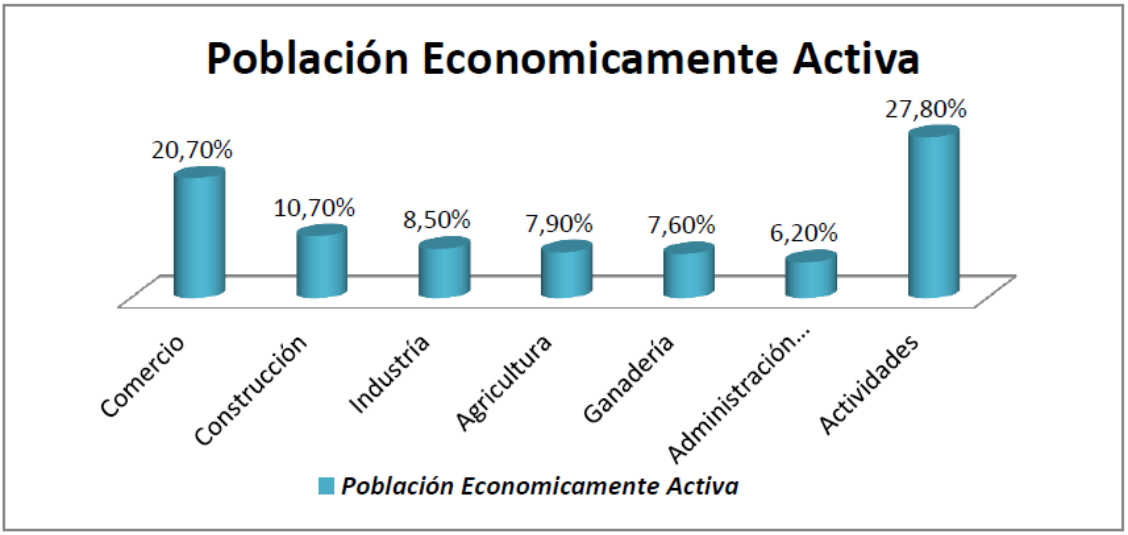


Figura 17. Población económicamente activa en el Cantón Loja.

Fuente: Autor a partir INEC. VII Censo de población y VI de vivienda 2010.

Vivienda

Dentro de este ámbito en lo que corresponde al casco urbano en la parte centro de la misma la mayoría de personas cuentan con infraestructuras de hormigón con ladrillo, mientras que en las afueras del casco se pueden encontrar viviendas y otras infraestructuras de diferentes material

Así en nuestra zona de estudio se pudo encontrar un total de 180 infraestructuras entre las cuales existen hormigón con ladrillo, adobe, infraestructura metálica con ladrillo y de madera.

6.2. Análisis de Susceptibilidad a Deslizamientos en el Sector de Estudio.

6.2.1. Topografía

La topografía levantada del sector se llevó a cabo mediante la Estación total SOKKIA SET 550 RX y dicho mapa fue generado en el software ArcGis 10.2, todo georeferenciado con el Datum WGS84, zona 17 Sur.

Representando así infraestructura, vías, quebradas, deslizamientos, entre otras a escala 1:2000, con curvas de nivel secundarias a 1 metro y principales cada 5 metros. Obteniendo una superficie de 74.67 ha, en la que comprende una longitud de vía de 1.5 km y 200 m de área de influencia a cada margen del eje vial **(Ver ANEXO N. 8).**

La cota mayor es de 2229 m.s.n.m ubicada al Sur-este de la zona de estudio y las más baja a 2092 m.s.n.m al Noreste; en general la topografía de acuerdo a lo obtenido se puede determinar que se encuentra una pendiente más empinada al Oeste, por otro lado la topografía más plana está al Este; todo esto con respecto a la Vía de integración Barrial "Ángel Felicísimo Rojas"

De acuerdo al mapa topográfico se obtuvo una superficie de 62,2 Ha, parcelas (bosques, pastizales, cultivos), vías (principales, Secundarais y tercer orden) es de 8,74 Ha e infraestructuras (viviendas, canchas, iglesias, etc.) con un área de 3.74 Ha.

Para verificar los datos obtenidos en el campo se utilizó la fotografía Aérea proporcionada por el Instituto Geográfico Militar en el proyecto de "Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica" (SIGTIERRAS).

6.2.2. Geología

6.2.2.1. Geología regional

Una estratigrafía preliminar para el área de Loja fue inicialmente establecida por (Kennerley, 1982), luego (Hungerbuhler, y otros, 2000) que muestran la existencia de dos áreas estratigráficas (O-E).

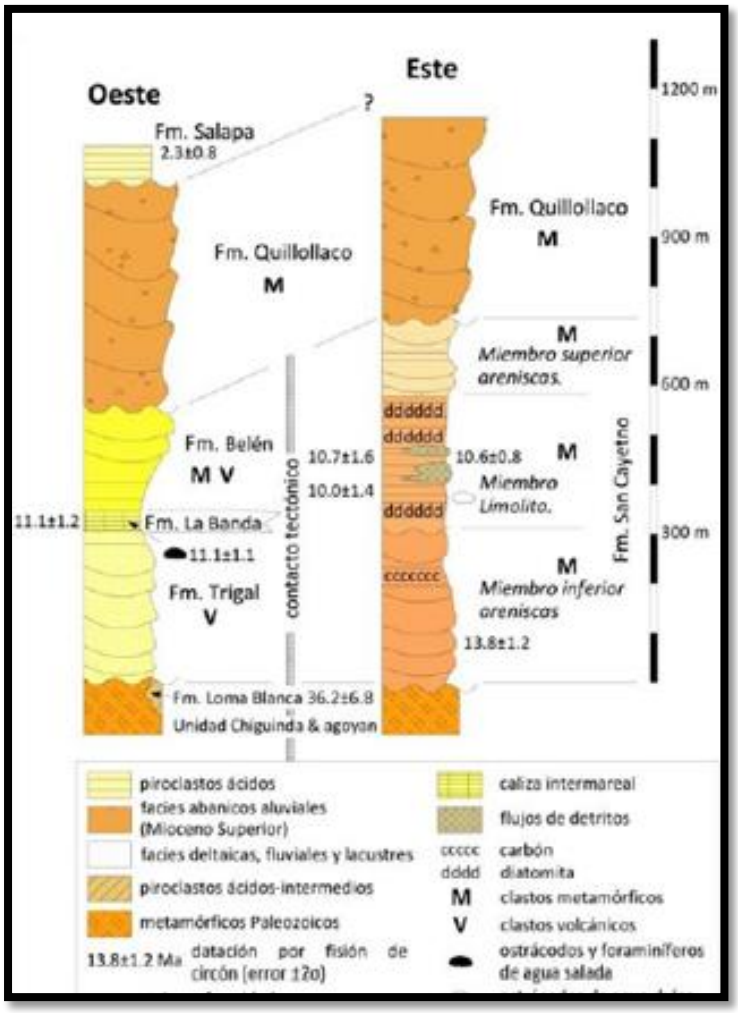


Figura 18. Columna estratigráfica de la Cuenca sedimentaria de Loja.

Fuente: Hungerbühler D. (1997).

Unidad Chiguinda (Paleozoico)

Corresponde al basamento de la cuenca sedimentaria de Loja, conformada por rocas metamórficas de edad Paleozoica, como cuarcitas, filitas, esquistos, pizarras y escasamente metacuarcitas. Esta unidad aflora a través de los flancos occidentales y orientales de la Cuenca sedimentaria, formando parte de la Cordillera Real.

Formación Trigal

Establecen que esta formación aflora en la base de la secuencia sedimentaria en el lado oeste de la Cuenca de Loja, constituida por areniscas gruesas, conglomerados y limolitas y puede contener delgadas capas de yeso. Esta formación buza suavemente al este, al oeste yace discordantemente sobre los metamórficos y hacia el sur está fallada contra las rocas metamórficas. La potencia varia cerca de 50 m en el oeste, a 150 m en el este hace el contacto con la formación La Banda.

Formación La Banda

Esta formación se caracteriza por presentar calizas bandeadas, lutitas y cherts, arenisca de grano fino; varia de 10 a 20 m de potencia con secuencia intercalada.

Formación Belén

Aflora en la parte occidental de la cuenca de Loja y se caracteriza por areniscas gruesas y depósitos conglomeráticos; así como también por presentar entre sus áreas la de mayor influencia relieves planos a inclinados. Su máximo espesor es 300 m está en contacto concordante con la formación La Banda.

Formación San Cayetano

Está solo presente al este del río Zamora y puede ser dividida en tres miembros con límites transicionales:

- ◊ San Cayetano inferior: se caracteriza por conglomerados con intercalación de areniscas (microconglomerados).
- ◊ San Cayetano medio: se caracteriza por limolitas con capas de areniscas, lutitas fuertemente plegadas, limolitas con capas de diatomitas.
- ◊ San Cayetano superior: que se caracteriza por tener conglomerados puros y con capas de arcillolitas (sedimentos fluviales).

Formación Quillollaco

Está 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 de 600m, al este de la ciudad de Loja. La formación está dominada por conglomerados muy granulados con pocas intercalaciones de areniscas.

Formación Salapa

La formación Salapa descansa discordantemente en rocas metamórficas Paleozoicas, contiene clastos líticos y tobas ricas en vidrio (transformados a caolinita), formación más joven de edad Pliocenico.

6.2.2.2. Geología Local

La zona de estudio se sitúa en el borde Noroccidental de la cuenca sedimentaria de Loja, una vez recorrido y descrito los afloramientos del sector en las fichas técnicas tenemos un total de 25; de donde se describió 19 afloramientos, 2 deslizamientos y 4 pocillos; y se evidencian diferentes tipos de litologías abarcadas en las formaciones Chigüinda (basamento), formación Trigal y Deposito coluvio-aluvial. **(Ver ANEXO N. 9).**

Formación Trigal: ésta formación de la edad del mioceno yace discordantemente sobre el basamento perteneciente a la formación Chigüinda por lo que se la pudo encontrar en la parte alta de nuestra zona de estudio, siendo de origen sedimentario encontrando material como limolitas, areniscas y arcillas.

En la parte baja Sur-oeste; en el afloramiento N° 1 con coordenadas (695546, 9561980); se pudo evidenciar la presencia de arenisca con un tamaño de grano medio (1mm a 2mm), muy consolidado y de meteorización baja. Con una dirección N15°O y un buzamiento de 42°SW.

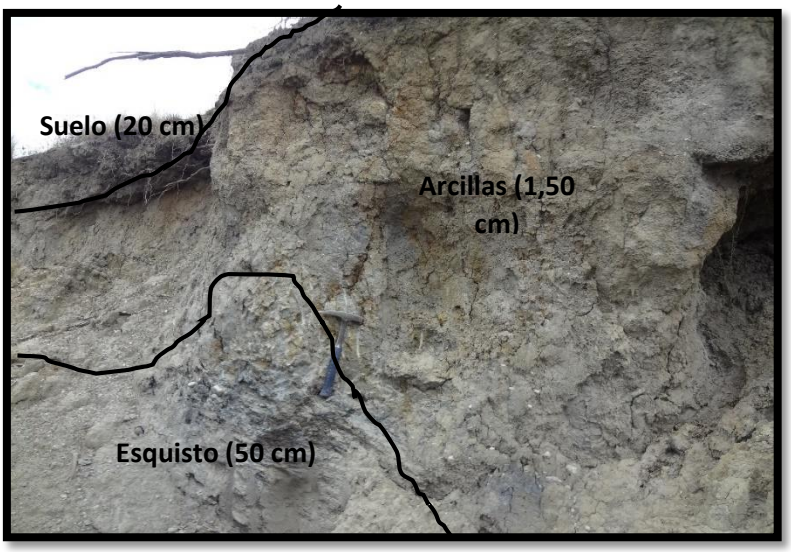
Fotografía 6. Arenisca del Afloramientos N° 1.

Fuente: Autor.

En el Afloramiento N° 2, (695526, 9562083), podemos encontrar una capa de suelo residual de 20 cm, material arcilloso con 1,50m de espesor, de color gris oscuro con ciertas tonalidades amarillentas, sin humedad y poco plástica.

Esta capa yace sin un patrón de estratificación definido sobre esquisto perteneciente a la formación Chingüinda y se pudo observar también la presencia escasa de ciertos clastos de cuarcita con diámetros aproximados de1 a 2 cm.

Fotografía 7. Afloramiento N° 2.



Fuente: Autor.

En la parte sur en el mapa geológico de la zona de estudio, así mismo se encontraron dos deslizamientos. Su identificación y caracterización se pueden observar en el **(ANEXO N. 2)** Cuyas coordenadas son:

- X: 695684 Y: 9561713
- X: 695509 Y: 9562006

La cual cuentan con un material arcilloso de color gris oscuro, con una plasticidad media, y cierto contenido de humedad.

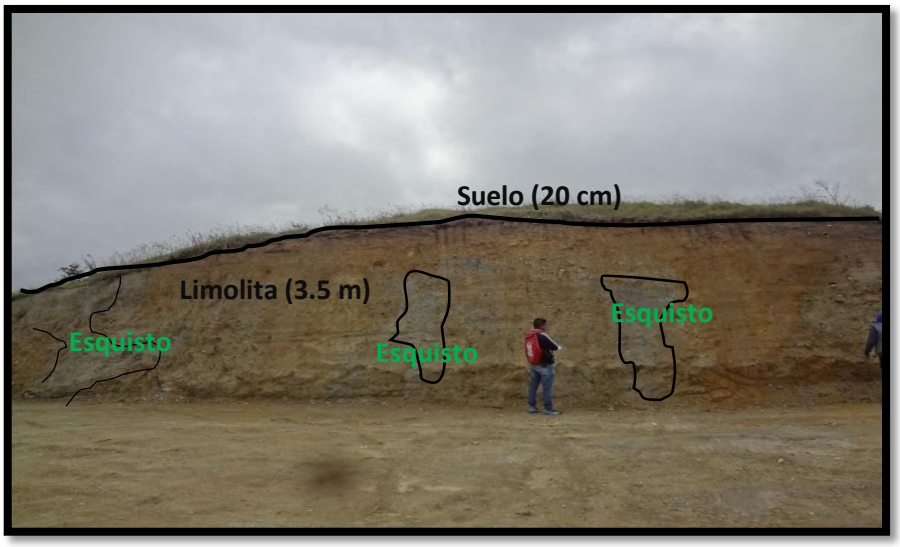
Ya en la parte central de la zona de estudio al flanco Oeste se puede observar material de Limolita correspondiente a los afloramientos N° 4 y 13. Con las siguientes coordenadas:

- N°4: 695803; 9562536.
- N°13: 695800; 9562390.

En el N° 4. Se puedo observar limolitas de grano fino, con una dirección del afloramiento de N85°E y 48°NW con baja plasticidad. Con coloraciones amarillentas con ciertas incrustaciones de cuarcita que varían en un diámetro de 1 a 2 cm; también se puedo

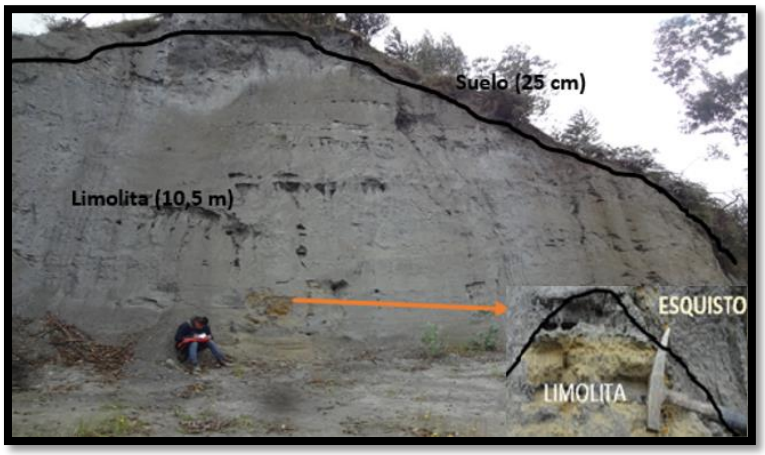
observar colores gris-claros que pertenecen a esquisto definiendo así una zona de contacto en la cual este último material se encuentra altamente meteorizado.

Fotografía 8. Descripción del Afloramientos N° 4.



Fuente: Autor.

Fotografía 9. Material del afloramiento N° 13.



Fuente: Autor.

El afloramiento N° 13 **(Fotografía. 9).** Al igual que el anterior cuenta con material de limolita con tonalidades amarillentas y bien consolidado, sin presencia de humedad. Se puedo evidenciar ciertas cárcavas productos de erosión hídrica. También cuenta ciertas tonalidades gris-claras pertenecientes a esquisto muy alterado pudiendo evidenciar la zona de contacto sin un patrón de estratificación bien definido.

Formación Chigüinda: la cual constituye el basamento de la cuenca de Loja. Entre las rocas principales y representativas de esta formación tenemos en general rocas

metamórficas de edad paleozoica, que contienen filitas, cuarcitas, pizarras, meta-cuarcitas y esquistos; siendo esta ultima la encontrada en nuestra zona de estudio.

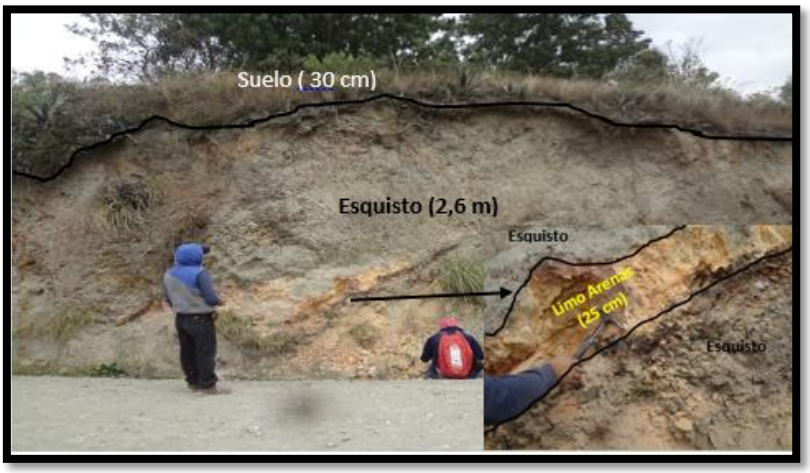
En toda la zona de estudio el material que predomina es el esquisto sericítico. Ya en la parte Sur-Oeste en el Afloramiento N° 3. (695418; 9562046) con rumbo N64ºW y un buzamiento de 22° SW, se observó esquisto con bajo grado de meteorización y bien consolidado con presencia de óxidos de hierros, la cual provoca coloración rojizas en el esquisto. Y con ciertas incrustaciones de cuarcitas de varían entre 1 a 2 cm.

Fotografía 10. Esquisto sericítico del Afloramiento N° 3.

Fuente: Autor.

El afloramiento N° 6 con coordenadas (696022, 9562994) igual cuenta con esquisto sericítico con un rumbo de N12º O y un buzamiento de 42°NE. Muy meteorizado de color gris-claro, y con una intercalación de 25 cm de material limo-arena de color rojizo amarillento, con un diámetro de aproximadamente 0,5 cm.

Fotografía 11. Afloramiento N° 6.



Fuente: Autor.

En el afloramiento N° 7 (695988,9563182), se encontró un macizo rocoso de esquisto sericítico con bajo grado de meteorización y muy bien compactado, con baja presencia de óxidos que le dan un tonalidad amarillenta, y que no cuenta con un patrón de estratificación bien definido.

Fotografía 12. Macizo rocoso del Afloramiento Nº 7.

Fuente: Autor.

