1859

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

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

CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE LA VÍA DE INTEGRACIÓN BARRIAL, TRAMO URNA DE LA VIRGEN - BARRIO PANAMÁ, CIUDAD DE LOJA, CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL.

AUTOR:

Diego Fabián Guamán Ramos

DIRECTORA:

Dra. Silvia Catalina Loaiza Ambuludí, Ph. D

LOJA - ECUADOR

2016

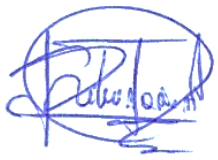
CERTIFICACIÓN

Loja, 03 de Diciembre del 2015

Dra. Silvia Catalina Loaiza Ambuludí, Ph. D
DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado 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, TRAMO URNA DE LA VIRGEN - BARRIO PANAMÁ, CIUDAD DE LOJA, CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA"**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, realizado por el señor egresado: Diego Fabián Guamán Ramos, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación para la evaluación y posterior sustentación correspondiente.

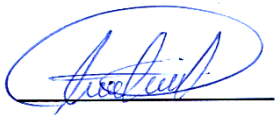


Dra. Silvia Catalina Loaiza Ambuludí, Ph. D
DIRECTORA DE TESIS

AUTORÍA

Yo **DIEGO FABIÁN GUAMÁN RAMOS,** declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

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

Firma: 

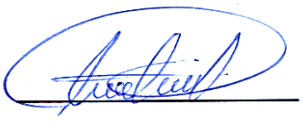
Cédula: 19000659-4

Fecha: 05 de Enero del 2016

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

Yo **DIEGO FABIÁN GUAMÁN RAMOS**, declaro ser autor de la tesis titulada: **SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTOS EN LA VÍA DE INTEGRACIÓN BARRIAL, TRAMO URNA DE LA VIRGEN-BARRIO PANAMÁ, CIUDAD DE LOJA, CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA**, como requisito para optar al grado de **INGENIERO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.
La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.
Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los cinco días del mes de enero del dos mil dieciséis.

Firma: 

Autor: Diego Fabián Guamán Ramos
Cédula: 190040659-4
Dirección: Loja, (Av. 8 de Diciembre y Tribunos)
Correo Electrónico: diegofgr_25@hotmail.com
Teléfono: (07) -3034-708 **Celular:** 0967669964

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Dra. Silvia Catalina Loaiza Ambuludí, Ph. D

Tribunal de Grado: Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho, Mg. Sc.
Ing. Jorge Enrique Gahona Pacheco Mg. Sc.
Ing. Jimmy Stalin Paladines Mg. Sc.

AGRADECIMIENTO

A Dios y a mi familia por haber sido el pilar fundamental de apoyo para la realización de la presente tesis.

DEDICATORIA

A mis padres queridos Clemencia y Arcángel, familia en general que me han apoyado en todo momento y especialmente a mis dos hijos Zoe y Axel, y a mi novia Gina por su apoyo incondicional por sobre todas las cosas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN ii
AUTORÍA iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN. iv
AGRADECIMIENTO v
DEDICATORIA vi
ÍNDICE DE CONTENIDO vii
LISTADO DE TABLAS x
LISTADO DE FIGURAS xii
1. TITULO 1
2. RESUMEN 2
3. INTRODUCCIÓN 6
4. MARCO TEÓRICO 7
4.1. Topografía 7
4.2. Geología 7
4.3. Geología Estructural 8
4.4. Falla 8
❖ Falla normal 8
❖ Falla inversa 9
❖ Falla de transformación (de desgarre) 10
4.5. Geomorfología 10
4.6. Geofísica 10
4.6.1 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) 11
4.6.2 Ensayo de Penetración Estándar (SPT) 11
4.7. Susceptibilidad a movimientos en masa 12
4.8. Movimientos de masa 13
4.8.1 Clasificación 13
4.9. Deslizamientos 15

4.9.1 Tipos de Deslizamientos 16
4.10. Factores que afectan la estabilidad del terreno 17
4.10.1 Factores internos 17
4.10.2 Factores externos 17
4.11. Elementos de un deslizamiento. 18
4.12. Clasificación de los Suelos 20
4.12.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) 21
4.12.2 Clasificación de la AASHTO 22
4.13. Sistemas de Información Geográfica (SIG) 23
4.13.1 Definición 23
4.13.2 Elementos de un SIG 23
4.13.3 Ventajas e inconvenientes del uso del SIG 24
4.13.4 Mapas de Susceptibilidad 26
4.13.5 Elaboración de mapas de susceptibilidad a deslizamientos 27
4.13.6 Elementos para elaborar un mapa de susceptibilidad 27
4.13.7 Método Heurístico 27
4.13.8 Método Determinístico 28
5. MATERIALES Y MÉTODOS 31
5.1 Materiales 31
5.2 Métodos 31
5.2.1 Metodología para el primer objetivo 32
5.2.2 Metodología para el segundo objetivo 36
5.2.3 Metodología para el tercer objetivo 47
6. RESULTADOS 52
6.1. Generalidades 52
6.1.1 Ubicación Geográfica y Acceso 52
6.1.2 Clima 55
6.1.3 Entorno Político Administrativo 59

6.1.4 Entorno Económico 59
6.1.5 Hidrología 59
6.2. Análisis de Susceptibilidad a Deslizamientos en el Sector de Estudio 62
6.2.1. Topografía 62
6.2.2. Mapa de Pendientes 63
6.2.3. Geología 64
6.2.4. Mapa Geomorfológico 79
6.2.5. Mapa de Uso actual del Suelo 84
6.2.6. Valoración e interpretación de las zonas susceptibles a deslizarse 85
6.2.7. Inventario de deslizamientos 94
6.3. Caracterización geotécnica 97
6.3.1 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) 97
6.3.2 Descripción de los sondeos eléctricos verticales (SEV). 97
6.3.2 Ensayo de penetración estándar 105
6.3.3 Calculo de Factor de Seguridad 113
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 117
8. CONCLUSIONES 119
9. RECOMENDACIONES 122
10. BIBLIOGRAFÍA 123
ANEXOS 128

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de movimientos de masa. 15
Tabla 2. Lista de materiales usados 31
Tabla 3. Categorías de pendientes. 36
Tabla 4. Categorías de forma de vertiente. 40
Tabla 5. Categorías de pendiente 41
Tabla 6. Categorías de desnivel relativo. 41
Tabla 7. Categorías de longitud de la vertiente 41
Tabla 8. Categorías de fondo de valle. 42
Tabla 9. Ficha de Fotointerpretación geomorfológica. 42
Tabla 10. Criterios para categorizar la susceptibilidad. 48
Tabla 11. Pesos de criterios usando el Método de Suma de Rango. 49
Tabla 12. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad de deslizamientos. 49
Tabla 13. Temperatura promedio anual de la ciudad de Loja. 56
Tabla 14. Precipitación promedio anual de la ciudad de Loja. 58
Tabla 15. Clasificación de los terrenos por su pendiente. 63
Tabla 16. Descripción de afloramientos. 76
Tabla 17. Categorías de pendientes. 79
Tabla 18. Categorías de Desnivel relativo. 79
Tabla 20. Descripción de unidades morfológicas del sector de estudio. 81
Tabla 21. Tipos de uso actual del suelo. 84
Tabla 22. Condición para asignación de pesos. 85
Tabla 23. Asignación de pesos para la variable de geología. 86
Tabla 24. Asignación de pesos para la variable de geomorfología. 86
Tabla 25. Asignación de pesos para la variable de pendiente. 86
Tabla 26. Asignación de pesos para la variable de uso actual del suelo. 86
Tabla 27. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos. 88
Tabla 28. Categorías de Susceptibilidad a Deslizamientos. 88
Tabla 29. Parámetros geotécnicos de la zona de estudio (Cohesión a 1 y 3 m). 91
Tabla 30. Parámetros Geotécnicos usados en la calibración de SINMAP 2.0. 92
Tabla 31. Categorización de Susceptibilidad a deslizamientos. 92
Tabla 32. Inventario de deslizamientos. 94
Tabla 33. Datos detallados de Deslizamientos 95
Tabla 34. Coordenadas geográficas de cada línea SEV. 97
Tabla 35. Valores de resistividad obtenidas en campo del SEV 1. 98

Tabla 36. Valores de resistividad obtenidas en campo del SEV 2. 100
Tabla 37. Perfil del SEV 1 y SEV 2 mediante el modelo de Smooth. 101
Tabla 38. Ubicación geográfica del SPT. 105
Tabla 39. Tipo suelo de acuerdo al sistema de clasificación SUCS y AASTHO..... 107
Tabla 40. Valores N_{SPT} por cada nivel de terreno perforado. 109
Tabla 41. Valores de N_{SPT}, resistencia a la compresión simple y módulo de elasticidad (Modificada). 110
Tabla 42. Grados de expansividad y valores medios de parámetros geotécnicos. ... 110
Tabla 43. Valoración de los suelos en la zona de estudio. 111
Tabla 44. Cálculo de Cimentación para construcciones. 113
Tabla 45. Tabla de cálculo de factor de seguridad en seco, saturado y ábacos. 114
Tabla 46. Resultados obtenidos del análisis cinemático. 118

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de una falla normal. Tomado de NESTA (2012). 9
Figura 2. Esquema de una falla inversa. Tomado de NESTA (2012). 9
Figura 3. Esquema de una falla de transformación. Tomado de NESTA (2012)..... 10
Figura 4. Dispositivo de SPT, a) Trípode, b) Toma-muestras. 12
Figura 5. Tipos de Movimientos de masa. 14
Figura 6. Deslizamiento rotacional y traslacional. 16
Figura 7. Infiltración de agua en el terreno. 18
Figura 8. Elementos de un deslizamiento. 20
Figura 9. Clasificación de suelos según SUCS. 21
Figura 10. Clasificación de suelos según AASHTO. 22
Figura 11. Elementos de un SIG 24
Figura 12. Esquema de asignación de pesos. 28
Figura 13. Abaco de factor de seguridad. 30
Figura 14. Punto inicial (parte Sur) del sector de estudio. 32
Figura 15. Punto concluyente del sector de estudio. 33
Figura 16. Levantamiento topográfico a detalle. 33
Figura 17. Modelo Tin del área de estudio. 34
Figura 18. Generación de curvas de nivel. 35
Figura 19. Levantamiento Geológico a detalle. 37
Figura 20. Descripción de afloramientos. 37
Figura 21. Puntos de afloramientos en el sector de estudio. 38
Figura 22. Metodología de descripción de afloramientos. 39
Figura 23. Mapa de sombras. 39
Figura 24. Equipo digital de resistividad ABEM, SAS 4000. 44
Figura 25. Circuito de emisión de corriente. 44
Figura 26. Sondeo Schlumberger. Los electrodos A y B se abren progresivamente mientras M y N están fijos. Tomado de Rivera (2014)..... 45
Figura 27. Toma de datos del equipo. 45
Figura 28. Proceso de hincamiento SPT. 46
Figura 29. Muestreador estándar del SPT. 47
Figura 30. Muestreador del SPT. 47
Figura 31. Esquema de variables para realizar el mapa de Susceptibilidad. 48
Figura 32. Esquema de aplicación de la formula en el programa. 51

Figura 33. Ubicación geográfica de la zona de estudio, Provincia de Loja, Cantón Loja, Ciudad de Loja, Barrio Panamá. 53
Figura 34. Ubicación espacial de la zona de estudio. 54
Figura 35. Hidrología de la Ciudad de Loja, modificado a partir de información cartográfica escala 1: 5 000 base GPL. 61
Figura 36. Afloramiento de Lutitas a lado de la vía a Catamayo. 66
Figura 37. a) Afloramiento de calizas masivas, b) toma de datos estructurales. 67
Figura 38. Afloramiento de lutitas. 68
Figura 39. Afloramiento de calizas. 68
Figura 40. a) Afloramiento de lutitas y conglomerados, **b)** lutitas meteorizadas. 69
Figura 41. Afloramiento de arcillas, areniscas y lutitas. 70
Figura 42. Afloramiento de areniscas, arcillas y conglomerados. 71
Figura 43. Afloramiento de areniscas. 72
Figura 44. Afloramiento de limolitas y conglomerados. 72
Figura 45. Afloramiento de areniscas. 73
Figura 46. Afloramiento de conglomerados. 74
Figura 47. Afloramiento de areniscas. 75
Figura 48. Coluvión de conglomerados. 76
Figura 49. Asentamiento de la vía a Catamayo. 77
Figura 50. Secuencia del modelo Builder. 87
Figura 51. Curva de resistividad aparente por medio de las ecuaciones de Zaborovsky, SEV 1. 99
Figura 52. Curva de resistividad aparente por medio de las ecuaciones de Zaborovsky, SEV 2. 100
Figura 53. Perfiles eléctricos de los SEV1 y SEV2, por medio de las ecuaciones de Zaborovsky. Tomado de laboratorio (Laboratorio ESTSUELCON CÍA.LTDA). 102
Figura 54. Perfil eléctrico del SEV1 y SEV2. 103
Figura 55. Cortes Geoeléctricos de los SEV 1 y 2. 104
Figura 56. Testigo de perforación a una profundidad de 1 m. 108
Figura 57. Testigo de perforación a una profundidad de 3.5 m. 108
Figura 58. Distancias entre bases para el cálculo del Área Colaborante. 112
Figura 59. Abaco de factor de seguridad para el deslizamiento 1. 115
Figura 60. Abaco de factor de seguridad para el deslizamiento 2. 115
Figura 61. Abaco de factor de seguridad para el deslizamiento 3. 116

1. TÍTULO

"SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE LA VÍA DE INTEGRACÓN BARRIAL, TRAMO URNA DE LA VIRGEN - BARRIO PANAMÁ, CIUDAD DE LOJA, CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA**".**

2. RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como finalidad identificar y caracterizar las zonas propensas a sufrir deslizamientos en la vía de Integración Barrial (Km 6), en el tramo comprendido desde la Urna de la Virgen – Barrio Panamá de la ciudad de Loja – Ecuador.

En este proyecto se realizaron trabajos de campo y oficina; aplicando técnicas ingenieriles para la obtención de datos en los levantamientos: topográfico, geológico, geomorfológico, pendientes y cobertura vegetal, además de la caracterización geotécnica basada en métodos directos SPT (Ensayo de Penetración Estándar) e indirectos SEV (Sondeos Eléctricos Verticales); los mismos que servirán para correlacionar el contenido de agua en los estratos y la litología del sector.

Para obtener los mapas finales de Susceptibilidad a deslizamientos se utilizaron el método heurístico en combinación con el método de suma de rangos y el método determinístico; todo esto con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (ArcGis 10.1), Ilwis 3.6, interpretación de fotografías aéreas, modelos digitales de elevación, etc. La metodología empleada por el método heurístico da como resultado los mapas de las cuatro variables con sus respectivos pesos: Pendientes (0.4), Geología (0.3), Geomorfología (0.2), Uso actual de suelo (0.1); todo este procedimiento se lo llevo a cabo con la herramienta “Model Builder”.

Para obtener el mapa de susceptibilidad mediante el método determinístico se emplearon parámetros de calibración obtenidas mediante el ensayo de penetración estándar (SPT) como: densidad del suelo, cohesión, cotas, ángulo de fricción interna, gravedad, densidad del agua y espesor del suelo; todo este procedimiento se lo realizo con la ayuda de la herramienta “SINMAP”.

Como resultado del objetivo principal, el mapa de susceptibilidad a deslizamientos por el método heurístico en el área de estudio se clasificó en 5 categorías: Muy Baja (29.38%), Baja (30.60%), Media (16.69%), Alta (15.63%) y Muy Alta (7.58%). Además se realizó el inventario a deslizamientos con la finalidad de correlacionar con el mapa de susceptibilidad, en donde la mayoría de ellos se encuentran en zona de Alta Susceptibilidad; cada zona está relacionada con la caracterización de los geomateriales sobre la base de propiedades físico-mecánicas y SPT de los suelos.

El mapa de susceptibilidad por el método determinístico se lo clasifico de la misma manera en 5 categorías; Zona umbral más alto de la estabilidad (15.85%), Zona umbral más bajo de la estabilidad (24.85%), Casi estable (21.66%), Moderadamente estable (9.91%) y Estable (27.71%), relacionando cada zona con las propiedades físico-mecánicas y los parámetros obtenidos mediante el estudio de SPT.

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

ABSTRACT

This thesis aims to identify and characterize landslide prone areas in the route of neighborhood integration (Km 6), in the section from Urna de la Virgen - Barrio Panama, Loja - Ecuador.

In this project field and office work were held; applying engineering techniques to obtain data from surveys: topographic, geological, geomorphological, slopes and vegetation cover, the geotechnical characterization addition to direct methods based on SPT (standard penetration test) and indirect VES (Vertical Electrical Sounding); thereof which they serve to correlate water content in the layers and lithology sector.

To obtain the final landslide susceptibility maps, heuristic method is used in combination with the rank sum method and the deterministic method; all this with the help of GIS (ArcGIS 10.1) 3.6 Ilwis, interpretation of aerial photographs, digital elevation models, etc. The methodology used by the heuristic method results in maps of the four variables and their weight: Earrings (0.4), Geology (0.3), Geomorphology (0.2), existing land use (0.1); all this procedure is carried out with the "Model Builder" tool.

To obtain the susceptibility map by using the deterministic method, calibration parameters were implemented, these were obtained by standard penetration test (SPT) like: soil density, cohesion, heights, angle of internal friction, gravity, water density and thickness of the soil; all this procedure is performed with the help of the " SINMAP " tool.

As a result of the main objective, the landslide susceptibility map of the heuristic method in the study area was classified into 5 categories: very low (29.38 %), low (30.60 %), Medium (16.69 %), high (15.63 %) and very high (7.58 %). Furthermore, landslide inventory was made in order to correlate with the susceptibility map, where most of them are highly susceptible zone; each zone is related to the characterization of geomaterials based on mechanical and physical properties of soils SPT.

The susceptibility map by the deterministic method has been classified in the same way into 5 categories; higher stability (15.85 %), lower threshold Zone stability (24.85 %), almost stable (21.66 %) Moderately stable (9.91 %) and Stable (27.71 %) threshold

area, each area relating to the properties mechanical and physical parameters obtained by studying SPT.

The results of this project will allow to zone areas that are susceptible to slip so that there could be a base for the implementation of public policies aimed at preventing risks on the road and its surroundings, as well as being key elements in planning projects and Land Management.

3. INTRODUCCIÓN

Existen diversos métodos de evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos a través de SIG. Soeters y van Westen (1996), Aleotti y Chowdhury (1999) y Guzzetti (1999), entre otros autores, proporcionan una amplia visión de los más utilizados, entre los que se incluyen principalmente los estadísticos, determinísticos, de indexación y de evaluación directa de la susceptibilidad. La aplicabilidad de cada método a una zona determinada depende sobre todo de las características y extensión de dicha zona, del tipo y extensión de los deslizamientos existentes, de los datos geotécnicos e hidrogeológicos disponibles y de la escala de trabajo. Barredo Cano (2001).

EL sector de estudio se encuentra ubicado en la Provincia de Loja, cantón Loja, en la parte Oeste de la hoya (ciudad) de Loja, Sur del Ecuador; caracterizado principalmente por presentar terrenos relativamente planos, estructurados por materiales de distintas formaciones geológicas como arcillas, limolitas, areniscas, lutitas, conglomerados y calizas masivas.

A fin de optimizar las capacidades para enfrentar las amenazas que existe en la zona de estudio se ha propuesto el tema, **SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE LA VÍA DE INTEGRACÓN BARRIAL, TRAMO URNA DE LA VIRGEN - BARRIO PANAMÁ, CIUDAD DE LOJA, CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA,** con la finalidad de determinar y describir mediante el análisis de la zonificación del mapa de susceptibilidad, las áreas susceptibles a deslizamientos, e identificar los terrenos que presentan mejores características mecánicas de la misma zona de estudio.

La zonificación de las amenazas mediante la elaboración de mapas es considerado una de las herramientas más importantes para el diseño de estrategias que permitan la disminución de la vulnerabilidad y el nivel de riesgo de la población frente a este tipo de amenaza, así como la generación de políticas preventivas, mismos que pueden ser utilizados por los gobiernos y autoridades locales para la regulación del uso de suelo y la elaboración de planes de desarrollo urbano.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Topografía

Las definiciones que algunos autores tienen hacia la topografía son semejantes y son bien representadas en diferentes investigaciones por tales autores.

Etimológicamente este término procede del griego topos (lugar) y grapen (describir) pudiendo ser traducido como la descripción exacta y minuciosa de un lugar. Thomas (1958).

La topografía se define originalmente como la exacta descripción y delimitación de las características de un lugar particular que puede ser tanto una ciudad como cualquier parte de la superficie terrestre. Esta primera acepción fue completada en los diccionarios del siglo XIX (Larousse y Littré).

Domínguez (1979), entiende por topografía como "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".

García Martin (1994), menciona que la topografía es la disciplina y técnica de realizar mediciones de ángulos y distancias en extensiones de tierra reducidas, para después procesarlas y obtener así coordenadas de puntos, direcciones, elevaciones, áreas, volúmenes en gráfica y/o numérica según los requerimientos del trabajo.

Jauregui Luis (1997), define a la topografía como el arte y ciencia de determinar la posición relativa de puntos sobre o cerca de la superficie de la Tierra, o de situar estos puntos, así como determinar distancias, áreas y volúmenes.

4.2. Geología

En 1778, J. A. de Luc (1727 -1817) empleo por primera vez el término "Geología", que definió luego en sucesivas obras. Se deriva del griego " Geo", que significa "tierra" y "Logos", que significa "tratado".

Bemmelen R.W (1961), en su libro “El carácter científico de la Geología” la define como: “Una ciencia histórica y difiere de la Física, de la Química y de la Biología en que son ilimitadas sus posibilidades para experimentar”.

Navarrete (2005), define a la Geología como una ciencia que concierne a la Tierra y los materiales de los que está constituida, los procesos que los formaron durante el tiempo geológico y el modelado de su superficie en el pasado y en el presente.

López Marinas (2000), menciona que la ingeniería geológica es la ciencia aplicada al estudio y solución de los problemas de la ingeniería y del medio ambiente producidos como consecuencia de la interacción entre las actividades humanas y el medio geológico. El fin de la geología es asegurar los factores geológicos condicionantes en las obras de ingeniería.

4.3. Geología Estructural

Belousov (1974), en su libro Geología Estructural, manifiesta que “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.

4.4. Falla

La NESTA (National Earth Science Teachers Association) 2012, manifiestan que una falla es una grieta en la corteza terrestre. Generalmente, las fallas están asociadas con, o forman, los límites entre las placas tectónicas de la Tierra. En una falla activa, las piezas de la corteza de la Tierra a lo largo de la falla, se mueven con el transcurrir del tiempo. El movimiento de estas rocas puede causar terremotos. Las fallas inactivas son aquellas que en algún momento tuvieron movimiento a lo largo de ellas pero que ya no se desplazan. El tipo de movimiento a lo largo de una falla depende del tipo de falla. A continuación describimos los principales tipos de fallas.

- **Falla normal**

Las fallas normales se producen en áreas donde las rocas se están separando (fuerza tractiva), de manera que la corteza rocosa de un área específica es capaz de ocupar

más espacio. Las rocas de un lado de la falla normal se hunden con respecto a las rocas del otro lado de la falla.

Las fallas normales no crean salientes rocosos. En una falla normal es posible que se pueda caminar sobre un área expuesta de la falla.

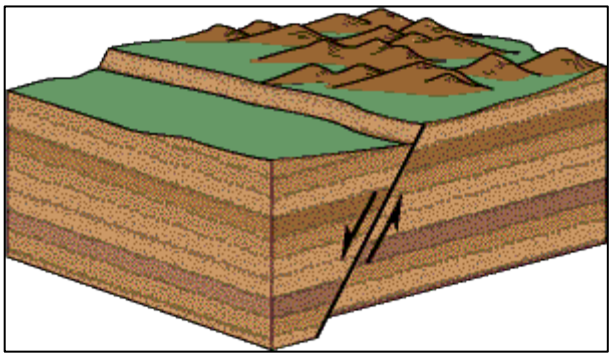


Figura 1. Esquema de una falla normal. Tomado de NESTA (2012).

❖ **Falla inversa**

Las fallas inversas ocurren en áreas donde las rocas se comprimen unas contra otras (fuerzas de compresión), de manera que la corteza rocosa de un área ocupe menos espacio. La roca de un lado de la falla asciende con respecto a la roca del otro lado.

En una falla inversa, el área expuesta de la falla es frecuentemente un saliente. De manera que no se puede caminar sobre ella. Fallas de empuje son un tipo especial de falla inversa. Ocurren cuando el ángulo de la falla es muy pequeño.

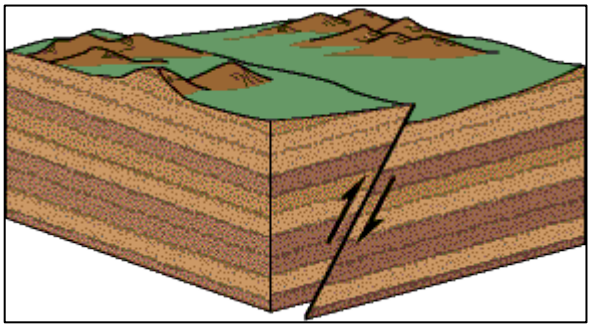


Figura 2. Esquema de una falla inversa. Tomado de NESTA (2012).

❖ **Falla de transformación (de desgarre)**

El movimiento a lo largo de la grieta de la falla es horizontal, el bloque de roca a un lado de la falla se mueve en una dirección mientras que el bloque de roca del lado opuesto de la falla se mueve en dirección opuesta.

Las fallas de desgarre no dan origen a precipicios o fallas escarpadas porque los bloques de roca no se mueven hacia arriba o abajo en relación al otro.

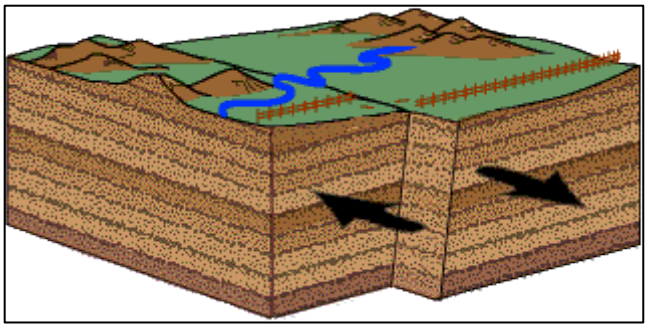


Figura 3. Esquema de una falla de transformación. Tomado de NESTA (2012).

4.5. Geomorfología

Según el Diccionario de Geología y Mineralogía define a la Geomorfología como la "rama de la geografía general que estudia las formas superficiales de la tierra, describiéndolas, ordenándolas sistemáticamente e investigando su origen y desarrollo".

Escobar (2013), desde su libro “Manual de geología para Ingenieros”, 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”.

4.6. Geofísica

El término geofísica es empleado inicialmente por Julius Fröbel en 1834 y otros autores en años siguientes, pero aparece publicado por vez primera en Alemania

gracias a Adolf Mühry en 1863: Beitraege zur Geophysik und Klimatographie, y luego nuevamente en 1887 en el Handbuch der Geophysik de S. Günther.

El Servicio Geológico Mexicano define a la geofísica como una ciencia derivada de la geología que trata del estudio de las propiedades físicas de la tierra.

Estrada (2012), enuncia que la geofísica es la aplicación de los principios y prácticas de la Física para la resolución de los problemas relacionados con la Tierra. Puede decirse que surgió de la Física y de la Geología.

Oldroyd (2004), enuncian que 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.

4.6.1 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

Según Orellana (1982): "Es una técnica para la prospección geofísica, la misma que intenta distinguir o reconocer las formaciones geológicas que se encuentran en profundidad mediante algún parámetro físico (velocidad de transmisión de ondas), sirve para delimitar capas del subsuelo, obteniendo sus espesores y sus resistividades".

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 (Orellana, 1982).

4.6.2 Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

El ensayo de penetración estándar (SPT), desarrollado por Terzagui a finales de los años 20, es el ensayo in situ más popular y económico para obtener información geotécnica del subsuelo. (Terzaghi, 1950).-----

El procedimiento del Ensayo de Penetración Estándar (SPT) está indicado en la norma ASTM – 1586, y consiste básicamente en hincar sobre el suelo un toma-muestras de

30 cm de largo, un diámetro externo de 51 mm y un diámetro interno de 35 mm dividido en dos partes, cuya parte inferior está unida a un anillo cortante o zapata y la parte superior a una válvula y pieza de conexión a la línea de perforación. Él toma-muestras es golpeado bajo energía constante, con un martillo en caída libre de 140 libras (63.5 Kg), y una altura de caída de 30 pulgadas (76.2 cm).

Figura 4. Dispositivo de SPT, a) Trípode, b) Toma-muestras.

4.7. Susceptibilidad a movimientos en masa

La susceptibilidad a movimientos en masa ha sido desde hace muchos años atrás tema de discusión en la investigación científica, es por ello que como resultado se pueden apreciar diferentes conceptos en función del autor; a continuación mencionamos algunos de ellos.

Ayala (2002), manifiesta que la susceptibilidad a los movimientos en masa es la prospección de un terreno a la ocurrencia de caídas, derrumbes, flujos, deslizamientos y movimientos complejos. Los mapas de susceptibilidad consisten en documentos de aproximación que previo análisis sirven para identificar zonas problemáticas y fundamentalmente los factores condicionantes.

Maldonado (2005), enuncia que la susceptibilidad de movimientos en masa es el grado de propensión que tiene una zona a resultar afectada por movimientos de masa debido a sus condiciones intrínsecas (litología, pendiente, uso de suelo, vegetación, etc.).

4.8. Movimientos de masa

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. (Brunsden, 1979).

Dolffus (1973), agrupa a los movimientos en masa con el nombre de golpes de cuchara, por sus dimensiones siempre pequeñas, profundidad escasa y su relación directa con la intervención del hombre.

La combinación de la variedad de movimientos de ladera existentes en la naturaleza, por un lado, y la gran cantidad de expertos en la materia, por otro, brinda sin lugar a dudas, pocas opciones en la elaboración de una clasificación universal. (Alcántara, 2000).

4.8.1 Clasificación

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: Varnes 1984, Hutchinson 1988, EPOCH 1993, Dikau 1996, con diversos criterios y fines.

Varnes (1984), clasifica los movimientos de masa en base al tipo de material y tipo de movimiento, y los define de la siguiente manera:

- ✓ **Derrumbes:** colapsos rápidos o extremadamente rápidos provenientes de zonas abruptas y que descienden en una caída libre a lo largo de una superficie que no presenta ningún plano de corte específico.

- ✓ **Desprendimientos:** masas desprendidas de pendientes muy fuertes o escarpes, que se mueven en caída libre, dando tumbos (saltos) o ruedan ladera abajo.

- ✓ **Deslizamientos:** los define como todos los movimientos de deformación por corte y desplazamiento a los largo de una o varias superficies que son visibles o pueden ser inferidas.

- ✓ **Movimiento traslacional:** se da cuando la superficie de ruptura es más o menos plana o suavemente ondulante y la masa se mueve paralela a la superficie del terreno.

- ✓ **Esparcimiento lateral:** movimiento o de extensión lateral acompañado por fracturamiento cortante o tensional.

- ✓ **Flujos:** masas que se mueven como unidades deformadas, viscosas, sin un plano discreto de ruptura.

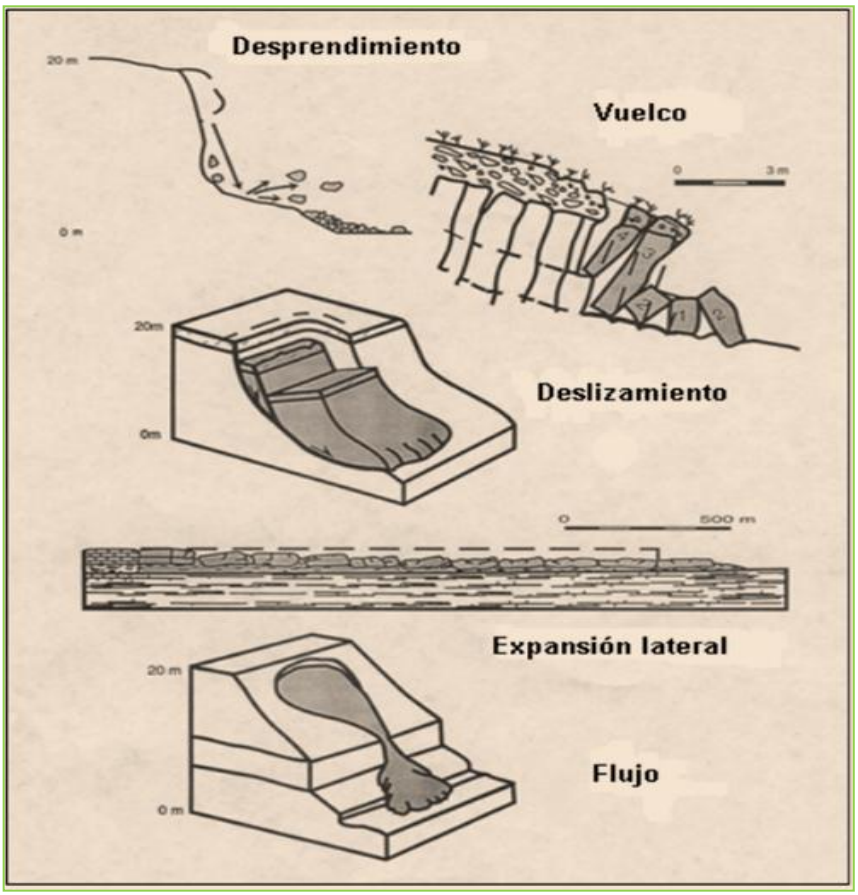


Figura 5. Tipos de Movimientos de masa.
Tomado de Van Westen (1998).

Tabla 1. Clasificación de movimientos de masa.

Tipo de Movimiento	Tipo de Material		
	Roca	**Suelo: detritus**	**Suelo: tierra**
Derrumbes	Derrumbe de rocas	Derrumbe de detritus	Derrumbe de tierras
Desprendimientos	Desprendimientos de rocas	Desprendimientos de detritus	Desprendimientos de tierras
Deslizamientos	Deslizamientos de bloques rocosos	Deslizamientos de detritus en bloque	Deslizamientos de tierra en bloque
Rotacionales	Desplome de roca	Desplome de detritus	Desplome de tierra
Traslacionales	Alud de roca	Alud de detritus	Alud de tierra
Extensión o Esparcimiento natural	Esparcimiento de rocas	Esparcimiento de detritus	Esparcimiento de tierra
Flujos	Flujos de rocas	Flujos de detritus	Flujos de tierra
Complejos	Combinación de dos o más de ellos		

Tomado de Varnes (1984).

4.9. Deslizamientos

Son movimientos lentos o rápidos del material superficial de la corteza terrestre (suelo, arena, roca) pendiente abajo debido a un aumento de peso, perdida de consistencia de los materiales o algún otro factor que genere un desequilibrio en la ladera. A estas condiciones se le debe sumar factores externos como la sismicidad, vulcanismo y las lluvias. (Jiménez, 2002).

Terzaghi (1950), expone que un desplazamiento rápido de una masa de roca, suelo residual o sedimentos de una ladera, en el cual el centro de la gravedad de la masa que se desplaza se mueve hacia abajo y hacia el exterior.

Según Lomtadze (1977), es una masa de roca que se ha deslizado o desliza cuesta abajo por la vertiente o talud por efecto de la fuerza de gravedad, presión hidrodinámica, fuerzas sísmicas, etc.

4.9.1 Tipos de Deslizamientos

Los deslizamientos se pueden dividir en dos subtipos denominados deslizamientos rotacionales y traslacionales o planares.

- ✓ **Deslizamiento Rotacional,** la superficie de rotura es curvada y cóncava, y la relación Profundidad/Longitud Dr / Lr varía entre 0.15 y 0.33, según Skempton and Hutchinson (1969), citado en Cruden y Varnes (1996).

- ✓ **Deslizamiento Traslacional,** la superficie de falla es planar y la relación Profundidad / Longitud: Dr / Lr es menor de 0.1, según los mismos autores, citados en Cruden y Varnes (1996).

- ✓ **El Deslizamiento de Cuñas,** constituye un caso especial de deslizamiento traslacional, en el cual la masa que se desplaza, se apoya sobre la intersección de dos discontinuidades estructurales. Cruden y Varnes (1996).

- ✓ **Deslizamiento Combinado,** se presenta algo de translación y algo de rotación. La superficie de rotura presenta un escarpe principal con una fuerte pendiente, que puede suavizarse en profundidad y termina con una sección casi plana; la pata puede llegar a inclinarse en sentido contrario del movimiento y en la zona de corona pueden presentarse bloques desplazados en un mecanismo de Graben. La relación Profundidad/Longitud Dr / Lr para estos movimientos varía entre 0.10 y 0.15. Cruden y Varnes (1996).

Figura 6. Deslizamiento rotacional y traslacional.
Tomado de Cruden y Varnes (1996).

4.10. Factores que afectan la estabilidad del terreno

4.10.1 Factores internos

Ferrer (1987), indica que los factores internos condicionan las diferentes tipologías de deslizamiento, los mecanismos y modelos de rotura. Dentro de ellos encontramos ***características intrínsecas*** relativas a las propiedades del material y a su resistencia, y las ***características extrínsecas*** no relacionadas con el material y si con la morfología de la ladera y condiciones ambientales de ésta.

Dentro de los ***factores internos*** se considera los parámetros de litología, textura (granulometría, cementación), consolidación y espesor de los materiales y parámetros estructurales relativos a planos de estratificación y de debilidad (diaclasas, fallas y fracturas).

En las ***características extrínsecas*** podemos encontrar las morfológicas como la pendiente de la ladera y su disposición respecto a discontinuidades geológicas y la orientación (relacionada con la humedad del terreno), y factores de tipo ambiental como cambios estacionales de temperatura y tipo y cambios en la vegetación. La pendiente del terreno así como la morfología propia de la ladera es un factor y condicionante previo a partir del cual el resto de factores se combinarán influyendo en la estabilidad. (Ferrer, 1987).

4.10.2 Factores externos

Ferrer (1987), enuncia que los factores externos actúan sobre el material y dan lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de las laderas, provocando o desencadenando las roturas debido a las variaciones que ejercen en el estado de equilibrio de aquéllas. Tres tipos de acciones se incluyen aquí: la infiltración de agua en el terreno, las vibraciones y las modificaciones antrópicas.

Keefer (1984), indica que la ***infiltración de agua*** provoca el aumento de la presión intersticial disminuyendo la resistencia de los materiales. ***Las vibraciones,*** por otra parte, provocan aceleraciones en el terreno favoreciendo la rotura y la licuefacción. Éstas pueden ser debidas a movimientos sísmicos naturales o inducidos por el hombre como explosiones mineras o por obras públicas. La sacudida debida a terremotos naturales es una de los principales agentes que generan deslizamientos siendo

capaces, en el caso de los terremotos más grandes, de desencadenar miles de deslizamientos a lo largo de áreas de más de 100.000 km^2.

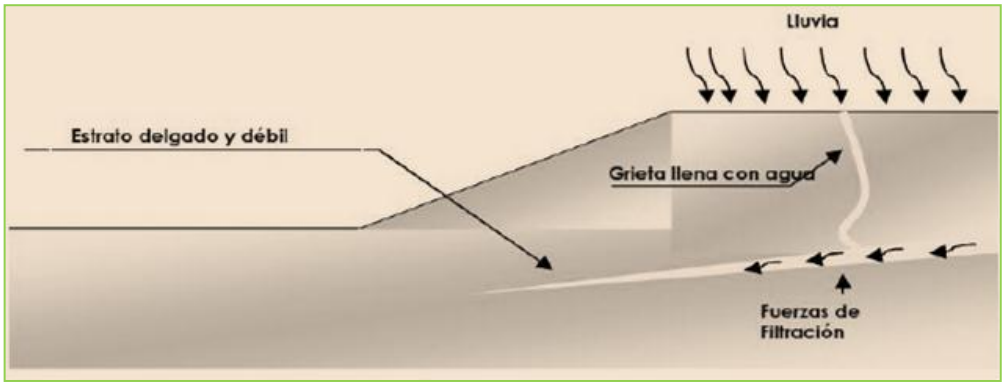


Figura 7. Infiltración de agua en el terreno.
Tomado de Montoya (2009).

Keefer (1984), declara que las ***actividades humanas*** alteran el equilibrio de las laderas debido a cargas estáticas provocadas por construcciones de edificios, construcciones de taludes para vías de comunicación, explotaciones mineras y construcciones de presas. Asimismo los cambios en el recubrimiento vegetal como la tala de bosques, la repoblación con especies alóctonas, incendios forestales y otros también influyen en la estabilidad de las laderas.

E. Alonso, J. Corominas y M. Hürlimann (2013), manifiesta que aunque no se puede incluir como factor, existe un parámetro fundamental a tener en cuenta en la estabilidad, y que determina el factor de seguridad en los taludes: ***el tiempo*.** Éste influye sobre aspectos como la geometría del talud, la resistencia del material y la oscilación de los niveles piezométricos.

4.11. Elementos de un deslizamiento.

Los elementos que conforman un deslizamiento **(Figura 8)** establecidos según Varnes (1978), son los siguientes:

- ✓ **Escarpe principal:** Una superficie de fuerte pendiente sobre terreno no perturbado alrededor de la periferia del deslizamiento, causado por movimiento de material de deslizamiento fuera del terreno no perturbado. La proyección de la superficie de escarpa debajo del material desplazado viene a ser la superficie de la ruptura.

