UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

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

CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

TÍTULO:

"SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE LA VÍA DE INTEGRACIÓN BARRIAL KM. 1,6 AL 2,5 DEL TRAMO CDLA. JULIO ORDÓÑEZ – CONEXIÓN VÍA A MALACATOS; CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA."

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

AUTORA:

Carolina del Rocio Cabrera Ordoñez

DIRECTOR:

Ing. Walter Simón Tambo Encalada Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2015

CERTIFICACIÓN

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.

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 DE LA VÍA DE INTEGRACIÓN BARRIAL KM. 1,6 AL 2,5 DEL TRAMO CDLA. JULIO ORDÓÑEZ – CONEXIÓN VÍA A MALACATOS; CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA"**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, realizado por la señorita egresada; Carolina del Rocio Cabrera Ordoñez, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 20 de Noviembre de 2015

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

AUTORÍA

Yo, **CAROLINA DEL ROCIO CABRERA ORDOÑEZ**, declaro ser autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

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

Firma: …….

Cédula: 1104346612

Fecha: 18 de Diciembre del 2015

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

Yo, **CAROLINA DEL ROCIO CABRERA ORDOÑEZ**, declaro ser autora de la tesis titulada: **"SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE LA VÍA DE INTEGRACIÓN BARRIAL KM. 1,6 AL 2,5 DEL TRAMO CDLA. JULIO ORDÓÑEZ – CONEXIÓN VÍA A MALACATOS; CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA",** como requisito para optar al grado de: **INGENIERO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL,** autorizó 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 18 días del mes de Diciembre del dos mil quince.

Firma: ……

Autor: Carolina del Rocio Cabrera Ordoñez

Cédula: 1104346612

Dirección: Loja (Cdla. del Chofer las Pitas, calle Expreso y Universo)

Correo Electrónico: caritorco@hotmail.com

Teléfono: (07) 2616397 **Celular:** 0990814361

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

Tribunal de Grado: Dra. Silvia Catalina Loaiza Ambuludí, PHD

Ing. Jeanine Elizabeth Azanza González, Mg. Sc.

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la suficiente fortaleza, responsabilidad y sabiduría, para poder culminar un peldaño más en mi vida, y porque tengo la certeza de que siempre va a estar conmigo.

A mi bella hija Valentina Gabriela, quien con su ternura ilumina mis días, mi dulce fortaleza para ti todo mi esfuerzo.

A mis padres: Edmundo y Ricardina por haberme brindado el apoyo y la confianza necesarios y por dirigir mi vida siempre por el camino del bien.

A mis hermanos: Luis, Paulina y Francis que con sus consejos me han ayudado a afrontar los retos que se me han presentado en el trayecto de mi vida.

A la Universidad Nacional de Loja, y a mis estimados maestros, que, a lo largo de mi carrera, me han transmitido sus amplios conocimientos y sus sabios consejos; especialmente al Ing. Walter Simón Tambo Encalada, quien, muy acertadamente, dirigió mi proyecto de tesis.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, sus consejos, su apoyo, su ánimo y su compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

DEDICATORIA

A Dios, verdadera fuente de amor y sabiduría, quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, permitiéndome llegar a este momento tan especial en mi vida.

A mi bella hija que con su amor, su apoyo y su ternura, me dio la fuerza suficiente para llegar a ser una profesional, por ti y para ti todo mi esfuerzo mi bella princesa.

A mis queridos padres, porque gracias a ellos sé que la responsabilidad se la debe vivir como un compromiso de dedicación y esfuerzo.

A mis hermanos, que con su apoyo incondicional me motivaron en todo momento a realizarme como persona y como profesional.

A toda mi familia y amigos por su cariño, apoyo y comprensión que me han brindado en todo el trayecto de mi vida.

La Autora

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA i
CERTIFICACIÓN ii
AUTORÍA iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS. iv
AGRADECIMIENTO v
DEDICATORIA vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS vii
ÍNDICE DE TABLAS ix
ÍNDICE DE FIGURAS xi
ÍNDICE DE GRÁFICAS xiii
1. TEMA 1
2. RESUMEN 2
ABSTRACT 4
3. INTRODUCCIÓN 6
4. REVISIÓN DE LITERATURA 9
4.1. Susceptibilidad a deslizamientos 9
4.1.1. Susceptibilidad 9
4.1.2. Movimientos en Masa 10
4.1.3. Sistemas de Información Geográfica 20
4.1.4. Métodos para el análisis de susceptibilidad por deslizamientos. 22
4.1.5. Topografía 24
4.1.6. Geología 25
4.1.7. Geología Estructural 26
4.1.8. Fotointerpretación 27
4.1.10. Uso actual del suelo 28
4.1.12. Geofísica 28
4.1.13. Geotecnia 30
4.1.14. Clasificación de suelos 32
4.1.15. Mapa de susceptibilidad 36
5. MATERIALES Y MÉTODOS 39
5.1. Materiales 39
5.2. Métodología 40

5.2.1. Levantamiento topográfico a detalle 40
5.2.2. Levantamiento geológico a detalle 44
5.2.3. Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) 45
5.2.4. Ensayo de penetración estándar (SPT) 48
5.2.5. Mapa de pendientes 49
5.2.6. Mapa geomorfológico 49
5.2.7. Mapa de uso actual del suelo 54
5.2.8. Mapa de susceptibilidad 55
6. RESULTADOS 64
6.1. Descripción Biofísica del Sector 64
6.1.1. Ubicación y acceso 64
6.1.2. Uso del Suelo 65
6.1.3. Clima 67
6.1.5. Datos socio – económicos 71
6.2. Análisis de Susceptibilidad en el Sector de Estudio 72
6.2.1. Topografía 72
6.2.2. Geología 73
6.2.4. Pendientes 85
6.2.5. Uso Actual de Suelo 86
6.2.6. Valoración e interpretación de las zonas susceptibles a deslizamientos 88
6.2.7. Interpretación de los sondeos eléctricos verticales 98
6.2.8. Interpretación de los Sondeos de Penetración Estándar (S.P.T.) 107
6.2.9. Geotecnia 108
7. DISCUSIÓN 123
8. CONCLUSIONES 125
9. RECOMENDACIONES 128
10. BIBLIOGRAFÍA 130
ANEXOS 133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de movimientos de masas de acuerdo a Varnes (1978)..... 11
Tabla 2. Clasificación de los suelos por el método SUCS. 35
Tabla 3. Clasificación de los suelos por el método AASHTO. 36
Tabla 4. Coordenadas Geográficas del punto de partida I.G.M. 41
Tabla 5. Coordenadas UTM de los sondeos eléctricos verticales. 46
Tabla 6. Categorías de pendientes..... 49
Tabla 7. Categorías de forma de vertiente..... 51
Tabla 8. Categorías de pendiente 52
Tabla 9. Categorías de desnivel relativo. Tomado de ficha de Fotointerpretación 52
Tabla 10. Categorías de longitud de la vertiente 53
Tabla 11. Categorías de fondo de valle 53
Tabla 12. Ejemplos de unidades geomorfológicas 54
Tabla 13. Asignación de pesos 57
Tabla 14. Asignación de peso por el método de suma de rangos 57
Tabla 15. Asignación de peso por el método de suma de rangos. 58
Tabla 16. Criterios para determinar la susceptibilidad. 59
Tabla 17. Valores de Fs y su correlación con SINMAP..... 63
Tabla 18. Ubicación Geográfica del Sector en estudio 64
Tabla 19. Tipos de clima de la ciudad de Loja..... 68
Tabla 20. Litología de la zona de estudio..... 82
Tabla 21. Geomorfología de área de estudio..... 84
Tabla 22. Área y porcentaje que ocupan las superficies de pendiente. 86
Tabla 23. Área y porcentaje del uso del suelo..... 87
Tabla 24. Pesos asignado a la variable de Geología..... 88
Tabla 25. Pesos asignados a la variable geomorfología 89
Tabla 26. Pesos asignados a la variable de pendiente. 89
Tabla 27. Pesos asignados a la variable de Uso actual del suelo..... 89
Tabla 28. Valores que muestran los pesos asignados a cada variable. 90
Tabla 29. Categorías de la susceptibilidad por el método Heurístico 92
Tabla 30. Parámetros Geotécnicos usados en SINMAP. 94
Tabla 31. Valores de FS y su correlación con el SINMAP. 95
Tabla 32. Categorías de la susceptibilidad por el método determinístico 95
Tabla 33. Sondeos eléctricos verticales en el área de investigación 98

Tabla 34. Lecturas de resistividad SEV 1 99
Tabla 35. Lecturas de resistividad SEV 2 101
Tabla 36. *Lecturas de resistividad SEV 3*..... 102
Tabla 37. *Lecturas de resistividad SEV 4*..... 103
Tabla 38. Perfil estratigráfico del SPT. 107
Tabla 39. Criterios para la determinación y posible catalogación de ARCILLAS EXPANSIVAS a 2.0 metros de profundidad 114
Tabla 40. Pendientes típicas para taludes en terraplenes..... 114
Tabla 41. Valoración de la unidad geotécnica. Valencia Carolina. 2008..... 117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación de los movimientos de masa en función del mecanismo y tipo de material. BGS. Bases de Varnes (1976-1978)..... 12
Figura 2. Tipos de deslizamiento 14
Figura 3. Deslizamiento rotacional. 15
Figura 4. Deslizamiento traslacional. 16
Figura 5 Elementos de un deslizamiento..... 17
Figura 6 Dimensiones de los movimientos en masa. 18
Figura 7 Gráfica de índice de plasticidad para determinar el tipo de suelo. 33
Figura 8 Materiales de campo y oficina. 39
Figura 9 Ubicación del Punto de partida I.G.M. 41
Figura 10 y 11. . Ejecución del Levantamiento Topográfico (Estación Total S6). 42
Figura 12 y 13 Triangulación dada por el Software ForeSigth 2.2.1. y visualización 3D de las curvas de nivel en AutoCAD 2015 respectivamente..... 43
Figura 14 Verificación de la interpolación de las curvas de Nivel generadas por el software ForeSigth en el software ArsGis 10.1 mediante la utilización de la aplicación ArcScense..... 43
Figura 15 y 16 Toma de medidas estructurales y reconocimientos de los geomateriales..... 44
Figura 17 y 18 Delimitación de contactos litológicos en el área de estudio. 45
Figura 19 Syscal Junior/ R1 Plus (Standard & Switch Versión),..... 46
Figura 20 y 21. Configuración Schlumberger..... 47
Figura 22 Durante el desarrollo del Ensayo de Penetración Estándar 48
Figura 23 Fotografía aérea de la zona de estudio..... 50
Figura 24 *Modelo TIN.*..... 50
Figura 25 Flujograma utilizado por la aplicación de Model Builder. 56
Figura 26 Ilustración de cómo opera la herramienta de suma ponderada 59
Figura 27 Diagrama esquemático del modelo de estabilidad del talud..... 61
Figura 28 Flujograma de realización de mapa de susceptibilidad por el método determinístico. 62
Figura 29 Ubicación del sector de estudio. 65
Figura 30 Uso de suelo de la ciudad de Loja 66
Figura 31 Río Malacatos, drenaje del Área de estudio 69
Figura 32 Hidrología de la ciudad de Loja..... 70
Figura 33 Geología *de la cuenca de Loja.* 77

Figura 34 *Talud en la formación Quillollaco.* 78
Figura 35 Talud en la formación Quillollaco. 79
Figura 36 Talud en la formación San Cayetano 80
Figura 37 y 38 Presencia de cárcavas y filtración de agua 81
Figura 39 y 40 Durante el Inventario de Deslizamientos. 82
Figura 41 Análisis secuencial "Model Builder" para la obtención del Mapa Final. 91
Figura 42 Resistividad aparente y corte geo eléctrico del SEV 1 100
Figura 43 Resistividad aparente y corte geo eléctrico del SEV 2 101
Figura 44 Resistividad aparente y corte geo eléctrico del SEV 3 102
Figura 45 Resistividad aparente y corte geo eléctrico del SEV 4 104
Figura 46. Perfil geoeléctrico del corte A-B 105
Figura 47. Perfil geoeléctrico del corte C-D 106
Figura 48 Clasificación de las partículas por su forma y redondeamiento 109

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Litología de la zona de estudio..... 83
Gráfica 2. Geomorfología de área de estudio..... 85
Gráfica 3. Área y porcentaje que ocupan las superficies de pendiente. 86
Gráfica 4. Área y porcentaje del uso actual del suelo 87
Gráfica 5. Categorías de la susceptibilidad por el método Heurístico 92
Gráfica 6. Categorías de la Susceptibilidad por el método Determinístico..... 96
Gráfica 7. Gráfica de sensibilidad – deslizamiento 1..... 121
Gráfica 8. Gráfica de sensibilidad – deslizamiento 2..... 121

1. TEMA

"Susceptibilidad a deslizamientos de la vía de Integración Barrial km. 1,6 al 2,5 del tramo cdla. Julio Ordóñez – conexión vía a Malacatos; cantón Loja, provincia de Loja"

2. RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene la finalidad de identificar y caracterizar las zonas susceptibles a deslizamientos en de la vía de Integración Barrial km. 1,6 al 2,5 del tramo cdla. Julio Ordóñez – conexión vía a Malacatos; cantón Loja, provincia de Loja.

Para poder llevar a cabo este estudio se realizó varios trabajos, tanto de campo, de oficina y de laboratorio, como los levantamientos topográficos, geológicos, geomorfológicos, uso actual del suelo, la caracterización geotécnica a través de los ensayos directos como los SPT (Ensayo de Penetración Estándar) e indirectos SEV (Sondeos Eléctricos Verticales), que nos ayudaron para correlacionar la litología de la zona de estudio, dicha información fue procesada mediante el uso de softwares (ArcGis 10.1., Ilwis 3.7 y ArcView 3.2), lo que permitió obtener el modelamiento para el cálculo de la susceptibilidad a deslizamientos.

Con la finalidad de hacer una comparación se realizó el cálculo de las zonas susceptibles a deslizamiento, mediante dos métodos, el método Heurístico, que se basa en la asignación de pesos, para las variables del mapa de susceptibilidad, agrupando a las variables de la siguiente manera: Geología (0.4), Geomorfología (0.3), Pendientes (0.2), Uso de Suelo (0.1); y el método Determinístico, que se basa en el cálculo de factor de seguridad (FS), que parte de la obtención de un modelo digital de terreno DTM en el software Ilwis, calibrado y modelado en el software ArcGis 10.1 siendo los parámetros más importantes el ángulo de fricción interna y cohesión de los suelos.

Como resultado final, la susceptibilidad a deslizamientos en la zona de estudio por el método heurístico, se determinó que del total de la superficie de la zona de estudio, el 10,17% corresponde a susceptibilidad muy baja, el 16,80% a baja susceptibilidad, el 24,36% a media susceptibilidad, el 28,41% a alta susceptibilidad y el 8,96% a susceptibilidad muy alta.

Por el método determinístico se obtuvo: Zona umbral más alto de la estabilidad con 11,54%, Zona umbral más bajo de la estabilidad con 22,63%, Zona casi estable con

8,35%, moderadamente estable 4,25% y estable con 53,23%. Lo cual se puede corroborar en la zona de estudio, ya que se conoce y se puede evidenciar estas categorías las que se relacionó con la caracterización de los geomateriales sobre la base de propiedades físico-mecánicas y SPT de los suelos.

Lo que se pretende con los resultados obtenidos, es que sean aplicados como una base en la toma de decisiones en los procesos de planificación, principalmente en los que respecta a la construcción de viviendas.

ABSTRACT

The present thesis work aims to identify and characterize the zones susceptible to landslides on the route of the Neighborhood Integration km. 1.6 to 2.5 of the stretch of Julio Ordóñez citadel – connection to Malacatos pathway; Canton Loja province of Loja.

In order to carry out this study various works were done, both in the field, office, and laboratory such as topographical surveys, geological, geomorphological, current land use, the geotechnical characterization through the direct assays such as SPT (Standard Penetration Test) and indirect SEV (Vertical Electrical Sounding) which helped us to correlate the lithology of the area under study, such information was processed through the use of softwares (ArcGIS 10.1., Ilwis ArcView 3.7 and 3.2), which allowed us to obtain the modeling for the calculation of landslide susceptibility.

With the aim of making a comparison the calculation of the zones susceptible to sliding were performed, through two methods, the Heuristic method, based on the assigning of weights, for the variables of the susceptibility map, grouping the variables in the following manner: Geology (0.4), Geomorphology (0.3), Slopes (0.2), land use (0.1); and the Deterministic method, which is based on the calculation of the safety factor (SF), which originates from the obtention of a digital terrain model DTM in the Ilwis software, calibrated and modeled in the ArcGIS 10.1 software being the most important parameters of the internal friction angle and cohesion of the soil.

As a final result, the susceptibility to landslides in the area under study by the heuristic method, was determined that from the total of the surface of the area under study, the 10.17% corresponds to very low susceptibility, the 6.80% to low susceptibility, the 24.36% to half susceptibility, the 28.41% to high susceptibility and the 8.96% to very high susceptibility.

By the deterministic method there was obtained: Higher threshold Zone of stability with 11.54% low threshold Zone of stability with 22.63% almost stable Zone with 8.35%, moderately stable 4.25% and stable with 53.23%. Which can be

corroborated in the area under study, since it is known and can be evidenced these categories those that were related to the characterization of the geomaterials on the basis of physico-mechanical properties and SPT of the soils.

What is intended with the obtained results, is that they are applied as a basis in the decision-making in the processes of planning mainly in the ones that regard to the housing construction.

3. INTRODUCCIÓN

La susceptibilidad a deslizamientos es la característica inherente que presenta o puede presentar un accidente geográfico (talud o ladera), debido a las características intrínsecas, físicas y geomorfológicas que posee, considerando a un deslizamiento como un riesgo geológico de origen natural o inducido que debe tenerse en cuenta en la planificación del territorio.

Los estudios de zonas susceptibles a deslizamientos, permiten zonificar zonas propensas a sufrir algún tipo de movimientos de masa, ocasionados por los procesos geodinámicos; con el objetivo de prevenir y mitigar los riesgos geológicos.

El presente proyecto de tesis está encaminado a determinar las zonas susceptibles a deslizamientos, de la vía de Integración Barrial en el kilómetro 1,6 al 2,5 del tramo Cdla. Julio Ordóñez – conexión vía a Malacatos del cantón Loja, provincia Loja, la zona de estudio tiene un área de 44,5 hectáreas y aproximadamente 0,9 Kilómetros lineales a 200 metros del eje de la vía de Integración Barrial "Ángel Felicísimo Rojas".

En este contexto, mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG),se llevó a cabo el desarrollo del proyecto en donde se logró obtener datos a detalle y con exactitud de la zona de estudio, es así que se identificó las siguientes características: las cotas van desde 2149 a 2282 m.s.n.m, presenta terrenos moderadamente escarpados con un 62.02% en su mayoría, se encuentra sobre dos formaciones geológicas, la formación Quillollaco en la que predominan conglomerados de matriz limo-arcillosa con intercalaciones de areniscas y arcillas arenosas es la formación más predominante del sector de estudio y la formación San Cayetano que presenta arcillolitas altamente saturadas con intercalaciones de areniscas finas.

Geomorfológicamente predominan las superficies de cuesta con un 5,6%, superficie plana ondulada con un 7,6%, relleno con un 7,9% y ladera cóncava suave con un 9,8%; el uso actual de suelo que predomina en la zona de estudio se destina a pastos con un 39,94% y zona arbustiva con un 22,68% respectivamente. Con el análisis final

de la susceptibilidad por los métodos Heurístico y Determinístico da como resultado que en la zona que ocupa mayor porcentaje en el método Heurístico es la de alta susceptibilidad con un 28,41% y por el método determinístico es la Zona estable con un 53.23% respectivamente.

En la actualidad se han propuesto normas vigentes en el Ecuador, con el fin de la zonificación y ordenamiento del territorio, lo que han conllevado a que se hagan más indispensables los estudios de susceptibilidad a deslizamientos.

3.1. Objetivos

3.1.1. Objetivo General

✓ Realizar el mapa de susceptibilidad a deslizamientos para el área de influencia de la vía de Integración Barrial abscisa 1+ 600 a 2+500 del tramo Cdla. Julio Ordóñez – conexión vía a Malacatos; cantón Loja, provincia de Loja.

3.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento topográfico y geológico a detalle, 200 metros a cada margen del eje de la vía de Integración Barrial, identificando los principales rasgos litológicos, geomorfológicos y estructurales.

- Determinar el valor de la resistividad, y estratigrafía del subsuelo e inferir la profundidad de nivel freático mediante el sondeo eléctrico vertical (SEV), a partir de mediciones en superficie.

- Elaborar el mapa de susceptibilidad a deslizamientos con la información obtenida del sector de estudio

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Susceptibilidad a deslizamientos

4.1.1. Susceptibilidad

Soeter y Van Westen (1996) definen a la susceptibilidad, como la posibilidad de que un fenómeno ocurra en un área de acuerdo con las condiciones locales del terreno, y especifican que factores detonantes tales como precipitación o sismicidad no son considerados.

Ayala, F.J., Corominas, J, (2002), en su libro Mapas de Susceptibilidad a los Movimientos de Ladera con Técnicas SIG explican*:*

La susceptibilidad está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada por movimientos de ladera por desestabilización, determinada a través de un análisis comparativo de factores condicionantes y/o desencadenantes, cualitativo o cuantitativo, con las áreas movidas o alcanzadas, análisis que se materializa normalmente en forma de mapa de susceptibilidad.

Guzzetti (2005), indica que la susceptibilidad es "la propensión de un área para generar deslizamientos; y según este mismo autor en la forma matemática la describe como la probabilidad de ocurrencia espacial de conocido deterioro en la pendiente, dando un grupo de condiciones geoambientales".

J. Suarez, (2009). Sustenta que 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. El mapa de susceptibilidad clasifica la estabilidad relativa de un área, en categorías que van de estable a inestable. La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como una lluvia o un sismo no se considera en un análisis de susceptibilidad.

4.1.2. Movimientos en Masa

De acuerdo a Varnes, (1978) señala, que 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.

Así también Brunsden D., Prior D.B., (1979) define "los procesos de remoción en masa involucran el movimiento de los materiales formadores de las laderas, bajo la influencia de la gravedad y sin la asistencia primordial de algún agente de transporte fluido".

Gray y Sotir, (1996) mencionan que los movimientos en masa son procesos esencialmente gravitatorios, por los cuales una parte de la masa del terreno se desplaza a una cota inferior de la original sin que medie ostensiblemente medio de transporte alguno, siendo tan solo necesario que las fuerzas estabilizadoras sean superadas por las desestabilizadoras. Este tipo de procesos gravitatorios se interrelacionan mutuamente con las precipitaciones altas, de tal forma que frecuentemente las lluvias torrenciales son causantes y/o precursoras de los movimientos en masa, ya que aumentan las fuerzas desestabilizadoras y reducen la resistencia del suelo al deslizamiento.

De acuerdo Ayala (2002) define: 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.

4.1.2.1. Clasificación de los Movimientos en masa

Existen muchas clasificaciones de los movimientos de masa, las cuales se aplican según su finalidad y el medio rocoso donde suceden, condiciones hidrogeológicas, velocidad y magnitud del movimiento. Algunas de las clasificaciones más usadas son dadas por González Vallejo 2002, Hutchinson 1988, EPOCH 1993, Dikau 1996, con diversos criterios y fines, sin embargo para el presente estudio se tomó la clasificación según Varnes 1984, que se expone a continuación: (**Tabla 1**).

Tabla 1. Clasificación de movimientos de masas de acuerdo a Varnes (1978)

TIPO DE MOVIMIENTO		TIPO DE MATERIAL		
		ROCA	SUELO	
			DE GRANO GRUESO	DE GRANO FINO
Caídas		Caídas de rocas	Caídas de detritos	Caídas 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.

La clasificación normalizada y mundialmente reconocida, esta descrita por British Geological Survey (Servicio Geológico Británico-BGS-) y el USGS por sus siglas en inglés (United States Geological Survey). En la **Figura 1** se indica el esquema gráfico de la clasificación de los movimientos en masa.

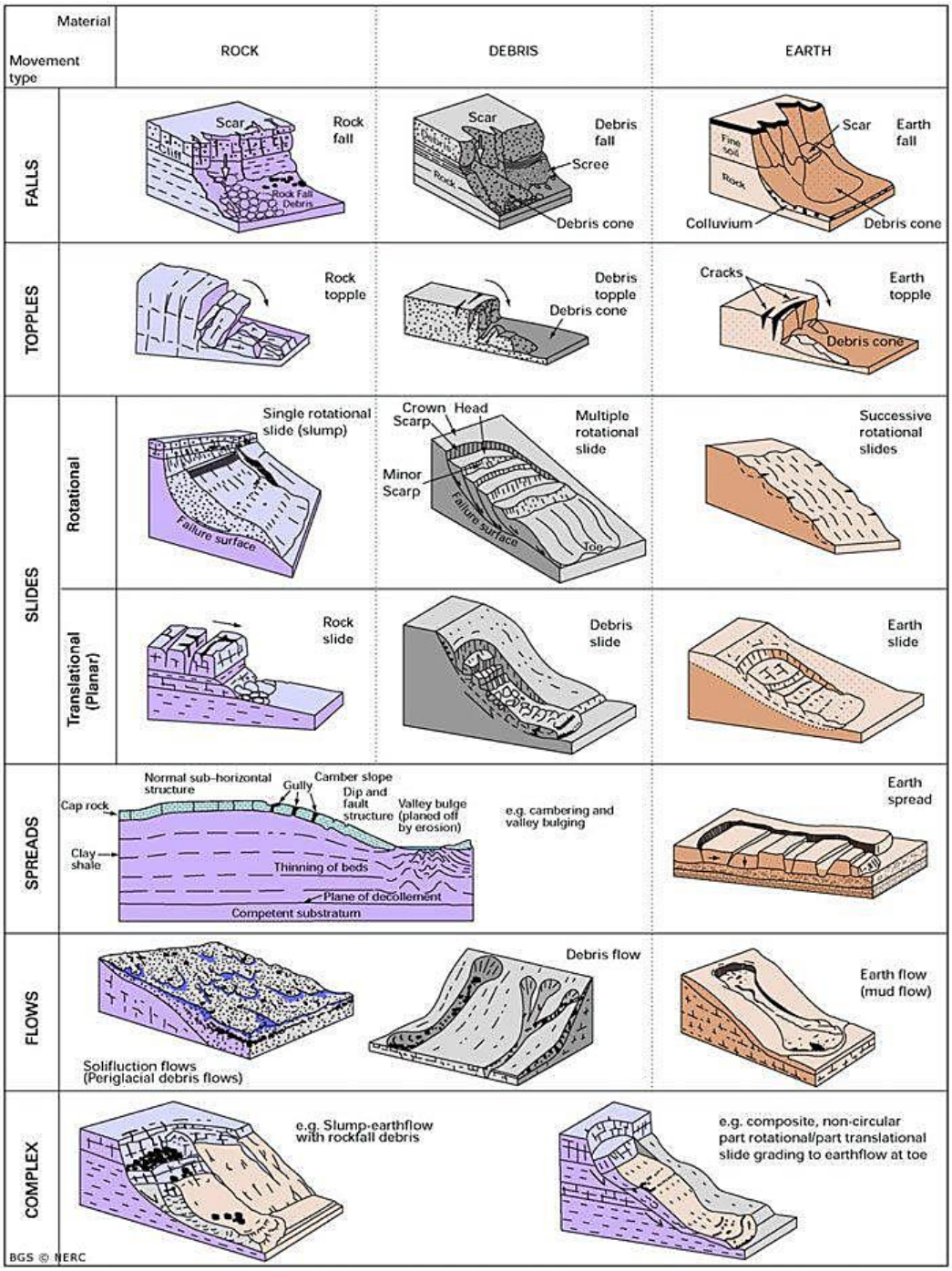


Figura 1 Clasificación de los movimientos de masa en función del mecanismo y tipo de material. BGS. Bases de Varnes (1976-1978).
Fuente: British Geological Survey (Servicio Geológico Británico-BGS-).

4.1.2.2. Deslizamientos (slides)

Sharpe (1938) define a un deslizamiento como "una caída perceptible o movimiento desencadenante de una masa relativamente seca de tierra, roca o combinación de ella".

Crozier, (1986) en su publicación señala "un deslizamiento se define como el movimiento gravitacional hacia el exterior de la ladera y descendente de tierras o rocas sin la ayuda del agua como agente de transporte"

Es el movimiento de una masa de roca, detritos y *debris* o tierra, pendiente abajo. La ocurrencia de los deslizamientos es consecuencia de un complejo campo de esfuerzos (stress es un esfuerzo por unidad de área el cual es activo sobre una masa de roca o suelo). (Cruden, 1991).

Cruden & Varnes, (1996) señala otro concepto: "es un movimiento ladera abajo de una masa de suelos o rocas, que ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de ruptura o zonas relativamente delgadas de intensa deformación cortante".

El término deslizamiento ha sido definido como el movimiento de una masa de roca, escombros o tierra a lo largo de una ladera. Son modificaciones del terreno dentro del ciclo geomorfológico continuo, y que corresponden a la respuesta normal del sistema debido a complejos parámetros exogénicos (meteóricos) y endogénicos (tectónicos). (Aristizábal y Yokota, 2005).

Igualmente para Aristizábal y Yokota, (2005) detalla que los terrenos inestables se originan cuando en las pendientes naturales decrecen, la capacidad para resistir las fuerzas de gravedad, las cuales entran en fases de desequilibrio a causa de las modificaciones geométricas del relieve, originadas por factores como la disminución de la cohesión interna, la presión del agua, etc. Pueden movilizarse de forma lenta, rápida y extremadamente rápida, según la topografía, el tamaño de la masa de suelo o roca afectada, el modo de falla y la acción del agua, entre otros factores. Pueden activarse o acelerarse a causa de terremotos, erupciones volcánicas, precipitaciones, aumento de nivel de aguas subterráneas, por erosión y socavamiento de los ríos.

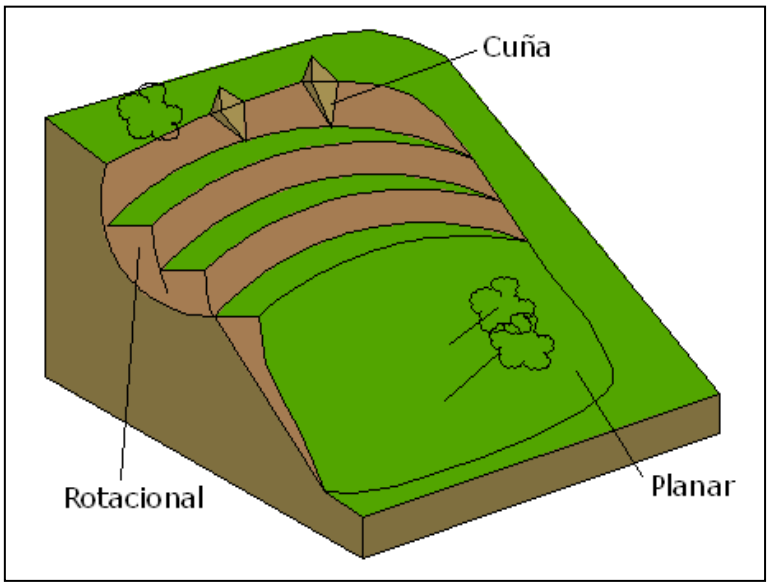


Figura 2. Tipos de deslizamiento
Fuente: Corominas y García Yagüe, 1997

4.1.2.3. Tipos de Deslizamientos

- **Deslizamientos rotacionales (rotational slides, slumps).**

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva, caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es auto estabilizante, y este ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas. (Cruden y Varnes, 1996).

Eventualmente se da en terrenos homogéneos, isotrópicos, cohesivos. Su ocurrencia en la naturaleza es rara en estado puro o efímera, pues rápidamente evoluciona hacia mecanismos combinados. Este tipo de movimientos pueden involucrar tanto volúmenes pequeños como volúmenes grandes de material. Las velocidades de propagación de la masa deslizada pueden ser también muy variables.

La rotura se produce a lo largo de una superficie curvilínea y cóncava. El terreno experimenta un giro según un eje situado por encima del centro de gravedad de la masa deslizada. El material de cabecera efectúa una inclinación contra ladera, generando depresiones donde se acumula el agua e induce nuevas reactivaciones. Este tipo de mecanismo es característico de suelos cohesivos homogéneos y de macizos rocosos intensamente fracturados. En materiales arcillosos, especialmente si hay presencia de agua, el pie puede evolucionar hacia un deslizamiento de tierras o colada de tierras.

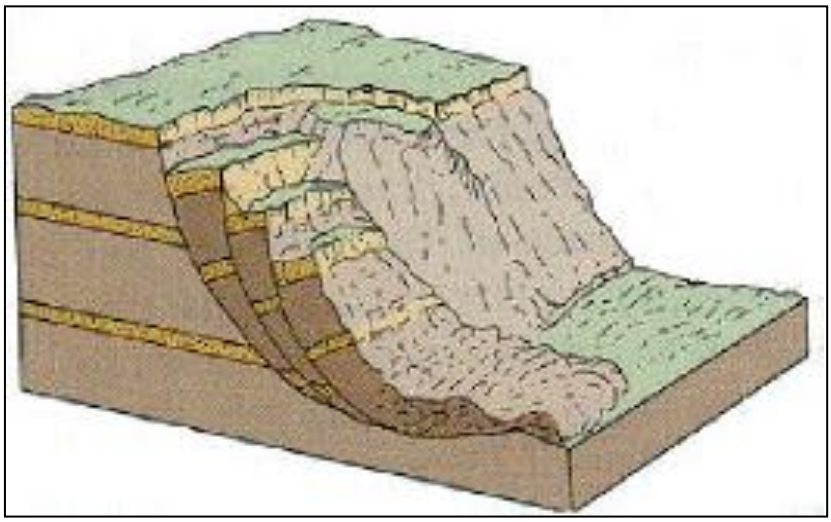


Figura 3. Deslizamiento rotacional.
Fuente: Skinner & Porter, 1992.

- **Deslizamientos traslacionales (translational slides).**

En efecto García Yagüe, (1966) define "deslizamientos traslacionales de bloques de suelo o roca sin apenas trocearse, sobre superficies únicas en macizos rocosos se han denominado resbalamientos o deslizamientos planos".

Cuando la superficie de rotura está formada por dos planos que obligan a la masa rocosa contenida a desplazarse según la línea de intersección, se forma un deslizamiento en cuña. Las roturas de cuñas no suelen alcanzar grandes dimensiones debido a que la intersección de planos de gran penetración en el macizo rocoso es infrecuente. (Hoek y Bray, 1981).

Según Cruden y Varnes (1996) señalan que es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de deslizamiento es plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella. En los casos en que la traslación se realiza a través de un solo plano se denomina deslizamiento planar.

El deslizamiento en cuña es un tipo de movimiento en el cual el cuerpo del deslizamiento está delimitado por dos planos de discontinuidad que se interceptan entre sí e interceptan la cara de la ladera o talud, por lo que el cuerpo se desplaza bien siguiendo la dirección de la línea de intersección de ambos planos, o el buzamiento de uno de ellos.

Tiene lugar a lo largo de una superficie de rotura plana u ondulada. La masa deslizada puede proseguir por la ladera. Los componentes de la masa desplazada se mueven a la misma velocidad y siguen trayectorias paralelas. A medida que un deslizamiento traslacional progresa puede romperse, en particular si aumenta la velocidad. Entonces, la masa disgregada deviene un flujo.

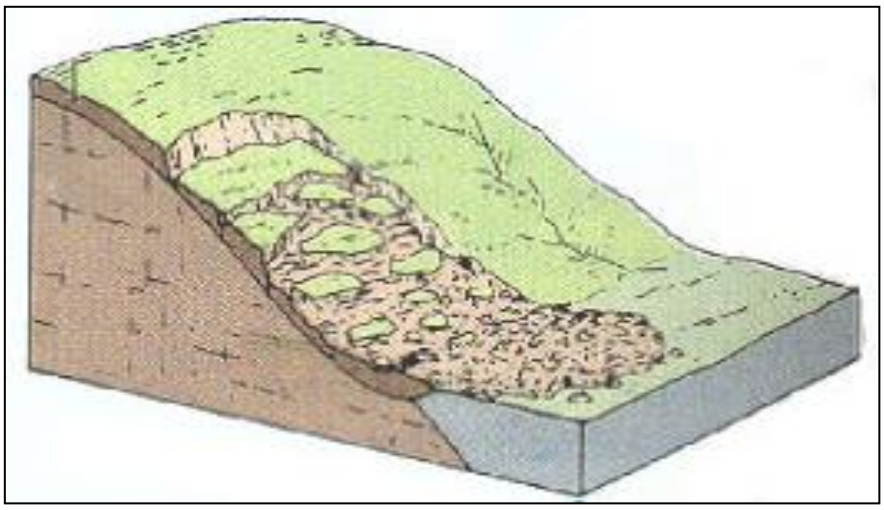


Figura 4. Deslizamiento traslacional.
Fuente: Skinner & Porter, 1992.