En los taludes de vía de Integración Barrial al costado Oeste se pueden observar varios afloramientos de donde el N° 14 y 16 con coordenadas (696055, 9562588); (696117, 9562799) se evidencia el esquisto los cuales se encuentra con presencia de óxidos y de forma muy visible la presencia de una erosión hídrica la cual produce cárcavas en los afloramientos, produciendo una inestabilidad del talud.

Fotografía 13. Cárcavas presente en los afloramientos N° 14 y 16.

Fuente: Autor.

Además se identificó el pocillo N° 1 (696133, 9563225) y pocillo N° 2 (696260, 9563248) con un profundidad de 1,70 m; en donde se encontró el esquito más meteorizado, baja cantidad de óxidos de hierro; y en el caso del primero cuenta con una baja cantidad de clastos de cuarcita que varían de 2-3 cm.

Fotografía 14. Pocillo N° 1.

Fuente: Autor.

Ya en los afloramientos N° 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 16, 17, y 19 ubicados en la parte Oeste se encontró esquisto es su mayoría con una meteorización media, medianamente consolidados, debido que la mayoría de estos han sido de origen antrópico ya se por la aperturas de la vía de integración barrial como de otra vías secundarias, o terraplenes para dar apertura a edificaciones.

Así pues se puede ver que las coloraciones van de gris-claro, amarillento a rojizos dependiendo de la cantidad de óxidos de hierros que contengan y por consiguiente llevara a la mayor o menor meteorización de los afloramientos.

En la parte Este que es la más baja topográficamente respecto al Oeste se puede encontrar al igual que los anteriores, esquistos del basamento que conforman la cuenca de Loja, muy bien consolidados y sin meteorización, tomando en cuenta que igual que los de la parte Este los afloramientos N° 12, 15 se han formado por la apertura de vías, a excepción de los pocillos 3 y 4. Con coordenadas (696282, 9562766) y (696264, 9562457) respectivamente, que se encuentran más meteorizados. Aquí se pudo identificar menor cantidad de óxidos lo que no provoca tonalidades oscuras, siendo el color que predomina el gris-claro. Aquí además se puedo identificar incrustaciones de

cuarcitas cuyo diámetro varía entre 1 a 4 cm, poco meteorizadas y de consolidación media propias de la formación Chigüinda.

Fotografía 15. Cuarcitas incrustadas dentro del esquisto en el afloramiento N° 12.

Fuente: Autor.

Deposito Cuaternarios (Coluvio-Aluvial).

Dentro de la escala cronológica en geología se lo puede denominar como reciente. Siendo producto del arrastre de material de las partes altas hacia las bajas, mediante deposición de origen Eólico, coluvial, deluvial y aluvial.

En lo que concierne a la composición de material se encontró clastos de cuarcita que varían entre 1 a 3 cm; bloques de roca de esquisto sericítico gris-oscuro de 10 a 25 cm; de tipo metamórfico propias de la Chigüinda. Y matriz limo – arenosa de grano de 0,5 a 1 cm de color amarillento de origen sedimentario de la formación Trigal.

El cual se encuentra ubicado en la coordenada (696586, 9563091) correspondiente al afloramiento N° 18, con un rumbo de N25°W en una ladera al norte de la zona de estudio por donde nace y atraviesa una quebrada sin nombre siendo esta la zona más baja topográficamente, y cuyo depósito se extiende siguiendo la quebrada.

Fotografía 16. Material del Deposito coluvio-aluvial encontrado en el afloramiento N° 18.

Fuente: Autor.

En la siguiente tabla se muestran los puntos de afloramientos, deslizamientos y pocillos descritos en el campo, los cuales fueron la base para la elaboración del mapa geológico a escala 1: 6000.

Tabla 14. Puntos de afloramientos.

Numero	Z	Y	Z	Orientación
AF 1	695546	9561980	2208	N15°O/ 42° SO
AF 2	695526	9562083	2217	
AF 3	695418	9562046	2217	N64°W/22 SO.
AF 4	695803	9562536	2222	N85°E /48 NW.
AF 5	695926	9562836	2213	
AF 6	696022	9562994	2198	N12°O/42 NE.
AF 7	695988	9563182	2183	
AF 8	696244	9563313	2135	
AF 9	695649	9562083	2203	
AF 10	695819	9562234	2185	
AF 11	695757	9562294	2202	
AF 12	696036	9562147	2164	
AF 13	695800	9562390	2195	
AF 14	696055	9562588	2160	
AF 15	696145	9562433	2143	
AF 16	696117	9562799	2155	
AF 17	696412	9563095	2221	

AF 18	696586	9563091	2190	
AF 19	696364	9563383	2112	
Pz 1	696133	9563225	2155	
Pz 2	696260	9563248	2130	
Pz 3	696282	9562766	2138	
Pz 4	696264	9562457	2139	
Dz 1	695509	9562006	2187	
Dz 2	695683	9561713	2210	

Fuente: Autor.

6.2.2.3. Sondeos eléctricos verticales.

En la zona de estudio se realizaron 4 sondeos eléctricos verticales **(Tabla 15)** distribuidos en sectores estratégicos corroborando así la información levantadas anteriormente, los mismos que permitieron realizar cortes geo-eléctricos e interpretar la estructura del subsuelo y contenido de agua en los estratos de acuerdo a su resistividad.

Tabla 15. Coordenadas UTM de los sondeos eléctricos verticales.

SEV	Punto Inicial		Punto Final	
	X	Y	X	Y
Línea 1	695885	9562469	695915	9562566
Línea 2	696044	9562341	696064	9562436
Línea 3	696237	9563002	696261	9563098
Línea 4	696357	9562953	696383	9563052

Fuente: Autor.

Las actividades de campo se realizaron con el equipo digital resistividades eléctricas marca SYSCAL R1 PLUS, con el mismo se obtiene el valor de intensidad, con estos resultados **(Ver ANEXO N. 10)** se procedió a calcular los Sondeos Eléctricos Verticales y con la ayuda de tablas de resistividad natural de los geomateriales **(Ver ANEXO N. 11)** se logró establecer la litología, y posteriormente se realizó dos cortes geo-eléctricos.

- **Línea 1**

Esta línea se realizó al Oeste de la vía de Integración Barrial en dirección SE-NW, donde se llegó hasta una abertura máxima AB/2 de 46.40m y abertura total de 92.80m, se efectuó 15 mediciones de campo.

A través del programa IPI2Win se generó 3 capas, con un error de corrección de 2,57 %, obteniendo así la curva de resistividad aparente.

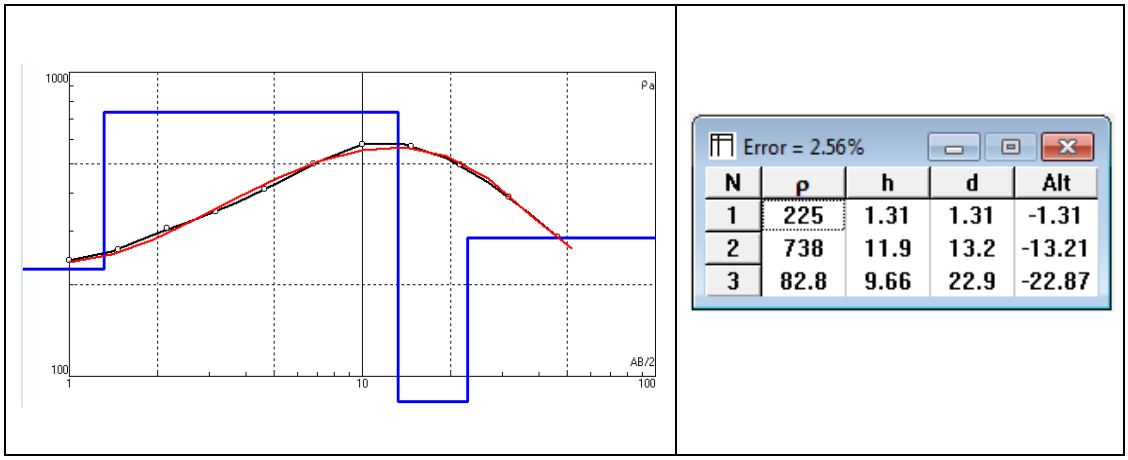


Figura 19. Curva de resistividad y capas de los geo-materiales del SEV1 en el programa IPI2win.
Fuente: Autor.

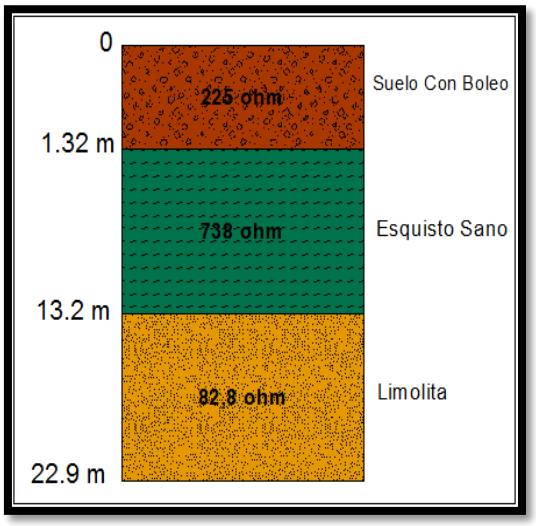


Figura 20. Perfil litológico del SEV 1.

Fuente: Autor.

En la primera capa se encontró una capa de suelo con boleo con un espesor de 1.32m, con una resistividad de 225 (Ω-m); seguida por una capa de esquistos sano de un espesor de 11.9 m, obteniendo una resistividad de 738 (Ω-m), la última capa está conformada de limolita con poca saturación de un espesor de 9.66m y una resistividad de 1290 (Ω-m). Teniendo el perfil una profundidad total de 22.9 m.

- **Línea 2**

Esta línea se realizó al Este de la vía de integración barrial en dirección SE-NW, donde se llegó hasta una abertura máxima AB/2 de 46.40m y abertura total de 92.80m, se efectuó 16 mediciones de campo.

A través del programa IPI2Win se generó 2 capas, con un error de corrección de 2.03%, obteniendo así la curva de resistividad aparente.

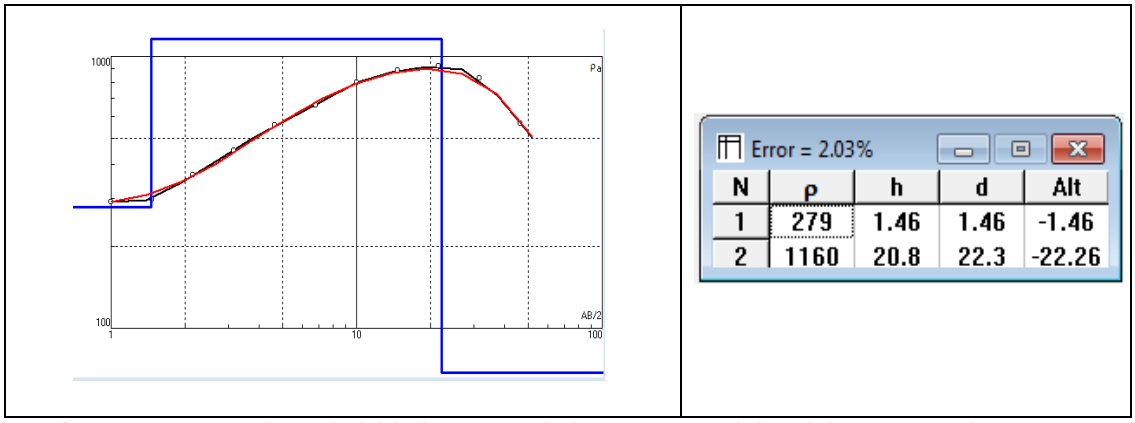


Figura 21. Curva de resistividad y capas de los geo-materiales del SEV2 en el programa IPI2win.
Fuente: Autor.

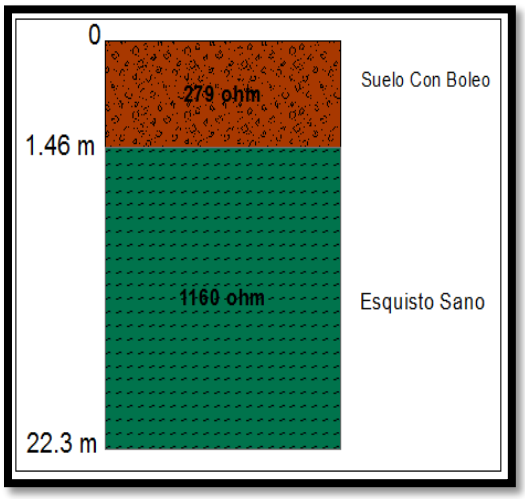


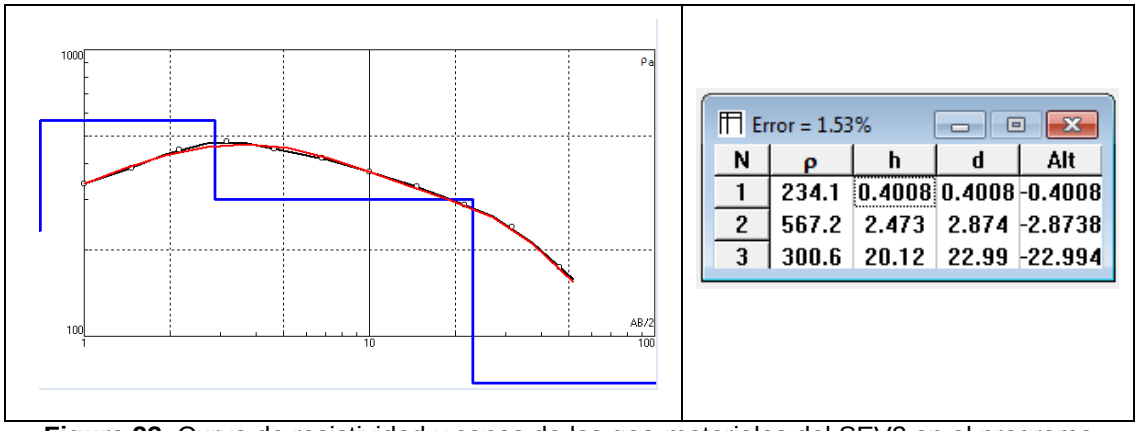
Figura 22. Perfil litológico del SEV 2.
Fuente: Autor.

El perfil está constituida por dos capas, la primera que pertenece a suelo con boleo con un espesor de 1.46m y con una resistividad de 279 (Ω-m), la segunda capa compuesta de esquisto sano con un espesor de 20.8m y una resistividad de 1160 (Ω-m), dándonos así una profundidad total de 22.3m.

- **Línea 3**

Esta línea se realizó al Oeste de la vía de Integración Barrial en dirección SE-NW, donde se llegó hasta una abertura máxima AB/2 de 46.40m y abertura total de 92.80m, se efectuó 16 mediciones de campo.

A través del programa IPI2Win se generó 3 capas, con un error de corrección de 1.53%, obteniendo así la curva de resistividad aparente.



N	ρ	h	d	Alt
1	234.1	0.4008	0.4008	-0.4008
2	567.2	2.473	2.874	-2.8738
3	300.6	20.12	22.99	-22.994

Figura 23. Curva de resistividad y capas de los geo-materiales del SEV3 en el programa IPI2win.
Fuente: Autor.

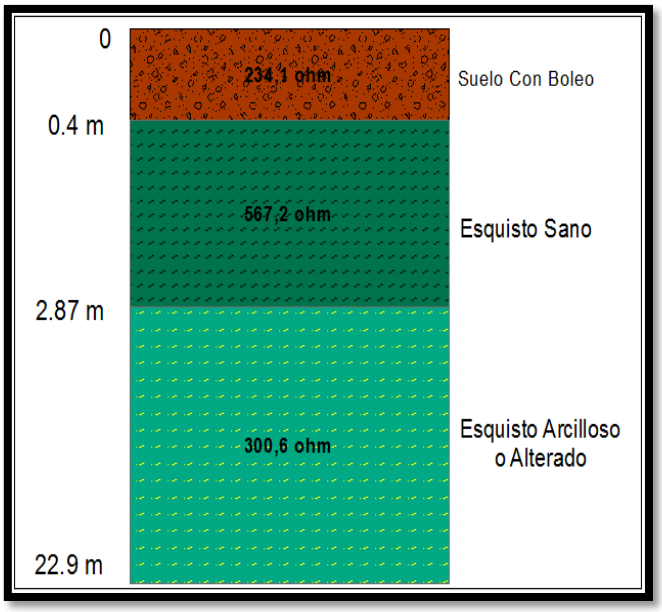


Figura 24. Perfil litológico del SEV3.

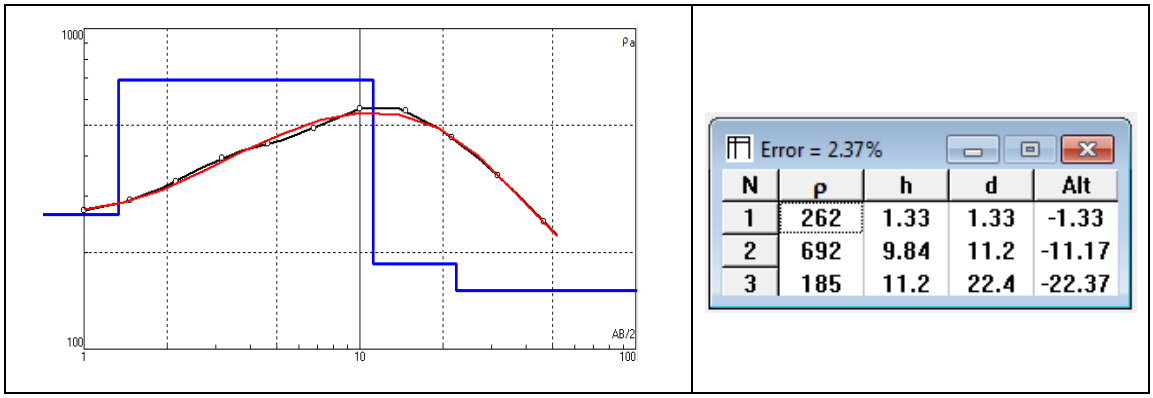
Fuente: Autor.

Este SEV consta de tres capas, la primera consta de un suelo con boleo con un espesor de 0.4m y una resistividad de 234.1 (Ω-m), la capa siguiente la compone un esquisto sano de 2.47m de espesor y una resistividad de 567.2 (Ω-m), en la última se determinó un esquisto arcilloso o Alterado (se originan a profundidad. Se constituyen de un metamorfismo regional de bajo grado resultante de la alteración de argilita) con un espesor de 20.12m y una resistividad es de 300.6 (Ω-m). Llegando a una profundidad total de 22.9m.

- **Línea 4**

Esta línea se realizó al Este de la vía de Integración Barrial en dirección SE-NW, donde se llegó hasta una abertura máxima AB/2 de 46.40 m y abertura total de 92.80m, se efectuó 16 mediciones de campo.

A través del programa IPI2Win se generó 3 capas, con un error de corrección de 2.37%, obteniendo así la curva de resistividad aparente.



N	ρ	h	d	Alt
1	262	1.33	1.33	-1.33
2	692	9.84	11.2	-11.17
3	185	11.2	22.4	-22.37

Figura 25. Curva de resistividad y capas de los geo-materiales del SEV4 en el programa IPI2win.
Fuente: Autor.