- ✓ **Escarpe secundaria:** Una superficie de pendiente fuerte sobre el material desplazado producida por movimientos diferenciales al interior de la masa deslizante.

- ✓ **Cabeza:** La parte superior del material de deslizamiento a lo largo del contacto entre el material desplazado y la escarpa principal.

- ✓ **Cima:** El punto más alto de contacto entre el material desplazado y la escarpa principal.

- ✓ **Pie de la superficie de ruptura:** La intersección (a veces enterrada) entre la parte inferior de la superficie de ruptura y la superficie original del terreno.

- ✓ **Punta del pie:** El margen de material desplazado más lejano de la escarpa principal.

- ✓ **Puntera:** El punto más lejano de la margen desde la cima del deslizamiento.

- ✓ **Pie:** La porción del material desplazado que queda pendiente abajo del margen de la superficie de ruptura.

- ✓ **Cuerpo principal:** Aquella parte del material desplazado, suprayacente a la superficie de ruptura entre la escarpa principal y el pie y la base de la superficie de ruptura.

- ✓ **Flanco:** El costado del deslizamiento.

- ✓ **Corona:** El material que aún permanece en su lugar, prácticamente no desplazado y adyacente a las partes más altas de la escarpa principal.

- ✓ **Superficie original del terreno:** La pendiente que existía antes de ocurrir el movimiento que se está considerando. Si ésta es la superficie de un deslizamiento anterior, el hecho debe ser anotado.

- ✓ **Izquierda y derecha:** Las direcciones con una brújula son preferibles para describir las pendientes pero si se usa "derecha o izquierda" se refiere al deslizamiento visto desde la corona.

- ✓ **Superficie de separación:** Es la superficie que separa el material desplazado del material estable, pero no se reconoce que hubiera sido una superficie que falló.

- ✓ **Material desplazado:** El material que se ha desplazado de su posición original sobre la pendiente. Puede estar en estado deforme o no deforme

- ✓ **Zona de agotamiento:** El área dentro de la cual el material desplazado queda debajo de la superficie original del terreno.

- ✓ **Zona de acumulación:** El área dentro de la cual el material desplazado queda encima de la superficie original del terreno.

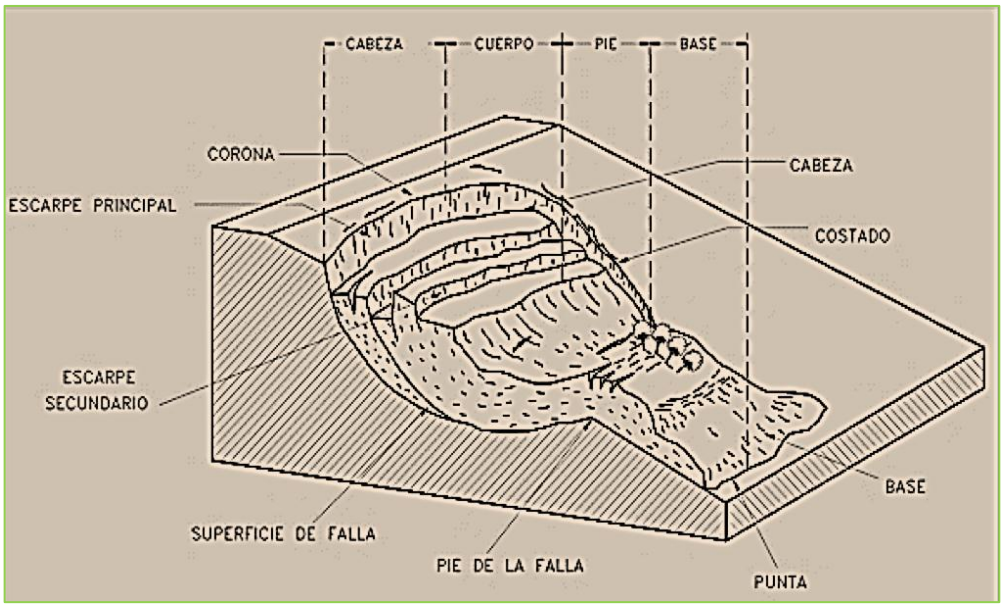


Figura 8. Elementos de un deslizamiento.
Tomado de Varnes (1978).

4.12. Clasificación de los Suelos

Existen múltiples clasificaciones de los suelos de las cuales mencionaremos las más importantes y utilizadas:

Fue A. Casagrande quien en 1940 ideó este sistema genérico de clasificación de suelos **SUCS** o **UCS**, que fue empleado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. para la construcción de pistas de aterrizaje durante la II Guerra Mundial; se utiliza para casi todos los trabajos de ingeniería geotécnica; tiene tres grupos de clasificación mayores: suelos de grano grueso como arenas y gravas, suelos de grano fino como limos y arcillas, y suelos altamente orgánicos referidos como turba.

Borselli, en su libro Introducción a la Geotécnia (2014), menciona que el sistema de clasificación **AASHTO** que se usa por la construcción de carreteras y terraplenes, establece siete grupos de suelos agregados con base en la determinación en el laboratorio de la granulometría, el límite líquido y el límite plástico.

4.12.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Das (2001), clasifica los suelos en dos amplias categorías: “suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando la malla No. 200 y los suelos de grano fino con 50% o más pasando la malla No. 200”.

El método SUCS presenta diversa nomenclatura; para suelos granulares, las siglas son G (grava), S (arena), W (bien graduada) y P (mal graduada). Para suelos finos la nomenclatura es M (limo), C (arcilla), H (alta compresibilidad) y L (baja compresibilidad). Y para los suelos orgánicos la sigla es Pt (turba).

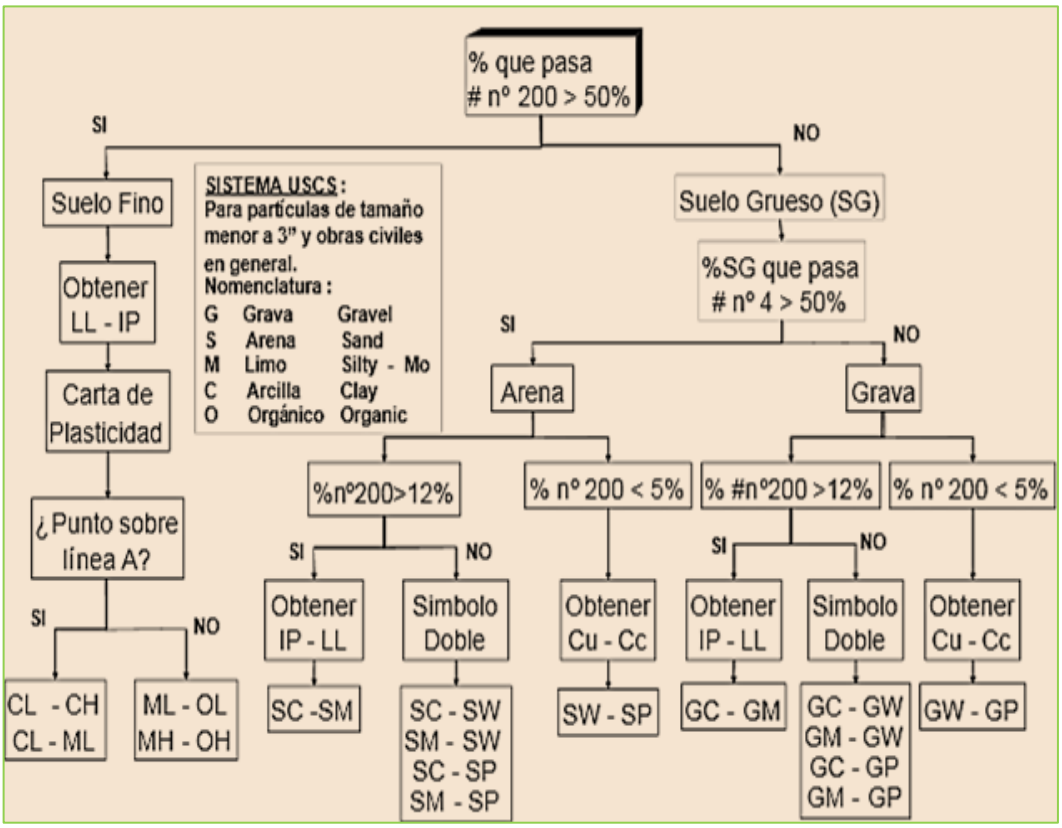


Figura 9. Clasificación de suelos según SUCS.
Tomado de Das (2001).

4.12.2 Clasificación de la AASHTO

Blázquez (2000), manifiesta que una de las clasificaciones más populares en carreteras es la empleada por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), y que fue originalmente desarrollada por los Ilustres geotécnicos Terzaghi y Hogentogler para el Bureau of Public Roads norteamericano.

Inspirada en el modelo de Casagrande, considera siete grupos básicos numerados desde el A-1 hasta el A-7. A su vez, algunos de estos grupos presentan subdivisiones; así, el A-1, y el A-7 tienen dos subgrupos y el A-2, cuatro.

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
GRUPO	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)												
Serie ASTM #10	≤ 50											
Serie ASTM #40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
Serie ASTM #200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	>41 (IP<LL-30)	>41 (IP>LL-30)
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0		0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20	
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA					ACEPTABLE A MALA						

Figura 10. Clasificación de suelos según AASHTO.
Tomado de Terzaghi y Hogentogler (1950).

4.13. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

4.13.1 Definición

Se manejan numerosas definiciones para los SIG, en función del punto de vista desde el que se estudien, ya sean técnicos, informáticos, comercial, entre otros:

Un SIG se puede considerar esencialmente como una tecnología (un sistema de hardware y software) aplicada a la resolución de problemas territoriales. (Bosque, 1992; Suárez J. 2009).

Bosque (1992), define un SIG como un conjunto de herramientas, de programas, equipamientos, metodologías, datos y personas perfectamente integrados, que permiten la colecta, el almacenamiento, el procesamiento y el análisis de datos geográficamente referenciados para un conjunto particular de objetivos.

4.13.2 Elementos de un SIG

Un SIG está formado por cinco componentes o elementos y cada uno de esos componentes cumplen con una función para que existan entre ellos una interacción. Berry J.K (1986).

- ✓ **Equipos (Hardware),** el hardware es el computador donde opera el SIG. Hoy por hoy, los SIG se pueden ejecutar en una gran variedad de plataformas, que pueden variar desde servidores (computador central) a computadores desktop (escritorio) o Laptop (portátil) que se utilizan en las configuraciones de red o desconectado.

- ✓ **Programas (Software),** los programas de SIG proveen las funciones y las herramientas que se requieren para almacenar, analizar y desplegar información geográfica. Los componentes más importantes son:

    - Herramientas para la entrada y manipulación de la información geográfica.
    - Un sistema de administración de base de datos (DBMS).
    - Herramientas que permitan búsquedas geográficas, análisis y visualización.
    - Interface gráfica para el usuario (GUI) para acceder fácilmente a las herramientas.

- ✓ **Datos,** posiblemente los componentes más importantes de un SIG son los datos. Los datos geográficos y tabulares relacionados pueden colectarse en el terreno o bien adquirirlos a quien implementa el sistema de información, así como a terceros que ya los tienen disponibles. El SIG integra los datos espaciales con otros recursos de datos y puede incluso utilizar los administradores de base de datos (DBMS) más comunes para organizar, mantener y manejar los datos espaciales y toda la información geográfica.

- ✓ **Recurso humano,** la tecnología SIG está limitada si no se cuenta con el personal adecuado que opere, desarrolle y administre el sistema, y llevar a cabo los planes de desarrollo para aplicarlos a los problemas del mundo real. Entre los usuarios de SIG se encuentran los especialistas técnicos, que diseñan y mantienen el sistema para aquellos que los utilizan diariamente en su trabajo.

- ✓ **Procedimientos,** para que un SIG tenga éxito, este debe operar de acuerdo a un plan bien diseñado y estructurado y acorde con las reglas de la empresa o institución, que son los modelos y prácticas operativas características de cada organización.

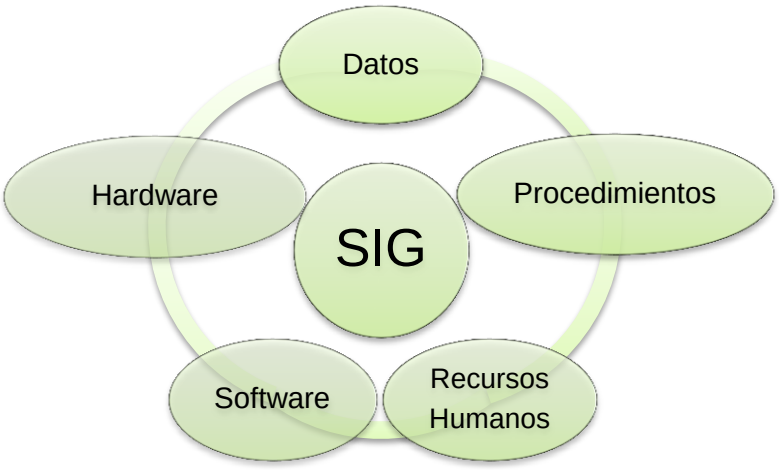


Figura 11. Elementos de un SIG

4.13.3 Ventajas e inconvenientes del uso del SIG

Según Borcosque (1997), el uso de los Sistemas de Información presenta principalmente las siguientes ventajas y beneficios:

❖ **Ventajas del uso de un SIG**

- ✓ Mejoran el ordenamiento de los datos referenciados espacialmente; permiten mantener los datos en forma físicamente compacta.
- ✓ Proveen un único lugar para el resguardo de los datos.
- ✓ Permiten la recuperación de la información en tiempos breves.
- ✓ Proporcionan herramientas computacionales capaces de realizar variados tipos de manipulación de los datos, incluyendo las mediciones de mapas, la sobreposición de mapas, transformaciones de los formatos de los datos, diseños gráficos y manejo de bases de datos.
- ✓ Permiten reducir los costos de procesamiento de los datos, especialmente en las etapas de actualización de los mismos.
- ✓ Permiten el diseño gráfico interactivo a través de las herramientas de dibujo automatizado, las que a su vez posibilitan acelerar y mejorar las tareas cartográficas tradicionales y diversificar la cartografía temática.
- ✓ Permiten en forma gráfica e iterativa realizar pruebas y calibraciones de modelos conceptuales que se deseen aplicar sobre el espacio (esta propiedad favorece tanto a los criterios científicos como a los de administración y control del espacio en tiempos reducidos y sobre grandes áreas).
- ✓ Facilitan el análisis de los procesos espaciales para distintos períodos.
- ✓ Amplían el espectro de procesamiento y análisis de toda la información que contienen.
- ✓ Permiten ciertas formas de análisis que manualmente resultarían muy costosas o ineficientes. Tal es el caso del análisis digital de terreno, cálculos tales como pendientes, intensidad de insolación, sobreposición de conjuntos complejos de polígonos, etc.
- ✓ Favorecen el proceso de toma de decisiones relativas al espacio, a través de las facilidades de integración y asociación de información.

- ✓ Permiten la incorporación constante de nuevas aplicaciones, en respuesta a nuevas necesidades de los usuarios.

❖ **Desventajas en el uso de un SIG**

Algunas de las desventajas asociadas, ya sea tanto al desarrollo o a la adquisición de un SIG, son:

- ✓ Los costos asociados a los problemas técnicos de convertir los registros geográficos existentes en archivos digitales automatizados.
- ✓ Los presupuestos para el financiamiento de la mantención tanto técnica (equipos, programas), como de protección y actualización de la información ya automatizada.
- ✓ El elevado monto de las inversiones iniciales en la adquisición y llenados de las bases de datos.
- ✓ Es importante también la evaluación de los beneficios marginales en función de áreas específicas de aplicación.
- ✓ Por último, en los casos de adquisiciones de sistemas completos, resulta imprescindible la definición precisa de los objetivos de la compra, así como la verificación de los proveedores respecto a sus potencialidades y condiciones contractuales.

4.13.4 Mapas 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.

En 1988 se hizo uso del 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 PISAm incluyó los modelos digitales de elevación y se desarrolló en Estados Unidos y Canadá el programa ArcSDM3.

4.13.5 Elaboración de mapas de susceptibilidad a deslizamientos

Suárez J. (2009), enuncia: “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.

La susceptibilidad se puede evaluar de dos formas diferentes:

- ✓ **Sistema de la experiencia.-** Se utiliza la observación directa de la mayor cantidad de deslizamientos ocurridos en el área estudiada y se evalúa la relación entre los deslizamientos y la geomorfología del área en estudio.

- ✓ **Sistema teórico.-** Se considera el mayor número de factores que se crea que puedan afectar la ocurrencia de deslizamientos, posteriormente se estudia la posible contribución de cada uno de los mismos.

4.13.6 Elementos para elaborar un mapa de susceptibilidad

Suárez J. (2009), enuncia que para la elaboración del mapa de susceptibilidad se tienen en cuenta generalmente tres elementos:

- ✓ Relieve y mapa de pendientes.

- ✓ Características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del terreno.

- ✓ Inventario de deslizamientos ocurridos en el pasado.

4.13.7 Método Heurístico

Carrara (1995), menciona que los métodos heurísticos se basan en el conocimiento a priori de los factores que producen inestabilidad en el área de estudio. Los factores

son ordenados y ponderados según su importancia asumida o esperada en la formación de deslizamientos.

Carrara (1995); Castellanos (2001), Castellanos (2008), enuncian que el método heurístico considera los factores que influyen en la inestabilidad mediante asignación de pesos o criterios de expertos.

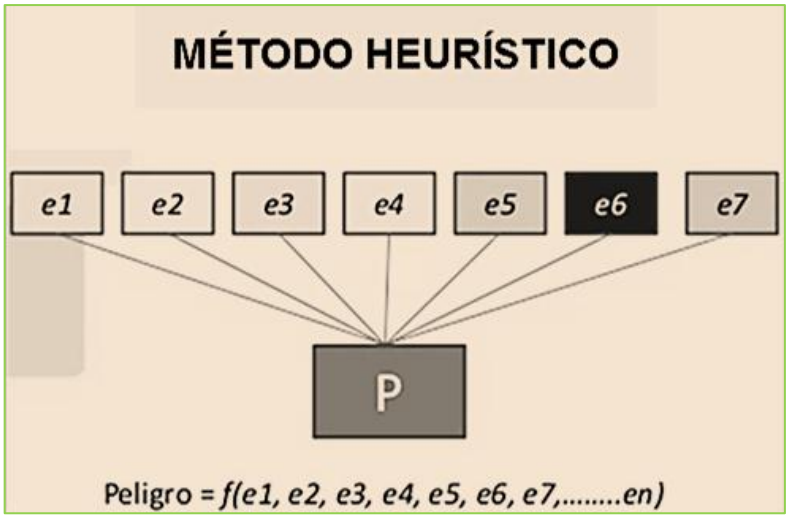


Figura 12. Esquema de asignación de pesos.
Tomada de Castellanos (2008).

4.13.8 Método Determinístico

Van Westen (1994), manifiesta que el método determinístico es sólo aplicable a grandes escalas y sobre áreas pequeñas, debido a que a escalas intermedias, el detalle de los datos de entrada (niveles de agua subterránea, perfiles del suelo, y descripciones geotécnicas) es insuficiente.

Estos métodos que calculan la estabilidad en términos de factor de seguridad requieren de modelos para el cálculo de este factor.

En este caso un SIG se puede aplicar en diversos procedimientos determinísticos:

- ✓ Usando un modelo de talud infinito, calculando el factor de seguridad para cada celda.
- ✓ Selección de un número de perfiles extraídos de un modelo digital de elevaciones y de otros mapas de factores, exportando luego estos datos a un modelo de estabilidad de talud tridimensional.

- ✓ Muestreando datos en puntos predefinidos de una malla regular, y exportando los mismos a un modelo de estabilidad tridimensional.

Para el desarrollo de este método se tomó muestras de suelo, y mediante el análisis en laboratorio determinar las principales características geomecánicas, y con los resultados obtenidos se calcula el factor de seguridad; a continuación se mencionan los principales análisis realizados:

- ✓ Análisis Granulométrico (Clasificación de la ASHTO y de la SUSC).
- ✓ Determinación de límite líquido, plástico e índice de plasticidad (Cohesión).
- ✓ Densidad aparente.
- ✓ Ensayo Triaxial ASTMD 285 (Angulo de Fricción Interna).

Con los resultados obtenidos en el laboratorio, el método para el cálculo del factor de seguridad será del talud infinito y el de ábacos de Hoek y Bray (1981).

a) La fórmula de Factor de Seguridad por el método del talud Infinito es la siguiente:

$$\textbf{Fs seco} = \frac{C'}{\gamma * H * cos2\beta * tg\beta} + \frac{tg\ \theta}{tg\ \beta}$$

En donde:

Fsseco= Factor de seguridad en Seco

C'= Cohesión

Y= Densidad

H= Altura del talud

θ= Angulo de Rozamiento Interno

β= Angulo de superficie talud

b) Para realizar por el método de ábacos en primera instancia se debe obtener el valor de la cohesión de los suelos y dicho valor será ubicado en un gráfica de ábacos dónde se obtiene el factor de seguridad en **Y** y **X**, en ambos ejes los valores deberán ser similares. El siguiente es el ábaco a utilizar.

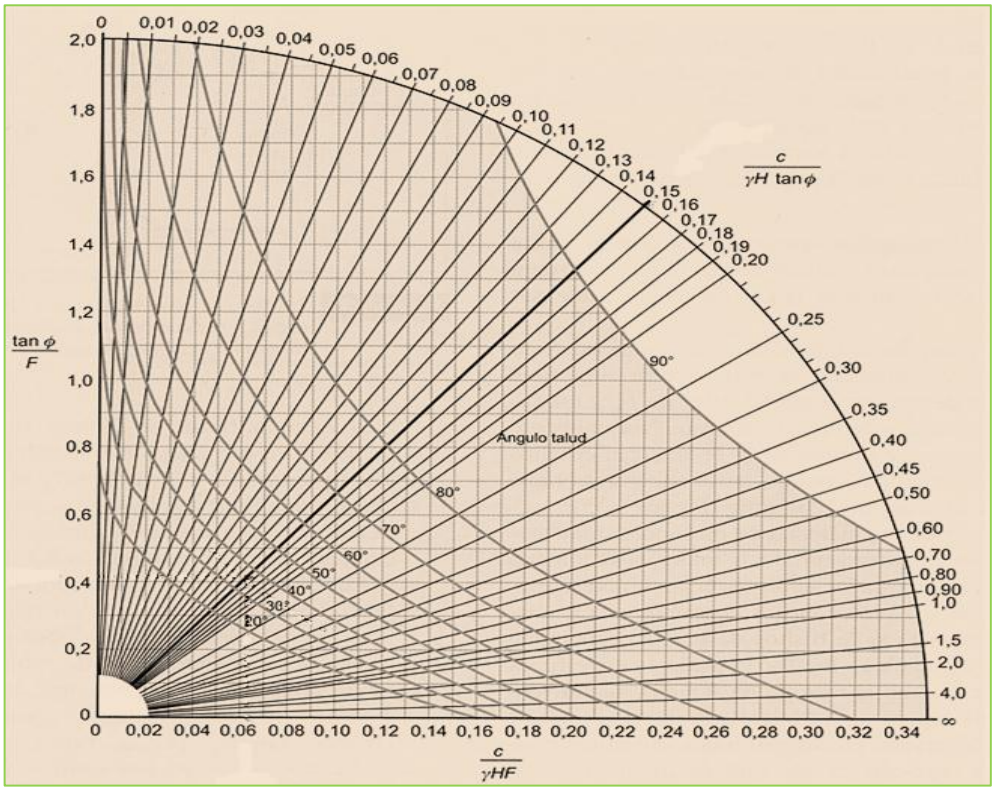


Figura 13. Abaco de factor de seguridad.
Tomado de Hoek y Bray (1981).

El modelamiento del mapa final se realizará en el software ArcGis 10.1 en base a los valores de factor se seguridad, zonificando las área de acuerdo a la clasificación de suelos según la **SUCS** y **ASHTO.**

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales

Para la realización de este proyecto de tesis se utilizaron los siguientes materiales detallados en la siguiente tabla:

Tabla 2. Lista de materiales usados

Actividad a ejecutar	Materiales de campo	Materiales de oficina
Topografía a detalle	Estación total S3	Computador / impresora
Geología a detalle	Brújula Brunton, GPS, cartas geológicas, levantamiento de campo.	Internet, Software ArcGis 10.1
Geomorfología	Libreta de campo	Libreta de campo, Software ArcGis 10.1
SEV	ABEM, SAS 4000	Papel/bolígrafos
Mapa de Susceptibilidad final	Ensayo SPT	Software ArcGis 10.1, Ilwis 3.6

5.2 Métodos

Para alcanzar los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación se empleó el ***método científico***, el mismo que busca alcanzar la verdad fáctica mediante la adaptación de las ideas a los hechos, para lo cual utiliza la observación y la experimentación.

Por otra parte existen cuatro principales procedimientos utilizados en la evaluación y confección de mapas de susceptibilidad del terreno a producir roturas en las laderas (mapas de susceptibilidad): ***métodos determinísticos, heurísticos, probabilísticos y métodos geomorfológicos***.

El método ***heurístico***, en combinación con el método ***determinístico***, fueron los que se aplicaron en el desarrollo del mapa de susceptibilidad a deslizamientos.

5.2.1 Metodología para el primer objetivo

- ❖ **Desarrollar el levantamiento topográfico a detalle, 200 m a cada margen del eje de la vía de integración barrial.**

- ✓ **Trabajo de campo.-** se efectuó directamente sobre el terreno, para lo cual se utilizó el instrumento de medición Estación Total Trimble S3, luego se procedió a la toma de puntos, los mismos que serán debidamente codificados. El punto inicial (Sur) y final (Norte) son los siguientes: con las coordenadas, punto inicial: **x:** 695877, **y:** 9559662, **z:** 2239; y como punto de llegada: **x:** 695487, **y:** 9560751, **z:** 2201.

  EL punto de partida se caracteriza por presentar una topografía abrupta con pendientes fuertemente inclinadas, pero más adelante hacia el Este se observa relieves relativamente planos; pendientes suaves a fuertemente inclinadas en la parte Oeste; una geomorfología con colinas ligeramente diseccionadas; además se puede evidenciar que esta zona esta adecuada especialmente para potreros y cultivos de periodo corto como maíz, tomate, legumbres, entre otros.

Figura 14. Punto inicial (parte Sur) del sector de estudio.

Figura 15. Punto concluyente del sector de estudio.

Figura 16. Levantamiento topográfico a detalle.

- ✓ **Trabajo de oficina.-** se procede a descargar los datos de la Estación Total Trimble S3, estos datos recolectados son descargados con el programa Excel, los mismos que luego son importados hacia el programa ArcGis 10.1, con lo cual se puede proceder con la generación del mapa Topográfico a detalle (**Figura 17)**, a escala 1:5000, con datum WGS84, zona 17S.

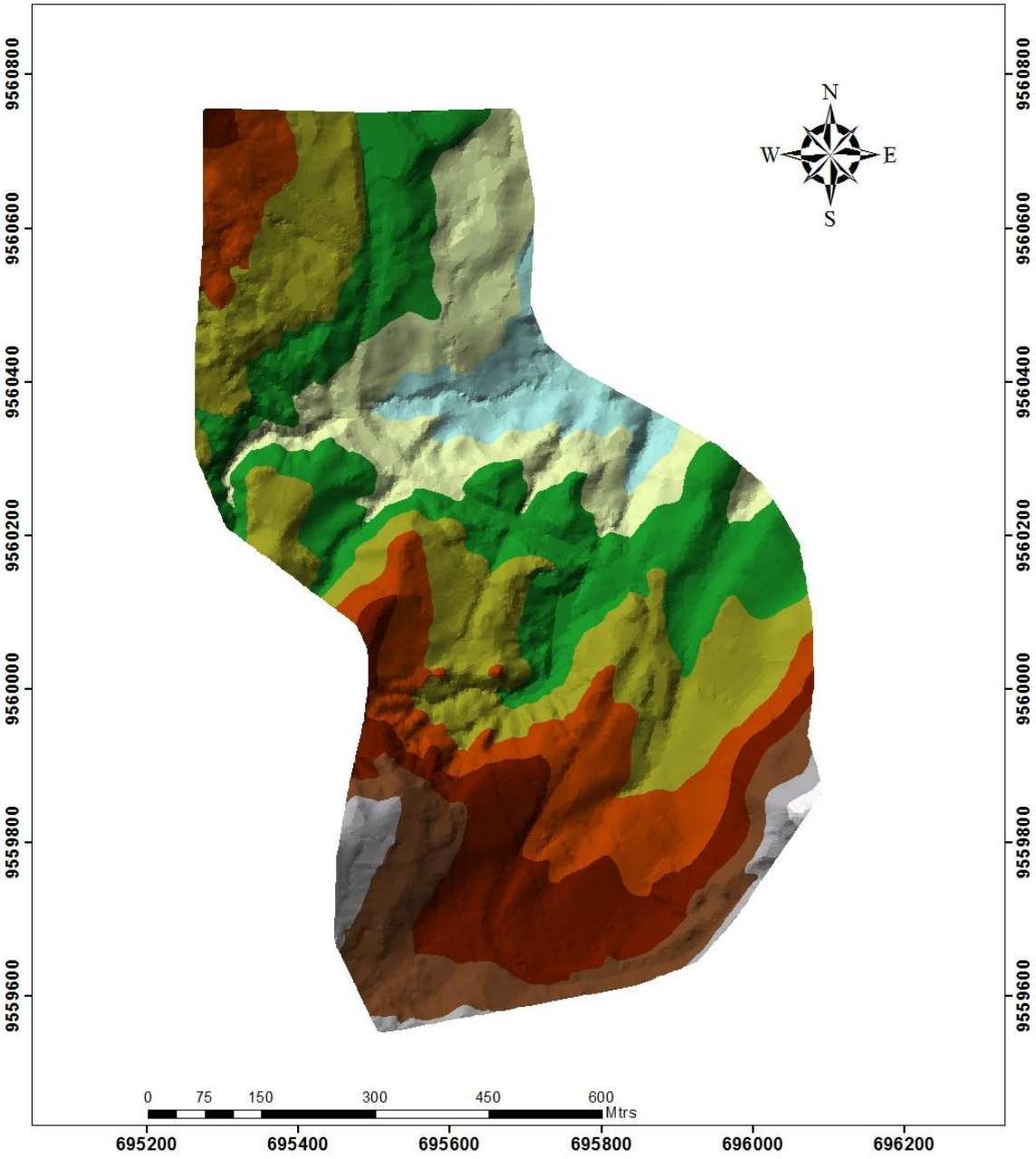


Figura 17. Modelo Tin del área de estudio.

Las curvas de nivel principales son generadas a cada 5 metros de distancia y las secundarias cada 1 metro, además se digitalizan vías, quebradas, cultivos, etc.

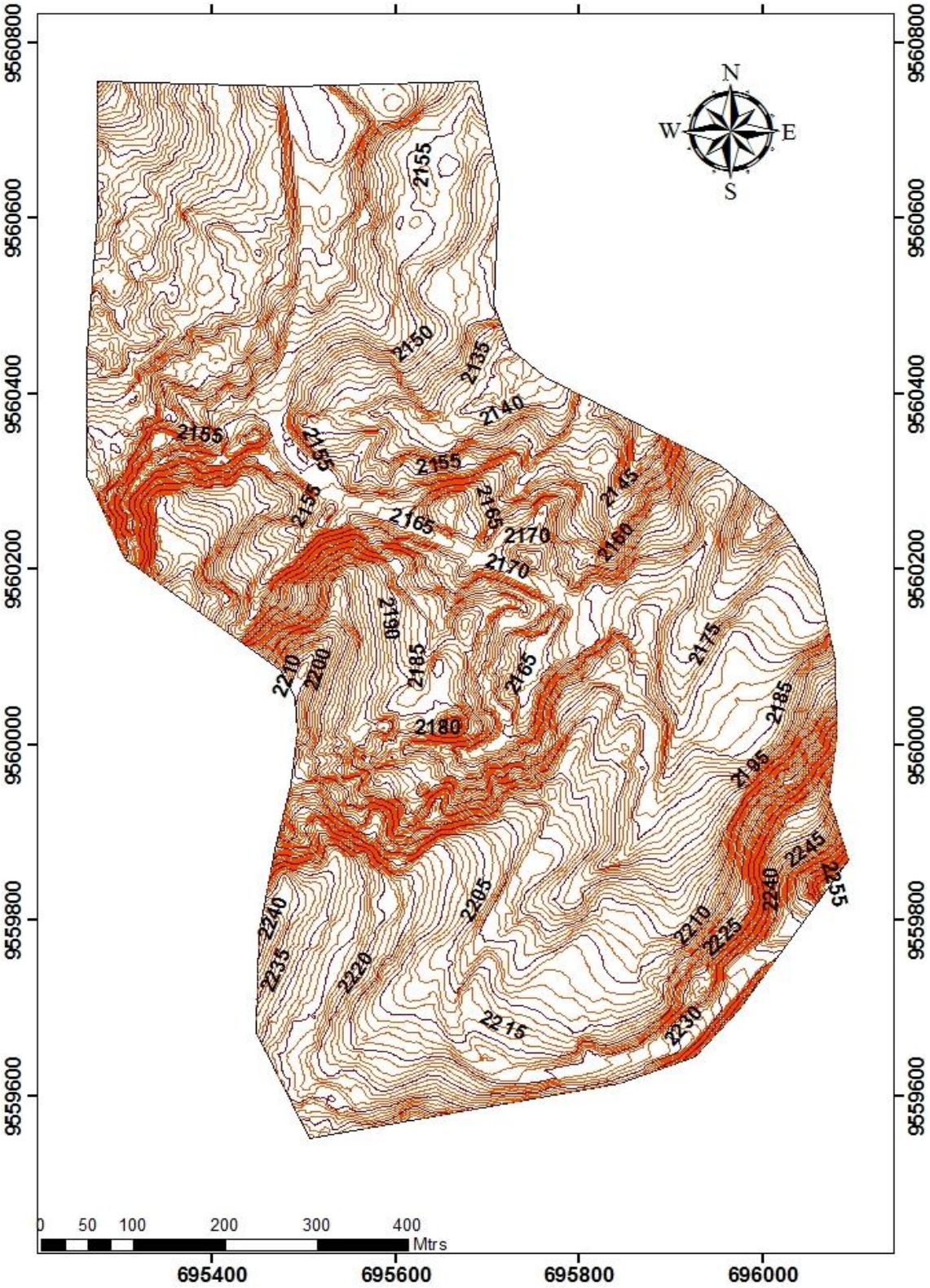


Figura 18. Generación de curvas de nivel.

❖ **Mapa de pendientes**

Para elaborar este mapa se utiliza el software ArcGIS 10.1, partiendo del modelo de elevación, aplicando las siguientes herramientas: ArToolbox → 3D Análisis → Crear TIN, seguido se hace la Conversión desde TIN a Ráster, a este ráster se le aplica la herramienta → Conversión → Superficie de Ráster → Pendiente. Seguidamente se lo reclasifica con la herramienta de Spatial Analyst → reclasificación, para este caso se reclasifico con la metodología propuesta por Martínez y Mercado (1992) en 5 categorías y en % como se muestra en la siguiente **Tabla 3.**

Tabla 3. 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 %

Tomado de Martínez y Mercado (1992).

Inmediatamente después de realizado la reclasificación se hace la conversión de Modelo "Ráster a Polígono", con ayuda de la herramienta de Conversión → desde Ráster a Polígono; finalmente se utiliza la herramienta "Disolver" para agrupar las categorías del polígono antes generado y aplicar los respectivos colores.

5.2.2 Metodología para el segundo objetivo

❖ **Realizar el levantamiento geológico a detalle, e identificar mediante la interpretación de métodos geofísicos, a través de sondeos eléctricos verticales (SEV), las zonas con mayor problema de inestabilidad.**

a) Levantamiento Geológico a detalle

✓ **Trabajo de campo.-** El levantamiento geológico se lo realizo sobre la base topográfica antes elaborada, se ubicó los datos estructurales como dirección y buzamientos, los cuales se los midió con la brújula Brunton sobre los taludes de los cortes de la vía, caminos, quebradas, afloramientos, etc., durante la visita de campo en la zona de estudio; se describió el tipo de roca mediante la toma de muestras de mano, representativas de cada unidad de roca identificada permitiéndonos un reconocimiento macroscópico preliminar.

Figura 19. Levantamiento Geológico a detalle.

Figura 20. Descripción de afloramientos.

- ✓ **Trabajo de oficina.-** En base al mapa topográfico a escala 1:5000, datum UTM WGS 84 zona 17 Sur, **(Anexo 1)**, y puntos de afloramiento **(Figura 21)** se procedió a crear shapefiles de tipo polígono, con distintos colores estandarizados para cada formación geológica.

  Los puntos de afloramientos ayudaron a definir contactos litológicos y ubicar datos estructurales tomados en el campo, como: rumbo, buzamiento y dirección de los estratos, así también como a delimitar cada uno de las formaciones geológicas encontradas en la zona de estudio.

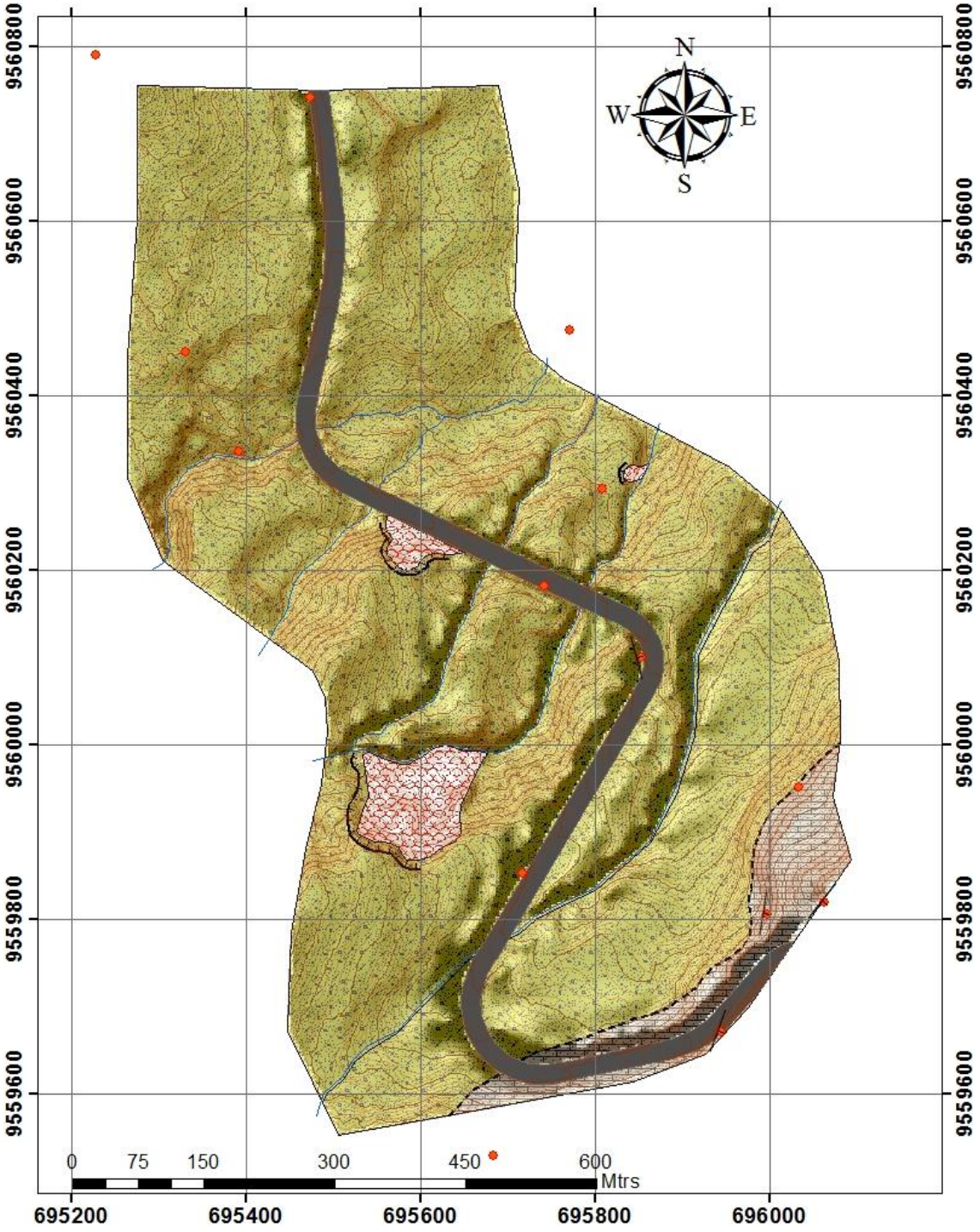


Figura 21. Puntos de afloramientos en el sector de estudio.

La metodología empleada para el análisis y descripción de los afloramientos se lo hizo de la siguiente manera:

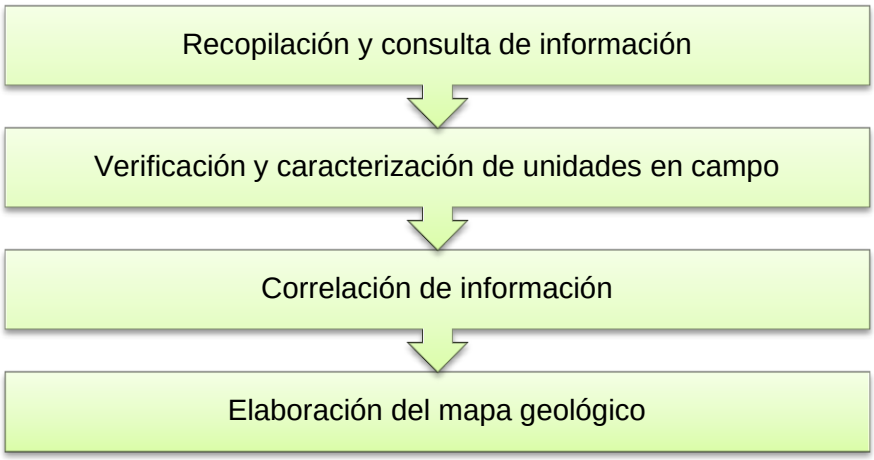


Figura 22. Metodología de descripción de afloramientos.