4.1.2.4. Elementos de un deslizamiento

Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Algunos segmentos del talud o ladera pueden moverse hacia arriba, mientras otros se mueven hacia abajo. Los elementos que conforman un deslizamiento establecidos según Varnes (1978) son los siguientes:

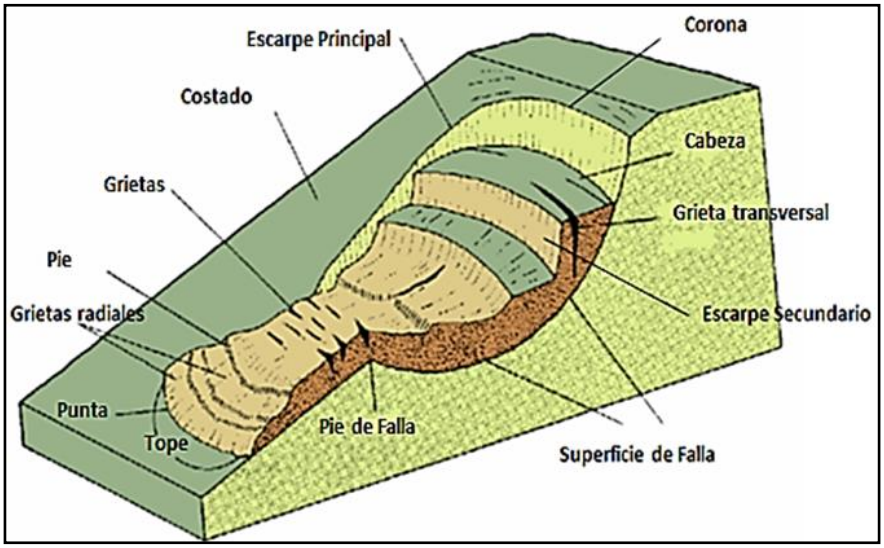


Figura 5 Elementos de un deslizamiento.
Fuente: Varnes, DJ, 1978

Escarpe principal: Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.

Escarpe secundario: Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.

Cabeza: Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal. Los siguientes elementos son:

- **Cima:** El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

- **Corona:** El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.
- **Superficie de falla**: Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.
- **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.
- **Costado o flanco**: Un lado (perfil lateral) del movimiento.

4.1.2.5. Dimensiones del deslizamiento

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada por el IAEG en 1990 como se muestra en la **Figura 6.**

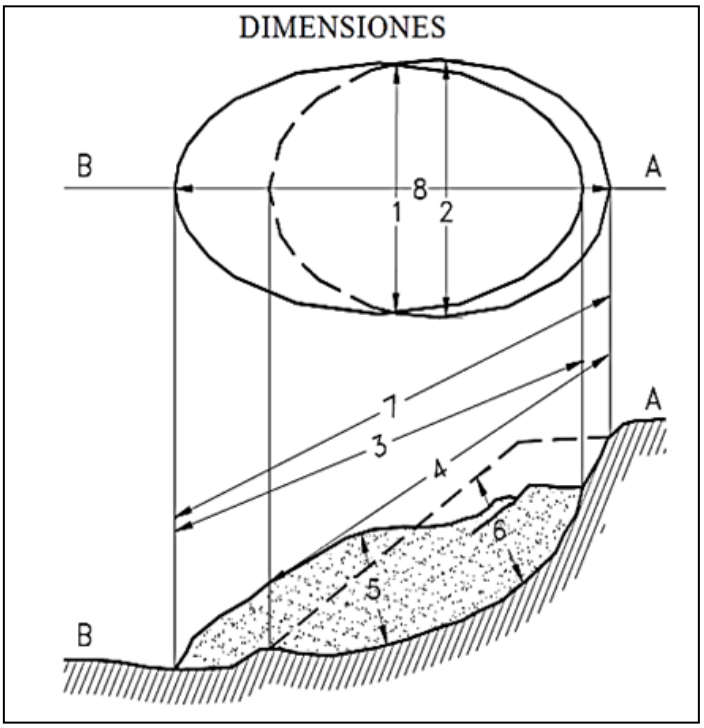


Figura 6 Dimensiones de los movimientos en masa.
Fuente: IAEG Commission on Landslides 1990.

- **Ancho de la masa desplazada Wd.-** Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud, Ld
- **Ancho de la superficie de falla Wr**.- Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud Lr.
- **Longitud de la masa deslizada L**d.- 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 del deslizamiento.
- **Longitud de la línea central Lcl.-** Distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales o flancos.

4.1.2.6. Factores que determinan el proceso de deslizamiento.

- **Clima:** De acuerdo a las características que presenta puede favorecer a la inestabilidad del sub suelo al aportar una suficiente.
- **Cantidad de agua**: Si llega a superar la capacidad de infiltración del deslizamiento.
- **Relieve:** Presencia de laderas con pendientes pronunciadas que incrementan el riesgo a los deslizamientos.
- **Geología:** Aporta un número de parámetros importantes para comprender la desestabilización de las laderas, algunos de los cuales se mencionan a continuación:

  - ***Litología*:** los tipos de rocas y la calidad de los suelos determinan en muchos casos la facilidad con la que la superficie se degrada.
  - ***Estructuras*:** determinan zonas de debilidad (fallas o plegamientos), o la colocación de los materiales en posición favorable a la inestabilidad.
  - ***Sismicidad*:** las vibraciones provocadas por sismos pueden ser lo

suficientemente fuertes como para generar deslizamientos.

- ***Vulcanismo:*** El elemento disparador de inestabilidad tanto por la propia actividad volcánica, como por la acumulación progresiva de materiales fragmentarios.

- **Factores Antrópicos**: La actividad constructiva y/o destructiva del hombre, contribuye a provocar o acelerar los fenómenos nombrados, cuando la actividad humana se realiza sin una adecuada planificación.

Otros aspectos que influyen relevantemente son, en primer lugar la ausencia de capacitación de la población ante tales amenazas y en segundo lugar la inexistencia de medidas de control y mitigación.

4.1.3. Sistemas de Información Geográfica

Así según Cebrian, (1988) "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".

Whitten, Benthley y Barlow (1996) expresan que los SIG como una disposición de personas, actividades, datos, redes y tecnologías integradas entre sí con el propósito de apoyar y mejorar las operaciones cotidianas de una empresa, así como satisfacer las necesidades de información para la resolución de problemas y la toma de decisiones por parte de los directivos.

Por otra parte Huxhold y Levinsohn, (2001) en su obra Sistemas de Información Geográfica señala: "Los SIG son un conjunto de hardware, software, datos geográficos, personas y procedimientos; organizados para almacenar, actualizar, analizar y desplegar eficientemente rasgos de información referenciados geográficamente".

Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia (2004) define a los SIG como: “herramientas que ayudan en la resolución de problemas. De forma general, están compuestos por un conjunto de metodologías, procedimientos y programas informáticos especialmente diseñados para manejar información geográfica y datos temáticos asociados”.

Funcionalmente se puede definir como un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos, espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión. Las primeras aplicaciones con "prototipos” de SIG en zonificación de peligrosidad/susceptibilidad a deslizamientos datan de los años 2014.

4.1.4. Métodos para el análisis de susceptibilidad por deslizamientos.

Van Westen et al., 1999; Guzzetti et al., 1999 determinan:
Existen diferentes formas de realizar el mapeo de las áreas susceptibles por procesos de remoción en masa. De hecho, la identificación de tales movimientos es considerada en sí misma un mapeo de áreas susceptibles -teniendo en cuenta que futuros movimientos de laderas tienen alta probabilidad de ocurrir donde ya ocurrieron en el pasado. Sin embargo, en los últimos años hubo grandes progresos en la investigación y documentación de otros métodos, tales como: **los estadísticos, heurísticos y determinísticos**, en virtud de la necesidad de información que pueda ser usada por los planificadores para minimizar los impactos socioeconómicos ocasionados por estos fenómenos.

En el presente estudio de utilizarán los métodos: Heurístico y determinístico. A continuación se define a cada uno de estos.

4.1.4.1. Método heurístico

Según Van Westen et al., (1997) menciona que es el más subjetivo de todos ya que un especialista es el que decide el tipo o grado de riesgo para una zona en cuestión, utilizando la asignación directa o indirecta. Así, dos tipos de análisis heurísticos pueden distinguirse: el análisis geomorfológico y la combinación cualitativa de mapas. En el primero, conocido también como método de cartografía directa, el grado de susceptibilidad del terreno es determinado directamente en el campo en base al conocimiento y experiencia del investigador.

Segura et al., (2009). Los criterios aplicados son, por lo tanto, difíciles de definir, ya que varían según el sitio estudiado. En el segundo, se busca superar el problema de los "criterios ocultos" del análisis geomorfológico. En éste método, el científico usa su criterio experto para asignar pesos (valores que representan un determinado grado de importancia) a una serie de mapas parámetro (mapas de factores condicionantes que se consideran relacionados con la ocurrencia de movimientos de

laderas). Tales factores se suman de acuerdo con éstos pesos, dando como resultado valores de susceptibilidad que pueden ser agrupados en categorías o clases.

Los métodos heurísticos se basan en categorizar y ponderar los factores causantes de inestabilidad según la influencia esperada de éstos en la generación de deslizamientos. Son métodos conocidos como indirectos. Un procedimiento de este tipo es el análisis cualitativo basado en combinación de mapas de factores. Cada uno de estos factores forma un mapa que se combinará con los demás para la obtención del mapa final de zonificación de inestabilidad.

El inconveniente de este método bastante popularizado recae en la ponderación exacta de los distintos factores, dado que a menudo, se basa en un conocimiento insuficiente en el campo de los factores importantes para definir la estabilidad. El análisis heurístico introduce un grado de subjetividad que imposibilita el comparar documentos producidos por diferentes autores.

4.1.4.2. Método Determinístico

El método determinístico, tiene como base a los modelos hidrológicos y de estabilidad que consideran la información detallada de las pendientes fundadas en la mecánica de suelos. Éste método busca eliminar la subjetividad cuantificando los grados de riesgo en valores absolutos, como por ejemplo a través del factor de seguridad (Safety Factor). Una gran ventaja de éste método es el alto grado de simplificación, principalmente para mapeos de escala media y regional, debido a la gran variabilidad de los parámetros geotécnicos. De ésta forma, el desempeño del método depende totalmente de la calidad y cantidad de los datos colectados, éste tipo de abordaje debe ser empleado cuando las condiciones del terreno son relativamente uniformes y la tipología de los procesos de remoción en masa es bien conocida y fácilmente analizable. (Barredo, Benavides, Hervás, & Van Westen, 2000).

4.1.5. Topografía

Higgins (1957) señalaba que "la Topografía puede describirse como el arte de realizar medidas sobre la superficie terrestre con el propósito de elaborar mapas, planos o determinar una superficie".

Según Buckner, (1983) en su libro Topografía Mediciones y su Análisis **"**Es la ciencia y el arte de realizar las mediciones necesarias para determinar la posición relativa de puntos sobre la superficie terrestre".

Frederick. S. Merritt, (1979) en su manual del ingeniero civil. "la Topografía es la ciencia y el arte de efectuar las mediciones necesarias para determinar las posiciones relativas de los puntos, ya sea arriba, sobre o debajo de la superficie de la tierra, o para establecer tales puntos."

Aranha Domínguez (1979) entiende por Topografía:

El conjunto de principios, métodos, instrumentos y procedimientos utilizados para la determinación del entorno, dimensiones y posición relativa de una porción limitada de la superficie terrestre, del fondo de los mares y del interior de las minas. También compete a la topografía el replanteo de proyectos.

4.1.5.1. Levantamiento Topográfico

Un levantamiento topográfico es definido como el conjunto de operaciones que tiene por objeto la determinación de la posición relativa de puntos de la superficie de la tierra o a poca altura sobre la misma. Estas operaciones consisten esencialmente en medir distancias verticales y horizontales entre diversos objetos terrestres, determinar ángulos entre alineaciones, hallar la orientación de éstas alineaciones y situar puntos sobre el terreno valiéndose de mediciones previas, tanto angulares como lineales.

4.1.5.2. Clases de levantamientos (Miguel Montes de Oca. 1970)

a. **Topográficos (Topografía común).** Se realizan en áreas pequeñas, no se considera la curvatura terrestre, lo que genera la representación sobre un plano horizontal, el cual es normal a la dirección de la gravedad y tangente a la superficie en un punto.

b. **Geodésicos (Geodesia).** Se realizan en grandes áreas de la superficie terrestre y se toma en cuenta la curvatura terrestre. Además de las características anteriores, se distinguen de los topográficos por la técnica y el uso que se les da. Entre estos tenemos:

- Redes de mediciones de ángulos y distancias, para controlar todo el levantamiento de una gran área (por ejemplo, un país completo).
- Técnicas de medición de alta precisión.
- Modelos matemáticos que consideran la curvatura terrestre.

La clase de levantamiento que se utilizara para la realización del trabajo de investigación será el levantamiento topográfico común que se emplea para áreas pequeñas, y representa el terreno en general, vías de comunicación, infraestructura, entre otros.

4.1.6. Geología

De acuerdo a Gillespie, Ch. C., (1951) afirma: "la Geología fue la primera ciencia a la que le importo la historia de la naturaleza más que su orden. Aquel carácter histórico hizo de la Geología un tipo de ciencia diferente que fue apreciado desde sus inicios".

Simpson G.G. (1963), la define, desde su formación de paleontólogo, en su obra Ciencia Histórica como: "una exploración del Universo material que investiga las

relaciones ordenadas, naturales, entre los fenómenos observados y que son evidentes por sí mismas".

Ortiz, Carlos (2002) en su obra Ciencias de la tierra define la Geología como:
Una de las ciencias más modernas, es por definición la ciencia de la tierra y como tal, estudia su composición, su estructura y los fenómenos que se producen y se han producido en ella desde la hora cero de los tiempos geológicos hasta nuestros días, es una ciencia poco independiente, su desarrollo va estrechamente unido al de la astronomía, la física, la química, la biología y otras ciencias.

La aplicación de la geología en la ingeniería, aunque de historia reciente, ha crecido en importancia con la evidencia de que los descubrimientos y deducciones del geólogo pueden traducirse en aplicaciones prácticas en los problemas que se dan cuando se construyen diques, los puentes, las autopistas.

4.1.7. Geología Estructural

Belousov V. (1974), en su libro Geología Estructural, manifiesta.
La geología estructural es una parte de la geotectónica, es decir, de esa asignatura geológica que estudia las particularidades de la estructura y desarrollo de la corteza terrestre relacionadas con los procesos mecánicos, movimientos y deformaciones que en ella tienen lugar.

Geología estructural es la rama de la geología que se dedica a estudiar la corteza terrestre, sus estructuras y la relación de las rocas que las forman. Estudia la geometría de las rocas y la posición en que aparecen en superficie. Interpreta y entiende la arquitectura de la corteza terrestre y su relación espacial, determinando las deformaciones que presenta y la geometría subsuperficial de las estructuras rocosas.

4.1.8. Fotointerpretación

Papetti L. Y Eremchuk J. (1999) destacan:

La fotointerpretación (interpretación de fotografías aéreas), es la rama de la Teledetección que nos ayuda a examinar la imagen fotográfica del terreno, con el propósito de identificar los diferentes componentes naturales y de origen antrópico del paisaje. Con estas técnicas se obtiene información para analizar elementos geológicos, naturaleza y uso del suelo, tipo de cubierta vegetal; aspectos arqueológicos, existencia de muros, calzadas, entre otras.

Es el proceso mediante el cual, se por el que se extrae la información plasmada en una fotografía aérea. Se trata de reconocer y ubicar los diferentes elementos que aparecen representados, para lo cual se requiere tener conocimientos previos acerca de los procesos geomorfológicos, formaciones vegetales y usos del suelo del área de trabajo.

4.1.9. Geomorfología

Escobar, G. (2013), desde su libro Manual de Geología para Ingenieros. Geomorfología, enuncia que la geomorfología es la ciencia que estudia las formas de la Tierra. Se especializa en estructural (que atiende a la arquitectura geológica) y climática (que se interesa por el modelado), incorpora las técnicas estadísticas sedimentológicas, en laboratorio y, sobre todo, pierde su aislamiento para convertirse en una ciencia que atiende múltiples factores e inserta el estudio del relieve al conjunto de relaciones naturales que explica globalmente la geografía física.

Un concepto más completo de geomorfología aparece en el Diccionario de Geología y Mineralogía (1985), donde se define como la "rama de la geografía general que estudia las formas superficiales de la tierra, describiéndolas, ordenándolas sistemáticamente e investigando su origen y desarrollo".

4.1.10. Uso actual del suelo

Así de acuerdo FAO/UNEP, (1999) demostró que el uso del suelo es el uso que los seres humanos hacen de la superficie terrestre. Abarca la gestión y modificación del medio ambiente natural para convertirlo en un ambiente construido tal como campos de sembradío, pasturas y asentamientos humanos. Son las acciones, actividades e intervenciones que las personas realizan sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla.

El uso actual del suelo, hace referencia al estado propio generado por las actividades humanas, siendo estas de distinta índole como: agricultura, ganadería, minería, asentamientos humanos, entre otras; las mismas que generan cambios del paisaje natural, rompiendo los sistemas bióticos y abióticos característicos de un lugar específicos.

4.1.11. Pendiente

(INEGI, 1988) INEGI (1988). Define a la pendiente del terreno en un punto dado como el ángulo que forma el plano horizontal con el plano tangente a la superficie del terreno en ese punto. Es, en definitiva, la inclinación o desnivel del suelo.

La pendiente es una forma de medir el grado de inclinación del terreno, es decir que a mayor inclinación mayor valor de pendiente. La pendiente constituye uno de los factores que más influye en los procesos de degradación de los suelos.

4.1.12. Geofísica

Alfonzo Alvarez (2003), en el libro de "Geofísica Aplicada en los proyectos básicos de Ingeniería Civil", 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.

Gutenberg (1937) define, "es la ciencia que estudia los fenómenos físicos que se verifican sobre la tierra o parte de ella, suficientemente grande, como para que este hecho sea capaz de imprimir al fenómeno físico un carácter especial".

Al ser una disciplina experimental, usa para su estudio métodos cuantitativos físicos como la física de reflexión y refracción de ondas mecánicas, y una serie de métodos basados en la medida de la gravedad, de campos electromagnéticos, magnéticos o eléctricos y de fenómenos radiactivos. En algunos casos dichos métodos aprovechan campos o fenómenos naturales (gravedad, magnetismo terrestre, mareas, terremotos, tsunamis, entre otros), y en otros son inducidos por el hombre (campos eléctricos y fenómenos sísmicos).

Es decir, que estudia la Tierra mediante métodos de la física, de carácter indirecto, a fin de conocer su evolución y características actuales (geofísica pura) y también como herramienta de prospección de recursos (geofísica aplicada). Pueden medirse directamente los campos físicos naturales (gravedad, magnetismo, radioactividad, geotermas) o generarse campos artificiales por emisión de electricidad.

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 Geoeléctricas
- Electromagnetismo
- Georadar o GPR
- El PID (Photo Ionization Detector) y el IR (Infra Red Analyzer).

En el desarrollo del presente trabajo, se utilizó el método de **Sondeos Eléctricos Verticales**, ya que las características y condiciones del terreno y las facilidades para aplicar este método, garantizaron obtener el resultado esperado.

4.1.12.1. Sondeos Eléctricos Verticales

Orellana, E. 1982, en su obra Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua, expresa que: "se conoce como sondeo eléctrico vertical (SEV) a 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".

Los Sondeos Eléctricos Verticales corresponden a una serie de medidas realizadas alrededor de un punto, en donde se aplica corriente eléctrica a cierta distancia para obtener lecturas de resistividad. Estas diferentes medidas que se van realizando, permiten crear una curva que luego de analizada, se interpreta para identificar las profundidades a las cuales se puede encontrar el objetivo de exploración. Este método permite identificar zonas con potencial de agua subterránea e intercalaciones de sedimentos.

Las configuraciones geométricas posibles para la ejecución de los SEV son generalmente tres, Schlumberger, Wenner y Dipolo-Dipolo. Este método consiste en la inyección de corriente eléctrica continua en la tierra proveniente de una fuente artificial a través de un par de electrodos de cobre o impolarizables AB. A través de otro par de electrodos de cobre o impolarizables MN colineales con AB, se mide la diferencia de potencial eléctrico entre ambos.

4.1.13. Geotecnia

En la Universidad de Cantabria (2010), se define a la geotecnia como "la rama de la Ingeniería que se ocupa del estudio de la interacción de las construcciones con el terreno. Se trata por tanto de una disciplina no sólo de la Ingeniería Civil, sino también

de otras actividades, como la Arquitectura y la Ingeniería Minera, que guardan relación directa con el terreno".

Es la aplicación de principios de ingeniería a la ejecución de obras públicas en función de las características de los materiales de la corteza terrestre.

4.1.13.1. Ensayo de penetración Estándar (S.P.T)

El S.P.T es un método muy usado en las exploraciones de los suelos que permite determinar las características, espesor y estratificación de los materiales que se encuentran en el subsuelo, así como también permite conocer la resistencia a la penetración en función al número de golpes delos diferentes estratos que conforman el subsuelo a diversas profundidades.

Constituye el ensayo o prueba más utilizada en la realización de sondeos, y se realiza en el fondo de la perforación. Consiste en contar el número de golpes necesarios para que se introduzca a una determinada profundidad una cuchara (cilíndrica y hueca) muy robusta (diámetro exterior de 51 milímetros e interior de 35 milímetros, lo que supone una relación de áreas superior a 100), que permite tomar una muestra, naturalmente alterada, en su interior. El peso de la masa está normalizado, así como la altura de caída libre, siendo de 63'5 kilopondios y 76 centímetros respectivamente.

4.1.14. Clasificación de suelos

4.1.14.1. Uso del sistema de clasificación

El sistema de clasificación de suelos será el indicado por las especificaciones particulares del proyecto, pero como guía general se podrá utilizar el Sistema de Clasificación de AASHTO en los casos de Investigaciones Geotécnicas destinadas al diseño o verificación de pavimentos (obras viales, playas de estacionamiento y acopio, rellenos, materiales de aporte, sectores a ser compactados, etc.) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS, Casagrande) para las restantes.

- **Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).**

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) tiene por objetivo proveer una clasificación cualitativa de los suelos de origen mineral u orgánico-mineral con fines ingenieriles, a partir de ensayos de laboratorio que determinan sus propiedades granulométricas y de plasticidad.

Dicho sistema no clasifica cuantitativamente a los suelos, razón por la cual, no debe ser utilizado para la determinación de propiedades ingenieriles (resistencia al corte, etc.) ni para la estimación del comportamiento carga vs. Deformación del suelo o del sistema suelo-estructura. La **Figura 7,** indica el índice de plasticidad de acuerdo al material.

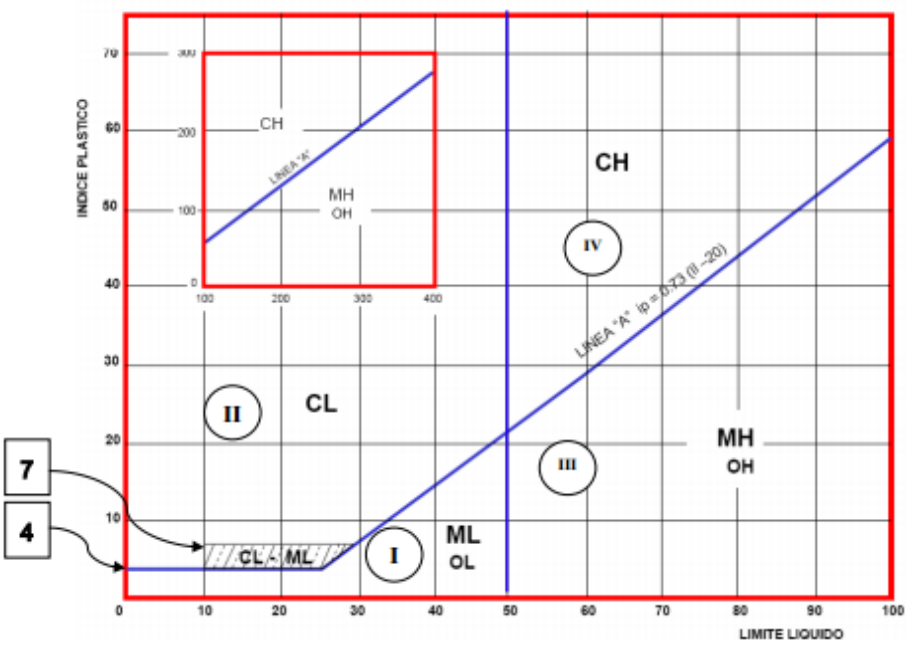


Figura 7 Gráfica de índice de plasticidad para determinar el tipo de suelo.
Fuente: Orta Amaro Pedro Andrés, Explotación eficiente de máquinas de construcción.

En base a lo anterior, los suelos quedarán clasificados bajo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y la definición de cada tipo de suelo será la que se detalla a continuación:

a. **Arcilla:** suelo pasante el tamiz #200 (75 µm) de la serie estandarizada de U.S. que presenta características plásticas bajo diferentes contenidos de humedad y que puede alcanzar una dureza considerable en condiciones secas.

   Desde el punto de vista de la clasificación SUCS, la arcilla es un suelo o parte de un suelo de grano fino, con índice de plasticidad igual o mayor que 4.

b. **Grava:** Partículas de roca que pasan el tamiz de 3" (75 mm) y que son retenidas por el tamiz #4 (4,75 mm) de la serie estandarizada de U.S., aceptando la siguiente subdivisión:
   - gruesa: pasa el tamiz de 3" (75 mm) y queda retenida por el tamiz ¾" (19 mm).
   - fina: pasa el tamiz de ¾" (19 mm) y queda retenida por el tamiz #4 (4,75 mm)

c. **Arcilla orgánica:** arcilla con suficiente contenido de material orgánico como para alterar las propiedades del suelo. Desde el punto de vista de la clasificación, la arcilla orgánica se clasifica como arcilla, con la salvedad que su límite líquido después de secado en horno es menor que el 75% del límite líquido antes de ser secado en horno.

d. **Limo orgánico:** limo con suficiente contenido de material orgánico como para alterar las propiedades del suelo.

e. **Turba:** suelo compuesto por vegetales en varias etapas de descomposición, generalmente acompañadas por un hedor orgánico, de color marrón oscuro a negro, consistencia esponjosa y con textura variable entre fibrosa y amorfa.

f. **Arena:** partículas de roca que pasan el tamiz # 4 (4,75 mm) y que son retenidas por el tamiz #200 (75 μm) de la serie estandarizada de U.S., aceptando la siguiente subdivisión:

- Gruesa: pasa el tamiz #4 (4,75 mm) y queda retenida por el tamiz #10 (2,00 mm)
- Mediana: pasa el tamiz #10 (2,00 μm) y queda retenida por el tamiz #40 (4,25 μm)
- Fina: pasa el tamiz #40 (4,25 μm) y queda retenida por el tamiz #200 (75 μm).

g. **Limo:** Suelo pasante el tamiz #200 (75 μm) de la serie estandarizada de U.S. que presenta pocas o nulas características plásticas. Desde el punto de vista de la clasificación SUCS, el limo es un suelo o parte de un suelo de grano fino, con Índice de Plasticidad menor que 4, cuya representación en la Carta de Plasticidad (**Figura 7**), está por debajo de la Recta "A".

Tabla 2. Clasificación de los suelos por el método SUCS.

PROFUNDIDAD (metros).		DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN S.U.C.S		OBSERVACIONES
DE	A				
0.00	0.60	Arcilla orgánica	**OH**	Arcillas orgánicas, **OH** de plasticidad media, color café oscuro y de consistencia inicial media.	Capa vegetal
0.60	0.80	Arena Fina Limosa	**SM**	Arena fina limosa, **SM** en estado compacto de color café.	W= 4.00% al 7.00% F= 2.19%
0.80	2.50	Arena Inorgánica	CL	Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad **CL**, de color naranja, y consistencia inicial dura, empacando roca.	W= 36.4% P.V.S.M=1.520 kg/m^3 Wopt = 18.5%

Fuente: Orta Amaro Pedro Andrés, Explotación eficiente de máquinas de construcción.

- **Sistema de Clasificación AASHTO**

El Sistema de Clasificación AASHTO para usos viales y de rellenos controlados tiene por finalidad proporcionar una clasificación cualitativa de los suelos de origen mineral u orgánico-mineral con fines ingenieriles, a partir de ensayos de laboratorio que determinan sus propiedades granulométricas y de plasticidad.

El Sistema agrupa a los suelos en siete grupos y subgrupos basados en fórmulas empíricas. Dicho sistema no clasifica cuantitativamente a los suelos, razón por la cual, no debe ser utilizado para la determinación de propiedades ingenieriles (resistencia al corte) ni para la estimación del comportamiento carga-deformación del suelo o del sistema suelo-estructura.

Este Sistema se utilizará principalmente cuando se requiera una clasificación precisa de los suelos para su utilización como material de aporte y cuando forme parte de estructuras (bases, sub bases, terraplenes, presas).

Los suelos se clasifican bajo el Sistema de Clasificación AASHTO de acuerdo con la Tabla 4 y las siguientes definiciones:

a. **Canto rodado:** fragmentos de roca redondeados, generalmente por intemperización o abrasión, retenidos por el tamiz de 3" (75mm).
b. **Arena gruesa:** partículas de roca o suelo que pasan el tamiz # 10 (2mm) y quedan retenidas por el tamiz # 40 (425mm).
c. **Arena fina:** partículas de roca o suelo que pasan el tamiz # 40 (425□m) y quedan retenidas por el tamiz # 200 (75mm).
d. **Grava:** partículas de roca que pasan el tamiz de 3" (75mm) y quedan retenidas en el tamiz # 10 (2mm).
e. **Arcilla limosa:** partículas de suelo fino que pasan el tamiz # 200 (75mm).
f. **Limo:** partículas de suelo fino que pasan el tamiz # 200 (75mm) y que tienen un Índice de Plasticidad menor o igual que 10.
g. **Arcilla:** partículas de suelo fino que pasan el tamiz # 200 (75mm) y que tienen un Índice de Plasticidad mayor a 11.

Tabla 3. Clasificación de los suelos por el método AASHTO.

CLASIFICACIÓN	MATERIAL GRANULAR (35% O MENOS DEL TOTAL PASA Nº 200)						
Grupo de clasificación	A - 1		A - 3	A - 2			
	A – 1- a	A – 1- b		A – 2 - 4	A – 2 - 5	A – 2 - 6	A – 2 - 7
Análisis de tamices (porcentaje que pasa)							
Nº. 10	50 máx.						
Nº. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Nº. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la: Fracción que pasa Nº. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales que costa	Fragmentos pétreos, grava y arena		Arena fina	Limos o gravas arcillosas y arena			

Fuente: Principles of Goetechnical Engineering Braja M.Das.1998.

4.1.15. Mapa de susceptibilidad

Los mapas de "susceptibilidad" a deslizamientos fueron desarrollados por primera vez, por Brabb en San Mateo County California, para el USGS en 1972. Los primeros

mapas se realizaban superponiendo mapas con los diferentes factores geológicos que influían en las fallas de los taludes.

En 1988, se inició el uso de Sistemas de Información Geográfica para la elaboración de los mapas de susceptibilidad. En 1991, se involucraron los métodos determinísticos con el análisis de factores de seguridad para las fallas de talud infinito con el programa DLISA. En 1999, se presentaron dos programas SINMAP (Pack y otros) y SMORPH (Vaugeois y Shaw) y se inició la utilización de la lógica difusa en los SIGs. En el 2006, el programa PISA incluyó los modelos digitales de elevación y se desarrolló en Estados Unidos y Canadá el programa ArcSDM3.

Elaboración de mapas de susceptibilidad a deslizamientos

Suárez J. (2009) en el libro Deslizamientos Volumen 1: Análisis Geotécnico, indica

> 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.

Elementos para elaborar un mapa de susceptibilidad

Para la elaboración del mapa de susceptibilidad se tienen en cuenta generalmente tres elementos.

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

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Con la finalidad de dar a conocer la secuencia de tareas desarrolladas y el diseño experimental, es necesario describir los materiales y métodos utilizados.

5.1. Materiales

Los materiales de campo y oficina necesarios para llevar a cabo la ejecución de la presente tesis se detallan a continuación en la **Figura 8.**

MATERIALES

DE CAMPO

- GPS. (GARMIN 650)
- Estaciones Totales Trimble: S3, S6 y Servo – robótica R4.
- Brújula Azimutal Brunton.
- Cartas geológicas y Topográficas (escala 1:50 000)
- Martillo Geológico.
- Navaja.
- HCl diluido al 10%.
- Libreta de Campo.
- Cámara fotográfica.
- Equipo para realizar los S.E.V.

DE OFICINA

- Fotografía Aérea (NVII-B2-E1) escala 1:5 000 y
- Estereoscopio.
- Computadora.
- Impresoras
- Copiadoras.
- Flash Memory.
- Softwares de Computación: ArcGIS 10.1, Ilwis 3,7. ArcVIew 3.2, AutoCAD 2014.
- Otros programas Básicos

Figura 8 Materiales de campo y oficina.
Fuente: La Autora

5.2. Métodología

Para el desarrollo de la presente tesis, en primera instancia se recopiló información de estudios preexistentes en la zona de estudio, con la finalidad de tener una idea general de la realidad del terreno y establecer una metodología acorde a la investigación a realizar.

Esta metodología consta de métodos de campo y oficina que se describen a continuación:

5.2.1. Levantamiento topográfico a detalle

a. **Método de campo**

La primera actividad que se realizó fue el reconocimiento del sector de estudio, a través de la observación directa, con el objeto de delimitar y planificar las actividades a realizar.

El levantamiento topográfico se realizó considerando 200 metros a cada margen del eje de la vía de Integración barrial "Ángel Felicísimo Rojas" con proyección WGS84/Zona 17S, para lo cual se utilizó 3 estaciones:

- Estación GPS diferencial Servo Robótica Trimble R4
- Estación Total Trimble S3
- Estación Total Trimble S6.

Se inició partiendo de un punto geodésico conocido (punto I.G.M.) más cercano, como se muestra en la **Figura 9**, el mismo que se encuentra ubicado en el redondel de la Universidad Nacional de Loja; utilizando como instrumentación la Estación GPS diferencial Servo Robótica R4 con metodología RTK y con el posicionamiento de ángulos y distancias que permite georeferenciarse y corregir las coordenadas ± 3 milímetros de error para iniciar el levantamiento topográfico.

Figura 9 Ubicación del Punto de partida I.G.M.
Elaboración: La Autora.

Tabla 4. Coordenadas Geográficas del punto de partida I.G.M.

UBICACIÓN	LATITUD NORTE (m)	LONGITUD ESTE (m)	COTAS (m)
Punto I.G.M.	9'554.036,18	699.571,104	2.130,823

Fuente: Instituto Geográfico Militar (I.G.M.)

Con las coordenadas corregidas, se ubicó el punto de partida ya en el sector con la estación GPS R4 para empezar la medición con las estaciones Trimble S3 y S6, a las cuales se las ubicó en lugares estratégicos que faciliten la visualización de infraestructuras, deslizamientos, vías, quebradas, infraestructuras, así mismo las formas de relieve del terreno.

Mediante el uso de la Estación GPS diferencial Servo Robótica R4 se realizó el levantamiento tanto de la vía en estudio así como de las vías secundarias, mientras que con las estaciones totales S3 y S6, se levantó las áreas de alta vegetación y relieve accidentado, para así obtener la información de ubicación y configuración de las viviendas, vías, quebradas, deslizamientos, entre otros, tomando la mayor cantidad de puntos estación con la finalidad de aumentar la precisión de la topografía del terreno.

Figura 10 y 11. . *Ejecución del Levantamiento Topográfico (Estación Total S6).*
Fuente: La Autora.

a. Método de oficina

Terminado el levamiento, se procedió a descargar la información en un computador; utilizando en primera instancia el software ForeSigth para generar las curvas de nivel principales cada 5 metros y secundarias a cada metro de diferencia con respecto a la cota.

Luego se procedió a exportarlas al software AutoCAD para realizar la representación gráfica en 3D del mapa topográfico así como su verificación, corregido de errores, modelamiento final y análisis en el software ArcGIS 10.1.

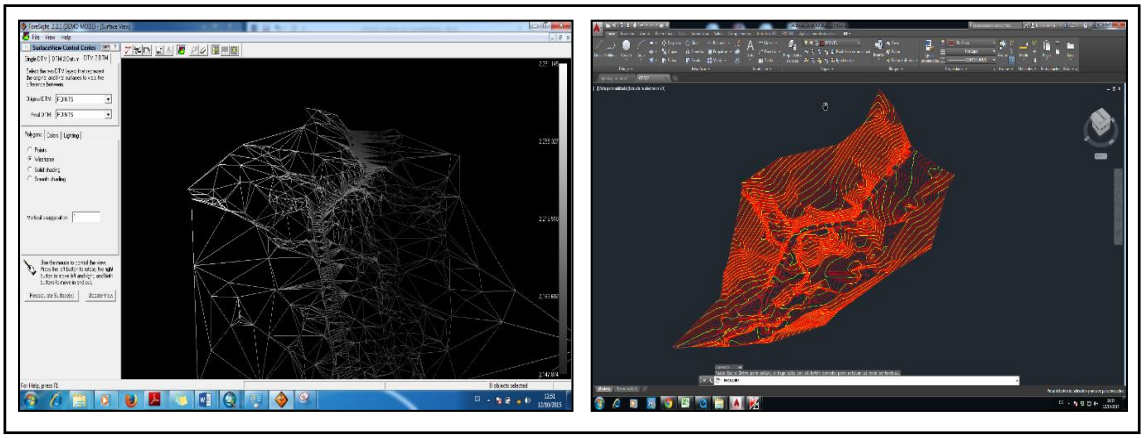


Figura 12 y 13 Triangulación dada por el Software ForeSigth 2.2.1. y visualización 3D de las curvas de nivel en AutoCAD 2015 respectivamente.
Fuente: La Autora

Finalmente se verificó que la interpolación dada por el software coincida con el relieve real del área levantada mediante el uso de la fotografía aérea NVII-B2-E1 (**Anexo 4**), tomada en el año 2012, con resolución de pixel 3 x 3 proporcionada por el Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras e Infraestructura Tecnológica SIGTIERRAS.