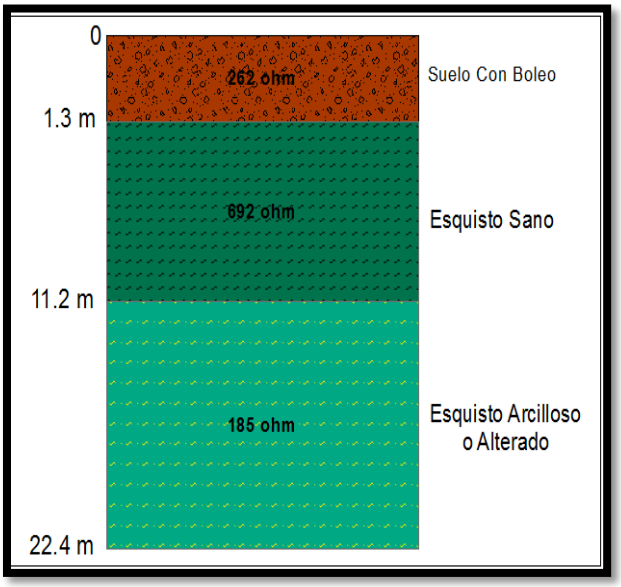


Figura 26. Perfil litológico del SEV4.

Fuente: Autor.

Constituido por tres capas, La primera capa se encuentra constituida al igual que los anteriores con un suelo con boleo con un espesor de 1.3m y una resistividad de 262 (Ω-m), la segunda capa está constituida por un esquisto sano con un espesor de 9.84m y

una resistividad de 692 (Ω-m), la capa final lo conforma un esquisto arcilloso o Alterado con un espesor de 11.2m y una resistividad de 185 (Ω-m). Su profundidad total llega a 22.4m.

- ✓ **CORTES GEOLECTRICOS**

Los resultados alcanzados de los sondeos eléctricos se llegaron a determinar que existe una correlación con la geología local obtenida, de donde mediante los 4 SEV se obtuvo dos cortes geo-eléctricos los cuales se pueden observar en el **(ANEXO N. 12).**

Corte 1

Es el resultado de la interpretación de los sondeos eléctricos 1 y 2 con dirección SW-NE el cual mide 200 metros y tiene una profundidad de 63 metros desde el punto más alta hasta la máxima profundidad de los SEV, constando de 2 capas; a lo largo del corte se puede observar que existe un suelo con Boleo producto de la meteorización del basamento en este caso del esquisto, una segunda capa con la presencia de esquisto sano y en la parte suroeste del perfil se encontró una intercalación o capa de limolita de 9 metros de espesor.

Corte 2

Es el resultado de la interpretación de los sondeos eléctricos 3 y 4 con dirección SW-NE que mide 128 metros de largo y 38 metros de profundidad desde el punto más alto hasta la máxima profundidad del SEV 4 en el punto más bajo; consta de tres capas que se ubican a lo largo del mismo, una capa de suelo con boleo, y dos de distintos tipos de esquisto en la parte más alta esquisto sano y más a profundidad esquisto arcilloso.

6.2.3. Geomorfología

Para la determinación de las unidades geomorfológicas del sector, se realizó como punto inicial la fotointerpretación, esta técnica permitió tener una idea clara y general de la geomorfología del área de estudio como su entorno.

Se analizó las variables como; Unidad genética **(tabla 4),** unidad geomorfológica **(Tabla 5)**, pendiente **(Tabla 6),** desnivel relativo **(Tabla 7),** diversidad de las unidades de paisaje (TPI) **(Tabla 8).**

Correlacionando cada variable se determinó como resultado; la unidad genética, unidad morfológica, pendiente, desnivel relativo, litología y el área de cada geoforma **(Ver ANEXO N. 13).**

Tabla 16. Descripción a detalle de la geomorfología de la zona de estudio.

GEOMORFOLOGÍA	PENDIENTE (°)	LITOLOGÍA	DESNIVEL RELATIVO (m)	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Coluvio aluvial reciente (Coal)	>5 - 15	Cantos poligenicos	0 - 5	0.82	1.10
Encañonarmiento (E1)	>35 - 55	Esquistos	>50 - 100	1.72	2.30
Escarpe (Es)	>15 - 35	Esquistos	>15 - 50	0.24	0.32
Escarpe de talud de vía (Oes)	>15 - 35	Esquistos	>15 - 50	1.64	2.20
Morfología abollada (Lh4)	>15 - 35	Esquistos y limolita	>50 - 100	8.34	11.17
Superficie de erosión (Lh5)	>5 - 35	Esquistos y arcillas	>15 - 25	5.79	7.76
Superficie plana ondulada (Lr5)	0 - 15	Esquistos y arcillas	>5 - 15	29.16	39.05
Vertiente abrupta (La1)	>15 - 35	Esquistos y arcillas	>25 - 50	0.15	0.20
Vertiente cóncava (Lr1)	>5 - 35	Esquistos y arcillas	>25 - 100	3.74	5.01
Vertiente convexa (Lr2)	>5 - 15	Esquistos y limolita	>25 - 100	6.22	8.32
Vertiente Heterogénea (Lh1)	>15 - 35	Esquisto	>50 - 100	16.86	22.58

Fuente: Autor.

6.2.3.1. Fluvial

Encañonamiento (E1): cuenta con una superficie de 1,72(Ha) que equivalen al (2,30%) del total de la zona de estudio y se encuentra ubicada en el extremo Noreste y en la parte centro oeste y presenta material metamórfico perteneciente a la Unidad Chigüinda, como esquistos, además posee con un desnivel relativo de (>50 - 100) metros y pendientes en un rango predominante de (>35 - 55°).

Escarpe (Es): esta geoforma se ubica únicamente en la parte Noroeste y representa una forma de incisión fluvial, por lo que no contienen sedimentos cubriendo de forma generalizada su lecho y márgenes, abarca una superficie de 0.24 (Ha) equivalentes al (0.32%); se desarrolla sobre los materiales paleozoicos de la unidad Chigüinda, con pendientes transversales en general de (>15 - 35).

6.2.3.2. Estructural - Fluvial

Morfología abollada (Lh4): posee una superficie de 8.34 (Ha) equivalentes al (11.17%) de toda el área de estudio, se localiza en la parte central flanco oeste, contiene materiales pertenecientes a la formación Chigiünda como esquistos y algunas ocurrencias de estratos de limolita. Se caracteriza por ser una ladera o parte de la misma cuyo perfil longitudinal se encuentra comprendido de pequeñas a medianas prominencias y que en conjunto irregularizan la superficie de la vertiente; el desnivel relativo varía entre (>50 - 100) metros y pendientes predominantes entre (>15 – 35°).

Superficie de erosión (Lh5): es la resultante de los procesos de erosión y meteorización bajo condiciones climáticas, cuenta con una superficie de 5.79 (ha) equivalentes a (35,45%) de área total de estudio, se ubica al flanco Suroeste sobre los materiales de la formación Chigüinda y sedimentarios de la Formación Trigal; cuenta con un desnivel relativo que va entre (>15 - 25) metros con pendientes predominantes entre (>5 - 35°).

Superficie plana ondulada (Lr5): es la geoforma que ocupa la mayor parte del área de estudio con una superficie de 29.16 (Ha) equivalentes al (39.05%); ubicada en la parte central con dirección N-S; se desarrolla sobre los materiales de la Unidad Chigüinda y rocas sedimentarias de la Formación Trigal (esquisto y limolita respectivamente), en cuanto a se desnivel relativo posee un rango de (>5 - 15) metros y pendientes predominantes de (0 - 15 º).

Vertiente abrupta (La1): ocupa la menor superficie con 0.15 (Ha) que equivalen (0.20%) del área total, ubicada en el extremo Suroeste, se compone de material arcilloso con ocurrencias de arenisca perteneciente a la Formación Trigal; este tipo de ladera mantiene una pendiente de (>15 - 35°), un desnivel relativo entre (>25 - 50) m.

Vertiente cóncava (Lr1): esta geoforma se sitúa en la zona oriental, y se caracteriza por ser una ladera de perfil longitudinal predominantemente cóncavo, se constituye de material metamórfico y sedimentario equivalentes a la Unidad Chigüinda y Formación Trigal, posee valores de desnivel relativo entre (>25 – 100) m, pendientes en un rango de (>5 - 35°) y ocupa una extensión de 3.74 (Ha) con un porcentaje de 5.01%.

Vertiente convexa (Lr2): esta geoforma se sitúa tanto en la zona oriental como en el extremo Sureste, se caracteriza por ser una ladera de perfil longitudinal predominantemente convexo. Posee un desnivel relativo de (>25 – 100) m, pendientes

en un rango de (>5 - 35°) y ocupa una extensión de 6.22 (Ha) con un porcentaje de 8.32%. Igual que la geoforma anterior se constituye de material metamórfico y sedimentario equivalentes a la Unidad Chigüinda y Formación Trigal.

Vertiente Heterogénea (Lh1): después de la geoforma catalogada como superficie plana ondulada esta unidad de relieve se constituye como la segunda con mayor extensión de la zona de estudio con una superficie de 16.86 (Ha). Se emplaza en casi toda la parte central y se desarrolla específicamente sobre los esquistos sericíticos de la Unidad Chigüinda. Se caracteriza por poseer un perfil longitudinal tanto cóncavo, convexo o mixto y contiene un desnivel relativo establecido entre (>50 - 100) m, pendientes en un rango de (>15 - 35°).

6.2.3.3. Poligénico

Coluvio – Aluvial Reciente (Coal): se ubican en la parte norte del polígono de estudio y comprende depósitos de transición entre las laderas y su litología corresponde a limo-arcillas, arenas, gravas y bloques. Presentan pendientes entre (>5 - 15°) y ocupa una superficie de 0.82 (Ha) equivalente al 1.10% de la superficie total.

6.2.3.4. Otras

Escarpe de talud de vía (Oes): es considerada como unidad de características antrópicas, se ubica a lo largo de la vía de estudio, ocupa una superficie de 1.64 (Ha), se desarrollan sobre el material metamórfico y sedimentario de la Unidad Chigüinda y Formación Trigal respectivamente. Posee pendientes entre mayores a los 15° y desniveles relativos de (>15 – 50) m.

6.2.4. Pendientes

A partir del Modelo de Elevación Digital generado a partir de las curvas de nivel del levantamiento topográfico se obtuvo el mapa de pendiente en grados. Las cuales se reclasificaron en tres categorías propuesta por Demmek en 1992. Definida y aplicada al área de estudio, cabe recalcar que en el terreno las mayores pendientes superan los 55º pero en cantidades bajas.

En el sector de estudio se deduce que el mayor porcentaje (53.9%) corresponde a terrenos con pendientes Media abarcando una superficie de 40.2 (Ha), la cual se asienta en la parte Norte y Sur en su mayoría. Seguido por la categoría de pendiente Alta que le corresponde una extensión de 18.87 (Ha) equivalentes al (25.25%) dispersa en su

mayoría de la parte Oeste de la zona de estudio, como en los taludes de vías y laderas de la quebrada S/N.

Por ultimo tenemos las pendientes bajas con una área de 15.6 (Ha), que equivale a (20.84%) la cual se encuentra dispersa en toda el área de estudio. **(Ver ANEXO N. 14)**

Cabe recalcar que las pendientes altas que son de > 15 suele alcanzar ángulos mayores. Estos ángulos mayores a 15° por lo generales son partes de los taludes de las vías así como laderas en nuestro caso los que se encuentran al costados de la quebrada S/N.

Tabla 17. Categorías de pendientes.

Categoría	Rango (°)	Área (ha)	Área (%)
Pendiente Baja	0 - 5	15.6	20.84
Pendiente Media	5 - 15	40.2	53.9
Pendiente Alta	> 15	18.86	25.25
TOTAL		74,67	100

Fuente: Autor apartir de información de Demmek, 1972.

6.2.5. Uso actual de suelos

Como resultado del análisis de fotografías aéreas y de una observación en campo se obtiene el mapa el cual consta con diferentes tipos de cobertura vegetal como se puede observar en el **(ANEXO N. 15).**

Esta se constituye en una de las condiciones de estabilidad del terreno, ya que muchos movimientos en masa se producen en terrenos denudados o estos cubiertos con vegetación herbácea, y en algunos casos sectores urbanizados.

Tabla 18. Clasificación de uso de Suelos.

Uso de Suelo	Áreas (ha)	Áreas (%)
Suelo desnudo	2,60	3,65
Cultivos	16,86	22,57
Pastos	35,65	47,74
Vía suelo desnudo	10,99	14,71
Zona poblada	5,47	7,32
Bosques	3	4,01
TOTAL	**74,67**	**100%**

Fuente: Autor.

Así se pudo identificar las 6 clases predominantemente por pastos que equivalen a 35,65 (Ha) del área total de estudio, los cuales son usados para producción ganadera. Seguida por cultivos que equivalen a un total de 16,96(Ha) utilizado por lo general en productos de corto plazo, suelos desnudos de vías equivale a un 10,99(Ha), las zonas pobladas ocupan un 5,47(Ha), mientras que las zonas de menor superficie son los bosques y suelo desnudo con un total de 2,60(Ha) y 3(Ha) respectivamente.

6.2.6. Isoyetas (precipitación)

El análisis correspondiente a las precipitaciones (ISOYESTAS) del área de estudio como se explicó anteriormente está basado en la Tesis previo a la obtención del título académico de Máster elaborada por el Ing. Walter Tambo (2011), la cual se basó en datos de intensidad de lluvia, en mm/día, registrados en cuatro estaciones pluviométricas teniendo así las siguientes estaciones:

- La Argelia
- San Lucas
- San Francisco
- El Tambo

Todo esto mediante un análisis estadístico de la información de intensidad de lluvia de cada una de las estaciones, con el fin de obtener el 1% de probabilidad. Esto se realizó mediante el método estadístico de distribución logarítmica normal, usando la herramienta ***Statgraphics Plus*** versión 2.1.

De donde nuestra área de estudio se encuentra dentro de una precipitación alta abarcando todo el área de estudio es decir las 74,67(Ha) cuyo precipitación es de (64,81-68,16) mm/día. **(Ver ANEXO N. 16)**

Tabla 19. Isoyetas de la Zona de estudio.

CLASE	RANGO (mm/día)	PORCENTAJE (%)
Precipitación Alta	64,81 – 68,16	100

Fuente: Autor.

6.3. Implementación del modelo de Evaluación Multicriterio

De acuerdo con (Pietersen, 2006), El objetivo general de la evaluación multicriterio (EMC) es auxiliar al decisor a escoger la mejor alternativa entre un rango de

posibilidades en un entorno de criterios en competencia y conflicto; y los objetivos pueden ser económicos, ambientales, sociales, institucionales, técnicos y estéticos.

Cuando las decisiones implican alcanzar varios objetivos o criterios, ellas se denominan decisiones multiobjetivo o decisiones multicriterio, respectivamente. En este caso, se aplicó la técnica de EMC implementada en SIG y aplicada a la susceptibilidad a movimientos de ladera. Una vez normalizados los factores que influyen en la susceptibilidad asignamos los pesos con la técnica de la AHP, Matriz de Jerarquización Analítica; este método, fue desarrollado por el matemático Thomas Saaty, y consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un modelo jerárquico.

6.3.1. Valoración y normalización de los mapas generados

Los valores contenidos en los mapas generados tienen diferentes significados y unidades de medida, por esta razón, y para poder compararlos se requiere estandarizar sus valores a una misma unidad, en este caso se ha considerado conveniente emplear una escala numérica de 1 a 4, donde 1 representa la más baja potencialidad y 4 la más alta potencialidad del criterio a desarrollar deslizamientos.

En el presente estudio, luego de realizada la asignación de valores a los factores litológico, geomorfológico, pendientes, uso actual de suelos e isoyetas (precipitación); los mapas se normalizan empleando el método del valor máximo, en el cual se dividen los valores de cada mapa por su valor máximo encontrado. Este tiene la ventaja de mantener la proporcionalidad de los elementos sin efectuar una transformación de la variable.

Posteriormente, para poder combinar los criterios de los mapas normalizados en un mapa final, se debe asignar pesos que representen la participación de cada uno de estos criterios que intervienen en el proceso de deslizamientos. Por tanto, criterios que tengan mayor participación en el proceso demandarán un mayor peso.

En este contexto a continuación se describen detalladamente los factores considerados en la presente investigación.

a) Geomorfología

Este factor involucra el estudio de las formas del relieve, su evolución y sus causas. Cada geo-forma existente en el terreno refleja un nivel de acción erosiva que ha actuado sobre el material. El área de estudio comprende varios tipos de geo-formas; desde escarpes que ocupan 2.20 Ha y superficies de erosión con 7,76 Ha, que son las formas más inestables en cuanto se refiere a posibilidad de ocurrencia de deslizamientos. A ello se suman los encañonamientos que constituyen geo-formas con pendientes medias que alcanzan valores > 15°. Las vertientes heterogéneas y las superficies planas onduladas ocupan una superficie considerable del sector de estudio 22,58 Ha y 39,05 Ha respectivamente y se encuentran abarcando las Formación Trigal y la Unidad Litológica Chigüinda. A continuación se detalla los pesos asignadas a cada geo-forma:

Tabla 20. Matriz de valoración. Factor Geomorfología.

	Escarpe de talud de vía	Coluvio aluvial reciente	Escarpe	Encañonamiento	Vertiente abrupta	Vertiente Heterogénea	Vertiente cóncava	Vertiente convexa	Superficie de erosión	Morfología abollada	Superficie plana ondulada	**PESOS**
Escarpe de talud de vía	**1**	3	3	2	3	3	2	2	2	4	4	**0.19**
Coluvio aluvial reciente	0.33	**1**	3	2	2	3	3	3	3	3	3	**0.15**
Escarpe	0.33	0.33	**1**	2	2	3	1	2	2	4	3	**0.11**
Encañonamiento	0.50	0.50	0.50	**1**	2	2	2	2	2	3	3	**0.10**
Vertiente abrupta	0.33	0.50	0.50	0.50	**1**	3	3	3	3	3	3	**0.11**
Vertiente Heterogénea	0.33	0.33	0.33	0.50	0.33	**1**	2	3	3	3	3	**0.08**
Vertiente cóncava	0.50	0.33	1.00	0.50	0.33	0.50	**1**	3	2	3	3	**0.08**
Vertiente convexa	0.50	0.33	0.50	0.50	0.33	0.33	0.33	**1**	2	2	2	**0.05**
Superficie de erosión	0.50	0.33	0.50	0.50	0.33	0.33	0.50	0.50	**1**	3	3	**0.05**
Morfología abollada	0.25	0.33	0.25	0.33	0.33	0.33	0.33	0.50	0.33	**1**	2	**0.03**
Superficie plana ondulada	0.25	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.50	0.33	0.50	**1**	**0.03**
										RC	**0.03**	**1**

Fuente: Autor.

b) Geología

La variable geología está representada por materiales aflorantes, cuyas características mecánicas – físicas van a conformar la calidad del material. El marco geológico del área

de estudio se encuentra dentro de la Cuenca sedimentaria de la Hoya de Loja y se basa en el levantamiento de campo donde se identificaron:

- Rocas sedimentarias: Comprendido por rocas clásticas como las areniscas, arcillas, limolitas e intercalaciones de los anteriores. Este grupo litológico pertenece a la formación Trigal
- Rocas metamórficas: La litología metamórfica comprende rocas de bajo grado de metamorfismo como los esquistos, que constituyen la Unidad Chigüinda

Los macizos rocosos están sometidos constantemente a tensiones y deformaciones que permiten evaluar su comportamiento mecánico, a partir del reconocimiento de las propiedades físicas y de las condiciones a las que están sometidas en la naturaleza. Adicionalmente, otros factores como las condiciones hidrogeológicas, las condiciones ambientales, el clima y otros fenómenos meteorológicos, inciden sobre el potencial comportamiento mecánico de los materiales En base a lo antes expuesto se puede generalizar que las rocas más susceptibles a la erosión son las arcillas y areniscas; seguidas por las limolitas y depósitos coluviales.