- **Levantamiento Geomorfológico.-** Para realizar el levantamiento geomorfológico, se utilizó la metodología aplicada por CLIRSEN 2012, para lo cual se genera el mapa de sombras (**Figura 23**) a partir del ráster, ya que nos servirá de gran ayuda al momento de realizar el mapa.

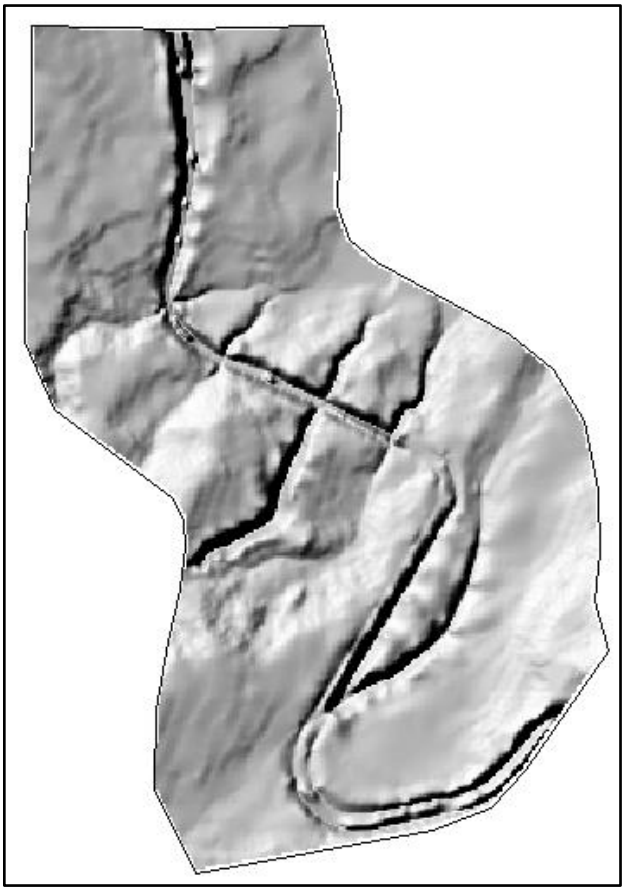


Figura 23. Mapa de sombras.

Posteriormente con toda la información antes generada se procede a dibujar las geoformas a través de la generación de shapefiles en el ArcGis 10.1 creando campos de: Unidad Genética, Unidad Morfológica, Forma de Relieve, Litología y Pendiente.

Además para dar 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 4. Categorías de forma de vertiente.

Forma de Vertiente (V)	
cód.	**Tipo**
1	Rectilínea
2	Convexa
3	Cóncava
4	Irregular
5	Mixta

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**

Se refiere al grado de inclinación de la ladera con relación a la horizontal, expresado en porcentaje.

Tabla 5. Categorías de pendiente.

Cód.	Pendiente (P)	Porcentaje (%)
1	Plana	0 – 2
2	Muy suave	2 – 5
3	Suave	5 – 12
4	Media	12 – 25
5	Media a fuerte	25 – 40
6	Fuerte	40 – 70
7	Muy fuerte	70 – 100
8	Escarpada	> a 100

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 siguientes parámetros:

Tabla 6. Categorías de desnivel relativo.

Desnivel Relativo (DR)	
Cód.	**Tipo**
1	0 a 5 m
2	5 a 15 m
3	15 a 25 m
4	25 a 50 m
5	50 a 100 m
6	100 a 200 m
7	200 a 300 m
8	> a 300 m

Tomado de ficha de Fotointerpretación 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.

Tabla 7. Categorías de longitud de la vertiente.

Longitud de la Vertiente (LV)		
Tipo	**Descripción**	**Cód.**
Muy corta	< a 15 m	1
Corta	15 a 50 m	2
Moderadamente larga	50 a 250 m	3
Larga	250 a 500 m	4
Muy larga	> a 500 m	5

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 8. Categorías de fondo de valle.

Fondo de Valle (FV)	
Tipo	**Cód.**
En U	Vr
En V	Vcx
Plano	Vca
No aplicable	NA

Tomado de ficha de Fotointerpretación Geomorfológica - CLIRSEN, 2012.

Las unidades morfológicas definidas en el mapa tienen en cuenta una estructura jerárquica, dada su importancia como factor de definición de las características externas modelada por la geomorfología y el clima, son factores que influyen en la formación de los suelos y en las características de la vegetación.

Cada una de las unidades morfológicas será representada finalmente desde su genética, entre las categorías de forma de relieve según su origen tenemos:

Tabla 9. Ficha de Fotointerpretación geomorfológica.

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
Deposicional	Se refiere a formas originadas en el transporte por agentes erosivos como el agua, el hielo o el viento, que constituyen medios de acarreo.
Denudativo	Incluye un grupo de procesos de desgaste de la superficie terrestre. En este contexto, el principal proceso identificable como forma de relieve son los coluviones y coluvio aluviales, formas originadas en la acción de la gravedad en combinación con el transporte de las aguas.
Formas Estructurales	Obedece a un patrón organizado del buzamiento de los estratos y al plegamiento de rocas sedimentarias consolidadas y metamórficas de origen sedimentario.
Formas Estructurales y Fluvio Erosional	Se caracteriza porque incluyen geoformas montañosas y colinadas cuya altura y formas se deben a plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en grado variable por los procesos de denudación. Las Formas Estructurales concretamente se hacen referencia a las geoformas de plegamiento en rocas sedimentarias consolidadas y en metamórficas de origen sedimentario.
Formas de origen Fluvial	Estas formas son ocasionadas por transporte del agua, siendo estas un medio de acarreo. El proceso de sedimentación aluvial o fluvial, tiene como fuerza o agente el agua de escorrentía, corrientes fluviales, cuyo trabajo incluye tres actividades: erosión, transporte, sedimentación.

Tomado de Base conceptual de la cartografía geomorfológica y de movimientos en masa por tipo - CLIRSEN, 2012.

❖ **Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)**

✓ **Trabajo de campo.-** El SEV se lo realizo en dos puntos dentro de la zona de estudio, con la finalidad de conocer la distribución de los materiales existentes en profundidad; se realizaron los sondeos geofísicos utilizando el método de resistividad eléctrica con dispositivo Schlumberger con una longitud AB máxima de 200 metros, el cual consiste en suministrar corriente continua en el terreno a través de los electrodos de cobre y registrar en superficie valores de diferencia de potencial permitiendo obtener lecturas en forma digital.

Con los valores de la diferencia de potencial se calculó la resistividad aparente. Posteriormente se grafica una curva con la resistividad aparente y la distancia media de los electrodos externos que en la hoja de graficación de la curva se definen como AB/ 2.

Para la realización del SEV se debe tener en cuenta áreas relativamente planas con formaciones geológicas horizontales con la finalidad de obtener lecturas más confiables del equipo. Los materiales utilizados en el campo fueron los siguientes:

- ✓ Equipo de Resistividad eléctrica ABEM, SAS 4000
- ✓ 12 Electrodos
- ✓ Carretes de alambre de 350m
- ✓ Conectores
- ✓ Varillas
- ✓ Martillo de goma.
- ✓ 2 Cintas de 50m.
- ✓ Cuerda
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ GPS Garmin
- ✓ Brújula Brunton
- ✓ Fichas de campo

La profundidad de penetración de la corriente eléctrica dependerá de la separación de los electrodos inyectores AB, los que están conectados por cables al generador de corriente alterna del equipo ABEM, SAS 4000. **(Figura 24).**

Figura 24. Equipo digital de resistividad ABEM, SAS 4000.

El equipo de resistividad marca ABEM, SAS 4000, genera una corriente alterna que la envía a la fuente transformadora para convertirla en continua, seguidamente esta corriente pasa a los electrodos metálicos, y que a su vez en el mismo equipo pasa por un sistema de amperímetros conectados en serie para medir **Ia.**

La corriente de **Ia** penetrara por el punto **A** en el subsuelo, esta regresará por el electrodo **B**, a través de **Ib** volviendo al dispositivo para cerrar el circuito.

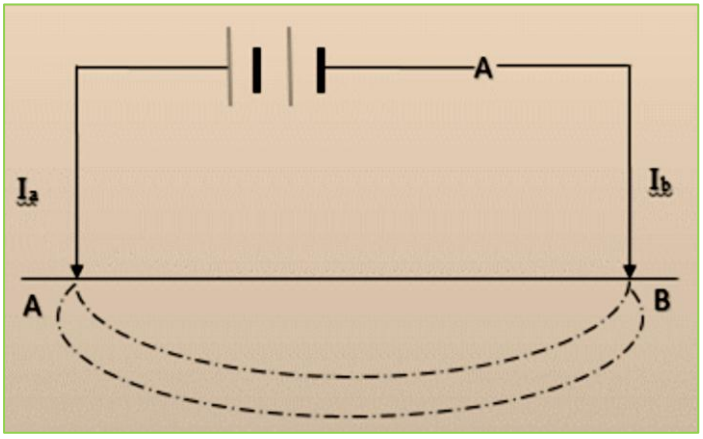


Figura 25. Circuito de emisión de corriente.
Tomado de Rivera (2014).

La medida de potencial lo hacen los amperímetros que se encuentran ubicados en el dispositivo en el momento que pasa la corriente desde el punto **A** al **B**.

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

inyectores **AB**, las ventajas de este método es que esta configuración es menos sensible a las variaciones laterales del terreno o buzamiento de los estratos, debido a que los electrodos de potencial permanecen inmóviles, además de que la medición es más despejada, ya que sólo se desplazan los electrodos de corriente.

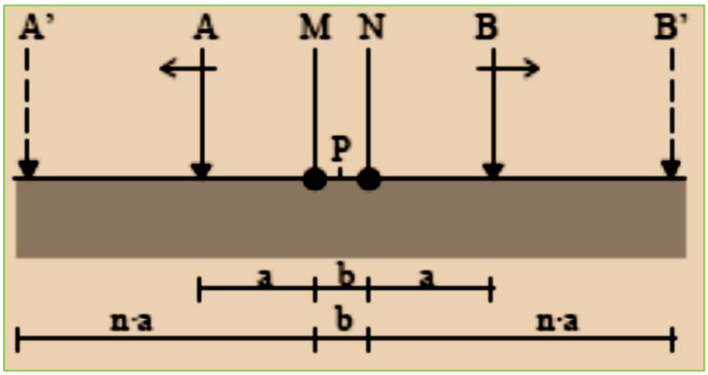


Figura 26. Sondeo Schlumberger. Los electrodos A y B se abren progresivamente mientras M y N están fijos. Tomado de Rivera (2014).

Los datos de espaciamientos tanto de **AB** y **MN** obtenidos en el campo fueron anotados en fichas técnicas, para posteriormente pasarlos al programa IX1D v3. Este programa permite realizar interpretaciones interactivas automatizadas y/o semi-automatizadas de SEV a partir de datos obtenidos por cualquiera de los arreglos más populares utilizados en la prospección eléctrica y realizar de esta forma la interpretación de la curva y los perfiles Geoeléctricos.

Figura 27. Toma de datos del equipo.

- ✓ **Trabajo de oficina.-** Con los resultados de campo se procedió al cálculo de las SEV y perfiles eléctricos por medio del uso del Software IX1D v3, en el cual se usó

el modelo de Smooth para el cálculo de los SEVs y las ecuaciones de Zaborovsky para la interpolación de los perfiles y obtención de los contornos.

- **Ensayo de penetración estándar (SPT)**

La prueba de Penetración Estándar consiste en hincar el penetrómetro 45 cm con la masa de 65 Kg dejada caer desde una altura de 75 cm, durante el hincado se contabiliza el número de golpes que corresponde a cada uno de los tres avances de 15 cm. La resistencia a la penetración estándar se define como el número de golpes N para penetrar los últimos 30 cm, desde 15 a 45 cm.

El penetrómetro es un tubo de pared gruesa partido longitudinalmente, provisto en sus extremos de dos piezas roscadas; la pieza inferior es una zapata afilada de acero y la superior es la cabeza que sirve para unir el muestreador con la columna de barras huecas de acero que se utilizan para hincarlo hasta el fondo de la perforación.

El tubo muestreador estándar tiene una longitud de 60 cm, diámetro interior de 3.5 cm y diámetro exterior de 5.0 cm; la longitud total del muestreador es de 75 cm, el golpe para la hinca se lo realizó con una maza de 65 kg cayendo libremente desde una altura de 75 cm sobre una cabeza de golpeo o yunque.

Después del hincado se saca el penetrómetro a la superficie para recuperar la muestra alterada, que se coloca en un recipiente hermético, y se registra la información del hincado y clasificación del suelo.

Figura 28. Proceso de hincamiento SPT.

Figura 29. Muestreador estándar del SPT.

Figura 30. Muestreador del SPT.

5.2.3 Metodología para el tercer objetivo

- **Categorizar mediante el mapa de susceptibilidad las zonas más susceptibles a deslizamientos.**

- **Método Heurístico**

Para obtener el mapa de susceptibilidad a deslizamientos por el método heurístico se utilizó el programa ArcGIS 10.1. En donde se aplicará el método heurístico en combinación con el método de la suma de rangos.

Se parte de la clasificación de los siguientes mapas:

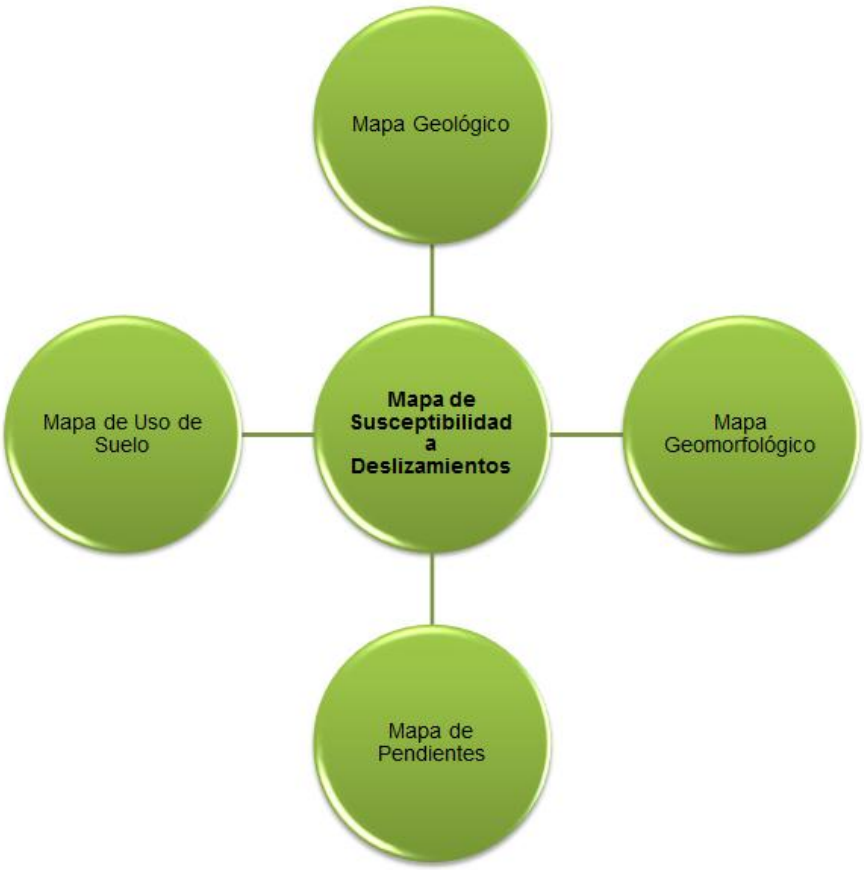


Figura 31. Esquema de variables para realizar el mapa de Susceptibilidad.

Mediante el método heurístico se realiza la combinación de los factores estudiados. La integración de estos factores se consigue mediante el uso de métodos multicriterio, dando pesos o valores cuantitativos a cada uno de los mapas. Los pesos establecidos son dados por medio de criterio personal a las diferentes variables en estudio.

Tabla 10. Criterios para categorizar la susceptibilidad.

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 peligrosos a deslizamientos	4
Condiciones biofísicas muy severas haciendo que los espacios geográficos que presentan estas características, sean altamente peligrosos a deslizamientos	5

Tomado de Tambo Walter (2011).

A continuación se utiliza el método de suma de rangos (Janssen y Van Herwijnen, 1994) aplicando la herramienta del ArToolbox → Suma Ponderada, que pondera y combina los mapas ráster. Los pesos que se dan a los diferentes mapas son los propuestos por Janssen y Van Herwijnen (1994), en función del número de variables en estudio.

Tabla 11. Pesos de criterios usando el Método de Suma de Rango.

Número de Criterio	Pesos de Criterio usando el método de Suma de Rango					
#	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

Tomado de Janssen y Van Herwijnen (1994).

Por último reclasificamos el resultado, obteniendo el mapa de susceptibilidad final esperado, utilizando los criterios expuestos por Sarkar y Kanungo, 2004.

Tabla 12. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad de deslizamientos.

Criterio	Susceptibilidad	Categoría
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

Tomado de Sarkar y Kanungo (2004).

❖ Método Determinístico

El mapa de susceptibilidad a deslizamientos por el método determinístico se genera a partir de la obtención de un Modelo Digital del Terreno (DTM) que es el conjunto de capas (ráster), que representan distintas características de la superficie terrestre,

derivadas de una capa de elevaciones, a partir de las curvas de nivel obtenidas del levantamiento topográfico en formato shape, las cuales se importaron al Ilwis 3.06 con formato asc, siendo el único formato con el que permite trabajar SINMAP.

El SINMAP es una extensión que no consta en el paquete de instalación de ArcGis10.1 por tanto fue necesario su instalación en versión 2.0 desarrollada por la Universidad de OTAH en Estados Unidos, para calcular los índice de estabilidad.

Se aplicó un modelo de pendiente infinita e índice de Humedad Topográfica, que es un modelo unidimensional que describe la estabilidad de los taludes con un plano de falla infinitamente grande, el mismo que se realizó sobre la base de un pixel que pueden considerarse cómo unidades homogéneas en los mapas. Por tanto los pixeles vecinos no se consideran dando como resultado un mapa de factores de seguridad.

Se obtuvieron variables como, Calibración de regiones, Fid- Filled DEM, Dirección de flujo, Área de contribución, Pendiente e Índices de estabilidad a partir de la calibración de los parámetros geotécnicos en los programas ArcGis 10.1. Al momento de la reclasificación se tomó en cuenta, la reclasificación realizada en ArcGis 10.1.

El factor de seguridad es calculado según la siguiente fórmula (Brunsden and Prior, 1979).

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

En el cual:

C'= cohesión efectiva (Pa= N/m).

ɣ= peso unitario de suelo (N/m3).

m= zw/z (adimensional).

ɣw= peso unitario de agua (N/m3).

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

zw= 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 (°).

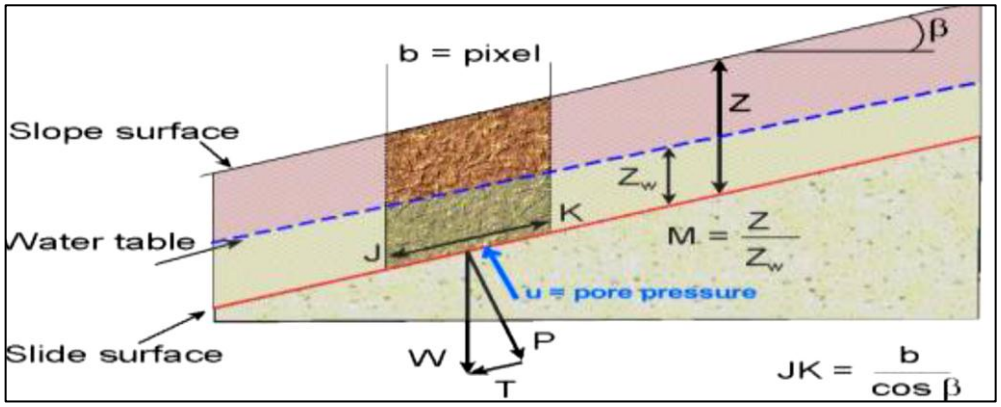
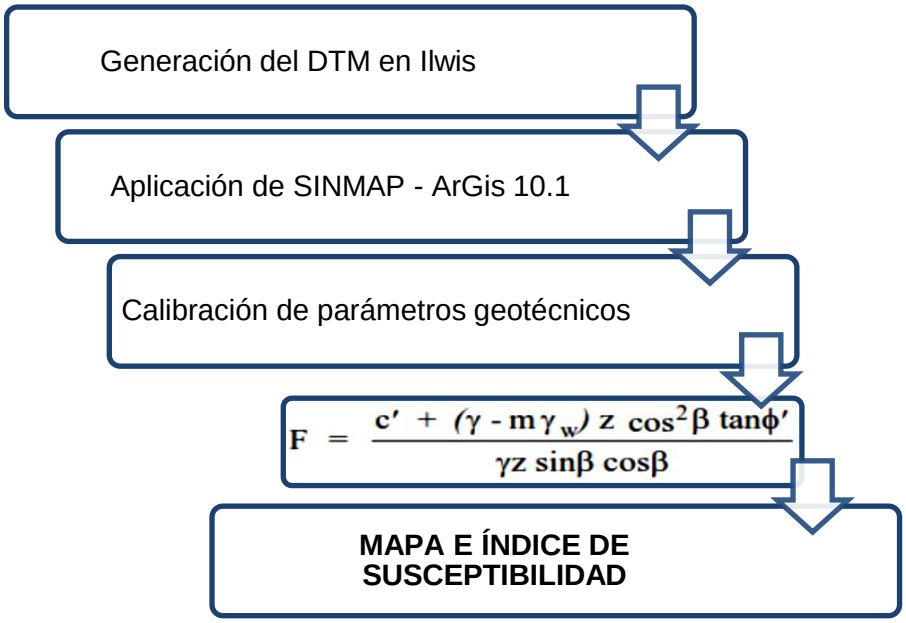


Figura 32. Esquema de aplicación de la formula en el programa.
Tomado de ITC Holanda.

El procedimiento a realizarse el software Ilwis 3.06 y ArcGis 10.1 se resumen a continuación:



❖ **Mapa de Uso Actual del Suelo**

Este mapa se elaboró en base a la topografía realizada y mediante el estudio de fotografías aéreas, complementado con visitas de campo; en el programa ArcGis 10.1 se procedió a dibujar polígonos dependiendo de los diferentes tipos del uso del suelo de la zona de estudio, primeramente se fue delimitando polígonos para: cultivos, terrenos para cultivos, bosque, viviendas, deslizamientos, pasto natural etc.

6. RESULTADOS

6.1. Generalidades

6.1.1 Ubicación Geográfica y Acceso

El sector de estudio está ubicado en la región 7, al sur del Ecuador, en la Provincia de Loja, cantón Loja, al Oeste de la ciudad de Loja, parroquia el Valle, barrio Panamá, el cual cuenta con una superficie de 65.03 hectáreas.

El acceso principal al cantón y ciudad de Loja, se lo realiza por vía aérea desde Quito y/o Guayaquil, hasta la ciudad de Catamayo (Aeropuerto Camilo Ponce Enríquez), después se debe continuar por vía terrestre 33.39 km a través de la arteria vial Catamayo - Loja.

Para acceder a la zona de estudio desde la ciudad de Loja, se lo puede hacer desde la terminal terrestre de la ciudad por la vía a Catamayo en sentido Oeste, hasta la Urna de la Virgen, a unos 10 minutos desde la terminal terrestre kilómetro 3.7; o por la vía de Integración Barrial, kilómetro 6.

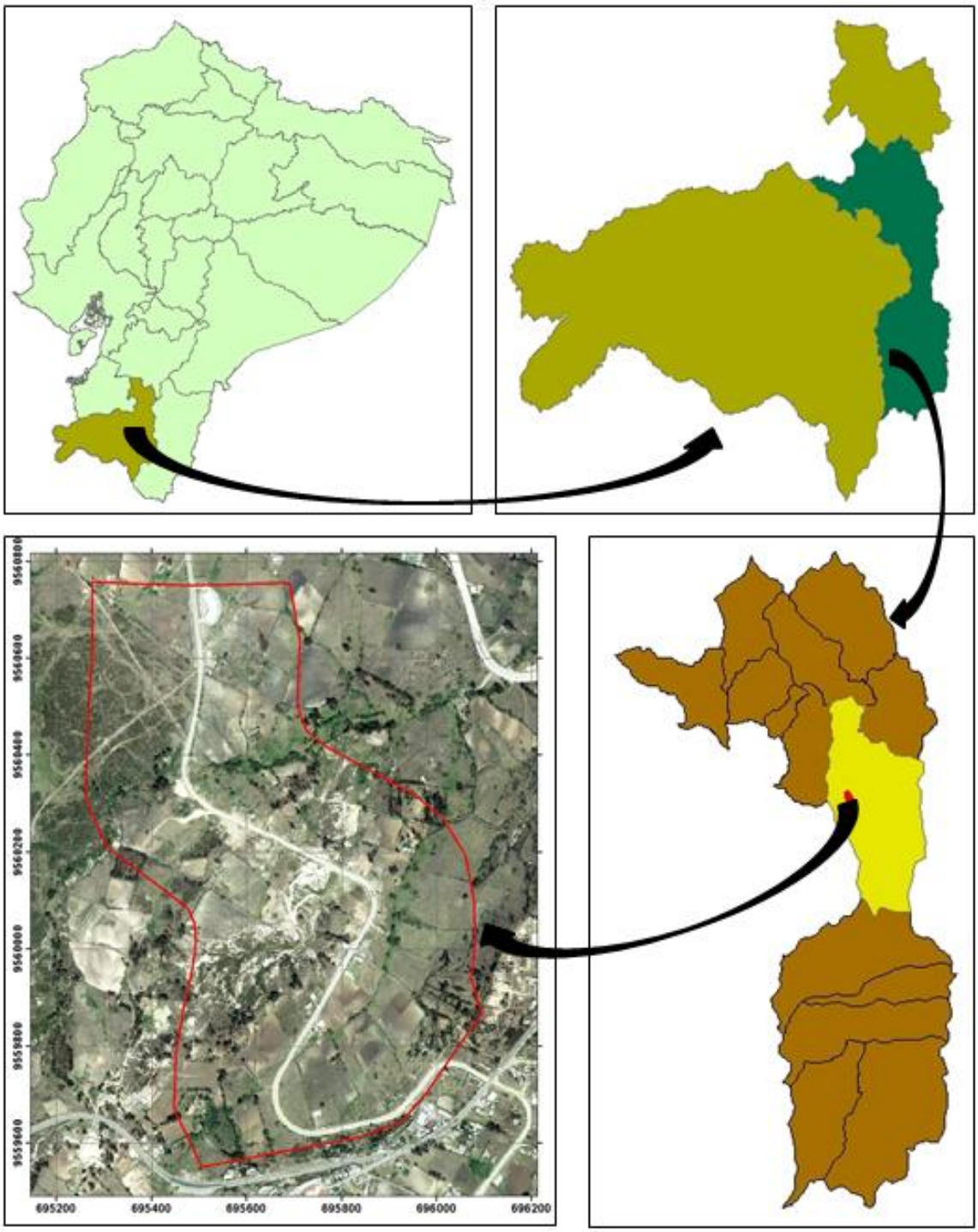


Figura 33. Ubicación geográfica de la zona de estudio, Provincia de Loja, Cantón Loja, Ciudad de Loja, Barrio Panamá.

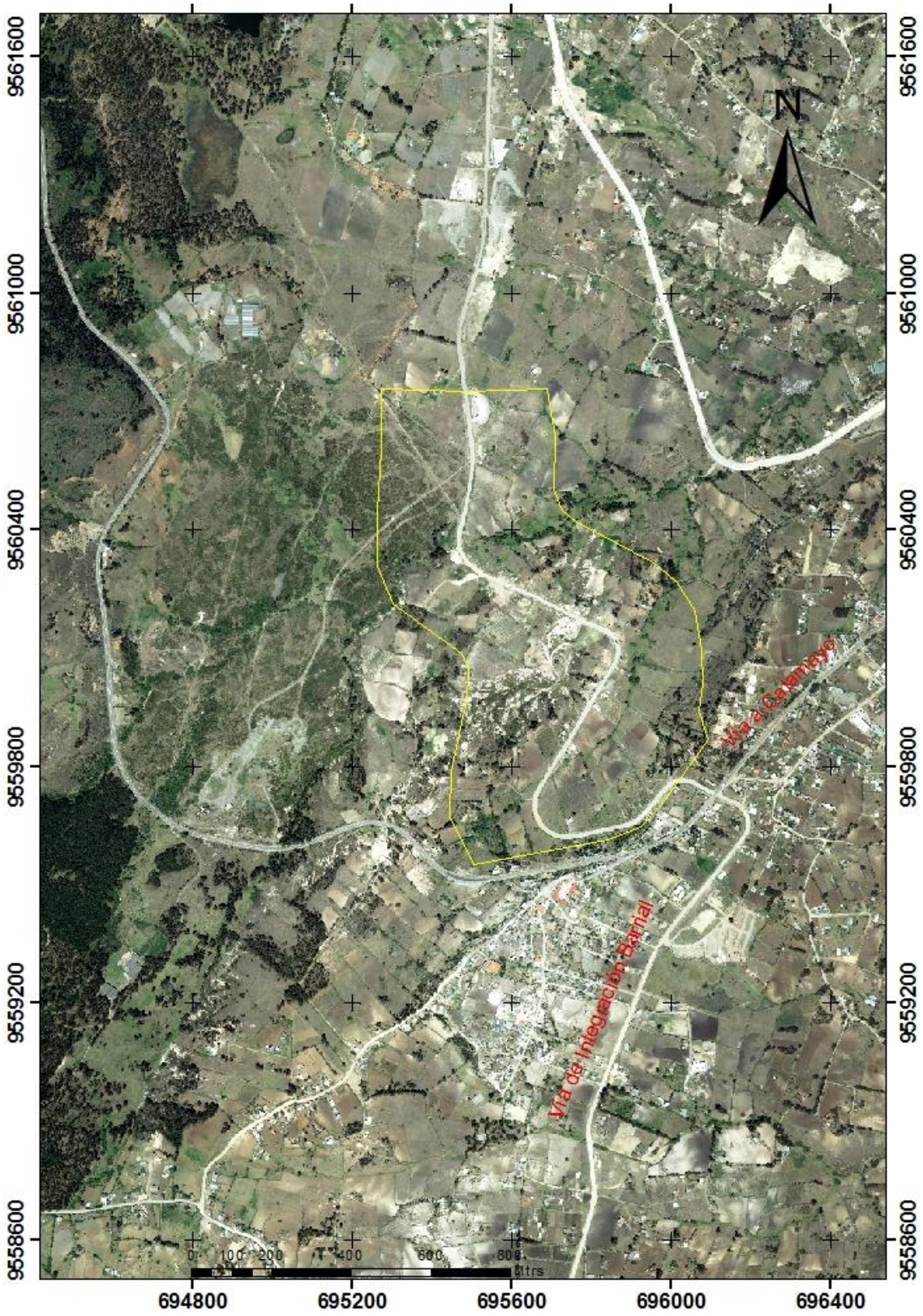


Figura 34. Ubicación espacial de la zona de estudio.

6.1.2 Clima

Sierra (1999), nos indica que la provincia de Loja, pertenece territorialmente a las subdivisiones regionales del país: Costa Sur y Andes Sur, donde la Cordillera Andina desciende en altitud conformando un estrecho segmento con características climáticas propias.

Es por estas razones que el clima de la ciudad de Loja es temperado – ecuatorial subhúmedo, la temperatura promedio del aire es 16.9°C y una precipitación anual promedio de 966.1 mm. En la página oficial del INAMHI se puede obtener datos del monitoreo de la Estación La Argelia ubicada en las coordenadas Latitud N 9554269; Longitud E 699905; a una altura de 2160 m.s.n.m., la misma que registra datos desde el año 2000 al año 2010, evidenciando una temperatura promedio anual de 16.9°C, una temperatura máxima de 19.9°C registrada en el mes de mayo del año 2010, y la más baja de 15.1°C en el mes de julio del 2008. (**Tabla 13**).

Tabla 13. Temperatura promedio anual de la ciudad de Loja.

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

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

Con respecto a las precipitaciones, lo registrado desde el año 2000 hasta el año 2010 se tiene un promedio anual de 966.1 mm registrándose como los meses con menores precipitaciones mayo a septiembre, el mes de marzo es el que registra mayor cantidad de precipitación. Cabe señalar que durante el año 2008 la cantidad de lluvias aumentó considerablemente evidenciándose una de las épocas invernales con mayor fuerza en la ciudad de Loja (**Tabla 14**).

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

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

Tabla 14. Precipitación promedio anual de la ciudad de Loja.

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

Tomado del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI (Datos de la última década)

6.1.3 Entorno Político Administrativo

La provincia de Loja se encuentra ubicada en la Zona de Administración 7 o Región Siete, junto con las provincias de El Oro y Zamora Chinchipe. La provincia registra 98 parroquias: 24 urbanas y 74 rurales distribuidas en dieciséis cantones. En lo que respecta al ordenamiento territorial del cantón Loja, éste se encuentra conformado por 17 parroquias, 4 de estas urbanas y 13 rurales.

- ***Parroquias urbanas:*** El Cantón se encuentra constituido por 4 parroquias urbanas las cuales son: San Sebastián, El Sagrario, Sucre y El Valle.

- ***Parroquias rurales:*** El cantón está conformado por 13 parroquias rurales, siendo estas: Chantaco, Chuquiribamba, El Cisne, Gualel, Jimbilla, Malacatos, Quinara, San Lucas, San Pedro de Vilcabamba, Santiago, Taquil, Vilcabamba y Yangana.

6.1.4 Entorno Económico

La Población Económicamente Activa del cantón Loja, según el VII Censo de Población y VI de Vivienda (INEC, 2010), es de 91.978 habitantes, de los cuales el 58.63% son hombres y el 41.37% restante son mujeres; por otra parte 80.779 habitantes constituyen la población económicamente inactiva. De acuerdo al III Censo Económico (INEC, 2010), las 3 ramas de actividad económica más importante en el país son: agricultura, ganadería, caza, silvicultura, comercio al por mayor y menor, y las industrias manufactureras, con 21.8%, 18.5% y 10.2%, respectivamente.

Si se contrasta con el Cantón únicamente el 45.6% del sector comercio representa una similitud en cuanto a la actividad económica más importante del país, frente al 3.6% de la actividad industrial que es incipiente en la ciudad. Sin embargo nuestro principal porcentaje de ingresos generados fue 50.7% del sector servicios, que en relación al nacional representa una de las actividades económicas de menor incidencia (2.7%).

6.1.5 Hidrología

Abad (2006), menciona que del nudo de Cajanuma, límite meridional del valle de Loja, nace el sistema a través de dos ríos pequeños: Zamora Huayco y Malacatos, cuyos caudales fluyen hacia el Norte por el centro de la cuenca. Estos dos ríos se unen en la ciudad, continuando hasta el recinto Las Juntas, en donde cambian radicalmente de dirección hacia el Este pasando por Jimbilla y tomando el nombre único de Zamora. El

rio Zamora es un afluente del rio Amazonas que desemboca en el océano Atlántico. Como unidades hidrográficas 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, El Salado, etc., cuyas configuraciones forman una red dendrítica con caudales que en la mayor parte de casos presentan volúmenes poco considerables.

El área de estudio es drenada por la quebrada **La Banda**, cuya dirección va de Oeste a Este, la misma que aguas abajo desemboca en el río Zamora. Los caudales son bien bajos en la vertiente en épocas de verano, mientras que en época de invierno hay un incremento considerable, aumentando así los caudales de las quebradas aguas abajo.

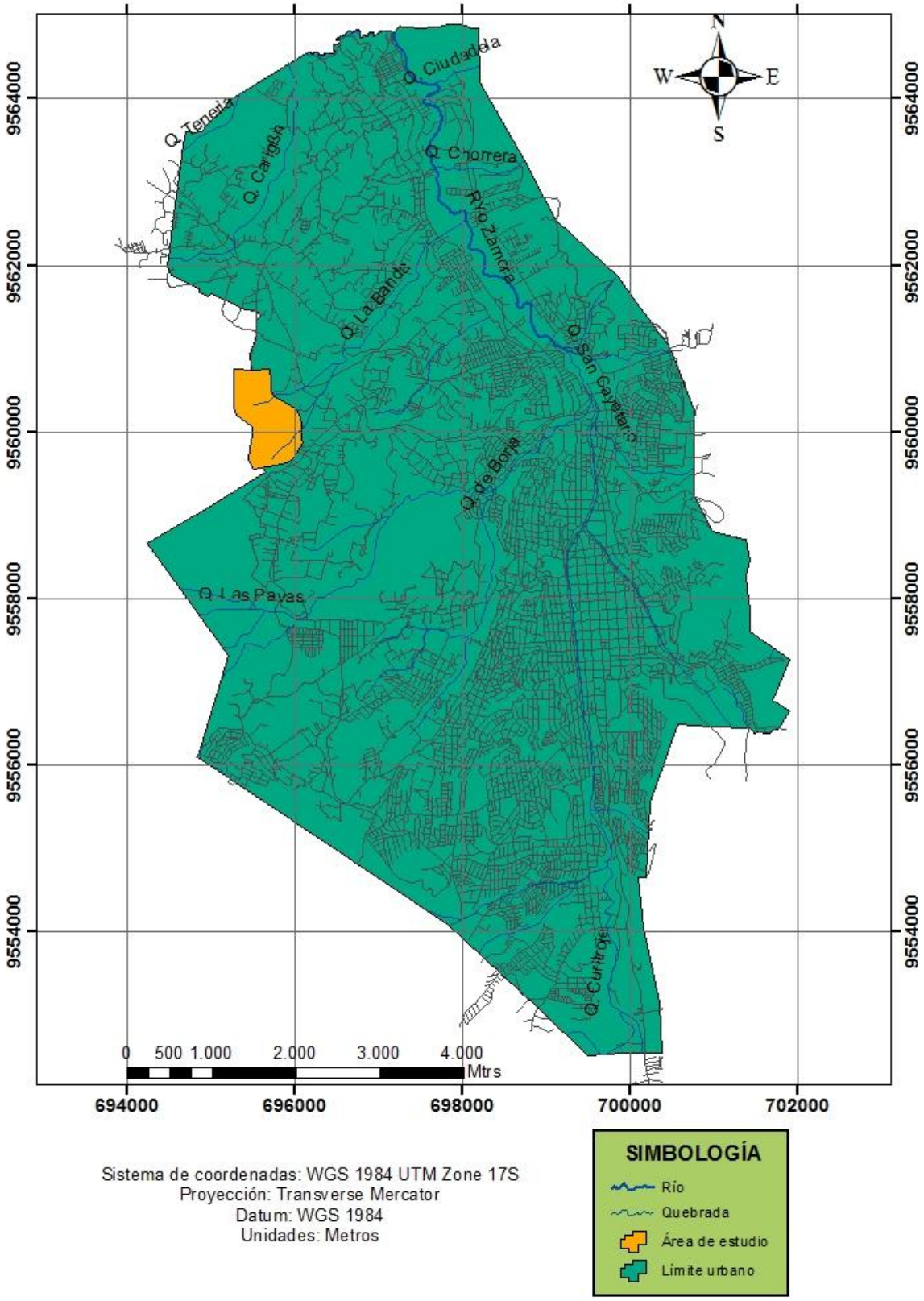


Figura 35. Hidrología de la Ciudad de Loja, modificado a partir de información cartográfica escala 1: 5 000 base GPL.

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

6.2.1. Topografía

La topografía del sector de estudio fue realizada con la estación: ***Trimble S3***, en una superficie de 1.5 km de eje vial, y 200 m a cada margen de la vía, levantando información de una superficie aproximada de 65,03 ha.

Los datos obtenidos fueron procesados en el ordenador a través del software ArcGis 10.1, generando curvas de nivel principales a cada 5 m y secundarias a cada 1m de distancia, así mismo se representó vías, infraestructuras, quebradas, cultivos, etc.

Para corroborar los datos obtenidos en el campo se utilizaron fotografías aéreas proporcionadas por el Instituto Geográfico Militar en el proyecto de "Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica" (SIGTIERRAS), comprobándose de esta manera la exactitud del levantamiento topográfico.

El mapa topográfico tiene una escala de impresión de 1:5000, en formato A3, **ver anexo 1,** con proyección Universal Transversa de Mercator WGS 1984, Zona 17 S.

6.2.2. Mapa de Pendientes

El mapa de pendientes fue obtenido en base al mapa topográfico, con el mismo que se procedió a generar un Modelo Digital de Elevación (MDE) a partir de la herramienta correspondiente del programa ArcGIS 10.1, este mapa se reclasificó en porcentaje y en 5 categorías (Brabb, 1989), como se muestra en la **Tabla 15. Ver anexo 3.**

De los datos mostrados en la tabla 15 se deduce que en el sector de estudio el mayor porcentaje (38.20%) corresponde a terrenos inclinados ocupando un área de 24.83 ha, y el de menor porcentaje (1.33%) equivale a los terrenos muy escarpados ocupando un área de 0.86 ha.

Tabla 15. Clasificación de los terrenos por su pendiente.

Categoría	Rango	Área (Ha)	Área (%)
Terrenos planos o casi planos	0 %- 15 %	22.10	34
Terrenos inclinados	15 % - 30 %	24.83	38.20
Terrenos moderadamente escarpados	30 % - 50 %	12.42	19.11
Terrenos escarpados	50 % - 75 %	4.78	7.36
Terrenos muy escarpados	> 75 %	0.86	1.33
TOTAL		65.02	100 %

Elaborado por el autor, a partir de Brabb (1989).

6.2.3. Geología

6.2.3.1 Geología Regional

La provincia de Loja forma parte de la Cordillera de los Andes. Se encuentra conformada al Este por rocas metamórficas del Paleozoico y por rocas volcánicas y sedimentarias del Cretácico y del Terciario en el resto de la provincia. La Cuenca de Loja tiene una forma elíptica, alargada de norte a sur y con longitudes aproximadas de 25 x 10 km.

La ciudad de Loja ocupa el centro de la cuenca, a una altura de 2.070 m.s.n.m y a 700 m por debajo de la cima de las montañas. El área es apropiadamente húmeda y es atravesada por los ríos Malacatos y Zamora Huayco, que a su vez conforman el rio Zamora y que fluyen hacia el norte por el centro de la cuenca.

Las rocas metamórficas, pertenecientes a la Serie Zamora, afloran hacia la parte alta de las dos cordilleras que limitan la hoya de Loja, caracterizado por un relieve alto cubierto de vegetación. En la parte baja del valle existen afloramientos de poca potencia de estas rocas, representados por esquistos cristalinos, arcillosos, micas y grafitos. Estas rocas, por su constitución son elementos frágiles del paisaje y frecuentemente producen deslizamientos o derrumbes. (Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, 1975; Mora, 1997; Benavides, 2003).

- **Basamento**

Formación Chiguinda, constituye el basamento de la cuenca de Loja formado por rocas metamórficas de edad Paleozoica (560 millones de años), que contienen filitas, esquistos, cuarcitas, pizarras, metacuarcitas.

- **Serie Sedimentaria**

Formación Trigal, de edad Miocena Media (26 millones de años), está formada por areniscas de grano grueso con láminas finas de conglomerados (compuestos por abundantes clastos de rocas metamórficas y pequeños clastos volcánicos (> 1cm) y capas menores de limonitas. Las areniscas muestran estratificación cruzada. La potencia varía cerca de 50 m en el oeste a 150 m en el este hacia el contacto con la Formación La Banda.

Formación La Banda, formada por un estrato de 10 a 20 m de potencia con secuencia intercalada desde caliza masivas, lutitas carbonatadas, capas de chert y areniscas de grano fino.

Formación Belén, caracterizada por gruesas capas de areniscas marrón de grano granulado, muestran estratificación cruzada en escalas métricas, además contiene lentes de conglomerado horizontalmente estratificados. Su máximo espesor 300m está en contacto concordante con la Formación La Banda. La edad se asume al Mioceno Inferior.

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 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 de espesor por 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, está presente al este y oeste de la cuenca de Loja, sobrepuesto al resto de formaciones por una discordancia angular. La formación alcanza espesores hasta un máximo de 600m, al este de la ciudad de Loja. La formación está dominada por conglomerados muy granulados con pocas intercalaciones de areniscas.

Formación Salapa, la formación Salapa descansa discordantemente en rocas metamórficas Paleozoicas Contiene clastos líticos y tobas ricos en vidrio (transformados a caolinita), formación más joven de edad Pliocenico.

El mapa de Geología Regional tiene una escala de impresión de 1:10000, en formato A3, **ver anexo 4,** con proyección Universal Transversa de Mercator WGS 1984, Zona 17 S.

6.2.3.2 Geología Local

Los afloramientos descritos a continuación están distribuidos a lo largo de la zona de estudio, los cuales se encuentran dentro de las formaciones geológicas de La Banda y Trigal (Terciario-Mioceno), encontradas al Oeste de la Hoya de Loja y direccionadas de manera perpendicular al sector de estudio, con esta información se logró realizar el levantamiento geológico a detalle.

Para una mejor comprensión y secuencia de la geología presente en el sector de estudio, se procedió a describir varios afloramientos que están dentro y fuera del límite del sector de estudio. **Ver anexo 5.**

❖ **Formación La Banda**

El primer afloramiento descrito en el campo, con coordenadas **x=** 695683, **y=** 9559529, que se encuentra en los límites del sector de estudio y está estructurado principalmente de lutitas estratificadas con una alta presencia de cárcavas producto de la meteorización como se observa en la **Figura 36,** se debe mencionar que no se puede observar todo el perfil del afloramiento debido a que está cubierto mayormente por material erosionado del mismo.

Figura 36. Afloramiento de Lutitas a lado de la vía a Catamayo.

Figura 3. Afloramiento de Lutitas a lado de la vía a Catamayo.

En la parte Sur del sector de estudio, con coordenadas **x=** 695944, **y=** 9559670, se observa un afloramiento estructurado totalmente de calizas masivas de color gris oscuro tal como se observa en la **Figura 37,** las mismas que están buzando en sentido S-E. En este afloramiento existe un cierto grado de meteorización debido a la exposición a la atmosfera.

Figura 37. a) Afloramiento de calizas masivas, b) toma de datos estructurales.

En la misma zona Sur del sector de estudio se encontró un afloramiento con coordenadas **x=** 696063, **y=** 9559819, el cual está compuesto principalmente de lutitas bandeadas con colores intercalados de café claro y gris claro como se observa en la **Figura 38**; los estratos están buzando en sentido S-E.

Figura 38. Afloramiento de lutitas.

Con coordenadas **x=** 695997, **y=** 9559806, el afloramiento mostrado en la **Figura 39,** está estructurado principalmente por calizas bandeadas de coloración gris claro y blanco amarillento entre los estratos. Los estratos de caliza de este afloramiento están buzando en sentido S-E, la misma dirección de buzamiento de los afloramientos descritos anteriormente.

Figura 39. Afloramiento de calizas.

❖ **Formación Trigal**

Al costado Oeste de la vía un afloramiento con coordenadas **x:** 695716, **y:** 9559853, conformado por estratos de lutitas de 0.80 y 2.0m respectivamente con cierto grado de meteorización, una capa de conglomerados de 0.30m con clastos angulosos de 4 a 15 cm de diámetro, y una capa de suelo orgánico de 0.40 m de potencia.

Figura 40. a) Afloramiento de lutitas y conglomerados, **b)** lutitas meteorizadas.

En el siguiente afloramiento ubicado en las coordenadas **x:** 695852, **y:** 9560100, está constituido principalmente por pequeñas capas de arcillas bien estratificadas de color

café, areniscas de coloración café claro y capas de lutitas silíceas de coloración gris pálido, secos en superficie (**Figura 41)**, estas capas oscilan entre los 0.10 m y 1.80 m de potencia, indicadores de rocas pertenecientes a la Formación Trigal, la misma que se evidencia en la mayor parte del sector de estudio.

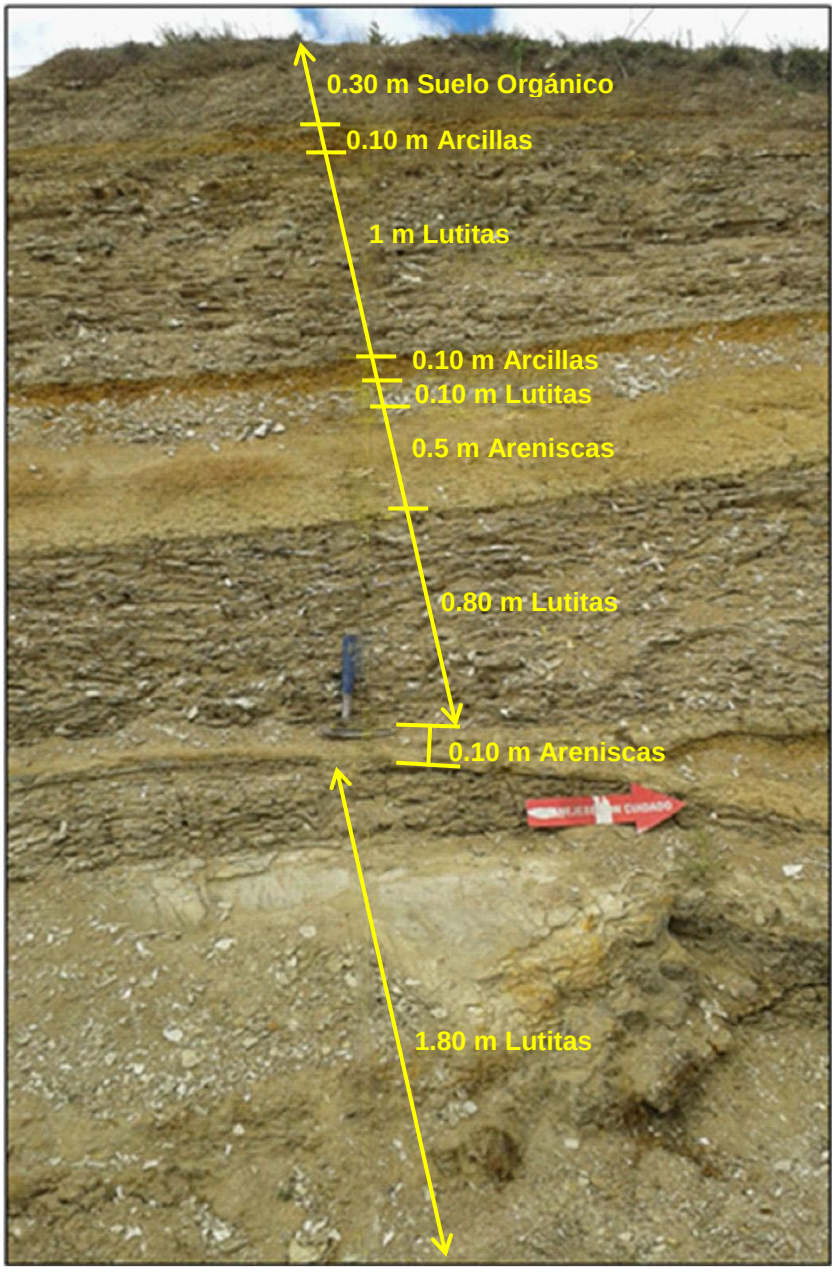


Figura 41. Afloramiento de arcillas, areniscas y lutitas.

En la **Figura 42** se observa un afloramiento con coordenadas **x:** 695742, **y:** 9560182, compuesto por estratos de areniscas, arcillas de color café claro y conglomerados con clastos que van de 1 a 3 cm de diámetro con una matriz arcillosa y arcillo-arenosa.

Este afloramiento presenta un alto grado de cárcavas lo que nos indica un alto nivel de erosión.

Además se evidencia un buen nivel de estratificación lo que permite suponer que tuvo un régimen ordenado al momento de la depositación.

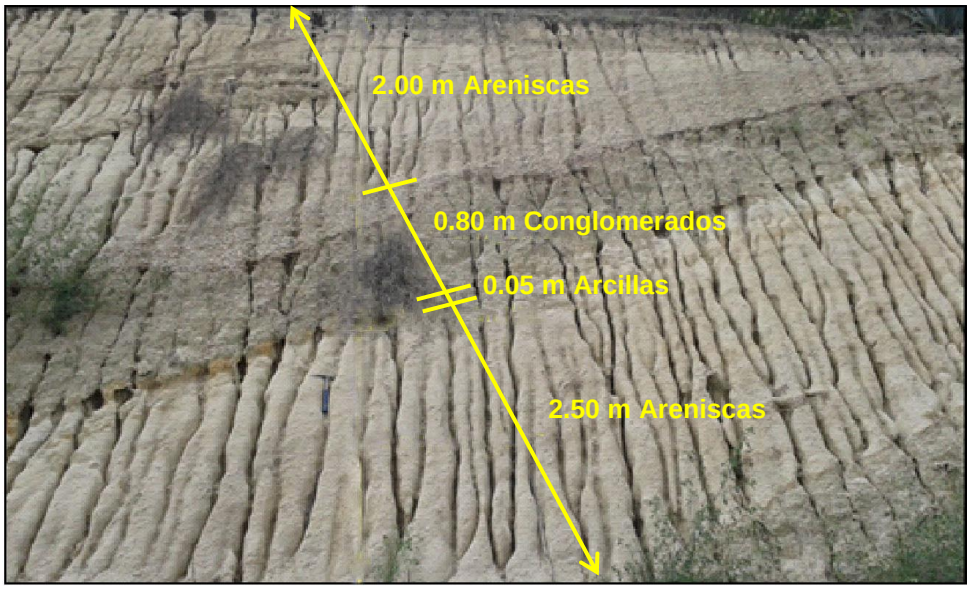


Figura 42. Afloramiento de areniscas, arcillas y conglomerados.

El punto siguiente con coordenadas **x:** 695808, **y:** 9560294, es un afloramiento de 3.50m de altura, el mismo que está conformado principalmente de una capa delgada de suelo orgánico y areniscas de color café claro, con una alta presencia de cárcavas producto de la erosión hídrica a la que está expuesta.

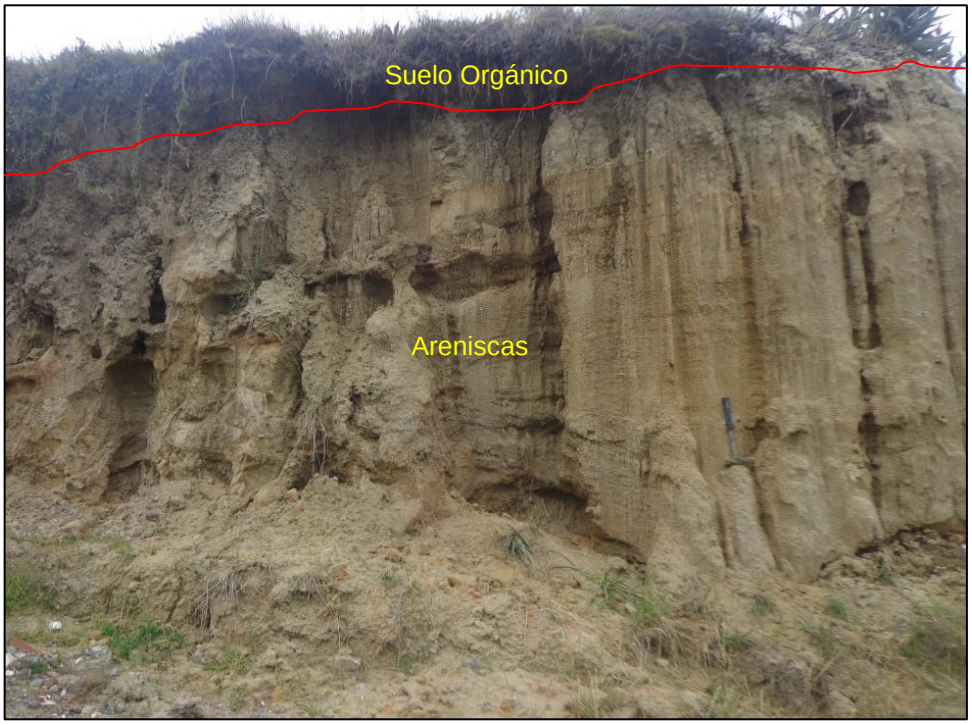


Figura 43. Afloramiento de areniscas.

Mas al Norte con coordenadas **x:** 695771, **y:** 9560475, se encuentra un afloramiento ubicado al margen izquierdo de la quebrada cóndor guasa, la misma que es el límite entre el barrio Panamá y barrio Carigan. Este afloramiento está conformado una capa de suelo orgánico, limolitas de color rojizo debido a la presencia de óxidos de hierro y conglomerados con clastos de 5 a 15 cm y una matriz arcillo-arenosa de color gris claro.

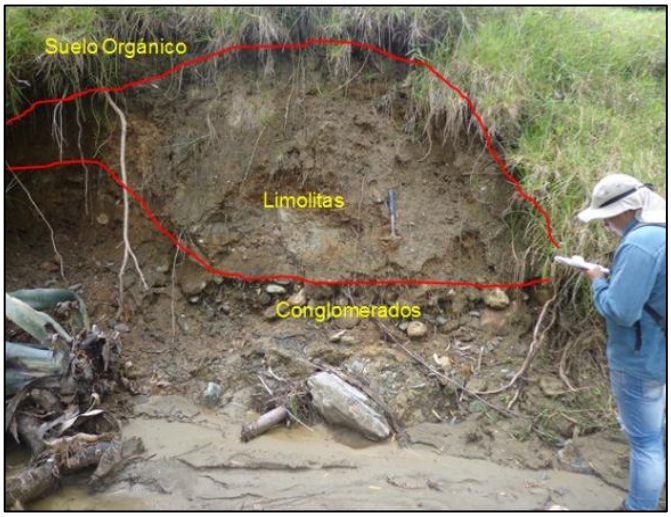


Figura 44. Afloramiento de limolitas y conglomerados.

Siguiendo con el recorrido, en la parte extrema Nor-Oeste de la zona de estudio encontramos un afloramiento con coordenadas **x:** 695227, **y:** 9560791, el cual está estructurado por areniscas de color café claro y en partes de color rojizo debido a la presencia de óxido de hierro.

Figura 45. Afloramiento de areniscas.

Este afloramiento con coordenadas **x:** 695330, **y:** 9560450, está estructurado principalmente por una capa de suelo orgánico en parte superior y de conglomerados con clastos angulosos, con diámetros que van desde 2 a 5 cm, tienen una coloración café oscura y en ciertas partes color rojizo debido a la presencia de óxidos de hierro.

Figura 46. Afloramiento de conglomerados.

Con coordenadas **x:** 695391, **y:** 9560336, el siguiente afloramiento se encuentra ubicado en la quebraba Cóndor Guasa, a un costado de la vía de integración barrial, el mismo que está estructurado principalmente de areniscas de color café oscuro con un alto contenido de humedad y con alto grado de erosión.

Figura 47. Afloramiento de areniscas.

Ya en la parte final del sector de estudio se encontró un afloramiento con **x:** 695455, **y:** 9560420, estructurado únicamente por una capa de suelo de color oscuro, con potencia que oscila entre 0.4 y 0.8 m y un estrato de conglomerado compuesto por clastos de diferente tamaño y matriz limo-arenosa (depósitos Terciarios-Mioceno) de coloración café oscuro, dichos clastos son irregulares, y se asume que pudo haberse originado por transporte erosivo desde la parte superior (coluvión).

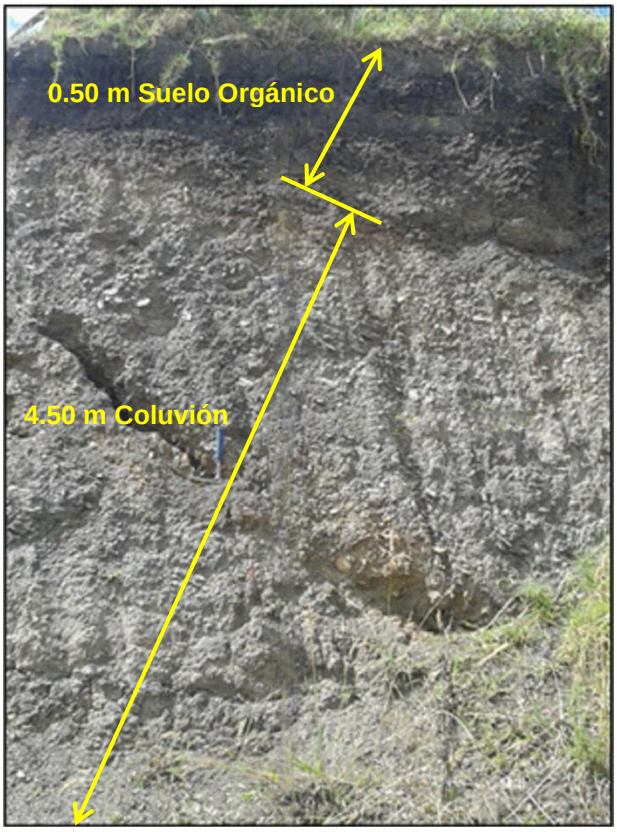


Figura 48. Coluvión de conglomerados.

El mapa geológico se realizó a escala de impresión 1:5000 en base a la caracterización de 14 afloramientos descritos en el campo como se observa en la **Tabla 16**. **Ver anexo 6.**

Tabla 16. Descripción de afloramientos.

AFLORAMIENTO	X	Y	Z	ORIENTACIÓN
1	695944	9559670	2245	026°/17° SE
2	695455	9560420	2271	
3	695716	9559853	2211	
4	695742	9560182	2176	
5	695852	9560100	2185	165°/27° NE
6	695683	9559529	2251	
7	696033	9559952	2209	
8	695808	9560294	2161	
9	696063	9559819	2259	002°/38° SE
10	695997	9559806	2231	002°/9° SE
11	695771	9560475	2137	
12	695227	9560791	2228	
13	695330	9560450	2190	
14	695391	9560336	2167	

6.2.3.3 Geología Estructural

A continuación se describe las estructuras determinadas en la zona de estudio.

- **Falla quebrada La Banda:** Según el Servicio Nacional de Geología (Quito 1970), se trata de una falla que es el contacto entre los metamórficos de la serie Zamora y los suelos arcillosos de la Formación Trigal y su nombre se debe a la quebrada que cruza la parte inicial del sector de estudio y la vía hacia Catamayo. Se encuentra en la parte occidental del área de estudio; se extiende sobre el cerro Huanchichamba. Tiene una dirección N-NE y una longitud de +/-5 kilómetros; probablemente este fallamiento se prolonga hasta la parte norte de la ciudad de Loja. La mayor parte de la longitud se encuentra oculta por depósitos de suelos residuales. Los indicios de fallamiento son únicamente morfológicos como son los cambios de pendiente entre las estribaciones.

Figura 49. Asentamiento de la vía a Catamayo.

6.2.3.4 Estratigrafía

- **Formación Trigal.-** De edad Miocena Media, descansa concordantemente sobre la formación Loma Blanca y está constituida por arcilla con capas delgadas de arenisca, limolita, conglomerados y tobas. Las arcillas contienen vetas de yeso. Mantos de lignito se encuentran al tope de la formación. Buena parte de los suelos

arcillosos son producto de la meteorización de rocas metamórficas más antiguas. Las areniscas muestran estratificación cruzada. La potencia varía cerca de 50 m al Oeste, a 150 m al Este hacia el contacto con la Formación La Banda. Acosta (2009).

- **Formación La Banda. -** Formada por un estrato de 10 a 20 m de potencia con secuencia intercalada desde calizas masivas, lutitas carbonatadas, capas de cherts y arenisca de grano fino.

6.2.4. Mapa Geomorfológico

La geomorfología también se constituye en factor condicionante muy importante en la determinación de la susceptibilidad del terreno a movimientos de masa.

Las variables morfométricas utilizadas en el presente proyecto de tesis son las siguientes:

- **Pendiente**

Se refiere al grado de inclinación de las depresiones con relación a la horizontal, la misma que está expresado en 8 categorías y porcentaje como se puede observar en la **tabla 17**.

Tabla 17. Categorías de pendientes.

Cód.	PENDIENTE (P)	Porcentaje (%)
1	Plana	0 – 2
2	Muy suave	2 – 5
3	Suave	5 – 12
4	Media	12 – 25
5	Media a fuerte	25 – 40
6	Fuerte	40 – 70
7	Muy fuerte	70 – 100
8	Escarpada	> a 100

Tomado de CLIRSEN (2012).

- **Desnivel relativo**

El desnivel relativo corresponde a la diferencia de altura entre dos puntos. En la metodología se asigna con un visto el tipo de desnivel por cada forma de relieve analizada, de acuerdo a los siguientes parámetros:

Tabla 18. Categorías de Desnivel relativo.

DESNIVEL RELATIVO (DR)	
Cód.	**Tipo**
1	0 a 5 m
2	5 a 15 m
3	15 a 25 m
4	25 a 50 m
5	50 a 100 m
6	100 a 200 m
7	200 a 300 m
8	> a 300 m

Tomado de CLIRSEN (2012).

El resultado de la interpretación geomorfológica de la zona de estudio se realizó en base al mapa de sombras y la metodología implementada por CLIRSEN 2012.

Para el establecimiento de colores y tramados de los polígonos de las unidades geomorfológicas se definieron en base a la morfología y morfogénesis propios, y de acuerdo a la metodología propuesta por Carvajal, 2002. **(Tabla 19).**

Tabla 19. Colores establecidos para los polígonos de las unidades.

UNIDAD DE MAPEO POR GÉNESIS DE LAS GEOFORMAS	COLOR
Formas de Origen Estructural	Púrpura
Formas de Origen Volcánico	Rojo
Formas de Origen Denudativo	Marrón
Formas de Origen Fluvial	Azul
Formas de Origen Lacustre/Marino	Verde
Formas de Origen Glaciar/Periglaciar	Grises
Formas de Origen Eólico	Amarillo
Formas de Origen Cárstico	Naranja
Formas de Origen Antrópico/Biológico	Negro

Tomado de Carvajal 2002.

Obteniendo como resultado el mapa Geomorfológico a escala de impresión 1: 5000 en formato A3, **ver anexo 8**; en donde las unidades morfológicas definidas tienen en cuenta una estructura jerárquica según su importancia, de la siguiente manera:

- ✓ Unidad Genética
- ✓ Unidad Morfológica
- ✓ Forma de Relieve

La zona de estudio, presenta 2 unidades genéticas, 2 unidades morfológicas y 5 formas de relieve los que se describen a continuación en la **Tabla 20**:

Tabla 19. Descripción de unidades morfológicas del sector de estudio.

Unidad Genética	Unidad Morfológica	Forma de Relieve	Color	Descripción	Pendiente
Formas Deposicionales	Terraza Aluvial	Terraza baja y cauce actual		Comprende tanto el lecho de la quebrada como el nivel directamente superior (terraza baja), ya que resultan difícilmente discriminables. Están sujetos a una dinámica constante especialmente en época lluviosa. Suele estar sujeta a las crecidas de la quebrada.	15 – 30 %
		Terraza media		Superficie plana limitada por un escarpe, ubicada por encima de la terraza baja; corresponde a un antiguo nivel de sedimentación de la quebrada. La pendiente de esta geoforma se debe a que ha sido ya modelado por los agentes erosivos.	30 – 50 %

Formas Tectónico Erosivos	Relieve	Relieve colinado muy bajo		Constituyen elevaciones cuyas pendientes alcanzan entre el 0 y 30 %, mientras que sus desniveles relativos llegan a los 15 m.	0 – 30 %
		Relieve colinado bajo		Constituyen elevaciones con desniveles relativos que llegan a los 25 m.	0 – 30 %

Formas Tectónico Erosivos	Relieve	Relieve colinado medio		Constituyen elevaciones con desniveles relativos que alcanzan los 100 m.	30 – 50 %
		Relieve colinado alto		Constituyen elevaciones que llegan a los 200 m de desnivel relativo.	30 – 75 %

6.2.5. Mapa de Uso actual del Suelo

La interpretación del uso actual del suelo en la zona de estudio se realizó en base a fotografías aéreas; complementando con visitas de campo, mediante el análisis visual.

En este mapa se obtuvo diferentes tipos de uso actual del suelo (**Tabla 21**), obteniendo como resultado que a lo largo de la zona de estudio se distribuye diversas agrupaciones vegetales naturales como las zonas arbóreas y pastos, junto con terrenos dedicados a la actividad agrícola y ganadera. La zona de estudio está representada mayormente por pastos (58,71%) los cuales son usados para producción ganadera; seguido por cultivos (21,23%) de ciclo corto como el maíz, hortalizas, etc.; que son utilizados para consumo propio, seguidamente la vía de integración barrial ocupa el 6.21%, zonas arbóreas con el 5.60%, con la presencia de eucaliptos principalmente, mientras que el suelo para cultivos con 2.64%, la presencia de tres deslizamientos ocupan un 2.42 %, las áreas denudadas un 1.72%, y las vías secundarias 1,70%, y finalmente están las viviendas, las cuales ocupan el menor porcentaje que es el correspondiente al 0.99%. **Ver anexo 9.**

Tabla 20. Tipos de uso actual del suelo

Uso actual del suelo	Área (ha)	Área %
Área denudada	1.11	1.72
Cultivos	13.82	21.23
Deslizamientos	1.58	2.42
Pasto	38.21	58.71
Suelo para cultivos	1.72	2.64
Vía de integración barrial	4.04	6.21
Vías secundarias	1.10	1.70
Viviendas	0.65	0.99
Zonas arbóreas	3.65	5.60

Elaborado por el autor.

6.2.6. Valoración e interpretación de las zonas susceptibles a deslizarse

El análisis del mapa de susceptibilidad a deslizamientos de la Vía de Integración Barrial en el sector de estudio, se realizó mediante el método heurístico y determinístico utilizando el programa ArcGis 10.1 e Ilwis 3.6.

6.2.6.1 Por el Método Heurístico

Mediante la elaboración del mapa de susceptibilidad nos permitirá determinar los sectores que son más propensos a deslizarse, en base a los componentes como pendiente, geología, geomorfología y uso actual del suelo; los mismos que influyen a la inestabilidad del terreno.

El proceso consiste en establecer diferentes pesos a los factores de 1 a 5 dependiendo del grado de influencia como se puede observar en la **Tabla 22**.

Tabla 21. Condición para asignación de pesos.

CLASES	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 muy susceptibles a deslizamientos.	5

Tomado de Tambo (2011).

Luego se procede a la asignación de pesos, para cada condición (geomorfología, geología, pendiente, uso actual del suelo); como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 22. Asignación de pesos para la variable de geología.

GEOLOGÍA	PESO
Areniscas gruesas, conglomerados y limolitas	5
Calizas bandeadas, lutitas y areniscas de grano fino	4

Tabla 23. Asignación de pesos para la variable de geomorfología.

GEOMORFOLOGÍA	PESO
Relieve colinado bajo	2
Relieve colinado muy alto	5
Relieve colinado medio	3
Relieve colinado muy bajo	1
Terraza media	2
Terraza baja y cauce actual	4

Tabla 24. Asignación de pesos para la variable de pendiente.

PENDIENTE	PESO
Terrenos planos o casi planos	1
Terrenos inclinados	2
Terrenos moderadamente escarpados	3
Terrenos escarpados	4
Terrenos muy escarpados	5

Tabla 25. Asignación de pesos para la variable de uso actual del suelo.

USO ACTUAL DEL SUELO	PESO
Área denudada	5
Viviendas	2
Zonas arbóreas	1
Vía de integración barrial	3
Vías secundarias	3
Cultivos	2
Deslizamiento	5
Pasto	2
Suelo para cultivos	3

A continuación se realiza el cruce de los diferentes mapas antes mencionados; a través de la suma ponderada donde el mayor peso se le asignó a la **Pendiente** (**0.4**), luego la **Geología** (**0.3**), seguido por la **Geomorfología** (**0.2**), y **Uso actual del suelo** (**0.1**); esta asignación fue realizada a criterio del autor en base a la experiencia.

A continuación se presenta la secuencia para la elaboración del mapa final a través del **Model Builder:**

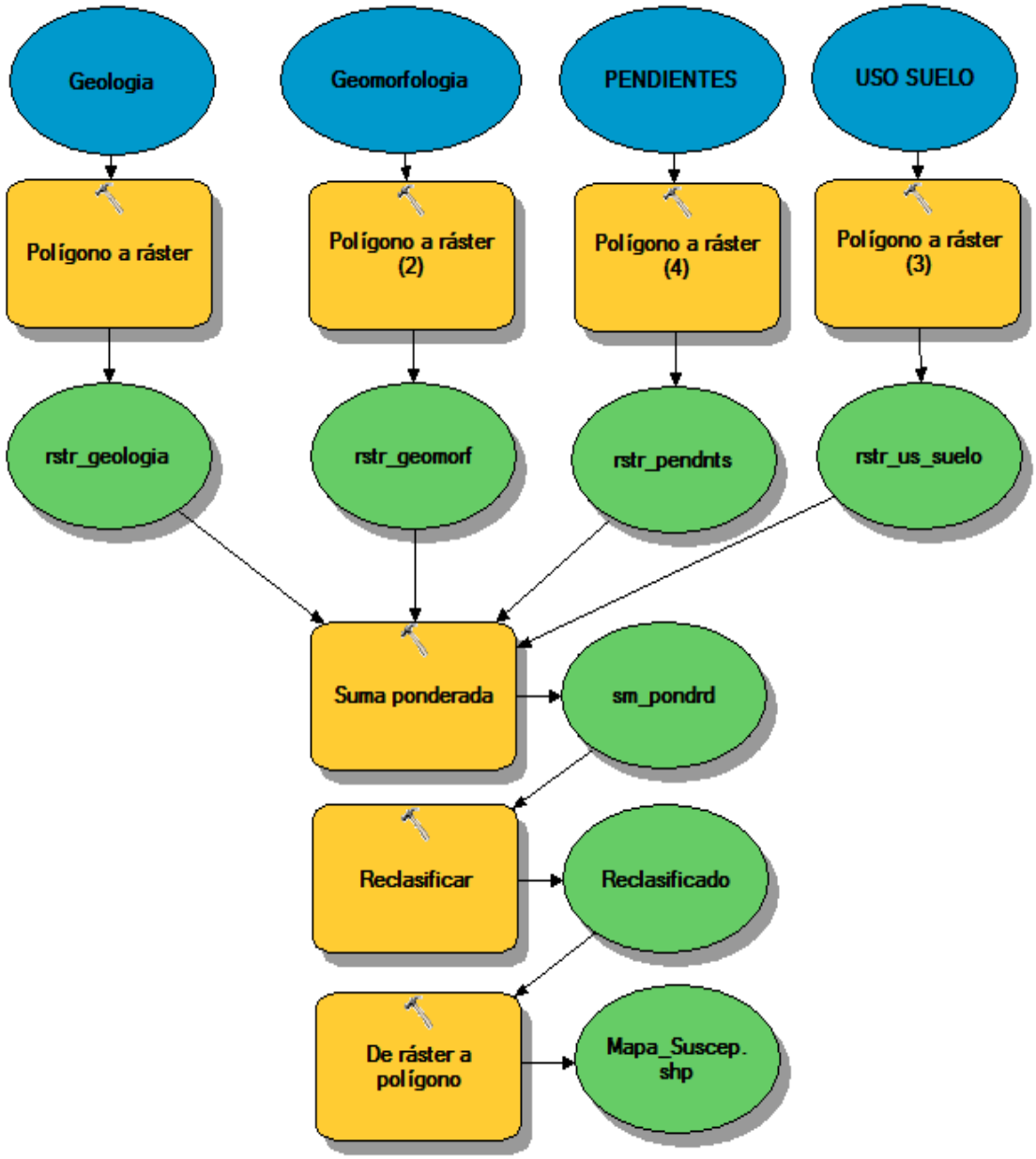


Figura 50. Secuencia del modelo Builder.

Para la categorización de las zonas susceptibles a deslizamientos del mapa de Susceptibilidad final obtenido nos basamos en la siguiente **Tabla 27**:

Tabla 26. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos.

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

Tomado de Sarkar y Kanungo (2004).

En la suma de los elementos se obtuvo como resultado 5 categorías que se describen a continuación en la **tabla 28. Ver anexo 10.**

Tabla 27. Categorías de Susceptibilidad a Deslizamientos.

Categorías	Área (ha)	Porcentaje (%)
Muy Baja	19.11	29.38
Baja	19.90	30.60
Moderada	10.86	16.69
Alta	10.23	15.63
Muy Alta	4.93	7.58
TOTAL	**65.03**	**100 %**

Susceptibilidad Muy Baja.- Caracterizada por la estabilidad que posee el terreno, y por ende para que no ocurran deslizamientos. Estos sectores poseen pendientes muy bajas entre 0 y 15 % (terrenos planos o casi planos), siendo la mayor parte sectores destinados para cultivos, pastos y vegetación arbustiva. La litología que se presenta

está compuesta por arcillas, lutitas, areniscas de grano fino y conglomerados pertenecientes a la Formación Trigal y ocupando el menor porcentaje (2.66%) del sector de estudio lutitas y calizas masivas de la formación La Banda (depósitos Terciarios-Mioceno), estos materiales están distribuidos al Norte y Sur de la zona de estudio. Ocupan un área de 19.11 ha, es decir 29.38 % del total del área de estudio. Además cabe mencionar que del 100% (63 casas) de las viviendas existentes en el sector de estudio el 39.7% (25 casas) se encuentran dentro de esta categoría.

Susceptibilidad Baja.- Estos sectores se caracterizan por ser de pendientes muy poco inclinadas o terrenos casi planos con pendientes entre 15 a 30 %; comprenden igualmente arcilla, areniscas, lutitas y conglomerados pertenecientes a la Formación Trigal y de la misma manera ocupando el menor porcentaje (2.66%) del sector de estudio se encuentran lutitas y calizas masivas de la formación La Banda, todos estos materiales están distribuidos al Norte y Sur de la zona de estudio. Dentro de esta categoría se encuentran suelos ocupados para cultivos, pastos y vegetación arbustiva. Ocupa un área de 19.90 ha, es decir el 30.60 % del total del área de estudio. Dentro de esta categoría se encuentra el 38.1% (24 casas) de las viviendas existentes en el sector.

Susceptibilidad Moderada.- Corresponde a sectores donde la susceptibilidad es considerada de mediana susceptibilidad debido a las condiciones del terreno, poseen pendientes entre 30 a 50 %. Los materiales presentes son las arcillas, conglomerados, areniscas y lutitas de la formación Trigal, así como lutitas y calizas masivas de la formación La Banda la cual está ocupando el menor porcentaje de la zona de estudio (2.66%). Ocupan una superficie de 10.86 ha que corresponde al 16.69 % del total de la zona de estudio. La mayor parte se encuentran distribuidas en la parte central la cual área encerrada en la red hídrica del sector, y en menor porcentaje en la parte Norte y Sur de la zona de estudio. En esta categoría se encuentra el 9.5% (6 casas) del total de las viviendas del sector de estudio.

Susceptibilidad Alta.- Correspondiente a áreas donde las condiciones del terreno hacen que sea posible la ocurrencia de deslizamientos, en este caso en terrenos escarpados con pendientes entre 50 a 75 %. Esta zona está ocupada por pastos, viviendas y áreas de cultivo. Ocupa un área de 10.23 ha, correspondientes al 15.63 % del total del área de estudio. Además del 100% de las viviendas, el 12.7% de las viviendas (8 casas) están dentro de esta categoría. Se encuentra distribuida la mayor

parte en áreas circundantes (que rodean) a la red hídrica del área de estudio y en proporciones menores en la parte Norte y Sur.

Susceptibilidad Muy Alta.- Estas áreas son muy críticas, donde las condiciones del terreno son ideales para que estas zonas se conviertan en inestables, es decir que son muy propensas a sufrir procesos de deslizamientos y donde ya han ocurrido deslizamientos; poseen pendientes mayores a 75 % (terrenos muy escarpados), distribuidas junto a las quebradas y áreas inestables donde se presentan los deslizamientos, y en menor porcentaje en la parte Sur de la zona de estudio, con presencia de materiales como arcilla, limolitas, areniscas y conglomerados de la formación Trigal, lutitas y calizas masivas de la formación La Banda, esta última presente en menor porcentaje (2.66%). Esta zona es la más pequeña, ocupando una superficie de 4.93 ha, es decir el 7.58 % del total del área de estudio. Dentro de esta categoría no existen viviendas debido a lo escarpado de estos terrenos.

6.2.6.2 Por el Método Determinístico

Para la obtención del mapa de susceptibilidad a deslizamientos por el método determinístico del sector Urna de la Virgen – barrio Panamá se empleó la extensión SINMAP en el ArcGis 10.1, utilizando el análisis de talud infinito, que dentro del software es analizado con un ráster (Modelo Digital de Terreno, ***DTM.asc***) pixel por pixel debidamente calibrado.

Los valores utilizados para la calibración de los parámetros han sido obtenidos del trabajo de campo y del análisis de ensayos in-situ y de laboratorio. Así, la cota máxima y mínima han sido obtenidos en el levantamiento topográfico; la densidad del geomaterial ha sido calculada de ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas del SPT; la cohesión mínima, la cohesión máxima y el ángulo de fricción interna mínimo y máximo han sido calculados indirectamente a partir del ensayo SPT. Los valores de la cohesión mínima y el ángulo de fricción interna mínimo han sido considerados como los valores correspondientes a 3m de profundidad. Los valores de la cohesión máxima y ángulo de fricción interna máxima corresponden a aquellos de 3m de profundidad, debido a que los deslizamientos presentes en la zona son considerados superficiales, cuyos planos de rotura tienes lugar a aproximadamente 3 metros de profundidad.

Los datos como el espesor del suelo, Gravedad, densidad del agua son proporcionadas por el mismo programa.

Tabla 28. Parámetros geotécnicos de la zona de estudio (Cohesión a 1 y 3 m).

Profundidad m	N° golpes			N° golpes SPT-TOTAL	q Tn/m^2	N_ correg Ec.1	N_correg Ec.2	C' Kg/cm^2
	15 cm	30 cm	45 cm					
CALICATA № 1								
1.00	15	30	45	75	1.29	75	105	0.67
2.00	15	30	45	75	2.57	75	105	
3.00	18	23	23	46	3.86	61	62	1.26

Tomado de laboratorio de materiales “SUELOS & PAVIMENTOS”.

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

Tabla 29. Parámetros Geotécnicos usados en la calibración de SINMAP 2.0.

PARAMETROS DE CALIBRACIÓN	
MDE	10
Espesor del suelo (m)	1
Gravedad (m/s^2)	9.81
Densidad del agua (kg/m^3)	1000
Densidad del material (kg/m^3)	2700
T/R Min (m)	2131
T/R Max (m)	2264
Cohesión Min (sin unidades)	0.67
Cohesión Max (sin unidades)	1.26
Phi Min (°)	43
Phi Max (°)	46

Los resultados obtenidos del modelamiento se describen a continuación en la **tabla 31. Ver anexo 11.**

Tabla 30. Categorización de Susceptibilidad a deslizamientos.

Categorías	Área (ha)	Área (%)
Zona Umbral más alto de la estabilidad	10.31	15.85
Zona Umbral más bajo de la estabilidad	16.16	24.85
Casi estable	14.09	21.66
Moderadamente estable	6.45	9.91
Estable	18.02	27.71
Total	**65.03**	**100**

Umbral más Alto de la Estabilidad.- Caracterizado por terrenos muy escarpados, compuestos por material sedimentario como arcillas, areniscas, limolitas y conglomerados de diferente tamaño con base limo-arcillosa de la formación Trigal, calizas masivas y lutitas de la formación La Banda misma que está ocupada por casi la totalidad de esta categoría, ya que del 100% del total del sector de estudio, esta formación ocupa el 2.66%; esta categoría ocupa una superficie de 10.31 ha, es decir el 15.85% del total del área de estudio.

Umbral más Bajo de la Estabilidad.- Son terrenos escarpados con pendientes de entre 50 y 75%, compuestos por arcillas, limolitas, areniscas y conglomerados de diferente tamaño de la formación Trigal, lutitas y calizas masivas de la formación La Banda, ocupan la menor superficie de terreno, 16.16 ha (24.85%) del total del área de estudio.

Casi estable.- Caracterizado por terrenos moderadamente escarpados con pendientes de entre 30 y 50%, compuestas de igual manera por arcillas, limolitas, areniscas y conglomerados de la formación Trigal, areniscas de grano fino y calizas masivas de la formación La Banda, ocupa una superficie de 14.09 ha, es decir el 21.66% del total del área de estudio.

Moderadamente Estable.- Se caracterizan por áreas poco inclinadas de entre 15 y 30%, la misma que se encuentra distribuida en todo el sector de estudio, está compuesta por acillas, limolitas, areniscas y conglomerados pertenecientes a la formación Trigal, lutitas, areniscas de grano fino y calizas masivas de la formación La Banda; ocupan una superficie de 6.45 ha (9.91%) del total del área de estudio.

Estable.- Es la categoría con mayor área del sector de estudio con 18.02 ha, es decir el 27.71% del total del área de estudio. Se caracterizan por ser zonas de alta estabilidad del terreno, con pendientes muy bajas de entre 0 y 15%, estas áreas son utilizadas principalmente para pastoreo, cultivos y construcciones, compuestas la mayor parte por arcillas, limolitas, areniscas y conglomerados de la formación Trigal, lutitas, areniscas de grano fino y calizas masivas de la formación La Banda.

6.2.7. Inventario de deslizamientos

En la zona de estudio se ha identificado 3 deslizamientos que fueron caracterizados en fichas técnicas (**ver anexo 12**), ocupan una superficie de 1.58 hectáreas, aproximadamente 2.42 % del total de la zona de estudio, como se observa en el mapa de inventario de deslizamientos escala de impresión 1: 5000, formato A3 (**ver anexo 13**).

Al realizar la correlación del inventario de deslizamientos con el mapa de susceptibilidad se puede observar que los deslizamientos se encuentran ubicados en las zonas categorizadas como de **"Alta y Muy Alta Susceptibilidad"** como se muestra en la siguiente **Tabla 32:**

Tabla 31. Inventario de deslizamientos.

Deslizamiento	Coordenadas		Área (ha)	Categoría
	X	Y		
D1	695635	9560218	1.28	Alta y Muy Alta Susceptibilidad
D2	695498	9559945	0.26	Muy alta Susceptibilidad
D3	695841	9560314	0.039	Muy alta Susceptibilidad

Tabla 32. Datos detallados de Deslizamientos

Código	Coordenadas UTM	Tipo de deslizamiento	Área (Ha)	Área (%)	Geometría			Causas	Daños
					Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)		
1	**X=**695635 **Y=**9560218	Rotacional	1.28	47.49	150	180	12	Área de cultivo, vivienda y arcillas con alto contenido de humedad. 	Viviendas (1 vivienda)
2	**X=**695498 **Y=**9559945	Rotacional	0.26	26.93	110	50	7	Material que ha perdido su cohesión por factores antrópicos debido a la apertura de la vía, además de aportes de agua debido a las intensas lluvias. 	Infraestructura vial

3	**X=**695841 **Y=**9560314	Rotacional	0.039	9.44	50	15	5	Material poco cohesionado y arcillas saturadas con aportes de agua debido a las intensas lluvias. 	Zona de pastos

6.3. Caracterización geotécnica

La caracterización geotécnica consistió en determinar la resistencia de los geomateriales con el objetivo de prevenir futuros problemas a las infraestructuras que se construyeran en la zona de estudio. Entre los diferentes métodos directos e indirectos existentes de exploración geotécnica, se ha utilizado los siguientes:

- Métodos Indirectos: Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)
- Métodos Directos: Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

Dichos ensayos se los realizó con la finalidad de obtener información relevante para asignar de forma más objetiva y precisa los pesos a cada uno de los factores que intervienen en los mapas de susceptibilidad a deslizamientos.

6.3.1 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

Los Sondeos Eléctricos Verticales se realizaron mediante el arreglo Schlumberger de 4 electrodos. Se realizaron 2 líneas perpendiculares a la vía de integración barrial cuyas coordenadas geográficas se encuentran en la **tabla 34**.

Tabla 33. Coordenadas geográficas de cada línea SEV.

SEV	Coordenadas		
	X	Y	Z
1	695797	9559699	2232
2	695793	9559676	2235

6.3.2 Descripción de los sondeos eléctricos verticales (SEV).

En la zona de estudio se realizaron 2 sondeos eléctricos verticales distribuidos en base a la información previamente obtenida del sector; se procedió a marcar los puntos de interés para la realización de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y perfil geoeléctrico. Los puntos seleccionados se deben a que estos terrenos presentan una superficie casi plana en comparación con el resto de superficies, siendo óptima para una mejor obtención de resultados. Cabe mencionar que como norma siempre

los SEV se los debe realizar en terrenos casi horizontales para una mejor confiablidad de resultados.

❖ **SEV 1**

La línea número 1 se encuentra ubicada en la parte S-E del sector de estudio al margen derecho de la vía de integración barrial, para lo cual se realizaron 13 mediciones en campo llegando a una abertura máxima AB/2 de 100 m como se muestra en la **tabla 35**.

Tabla 34. Valores de resistividad obtenidas en campo del SEV 1.

No.	AB/2 (metros)	MN	Resistividad
1	1.00	1.00	5.06
2	1.50	1.00	4.52
3	2.00	1.00	4.26
4	2.50	2.00	4.22
5	3.00	1.00	4.12
6	7.00	2.00	4.57
7	10.00	2.00	5.07
8	20.00	20.00	5.73
9	30.00	20.00	6.40
10	40.00	20.00	6.64
11	50.00	20.00	6.73
12	70.00	20.00	6.72
13	100.0	20.00	6.56

Con los resultados de campo se procedió al cálculo de los SEV y perfiles eléctricos por medio del uso del Software IX1D v3, en el cual se usó el modelo de Smooth para el cálculo de los SEVs y las ecuaciones de Zaborovsky para la interpolación de los perfiles y obtención de los contornos como se puede observar en la **figura 51**.

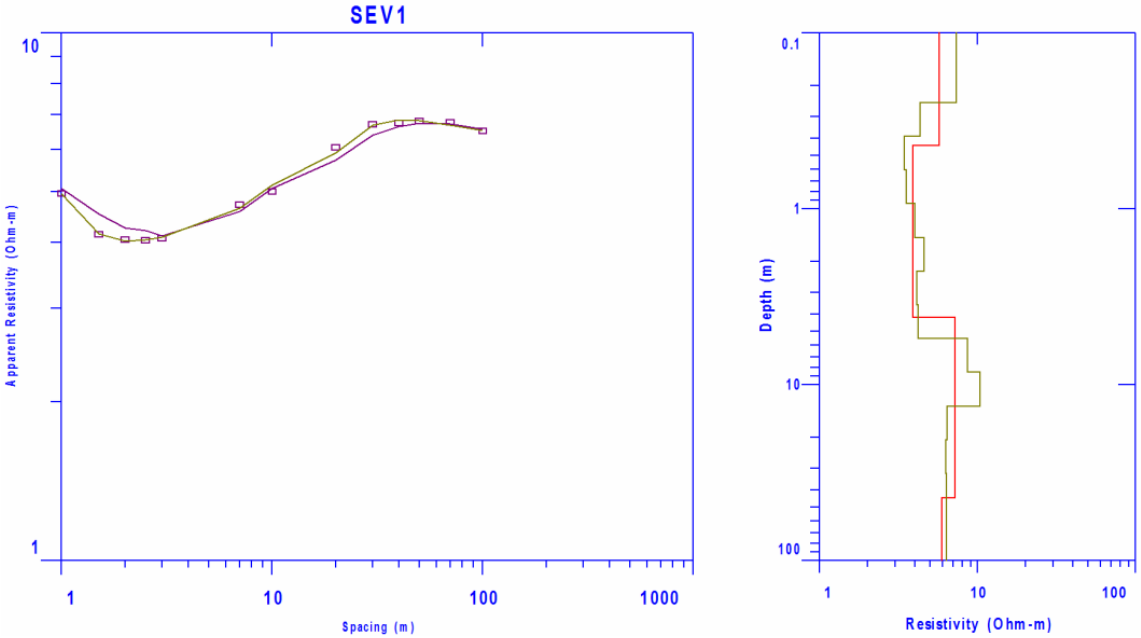


Figura 51. Curva de resistividad aparente por medio de las ecuaciones de Zaborovsky, SEV 1.

❖ **SEV 2**

La línea número 2 fue realizado en la parte S-E al margen derecho de la vía de integración barrial, para lo cual se realizaron 16 mediciones en campo llegando a una abertura máxima AB/2 de 100 m como se aprecia en la **tabla 36**.

Tabla 35. Valores de resistividad obtenidas en campo del SEV 2.

No.	AB/2 (metros)	MN	Resistividad
1	1.00	1.00	4.89
2	1.50	1.00	4.54
3	2.00	1.00	4.46
4	2.50	1.00	4.37
5	2.50	2.00	5.09
6	3.00	1.00	4.20
7	3.00	2.00	4.48
8	5.00	2.00	5.01
9	7.00	2.00	4.82
10	10.00	2.00	5.28
11	10.00	5.00	5.12
12	20.00	5.00	9.40
13	40.00	20.00	9.89
14	50.00	20.00	7.53
15	70.00	20.00	9.04
16	100.0	20.00	10.41

De la misma con los resultados de campo se procedió al cálculo de los perfiles eléctricos por medio del uso del Software IX1D v3, en el cual se usó el modelo de Smooth para el cálculo de las ecuaciones de Zaborovsky para la interpolación de los perfiles como se puede observar en la **figura 52**.

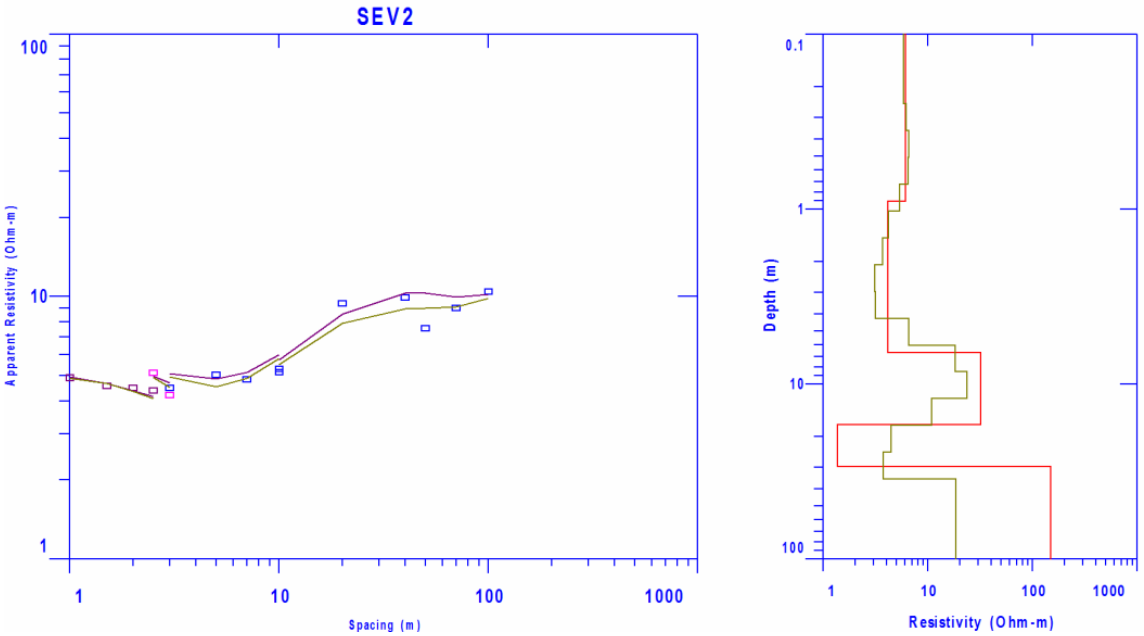


Figura 52. Curva de resistividad aparente por medio de las ecuaciones de Zaborovsky, SEV 2.

Debido a la ubicación y cercanía de las líneas SEV se correlaciono los valores obtenidos de las dos líneas SEV; el primer estrato es un horizonte con resistividades bajas, que corresponden a **material de granulometría fina y presencia de humedad,**

con una potencia aproximada de entre 3.73 a 5.73 m y una resistividad que varía entre **3.87-7.16 Ω-m.**

El segundo horizonte corresponde a un estrato de **suelos de granulometría fina a media,** con una potencia aproximada de 17.00 a 44.00 m, y una resistividad de **37.90 Ω-m.**

A continuación se presenta un **horizonte saturado, posible nivel de escurrimiento que se abate al espejo de agua del drenaje adyacente,** con una potencia de entre 0.00 a 12.00 m y una resistividad de **1.36 Ω-m.**

Por último se encuentra el **sustrato rocoso** con una potencia >5 m, es decir indefinido y una resistividad de **148.6 Ω-m,** como se puede observar en la **tabla 37.**

Tabla 36. Perfil del SEV 1 y SEV 2 mediante el modelo de Smooth.

SEV 1 Y SEV 2			
Capas Nº	**Espesor (m)**	**Resistividad (Ohmios - metros)**	**Geología Asumida**
I	3.73 - 5.73	3.87-7.16	Horizonte con resistividades bajas, que corresponden a material de granulometría fina, presencia de humedad.
II	17.0 - 44.0	37.90	Estrato de suelos de granulometría fina a media.
III	0.0 - 12.0	1.36	Horizonte saturado, posible nivel de escurrimiento que se abate al espejo de agua del drenaje adyacente.
IV	>5	148.6	Sustrato rocoso.

Tomado de laboratorio (Laboratorio ESTSUELCON CÍA.LTDA).

A continuación se presenta el perfil eléctrico de las dos líneas SEV con la cual se relaciona la abertura en metros, resistividad y resistividad aparente como se observa en la **figura 53.**

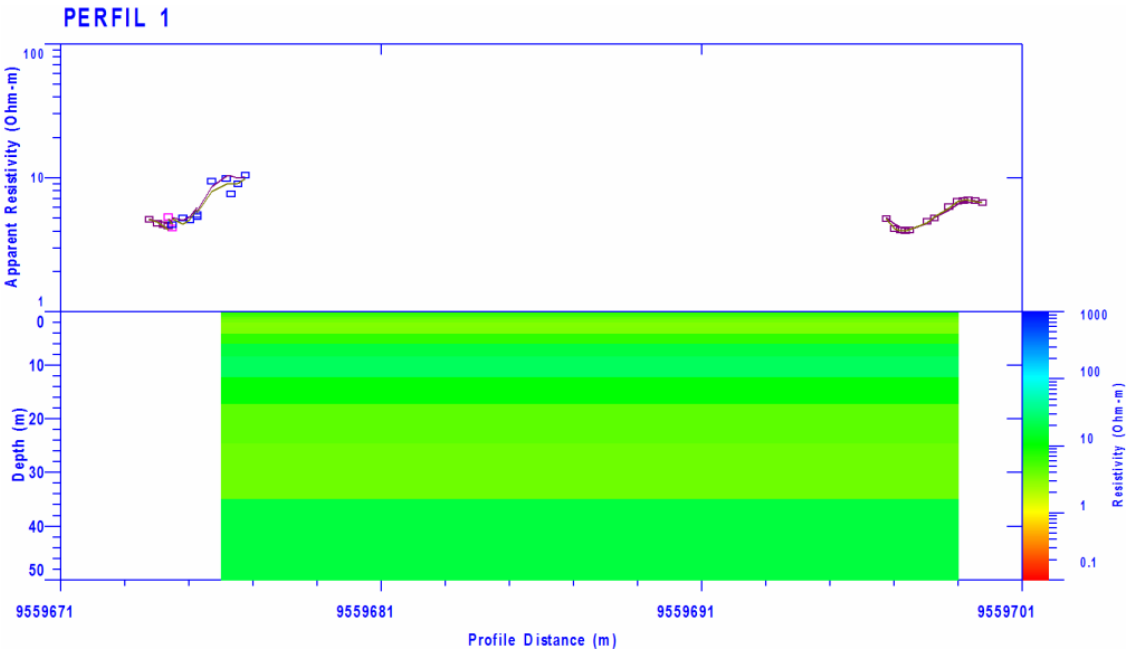


Figura 53. Perfiles eléctricos de los SEV1 y SEV2, por medio de las ecuaciones de Zaborovsky. Tomado de laboratorio (Laboratorio ESTSUELCON CÍA.LTDA).

❖ **Perfiles geoeléctricos de los sondeos eléctricos verticales (SEV)**

El perfile geoeléctrico de los SEV se los elaboró manualmente, con los resultados dados por el laboratorio "ESTSUELCON CÍA.LTDA" mediante la relación de las resistividades obtenidas por el procesamiento de los datos de campo por el software IX1D v3. El perfil geoeléctrico se presenta en la **figura 54:**

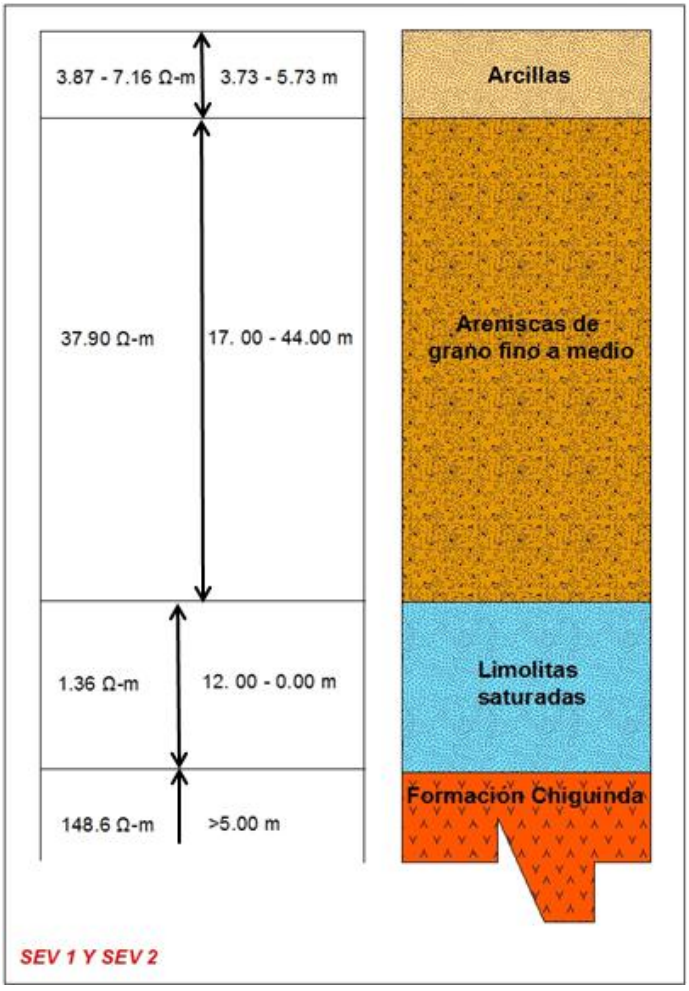


Figura 54. Perfil eléctrico del SEV1 y SEV2.

❖ **Cortes geoeléctricos**

Una vez obtenidos los resultados de los sondeos eléctricos verticales, estos se correlacionaron con la geología local y el ensayo de penetración estándar (SPT), obteniendo 1 corte geoeléctrico, con lo que se comprueba la presencia de 4 estratos litológicos, cuya disposición desde la superficie hasta el suelo es de: *arcillas, areniscas de grano fino y limolitas saturadas, sustrato rocoso*.

Corte A-B

El corte A-B es el resultado de la interpolación de los sondeos eléctricos verticales 1 y 2 con dirección E-O y de dirección casi paralela, en el cual se puede observar claramente la presencia de estratos de arcillas, areniscas de grano fino y limolitas saturadas con sus respectivas resistividades como se puede observar en la **figura 55**.

CORTE A-B

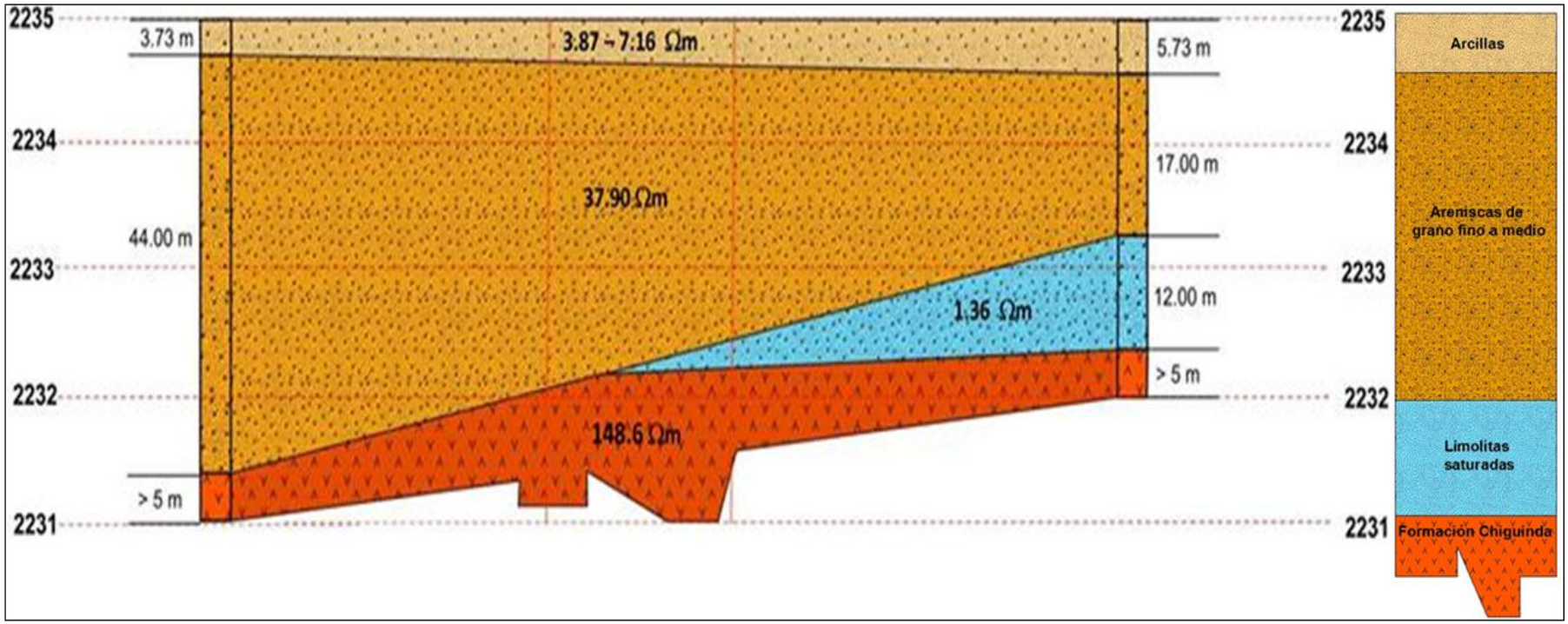


Figura 55. Cortes Geoeléctricos de los SEV 1 y 2.

6.3.2 Ensayo de penetración estándar

La prueba de penetración estándar (SPT), permite determinar la resistencia al esfuerzo de corte del suelo, mediante el número de golpes necesarios para hincar el penetrómetro estándar, y obtener muestras alteradas para identificar los suelos en estudio. Con estas muestras se puede conocer las condiciones estratigráficas del sitio, con las que se determina los índices y granulometrías así como también a través de correlaciones empíricas del número de golpes obtener la resistencia del suelo al corte.

El ensayo de penetración estándar o SPT fue realizado en el barrio Panamá cerca de la urna de la virgen, en la parte S-E del área de estudio; se prestó los servicios del laboratorio "SUELOS & PAVIMENTOS" para realizar el ensayo de SPT; cuyos resultados se muestran en el **anexo 16.**

El ensayo se ubica en la siguiente coordenada (UTM WGS-84), y su posición se puede observar en el mapa geológico.

Tabla 37. Ubicación geográfica del SPT.

SPT	Coordenadas		
	X	Y	Z
1	695832	9559733	2118

En el sondeo realizado e identificado como la perforación Nº 1 se observa que en la profundidad de 0.00 a 1.50 metros existe un estrato de suelo tipo **CH** de color café identificado como arcilla de alta plasticidad con arena, en la profundidad de 1.50 a 2.50 se tiene un estrato de suelo tipo **CL** de color café identificado como arcilla de media plasticidad con arena, en la profundidad de 2.50 a 3.50 el estrato de suelo es de tipo **CH** de color café, identificado como arcilla de alta plasticidad arenosa; la prueba de Penetración Estándar "SPT" se realiza a cada metro de profundidad hasta llegar a 3.50 metros, tomando como referencia cero el suelo natural donde se inicia la perforación; además se obtienen muestras de suelo para ser analizadas en el laboratorio y realizar el perfil estratigráfico del suelo hasta la profundidad indicada, ver **figura 56**.

La prueba de SPT se inicia a partir del nivel N: 1.00 m adoptado. Las pruebas fueron realizadas con columnas de soporte con tubo tipo NW y equipo de muestreo de tubo partido tipo Splin Spoon con martinete de hincado, de acuerdo a las normas ASTM.

Para la determinación de la estratigrafía del suelo se realizó muestreo alterado en el tubo partido para cada prueba de penetración estándar realizada, y determinando el tipo de suelo de acuerdo al Sistema de Clasificación SUCS y AASHTO.

De las muestras extraídas se determina el perfil estratigráfico del suelo que se detalla a continuación:

Tabla 38. Tipo suelo de acuerdo al sistema de clasificación SUCS y AASTHO.

Prof.(m)	Espesor (m)	Perfil	Estructura	Descripción	% Hum.	% Grava	% Arena	% Finos	L.L.	L.P.	I.P.	SUCS	AASTHO	FOTOGRAFÍA
0,00 - 1,50	1,50	CH	Terreno Natural Color Café	Sistema de Clasificación de Suelos SUCS CH: Arcilla de alta plasticidad con arena	43,58		100	78,9	64	28,88	35,12	CH	A-7-6	
1,50 - 2,50	1,00	CL	Terreno Natural Color Café	Sistema de Clasificación de Suelos SUCS CL: Arcilla de media plasticidad con arena	45,65		100	74,7	43	16,41	26,59	CL	A-7-6	
2,50 - 3,50	1,00	CH	Terreno Natural Color Café	Sistema de Clasificación de Suelos SUCS CH: Arcilla de alta plasticidad arenosa	36,94		100	69,9	60,7	22,6	38,1	CH	A-7-6	

Resultados de laboratorio (Laboratorio “SUELOS & PAVIMENTOS).

A continuación se puede observar los testigos de perforación que se obtuvo en la zona de estudio:

Figura 56. Testigo de perforación a una profundidad de 1 m.

Figura 57. Testigo de perforación a una profundidad de 3.5 m.

❖ **Interpretación Geotécnica**

En el sector de estudio afloran depósitos del Neógeno (MIOCENO MEDIO, 26 millones de años). Se destaca la presencia de capas de arcillas, areniscas de grano fino y limolitas saturadas.

Mioceno Medio constituido por areniscas arcillas, areniscas de grano fino y limolitas saturadas.

❖ **Descripción geotécnica de los materiales**

En función de la unidad geológica considerada y de los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio, se ha establecido únicamente una unidad geotécnica que se describe a continuación:

Neógeno: arcillas, areniscas de grano fino a medio y limolitas saturadas.

Representados por arcillas de coloración café claro, areniscas de color anaranjado de grano fino a medio y limolitas saturadas, todos de edad del Mioceno Medio. Los resultados del laboratorio nos indica que es un material arcillo arenoso de alta plasticidad y de mediana plasticidad y con una resistencia de mediana a baja, es decir que es excavable mediante acción mecánica.

Desde el ámbito Geotécnico la densidad de estos materiales es de 2.70 gr/cm^3, con un porcentaje de finos del 78.9%, límite liquido alto del 64%, un límite plástico bajo con 28.88%, y una compacidad o consistencia dura **(ver tabla 40)**.

Tabla 39. Valores N_{SPT} por cada nivel de terreno perforado.

Perforación	Profundidad bajo el vinel natural del terreno	Número de golpes Prueba SPT	Compacidad o Consistencia
Calicata N° 1			
P1	1.00 – 1.45	75 *golpes*	Consistencia dura
P2	2.00 – 2.45	75 *golpes*	Consistencia dura
P3	3.00 – 3.45	46 *golpes*	Consistencia dura

Tomado del laboratorio de materiales “SUELOS & PAVIMENTOS”.

Relacionando los datos obtenidos en el laboratorio con la tabla de "Técnicas de investigación de suelos" (**tabla 41)**, tenemos que estos materiales son: **Suelos medios/ Suelos compactos duros.**

Además los golpes de las pruebas registrados en el ensayo de SPT han sido elevados, con valores de entre 46 a 75 golpes. Los estudios de compresión simple en este tipo de materiales resultan **Tc=** 2.51 Kg/cm^2.

Tabla 40. Valores de N_{SPT}, resistencia a la compresión simple y módulo de elasticidad (Modificada).

Tipo de Suelo	N_{SPT}	qu (Kn/m^2)	qu (Kp/cm^2)	E (MN/m^2)	E (kp/cm^2)/F=2
Suelos muy flojos o muy blandos	<10	0-80	0-0.82	<8	40.77
Suelos flojos o blandos	10-25	80-150	0.82-1.53	8-40	4.77-203.87
Suelos medios	25-50	150-300	1.53-3.06	40-100	203.87-509.68
Suelos compactos o duros	50-Rechazo	300-500	3.06-5.10	100-500	509.68-2548.42
Rocas blandas	Rechazo	500-5.000	5.10-50.97	500-8.000	2548.42-40774.67
Rocas duras	Rechazo	5.000-40.000	50.97-407.75	8.000-15.000	40774.67-76452.59
Rocas muy duras	Rechazo	>40.000	>407.75	>15.000	>76452.59

Tomado de José M. Noriega Rivera "Técnicas de investigación de Suelos: Elaboración e Interpretación de Estudios Geotécnicos".

Los valores de humedad obtenidos de estos suelos en los ensayos de laboratorio varían entre **36.94 % a 43.58%.**

Según González de Vallejo (2002), en su tabla sobre grados de expansividad y valores medios de parámetros geotécnicos **(ver Tabla 42)**, el material de la zona de estudio presenta una presión de hinchamiento de 125 - 300 kPa y un hinchamiento libre de 4 - 10 %, ubicándose este suelo en el grado de expansividad III, es decir que tienen una **EXPANSIVIDAD MEDIA A ALTA**.

Tabla 41. Grados de expansividad y valores medios de parámetros geotécnicos.

Grado	Expansividad	Finos %	Limite liquido (%)	Índice lambe (KPa)	Presión de hinchamiento (KPa)	Hinchamiento libre %
I	Baja	<30	<35	<80	<25	<1
II	Baja a media	30-60	35-50	80-150	25-125	1-4
III	Media a alta	60-95	50-65	150-230	125-300	4-10
IV	Muy alta	> 95	>65	>230	>300	>10

Tomado de González de Vallejo (2002).

- **Valoración Geológica-geotécnica**

Las valoraciones Geológicas-Geotécnicas se basan en la interrelación de criterios litológicos y propiedades físico-mecánicas de los geomateriales. Las condiciones geotécnicas son:

- ✓ Capacidad portante
- ✓ Deformabilidad
- ✓ Excavabilidad
- ✓ Morfología/ Relieve
- ✓ Tipo de material
- ✓ Drenaje

La valoración se da en rangos de 0 (menos favorable), a 2 (más favorable). La suma total nos permitirá categorizar los suelos aptos y no aptos para construir; para lo cual tenemos **≤ 5 puntos (deficiente), 6 – 9 puntos (aceptable), y > 9 puntos (bueno)**.

La valoración numérica depende de la experiencia y de las continuas salidas de campo:

Tabla 42. Valoración de los suelos en la zona de estudio.

CONDICIONES GEOTÉCNICAS	NEÓGENO - MIOCENO MEDIO (Areniscas, conglomerados y limolitas)
Capacidad Portante	1.5
Deformabilidad	1.5
Excavabilidad	2.0
Morfología	1.5
Tipo de Material	1.0
Drenaje	1.0
TOTAL	**8.5**
	ACEPTABLE

De acuerdo al perfil estratigráfico obtenido en la exploración del suelo, se determina que en la profundidad de 1.50 a 2.50 metros existe un estrato de suelo tipo **CL** de color café, identificado como material arcilloso de mediana plasticidad y de baja capacidad de soporte de cargas.

En la perforación y exploración realizada al sub-suelo se determinó que el material presenta características estables de suelo natural, además no se tiene la presencia de nivel freático.

En el análisis de la capacidad de carga se ha considerado la condición más crítica en cuanto a la consistencia del subsuelo y la posibilidad de falla de tipo general.

Se debe construir adecuadamente las instalaciones hidrosanitarias a fin de eliminar la posibilidad de fugas o descargas de agua y saturación del suelo, con lo cual lógicamente disminuirá la capacidad de soporte del suelo por la saturación. (Laboratorio “SUELOS & PAVIMENTOS”, 2015).

Teniendo en cuenta la valoración anterior, las areniscas, conglomerados y limolitas del MIOCENO MEDIO tienen una puntuación de **8.5** con una categoría de aceptable, por lo que se hace necesario realizar el cálculo de cimentación.

Datos:

Base de Cimentación o Zapatas (A)= 1.5 m x 1.5 m

Carga Muerta (CM)= 250 kg/m2

Carga Viva (CV)= 250 kg/m2

Carga Admisible (qa)= 29.58 Tn/m^2=2.96 kg/cm^2

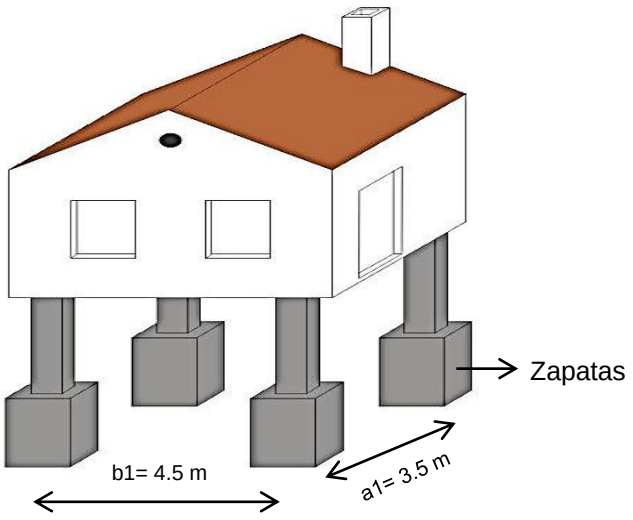


Figura 58. Distancias entre bases para el cálculo del Área Colaborante.

Tabla 43. Cálculo de Cimentación para construcciones.

Cálculo de Acimentación		
Parámetros	**Fórmula**	**Resultado**
Área Colaborante	$\boldsymbol{Ac} = a1 * b1$	15.75 m^2
Carga total	$\boldsymbol{C} = CM + CV$	500 kg/m^2
Carga total (Q)	$\boldsymbol{Q} = (C * Ac) * 4$	31.5 Tn
Relación Carga Vs. q Portante	$\mathrm{q} = \frac{Q}{A}$	$\mathrm{q} = 14\frac{ton}{m2} < \mathrm{qa} = 29.58\frac{ton}{m2}$
Cimentación	$\mathbf{A} = \frac{Q}{qadmisible}$	1.06 m^2

En donde:

Ac= Área colaborante

C= Carga total

Q= Carga total (Q)

A= Cimentación

Como se puede observar la carga admisible del suelo en el sector de estudio es de 29.58 Tn/m^2, por lo tanto para que este mismo suelo pueda soportar una edificación vertical de 4 pisos, se deben realizar cimentaciones de al menos 1.1 x 1.1 m, pero no se recomienda ya que la norma mínima estándar para cimentaciones es de 1.5 x 1.5 m. Con lo cual garantizamos que en la infraestructura no se producirá asentamientos.

6.3.3 Calculo de Factor de Seguridad

Para el cálculo del factor de seguridad se empleó la metodología del talud infinito en seco, saturado y de ábacos de Hoey y Brak (1981), como se observa a continuación:

$$\mathbf{Fs\ seco} = \frac{C'}{\gamma * H * cos2\beta * tg\beta} + \frac{tg\ \Theta}{tg\ \beta}$$

En dónde:

C'= Cohesión

ɣ= Peso específico del material

H= Altura del talud

θ= Angulo de fricción interna

β= Angulo de superficie talud

$$\textbf{Fs sat} = \frac{C'}{\gamma sat * H * cos2\beta * tg\beta} + \frac{\gamma' * tg\ \theta}{\gamma sat * tg\ \beta}$$

En dónde:

C'= Cohesión

ɣ= Peso específico

H= Altura del talud

θ= Angulo de Rozamiento Interno

β= Angulo de superficie talud

ɣsat= Peso específico saturado

Tabla 44. Tabla de cálculo de factor de seguridad en seco, saturado y ábacos.

Factor de Seguridad en Seco, Saturado y Ábacos							
Método del Talud Infinito (Seco)							
	C'	**ɣ**	**H**	**β**	**θ**		**Fs**
Deslizamiento 1	123.48 KN/m^2	26.46 KN/m^3	15 m	40°	43°		1.7
Deslizamiento 2	123.48 KN/m^2	26.46 KN/m^3	20 m	50°	43°		1.2
Deslizamiento 3	123.48 KN/m^2	26.46 KN/m^3	35 m	45°	43°		1.2
Método del Talud Infinito (Saturado)							
	C'	**ɣ**	**H**	**β**	**θ**	**ɣsat**	**Fs**
Deslizamiento 1	123.48 KN/m^2	26.46 KN/m^3	15 m	40°	43°	36.26 KN/m^3	1.2
Deslizamiento 2	123.48 KN/m^2	26.46 KN/m^3	20 m	50°	43°	36.26 KN/m^3	0.9
Deslizamiento 3	123.48 KN/m^2	26.46 KN/m^3	35 m	45°	43°	36.26 KN/m^3	0.8
Método de Ábacos (Hock y Bray)							
	C'	**ɣ**	**H**	**θ**	**R**	**X**	**Y**
Deslizamiento 1	123.48 KN/m^2	26.46 KN/m^3	15 m	43°	0.33	3.2	3.1
Deslizamiento 2	123.48 KN/m^2	26.46 KN/m^3	20 m	43°	0.25	2.4	2.4
Deslizamiento 3	123.48 KN/m^2	26.46 KN/m^3	35 m	43°	0.14	1.9	1.9

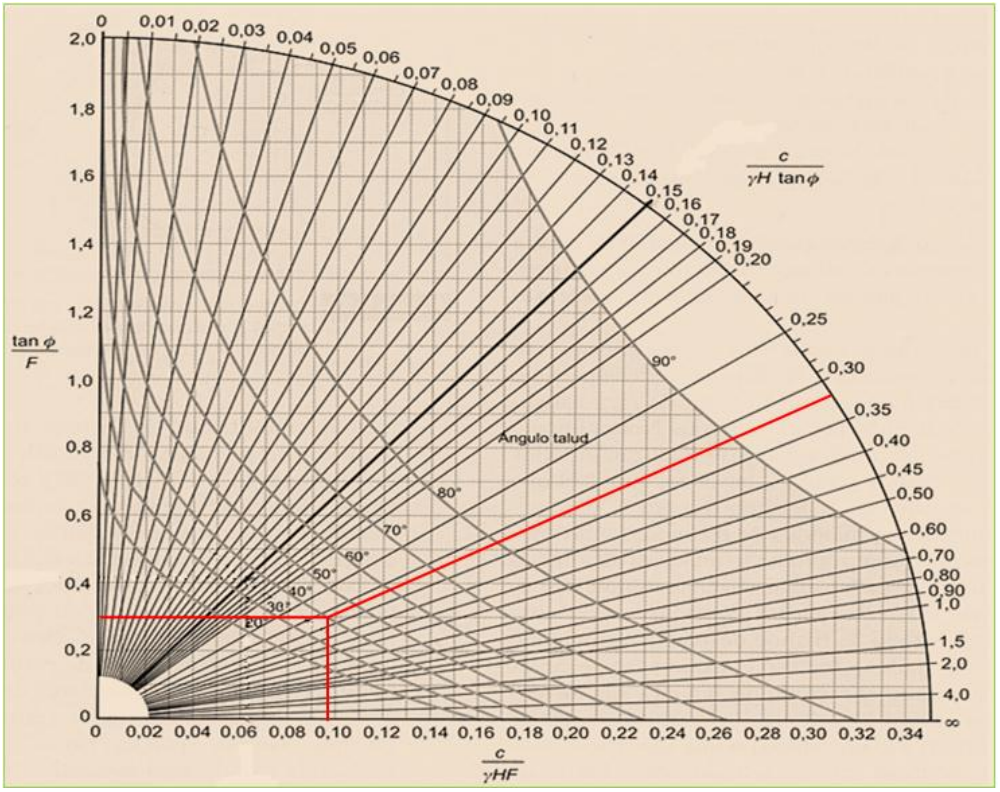


Figura 59. Abaco de factor de seguridad para el deslizamiento 1.
Tomado de Hock y Bray (1981).

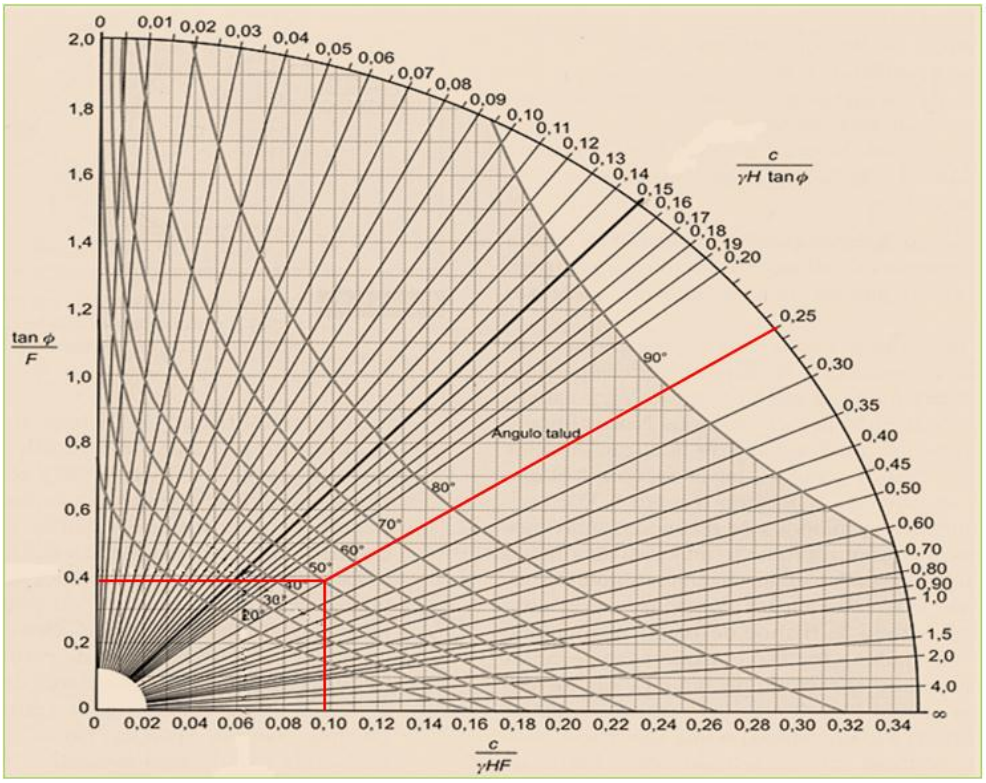


Figura 60. Abaco de factor de seguridad para el deslizamiento 2.
Tomado de Hock y Bray (1981).

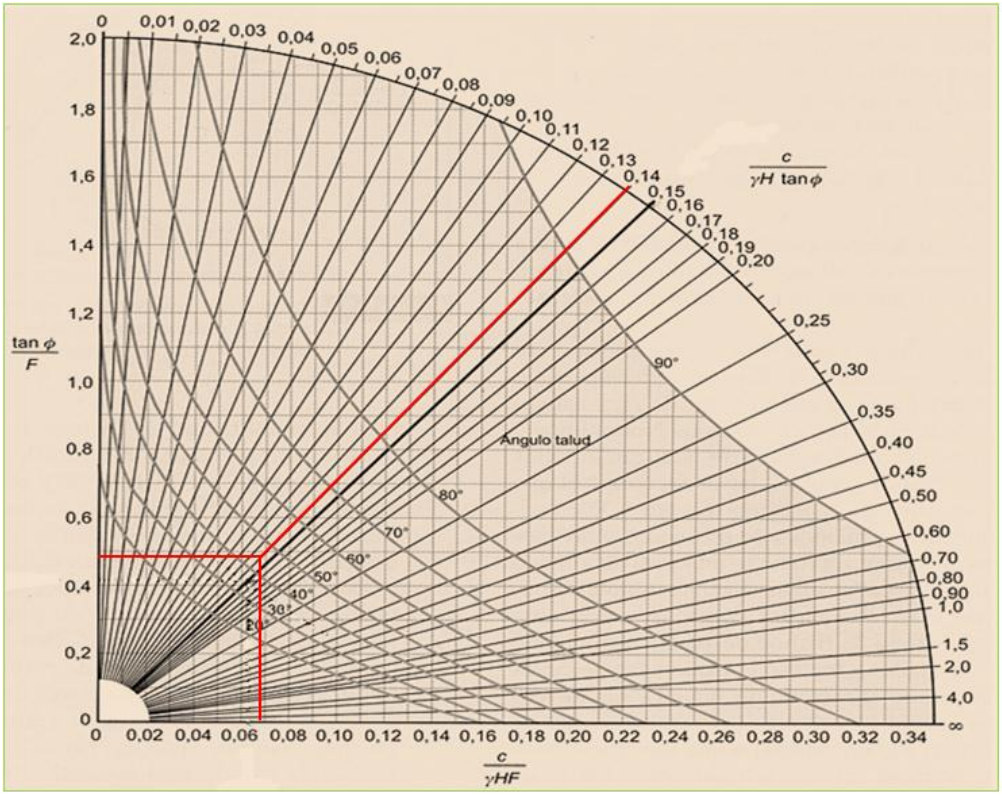


Figura 61. Abaco de factor de seguridad para el deslizamiento 3.
Tomado de Hock y Bray (1981).

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los mapas de susceptibilidad a deslizamientos mediante la aplicación del método heurístico y determinístico muestran que las zonas con mayor susceptibilidad a deslizamientos se presentan mayormente junto a la red hídrica del sector de estudio, abarcando además la región ocupada por los deslizamientos actuales en el sector.

Los resultados guardan una correcta correlación, puesto que abarcan los sectores de mayor pendiente, parámetro que se ha considerado en la asignación de pesos en el método heurístico, en función de los trabajos técnicos de campo realizados, ya que la topografía del sector ha jugado un papel decisivo en la ocurrencia de los deslizamientos actuales; así, uno de ellos se ha producido por el corte de apertura de la vía, lo cual ha generado una gran pendiente artificial; por otra parte, un segundo deslizamiento ha tenido lugar en un sector calificado como terreno escarpado a muy escapado según su pendiente natural.

El parámetro referente a agua no es considerado en la asignación de pesos, sin embargo, se constituye en un factor desencadenante en la ocurrencia de los deslizamientos. En los resultados obtenidos en los dos mapas de susceptibilidad se puede evidenciar que dos de los tres deslizamientos presentes están afectados por la pendiente así como por la presencia de agua en las quebradas que se encuentran junto a éstos.

Cabe mencionar que los resultados del estudio, representados en los mapas de susceptibilidad indican que la parte Sur-este del sector de estudio también presentan una mayor susceptibilidad a deslizamientos, geológicamente esta área pertenece a la formación La Banda, constituida principalmente por lutitas y calizas. Sin embargo, las campañas técnicas de reconocimiento han permitido evidenciar la estabilidad en los taludes de estas zonas, ya que el buzamiento de las discontinuidades está dirigido hacia el interior del talud.

Con la finalidad de corroborar la estabilidad de los geomateriales de la Formación La Banda en el sector, se ha realizado un análisis cinemático, ya que aspectos estructuras no son considerados directamente en la asignación de pesos. En función de la disposición de los estratos, cuyos planos de contacto se constituyen en las

discontinuidades, el mecanismo de rotura posible a presentarse al existir un desequilibrio de esfuerzos sería el mecanismo de vuelco. Las condiciones que deben cumplirse para que el mecanismo de vuelco sea viable se resumen a continuación:

1. El buzamiento de las discontinuidades debe tender hacia el interior del talud. Condición que puede ser expresada como:

La dirección del buzamiento de la discontinuidad debe ser igual a la dirección del buzamiento del talud ± 180°, con un rango de variación de ± 20°.

2. El polo del círculo máximo de la discontinuidad a volcarse debe tener una inmersión menor que la inclinación de la cara del talud menos el ángulo de fricción.

Los resultados obtenidos del análisis cinemático son resumidos en la tabla a continuación. Los ángulos de fricción interna de los geomateriales presentes, esto es, de las calizas (27,9°) y lutitas (20°) han sido tomados de trabajos de investigación científica (Schellart, 2000; Wyllie, 1996).

Tabla 45. Resultados obtenidos del análisis cinemático.

No. Afloram.	Tipo de material	Primera condición $D_{BUZ.DIS} = (D_{BUZ.TAL} \pm 180°) \pm 20$	Segunda condición $90° - B_{DIS} = B_{TAL} - \theta_F$	Viabilidad de mecanismo de rotura
1	Caliza	116 = 140 ± 20	73 ≤ 36.1	NO
9	Lutitas	92 = 60 ± 20	52 ≤ 20	NO
10	Caliza	92 = 120 ± 20	81 ≤ 60.1	NO

8. CONCLUSIONES

- Cada uno de los factores que intervienen en los deslizamientos como: Pendiente, Geología, Geomorfología y Uso actual del suelo fueron identificados y determinados en el área de estudio, los cuales sirvieron para el análisis final de susceptibilidad a deslizamientos.

- El levantamiento topográfico realizado en el campo a detalle a escala 1:5000, comprende un área total de 65.03 ha donde las cotas más bajas se ubican en la parte Este del sector, siendo de 2135 m. s. n. m, mientras que las más altas están en la parte Sur - Este de la vía con alturas hasta de 2260 m. s. n. m.

- Mediante el levantamiento geológico se pudo definir que el 97.35% del sector de estudio está sobre la Formación Trigal (MT) representada por arcillas, areniscas, limolitas y conglomerados de diferente tamaño, mientras que el 2.66% restante está situado en la Formación La Banda representada por lutitas, areniscas y calizas.

- En el mapa de Uso actual del Suelo se pudo determinar nueve categorías, de las cuales los pastos representan un 58.71% del área total, además se encuentran áreas denudadas, deslizamientos, zona para cultivos, vías secundaria y viviendas que representan el menor porcentaje con un 10% aproximadamente del sector de estudio.

- Con respecto a la geomorfología, el sector estudiado presenta un total de 6 geoformas, algunas con relieves muy pronunciados; la geoforma con mayor presencia es la de relieve colinado bajo ocupando el 57.6 % del área del sector, mientras que la de menor presencia es la de relieve colinado muy bajo con tan solo 0.58 %.

- Para el análisis de susceptibilidad a deslizamientos se empleó el método heurístico y determinístico, para lo cual en el método heurístico se asignaron pesos referentes a cada uno de los factores, en un rango de 1 a 5, de acuerdo a su importancia o influencia al momento que se pueda producir un deslizamiento; mientras que para el método determinístico se asignaron valores de calibración reales tomados a partir del estudio de SPT (Ensayo de Penetración Estándar).

- Finalmente se obtuvieron dos mapas de susceptibilidad a deslizamientos de la vía de integración barrial del sector Urna de la Virgen – barrio Panamá de la ciudad de Loja, a escala de impresión final 1: 5000, en el que se razonan cinco categorías de susceptibilidad: Muy baja, Baja, Moderada, Alta y Muy alta susceptibilidad para el método heurístico; Zona umbral más alto de la estabilidad, Zona umbral más bajo de la estabilidad, Casi estable, Moderadamente estable y Estable pare el método determinístico.

- El mapa de susceptibilidad del sector de estudio obtenido por el ***método heurístico*** muestra que el 30.4 % del sector tiene susceptibilidad Muy Baja, el 47.03 % susceptibilidad Baja, el 16.9 % susceptibilidad Moderada, 4.75 % susceptibilidad Alta y el 0.76 % tiene susceptibilidad Muy Alta; cabe mencionar que dentro de la susceptibilidad moderada, alta y muy alta se encuentran los tres deslizamientos.

- El mapa de susceptibilidad a deslizamientos obtenido mediante el ***método determinístico*** nos indica que el 15.85% del sector de estudio se encuentra dentro de la categoría Zona umbral más alto de la estabilidad, el 24.85% dentro la clase Zona umbral más bajo de la estabilidad, el 21.66% en la clase Casi estable, el 9.91% en la categoría Moderadamente estable y el 27.71% dentro de la categoría Estable.

- Se determinó la presencia de tres deslizamientos, de los cuales uno se encuentra dentro de la zona de susceptibilidad muy alta, otro (el de mayores dimensiones) en la zona de susceptibilidad moderada, alta, y muy alta, y el deslizamiento más pequeño en zonas de alta y muy alta susceptibilidad.

- Mediante la aplicación de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) se obtuvo como resultados la presencia de geomateriales de granulometría fina a media con un alta presencia de humedad y con resistividades que varían entre 3.87 a 148.6 Ohmios respectivamente.

- Mediante el estudio geológico – geotécnico realizado por medio del ensayo de penetración estándar (SPT) a una profundidad de 3.00 m, nos dio a conocer si los suelos a más de ser susceptibles a deslizamientos son aptos para la construcción de edificaciones urbanas, obteniendo como resultado arcillas de baja y alta

plasticidad con una capacidad portante de 29.58 ton/m^2 a una profundidad de 2 m, para lo cual se efectuó el cálculo de acimentación, determinando que se puede realizar zapatas de 1.1 x 1.1 m para viviendas de hasta cuatro pisos, pero esto no es recomendable ya que la normativa estándar mínima es de 1.5 x 1.5 m.

- Posteriormente se determinó el factor se seguridad de cada uno de los deslizamientos inventariados en diferentes escenarios del material (seco, saturado y ábacos), obteniéndose resultados favorables cuando los materiales no están saturados y no muy favorables cuando los materiales están completamente saturados, por lo que se hace necesario la ejecución medidas de estabilización y control.

- Los resultados obtenidos mediante del análisis cinemático nos indican que los geomateriales (lutitas y calizas) de la formación La Banda del sector de estudio son estables.

9. RECOMENDACIONES

- Realizar e inspeccionar los trabajos de campo como topografía, geología, geomorfología, sondeos eléctricos verticales y ensayo de penetración estándar de manera metódica y técnica, ya que son los factores más importantes sobre los cuales se desarrolla el modelo y análisis final de susceptibilidad a deslizamientos.

- Para obtener resultados más confiables y técnicos, de preferencia se debe realizar los sondeos eléctricos verticales (SEV) en terrenos firmes y planos o relativamente planos.

- Desarrollar más estudios geotécnicos mediante ensayos de penetración estándar y sondeos eléctricos verticales o diferentes métodos de exploración directa e indirecta, para determinar la capacidad portante de los suelos, ya que en la actualidad estos sectores se encuentran en pleno auge de expansión urbana.

- Facilitar y difundir la información técnica de este proyecto a los habitantes del lugar sobre el comportamiento de estos terrenos con respecto a las construcciones civiles y el riesgo que generan al cimentar edificaciones de manera anti técnica.

- Se debe trabajar continuamente con la información más actualizada con el afán de obtener resultados lo más objetivos posibles y acorde a la realidad de estos sectores, para mejorar la calidad de vida de los moradores y por ende de la ciudad y país.

- Los resultados obtenidos en este trabajo deberían ser considerados como una herramienta de apoyo fundamental en la toma de decisiones por parte de las autoridades pertinentes al momento de emitir permisos para la construcción de cualquier tipo de obra en las zonas que se han identificado como de alta y muy alta susceptibilidad a deslizamientos.

- De encontrarse con otros sectores o terrenos con similares condiciones y características en relieve, geología, clima y geomorfología, se debería considerar y aplicar la metodología empleada en este proyecto con el fin de obtener resultados que permitan la disminución de desastres producto de los deslizamientos.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, F. (2006) Ensayo metodológico para la evaluación y zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, cuenca de Loja. Director: Ing. Galo Plaza. Tesis de Ingeniero. Escuela de Ingeniería. EPN, Quito.
- Alcántara, I. (2000). “Los deslizamientos de tierra” ¿Deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, Clasificación y Terminología, México. 19 pp.
- Aranha Domínguez, F. A. (1979) “Topografía y astronomía posición a Ingenieros y Arquitectos”. Editorial McGraw - Hill. Sao Paulo.
- Ayala-Carcedo y J. Corominas (2002), Ingeniería Geoambiental. Análisis delos Conceptos Fundamentales de Riesgos y Aplicación a la definición de tipos de mapas de riesgos geológicos. Boletín Geológico y Minero, pp. 108-119.
- BARREDO CANO (2001): V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Madrid.
- Belousov, V. 1974 “Geología Estructural”, Editorial MIR, Moscú.
- Bemmelen, R.W. 1961. “El Carácter Científico de la geología", Revista de la geología, 63p
- Berry, J.K. "Learning Computer Assisted Map Analysis" in Geographic Information Systems Report, Part III (October 1986).
- BORCOSQUE, J., 1997 Ms. Apuntes sobre Sistemas de Información Geográficos. Material de Clases. Departamento de Ingeniería Geográfica, Universidad de Santiago de Chile.
- Bosque S. (1992) Sistemas de información geográfica. Ediciones Rialp, Madrid. España. 326 pp.
- Brabb, E. (1989) “Enfoques innovadores del peligro de deslizamientos y Mapas de Riesgo”. En: IV Simposio Internacional sobre Deslizamientos, vol.1 Toronto. pp. 307-323.

- Brunsden, D. (1979). “Los movimientos de masas”, (In: Embleton, C.E. y J.B.Thornes (ed.), Avances en Geomorfología), Arnold. pp. 130-186.
- Casagrande, A., Fadum, R. E. "Notes on Soil Testing for Engineering Purposes". Harward Universit Graduate School Engineering Pulication; Massachusetts:1940.
- Castellanos, E. (2008). “Multi-scale landslide risk assessment in Cuba”. Ph.D. Thesis. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands. 273 pp
- Castellanos, E. y van Westen, C. (2001). “Landslide hazard assessment using the heuristic model”. Memorias. IV Taller Internacional de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. La Habana, Cuba (19 al 23 de marzo).
- CARRARA, A.; CARDINALI, M; GUZZETTI, F.Y REICHENBACH, P., “GIS technology in mapping landslide hazard.”. En: Carrara A, Guzzetti F (Eds) Geographical information systems in assessing natural hazards, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. 135-175 p. 1995.
- Cruden, D.and Varnes, D. (1996) “Tipos y procesos de deslizamientos de tierra ". En: Turner, K., y Schuster, R. edición, Deslizamientos investigación y mitigación: Washington DC, USA. Informe Especial 247. pp 36–75.
- Das, B. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica. (I. Bernal Carreño, Trad.) D.F., México: Thomson Learning.
- Dolffus, O. 1973. La cordillére des Andes. Présentation des problémes Géomorphologiques. Rev. Geog. Phys. et Geol. Dyn. (15) 1-2, 157-176.
- E. Alonso, J. Corominas y M. Hürlimann (2013). Simposio sobre laderas y taludes inestables. Volumen I. Palma de Mallorca 2013.
- Edison Navarrete, 2005. “Apuntes de Geología General”. Documento pdf.
- Escobar, Duque. 2013. “Manual de geología para Ingenieros”. Geomorfología. Universidad de Colombia. Manizales 479 p.
- FERRER, M., “Deslizamientos, desprendimientos, flujos y avalanchas”. Serie Geología Ambiental. Riesgos Geológicos. I.G.M.E. Madrid. 175-192 p. 1987.

- GARCIA MARTIN, Antonio. 1994. Topografía básica para ingenieros. Servicio de Publicaciones, Universidad de Murcia. España.Murcia.
- Geomorfología de Thornbury; Diccionario de Geología y Mineralogía de Ediciones Rioduero; Geografía Física de Venezuela de A. Cárdenas; Compendio de Geomorfología de Venezuela de J.E. Santiago.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L., FERRER, M., ORTUÑO, L., OTEO C. (2002). Ingeniería geológica. Pearson educación. Madrid.
- Hoek, E. y Bray, J.W. 1981. "Roca ingeniería pendiente". Institución de Minería y Metalurgia. Londres.
- Hutchinson, J. (1988): “General report. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to Geology and Hydrogeology”. In Bonnard, C. (ed.), Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, vol. l. pp. 3-35.
- Janssen y Van Herwijnen, 1994. “Pesos de criterios usando el Método de Suma de Rango”. Apoyo de decisión multiobjetivo a dirección ambiental. Decisiones definidas.
- JAUREGUI, Luis. 1.997. Introducción a la Topografía. México. Documento pdf.
- Jiménez, F. 2002. Maestría en manejo de cuencas hidrográficas, manejo de desastres naturales. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 288 p.
- Keefer, D. K., (1984) “Los deslizamientos de tierra causados por los terremotos ". Geol. Soc. Am. Bull. 95. pp 406-421.
- Lomtadze V. D. (1977) “Geología aplicada a la ingeniería. Geodinámica aplicada a la ingeniería”, Ed. Pueblo y Educación. La Habana. Cuba. 560 pp.
- López Marinas, J. M. (2000). Geología aplicada a la ingeniería civil. Ed. Ciedossat 2000. Madrid.
- Lorenzo Borselli (2014). Introducción general al Curso de GEOTECNIA I.

- MALDONADO, N.; VIVAR, F.; VÉLEZ, J. 2005. Escenario natural de la cultura de Loja. Editorial Gustavo A. Serrano. Loja, Ecuador.
- MARTÍNEZ T, Mercado E. 1992. Manual de Investigación Urbana. Editorial Trillas. México D.F.
- NESTA (National Earth Science Teachers Association), 2012. Portal: http://windows2universe.org/
- Orellana, E (1982). Prospección Eléctrica por corriente continua. Editorial Paraninfo, Madrid. 523 pp.
- Sarkar, S., Kanungo, D.P. (2004) "An integrated approach for landslie susceptibility mapping using remote sensing and GIS". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70: pp. 617-625.
- Schellart W.P. (2000). Shear test results for cohesion and friction coefficients for different granular materials: scaling implications for their usage in analogue modelling. Tectonophysics 324, 1–16.
- Sierra, R. (Ed.). 1999. "Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental". Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia. Quito, Ecuador.
- Suárez J. 2009 "Deslizamientos Volumen 1: Análisis Geotécnico" Primera edición.
- TAMBO, Walter; "ESTUDIO DEL PELIGRO DE DESLIZAMIENTO DEL NORTE DE LA CIUDAD DE LOJA, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR"; Universidad de la Habana, Facultad de Geografía, 2011, La Habana – Cuba.
- Terzaghi, K. (1950)."Mechanisms of landslides". Geol. Soc. Am., Berkeley. CA. USA Volume. pp. 83-123.
- Van Westen, C. (1994) "Aplicación del Sistema de Información Geográfica para la zonificación del peligro de deslizamiento".
- Varnes, D. (1984). "Landslide hazard zonation", A Review of principles and practice. UNESCO Press. Paris. France. pp. 1- 63.

- Varnes, DJ 1978. “Tipos de movimientos de pendiente y procesos. En: Informe Especial 176: Análisis y Control” (Eds: Schuster, RL y Krizek, RJ). Transporte y Carretera la Junta de Investigación de la Academia Nacional de Ciencias, Washington DC, 11-33.

- Wyllie D.C., (1996) Norrish N.I. “Rock Strength properties and their measurement” Landslides Investigation and mitigation Special Report 247 Transportation research Board Washington, pp. 373-390.

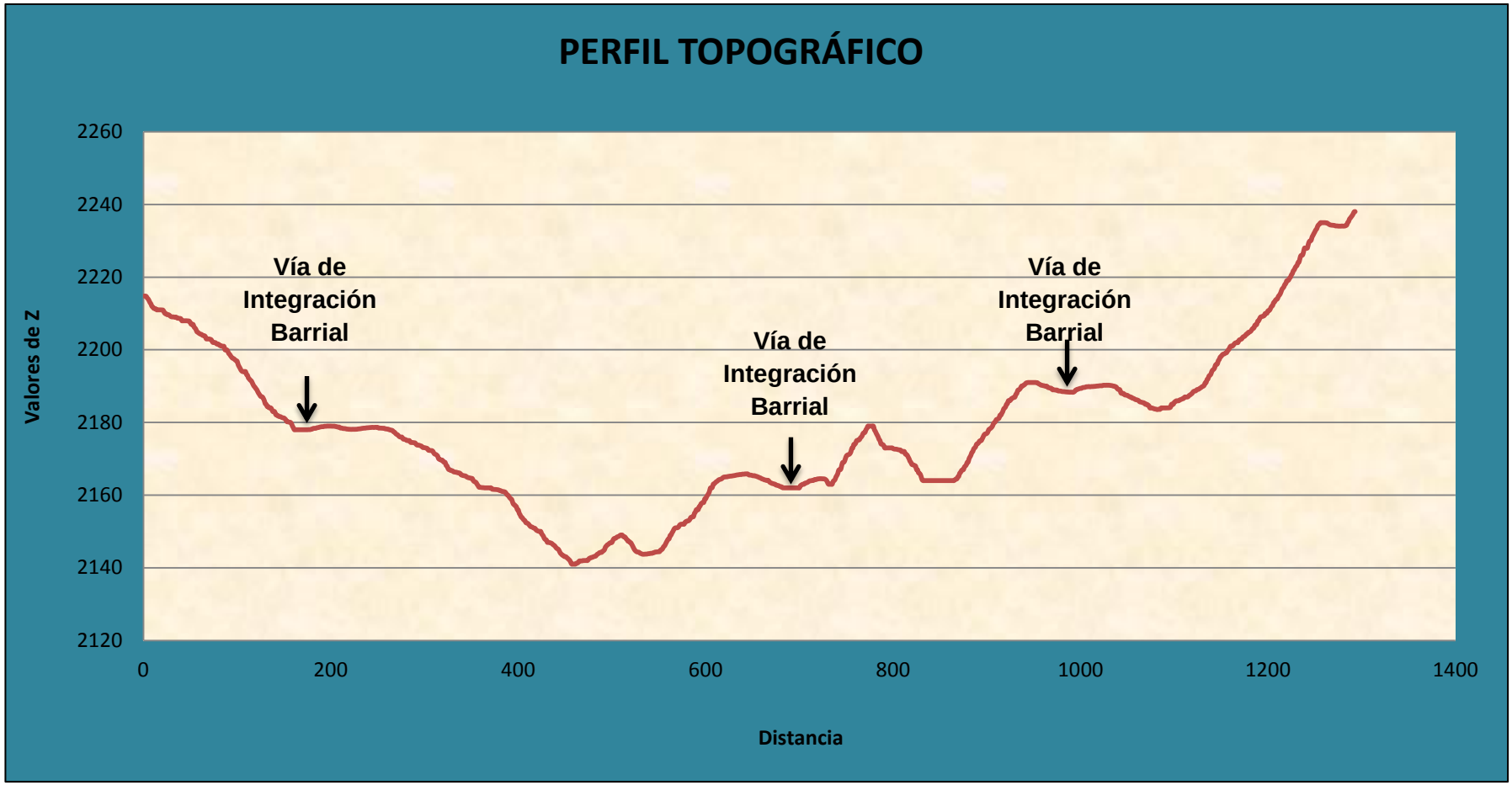
ANEXOS

Anexo 1

MAPA TOPOGRÁFICO

Anexo 2

PERFÍL TOPOGRÁFICO


PERFIL TOPOGRÁFICO
Valores de Z
2260
2240
2220
2200
2180
2160
2140
2120
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
Distancia
Vía de Integración Barrial
Vía de Integración Barrial
Vía de Integración Barrial

Anexo 3

MAPA DE PENDIENTES

Anexo 4

MAPA DE GEOLOGÍA REGIONAL

Anexo 5

Descripción de afloramientos en el Sector Urna de la Virgen – barrio Panamá

Anexo 5.1. Ficha técnica para la descripción detallada del afloramiento 1.

LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

AFLORAMIENTO N°: 1	
FECHA: 19/03/2015	
COORDENADAS: **X:** 695683	**Y:** 9559529 **Z:** 2251
DIMENSIONES (h): 15x20 m	
RELIEVE: Llano ☐ Bajo ■ De Colinas ☐ Montañoso ☐	
VEGETACIÓN: Exuberante ☐ Escasa ■	
FORMACIÓN: La Banda	
AFLORAMIENTO: Artificial ■ Natural ☐	

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

POTENCIA (m)	N° DE CAPAS	LITOLOGIA	ORIENTACIÓN	METEORIZACIÓN		
				Bajo	Medio	Alto
0.5	1	Suelo				X
14.5	2	Lutitas			X	

Descripción Geológica

Se observa una capa de suelo orgánico en la parte superior, seguido de material sedimentario (lutitas) con una alta presencia de cárcavas, cabe mencionar que no se puede observar todo el perfil del afloramiento debido a que está cubierto mayormente por material erosionado del mismo.

USO DEL SUELO									
TIPO DE SUELO:	**SUELOS RESIDUALES:**		**SEDIMENTARIO:** X		**COLUVIAL:**		**COLUVIÓN:**		
FACTORES DE EROSIÓN:	**LLUVIA:** X		**SOL:** X		**VIENTO:** X		**HELADAS:**		
PENDIENTE (°):	**HORIZONTAL < 10°:**		**INCLINADO 10° - 35° :**		**TUMBADO 36° - 60°:** X		**ABRUPTO > 60°:**		
USOS:	**SEMBRADOS**	**GANADERÍA**	**RECREACIÓN**	**ZONA INDUSTRIAL**	**VIVIENDAS**	**VÍAS** X	**MINERÍA**	**ÁREA PROTEGIDA**	**ZONA ARQUEOLÓGICA**

Anexo 5.2. Ficha técnica para la descripción detallada del afloramiento 2.

LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

AFLORAMIENTO N°: 2				
FECHA: 19/03/2015				
COORDENADAS:	**X:** 695944	**Y:** 9559670	**Z:** 2245	
DIMENSIONES (h): 8x15 m				
RELIEVE: Llano ☐	Bajo ■	De Colinas ☐	Montañoso ☐	
VEGETACIÓN: Exuberante ☐	Escasa ■			
FORMACIÓN: La Banda				
AFLORAMIENTO: Artificial ■	Natural ☐			

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

POTENCIA (m)	N° DE CAPAS	LITOLOGIA	ORIENTACIÓN	METEORIZACIÓN		
				Bajo	Medio	Alto
0.20	1	Suelo	**Azimut:** 026° **Buzamiento:** 17° **Dirección de Buzamiento:** 116° SE			X
4.80	2	Lutitas			X	
3.00	3	Calizas			X	

Descripción Geológica

Es un afloramiento estructurado completamente por calizas masivas de color gris oscuro de la formación La Banda como se observa en la figura a), estos estratos de calizas tienen buzamiento en sentido S-E, figura b).

USO DEL SUELO										
TIPO DE SUELO:	**SUELOS RESIDUALES:**		**SEDIMENTARIO:** X		**COLUVIAL:**			**COLUVIÓN:**		
FACTORES DE EROSIÓN:	**LLUVIA:** X		**SOL:** X		**VIENTO:** X			**HELADAS:**		
PENDIENTE (°):	**HORIZONTAL < 10°:**		**INCLINADO 10° - 35° :**		**TUMBADO 36° - 60°:**			**ABRUPTO > 60°:** X		
USOS:	**SEMBRADOS**	**GANADERÍA**	**RECREACIÓN**	**ZONA INDUSTRIAL**	**VIVIENDAS**	**VÍAS** X		**MINERÍA**	**ÁREA PROTEGIDA**	**ZONA ARQUEOLÓGICA**

Anexo 5.3. Ficha técnica para la descripción detallada del afloramiento 3.

LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

AFLORAMIENTO N°: 3	
FECHA: 19/03/2015	
COORDENADAS: **X:** 696063	**Y:** 9559819 **Z:** 2259
DIMENSIONES (h): 3 x 10 m	
RELIEVE: Llano ☐ Bajo ☐	De Colinas ■ Montañoso ☐
VEGETACIÓN: Exuberante ■	Escasa ☐
FORMACIÓN: La Banda	
AFLORAMIENTO: Artificial ■	Natural ☐

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

POTENCIA (m)	N° DE CAPAS	LITOLOGIA	ORIENTACIÓN	METEORIZACIÓN		
				Bajo	Medio	Alto
0.40	1	Suelo	**Azimut:** 002° **Buzamiento:** 38° **Dirección de Buzamiento:** 92° SE			X
2.60	2	Lutitas			X	

Descripción Geológica

En el siguiente afloramiento se observa una capa de suelo orgánico en la parte superior seguida de estratos de lutitas de coloración intercalada de café claro y gris claro de la formación La Banda, estos estratos están buzando en sentido S-E.

USO DEL SUELO										
TIPO DE SUELO:	**SUELOS RESIDUALES:**		**SEDIMENTARIO:** X		**COLUVIAL:**			**COLUVIÓN:**		
FACTORES DE EROSIÓN:	**LLUVIA:** X		**SOL:** X		**VIENTO:** X			**HELADAS:**		
PENDIENTE (°):	**HORIZONTAL < 10°:**		**INCLINADO 10° - 35° :** X		**TUMBADO 36° - 60°:**			**ABRUPTO > 60°:**		
USOS:	**SEMBRADOS**	**GANADERÍA** X	**RECREACIÓN**	**ZONA INDUSTRIAL**	**VIVIENDAS** X	**VÍAS**	**MINERÍA**	**ÁREA PROTEGIDA**	**ZONA ARQUEOLÓGICA**	

Anexo 5.4. Ficha técnica para la descripción detallada del afloramiento 4.

LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

AFLORAMIENTO N°: 4				
FECHA: 19/03/2015				
COORDENADAS:	**X:** 695997	**Y:** 9559806	**Z:** 2231	
DIMENSIONES (h): 3 x 2 m				
RELIEVE: Llano ☐	Bajo ☐	De Colinas ■	Montañoso ☐	
VEGETACIÓN: Exuberante ■	Escasa ☐			
FORMACIÓN: La Banda				
AFLORAMIENTO: Artificial ■	Natural ☐			

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

POTENCIA (m)	N° DE CAPAS	LITOLOGIA	ORIENTACIÓN	METEORIZACIÓN		
				Bajo	Medio	Alto
0.5	1	Suelo	**Azimut:** 002° **Buzamiento:** 9° **Dirección de Buzamiento:** 92° SE			X
2.5	2	Calizas			X	

Descripción Geológica

Compuesto principalmente de calizas bandeadas de coloración gris claro, este afloramiento presenta además una capa superior de suelo orgánico con abundante vegetación, están buzando además en sentido S-E.

USO DEL SUELO										
TIPO DE SUELO:	**SUELOS RESIDUALES:**		**SEDIMENTARIO:** X		**COLUVIAL:**			**COLUVIÓN:**		
FACTORES DE EROSIÓN:	**LLUVIA:** X		**SOL:** X		**VIENTO:** X			**HELADAS:**		
PENDIENTE (°):	**HORIZONTAL < 10°:**		**INCLINADO 10° - 35° :**		**TUMBADO 36° - 60°:** X			**ABRUPTO > 60°:**		
USOS:	**SEMBRADOS** X	**GANADERÍA** X	**RECREACIÓN**	**ZONA INDUSTRIAL**	**VIVIENDAS**	**VÍAS**	**MINERÍA**	**ÁREA PROTEGIDA**	**ZONA ARQUEOLÓGICA**	

Anexo 5.5. Ficha técnica para la descripción detallada del afloramiento 5.

LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

AFLORAMIENTO N°: 5	
FECHA: 19/03/2015	
COORDENADAS: **X:** 696063	**Y:** 9559952 **Z:** 2209
DIMENSIONES (h): 2 x 1 m	
RELIEVE: Llano ☐ Bajo ☐	De Colinas ■ Montañoso ☐
VEGETACIÓN: Exuberante ■	Escasa ☐
FORMACIÓN: La Banda	
AFLORAMIENTO: Artificial ☐	Natural ■

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

POTENCIA (m)	N° DE CAPAS	LITOLOGIA	ORIENTACIÓN	METEORIZACIÓN		
				Bajo	Medio	Alto
1.00	1	Suelo				X
0.80	2	Calizas			X	

Descripción Geológica

Es un pequeño afloramiento estructurado por una capa de suelo orgánico en la parte superior y estratos de calizas bandeadas de coloración gris pálida pertenecientes a la formación La Banda.

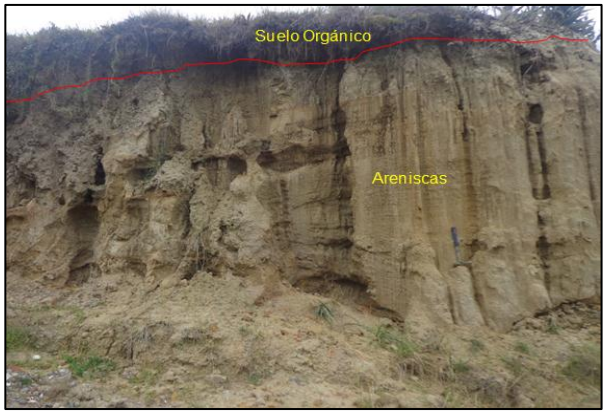
USO DEL SUELO									
TIPO DE SUELO:	**SUELOS RESIDUALES:**		**SEDIMENTARIO:** X		**COLUVIAL:**		**COLUVIÓN:**		
FACTORES DE EROSIÓN:	**LLUVIA:** X		**SOL:**		**VIENTO:**		**HELADAS:**		
PENDIENTE (°):	**HORIZONTAL < 10°:**		**INCLINADO 10° - 35° :** X		**TUMBADO 36° - 60°:**		**ABRUPTO > 60°:**		
USOS:	**SEMBRADOS** X	**GANADERÍA** X	**RECREACIÓN**	**ZONA INDUSTRIAL**	**VIVIENDAS**	**VÍAS**	**MINERÍA**	**ÁREA PROTEGIDA**	**ZONA ARQUEOLÓGICA**

Anexo 5.6. Ficha técnica para la descripción detallada del afloramiento 6.

LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

AFLORAMIENTO N°: 6	
FECHA: 19/03/2015	
COORDENADAS: **X:** 695808	**Y:** 9560294 **Z:** 2161
DIMENSIONES (h): 4 x 10 m	
RELIEVE: Llano ☐ Bajo ■	De Colinas ☐ Montañoso ☐
VEGETACIÓN: Exuberante ☐ Escasa ■	
FORMACIÓN: Trigal	
AFLORAMIENTO: Artificial ■	Natural ☐



PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

POTENCIA (m)	N° DE CAPAS	LITOLOGIA	ORIENTACIÓN	METEORIZACIÓN		
				Bajo	Medio	Alto
0.50	1	Suelo				X
3.00	2	Arenisca			X	

Descripción Geológica

Se observa en este afloramiento una capa de suelo orgánico en la parte superior con escasa vegetación, y material de areniscas de color café claro con una alta presencia de cárcavas.

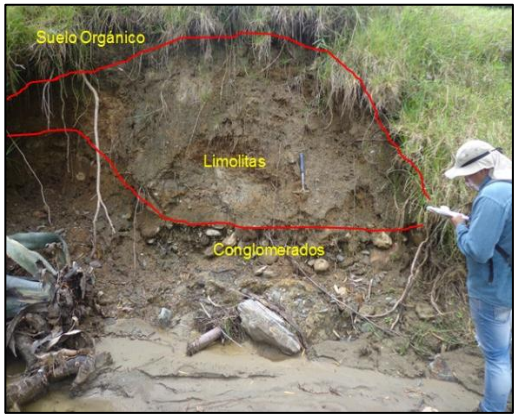
USO DEL SUELO										
TIPO DE SUELO:	**SUELOS RESIDUALES:**		**SEDIMENTARIO:** X		**COLUVIAL:**			**COLUVIÓN:**		
FACTORES DE EROSIÓN:	**LLUVIA:** X		**SOL:** X		**VIENTO:** X			**HELADAS:**		
PENDIENTE (°):	**HORIZONTAL < 10°:**		**INCLINADO 10° - 35° :**		**TUMBADO 36° - 60°:** X			**ABRUPTO > 60°:**		
USOS:	**SEMBRADOS** X	**GANADERÍA**	**RECREACIÓN**	**ZONA INDUSTRIAL**	**VIVIENDAS**	**VÍAS** X		**MINERÍA**	**ÁREA PROTEGIDA**	**ZONA ARQUEOLÓGICA**

Anexo 5.7. Ficha técnica para la descripción detallada del afloramiento 7.

LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

AFLORAMIENTO N°: 7	
FECHA: 19/03/2015	
COORDENADAS: **X:** 695771	**Y:** 9560475 **Z:** 2137
DIMENSIONES (h): 3 x 5 m	
RELIEVE: Llano ☐ Bajo ☐	De Colinas ■ Montañoso ☐
VEGETACIÓN: Exuberante ■	Escasa ☐
FORMACIÓN: Trigal	
AFLORAMIENTO: Artificial ☐	Natural ■



PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

POTENCIA (m)	N° DE CAPAS	LITOLOGIA	ORIENTACIÓN	METEORIZACIÓN		
				Bajo	Medio	Alto
0.5	1	Suelo				X
1.2	2	Limolitas			X	
0.3	3	Conglomerados			X	

Descripción Geológica

Este afloramiento se encuentra ubicado al margen izquierdo de la quebrada Cóndor Guaza, está estructurado por una capa de suelo orgánico, limolitas y un estrato de conglomerados con matriz arcillo-arenosa de color gris claro.

USO DEL SUELO										
TIPO DE SUELO:	**SUELOS RESIDUALES:**		**SEDIMENTARIO:** X		**COLUVIAL:**			**COLUVIÓN:**		
FACTORES DE EROSIÓN:	**LLUVIA:** X		**SOL:** X		**VIENTO:** X			**HELADAS:**		
PENDIENTE (°):	**HORIZONTAL < 10°:**		**INCLINADO 10° - 35° :** X		**TUMBADO 36° - 60°:**			**ABRUPTO > 60°:**		
USOS:	**SEMBRADOS**	**GANADERÍA** X	**RECREACIÓN**	**ZONA INDUSTRIAL**	**VIVIENDAS**	**VÍAS**	**MINERÍA**	**ÁREA PROTEGIDA**	**ZONA ARQUEOLÓGICA**	

Anexo 5.8. Ficha técnica para la descripción detallada del afloramiento 8.

LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

AFLORAMIENTO N°: 8	
FECHA: 19/03/2015	
COORDENADAS: **X:** 695227	**Y:** 9560791 **Z:** 2228
DIMENSIONES (h): 3 x 5 m	
RELIEVE: Llano ☐ Bajo ☐	De Colinas ■ Montañoso ☐
VEGETACIÓN: Exuberante ■	Escasa ☐
FORMACIÓN: Trigal	
AFLORAMIENTO: Artificial ☐	Natural ■

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

POTENCIA (m)	N° DE CAPAS	LITOLOGIA	ORIENTACIÓN	METEORIZACIÓN		
				Bajo	Medio	Alto
0.50	1	Suelo				X
1.0	2	Arenisca			X	

Descripción Geológica

En este afloramiento ubicado en la parte extrema Nor-Oeste del sector está estructurado principalmente por areniscas de grano grueso con presencia de óxidos de hierro, y una capa de suelo orgánico en la parte superior.

USO DEL SUELO										
TIPO DE SUELO:	**SUELOS RESIDUALES:**		**SEDIMENTARIO:** X		**COLUVIAL:**			**COLUVIÓN:**		
FACTORES DE EROSIÓN:	**LLUVIA:** X		**SOL:** X		**VIENTO:** X			**HELADAS:**		
PENDIENTE (°):	**HORIZONTAL < 10°:**		**INCLINADO 10° - 35° :** X		**TUMBADO 36° - 60°:**			**ABRUPTO > 60°:**		
USOS:	**SEMBRADOS** X	**GANADERÍA**	**RECREACIÓN**	**ZONA INDUSTRIAL**	**VIVIENDAS**	**VÍAS**	**MINERÍA**	**ÁREA PROTEGIDA**	**ZONA ARQUEOLÓGICA**	

Anexo 5.9. Ficha técnica para la descripción detallada del afloramiento 9.

LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

AFLORAMIENTO N°: 9	
FECHA: 19/03/2015	
COORDENADAS: **X:** 695330	**Y:** 9560450 **Z:** 2190
DIMENSIONES (h): 5 x 15 m	
RELIEVE: Llano ☐ Bajo ☐	De Colinas ■ Montañoso ☐
VEGETACIÓN: Exuberante ■	Escasa ☐
FORMACIÓN: Trigal	
AFLORAMIENTO: Artificial ■	Natural ☐

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

POTENCIA (m)	N° DE CAPAS	LITOLOGIA	ORIENTACIÓN	METEORIZACIÓN		
				Bajo	Medio	Alto
0.30	1	Suelo				X
4.70	2	Lutitas			X	

Descripción Geológica

Este afloramiento está estructurado por una capa de suelo orgánico, seguido de conglomerados con clastos angulosos de color café oscuro y con diámetros de 2 a 5 cm, existe la presencia de óxidos de hierro.

USO DEL SUELO										
TIPO DE SUELO:	**SUELOS RESIDUALES:**		**SEDIMENTARIO:** X		**COLUVIAL:**			**COLUVIÓN:**		
FACTORES DE EROSIÓN:	**LLUVIA:** X		**SOL:** X		**VIENTO:** X			**HELADAS:**		
PENDIENTE (°):	**HORIZONTAL < 10°:**		**INCLINADO 10° - 35° :** X		**TUMBADO 36° - 60°:**			**ABRUPTO > 60°:**		
USOS:	**SEMBRADOS**	**GANADERÍA** X	**RECREACIÓN**	**ZONA INDUSTRIAL**	**VIVIENDAS**	**VÍAS**	**MINERÍA**	**ÁREA PROTEGIDA**	**ZONA ARQUEOLÓGICA**	

Anexo 5.10. Ficha técnica para la descripción detallada del afloramiento 10.

LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

AFLORAMIENTO N°: 10	
FECHA: 19/03/2015	
COORDENADAS: **X:** 695391	**Y:** 9560336 **Z:** 2167
DIMENSIONES (h): 7 x 5 m	
RELIEVE: Llano ☐ Bajo ☐	De Colinas ■ Montañoso ☐
VEGETACIÓN: Exuberante ■	Escasa ☐
FORMACIÓN: Trigal	
AFLORAMIENTO: Artificial ☐	Natural ■

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

POTENCIA (m)	N° DE CAPAS	LITOLOGIA	ORIENTACIÓN	METEORIZACIÓN		
				Bajo	Medio	Alto
0.50	1	Suelo				X
6.50	2	Arenisca			X	

Descripción Geológica

Ubicado en al margen derecho de la quebrada Cóndor Guaza, es un afloramiento estructurado por una capa en la parte superior de suelo orgánico, y areniscas de color café oscuro con alto grado de erosión.

USO DEL SUELO									
TIPO DE SUELO:	**SUELOS RESIDUALES:**		**SEDIMENTARIO:** X		**COLUVIAL:**			**COLUVIÓN:**	
FACTORES DE EROSIÓN:	**LLUVIA:** X		**SOL:** X		**VIENTO:** X			**HELADAS:**	
PENDIENTE (°):	**HORIZONTAL < 10°:**		**INCLINADO 10° - 35° :**		**TUMBADO 36° - 60°:** X			**ABRUPTO > 60°:**	
USOS:	**SEMBRADOS**	**GANADERÍA** X	**RECREACIÓN**	**ZONA INDUSTRIAL**	**VIVIENDAS**	**VÍAS**	**MINERÍA**	**ÁREA PROTEGIDA**	**ZONA ARQUEOLÓGICA**

Anexo 5.11. Ficha técnica para la descripción detallada del afloramiento 11.

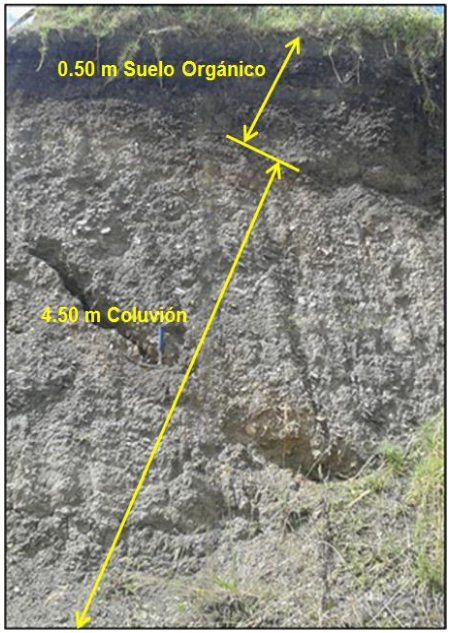
LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

AFLORAMIENTO N°: 11	
FECHA: 19/03/2015	
COORDENADAS: **X:** 695455 **Y:** 9560420 **Z:** 2192	
DIMENSIONES (h): 5 x 5 m	
RELIEVE: Llano ☐ Bajo ■ De Colinas ☐ Montañoso ☐	
VEGETACIÓN: Exuberante ☐ Escasa ■	
FORMACIÓN: Trigal	
AFLORAMIENTO: Artificial ■ Natural ☐	

Descripción Geológica

Este afloramiento en un coluvión que está ubicado en la parte extrema Norte del sector de estudio, el mismo que está estructurado principalmente una capa de suelo orgánico y conglomerados con clastos de diferentes tamaños y matriz limo-arenosa.



PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

POTENCIA (m)	N° DE CAPAS	LITOLOGIA	ORIENTACIÓN	METEORIZACIÓN		
				Bajo	Medio	Alto
0.50	1	Suelo				X
4.50	2	Coluvión			X	

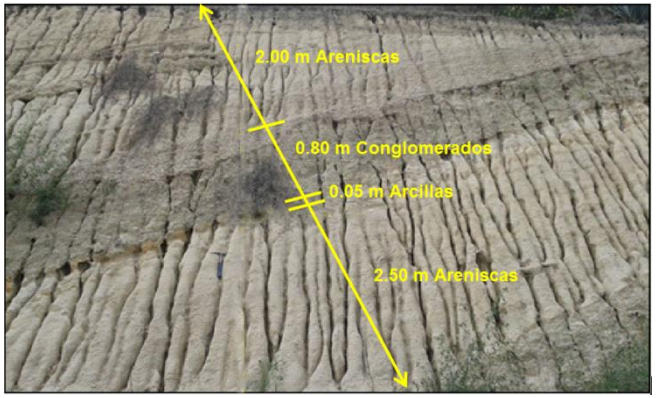
USO DEL SUELO										
TIPO DE SUELO:	**SUELOS RESIDUALES:**		**SEDIMENTARIO:**		**COLUVIAL:**		**COLUVIÓN:** X			
FACTORES DE EROSIÓN:	**LLUVIA:** X		**SOL:** X		**VIENTO:** X		**HELADAS:**			
PENDIENTE (°):	**HORIZONTAL < 10°:**		**INCLINADO 10° - 35° :** X		**TUMBADO 36° - 60°:**		**ABRUPTO > 60°:**			
USOS:	**SEMBRADOS**	**GANADERÍA** X	**RECREACIÓN**	**ZONA INDUSTRIAL**	**VIVIENDAS**	**VÍAS** X	**MINERÍA**	**ÁREA PROTEGIDA**	**ZONA ARQUEOLÓGICA**	

Anexo 5.12. Ficha técnica para la descripción detallada del afloramiento 12.

LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

AFLORAMIENTO N°: 12	
FECHA: 19/03/2015	
COORDENADAS: **X:** 695742	**Y:** 9560182 **Z:** 2176
DIMENSIONES (h): 5.85 x 15 m	
RELIEVE: Llano ☐ Bajo ☐	De Colinas ■ Montañoso ☐
VEGETACIÓN: Exuberante ☐	Escasa ■
FORMACIÓN: Trigal	
AFLORAMIENTO: Artificial ■	Natural ☐



PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

POTENCIA (m)	N° DE CAPAS	LITOLOGIA	ORIENTACIÓN	METEORIZACIÓN		
				Bajo	Medio	Alto
2.50	1	Areniscas			X	
0.8	2	Conglomerados			X	
0.05	3	Arcillas			X	
2.50	4	Areniscas			X	

Descripción Geológica

Se observa en la parte superior un estrato de areniscas gruesas, seguido por un estrato de conglomerados con clastos de 1 a 3 cm de diámetro, una pequeña capa de arcillas y por ultimo una capa de areniscas de grano grueso, existe además una alto grado de cárcavas.

USO DEL SUELO										
TIPO DE SUELO:	**SUELOS RESIDUALES:**		**SEDIMENTARIO:** X		**COLUVIAL:**			**COLUVIÓN:**		
FACTORES DE EROSIÓN:	**LLUVIA:** X		**SOL:** X		**VIENTO:** X			**HELADAS:**		
PENDIENTE (°):	**HORIZONTAL < 10°:**		**INCLINADO 10° - 35° :** X		**TUMBADO 36° - 60°:**			**ABRUPTO > 60°:**		
USOS:	**SEMBRADOS**	**GANADERÍA**	**RECREACIÓN**	**ZONA INDUSTRIAL**	**VIVIENDAS**	**VÍAS** X	**MINERÍA**	**ÁREA PROTEGIDA**	**ZONA ARQUEOLÓGICA**	

Anexo 5.13. Ficha técnica para la descripción detallada del afloramiento 13.

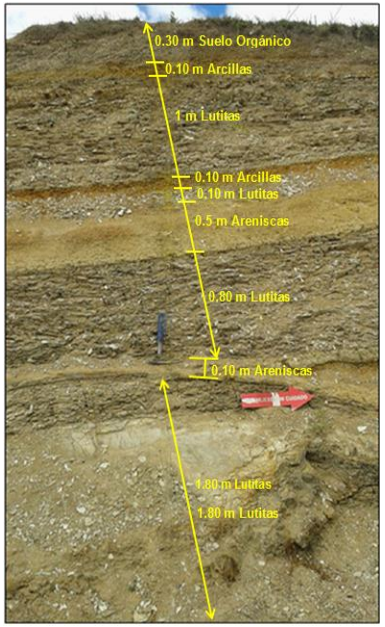
LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

AFLORAMIENTO N°: 13	
FECHA: 19/03/2015	
COORDENADAS: **X:** 695852	**Y:** 9560100 **Z:** 2185
DIMENSIONES (h): 4.8 x 8 m	
RELIEVE: Llano ☐ Bajo ☐	De Colinas ■ Montañoso ☐
VEGETACIÓN: Exuberante ☐	Escasa ■
FORMACIÓN: Trigal	
AFLORAMIENTO: Artificial ■	Natural ☐

Descripción Geológica

Estructurado por material sedimentario como arcillas de color café intenso, lutitas silíceas tipo hojuelas gris pálidas y areniscas café claras de la formación Trigal, y en la parte superior una capa de suelo orgánico.



PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

POTENCIA (m)	N° DE CAPAS	LITOLOGIA	ORIENTACIÓN	METEORIZACIÓN		
				Bajo	Medio	Alto
0.30	1	Suelo	**Azimut:** 165° **Buzamiento:** 13° **Dirección de Buzamiento:** 75° NE			X
0.10	2	Arcilla			X	
1.00	3	Lutitas			X	
0.10	4	Arcillas			X	
0.10	5	Lutitas			X	
0.50	6	Arenisca			X	
0.80	7	Lutitas			X	
0.10	8	Arenisca			X	
1.80	9	Lutitas			X	

USO DEL SUELO									
TIPO DE SUELO:	**SUELOS RESIDUALES:**		**SEDIMENTARIO:** X		**COLUVIAL:**		**COLUVIÓN:**		
FACTORES DE EROSIÓN:	**LLUVIA:** X		**SOL:** X		**VIENTO:** X		**HELADAS:**		
PENDIENTE (°):	**HORIZONTAL < 10°:**		**INCLINADO 10° - 35° :** X		**TUMBADO 36° - 60°:**		**ABRUPTO > 60°:**		
USOS:	**SEMBRADOS**	**GANADERÍA**	**RECREACIÓN**	**ZONA INDUSTRIAL**	**VIVIENDAS**	**VÍAS** X	**MINERÍA**	**ÁREA PROTEGIDA**	**ZONA ARQUEOLÓGICA**

Anexo 5.14. Ficha técnica para la descripción detallada del afloramiento 14.

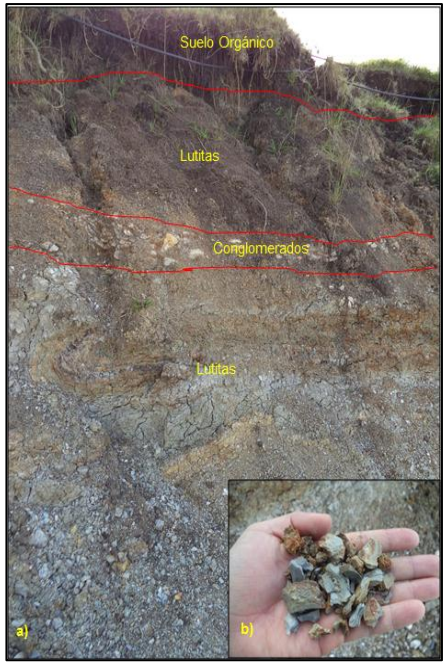
LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

AFLORAMIENTO N°: 14	
FECHA: 19/03/2015	
COORDENADAS: **X:** 695716	**Y:** 9559853 **Z:** 2211
DIMENSIONES (h): 3 x 6 m	
RELIEVE: Llano ☐ Bajo ☐	De Colinas ■ Montañoso ☐
VEGETACIÓN: Exuberante ☐	Escasa ■
FORMACIÓN: Trigal	
AFLORAMIENTO: Artificial ■	Natural ☐

Descripción Geológica

Se observa en la figura a) una capa de suelo en la parte superior, estratos de lutitas, con una intercalación de conglomerados y con clastos de entre 4 a 15 cm de diámetro. En la figura b) muestra de lutitas meteorizadas.



PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

POTENCIA (m)	N° DE CAPAS	LITOLOGIA	ORIENTACIÓN	METEORIZACIÓN		
				Bajo	Medio	Alto
0.40	1	Suelo				X
0.80	2	Lutitas			X	
0.30	3	Conglomerados			X	
2.00	4	Lutitas				X

USO DEL SUELO										
TIPO DE SUELO:	**SUELOS RESIDUALES:**		**SEDIMENTARIO:** X		**COLUVIAL:**			**COLUVIÓN:**		
FACTORES DE EROSIÓN:	**LLUVIA:** X		**SOL:** X		**VIENTO:** X			**HELADAS:**		
PENDIENTE (°):	**HORIZONTAL < 10°:**		**INCLINADO 10° - 35° :** X		**TUMBADO 36° - 60°:**			**ABRUPTO > 60°:**		
USOS:	**SEMBRADOS**	**GANADERÍA**	**RECREACIÓN**	**ZONA INDUSTRIAL**	**VIVIENDAS**	**VÍAS** X		**MINERÍA**	**ÁREA PROTEGIDA**	**ZONA ARQUEOLÓGICA**

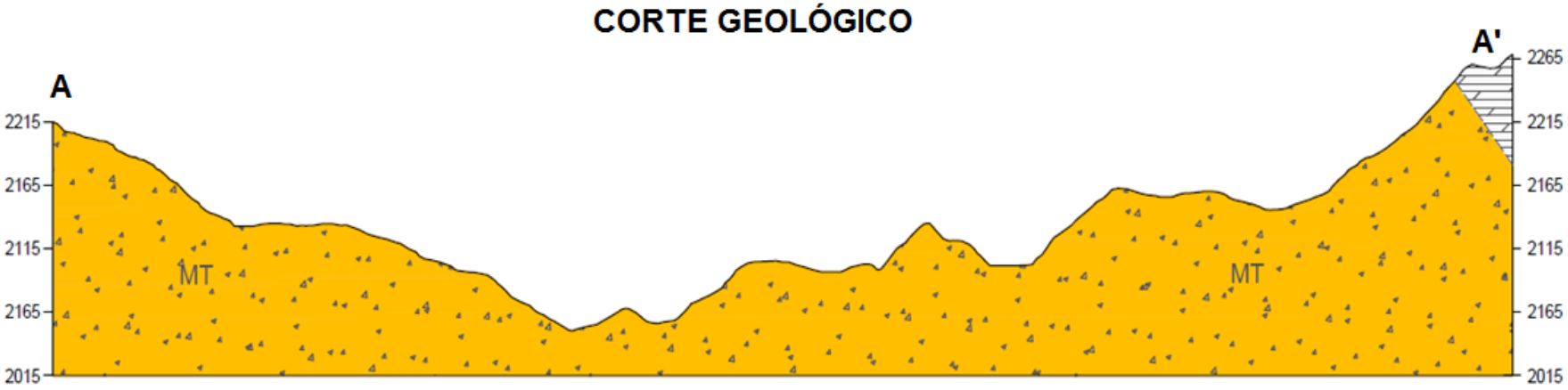
Anexo 6

MAPA DE GEOLOGÍA LOCAL

Anexo 7

CORTE GEOLÓGICO

CORTE GEOLÓGICO



SIMBOLOGÍA	
MT Formación Trigal	Arcilla, areniscas, conglomerados y limolitas
Formación La Banda	Lutitas y calizas
---------- Contacto	

Anexo 8

MAPA GEOMORFOLÓGICO

Anexo 9

MAPA DE USO ACTUAL DEL SUELO

Anexo 10

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS POR EL MÉTODO HEURÍSTICO

Anexo 11

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS POR EL MÉTODO DETERMINÍSTICO

Anexo 12

Caracterización de los deslizamientos en el Sector Urna de la Virgen – barrio Panamá

Anexo 12.1. Ficha técnica para la descripción detallada del deslizamiento 1.

CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA

PROYECTO:

DATOS GENERALES:

MOVIMIENTO N°: 1	
COORDENADAS:	**X:** 695841
	Y: 9560314
	Z: 2157
FECHA:	

TALUD:

ALTURA: 15 m
DIRECCIÓN: S 4° E
ÁNGULO(Inclinación de la Ladera en grados): 40°
FORMA DE LA LADERA: Recta ( ) Cóncava (x) Convexa ( )
USO DEL TERRENO: Arbustos y Árboles ( ) No Vegetada ( ) Pastos (x) Cultivos ( ) Residencial ( ) Vía Presente ( )

TIPO: Deslizamiento (x) Flujo ( ) Caídas ( ) Reptación ( ) Erosión ( )
LONGITUD (Distancia promedio desde el escarpe hasta la base): 30 m
ANCHO (Promedio de la zona de aporte): 17 m
TIPO DE FALLA: Indeterminada ( ) Rotacional (x) Traslacional ( ) Completa ( ) Múltiple ( )
MECANISMO: Evento sencillo y rápido (x) Evento sencillo y lento ( ) Evento múltiple y rápido ( ) Evento múltiple y lento ( )
ACTIVIDAD: Inactivo ( ) Latente ( ) Activo (x) Actividad Localizada ( )
ESTADO DEL ESCARPE: No es aplicable ( ) Escarpe evidente (x) Escarpe vago ( )
FORMA DEL ESCARPE: No aplicable ( ) Semicircular (x) Elongado ( )
VEGETACIÓN DEL ESCARPE: No aplicable ( ) No vegetada (x) Vegetación escasa ( ) Arbustos ( ) Pastos ( )
FORMA DE LA MASA DESPLAZADA: No aplicable ( ) Longitud = ancho ( ) Longitud > ancho (x) Longitud < ancho ( )
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 de poca humedad ( ) Zonas inundadas ( )
VEGETACIÓN DE LA MASA DESPLAZADA: No aplicable ( ) No vegetada ( ) Vegetación escasa ( ) Arbustos ( ) Árboles ( ) Pastos (x)
SUPERFICIE DE FALLA: Cubierta orgánica (x) Suelo depositado ( ) Suelo residual ( ) Relleno ( )
CAUSA PROBABLE: Desconocida ( ) Erosión concentrada ( ) Deforestación ( ) Exceso de agua (x) Cargas de construcción ( ) Discontinuidades ( )
FACTOR DISPARADOR: Desconocido ( ) Lluvias (x) Construcciones ( ) Otros ( )
DAÑO: No visible ( ) Carreteras ( ) Residencias ( ) Áreas de pasto (x)
ESTABILIZACIÓN: No visible (x) Muros ( ) Canales ( ) Drenes ( ) Otros ( )

Anexo 12.2. Ficha técnica para la descripción detallada del deslizamiento 2.

CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA

PROYECTO:

DATOS GENERALES:

MOVIMIENTO N°: 2	
COORDENADAS:	**X:** 695498
	Y: 9559945
	Z: 2170
FECHA:	

TALUD:

ALTURA: 20 m
DIRECCIÓN: N 10° E
ÁNGULO(Inclinación de la Ladera en grados): 50°
FORMA DE LA LADERA: Recta ( ) Cóncava (x) Convexa ( )
USO DEL TERRENO: Arbustos y Árboles ( ) No Vegetada ( ) Pastos ( ) Cultivos ( ) Residencial ( ) Vía Presente (x)

TIPO: Deslizamiento (x) Flujo ( ) Caídas ( ) Reptación ( ) Erosión ( )
LONGITUD (Distancia promedio desde el escarpe hasta la base): 50 m
ANCHO (Promedio de la zona de aporte): 95 m
TIPO DE FALLA: Indeterminada ( ) Rotacional (x) Traslacional ( ) Completa ( ) Múltiple ( )
MECANISMO: Evento sencillo y rápido (x) Evento sencillo y lento ( ) Evento múltiple y rápido ( ) Evento múltiple y lento ( )
ACTIVIDAD: Inactivo ( ) Latente ( ) Activo (x) Actividad Localizada ( )
ESTADO DEL ESCARPE: No es aplicable ( ) Escarpe evidente (x) Escarpe vago ( )
FORMA DEL ESCARPE: No aplicable ( ) Semicircular (x) Elongado ( )
VEGETACIÓN DEL ESCARPE: No aplicable ( ) No vegetada (x) Vegetación escasa ( ) Arbustos ( ) Pastos ( )
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 ( ) Zonas de poca humedad (x) Zonas inundadas ( )
VEGETACIÓN DE LA MASA DESPLAZADA: No aplicable ( ) No vegetada ( ) Vegetación escasa (x) Arbustos ( ) Árboles ( ) Pastos ( )
SUPERFICIE DE FALLA: Cubierta orgánica ( ) Suelo depositado (x) Suelo residual ( ) Relleno ( )
CAUSA PROBABLE: Desconocida ( ) Erosión concentrada (x) Deforestación ( ) Exceso de agua ( ) Cargas de construcción ( ) Discontinuidades ( )
FACTOR DISPARADOR: Desconocido ( ) Lluvias (x) Construcciones ( ) Otros ( )
DAÑO: No visible ( ) Carreteras (x) Residencias ( ) Áreas de pasto ( )
ESTABILIZACIÓN: No visible ( ) Muros ( ) Canales ( ) Drenes ( ) Otros (x)

Anexo 12.3. Ficha técnica para la descripción detallada del deslizamiento 3.

CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA

PROYECTO:

DATOS GENERALES:

MOVIMIENTO N°: 3	
COORDENADAS:	**X:** 695594
	Y: 9559933
	Z: 2200
FECHA:	

TALUD:

ALTURA: 35 m
DIRECCIÓN: N 30° E
ÁNGULO(Inclinación de la Ladera en grados): 45°
FORMA DE LA LADERA: Recta ( ) Cóncava (x) Convexa ( )
USO DEL TERRENO: Arbustos y Árboles ( ) No Vegetada ( ) Pastos ( ) Cultivos ( ) Residencial (x) Vía Presente ( )

TIPO: Deslizamiento (x) Flujo ( ) Caídas ( ) Reptación ( ) Erosión ( )
LONGITUD (Distancia promedio desde el escarpe hasta la base): 170 m
ANCHO (Promedio de la zona de aporte): 130 m
TIPO DE FALLA: Indeterminada ( ) Rotacional (x) Traslacional ( ) Completa ( ) Múltiple ( )
MECANISMO: Evento sencillo y rápido ( ) Evento sencillo y lento (x) Evento múltiple y rápido ( ) Evento múltiple y lento ( )
ACTIVIDAD: Inactivo (x) Latente ( ) Activo ( ) Actividad Localizada ( )
ESTADO DEL ESCARPE: No es aplicable ( ) Escarpe evidente ( ) Escarpe vago (x)
FORMA DEL ESCARPE: No aplicable ( ) Semicircular (x) Elongado ( )
VEGETACIÓN DEL ESCARPE: No aplicable ( ) No vegetada ( ) Vegetación escasa ( ) Arbustos (x) Pastos ( )
FORMA DE LA MASA DESPLAZADA: No aplicable ( ) Longitud = ancho ( ) Longitud > ancho (x) Longitud < ancho ( )
ESTADO DE LA MASA DESPLAZADA: Masa intacta (x) Masa desintegrada ( ) Masa en forma de flujo ( ) No presente ( )

HUMEDAD DE LA MASA DESPLAZADA: No presenta zonas húmedas ( ) Zonas de alta humedad (x) Zonas de poca humedad ( ) Zonas inundadas ( )
VEGETACIÓN DE LA MASA DESPLAZADA: No aplicable ( ) No vegetada ( ) Vegetación escasa ( ) Arbustos ( ) Árboles ( ) Pastos (x)
SUPERFICIE DE FALLA: Cubierta orgánica ( ) Suelo depositado (x) Suelo residual ( ) Relleno ( )
CAUSA PROBABLE: Desconocida ( ) Erosión concentrada ( ) Deforestación ( ) Exceso de agua (x) Cargas de construcción ( ) Discontinuidades ( )
FACTOR DISPARADOR: Desconocido ( ) Lluvias (x) Construcciones ( ) Otros ( )
DAÑO: No visible ( ) Carreteras ( ) Residencias (x) Áreas de pasto ( )
ESTABILIZACIÓN: No visible ( ) Muros ( ) Canales (x) Drenes ( ) Otros ( )

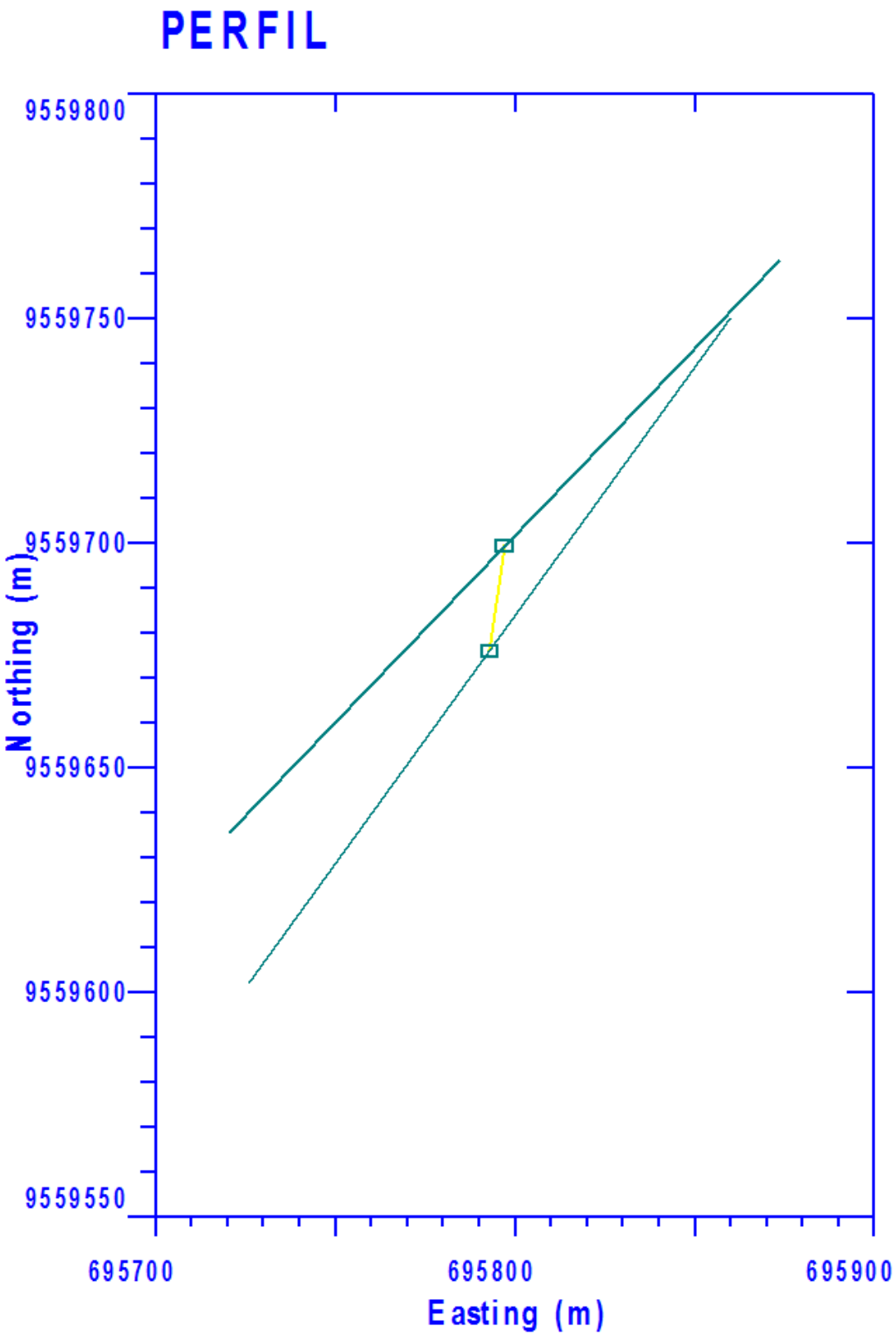
Anexo 13

MAPA DE INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS

Anexo 14

Resultados de resistividad de los materiales (SEV)

Anexo 14.1. Ubicación de las líneas de los SEV1 y SEV2.



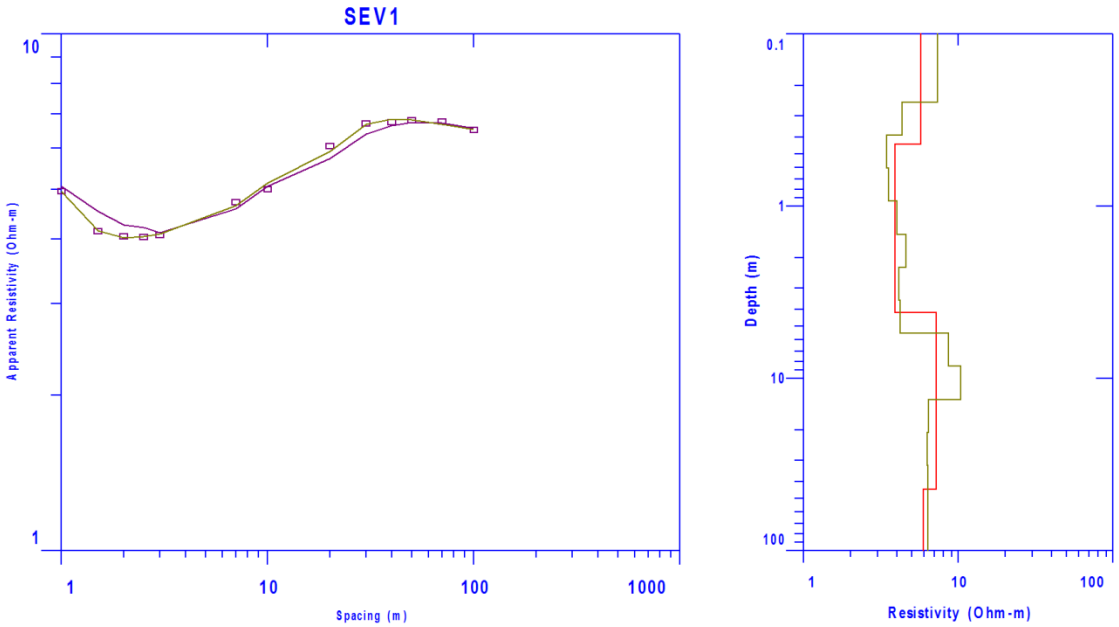
Anexo 14.2. Resultados del SEV 1, (medidas de resistividad en el campo).

SEV1
Schlumberger Array
Northing: 9559699.0 Easting: 695797.0 Elevation: 2232.0

No.	AB/2 (meters)	MN	Resistivity	Resistivity	DIFFERENCE	Resistivity	DIFFERENCE
1	1.00	1.00	4.96	5.06	-2.05	4.95	0.0582
2	1.50	1.00	4.14	4.52	-9.13	4.16	-0.388
3	2.00	1.00	4.05	4.26	-5.12	4.02	0.794
4	2.50	2.00	4.04	4.22	-4.41	4.04	-0.0958
5	3.00	1.00	4.07	4.12	-1.21	4.09	-0.679
6	7.00	2.00	4.71	4.57	3.01	4.64	1.59
7	10.00	2.00	4.99	5.07	-1.58	5.14	-2.93
8	20.00	20.00	6.06	5.73	5.33	5.92	2.30
9	30.00	20.00	6.69	6.40	4.40	6.67	0.358
10	40.00	20.00	6.72	6.64	1.28	6.83	-1.55
11	50.00	20.00	6.80	6.73	1.09	6.81	-0.125
12	70.00	20.00	6.74	6.72	0.401	6.67	1.06
13	100.0	20.00	6.50	6.56	-1.05	6.52	-0.398

NO DATA ARE MASKED

Anexo 14.3. Curva de resistividad aparente SEV 1.



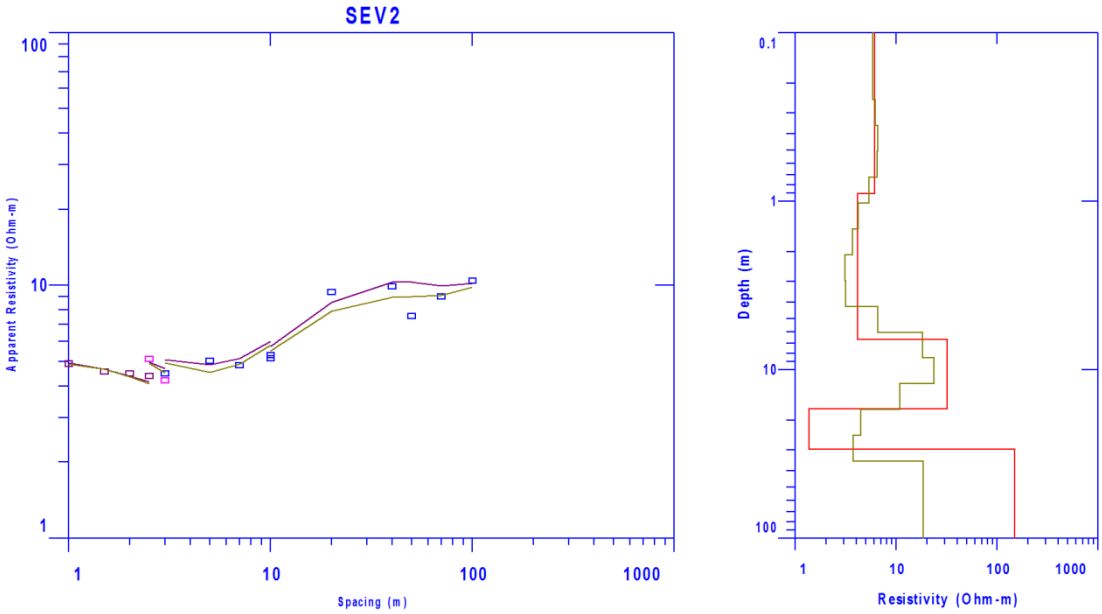
Anexo 14.4. Resultados del SEV 1, (medidas de resistividad en el campo).

SEV2
Schlumberger Array
Northing: 9559676.0 Easting: 695793.0 Elevation: 2235.0

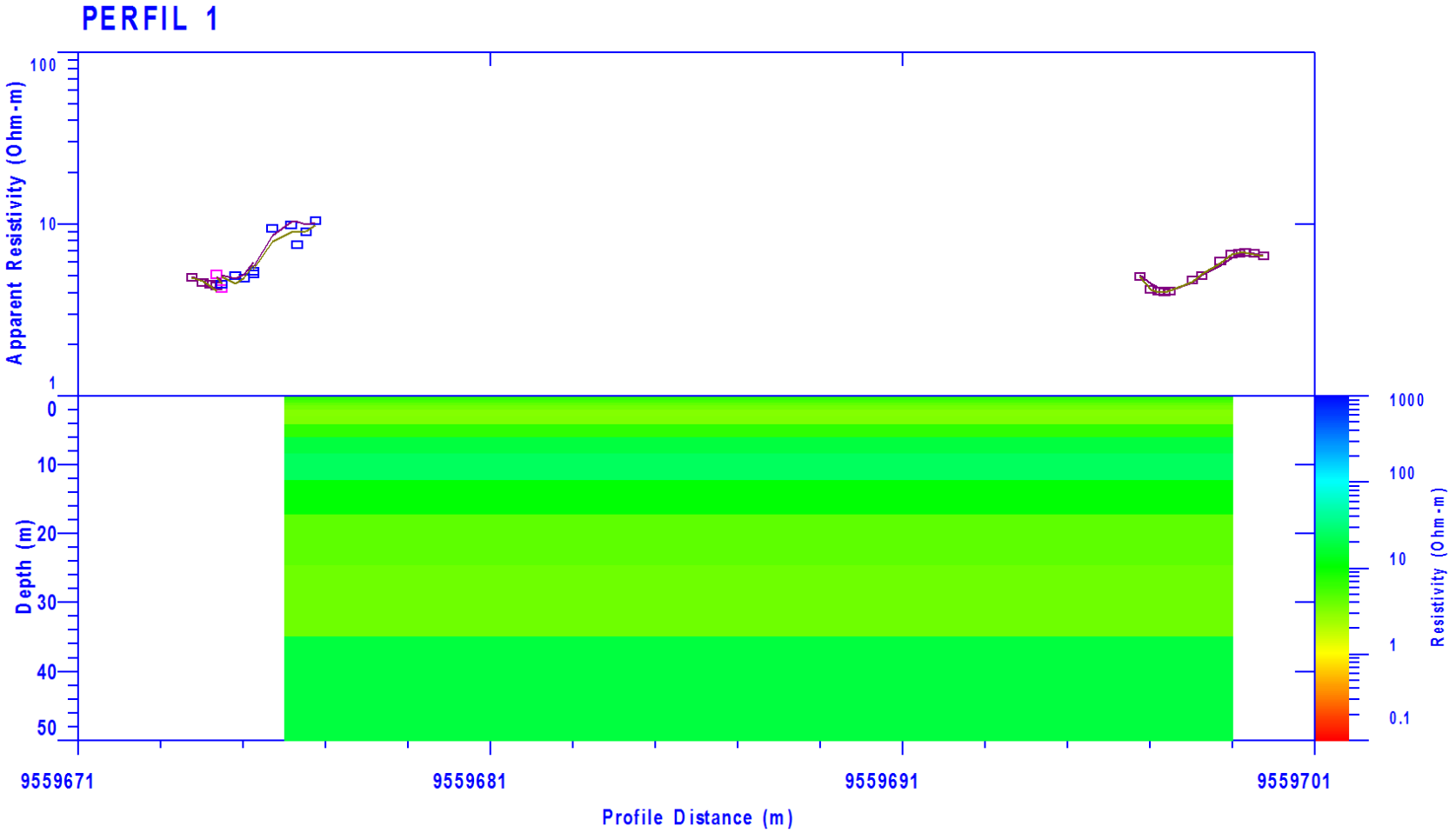
No.	AB/2 (meters)	MN	Resistivity	Resistivity	DIFFERENCE	Resistivity	DIFFERENCE
1	1.00	1.00	4.89	4.92	-0.705	4.88	0.193
2	1.50	1.00	4.54	4.65	-2.30	4.66	-2.49
3	2.00	1.00	4.46	4.37	1.96	4.35	2.51
4	2.50	1.00	4.37	4.15	4.89	4.07	6.76
5	2.50	2.00	5.09	4.97	2.42	4.90	3.78
6	3.00	1.00	4.20	4.67	-11.11	4.50	-7.20
7	3.00	2.00	4.48	5.07	-13.03	4.92	-9.76
8	5.00	2.00	5.01	4.83	3.49	4.52	9.71
9	7.00	2.00	4.82	5.14	-6.70	4.87	-1.01
10	10.00	2.00	5.28	5.99	-13.40	5.79	-9.63
11	10.00	5.00	5.12	5.71	-11.52	5.50	-7.45
12	20.00	5.00	9.40	8.56	8.93	7.92	15.70
13	40.00	20.00	9.89	10.31	-4.19	8.97	9.27
14	50.00	20.00	7.53	10.32	-36.95	9.01	-19.51
15	70.00	20.00	9.04	9.94	-9.91	9.11	-0.695
16	100.0	20.00	10.41	10.18	2.24	9.86	5.33

NO DATA ARE MASKED

Anexo 14.5. Curva de resistividad aparente SEV 2.



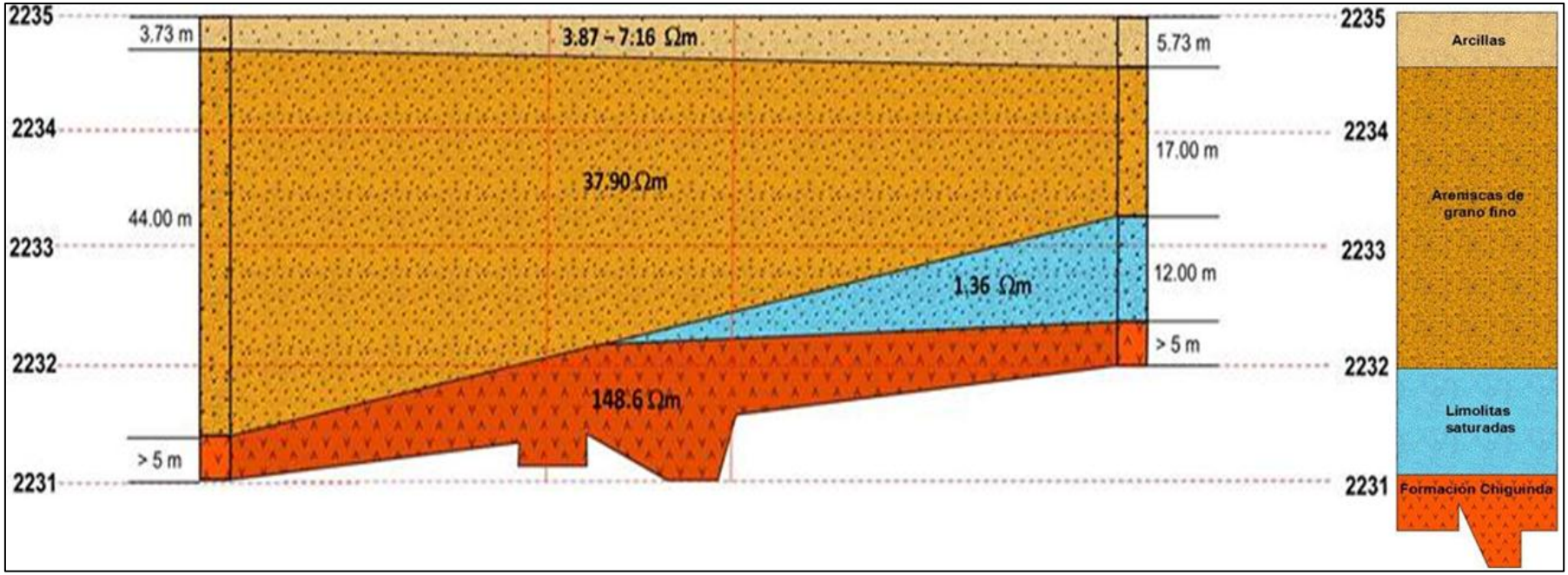
Anexo 14.6. Perfil eléctrico de los Sondeos Eléctricos Verticales



Anexo 15

Corte Geoeléctrico (A-B) de los SEV 1 y 2

CORTE A-B


2235
2234
2233
2232
2231
3.73 m
44.00 m
> 5 m
3.87 ~ 7.16 Ωm
37.90 Ωm
1.36 Ωm
148.6 Ωm
5.73 m
17.00 m
12.00 m
> 5 m
Arcillas
Aremiscas de grano fino
Limolitas saturadas
Formación Chiguinda

Anexo 16

Datos de temperaturas y precipitaciones de la ciudad de Loja

Anexo 16.1. Temperatura promedio anual de la ciudad de Loja.

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

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

Anexo 16.2. Precipitaciones promedio anuales de la ciudad de Loja.

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

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

Anexo 17

Resultados de los Ensayos de Penetración Estándar

LABORATORIO DE MATERIALES "SUELOS & PAVIMENTOS"

Calle París y Vía Zamora, junto a la UTPL
Teléfonos: 072611053 - 0993431727

REGISTRO DE PERFORACION

PROYECTO:	ESTUDIO GEOLOGICO PARA DETERMINAR LA SUCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE LA VIA DE INTEGRACION BARRIAL
CALICATA Nro.	C-01
UBICACIÓN:	SECTOR BARRIO CHONTACRUZ URNA DE LA VIRGEN DEL CISNE HASTA EL BARRIO PANAMA
FECHA:	25 de junio de 2015
REALIZADO POR:	José Songor Esparza, Ingeniero Civil
PERFORACION:	EQUIPO DE PENETRACION ESTANDAR "SPT" (Standart Penetration Test)

PROFUNDIDAD:		3,50 m.
COORDENADAS	**N:**	9559733
	E:	695832
	ELEV:	2118 m.s.n.m.
NIVEL FREATICO:		No existe
REGISTRO:		1 de 1

Prof.(m)	Espesor (m)	Perfil	Estructura	Descripción	% Hum.	% Grava	% Arena	% Finos	L.L.	L.P.	I.P.	SUCS	AASTHO	FOTOGRAFÍA
0,00 - 1,50	1,50	CH	Terreno Natural Color Café	Sistema de Clasificación de Suelos SUCS CH: Arcilla de alta plasticidad con arena	43,58		100	78,9	64	28,88	35,12	CH	A-7-6	
1,50 - 2,50	1,00	CL	Terreno Natural Color Café	Sistema de Clasificación de Suelos SUCS CL: Arcilla de media plasticidad con arena	45,65		100	74,7	43	16,41	26,59	CL	A-7-6	
2,50 - 3,50	1,00	CH	Terreno Natural Color Café	Sistema de Clasificación de Suelos SUCS CH: Arcilla de alta plasticidad arenosa	36,94		100	69,9	60,7	22,6	38,1	CH	A-7-6	

OBSERVACIONES: Las muestras son extraidas mediante proceso de perforación en el campo con equipo de Penetración Estándar SPT.

José Songor Esparza, Ingeniero Civil
Reg. CENESCYT 1031-02-269173

LABORATORIO DE MATERIALES "SUELOS & PAVIMENTOS"
Calle París y Vía Zamora, junto a la UTPL
Teléfonos: 072611053 0993431727

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTANDAR "SPT"

PROYECTO	Estudio Geotécnico para Suceptibilidad a Deslizamientos	**REALIZADO**	José Songor Esparza, Ingeniero Civil
PROCEDENCIA	Perforación № 1	**FECHA DE PRUEBA**	19 de junio de 2015
SOLICITADO	Sr. Diego Fabián Guamán Ramos	**FECHA DE CALCULO**	29 de junio de 2015

CALCULO DEL N CORREGIDO

Profundidad m.	N° golpes 15cm.	30 cm	45 cm	N° golpes SPT -TOTAL	q Tn/m2	N_correg Ec.1	N_correg Ec.2
CALICATA № 1							
1,00	15	30	45	75	1,29	75	105
2,00	15	30	45	75	2,57	75	105
3,00	18	23	23	46	3,86	61	62

CAPACIDAD DE CARGA, PLINTOS AISLADOS

Df =	1,5	m.
B =	2,10	m.
g =	1,286	Tn/m3
NO ESTA AFECTADO POR NIVEL FREATICO		
g '=	0,286	Tn/m3
g ''=	0,524	Tn/m4
*q = γ * Df =*	1,929	Tn/m2
q_asum =	1,929	Tn/m3
k =	0,45	Tn/m2
N_Correg =	61	golpes
C =	27,45	Tn/m2
C_Asum =	0,10	Tn/m2
ϕ =	43,39	°
ϕ ' =	32,22	°
N'c =	44,89	
N'q =	29,29	
N' γ =	26,25	
qu =	88,75	
Fs =	3	
Q_Adm =	29,58	Tn/m2

Tabla: 4.8; literal 1b: Ec.1	Tabla: 4.8; literal 1a: Ec.2
$N_{corr} = N \times \left(0.77 \times \log\left(\frac{195.2}{q}\right)\right)$	$Ncorr = N + (0.5 \times (N - 15))$
Valida para perforaciones mayores a 2m.	Valida para cuando N > 15 golpes en Limos y arenas

q = Presión de trabajo
$q = \sigma \times h$
σ = Densidad del suelo
h = profundidad
γ = σ = 1,286 Tn/m3

$$qu = (0.867 \times C \times N'c) + (q \times N'q) + (0.4 \times \gamma \times B \times N'\gamma)$$

$$O(grados) = 27.1 + (0.3 \times Ncorr) - (0.00054 \times N^2 corr)$$

DETALLES DE ESTRATO

CALICATA	PROF. DESDE (m)	PROF. HASTA (m)	ESTRATO ANALIZADO (m)	PROFUNDIDAD ANALIZADA (m)	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA (°)	N (SPT) corregido	Fs	TIPO DE ESTRATO
Nº1	0,00	2,00	2,50	2,50	43,39 °	61	3	CL

CÁLCULO DE CARGAS ADMISIBLES

AUTOR	Q último	Q admisible
SEGÚN TERZAGHI	88,75 Tn/m2	29,58 Tn/m2
Q admisible de diseño:		29,58 Tn/m2
Q admisible de diseño:		2,96 Kg/cm2

José Songor Esparza, Ingeniero Civil
Reg. CENESCYT 1031-02-269173

SUELOS Y PAVIMENTOS LABORATORIO

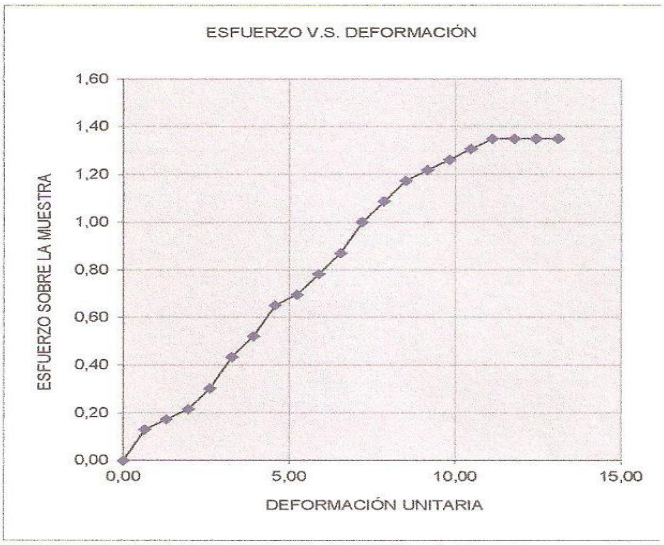
LABORATORIO DE MATERIALES "SUELOS & PAVIMENTOS"
Calle París y Vía Zamora, junto a la UTPL
Teléfonos: 072611053 - 0993431727

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA

Muestra :	PERFORACION SPT	**Norma:**	AASHTO T - 208
Proyecto:	ESTUDIO GEOTECNICO PARA DETERMINAR LA SUCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE LA VIA DE INTEGRACION BARRIAL, SECTOR BARRIO CHONTACRUZ HASTA EL BARRIO PANAMA		
Muestra:	CALICATA 1, PROFUNDIDAD: 1,00 m		
Solicitado:	Sr. DIEGO FABIAN GUAMAN RAMOS	**Fecha:**	20 de junio de 2015

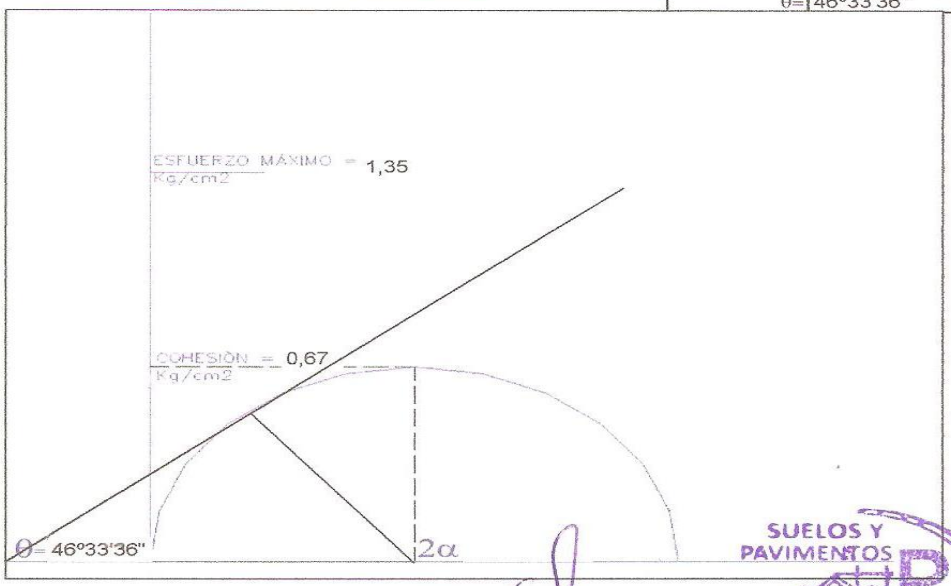
Diámetro superior	3,77 cm	**Diametro inferior**	3,88 cm	**Area:**	11,49 cm2
Cont. Humedad:	43,58 %	**qult:**	1,35 Kg/cm2	**Cohesión:**	0,67 Kg/cm2
Altura:	7,40 cm.	**Volumen Muest.:**	85,03 cm3	**Peso :**	152,96 gr.
Densidad Humeda :		**1,799 g/cm3**	**Densidad Seca:**		**1,253 g/cm3**

DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO SOBRE LA MUESTRA
0,00	0,00
0,66	0,13
1,31	0,17
1,96	0,22
2,62	0,30
3,27	0,44
3,93	0,52
4,58	0,65
5,24	0,70
5,89	0,78
6,55	0,87
7,20	1,00
7,86	1,09
8,51	1,17
9,17	1,22
9,82	1,26
10,47	1,31
11,13	1,35
11,78	1,35
12,44	1,35
13,09	1,35



Q ult = ***1,35 Kg/cm2***
Q adm = ***0,45 Kg/cm2***

ANGULO FRICCIÓN INTERNA θ
θ= 46°33'36"



JOSÉ SONGOR ESPARZA, INGENIERO CIVIL
Reg. CENESCYT 1031-02-269173

SUELOS Y PAVIMENTOS
LABORATORIO

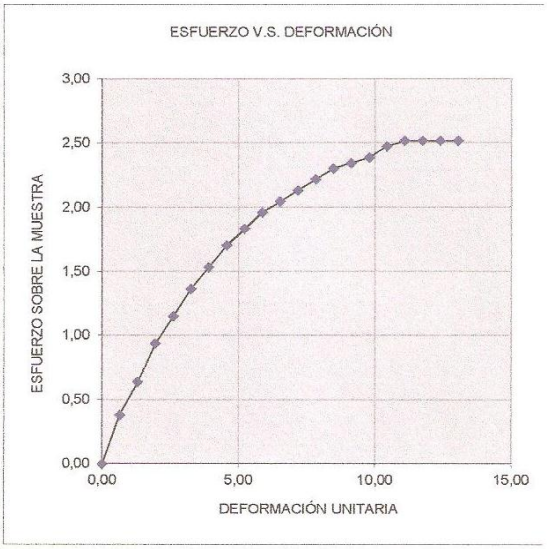
LABORATORIO DE MATERIALES "SUELOS & PAVIMENTOS"
Calle París y Vía Zamora, junto a la UTPL
Teléfonos: 072611053 - 0993431727

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA

Muestra :	PERFORACION SPT	**Norma:**	AASHTO T - 208
Proyecto:	ESTUDIO GEOTECNICO PARA DETERMINAR LA SUCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE LA VIA DE INTEGRACION BARRIAL, SECTOR BARRIO CHONTACRUZ HASTA EL BARRIO PANAMA		
Muestra:	CALICATA 1, PROFUNDIDAD: 3,00 m		
Solicitado:	Sr. DIEGO FABIAN GUAMAN RAMOS	**Fecha:**	20 de junio de 2015

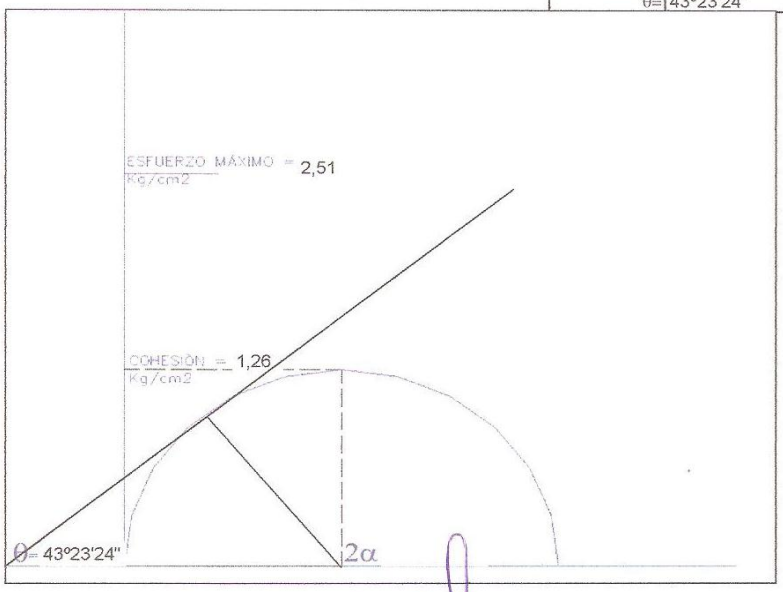
Diámetro superior	3,84 cm	**Diametro inferior**	3,89 cm	**Area:**	11,73 cm2
Cont. Humedad:	36,94 %	**qult:**	2,51 Kg/cm2	**Cohesión:**	1,26 Kg/cm2
Altura:	7,56 cm.	**Volumen Muest.:**	88,68 cm3	**Peso :**	156,19 gr.
Densidad Humeda :		**1,761 g/cm3**	**Densidad Seca:**		**1,286 g/cm3**

DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO SOBRE LA MUESTRA
0,00	0,00
0,65	0,38
1,31	0,64
1,96	0,94
2,61	1,15
3,27	1,36
3,92	1,53
4,57	1,71
5,22	1,83
5,88	1,96
6,53	2,05
7,18	2,13
7,84	2,22
8,49	2,30
9,14	2,34
9,79	2,39
10,45	2,47
11,10	2,51
11,75	2,51
12,41	2,51
13,06	2,51



Q ult = ***2,51 Kg/cm2***
Q adm = ***0,84 Kg/cm2***

ANGULO FRICCIÓN INTERNA θ	
θ=	43°23'24"



JOSE SONGOR ESPARZA, INGENIERO CIVIL
Reg. CENESCYT 1031-02-269173

SUELOS Y PAVIMENTOS LABORATORIO

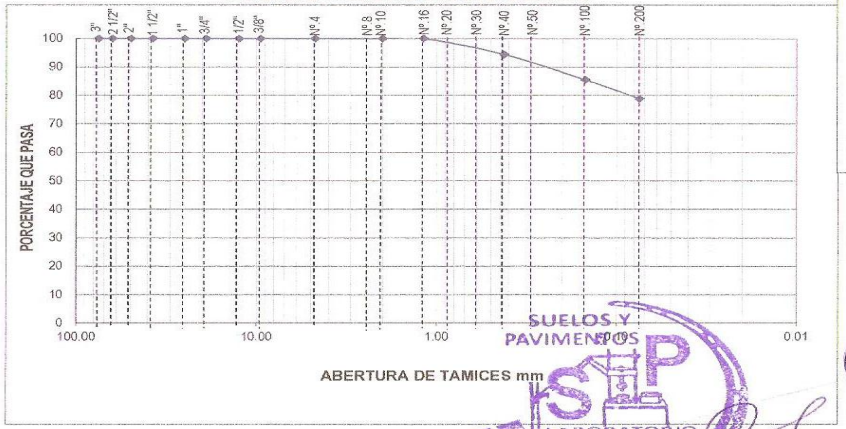
LABORATORIO DE MATERIALES "SUELOS & PAVIMENTOS"
Calle París y Vía Zamora, junto a la UTPL
Teléfonos: 072611053 - 0993431727

PROYECTO: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA SUCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE LA VIA DE INTEGRACIÓN BARRIAL, SECTOR BARRIO CHONTACRUZ URNA DE LA VIRGEN DEL CISNE HASTA EL BARRIO PANAMA

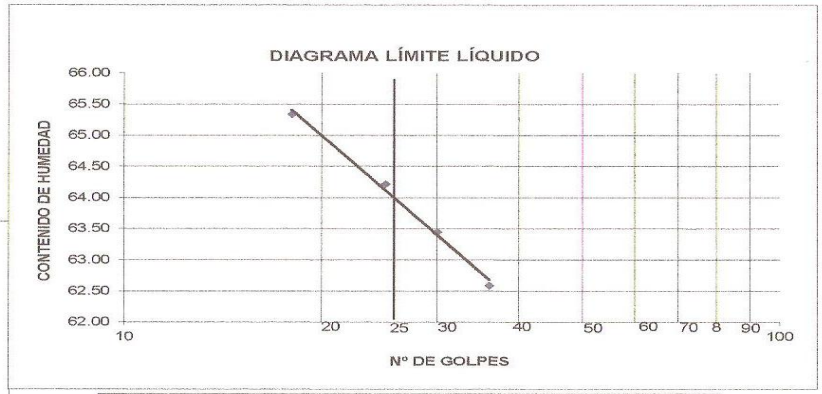
PROCEDENCIA: CALICATA 1, Profundidad 100 cm, suelo de color Café **SOLICITAD:** Sr. DIEGO FABIAN GUAMAN RAMOS **FECHA:** 25 de junio de 2015

TAMIZ ABERTURA mm	TAMIZ ABERTURA pulg. / Nº	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA
75	3"	0	0	100
63	2 1/2"	0	0	100
50	2"	0	0	100
37.5	1 1/2"	0	0	100
25	1"	0	0	100
19	3/4"	0	0	100
12.5	1/2"	0	0	100
9.5	3/8"	0	0	100
4.750	Nº.4	0	0	100
	Pasa Nº.4	187	100	0
2.360	Nº.8			
2.000	Nº.10	0	0	100
1.180	Nº.16	0	0	100
0.850	Nº.20			
0.600	Nº.30			
0.425	Nº.40	5	6	94
0.300	Nº.50			
0.150	Nº.100	13	14	86
0.075	Nº.200	19	21	78.9
	Pasa Nº.200	71	78.9	
	TOTAL	187		
Peso Total de Lavado:			90.00	
Peso Total después de Lavado:			19.00	
Módulo de Finura:				

CURVA GRANULOMÉTRICA



CÁPSULA	PESO CAPSULA	PESO CAP. + SUELO H.	CAPSULA + SUELO SECO	Nº DE GOLPES	CONTENID HUMEDAD	PROMEDIO
		HUMEDAD NATURAL				
	18.51	91.98	69.68		43.58	43.58
			LÍMITE LÍQUIDO			
315	17.18	39.17	30.48	18.00	65.34	64.00
342	18.72	35.29	28.81	25.00	64.22	
97	18.14	36.12	29.14	30.00	63.45	
101	16.15	40.10	30.88	36.00	62.59	
			LÍMITE PLÁSTICO			
27	6.94	8.86	8.43		28.86	28.88
164	8.67	10.71	10.25		29.11	
11	8.71	10.82	10.35		28.66	



CLASIFICACIÓN	
I.P. (Indice de Plasticidad)	35.12 %
D10 (diámetro efectivo)	
D30	
D60	
Cu (Coeficiente de Uniformidad)	
Cc (Grado de Curvatura)	
IG (Indice de Grupo)	20
Clasificación S.U.C.S.	Arcilla alta plasticidad con arena CH
Clasificación AASHTO	A-7-6 Suelo arcilloso

SUELOS Y PAVIMENTOS LABORATORIO

José Songor Esparza, Ingeniero Civil
Reg. CENESCYT 1031-02-269173

LABORATORIO DE MATERIALES "SUELOS & PAVIMENTOS"
Calle París y Vía Zamora, junto a la UTPL
Teléfonos: 072611053 - 0993431727

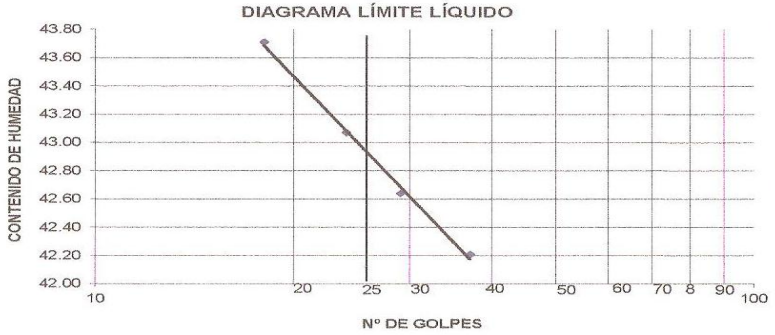
PROYECTO: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA SUCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE LA VIA DE INTEGRACIÓN BARRIAL, SECTOR BARRIO CHONTACRUZ URNA DE LA VIRGEN DEL CISNE HASTA EL BARRIO PANAMA

PROCEDENCIA: CALICATA 1, Profundidad 200 cm, suelo de color Café **SOLICITAD** Sr. DIEGO FABIAN GUAMAN RAMOS **FECHA:** 25 de junio de 2015

TAMIZ ABERTURA mm / pulg. / Nº		PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA
75	3"	0	0	100
63	2 1/2"	0	0	100
50	2"	0	0	100
37.5	1 1/2"	0	0	100
25	1"	0	0	100
19	3/4"	0	0	100
12.5	1/2"	0	0	100
9.5	3/8"	0	0	100
4.750	Nº.4	0	0	100
	Pasa Nº.4	149	100	0
2.360	Nº.8			
2.000	Nº.10	0	0	100
1.180	Nº.16	0	0	100
0.850	Nº.20			
0.600	Nº.30			
0.425	Nº.40	11	12	88
0.300	Nº.50			
0.150	Nº.100	20	21	79
0.075	Nº.200	24	25	74.7
	Pasa Nº.200	71	74.7	
	TOTAL	149		
Peso Total de Lavado:			95.00	
Peso Total después de Lavado:			24.00	
Módulo de Finura:				

CURVA GRANULOMÉTRICA

CÁPSULA	PESO CAPSULA	PESO CAP. + SUELO H.	CAPSULA + SUELO SECO	Nº DE GOLPES	CONTENID HUMEDAD	PROMEDIO
HUMEDAD NATURAL						
	17.78	90.27	67.55		45.65	45.65
LÍMITE LÍQUIDO						
336	18.17	35.07	29.93	18.00	43.71	43.00
309	17.25	37.08	31.11	24.00	43.07	
116	17.87	34.16	29.29	29.00	42.64	
317	18.62	33.68	29.21	37.00	42.21	
LÍMITE PLÁSTICO						
143	8.95	10.73	10.48		16.34	16.41
359	8.56	10.36	10.10		16.88	
366	9.07	11.10	10.82		16.00	



CLASIFICACIÓN	
I.P. (Indice de Plasticidad)	26.59 %
D10 (diámetro efectivo)	
D30	
D60	
Cu (Coeficiente de Uniformidad)	
Cc (Grado de Curvatura)	
IG (Indice de Grupo)	15
Clasificación S.U.C.S.	Arcilla media plasticidad con arena CL
Clasificación AASHTO	A-7-6 Suelo arcilloso

SUELOS Y PAVIMENTOS LABORATORIO

José Songor Esparza, Ingeniero Civil
Reg. CENESCYT 1031-02-269173

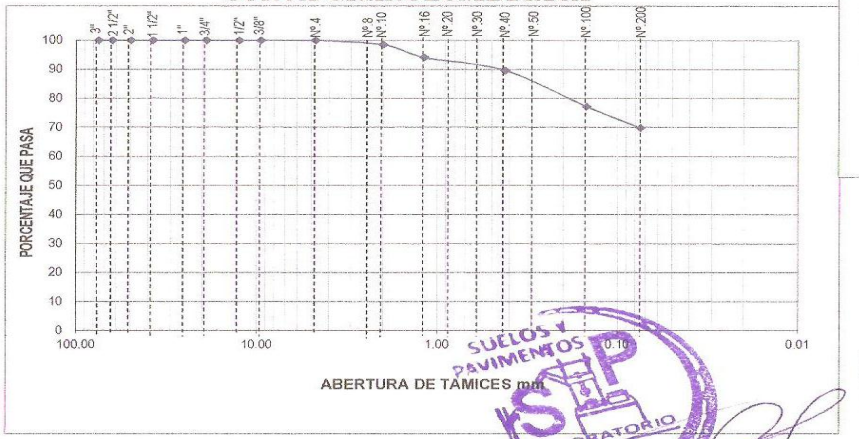
LABORATORIO DE MATERIALES "SUELOS & PAVIMENTOS"
Calle París y Vía Zamora, junto a la UTPL
Teléfonos: 072611053 - 0993431727

PROYECTO: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA SUCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE LA VIA DE INTEGRACIÓN BARRIAL, SECTOR BARRIO CHONTACRUZ URNA DE LA VIRGEN DEL CISNE HASTA EL BARRIO PANAMA

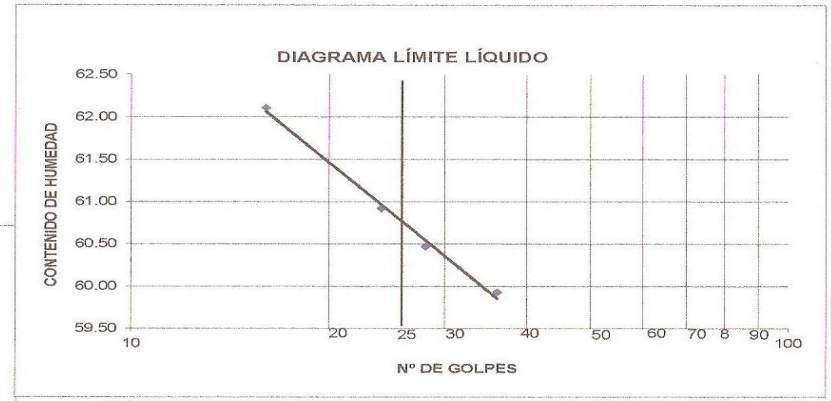
PROCEDENCIA: CALICATA 1, Profundidad 300 cm, suelo de color Café **SOLICITAD** Sr. DIEGO FABIAN GUAMAN RAMOS **FECHA:** 25 de junio de 2015

TAMIZ ABERTURA mm	TAMIZ ABERTURA pulg. / Nº	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA
75	3"	0	0	100
63	2 1/2"	0	0	100
50	2"	0	0	100
37.5	1 1/2"	0	0	100
25	1"	0	0	100
19	3/4"	0	0	100
12.5	1/2"	0	0	100
9.5	3/8"	0	0	100
4.750	Nº.4	0	0	100
	Pasa Nº.4	528	100	0
2.360	Nº.8			
2.000	Nº.10	2	1	99
1.180	Nº.16	8	6	94
0.850	Nº.20			
0.600	Nº.30			
0.425	Nº.40	14	10	90
0.300	Nº.50			
0.150	Nº.100	31	23	77
0.075	Nº.200	41	30	69.9
	Pasa Nº.200	95	69.9	
	TOTAL	528		
Peso Total de Lavado:			136.00	
Peso Total después de Lavado:			41.00	
Módulo de Finura:				

CURVA GRANULOMÉTRICA



CÁPSULA	PESO CAPSULA	PESO CAP. + SUELO H.	CAPSULA + SUELO SECO	Nº DE GOLPES	CONTENID HUMEDAD	PROMEDIO
			HUMEDAD NATURAL			
	17.97	106.42	82.56		36.94	36.94
			LÍMITE LÍQUIDO			
302	18.66	34.66	28.53	16.00	62.11	60.70
326	16.79	33.30	27.05	24.00	60.92	
125	18.24	35.17	28.79	28.00	60.47	
304	18.62	36.66	29.90	36.00	59.93	
			LÍMITE PLÁSTICO			
149	9.10	10.98	10.63		22.88	22.60
169	9.20	10.88	10.57		22.63	
383	8.78	10.70	10.35		22.29	



CLASIFICACIÓN	
I.P. (Indice de Plasticidad)	38.10 %
D10 (diámetro efectivo)	
D30	
D60	
Cu (Coeficiente de Uniformidad)	
Cc (Grado de Curvatura)	
IG (Indice de Grupo)	19
Clasificación S.U.C.S.	Arcilla alta plasticidad arenosa CH
Clasificación AASHTO	A-7-6 Suelo arcilloso

SUELOS Y PAVIMENTOS S&P LABORATORIO

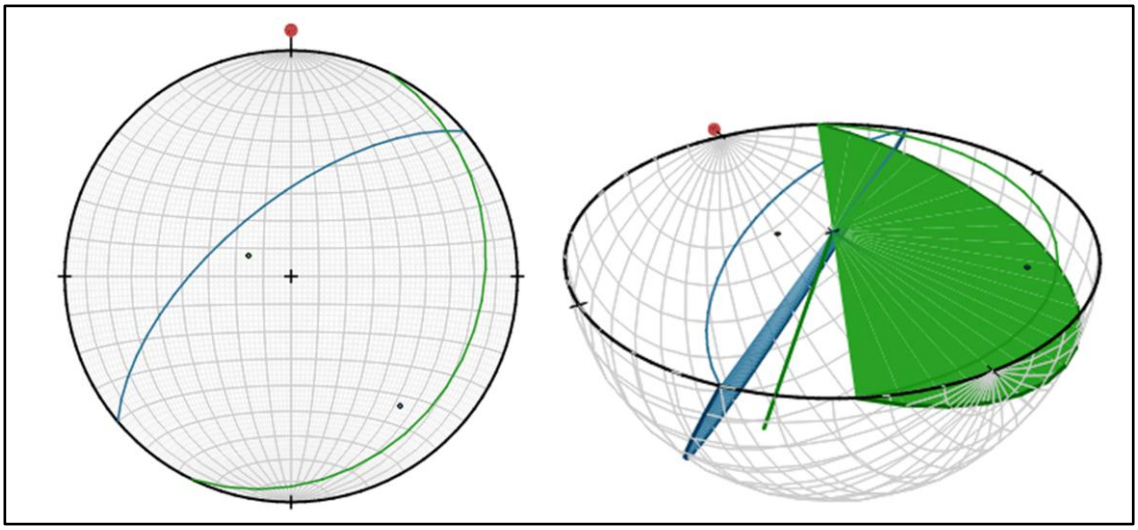
José Songor Esparza, Ingeniero Civil
Reg. CENESCYT 1031-02-269173

Anexo 18

Afloramientos tomados en cuenta para la realización de los estereogramas

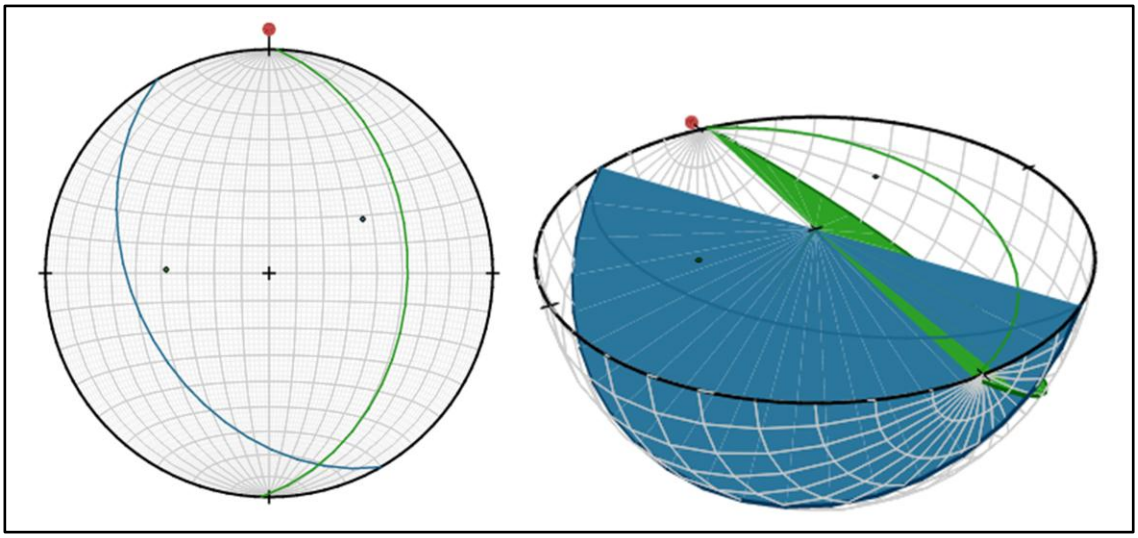
Anexo 18.1. Afloramiento N° 1 de calizas.

Anexo 18.2. Estereograma del afloramiento N° 1.



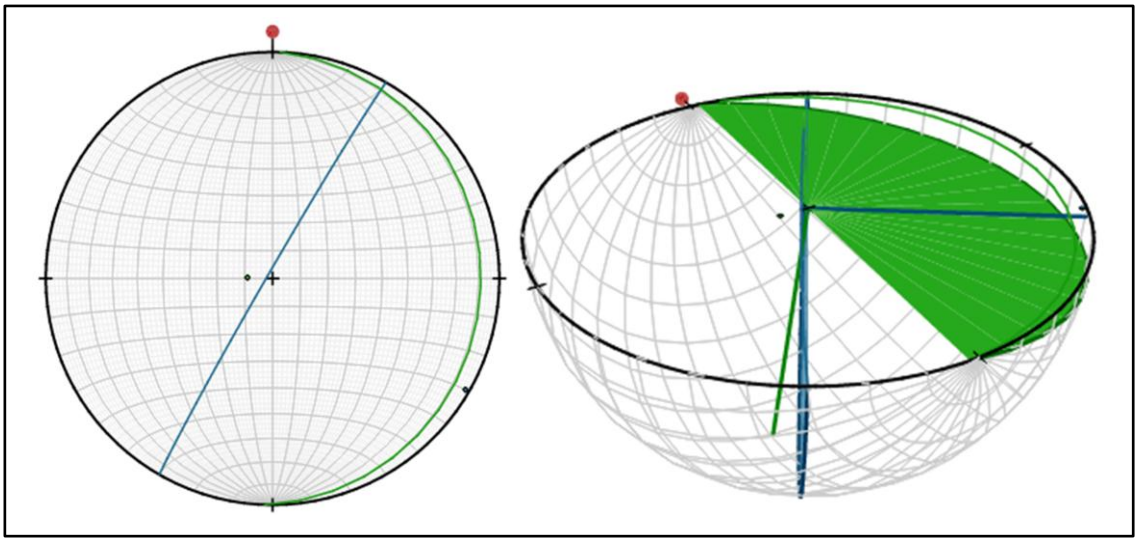
Anexo 18.3. Afloramiento N° 9 de lutitas.

Anexo 18.4. Estereograma del afloramiento N° 9.



Anexo 18.5. Afloramiento N° 10 de calizas.

Anexo 18.6. Estereograma del afloramiento N° 10.



Anexo 19

Artículo Científico

Loja 09 de Diciembre del 2015

Lic. Carmen Roció Castro González

CERTIFICA: Haber traducido el resumen de tesis denominado **"SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE LA VÍA DE INTEGRACIÓN BARRIAL, TRAMO URNA DE LA VIRGEN - BARRIO PANAMÁ, CIUDAD DE LOJA, CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA;** del Señor egresado Diego Fabián Guamán Ramos.

Se expide el presente, a solicitud del interesado para los fines que considere convenientes.

Lic. Carmen Roció Castro González
190052990-8