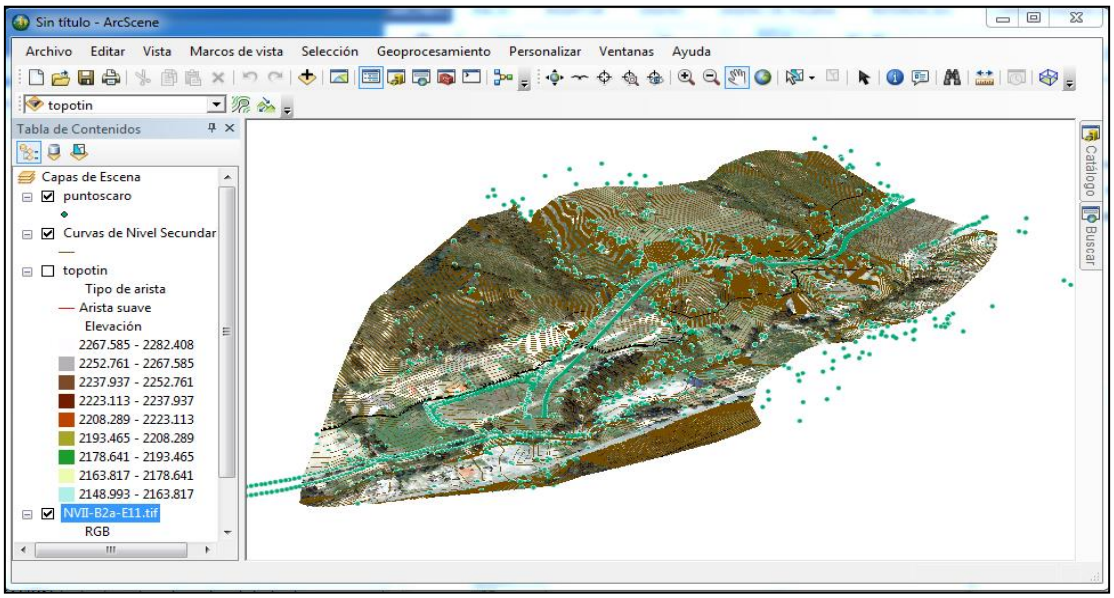


Figura 14 Verificación de la interpolación de las curvas de Nivel generadas por el software ForeSigth en el software ArsGis 10.1 mediante la utilización de la aplicación ArcScense.
Fuente: La Autora.

5.2.2. Levantamiento geológico a detalle

a. Método de campo

Tomando como base los datos geológicos a escala 1:25.000, obtenidos del Sistema Nacional de Información (S.N.I.), y con el mapa topográfico impreso a escala 1:4.000, GPS Garmin, brújula BRUNTON, martillo geológico, escalímetro, pinturas, graduador, y ácido clorhídrico al 10%, se llevó a cabo el levantamiento geológico-estructural de campo, mediante recorridos al sector recolectando la información técnica, esta información se describió en fichas técnicas las cuales se observan en el **Anexo 1** y graficando en el mapa en coordenadas UTM WGS84, las medidas estructurales de los estratos encontrados y el tipo de material por cada afloramiento.

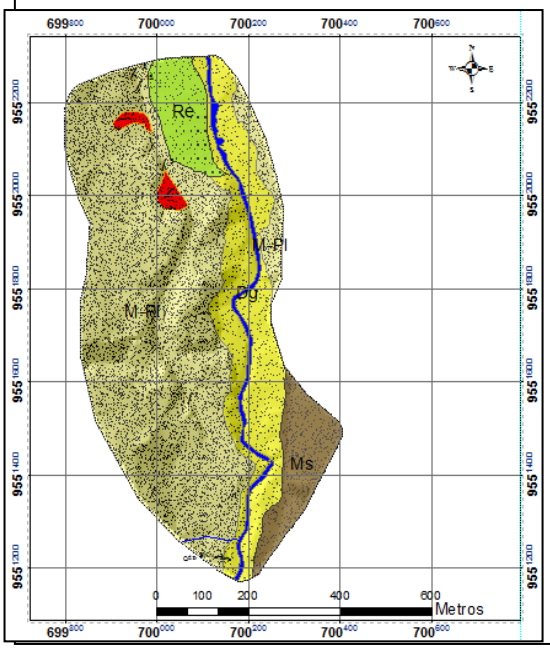
Figura 15 y 16 Toma de medidas estructurales y reconocimientos de los geomateriales
Fuente. La Autora

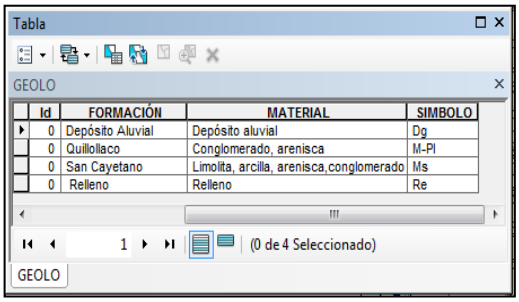
Para cada afloramiento se realizó caracterización, especificando el tipo de geo material, el rumbo e inclinación, datos que permitieron inferir la distribución del material en la superficie al momento de realizar el mapa geológico (**Anexo 6)**.

b. Método de oficina

Una vez que se han obtenido los datos de campo necesarios, se toma como base el mapa topográfico a escala 1:4000 **(Anexo 5)**, que se levantó en el área de estudio y los puntos de afloramientos para delimitar los contactos litológicos y ubicar los datos estructurales.

La delimitación litológica se la realiza a través de polígonos los cuales se generan en capas (shapefile) en el programa ArcGIS 10.1 con diferente descripción para cada formación geológica, edad geológica, el tipo de material, símbolos geológicos y estructurales. (**Ver Figuras** 17 **y 18**).





Id	FORMACIÓN	MATERIAL	SIMBOLO
0	Depósito Aluvial	Depósito aluvial	Dg
0	Quillollaco	Conglomerado, arenisca	M-Pl
0	San Cayetano	Limolita, arcilla, arenisca,conglomerado	Ms
0	Relleno	Relleno	Re

Figura 17 y 18 Delimitación de contactos litológicos en el área de estudio.
Fuente: La autora

5.2.3. Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

a. Método de campo

Considerando que los sondeos eléctricos verticales se utilizan preferentemente para la determinación de aguas subterráneas, se tomó como referencia las resistividades del tipo de geomateriales para inferir y obtener un perfil litológico.

Para aplicar el método de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), primeramente se hizo una visita al sector para determinar los lugares más adecuados, los mismos que deben tener características topográficas de relieve plano para que los resultados obtenidos tengan mayor precisión.

El método de medición aplicado, es el arreglo de Schlumberger a través del equipo geofísico *Syscal Junior/ R1 Plus (Standard & Switch Versión)*, como se muestra en la **Figura 19**, con un total de 4 líneas de SEV, aplicadas en sectores adecuados para el efecto, los mismos que permitieron realizar cortes geoeléctricos e interpretar la estructura del subsuelo, de acuerdo a su resistividad, utilizando para el efecto la tabla de resistividad de los geomateriales que se encuentra en el **Anexo 3**.

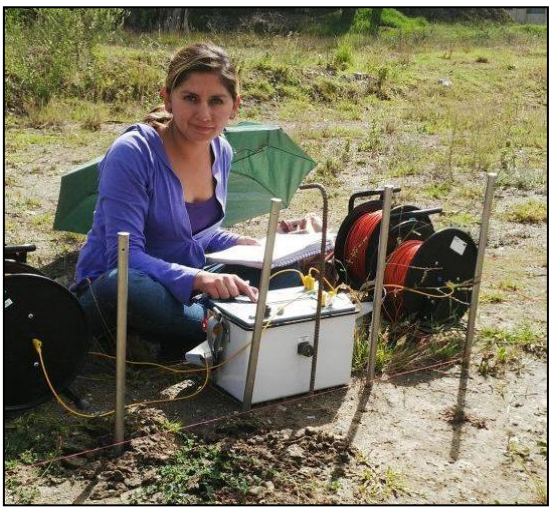


Figura 19 Syscal Junior/ R1 Plus (Standard & Switch Versión),
Fuente: La Autora

Los sondeos eléctricos verticales (SEV), se ejecutaron en las coordenadas geográficas que se indican en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Coordenadas UTM de los sondeos eléctricos verticales.

COORDENADAS DE LOS SEV		
X	**Y**	**Z**
700150	9551395	2192
700131	9551613	2195
699931	9551808	2234
700034	9552234	2180

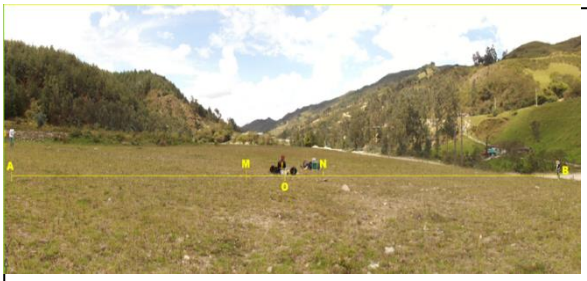
Fuente: La Autora

Los materiales que se utilizaron para el efecto son los siguientes:

- Medidor de Resistividad eléctrica SYSCAL R1 PLUS
- 12 Electrodos
- Carretes de alambre de 350m
- Varillas
- 2 Cintas de 50m.
- Piola
- Cámara fotográfica
- GPS Magellan
- Brújula Brunton
- Tablas técnicas
- Combo

➢ **Procedimiento**

Los ensayos consistieron en separar progresivamente los electrodos inyectores A y B simétricamente dejando los electrodos detectores M y N fijos en torno a un punto central fijo. La representación de este sondeo muestra las abscisas, la distancia AB/2 (m). En este sondeo el efecto de las heterogeneidades irrelevantes es menor pues sólo se mueven el par de electrodos inyectores A y B, el número de lecturas fue mínimo de 3 y máximo de 6 con la finalidad de obtener los datos más exactos posibles**. Figura 21.**



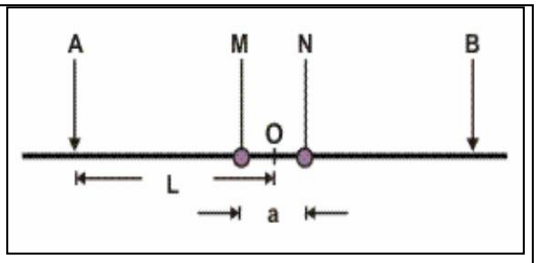


Figura 20 y 21. Configuración Schlumberger
Fuente: La Autora

b. Método de oficina

Para el cálculo de la resistividad se utilizará el programa **EARTHIMAAGER 1D,** que es un software diseñado para la interpretación automática o semi-automática de datos de sondeo eléctrico vertical obtenidos con varios de los arreglos utilizados con más frecuencia en la prospección eléctrica. El programa trabaja con la siguiente fórmula:

$$\rho a = \pi \frac{\Delta V}{I}$$

Dónde:

- **ρa:** Resistividad aparente
- **V:** Velocidad de la corriente
- **I:** Intensidad de la corriente

5.2.4. Ensayo de penetración estándar (SPT)

Los ensayos de Penetración Estándar fueron ejecutados en los estudios definitivos de la vía de Integración Barrial, a cargo de la constructora Técnica General de Construcciones TGC, la misma que facilitó los resultados de los ensayos de penetración estándar (**Ver Figura 22**).

Figura 22 Durante el desarrollo del Ensayo de Penetración Estándar
Fuente: Técnica General De Construcciones (TGC)

5.2.5. Mapa de pendientes

Para la elaboración del mapa de pendientes, se utilizó el programa ArcGIS 10.1, partiendo del modelo de elevación, aplicando las herramientas del **ArcToolbox → 3D Análisis → Conversión desde TIN a Raster, a este raster se le aplica la herramienta → Conversión → Superficie de Raster → Pendiente.** Seguidamente se lo reclasifica con Herramientas de Spatial Analyst → **reclasificación → de Modelo "Raster a Polígono",** con ayuda de las herramienta **de Conversión → desde Raster a Polígono** para una mejor edición; finalmente se utiliza la herramienta **"Disolver"** para agrupar las categorías y aplicar los colores respectivos.

En este caso se clasificó con la metodología propuesta por Martínez y Mercator en 5 categorías expresadas en porcentaje, como se muestra en la **Tabla 6.**

Tabla 6. Categorías de pendientes

CATEGORÍA	RANGO
Terrenos planos o casi planos	0 %- 15 %
Terrenos inclinados	15 % - 30 %
Terrenos moderadamente escarpados	30 % - 50 %
Terrenos escarpados	50 % - 75 %
Terrenos muy escarpados	> 75 %

Fuente: Martínez y Mercado 1992.

5.2.6. Mapa geomorfológico

Para realizar el mapa geomorfológico se utilizó la metodología implementada por CLIRSEN, en proyectos tales como Generación de Geo-información para la gestión del territorio a nivel nacional, 2010.

Por medio de la fotografía aérea NVII-B2a-E1 **(Anexo 4),** se procedió a correlacionar la información de la recopilación de información en campo a través de la observación directa.

Figura 23 Fotografía aérea de la zona de estudio.
Fuente: La Autora.

A continuación se procede a generar un modelo de elevación TIN (**Figura 24**) en el programa ArcGIS 10.1., una vez creada esta capa se la añade al programa ArcScene que tiene la característica de una visión en 3D (figura 18) y así poder delimitar las geoformas del área de estudio.

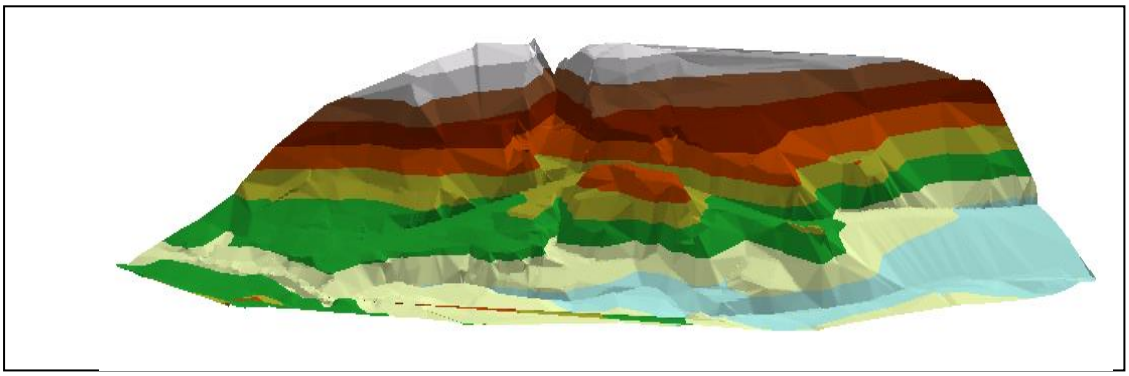


Figura 24 *Modelo TIN.*
Fuente: La Autora.

Las geoformas se calcularon en función al desnivel relativo y a las curvas de nivel generadas a 5 metros, las mismas que se obtuvieron en el levantamiento topográfico; y a la utilización de los porcentajes calculados en el mapa de pendientes a escala 1: 4.000 **(Anexo 8),** siendo estos los parámetros principales para poder divisar y dibujar las geoformas, seguidamente se dibujó las geoformas a través de la generación de shapefiles en el programa ArcGIS 10.1, creando campos de: Unidad Genética, Unidad Morfológica, Forma de Relieve, Litología y Pendiente.

Para definir los nombres y la clasificación a cada una de las geoformas se necesitó la disposición de la siguiente información:

a. Forma de la Vertiente

Se refiere a la forma de vertiente o ladera. Es importante para observar y definir de forma preliminar la litología y proveer mayor información como, por ejemplo, la meteorización. Entre las formas de la vertiente tenemos las siguientes (**Tabla 7**):

Tabla 7. Categorías de forma de vertiente.

FORMA DE VERTIENTE	
CÓDIGO	**TIPO**
1	Rectilínea
2	Convexa
3	Cóncava
4	Irregular
5	Mixta

Fuente: Tomado de ficha de Fotointerpretación Geomorfológica - CLIRSEN, 2012.

b. Morfometría

Pedraza Gilsanz, (1996), la define como: "Conjunto de técnicas, procedimientos y métodos, utilizados para determinar atributos configuracionales del relieve y, en base a ellos, conocer el sistema de relaciones espaciales que caracterizan a las formas del terreno".

Las variables morfométricas deben estar acordes con los datos que provee el Modelo Digital de Terreno (MDT). Entre las variables que se utilizó para el desarrollo del mapa geomorfológico de la zona de estudio, consideramos las siguientes:

- **Pendiente**

La pendiente es otro de los factores que se considera para poder asignar nombres a las unidades geomorfológicas, ya que es la que más influye en los procesos de degradación de los suelos.

Se refiere al grado de inclinación de la ladera con relación a la horizontal, expresado en porcentaje, para el desarrollo del presente trabajo se tomó en cuenta la clasificación de pendientes que se detalla en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Categorías de pendiente

PENDIENTE		
CÓDIGO	**PENDIENTE**	**PORCENTAJE (%)**
1	Plana	0 - 2
2	Muy suave	2 - 5
3	Suave	5 - 12
4	Media	12 - 25
5	Media a fuerte	24 - 40
6	Fuerte	40 - 70
7	Muy fuerte	70 - 100
8	Escarpada	> a 100

Fuente: Tomado de ficha de Fotointerpretación Geomorfológica - CLIRSEN, 2012.

- **Desnivel relativo**

El desnivel relativo corresponde a la altura existente entre la parte más baja y más alta de las formas de relieve. En la ficha de campo se asigna con un visto el tipo de desnivel por cada forma de relieve analizada, de acuerdo a los parámetros que se indican en la **Tabla 9**:

Tabla 9. Categorías de desnivel relativo. Tomado de ficha de Fotointerpretación

DESNIVEL RELATIVO	
CÓDIGO	**TIPO (m)**
1	0 - 5
2	5 - 15
3	15 – 25
4	25 - 50
5	50 - 100
6	100 - 200
7	200 - 300
8	> a 300

Fuente: Geomorfológica - CLIRSEN, 2012.

- **Longitud de la vertiente**

Corresponde a la distancia inclinada existente entre la parte más alta y la más baja de una forma del relieve, la misma que se mide en metros. Tiene una relación directa principalmente con los procesos de erosión y movimientos en masa. A continuación se detallan las categorías que se considera en este parámetro (**Tabla 10**).

Tabla 10. Categorías de longitud de la vertiente

LONGITUD DE LA VERTIENTE		
CÓDIGO	**TIPO**	**DESCRIPCIÓN (m)**
1	Muy corta	< a 15
2	Corta	15 a 50
3	Moderadamente larga	50 a 250
4	Larga	250 a 500
5	Muy larga	> a 500

Fuente: Tomado de ficha de Fotointerpretación Geomorfológica - CLIRSEN, 2012.

- **Fondo de valle**

Hace referencia a las formas que tiene la corteza terrestre o litosfera; determina principalmente el tipo de erosión producida en el sector.

Tabla 11. Categorías de fondo de valle

FONDO DEL VALLE	
CÓDIGO	**TIPO**
Vr	En U
Vcx	En V
Vca	Plano
NA	No aplicable

Fuente: Tomado de ficha de Fotointerpretación Geomorfológica CLIRSEN, 2012.

Una vez terminada la identificación de las geoformas se procede a digitalizar cada una de ellas en el programa ArcGIS 10.1. La denominación de cada geoforma se basó en la tabla propuesta por CLIRSEN para generación de Geo- información a nivel nacional (**Tabla 12**).

Tabla 12. Ejemplos de unidades geomorfológicas

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS			
CÓDIGO	**ORIGEN**	**UNIDAD GEOMORFOLÓGICA**	**DESCRIPCIÓN**
Tm	Deposicional o acumulativo	Terraza media	Superficie plana limitada por un escarpe, ubicada por encima de la terraza baja; corresponde a un antiguo nivel de sedimentación del río. Presenta pendientes bajas debido a que ha sido ya modelado por los agentes erosivos.
Co	Denudativo	Coluvio aluvial antiguo	Formado por la acción de la depositación de materiales aluviales sumado a los aportes gravitacionales laterales de las formas colinadas que lo rodean, muestra cierto grado de disección, cubierto con vegetación más desarrollada, que indica un mayor nivel de madurez o antigüedad.
R3	Tectónico Erosivo	Relieve colinado bajo	Constituyen elevaciones con desniveles relativos que llegan a los 25m
R5	Tectónico Erosivo	Relieve Colinado alto	Constituyen elevaciones que llegan a los 200 m de desnivel relativo.

Fuente: CLIRSEN.2012

5.2.7. Mapa de uso actual del suelo

Tomando como base la topografía realizada en el sector de estudio, la fotografía aérea NVII-B2a-E1 a escala 1:5 000 del año 2014 (**Anexo 4**); y observación de campo, se procede a dibujar polígonos de los diferentes tipos de uso de suelo, en el software ArcGIS 10.1; delimitando: Vegetación (cultivos, matorral, plantaciones, áreas desnudas); Infraestructura (área urbana, vía principal, vías y caminos secundarios, entre otros.)

Una vez que se terminó la zonificación se procedió a dar 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, el mismo que se presenta en escala 1: 4.000 (**Anexo 9**).

5.2.8. Mapa de susceptibilidad

Con la finalidad de contrastar y diferenciar los resultados se realizó dos mapas mediante la aplicación de dos métodos: primero por el método heurístico, a través de la asignación de pesos a las variables utilizadas, mediante la aplicación del Model Builder que es una herramienta del software ArcGis 10.1; y segundo por el método determinístico, el cual se basa en parámetros geotécnicos utilizando los programas ArcGis 10.1 (Extensión SINMAP), Ilwis 3.7 y ArcView 3.2 conjuntamente, en los que se integran criterios de los factores desencadenantes y condicionantes obtenidos de la fase de campo y laboratorio plasmados en mapas y modelos digitales del terreno (DTM), metodologías que se explican a continuación.

5.2.8.1. Método heurístico

El método heurístico se basó en el estudio conceptual de los procesos de la ocurrencia de los deslizamientos y un análisis del área en estudio que consistió principalmente en hacer la caracterización de las condiciones físicas, para posteriormente realizar el análisis en el software ArcGis 10.1 con la aplicación de la herramienta Model-Builder que permite ejecutar el proceso en forma sistemática y más rápida, cuyo proceso se hace referencia a continuación.

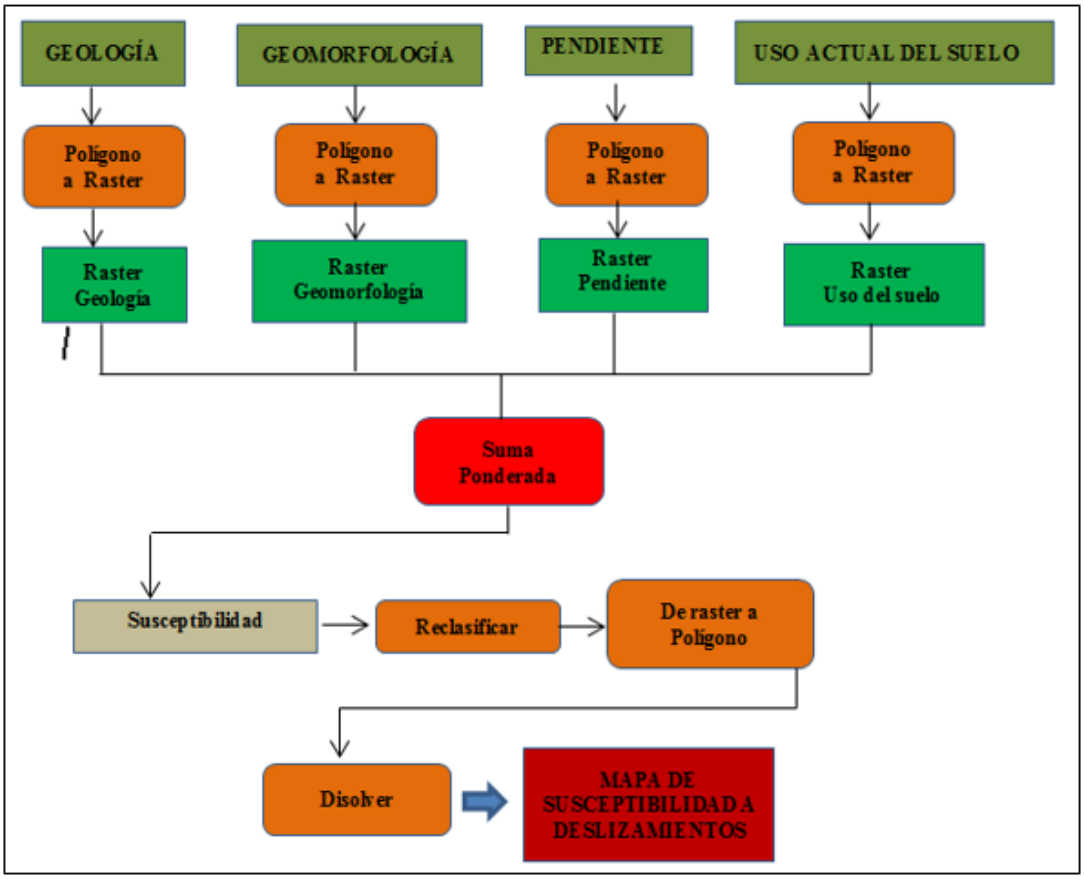


Figura 25 Flujograma utilizado por la aplicación de Model Builder.
Fuente: La Autora.

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.

ModelBuilder también se puede considerar un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo como para el análisis de la susceptibilidad. Para el análisis en primera instancia se agrupo las variables a considerar:

- **Mapa Geológico**
- **Mapa Geomorfológico**
- **Mapa de Pendientes**
- **Mapa de Uso Actual del Suelo**

A cada una de las características que presentan las variables anteriormente mencionadas se la denominó como subvariable, a las cuales se les asigno un peso de acuerdo a su importancia, cuyo criterio se basó en la **Tabla 13.**

Tabla 13. Asignación de pesos

ASIGNACIÓN DE PESOS	
CLASE	**PESO**
Condiciones biofísicas muy bajas para que se produzcan deslizamientos.	1
Condiciones biofísicas menos favorables para que se produzcan deslizamientos.	2
Condiciones biofísicas desfavorables para que se produzcan deslizamientos.	3
Condiciones biofísicas severas haciendo que los espacios geográficos que presentan estas características, sean muy peligros a deslizamientos.	4
Condiciones biofísicas muy severas haciendo que los espacios geográficos que presentan estas características, sean altamente peligrosas a deslizamientos.	5

Fuente: (Tambo, 2011)

Seguidamente se da paso a la aplicación del método heurístico, considerando el número de criterios establecidos por Janssen and Van Herwijnen 1994, en donde se establecen diferentes pesos a las variables consideradas. La asignación de pesos en el método se basa en los valores que se registran en la **Tabla 14**.

Tabla 14. Asignación de peso por el método de suma de rangos

Nº DE CRITERIO	PESOS DE CRITERIO USANDO EL MÉTODO DE SUMA DE RANGOS					
Nro.	**W1**	**W2**	**W3**	**W4**	**W5**	**W6**
2	0.66	0.33				
3	0.50	0.33	0.17			
4	**0.40**	**0.30**	**0.20**	**0.10**		
5	0.33	0.27	0.20	0.13	0.07	
6	0.29	0.24	0.19	0.14	0.10	0.05

Fuente: Janssen y Van Herwijnen (1994)

Cabe mencionar la asignación de los pesos asignados a cada variable, fue sustentada en los valores que se obtuvieron en los ensayos: ensayo de penetración estándar y sondeos eléctricos verticales, así como también fue necesario basarse en criterios de trabajos de tesis entre las que se mencionan Ali Jawaid, 2000; Mendoza y

Domínguez, 2005, Tambo 2011, Quezada 2015, que han empleado esta metodología; adicional a esto se consideró también los conocimientos impartidos por los docentes, lo que permitió asignar los pesos con certeza.

El método de suma de rangos establece los pesos a las variables mediante la siguiente fórmula, la misma que indica que para calcular el valor a asignar de cada una de las variables se considera el número total de las variables dividido para la suma del valor de las variables.

$$\boldsymbol{Wk} = \left[\frac{\boldsymbol{n+1-k}}{\sum_{i-n}^{n}(n+1-i)}\right]$$

Con la aplicación de la formula los resultados sugieren utilizar los pesos asignados a las variables corresponden a la línea resaltada en la **Tabla 14**, ya que se tiene cuatro variable. Los pesos asignados se detallan a continuación en la **Tabla 15.**

Tabla 15. Asignación de peso por el método de suma de rangos.

PESOS ASIGNADOS	
VARIABLE	**PESO**
Geología	0.40
Geomorfología	0.30
Pendiente	0.20
Uso Actual del Suelo	0.10

Fuente: La Autora a partir de Janssen y Van Herwijnen (1994)

Luego de haber asignado los pesos a cada variable, se realizó la suma de las mismas en formato ráster, mediante el uso de la herramienta de ***suma ponderada,*** que ofrece la posibilidad de ponderar y combinar un sin número de entradas para crear el análisis deseado.

Las entradas en este caso serán los mapas ráster que tendrán incorporados los pesos asignados de acuerdo a la importancia; la **Figura 26**, es la explicación del funcionamiento de la herramienta **Suma Ponderada**.

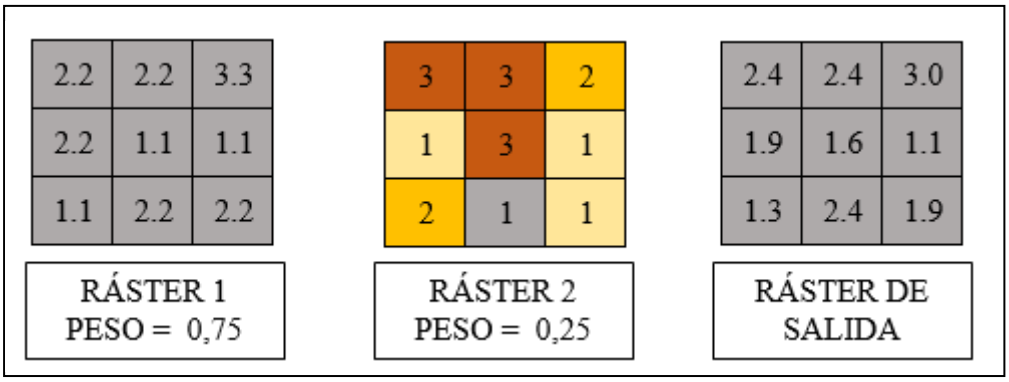


Figura 26 Ilustración de cómo opera la herramienta de suma ponderada
Fuente: ArcGis 10.1

En la **Figura 26**, los valores de las celdas se multiplican por su factor de peso, y los resultados se suman para crear el ráster de salida. Por ejemplo, considere la celda superior izquierda. Los valores para las dos entradas se convierten en (2,2 * 0,75) = 1,65 y (3 * 0,25) = 0,75. La suma de 1,65 + 0,75 es de 2.4.

Luego de realizar la combinación de mapas se lo reclasifica en cinco categorías de acuerdo a los criterios propuestos por Sarkar y Kanungo, 2004. (**Tabla 16**)

Tabla 16. Criterios para determinar la susceptibilidad.

CRITERIO	SUSCEPT.	CATEG.
Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe una alta posibilidad de que ocurran.	Muy alta	5
Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.	Alta	4
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.	Moderada	3
Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados, no saturados, con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.	Baja	2
Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos.	Muy baja	1

Fuente: Sarkar y Kanungo, 2004

5.2.8.2. Método Determinístico.

En éste método el grado de susceptibilidad se expresó con el factor de seguridad (FS) de la ladera que se puede expresar pixel por pixel. Se elaboraron los modelos de análisis de estabilidad de taludes con base en la información obtenida de campo y de los análisis de laboratorio (realizados por la empresa Técnica General de Construcciones TGC) y se calcularon los factores de seguridad para el deslizamiento en el software. Para éste modelo se requirió información específica sobre la estructura, y las propiedades de resistencia de los materiales que se obtuvieron en el levantamiento geológico.

Primeramente se parte de la obtención de un Modelo Digital del Terreno (DTM), que es el conjunto de capas en formato ráster, que representan distintas características de la superficie terrestre, derivadas de una capa de elevaciones, a partir de las curvas de nivel obtenidas en el levantamiento topográfico en formato shapefile, las cuales se importaron al software ILWIS 3.7.

Para el análisis espacial se utilizó de la información cartográfica de campo, de laboratorio, fuentes bibliográficas para ingresarla y al software ArcGis 10.1 en él cual se utilizó la extensión SINMAP (aplicación *Stability Index Mapping* – SINMAP - Módulo ArcMap) 10.1, que no consta en el paquete de instalación por tanto fue necesario su descarga e instalación en una versión 2.0 desarrollada por la Universidad de OTAH en Estados Unidos.

El SINMAP (Mapa de Índices de Estabilidad), es un modelo para evaluar la estabilidad de pendientes y riesgos a deslizamientos, proyección de patrones futuros de inestabilidad, análisis multivariados de los factores que caracterizan sitios de inestabilidad de laderas, análisis de probabilidad de fallas, basados en modelos de estabilidad de pendientes con simulaciones hidrológicas estocásticas y en la clasificación de la estabilidad, basados en criterios como pendientes, litología, morfología, estructura geológica resumidos en parámetros geotécnicos en un DTM.

Éste modelo se aplicó cuando existe la presencia de deslizamientos traslacionales y rotacionales poco profundos, controlados por la convergencia de aguas freáticas (SINMAP User Manual, 1998). En la **Figura 27** se muestra el diagrama esquemático del modelo de estabilidad del talud utilizando SINMAP.

El modelo se realizó en base a los datos de entrada que se requieren para el modelo son:

- Inventario de deslizamientos.
- Modelo Digital de terreno DTM.
- Propiedades geotécnicas tales como parámetros de resistencia del suelo, espesor de suelo, etc.
- Información hidrológica (direcciones de flujo y conductividad).

Para las aplicaciones más comunes, el modelo SINMAP (Stability Index Maping) construido por Pack y otros (1999) integró el modelo de estabilidad del talud infinito con el modelo hidrológico de régimen permanente basado en TOPMODEL (Beven y Kirkby, 1979).

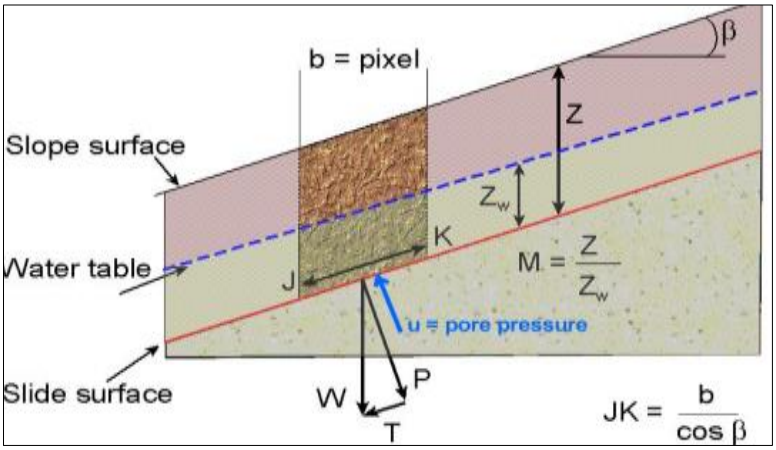


Figura 27 Diagrama esquemático del modelo de estabilidad del talud
Fuente: ITC Holanda

"La expresión básica del SINMAP para la integración de los modelos hidrológicos y de estabilidad"" es la siguiente (Lan y otros, 2004):

$$F = \frac{c' + (\gamma - m\gamma_w)\, z \cos^2\beta \tan\phi'}{\gamma z \sin\beta \cos\beta}$$

Dónde:

c' = cohesión efectiva (Pa= N/m).

γ = peso unitario de suelo (N/m3).

m = zw/z (adimensional).

γ_w= peso unitario de agua (N/m3).

z = profundidad de superficie de falla por debajo de la superficie (m).

z_w= altura del nivel freático por encima de la superficie de fallo (m).

β = inclinación de la pendiente de la superficie (°).

Φ'= ángulo efectivo de resistencia a la cizalla (°).

En forma resumida la metodología a seguir para realizar el mapa de susceptibilidad es la siguiente. (**Figura 28**).

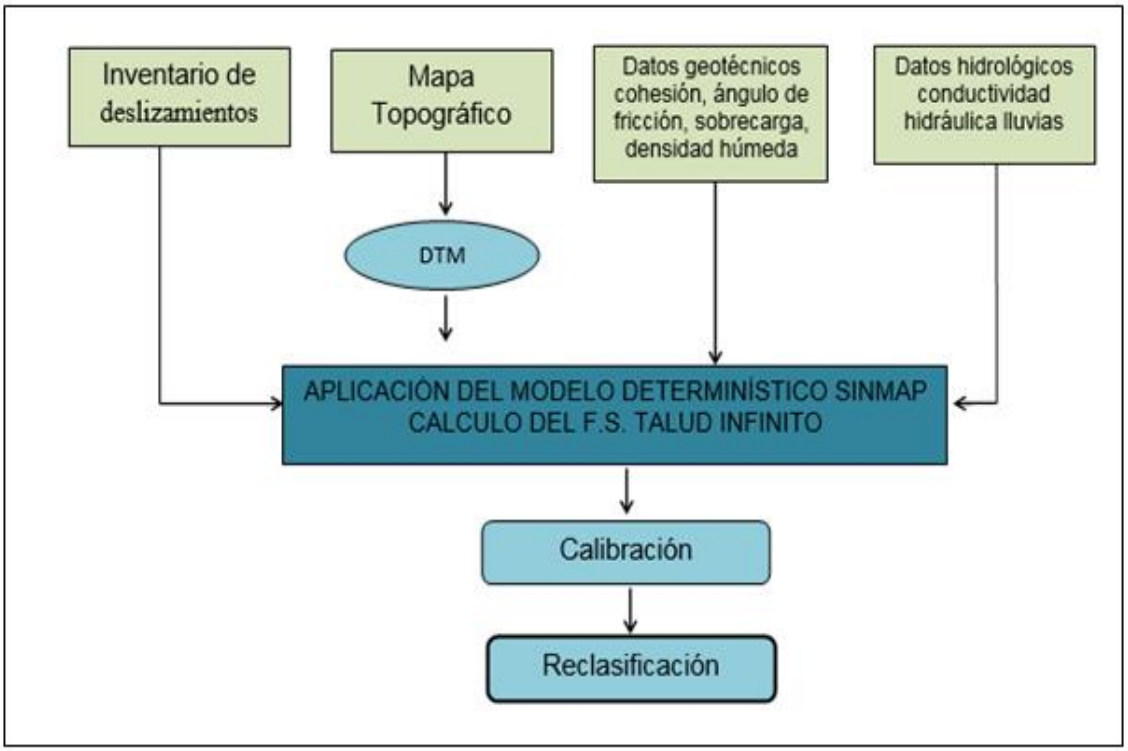


Figura 28 Flujograma de realización de mapa de susceptibilidad por el método determinístico.
Fuente. La Autora.