Tabla 21. Matriz de valoración. Factor Geología.

	Arcilla - Arenisca	Limolita	Depósito coluvial	Esquisto	**PESOS**
Arcilla - Arenisca	**1.00**	1	2	3	**0.36**
Limolita	1.00	**1.00**	1	2	**0.28**
Depósito coluvial	0.50	1.00	**1.00**	2	**0.23**
Esquisto	0.33	0.50	0.50	**1.00**	**0.12**
			RC	**-0.02**	**1.00**

Fuente: Autor.

c) Pendientes

Las pendientes son uno de los factores más importantes en el estudio de los movimientos de ladera, pues al aumentar el ángulo de la pendiente de la ladera, aumenta el peso y por consiguiente el volumen del material afectado por unidad de área, por lo tanto, se relaciona estrechamente con la historia geológica

En este sentido, un mayor grado de inclinación de los terrenos los hace más susceptibles a la ocurrencia de procesos de movimientos en masa, mientras que, en zonas con presencia de vegetación arbórea, material geológico aflorante resistente, pendientes cortas y escasa capacidad de infiltración de las aguas de escorrentía, genera condiciones de mayor estabilidad.

Los procesos de movimientos en masa del sector de estudio se ubican en rangos de pendiente de bajas a medias con valores que van desde 5º hasta >15º haciéndose evidente en campo, debido a la estrecha relación entre la actividad erosiva y la actividad antrópica, representada en cortes y excavaciones para la apertura y adecuación de infraestructura vial y una dinámica de cambios de usos de suelo.

En la zona de estudio el rango de pendientes considerado como Alta, posee una categoría de ángulo equivalente al (> 15º), por lo que los materiales con este valor de inclinación son más inestables y susceptibles a generar deslizamiento se lo ha catalogado con el mayor peso

A continuación, en la **(Tabla 22)**, se señalan los valores estimados y asignados para cada rango de pendiente.

Tabla 22. Matriz de valoración. Factor Pendiente.

	Alta (> 15º)	Media (5 - 15º)	Baja (0 – 5º)	**PESOS**
Alta (> 15º)	**1.00**	2	4	**0.56**
Media (5 – 15º)	0.50	**1.00**	3	**0.32**
Baja (0 – 5º)	0.25	0.33	**1.00**	**0.12**
		RC	**0.01**	**1.00**

Fuente: Autor.

d) Uso actual del suelo

Los procesos de movimientos en masa tienen una conexión directa con el tipo de cobertura, encontrándose porcentajes bajos de deslizamientos en áreas boscosas, pues en lo referente a control de erosión se evidencia que donde hay árboles altos la erosión es menor que en el caso de los pastos.

La deforestación por cambios en el uso (pastos y cultivos) genera una inestabilidad de las formaciones superficiales, por lo tanto se puntualiza que a mayor cobertura vegetal la susceptibilidad a la ocurrencia de procesos de movimientos en masa sería menor que en aquellos casos en donde el uso predominante son los pastos, suelos desnudos y cultivos.

Según las observaciones y distribución de los procesos erosivos de movimientos en masa, respecto al uso del suelo se, se estiman y se asignan valores de peso a cada uso para el área de estudio, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 23. Matriz de valoración. Factor Uso Actual del Suelo.

	Área sin cobertura vegetal	Cultivos	Pastos	Zona Poblada	Bosques	**PESOS**
Área sin cobertura vegetal	**1.00**	2.00	2.00	2.00	1.00	**0.39**
Cultivos	0.50	**1.00**	1.00	2.00	1.00	**0.24**
Pastos	0.50	1.00	**1.00**	2.00	1.00	**0.12**
Zona Poblada	0.50	0.50	0.50	**1.00**	1.00	**0.13**
Bosques	1.00	1.00	1.00	1.00	**1.00**	**0.11**
				RC	**0.03**	**1**

Fuente: Autor.

e) Isoyetas (Precipitación)

La precipitación es uno de los factores extrínsecos más significativos que predisponen al terreno hacia una situación de inestabilidad, por lo tanto, se lo consideró como uno de los parámetros a incluirse en la elaboración del mapa de susceptibilidad, esto debido a que se puedo encontrar información detalla sobre precipitación del área de estudio explicada en anteriormente.

Bajo esta perspectiva, se considera los pesos como indicadores de la importancia que se le atribuye a este criterio. Por consiguiente, es necesario asignarle un peso a esta variable mediante la evaluación de los distintos rangos de precipitación que presenta una zona, sin embargo, en el sitio de estudio se obtuvo un solo rango de precipitación (Alta: 64,81 - 68,17 mm/día) que incide considerablemente en los deslizamientos. En

consecuencia, para poder llevar a cabo el análisis multicriterio, se le asignó el valor de forma directa equivalente a **1.**

6.3.2. Aplicación de la Matriz de Jerarquización Analítica de Saaty (AHP)

Empleando los mapas normalizados se realiza un cruce de variables por pares y luego de un riguroso análisis es posible emitir un criterio y definir el orden de importancia de los factores ante un posible evento. En el caso particular del tramo de estudio en la vía de integración barrial se decide que el orden de importancia en el que se han de valorar los factores es el siguiente:

- Geomorfología
- Geología
- Pendientes
- Uso actual del suelo
- Precipitación

Para obtener una medida cuantitativa de la fiabilidad de los valores asignados en la comparación entre pares de factores, se utiliza la relación de consistencia (RC), la misma que está diseñada de manera que los valores que exceden de 0.10 son señal de juicios inconsistentes; por lo tanto se hace necesario reconsiderar y modificar los valores originales de la matriz. Si RC es menor o igual a 0,10 los valores asignados son satisfactorios.

Por lo tanto, los valores establecidos para las variables consideradas en la elaboración del mapa de susceptibilidad son satisfactorios, dado que la Razón de consistencia calculada es 0.03.

Tabla 24. Fórmula Razón de Consistencia.

RAZÓN DE CONSISTENCIA	
$RC = \frac{IC}{ICA}$ $RC = 0,03$	**IC:** Índice de Consistencia $IC = \frac{Nmáx-n}{n-1} = \frac{5.13-5}{5-1}$ **= 0.032**
	ICA: Índice de Consistencia Aleatorio $ICA = \frac{1,98(N-2)}{n} = \frac{1,98(3)}{5}$ **= 1.18**
	RC ≤ 0.10: Consistencia Razonable **RC > 0.10:** Inconsistencia

Fuente: Thomas Saaty, 1980.

Una vez elaborados los mapas de cada variable considerada, se proceden a normalizarlos para obtener el mapa final de susceptibilidad a través de la suma ponderada en el software ArcGis versión 10.2, y mediante la utilización de la herramienta "Model Builder" plasmar en un diagrama los procesos ejecutados, dando como resultado lo siguiente:

Tabla 25. Matriz de valoración. Mapa de Susceptibilidad.

	Geomorfología	Geología	Pendientes	Uso actual del suelo	Isoyetas	**PESOS**
Geomorfología	**1**	2	2	2	1	**0.29**
Geología	0.50	**1**	1	2	1	**0.19**
Pendientes	0.50	1	**1**	2	1	**0.19**
Uso Actual del suelo	0.50	0.50	0.50	**1**	1	**0.13**
Isoyetas	0.50	1	1	1	**1**	**0.19**
				RC	**0.03**	**1**

Fuente. Autor.

A partir, de los mapas normalizados descritos anteriormente, se realiza el cruce de variables por pares y luego del criterio válido de acuerdo a los análisis de los materiales en campo, es posible emitir un criterio técnico para definir el valor de importancia de cada uno de los factores en los deslizamientos en función de sus relaciones, tal y como se lo detalla a continuación:

- **Relación Geomorfología – Geología:** Se determinó un total de once geoformas, entre las cuales se tiene el coluvio aluvial reciente como forma Poligénica, los encañonamientos y escarpes como formas fluviales; las morfologías abolladas, superficies de erosión, superficies planas onduladas, vertientes heterogéneas vertientes abruptas, y vertientes cóncavas y convexas como formas relacionadas a las laderas.

  Las superficies planas onduladas que se localizan al noreste y sureste del área de estudio se encuentran constituidas por las litologías de la formación Trigal y la Unidad Chigüinda, en donde se evidencia la presencia de arcillas, areniscas, depósitos coluviales y en mayor porcentaje los esquistos; mientras que las superficies de erosión localizadas al noroeste, se encuentran compuestas mayormente por arcilla y arenisca, mientras que las morfologías abolladas, las vertientes heterogéneas y los encañonamientos se encuentran conformados por limolitas.

Como el área de estudio comprende mayormente arcillas, areniscas y esquistos que dan un tipo de relieve particular, el nivel de importancia entre ambos factores conlleva a una moderada preferencia del factor geomorfología sobre geología por su dependencia, sin embargo, el factor geología se la considera como un complemento en la elaboración de la cartografía geomorfología.

- **Relación Geomorfología – Pendiente:** Las características geomorfológicas de la zona de estudio, concuerdan secuencialmente con la pendiente, además permite el establecimiento de cada unidad genética (geo-forma), pero igual que en el caso anterior dentro de la variable geomorfología el factor pendiente es considerado como complemento en su elaboración.

- **Relación Geomorfología – Uso Actual del Suelo:** el uso actual del suelo depende de las formas del relieve, por ello en este caso el factor geomorfología posee un nivel de importancia moderada con respecto al uso actual de suelo, considerando que de acuerdo a la manera como se encuentre el relieve se podrá aprovechar el suelo.

- **Relación Geomorfología – Precipitaciones**: La erosión del suelo, producción y transporte de sedimentos se encuentra influenciada por las precipitaciones que afectan a las vertientes. El efecto erosivo de la lluvia sobre los materiales que componen las geo-formas depende de la intensidad, persistencia y frecuencia de las precipitaciones. En este sentido es importante destacar que la fuerza de arrastre del agua de escorrentía en las vertientes altera notablemente la forma del relieve; por ello se da un nivel de importancia igual a la geomorfología sobre el factor precipitación.

- **Relación Geología - Pendiente:** Se ha otorgado una igual preferencia del parámetro litología sobre la pendiente pues se ha considerado el comportamiento de los materiales por lo tanto se deduce que no depende directamente de la inclinación en que encuentren sino de características propias de las rocas (cohesión, tipo, génesis), como en este caso particular la mayor parte del área de estudio está constituida por esquistos de la unidad Chigüinda que se ubican en sitios con pendientes que adquieren valores que van desde los 5º hasta los >15° (suele llegar hasta 55º).
  Los depósitos coluviales así como las limolita se ubican en pendientes de >15°, y arcillas y areniscas se encuentran situadas en sectores donde las pendientes poseen inclinaciones que van desde los 0 a >15º.

- **Relación Geología – Uso Actual del Suelo:** Se ha otorgado una ligera preferencia del parámetro Geología sobre el uso actual del suelo, porque el aprovechamiento del suelo se debe a procesos erosivos que ha sufrido el sustrato rocoso, además en el área de estudio, la mayor parte está cubierta de rocas pertenecientes a la Unidad Chigüinda.

  Las litologías susceptibles a sufrir deslizamientos son las arcillas y las areniscas, en donde se evidencia en mayor grado la existencia cultivos, zonas pobladas y suelo desnudo.

- **Relación Geología – Precipitaciones:** EL área de estudio se encuentra formado mayormente por esquistos, una roca relativamente resistente, por lo tanto la geología adquiere un valor similar al de las precipitaciones. Sin embargo, en algunos sitios los esquistos se encuentran alterados y con tendencia a deslizarse, dado que los mismos se hidratan y pierden cohesión. Las arcillas y las areniscas van a resultar con un mayor grado de afectación, producto de las lluvias, considerando que la masa embebida en agua es más susceptible a deslizarse.

- **Relación Pendiente – Uso Actual del Suelo:** se ha asignado una moderada preferencia del factor pendiente sobre el uso actual de suelo considerando que se ha producido un cambio significativo en el uso y ocupación de las laderas; motivando a que la población se desarrolle en sitios con variaciones de pendientes poniendo en riesgo la estabilidad de las zonas de intervención.

  Los usos de suelo más representativos son los pastos y los cultivos donde la mayoría de los mismos que se encuentran ubicados en zonas en donde las pendientes pueden llegar hasta los 15º; mientras que en zonas boscosas la pendiente adquiere valores de hasta 15º y en suelos desnudos >15º.

- **Relación Pendiente – Precipitaciones:** ambos factores poseen un nivel de importancia similar, debido a que la pendiente depende directamente del tipo de material y su comportamiento, por tal razón de acuerdo al material que se encuentre en la zona de estudio actuara de manera diferente ante la acción erosiva que genera el agua.

  Las zonas en donde las pendientes poseen valores superiores a los 15º, se encuentran distribuidos los depósitos coluviales englobados en una matriz de arcilla y arenisca, por lo tanto la acción de las precipitaciones provocarán la alteración y

transporte del material ubicado en las laderas adyacentes, dando lugar a los deslizamientos. Así mismo existen sectores en donde las pendientes adquieren valores >15° las cuales se encuentran constituidos por esquistos, que en algunos casos se encuentran alterados por lo tanto existe una mayor probabilidad a deslizarse.

- **Relación Uso Actual del Suelo – Precipitaciones:** El factor uso actual del suelo se sitúa con un nivel igual de importancia sobre el factor precipitación, dado que la expansión urbana ha alterado notablemente las formas del relieve.

  Otro de los puntos importantes a considerar es el uso del suelo para la agricultura; dado que esta actividad depende en gran medida del nivel de precipitaciones de la zona es evidente que el cultivo de un solo tipo de producto provoca la erosión del suelo, sin embargo existen zonas boscosas en donde esta cobertura permite disminuir la zonas de erosión y aumentar la fijación de suelo a través de las raíces de los árboles el 3.65% del área de estudio se encuentra constituido por suelo desnudo, en donde las precipitaciones generan un grado mayor de inestabilidad en el terreno, considerando que el material predominante en el mismo son las limolitas, areniscas y arcillas, existiendo así una mayor probabilidad de provocar un deslizamiento.

6.3.3. Construcción del mapa de Susceptibilidad.

La construcción del mapa de Susceptibilidad a deslizamientos del área de estudio, comprendió dos etapas esenciales:

- En la primera etapa, se realizó la Suma Ponderada (Weighted Sum) de los factores condicionantes (geomorfología, geología, pendientes, uso actual de suelo) con el factor desencadenante, en este caso la variable precipitación, generando una cartografía preliminar

- En la segunda etapa, se reclasificó el mapa generado por la herramienta Suma Ponderada (Weighted Sum), en un número de 3 rangos, considerando el criterio dado por Sarkar y Kanungo (2004), pero modificado de acuerdo a las características del área de estudio

De acuerdo a las etapas anteriormente mencionadas, se obtuvo el mapa de susceptibilidad a deslizamientos del área de estudio **(ver ANEXO N. 17).** Todo este proceso se lo resume en el Model Builder que se presenta en la siguiente figura.

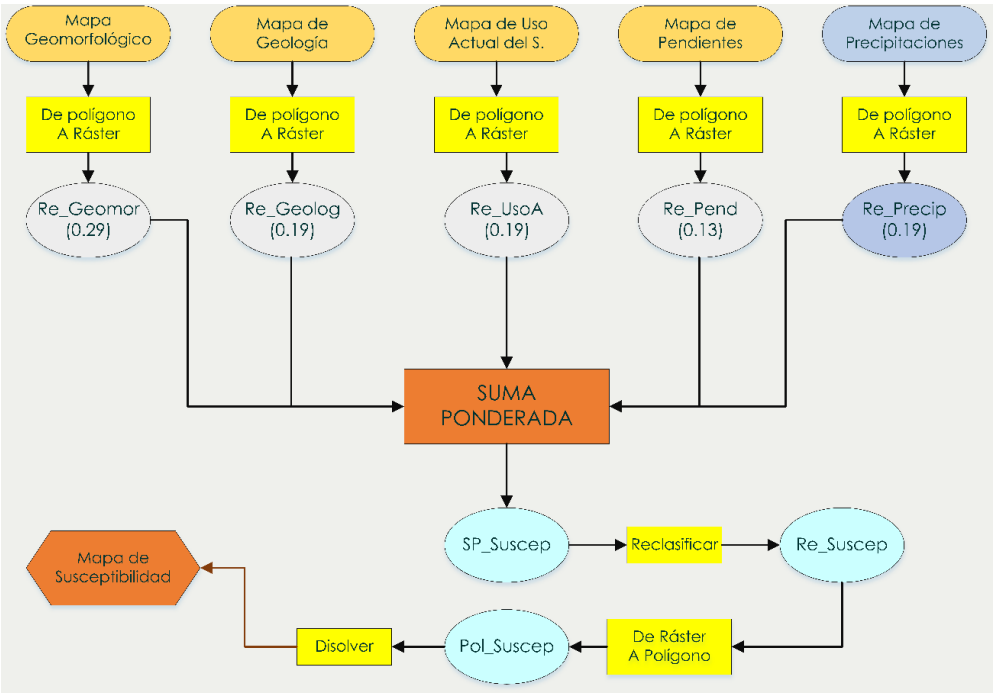


Figura 27. Diseño del Model Builder para la construcción de la cartografia de Susceptiblidad
Fuente: El Autor**.**

6.4. Zonificación de la susceptibilidad del área de estudio

Se debe tomar en consideración que la susceptibilidad por este tipo movimientos en masa expresa solamente la potencialidad de ocurrencia de los fenómenos bajo las condiciones geológicas y ambientales. La susceptibilidad es dinámica y por lo tanto varia con el tiempo y las condiciones geo-ambientales. Las características de las cinco clases obtenidas en el mapa final de susceptibilidad se describen a continuación:

Tabla 26. Categorías de Susceptibilidad a deslizamientos del sitio de estudio.

Cód.		Clase	Área (Ha)	Porcentaje (%)
1	**0.261 - 0.290**	**Baja**	42.8	57.43
2	**0.290 - 0.33**	**Media**	22.55	30.25
3	**0.33 – 0.421**	**Alta**	9.2	12.32

Fuente: El Autor

- **Baja:** Se considera una zona relativamente estable ubicada en la parte este, así como en la parte norte de la zona de estudio, con pocos indicios a deslizamientos, abarca 42.8 Ha, representando el 57.43%. Está formada por en gran parte por geo-formas de origen Estructural-Fluvial como son Superficie plana ondulada, vertiente heterogénea, vertiente convexa y cóncava entre las más representativas; con una pendiente moderada que puede oscilar entre 5 – 15 grados. Posee características litológicas asociadas a los esquistos, igualmente las precipitaciones son altas; sin embargo, por

las particularidades del material el terreno conserva características algo favorables. Además, existe la presencia de bosques, cultivos y pastos, que ayudan a fijar el suelo y evitar una acelerada erosión del material expuesto a procesos de meteorización y erosión.

En lo que concierne a la infraestructura la mayoría de viviendas se encuentra dentro de esta Área de susceptibilidad, así como la mayoría de vías de primer, segundo y tercer orden.

- **Media:** Posee zonas con estabilidad moderada ubicada en gran parte al oeste de la zona de estudio, y pocas áreas al lado este, abarca 22.55 Ha de extensión, equivalente al 30.25 % del área total del polígono de estudio, probablemente han ocurrido deslizamientos ya que comprenden rocas sedimentarias de la Formación Trigal (limolitas, areniscas y arcillas), y de esquisto proveniente de la unidad chigüinda además de características de pendiente que llegan hasta >15° grados. y geo-formas asociadas a morfologías abolladas, superficies de erosión y vertientes heterogéneas, condicionan las características en las que se halla el material litológico. La mayor parte de este suelo es usada en el cultivo y como pastizales, ayudando a denudar el suelo provocando erosión todo esto más la ayuda de la precipitación alta que existe en el lugar.

  Así mismo abarca en tramos pequeños a las vías principales, secundarias y de tercer orden en toda el área de estudio, y de igual forma existen pocas viviendas dentro de esta área de susceptibilidad.

- **Alta:** Comprende sitios con inestabilidad y generalmente posee indicios de deslizamientos, abarca una extensión de 9.2 Ha, correspondiente al 12.32% del área de estudio ubicada en la parte Sur, Sur-este entre las zona más representativa. La inestabilidad presente se debe a que posee paisajes comprendidos por encañonamiento, superficie de erosión, vertiente cóncava y convexa con grandes pendientes mayores a los >15 grados (que suele llegar hasta 55° en los taludes de vías y laderas de la quebrada S/N). Esta área de susceptibilidad se encuentra sobre pastizales y cultivos de corto plazo, Con una litología representada por rocas metamórficas, como los esquistos, así como rocas sedimentarias representadas por areniscas, arcillas y limolitas, de estas las arcillas poseen características expansivas que producen aún más inestabilidad. También se puede encontrar dentro de un

depósito coluvio-aluvial. Que sumado con las precipitaciones altas de la zona de estudio pueden conllevar a la ocurrencia de deslizamientos.

En la mayor parte de las vías existentes en la zona de estudio, debido a que son de origen antrópico han producido taludes de grandes dimensiones y muy pronunciadas, que en su mayoría son de Esquisto meteorizados debido a que están expuestos a la intemperie, sumada la precipitación; hacen que estas partes sean las más susceptibles a deslizamientos.

7. DISCUSIÓN

(Guaman , 2008), indica que en la ciudad de Loja son numerosos los casos de fenómenos de remoción en masa que han causado serios problemas socio-económicos, debido a sus condiciones geológicas, sumado a las precipitaciones e intensidad de lluvias hacen que aumente la posibilidad de inestabilidad, llevando a valorar 33 barrios catalogados como de alto riesgos a fenómenos geológicos – climáticos.

Según el Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Loja (2014); Entre los principales movimientos en masas que se han identificado en el cantón Loja son: los deslizamientos y desprendimientos de rocas. En los últimos años debido al acelerado crecimiento demográfico, su topografía irregular, precipitaciones elevadas y materiales geológicos de baja resistencia han aumentado la amenaza a movimientos en masa, y por el desconocimiento de estos factores existen asentamientos humanos en zonas inestables afectando a la infraestructura vial y de vivienda ocasionando múltiples daños materiales a los pobladores. En el catón Loja especialmente las parroquias Nororientales y la hoya de Loja, se observa que la cantidad de eventos relacionados con movimientos en masa es mayor en las estaciones lluviosas.

Ya en el sector de estudio el cual está ubicado en el sector Noroccidente de la ciudad de Loja, específicamente desde el Barrio y redondel de Carigán por la Vía de integración barrial "Ángel Felicísimo Rojas", hacia la avenida 8 de Diciembre; cubre una área de 74.67 Ha. Se pudo determinar que si existe ciertas zonas o áreas de susceptibilidad alta a deslizamientos.

Para la evaluación de susceptibilidad frente a deslizamientos en el tramo de la vía de integración en estudio, se tomaron 5 variables que influyen directamente a la inestabilidad del terrenos; 4 condicionantes como: geología, geomorfología, pendientes y uso actual del suelo, más una desencadenante como precipitación o isoyetas. Las cuales fueron determinadas mediante una observación directa en campo, y el procesamiento de datos en oficina; para luego ser modelados hasta obtener la susceptibilidad a deslizamientos mediante el Software ArcGis 10.2.

Mediante la topografía levantada en el sector de estudio se observó que la parte occidental es la más irregular y cuenta con las cotas más altas, y en la parte Este existen terrenos más planos. En cuantos a su infraestructura se encuentra dispersa en todo el área de estudio. Mediante esto las pendientes modeladas son 3, Baja (0-5°), Media (5-

15°), alta (> 15°); predominando las bajas, cabe recalcar que en las pendientes alta suele ubicarse los taludes de las vías, así como en laderas de la quebrada S/N y laderas las cuales se ubican en la parte central al flanco Oeste del área de estudio las cuales suelen ser mayores a 15° y ayudan a la ocurrencia de deslizamientos.

Geológicamente el área se asienta sobre el basamento metamórfico de la unidad Chigüinda representada por los esquistos sericíticos de color gris-oscuros con ciertas incrustaciones de cuarcitas de 2 a 5 cm. En las partes altas como el Sur se puedo encontrar areniscas con 0,2mm de diámetro y arcillas grises medianamente permeables y plásticas, y en la parte central al flanco Oeste se puedo evidencia la presencia de limolitas de grano fino que tienen ciertas incrustaciones de esquisto muy alterado todas estas rocas pertenecientes a la formación Trigal. Y por último en la parte Norte del área de estudio se observó un depósito cuaternario "coluvio-aluvial" productos del arrastre de material existente en las partes más altas, donde nace una quebrada S/N.

Además se realizó geofísica mediante cuatro sondeos eléctricos verticales y dos cortes geo-eléctricos, que permitieron la correlación del tipo de roca con la geología levantada.

La geomorfología, cuyo reconocimiento de las geoformas se basó en la observación directa en campo y con la utilización de un DEM y fotografías aéreas mismas que se categorizaron de acuerdo a su génesis y clasificadas según parámetros morfométricas y morfológicos, obteniendo así 11 formas de relieve: coluvio-aluvial recientes, encañonamiento, escarpe, escarpe de talud de vía, morfología abollada, superficie de erosión, superficie plana ondulada, vertiente heterogénea, vertiente abrupta, vertiente cóncava, vertiente convexa. De donde podemos concluir que según algunas de estas geoformas existe preferencia a provocarse deslizamientos.

En cuanto al uso actual del suelo está representada por la predominancia de pasto las cual es utilizada en ganadería, seguida de cultivos de corto plazo y vías, bosques de eucalipto, zonas pobladas y suelos desnudos. Este último sumado a un factor desencadenante como es la infiltración del agua producto de las lluvias que en el lugar es de muy alta (64, 81 - 68,17 mm/día) la cual produce inestabilidad y por ende deslizamientos.

Ya para la elaboración del mapa de susceptibilidad se utilizó las cinco variables antes descritas que condicionan la ocurrencia de estos fenómenos, estas variables fueron relacionadas de acuerdo al nivel de tendencia que poseen frente a los deslizamientos,

dentro la matriz de jerarquización analítica (i, j) de Saaty, donde se analiza la relación de ambos factores en las categorías de 1 a 4, siendo la valoración 1 cuando ambas clases contribuyen de igual manera al proceso de deslizamiento y consecuentemente, siendo 4 cuando existe evidencia que determina la supremacía del criterio (i) sobre el (j), cabe mencionar, que estos valores deben ser normalizados entre 0 a 1, debido a que se encuentran en diferentes rangos, según el Método de la Matriz de Jerarquización Analítica de Saaty (AHP).

Una vez valorado nuestras variables se elaboró el mapa de susceptibilidad el cual se lo realizo mediante el software ArcGis 10.2 con la herramienta denominado suma ponderada, de donde la variable con mayor peso fue la geomorfología (0.29), seguida de la geología (0.19), uso actual de suelo (0.19), Isoyetas (0.19) y pendientes (0.13).

Como resultado final se obtuvo la susceptibilidad categorizado en 3 clases de acuerdo al criterio de Sakar y Kanungo (2004); reflejando que la mayoría del área de estudio posee una categoría **Baja de 42.8 (Ha)** ubicado en la parte Nor-este, y flanco Oeste, **Media 22.55 (Ha)** predomina en la parte central hacia el Este, y **Alta 9.2 (Ha)** la cual se ubica en gran parte donde se encuentran el material sedimentario perteneciente a la formación Trigal como son arenisca, arcilla y limolitas, pero así mismo en los taludes de las diferentes vías existentes los cuales tienen ángulos que superan los los15° y las laderas de la quebrada S/N las cuales son muy pronunciadas.

Siendo así que nuestra área de estudio si cuenta con una susceptibilidad a deslizamientos no en gran magnitud pero necesario para tener en cuenta para trabajos a futuro, considerando que el crecimiento urbanística cada día va en aumento.

8. CONCLUSIONES

- El levantamiento topográfico a detalle comprendió una superficie total de 74,67 ha, con una longitud de vía de 1,5 Km, cuya zona de estudio se encuentra abarcando entre la cota mayor 2229 m.s.n.m y la menor 2092 m.s.n.m.

- El sector de estudio se encuentra asentado sobre el Basamento de la Unidad Chigüinda la cual corresponde a esquisto sericítico; ya en superficie en la parte S-W aflora material correspondiente a arenisca y arcillas, y en la parte oeste de la zona de estudio se pudo identificar limolitas las cual corresponden a la formación Trigal. Así mismo en la parte norte se encontró un depósito coluvio-aluvial.

- De la interpretación y correlación de los SEV con la geología, se realizó 4 SEV, realizando dos cortes geoeléctricos (1-2 y 3-4) y se pudo identificar que en los dos cortes existe como capa inicial un suelo con boleo producto de la meteorización del esquisto llegando a una profundidad que va desde los (40 cm a 1,5 metros) aproximadamente. Ya en el corte uno se pudo identificar esquisto sano de 12 metros de espesor, más una intercalación de limolita de 9 metros. En el corte dos la segunda capa pertenece a esquisto sano y una de esquisto Arcilloso o meteorizado cuyas profundidades varían a lo largo del corte geo-eléctrico. Corroborando con la geología existe en superficie.

- Geomorfológicamente el área de estudio en la parte Sur-Oeste es muy accidentada, mientras que el Noreste se caracteriza por zonas planas, obteniendo así 11 geo-formas las cuales están comprendidas en las unidades genéticas como fluvial con un área total de 1,96 Ha; Estructural fluvial con un área de 70,26 Ha; Poligenico con 0,82 Ha y otras (escarpes de talud de vía) con 1,64 Ha.

- La pendiente del sector se caracterizó en 3 clases; Baja con 15,6 Ha; Media 40,6 Ha; Alta 18,87 Ha. Determinando que los movimientos en masa se dan más por el tipo de roca y su contenido de agua presente en estos sectores.

- En el mapa de Cobertura Vegetal se pudo determinar 6 categorías, Área sin cobertura vegetal; zonas pobladas (Viviendas, Vías); cultivos; pastos; bosques. Teniendo como mayor porcentaje de pastos con 47,74 % del área de estudio ocasionando infiltraciones de agua, la cual puede aumentar la susceptibilidad a deslizamiento.

- En nuestra zona tomamos a las isoyetas como factor desencadenante debido a que la precipitación provoca la infiltración del agua en laderas y taludes llevando así a la inestabilidad de taludes, donde se determinó una precipitación alta con un rango de (64,81 – 68,16) mm/día.

- En el estudio realizado se determinó que el Método de Evaluación Multicriterio (EMC), constituye una metodología eficiente para la elaboración de mapas de susceptibilidad a deslizamientos, debido a que permite al investigador la manipulación de distintas coberturas cartográficas relativas al problema planteado. La normalización inicial de los mapas a través del Método de las Jerarquización Analítica de Saaty (AHP) permite realizar una síntesis lineal de criterios, disminuyendo la subjetividad que se produce al valorar la información recopilada conforme a otros métodos de análisis.

- En la elaboración del mapa de susceptibilidad se lo realizó en ArcGis 10.2 mediante la herramienta denominado Suma ponderada, de donde la variable con mayor peso fue la geomorfología (0.29), seguida de la geología (0.19), uso actual de suelo (0.19), Isoyetas (0.19) y pendientes (0.13).

- Como resultado final se obtuvo un modelo de susceptibilidad categorizado en 3 clases de acuerdo al criterio de Sakar y Kanungo (2004); los valores obtenidos reflejan que la mayoría del área de estudio posee una categoría Baja de 42.8 (Ha), Media 22.55 (Ha), Alta 9.2 (Ha).

- Se concluyó que el uso de SIG para la manipulación, análisis y procesamiento de mapas temáticos es conveniente, especialmente cuando se requiere manejar una gran cantidad de datos, con fines de producir cartografía aplicada a la gestión y manejo del territorio.

- De acuerdo a la metodología establecida se logró calcular y trazar el área de estudio con ciertos sectores con un nivel alto de susceptibilidad, sin embargo, no es posible la predicción de donde y cuando han de ocurrir, pero se puede prever y evitar disminuir sus efectos en base a obras de mitigación adecuadas.

9. RECOMENDACIONES

- Al momento de realizar el trabajo de campo para las variables tomadas en cuenta como topografía, geología, geomorfología, pendientes, Usos actual del suelo; realizarlos de manera responsable y como mucha exactitud, para así obtener información confiable la cual servirá como base para el análisis de susceptibilidad.

- En lo que corresponde a los SEV tener en cuenta la correcta calibración de los equipos de trabajo, así como de la interpretación correcta de los datos obtenidos ya que de este depende la corroboración geológica levantada en superficie.

- Al momento de dar pesos a las variables para la elaboración del mapa de susceptibilidad, se debe hacerlo con un criterio técnico adecuado, con el fin de obtener datos reales que se hallan reflejados en el campo. Además, es recomendable considerar el efecto que genera el accionar humano, especialmente si se trata de zonas pobladas como en el área de estudio, donde la generación de deslizamientos constituya un alto riesgo de pérdida de vidas humanas, bienes u estructuras.

- Se debe realizar la corroboración de datos en el campo una vez de haber obtenido el mapa de susceptibilidad para obtener un mayor nivel de validez y confiabilidad

- Implementar a cada uno de los deslizamientos las correspondientes medidas de estabilización y control, tales como: zanjas y cunetas de coronación, drenes superficiales y subterráneos, muros de gavión, entre otras; para aumentar el factor de seguridad y disminuir la susceptibilidad en la vía y en las zonas de influencia.

- Se recomienda previamente recopilar la mayor cantidad posible de información base, categorizarla, analizarla y determinar la validez y en lo posible que sea la misma escala.

- Difundir la metodología aplicada a otros sectores de la ciudad de Loja y en lo posible utilizar más variables de incidencia para obtener más confiabilidad en los resultados, así mismo tratar de que estos resultados sean utilizados en el Plan de Ordenamiento Territorial en la toma de decisiones correctas en cuanto a la planificación de expansión urbana, ya que en los últimos años la población se ha ubicado en zonas de alta susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa.

10. BIBLIOGRAFIA

- Abramson, L., Lee, T., Sharma, S., & Boyce, G. (1996). "Slope stability and stabilization methods". Nueva Jersey.
- Alcantara, D. (2007). "Topografía y sus Aplicaciones". Mexico D.F.: Grupo Patria.
- Alvarez, A. A. (2003). "Geofísica aplicada en los proyectos basicos de Ingeniería Civíl".
- Asocioación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería (IAEG). (1990). "Movimientos en masa".
- Ayala, F., & Corominas, J. (2002). "Mapas de Susceptibilidad a movimienots de ladera con técnicas SIG". Madrid - España.
- Btyth, F. G., & FreitasN. (1995). Geología para Ingenieros.
- Cebrian, J. A. (1988). "Aplicaciones de la informática a la Geografía y a las Ciencias Sociales" . Madrid - España.
- Chelotti, L., Acosta , N., & Foster, M. (2009). "Catedra de Geofísica aplicada". Chubut - Argentina.
- Clirsen. (2012). "Analisis de Amenazas por tipo de Movimiento en Masa". Quito - Ecuador.
- Cruden , D. M. (1991). " A simple Definition of a Landslide Bulletin of the International Association of Enginering Geology".
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). “Landslide. Investigation and Mitigation".
- Cueva, G. (2005). "Mapa de unidades Geomorfologicad de la hoya de Loja". Loja - Ecuador.
- Departamento de Desarrollo Regional y Medio ambiente (DDRMA), (1993). "Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación Para el Desarrollo Regional Integrado". Washington, D.C.
- ESRI. "ArcGis". California.
- Estrada, L. (2012). "Geofísica - Sismología para Ingenieros".
- GAD Municipio de Loja. (2014). "Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Loja" . Loja - Ecuador.
- Garcia, López, & Muñoz. (2001). “Aplicación de la prospección geofísica utilizando el método Schlumberger para la exploración del agua subterránea en cantón Los Magueyes, Colonia Santa Lucia, Municipio de Ahuachapan”.

- Gella, N., & Bruggen , j. (1930). "la exploración geofísica del subsuelo". Santiago de Chile.
- Geo Loja. (2007). "Perseptivas del Medio ambiente Urbano". Loja - Ecuador.
- Gonzales de Vallejo, L. (2002). "Tipo de movimientos de ladreas".
- Guaman , G. (2008). "Riesgos Naturales en el Área Urbana de la ciudad de Loja - GAD LOJA". Loja - Ecuador.
- Gustavsson. (2005). "Development of Detailed Geomorphological mapping Sistem and Gis". Suecia.
- Hungerbuhler, D. (1997). "Neogene basins in the Andes of southern Ecuador: evolution, deformation and tectonic implications". Zúrich - Suiza.
- Hungerbuhler, D., Eguez, A., Steinmann, M., Peterson, D., Winkler, W., Helg, U., . . . Hammer, C. (2000). "Neogene Atratigraphy andean Geodynamics of Souther Ecuador".
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2007). "Mejora de los sistemas de cartografía del Territoria Colombiano". Bogota - Colombia.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2013). "Conceptos Cartográficos". Madrid - España.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). SIG. Mexico.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INITER). (2005). Mapas de susceptibilidad " Inestabilidad de Laderas". Managua - Nicaragua.
- Kennerley, J. B. (1982). "Geologia de la Prrovincia de Loja en el sur del Ecuador".
- Kouli, M. (2009). "Landslide hazard zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture" . Creta - Grecia.
- Ojeda, J., & Muñoz, F. (2001). "Evaluación por Fenómenos de Remoción en masa". Colombia.
- Orellana, E. (1982). "Prospección Geoeléctrica en corriente continua". Madrid - España.
- Pérez, A. (2011). "Introducción a los sistemas de información Geografíca y Geotelematica". Girona - España.
- Pietersen, K. (2006). "Multiple Criteria Desicion analysis (MCDA) A tool to support sustainable management of groundwater resources in South Africa". Sudáfrica.
- Saaty, T. L. (1980). "The analytic hierarchy process". . New York: McGraw-hill.

- Sakar, S., & Kanungo, D. P. (2004). "An integrated for landslide Susceptibility Mapping using remote sensing and GIS".
- Suarez , D. J. (1998). "Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales". Bucaramanga - Colombia.
- Suarez, D. J. (2009). Deslizamientos "Análisis Geotécnico". Bucaramanga - Colombia.
- Tambo, W. S. (2011). “Estudio del peligro de deslizamiento del norte de la ciudad de Loja, Provincia de Loja - Ecuador”. La Habana.
- Tarbuck, Lutgens, & Tasa. (2005). "Introducción a la Geología Física". Madrid - España.
- Tricar, J. (2002). "Principes et méthodes of the géomorphologie". París - Francia.
- Vargas, R. (2002). "Evaluación de Susceptibilidad a Deslizamientos". Municipio de Balboa.
- Varnes, D. J. (1978). "Landslides: Analysis and control". Washington, D.C.
- Westen, C. V. (1993). “Application of geographic information system to landslide hazard zonation”.