Para la reclasificación del mapa se realiza por medio del Índice de estabilidad que se define como probabilidad de la estabilidad del talud sobre la distribución del

intervalo de los parámetros C, φ , q, T. SI = probabilidad de que el factor de seguridad sea mayor de 1.0, es la siguiente (**Tabla 17**).

Tabla 17. Valores de Fs y su correlación con SINMAP

TIPO DE ESTABILIDAD	SUSCEPT.	INTERVALO DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD	FS
Inestable	Alto	0.0	< 1
Umbral Superior de inestabilidad		0.0-0.5	>50 Fs ≤ 1
Umbral inferior de inestabilidad	Moderado	0.05-1.0	≥ 50 de FS >1
Nominalmente estable		1.0-1.25	Máximo FS=1
Moderadamente estable	Bajo	1.25-1.50	Máximo FS =1.25
Estable		>1.50	Máximo FS = 1.5

Fuente: Atlas de Riesgos Naturales de Santa María Tlahuitoltepec Mixe, Oaxaca

6. RESULTADOS

6.1. Descripción Biofísica del Sector

6.1.1. Ubicación y acceso

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 hectáreas (52 km^2).

El área de estudio es de 44,50 hectáreas, al sur de la ciudad de Loja, cantón y provincia Loja, parroquia San Sebastián, específicamente en el sector entre la Barrio El Capulí y Ciudadela Julio Ordoñez.

Administrativamente el sector de estudio limita: Norte la Ciudadela "Julio Ordoñez", al Sur con el barrio "Capulí", al Este con el sector "La Pompeya" y al Oeste con las Lagunas de Punzara

El acceso a la ciudad de Loja se lo realiza por vía terrestre mediante Cooperativas de Transporte, las cuales se pueden tomar desde los distintos terminales que existen en las Provincias del Ecuador. A través de vía aérea, desde los aeropuertos de Quito y Guayaquil, hasta el Aeropuerto de Catamayo que se localiza a 35 Km. de la ciudad de Loja.

A la zona de estudio se puede acceder por la vía de Integración Barrial Ángel Felicísimo Rojas o por la Av. Reinaldo Espinosa. Las coordenadas geográficas son las siguientes:

Tabla 18. Ubicación Geográfica del Sector en estudio

UBICACIÓN	LATITUD NORTE (m)	LONGITUD ESTE (m)	COTAS (m)
Inicio Proyecto	9'552281,36	699959,57	2.157
Fin Proyecto	9'551341,03	700270,68	2.185

Fuente: La Autora

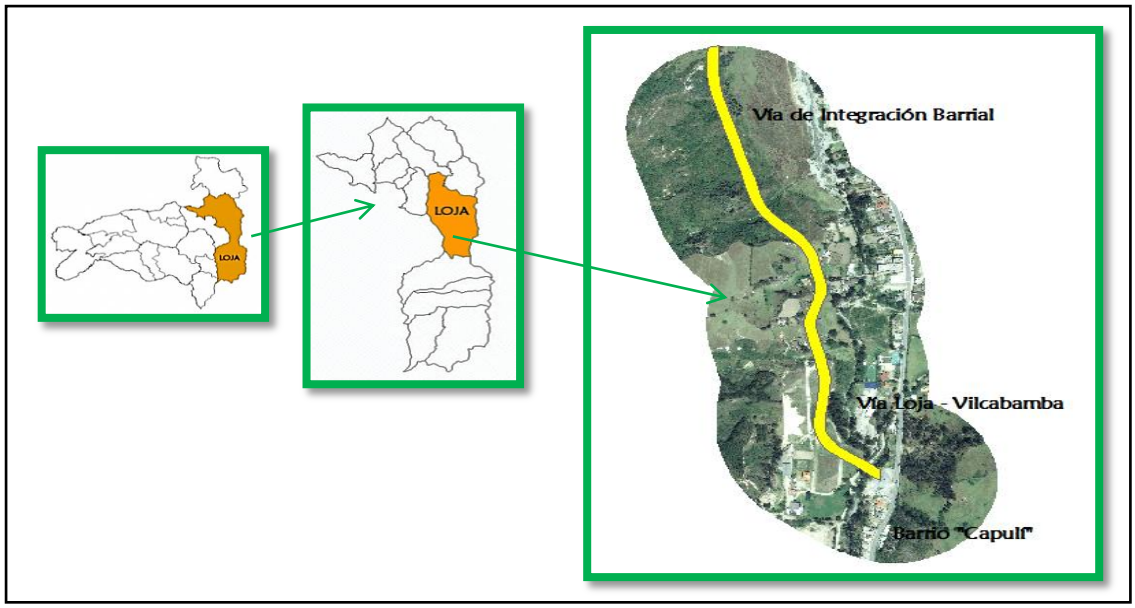


Figura 29 Ubicación del sector de estudio.
Fuente: La Autora

6.1.2. Uso del Suelo

De acuerdo al uso de suelo, el Plan de Desarrollo de Ordenamiento Territorial del cantón Loja año 2011, el territorio local se observa que los usos que predomina son: pastizal con 11 461,59 ha, seguido de bosque húmedo denso y bosque húmedo intervenido con un área de 5 313,47 ha. y 3 996,36 ha respectivamente. En menor extensión existe matorral seco bajo y matorral seco alto.

En la actualidad el área urbana se ha expandido con nuevas urbanizaciones localizadas a lo largo del sector occidental de la ciudad de Loja, existiendo un grave conflicto al ser tierras óptimas para pastos, producción de cultivo, por estar cerca del Bosque Protector Hoya de Loja Occidental donde existe una gran extensión de 663,84 hectáreas de plantaciones de pino (**Figura 30**).

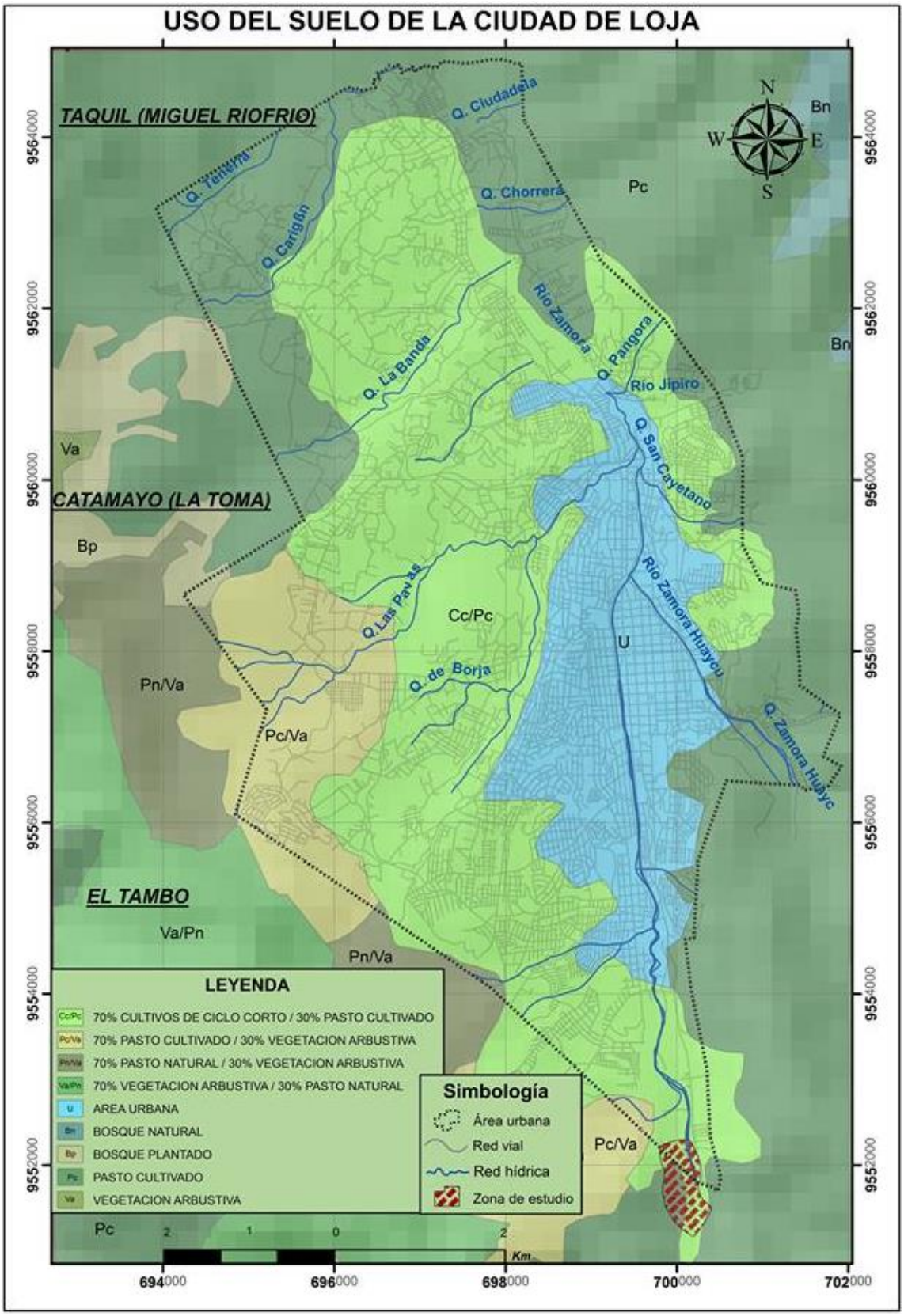


Figura 30 Uso de suelo de la ciudad de Loja
Fuente: La Autora a partir de SIN

Teniendo en cuenta los datos de uso del suelo a nivel de la ciudad de Loja, el lugar de estudio cuenta con un total de 44.4 ha, en las que se estableció zonas de cultivos con 0.76%, pastos con 39.94%, cuerpos de agua con 2.22%, suelo desnudo 4.11%, vías con 7.36%, zona arbórea con 17.00%, zona arbustiva con 22.68% y zona urbana con 5.93%.

6.1.3. Clima

El clima de la ciudad de Loja es templado ecuatorial sub-húmedo, puesto que se asienta en la cuenca alta del Zamora, influenciado por el clima tipo amazónico y los vientos alisios, cuyos pequeños valles y mesetas se encuentran sobre los 2000 m.s.n.m. (Geo Loja, 2007)

La temperatura media del aire es de 17º C y oscila entre los 14 y 21 °C. La oscilación anual de la temperatura es de 15 ºC., posee un clima generalmente cálido en el día y frio-húmedo en la noche donde los meses de menor temperatura fluctúan entre junio y septiembre, siendo julio el mes más frío. De septiembre a diciembre se presentan las temperaturas medias más altas, sin embargo en esos mismos meses se han registrado las temperaturas extremas más bajas. Particularmente en el mes de noviembre se registra el 30% de las temperaturas más bajas del año según los registros de la última década (INAMHI).

La humedad relativa del 75% fluctuando entre 69 y 83% siendo de diciembre a junio los meses de mayor humedad y menor de julio a noviembre. Por otro lado los vientos se desplazan en velocidades de 1 y 4.3 m/s los meses con mayor fuerza de vientos son junio, julio y agosto; y su dirección es desde el Nor- Este.

Según el estudio realizado por GEO Loja en el año 2007 "el soleamiento que presenta el valle de Loja, es de cerca de 1.600 horas al año, con valores más altos en los seis últimos meses, siendo noviembre el que detecta la mayor cifra de horas de brillo solar/día siendo de 5.3 horas/día" (Geo Loja, 2007).

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/año, 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.

Los climas del cantón Loja son muy variados los cuales van desde clima Ecuatorial Mesotérmico Seco y Ecuatorial de Alta Montaña.

Tabla 19. Tipos de clima de la ciudad de Loja

TIPO DE CLIMA	ÁREA (HAS)	PORCENTAJE (%)
Ecuatorial Mesotérmico Semi – Húmedo	164 137,76	86,59
Ecuatorial de Alta Montaña	18 547,02	9,78
Ecuatorial Mesotérmico Seco	6 865,67	3,62
Total	**189 550,46**	**100,00**

Fuente. Sistema de Información para la Planificación – ODEPLAN – INFOPLAN. 2005

6.1.4. Hidrología

La cuenca superior del río Zamora u hoya de Loja (230 km^2) es parte del gran sistema del río Santiago (27.425 km^2 de área drenada), afluente del Marañón–Amazonas y es el asiento de la actual ciudad de Loja. Del nudo de Cajanuma, nace el sistema a través de dos ríos pequeños: Malacatos y Zamora Huayco (Guacunamá y Pulacu en el lenguaje de los antiguos Paltas). Estos dos ríos se unen a la altura de la puerta de la ciudad de Loja, entre las coordenadas geográficas 699430 E y 9558868N, dando origen al rio Zamora y engrosan su caudal recibiendo varios afluentes, denominados en el lenguaje local «quebradas». El afluente más importante del río Zamora, aguas abajo de la unión con el Malacatos, es el río Jipiro, que se une al caudal principal desde el margen derecho. (Geo Loja, 2007)

Como drenajes o ramales hidrográficos secundarias o subsecuentes, que circulan en direcciones más o menos perpendiculares a los drenajes principales antes mencionados, se pueden citar los ríos Zamora Huayco y Jipiro, así como las quebradas

Mónica, Quillollaco, Potrerillos, Violeta, Alumbre, Las Pavas, San Cayetano, La Banda, Salado, entre otras, que conforman una red dendrítica. Los caudales de estas corrientes son en la mayoría de casos poco considerables. Hay una mayor densidad de drenaje en la parte oriental de la cuenca (estribaciones de la Cordillera Real), básicamente debido a la baja conductividad hidráulica de las rocas metamórficas que limita la infiltración; y también a la mayor cantidad de lluvias (precipitación media mensual de 160 mm, Estación Zamora).

La zona de estudio se encuentra atravesada por una Quebrada sin Nombre que recorre de Oeste a Este y desemboca en el río Malacatos siendo los únicos drenajes del lugar de estudio.

Figura 31 Río Malacatos, drenaje del Área de estudio
Fuente. La Autora

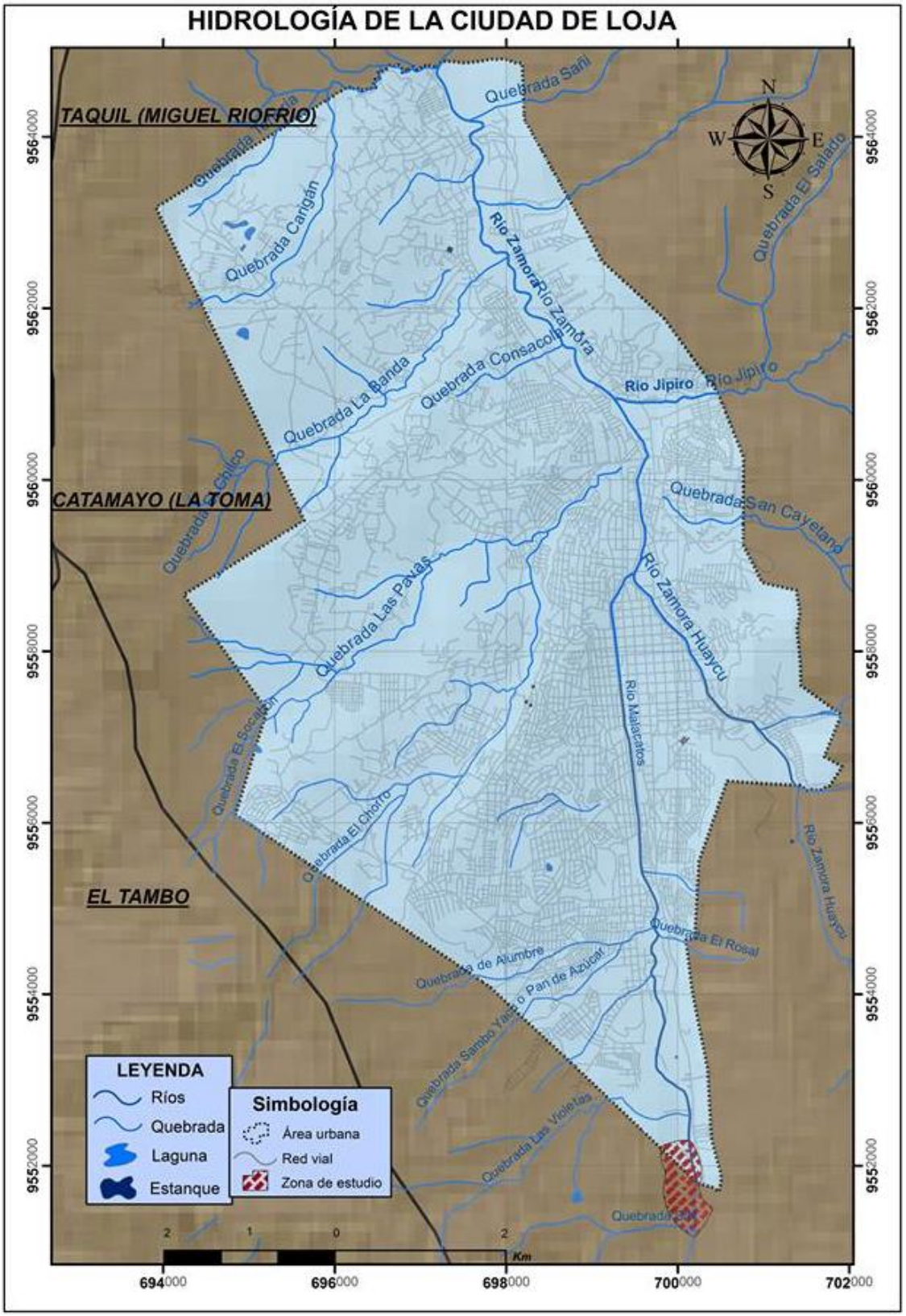


Figura 32 Hidrología de la ciudad de Loja
Fuente: La Autora a partir de SNI

6.1.5. Datos socio – económicos

Según el Censo de Población y Vivienda 2010, la ciudad de Loja acumula el 84.06% de la población total del cantón Loja, que equivale a 180.617 personas. De los cuales 86.631 son hombres y 9.938 son mujeres.

La población de la ciudad de Loja ha experimentado un crecimiento significativo, pasando de 67,70 % al 79,25 % en el periodo (2001 – 2010), en la parte periférica la disminución de la población es significativa pasando de 13,56% a 4,81 %. En la parte rural disminuye pasando de 18,74 % al 15,94 %. Esta desigualdad en la ocupación y concentración de la población en la parte urbana, surge por la movilidad humana que ha existido desde hace muchos años, buscando la población mayores oportunidades de desarrollo personal y económico en la ciudad.

- **Pobreza por Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)**

La pobreza por NBI en el cantón Loja al año 2010 es de 43,59 % el cual se encuentra por debajo del indicador provincial 61,84 %.

En la cabecera cantonal viven 20.662 personas pobres extremas por NBI y 43.220 pobres no extremos por NBI, que corresponden al 11.44% y 23.93% de su población respectivamente. Del total de pobres extremos por NBI en el cantón Loja el 56.63% se concentran en su cabecera cantonal y del total de no pobres extremos por NBI el 77.66%.

- **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%).La población económicamente activa (PEA) de los barrios aledaños al área de estudio, se dedican principalmente a las actividades agropecuarias, pequeña minería, comercio informal, obreros, albañilería que ofertan su mano de obra en la ciudad y en otras ciudades del país.

Los habitantes del lugar de estudio en su mayoría se dedican a la agricultura y ganadería y otra pequeña cantidad se desenvuelven en el ámbito de la construcción como obreros y hacen de estas ocupaciones el sostén de sus hogares. Pertenecen al grupo de pobres extremos por NBI, ya que no cuentan con servicios básicos como alcantarillado pluvial y sanitario, alumbrado público entre otras necesidades.

- **Analfabetismo**

De acuerdo al Censo 2010, la tasa de alfabetismo en personas de 15 años y más, a nivel del cantón Loja, representa el 96.80 %. Es decir que la tasa de analfabetismo es del 3.2%. Cabe mencionar que en el año 2001 el valor de la tasa de analfabetismo fue de 4.8%, por lo que se observa una disminución de 1,60 %.

6.2. Análisis de Susceptibilidad en el Sector de Estudio

6.2.1. Topografía

Con los datos obtenidos de campo se procede a la descarga de los archivos para realizar el procesamiento de la información con el software ArcGis 10.1., para la digitalización y análisis de la información.

En el mapa generado se representó viviendas, vías, quebradas, deslizamientos, entre otras a escala 1:4000 (**Anexo 5**), con curvas de nivel secundarias a 1 metro y las principales cada 5 metros. El área total es de 44.5 hectáreas, con aproximadamente 0.9 kilómetros lineales a 200 metros del eje de la vía toda la información se geo referenció con el Datum WGS84, zona 17Sur.

La cota mayor es de 2282 m s.n.m., en los sectores de cultivos de pinos al Oeste del área de estudio y la cota más baja 2149 m.s.n.m en las riberas de Río Malacatos que se encuentra ubicado al Este.

Existen zonas relativamente planas y otras accidentadas con pendiente que sobrepasan los 55° que geomorfológicamente se encuentran erosionadas.

6.2.2. Geología

6.2.2.1. Geología Regional

La cuenca de Loja se localiza en las estribaciones occidentales de la Cordillera Real que comprende un cinturón metamórfico de edad variada entre Paleozoico y Jurásico formada por divisiones litotectónicas separadas por fallas o suturas regionales con rumbos NNE. Estas divisiones comprenden unidades que muestran un grado de coherencia litotectónica y son de Este a Oeste: Zamora, Salado, Loja, Alao y Guamote.

La ciudad de Loja está asentada sobre una cuenca de origen lacustre de edad miocénica (hace 26 millones de años); las rocas más antiguas de época paleozoica (560 millones de años) están constituyendo el basamento de la cuenca toda la serie terciaria. Incluso los depósitos cuaternarios más recientes de este valle han sido afectados por movimientos de compresión que han originado levantamientos o hundimientos. Así han aparecido pliegues más suaves en el lado occidental de la hoya y con pronunciada pendiente en la parte oriental.

6.2.2.2. Basamento Metamórfico

El metamorfismo de la parte sur de la Cordillera Real es denominado Serie Zamora (Kennerley 1973) la edad supuesta es el paleozoico. Litherland et al. (1993,1994) dedujo que las series metamórficas de calidad inferior están agrupadas por filitas, esquistos grafíticos, cuarcitas, metalimolitas que pertenecen a la Unidad Chiguinda de edad Devoniana a Permiano; que aflora en la parte occidental de la

Cuenca de Loja y en la parte oriental Loja-Zamora. Sin embargo en Tierras Coloradas la presencia de Gneis de grano medio sugiere que pertenecen a la Unidad Agoyán (Litherland et al 1994).

6.2.2.3. Estratigrafía de la cuenca de Loja

Esta cuenca intramontañosa, presenta facies arenosas, lacustres y fluviatiles, un basamento metamórfico-volcánico mixto, rocas de origen continental, una tectónica sinsedimentaria; y un volcanismo Neógeno contemporáneo al desarrollo de la misma. Estas rocas sedimentarias afloran en casi todos los cortes de carreteras y caminos desde la ciudad hacia las periferias, y en las quebradas y pequeños valles cerca de las estribaciones de las dos cordilleras.

Kennerley, (1973). La cuenca de Loja a lo largo de su evolución ha adquirido una forma elíptica elongada en dirección N-S. La secuencia sedimentaria de esta cuenca ha sido estudiada y descrita por varios autores como Kennerley (1973), Hungerbühler et al (2002), Steinmann et al (1999) y Noblet et al (1988). Las series sedimentarias en la cuenca de Loja están tectónicamente divididas por una falla inversa importante post-deposicional de convergencia al W, en dos partes, una oriental y otra occidental; y diferentes secuencias de sedimentos en sus límites mutuos (Hungerbühler et al, 2002). Dichas series yacen discordantemente sobre el basamento a los dos lados de la cuenca (Litherland et al, 1994).

En resumen predominantemente la cuenca de Loja está formada por dos tipos de rocas las metamórficas y sedimentarias que principalmente son arcillas conglomerado, areniscas y mantos calizos. Las arcillas son el material rocoso más abundante mientras que los conglomerados se caracterizan por ser compactos desde el punto de vista físico-químico que afloran a la parte Este de la ciudad. Los mantos calizos dieron origen a suelos de buena calidad y conforman la zona de relieve bajo y erosionado del valle.

Las rocas metamórficas, pertenecientes a la Serie Zamora, afloran hacia el borde de las dos cordilleras que limitan la hoya de Loja, caracterizado por un relieve alto

cubierto de vegetación. Al interior del valle existen afloramientos de poca magnitud de estas rocas representados por esquistos cristalinos, arcillosos, micas y grafitos (Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, 1975; Mora, 1997;. Estas rocas por su constitución son elementos frágiles del paisaje y frecuentemente producen deslizamientos o derrumbes**.**

El área de estudio se encuentra influenciada principalmente por dos formaciones geológicas conformadas por rocas sedimentarias que se describen a continuación.

- **Formación San Cayetano (Ms) (Mioceno Tardío a Último)**

Está expuesta al Este de la falla de cobijadura a lo largo del río Zamora. La formación puede ser dividida en tres miembros con límites transicionales.

El miembro inferior de areniscas, contiene capas de areniscas y algunas pequeñas capas de conglomerados y varias capas de carbón. Una capa intermedia del miembro limonitas que contiene lutitas laminado de color gris y blanco, con abundantes capas de diatomita y algunos piroclastos horizontales, con una rica microflora y gastrópodos (en parte silicificado con dos intercalaciones distintas de 3-5 m espesor de capas de brecha). El miembro superior de areniscas tiene una litología similar a la intermedia, pero generalmente muestran una tendencia de depositación estrato creciente. Tiene una edad del Mioceno Tardío a último.

- **Formación Quillollaco (MPI) (Mioceno Tardío)**

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 600 m, al este de la ciudad de Loja. La formación está dominado por conglomerados muy granulados con pocas intercalaciones de areniscas interestratificadas, sus clastos son metamórficos redondeados filitas, esquistos, cuarcitas vetas de cuarzo y esquistos de hasta 50 cm de diámetro.

Su espesor varía entre 600 m. al sur de la cuenca, 100 m en la parte central y 500 m. en la parte este de la cuenca. Los sedimentos muestran una facies típica asociada de un ambiente de abanico aluvial con depósitos detríticos dispersos dominado por canales fluviales, se sugiere una edad del Mioceno Tardío.

6.2.2.4. Geología Estructural.

Abad, (2006) determina que la cuenca se encuentra dividida en un área oriental y en otra occidental por efecto de una falla longitudinal con dirección 170º, que coincide con el curso actual del río Zamora; y, la cual se activó durante la depositación de la Formación San Cayetano.

Así también Izquierdo (1991) señala que la actividad de otras fallas con rumbo aproximado E-O en el extremo oriental de la cuenca, como las que se encuentra a lo largo de la Quebrada Pangora y el río Jipiro; al igual que los sistemas de pliegues encontrados en Virgenpamba y la nueva vía Loja-Zamora, evidencian mayor actividad tectónica en ese lado de la cuenca.

En términos generales los sedimentos expuestos en el lado Este de la Cuenca de Loja de edad Mioceno (15-10 Ma) han sufrido un volcamiento producto de la acción de una falla de edad Mioceno Tardío ubicada en el margen oriental.

Esta misma falla causó la superposición de las rocas metamórficas del Mesozoico sobre los sedimentos del Mioceno y un acortamiento adicional evidenciado por pliegues abiertos en la Fm Quillollaco. Simultáneamente se dio un plegamiento originando formas isoclinales cuyos ejes son paralelos a la falla. Ver **Figura 33**.

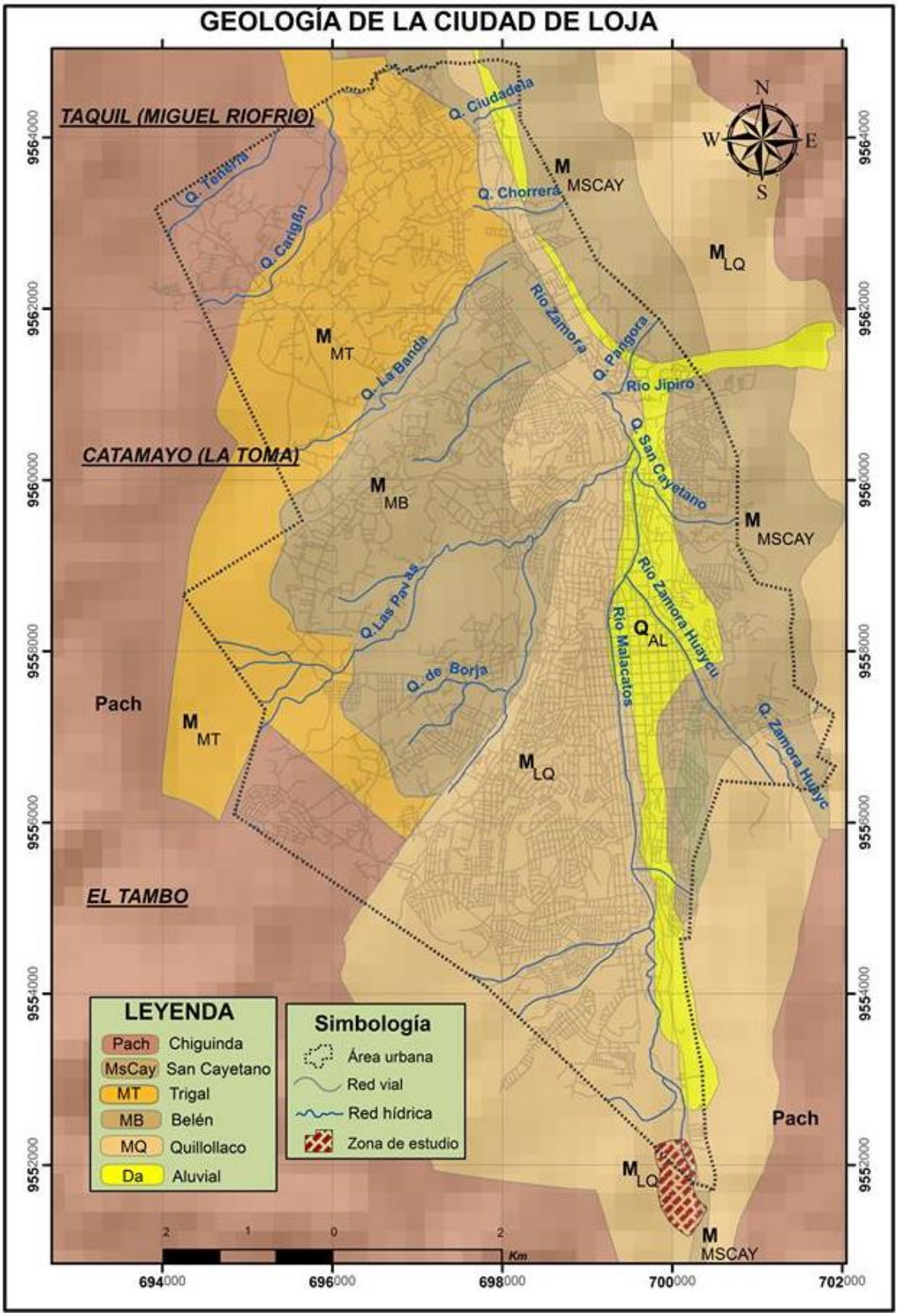


Figura 33 Geología *de la cuenca de Loja.*
Fuente. Elaboración la Autora a partir de información de GPL

6.2.2.5. Geología local

El área de estudio por encontrarse ubicada al sur de la cuenca sedimentaria de Loja, se conforma mayoritariamente por la formación Quillollaco que se formó en el Mioceno Tardío con un potencia de 600 metros, y una mínima parte la formación San Cayetano que se encuentra ubicada al Sur-Este del sector.

La zona de estudio a través de la observación en los afloramientos en su mayoría está constituida por conglomerados, arcillas y arcillolitas pertenecientes a la formación Quillollaco que principalmente se evidencian a los márgenes de la vía de Integración Barrial correspondiente a un área aproximada de 80%.

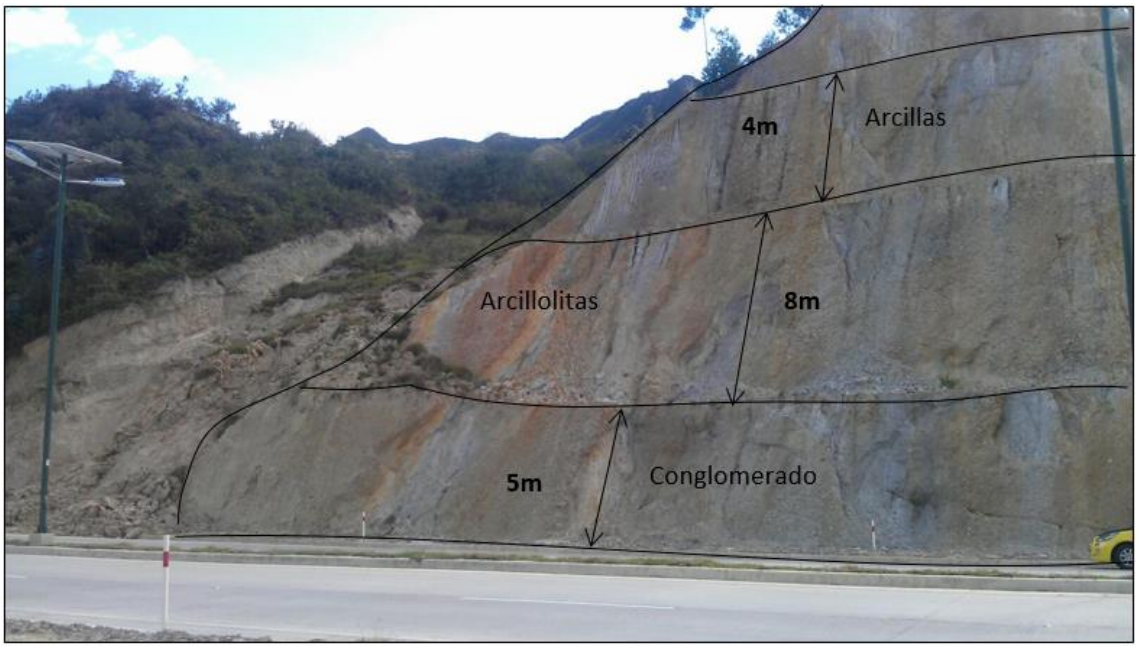


Figura 34 *Talud en la formación Quillollaco.*
Fuente: La Autora

De Norte a Sur los conglomerados se presentan uniformes en sus diámetros de 5 a 20 cm, con potencias mayores a 2 metros y tonalidades de color similares desde amarillentas-grisaseas a amarillentas-rojizas, indicando el alto índice de meteorización pues la matriz está compuesta por arcillas expansivas de color amarillento y de grano muy fino.

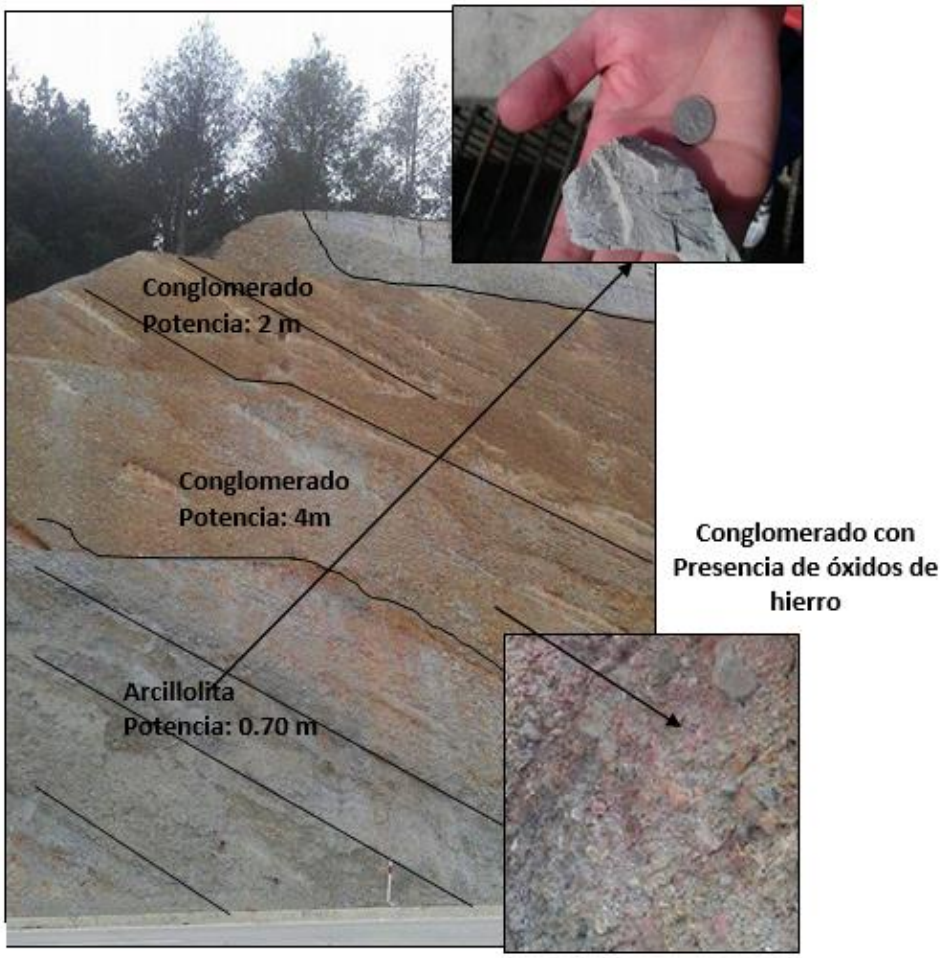


Figura 35 Talud en la formación Quillollaco.
Fuente: La Autora

En el conglomerado se presenció incrustaciones de arcillolitas de coloración gris-claro de cementación variable de grano muy fino a grano fino, de consistencia variable y su potencia varia hasta superar los 70 cm de ancho.

Estructuralmente las capas de conglomerados indican varios ambientes de depositación fluviátil ya que en forma ascendente los clastos de conglomerados disminuyen intercaladamente de tamaño, cuyos procesos deben haber sido lentos hasta turbulentos y por acción tectónica las capas han adquiridos un rumbo N 17 E e inclinan 17 NE como promedio.

También se determinó material como arcillas arenosas y arcillolitas de color amarillento claro pertenecientes a la formación San Cayetano y depositadas sobre la

formación Quillollaco, que tiene como material predominante conglomerado con clastos de aproximadamente 5 cm de diámetro.

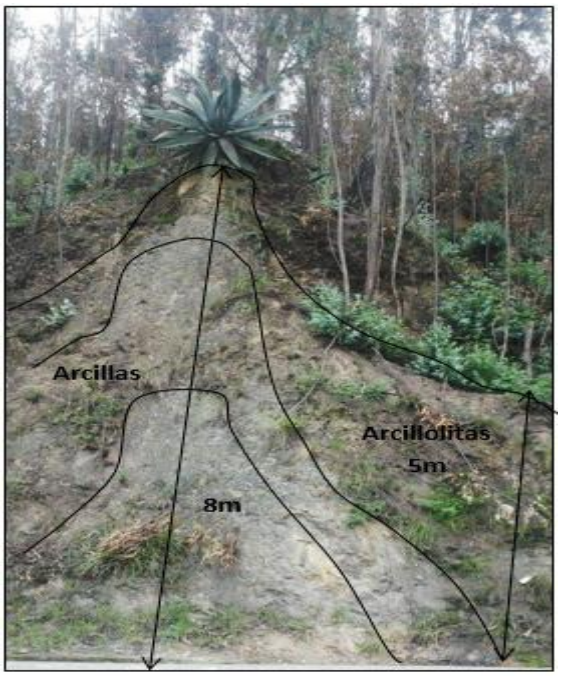


Figura 36 Talud en la formación San Cayetano
Fuente: La Autora

La presencia de agua en la zona de estudio ha conllevado a que se produzcan cárcavas de aproximadamente 20 centímetros en los taludes de la vía conllevando a que se produzca la inestabilidad del terreno y deslizamientos en el sector sumado a esto la meteorización y erosión que sufren estos suelos.

Figura 37 y 38 Presencia de cárcavas y filtración de agua
Fuente: La Autora

Las terrazas aluviales son los depósitos del cuaternario que se encuentran en el río Malacatos. Que han sido acarreados por miles de años por el afluente y erosión de los flancos Este y Oeste de la cuenca de Loja. Lo que se evidencia por las capas que se han formado de forma horizontal cuando el flujo ha sido laminar. También de evidencia material en donde el flujo ha sido turbulento durante el último periodo del cuaternario en el Holoceno.

Se inventariaron un total de 6 afloramientos, originados por los cortes de talud que se realizaron para la construcción de la vía de Integración Barrial, en donde se diferenciaron los tipos de materiales presente. **(Ver Anexo 1).**

- **Inventario de deslizamientos**

Durante las visitas de campo se identificó que en los lugares donde la matriz del conglomerado contiene un gran porcentaje de arena se han formado cárcavas por acción hídrica provenientes de las precipitaciones, lo que genera el denudamiento de los taludes además de la filtración de agua lo que puede desencadenar en deslizamientos.

En la zona de estudio, se identificaron 2 deslizamientos de tipo translacional de movimientos lentos, pero sin embargo pueden acelerarse por acción de agua, constituyéndose en un permanente peligro para la vía, afectando principalmente a la vía. Los deslizamientos se describen en las fichas que se encuentras en el **Anexo 2.1 y 2.2**

Figura 39 y 40 Durante el Inventario de Deslizamientos.
Fuente: La Autora.

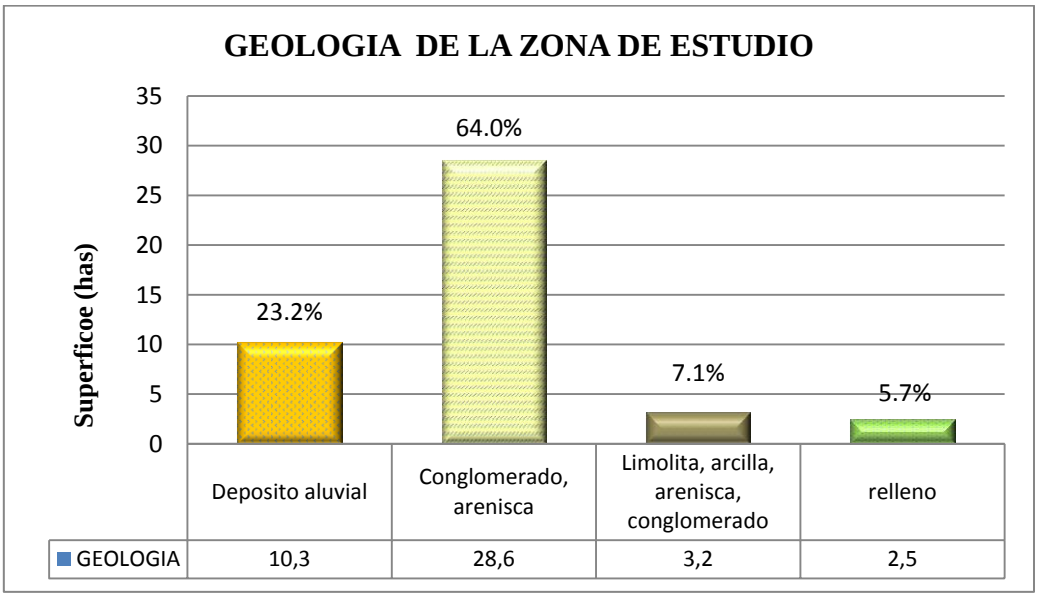
Luego de haber identificado y descrito la geología del sector, se realizó un corte geológico que atraviesa toda la superficie del área de estudio. **(Anexo 6)**.

La litología del área de estudio se indica en la **Tabla 20 y** la **Gráfica 1.**

Tabla 20. Litología de la zona de estudio

FORMACIÓN	MATERIAL	SUPERFICIE (Ha)	SUPERFICIE (%)
Quillollaco	Conglomerado, arenisca	28.60	64.00
Depósito aluvial	Deposito aluvial	10.30	23.20
San Cayetano	Limolita, arcilla, arenisca, conglomerado	3.20	7.10
Relleno	Relleno	2.50	5.70
Total		**44.6**	**100.00**

Fuente: La Autora



Gráfica 1. Litología de la zona de estudio
Fuente: La Autora

6.2.3. Geomorfología.

La interpretación geomorfológica del sector se realizó a través de la delimitación de geoformas mediante la ortofoto NVII-B2a-E1, facilitada por SIG Tierras, a escala 1:5.000 y la recopilación de información en campo a través de la observación directa.

La metodología aplicada en la elaboración del mapa de geomorfología fue la implementada por CLIRSEN en proyectos tales como la generación de geoinformación para la gestión de territorio a nivel nacional en el año 2010.

El resultado es el mapa Geomorfológico a escala de impresión 1: 4 000 **(Anexo 7)**; en donde las unidades morfológicas definidas tienen en cuenta una estructura jerárquica según su importancia, como se indica en la **Tabla 21,** en la misma geomorfología se muestran las unidades morfológicas y formas de relieve que forman parte de la base de datos, donde además se incluyen los campos de descripción y las características de cada unidad mapeada, además la litología y las formaciones geológicas.

El área de estudio muestra las siguientes unidades genéticas:

a. **Formas Estructurales**: Su relieve es de tipo residual, resultante de los procesos de erosión a los que ha sido sometida la mesa, quedando como testigo solo una parte de la cornisa, con pendiente del hasta 15º.

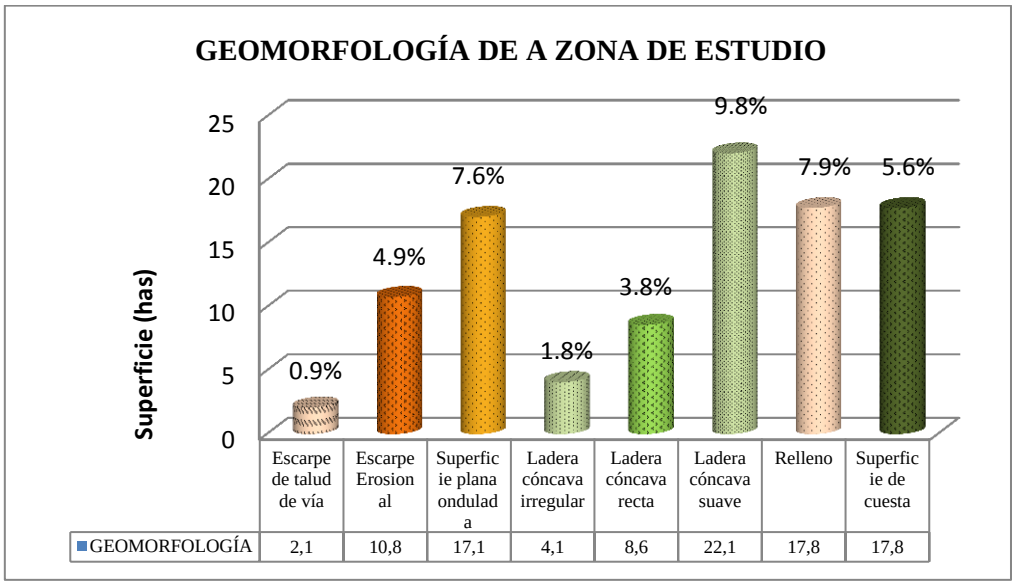
b. **Formas de Origen Fluvial:** Forma de relieve alargada con pendiente, relativamente plana y de sección transversal estrecha en algunos casos, intercalada entre áreas de relieve más alto y que tiene como eje a un río que fluye generalmente en forma sinuosa. Suele ser inundable en época de invierno. Por tanto se ubican cerca de río.

c. **Formas de Origen Estructural y Fluvio Erosional**: Producto de la acción antrópica y luego natural por escorrentías causadas por las precipitaciones. En área de estudio comprender los taludes de la vía y otros sectores de pendiente pronunciada.

Tabla 21. Geomorfología de área de estudio.

UNIDAD GENÉTICA	U. MORFOLÓGICA	FORMA DE RELIEVE	Área (has)	Área (%)
Forma de origen estructural-fluvio erosional	Estructura monoclinal	Escarpe de talud de vía	2.1	0.9
		Escarpe Erosional	10.8	4.9
Formas estructurales	Estructura monoclinal	Superficie plana ondulada	17.1	7.6
		Ladera cóncava irregular	4.1	1.8
		Ladera cóncava recta	8.6	3.8
		Ladera cóncava suave	22.1	9.8
		Relleno	17.8	7.9
		Superficie de cuesta	12.5	5.6

Fuente: Realizada por el autor a partir de Clirsen 2010.



Gráfica 2. Geomorfología de área de estudio.
Fuente: Realizada por el autor a partir de Clirsen 2010.

6.2.4. Pendientes

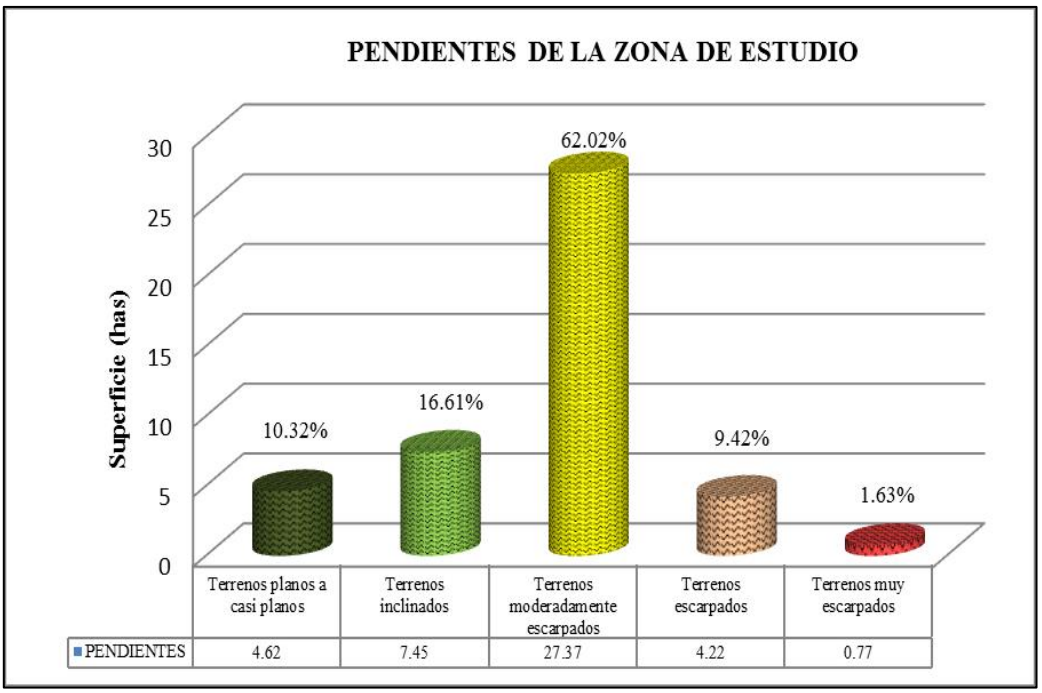
Mediante el Modelo de Elevación Digital generado a partir de las curvas de nivel que se obtuvieron en el levantamiento topográfico se realizó el mapa de pendientes en porcentajes. Las cuales se reclasificaron en cinco categorías en base a la pendiente en grados propuesta por Demek en 1992.

El sector de estudio después del análisis de pendientes presenta mayoritariamente terrenos planos o casi planos con una superficie de 4.62 Ha que representa el 10.32%, seguido de terrenos inclinados con 7,45Ha, representando el 16.61 %; por otro lado los terrenos moderadamente escarpados representan el 27,37% con 62.02 Ha, los terrenos escarpados representan el 4.22% con 9.42 Ha y los terrenos muy escarpados que representan el 0.77% con una área de 1.74 Ha. Como se observa en el **Anexo 8.**

Tabla 22. Área y porcentaje que ocupan las superficies de pendiente.

CATEGORIA	RANGO (°)	AREA (Ha)	AREA (%)
Terrenos planos a casi planos	0 - 5	4,62	10,32
Terrenos inclinados	5 -10	7,45	16,61
Terrenos moderadamente escarpados	10 - 35	27,37	62, 02
Terrenos escarpados	35 - 55	4,22	9,42
Terrenos muy escarpados	> 55	0,77	1,63
TOTAL		**43.43**	**100**

Elaboración: La Autora.



Gráfica 3. Área y porcentaje que ocupan las superficies de pendiente.
Elaboración: La Autora.

6.2.5. Uso Actual de Suelo

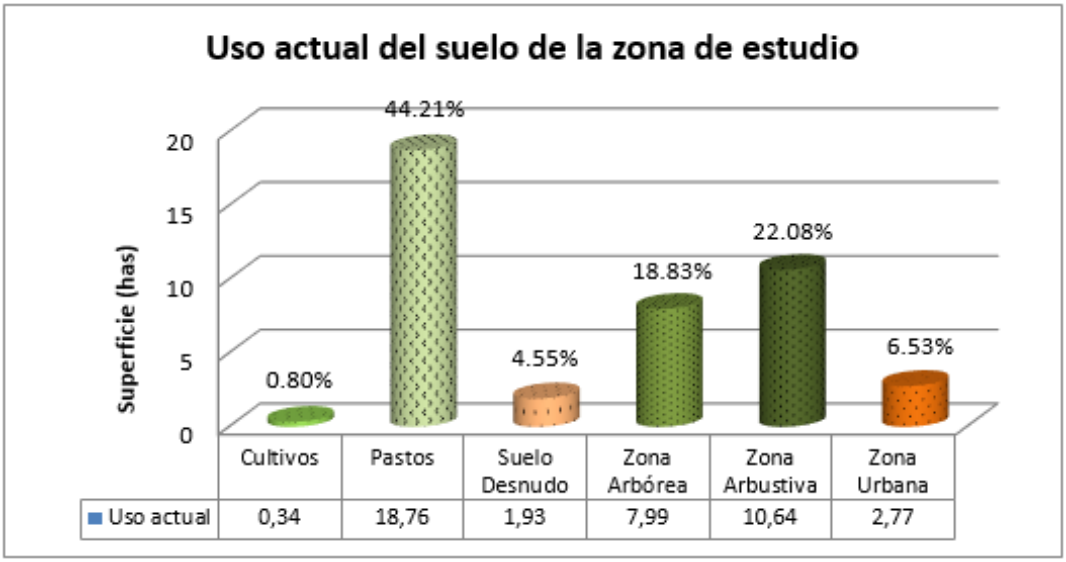
El mapa de Uso actual de suelo se realizó a partir del levantamiento Topográfico escala 1:4 000 y la ortofotografía a escala 1:5000 (NVII-B2-E1), generada a partir de la toma de fotografía aérea en el año 2010 otorgada por el SIGTIERRAS (Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica). Como resultado se obtuvo Mapa de Uso Actual de Suelo a escala 1:4000 en donde se describen cultivos, zonas arbóreas, pastos, vía, suelo desnudo, zona poblada, características que necesitan un análisis para asignar pesos en el cálculo de la susceptibilidad, considerándolo como un factor condicionante.

El sector de estudio presenta en mayor cantidad zonas de pastos con una superficie de 18.76 Ha que representa 44.21% utilizado con fines de explotación ganadera, seguida por la zona arbustiva con 10.64 Ha que abarca el 22.08%, la zona arbórea tiene 7,99 Ha con 18.83%. Es una zona que está en crecimiento por la expansión urbana de la Ciudad de Loja y actualmente la zona urbana representa 2,77Ha con el 6.53%, por otra parte existen zona de suelo desnudo por la construcción de terraplenes para las viviendas. Los cultivos representan únicamente el 0.34 Ha con 0.80%. **(Ver Anexo 9).**

Tabla 23. Área y porcentaje del uso del suelo.

USO ACTUAL DE SUELO	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
Cultivos	0.34	0.80
Pastos	18.76	44.21
Suelo Desnudo	1.93	4.55
Zona Arbórea	7.99	18.83
Zona Arbustiva	10.64	22.08
Zona Urbana	2.77	6.53
TOTAL	**46,93**	**100,00**

Elaboración: La Autora



Gráfica 4. Área y porcentaje del uso actual del suelo
Elaboración: La Autora

6.2.6. Valoración e interpretación de las zonas susceptibles a deslizamientos

Las zonas propensas a deslizarse, se determinaron mediante el uso de los métodos: heurístico y determinístico; los mismos que se basan en la relación de variables como geología, geomorfología, pendiente y uso actual del suelo; así como parámetros geotécnicos de los materiales, las cuales condicionan la estabilidad del terreno.

Para la representación de los resultados de los mapas de susceptibilidad se tomó en consideración una escala 1:4000 para una mejor visualización y representación de las zonas susceptibles a deslizarse.

6.2.6.1. Método heurístico

El mapa de susceptibilidad permitió desarrollar una aproximación del grado de ocurrencia de los deslizamientos, a partir de los parámetros que presentan mayor influencia en las condiciones de inestabilidad, cuyo proceso comienza dándoles a los datos de entrada como la geomorfología, pendientes, litología (tipos de rocas) y uso actual del suelo; y a cada una de sus variables un peso de 1 a 5. Los pesos asignados a cada variable tienen como sustento los ensayos realizados en la zona de estudio como los de penetración estándar y los sondeos eléctricos verticales que fueron indicadores para valorar la importancia de cada factor, además estudios anteriores realizados y el conocimiento total de la zona de estudio. Como se muestran en las siguientes Tablas **24, 25, 26 y 27.**

Tabla 24. Pesos asignado a la variable de Geología.

LITOLOGÍA	PESO
Depósitos aluvial	2
Conglomerado, arenisca	4
Limolita, arcilla, arenisca, conglomerado	3
Relleno Artificial	1

Fuente: La Autora.

Tabla 25. Pesos asignados a la variable geomorfología

GEOMORFOLOGÍA	PESO
Escarpe de talud vía	4
Escarpe erosional	1
Superficie plana ondulada	2
Ladera cóncava irregular	2
Ladera cóncava recta	2
Ladera cóncava suave	3
Relleno	2
Superficie de cuesta	5
Superficie plana ondulada	4

Fuente: La Autora

Tabla 26. Pesos asignados a la variable de pendiente.

CATEGORÍA	RANGO (%)	PESO
Terrenos planos casi planos	0 - 5	1
Terrenos inclinados	5 - 10	2
Terrenos moderadamente escarpados	10 - 35	3
Terrenos escarpados	35 - 55	4
Terrenos muy escarpados	> 55	5

Fuente: La Autora.

Tabla 27. Pesos asignados a la variable de Uso actual del suelo.

USO ACTUAL DEL SUELO	PESO
Cultivos	2
Zona arbórea	1
Zona Arbustiva	5
Pastos	3
Suelo desnudo	2
Zona Urbana	2

Fuente: La Autora.

Estos valores reclasificados en 5 categorías son en base a la facilidad con que las variables propician a los deslizamientos, como se muestra en la siguiente **Tabla 28.**

Tabla 28. Valores que muestran los pesos asignados a cada variable.

CONDICIÓN PARA ASIGNACIÓN DE PESOS	PESOS
Condiciones biofísicas muy bajas para que se produzcan deslizamientos.	1
Condiciones biofísicas menos desfavorables para que se produzcan deslizamientos.	2
Condiciones biofísicas desfavorables para que se produzcan deslizamientos.	3
Condiciones biofísicas severas haciendo que los espacios geográficos que presentan estas características, sean muy susceptibles a deslizamientos.	4
Condiciones biofísicas muy severas haciendo que los espacios geográficos que presentan estas características, sean altamente susceptibles a deslizamientos.	5

Fuente: La Autora.

- **Índice de susceptibilidad**

La susceptibilidad se expresa como la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno.

El índice de la susceptibilidad se expresa como la relación entre la suma de todos los factores. El procedimiento aplicado da mayor preponderancia al peso establecido en los criterios sobre los valores asignados a las alternativas en el proceso de toma de decisiones. (Barredo, Benavides, Hervás, & Van Westen, 2000)

Esto significa en nuestro caso que el índice de susceptibilidad obtenido depende fundamentalmente del peso asignado a los factores (evaluado mediante la razón de consistencia), y en menor medida de la asignación de pesos a cada clase dentro de un factor, por lo que la subjetividad y ausencia de control inherentes a éste último proceso no influye de sobremanera en el cálculo del índice final, cuya relación es la siguiente:

$$\boxed{S = G + L + U + P}$$

Dónde:

G = Valor de la variable geomorfológica.

L = Valor de la variable litológica.

U = Valor de la variable uso de suelo.

P= Valor de la variable pendiente.

S= Susceptibilidad.

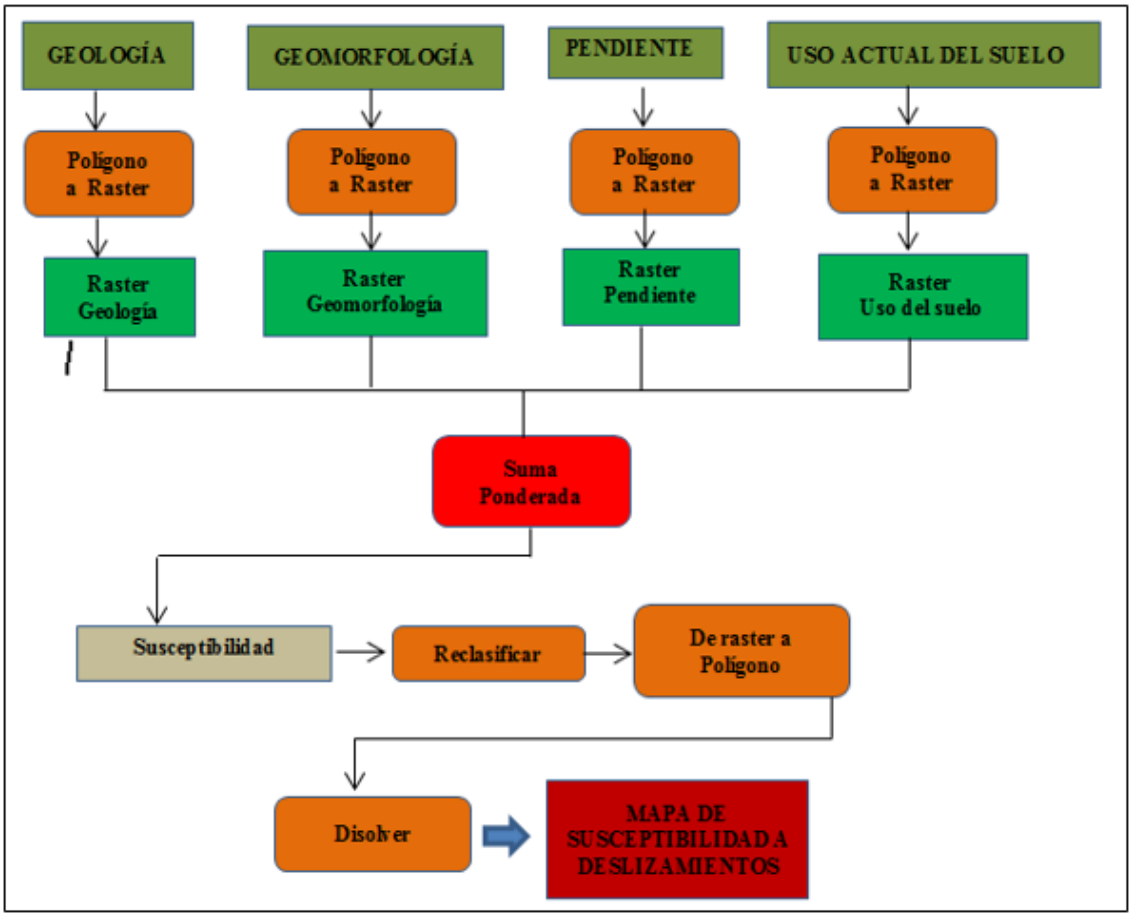


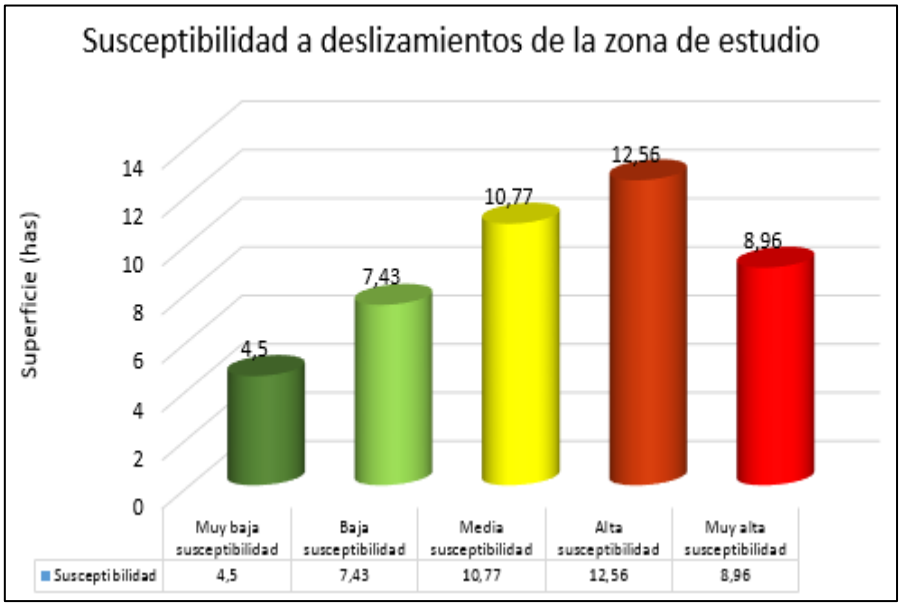
Figura 41 Análisis secuencial "Model Builder" para la obtención del Mapa Final.
Fuente: La Autora.

Seguidamente se realiza el cruce de los mapas con la herramienta suma ponderada en formato raster (1m X1m de celda), donde el mayor peso se le asignó a la variable geología (0.4), luego a la geomorfología (0.3), seguido por pendientes (0.2) y Uso de suelo (0.1); se recalca que la asignación fue realizada tanto con el conocimiento de la zona de estudio y ensayos de laboratorio. La suma de los factores dio como resultado 5 categorías que describen a continuación. Como se observa en el **Anexo 10.**

Tabla 29. Categorías de la susceptibilidad por el método Heurístico

CATEGORÍA	COLOR	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
Muy baja susceptibilidad		4.50	10.17
Baja susceptibilidad		7.43	16.80
Media susceptibilidad		10.77	24.36
Alta susceptibilidad		12.56	28.41
Muy alta susceptibilidad		8.96	20.46
TOTAL		**42.22**	**100,00**

Fuente: La Autora



Gráfica 5. Categorías de la susceptibilidad por el método Heurístico
Fuente: La Autora

Susceptibilidad Muy Baja.- Se caracterizan por la estabilidad que posee el terreno y topografía de relieve plano, condiciones no aptas para la ocurrencia de los deslizamientos. Estos sectores poseen pendientes muy bajas entre 0º y 5º (terrenos planos o casi planos), en su mayor parte son zonas de cultivos y áreas urbanizables y se encuentran aledañas al Río Malacatos. En cuanto a su litología están compuesta conglomerados pertenecientes a la Formación Quillollaco, ocupan 4.50 Ha con el 10.17%.

Susceptibilidad Baja.- Estos sectores se caracterizan por ser de pendientes poco inclinadas; comprenden arcillolitas, arcillas y conglomerados que no presentan gran

peligro a deslizarse debido a su inclinación. Se encuentran en suelos ocupados por urbanizaciones y pastos en su mayoría, abarcan una área de 7.43 Ha, siendo el 16.80%.

Susceptibilidad Media.- Pertenecen a sectores donde la susceptibilidad es media debido a las condiciones del terreno como la inclinación y el tipo de material como son las arcillas, conglomerados y depósitos del cuaternario, poseen pendientes entre 30% y 50% (terrenos moderadamente escarpados). El área que abarcan es de 10.77 Ha que corresponde al 24.36 %.

Susceptibilidad Alta.- Son zonas de pendiente entre 35º y a 55º además estas se caracterizan por no se zonas sin vegetación arbustiva y en su mayoría sumado las arcillas hace de estas áreas inestable, son zonas donde lo escarpado son los taludes de la vía es decir naturales y artificiales. Abarcan un área de 12.56 Ha con un porcentaje de 28.41%.

Susceptibilidad Muy Alta.- Son zonas de pendiente mayores a 55º además de estar sin cobertura vegetal en su mayoría sumado las arcillas hace de estas áreas muy inestables, son zonas de talud artificial. Ocupando una área de 8.96 Ha con un porcentaje de 20.46%.

6.2.6.2. Método Determinístico.

Para la obtención del mapa de susceptibilidad a deslizamientos de la zona de estudio se aplicó la extensión de SINMAP en ArcGis 10.1, utilizando el análisis de talud infinito, que dentro el software es analizado con un ráster (Modelo Digital de Terreno DTM.asc) pixel por pixel debidamente calibrado. La cohesión se refiere a la capacidad de las partículas para permanecer juntas de forma intergranular y el ángulo de fricción interna es la capacidad de una unidad de suelo (litología) para soportar una tensión determinada.

Para la calibración de parámetros se consideraron las cotas máximas y mínimas obtenidas en la topografía, los valores de cohesión, el ángulo de fricción interna y la densidad del suelo, valores que fueron determinados en los ensayos SPT (Anexo 13)

Los datos como el espesor del suelo, gravedad, densidad del agua son dadas por el mismo programa, en el que se creó un mapa cuantitativo de susceptibilidad de acuerdo a los factores de seguridad.

A continuación se presentan los datos utilizados para la calibración de los parámetros geotécnicos empleados en SINMAP 2.0.

Tabla 30. Parámetros Geotécnicos usados en SINMAP.

Nº	VARIABLE CONSIDERADA	VALOR
1	**DTM. Modelo Digital Del Terreno**	1 m
2	**Espesor del Suelo (m)**	1 m
3	**Gravedad (m/s^2)**	9.81
4	**Densidad Del Agua (Kg/m^3)**	1000
5	**Densidad Del suelo (Kg/m^3)**	1800
6	**T/r Min (m)**	2149
7	**T/r Max (m)**	2282
8	**Cohesión Min (adimensional).**	1.76
9	**Cohesión Max (adimensional)**	2.2
10	**Phi Min (°)**	38
11	**Phi Max(°)**	40
12	**Ponderación del Usuario**	1

Fuente: La Autora.

El mapa resultante se lo categorizó en 5 categorías mediante valores de Factor de seguridad (FS), como se indica en la tabla a continuación. Como se observa en el **Anexo 11.**

Tabla 31. Valores de FS y su correlación con el SINMAP.

TIPO DE ESTABILIDAD	RIESGO A DESLIZAMIENTO	INTERVALO DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD	FS	INFLUENCIA DE FACTORES ESTABILIZANTES Y DESESTABILIZANTES
Inestable	Alto	0.0	< 1	Son requeridos factores para estabilizar.
Umbral Superior de Inestabilidad		0.0-0.5	>50% de FS ≤ 1	Factores estabilizadores pueden ser responsables de la estabilidad.
Umbral inferior de inestabilidad	Moderado	0.05-1.0	≥ 50%de FS >1	No son necesarios factores desestabilizantes para la estabilidad.
Nominalmente estable		1.0-1.25	Máximo FS=1	Factores menores desestabilizantes son requeridos para la inestabilidad.
Moderadamente Estable	Bajo	1.25-1.50	Máximo FS =1.25	Factores moderadamente desestabilizantes son requeridos para la inestabilidad.
Estable		>1.50	Máximo FS = 1.5	Factores significativamente desestabilizantes son necesarios para la inestabilidad.

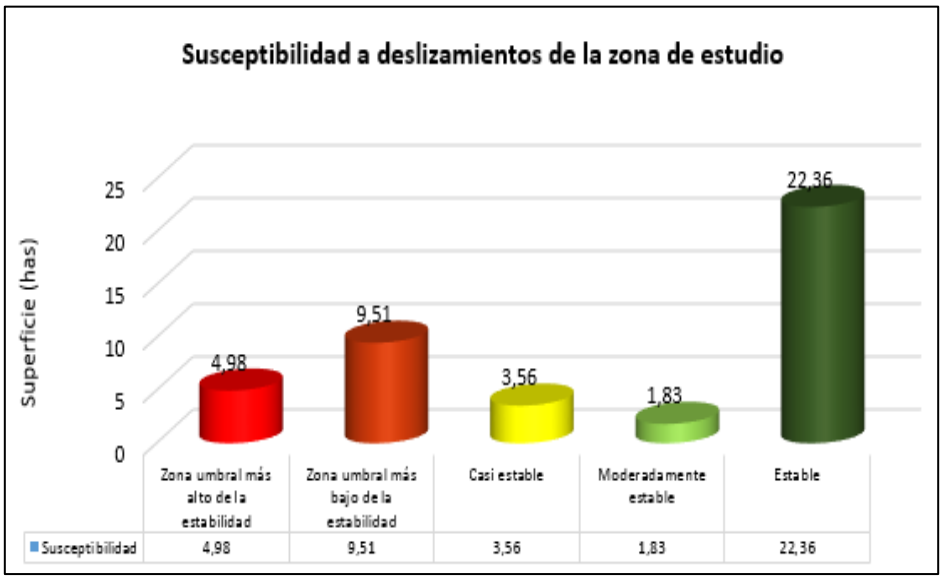
Fuente: Atlas de Riesgos Naturales de Santa María Tlahuitoltepec Mixe, Oaxaca.

Los resultados obtenidos del modelamiento se describen a continuación.

Tabla 32. Categorías de la susceptibilidad por el método determinístico

CATEGORÍA	COLOR	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
Zona umbral más alto de la estabilidad		4.98	11.54
Zona umbral más bajo de la estabilidad		9.51	22.63
Casi estable		3.56	8.35
Moderadamente estable		1.83	4.25
Estable		22.36	53.23
TOTAL		**42.24**	**100.0**

Fuente: La Autora.



Gráfica 6. Categorías de la Susceptibilidad por el método Determinístico
Fuente: La Autora.

Umbral más Alto de la Estabilidad.- Son zonas donde la fuerzas desestabilizadoras superan ampliamente la estabilizadoras y se caracterizan por ser zonas de pendiente pronunciadas representan 4,98 Ha es decir el 11.54% de área total, éstas áreas pueden afectar directamente a la vía.

Umbral más Bajo de la Estabilidad.- Representan el 22.63% es decir 9,51 Ha del total del área. Son zonas que se encuentran junto a las anteriores y se caracterizan por ser zonas de taludes artificiales y naturales por tanto representa una probabilidad alta para la ocurrencia a deslizamientos.

Casi estable.- Representan 8.35% con 3.56 Ha, las condiciones de estabilización están equiparadas y son muy poco propensas a la ocurrencia a deslizamientos.

Moderadamente Estable.- Son zona donde las condicionantes para la inestabilidad no superan a las desencadenantes así se presente los escenarios propicios, representan 1.83 Ha es decir 4.25 % del área total.

Estable.- Son zonas de relieve plano principalmente y es la más extensa con 22,36 Ha es decir con 53.23%.

- **Análisis de afectaciones por zonas susceptibles a deslizamientos**

Las obras de infraestructura que se encuentran en la zona de estudio se establecieron durante el levantamiento topográfico a detalle, determinando que en el área de influencia del tramo de vía de integración barrial que tiene una longitud de 900 metros lineales, existen 95 viviendas, las cuales se tomaron en cuenta para realizar el análisis de afectaciones.

En la susceptibilidad por el método heurístico en las zonas de muy alta susceptibilidad se encuentran asentadas 2 viviendas que corresponde al 2.10%; en las zonas de alta susceptibilidad se encuentran 34 viviendas es decir el 35.79%; en las zonas de mediana susceptibilidad se tiene 17 viviendas que representan el 17.89%; en zonas de baja susceptibilidad existen 36 viviendas es decir el 37.89% y en la zona de muy baja susceptibilidad se cuenta con 6 viviendas que alcanza el 6.32%

En la susceptibilidad por el método determinístico se tiene que en la zona del umbral más alto de la estabilidad existen 6 viviendas que equivale al 6.32%; en la zona del umbral más bajo de la estabilidad están asentadas 13 viviendas que representan el 13.68%; en las zona casi estable se cuenta con 12 viviendas es decir el 12.63%; en la zona moderadamente estable se tiene 16 viviendas que corresponde al 16.84%; y en la zona estable se encuentran 48 viviendas que equivale al 50.52%.

En el análisis por el método heurístico del tramo de vía se identificó que no se encuentra sobre zonas de susceptibilidad muy alta, sin embargo al margen de la vía se encuentran la gran mayoría de zonas alta susceptibilidad a deslizamientos que pueden traer consigo afectaciones, las zonas de susceptibilidad alta ocupan 410 metros, en zonas de media susceptibilidad se encuentran 320 metros, y 170 metros ocupan las zonas de baja y muy baja susceptibilidad.

En lo que respecta al método determinístico se identificó que la mayor parte del tramo de vía es decir 800 metros se encuentran en zonas estables, sin embrago al igual que en el método heurístico las zonas de alta susceptibilidad se encuentran en el margen

de la vía, los 100 metros restantes se encuentran sobre las zonas del umbral más bajo de la estabilidad y la zona casi estable.

6.2.7. Interpretación de los sondeos eléctricos verticales

En el presente estudio se realizó cuatro sondeos eléctricos verticales mediante el arreglo Schlumberger, los cuales han sido ubicados estratégicamente, para realizar cortes geoeléctricos e interpretar las estructuras del subsuelo y el contenido de agua en los estratos.

Los resultados de la lecturas de las resistividades se interpretaron mediante el programa EARTHIMAGER 1D versión 2010 que permite usar profundidades y resistividades para minimizar el error de ajuste y de interpretación. Los puntos centrales donde se realizaron los Sondeos eléctricos verticales son los siguientes.

Tabla 33. Sondeos eléctricos verticales en el área de investigación

COORDENADAS DE LOS SONDEOS		
X (m)	**Y (m)**	**Z (m)**
700150	9551395	2192
700131	9551613	2195
699931	9551808	2234
700034	9552234	2180

Fuente: La Autora

Las gráficas de representación de las resistividades en el programa representan: la línea de color azul es la resistividad real, la línea roja la resistividad aparente.

Al momento de generar la información el programa de forma automática arroja un perfil con el número de capas, cuya línea blanca en el modelo muestra valores de resistividad logarítmica relativas de todas las capas.

- **Línea 1.**

El sondeo 1 se realizó en un relleno hecho por la construcción de la vía de integración Barrial en la cerca al Río Malacatos en dirección NW-SE en total se realizaron 14 mediciones en una abertura AB/2 de 31.60m.

Insertados los datos al software EARTHIMAGER 1D genero un total de 4 capas con error de corrección de 3.82%:

La primera capa corresponde a relleno realizado en el lugar con una profundidad de 0.50 metros con resistividad de 133.35 Ωm, la segunda capa corresponde a conglomerado con potencia de 2.27metros y una resistividad de 247.38 Ωm, la tercer capa corresponde a arcilla arenosa saturada con una potencia de 2.32 metros y una resistividad de 31.88 Ωm y la última capa corresponde a conglomerado de matriz arcillosa con baja humedad con una resistividad de 115.38Ωm.

Tabla 34. Lecturas de resistividad SEV 1

ABERTURA AB/2 (m)	ABERTURA MN/2 (m)	CONSTANTE K	RESISTIVIDAD (OHM-M)
1.00	0.20	7.54	133.35
1.47	0.20	16.66	166.71
2.15	0.20	35.99	182.92
3.16	0.20	78.11	207.78
4.54	0.20	168.78	247.38
4.64	0.50	86.85	31.88
6.81	0.20	363.92	274.86
6.81	0.50	144.91	356.98
10.00	0.50	313.37	310.18
14.70	0.50	678.08	276.62
15.70	2.00	166.58	311.65
21.50	0.50	1454.42	222.73
21.50	2.00	359.91	248.15
31.60	2.00	781.13	115.38

Fuente: La Autora.

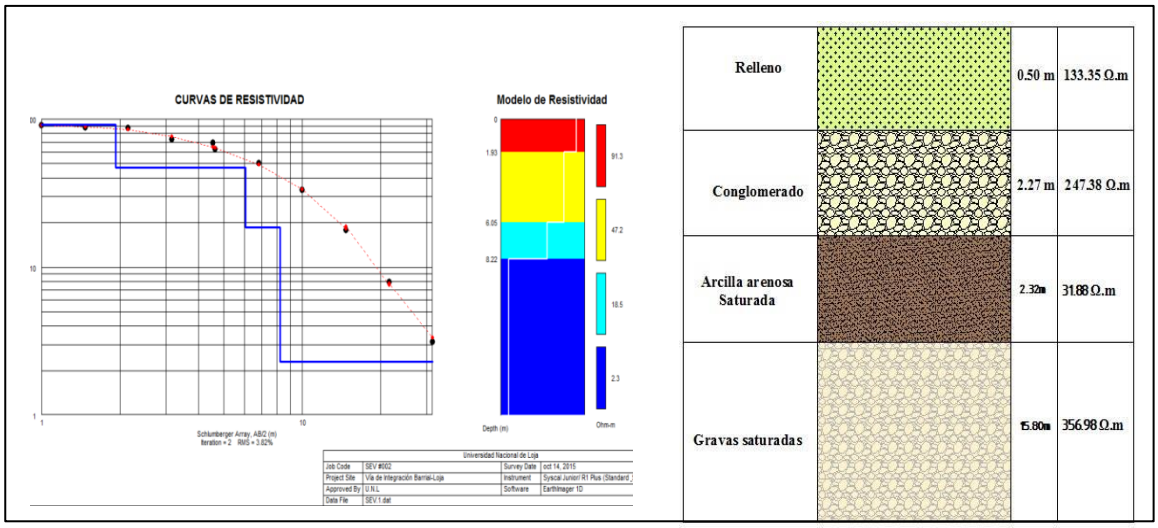


Figura 42 Resistividad aparente y corte geo eléctrico del SEV 1
Fuente: La Autora

- **Línea 2:**

Esta línea se realizó al Éste del área de estudio, donde se llegó hasta una abertura máxima AB/2 de 46.40 m, efectuando 15 mediciones.

La interpretación de profundidades dio como resultado 4 capas, la primera corresponde a suelo orgánico con una potencia de 0.50 metros y una resistividad de 446.7 Ωm, la segunda corresponde a conglomerado de alta consistencia con una potencia de 7.85 metros y una resistividad de 1255.86 Ωm, la tercera corresponde a conglomerado con baja humedad con una potencia de 10.75 metros y una resistividad de 1001.69 Ωm, y última capa corresponde a material areno-arcilloso de mediana consistencia con una potencia de 23.35 metros y una resistividad de 368.21Ωm.

Tabla 35. Lecturas de resistividad SEV 2

ABERTURA AB/2 (m)	ABERTURA MN/2 (m)	CONSTANTE K	RESISTIVIDAD (OHM-M)
1.00	0.20	7.54	446.7
1.47	0.20	16.66	516.76
2.15	0.20	35.99	576.79
3.16	0.20	78.11	628.24
4.54	0.20	168.78	719.95
4.64	0.50	86.85	772.49
6.81	0.20	363.92	811.20
6.81	0.50	144.91	871.10
10.00	0.50	313.37	1071.62
14.70	0.50	678.08	1204.87
15.70	2.00	166.58	1255.86
21.50	0.50	1454.42	981.50
21.50	2.00	359.91	1001.69
31.60	2.00	781.13	555.24
46.40	2.00	1687.79	368.21

Fuente: La Autora

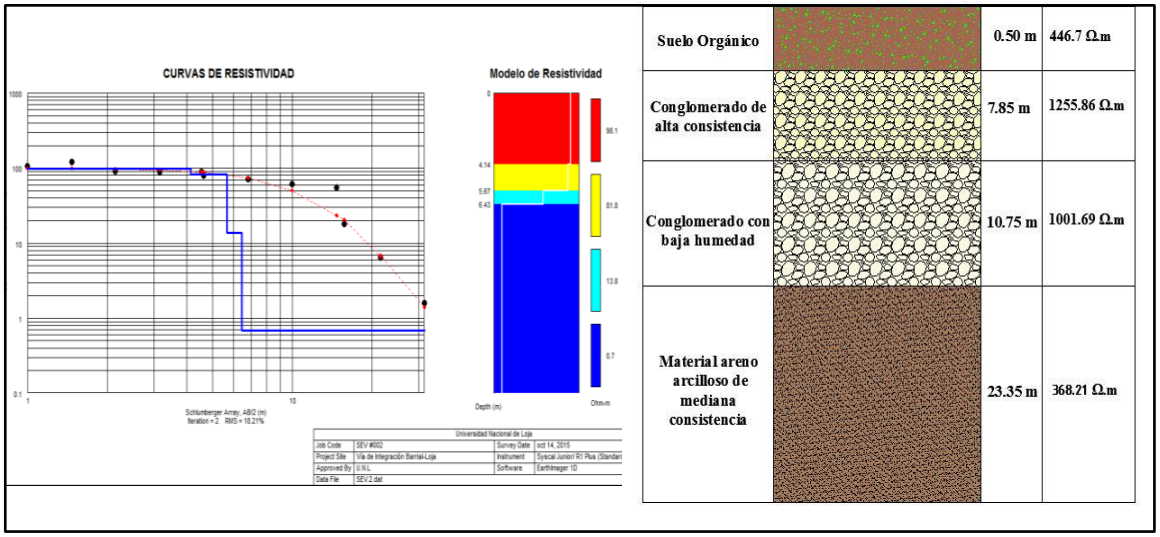


Figura 43 Resistividad aparente y corte geo eléctrico del SEV 2
Fuente: La Autora.

- **Línea 3**

La línea se efectúo al Sur del área de estudio entre la vía y Río Malacatos, en dirección NE.SE, de donde se obtuvo 15 mediciones, llegando a una abertura AB/2 de 46.40 m.

El programa EARTHIMAGER 1D a través del análisis de reajuste genero 4 capas, con un error de corrección de 16.63%, la primera capa corresponde a suelo orgánico con

una potencia de 0.30 metros y una resistividad de 400.75 Ωm, la segunda capa corresponde a conglomerado de matriz arcillosa con una potencia de 2.32 metros y una resistividad de 865.22 Ωm, la tercera capa corresponde a conglomerado de matriz arcillosa de alta consistencia con una potencia de 7.85 metros y una resistividad de 952.69 Ωm y la última capa corresponde a conglomerado con baja humedad con una potencia de 23.20 metros y una resistividad de 615.62 Ωm.

Tabla 36. *Lecturas de resistividad SEV 3*

ABERTURA AB/2 (m)	ABERTURA MN/2 (m)	CONSTANTE K	RESISTIVIDAD (OHM-M)
1.00	0.20	7.54	400.75
1.47	0.20	16.66	518.66
2.15	0.20	35.99	768.97
3.16	0.20	78.11	747.22
4.54	0.20	168.78	751.20
4.64	0.50	86.85	865.22
6.81	0.20	363.92	652.79
6.81	0.50	144.91	750.40
10.00	0.50	313.37	754.57
14.70	0.50	678.08	800.97
15.70	2.00	166.58	952.69
21.50	0.50	1454.42	746.88
21.50	2.00	359.91	875.48
31.60	2.00	781.13	793.90
46.40	2.00	1687.790	615.62

Fuente: La Autora.

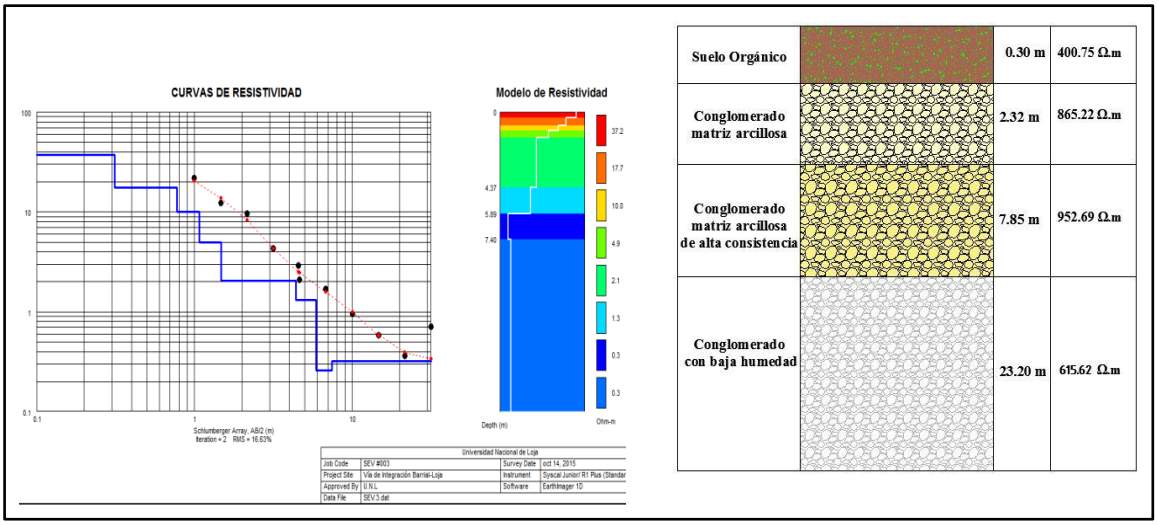


Figura 44 Resistividad aparente y corte geo eléctrico del SEV 3
Fuente: La Autora

- **Línea 4**

Se realizó en la parte final del área de estudio al Sur cerca a al Río y a la quebrada Sin Nombre, se efectuaron 14 mediciones con un total de 16 mediciones con una abertura A/B de 46.40m

El error de corrección para la interpretación dada por el software EARTHIMAGER 1D es del 21.90%. En este último sondeo eléctrico vertical el número de capas determinadas fueron de 3 capas, la primera corresponde a suelo orgánico saturado con una potencia de 0.50 metros y una resistividad de 38.57 Ωm, la segunda capa corresponde a conglomerado matriz arcillosa saturado con una potencia de 15.8 metros y una resistividad de 200.39 Ωm y la última capa corresponde a areniscas medianamente compactadas con una potencia de 23.20 metros y una resistividad de 231.81 Ωm.

Tabla 37. *Lecturas de resistividad SEV 4*

ABERTURA AB/2 (m)	ABERTURA MN/2 (m)	CONSTANTE K	RESISTIVIDAD (OHM-M)
1.00	0.20	7.54	38.57
1.47	0.20	16.66	44.00
2.15	0.20	35.99	47.98
3.16	0.20	78.11	54.63
4.54	0.20	168.78	62.48
4.64	0.50	86.85	64.88
6.81	0.20	363.92	77.07
6.81	0.50	144.91	81.12
10.00	0.50	313.37	100.83
14.70	0.50	678.08	131.60
15.70	2.00	166.58	131.21
21.50	0.50	1454.42	164.75
21.50	2.00	359.91	164.73
31.60	2.00	781.13	200.39
46.40	2.00	1687.79	225.28
46.40	5.00	668.52	231.81

Fuente: La Autora

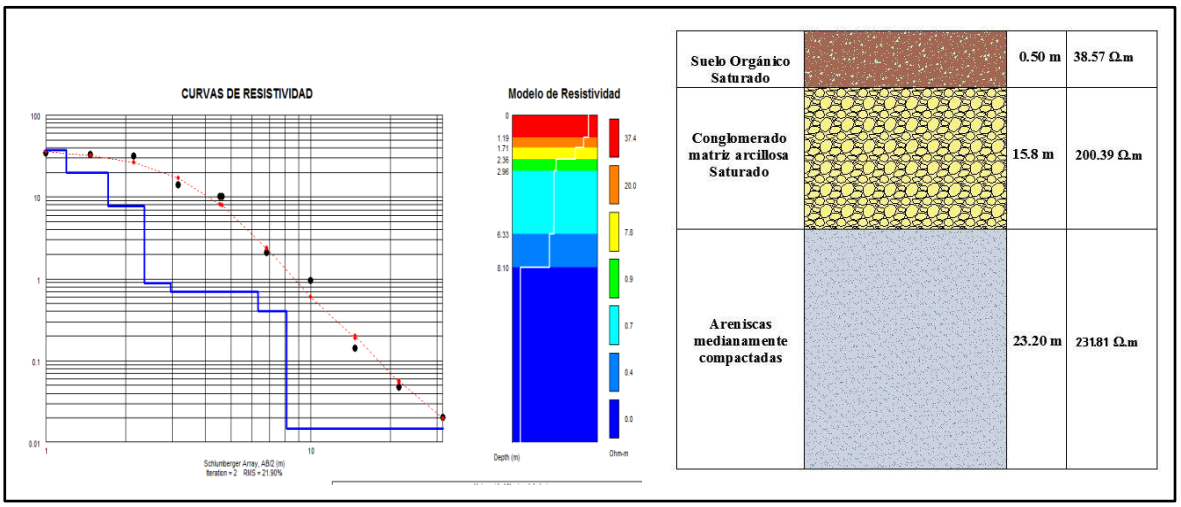


Figura 45 Resistividad aparente y corte geo eléctrico del SEV 4
Fuente: La Autora a partir del software AGI.

6.2.7.1. Perfiles Geoeléctricos de los sondeos eléctricos verticales (SEV)

Los perfiles geoeléctricos se basaron en la correlación de las resistividades obtenidas en el ensayo de Sondeos Eléctricos Verticales y en la tabla referencial **(Anexo 3)** cuyos valores son interpretados y plasmados en perfiles geoeléctricos para correlacionar la continuidad de litologías que existen entre las diferentes líneas SEV. Se realizaron dos perfiles geoeléctricos que se representa a continuación:

CORTE A - B

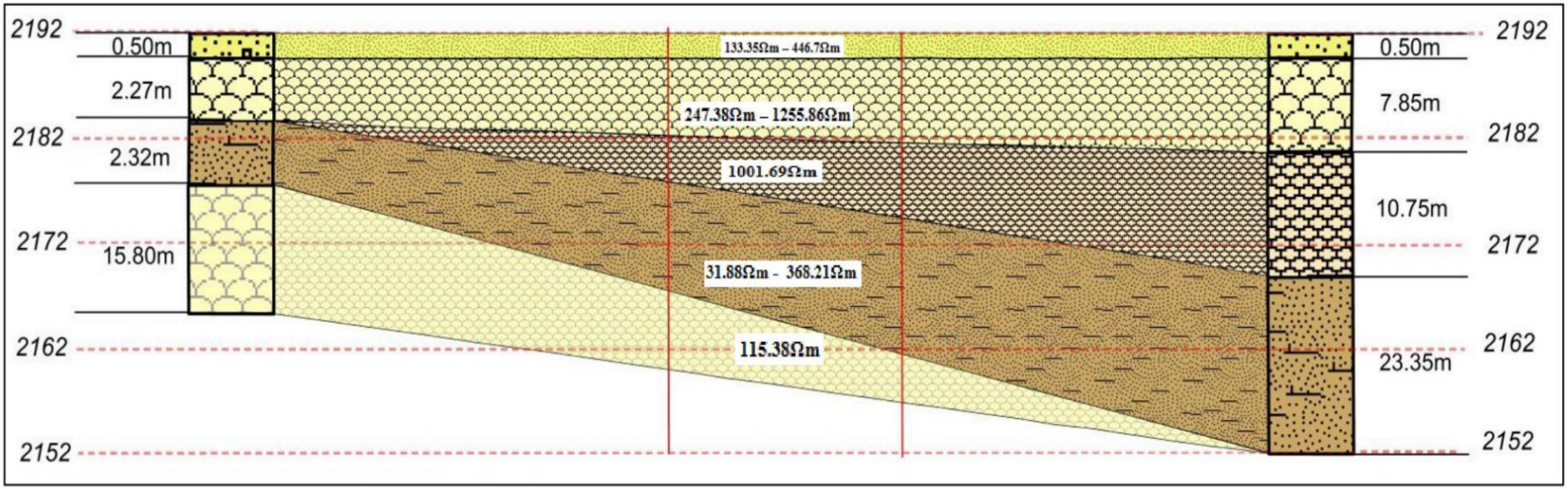


Figura 46. Perfil geoeléctrico del corte A-B
Fuente: La Autora

CORTE C - D

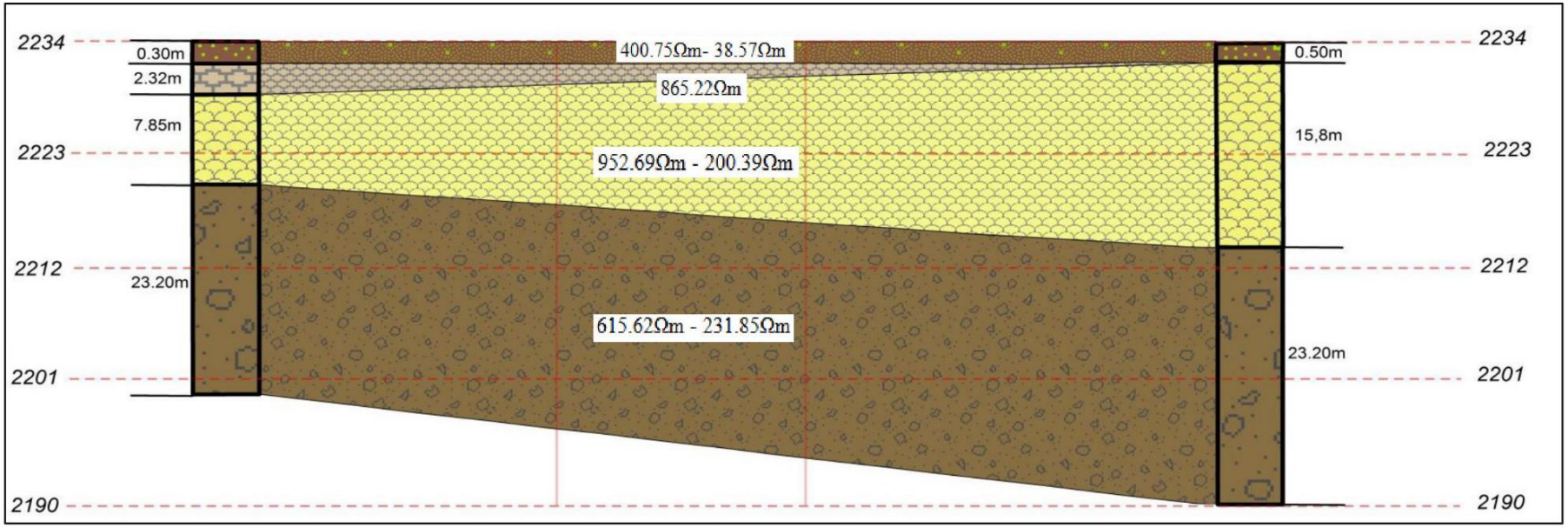


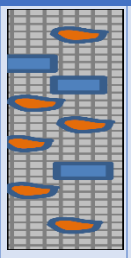
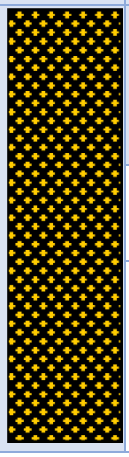
Figura 47. Perfil geoeléctrico del corte C-D
Fuente: La Autora

6.2.8. Interpretación de los Sondeos de Penetración Estándar (S.P.T.)

Se realizó para determinar las características geo mecánicas de los materiales, como los límites de Atterberg, clasificación del tipo de suelo en el SUCS y AASHTO, humedad y la capacidad portante del suelo datos que permiten el cálculo de factor de seguridad que de detallan más adelante, además de hacer correlaciones con los resultados de los sondeos eléctricos verticales.

Se tomaron datos de los ensayos de penetración estándar realizados para la constructora Técnica General de Construcciones TGC. Para la construcción de la vía y del puente sobre el Río Malacatos al final de tramo ver **Anexo 13.**

Tabla 38. Perfil estratigráfico del SPT.

H	TRAMO (m)	COTA m s.n.m	PERFIL	DESCRIPCIÓN
0	8.00	2181.50		Escombros como pedazos de hormigón y ladrillos. Material de relleno compuesto por arcillas inorgánicas y arenas limosas de plasticidad media, de bajo contenido de humedad
1				
2				
3		2177.50		
4				
5		2173.50		
6				
7				
8	**7.00**	2172.50		Arena limo-arcillosa de baja plasticidad con presencia de gravas tipo andesitas, cuarcitas, cuarzo entre otros, de compacidad relativa densa, bajo contenido de humedad color gris amarillento.
9				
10				
11				
12				
13				Limo orgánico de baja plasticidad, de consistencia firme, alto contenido de humedad, color negro.
14		2169.50		
		2166.50		Grava en matriz areno-limo-arcillosa, de compacidad relativa muy densa, baja plasticidad, bajo contenido de humedad color gris amarillento. Cantos tipo andesitas y cuarcitas.
15				

Fuente. Constructora Técnica General de Construcciones TGC.

6.2.9. Geotecnia

6.2.9.1. Características generales de las unidades geotécnicas

<u>Unidad Geotécnica Nro. 1 "Formación Quillollaco" - Conglomerado y arenisca.</u>

- **Litología: Formación Quillollaco**

La formación yace en la Quebrada Quillullacu en la cuenca de Loja está dominada por conglomerados con pocas intercalaciones de arenisca. Los conglomerados están compuestos por clastos metamórficos redondeados, filitas, cuarcitas, vetas de cuarzo y esquistos de hasta 50 cm. de diámetro; también hay intervalos menores de arenisca que son ínterestratificadas. Su espesor varía entre 600 m al sur de la cuenca, 100 m en la parte central y 500 m en la parte este de la cuenca.

- **Geología**

Los materiales más representativos de esta unidad geotécnica son depósitos conglomeraticos de coloración gris claro a oscuro con intercalaciones de areniscas pertenecientes a la formación Quillollaco de la Época Mioceno Tardío

MQ	Quillollaco

- **Estructura**

Los sedimentos muestran una facies típica asociada de un ambiente de abanico aluvial con depósitos detríticos dispersos dominado por canales fluviales por el río Malactos, se sugiere una edad del Mioceno Tardío. Los espesores alcanzados por los estratos de conglomerado son variables pero en promdio están entre de 4m con intercalaciones de areniscas de 1metro.

- **Geotecnia.**

Para este tipo de materiales se puede relacionar con una capacidad portante de media a baja, y una baja deformabilidad.

- **Interpretación -SPT-**

Los depósitos conglomeráticos funciona como el basamento donde descansan los estratos de arcilla y areniscas, presentan una densidad de 1.72 ton/cm^3 y según los ensayos de granulometría presenta los siguientes materiales a diferentes profundidades según los ensayos de penetración estándar.

- **OL:** material Orgánico, con gran cantidad de arcillas misma que tienen un comportamiento expansivo.
- **SM/SC.** Arenas consolidadas con gran cantidad de grava varía entre el 32% y finos en un 15 % por lo que se presentan un comportamiento frágil con una media resistencia en estado seco con tenacidad media.
- **GM/GC:** Gravas arcillosas mal graduadas con presencia de material fino plástico y comportamiento blando. Porcentualmente contienen en promedio el 69% de grava. El 17% de arenas y 15% de finos.

Según Krumbrein y Sloss (1995), "las partículas de la muestra son 0.9/0.9 (forma/redondeamiento) y tienen una relación de fino del 15% - 33%".

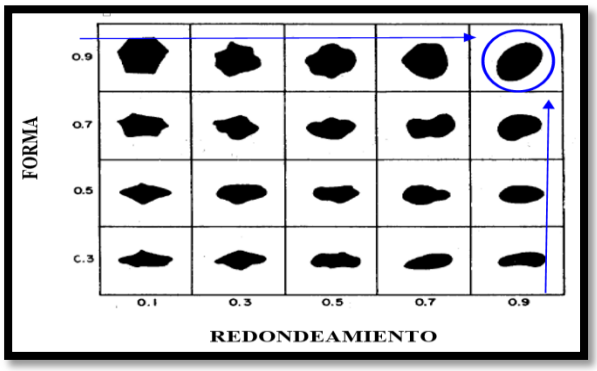


Figura 48 Clasificación de las partículas por su forma y redondeamiento
Fuente: Krumbrein y Sloss (1995)

Corresponden a materiales con un bajo porcentaje de finos y un alto contenido de gravas (25%) y arenas (46%). Tienen un límite líquido Muy Bajo (25%). El limite plástico L.P., es de 25%. Su índice de plasticidad I.P. relaciona valores entre 5 - 6%, lo que permite clasificar al material como SM-SC (SUCS) Y A-2-4 y A-1 b (AASHTO) reconocidas como material de gravas y arenas con muy baja plasticidad en general en todo el área de estudio.

El ángulo de fricción interna es de 40°. Cohesión de 2. 2 y densidad de 1.9 ton/cm^3. La humedad varía entre un 11% a 44% a los 11.0m de profundidad lo que indica presencia de agua siguiendo la perforación (niveles freáticos – capilaridad - infiltración).

En base a los valores orientativos del SPT de los 1.0m a los 3m; existe una constante de penetración lo que indica suelos de consistencia media (N50 = 50 golpes). Desde el primer metros de perforación, considerando que pueden ser suelos rígidos.

- **Condiciones de Estabilidad**

El ángulo de talud recomendado es de 40° siempre y cuando se encuentre en estado seco, ya que este tipo de material es muy poco resistente en condiciones húmedas. Como excavabilidad, los materiales granulares (Gravas- Arenas) pueden ser extraídos mecánicamente (Palas/Excavadoras/Retroexcavadoras). Esta unidad se consideran permeables (valores de coeficiente de permeabilidad k>10-6 cm/seg) por lo que prácticamente existe porosidad intergranular que satura a los niveles del suelo.

- **Índices correlativos a los Limites Atterberg -Comportamiento**

Los parámetros de correlación más útiles, obtenidos a partir de la determinación de los límites de Atterberg son: el índice de plasticidad IP, la consistencia relativa CR, el índice de liquidez IL y el grado de actividad de las arcillas Ac. (**Anexo 12**).

- **Consistencia relativa. CR.**

El valor de la Consistencia Relativa, CR=0.60. Describiéndolo como SUELO DE CONSISTENCIA MEDIA. Se considera que la resistencia a la compresión uniaxial (qu) de las gravas y arenas varía entre: 3.84 ~ 53.47 Kg/cm^2.

- **Índice de liquidez. IL.**

El valor del Índice de Liquidez, IL=0.20. Se dice las gravas y arenas están CONSOLIDADAS; es decir, las gravas y arenas (conglomerado) pueden sufrir presiones efectivas con un mínimo de alteración.

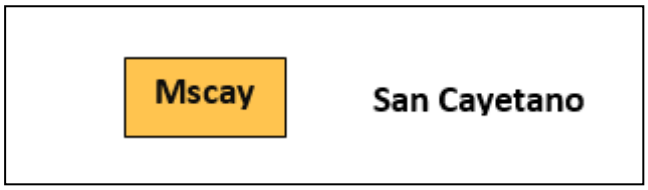
Unidad Geotécnica Nro. 2 "Formación San Cayetano" - Arcilllolita - areniscas finas.

- **Litología: Formación San Cayetano**

Está expuesta al este de la falla de cobijadura a lo largo del Río Zamora. La formación puede ser dividida en tres miembros con límites transicionales. El miembro inferior de areniscas, contienen capas de areniscas y algunas pequeñas capas de conglomerados y varias capas de carbón. Una capa intermedia del miembro limonitas que contiene lutitas laminado de color gris y blancos, con abundantes capas de diatomita y algunos piroclastos horizontales, con una rica microflora y gastrópodos (en parte silicificado con dos intercalaciones distintas de 3-5-m espesor capas de brecha). El miembro superior de areniscas tiene una litología similar a la intermedia, pero generalmente muestran una tendencia de depositación estrato creciente. Tiene una edad del Mioceno Tardío a último.

- **Geología**

Constituido generalmente por arcillolita, areniscas y conglomerado grano decreciente de coloración café claro a oscuro, de la cual se tomó en consideración la arcillolita y arenisca por ser las más representativas en esta unidad geotécnica, pertenecen a la formación San Cayetano de la época Mioceno tardío a ultimo. Localmente se presenta bien potente mayor a 10 considerando que se encuentra sobrepuesta de la Formación Quillollaco siendo la zona de contacto el Río Malacatos en intersección con la quebrada Sin Nombre.



- **Estructura.**

Estos materiales arcillosos del Mioceno tardío, sobrepuestos en la formación Quillollaco e inclinado al Este en 15º, formando pendientes altas a lado de la vía Vilcabamba y a las riberas del río. Los estratos de arcillas y areniscas son de unos 3m con intercalaciones de micro conglomerado de 1 metro.

- **Geotecnia.**

En general se puede adoptar para este tipo de materiales una capacidad portante media-baja deformabilidad.

- **Interpretación –SPT.**

Realizando la clasificación en los Sistemas de la ASHTO y de la SUCS se determinaron los siguientes tipos de suelos.

- SM/SC: Se caracterizan por ser suelos de consistencia Blanda, y normalmente bien competentes es estado seco, su tenacidad es lenta a media y se refieren a suelos suelos limo arcillosos.
- GM/GC. Son suelos arcillosos hasta una profundidad de los 11.0m presentan densidades > 1.9 ton/m3. Según Krumbrein y Sloss (1995), las partículas de la muestra son 0.4/0.9 (forma/redondeamiento) y son preferentemente finos (74%).

En resumen, corresponden a materiales con un porcentaje de finos igual a 35% como promedio hasta una profundidad de los 11 metros del segundo SPT, un límite liquido no muy bajo del 22%. El límite plástico L.P., tiene promedio entre 18%. Su índice de plasticidad I.P. relaciona valores entre 4 ~ 7, lo que permite clasificar al material como SM/SC y GM/GC en la SUCS y A-6 y A-2-4 en la AASHTO reconocidas como materiales de gravas de comportamiento frágil pero compacto y materiales arcillo-limoso de plasticidad Media.

El ángulo de fricción interna según los datos arrojados en los ensayos de penetración estándar es de 40°, densidad promedio es de 1.9 ton/m^3 y la cohesión es de 2.2 Kg/cm^2. La humedad llega hasta el 16 % hasta profundidades en estado seco. Pero que tienen alto índice de capilaridad e infiltración por constituirse por material de conglomerado.

En base a los valores orientativos del SPT a profundidades desde los 2 hasta los 5 metros, presenta una constante en la penetración de 50m; a mayor profundidad, los golpes se mantiene hasta los 200 golpes considerando un terreno relativamente compacto a blando.

La matriz arcillosa según las muestras analizadas se puede interpretar según el criterio de J. M. Ortiz (2006), el cual, en su trabajo denominado "Las arcillas expansivas: estudio y tratamiento", hace una recopilación de los criterios de los distintos autores de temáticas de mecánica de suelos. **(Tabla 34**).

Tabla 39. Criterios para la determinación y posible catalogación de ARCILLAS EXPANSIVAS a 2.0 metros de profundidad

CRITERIO DE LAS ARCILLAS EXPANSIVAS				
Limite Liquido, LL	>30	30-40	40-60	>60
Índice de plasticidad, IP	0-18	15-28	25-40	>35
Presión de Hinchamiento (kg/cm2)	<0.3	0.3-1.2	1.2-3-0	>3.0
Hinchamiento probable (cm)	<0.8	1-3	3.0-7.0	>7.0
Peligro de Hinchamiento	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO

Fuente: La autora a partir de los Criterios de expansividad recopilados por Rodríguez – Ortiz (1975).

Los valores orientativos de los límites de Atterberg como del límite líquido (LL), e índice de plasticidad (IP) se muestran en el **Anexo 12.**

- **Condiciones de Estabilidad**

Según los análisis y las observaciones en campo de los condiciones de estabilidad de los taludes de la vía de Integración Barrial el ángulo de talud recomendado, según Suarez Jaime, indica secciones en terraplén con pendientes de 1.5H:1V a 1.8H:1V, con alturas de corte <5.0 metros por tratarse de material sedimentario.

Entre los parámetros de excavabilidad, los materiales arcillosos pueden ser extraídos mecánicamente (Palas/Excavadoras/Retroexcavadoras). Esta unidad se considera medianamente impermeable (valores de coeficiente de permeabilidad k>10-4 cm/seg) por lo que la matriz arcillosa de conglomerado se encuentra bien compactada siendo la pososidad intergranular media.

Tabla 40. Pendientes típicas para taludes en terraplenes

MATERIAL	ALTURA	PENDIENTE
Arena o grava de buena calidad	Menos de 5	1.5H:1V a 1.8H:1V
SW, GM, GC, GW, GP	5 a15	1.8H:1V a 2H:1V
Arena de mala calidad SP	Menos de 10	1.8H:1V a 2H:1V
Material rocoso	Menos de 10	1.5H:1V a 1.8H:1V
Suelos arcillosos de buena calidad	10 a 20	1.8H:1V a 2H:1V
	Menos de 5	1.5H:1V a 1.8H:1V
Suelos arcillosos blandos	5 a 10	1.8H:1V a 2H:1V
	Menos de 5	1.8H:1V a 2H:1V

Fuente: Suarez Jaime, 2009, Departamento de Carreteras del Japón

- **Índices correlativos a los Limites Atterberg. Comportamiento.**

Los parámetros de correlación más útiles, obtenidos a partir de la determinación de los límites de Atterberg son: el índice de plasticidad IP, la consistencia relativa CR, el índice de liquidez IL y el grado de actividad de las arcillas Ac.

- **Consistencia relativa. CR.**

El valor de la Consistencia Relativa, CR=0.06. Describiéndolo como SUELO MEDIANAMENTE BLANDO. Se considera que la resistencia a la compresión uniaxial (qu) de la arcilla varía entre: 159.40 ~ 52.24 Kg/cm^2.

- **Índice de liquidez. IL.**

El valor del Índice de Liquidez, IL=0.93. Se dice que la arcilla esta NORMALMENTE CONSOLIDADA; es decir, la arcilla ha sufrido solo presiones naturales y ninguna alteración, a diferencia de la de la superficie a hasta un profundidad de 2 metros que es relleno con otro material.

- **Grado de Actividad de las Arcillas. Ac.**

El valor del Grado de actividad de las arcillas, Ac=0.6. Se indica que el suelo tiene una clasificación de INACTIVO. El suelo de la muestra (obtenida por SPT) se puede catalogar, Según Skempton, al grupo de la Kaolinita, con BAJO potencial de variación de su volumen.

6.2.9.2. Resumen y Valoración Geológica Geotécnica.

De la información obtenida e interpretada se concluye en el sector de estudio que comprende en sector del Barrio Capulí de los datos obtenidos de los SPT y SEV, se presentan los siguientes tipo de rocas bien diferenciadas: Arcillolitas, depósitos conglomeráticos y areniscas. El conglomerado, de tipo esquistoso y compacto de

comportamiento Frágil, constituye el material más abundante en el área de estudio, siendo el agua el principal desencadenante de inestabilidad. Es una zona que por la apertura de la vía se presenta un crecimiento acelerado urbano por lo que se debe tomar medidas que prevengas problemas de construcción y estructural como movimiento en masa y otros tipo como fallas a finalidad de precautelas el buen estado de las futuras construcciones.

Las arcillolitas afloran en la parte sur oriental del área de estudio, se caracterizan por tener mayor inestabilidad en estado húmedo y bajas condiciones para la construcción de obras civiles.

Para la valoración como zona geológica – geotécnica se ha optado por una metodología sencilla planteada por Valencia Carolina en el año 2008, en donde se toman en consideración los siguientes condicionantes geotécnicos:

- Capacidad Portante
- Deformabilidad
- Excavabilidad
- Tipo de explanada
- Clasificación del material para su reutilización
- Drenaje

Cada uno de estos factores se ha puntuado de 0 a 2, de acuerdo a la situación: menos y más favorable respectivamente. Luego se realiza una valoración global de los condicionantes en tres categorías según el siguiente criterio:

- Menos o igual de 5 puntos: Deficiente.
- De 6 a 9 puntos: Aceptable.
- Más de 9 puntos: Bueno.

La **Tabla 36** indica tanto la valoración, como las características geotécnicas de las diferentes unidades descritas.

Tabla 41. Valoración de la unidad geotécnica. Valencia Carolina. 2008.

CONDICIONANTE	UNIDAD GEOTÉCNICA NRO. 1	UNIDAD GEOTÉCNICA NRO. 2
Capacidad Portante	2.0	2.0
Deformabilidad	1.0	1.0
Excavabilidad	1.0	2.0
Tipo de explanada	1.0	0.0
Reutilización	1.0	1.0
Drenaje	2.0	0.5
Total de la valoración Geológica – Geotécnica	8.0	6.5
Clasificación	ACEPTABLE	ACEPTABLE

Fuente: La Autora.

En relación a todos los datos y su correlación:

Existe presencia de material de mínima calidad en referencia a capacidad portante a 14.0 metros de profundidad, con un valor de qa igual 534.68 KN/m^2 para la primera perforación y para la segunda una profundidad de 11 metros 522.44 KN/m^2.

Luego de los 2.0 metros de profundidad, qa mantiene valores superiores a 159.40 kg/m^2 dando como resultados que su capacidad de carga es muy buena para construcciones civiles de mayores a tres pisos.

En el caso de las arcillas es comprensible en función de todos los valores, que sea catalogada como ***medianamente desfavorable***, requiriendo (para la construcción) cimentaciones superficiales bases de por lo menos 1.5x1.5m por cuento son las recomendadas según las normas de construcción, previo medidas de drenaje.

La cimentación debe corresponderse a la estructura con viviendas C-0 (menores a 6 pisos)/ NEC-11 - MEDIA. En este caso obras mayores como puentes, desvíos de vías u otras se recomienda pilotaje.

Los drenajes deben establecerse en función de los niveles freáticos con geotextiles, gravas y/o tubos perforados. La profundidad a tomar en cuenta es 2.0m con posible presencia de agua freática.

6.2.9.3. Cálculo de factor de factor de seguridad

El factor de seguridad (FS) es un valor adimensional en cual se compara la resistencia media del suelo a lo largo de la superficie de un deslizamiento potencial con la resistencia estrictamente necesaria para mantener el terreno en equilibrio, para el cálculo de factor de seguridad se empleó la metodología propuesta por Bishop (1955).

Resultado que indicará la resistencia que tiene determinado material expuesto a fuerzas como su peso y a condiciones de saturación con respecto a un ángulo de inclinación, la metodología de BISHOP se la empleó por encontrarse en el área de estudio deslizamientos de tipo traslacional desencadendos por acción del agua.

Para el cálculo del factor de seguridad de cada uno de los deslizamientos inventariados se utiliza la siguiente fórmula:

$$FS = \left[\frac{c'}{\gamma * h * sen\beta}\right] + \left[\frac{tan\theta}{tan\beta}\right] - \left[\frac{mh * \gamma W * tang\,\theta}{\gamma * tan\beta}\right]$$

Donde:

FS = Factor de seguridad en Seco

c' = Cohesión.

ɣ = Densidad (peso específico del material).

h = Altura del talud.

Θ = Ángulo de Rozamiento Interno.

β = Ángulo de superficie talud.

md = Porcentaje de Saturación.

Para el cálculo matemático se analizarán las condiciones del deslizamiento en varios escenarios de saturación (md), con el fin de obtener la gráfica de sensibilidad de cada uno de los deslizamientos.

DESLIZAMIENTO 1

Datos. C´ = 17.6 KN/m2. ɣ = 17.2 KN/m3. **d** = 8 m. ***Θ*** = 40**.** **β** = 38.

Condición de md: 1 = 1,0 m = 10 % = 0,1.

$$\boldsymbol{FS} = \left[\frac{\mathbf{17.6}\frac{KN}{m^2}}{\mathbf{17.2}\frac{KN}{m^2} * \mathbf{8}\boldsymbol{m} * \boldsymbol{sen}\,\mathbf{38}}\right] + \left[\frac{\boldsymbol{tan}\mathbf{40}}{\boldsymbol{tan}\mathbf{38}}\right] - \left[\frac{\mathbf{0.10} * \mathbf{9.81}\frac{KN}{m^2} * \mathbf{tang\ 40}}{\mathbf{17.2}\frac{KN}{m^2} * \boldsymbol{tan}\,\mathbf{38}}\right]$$

FS=0.2077+1.074−0.061

$\boldsymbol{FS}$**=1.2207**

Condición de md: 2.5 = 2,5 m = 25 % = 0,25.

$$\boldsymbol{FS} = \left[\frac{\mathbf{17.6}\frac{KN}{m^2}}{\mathbf{17.2}\frac{KN}{m^2} * \mathbf{8}\boldsymbol{m} * \boldsymbol{sen}\,\mathbf{38}}\right] + \left[\frac{\boldsymbol{tan}\mathbf{40}}{\boldsymbol{tan}\mathbf{38}}\right] - \left[\frac{\mathbf{0.25} * \mathbf{9.81}\frac{KN}{m^2} * \mathbf{tang\ 40}}{\mathbf{17.2}\frac{KN}{m^2} * \boldsymbol{tan}\,\mathbf{38}}\right]$$

FS=0.2089+1.074−0.152

$\boldsymbol{FS}$**=1.1309**

Condición md: 3,0 m = 50 % = 0,50

$$\boldsymbol{FS} = \left[\frac{\mathbf{17.6}\frac{KN}{m^2}}{\mathbf{17.2}\frac{KN}{m^2} * \mathbf{8}\boldsymbol{m} * \boldsymbol{sen}\,\mathbf{38}}\right] + \left[\frac{\boldsymbol{tan}\mathbf{40}}{\boldsymbol{tan}\mathbf{38}}\right] - \left[\frac{\mathbf{0.50} * \mathbf{9.81}\frac{KN}{m^2} * \mathbf{tang\ 40}}{\mathbf{17.2}\frac{KN}{m^2} * \boldsymbol{tan}\,\mathbf{38}}\right]$$

FS=0.2089+1.074−0.306

$\boldsymbol{FS}$**=0.9769**

Condición: md= 6,0 m = 100 % = 1,0

$$\boldsymbol{FS} = \left[\frac{\mathbf{17.6}\frac{KN}{m^2}}{\mathbf{17.2}\frac{KN}{m^2} * \mathbf{8}\boldsymbol{m} * \boldsymbol{sen}\,\mathbf{38}}\right] + \left[\frac{\boldsymbol{tan}\mathbf{40}}{\boldsymbol{tan}\mathbf{38}}\right] - \left[\frac{\mathbf{1.0} * \mathbf{9.81}\frac{KN}{m^2} * \mathbf{tang\ 40}}{\mathbf{17.2}\frac{KN}{m^2} * \boldsymbol{tan}\,\mathbf{38}}\right]$$

FS=0.2089+1.074−0.61

$\boldsymbol{FS}$**=0.6729**

DESLIZAMIENTO 2

Datos. C´ = 22KN/m2. γ = 19.0 KN/m3. **d** = 9 m. ***Θ*** = 40**.** **β** = 35.

Condición de md: 1 = 1,0 m = 10 % = 0,1.

$$\boldsymbol{FS} = \left[\frac{\mathbf{22}\,\frac{KN}{m^2}}{\mathbf{19.0}\,\frac{KN}{m^2} * \mathbf{9}\boldsymbol{m} * \boldsymbol{sen}\,\mathbf{38}}\right] + \left[\frac{\boldsymbol{tan}\mathbf{40}}{\boldsymbol{tan}\mathbf{38}}\right] - \left[\frac{\mathbf{0.10} * \mathbf{9.81}\,\frac{KN}{m^2} * \mathbf{tang\ 40}}{\mathbf{19.0}\,\frac{KN}{m^2} * \boldsymbol{tan}\,\mathbf{38}}\right]$$

FS=0.2089+1.074−0.055

***FS*=1.2279**

Condición de md: 2.5 = 2,5 m = 25 % = 0,25.

$$\boldsymbol{FS} = \left[\frac{\mathbf{22}\,\frac{KN}{m^2}}{\mathbf{19.0}\,\frac{KN}{m^2} * \mathbf{9}\boldsymbol{m} * \boldsymbol{sen}\,\mathbf{38}}\right] + \left[\frac{\boldsymbol{tan}\mathbf{40}}{\boldsymbol{tan}\mathbf{38}}\right] - \left[\frac{\mathbf{0.25} * \mathbf{9.81}\,\frac{KN}{m^2} * \mathbf{tang\ 40}}{\mathbf{19.0}\,\frac{KN}{m^2} * \boldsymbol{tan}\,\mathbf{38}}\right]$$

FS=0.2089+1.074−0.139

***FS*=1.0739.**

Condición md: 3,0 m = 50 % = 0,50

$$\boldsymbol{FS} = \left[\frac{\mathbf{22}\frac{KN}{m^2}}{\mathbf{19.0}\frac{KN}{m^2} * \mathbf{9}\boldsymbol{m} * \boldsymbol{sen}\,\mathbf{38}}\right] + \left[\frac{\boldsymbol{tan}\mathbf{40}}{\boldsymbol{tan}\mathbf{38}}\right] - \left[\frac{\mathbf{0.50} * \mathbf{9.81}\frac{KN}{m^2} * \mathbf{tang\ 40}}{\mathbf{19.0}\,\frac{KN}{m^2} * \boldsymbol{tan}\,\mathbf{38}}\right]$$

FS=0.2089+1.074−0.277

***FS*=1.01**

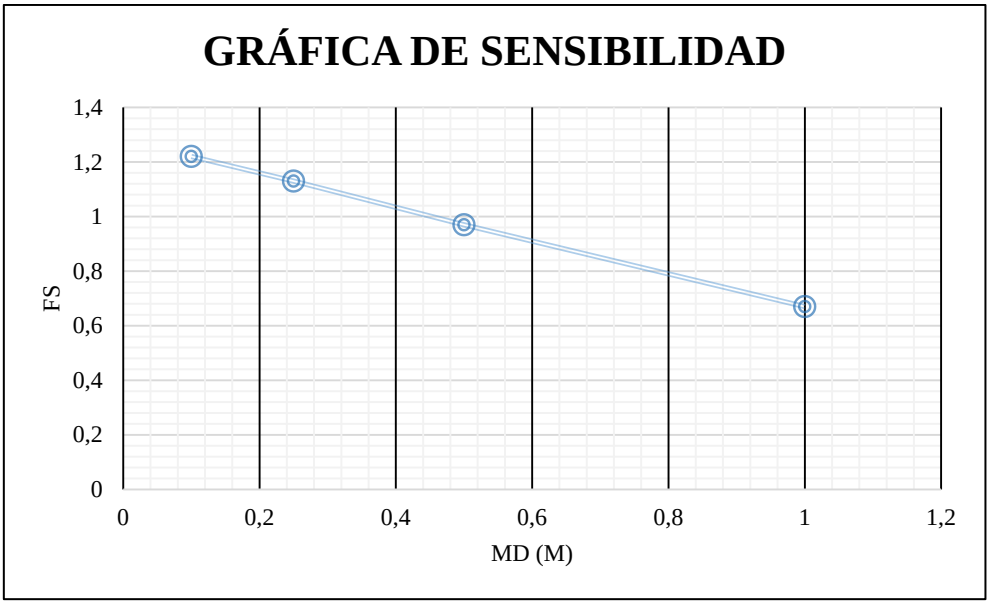
Condición: md= 6,0 m = 100 % = 1,0

$$\boldsymbol{FS} = \left[\frac{\mathbf{22}\frac{KN}{m^2}}{\mathbf{19.0}\frac{KN}{m^2} * \mathbf{9}\boldsymbol{m} * \boldsymbol{sen}\,\mathbf{38}}\right] + \left[\frac{\boldsymbol{tan}\mathbf{40}}{\boldsymbol{tan}\mathbf{38}}\right] - \left[\frac{\mathbf{1.0} * \mathbf{9.81}\frac{KN}{m^2} * \mathbf{tang\ 40}}{\mathbf{19.0}\,\frac{KN}{m^2} * \boldsymbol{tan}\,\mathbf{38}}\right]$$

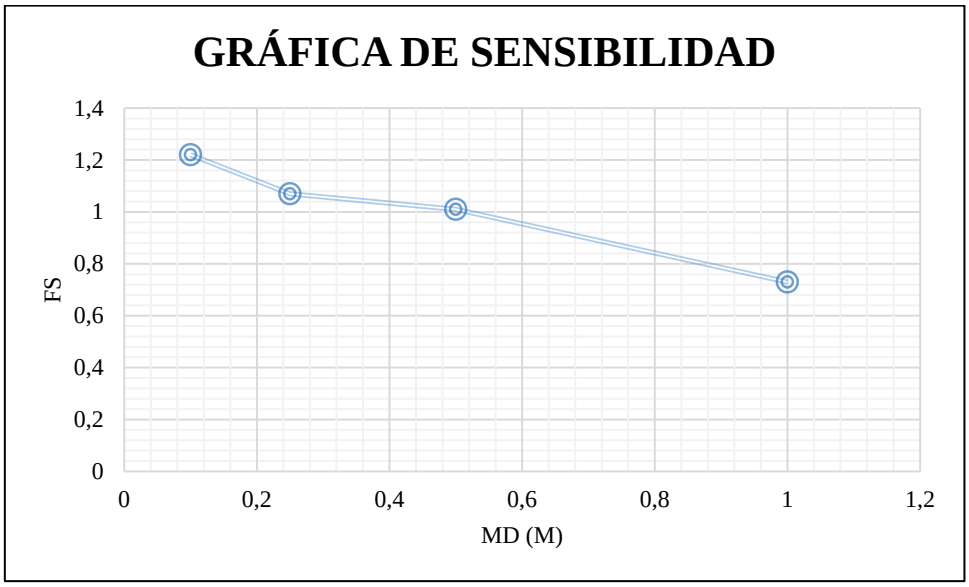
FS=0.2089+1.074−0.55

***FS*=0.7329**

- **Gráficas de Sensibilidad**



Gráfica 7. Gráfica de sensibilidad – deslizamiento 1
Fuente: La Autora.



Gráfica 8. Gráfica de sensibilidad – deslizamiento 2
Fuente: La Autora.

Según las tablas de sensibilidad y los valores de los factores de seguridad calculados en varios escenarios de humedad en ambos deslizamientos en estado de saturación mayor al 50% son altamente propensos a presentar movimientos aunque su ángulo de fricción interna es de 38° con alturas relativamente bajas de 9 metros.

Los deslizamientos en épocas de lluvias se presentan como un peligro latente que afecta principalmente a la vía por lo que es necesario implementar medidas de estabilización y control tales como zanjas y cunetas de coronación con la finalidad de eliminar el agua, además de realizar revegetación tanto de los deslizamiento como de los taludes ya que el material es propenso a la formación de cárcavas y por lo tanto a que exista mayor inflación.

7. DISCUSIÓN

El sector de estudio se encuentra ubicado al sur-oeste de la Hoya de Loja, sobre las formaciones Quillollaco en su mayoría y parte de la San Cayetano, las cuales se encuentran dentro de una cuenca sedimentaria de origen lacustre y marino perteneciente a la época Micénica, donde existen dos tipos de rocas bien diferenciados que son las de origen sedimentario y las de origen metamórfico. Este trabajo se basa en diferentes procesos, como base el levantamiento topográfico a una escala 1:4.000, para luego continuar con la caracterización geológica, geomorfológica, de pendientes y de uso actual del suelo del área de estudio, con las cuales se realizó el análisis de Susceptibilidad a deslizamientos mediante los métodos Heurístico y Determinístico.

Según Galo Alexander Guaman Jaramillo, en la tesis denominada "**Aplicación de SIG para el Manejo de Riesgos Naturales en el Área Urbana de la Ciudad de Loja**", indica

La ciudad de Loja se ha caracterizado por una abundante presencia de deslizamientos, este fenómeno se debe a numerosas causas. En primer lugar a la litología, pues existen numerosos cuerpos arcillosos, y limo arcillosos intercalados con areniscas y conglomerados, lo que sumado a las precipitaciones y a la pendiente (mayores al 30%) han propiciado que se genere una degradación de los suelos. Contrastando lo antes mencionado con el presente estudio se afirma categóricamente que en la zona posee superficies con alta susceptibilidad a deslizamientos.

Así también Guaman, A. en su tesis afirma que la mayor cantidad de movimientos en masa son de tipo flujos, esto se debe a que la geomorfología de la cuidad de Loja es muy accidentada, lo que ha dado lugar a zonas con pendiente muy fuerte, esto combinado a las condiciones de humedad y el agua subsuperficial constituye un factor desencadenante de los mismos y son más comunes en las Formaciones Quillollaco, San Cayetano y Unidad Chiguinda,

Lo que en este trabajo se reafirma ya que en la parte norte del área de estudio se evidencia la presencia de dos deslizamientos, los mismos que están sobre la formación Quillollaco y han sido desencadenados por los cortes de talud realizados durante la apertura de la vía.

De igual manera el "**Estudio Geológico – Geotécnico para identificación de Zonas inestables en la urbanización APUL - AGEUL, Provincia de Loja, cantón Loja**", afirma que "el problema de inestabilidad radica en la presencia de agua superficial y subterránea asociada al tipo de material (arcillolitas), provocando un sinnúmero de deslizamientos y a su vez daños materiales". Lo que se corrobora de la misma forma con los dos deslizamientos antes mencionados, en los cuales es muy notable la presencia de agua superficial y subterránea.

Al comparar los dos métodos aplicados en el presente estudio se determina que existe cierta similitud en los resultados obtenidos, ya que los deslizamientos y los cortes de la vía están dados en zonas de muy alta susceptibilidad. La aplicabilidad de los métodos depende de las condiciones técnicas disponibles ya que el método Determinístico se lo realiza con datos puntuales y exactos que alimentan la base de datos utilizados y garantizan resultados que ofrecen criterios para construir, y el método Heurístico es utilizado básicamente cuando se tiene experiencia en el sector de estudio, ya que el criterio técnico y la práctica afianzan la valides de los resultados.

8. CONCLUSIONES

El área de estudio presenta un terreno irregular, ya que el levantamiento topográfico abarco un área de 44.5 ha., levantándose 0.9 km., de vía con un margen de 200 m., del eje, con una variabilidad de cotas que van en la parte más alta hasta los 2282 msnm; bajando hasta 2149 msnm en el sector del Río Malacatos.

El levantamiento geológico permitió definir que el área de estudio se encuentra sobre dos formaciones, la formación Quillollaco donde predominan conglomerados de matriz limoarcillosa con intercalaciones de areniscas y arcillas arenosas, es la formación más predominante del sector de estudio y la formación San Cayetano que presenta arcillolitas altamente saturadas con intercalaciones de areniscas finas.

En la descripción geomorfológica se identificó 8 geoformas las cuales presentan terrenos con relieves muy accidentados al S-W de la vía y los relieves más moderados se encuentran en la parte inferior de la misma, por lo cual se tiene geomorfías de tipo escarpes de talud de vía con 0.9%, escarpe erosional con 4.9%, superficie plana ondulada con 7.6%, ladera cóncava irregular con 1.8%, ladera cóncava recta con 3.8%, ladera cóncava suave con 9.8%, relleno con 7.9% y superficie de cuesta con 5.6%.

El área de estudio presenta en su mayoría pendientes con terrenos moderadamente escarpados con un área de 27.37 hectáreas, siendo la categoría más significativa del sector.

En cuanto al mapa de uso actual del suelo se obtuvo 6 tipos de usos, de los cuales, los pastos representan la mayoría con una área de 18.76 hectáreas, seguidamente las zonas arbustivas con un área de 10.64 hectáreas, mientras que los cultivos únicamente ocupan 0.34 hectáreas, siendo el uso de suelo menos predominante en el sector.

En el mapa final de susceptibilidad, se aplicó el método heurístico, para lo cual las variables utilizadas son la Geología (0.4), Geomorfología (0.3), Pendientes (0.2), Uso Actual del Suelo (0.1), determinando que la zona de estudio el 10.17% corresponde a

susceptibilidad muy baja, el 16.80% corresponde a susceptibilidad baja, el 24.36% corresponde a susceptibilidad media, el 28.41%, corresponde a susceptibilidad alta y el 20.46% corresponde a susceptibilidad muy alta.

El método determinístico, es un método que puede utilizarse tanto a escalas grandes como pequeñas, ya que depende de un profesional al realizar las interpretaciones de la idoneidad y comportamiento de material que tienen que ser basadas en investigaciones preexistentes y con datos de laboratorio como la densidad del material, la cohesión y ángulo de fricción interna, teniendo por lo tant , el 53.23% corresponde a Zona Umbral más alto de la estabilidad, el 4.25% corresponde a Zona Umbral más bajo de la estabilidad, el 8.35% corresponde a Casi estable, el 22.63% corresponde a Moderadamente estable y el 11.54% corresponde a Estable.

Tanto el método heurístico como el método determinístico, tienen realización al momento de la categorización de cada una de las variables, se podría decir que en un 75% de igualdad entre ambos métodos, lo que refleja que se ha trabajado de la manera más próxima a la realidad de la zona de estudio, para acotar se podría decir que el método determinístico es más exacto y preciso por el mismo hecho de que para su generación se necesita de parámetros de laboratorio.

Se identificaron dos Unidades Geotécnicas, la primera de conglomerados y areniscas de la Formación Quillollaco de edad Mioceno Tardío, dentro de la valoración Geotécnica es aceptable, la segunda unidad está representada por arcillolitas y areniscas de edad Mioceno Tardío la cual se comporta como una unidad aceptable.

De acuerdo al valor de la Consistencia Relativa, CR=0.06. se describe como SUELO MEDIANAMENTE BLANDO. Se considera que la resistencia a la compresión uniaxial (qu) de la arcilla varía entre: 159.40 ~ 52.24 Kg/cm^2.

De la información obtenida e interpretada se concluye en el sector de estudio que comprende en sector del Barrio Capulí de los datos obtenidos de los SPT y SEV, se presentan los siguientes tipo de rocas bien diferenciadas: Arcillolitas, depósitos

conglomeráticos y areniscas. El conglomerado, de tipo esquistoso y compacto de comportamiento frágil, constituye el material más abundante en el área de estudio, siendo el agua el principal desencadenante de inestabilidad. Es una zona que por la apertura de la vía presenta un posible crecimiento urbano por lo que se debe tomar medidas que prevengan problemas de construcción y así como medidas estructurales para evitar cualquier tipo de movimientos en masa y otros tipo como fallas con finalidad de precautelar el buen estado de las futuras construcciones.

En el caso de las arcillas es comprensible en función de todos los valores, que sea catalogada como ***medianamente desfavorable***, requiriendo (para la construcción) cimentaciones superficiales bases de por lo menos 1.5x1.5m por cuanto son las recomendadas según las normas de construcción, previo medidas de drenaje.

La cimentación debe corresponderse a la estructura con viviendas C-0 (menores a 6 pisos)/ NEC-11 - MEDIA. En este caso obras mayores como puentes, desvíos de vías u otras se recomienda pilotaje. Los drenajes deben establecerse en función de los niveles freáticos con geotextiles, gravas y/o tubos perforados. La profundidad a tomar en cuanta es 2.0m con posible presencia de agua freática.

9. RECOMENDACIONES

Realizar una observación de campo en su totalidad para poder tener una idea clara de todos los aspectos que involucra este estudio.

Los levantamientos de información topográfica, geológica y geomorfológica se los debe realizar de manera cuidadosa y muy técnica, ya que son las bases sobre las cuales se desarrolla todo el proceso de análisis de susceptibilidad a deslizamientos, y con los cuales se garantiza el éxito final en los resultados.

Se recomienda estudios geotécnicos de suelo estrictos para las construcciones civiles a realizarse sobre litologías arcillosas y limo arcillosas en zonas con pendientes pronunciadas para garantizar criterios técnicos idóneos a la hora de elegir materiales y métodos de construcción.

La elaboración de un Plan de Ordenamiento Urbano actual por parte del Municipio incluyendo los estudios de susceptibilidad para tener una visión más amplia de la situación actual en la ciudad de Loja en lo referente a movimientos en masa.

Los resultados obtenidos en la presente tesis, pueden ser considerados como referencia para la toma de decisiones, por parte de las autoridades pertinentes, al momento de otorgar permisos para la construcción de infraestructuras en las zonas que se hayan categorizado como de alta y muy alta susceptibilidad a deslizamientos, en el área de estudio.

Realizar campañas de concientización a los pobladores del lugar sobre el riesgo que corren al momento de construir de manera anti técnica, y de esta manera evitar cualquier pérdida de vidas y daños a las infraestructuras construidas.

Socializar la importancia de este tipo de estudios geológicos geotécnicos, en los que se implemente más de un SPT, esto con la finalidad de conocer la capacidad

portante del suelo al momento de construir cualquier obra civil, o a su vez proponer las medidas necesarias para la estabilización de taludes.

Realizar a mayor profundidad estudios geológicos geotécnicos, en los que se implemente más de un SPT, esto con la finalidad de conocer la capacidad portante del suelo al momento de construir cualquier obra civil, o a su vez proponer las medidas necesarias para la estabilización y mejoramiento del suelo.

10. BIBLIOGRAFÍA

Alfonzo Alvarez, C. (2003). *Geofísica Aplicada en los proyectos básicos de Ingeniería Civil, Publicación Técnica No. 229.* Sanfandila.

Aristizábal, E., Roser, B., & Yokota, S. (2005). *Tropical chemical weathering of hillslope deposits and bedrock source in the Aburrá Valley.* Colombia: Enginnering Geology.

Ayala, F., & Corominas, J. (2002). *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. IGME, Serie Medio Ambiente Nº 4,.* Madrid.

Barredo, J., Benavides, A., Hervás, J., & Van Westen, L. (2000). Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. *Int. Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 2.*

Belousov, V. (1974). *Geología Estructural.* Moscú: Editorial MIR.

Beven, K. J., & Kirkby, M. (1979). A Physically Based Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*.

Brunsden, D., & Prior, D. (1983). *Slope Stability JohnWiley and Sons.* London.

Buckner, R. B. (1983). *Surveying Measurements and Their Analysis.* Córdova: Landmark Enterprises.

Cebrian, J. A. (1988). *Sistemas de Información Geográfica", Aplicaciones de la Informática a la Geografía y a las Ciencias Sociales,.* Madrid: Síntesis.

Crozier, M. J. (1986). *Los deslizamientos de tierra. Causas, consecuencias y medio ambiente.*

Cruden, D. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin International Association for Engineering Geology*.

Cruden, D., & Varnes, D. (1996). *Tipos y procesos de deslizamientos de tierra.* Washington DC, USA: Informe Especial 247.

Diccionario de Geología y Mineralogía. (1985). *Geología y Mineralogía.* Madrid: Edit Rioduero.

Escobar, D. (2013). *Manual de geología para Ingenieros.* Colombia: Universidad de Colombia Manizales.

FAO/UNEP. (1999). *The future of Our Land: FAcing the Challenge. Guidelines for Integrated Planning for Sustainable Management of Land Resourses.*

Frederick S, M. (1979). *Manual del ingeniero civil.* Mexico: Mc Graw Hill.

García Yagüe, A. (1966). Contribución para la clasificación de los movimientos del terreno. *Revista de Obras Públicas*.

Geo Loja. (2007). *Perspectivas del Medio Ambiente Urbano.* Loja.

Gillispie, C. (1951). *Genesis and geology, a study in the relations of scientific thought, natural theology and social opinion in Great Britain.* England: Univ. Press. Cambridge.

González De Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica.* Madrid: Editorial Prentice Hall.

Gray, D. H., & Sotir, R. (1996). *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control. John Wiley and Sons.* England.

Gutenberg, B. (1937). *Microseisms in North America.* Seism. Soc. Am. XXI.

Guzzetti, L. (2005). *Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale.*

Higgins, A. (1957). *Elementary Surveying.* London: 7ª Impression, Longmans, Green & Co.

Hoek, E., & Bray, J. (1981). *Rock slope engineering. Institution of Mining and Metallurgy.* London.

Hutchinson, J., & Fairbridge, R. (1968). *Movimiento de masas.* Nueva York. EE.UU.: Volumen 3 Reinhold.

Huxhold, W., & Levinsohn, M. A. (2001). *Sistemas de Información Geográfica.* Nueva York: Edición Universidad de Oxford.

INEGI. (1988). *Atlas Nacional del Medio Físico.* Aguascalientes: Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia. (2004). *Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNASIRGAS como datum oficial de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Geografía y Cartografía, División de Geodesia.* Colombia: Geodesia.

Janssen, J., & Van Herwijnen, K. (1994). *Pesos de criterios usando el Método de Suma de Rango". Apoyo de decisión multiobjetivo a dirección ambiental. Decisiones definidas - 108 - de un juego finito de alternativas: discos de demostración e instrucción. Kluwer.* Paises Bajos: Editores Académicos, Dordrecht (Países Bajos).

Lan, H., Zhou, C., Wang, L., Zhang, H., & Li, R. (2004). *Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan.* China: Engineering Geology.

Montes de Oca, M. (1970). *Topografía.* Mexico: SEP.

Orellana, E. (1982). *Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua.* Madrid: Paraninfo, S. A.

Ortiz, C. (2002). *Ciencias de la tierra.* Departamento de Mineralogía y Petrología.

Pack, & otros. (1998-1999). *Stability Index Mappinh (SINMAP) user manual.*

Papetti, L., & Eremchuk, J. (1999). *Fotointerpretación e indicadores geoambientales de un sitio no excavado en el valle de Santa María, Catamarca.* XIII Congreso Nacional de Arqueología Argentina: Argentina.

Parra, Y. (2004). *Análisis de vulnerabilidad a deslizamientos en el Distrito de Orosi, Provincia de Cartago, Costa Rica.* Costa Rica: Catie.

Pedraza Gilsanz, M. (1996). *Geomorfología: Principios, métodos y aplicaciones.* Madrid.

Segura, G. (2009). *Análisis mediante aplicaciones SIG de la susceptibilidad al deslizamiento en el corredor Siquirres-Turrialba como factor de riesgo del poliducto de RECOPE.* San José: Univ. de Costa Rica.

Sharpe, C. (1938). *Landslides and related phenomena.* New Jersey: Pageant Books Inc.

Simpson, G. (1963). *Historical science.* California: Freeman, Cooper & Cia.

Soeters, R., & Van Westen, C. (1996). *lope instability recognition, analysis and zonation.* Washington: Landslides Investigation and Mitigation.

Suárez, J. (2009). *Deslizamientos Volumen 1: Análisis Geotécnico.* Bucaramanga: Primera edición.

Tambo, W. (2011). *Estudio del Peligro de deslizamiento del Norte de la ciudad de Loja, Provincia de Loja. Ecuador.* Loja.

Universidad de Cantabria. (2010). *Ciencia de los materiales.* Departamento de Ciencia e Ingeniería del terreno y de los materiales.

Van Westen, C. J. (1997). *Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation, Geol. Rundsh.*

Van Westen, L., & Guzzetti, M. (1997). *Comparing landslide hazard maps, Natural hazards.*

Varnes, D. (1978). *Tipos de movimientos de pendiente y procesos. En: Informe Especial 176: Análisis y Control.* Washington DC: Junta de Investigación de la Academia Nacional de Ciencias.

Whitten, J., Bentley, L., & Barlow, M. (1996). *Análisis y diseño de sistemas de información.* Mexico: McGraw – Hill.

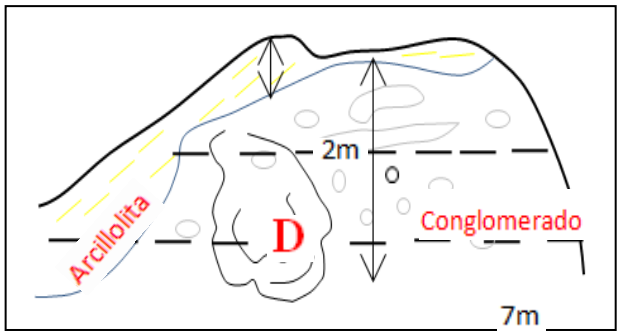
Anexos

Anexo 1

Fichas técnicas para la descripción de afloramientos

Anexo 1.1. Caracterización de Afloramiento de estratos Nro. 1

Afloramiento N°: 1
Coordenadas: X=699975 ; Y:9552163
Dimensiones: 9m
Cota: 2176
Relieve: llano( ) Bajo ( ) De colinas (x) Montañoso ( )
Vegetación: exuberante( ) Escasa (x) Color ( )
N° foto: 1
Fecha:20-09-2015



PERFIL LITOLÓGICO DEL AFLORAMIENTO

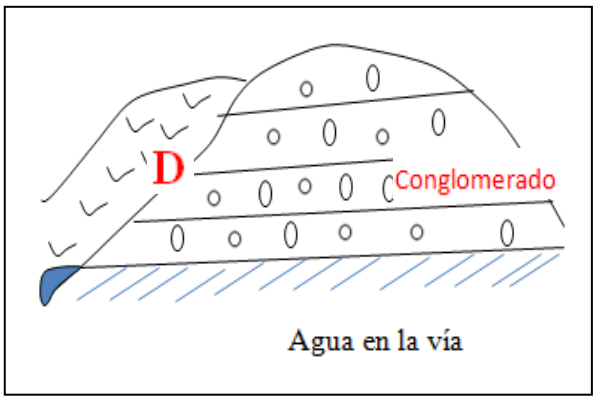
POTENCIA	N° DE CAPAS	LITOLOGÍA	COLOR	ORIENTACIÓN	DESCRIPCIÓN
7m	1	Conglomerado	Rojizo amarillo claro	N28°E	Talud artificial
2m	2	Arcillolita	Gris claro	N28°E	Talud artificial

OBSERVACIONES

- Presencia de erosión
- Conglomerado de color rojizo amarillo claro
- Diámetro 7-20cm
- Arcilla roja-amarillenta
- Presencia de deslizamientos en el afloramiento

Anexo 1.2. Caracterización de Afloramiento de estratos Nro. 2

Afloramiento N°: 2
Coordenadas: X=700038 ; Y:9552016
Dimensiones: 10m
Cota: 2167
Relieve: llano( ) Bajo (x) De colinas ( ) Montañoso ( )
Vegetación: exuberante( ) Escasa (x) Color ( )
N° foto: 2
Fecha:10-09-2015



PERFIL LITOLÓGICO DEL AFLORAMIENTO

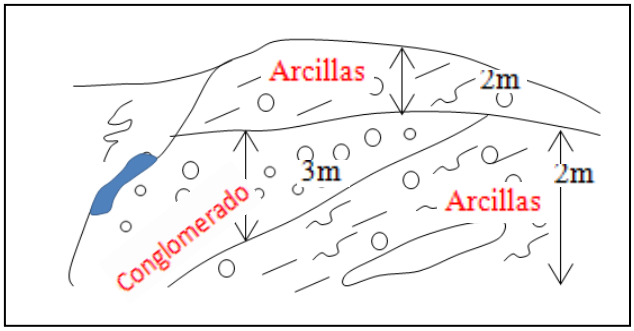
POTENCIA	N° DE CAPAS	LITOLOGÍA	COLOR	ORIENTACIÓN	DESCRIPCIÓN
10m	1	Conglomerado	Gris claro rojizo	N30°E	Talud artificial

OBSERVACIONES

- Deslizamiento translacional (ocurre por el fluido de agua subterránea)
- Clastos hasta 12cm cuarcitas, esquistos.
- La arcillolita es de color amarillento a gris claro
- Pertenece a la formación Quillollaco.

Anexo 1.3. Caracterización de Afloramiento de estratos Nro. 3

Afloramiento N°: 3
Coordenadas: X=700016 ; Y:9552060
Dimensiones: 7m
Cota: 2196
Relieve: llano( ) Bajo (x) De colinas ( ) Montañoso ( )
Vegetación: exuberante( ) Escasa (x) Color ( )
N° foto: 3
Fecha:10-09-2015



PERFIL LITOLÓGICO DEL AFLORAMIENTO

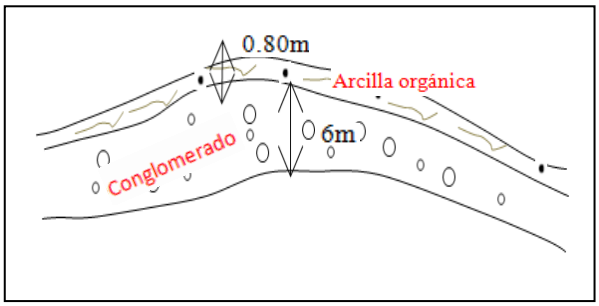
POTENCIA	N° DE CAPAS	LITOLOGÍA	COLOR	ORIENTACIÓN	DESCRIPCIÓN
2m	1	arcillas	Rojiza-amarillenta	N28°E	Talud artificial
3m	2	conglomerado	Gris claro		
2m	3	arcillas	Rojiza-amarillenta		

OBSERVACIONES

- Conglomerado de matriz arcillosa arenosa
- Cantos rodados en gran cantidad de 15 a 20 cm

Anexo 1.4. Caracterización de Afloramiento de estratos Nro. 4

Afloramiento N°: 4
Coordenadas: X=699993 ; Y:9551752
Dimensiones: 6.80m
Cota: 2217
Relieve: llano( ) Bajo (x) De colinas ( ) Montañoso ( )
Vegetación: exuberante( ) Escasa (x) Color ( )
N° foto: 4
Fecha:10-09-2015



PERFIL LITOLÓGICO DEL AFLORAMIENTO

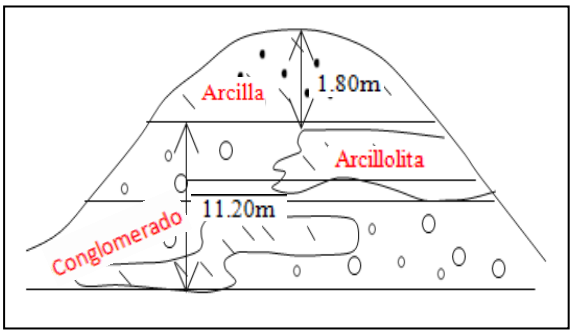
POTENCIA	N° DE CAPAS	LITOLOGÍA	COLOR	ORIENTACIÓN	DESCRIPCIÓN
0.80m	1	Arcilla orgánica	Amarillo rojizo	N30°E	Talud artificial
6m	2	conglomerado	Amarillo gris claro		

OBSERVACIONES

- Conglomerado con un 50% de clastos
- Conglomerado se muestra uniforme de 7-12 cm y una distribución uniforme de arriba hacia abajo.

Anexo 1.5. Caracterización de Afloramiento de estratos Nro. 5

Afloramiento N°: 5
Coordenadas: X=700064 ; Y:9551560
Dimensiones: 13m
Cota: 2208
Relieve: llano(x) Bajo ( ) De colinas ( ) Montañoso ( )
Vegetación: exuberante(x) Escasa () Color ( )
N° foto: 5
Fecha:10-09-2015



PERFIL LITOLÓGICO DEL AFLORAMIENTO

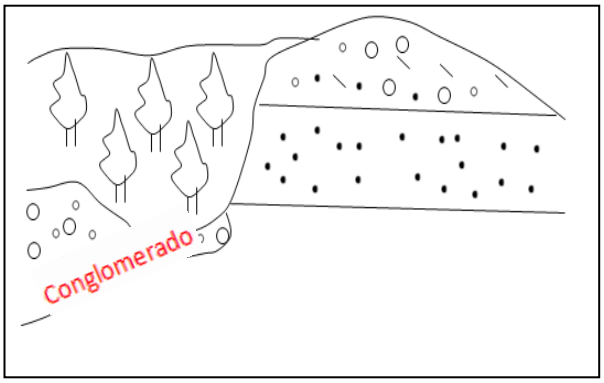
POTENCIA	N° DE CAPAS	LITOLOGÍA	COLOR	ORIENTACIÓN	DESCRIPCIÓN
1.80m	1	Arcillolita	Gris claro	N27°E	Talud artificial
11.20m	2	conglomerado	Rojizo amarillento		

OBSERVACIONES

- Conglomerado se muestra homogéneo de abajo hacia arriba
- Existe incrustaciones de arcillolita de grano fino gris claro

Anexo 1.6. Caracterización de Afloramiento de estratos Nro. 6

Afloramiento N°: 6
Coordenadas: X=700018 ; Y:9551739
Dimensiones: 25m
Cota: 2215
Relieve: llano(x) Bajo ( ) De colinas ( ) Montañoso ( )
Vegetación: exuberante(x) Escasa () Color ( )
N° foto: 6
Fecha:10-09-2015



PERFIL LITOLÓGICO DEL AFLORAMIENTO

POTENCIA	N° DE CAPAS	LITOLOGÍA	COLOR	ORIENTACIÓN	DESCRIPCIÓN
8m	1	Arcillolita	Gris claro		Talud artificial
5m	2	Arcilla roja	Rojo claro		
12m	3	conglomerado	amarillento		

OBSERVACIONES

- Conglomerado distribuido uniformemente 5- 20 cm hasta un altura de 18m,
- Lo demás es rojizo de grano fino de coloración de amarillo a rojo

Anexo 2

Fichas Técnicas para la Caracterización de los Deslizamientos

Anexo 2.1. Deslizamiento Nro. 1

REGISTRO FOTOGRÁFICO

MOVIMIENTO N.- 1		
COORDENADAS	X: 699975	DIRECCIÓN: N 28° E
	Y: 9 552163	ÁNGULO (inclinación de la ladera en grados): 55°
FOTO N.-	1	FORMA DE LA LADERA: recta ( ) Cóncava ( ) Convexa (X)
ALTITUD:	2176 msnm	USO DEL TERRENO: Arbustos y árboles ( ) No vegetada ( ) Pastos ( ) Cultivos ( ) Residencial ( ) Vía Presente(X)
FECHA:	20 / 09 /2015	

CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO

TIPO : Deslizamiento (X) Flujo ( ) Caídas ( ) Reptación ( ) Erosión ( )
LONGITUD (Distancia Promedio desde el escarpe hasta la base): 7 m
ANCHO (promedio de la zona): 11 m
TIPO DE FALLA: Indeterminada ( ) Rotacional ( ) Traslacional (X) Completa ( ) Múltiple ( )
MECANISMO: Evento sencillo y rápido ( ) Evento sencillo y lento (X) Evento múltiple y rápido ( ) Evento múltiple y lento ( )
ACTIVIDAD : Inactivo ( ) Latente (X) Activo ( ) Actividad localizada ( )
ESTADO DEL ESCARPE: No es aplicable ( ) Escarpe evidente (X) Escarpe vago ( )
FORMA DEL ESCARPE: No aplicable ( ) Semicircular ( ) Elongado (X) Alargado ( )
ÁREA DEL ESCARPE: No aplicable (X) Pequeña (<200 m^2) ( ) Mediana (200 – 500 m^2) ( ) Grande (>500 m^2) ( )
VEGETACIÓN DEL ESCARPE: No Aplicable ( ) No vegetada ( ) Vegetación escasa (X) Arbustos ( )
FORMA DE LA MASA DESPLAZADA: No aplicable ( ) Longitud = ancho ( ) Longitud > ancho ( ) Longitud < ancho (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 de alta Humedad (X) Zonas Inundadas ( ) Zonas Húmedas ( )
VEGETACIÓN DE LA MASA DESPLAZADA: No Aplicable ( ) No vegetada ( ) Vegetación escasa (X) arbustos ( ) Árboles ( )
SUPERFICIE DE FALLA: Cubierta orgánica ( ) Suelo depositado (X) Suelo residual ( ) Relleno ( )
CAUSA PROBABLE : Desconocida ( ) Erosión concentrada ( ) Deforestación ( ) Exceso de agua (X) Cargas de construcción (X) Discontinuidades ( )
FACTOR DISPARADOR : Desconocido ( ) Lluvias ( ) Construcciones ( ) Apertura de vía (X)
DAÑO: No visible ( ) Carreteras (X) Residencias ( ) Áreas de pasto ( )
ESTABILIZACIÓN: No Visible (X) Muros ( ) Canales ( ) Drenes ( ) Otros ( )

Anexo 2.2. Deslizamiento Nro. 2

REGISTRO FOTOGRÁFICO

MOVIMIENTO N.- 2		
COORDENADAS	X: 700038	DIRECCIÓN: N 28° E
	Y: 9 552016	ÁNGULO (inclinación de la ladera en grados): 45°
FOTO N.-	2	FORMA DE LA LADERA: recta ( ) Cóncava ( ) Convexa (X)
ALTITUD:	2767 msnm	USO DEL TERRENO: Arbustos y árboles ( ) No vegetada ( )
FECHA:	20 / 09 /2015	Pastos ( ) Cultivos ( ) Residencial ( ) Vía Presente(X)

CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO

TIPO : Deslizamiento (X) Flujo ( ) Caídas ( ) Reptación ( ) Erosión ( )
LONGITUD (Distancia Promedio desde el escarpe hasta la base): 10 m
ANCHO (promedio de la zona): 15 m
TIPO DE FALLA: Indeterminada ( ) Rotacional ( ) Traslacional (X) Completa ( ) Múltiple ( )
MECANISMO: Evento sencillo y rápido ( ) Evento sencillo y lento (X) Evento múltiple y rápido ( ) Evento múltiple y lento ( )
ACTIVIDAD : Inactivo ( ) Latente (X) Activo ( ) Actividad localizada ( )
ESTADO DEL ESCARPE: No es aplicable ( ) Escarpe evidente (X) Escarpe vago ( )
FORMA DEL ESCARPE: No aplicable ( ) Semicircular ( ) Elongado (X) Alargado ( )
ÁREA DEL ESCARPE: No aplicable (X) Pequeña (<200 m^2) ( ) Mediana (200 – 500 m^2) ( ) Grande (>500 m^2) ( )
VEGETACIÓN DEL ESCARPE: No Aplicable ( ) No vegetada ( ) Vegetación escasa (X) Arbustos ( )
FORMA DE LA MASA DESPLAZADA: No aplicable ( ) Longitud = ancho ( ) Longitud > ancho ( ) Longitud < ancho (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 de alta Humedad (X) Zonas Inundadas ( ) Zonas Húmedas ( )
VEGETACIÓN DE LA MASA DESPLAZADA: No Aplicable ( ) No vegetada ( ) Vegetación escasa (X) arbustos ( ) Árboles ( )
SUPERFICIE DE FALLA: Cubierta orgánica ( ) Suelo depositado (X) Suelo residual ( ) Relleno ( )
CAUSA PROBABLE : Desconocida ( ) Erosión concentrada ( ) Deforestación ( ) Exceso de agua (X) Cargas de construcción (X) Discontinuidades ( )
FACTOR DISPARADOR : Desconocido ( ) Lluvias ( ) Construcciones ( ) Apertura de vía (X)
DAÑO: No visible ( ) Carreteras (X) Residencias ( ) Áreas de pasto ( )
ESTABILIZACIÓN: No Visible (X) Muros ( ) Canales ( ) Drenes ( ) Otros ( )

Anexo 3
Resistividad de los Geomateriales

Anexo 3. Resistividad de los Geomateriales

MATERIAL	RESISTIVIDAD (ΩM)
Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	> 10000
Basamento. Roca fracturada	1500 – 5000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100 – 2000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	1 – 100
Gruss no saturado	500 – 1000
Gruss saturado	40 – 60
Saprolito no saturado	200 – 500
Saprolito saturado	40 – 100
Gravas no saturadas	500 – 2000
Gravas saturadas	300 – 500
Arenas no saturadas	400 – 700
Arenas saturadas	100 – 200
Limos no saturados	100 – 200
Limos saturados	20 – 100
Limos saturados con agua salada	05 – 15
Arcillas no saturadas	20 – 40
Arcillas saturadas	05 – 20
Arcillas saturadas con agua salada	01 – 10
Andosoles secos	1000 – 2500
Andosoles no saturados	300 – 1000
Andosoles saturados	30 – 50
Limos	20 – 100
Humus	10 – 150
Turba húmedo	5 – 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 – 200
Margas del jurásico	30 – 40
Arena arcillosa	50 – 500
Arena silícea	200 – 3000
Suelo pedregoso desnudo	300 – 5000
Calizas blandas	100 – 300
Calizas compactas	1000 – 5000
Calizas agrietadas	500 – 1000
Pizarras	50 – 30
Roca de mica y cuarzo	800

Fuente: Universidad Nacional de Loja. 2000

Anexo 4
Fotografía aérea NVII – B2 – E1

Anexo 5
Mapa Topográfico
Escala 1:4.000

Anexo 6
Mapa Geológico
Escala 1:4.000

Anexo 7
Mapa Geomorfológico
Escala 1:4.000

Anexo 8
Mapa de Pendientes
Escala 1:4.000

Anexo 9
Mapa de Uso Actual del Suelo
Escala 1:4.000

Anexo 10
Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos por el Método Heurístico
Escala 1:4.000

Anexo 11
Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos por el Método Determinístico Escala 1:4.000

Anexo 12
Resultados de los límites de Atterberg

Anexo 12: Resultados de los límites de Atterberg

ENSAYOS DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

PROYECTO:	Paso Lateral de Loja	PROFUNDIDAD:	9.00 - 9.50 m
ESTUDIO:	Estudio Geotécnico para Cimentaciones del Puente Río Malacatos	SOLICITA:	Ing. Marco Acosta
SONDEO:	Perforación 2 - Margen Izquierdo	NORMA:	ASTM D-2466
ABSCISA:	17+770	FECHA:	01-FEB-2010

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD

W. Húmedo	W. Seco	W. Cápsula	w %		
52.50	48.20	22.00	16.41	Valor promedio:	16.35
46.80	43.30	21.80	16.28		

2.- GRANULOMETRÍA

PES. INICIAL 260.40 (H/D) D
PESO INICIAL PARA CÁLCULOS = 260.40

Tamiz	W. Suelo	W Retenido	% Retenido	% Pasa
1"	49.20	49.2	18	82
3/4"	19.20	68.4	25	75
1/2"	4.80	73.2	27	73
3/8"	7.10	80.3	30	70
No. 4	12.00	92.3	34	66
No. 10	16.50	108.8	40	60
No. 40	24.30	133.1	49	51
No. 200	44.30	177.4	66	34

3.-LÍMITE LÍQUIDO

Golpes	W. Húmedo	W. Seco	W. Cápsula	w %	
17	43.25	38.89	22.07	25.92	
22	42.99	38.72	22.09	25.68	Límite líquido:
27	42.11	37.98	21.85	25.60	25.49
32	41.95	37.90	21.71	25.02	

4.- LÍMITE PLÁSTICO

W. Húmedo	W. Seco	W. Cápsula	w %		
22.67	22.54	21.85	18.84	Límite plástico:	18.93
22.26	22.14	21.48	18.18		
22.22	22.04	21.13	19.78		

5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

GRANULOMETRÍA:		PLASTICIDAD:		CLASIFICACIÓN:	
Grava	34	% LL =	25	SUCS :	SM/SC
Arena	32	% LP =	19	AASHTO :	A-2-4
Finos	34	% IP =	6		

ENSAYOS DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

PROYECTO:	Paso Lateral de Loja	PROFUNDIDAD:	9.00 - 9.60 m
ESTUDIO:	Estudio Geotécnico para Cimentaciones del Puente Río Malacatos	SOLICITA:	Ing. Marco Acosta
SONDEO:	Perforación 1 - Margen Derecho	NORMA:	ASTM D-2488
ABSCISA:	17+030	FECHA:	01-FEB-2010

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD

W. Húmedo	W. Seco	W. Cápsula	w %		
60.70	54.90	22.10	17.68	Valor promedio:	18.11
65.30	58.50	21.80	18.53		

2.- GRANULOMETRÍA

PES. INICIAL 237.00 (H/D) D

PESO INICIAL PARA CÁLCULOS = 237.00

Tamiz	W. Suelo	W Retenido	% Retenido	% Pasa
1"	0.00	0.00	0	100
3/4"	14.30	14.30	6	94
1/2"	39.90	54.20	23	77
3/8"	14.20	68.40	29	71
No. 4	40.90	109.30	46	54
No. 10	30.30	139.60	59	41
No. 40	26.10	165.70	70	30
No. 200	23.60	189.30	80	20

3.-LÍMITE LÍQUIDO

Golpes	W. Húmedo	W. Seco	W. Cápsula	w %	
16	41.48	37.85	21.91	22.77	
21	42.75	38.85	21.68	22.71	Límite líquido:
26	41.68	37.95	21.38	22.44	22.48
31	41.55	38.00	22.02	22.22	

4.- LÍMITE PLÁSTICO

W. Húmedo	W. Seco	W. Cápsula	w %		
23.99	23.88	23.25	17.46	Límite plástico:	17.88
22.67	22.46	21.34	18.75		
23.13	22.88	21.47	17.73		

5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

GRANULOMETRÍA:		PLASTICIDAD:		CLASIFICACIÓN:	
Grava	46	% LL =	22	SUCS :	SM/SC
Arena	34	% LP =	18	AASHTO :	A-1-b
Finos	20	% IP =	4		

ENSAYOS DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

PROYECTO:	Paso Lateral de Loja	PROFUNDIDAD:	10.00 - 10.60 m
ESTUDIO:	Estudio Geotécnico para Cimentaciones del Puente Río Malacatos	SOLICITA:	Ing. Marco Acosta
SONDEO:	Perforación 1 - Margen Derecho	NORMA:	ASTM D-2488
ABSCISA:	17+830	FECHA:	01-FEB-2010

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD

W. Húmedo	W. Seco	W. Cápsula	w %		
39.90	38.10	21.00	10.53	Valor promedio:	11.20
40.90	38.80	21.10	11.86		

2.- GRANULOMETRÍA

PÉS. INICIAL 51.00 (H/D) D

PESO INICIAL PARA CÁLCULOS = 51.00

Tamiz	W. Suelo	W Retenido	% Retenido	% Pasa
1"	0.00	0.00	0	100
3/4"	12.10	12.10	15	85
1/2"	-12.10	0.00	0	100
3/8"	15.10	15.10	19	81
No. 4	10.50	25.60	32	68
No. 10	9.20	34.80	43	57
No. 40	11.30	46.10	57	43
No. 200	12.10	58.20	72	28

3.-LÍMITE LÍQUIDO

Golpes	W. Húmedo	W. Seco	W. Cápsula	w %	
18	38.10	35.41	22.75	21.25	
23	37.34	34.73	22.07	20.62	Límite líquido:
28	36.92	34.21	21.08	20.64	20.69
33	37.54	34.74	20.95	20.30	

4.- LÍMITE PLÁSTICO

W. Húmedo	W. Seco	W. Cápsula	w %		
23.53	23.31	21.92	15.83	Límite plástico:	15.69
23.91	23.70	22.35	15.56		
22.95	22.79	21.77	15.69		

5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

GRANULOMETRÍA:		PLASTICIDAD:		CLASIFICACIÓN:	
Grava	32	% LL =	21	SUCS :	SM/SC
Arena	40	% LP =	15	AASHTO :	A-2-4
Finos	28	% IP =	6		

ENSAYOS DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

PROYECTO:	Paso Lateral de Loja	PROFUNDIDAD:	11.00 - 11.50 m
ESTUDIO:	Estudio Geotécnico para Cimentaciones del Puente Río Malacatos	SOLICITA:	Ing. Marco Acosta
SONDEO:	Perforación 1 - Margen Derecho	NORMA:	ASTM D-2488
ABSCISA:	17+530	FECHA:	01-FEB-2010

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD

W. Húmedo	W. Seco	W. Cápsula	w %		
52.10	49.10	21.90	11.03	Valor promedio:	11.70
51.40	48.00	20.50	12.36		

2.- GRANULOMETRÍA

PES. INICIAL 229.10 (H/D) D

PESO INICIAL PARA CÁLCULOS = 229.10

Tamiz	W. Suelo	W Retenido	% Retenido	% Pasa
1"	23.30	23.30	10	90
3/4"	26.00	49.30	22	78
1/2"	34.80	84.10	37	63
3/8"	6.80	90.90	40	60
No. 4	19.50	110.40	48	52
No. 10	16.40	126.80	55	45
No. 40	23.70	150.50	66	34
No. 200	28.40	178.90	78	22

3.-LÍMITE LÍQUIDO

Golpes	W. Húmedo	W. Seco	W. Cápsula	w %	
16	43.10	39.33	22.20	22.01	
21	42.30	38.70	22.00	21.56	Límite líquido:
26	41.28	37.91	21.93	21.09	21.46
31	40.86	37.48	21.76	21.50	

4.- LÍMITE PLÁSTICO

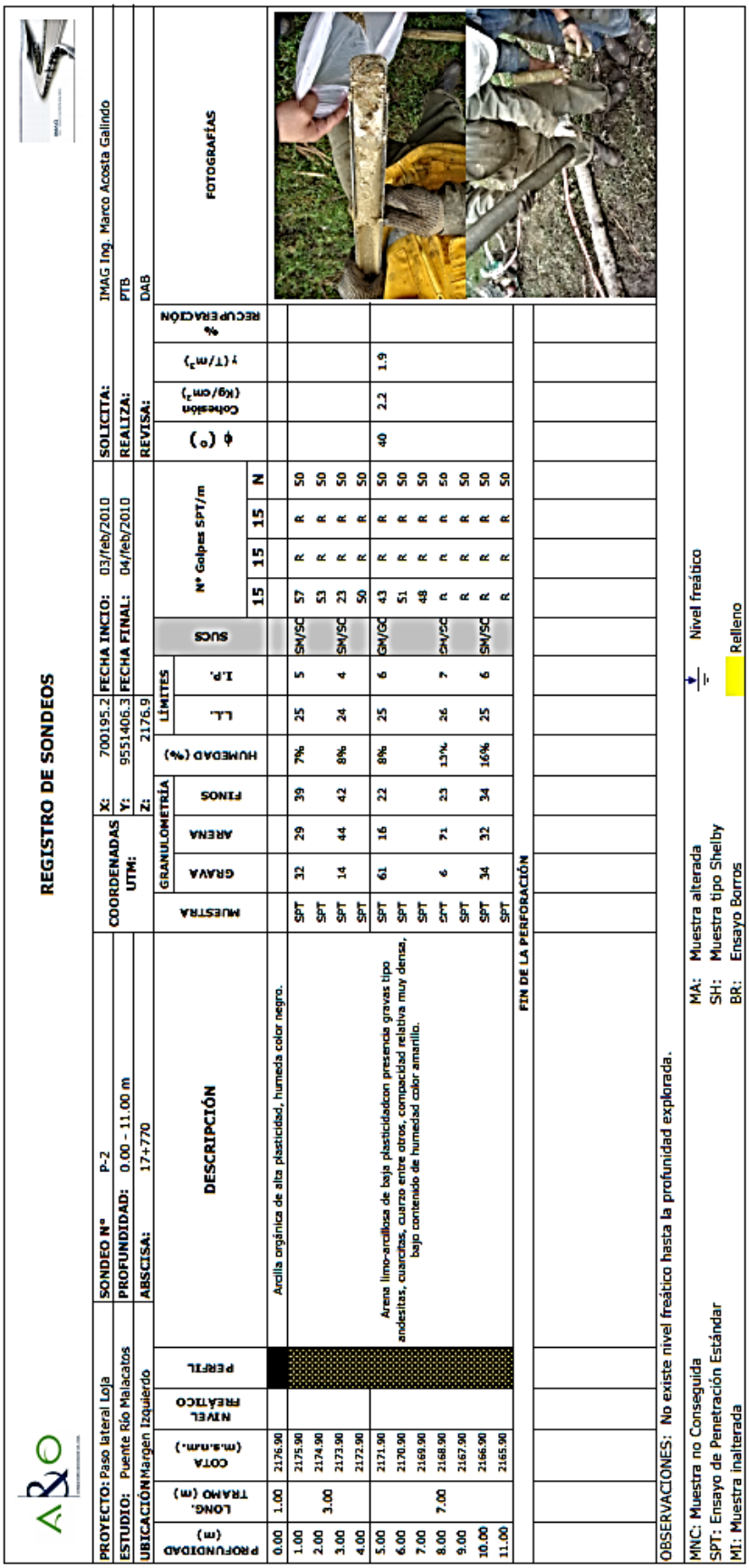
W. Húmedo	W. Seco	W. Cápsula	w %		
22.94	22.78	21.85	17.20	Límite plástico:	17.44
22.43	22.29	21.48	17.28		
22.32	22.14	21.13	17.82		

5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

GRANULOMETRÍA:		PLASTICIDAD:		CLASIFICACIÓN:	
Grava	48	% LL =	21	SUCS :	SM/SC
Arena	30	% LP =	17	AASHTO :	A-1-b
Finos	22	% IP =	4		

Anexo 13
Resultados de los Ensayos de Penetración Estándar

Anexo 13.1. Perforación 1



REGISTRO DE SONDEOS

PROYECTO: Paso lateral Loja	SONDEO Nº P-2	COORDENADAS UTM:	X: 700195.2	FECHA INICIO: 03/feb/2010	SOLICITA: IMAG Ing. Marco Acosta Galindo
ESTUDIO: Puente Río Malacatos	PROFUNDIDAD: 0.00 - 11.00 m		Y: 9551406.3	FECHA FINAL: 04/feb/2010	REALIZA: PTB
UBICACIÓN Margen Izquierdo	ABSCISA: 17+770		Z: 2176.9		REVISA: DAB

PROFUNDIDAD (m)	LONG. TRAMO (m)	COTA (m.s.n.m.)	NIVEL FREÁTICO	PERFIL	DESCRIPCIÓN	MUESTRA	GRANULOMETRÍA: GRAVA	GRANULOMETRÍA: ARENA	GRANULOMETRÍA: FINOS	HUMEDAD (%)	LÍMITES: L.L.	LÍMITES: I.P.	SUCS	Nº Golpes SPT/m: 15	Nº Golpes SPT/m: 15	Nº Golpes SPT/m: 15	Nº Golpes SPT/m: N	ϕ (°)	Cohesión (kg/cm²)	γ (T/m³)	RECUPERACIÓN %
0.00	1.00	2176.90			Arcilla orgánica de alta plasticidad, humeda color negro.																
1.00	3.00	2175.90			Arena limo-arcillosa de baja plasticidadcon presencia gravas tipo andesitas, cuarcitas, cuarzo entre otros, compacidad relativa muy densa, bajo contenido de humedad color amarillo.	SPT	32	29	39	7%	25	5	SM/SC	57	R	R	50				
2.00		2174.90				SPT								53	R	R	50				
3.00		2173.90				SPT	14	44	42	8%	24	4	SM/SC	23	R	R	50				
4.00		2172.90				SPT								50	R	R	50				
5.00	7.00	2171.90				SPT	61	16	22	8%	25	6	GM/GC	43	R	R	50	40	2.2	1.9	
6.00		2170.90				SPT								51	R	R	50				
7.00		2169.90				SPT								48	R	R	50				
8.00		2168.90				SPT	6	71	23	13%	26	7	SM/SC	R	R	R	50				
9.00		2167.90				SPT								R	R	R	50				
10.00		2166.90				SPT	34	32	34	16%	25	6	SM/SC	R	R	R	50				
11.00		2165.90				SPT								R	R	R	50				

FIN DE LA PERFORACIÓN

OBSERVACIONES: No existe nivel freático hasta la profunidad explorada.

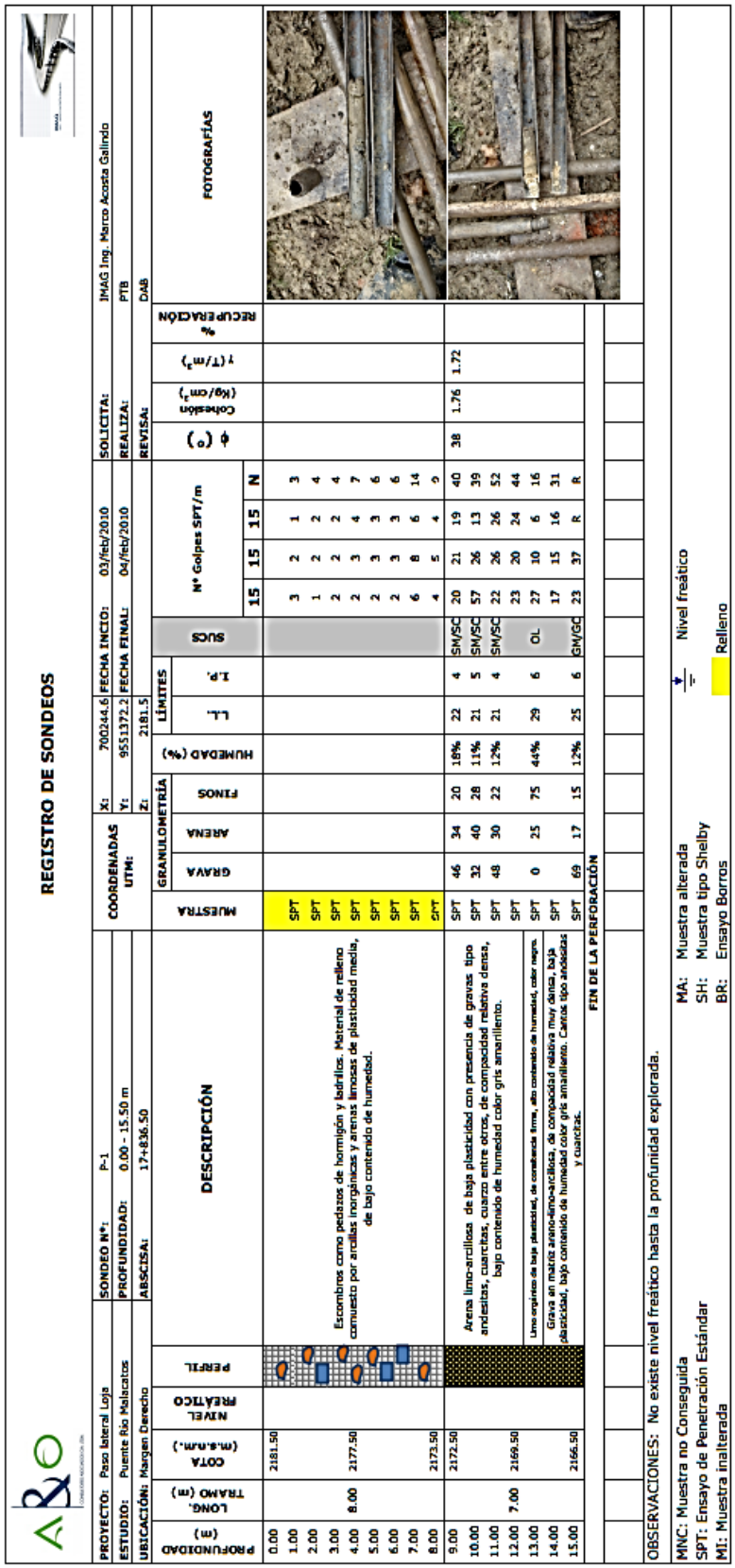
MNC: Muestra no Conseguida
SPT: Ensayo de Penetración Estándar
MI: Muestra inalterada

MA: Muestra alterada
SH: Muestra tipo Shelby
BR: Ensayo Borros

Nivel freático
Relleno

FOTOGRAFÍAS

Anexo 13.2. Perforación 2



REGISTRO DE SONDEOS

PROYECTO:	Paso lateral Loja	SONDEO Nº:	P-1	COORDENADAS UTM:	X: 700244.6	FECHA INICIO: 03/feb/2010	SOLICITA: IMAG Ing. Marco Acosta Galindo
ESTUDIO:	Puente Río Malacatos	PROFUNDIDAD:	0.00 - 15.50 m		Y: 9551372.2	FECHA FINAL: 04/feb/2010	REALIZA: PTB
UBICACIÓN:	Margen Derecho	ABSCISA:	17+836.50		Z: 2181.5		REVISA: DAB

PROFUNDIDAD (m)	LONG. TRAMO (m)	COTA (m.s.n.m.)	NIVEL FREÁTICO	PERFIL	DESCRIPCIÓN	MUESTRA	GRANULOMETRÍA: GRAVA	GRANULOMETRÍA: ARENA	GRANULOMETRÍA: FINOS	HUMEDAD (%)	LÍMITES: L.L.	LÍMITES: I.P.	SUCS	Nº Golpes SPT/m: 15	15	15	N	ϕ (°)	Cohesión (kg/cm²)	γ (T/m³)	RECUPERACIÓN %	FOTOGRAFÍAS
0.00		2181.50			Escombros como pedazos de hormigón y ladrillos. Material de relleno compuesto por arcillas inorgánicas y arenas limosas de plasticidad media, de bajo contenido de humedad.	SPT								3	2	1	3					
1.00						SPT								1	2	2	4					
2.00						SPT								2	2	2	4					
3.00						SPT								2	3	4	7					
4.00	8.00	2177.50				SPT								2	3	3	6					
5.00						SPT								2	3	3	6					
6.00						SPT								2	3	3	6					
7.00						SPT								6	8	6	14					
8.00		2173.50				SPT								4	5	4	9					
9.00		2172.50			Arena limo-arcillosa de baja plasticidad con presencia de gravas tipo andesitas, cuarcitas, cuarzo entre otros, de compacidad relativa densa, bajo contenido de humedad color gris amarillento.	SPT	46	34	20	18%	22	4	SM/SC	20	21	19	40	38	1.76	1.72		
10.00						SPT	32	40	28	11%	21	5	SM/SC	57	26	13	39					
11.00						SPT	48	30	22	12%	21	4	SM/SC	22	26	26	52					
12.00	7.00	2169.50			Limo orgánico de baja plasticidad, de consistencia firme, alto contenido de humedad, color negro.	SPT	0	25	75	44%	29	6	OL	23	20	24	44					
13.00						SPT								27	10	6	16					
14.00					Grava en matriz arena-limo-arcillosa, de compacidad relativa muy densa, baja plasticidad, bajo contenido de humedad color gris amarillento. Cantos tipo andesitas y cuarcitas.	SPT	69	17	15	12%	25	6	GM/GC	17	15	16	31					
15.00		2166.50				SPT								23	37	R	R					
					FIN DE LA PERFORACIÓN																	

OBSERVACIONES: No existe nivel freático hasta la profunidad explorada.

MNC: Muestra no Conseguida
SPT: Ensayo de Penetración Estándar
MI: Muestra inalterada

MA: Muestra alterada
SH: Muestra tipo Shelby
BR: Ensayo Barros

Nivel freático
Relleno

CENTRO DE ENSEÑANZA DE IDIOMAS

"English Speak Up Center"

Nosotros "English Speak Up Center"

CERTIFICAMOS que

La traducción del resumen de tesis titulada "SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE LA VÍA DE INTEGRACIÓN BARRIAL KM. 1,6 AL 2,5 DEL TRAMO CDLA. JULIO ORDÓÑEZ – CONEXIÓN VÍA A MALACATOS; CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA" documento adjunto solicitado por la Srta. Carolina del Rocio Cabrera Ordoñez ha sido realizada en el Centro Particular de Enseñanza de Idiomas "English Speak Up Center"

Esta es una traducción textual del documento adjunto. El traductor es competente y autorizado para realizar traducciones.

Loja, 18 de Diciembre de 2015

Lic. Elizabeth Sánchez B.
DIRECTORA ACADEMICA