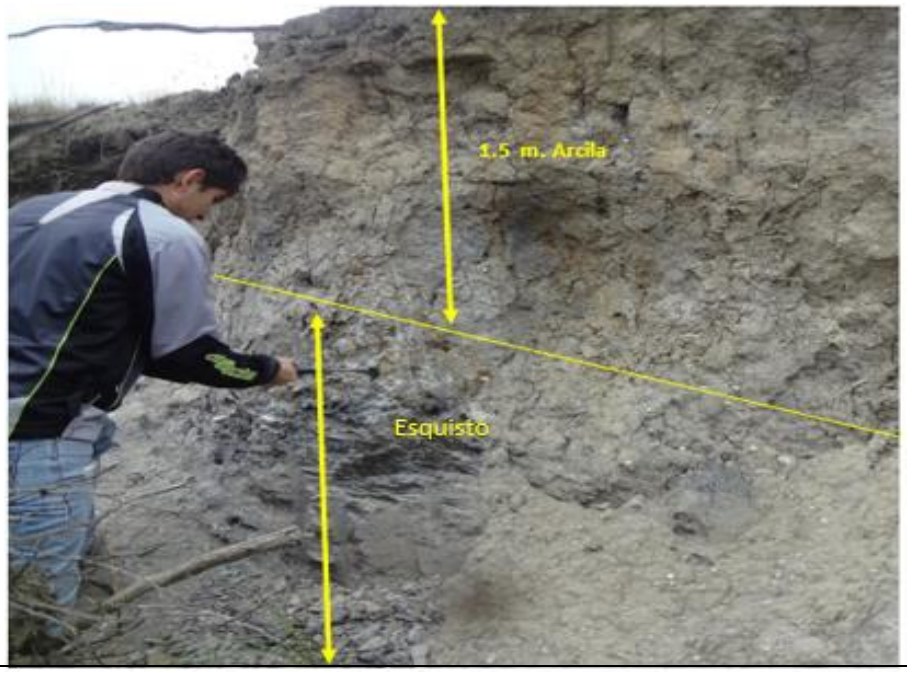
11. ANEXOS

ANEXO N.1: Fichas de afloramientos

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:	1					
RESPONSABLE:	René Morocho					
FECHA:	06 / 09 / 2017					
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 695546		**Y:** 9561980	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Carigán	**Vía de acceso**	***1 orden***	2 orden	Sendero	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	
METEORIZACIÓN:	Bajo Grado de meteorización					
FORMACION:	Trigal					
RUMBO:	N38ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
Consta de 20 cm de suelo con vegetación herbácea tanto en la parte superior como al pie del talud. Areniscas gruesas con coloraciones amarillentas, presentan baja meteorización. Con una alta consolidación y no cuenta con presencia de humedad. Consta con una dirección de buzamiento de 42 ° al SW.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 7m		**ANCHO**: 20m				

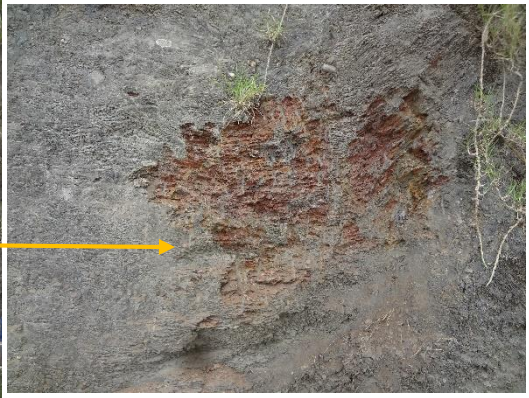
Fuente: Autor

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:		2				
RESPONSABLE:		René Morocho				
FECHA:		06 / 09 / 2017				
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 695526		**Y:** 9562083	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Carigán	**Vía de acceso**	1 orden	2 orden		***Sendero***
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo	Metamórfico	**X**	Sedimentario		**X**
METEORIZACIÓN:	Medio Grado de meteorización					
FORMACION:	Trigal y Chigüinda					
RUMBO:	N38ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
El afloramiento consta de 20 cm de suelo con vegetación herbácea en la parte superior. Existen dos tipos de material la cuales con cuentan con un patrón de estratificación. A 1.50 metros de arcilla color pardo, con baja humedad y plasticidad nula. Las arcillas yacen sobre esquistos sericíticos altamente alterados con color gris oscuro y tonalidades amarillentas y con presencia de cuarcitas de entre 1 a 2 cm de diámetro						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 2m		**ANCHO:** 7m				



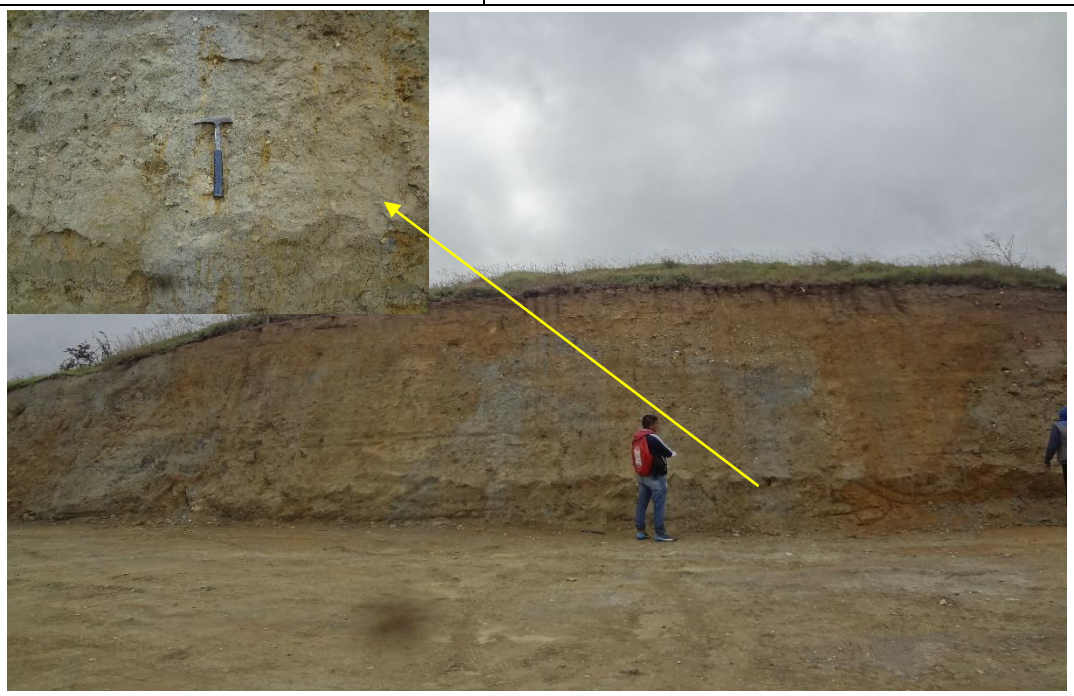
Fuente: Autor

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:	3					
RESPONSABLE:	René Morocho					
FECHA:	06 / 09 / 2017					
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 695418		**Y:** 9562046	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Carigán	**Vía de acceso**	***1 orden***	2 orden	Sendero	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	
METEORIZACIÓN:	Bajo Grado de meteorización					
FORMACION:	Chigüinda					
RUMBO:	N64ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
Presenta pastizales en la parte superior con suelos de 20 cm de espesor, el afloramiento corresponde a esquistos sericíticos con un buzamiento de 22° SW, con alto contenido de óxidos de hierro la cual le produce una Coloración rojiza. Pero con una meteorización baja. Posee una compactación alta. Con alto presencia de cuarcita cuyo diámetro va de 1 a 2 cm.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 4m		**ANCHO:** 18m				



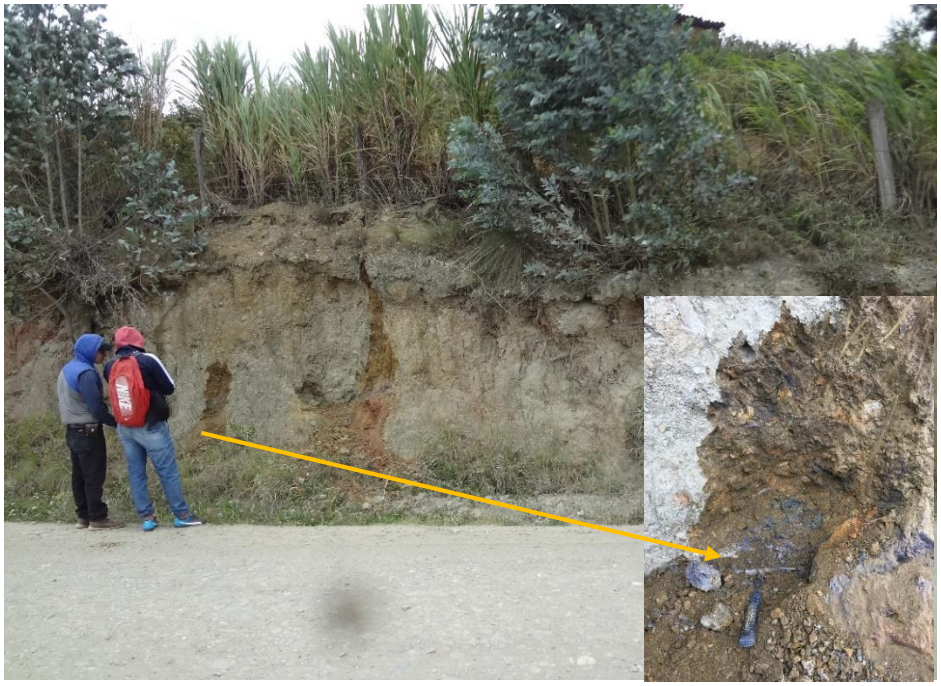
Fuente: Autor

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:	4					
RESPONSABLE:	René Morocho					
FECHA:	06 / 09 / 2017					
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 695803		**Y:** 9562536	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Carigán	**Vía de acceso**	1 orden	2 orden		***Sendero***
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico		Sedimentario	**X**
METEORIZACIÓN:	Grado Medio de meteorización					
FORMACION:	Trigal					
RUMBO:	N85ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
Capa de suelo de 20 cm con vegetación herbácea en la parte alta. El material presente corresponde a Limolitas de color rojizo-amarillento de grano fino poco plásticas medianamente alterada, con un buzamiento de 48°NW. Y presencia muy bajas de esquisto altamente alterado de tonalidades gris Claras, Así mismo cuenta con incrustaciones de cuarcitas que varían entre 1-2 cm.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 3,70m		**ANCHO:** 15,40m				



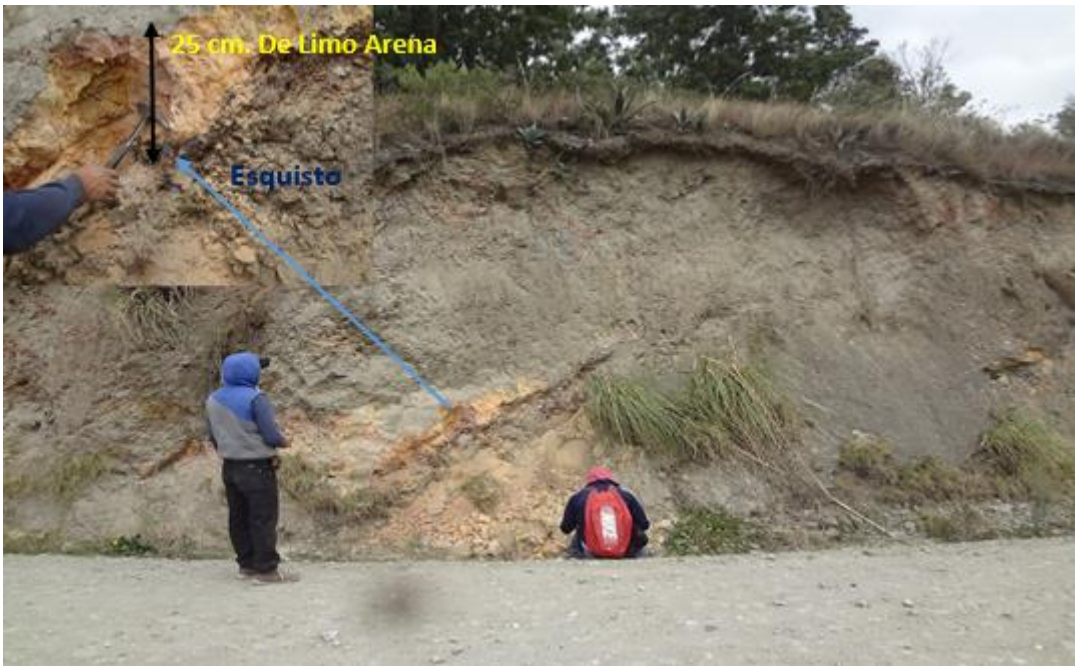
Fuente: Autor

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:		5				
RESPONSABLE:		René Morocho				
FECHA:		06 / 09 / 2017				
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 695926		**Y:** 9562836	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Turupamba	**Vía de acceso**	***1 orden***	2 orden	Sendero	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	
METEORIZACIÓN:	Grado Medio de meteorización					
FORMACION:	Chigüinda					
RUMBO:	N58ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
Capa de suelo de 20 cm con vegetación arbustiva. Material corresponde a esquisto sericítico con variaciones de color de amarillento-rojizo a grises claras debido a la presencia de óxidos de hierro, con un meteorización media. Sin presencia de húmedas y sin un patrón de estratificación.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 4,50m		**ANCHO:** 15,40m				



Fuente: Autor

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:		6				
RESPONSABLE:		René Morocho				
FECHA:		06 / 09 / 2017				
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 696022		**Y:** 9562994	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Turupamba	**Vía de acceso**	1 orden	***2 orden***	Sendero	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	
METEORIZACIÓN:	Alto Grado de meteorización					
FORMACION:	Chigüinda					
RUMBO:	N12ºW					
4. DESCRIPCIÓN:						
30 cm de suelo con vegetación herbácea. Corresponde a esquisto sericítico color Gris claro altamente meteorizado, nada resistente al golpe de martillo, no presenta oxidación. Tiene una intercalación de Material Limo Arenoso de color amarillento. Presentan un contenido de óxidos de Hierro, muy meteorizado, de 25 cm y con un buzamientos de 42° NE.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 2,90m		**ANCHO:** 16,30m				



Fuente: Autor

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:		7				
RESPONSABLE:		René Morocho				
FECHA:		06 / 09 / 2017				
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 695988		**Y:** 9563182	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Turupamba	**Vía de acceso**	1 orden	***2 orden***	Sendero	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	
METEORIZACIÓN:	Bajo Grado de meteorización					
FORMACION:	Chigüinda					
RUMBO:	N75ºW					
4. DESCRIPCIÓN:						
Esquistos con meteorización baja debido a que resistente al golpe del martillo y muy compacto con presencia de óxido hierro la cual le produce un color amarillento, no existe patrón de estratificación. Sin presencia de humedad. Vegetación escaza en la cabeza y pie del talud.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 8,5m		**ANCHO:** 20m				

Fuente: Autor

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:	8					
RESPONSABLE:	René Morocho					
FECHA:	06 / 09 / 2017					
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 696244		**Y:** 9563313	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Turupamba	**Vía de acceso**	1 orden	***2 orden***	Sendero	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	
METEORIZACIÓN:	Alto Grado de meteorización					
FORMACION:	Chigüinda					
RUMBO:	N66ºW					
4. DESCRIPCIÓN:						
50 cm de suelo con presencia de vegetación arbórea en la cabeza del talud y herbácea en el pie del mismo. Presenta Esquistos altamente alterados colores gris claros, con presencia de materia orgánica. Y con presencia de óxidos de hierro baja que da unas alteraciones de colores amarillentas. Con una compactación media. Y sin presencia de humedad.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 1,90m		**ANCHO:** 16,50m				

Fuente: Autor

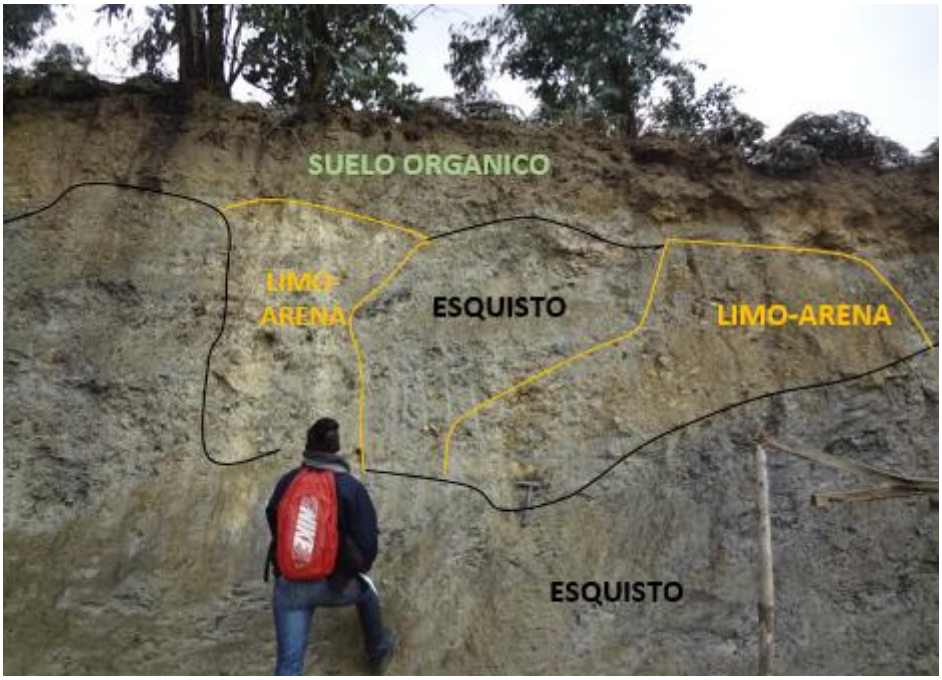
FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:		9				
RESPONSABLE:		René Morocho				
FECHA:		06 / 09 / 2017				
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 695649		**Y:** 9562083	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Carigán	**Vía de acceso**	***1 orden***	2 orden	Sendero	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	
METEORIZACIÓN:	Grado Medio de meteorización					
FORMACION:	Chigüinda					
RUMBO:	N43ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
Infraestructura en la parte superior, pastizales con una pequeña capa de suelo de 40 cm y con vegetación herbácea al pie del talud. Esquisto medianamente alterados, con presencia de óxidos y materia orgánica, color Amarillento rojizo. Poco resistente al golpe del martillo y sin humedad.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 8,55m		**ANCHO:** 35,80m				

Fuente: Autor

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:		10				
RESPONSABLE:		René Morocho				
FECHA:		06 / 09 / 2017				
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 695810		**Y:** 9562234	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Carigán	**Vía de acceso**	***1 orden***	2 orden	Sendero	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	
METEORIZACIÓN:	Grado Medio de meteorización					
FORMACION:	Chigüinda					
RUMBO:	N38ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
Capa de suelo en la parte superior de 30 cm de espesor. Existe un contacto entre esquisto con bajo grado de meteorización y esquisto altamente meteorizado, el primero posee baja cantidad de óxidos de hierros, sin humedad de color rojizo, mientras que el segundo es de color amarillento con porcentajes menores de materia orgánica.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 9,60m		**ANCHO:** 40,80m				

Fuente: Autor

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:	11					
RESPONSABLE:	René Morocho					
FECHA:	07 / 09 / 2017					
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 695757		**Y:** 9562294	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Carigán	**Vía de acceso**	1 orden	2 orden	***Sendero***	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	
METEORIZACIÓN:	Grado Medio de meteorización					
FORMACION:	Chigüinda					
RUMBO:	N22ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
Consta de 30 cm de suelo y presenta vegetación arbórea y herbácea. Está compuesto por esquistos de color gris oscuro sin presencia de óxidos y cero humedades y sin un patrón de estratificación. Con intercalaciones de limo arenas de color amarillento altamente meteorizadas con bloques de esquisto.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 2,4 m		**ANCHO:** 17,30m				



Fuente: Autor

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:		12				
RESPONSABLE:		René Morocho				
FECHA:		07 / 09 / 2017				
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 696036		**Y:** 9562147	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Carigán	**Vía de acceso**	1 orden	***2 orden***	Sendero	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	
METEORIZACIÓN:	Bajo Grado de meteorización					
FORMACION:	Chigüinda					
RUMBO:	N22ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
En la parte superior del talud presenta cultivos, el espesor de suelo de 20 cm. El afloramiento tiene una meteorización nula corresponde a esquistos, resistentes al golpe de martillo, presentan alto contenido de cuarcitas de 2 a 4 cm de diámetro, las cuarcitas se encuentra medianamente oxidadas. Sin contenido de óxidos de hierro y sin humedad.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 1,95m		**ANCHO:** 38,70m				

Fuente: Autor

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:		13				
RESPONSABLE:		René Morocho				
FECHA:		07 / 09 / 2017				
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 695800		**Y:** 9562390	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Carigán	**Vía de acceso**	1 orden	2 orden		***Sendero***
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	**X**
METEORIZACIÓN:	Grado Medio de meteorización					
FORMACION:	Trigal y Chigüinda					
RUMBO:	N58ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
Capa de suelo de 25 cm con vegetación arbórea y arbustiva en la parte alta. El material presente corresponde a material de limolita muy consolidada de color amarillento y presencia de esquisto altamente alterado de tonalidades gris oscura, Presenta una humedad media. Se puede establecer como una Zona de contacto entre contacto entre dos formaciones Trigal y Chigüinda pero sin un patrón definido de estratificación. .						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 10,70m		**ANCHO:** 14,50m				

Fuente: Autor

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:	14					
RESPONSABLE:	René Morocho					
FECHA:	07 / 09 / 2017					
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 696055		**Y:** 9562588	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Carigán	**Vía de acceso**	***1 orden***	2 orden	Sendero	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	
METEORIZACIÓN:	Grado Medio de meteorización					
FORMACION:	Chigüinda					
RUMBO:	N20ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
Presenta escasa vegetación arbórea en la parte superior y escasa vegetación herbácea al pie del talud. El afloramiento corresponde a de esquistos altamente alterado de color gris oscuro, muy poco resistentes al golpe de martillo. Presenta cárcavas producto de la erosión hídrica y una leve oxidación. Sin contenido de humedad. .						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 6,80		**ANCHO:** 35,50m				

Fuente: Autor

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:		15				
RESPONSABLE:		René Morocho				
FECHA:		07 / 09 / 2017				
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 696145		**Y:** 9562433	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Carigán	**Vía de acceso**	1 orden	2 orden	***Sendero***	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	
METEORIZACIÓN:	Grado Medio de meteorización					
FORMACION:	Chigüinda					
RUMBO:	N76ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
20 cm de suelo que Presenta vegetación herbácea en la parte alta del talud como al pie. Esquisto medianamente alterados, con presencia de óxidos y materia orgánica, color gris oscuro con cierta presencia de óxidos que le dan un color amarillento-rojizo. Poco resistente al golpe del martillo y sin humedad.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 2m		**ANCHO:** 11,5m				

Fuente: Autor

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:		16				
RESPONSABLE:		René Morocho				
FECHA:		07 / 09 / 2017				
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 696117		**Y:** 9562799	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Turupamba	**Vía de acceso**	***1 orden***	2 orden	Sendero	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	
METEORIZACIÓN:	Grado Medio de meteorización					
FORMACION:	Chigüinda					
RUMBO:	N58ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
Presenta 30 cm de suelo con vegetación herbácea en la parte alta y en el pie del talud vegetación arbustiva. El afloramiento corresponde a esquisto medianamente alterados, presenta materia orgánica. Y con poca presencia de óxidos de hierros que produce ciertos colores amarillentos en el esquisto, con contenido de humedad baja, presenta cárcavas debido a la erosión hídrica.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 4,50 m		**ANCHO:** 40m				

Fuente: Autor

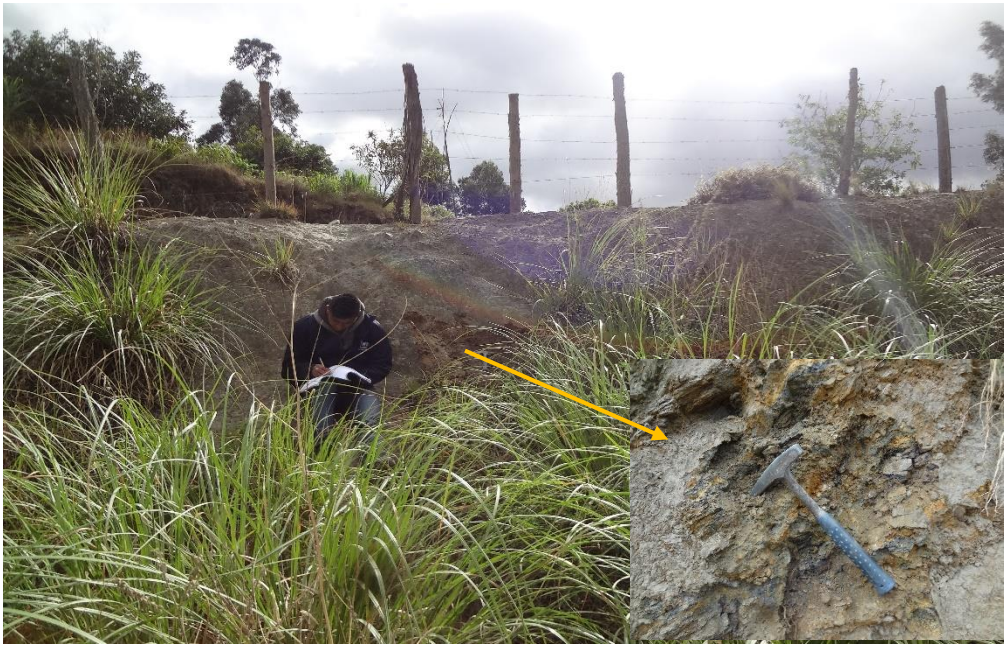
FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:		17				
RESPONSABLE:		René Morocho				
FECHA:		07 / 09 / 2017				
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 696412		**Y:** 9563095	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Motupe alto	**Vía de acceso**	***1 orden***	2 orden	Sendero	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	
METEORIZACIÓN:	Alto Grado de meteorización					
FORMACION:	Chigüinda					
RUMBO:	N47ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
Presenta 30 cm de suelo con vegetación herbácea y arbórea en la parte alta y pie del talud. El afloramiento corresponde a esquistos se encuentran muy alterados, con presencia de óxidos que le dan un color rojizo y con presencia de materia orgánica. Poco resistente al golpe del martillo y sin humedad. Y Sin patrón de estratificación.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 15,30		**ANCHO:** 45,80m				

Fuente: Autor

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:	18					
RESPONSABLE:	René Morocho					
FECHA:	07 / 09 / 2017					
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 696586		**Y:** 9563091	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural	**X**	Antrópico	
SECTOR:	Motupe alto	**Vía de acceso**	1 orden	2 orden	***Sendero***	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	**X**
METEORIZACIÓN:	Alto Grado de meteorización					
FORMACION:	Cuaternario (coluvio-aluvial)					
RUMBO:	N47ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
Presenta 30 cm de suelo con vegetación arbórea y herbácea. El afloramiento contiene matriz limo – arenosa de grano de 0,5 a 1 cm de color amarillento. Y cuarcita que varían entre 1 a 3 cm y bloques de roca de esquisto sericítico de 10 a 25 cm. Altamente meteorizado. Producto de una deposición eólica, coluvial, deluvial y aluvial.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 1,50		**ANCHO:** 23,50				

Fuente: Autor.

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
1. INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°:		19				
RESPONSABLE:		René Morocho				
FECHA:		07 / 09 / 2017				
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:	Loja	**Coordenadas**	**X:** 696364		**Y:** 9563383	
CANTÓN:	Loja	**Afloramiento**	Natural		Antrópico	**X**
SECTOR:	Motupe Alto	**Vía de acceso**	***1 orden***	2 orden	Sendero	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA						
AMBIENTE:	Ígneo		Metamórfico	**X**	Sedimentario	**X**
METEORIZACIÓN:	Grado medio de meteorización					
FORMACION:	Chigüinda					
RUMBO:	N26ºE					
4. DESCRIPCIÓN:						
Presenta 30 cm de suelo con vegetación herbácea en pie del talud. El afloramiento corresponde a esquistos sericítico se encuentran medianamente alterado, con presencia de óxidos que le dan una coloración Amarillenta rojiza y materia orgánica, y sin presencia de humedad.						
5. FOTOGRAFÍA:						
ALTURA: 1,50		**ANCHO:** 13,50				



Fuente: Autor

ANEXO N.2: Ficha de Deslizamientos

DATOS GENERALES			
MOVIMIENTO N.	1	**TIPO DE DESLIZAMIENTO:**	TRASLACIONAL.
COORDENADAS:	X: 695509 Y: 9562006 Z: 2221	**RUMBO:**	N58°W
FECHA:	06/09/2017.	**LOCALIZACÓN:**	BARRIO CARIGÁN

CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO

Longitud (Distancia Promedio desde el escarpe hasta la base): 10 m

Ancho (promedio de la zona): 21.40 m

Profundidad de la superficie de falla: 3m

Profundidad del escarpe: 2 m

Mecanismo: Evento sencillo y rápido ( ) Evento sencillo y lento (**X**)
Evento múltiple y rápido ( ) Evento múltiple y lento ( )

Actividad : Inactivo ( ) Latente ( ) Activo (**X**) Actividad localizada ( )

Estado del escarpe: No Visible ( ) Escarpe evidente (**X**) Escarpe indefinido ( )

Forma del escarpe: No aplicable ( ) Semicircular (**X**) Alongado ( ) Alargado ( )

Área del escarpe: No aplicable ( ) Pequeña (**X**) Mediana ( ) Grande ( )

Vegetación del escarpe: No vegetada ( ) Vegetación escasa ( ) Arbustos ( )
Pastos (X)

Estado de la masa desplazada: Masa intacta ( ) Masa desintegrada (**X**)
Masa en forma de flujo ( ) No Presente ( )

Humedad de la masa desplazada: No Presenta zonas Húmedas ( )
Zonas con Humedad ( ) Zonas Húmedas (**X**)

Vegetación de la masa desplazada: No Aplicable ( ) No vegetada (**X**)
Vegetación escasa ( ) Arbustos ( ) Árboles ( )

Causa probable : Erosión concentrada ( ) Deforestación ( ) Apertura de vía ( )
Presencia de agua (**X**) Cargas de construcción ( ) Discontinuidades ( )

Factor disparador : Desconocido ( ) Lluvias (**X**) Construcciones ( )
Apertura de vía ( )

Daño: No visible ( ) Carreteras (**X**) Residencias ( ) Áreas de Cultivos ( )

Estabilización: No Visible (**X**) Muros ( ) Canales ( ) Drenes ( )
Otros ( )

TIPO DE MATERIAL: Arcilla color Gris Oscura, muy permeable con bajo presencia de óxido y contenido de humedad medio, existen estrías en la parte alta y grietas de desecación al pie.

Fuente: Autor

DATOS GENERALES			
MOVIMIENTO N.	2	**TIPO DE DESLIZAMIENTO:**	TRASLACIONAL.
COORDENADAS:	X: 695683 Y: 9561713 Z: 2190	**RUMBO:**	N26°W
FECHA:	06/09/2017.	**LOCALIZACÓN:**	BARRIO CARIGÁN

CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO

Longitud (Distancia Promedio desde el escarpe hasta la base): 11,25 m

Ancho (promedio de la zona): 24.85 m

Profundidad de la superficie de falla: 4m

Profundidad del escarpe: 1,5 m

Mecanismo: Evento sencillo y rápido ( ) Evento sencillo y lento (**X**)
Evento múltiple y rápido ( ) Evento múltiple y lento ( )

Actividad : Inactivo ( ) Latente ( ) Activo (**X**) Actividad localizada ( )

Estado del escarpe: No Visible ( ) Escarpe evidente (**X**) Escarpe indefinido ( )

Forma del escarpe: No aplicable ( ) Semicircular (**X**) Alongado ( ) Alargado ( )

Área del escarpe: No aplicable ( ) Pequeña (**X**) Mediana ( ) Grande ( )

Vegetación del escarpe: No vegetada ( ) Vegetación escasa ( ) Arbustos ( )
Pastos (**X**)

Estado de la masa desplazada: Masa intacta ( ) Masa desintegrada (**X**)
Masa en forma de flujo ( ) No Presente ( )

Humedad de la masa desplazada: No Presenta zonas Húmedas ( )
Zonas con Humedad ( ) Zonas Húmedas (**X**)

Vegetación de la masa desplazada: No Aplicable ( ) No vegetada (**X**)
Vegetación escasa ( ) Arbustos ( ) Árboles ( )

Causa probable : Erosión concentrada ( ) Deforestación ( ) Apertura de vía ( )
Presencia de agua (**X**) Cargas de construcción ( ) Discontinuidades ( )

Factor disparador : Desconocido ( ) Lluvias (**X**) Construcciones ( )
Apertura de vía ( )

Daño: No visible ( ) Carreteras (**X**) Residencias ( ) Áreas de Cultivos ( )

Estabilización: No Visible (**X**) Muros ( ) Canales ( ) Drenes ( )
Otros ( )

TIPO DE MATERIAL: Capa de suelo de 30 cm en la parte alta con pastizales, el deslizamiento corresponde a arcillas con muy permeables y contenido de humedad alta.

Fuente: Autor

ANEXO N. 3: Ficha de Pocillos

POCILLO 1						
CODIGO	PZ_1					
FECHA:	06/09/2017					
SECTOR:	Turupamba					
VÍA DE ACCESO:	1mer orden		2do Orden		Tercer Orden	x
AMBIENTE GEOLÓGICO	Ígneo		Metamórfico	x	Sedimentario	
COORDENADAS UTM:	X: 696133		Y:9563225		Z: 2145	
DIMENSIONES (m)	Altura: 1.85		Diámetro: 0.75			
FORMACION	Chigüinda					
DESCRIPCIÓN LITOLOGICA	30 cm de suelo, con tienes esquisto muy alterados de color gris oscuro, cantidad mínima de cuarcitas con diámetros que varían de 2 a 3 cm. Existe presencia mínima de materia orgánica y no existe presencia de óxidos ni humedad.					

Fuente: Autor

POCILLO 2						
CODIGO	PZ_2					
FECHA:	06/09/2017					
SECTOR:	Turupamba					
VÍA DE ACCESO:	1mer orden		2do Orden	X	Tercer Orden	
AMBIENTE GEOLÓGICO	Ígneo		Metamórfico	x	Sedimentario	
COORDENADAS UTM:	X: 696260		Y:9563248		Z: 2155	
DIMENSIONES (m)	Altura: 1.80		Diámetro: 0.75			
FORMACION	Chigüinda					
DESCRIPCIÓN LITOLOGICA	50 cm de suelo limo arenoso y consta que bloques de esquisto de varían de 30 – 40 cm, luego una capa de esquisto medianamente meteorizado de color gris oscuro. No presenta humedad y bajo contenido de óxidos. Y con abundante presencia de materia orgánica.					

Fuente: Autor

POCILLO 3						
CODIGO	PZ_3					
FECHA:	06/09/2017					
SECTOR:	Turupamba					
VÍA DE ACCESO:	1mer orden		2do Orden		Tercer Orden	x
AMBIENTE GEOLÓGICO	Ígneo		Metamórfico	x	Sedimentario	
COORDENADAS UTM:	X: 696282		Y:9562766		Z: 2138	
DIMENSIONES (m)	Altura: 1.75		Diámetro: 0.75			
FORMACION	Chigüinda					
DESCRIPCIÓN LITOLOGICA	Esquisto medianamente meteorizado con coloración amarillenta-rojiza debido a la presencia de óxidos de hierros, sin humedad. Con clastos de cuarcitas que varían entre 2 a 4 cm de diámetros, y sin presencia de materia orgánica.					

Fuente: Autor

POCILLO 4						
CODIGO	PZ_4					
FECHA:	06/09/2017					
SECTOR:	Turupamba					
VÍA DE ACCESO:	1mer orden		2do Orden		Tercer Orden	x
AMBIENTE GEOLÓGICO	Ígneo		Metamórfico	x	Sedimentario	
COORDENADAS UTM:	X: 696264		Y:9562457		Z: 2139	
DIMENSIONES (m)	Altura: 1.85		Diámetro: 0.75			
FORMACION	Chigüinda					
DESCRIPCIÓN LITOLOGICA	Esquistos medianamente meteorizados de color amarillento debido a la presencia de óxidos y con leve presencia de materia orgánica, con bajo contenido de humedad. Contiene cuarcitas con diámetros entre 2 -4 cm.					

Fuente: Autor

ANEXO N. 4: Ficha de registro de valores de resistividad en campo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL.

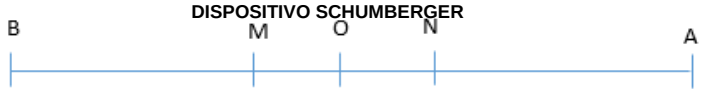
Nombre del Sondaje:

Fecha:

Operador:

Coordenadas:

DISPOSITIVO SCHUMBERGER



DIBUJO UBICACIÓN SEV # =

ESTACIÓN PUNTO	ABERTURA AB/2	ABERTURA MN/2	CONSTANTE (k)	1ra LECTURA	
				N°	RESISTIVIDAD (Ohm-m)
1	1.00	0.20	7.54		
2	1.47	0.20	16.66		
3	2.15	0.20	35.99		
4	3.16	0.20	78.11		
5	4.64	0.20	168.78		
6	4.64	0.50	86.85		
7	6.81	0.20	363.92		
8	6.81	0.50	144.91		
90	10.00	0.50	313.37		
10	14.70	0.50	678.08		
11	14.70	2.00	166.58		
12	21.50	0.50	1454.42		
13	21.50	2.00	359.91		
14	31.60	2.00	781.13		
15	46.40	2.00	1687.79		
16	46.40	5.00	668.52		

ANEXO N. 5: Serie de intensidad de lluvias de las distintas estaciones

LLUVIA MÁXIMA EN 24 HORAS (mm). ESTACIÓN SAN LUCAS- INAMHI												
AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1987	27,9	22,7	19,2	31,1	15,7	4,4	24,9	20,4	21,9	27,6	50,9	20,8
1988	25,4	35,1	15,5	17,4	21,9	9,3	23,2	9,6	14,7	13,2	16,3	17,7
1989	27	45,9	42	8,6	16,6	6,1	6,1	13,6	16,4	28,7	3,5	15,5
1990	20,40	20,94	11,41	15,23	17,48	21,08	14,60	12,50	8,10	21,70	19,33	21,10
1991	15,00	35,70	34,30	23,20	32,30	17,54	48,90	32,50	21,30	13,20	31,10	13,90
1992	16,00	36,30	11,26	17,52	22,00	28,00	31,70	13,60	9,80	48,50	43,50	45,60
1993	16,50	27,80	42,60	18,90	9,60	12,10	12,50	5,90	10,85	17,80	24,19	35,19
1994	37,12	18,40	23,00	12,80	22,70	16,10	15,10	13,10	13,10	10,30	11,30	16,40
1995	7,60	8,70	10,50	31,00	16,10	21,90	4,60	7,00	3,20	4,20	9,30	21,10
1996	25,20	13,10	13,40	10,10	19,50	7,40	29,40	16,10	18,60	36,30	17,20	5,30
1997	7,20	19,30	14,21	19,00	18,10	2,30	17,40	13,20	18,10	18,10	15,30	22,70
1998	13,03	19,70	30,04	15,60	19,20	19,20	19,10	12,50	15,30	17,00	8,20	16,40
1999	18,20	21,60	22,40	21,10	18,20	16,50	12,60	17,20	15,80	9,40	8,10	19,90
2000	18,50	18,10	21,40	18,10	20,10	15,30	15,50	12,40	17,00	12,40	7,00	15,30
2001	15,30	15,40	16,00	14,80	16,40	23,00	13,20	21,10	12,00	13,60	16,70	18,30
2002	22,30	23,34	18,40	13,40	15,40	17,60	12,30	7,00	3,85	12,99	11,12	18,11

LLUVIA MÁXIMA EN 24 HORAS (mm). ESTACIÓN SAN FRANCISO - INAMHI												
AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1976	45,00	29,30	22,70	22,10	24,31	22,91	30,14	34,78	14,13	28,26	40,75	8,83
1977	21,24	32,94	21,09	36,55	32,56	39,00	24,60	19,40	16,10	25,60	13,10	34,40
1978	23,43	30,67	22,55	25,66	27,45	24,34	26,45	29,58	15,67	26,67	16,77	29,89
1979	28,10	15,10	45,10	59,00	26,00	14,20	33,00	57,50	33,90	14,06	22,40	19,38
1980	27,30	19,10	38,00	18,50	18,50	21,30	20,50	19,80	24,40	52,90	31,50	33,80
1981	26,20	27,10	31,70	24,70	23,80	30,40	26,70	28,30	23,40	29,50	39,20	89,50
1982	38,20	25,30	17,70	32,00	31,50	23,30	12,10	14,60	26,90	19,60	57,60	13,20
1983	20,20	34,20	38,70	15,90	61,70	17,70	24,50	9,60	24,30	50,40	21,90	21,50
1984	25,50	32,00	26,80	48,90	35,20	37,80	14,80	13,50	18,50	30,70	13,40	36,80
1985	13,90	31,90	25,90	31,50	60,00	14,30	15,20	26,00	29,20	29,30	33,10	20,50
1986	38,40	21,40	57,60	26,70	16,10	25,60	14,90	20,50	19,30	25,60	25,80	26,90
1987	18,20	28,00	44,30	28,80	34,08	7,64	25,30	16,50	15,20	27,00	25,50	25,51
1988	52,30	41,00	32,80	60,40	26,60	21,90	17,20	20,50	33,10	29,70	31,10	21,71
1989	49,40	21,80	21,70	34,50	25,80	37,60	10,00	41,10	37,80	21,80	15,60	4,10
1990	23,70	26,40	30,90	33,36	23,00	27,40	30,70	12,30	22,10	23,90	35,50	26,90
1991	27,00	44,50	30,50	35,50	29,70	20,80	17,70	19,30	24,50	27,60	22,20	12,70
1992	20,80	22,90	21,30	30,00	29,90	44,30	22,60	25,00	28,10	16,10	41,60	28,60
1993	31,80	48,40	58,37	43,67	19,16	12,98	73,64	14,76	32,36	23,07	38,80	61,88

LLUVIA MÁXIMA EN 24 HORAS (mm). ESTACIÓN LA ARGELIA - INAMHI												
AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1965	11	11,9	3,4	21,3	17,2	12,2	9,4	19,5	43,3	17,6	34,3	29,5
1966	20,4	7,9	19,5	12,9	15,8	20,5	9,5	5,7	10,9	22,7	26,4	23,9
1967	15,7	9,9	11,5	17,1	16,5	16,4	9,5	12,6	27,1	20,2	30,4	26,7
1968	30	18,4	26,5	11,6	10,2	8	25	9,8	55	13	15,2	17,7
1969	28,4	19,5	15	35	14,1	15,5	8,2	18,7	9	9,5	17,8	54
1970	37,2	23,8	28,4	9,5	13,4	30,9	16,6	14,25	32	11,25	16,5	35,85
1971	23,15	23,5	22,1	13	13	11,3	10,2	17,3	6	19,5	14,2	20,2
1972	23,5	30,5	47,7	27,6	15,3	17	13,2	5,3	15,6	18,2	36,2	26,5
1973	22,8	37,3	28,6	11	8,2	27	15,6	13,3	10,8	4,4	13,2	12
1974	27,4	18,3	32	4,5	9	10,8	31,6	6,2	13	15,5	34,2	19,9
1975	13,3	21,3	19,8	12,7	11,2	13,2	22,6	20,6	9,3	21,1	28,9	7,2
1976	24,4	59,4	21,2	40,4	11,6	13,8	13	30,5	3,2	8,4	9,8	7,9
1977	16,5	29,4	18,4	21	15	27,3	9,5	14	18,4	39,9	14,5	17,3
1978	6,4	12,8	63,9	3,4	13,3	20,55	11,6	13,9	16	10	5,4	15,8
1979	10,5	10,3	31,7	16	3,5	7	3,5	7,2	9,5	10,5	9,2	15,8
1980	27,6	20,5	23	50	12,3	13,9	9,6	9,5	4,4	39,5	14	18
1981	28,3	27,2	24,5	18	5	6	14,4	8,1	3,3	39,6	16,8	24,1
1982	30,4	12,2	26,4	48,2	17,3	1,8	6,1	5,3	15,6	34,2	6,5	14,1
1983	39,4	40,8	49,2	24,5	21,6	16,2	15,3	2,2	5	24,2	2,6	27,9
1984	13,4	46,1	65,4	19,9	17,7	16,7	22,3	22,2	16,2	31,7	26,7	10,4
1985	15	21,1	19,2	22,2	26,2	13	10,6	17,6	12,4	19,4	33,7	36,6
1986	7,1	19,5	19,2	18,7	11,4	5,1	6,6	6,1	36,2	11,9	26,4	26,2
1987	27,9	22,7	19,2	31,1	15,7	4,4	24,9	20,4	21,9	27,6	50,9	20,8
1988	25,4	35,1	15,5	17,4	21,9	9,3	23,2	9,6	14,7	13,2	16,3	17,7
1989	27	45,9	42	8,6	16,6	6,1	6,1	13,6	16,4	28,7	3,5	15,5
1990	27,7	25,7	14,7	16,7	13,2	17,9	10,7	10,7	14,5	20,9	22,7	23,8
1991	35,4	59,2	46,1	13,1	15,6	14,9	9,4	21,1	7,4	17	7,8	29,5
1992	15,7	29,1	14,5	19,2	9,1	12	12	4,7	11,6	25,7	19,9	14,8
1993	21,4	22,8	59,7	29	8,9	13,9	28,6	4,5	12,4	18,2	28,4	38,3
1994	53	12,4	53,2	49,1	10	12,7	27,9	20,8	9,5	6,1	16,3	15
1995	10,3	22,2	15,9	11,9	23,1	3	7,3	6,5	11,3	6,3	23,9	26,6
1996	32,1	19,3	45,1	18,5	10,5	26,8	9,2	7,4	8,2	15,1	5	5,4
1997	22,9	19,7	18,3	20,6	14,5	4,3	10,7	7,1	18,3	19,1	24,2	45,3
1998	18,6	37,3	38,7	20	14,2	17,2	10,9	9,1	10,9	28,4	25,6	13,2
1999	32,4	34,8	24,8	14,8	23,1	9	14,8	14,4	24,1	12,7	27,7	14,1
2000	35,2	46,1	25,6	26,8	16,7	18,9	27,2	10,4	13,4	8,5	6,4	10,7
2001	27,8	22,8	13,8	19	8,9	23,8	25,1	32,6	15,7	14,2	56,6	48
2002	31,7	26	14,5	24,4	25,3	9,3	17,5	4,9	3,3	12,1	13,8	21,1
2003	10,4	23,6	38,4	11,5	17	10,2	10,6	2,1	11,8	18,5	10,2	19,8
2004	17,1	40,5	45,8	48,6	10,6	32,5	10	5,6	13,9	37,3	23,8	17,6
2005	13,8	31,3	36,2	20,4	6,9	12,2	2,6	5,7	3,8	27,3	28,4	16,5
2006	26,6	21,2	42,6	16,8	6,4	31,3	24	2,4	5,3	8,1	15,3	12,8
2007	14,6	20,6	21,2	29	25,3	23,6	5,1	37,6	9,9	13,6	17,9	22,2
2008	9,1	41,8	41,4	22,8	18,8	12,8	14	20,4	4,4	27,6	18,2	33,2

LLUVIA MÁXIMA EN 24 HORAS (mm). ESTACIÓN EL TAMBO- PREDESUR												
AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1982	30	71	25	50	30	0	0	0	10	70	25	35
1983	27	28	44	25	42	20	0	0	0	45	17	42
1984	10	55	60	45	25	0	4,3	0	16,5	68,5	45	6
1985	29,9	24	30	18,9	42	0	0	7,2	35	56	11	36,73
1986	28	46,1	31	62	14	0	0	0	34,3	30	35	24
1987	29	38	51	22	30	0	3	0	9	10	65	3,6
1988	42,8	3,5	38	36,6	12	6	7	0	13,9	8	19,9	17,77
1990	36,26	40,28	50,48	57,5	18,7	0	0	0	0	13,5	22	23,89
1991	35	25	82	12	28	6	0	0	25	9	35	30
1995	23,5	23,2	34,5	23	46,9	0	2,5	0	8	57,8	31,2	24,5
1996	49	47,2	34,5	37	14,8	35	50	12	17	88	17,5	4,3
1997	35,6	16,4	27,08	22,26	17,37	3,55	3,64	2,84	9,12	24	17,12	13,98
1998	24,35	27,04	33,9	27,86	21,74	3,6	3,6	34,8	11,2	27,4	18	8,5
1999	42,42	47,11	59,04	48,53	37,87	2,7	4,7	4,7	28,2	22,3	11,9	44,1

ANEXO N. 6: Temperatura Promedio anual de la ciudad de Loja

Datos de temperatura estación LA ARGELIA													
	Enero	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**	**PROMEDIO ANUAL**
2000	16,7	16,6	16,8	16,9	16,9	16,4	15,8	15,3	16,2	16,9	16,3	16,9	16,5
2001	16,9	16,3	17,1	17	17,3	16,4	16,3	15,6	16,5	18,5	17,6	17,9	17,0
2002	16,9	16,6	17	16,9	17,1	16,1	16,3	15,8	17,1	17,2	16,8	17,3	16,8
2003	16	16,7	16,5	16,9	16,4	16,5	15,7	16,8	17,5	18,1	17,5	17,2	16,8
2004	17,4	17,2	16,7	17,5	17,5	15,4	15,8	16,2	16,7	17,4	17,9	17,5	16,9
2005	17	17,6	17,7	17,8	17,1	16,6	16,3	16,6	17,7	17,6	16,4	17,3	17,1
2006	17,3	17,4	17,4	17,4	17,1	17	17	17,3	17,8	18	18,2	18,2	17,5
2007	18	17,4	17,4	18,2	17,2	15,5	16,7	16,1	16,7	16,9	17,1	16,9	17,0
2008	16,5	16,1	16,8	16,8	16,5	16,1	15,1	15,5	16,3	17,1	17,3	17,4	16,5
2009	16,8	16,8	17,2	17,2	16,9	16,5	16,1	16,1	16,7	17,6	17,1	17,9	16,9
2010	16,7	16,7	18	18,4	19,9	16,7	16,8	16,1	16,9	17,4	16,5	17	17,3
											PROMEDIO DÉCADA		**16,9**

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI (Datos de la última década).

ANEXO N. 7: Precipitación Promedio anual de la ciudad de Loja

Datos de precipitación (mm/año): LA ARGELIA													
	Enero	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**	**PRECIPITACIÓN ANUAL**
2000	152,1	178,5	192,1	105	81,8	86,8	37,1	50,3	67,7	31,6	25,4	57,6	1066,0
2001	82,8	116,6	68,3	69,8	67,3	86,9	81,2	52,1	42	35,5	128	98,3	928,8
2002	102	92,2	53,5	126,7	68,2	39,2	62,8	5,9	18,2	67,7	71,4	70,6	778,4
2003	80,3	113,3	188	68,8	92,4	53,9	34,1	6,9	25	73,3	56,5	106,8	899,3
2004	48,1	119	177,6	198,7	46,5	85,4	47,5	12,1	25,2	125,8	95,3	96,3	1077,5
2005	46,4	134,5	173,6	157,6	33	79	15,3	13,4	18,1	86,2	62,5	98,3	917,9
2006	138,1	88,8	188,3	82,7	33,6	78,5	33,7	13,2	22,5	37,2	93,1	90,6	900,3
2007	50,1	66,3	93,5	99,1	80,7	120	11,3	152,4	55	55,7	153,3	77,6	1015,0
2008	62,3	251	237,9	137,8	74,6	51,3	89,5	89,7	20,6	136,4	102,9	126,3	1380,3
2009	133	90,2	134,4	93,1	43,3	29,8	55,7	61,9	55,6	69,7	26	118,4	911,1
2010	59,4	109,6	46,3	75,8	70,7	77,5	31,1	46,2	60,6	34,4	60	81,1	752,7
											PROMEDIO DÉCADA		966,1

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI (Datos de la última década).

ANEXO N. 8:
Mapa Topográfico

ANEXO N. 9:
Mapa y Corte Geológico

ANEXO N. 10: Mediciones Obtenidos en Campo de los 4 SEV

MEDICIONES SEV 1				
ESTACIÓN PUNTO	**ABERTURA AB/2**	**ABERTURA MN/2**	**CONSTANTE k**	**RESISTIVIDAD (ohm-m)**
1	1.00	0.20	7.54	245.02
2	1.47	0.20	16.66	211.19
3	2.15	0.20	35.99	211.54
4	3.16	0.20	78.11	243.98
5	4.64	0.20	168.78	316.37
6	4.64	0.50	86.85	435.79
7	6.81	0.20	363.92	383.51
8	6.81	0.50	144.91	530.60
9	10.00	0.50	313.37	615.54
10	14.70	0.50	678.08	608.75
11	14.70	2.00	166.58	567.44
12	21.50	0.50	1454.42	521.72
13	21.50	2.00	359.91	489.15
14	31.60	2.00	781.13	379.09
15	46.40	2.00	1687.79	263.83
16	46.40	5.00	668.52	

MEDICIONES SEV 2				
ESTACIÓN PUNTO	**ABERTURA AB/2**	**ABERTURA MN/2**	**CONSTANTE k**	**RESISTIVIDAD (ohm-m)**
1	1.00	0.20	7.54	331,.65
2	1.47	0.20	16.66	340.16
3	2.15	0.20	35.99	415.99
4	3.16	0.20	78.11	514.76
5	4.64	0.20	168.78	634.31
6	4.64	0.50	86.85	669.21
7	6.81	0.20	363.92	751.41
8	6.81	0.50	144.91	793.12
9	10.00	0.50	313.37	964.00
10	14.70	0.50	678.08	1063.95
11	14.70	2.00	166.58	965.74
12	21.50	0.50	1454.42	1104.28
13	21.50	2.00	359.91	1004.49
14	31.60	2.00	781.13	905.19
15	46.40	2.00	1687.79	619.75
16	46.40	5.00	668.52	568.00

MEDICIONES SEV 3				
ESTACIÓN PUNTO	**ABERTURA AB/2**	**ABERTURA MN/2**	**CONSTANTE k**	**RESISTIVIDAD (ohm-m)**
1	1.00	0.20	7.54	340.00
2	1.47	0.20	16.66	367.46
3	2.15	0.20	35.99	431.39
4	3.16	0.20	78.11	482.03
5	4.64	0.20	168.78	461.21
6	4.64	0.50	86.85	428.36
7	6.81	0.20	363.92	428.36
8	6.81	0.50	144.91	399.02
9	10.00	0.50	313.37	361.61
10	14.70	0.50	678.08	326.11
11	14.70	2.00	166.58	338.99
12	21.50	0.50	1454.42	281.14
13	21.50	2.00	359.91	294.97
14	31.60	2.00	781.13	233.66
15	46.40	2.00	1687.79	172.24
16	46.40	5.00	668.52	166.09

MEDICIONES SEV 4.				
ESTACIÓN PUNTO	**ABERTURA AB/2**	**ABERTURA MN/2**	**CONSTANTE k**	**RESISTIVIDAD (ohm-m)**
1	1.00	0.20	7.54	270.79
2	1.47	0.20	16.66	260.60
3	2.15	0.20	35.99	302.36
4	3.16	0.20	78.11	365.10
5	4.64	0.20	168.78	454.71
6	4.64	0.50	86.85	419.78
7	6.81	0.20	363.92	468.77
8	6.81	0.50	144.91	435.96
9	10.00	0.50	313.37	545.27
10	14.70	0.50	678.08	577.13
11	14.70	2.00	166.58	482.86
12	21.50	0.50	1454.42	518.00
13	21.50	2.00	359.91	439.00
14	31.60	2.00	781.13	349.28
15	46.40	2.00	1687.79	314.15
16	46.40	5.00	668.52	243.15

ANEXO N. 11: Tabla de referencia de resistividad natural de los materiales

RESISTENCIA DE SUELOS Y ROCAS

Naturaleza del Terreno	Resistividad (ohm-m)
Terrenos Pantanosos	30
Limos	20 – 100
Humus	10 – 50
Turba	5 – 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactadas	100 – 200
Arenas arcillosas	30 – 40
Arenas silíceas	50 - 500
Suelo con boleo cubierto de césped	200 – 3000
Suelo con boleo	300 – 500
Calizas blandas	1500 – 3000
Calizas compactas	100 – 300
Calizas agrietadas	1000 – 5000
Pizarras	500 – 1000
Rocas de cuarzo y mica	800

Fuente: Astier, J. (1982). "Geofísica aplicada a le hidrogeología.

RESISTIVIDAD DE AGUAS Y ROCAS

Tipo de agua y roca	Resistividad (ohm-m)
Agua de mar	0.20
Agua de acuífero aluvial	10 - 30
Agua de fuentes	50 - 100
Arena y gravas secas	1000 - 10000
Arenas y gravas con agua dulce	50 - 500
Arenas y gravas con agua salada	0.5 - 5
Arcillas	2 - 20
Margas	20 - 200
Calizas	300 - 10000
Areniscas arcillosas	50 - 300
Areniscas cuarciticas	300 - 10000
Cineritas, tobas volcánicas	50 - 300
Lavas	300 - 10000
Esquistos grafitosos	0.5 - 5
Esquistos arcillosos o alterado	100 - 300
Esquisto sano	300 - 3000
Gneis, granito alterado	100 - 1000
Gneis, graito sano	1000 - 10000

Fuente: PARASNIS SD. (1970). "Principios de Geofísica Aplicada"

ANEXO N. 12:
Cortes Geo-eléctricos

ANEXO N. 13:
Mapa Geomorfológico

ANEXO N. 14:
Mapa de Pendientes

ANEXO N. 15:
Mapa de Uso Actual del Suelo

ANEXO N. 16:
Mapa de Isoyetas

ANEXO N. 17:

Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos