



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

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

**CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y  
ORDENAMIENTO TERRITORIAL**

**TÍTULO:**

“EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO EN LOS  
SECTORES DE GUNUDEL–GULAGPAMBA PERTENECIENTES A LA  
PARROQUIA Y CANTÓN SARAGURO, PROVINCIA DE LOJA”

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

**AUTOR:**

Jorge Luis Sarango Chalán

**DIRECTOR:**

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

**LOJA-ECUADOR**

## II. CERTIFICACIÓN

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

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

### **CERTIFICA:**

Haber dirigido, asesorado y corregido el presente trabajo de tesis de grado en su proceso de investigación cuyo tema versa en **EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO EN LOS SECTORES DE GUNUDEL–GULAGPAMBA PERTENECIENTES A LA PARROQUIA Y CANTÓN SARAGURO, PROVINCIA DE LOJA.**, previo a la obtención del título de **INGENIERO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, realizado por el señor egresado: **JORGE LUIS SARANGO CHALÁN**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación por lo que autorizo su presentación para la evaluación y posterior sustentación.

Loja, 10 de noviembre de 2016




-----  
Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**

### III. AUTORÍA

Yo, **JORGE LUIS SARANGO CHALÁN** 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:** 1104478472

**Fecha:** 21 de noviembre de 2016


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

Yo, **JORGE LUIS SARANGO CHALÁN** declaro ser autor de la tesis titulada: **EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO EN LOS SECTORES DE GUNUDEL–GULAGPAMBA PERTENECIENTES A LA PARROQUIA Y CANTÓN SARAGURO, 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 veinte y un días del mes de noviembre de dos mil dieciséis.



**Firma:** .....

**Autor:** Jorge Luis Sarango Chalán

**Cédula:** 1104478472

**Dirección:** Saraguro (Calle Sucre y Guayaquil, s/n)

**Correo Electrónico:** jlsarango89@hotmail.com/ jlsarangoc@unl.edu.ec

**Teléfono:** S/n ; **Celular:** 0968953608/0995312756

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

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

**Tribunal de Grado:**

Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho, Mg. Sc.

Ing. Carlomagno Nixon Chamba Tacuri, Mg. Sc.

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg.Sc.

## V. DEDICATORIA

De manera muy especial a mi pequeña familia, Claudia y Katari por su compañía, sacrificio y cariño en estos años de formación profesional y personal.

A mis padres Mariana y Miguel por su esfuerzo y apoyo incondicional.

A mis hermanos Elvia Patricia, Juan Daniel y Ángel Oswaldo por su enorme apoyo.

**Jorge Luis Sarango Chalán**

## VI. AGRADECIMIENTO

A la fuerza y energía cósmica que me revitaliza día a día.

A Claudia por ser parte de mi fortaleza; mi complemento, la mano amiga y la compañía en mi largo andar.

A mi hijo Katari por haberme permitido nacer de nuevo junto a él; por ser la caricia más tierna y el canto más alegre en mi vida.

A mis padres, Marianita y Miguel por ser el sacrificio en forma humana; por haberme tendido sus firmes manos cuando me caía.

A mis hermanos Elvia Patricia, Juan Daniel y Ángel Oswaldo por su apoyo incondicional.

A la Universidad Nacional de Loja por ser la cuna de mi formación profesional.

Al Ing. Walter Tambo Mg Sc., director de tesis que con profesionalismo supo guiarme para culminar exitosamente este proceso investigativo.

Al Ing. Michael Valarezo Mg Sc., al Ing. Diego Jara Mg Sc., y a la Dra. Silvia Loaiza, Ph. D., por el apoyo oportuno.

A los habitantes de la comunidad de Gunudel-Gulagpamba por facilitarme el desarrollo del presente trabajo investigativo.

**Jorge Luis Sarango Chalán**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA.....	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	XVI
<b>1. TÍTULO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. RESUMEN.....</b>	<b>2</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>4. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>8</b>
<b>4.1 Riesgos geológicos.....</b>	<b>8</b>
4.1.1 Movimientos en masa .....	8
4.1.2 Partes de un deslizamiento .....	9
4.1.3 Dimensiones de los movimientos en masa.....	10
4.1.4 Factores de inestabilidad .....	12
4.1.5 Clasificación de los movimientos en masa .....	12
<b>4.2 Susceptibilidad a deslizamientos .....</b>	<b>14</b>
4.2.1 Clasificación de la susceptibilidad .....	15
4.2.2 Elementos para elaborar un mapa de susceptibilidad .....	15
4.2.3 Métodos de análisis de la susceptibilidad.....	15
<b>4.3 Amenaza por deslizamientos.....</b>	<b>16</b>

4.3.1	Objetivos de estudio de la amenaza.....	17
4.3.2	Métodos de análisis .....	17
4.3.3	Niveles de amenaza.....	17
4.3.4	Zonificación de la amenaza.....	18
4.3.5	Terminología de la amenaza.....	18
<b>4.4</b>	<b>Vulnerabilidad a deslizamientos.....</b>	<b>19</b>
4.4.1	Variables e indicadores de la vulnerabilidad.....	19
4.4.2	Importancia del análisis de la vulnerabilidad .....	20
4.4.3	Tipos de vulnerabilidad .....	20
<b>4.5</b>	<b>Riesgo por deslizamientos .....</b>	<b>22</b>
4.5.1	Elementos de riesgo .....	23
4.5.2	Análisis de riesgo.....	23
<b>4.6</b>	<b>Topografía.....</b>	<b>24</b>
4.6.1	Levantamiento topográfico .....	24
<b>4.7</b>	<b>Geología.....</b>	<b>24</b>
4.7.1	Geología estructural.....	25
4.7.2	Elementos de yacencia de las estructuras geológicas.....	25
4.7.3	Mapa geológico – estructural .....	25
<b>4.8</b>	<b>Geomorfología.....</b>	<b>25</b>
<b>4.9</b>	<b>Exploración geotécnica.....</b>	<b>26</b>
4.9.1	Criterios técnicos.....	26
4.9.2	Métodos de exploración geotécnica .....	26
<b>5.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
<b>5.1</b>	<b>Materiales.....</b>	<b>29</b>
<b>5.2</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>30</b>
5.2.1	Delimitar el área de estudio mediante el levantamiento topográfico y geológico en los sectores de Gunudel – Gulagpamba, identificando los principales rasgos litológicos y estructurales. ....	30
5.2.2	Determinar las propiedades físicos - mecánicos de los geomateriales del área de estudio mediante la aplicación de métodos indirectos, Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y su corroboración mediante métodos directos como los Ensayos de Penetración Estándar (SPT).....	32

5.2.3	Identificar, caracterizar y zonificar las amenazas por deslizamiento en el área de estudio para la evaluación de la vulnerabilidad física estructural de edificaciones y vías.....	39
5.2.4	Elaborar el mapa de riesgo a deslizamiento mediante la correlación del mapa de amenaza y el mapa de vulnerabilidad. ....	55
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>56</b>
<b>6.1</b>	<b>Resultados generales.....</b>	<b>56</b>
6.1.1	Ubicación y acceso .....	56
6.1.2	Hidrografía .....	57
6.1.3	Clima.....	58
6.1.4	Demografía .....	58
6.1.5	Actividades económicas.....	58
6.1.6	Infraestructura .....	58
<b>6.2</b>	<b>Resultados específicos.....</b>	<b>59</b>
6.2.1	Topografía.....	59
6.2.2	Geología Regional .....	60
6.2.3	Geología local .....	63
6.2.4	Pendientes .....	73
6.2.5	Uso actual del suelo.....	74
6.2.6	Geomorfología .....	76
6.2.7	Inventario de deslizamientos.....	81
6.2.8	Campaña geotécnica .....	90
6.2.9	Análisis de susceptibilidad por el método multicriterio .....	134
6.2.10	Análisis de amenaza por deslizamientos .....	141
6.2.11	Análisis de vulnerabilidad física .....	148
6.2.12	Evaluación de riesgos.....	160
<b>7.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>163</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>166</b>
<b>9.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>170</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>173</b>
<b>11.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>176</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Procesos geológicos y meteorológicos que pueden causar riesgos. ....	8
<b>Tabla 2.</b> Factores que influyen en los movimientos de masa.....	12
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de los movimientos en masa.....	12
<b>Tabla 4.</b> Caracterización de los deslizamientos rotacionales.....	13
<b>Tabla 5.</b> Caracterización de los deslizamientos traslacionales. ....	14
<b>Tabla 6.</b> Métodos de análisis de susceptibilidad.....	15
<b>Tabla 7.</b> Variable e indicadores (vulnerabilidad física estructural de edificaciones). ...	21
<b>Tabla 8.</b> Variable e indicadores (vulnerabilidad física de la red vial).....	22
<b>Tabla 9.</b> Consideraciones técnicas de la exploración geotécnica. ....	26
<b>Tabla 10.</b> Consideraciones técnicas del SPT. ....	27
<b>Tabla 11.</b> Esquema del método de jerarquías analíticas para asignación de pesos. ...	41
<b>Tabla 12.</b> Escalas para determinar el valor de $X_{ij}$ .....	41
<b>Tabla 13.</b> Unidades de Cálculos del Terreno (UCT). ....	43
<b>Tabla 14.</b> Grados del coeficiente de correlación.....	47
<b>Tabla 15.</b> Indicadores de vulnerabilidad física (edificaciones). ....	52
<b>Tabla 16.</b> Niveles de vulnerabilidad (edificaciones). ....	53
<b>Tabla 17.</b> Indicadores de vulnerabilidad física (red vial). ....	54
<b>Tabla 18.</b> Niveles de vulnerabilidad (red vial). ....	54
<b>Tabla 19.</b> Matriz para obtener la vulnerabilidad final.....	54
<b>Tabla 20.</b> Matriz para obtener el mapa de riesgo.....	55
<b>Tabla 21.</b> Límites del sector Gunudel-Gulagpamba.....	56
<b>Tabla 22.</b> Delimitación del sector Gunudel-Gulagpamba.....	56
<b>Tabla 23.</b> Infraestructura existente en el sector Gunudel-Gulagpamba. ....	58
<b>Tabla 24.</b> Rango de valores de pendientes. ....	73
<b>Tabla 25.</b> Ubicación y caracterización de los deslizamientos.....	82
<b>Tabla 26.</b> Resistividad de los geomateriales.....	90
<b>Tabla 27.</b> Ubicación geográfica de los SEV´s.....	91
<b>Tabla 28.</b> Datos obtenidos en el campo para el SEV 1.....	93
<b>Tabla 29.</b> Datos obtenidos en el campo para el SEV 2.....	95
<b>Tabla 30.</b> Datos obtenidos en el campo para el SEV 3.....	97
<b>Tabla 31 .</b> Datos obtenidos en el campo para el SEV 4.....	99
<b>Tabla 32.</b> Datos obtenidos en el campo para el SEV 5.....	101
<b>Tabla 33.</b> Ubicación geográfica de los SPT´s. ....	105

<b>Tabla 34.</b> Datos del SPT 1.....	106
<b>Tabla 35 .</b> Datos del SPT 2.....	107
<b>Tabla 36.</b> Características y uso de los suelos.....	108
<b>Tabla 37.</b> Consistencia relativa.....	109
<b>Tabla 38.</b> Resultado de la consistencia relativa (CR).....	109
<b>Tabla 39.</b> Comportamiento de los suelos en función del IL.....	110
<b>Tabla 40.</b> Resultado del índice de liquidez (IL). ....	110
<b>Tabla 41.</b> Clasificación de las arcillas según su comportamiento “A”.....	111
<b>Tabla 42.</b> Resultados del comportamiento “A”.....	111
<b>Tabla 43.</b> Criterios para determinar cambio de volumen.....	112
<b>Tabla 44.</b> Criterios para determinar el potencial expansivo.....	112
<b>Tabla 45.</b> Asentamientos calculados. ....	116
<b>Tabla 46.</b> Rangos de permeabilidad de los suelos del sector de estudio. ....	117
<b>Tabla 47.</b> Factor de seguridad (ábaco N° 3 de Hoek y Bray). ....	121
<b>Tabla 48.</b> Factor de seguridad en función de escenarios (grados de saturación). ....	121
<b>Tabla 49.</b> Índice de estabilidad y clase de estabilidad. ....	123
<b>Tabla 50.</b> Relación escenario y factor de seguridad. ....	123
<b>Tabla 51.</b> Resumen valoración del factor de seguridad de los deslizamientos.....	123
<b>Tabla 52.</b> Pendientes típicas para taludes en terraplenes y cortes. ....	127
<b>Tabla 53.</b> Valoración de unidades geológicas-geotécnicas.....	130
<b>Tabla 54.</b> Resumen de valoración geológica-geotécnica.....	130
<b>Tabla 55.</b> Datos y fórmulas para cálculos de cimentación. ....	131
<b>Tabla 56.</b> Cimentación para la unidad geotecnia N° 1. ....	132
<b>Tabla 57.</b> Cimentación para la unidad geotecnia N° 2. ....	132
<b>Tabla 58.</b> Normalización de las variables de geomorfología. ....	135
<b>Tabla 59.</b> Normalización de las variables de geología. ....	135
<b>Tabla 60.</b> Normalización de las variables de pendiente. ....	135
<b>Tabla 61.</b> Normalización de las variables de uso actual de suelo. ....	136
<b>Tabla 62.</b> Normalización de los mapas para la susceptibilidad. ....	138
<b>Tabla 63.</b> Relación susceptibilidad con las viviendas y habitantes.....	139
<b>Tabla 64.</b> Precipitaciones calculadas para un tiempo de retorno de 100 años.....	142
<b>Tabla 65.</b> Datos de correlación de amenaza y deslizamientos. ....	144
<b>Tabla 66.</b> Relación amenaza con las viviendas y habitantes. ....	146
<b>Tabla 67.</b> Resultado específico de la tipología de viviendas. ....	148
<b>Tabla 68.</b> Resultado general de tipología de viviendas.....	149

<b>Tabla 69.</b> Uso de las viviendas analizadas. ....	149
<b>Tabla 70.</b> Resultado específico de la evaluación de vulnerabilidad.....	151
<b>Tabla 71.</b> Resultado general de la evaluación de vulnerabilidad. ....	151
<b>Tabla 72.</b> Tipología de red vial (Panamericana). ....	153
<b>Tabla 73.</b> Tipología de red vial (Tercer orden). ....	154
<b>Tabla 74.</b> Vulnerabilidad física de la red vial (Panamericana).....	154
<b>Tabla 75.</b> Vulnerabilidad física de la red vial (Tercer Orden). ....	154
<b>Tabla 76.</b> Zonas o escenarios de exposición. ....	156
<b>Tabla 77.</b> Matriz para obtener la vulnerabilidad final.....	158
<b>Tabla 78.</b> Relación vulnerabilidad final con las viviendas y habitantes. ....	158
<b>Tabla 79.</b> Relación riesgo con las viviendas y habitantes. ....	160

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Partes de un deslizamiento. ....	9
<b>Figura 2.</b> Dimensiones de los movimientos en masa.....	11
<b>Figura 3.</b> Escalas recomendadas para la zonificación de amenazas por deslizamiento. ....	17
<b>Figura 4.</b> Periodo de retorno de un deslizamiento. ....	19
<b>Figura 5.</b> Ilustración de la Metodología para elaboración del mapa de riesgo. ....	24
<b>Figura 6.</b> Elementos de yacencia de las estructuras. ....	25
<b>Figura 7.</b> Medida de resistividades del terreno mediante métodos eléctricos. ....	28
<b>Figura 8.</b> Arreglo Schlumberger y el Wenner.....	28
<b>Figura 9.</b> Materiales de campo y oficina. ....	29
<b>Figura 10.</b> Procedimiento para realizar los SEV´s. ....	34
<b>Figura 11.</b> Procedimiento de campo y laboratorio para realizar los SPT. ....	37
<b>Figura 12.</b> Funcionamiento de la herramienta suma ponderada.....	44
<b>Figura 13.</b> Model Builder para obtener susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo.....	45
<b>Figura 14.</b> Procedimiento para estimación de precipitación faltante. ....	47
<b>Figura 15.</b> Relación: Tasa de retorno-Probabilidad. ....	49
<b>Figura 16.</b> Tabla de probabilidades de Gauus.....	49
<b>Figura 17.</b> Toba riolítica y sus minerales característicos. ....	64
<b>Figura 18.</b> Toba riolítica con la presencia de clastos y bloques.....	65
<b>Figura 19.</b> Caracterización de toba del macizo rocoso. ....	66
<b>Figura 20.</b> Bloques dispersos con incrustaciones de riolita y andesita porfirítica.....	67
<b>Figura 21.</b> Coluvión con clastos fuertemente meteorizados. ....	67
<b>Figura 22.</b> Limolita con presencia de micas y rastro de materia orgánica.....	70
<b>Figura 23.</b> Contacto limolita-coluvión. Ver fotografías 11 y 12.....	72
<b>Figura 24.</b> Pendientes del sector Gunudel-Gulagpamba. ....	73
<b>Figura 25.</b> Uso actual de suelo del sector Gunudel-Gulagpamba.....	75
<b>Figura 26.</b> Geomorfología del sector Gunudel-Gulagpamba. ....	77
<b>Figura 27.</b> Criterios para los deslizamientos en coluviones. ....	81
<b>Figura 28.</b> Deslizamiento D-G-01.....	83
<b>Figura 29.</b> Ubicación geográfica de los SEV´s. ....	91
<b>Figura 30.</b> Curvas de resistividades y error admisible del SEV 1.....	93
<b>Figura 31.</b> Perfil geoelectrico del SEV 1.....	94

<b>Figura 32.</b> Curvas de resistividades y error admisible del SEV 2.....	95
<b>Figura 33.</b> Perfil geoelectrico del SEV 2.....	96
<b>Figura 34.</b> Curvas de resistividad y error admisible del SEV 3. ....	97
<b>Figura 35.</b> Perfil geoelectrico del SEV 3.....	98
<b>Figura 36.</b> Curvas de resistividad y error admisible del SEV 4. ....	99
<b>Figura 37.</b> Perfil geoelectrico del SEV 4.....	100
<b>Figura 38.</b> Curvas de resistividad y error admisible del SEV 5. ....	101
<b>Figura 39.</b> Perfil geoelectrico del SEV 5.....	102
<b>Figura 40.</b> Corte geoelectrico 1 (SEV 1, 2 y 3). ....	104
<b>Figura 41.</b> Corte geoelectrico 2 (SEV 4 y 5). ....	104
<b>Figura 42.</b> Perfil estratigrafico del SPT 1.....	106
<b>Figura 43.</b> Perfil estratigrafico del SPT 2.....	107
<b>Figura 44.</b> Valores típicos del comportamiento “A”.....	111
<b>Figura 45.</b> Criterio de peligrosidad a partir de la expansividad. ....	112
<b>Figura 46.</b> Tensiones verticales y horizontales (SPT 1).....	113
<b>Figura 47.</b> Tensiones Vs. Profundidad (SPT 1). ....	114
<b>Figura 48.</b> Tensiones verticales y horizontales (SPT 2).....	114
<b>Figura 49.</b> Tensiones Vs. Profundidad (SPT 2). ....	114
<b>Figura 50.</b> Profundidad Vs.carga admisible neta. ....	115
<b>Figura 51.</b> Relación profundidad y asentamiento total.....	117
<b>Figura 52.</b> Cálculo de coeficiente de permeabilidad. SPT 1. ....	118
<b>Figura 53.</b> Cálculo de coeficiente de permeabilidad. SPT 2. ....	118
<b>Figura 54.</b> Factor de seguridad para el deslizamiento 2. ....	119
<b>Figura 55.</b> Factor de seguridad para el deslizamiento 6. ....	120
<b>Figura 56.</b> Factor de seguridad para el deslizamiento 5.....	120
<b>Figura 57.</b> Gráficas de sensibilidad. ....	122
<b>Figura 58.</b> Procedimiento para obtener el mapa de susceptibilidad.....	134
<b>Figura 59.</b> Susceptibilidad del sector Gunudel-Gulagpamba.....	138
<b>Figura 60.</b> Procedimiento para obtener el mapa de amenaza. ....	141
<b>Figura 61.</b> Procedimiento para obtener el mapa de isoyetas.....	142
<b>Figura 62.</b> Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas.....	143
<b>Figura 63.</b> Isoyetas del sector Gunudel-Gulagpamba.....	143
<b>Figura 64.</b> Porcentajes de amenaza alta y media respecto a deslizamientos.....	145
<b>Figura 65.</b> Procedimiento para correlacionar amenaza-deslizamientos.....	145
<b>Figura 66.</b> Amenaza del sector Gunudel-Gulagpamba.....	146

---

<b>Figura 67.</b> Zonas de exposición de los elementos ante un deslizamiento. ....	156
<b>Figura 68.</b> Procedimiento para obtener el mapa de amenazas. ....	157
<b>Figura 69.</b> Vulnerabilidad física del sector Gunudel-Gulagpamba .....	158
<b>Figura 70.</b> Riesgo del sector Gunudel-Gulagpamba.....	160

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1.</b> Levantamiento topográfico (estación total SOKKIA SET 550 RX).....	30
<b>Fotografía 2.</b> Levantamiento geológico – estructural.....	31
<b>Fotografía 3.</b> Procedimiento de campo para realizar los SEV´s. ....	35
<b>Fotografía 4.</b> Procedimiento de campo para el SPT.....	38
<b>Fotografía 5.</b> Afloramiento de toba riolítica diaclasado.....	63
<b>Fotografía 6.</b> Macizo rocoso de toba riolítica con presencia de diaclasas. ....	66
<b>Fotografía 7.</b> Coluvión con una dirección preferencial de flujo (imbricación). ....	68
<b>Fotografía 8.</b> Coluvión con diferencia de diámetro de clastos. ....	68
<b>Fotografía 9.</b> Escarpe de deslizamiento en coluvión. ....	69
<b>Fotografía 10.</b> Bloques de tamaños variados de limolita. ....	70
<b>Fotografía 11.</b> Contacto entre limolita y coluvión.....	71
<b>Fotografía 12.</b> Contacto entre limolita y coluvión. ....	71
<b>Fotografía 13.</b> Valle deposicional.....	77
<b>Fotografía 14.</b> Llanuras planas a onduladas. ....	78
<b>Fotografía 15.</b> Escarpe de deslizamiento.....	79
<b>Fotografía 16.</b> Coluvión antiguo existente en todo el sector de estudio.....	79
<b>Fotografía 17.</b> Colina baja.....	80
<b>Fotografía 18.</b> Colina media.....	80
<b>Fotografía 19.</b> Deslizamiento D-G-02.....	84
<b>Fotografía 20.</b> Deslizamiento D-G-03.....	85
<b>Fotografía 21.</b> Deslizamiento D-G-04.....	86
<b>Fotografía 22.</b> Deslizamiento D-G-05.....	87
<b>Fotografía 23.</b> Deslizamiento D-G-06.....	88
<b>Fotografía 24.</b> Deslizamiento D-G-07.....	89
<b>Fotografía 25.</b> Tipología de viviendas y sus grados de vulnerabilidad. ....	152
<b>Fotografía 26.</b> Tipología de vías y sus grados de vulnerabilidad.....	155

## 1. TÍTULO

EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO EN LOS SECTORES DE GUNUDEL – GULAGPAMBA PERTENECIENTES A LA PARROQUIA Y CANTÓN SARAGURO, PROVINCIA DE LOJA.

## 2. RESUMEN

El presente trabajo investigativo tiene como finalidad el planteamiento de una metodología con base científica que permita entender los hechos, explicar las causas, pronosticar tendencias y determinar el comportamiento espacial y temporal de los riesgos por deslizamientos en el sector de Gunudel-Gulagpamba de la parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja.

Para el desarrollo investigativo se realizó trabajos de campo y/o oficina mediante la aplicación de criterios topográficos, geológicos, geomorfológicos, uso actual de suelos y geotécnicos (SEV y SPT) con la finalidad de integrar y procesar información técnica en programas (software) adecuados (ArcGis 10.2 y AutoCad 2013) para modelar la situación actual del sector de estudio.

La información obtenida fueron mapas y/o variables primarias usadas para la generación de mapas posteriores como el de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y finalmente el de riesgos por deslizamientos.

El mapa de susceptibilidad a deslizamientos se lo realizó por el método multicriterio que integra jerárquicamente los mapas primarios y asigna un peso relativo adecuado a las mismas. Para la determinación de los pesos dados a los criterios, se empleó el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) o Analytic Hierarchy Process (AHP) que fue desarrollado por (Saaty, 1990) y que está basado en el desarrollo de prioridades; es decir, los que tengan mayor incidencia en la ocurrencia de los deslizamientos tendrán mayor peso.

Los mapas primarios y sus pesos ordenados jerárquicamente son: la geomorfología (0.470), la geología (0.262), las pendientes (0.208) y el uso actual de suelo (0.036) dando como resultado 3 clases de susceptibilidad: baja con el 24.11%, media con el 54.22% y la susceptibilidad alta con el 21.67% de la superficie total analizada.

Para obtener el mapa de amenaza por deslizamientos; se le suma al mapa de susceptibilidad el evento detonante (precipitaciones) que consideró datos de 50 años atrás y con un periodo de retorno de 100 años. El mapa de amenaza obtenido integra 3 clases: amenaza baja con el 4.56%, amenaza media con el 73.28% y la amenaza alta con el 22.16% de la superficie total.

Para obtener el mapa de vulnerabilidad física se recopiló información de campo mediante fichas con la finalidad de caracterizar estructuralmente las edificaciones y las vías, así como el medio circundante de las mismas.

Seguidamente se realizó la evaluación de la completitud mediante el uso de 11 variables; se calculó el índice de completitud que debe ser mayor al 90% para seguir con la siguiente fase y finalmente la evaluación de vulnerabilidad que consideró 7 variables. Este procedimiento fue válido solo para la edificaciones; y para las vías se realizó directamente la evaluación de la vulnerabilidad con la consideración de 4 variables.

Obtenido la vulnerabilidad física de las edificaciones y la red vial fue necesario procesarlos y obtener el mapa final para lo cual se crearon buffers de 25 m de cada elemento de riesgo y se unieron sus perímetros. De esta manera se obtuvo el mapa de vulnerabilidad a deslizamientos final que integra 2 clases: vulnerabilidad media con el 12.22% y la vulnerabilidad alta con el 87.78% de la superficie total analizada.

Al multiplicar los mapas de amenazas y vulnerabilidad se obtiene el mapa de riesgo por deslizamientos que integra 3 clases: riesgo bajo con el 0.90%, riesgo medio con el 10.06% y el riesgo alto con el 89.03% de la totalidad de la superficie estudiada.

Todas las variables obtenidas y sumados a la presencia de deslizamiento caracterizados; la densidad y distribución poblacional; las características físicas mecánicas determinadas con los SEV (profundidad de nivel freático) y los STP ( carga admisible); permitió modelar técnica e íntegramente las condiciones actuales del sector de estudio y así determinar las áreas con el mínimo riesgo que sean propicias para construcciones civiles bajo el cumplimiento de normativas y criterios geológicos preventivos que eleven el nivel de seguridad de la población y sus bienes.

## ABSTRACT

The present research work is to develop a scientific methodology base to understand the facts, explain the causes, predict tendencies, and determine the spatial and temporary conduct of risks caused by landslides at Gunudel-Gulagpamba area in Saraguro parish-canton, Loja province.

To the development of the research, there were carry out field and office work through the application of topographical, geologic, geomorphologic, current soil use and geotechnical approaches (SEV and SPT) with the purpose of integrate and process technical information into appropriate software programs (ArcGIS 10.2 and AutoCAD 2013) to exemplify the current situation of the investigated area.

The gathered information consists on maps and primary variables used to the generation of posterior maps as the susceptibility, threatens, vulnerability and finally, the risks caused by landslides.

The susceptibility map to landslides was carried out through the multi-criteria method that integrates the primary maps hierarchically and assigns a relative and appropriate weight for them. For the determination of the weights given to the approaches, it was used the Analytic Hierarchy Process (AHP) that was developed by Saaty in 1990 which is based on the development of priorities; those that have greatest incidence in the development of the landslides that will have greater weight.

The primary maps and their weights ordered hierarchically are: the geomorphology (0.470), the geology (0.262), the slopes (0.208) and the current use of ground (0.036) giving as a result 3 types of susceptibility: lower with 24.11%, media with 54.22% and the high susceptibility with 21.67% of analyzed surface.

To obtain the landslides threatening map; it is added to the susceptibility map the detonating event (precipitations) that considered 50 years data and with a return period of 100 years. The obtained threatening map integrates 3 types: low threat with 4.56%, low threat with 73.28% and the high threat with 22.16% of the area.

To obtain the physical vulnerability map it was gathered information of the field through records with the purpose of characterizing the constructions and the roads structurally, as well as the surrounding mean of them.

Subsequently, it was carried out the evaluation of the completeness through the use of 11 variables; the completeness index was calculated which should be bigger than 90% to continue with the next phase and finally the vulnerability evaluation that considered 7 variables. This procedure was valid just for the constructions and the roads; it was carried out the evaluation of the vulnerability directly considering 4 variables.

Obtained the physical vulnerability of the constructions and the road net, it was necessary to process them and obtain the final map for which buffers of 25 m, each element of risk were created and their perimeters were united. Tin that way the vulnerability map was obtained to final landslides that integrate 2 types: average vulnerability with 12.22% and the high vulnerability with 87.78% of the analyzed surface.

Multiplying threats and vulnerability maps, the map of risk by landslides that integrates 3 types is obtained: low risk with 0.90%, average risk with 10.06% and high risk with 89.03% of the total area studied.

All variables obtained and added to the presence of characterized landslide; density and population distribution; The determined physical mechanical characteristics with SEV (phreatic level depth) and STP (permissible load); allowed technically and integrally modeling the current conditions of the study area and thus determine the areas with the minimum risk conducive to civil constructions under the compliance with norms and preventive geological criteria that raise the security level of the population and its goods.

### 3. INTRODUCCIÓN

La tierra, desde el inicio de su historia se ha caracterizado por procesos muy complejos; los mismos que generan una serie de riesgos que pueden ser aislados o interactuar entre sí. Estos eventos geológicos son inherentes a la génesis del hombre y su desarrollo en un medio específico; por lo cual, es prioridad el estudio íntegro de los mismos enmarcados principalmente en la identificación, caracterización y su evaluación.

El crecimiento poblacional desordenado y sin una normativa que los regule, el desconocimiento de los procesos naturales, sus formas de ocurrencia y su dimensionamiento ha provocada la expansión urbana hacia áreas altamente inestables desde los puntos de vista geológico, geomorfológico, geotécnico e hidrológico; por lo que deben ser ampliamente considerados al momento de la planificación y ordenamiento territorial.

En nuestro país; la presencia de relieves empinados, la geología y sus estructuras, la hidrología e hidrogeología, la acción de las lluvias, la intervención del hombre y la acción de los sismos son factores que determinan o condicionan la inestabilidad de taludes y laderas.

A partir del año 2010 en el sector Gunudel-Gulagpamba se hizo más notorio los agrietamientos de pisos y paredes de las viviendas y el colapso parcial de distintos tramos de las vías de acceso por lo que es preciso evaluar la susceptibilidad, la amenaza, la vulnerabilidad física y el riesgo por deslizamiento con la finalidad de aumentar la seguridad de las personas y de obras civiles.

El proceso de evaluación requiere la aplicación de metodología tales como el multicriterio para la susceptibilidad; el periodo de retorno de las precipitaciones para la amenaza; la evaluación integral de las edificaciones y red vial para determinar la vulnerabilidad física; finalmente la multiplicación de amenaza y vulnerabilidad para obtener el mapa de riesgos.

Esta metodología está basado en el conocimiento detallado de la topografía, la geología, la geomorfología, el uso actual de suelos, los deslizamientos, el ensayo indirecto (SEV) y el directo (SPT) para obtener información geo – científica integra que permita realizar una zonificación técnica de los riesgos; las mismas que cumplirán con los objetivos de facilitar el diseño de medidas de prevención, control, estabilización y monitoreo correctos para la realización de una adecuada planificación territorial.

Por lo expuesto anteriormente se ha planteado realizar la EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO EN LOS SECTORES DE GUNUDEL – GULAGPAMBA PERTENECIENTES A LA PARROQUIA Y CANTÓN SARAGURO, PROVINCIA DE LOJA.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Riesgos geológicos

Ayala (1986), define a los riesgos geológicos como todo proceso, situación o suceso en el medio geológico, natural, inducido o mixto, que pueda generar un daño económico o social para alguna comunidad, y en cuya predicción, prevención o corrección han de emplearse criterios geológicos.

Los riesgos geológicos pueden ser entendidos como una circunstancia o situación de peligro, pérdida o daño, social y económico, debida a una condición geológica o a una posibilidad de ocurrencia de proceso geológico, inducido o no (Augusto Filho et al., 1990).

**Tabla 1.** Procesos geológicos y meteorológicos que pueden causar riesgos.

Procesos geodinámicos internos	Procesos geodinámicos externos	Procesos meteorológicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terremotos y tsunamis</li> <li>• Vulcanismo</li> <li>• Diapirismo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deslizamientos y desprendimientos</li> <li>• Hundimientos y subsidencia</li> <li>• Erosión - sedimentación</li> <li>• Expansividad y colapsabilidad de suelos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lluvias torrenciales y precipitaciones intensas</li> <li>• Inundaciones y avenidas</li> <li>• Procesos de arroyada</li> <li>• Huracanes</li> <li>• Tornados</li> </ul>

**Fuente:** Gonzales de Vallejo Luis I, 2002.

La dinámica de la tierra es compleja y se manifiesta de variadas formas en los distintos escenarios en la superficie.

Dentro de los procesos geodinámicas externos tenemos a los movimientos en masa, las mismas que deben ser analizados desde el punto de vista de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riegos.

#### 4.1.1 *Movimientos en masa*

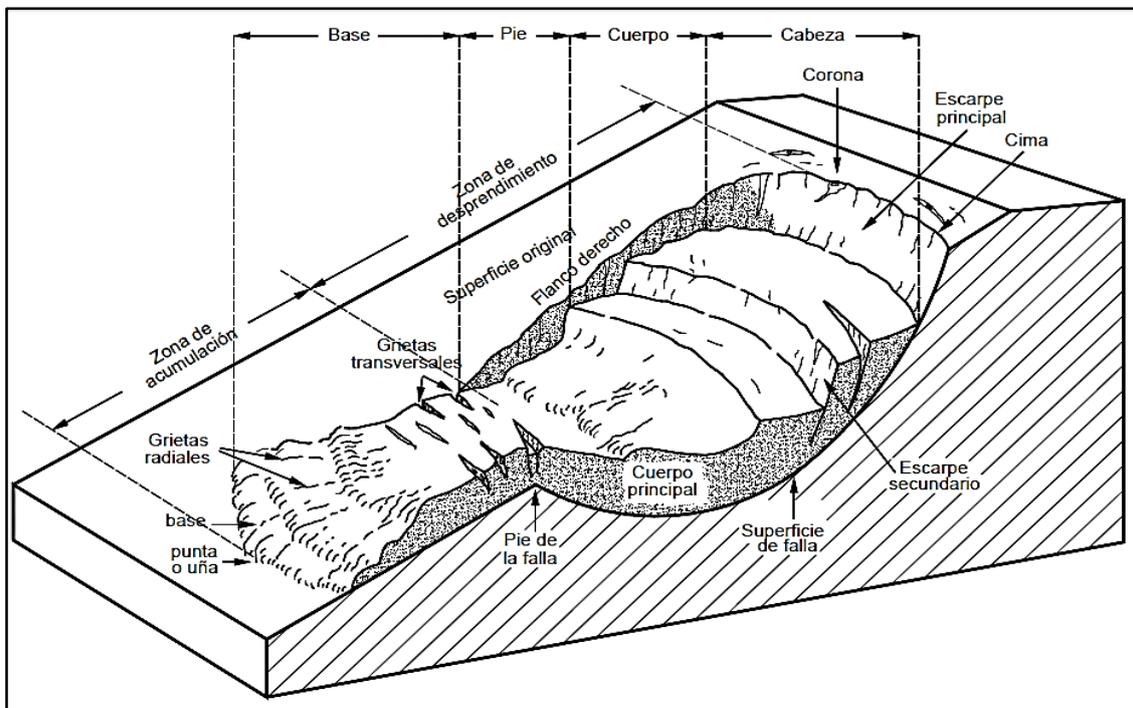
Es un movimiento gravitacional hacia el exterior del talud, desencadenante del desplazamiento de tierra o roca sin ayuda de un agente desencadenante (Crozier, 1986).

Son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb & Hrod, 1989).

Estos procesos llegan a constituir riesgos geológicos potenciales, ya que pueden causar daños económicos y sociales al afectar a las actividades y construcciones humanas (Gonzales de Vallejo Luis I, 2002).

#### 4.1.2 Partes de un deslizamiento

Suarez Días Jaime (2009) expone que las partes principales de un deslizamiento son las siguientes.



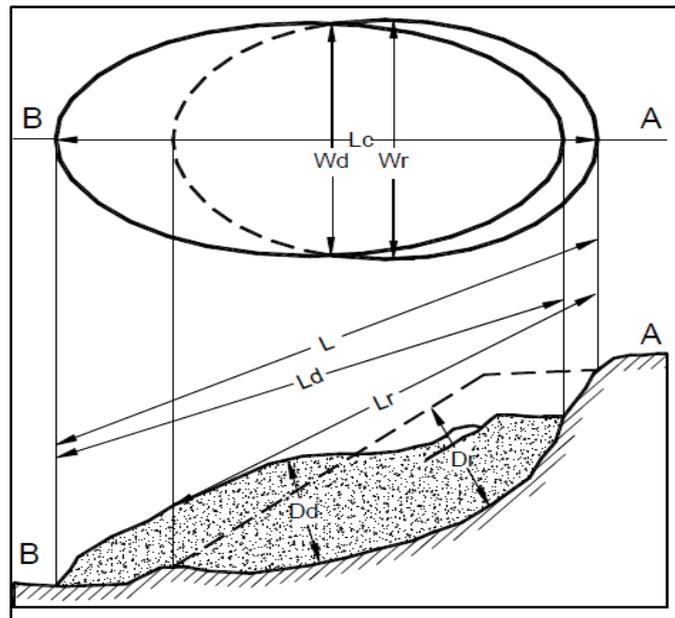
**Figura 1.** Partes de un deslizamiento.  
Fuente: Suarez Días Jaime, 2009.

- **Cabeza.-** Parte superior de la masa de material que se mueve.
- **Cima.-** El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

- **Corona.-** El material que se encuentra en el sitio, (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.
- **Escarpe principal.-** Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material.
- **Escarpe secundario.-** Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve.
- **Superficie de falla.-** Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. En algunos movimientos no hay superficie de falla.
- **Pie de la superficie de falla.-** La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- **Base.-** El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
- **Punta o uña.-** El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
- **Cuerpo principal del deslizamiento.-** El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.
- **Superficie original del terreno.-** La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.
- **Costado o flanco.-** Un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo.

#### **4.1.3 Dimensiones de los movimientos en masa**

Los elementos morfológicos y morfométricos de un deslizamiento ha sido desarrollada por la Asociación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería (IAEG, 1990).



**Figura 2.** Dimensiones de los movimientos en masa.  
**Fuente:** Suarez Días Jaime, 2009.

- **Ancho de la masa desplazada  $W_d$ .**- Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud,  $L_d$ .
- **Ancho de la superficie de falla  $W_r$ .**- Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud  $L_r$ .
- **Longitud de la masa deslizada  $L_d$ .**- Distancia mínima entre la punta y la cabeza.
- **Longitud de la superficie de falla  $L_r$ .**- Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
- **Profundidad de la masa desplazada  $D_d$ .**- Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por  $W_d$  y  $L_d$ .
- **Profundidad de la superficie de falla  $D_r$ .**- Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por  $W_r$  y  $L_r$ .
- **Longitud total  $L$ .**- Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.

- **Longitud de la línea central Lcl.-** Distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento.

#### 4.1.4 Factores de inestabilidad

Los factores que condicionan los terrenos para la ocurrencia de deslizamientos desde el punto de vista geológico pueden ser intrínsecos, detonantes y contribuyentes las cuales son integradas en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Factores que influyen en los movimientos de masa.

<b>Parámetros</b>	Tipo de material
	Pendiente
	Condiciones hidrológicas
	Procesos morfológicos
	Parámetros externos
<b>Procesos</b>	Resecamiento del suelo
	Saturación del material con agua
	Modificaciones por erosión
<b>Factores</b>	Composición y fábrica textural
	Estado de alteración
	Disposición (orientación) de los materiales
	Degradabilidad de la roca
	Factores antrópicos
	Factores climáticos

Fuente: Duque Gonzalo, 2001.

#### 4.1.5 Clasificación de los movimientos en masa

Una de las clasificaciones más comúnmente aceptadas es la de Varnes (1978), la cual utiliza el tipo de movimiento y la naturaleza del material.

**Tabla 3.** Clasificación de los movimientos en masa.

Tipo de movimiento		Tipo de material		
		Roca	Suelo	
			De grano grueso	De grano fino
		Caída de rocas	Caída de detritos	Caída de suelos
Basculamientos		Basculamiento de rocas	Basculamiento de detritos	Basculamiento de suelos
Deslizamiento	Rotacional	Deslizamiento rotacional de rocas	Deslizamiento rotacional de detritos	Deslizamiento rotacional de suelos
	Traslacional	Deslizamiento traslacional de rocas	Deslizamiento traslacional de detritos	Deslizamiento traslacional de suelos
Expansión lateral		Expansión lateral en roca	Expansión lateral en detritos	Expansión lateral en suelos
Flujos		Flujo de roca	Flujo de detritos	Flujo de suelos
Complejos		Combinación de dos o más tipos		

Fuente: Varnes, 1978.

Dentro de los movimientos en masa se analizará específicamente los deslizamientos rotacionales y traslacionales. El análisis integra la identificación, evaluación y caracterización para determinar el método de análisis de estabilidad correcto con la finalidad de establecer las medidas de prevención, estabilización y control generales.

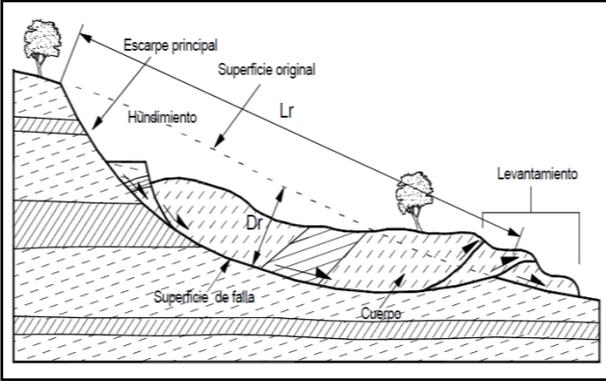
**4.1.5.1 Deslizamientos**

Es un movimiento ladera debajo de una masa de suelo o rocas, que ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla. (Cruden & Varnes, 1996).

**a. Deslizamiento rotacional**

Estos deslizamientos se mueven a lo largo superficies de ruptura curvas y cóncavas, con poca deformación interna del material. El escarpe principal es prácticamente vertical y carente de soporte (Cruden & Varnes, 1996). Los deslizamientos rotacionales generalmente tienen una relación  $D_r/L_r$  entre 0.15 y 0.33 (Skempton y Hutchinson, 1969).

**Tabla 4.** Caracterización de los deslizamientos rotacionales.

Tipo de movimiento	Características	Parámetros críticos
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más frecuentes en suelos cohesivos homogéneos.</li> <li>• Rotura en forma circular o forma de cuchara.</li> <li>• Pueden ser superficiales o profundas.</li> <li>• La masa desplazada se acumula al pie.</li> <li>• Depende del tipo del suelo y del contenido de agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material blando.</li> <li>• Fracturas.</li> <li>• Grietas tensionales.</li> <li>• Sobresaturación de agua.</li> <li>• Incremento del peso del material.</li> <li>• Pérdida de cohesión.</li> <li>• Pendiente abrupta.</li> <li>• Sismos.</li> <li>• Actividad antrópica.</li> <li>• Planos de debilidad.</li> </ul>

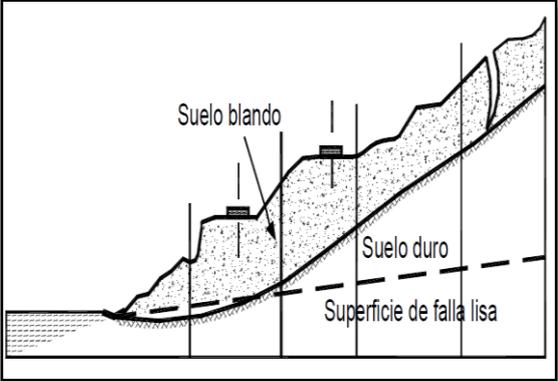
Fuente: Gonzales de Vallejo Luis I, 2002 & Suarez Días Jaime, 2009.

**b. Deslizamiento traslacional**

En el desplazamiento de traslación la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (Suarez Días Jaime, 2009).

Los movimientos traslacionales generalmente tienen una relación  $D_r/L_r$  de menos de 0.1 (Skempton y Hutchinson, 1969).

**Tabla 5.** Caracterización de los deslizamientos traslacionales.

Tipo de movimiento	Características	Parámetros críticos
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotura tiene lugar a favor de superficie planas de debilidad (contactos, estratos).</li> <li>• No son muy profundos.</li> <li>• Se dan en suelo y roca.</li> <li>• Más rápidos que los rotacionales.</li> <li>• No requieren elevada pendiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estratos poco resistentes.</li> <li>• Agrietamiento.</li> <li>• Precipitación.</li> <li>• Planos de debilidad.</li> <li>• Material blando (arcillas).</li> <li>• Sobresaturación del agua.</li> <li>• Presión intersticial.</li> <li>• Acción de sobrecargas.</li> <li>• Altura.</li> </ul>

Fuente: Gonzales de Vallejo Luis I, 2002 & Suarez Días Jaime, 2009.

#### 4.2 Susceptibilidad a deslizamientos

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

La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que puedan ocurrir deslizamientos (Suarez Días Jaime, 2009).

Guamán Galo (2012), expone que la susceptibilidad es la potencialidad de un terreno o área a la ocurrencia de procesos de movimientos en masa.

La susceptibilidad del terreno a los deslizamientos consiste en la favorabilidad del medio físico y de los elementos inherentes del terreno y superficie, tales como la geología, pendiente, geomorfología y usos del suelo, a la ocurrencia de deslizamientos, a su vez la susceptibilidad a deslizamientos nos indica la predisposición del terreno a deslizarse pero no implica el aspecto temporal del mismo (Castro Luis, 2014).

#### 4.2.1 Clasificación de la susceptibilidad

El mapa de susceptibilidad clasifica la estabilidad relativa de un área, en categorías que van de estable a inestable. El mapa de susceptibilidad muestra donde hay o no, condiciones para que puedan ocurrir deslizamientos (Gonzales de Vallejo Luis I, 2002).

Normalmente a los mapas de susceptibilidad se los clasifica en tres categorías, en baja, media y alta susceptibilidad.

#### 4.2.2 Elementos para elaborar un mapa de susceptibilidad

Gonzales de Vallejo Luis I (2002), considera que para la elaboración del mapa de susceptibilidad se tienen en cuenta generalmente tres elementos:

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

#### 4.2.3 Métodos de análisis de la susceptibilidad

La clasificación de los métodos empleados para evaluar la susceptibilidad de una ladera así como para la realización de mapas, varían según los autores (Coraminas, 1992).

**Tabla 6.** Métodos de análisis de susceptibilidad.

Método	Método	Característica	Ventaja	Desventaja
Cuantitativos	Determinístico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basados en el equilibrio límite.</li> <li>• Datos de entrada son derivados de ensayos de laboratorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejor de todos los métodos.</li> <li>• Muestran un grado de fiabilidad alto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para deslizamientos traslacionales.</li> </ul>
Cualitativos	Heurísticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se basan en el conocimiento de los factores que producen inestabilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los factores son ordenados y ponderados según su importancia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mucha subjetividad en el tratamiento de información.</li> </ul>
Semi-cuantitativos	Multicriterio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son metodologías cualitativas que utilizan procedimientos de ponderación y calificación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integra técnicas de evaluación multicriterio.</li> <li>• Evalúa cuantitativamente la asignación de pesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mucha subjetividad en el tratamiento de información.</li> </ul>

Fuente: Van Westen, 1994 & Carrara, 1995.

Para el desarrollo de esta investigación se realizará el análisis de la susceptibilidad por el método multicriterio (semi-cuantitativos) que engloba a los deslizamientos rotacionales y traslacionales.

#### **4.2.3.1 Método multicriterio**

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

Permite evaluar cuantitativamente la consistencia en la asignación de pesos con lo que se reduce la subjetividad inherente a esta, que es típica de los métodos de indexación.

Este método requiere la creación de una base de datos mediante la selección y el cartografiado de los factores del terreno condicionantes de la inestabilidad.

### **4.3 Amenaza por deslizamientos**

Conceptualmente a la amenaza se lo define como la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento en un lugar y tiempo determinado.

Una evaluación de amenaza a los deslizamientos incluye un estudio previo de la susceptibilidad y de la posibilidad de que ocurra un evento detonante.

Para que se presente la amenaza se requiere que se presenten conjuntamente la susceptibilidad y el evento detonante (Suarez Días Jaime, 2009).

Matemáticamente la amenaza se expresa como: **Amenaza= susceptibilidad + evento detonante.**

Como evento detonante normalmente se considera a las precipitaciones y la actividad sísmica relacionados con la zona de estudio. Para las precipitaciones y los sismos se deben calcular el periodo de retorno de las mismas en función a los registros históricos de un mínimo de 30 años atrás.

Por no tener registros históricos de isoyetas del sector; para el desarrollo de esta investigación se considera como evento detonante a las precipitaciones por lo que es necesario la recopilación y procesamiento de la misma.

### 4.3.1 *Objetivos de estudio de la amenaza*

Según Van Westen (2005), los objetivos más importantes del estudio de amenaza pueden ser:

- Planeación rural o urbana.
- El manejo de desastres en un pueblo o ciudad.
- Proyectos de participación comunitaria en el manejo de desastres.
- Concientización o alerta a los tomadores de decisiones.

Cada uno de estos objetivos tiene requerimientos específicos en lo que respecta a la escala de trabajo, el método de análisis, el tipo y el detalle de los datos de entrada que deberán ser recolectados.

Según el objetivo que se persiga, la información debe ser integra y detallada.

### 4.3.2 *Métodos de análisis*

Para el desarrollo de esta investigación se realizará el análisis de la amenaza tras haber obtenido y analizado la susceptibilidad al que se lo sumará el elemento detonante (precipitaciones).

Se aplica la siguiente relación matemática: **Amenaza = susceptibilidad + evento detonante.**

### 4.3.3 *Niveles de amenaza*

No existe un estándar internacional para la calificación de la amenaza. Los términos utilizados incluyen desde la amenaza muy baja a la amenaza muy alta. Entre más categorías se utilicen, el mapa es más difícil de interpretar. Se recomienda, por su utilidad práctica, la utilización de tres escalas de clasificación.

Amenaza	Factores de seguridad estáticos	Factores de seguridad dinámicos $K_h = 0.5 A$	Observación
BAJA	Mayores a 1.5	Mayores de 1.15	El escenario de análisis estático debe incluir los niveles de aguas de acuerdo con un período de retorno
MEDIA	1.2 a 1.5	1.0 a 1.15	
ALTA	Menores de 1.2	Menores de 1.0	

**Figura 3.** Escalas recomendadas para la zonificación de amenazas por deslizamiento.

**Fuente:** Suarez Días Jaime, 2009.

#### **4.3.4 Zonificación de la amenaza**

Jones (1993), expresa que los mapas de amenaza deben ser precisos, completos, creíbles y utilizables.

La precisión de los mapas se refiere a que reflejen correctamente las amenazas, su tipo, magnitud etc.

Para que sea utilizable, el mapa debe ser presentado y descrito de forma que pueda ser entendido por los no-especialistas.

#### **4.3.5 Terminología de la amenaza**

Se emplea el término de amenaza para referirse a un evento o proceso potencialmente dañino caracterizado por una probabilidad, intensidad, magnitud, localización (Glosario del libro Viviendo con el Riesgo, ONU/EIRD, 2004).

##### **4.3.5.1 Magnitud**

La mayoría de los autores emplean el término magnitud de un movimiento en masa para referirse al tamaño, ya sea en volumen o en área. Sin embargo, otros autores consideran que la magnitud en general debe involucrar otros parámetros que se refieren al tamaño y potencial destructivo de los movimientos en masa (Movimientos en Masa en la Región Andina. Una Guía para la Evaluación de Amenazas, 2007).

##### **4.3.5.2 Intensidad**

Para referirse al potencial destructivo de un movimiento en masa o intensidad, se emplean parámetros tales como la velocidad, las fuerzas de impacto, el espesor o la altura. La intensidad varía de acuerdo con la localización (Movimientos en Masa en la Región Andina. Una Guía para la Evaluación de Amenazas, 2007).

##### **4.3.5.3 Período de retorno de la amenaza**

El período de retorno  $T$  de las amenazas a deslizamientos depende principalmente de los períodos de retorno de los eventos lluviosos extraordinarios y de los sismos de gran magnitud. Las evaluaciones de amenaza se deben realizar para tiempos considerados ( $t$ ) dentro de la vida útil de las estructuras.

La probabilidad de que ocurra una amenaza de determinada magnitud en un determinado tiempo está dada por la expresión:

$$p = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^t$$

Donde:

p: probabilidad  
T: Período de retorno  
t: Tiempo considerado

**Figura 4.** Periodo de retorno de un deslizamiento.  
**Fuente:** Suarez Días Jaime, 2009.

#### 4.4 Vulnerabilidad a deslizamientos

Para Suarez Jaime (2009), la vulnerabilidad es el grado de probabilidad de pérdida de un determinado elemento o grupo de elementos dentro del área afectada por el deslizamiento. Se expresa en una escala de 0 (no perdida) a 1 (pérdida total).

(Blaikie, Cannon, Davis & Wisner ,1994), definen a la vulnerabilidad como las características de una persona o grupo desde el punto de vista de su capacidad para anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza (natural).

##### 4.4.1 Variables e indicadores de la vulnerabilidad

En la evaluación de la vulnerabilidad es necesario definir y analizar variables e indicadores.

##### 4.4.1.1 Variables

Definen y describen los diferentes factores de vulnerabilidad y se expresan a través de distintas cualidades, modalidades o valores numéricos. Normalmente, las variables son medibles y se utilizan para un estudio de orden cualitativo y cuantitativo (PNUD & SNGR, 2012).

#### **4.4.1.2 Indicadores**

Se ajustan a las variables y se definen como un valor producto de la observación representativa de un fenómeno a estudiar y que permite caracterizar el objeto de estudio (PNUD & SNGR, 2012).

La severidad y criterio técnico que se emplee en la obtención de un indicador que sea representativo, depende de la calidad y validez de la información procesada.

#### **4.4.2 Importancia del análisis de la vulnerabilidad**

Conocer sus variables e indicadores permite la comprensión de los escenarios de riesgos (en este caso de origen natural) que muchas veces pueden presentar incluso amenazas de baja intensidad o de distintas características (PNUD & SNGR, 2012).

Según la SNGR (2012), el estudio de vulnerabilidad tiene por objetivo:

- Ser una herramienta para el análisis de riesgos.
- Ser una herramienta que permite visibilizar los espacios vulnerables.
- Permitir la comprensión de los escenarios de riesgos.
- Servir para la toma de decisiones.

#### **4.4.3 Tipos de vulnerabilidad**

La vulnerabilidad integra diferente tipología; así, como diferentes factores y metodología que lo definen y lo caracterizan.

El presente estudio se limita al análisis de la vulnerabilidad física tanto estructural de las edificaciones y la vulnerabilidad física de la red vial.

##### **4.4.3.1 Vulnerabilidad física estructural de las edificaciones**

Se entiende la vulnerabilidad física como la susceptibilidad de las edificaciones a sufrir daño ante la ocurrencia de una amenaza por lo que es necesario identificar las características física que hacen que éstas sean más o menos vulnerables (PNUD & SNGR, 2012).

Se ha de caracterizar las siguientes variables e indicadores:

**Tabla 7.** Variable e indicadores (vulnerabilidad física estructural de edificaciones).

Variable de vulnerabilidad	Indicadores
Sistema estructural	Hormigón armado
	Estructura metálica
	Estructura de madera
	Estructura de caña
	Estructura de pared
	Mixta madera/hormigón
	Mixta metálica/hormigón
Tipo de material en paredes	Pared de ladrillo
	Pared de bloque
	Pared de piedra
	Pared de adobe
	Pared de tapia/bahareque/madera
Tipo de cubierta	Cubierta metálica
	Losa de hormigón
	Vigas de madera y zinc
	Caña y zinc
	Vigas de madera y teja
Sistema de entrepiso	Losa/hormigón armado
	Vigas y entramado de madera
	Entramado de madera /caña
	Entramado metálico
	Entramado hormigón/metálico
Número de pisos	1 piso
	2 pisos
	3 pisos
	4 pisos
	> 5 pisos
Año de construcción	Antes de 1970
	Entre 1971 y 1980
	Entre 1981 y 1990
	Entre 1991 y 2010
Estado de conservación	Bueno
	Aceptable
	Regular
	Malo
Características del suelo bajo la edificación	Firme/seco
	Inundable
	Ciénaga
	Húmedo/blando/relleno
Topografía	A nivel/terreno plano
	Bajo nivel de la calzada
	Sobre nivel de la calzada
	Escarpe positivo negativo
Forma de construcción	Regular
	Irregular
	Irregular severa

Fuente: PNUD &amp; SNGR, 2012.

#### 4.4.3.2 Vulnerabilidad física de la red vial

Las redes viales son elementos expuestos a amenazas naturales, por lo tanto, dependiendo de las amenazas, éstas podrían verse afectadas en su infraestructura; pero, además, afectar la provisión normal de servicios (PNUD & SNGR, 2012).

Se ha de caracterizar las siguientes variables:

**Tabla 8.** Variable e indicadores (vulnerabilidad física de la red vial).

Variable de vulnerabilidad	Indicadores
Estado de revestimiento	Bueno
	Regular
	Malo
Mantenimiento	Planificado
	Esporádico
	Ninguno
Estándares de diseño y construcción	Aplica normativa MOP 2002
	Versión anterior al 2002
	No aplica normativa

Fuente: PNUD & SNGR, 2012.

#### 4.5 Riesgo por deslizamientos

Se entiende al riesgo como una probabilidad de ocurrencia de un desastre o de daños y parte de la interacción de elementos dinámicos y cambiantes como es la amenaza y la vulnerabilidad (Cardona, 2002).

Entonces, se podría entender al riesgo como cualquier fenómeno de origen natural o humano capaz de producir un cambio en el medio ambiente y alterar la cotidianidad de una comunidad, especialmente si esta es vulnerable a ese fenómeno.

Por lo tanto, para que se produzca un escenario de riesgo es necesario la presencia de un fenómeno natural o antrópico que actúa como una amenaza para una comunidad, cuyas características intrínsecas la pueden hacer vulnerable y cuyos elementos serán llamados elementos en riesgo.

Matemáticamente se establece la siguiente relación: **Riesgo= amenaza x vulnerabilidad.**

#### **4.5.1 Elementos de riesgo**

Se incluye a la población, los edificios, las obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada (Cardona, 2002).

#### **4.5.2 Análisis de riesgo**

Un estudio completo de riesgos debe definir el número de personas amenazadas, así como las propiedades y el medio ambiente.

El cálculo del riesgo es primariamente un tratamiento matemático basado en la amenaza, los elementos en riesgo y la vulnerabilidad de éstos; para ello, se recurre a la álgebra probabilística (como podrían ser árboles de eventos), o bien, a métodos de confiabilidad o simulación. (Suarez Jaime, 2009).

Para (Suarez Jaime, 2009), el análisis del riesgo requiere investigar:

- ¿Qué puede ocurrir? (Análisis de la amenaza).
- ¿Probabilidad de que ocurra? (Probabilidad de la amenaza).
- ¿Cuáles serían las pérdidas o daños? (Análisis de consecuencias).
- ¿Realmente importa? (Evaluación del riesgo).
- ¿Qué se puede hacer con el riesgo? (Manejo del riesgo).

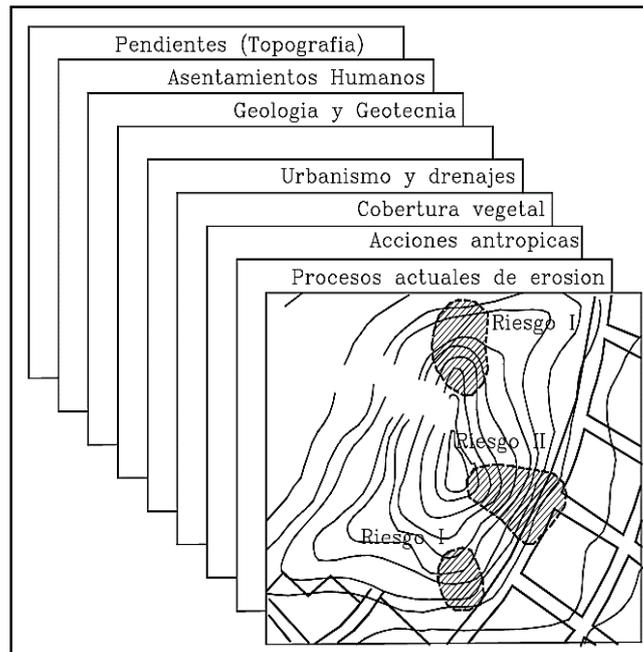
Suarez Jaime (2009), establece que el análisis de riesgo se lo realiza mediante métodos cuantitativos y cualitativos.

##### **4.5.2.1 Análisis cualitativo del riesgo**

Esta es la forma más simple de realizar un estudio de riesgo por deslizamientos; la cual incluye la adquisición del conocimiento de las amenazas, los elementos en riesgo y sus vulnerabilidades, pero expresando los resultados en forma cualitativa.

##### **4.5.2.2 Análisis cuantitativo del riesgo**

El análisis cuantitativo del riesgo incluye el análisis de las amenazas, determinar los elementos en riesgo y finalmente el análisis de la vulnerabilidad.



**Figura 5.** Ilustración de la Metodología para elaboración del mapa de riesgo.  
**Fuente:** Suarez Días Jaime, 2009.

#### 4.6 Topografía

Aranha, Dominguez (1979), enuncia que la topografía es 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.

La topografía se puede considerar como la disciplina que comprende todos los métodos para medir, procesar y difundir la información acerca de la tierra y nuestro medio ambiente (Wolf Paul R. 1997).

##### 4.6.1 Levantamiento topográfico

Es el conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de puntos y posteriormente su representación en un plano (Montes de Oca Miguel, 1970).

#### 4.7 Geología

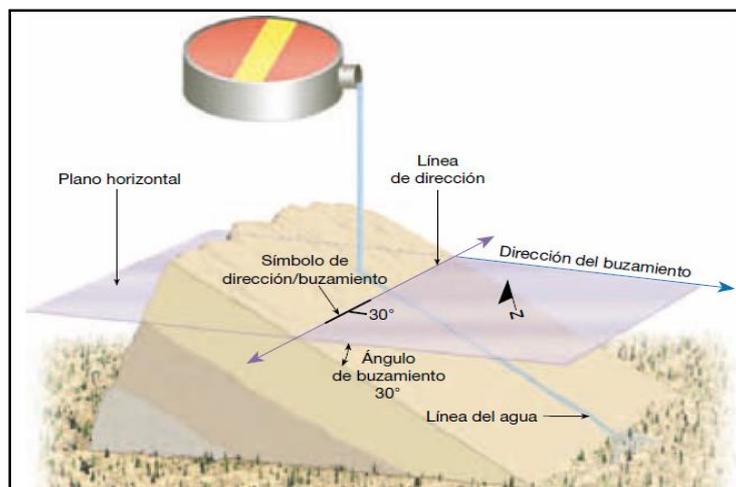
La Geología es la ciencia que estudia el planeta tierra en su conjunto, describe los materiales que la forman para averiguar su historia y su evolución e intenta comprender la causa de los fenómenos endógenos y exógenos. La unidad de tiempo en geología son los millón de años (Duque Escobar Gonzalo, 2003).

#### 4.7.1 Geología estructural

La geología estructural incluye a todos los procesos y elementos que están relacionados a las fuerzas tectónicas presentes en la corteza terrestre. En la geología estructural se analiza estructuras geológicas especialmente tectónicas para aclarar la acción de fuerzas dirigidas durante la historia geológica (Museo Virtual, Geología. W.Griem (1999-2015)).

#### 4.7.2 Elementos de yacencia de las estructuras geológicas

Los geólogos utilizan dos medidas denominadas dirección (rumbo) y buzamiento (inclinación) para ayudar a determinar la orientación de un estrato rocoso o de una superficie de falla (Tarbuck, Edward J. & Lutgens, Frederick K. 2005).



**Figura 6.** Elementos de yacencia de las estructuras.  
Fuente: Tarbuck, Edward J. & Lutgens, Frederick K. 2005.

#### 4.7.3 Mapa geológico – estructural

Es la representación en dos dimensiones de la intersección de los diferentes elementos geológicos con la superficie terrestre. Por lo tanto, un mapa geológico debe presentar dos tipos de información: la información topográfica y la información geológica (Pozo M., González J & Giner J., 2003).

#### 4.8 Geomorfología

Es la ciencia que estudia las formas de la superficie de la tierra y los procesos que la crean y modelan (Summerfield, 1991).

Duque Escobar, G. (2013), sintetiza 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.

#### 4.9 Exploración geotécnica

La investigación geotécnica es el primer paso en la aplicación de métodos científicos y principios de ingeniería para obtener soluciones de problemas de la ingeniería civil.

##### 4.9.1 Criterios técnicos

Los reconocimientos geotécnicos y particularmente los ensayos de campo y laboratorio están destinados a determinar una serie de parámetros del terreno que después formarán parte importante del análisis y en los cálculos.

Los ensayos de laboratorio y campo se los realiza según la normativa ASTM D.

**Tabla 9.** Consideraciones técnicas de la exploración geotécnica.

Objetivos	Técnicas de exploración	
	Método	Actividad
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la ubicación y espesor de los estratos de suelo.</li> <li>• Ubicar nivel freático.</li> <li>• Determinar la profundidad de la roca basal y sus características.</li> <li>• Obtener muestras para su caracterización.</li> <li>• Llevar a cabo ensayos en terreno y/o en el laboratorio.</li> <li>• Definición de las condiciones geológicas y geotécnicas de la zona.</li> <li>• Perfiles estratigráficos.</li> <li>• Correlación de cargas – inestabilidad.</li> <li>• Dimensión de la obra: cimentación, excavación, relleno.</li> </ul>	Directo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sondeos geotécnicos</li> <li>• Calicatas, zanjas y pocillos</li> <li>• En algunos casos galerías</li> </ul>
	Indirecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prospección geofísica (gravimetría, SEV, sísmica, etc.).</li> </ul>

Fuente: Herrera Juan & Castilla Jorge, 2012.

##### 4.9.2 Métodos de exploración geotécnica

Pueden utilizarse por separado o conjuntamente y siempre son complementarios unos de otros. La elección de uno u otro método depende del objetivo que se persigue.

#### 4.9.2.1 Métodos directos

##### a. Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

**Tabla 10.** Consideraciones técnicas del SPT.

Características	Descripción	Utilizado para determinar
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mide la resistencia a la penetración del terreno.</li> <li>Se lo realiza preferentemente en suelos granulares.</li> <li>Los resultados son correlacionables con otros parámetros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N° de golpes para hincar 30 cm de un cilindro hueco de dimensiones normalizadas.</li> <li>Golpeo con maza de 63.5 kg cayendo desde 76 cm de altura.</li> <li>Se introduce el tubo 45 cm., registrando el número de golpes necesario para avanzar tramos de 15 cm.</li> <li>NSPT= número de golpes necesarios para avanzar los últimos 30 cm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad portante de suelos granulares.</li> <li>Densidad relativa.</li> <li>Ángulo de rozamiento y cohesión interna.</li> </ul>

Fuente: Gonzales de Vallejo Luis I, 2002.

#### 4.9.2.2 Métodos indirectos

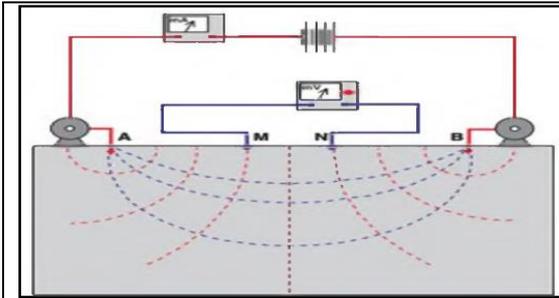
##### a. Sondeo eléctrico Vertical (SEV)

Son aquellos que estudian la respuesta del terreno cuando se propagan a través de él corrientes eléctricas continuas (**DC**). El parámetro físico que se controla es la resistividad ( **$\rho$** ) y la interpretación final se hace en función de las características geológicas de la zona en que se aplican. Su aplicación es muy frecuente en ingeniería geológica. La resistividad es una propiedad intrínseca de las rocas y depende de la litología, estructura interna y, sobre todo, de su contenido en agua, no siendo, por tanto, una propiedad isótropa en la masa rocosa. (Gonzales de Vallejo Luis I, 2002).

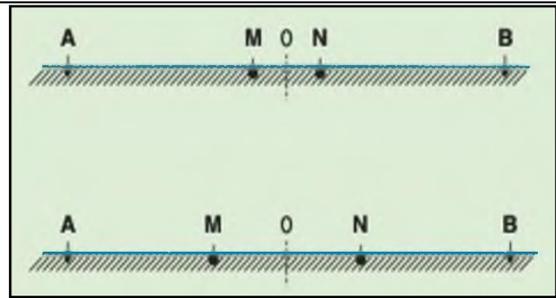
##### b. Especificaciones técnicas del SEV

Los SEV es una técnica que consiste en separar sucesivamente los electrodos de corriente A y B del punto central, siguiendo una línea recta, y medir la resistividad en cada disposición.

En los SEV se emplea dos configuraciones de los electrodos, el arreglo Schlumberger y el Wenner; pero, generalmente es usado el primero.



**Figura 7.** Medida de resistividades del terreno mediante métodos eléctricos.  
**Fuente:** Gonzales de Vallejo Luis I, 2002.



**Figura 8.** Arreglo Schlumberger y el Wenner.  
**Fuente:** Gonzales de Vallejo Luis I, 2002.

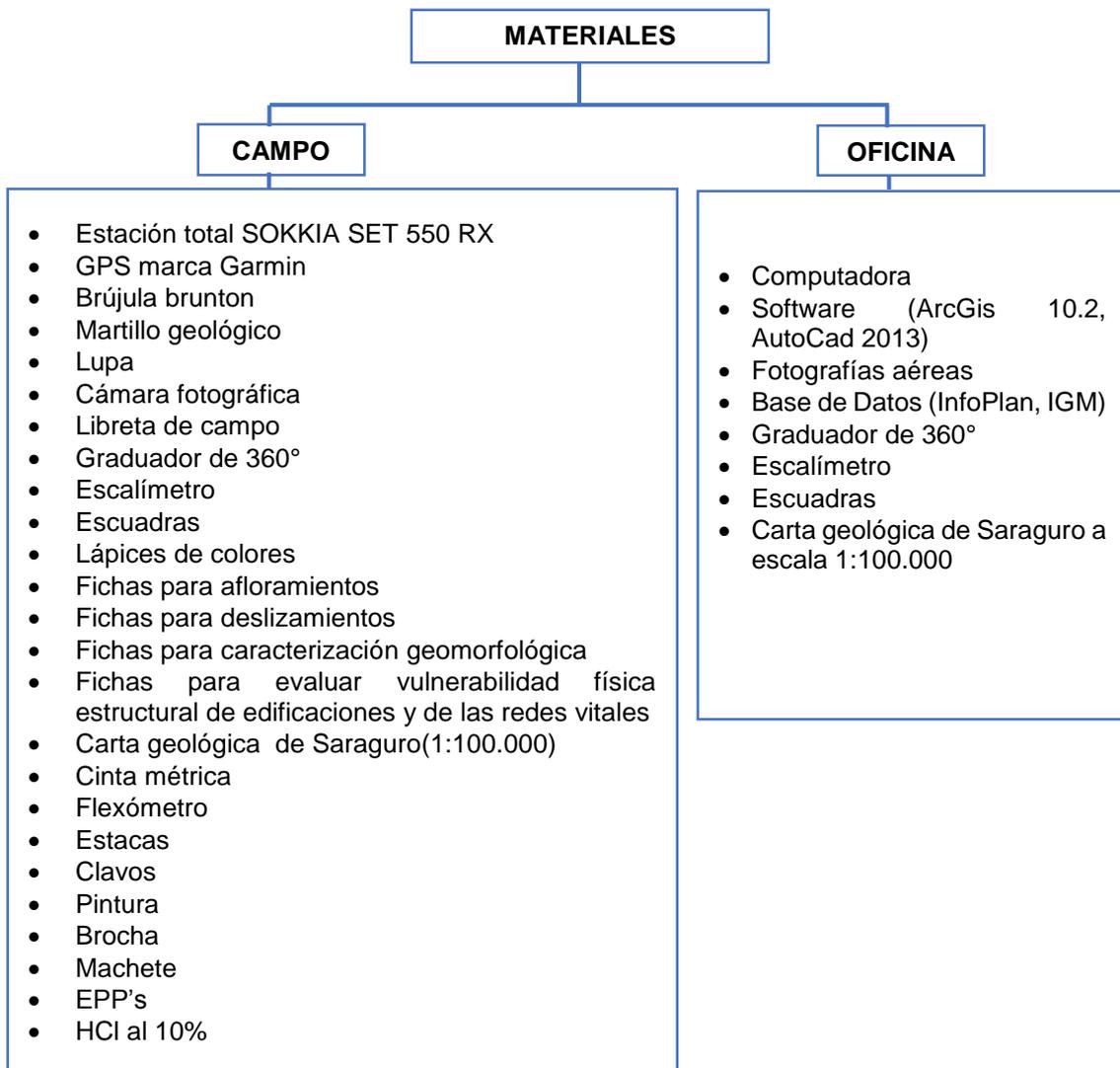
### c. Usos

Según (Gonzales de Vallejo Luis I, 2002), los campos de aplicación de los SEV van desde la interpretación geológica, grado de alteración, cubicación de materiales, contenido en agua y salinidad, determinar la profundidad del nivel freático, espesores de las distintas capas horizontales, contactos litológicos, disposición de heterogeneidades, constitución y comportamiento de las capas del subsuelo, estructuras geológicas y su caracterización.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Materiales

Para el desarrollo del presente proyecto usó materiales, herramientas y/o equipos tanto en los trabajos de campo como de oficina y/o laboratorio. En la **Figura 9** se detallan las mismas.



**Figura 9.** Materiales de campo y oficina.

**Fuente:** El autor, 2016.

## 5.2 Metodología

Para el desarrollo del presente proyecto se establece una metodología de campo y de oficina y/o laboratorio para cada uno de los objetivos planteados.

### 5.2.1 *Delimitar el área de estudio mediante el levantamiento topográfico y geológico en los sectores de Gunudel – Gulagpamba, identificando los principales rasgos litológicos y estructurales.*

#### 5.2.1.1 *Levantamiento topográfico*

Para la delimitación de área de estudio se realizó el levantamiento topográfico con ayuda de la estación total SOKKIA SET 550 RX y los datos obtenidos en campo fueron procesados en el software ArcGis 10.2.



**Fotografía 1.** Levantamiento topográfico (estación total SOKKIA SET 550 RX).  
**Fuente:** El autor, 2016.

Para generar las curvas de nivel se realizó el TIN mediante la triangulación de los puntos previamente importado hacia el software ArcGis 10.2. Con el TIN se generó las curvas de nivel principales cada 10 metros y las curvas secundarias cada 2 metros.

### 5.2.1.2 Levantamiento geológico - estructural

Con ayuda de una brújula, una piqueta, HCL al 10%, un GPS y demás herramientas se procedió a realizar el levantamiento geológico estructural identificando y caracterizando las diferentes unidades litológicas y las estructuras geológicas presentes.

En el mapeo geológico estructural se realizó la descripción y toma de muestras de los afloramientos cuyos datos fueron recogidos en las fichas previamente diseñadas y aprobadas (**Anexo 1**).

Las diferentes unidades litológicas y estructuras geológicas identificadas fueron graficadas en el mapa topográfico. De esta manera se obtuvo en campo un primer acercamiento sobre la geología del lugar.



**Fotografía 2.** Levantamiento geológico – estructural.  
**Fuente:** El autor, 2016.

Con la finalidad de definir la litología exacta de cada afloramiento, en la oficina se procedió al análisis macroscópico de las muestras recolectadas y el análisis de los datos obtenidos en la ficha de afloramientos.

Las diferentes estructuras geológicas identificadas fueron analizadas y procesadas en el software ArcGis 10.2.

Se procedió a integrar los datos analizados por separado con la finalidad de obtener el mapa geológico- estructural definitivo logrando visualizar y delimitar el área de estudio de forma íntegra.

El mapa final contempla las diferentes litologías identificadas y las principales estructuras geológicas.

Como parte del procedimiento final, se realiza un mínimo de dos cortes geológicos.

**5.2.2 Determinar las propiedades físicos - mecánicos de los geomateriales del área de estudio mediante la aplicación de métodos indirectos, Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y su corroboración mediante métodos directos como los Ensayos de Penetración Estándar (SPT).**

Para determinar las propiedades físico-mecánicos de los geomateriales del sector de estudio se realizó en primera instancia los sondeos eléctricos verticales (SEV) seguido de los métodos directos (SPT).

**5.2.2.1 Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)**

Para el desarrollo de este ensayo es preciso conocer detalles de los objetivos que se persiga, las condiciones básicas a cumplir, los materiales y/o equipos a utilizar y finalmente el procedimiento general.

**a. Objetivos**

Con los sondeos eléctricos verticales desarrollados en el sector de estudio nos permitió evidenciar los cambios en la resistividad de los geomateriales en profundidad. Las lecturas de resistividades son asociadas con tablas estandarizadas en las que constan los valores típicos de resistividades de cada uno de las rocas y suelos existentes.

Permitió también determinar la profundidad del nivel freático para su consideración en la planificación, diseño y ejecución de obras civiles.

**b. Condiciones básicas**

Con el análisis previo de la topografía y geología se realizó una inspección en el campo con la finalidad de determinar los puntos adecuados para realizar los SEV's.

Estos puntos están condicionados por lo siguiente:

- Topografía plana.
- Formaciones geológicas horizontales.
- Que los SEV´s involucren más de una litología.
- En zona de pendientes, los SEV´s deben ser perpendicular a ellas.
- En zonas de deslizamientos se requiere como mínimo una línea SEV en la corona y otra al pie.

**c. Materiales y/o equipos**

Dentro de los materiales y/o equipos a utilizar se exponen los siguientes:

- Medidor de resistividad eléctrica SYSCAL R1 PLUS.
- 12 electrodos de cobre.
- 4 carretes de alambre de 350 m.
- Conectores.
- GPS Garmin.
- Martillo de goma.
- Estacas de madera.
- Machetes.
- 2 cintas de 50 m.
- Cuerda.
- Cámara fotográfica.
- Libreta de campo.
- Fichas de campo.

**d. Procedimiento**

Determinado y condicionado el área para las líneas SEV se colocó el equipo SYSCAL R1 PLUS mediante el arreglo Schlumberger de 4 electrodos. Se registra los datos de las resistividades en las fichas previamente desarrolladas.

En la **Figura 10** se expone el procedimiento básico desarrollado en el campo y oficina.

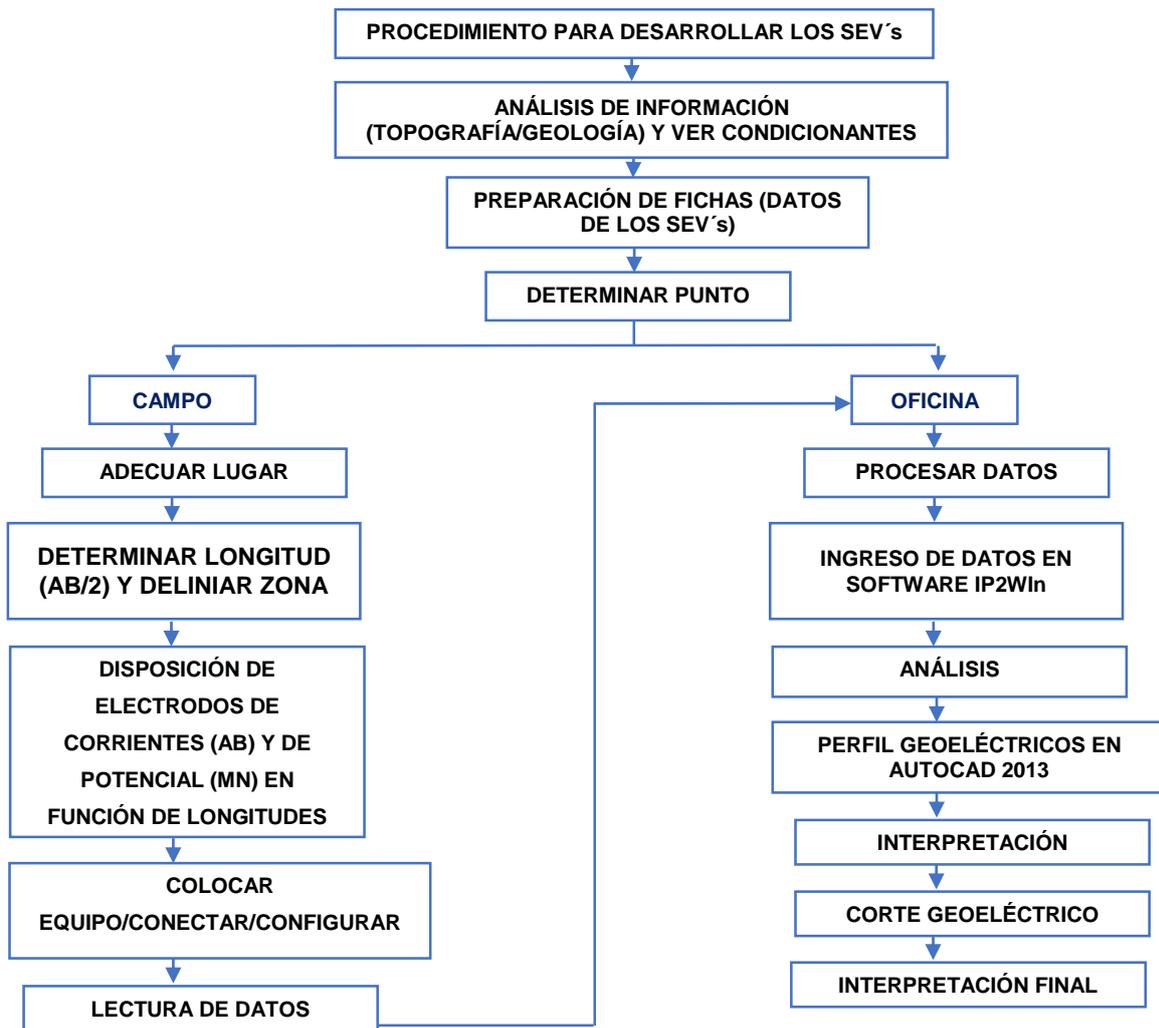
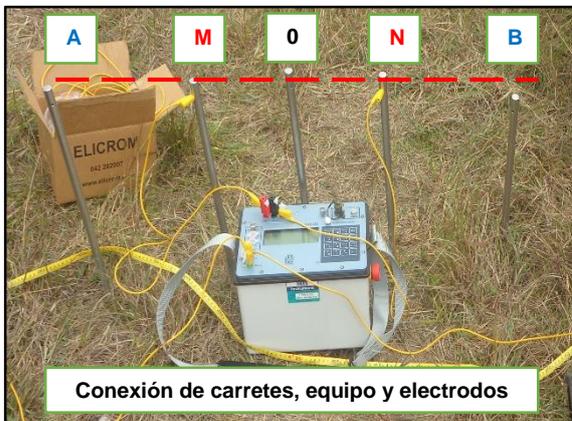


Figura 10. Procedimiento para realizar los SEV's.  
Fuente: El autor, 2016.

En la **Fotografía 3** se expone el procedimiento realizado en el campo.



**Fotografía 3.** Procedimiento de campo para realizar los SEV's.  
**Fuente:** El autor, 2016.

### **5.2.2.2 Ensayo de Penetración Estándar (SPT)**

Para el desarrollo de este ensayo es preciso conocer detalles de los objetivos que se persiga, las condiciones básicas a cumplir, el procedimiento general, las nociones técnicas de los SPT, el manejo de muestras, el tratamiento de la información obtenida en el campo y finalmente la interpretación y zonificación geotécnica.

#### **a. Objetivos**

Como objetivos principales del desarrollo de los SPT en el sector de estudio se exponen la determinación de la capacidad portante de los suelos, los perfiles estratigráficos y variables como peso específico, ángulo de fricción, cohesión, etc., que permitió determinar, caracterizar y zonificar geotécnicamente el sector de estudio.

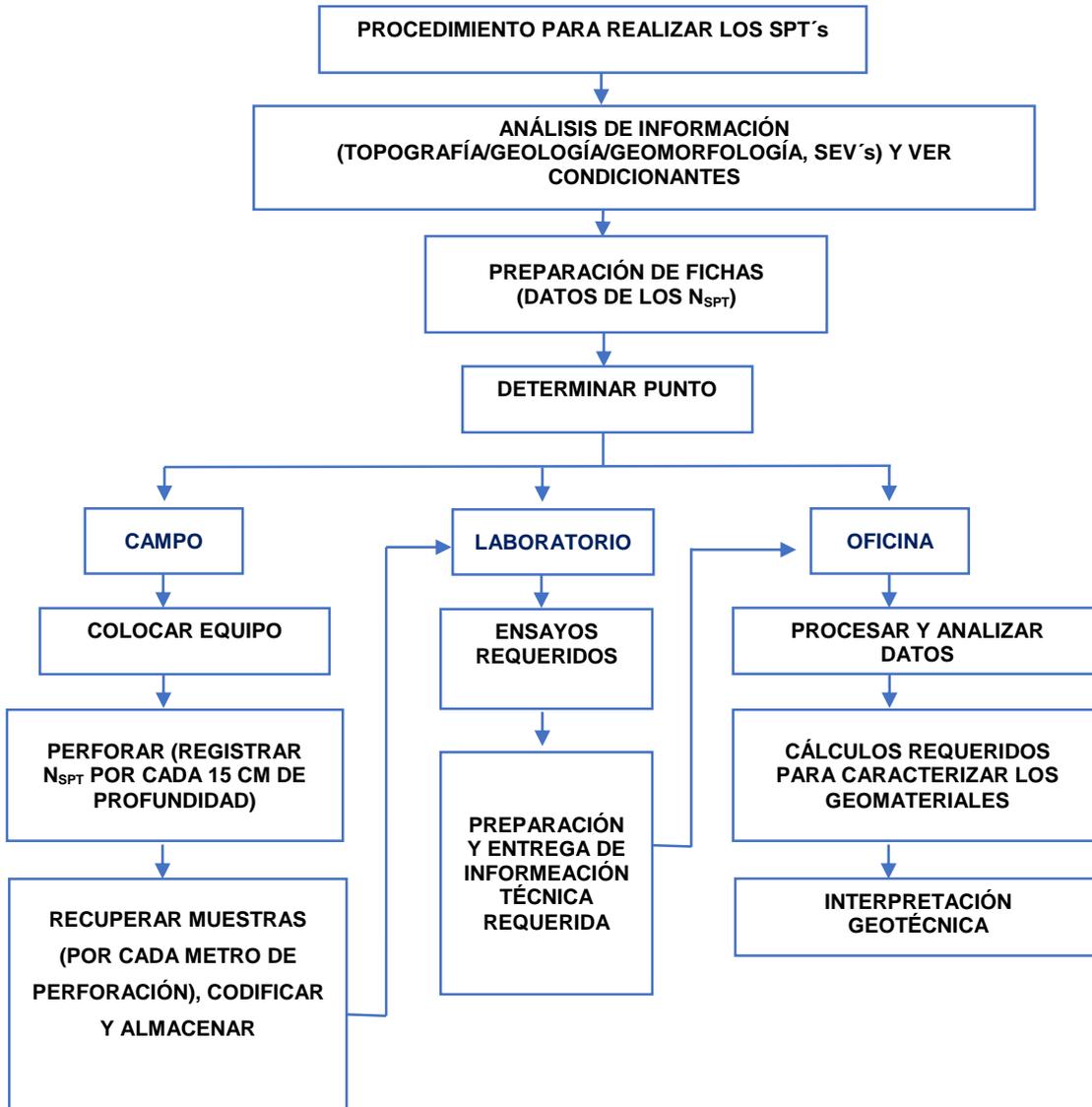
#### **b. Condiciones básicas**

Con una base más sólida y con el respaldo del mapa topográfico, geológico, geomorfológico y la interpretación de los SEV's se determinó los puntos adecuados para realizar los SPT. Estos puntos están condicionados por lo siguiente:

- Realizar un SPT por cada litología presente.
- Ubicación de los SPT en función de los datos obtenidos e interpretados de los SEV's.
- No realizable en zonas de deslizamientos.
- Considerar zonas con el peor de las condiciones (humedad) para realizar el SPT.

#### **c. Procedimiento**

En la **Figura 11 y Fotografía 4** se expone el procedimiento básico desarrollado en el campo, laboratorio y oficina para el desarrollo del SPT.



**Figura 11.** Procedimiento de campo y laboratorio para realizar los SPT.  
**Fuente:** El autor, 2016.



**Fotografía 4.** Procedimiento de campo para el SPT  
**Fuente:** El autor, 2016.

### **5.2.3 Identificar, caracterizar y zonificar las amenazas por deslizamiento en el área de estudio para la evaluación de la vulnerabilidad física estructural de edificaciones y vías.**

Se realizó el siguiente proceso tanto de campo como de oficina.

#### **5.2.3.1 Inventario de deslizamientos**

Para la identificación de los deslizamientos se hizo uso de la fotografía aérea del lugar, y el levantamiento en el campo en donde se identificaron y caracterizaron las mismas mediante una ficha para inventariar deslizamientos. Estos datos fueron procesados en el software ArcGis 10.2 para obtener un mapa de inventario de deslizamientos.

La ficha para el inventario de los deslizamientos (**Anexo 2**) fue modificada a partir del formato propuesto en el libro *Movimientos en Masa en la Región Andina. Una Guía para la Evaluación de Amenazas. Proyecto Multinacional Andino. Geociencias para las Comunidades Andinas. Publicación Multinacional N° 4. 2007. 433 paginas.*

Para facilitar la comprensión y dimensionamiento de cada uno de los deslizamientos en el software AutoCad 2013 se realizó los perfiles con la finalidad de determinar los parámetros métricos. Paralelo a lo anterior, en ArcScene 10.2 se interpoló el DEM y la fotografía aérea con cada uno de los deslizamientos permitiendo obtener una visión más real y completa.

#### **5.2.3.2 Análisis de la susceptibilidad a deslizamientos**

Para el análisis de la susceptibilidad a deslizamientos se planteó en un principio realizarlo por dos metodologías. El método cuantitativo (determinístico) que está centrado solo para el análisis de deslizamientos traslacionales y el método semi cuantitativo (multicriterio) contempla los dos tipos de deslizamientos.

Sin embargo, tras el desarrollo de la investigación se desistió de realizar el mapa de susceptibilidad por el método determinístico por no presentar mayor trascendencia para el desarrollo de posteriores mapas; y limitarse solo para deslizamientos del tipo traslacional.

### **a. Método muticriterio**

Para el análisis multicriterio se integró factores condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad.

Requirió la creación de una base de datos en el que consta: geomorfología, geología, pendientes y uso actual de suelo.

Cabe recalcar que el mapa de inventarios de deslizamientos fue considerado para el desarrollo del mapa geomorfológico.

Para la determinación de los pesos dados a los criterios se empleó el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) o Analytic Hierarchy Process (AHP) que fue desarrollado por (Saaty, 1990) y que está basado en el desarrollo de prioridades.

El Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) o Analytic Hierarchy Process (AHP) está diseñado para resolver problemas de criterio múltiple.

El AHP realiza una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión, tratando directamente con pares ordenados de prioridades de importancia, preferencia o probabilidad de pares de elementos en función de un atributo o criterio común representado en la jerarquía de decisión (Saaty, 1990).

El AHP propone la asignación de un vector de pesos  $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]$  a los criterios de un cierto problema de decisión multicriterio. Para ello se compara cada criterio  $i$  con cada criterio  $j$ , obteniendo unos valores  $a_{ij}$  que es posible agrupar en una matriz cuadrada de orden  $n$ , llamada la matriz de comparaciones por pares,  $A = [a_{ij}]$ , es decir, en número de filas y el número de columnas está definido por el número de criterios a ponderar estableciendo una matriz de comparación de importancia de cada uno de los criterios frente a los demás, para posteriormente determinar el **eigenvector principal** el cual establece los pesos  $w_j$  que proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de criterios.

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

Matriz de comparación de pares					eigenvector principal
Factores	A	B	C	D	
A	$X_{AA}$	$X_{AB}$	$X_{AC}$	$X_{AD}$	$W_A$
B	$X_{BA}$	$X_{BB}$	$X_{BC}$	$X_{BD}$	$W_B$
C	$X_{CA}$	$X_{CB}$	$X_{CC}$	$X_{CD}$	$W_C$
D	$X_{DA}$	$X_{DB}$	$X_{DC}$	$X_{DD}$	$W_D$

Fuente: Saaty, 1990.

La **Tabla 11** muestra la importancia relativa de cada fila en relación al criterio de su columna correspondiente hasta completar toda la matriz. Luego es preciso sumar cada columna para obtener un valor marginal de columna. A continuación se genera una nueva matriz mediante la división de cada celda entre el marginal de cada de su columna. Finalmente se calcula la media de los pesos para cada línea.

En definitiva, la comparación entre pares da como resultado que se realice una comparación entre todos.

Se presenta en la **Tabla 12** las escalas que propone (Saaty, 1990) para determinar los coeficientes *aij*.

**Tabla 12.** Escalas para determinar el valor de  $X_{ij}$ .

Nivel de importancia	Definición	Descripción del criterio ( <i>i</i> ) y su comportamiento con el criterio ( <i>j</i> ).
1	Igual preferencia	Los dos criterios contribuyen de igual manera para generar el deslizamiento.
2	Moderada preferencia	Pasadas experiencias favorecen ligeramente al criterio ( <i>i</i> ) sobre el criterio ( <i>j</i> ).
3	Fuerte preferencia	Prácticamente la dominación del criterio ( <i>i</i> ) sobre el criterio ( <i>j</i> ) está demostrada.
4	Absoluta preferencia	Existen evidencias que determinan la supremacía del criterio ( <i>i</i> ).

Fuente: Saaty, 1990.

Una vez que se elabora la matriz de comparaciones pareadas se realiza el proceso de sintetización para poder determinar la prioridad de cada uno de los elementos que se comparan. Este proceso es realizado mediante un cálculo matemático de los valores y vectores característicos (Torres Raisa, 2015).

Para definir la calidad de la decisión final, se designa la consistencia del juicio de experto. De esta manera, el AHP permite medir el grado de consistencia entre las opciones pareadas.

La consistencia de los juicios del experto se calcula a partir del auto valor ( $n_{max}$ ), y se compara con el número de criterios que es  $n$ , en el caso de que estos valores sean iguales, se verifica que el juicio es completamente consistente. (Saaty, 1990) establece tablas de consistencia para medir estas. Así mismo establece la razón de consistencia (**RC**), a partir del índice de consistencia (**IC**) y del índice de consistencia aleatoria (**ICA**).

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

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

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

El valor de  $n_{max}$  se calcula de  $AW = n_{max} * W$  observando que la ecuación es:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{w}_j = n_{max} \bar{w}_i, i = 1, 2, \dots, n$$

Dado que

$$\sum_{i=1}^n \bar{w}_i = 1$$

Obtenemos:

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

Si el IC es menor al 10% la inconsistencia es considerada como aceptable, por el contrario, deberá revisarse los juicios y corregirse hasta ajustarse a los criterios que se desee.

### b. Variables a usar en el método multicriterio

Para obtener el mapa de susceptibilidad mediante la aplicación del método multicriterio, se hizo uso del mapa geomorfológico, mapa geológico, mapa de pendientes y el mapa de uso actual de suelo.

Se debe destacar que para el procesamiento de los 4 mapas citados se asignó un tamaño de pixel igual a 4.

En la **Tabla 13** se exponen los criterios técnicos para determinar el tamaño de pixel a utilizar en cada uno de los mapas.

**Tabla 13.** Unidades de Cálculos del Terreno (UCT).

Escala de referencia	Dimensiones de pixel elementa-UCT	
	Long (m)	Área (m <sup>2</sup> )
1:X	X/1000	X <sup>2</sup> /10 <sup>6</sup>
1:2000	2	4
1:4000	4	16
1:5000	5	25

Fuente: Calvello, 2013.

Esta unidad de cálculo del terreno (UCT) corresponde al dominio referido al territorio con base en el cual se define, calibra y valida un modelo. La definición de su tamaño apropiado depende de la escala de análisis. El área mínima de una UCT, para propósitos de operaciones en un SIG a una escala dada, está relacionada con la resolución espacial de la cartografía y mapas; es decir, la medida del área identificable más pequeña como una unidad separada discreta (Servicio Geológico Colombiano, 2015).

Se mencionan los mapas a utilizar.

- **Mapa geomorfológico.-** La metodología para su elaboración se especifica en el **Anexo 3**.
- **Mapa geológico.-** La metodología para obtener este mapa se describió en líneas anteriores.

- **Mapa de pendientes.-** Se hizo uso del software ArcGis 10.2 para procesar los datos obtenidos en el levantamiento topográfico (curvas de nivel).
- **Mapa de uso actual de suelo.-** Con la ayuda de la fotografía aérea de la zona de estudio se realizó la digitalización de cada uno de las clases o diferentes usos que tiene el suelo en el sector de estudio.

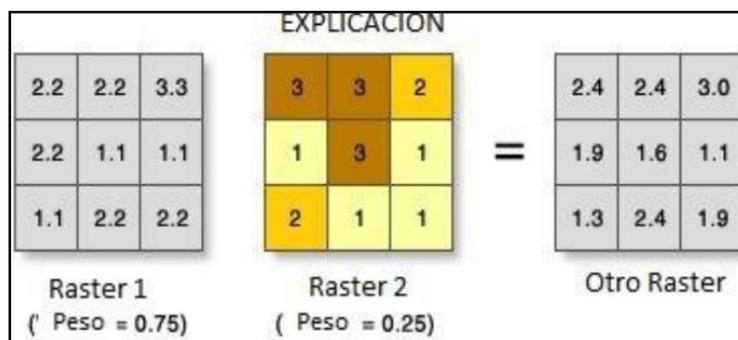
### c. Obtención del mapa de susceptibilidad

En la tabla de atributos de cada mapa se agrega un campo del tipo texto denominado peso para la asignación de valores a cada una de las sub variables que éstas contengan.

Los valores asignado a cada sub variable de los mapas están en función de lo obtenido en la matriz de jerarquización propuesto por Saaty (1990). Se obtiene también la jerarquización general de los mapas; es decir, se considera la importancia del mapa geomorfológico, el mapa geológico, el mapa de pendientes y el mapa de usos actual de suelo. A estos mapas que están en formato vector (polígono) se los convierte a formato ráster en función del campo peso.

Con ayuda de la herramienta calculadora ráster (ráster calculator) o suma de rangos (weighted sum) se ingresan los rústers y asignamos los pesos generales obtenidos también en la matriz de jerarquización. Del resultado se lo reclasifica en 3 clases; susceptibilidad baja, susceptibilidad media y susceptibilidad alta.

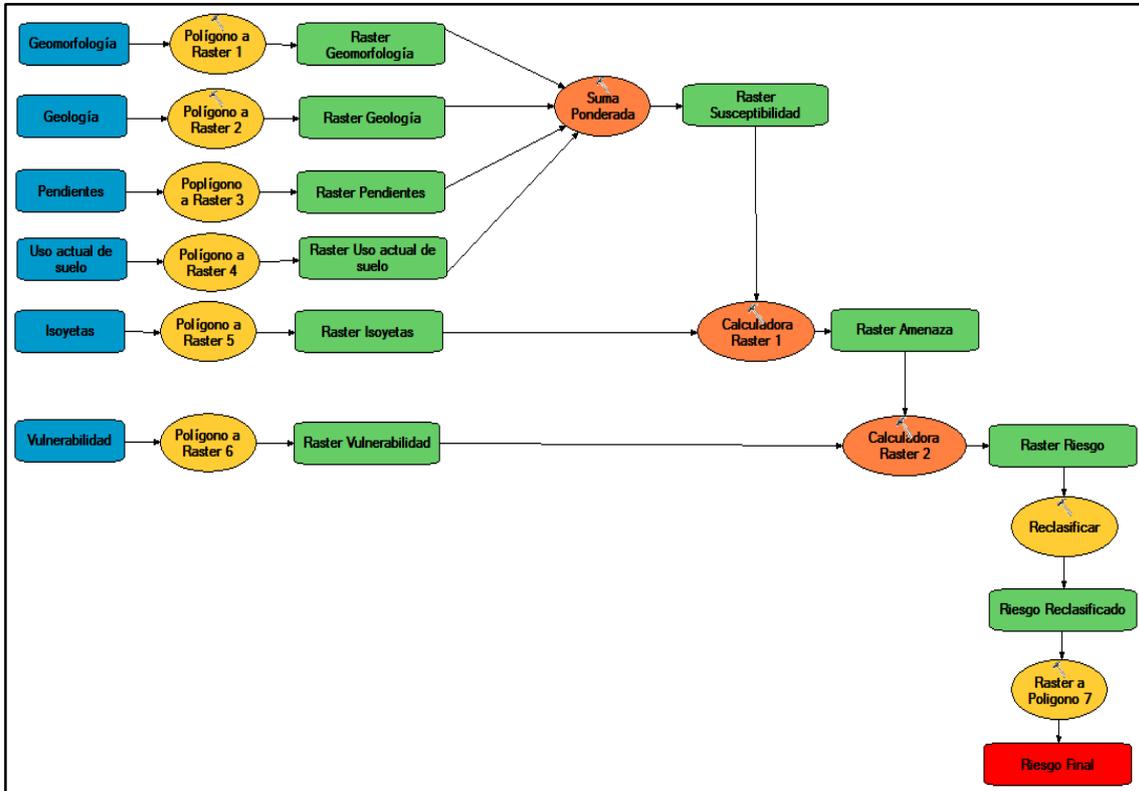
La suma ponderada (weighted sum) es una herramienta del software ArcGis 10.2 que ofrece la posibilidad de ponderar y combinar varias entradas para crear un análisis integrado. En la **Figura 12** se expone el funcionamiento de la herramienta suma ponderada (weighted sum).



**Figura 12.** Funcionamiento de la herramienta suma ponderada.

**Fuente:** Catálogo de Ayuda de ArcGis 10.2.

En la **Figura 13** se expone el Model Builder usado para la obtención del mapa de susceptibilidad, posteriormente el mapa de amenaza, vulnerabilidad y finalmente el mapa de riesgos.



**Figura 13.** Model Builder para obtener susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

**Fuente:** El autor, 2016.

### 5.2.3.3 Análisis de la amenaza por deslizamientos

Para la obtención del mapa de amenazas se hizo uso del mapa de susceptibilidad obtenida mediante el método multicriterio expuesto anteriormente. Se considera la relación que propone Suarez Días Jaime (2009), en donde especifica que: **Amenaza= susceptibilidad + evento detonante.**

Este apartado involucra el desarrollo de tres procedimientos generales; el primero, para la obtención del evento detonante; seguido del mapa final de amenazas y finalmente la correlación del mapa de amenazas con el inventario de deslizamientos.

### **a. Evento detonante**

Para el análisis de la amenaza se consideró como el evento detonante a las precipitaciones máximas (mm/día) con un historial de 50 años hacia atrás; es decir, desde 1965 hasta el 2015.

Para su desarrollo fue necesario el desarrollo de la siguiente secuencia; adquirir información, corroborar completitud de información, relleno o estimación de información faltante, cálculo de probabilidad de retorno para los siguientes 100 años y finalmente la elaboración del mapa de isoyetas.

- **Adquirir información y corroborar completitud de información**

Para determinar el número de estaciones a utilizar se consideró dos parámetros; cercanía hacia el sector de estudio y la disponibilidad de información.

Las estaciones meteorológicas utilizadas son: La Argelia (COD M033), San Lucas (COD M0432), San Francisco (COD M0503), Saraguro (COD M0142) y Zaruma (COD M0180).

Los datos de las 3 primeras estaciones fueron tomados de la tesis *Estudio del Peligro de Deslizamiento del Norte de la Ciudad de Loja, Provincia de Loja, Ecuador* realizado por el Ing. Walter Simón Tambo Encalada Mg.Sc. en el año 2011. Se debe especificar que los datos solo contenían información en el siguiente rango de años: La Argelia (1965-2008), San Lucas (1987-2002) y San Francisco (1976-1993).

Los datos de las dos últimas estaciones fueron recopilados de los anuarios que publica la INAMHI. Los datos disponibles constan desde 1990 hasta el 2011.

- **Relleno o estimación de datos faltantes**

Se procedió a llenar o estimar los años faltantes mediante la utilización de criterios y procesos estadísticos correctos con la finalidad de obtener resultados acordes y confiables.

Se realizó primeramente la determinación del coeficiente de correlación ( $r$ ) y posteriormente el análisis de regresión para determinar una función ( $y = (x)$ ); es decir, establecido ( $r$ ), y comprobado que este dentro de los rango establecido en la **Tabla 14**, determinamos la función, en donde, ( $y$ ), representa el datos de precipitación a estimar, ( $x$ ), es el año en donde falta ese dato.

Tabla 14. Grados del coeficiente de correlación.

Correlación lineal entre dos variables Valores de "r"	Tipo y grado de correlación
(-1)	Negativa perfecta
$(-1 < r \leq -0.8)$	Negativa fuerte
$(-0.8 < r < -0.5)$	Negativa moderada
$(-0.5 \leq r < 0)$	Negativa débil
(0)	No existe
$(0 < r \leq 0.5)$	Positiva débil
$(0.5 < r < 0.8)$	Positiva moderada
<b><math>(0.8 \leq r &lt; 1)</math></b>	<b>Positiva fuerte</b>
(+1)	Positiva perfecta

Fuente: Jara Diego, 2015.

En la **Figura 14** se describe el procedimiento generalizado; mientras que en el **Anexo 4** se expone el procedimiento realizado en la hoja de excel para la estación meteorológica "La Argelia" y los datos de precipitaciones completas de todas las estaciones.

Se especifica que se usó la regresión logarítmica y exponencial obteniendo un coeficiente de correlación ( $r = 0.98$ ); que según la **Tabla 14** está catalogada como **positiva fuerte**. Además, el ajuste lineal con los datos obtenidos es lo esperado.

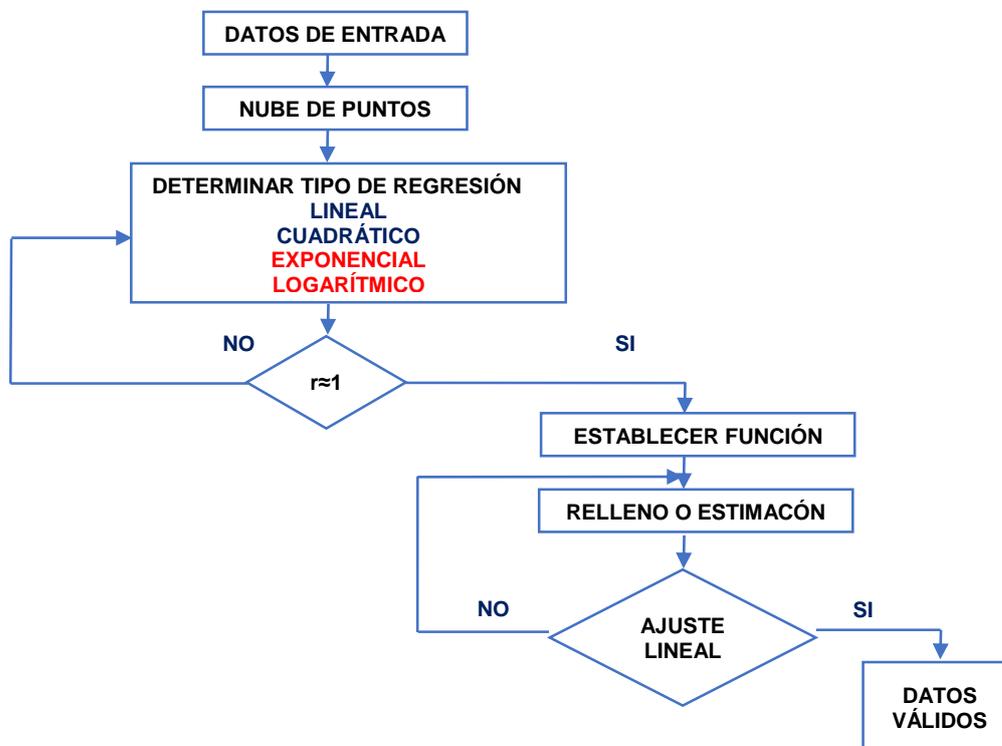


Figura 14. Procedimiento para estimación de precipitación faltante.

Fuente: El autor, 2016.

- **Cálculo de probabilidad**

Teniendo los datos completo se obtiene primeramente el promedio anual y posteriormente el promedio de todos los 50 años. Este tratamiento es para todas las estaciones; es decir, se obtiene un dato por cada estación.

En una hoja de excel se configuran las siguientes formulas en el respectivo orden:

- **Desviación típica o estándar**

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n}}$$

- **Coefficiente de variación**

$$CV = \frac{S_x}{\bar{x}} * 100$$

- **Estimador de coeficiente de variación**

$$S_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

- **Puntuación estandarizada**

$$z = \frac{x - \bar{x}}{S_x}$$

**Donde:**

X: Puntuación bruta (precipitaciones)

$\bar{x}$ : Media aritmética

n: Número de años (50)

z: Puntuación estandarizada

Se tomó como tasa de retorno a los 100 años cuya probabilidad es del 1% (Figura 15).

Cabe mencionar que estos datos están estandarizadas; pero si se quisiera considerar un año diferente se debe realizar los cálculos respectivos.

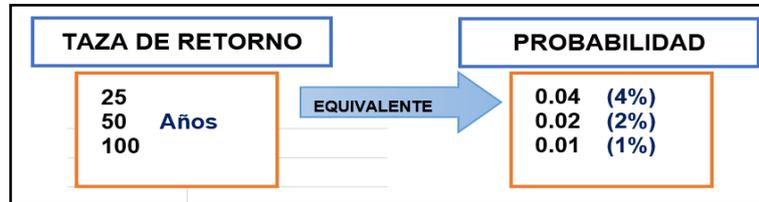


Figura 15. Relación: Tasa de retorno-Probabilidad.  
Fuente: Jara Diego, 2015.

Considerado el 1% o su equivalente 0.01, en una tabla estandarizada (Figura 16) se obtiene la puntuación estandarizada (z). Como en el caso de estudio se considera el mismo proceso para todas las estaciones; se ha determinado que  $z = 2.32$ .

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,50000	0,49601	0,49202	0,48803	0,48405	0,48006	0,47608	0,47210	0,46812	0,46414
0,1	0,46017	0,45620	0,45224	0,44828	0,44433	0,44038	0,43644	0,43251	0,42858	0,42465
0,2	0,42074	0,41683	0,41294	0,40905	0,40517	0,40129	0,39743	0,39358	0,38974	0,38591
0,3	0,38209	0,37828	0,37448	0,37070	0,36693	0,36317	0,35942	0,35569	0,35197	0,34827
0,4	0,34458	0,34090	0,33724	0,33360	0,32997	0,32636	0,32276	0,31918	0,31561	0,31207
0,5	0,30854	0,30503	0,30153	0,29806	0,29460	0,29116	0,28774	0,28434	0,28096	0,27760
0,6	0,27425	0,27093	0,26763	0,26435	0,26109	0,25785	0,25463	0,25143	0,24825	0,24510
0,7	0,24196	0,23885	0,23576	0,23270	0,22965	0,22663	0,22363	0,22065	0,21770	0,21476
0,8	0,21186	0,20897	0,20611	0,20327	0,20045	0,19766	0,19489	0,19215	0,18943	0,18673
0,9	0,18406	0,18141	0,17879	0,17619	0,17361	0,17106	0,16853	0,16602	0,16354	0,16109
1,0	0,15866	0,15625	0,15386	0,15151	0,14917	0,14686	0,14457	0,14231	0,14007	0,13786
1,1	0,13567	0,13350	0,13136	0,12924	0,12714	0,12507	0,12302	0,12100	0,11900	0,11702
1,2	0,11507	0,11314	0,11123	0,10935	0,10749	0,10565	0,10383	0,10204	0,10027	0,09853
1,3	0,09680	0,09510	0,09342	0,09176	0,09012	0,08851	0,08692	0,08534	0,08379	0,08226
1,4	0,08076	0,07927	0,07780	0,07636	0,07493	0,07353	0,07215	0,07078	0,06944	0,06811
1,5	0,06681	0,06552	0,06426	0,06301	0,06178	0,06057	0,05938	0,05821	0,05705	0,05592
1,6	0,05480	0,05370	0,05262	0,05155	0,05050	0,04947	0,04846	0,04746	0,04648	0,04551
1,7	0,04457	0,04363	0,04272	0,04182	0,04093	0,04006	0,03920	0,03836	0,03754	0,03673
1,8	0,03593	0,03515	0,03438	0,03362	0,03288	0,03216	0,03144	0,03074	0,03005	0,02938
1,9	0,02872	0,02807	0,02743	0,02680	0,02619	0,02559	0,02500	0,02442	0,02385	0,02330
2,0	0,02275	0,02222	0,02169	0,02118	0,02068	0,02018	0,01970	0,01923	0,01876	0,01831
2,1	0,01786	0,01743	0,01700	0,01659	0,01618	0,01578	0,01539	0,01500	0,01463	0,01426
2,2	0,01390	0,01355	0,01321	0,01287	0,01255	0,01222	0,01191	0,01160	0,01130	0,01101
2,3	0,01072	0,01044	0,01017	0,00990	0,00964	0,00939	0,00914	0,00889	0,00866	0,00842
2,4	0,00820	0,00798	0,00776	0,00755	0,00734	0,00714	0,00695	0,00676	0,00657	0,00639
2,5	0,00621	0,00604	0,00587	0,00570	0,00554	0,00539	0,00523	0,00508	0,00494	0,00480
2,6	0,00466	0,00453	0,00440	0,00427	0,00415	0,00402	0,00391	0,00379	0,00368	0,00357
2,7	0,00347	0,00336	0,00326	0,00317	0,00307	0,00298	0,00289	0,00280	0,00272	0,00264
2,8	0,00256	0,00248	0,00240	0,00233	0,00226	0,00219	0,00212	0,00205	0,00199	0,00193
2,9	0,00187	0,00181	0,00175	0,00169	0,00164	0,00159	0,00154	0,00149	0,00144	0,00139
3,0	0,00135	0,00131	0,00126	0,00122	0,00118	0,00114	0,00111	0,00107	0,00104	0,00100

Figura 16. Tabla de probabilidades de Gauus.  
Fuente: Jara Diego, 2015.

De ahí despejando, se tiene:

$$z = \frac{X - \bar{x}}{S_x}$$

$$2.32 = \frac{X - \bar{X}}{S_x}$$

$$X = (2.32 * S_x) + \bar{X}$$

***X = Precipitación (mm) con el 1% de probabilidad calculada para 100 años.***

En el **Anexo 5** se expone el procedimiento de cálculo para cada una de las estaciones y el resultado final.

- **Mapa de isoyetas**

Los datos obtenidos del procedimiento anterior son introducidos en el software ArcGis 10.2 para su procesamiento y obtención del mapa de precipitaciones o isoyetas.

El procedimiento contempla: ingresar datos, la interpolación (IDW), extraer por máscara (en función del área de estudio), la reclasificación (3 clases), convertir al formato vector (ráster-polígono), disolver, cálculo de parámetros como área, perímetros, porcentaje, etc. y finalmente el mapa con su respectiva interpretación.

- b. Mapa de amenaza por deslizamientos**

El procesamiento del mapa de amenaza se lo realizó en el software ArcGis 10.2, y contempla un procedimiento previo.

El mapa de susceptibilidad obtenido por el método multicriterio y el mapa de isoyetas se lo convirtieron a formato ráster. Se considera que el tamaño de pixel es de 4 para los dos nuevos rústers.

Con ayuda de la herramienta calculadora ráster (ráster calculator) se procesan los dos rústers obtenidos anteriormente. Del resultado se lo reclasifica en 3 clases; amenaza baja, amenaza media y amenaza alta.

En la **Figura 13** se expone el Model Builder usado para la obtención del mapa de amenazas a partir del mapa de susceptibilidad.

### ***c. Correlación del mapa de amenaza y los deslizamientos***

Es preciso realizar la correlación de las áreas de mediana y alta amenaza con los deslizamientos inventariados. Esta correlación tiene por finalidad determinar el grado de precisión del método multicriterio utilizado; por lo que el área total de los deslizamientos debe estar como mínimo entre un 75 a 80% dentro de las zonas de mediana y alta amenaza.

Para realizar la correlación se procedió a determinar el área total de los deslizamientos y de las zonas de mediana y alta amenaza; finalmente se procedió a realizar el análisis mediante un “clip analysis”.

#### ***5.2.3.4 Análisis de vulnerabilidad física estructural***

El (PNUD & SNGR (2012), proponen una metodología para la evaluación de la vulnerabilidad física estructural de edificaciones y la vulnerabilidad física de la red vial. Basada en el uso de fichas estandarizadas en las que constan las variables e indicadores para la correcta evaluación.

Las fichas fueron diseñados por el autor, en ellas constan las variables e indicadores que propone el (PNUD & SNGR, 2012). La adaptación de las variables e indicadores está en función de las características estructurales de las edificaciones y del medio circundante del sector de estudio.

#### ***a. Vulnerabilidad física estructural de edificaciones***

Los datos a recolectar, además de los que contiene las fichas fueron: el número de viviendas y el número personas por cada una. Estos datos permitieron determinar la población total, la densidad poblacional, el número de vivienda por unidad de área y las características estructurales de las viviendas.

Los datos recolectados con las fichas de campo fueron procesados y nos permitió caracterizar la estructura y el medio circundante de cada vivienda, la evaluación de la completitud (índice de completitud) y finalmente la evaluación de la vulnerabilidad.

Con el uso de 11 variables se calculó el índice de completitud que debe ser mayor al 90% para seguir con la fase de la evaluación de la vulnerabilidad.

Para la evaluación de la vulnerabilidad se usó 7 variables, las que según la metodología empleado, son las que mayor incidencia tienen en la ocurrencia de los deslizamientos.

Los valores posibles de los indicadores son (0, 1, 5, 10), en donde, 0 representa o indica una menor vulnerabilidad, y 1, representa una mayor vulnerabilidad. Los valores asignados a cada indicador son multiplicados por su valor de ponderación ya establecido.

La **Tabla 15** sintetiza lo expuesto.

**Tabla 15.** Indicadores de vulnerabilidad física (edificaciones).

Variables	Indicadores	Valores posibles del indicador	Valor asignado	Valor ponderación	Valor máximo
Sistema estructural	Hormigón armado	0, 1, 5, 10	5	0.8	8
	Estructura metálica		5		
	Estructura de madera		10		
	Estructura de caña		10		
	Estructura de pared		10		
	Mixta madera/hormigón		10		
	Mixta metálica/hormigón		10		
Tipo de material en paredes	Pared de ladrillo	0, 1, 5, 10	5	0.8	8
	Pared de bloque		5		
	Pared de piedra		10		
	Pared de adobe		10		
	Pared de tapia/bahareque/madera		10		
Número de pisos	1 piso	0, 1, 5, 10	10	0.8	8
	2 pisos		5		
	3 pisos		1		
	4 pisos		1		
	>5 pisos		1		
Año de construcción	Antes de 1970	0, 1, 5, 10	10	0.8	8
	Entre 1971 y 1980		5		
	Entre 1981 y 1990		1		
	Entre 1991 y 2010		0		
Estado de conservación	Bueno	0, 1, 5, 10	0	0.8	8
	Aceptable		1		
	Regular		5		
	Malo		10		
Características del suelo bajo la edificación	Firme/seco	0, 1, 5, 10	0	2.0	20
	Inundable		10		
	Ciénaga		10		
	Húmedo/blando/relleno		5		
Topografía	A nivel/terreno plano	0, 1, 5, 10	1	4.0	40
	Bajo nivel calzada		10		
	Sobre nivel calzada		1		
	Escarpe positivo negativo		10		
<b>Valor mínimo/máximo</b>				<b>0</b>	<b>100</b>

Fuente: PNUD & SNGR, 2012.

La sumatoria de la columna (Valor máximo) nos da como resultado valores entre 0 y 100% que serán comparados y encasillados según lo expuesto en la **Tabla 16**.

**Tabla 16.** Niveles de vulnerabilidad (edificaciones).

Niveles de vulnerabilidad	
Nivel	Puntaje
Baja	0 - 33
Media	34 - 66
Alta	> 66

Fuente: PNUD & SNGR, 2012.

Debido a la amplia información recopilada se optó por exponer las fichas usadas para caracterizar (edificaciones y vías), así como su resultado general y específico en el **Anexo digital 1**; para la evaluación y determinación del índice de completitud en el **Anexo digital 2**; y la evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones y vías en el **Anexo digital 3**.

#### ***d. Vulnerabilidad física de la red vial***

Los datos a recolectar están contemplados en la fichas (**Anexo digital 1**). Estos datos permitieron determinar la densidad vial, las principales vías de acceso, estado de conservación y sus características estructurales.

En este caso no se realiza el procedimiento descrito en la parte de la vulnerabilidad física estructural de edificaciones; sino, pasan directo a la evaluación de la vulnerabilidad.

Los valores posibles de los indicadores son (0, 1, 5, 10), en donde, 0 representa o indica una menor vulnerabilidad, y 10, representa una mayor vulnerabilidad. Los valores asignados a cada indicador son multiplicados por su valor de ponderación ya establecido.

La **Tabla 17** sintetiza lo expuesto.

**Tabla 17.** Indicadores de vulnerabilidad física (red vial).

Variable	Indicadores	Valores posibles del indicador	Valor asignado	Valor ponderación	Valor máximo
Estado de revestimiento	Bueno	0, 1, 5, 10	0	2	20
	Regular		5		
	Malo		10		
Mantenimiento	Planificado	0, 1, 5, 10	0	4	40
	Esporádico		5		
	Ninguno		10		
Estándares de diseño y construcción	Aplica normativa MTOP 2002	0, 1, 5, 10	1	4	40
	Versión anterior al 2002		5		
	No aplica normativa		10		
<b>Valor mínimo/máximo</b>				<b>0</b>	<b>100</b>

Fuente: PNUD & SNGR, 2012.

La sumatoria de la columna (Valor máximo) nos da como resultado valores entre 0 y 100% que serán comparados y encasillados con lo que se exponen en la **Tabla 18**.

**Tabla 18.** Niveles de vulnerabilidad (red vial).

Niveles de vulnerabilidad	
Nivel	Puntaje
Baja	0 - 25
Media	26 - 75
Alta	> 75

Fuente: PNUD & SNGR, 2012.

Los niveles de vulnerabilidad tanto física estructural de las edificaciones y la vulnerabilidad física de la red vial obtenidos fueron contrastados con las áreas de amenaza por deslizamientos con la finalidad de realizar un buffer (área de influencia) de 25 metros.

Para obtener la vulnerabilidad final se realizó la digitalización en función de los perímetros de cada buffer y considerando la relación que se expone en la **Tabla 19**.

**Tabla 19.** Matriz para obtener la vulnerabilidad final.

Amenaza	Vulnerabilidad final			
	Baja	Baja	Media	Media
	Media	Media	Media	Alta
	Alta	Media	Alta	Alta
		Baja	Media	Alta
Vulnerabilidad calculada				

Fuente: El autor, 2016.

**5.2.4 Elaborar el mapa de riesgo a deslizamiento mediante la correlación del mapa de amenaza y el mapa de vulnerabilidad.**

Del desarrollo de los procedimientos descritos anteriormente se tiene tres mapas especiales: el de susceptibilidad a deslizamientos, la amenaza por deslizamientos y el de vulnerabilidad física estructural.

El mapa de riesgos a deslizamientos se obtendrá de la correlación del mapa de amenaza por deslizamiento y el mapa de vulnerabilidad física estructural. Se empleará la siguiente relación matemática (**Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad**).

El procesamiento del mapa de riesgo contempla un procedimiento previo:

El mapa de amenaza y el mapa de vulnerabilidad se lo convirtieron a formato ráster. Se considera que el tamaño de pixel es de 4.

Con ayuda de la herramienta calculadora ráster (ráster calculator) se procesan los dos rásters obtenidos anteriormente.

Del resultado se lo reclasifica en 3 clases; riesgo bajo, riesgo medio y riesgo alto.

Para mayor confiabilidad del mapa final se consideró la relación de la **Tabla 20**.

**Tabla 20.** Matriz para obtener el mapa de riesgo.

		<b>Riesgo</b>		
		Baja	Media	Media
<b>Amenaza</b>	<b>Baja</b>	Baja	Media	Media
	<b>Media</b>	Media	Media	Alta
	<b>Alta</b>	Media	Alta	Alta
		<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>
		<b>Vulnerabilidad</b>		

**Fuente:** El autor, 2016.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Resultados generales

#### 6.1.1 Ubicación y acceso

##### 6.1.1.1 Ubicación

El sector de Gunudel - Gulagpamba está ubicada al sur del Ecuador, en la sierra Austral, Región 7 y pertenece a la parroquia urbana Saraguro del cantón del mismo nombre, de la provincia de Loja.

Específicamente se encuentra ubicada a 1.5 km al sureste del casco urbano de la parroquia Saraguro, y con un área de influencia de 65.2 hectáreas.

El área de estudio geográficamente está limitado de la siguiente manera:

**Tabla 21.** Límites del sector Gunudel-Gulagpamba.

Noreste	Sector Gulagpamba
Noroeste	Centro urbano de Saraguro
Sureste	Cerro Wilimón y Río Sinincapac
Suroeste	Sector Las Lagunas

**Fuente:** El autor, 2016.

Las coordenadas que delimitan al sector de estudio se detallan en la **Tabla 22**.

**Tabla 22.** Delimitación del sector Gunudel-Gulagpamba.

Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m)
696359	9598914	2466
696341	9598850	2464
696677	9598409	2460
696553	9598309	2488
696302	9598010	2526
695923	9598074	2555
695701	9598158	2556
695622	9598531	2555
695855	9598723	2510
696151	9598933	2508

**Fuente:** El autor, 2016.

### **6.1.1.2 Acceso**

Para llegar al sector de Gunudel – Gulagpamba se lo realiza mediante vía terrestre y vía aérea.

Vía terrestre, se lo realiza por la panamericana principal desde la ciudad de Quito con un recorrido aproximado de 10 horas y una distancia de 588 km hasta el centro de la ciudad de Saraguro. El recorrido se lo realiza mediante buses de transporte interprovincial que tengan la ruta antes descrita.

Vía aérea, se lo puede realizar desde el aeropuerto de la ciudad de Quito hasta el aeropuerto de la ciudad de Catamayo; y luego se opta por el transporte vía terrestre con un recorrido de 2 horas y una distancia de 110 km aproximadamente. El recorrido se lo realiza mediante las aerolíneas que tenga la ruta especificada; y, luego optar por los buses de transporte interprovincial que tengan la ruta antes descrita.

El sector de Gunudel – Gulagpamba se encuentra en el margen izquierdo de la panamericana Cuenca-Loja.

El mapa de ubicación y acceso a escala 1:4000 se expone en el **Anexo 6**.

### **6.1.2 Hidrografía**

En el contexto general, un 90% de la superficie del cantón Saraguro pertenece a la cuenca hidrográfica del río Jubones y el 10% pertenece a la cuenca hidrográfica del río Puyango.

Enfocándose en la parroquia Saraguro, toda su superficie está dentro de la sub cuenca del río León.

La hidrografía del área de estudio se encuentra drenada en su margen oriental por el río Sinincapac que corre de sur a norte y es un afluente para el río Paquishapa.

Cabe mencionar la presencia de drenajes artificiales de forma radial; las mismas que drenan parte de las aguas servidas de la comunidad de las Lagunas ubicada en la parte más alta.

Los drenajes secundarios son afluentes para el río Sinincapac.

### 6.1.3 Clima

Según (PDOT del Cantón Saraguro, 2014), toda la parroquia de Saraguro posee un clima del tipo ecuatorial mesotérmico semi-húmedo; y la época de lluvia va desde noviembre a mayo. La humedad relativa oscila de 80 a 88%.

Con la base de datos de (Infoplan, 2010) se obtiene el mapa de temperaturas (isotermas) en función de su cota; en donde la temperatura está en el rango de 8°C a 13°C., y en el mapa de precipitación anual (isoyetas) está en el rango de 1479.99 – 3135.83 mm.

### 6.1.4 Demografía

De forma general, la parroquia Saraguro tiene un índice de crecimiento del 0.82 con un estimado de 9787 habitantes para el 2010; y una proyección de 10041 habitantes para el 2020; de los cuales, el 86.64% se concentra en zonas rurales de la parroquia Saraguro (PDOT del Cantón Saraguro, 2014).

Luego del inventario y la caracterización de la infraestructura en el sector Gunudel – Gulagpamba se ha concluido que existe un total de 290 habitantes.

### 6.1.5 Actividades económicas

La economía del sector Gunudel – Gulagpamba se basa principalmente en la actividad agrícola, ganadera y una pequeña parte de la población se dedica a la actividad artesanal.

### 6.1.6 Infraestructura

Con el procesamiento de la información de campo se determina que en el sector de estudio existen 114 viviendas con la siguiente tipología.

**Tabla 23.** Infraestructura existente en el sector Gunudel-Gulagpamba.

<b>Viviendas en función de su sistema estructural</b>		
<b>Tipología</b>	<b>N° viviendas</b>	<b>%</b>
Viviendas con hormigón armado	34	29.82
Viviendas con estructura metálica	1	0.88
Viviendas con estructura de pared	37	32.46
Viviendas con estructura de madera	42	36.84
<b>Total</b>	<b>114</b>	<b>100</b>

Fuente: El autor, 2016.

## 6.2 Resultados específicos

### 6.2.1 Topografía

En el software ArcGis 10.2 se realizó el procesamiento de los datos tomados con la estación total SOKKIA SET 550 RX y se generó las curvas de nivel principales cada 10 m, y las curvas de nivel secundarias cada 2 m.

En el mapa topográfico se exponen las 114 viviendas, las vías de primer y tercer orden, las principales redes de drenaje artificial y el filo arriba del río Sinincapac.

Los deslizamientos están expuestos en otro mapa en los siguientes apartados.

La superficie delimitada con el levantamiento topográfico es de 65. 2 ha con un perímetro de 3.09 km.

Debido a los deslizamientos existentes, el relieve del sector de estudio está dominado por fuertes escalonamientos y ondulaciones dispersas.

Del análisis del mapa topográfico obtenido se asevera que en el sector de estudio se encuentran cotas desde los 2448 m.s.n.m. en las partes más bajas hasta los 2564 m.s.n.m. en las partes más altas; a excepción de la colina que se encuentra aproximadamente al centro del sector de estudio en las coordenada 695882 y 9598385; donde la cota mínima es de 2510 m.s.n.m. y la máxima de 2550 m.s.n.m. En resumen, presenta un desnivel de 116 m.

Las partes más bajas, hacia el noreste, corresponde al sector donde se ubicaba la gasolinera Guadalupe y que actualmente se encuentra deprimida debido al deslizamiento principal que tiene esa dirección. Las partes más altas, hacia el sureste corresponden al límite con el sector Las Lagunas.

El mapa topográfico sirvió como mapa base para la realización del levantamiento geológico estructural y el mapa de pendientes.

En el **Anexo 7** se expone el mapa topográfico a escala 1:4000 y sus respetivos perfiles.

## **6.2.2 Geología Regional**

El área de Saraguro se encuentra en la Sierra Austral del Ecuador, en la Cordillera Real específicamente está asentada sobre la Formación Saraguro que pertenece al Grupo Saraguro.

La Cordillera Real está constituida por una serie de divisiones litotectónicas que se extienden con dirección andina en las que subyacen rocas metamórficas cubiertas en partes por Volcánicos del Cenozoico, incluyendo algunos de los principales estratovolcanes. La Cordillera Occidental comprende principalmente volcánicos del Mesozoico y rocas sedimentarias secundarias, algunas de las áreas altas están cubiertas por volcánicos del Neógeno.

El área de estudio está emplazada sobre la Formación Saraguro por lo que se describe la geología de esta formación.

### **6.2.2.1 Grupo Saraguro**

El Grupo Saraguro fue definido en la región de Saraguro (de aquí su nombre) por (Kennerly, 1973), donde descansa discordantemente hacia el este sobre la Serie Zamora (Metamórfico) y hacia el oeste sobre la Formación Piñón (volcánico).

(Baldock, 1982), expone que existen depósitos dispersos de Volcánicos Terciarios de origen terrestre subareal, las mismas que consta de lavas andesíticas y riolíticas, ignimbritas y sobre todo piro clastos que varían desde tobas finas hasta aglomerados gruesos. Localmente existen sedimentos interestratificados. La edad del grupo Saraguro esta entre el Paleógeno y el Neógeno según el punto de vista de varios autores. Según Steinmann (1997), estima una edad de  $28.5 \pm 3.0$  y  $26.4 \pm 2.6$  Ma.

La potencia total está entre los 1500 metros y 2000 metros y está cubierto principalmente por sedimentos del Mioceno Inferior a Medio e inclusive más jóvenes.

El Grupo Saraguro está en contacto tectónico o descansa inconformemente sobre rocas metamórficas, las cuales forman el basamento de la Cordillera Occidental al Sureste de la Falla Bulubulu. Rocas del grupo también descansan inconformemente o en contacto fallado con basaltos oceánicos deformados de la Unidad Pallatanga (Dunkley y Gaibor, 1997a).

Incluye a las Formaciones Alausí, Loma Blanca, Saraguro y Chinchillo, las que están compuestas de lavas intermedias (y raras veces más ácidas) y piroclásticos los que sobreyacen discordantemente rocas levantadas del Mesozoico y del Terciario inferior de la Cordillera Occidental y parcialmente recubren rocas metamórficas de la Cordillera Real (Baldock J. W, 1982).

Según el proyecto (Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador Between 3° 00' and 4° 00'), el Grupo Saraguro es en gran parte plano, o solo ligeramente ondulado.

Se presenta una descripción de la litología que posee el Grupo Saraguro.

- **Tobas andesíticas.-** Son de color verde, con abundante plagioclasas, anfíboles y cristales de augita. La textura vitreoclástica es poco común y las foliaciones de soldadura están menos desarrolladas.
- **Tobas dacíticas.-** Contienen cristales de feldespato, algunos cristales de cuarzo sobre una matriz verde claro, rosada o café. Las texturas soldadas y lapille pómez cloritizados son muy comunes.
- **Tobas riolíticas.-** Son blancas, café pálido o rosadas. Folioaciones soldadas son pronunciadas en afloramientos, pero la textura vitreoclástica son destruidas por la recristalización y desvitrificación. El contenido de cristales es muy variable desde los más comunes como los feldespatos, el cuarzo y la biotita.

#### **6.2.2.2 La Formación Saraguro (Eoceno)**

La Formación Saraguro es una secuencia alterna de lavas andesíticas y piroclastos, recubiertas por la Formación Chinchillo. Aflora en los valles de terrenos profundamente disectados, siguiendo los ríos León, Paquishapa, Tenta y Jubones.

Es una combinación de estratos de capas gruesas de lava y piroclastos. Los piroclastos varían desde tobas de grano fino hasta aglomerados de espesores grandes formando escarpes prominentes hacia la periferia de Saraguro. (Kennerly, 1973)

Específicamente en la periferia de la parroquia Saraguro es evidente afloramientos de tobas tanto arenosas y de grano fino con bandeamiento multicolor y en menor proporción posee lentes de conglomerados.

En lo que respecta a las lavas, estas son de andesita porfirítica y están interestratificadas.

El desarrollo de los enormes volúmenes de ignimbritas de la Formación Saraguro indican un ambiente tectónico extensional (Steinmann, 1997).

La Formación Saraguro descansa discordantemente al Este sobre la Serie Zamora (Metamórfico) y al Oeste sobre la Formación Piñón (Volcánico).

Se encuentra suavemente plegado y sus ejes siguen rumbos Norte y NE. En lo concerniente a las estructuras dentro de esta formación, la que destaca es el pliegue sinclinal del río León.

El espesor estimado de esta formación es de 3000 metros.

#### **a. Depósitos superficiales**

Se han conservado depósitos glaciales en las depresiones montañosas de la Cordillera de Chilla y alrededor de Tres Lagunas, donde se han observado morrenas en las fotografías aéreas. Aluviones y terrazas se encuentran restringidos al área de los sustratos sedimentarios a lo largo del río Jubones.

Los deslizamientos son bastantes numerosos, particularmente en la Formación Saraguro ocupando áreas de varios kilómetros cuadrados. Los depósitos coluviales se encuentran siguiendo las laderas del valle del río León.

#### **e. Geología estructural**

Plegamientos cuyos ejes tiene rumbo NE-SW en el Grupo Ayancay y en la Fm. Saraguro siguiendo el río León mantienen la misma orientación que las zonas de deformación cataclástica en el granito metasomático de Tres Lagunas, señalando así una importante dirección estructural. Los plegamientos en la Fm. Chinchillo y en la Fm. Saraguro siguiendo el río Tenta son más suaves manteniendo sus ejes un rumbo N-S. El fallamiento es común sin que haya una orientación particular.

El mapa de la geología regional a escala 1:90000 y su respectivo corte geológico se expone en el **Anexo 8**.

### 6.2.3 Geología local

Tras el análisis de la información y el mapa de geología regional a escala 1:100000 de Saraguro; se puede argumentar y exponer la descripción de la litología del sector de estudio.

#### 6.2.3.1 Toba riolítica (ETbr)

Esta litología está caracterizada por poseer una textura piroclástica compuesta por clastos de riolita y andesita porfirítica de sub redondeados a redondeados con diámetros desde los 0.02 m hasta los 0.20 m. Se evidencia bloques que superan 1 m de diámetro, las mismas que tiene pequeñas incrustaciones de riolita y andesita porfirítica con diámetros no superiores a los 0.05 m. Los cantos y los bloques presentan una meteorización leve y están sobre una matriz limo arenosa de coloración gris-amarillenta que presentan una alta disgregación.

Según el informe N° 1 del programa de Información Cartográfica geológica de la Cordillera Occidental del Ecuador, este material se conceptualiza como una toba riolítica de textura vitroclástica de acuerdo a las características mineralógicas. Por lo tanto, puede ser llamado como toba riolítica o toba aglomerática.

La toba riolítica tiene una superficie del 12.44%. Aflora hacia el noroeste, al extremo del noreste (márgen del río Sinincapac) y en la parte céntrica formando 1 colina.



**Fotografía 5.** Afloramiento de toba riolítica diaclasado.

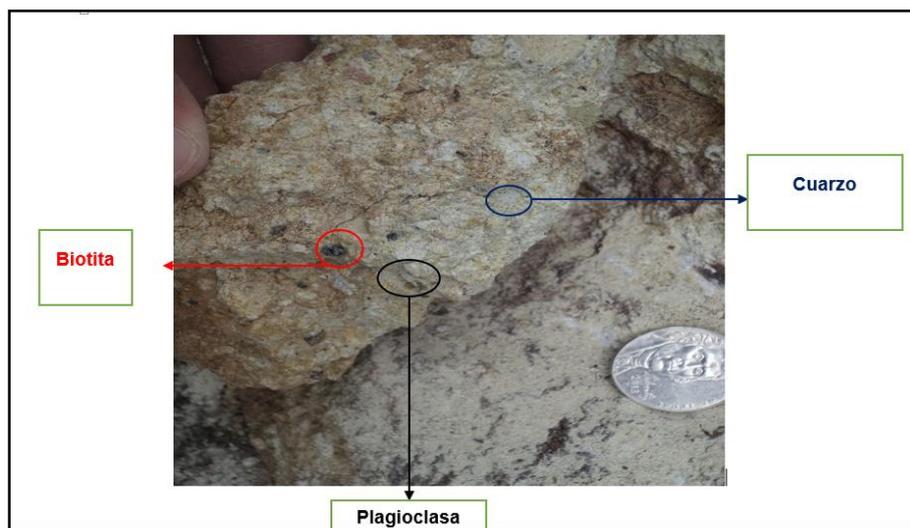
**Fuente:** El autor, 2016.

En el afloramiento de la **Fotografía 5** se evidencia una familia de diaclasas (B) con dirección N 25°W y buzamiento de 32° SW; y, N 17° W con buzamiento 27° SW.

En el afloramiento (A), unos metros hacia el oeste se evidencia otra diaclasa que pertenece a la misma familia, cuyo rumbo es de N 23°W con buzamiento 29° SW favoreciendo de esta manera a un futuro deslizamiento hacia la vía secundaria de acceso a la comunidad que se ubica a 100 m pendiente abajo.

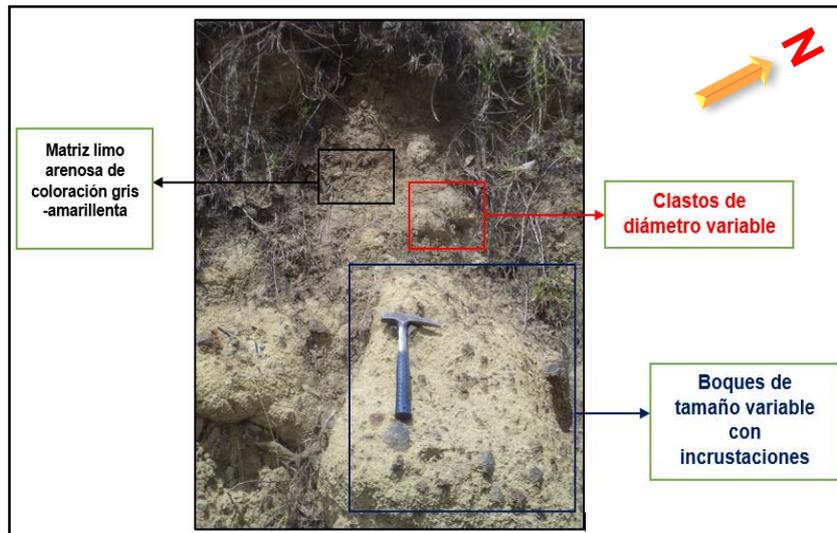
Tanto en (A) y (B) la litología es la misma y posee una cobertura vegetal baja con un espesor de materia orgánica de 0.30 m.

En la **Figura 17** se expone una muestra de mano en el que se evidencia macroscópicamente los minerales característicos de la toba riolítica; es decir, biotita, plagioclasas y cuarzos con diferentes grados de meteorización.



**Figura 17.** Toba riolítica y sus minerales característicos.  
**Fuente:** El autor, 2016.

En la parte céntrica del sector de estudio (colina), hacia el flanco norte, todo el paquete de la toba riolítica presenta una humedad de leve a media; la presencia de cárcavas lo que ayuda a la meteorización excesiva de la matriz que los contiene, dándonos la impresión de encontrarse frente a un coluvión.



**Figura 18.** Toba riolítica con la presencia de clastos y bloques.  
**Fuente:** El autor, 2016.

En el flanco sur (**Fotografía 6**), se evidencia un macizo medianamente meteorizado y con una leve humedad, por lo que gran parte está cubierta por mughos de color gris oscuro.

Las diaclasas dividen al macizo preferentemente en 3 grandes bloques de aproximadamente 2 m de potencia y están dispuestos casi paralelamente con un espaciado entre diaclasa de aproximadamente de 2 m, la abertura entre las mismas es de 5 cm y están rellenos de un material limo arenoso medianamente meteorizado.

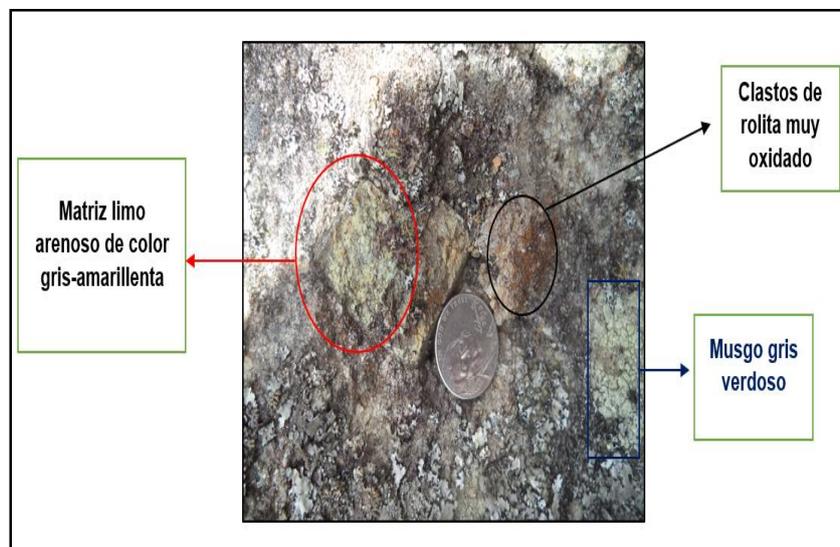
Las diaclasas tienen una dirección de N 50° E y un buzamiento de 45° NW, favoreciendo de esta manera a un futuro desplazamiento hacia la escuela de la comunidad que coincide con la dirección de buzamiento.

La diferencia del grado de meteorización entre los dos flacos obedece a la presencia o ausencia de cobertura vegetal.



**Fotografía 6.** Macizo rocoso de toba riolítica con presencia de diaclasas.  
**Fuente:** El autor, 2016.

En la **Figura 19** es evidenciable la constitución del macizo rocoso de toba riolítica en donde se aprecia los clastos característicos y su matriz limo arenoso.



**Figura 19.** Caracterización de toba del macizo rocoso.  
**Fuente:** El autor, 2016.

Dispersos homogéneamente por todo el sector de estudio se evidencia bloques de diámetros mayores a 1 metro con diferentes grados de meteorización e incrustados típicamente clastos de riolita y andesita porfírica. Ver **Figura 20**.

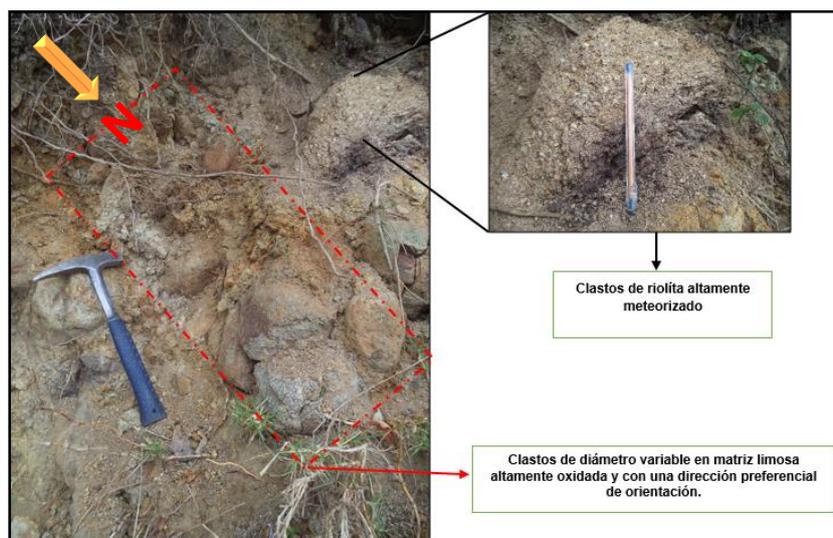


**Figura 20.** Bloques dispersos con incrustaciones de riolita y andesita porfírica.  
**Fuente:** El autor, 2016.

### 6.2.3.2 Coluvión de toba riolítica (Q Co)

El coluvión proviene de la disgregación de la toba riolítica y está presente en toda la superficie del sector de estudio.

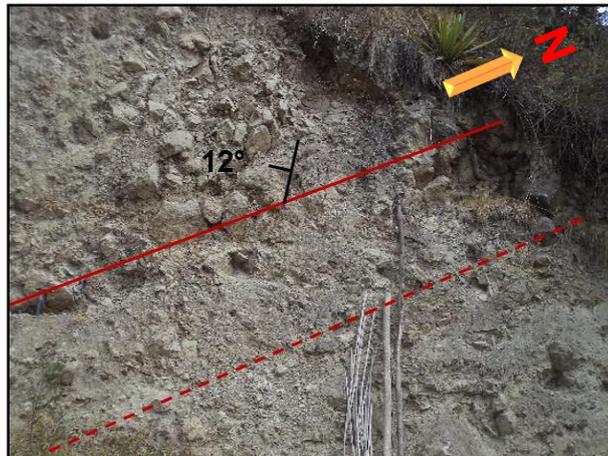
Esta caracterizado por la presencia de clastos de riolita y andesita porfírica desde los 0.02 m hasta grandes bloques de diámetros mayores a 1 m sostenidas por una matriz limo arenosa de coloración gris-amarillenta, a veces hasta rojiza debido a su gran oxidación. Ver **Figura 21**.



**Figura 21.** Coluvión con clastos fuertemente meteorizados.  
**Fuente:** El autor, 2016.



**Fotografía 7.** Coluvión con una dirección preferencial de flujo (imbricación).  
**Fuente:** El autor, 2016.



**Fotografía 8.** Coluvión con diferencia de diámetro de clastos.  
**Fuente:** El autor, 2016.

En las **Fotografías 7 y 8** se aprecia que los clastos están dispuestos de tal manera que se evidencia la imbricación con una dirección preferencial de flujo al momento de su deposición. Su dirección es de S 74° W y un buzamiento de 12° N y N 15° W y un buzamiento de 12° SW respectivamente.

El área que contempla la presencia de coluvión es del 66.81% del sector de estudio.

Según Abeykoon (2000), la presencia de coluviones es un indicativo de la inestabilidad de una región, así mismo, es una evidencia de que han ocurrido deslizamientos en el pasado.

Los deslizamientos que existen en el sector de estudio coinciden lógicamente con las partes más meteorizadas y disgregadas de la toba riolítica y las zonas de los coluviones.



**Fotografía 9.** Escarpe de deslizamiento en coluvión.  
**Fuente:** El autor, 2016.

### **6.2.3.3 Limolita (Q Lmt)**

En una pequeña parte hacia el noroeste del sector de estudio aflora la limonita y ocupa el 0.81% de la superficie total analizada. Está atribuida al proceso de disgregación y transporte de la toba riolítica bajo un régimen laminar.

Carece de fisibilidad (característica de dividirse en capas o planos), pues su forma de rotura es en forma de bloques. Tiene un blanco hueso y en partes se evidencia una leve oxidación.

Consta de bloques de 0.3 m hasta 2 m de tamaño. Se encuentran medianamente meteorizadas y son sumamente blandas. No tiene evidencias de una humedad alta. Ver **Fotografía 10.**

Como minerales se evidencia las micas (biotita) y plagioclasas fuertemente alteradas. Se tiene presencia de materia orgánica acompañada de diminutos raíces. Ver **Figura 22**.

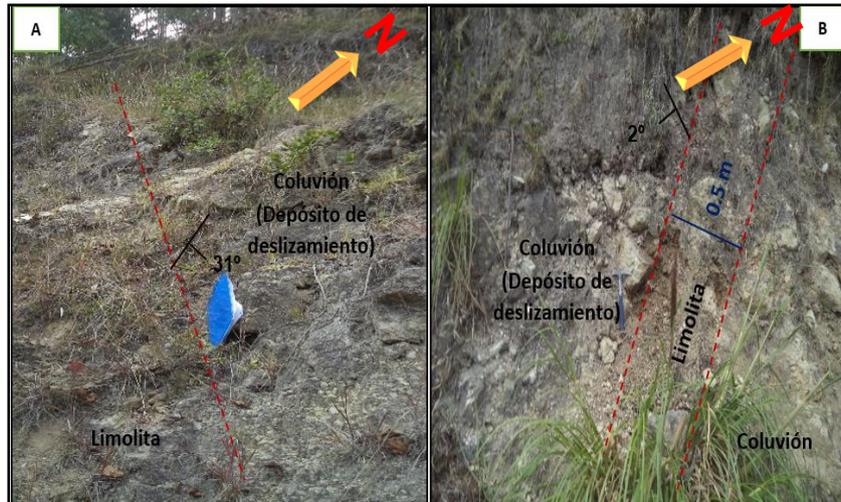


**Fotografía 10.** Bloques de tamaños variados de limolita.  
**Fuente:** El autor, 2016.



**Figura 22.** Limolita con presencia de micas y rastro de materia orgánica.  
**Fuente:** El autor, 2016.

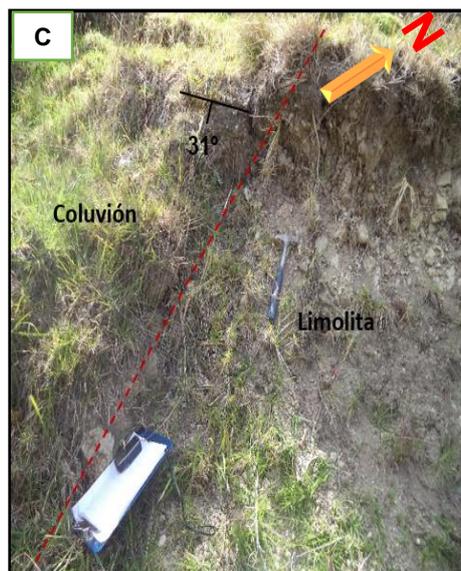
Se encuentra en contacto con los coluviones y lógicamente está involucrado en un deslizamiento.



**Fotografía 11.** Contacto entre limolita y coluvión.  
**Fuente:** El autor, 2016.

En la **Fotografía 11**, en (B) se evidencia un estrato de 0.5 m de potencia y están medianamente meteorizados. Los estratos tienen un buzamiento y dirección que aparentan formar un anticlinal cuya cresta ha sido ya erosionada y depositada en las partes bajas; pero solo es el depósito del coluvial sobre la limolita que da esta impresión.

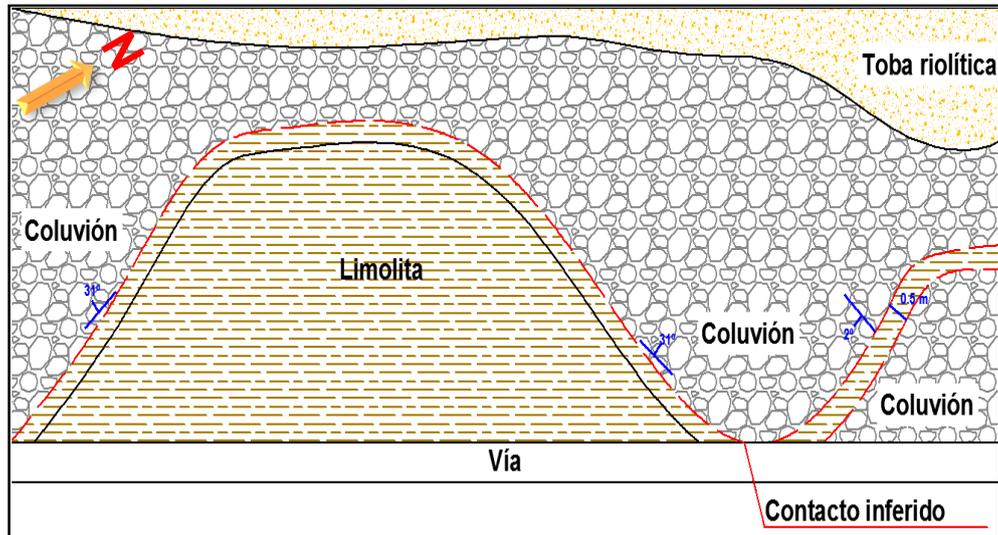
En (A) y (B) se evidencia el depósito de los coluviones sobre la formación sedimentaria (contacto litológico). El flanco en (A) tiene un rumbo de N 30° W con buzamiento de 31° NE y aparentemente forma el flanco izquierdo de un sinclinal con el estrato de limolita de (B) con rumbo N 75° W y buzamiento 2° SW.



**Fotografía 12.** Contacto entre limolita y coluvión.  
**Fuente:** El autor, 2016.

Paralelo a lo descrito en la **Fotografía 12**; el flanco en (A) se identifica el contacto litológico (coluvión-limolita) que aparenta formar un anticlinal con el flanco de (C) cuyo rumbo es S 40° W y buzamiento 31° SE.

Lo expuesto en las fotografías anteriores se resume y expone en la **Figura 23**.



**Figura 23.** Contacto limolita-coluvión. Ver fotografías 11 y 12.

**Fuente:** El autor, 2016.

#### 6.2.3.4 Limos (Q Lm)

Se encuentran en las partes planas o con pendientes desde 0 a 30%. Son zona de acumulación que abarca una superficie de 19.94%.

Los limos que actúa como matriz cementante de los coluviones de las partes altas (laderas) erosionados y transportados son depositados hacia las partes más bajas; en donde son evidenciables limos que aún conservan su coloración gris- amarillenta, salvo en algunas zonas donde se presenta una coloración rojiza debido a su gran oxidación.

En el **Anexo 1** se exponen los datos de los 21 afloramientos en el siguiente orden: ubicación geográfica, la tabla técnica con sus datos y finalmente las fichas de caracterización.

En el **Anexo 9** se expone el mapa de geología local a escala 1:4000 y sus respectivos cortes geológicos.

#### 6.2.4 Pendientes

Para la elaboración del mapa de pendientes del sector de estudio se hizo uso del mapa topográfico.

Martínez & Mercado (1992), proponen la reclasificación de la pendiente en 5 clases expresadas en porcentajes (%).

**Tabla 24.** Rango de valores de pendientes.

Categoría	Rango (%)
Terrenos planos a casi planos	0 - 15
Terrenos inclinados	15 - 30
Terrenos moderadamente escarpados	30 - 50
Terrenos escarpados	50 - 75
Terrenos muy escarpados	>75

Fuente: Martínez & Mercado, 1992.

	RANGO (%)	DESCRIPCIÓN	ÁREA (ha)	(%)
	0-15	Terrenos planos a casi planos	26.89	41.27
	15-30	Terrenos inclinados	22.67	34.79
	30-50	Terrenos moderadamente escarpados	11.29	17.33
	50-75	Terrenos escarpados	3.64	5.55
	>75	Terrenos muy escarpados	0.71	1.06
	<b>Total</b>		<b>65.2</b>	<b>100</b>

**Figura 24.** Pendientes del sector Gunudel-Gulagpamba.

Fuente: El autor, 2016.

En el sector de estudio existe la predominancia de zonas con pendientes que están en el rango de 0 a 15% denominadas como terrenos planos a casi planos y que ocupan el 41.27% de la totalidad de la superficie estudiada. Estas pendientes se encuentran dispersas en toda el área y sobre ellas están ubicadas el 76% de las viviendas. Como referencia se tiene que la antigua panamericana (Loja-Cuenca) tiene este rango.

De la misma manera existen zonas con pendientes que están en el rango de 15 a 30% denominadas como terrenos inclinados y que ocupan el 34.79% de la superficie estudiada.

Es evidenciable que en estas zonas se encuentra ubicadas el 20% de la totalidad de las viviendas. Al igual que la anterior, son identificables a lo largo de toda el área analizada.

En el 17.33% de la totalidad de la superficie del área de estudio se evidencia zonas que están con pendientes en el rango de 30 a 50% denominadas como terrenos moderadamente escarpados. Dentro de esta zona se encuentra el 4% de la totalidad de las viviendas analizadas. Son evidentes estas pendientes alrededor de 3 de las 4 colinas que existen en el área. Su presencia tiene similitud en la ubicación que en el rango anterior.

Considerada como terrenos escarpados se encuentran las zonas que poseen pendientes entre 50 a 75% que abarcan el 5.55% de la totalidad del área. En estas zonas actualmente no se encuentra ninguna vivienda.

En terrenos muy escarpados actualmente no existen viviendas. Estas zonas poseen pendientes >75% y ocupan el 1.06% del total del área analizada. Se puede apreciar pendientes de este tipo en las colinas ubicadas al centro y al noroeste; también se evidencia pequeñas zonas ubicada en los extremos este y oeste del área de estudio.

El mapa de pendientes a escala 1:4000 se expone en el **Anexo 10**.

#### **6.2.5 Uso actual del suelo**

Con ayuda de la fotografía aérea N-VI-D4-d-3-a que data del 2010 más el recorrido de campo permitió comparar y determinar los cambios en las diferentes zonas y el uso actual del recurso suelo.

De lo anterior se expone lo siguiente.

	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>AREA (ha)</b>	<b>(%)</b>
	Vegetación Arbustiva	5.37	8.24
	Vegetación Herbácea	39.46	60.52
	Cultivos	10.58	16.23
	Zonas Erosionadas	5.99	9.19
	Zonas Pobladas	0.88	1.35
	Vía (Suelo Desnudo)	2.92	4.48
	<b>Total</b>	<b>65.2</b>	<b>100</b>

**Figura 25.** Uso actual de suelo del sector Gunudel-Gulagpamba.

**Fuente:** El autor, 2016.

En el sector de estudio se evidencia la predominancia de las zonas de vegetación herbácea o pastizales bien sean de origen natural o cultivado. Estas zonas abarcan el 60.52% de la totalidad de la superficie de estudio. En estas zonas se desarrolla la actividad pecuaria y en menor proporción el pastoreo. Existe un sistema de riego deficiente (mala canalización y direccionamiento) que ocasiona el aumento de humedad y la saturación de los suelos contribuyendo notablemente a la ocurrencia de deslizamientos.

Por ser un sector netamente rural se desarrolla la actividad agrícola mediante el cultivo de maíz y vegetales de ciclo corto. Esta actividad ocupa el 16.23% del área analizada.

Como en el caso anterior, la actividad agrícola que se desarrolla en el sector posee un sistema de riego muchas veces deficiente y excesivo, contribuyendo en la saturación de suelos y la ocurrencia de deslizamientos. Las zonas de cultivos están dispersos en casi toda la superficie de estudio; a excepción del noreste, que se evidencia un área pequeña.

La actividad antrópica como el pastoreo, la deforestación en mínima escala y la actividad pecuaria ha desaparecido o disminuido la cobertura vegetal; por tal razón es lógico la presencia de zonas erosionadas que abarcan el 9.19% de la totalidad de la superficie estudiada. Estas zonas están relacionados con los deslizamientos existentes en el sector de estudio y se ubican en la parte céntrica, al sureste (margen del río Sinincapac) y paralelo a la antigua panamericana.

En las partes más altas, en las cimas de las colinas y en las periferias del sector de estudio se puede apreciar una vegetación arbustiva medianamente densa. Estas zonas ocupan el 8.24% de la superficie total. En las partes bajas es casi nula su presencia debida a la actividad pecuaria y su requerimiento de zonas cada vez más amplia para el cultivo de pastizales.

La antigua panamericana (Loja-Cuenca) y las vías internas están encasilladas como zonas de vías o suelo desnudo que abarca el 4.48% de la totalidad de la superficie estudiada.

Como zona poblada están encasilladas las áreas con la presencia de viviendas. Se reconoce que la distribución de las viviendas es muy dispersa; y solo en la parte céntrica y hacia el extremo norte se visualiza una concentración medianamente densa. Estas zonas representa el 1.35 % de la superficie analizada.

El mapa de uso actual del suelo a escala 1:4000 se expone en el **Anexo 11**.

#### **6.2.6 Geomorfología**

Para su desarrollo se requirió realizar el levantamiento geomorfológico identificando y caracterizando las geoformas que presenta el terreno del sector de estudio mediante el uso de fichas estandarizadas en el que constan todas las variables a caracterizar. Las fichas se exponen en el **Anexo 3**.

Para facilitar la identificación de las geoformas se utilizó el modelo digital de elevación (DEM) y la fotografía aérea del sector de estudio.

Las variables que propone la metodología de CLIRSEN (2012) fueron adaptadas a las condiciones del terreno. La metodología y las especificaciones para el desarrollo del mapa de geomorfología se exponen en el **Anexo 3**.

En la oficina, con ayuda del software ArcGis 10.2 se procesó la información de campo obtenidas de las fichas y se las relacionó con la topografía, pendientes y geología previamente obtenidas.

En la **Figura 26** se exponen la geomorfología del sector de estudio.

El mapa de geomorfología a escala 1:4000 se expone en el **Anexo 12**.

UNIDAD GENÉTICA		UNIDAD MORFOLÓGICA		FORMA DE RELIEVE	PENDIENTE (%)	LITOLÓGÍA	ÁREA	
GÉNESIS	EDAD	UNIDAD	SÍMBOLO				(ha)	(%)
Deposicional	Holoceno	Valle		Valle deposicional	0 - 40	Limos y arcillas	5.90	9.05
		Llanuras		Llanuras planas a onduladas	0 - 12	Limos y arcillas	4.66	7.15
Denudativo	Holoceno	Deslizamiento		Deslizamiento	0 - > 200	Coluvial	30.92	47.42
		Coluvial		Coluvial antiguo	0 - > 200	Coluvial	17.31	26.55
Tectónico erosivo	Eoceno	Colina		Colina media	0 - 150	Toba riolítica	4.71	7.22
				Colina baja	0 - 100	Coluvial	1.68	2.58
<b>Total</b>							<b>65.20</b>	<b>100.0</b>

**Figura 26.** Geomorfología del sector Gunudel-Gulagpamba.  
**Fuente:** El autor, 2016.

### 6.2.6.1 Formas de origen deposicional

#### a. Valle deposicional

Corresponde a esta unidad tres zonas, la primera se extiende desde el suroeste hasta la parte céntrica del sector de estudio, la segunda ubicada hacia el sureste y la última hacia el noroeste. Esta unidad ocupa el 9.05% del área y posee pendientes desde 0 a 40%. Está caracterizada por la presencia de limos y arcillas. Lógicamente involucra a las redes de drenaje artificial.



**Fotografía 13.** Valle deposicional.  
**Fuente:** El autor, 2016.

**b. Llanuras planas a onduladas**

Corresponde a las zonas ubicadas al noroeste y al centro del sector de estudio. Abarca el 7.15% del área y posee pendientes de 0 a 12%. Está caracterizada por la presencia de limos y arcillas.



**Fotografía 14.** Llanuras planas a onduladas.  
Fuente: El autor, 2016.

**6.2.6.2 Formas de origen denudativo**

**a. Deslizamiento**

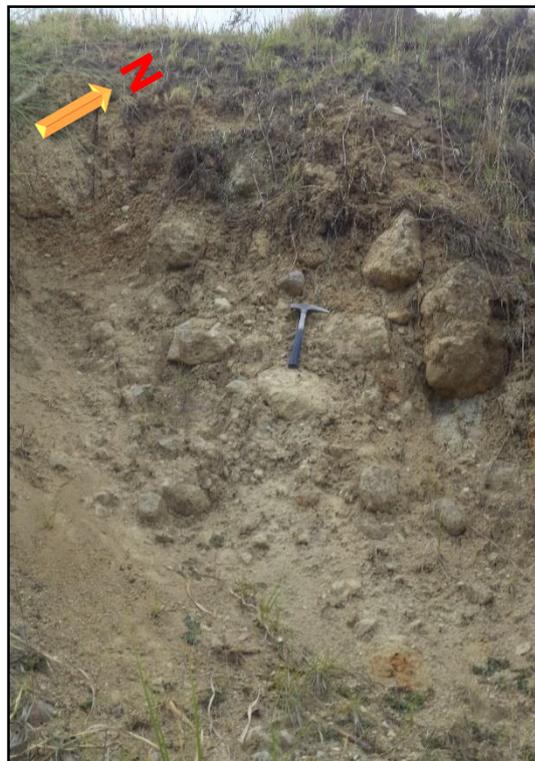
Están especificados íntegramente en el apartado de los deslizamientos. En total son 7 deslizamientos identificados que involucran el 47.42% del área estudiada y posee pendientes desde 0 hasta mayores a 200%. El material que lo caracteriza son los coluviones y bloques de toba riolítica.



**Fotografía 15.** Escarpe de deslizamiento.  
**Fuente:** El autor, 2016.

***b. Coluvial antiguo***

Presente homogéneamente en todo el sector de estudio a excepción de las zonas donde afloran las tobas riolíticas que coinciden con 2 de las colinas. Comprende el 26.55% del área estudiada y posee pendientes desde 0 hasta mayores a 200%.



**Fotografía 16.** Coluvión antiguo existente en todo el sector de estudio.  
**Fuente:** El autor, 2016.

### 6.2.6.3 Formas de origen tectónico erosivo

Se ha categorizado en dos tipos de colinas. La colina baja tiene un desnivel de 5 a 15 m y ocupa el 2.58% del área de estudio; mientras que colina media tiene un desnivel de 15 a 25 m y ocupa el 7.22% de la superficie de estudio.

Las diferentes tipologías tienen la cima redondeada. Las colinas bajas presentan pendientes de 0 a 100% y se evidencia la presencia de coluviones; mientras que la colina media tiene pendientes entre 0 y 150% con presencia de toba riolítica de la Fm. Saraguro.



**Fotografía 17.** Colina baja.  
**Fuente:** El autor, 2016.



**Fotografía 18.** Colina media.  
**Fuente:** El autor, 2016.

### 6.2.7 Inventario de deslizamientos

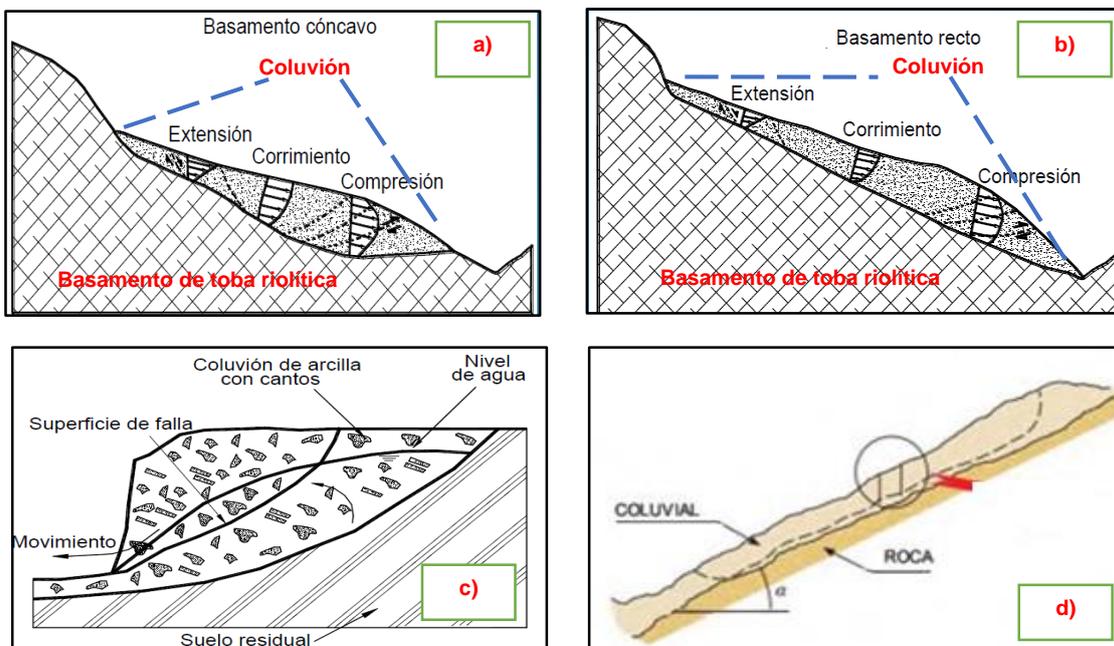
En el sector de estudio se identificó 7 deslizamientos a las que se les asignó un código para su caracterización.

Las coordenadas, el tipo, el estado y la dirección de movimiento fueron deducidos mediante observación y análisis in situ. El área, su porcentaje, el perímetro y el volumen fueron obtenidos mediante el uso del software ArcGis 10.2.

Para cada uno de los deslizamientos se realizó el perfil topográfico en el software AutoCad 2013 cuyos datos fueron complementados con las observaciones de campo y así determinar la profundidad de la superficie de rotura (**Dr**), la longitud de superficie de rotura (**Lr**). Se recalca, estos datos son aproximaciones.

Para determinar la profundidad de la superficie de rotura (**Dr**) de cada deslizamiento se consideró la forma, longitud e inclinación de sus escarpes con la finalidad de obtener una aproximación más real. Para la longitud de la superficie de rotura (**Lr**) se lo determinó en función del **Dr**.

Para la definición del tipo de deslizamiento se consideró los criterios de Suarez Días Jaime (2009) y Gonzales de Vallejo Luis I (2002).



**Figura 27.** Criterios para los deslizamientos en coluviones.

**Fuente:** Modificado por el autor según Suarez Días Jaime, 2009 & Gonzales de Vallejo Luis.

Muchos de los deslizamientos que involucran coluviales pueden tener la rotura a través del propio coluvial y se genera un deslizamiento rotacional. En a) y c) se evidencia los deslizamientos rotacionales; y en b) y d) los traslacionales. Ver **Figura 27**.

Las fichas del inventario y las ilustraciones de cada uno de los deslizamientos se muestran en el **Anexo 2**.

**Tabla 25.** Ubicación y caracterización de los deslizamientos

Cod	Coordenadas			Dir. Mov	Pend (°)	Tipo	Estado	Área (ha)	(%)	Perímetro (km)	Vol (m³)	Dr (m)	Lr (m)	H (m)	Viv. Afectadas
	X	Y	Z												
D-G-01	695997	9598325	2541	N 73° E	8°	Rotacional	Activo	23.31	75.36	2.10	9624009.46	41.20	617.00	91.00	21
D-G-02	695889	9598152	2546	N 15° E	31°	Rotacional	Suspendido	1.02	3.30	0.47	90175.21	9.00	61.00	20.00	1
D-G-03	695876	9598431	2542	N 30° W	36°	Rotacional	Activo	0.41	1.33	0.33	43779.35	10.00	35.00	24.00	6
D-G-04	695758	9598583	2530	S 55° E	10°	Rotacional	Activo	1.32	4.27	0.54	80316.08	6.00	88.00	18.00	3
D-G-05	696000	9598774	2512	S 80° E	22°	Rotacional	Activo	0.94	3.04	0.37	115593.98	12.10	55.80	30.00	0
D-G-06	696257	9598896	2492	S 35° E	32°	Rotacional	Activo	2.09	6.76	0.56	244420.73	12.00	67.00	32.00	0
D-G-07	696398	9598156	2504	S 60° E	9°	Rotacional	Activo	1.84	5.95	1.01	447226.18	14.00	60.70	10.00	6
<b>TOTAL</b>								<b>30.93</b>	<b>100</b>	<b>5.37</b>	<b>10645520.98</b>				<b>37</b>

**Fuente:** El autor, 2016.

Es preciso aclarar que los datos expuestos en la tabla anterior corresponden a las mediciones y observaciones in situ; y otros fueron obtenidos mediante cálculos. Para determinar datos exactos es necesario realizar un análisis de estabilidad más detallado que involucre ensayos directos o indirectos para cada uno de los deslizamientos.

### 6.2.7.1 Deslizamiento D-G-01

Es un deslizamiento rotacional activo con dirección del movimiento de N 73° E y una pendiente de 8°.

Abarca un área de 23.31 ha e involucra un volumen de 9624009.46 m<sup>3</sup> en el que contiene 35% de rocas (bloques, cantos), 50% de detritus (grava, arenas, limos) y un 15% de suelo (materia orgánica).

Dentro de las causas del movimiento se le atribuye a los movimientos tectónicos, la litología con sus características y la precipitación.

En el cuerpo del deslizamiento de encuentran 21 viviendas, 0.265 km de la antigua panamericana (primer orden), 0.866 km las vías internas (tercer orden) del sector, dando un total de 1.13 km de vías afectadas.

Debido a su extensión es imposible mostrarlo en su sola imagen; por lo que se expone el mapa de sombra interpolado en ArcScene 10.2., de tal manera que se visualiza claramente la extensión, sus escarpes y las infraestructuras que afecta, etc.

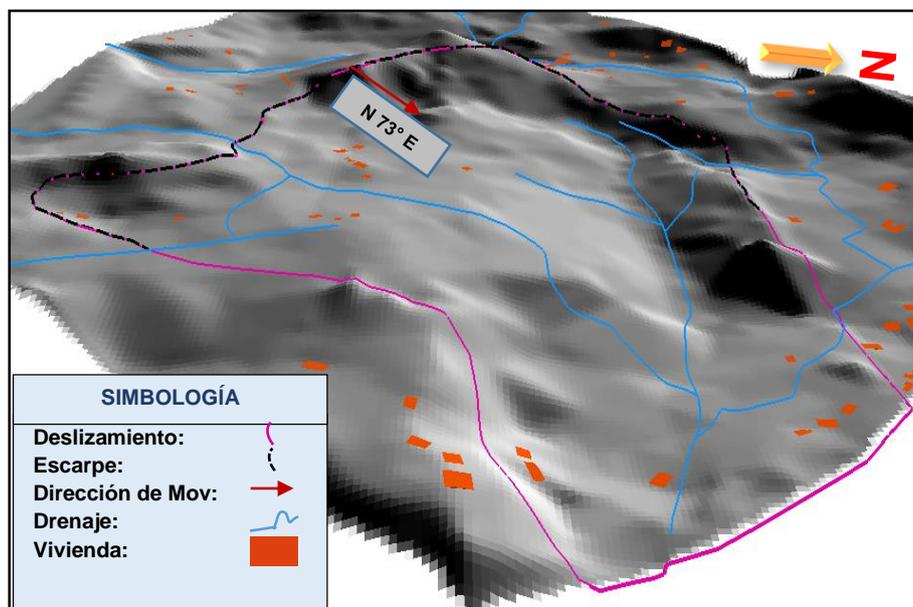


Figura 28. Deslizamiento D-G-01.

Fuente: El autor, 2016.

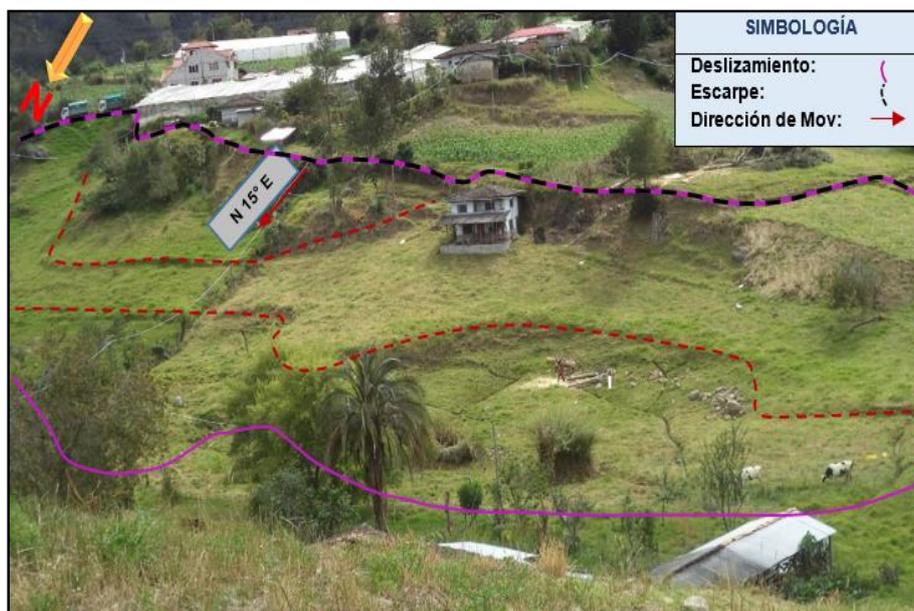
### 6.2.7.2 Deslizamiento D-G-02

Es un deslizamiento rotacional suspendido con una dirección de movimiento de N 15° E y una pendiente de 31°.

Abarca un área de 1.02 ha e involucra un volumen de 90175.21 m<sup>3</sup> y se determinó que contiene un 5% de rocas (bloques, cantos), 50% de detritus (grava, arenas, limos) y un 45% de suelo (materia orgánica).

Dentro de las causas del movimiento se le atribuye a los movimientos tectónicos, la litología con características, la precipitación y las actividades antrópicas (irrigación, mantenimiento deficiente de drenajes, cargas en la corona de ladera).

En el cuerpo del deslizamiento se encuentra 1 vivienda, 0.03 km de las vías internas (tercer orden) del sector.



Fotografía 19. Deslizamiento D-G-02.

Fuente: El autor, 2016.

### 6.2.7.3 Deslizamiento D-G-03

Es un deslizamiento rotacional activo con una dirección de movimiento de N 30° W y una pendiente de 36°.

Abarca un área de 0.41 ha e involucra un volumen de 43779.35 m<sup>3</sup> que contiene un 30% de rocas (bloques, cantos), 50% de detritus (grava, arenas, limos) y un 20% de suelo (materia orgánica).

Dentro de las causas del movimiento se le atribuye a los movimientos tectónicos, litología y sus características, la orientación desfavorable de estructuras, la precipitación y las actividades antrópicas (excavación en el pie del talud).

El deslizamiento afecta de forma directa a la escuela, casa comunal, capilla, ex-infa y 3 viviendas particulares; además, compromete a 0.03 km de las vías internas (tercer orden) del sector.



**Fotografía 20.** Deslizamiento D-G-03.

**Fuente:** El autor, 2016.

#### 6.2.7.4 Deslizamiento D-G-04

Es un deslizamiento rotacional activo con una dirección de movimiento de S 55° E y una pendiente de 10°.

Abarca un área de 1.32 ha e involucra un volumen de 80316.08 m<sup>3</sup> en el que contiene un 10% de rocas (bloques, cantos), 70% de detritus (grava, arenas, limos) y un 20% de suelo (materia orgánica).

Dentro de las causas del movimiento se le atribuye a los movimientos tectónicos, litología con sus características, la precipitación y las actividades antrópicas (irrigación, mantenimiento deficiente de drenajes, cargas en la corona de ladera, excavación en el pie del talud).

En el cuerpo del deslizamiento se encuentran 3 viviendas; además, compromete a 0.252 km de las vías internas (tercer orden) del sector.



**Fotografía 21.** Deslizamiento D-G-04.

**Fuente:** El autor, 2016.

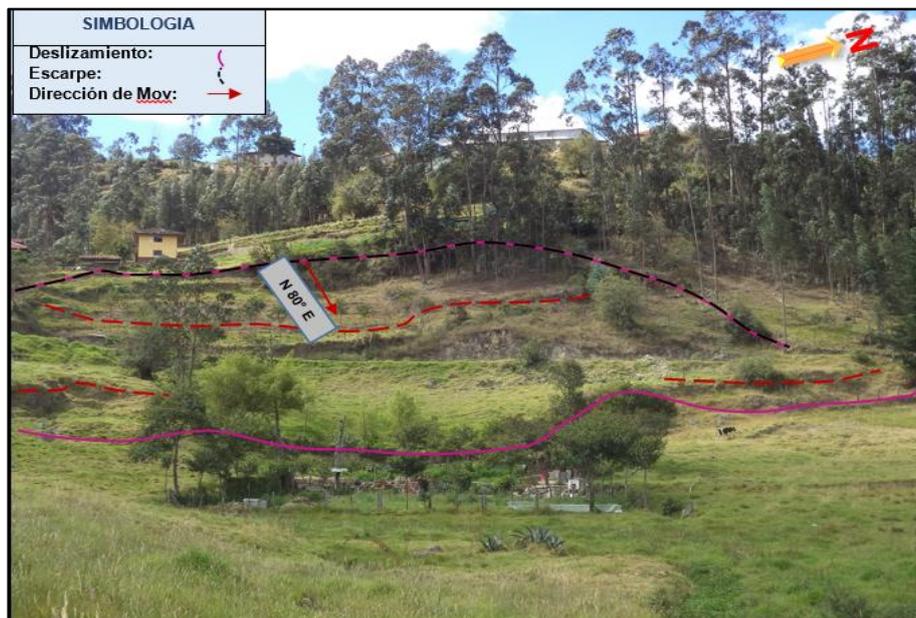
### 6.2.7.5 Deslizamiento D-G-05

Es un deslizamiento rotacional activo con una dirección de movimiento de  $S 80^{\circ} W$  y una pendiente de  $22^{\circ}$ .

Abarca un área de 0.94 ha e involucra un volumen de  $115593.98 \text{ m}^3$  con un 40% de rocas (bloques, cantos), 50% de detritus (grava, arenas, limos) y un 10% de suelo (materia orgánica).

Dentro de las causas del movimiento se le atribuye a los movimientos tectónicos, litología y sus características, la orientación desfavorable de estructuras (estrato de limolita), la precipitación y las actividades antrópicas (irrigación, mantenimiento deficiente de drenajes, cargas en la corona de ladera, excavación en el pie del talud).

El deslizamiento compromete a 0.118 km de las vías internas (tercer orden) del sector.



Fotografía 22. Deslizamiento D-G-05.

Fuente: El autor, 2016.

### 6.2.7.6 Deslizamiento D-G-06

En el fecha de caracterización solo se evidencia la rotura o agrietamiento del suelo con aberturas que van desde los 0.10 m hasta los 0.30 m. Como elementos que justifiquen y definen el polígono de un deslizamiento futuro están la pendiente y su dirección; el agrietamiento del suelo; la presencia y relación de escarpes de deslizamientos más pequeños; y la geología predominante (coluvión).

Luego del análisis in situ y procesado la información, se puede catalogar como un deslizamiento rotacional activo con una dirección de movimiento de S 35° E y una pendiente de 28°. Abarca un área de 2.09 ha e involucra un volumen de 244420.73 m<sup>3</sup> con un 40% de rocas (bloques, cantos), 50% de detritus (grava, arenas, limos) y un 10% de suelo (materia orgánica).

Dentro de las causas del movimiento se le atribuye a los movimientos tectónicos, litología con sus características, la orientación desfavorable de estructuras, la precipitación y las actividades antrópicas (irrigación, mantenimiento deficiente de drenajes, cargas en la corona de ladera, excavación en el pie del talud).

El deslizamiento compromete a 0.145 km de las vías internas (tercer orden) y 0.120 km de la antigua panamericana. Además, en el cuerpo del deslizamiento se encuentran una escuela, una capilla y 4 viviendas particulares.



Fotografía 23. Deslizamiento D-G-06.

Fuente: El autor, 2016.

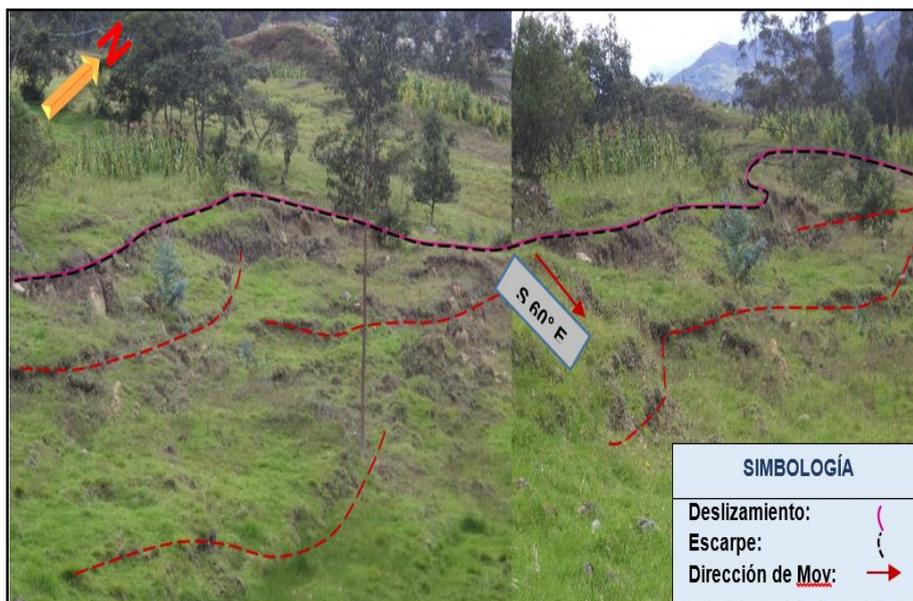
### 6.2.7.7 Deslizamiento D-G-07

Es un deslizamiento rotacional activo con una dirección de movimiento de S 60° E y una pendiente de 9°.

Abarca un área de 1.84 ha e involucra un volumen de 447226.18 m<sup>3</sup> con un 30% de rocas (bloques, cantos), 40% de detritus (grava, arenas, limos) y un 30% de suelo (materia orgánica).

Dentro de las causas del movimiento se le atribuye a los movimientos tectónicos, litología con sus características, la precipitación, la socavación por el río Sinicapac y las actividades antrópicas (irrigación, mantenimiento deficiente de drenajes).

La zona de depósito del material desplazado es el río. No tiene implicaciones en viviendas o vías.



**Fotografía 24.** Deslizamiento D-G-07.

**Fuente:** El autor, 2016.

El mapa de inventario de deslizamientos a escala 1:4000 se expone en el **Anexo 13**.

## 6.2.8 Campaña geotécnica

### 6.2.8.1 Métodos indirectos (SEV)

En cumplimiento a las condicionantes especificadas en el apartado de *metodología* se realizó 5 sondeos eléctricos verticales (SEV). Cada uno de los sondeos están distribuidos en sectores estratégicos con la finalidad de realizar una correlación entre ellos para obtener un corte geoeléctrico integro.

En la fase de interpretación se hizo uso del software IPI2WIN con la finalidad de obtener las gráficas de resistividades aparentes, sus potencias y su profundidad total.

En la **Tabla 26** se exponen los rangos de resistividades considerados para la interpretación de cada uno de los SEV's.

**Tabla 26.** Resistividad de los geomateriales.

Naturaleza del material	Resistividad ( $\Omega.m$ )
Basamento Roca sana con diaclasas espaciadas	10000
Basamento Roca fracturada	1500-5000
Basamento Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000
Basamento Roca fracturada saturada con agua salada	1-100
Gruss no saturado	500-1000
Gruss saturado	40-60
Saprolito no saturado	200-500
Saprolito saturado	40-100
Gravas no saturadas	500-2000
Gravas saturadas	300-500
Arenas no saturadas	400-700
Arenas saturadas	100-200
Limos no saturados	100-200
Limos saturados	20-100
Limos saturados con agua salada	5-15
Arcillas no saturadas	20-40
Arcillas saturadas	5-20
Arcillas saturadas con agua salada	1-10
Andosoles secos	1000-2000
Andosoles no saturados	300-1000
Andosoles saturados	100-300

**Fuente:** Universidad Nacional de Colombia, 2000.

En la **Tabla 27** se expone las coordenadas de cada sondeo, así como la abertura máxima (AB) y la profundidad alcanzada de cada uno de ellas.

Tabla 27. Ubicación geográfica de los SEV's.

COD	Coordenadas			AB/2 (m)	Prof. (m)	Dirección
	X	Y	Z			
SEV 1	695895	9598606	2510	31.60	7.90	N 60° W
SEV 2	695859	9598283	2528	31.60	11.60	N 80° W
SEV 3	696197	9598109	2527	31.60	11.60	N 30° W
SEV 4	696392	9598310	2501	31.60	11.60	N 45° W
SEV 5	696517	9598507	2452	14.70	3.67	N 50° W

Fuente: El autor, 2016.

En la Figura 29 se expone la disposición espacial de los SEV's.

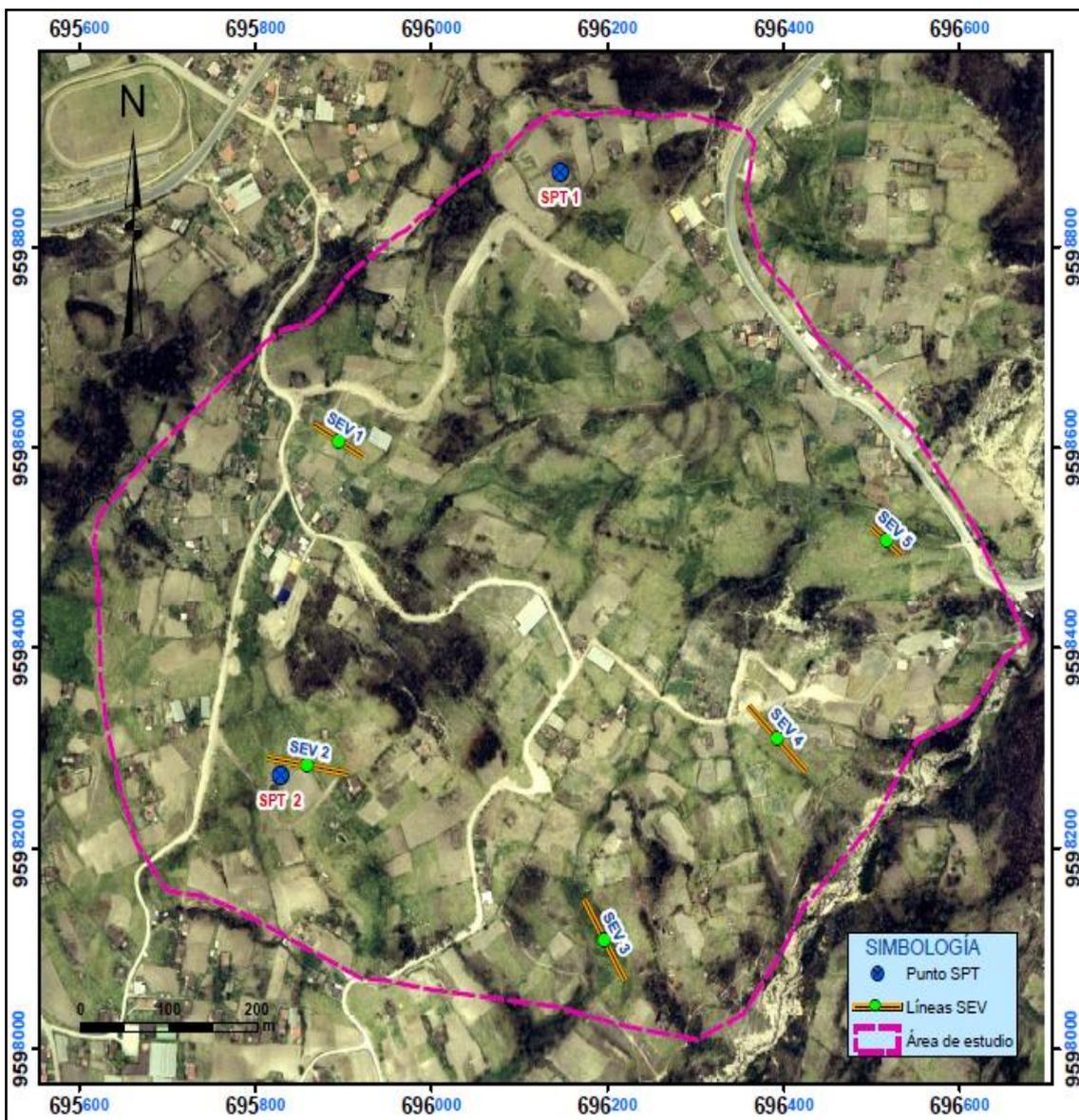


Figura 29. Ubicación geográfica de los SEV's.

Fuente: El autor, 2016.

Es necesario especificar que las resistividades obtenidas en los 5 SEV's son relativamente bajas por las siguientes razones:

- Condiciones climáticas imperantes (precipitación excesiva) en el momento de la realización de los SEV's.
- Materiales poco o nada cohesivos presentes en las zonas de deslizamientos.
- Presencia de drenajes artificiales muy densos y de forma caótica que inciden en las lecturas de resistividades.

A través del programa IPI2Win se obtuvo gráficas en la que se expone tres curvas; donde la curva negra es la obtenida en el campo, la azul es la curva de resistividades verdaderas y la roja la curva de resistividad aparente de Schlumberger.

El error obtenido no fue corregido en ninguno de los 5 SEV's realizados y están dentro de los rangos admisibles; es decir, los de 15.9% y 7.01% que son los más altos, no tienen incidencia significativa por tratarse de 2 capas solamente.

Se detalla los datos de cada uno de los sondeos, las curvas de resistividad (IPI2WIN), los perfiles geoelectricos y su interpretación individual.

Para terminar con la interpretación se exponen la correlación de los 5 sondeos y la obtención del corte geoelectrico final.

SEV 1

- **Descripción general y resistividades obtenidas**

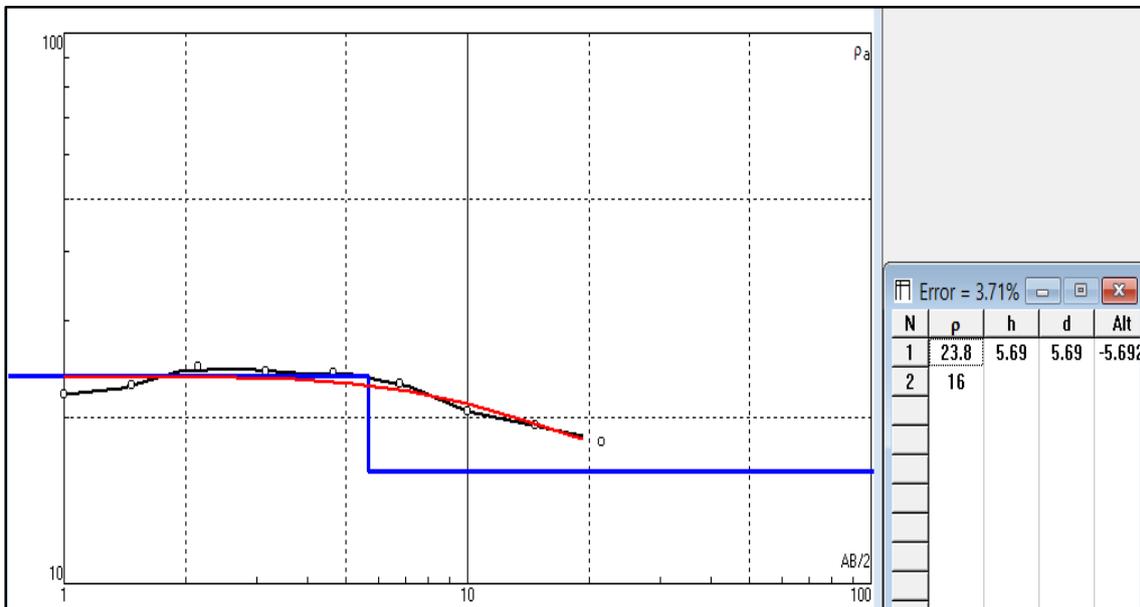
Esta línea se realizó al noroeste del sector de estudio en las coordenadas X=695895, Y=9598606, Z=2510. Tiene una dirección de N 60° W, una abertura máxima AB/2 de 31.60 y una profundidad estimada de 7.90 m. Ver **Tabla 28**.

**Tabla 28.** Datos obtenidos en el campo para el SEV 1.

Estación punto	AB/2 (m)	MN (m)	K (m)	Resistividad ( $\Omega.m$ )
1	1.00	0.20	7.54	22.04
2	1.47	0.20	16.66	22.88
3	2.15	0.20	35.99	24.77
4	3.16	0.20	78.11	24.25
5	4.64	0.20	168.78	24.18
6	6.81	0.20	363.92	23.08
7	10.00	0.50	313.37	20.58
8	14.70	2.00	166.58	19.38
9	21.50	2.00	359.91	18.11
10	31.60	2.00	781.13	0.00

Fuente: El autor, 2016.

- **Obtención de curvas de resistividad**



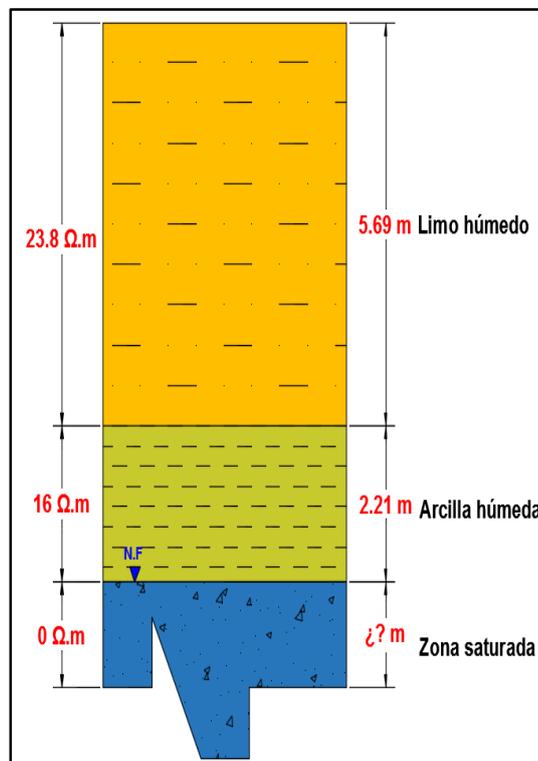
**Figura 30.** Curvas de resistividades y error admisible del SEV 1.

Fuente: El autor, 2016.

- **Análisis del perfil geoelectrico**

En función de la **Figura 30** se determina que existen dos capas. La primera capa corresponde a limo húmedo con una resistividad de  $23.8 \Omega.m$  y potencia total de 5.69 m; la segunda capa corresponde a una arcilla húmeda con una resistividad de  $16 \Omega.m$  y potencia de 2.21 m.

A mayor profundidad se evidencia una resistividad igual a  $0 \Omega.m$  ubicando de esta manera el nivel freático o zona saturada al 100%. La potencia de esta zona es indefinida.



**Figura 31.** Perfil geoelectrico del SEV 1.

Fuente: El autor, 2016.

## SEV 2

- Descripción general y resistividades obtenidas

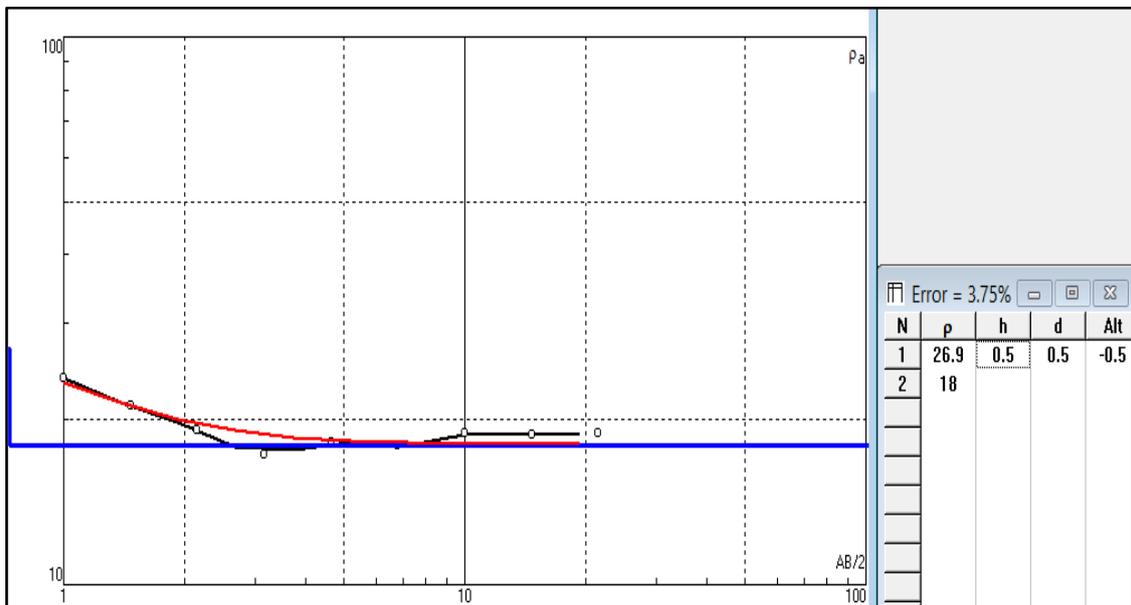
Esta línea se realizó al suroeste del sector de estudio en las coordenadas X=69585, Y=9598283, Z=2528. Tiene una dirección de N 80° W, una abertura máxima AB/2 de 31.60 y una profundidad estimada de 7.90 m. Ver **Tabla 29**.

**Tabla 29.** Datos obtenidos en el campo para el SEV 2.

Estación punto	AB/2 (m)	MN (m)	K (m)	Resistividad ( $\Omega$ .m)
1	1.00	0.20	7.54	23.87
2	1.47	0.20	16.66	21.22
3	2.15	0.20	35.99	19.15
4	3.16	0.20	78.11	17.31
5	4.64	0.50	86.85	18.24
6	6.81	0.50	144.91	17.92
7	10.00	0.50	313.37	18.85
8	14.70	2.00	166.58	18.77
9	21.50	2.00	359.91	18.93
10	31.60	2.00	781.13	0.00

Fuente: El autor, 2016.

- Obtención de curvas de resistividad



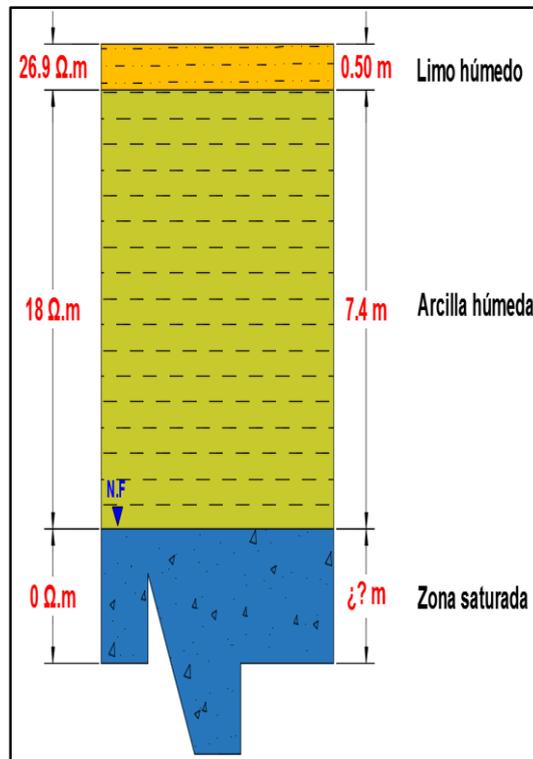
**Figura 32.** Curvas de resistividades y error admisible del SEV 2.

Fuente: El autor, 2016.

- **Análisis del perfil geoelectrico**

En función de la **Figura 32** se determina que existen dos capas; la primera corresponde a un limo húmedo con una resistividad de  $26.9 \Omega.m$  y una potencia de  $0.50 m$ ; la segunda capa corresponde a una arcilla húmeda con una resistividad de  $18 \Omega.m$  y potencia de  $7.4 m$ .

Sobrepasado los  $7.4 m$  es evidenciable una resistividad  $0 \Omega.m$  en la que está ubicando el nivel freático o zona saturada al  $100\%$ . Esta zona tiene una potencia desconocida.



**Figura 33.** Perfil geoelectrico del SEV 2.  
Fuente: El autor, 2016.

## SEV 3

- Descripción general y resistividades obtenidas

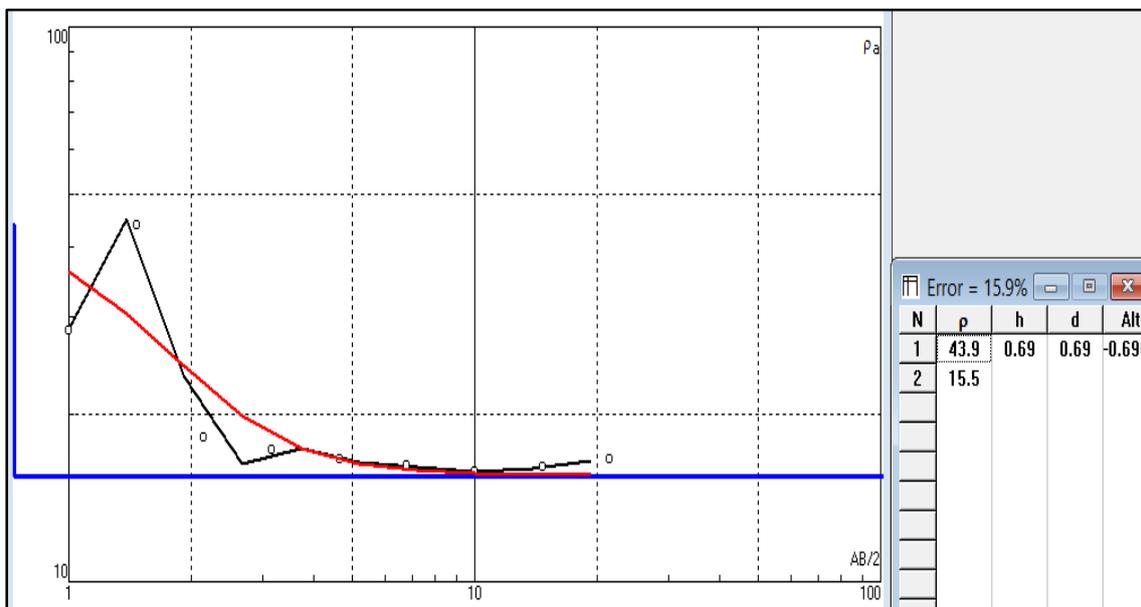
Esta línea se realizó al noroeste del sector de estudio en las coordenadas  $X=696197$ ,  $Y=9598109$ ,  $Z=2527$ . Tiene una dirección de  $N 30^\circ W$ , una abertura máxima  $AB/2$  de 31.60 m y una profundidad estimada de 7.90 m. Ver **Tabla 30**.

**Tabla 30.** Datos obtenidos en el campo para el SEV 3.

Estación punto	AB/2 (m)	MN (m)	K (m)	Resistividad ( $\Omega.m$ )
1	1.00	0.20	7.54	28.40
2	1.47	0.20	16.66	44.01
3	2.15	0.20	35.99	18.20
4	3.16	0.20	78.11	17.32
5	4.64	0.50	86.85	16.61
6	6.81	0.50	144.91	16.17
7	10.00	0.50	313.37	15.74
8	14.70	2.00	166.58	16.10
9	21.50	2.00	359.91	16.65
10	31.60	2.00	781.13	0.00

Fuente: El autor, 2016.

- Obtención de curvas de resistividad



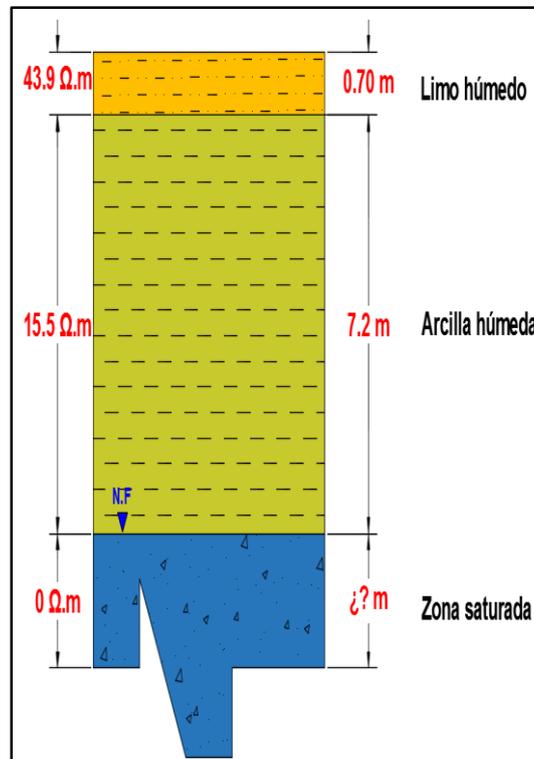
**Figura 34.** Curvas de resistividad y error admisible del SEV 3.

Fuente: El autor, 2016.

- **Análisis del perfil geoelectrico**

En función de la **Figura 34** se determina que existen dos capas. La primera capa corresponde a un limo húmedo con una potencia aproximada de 0.70 m y una resistividad de 43.9  $\Omega$ .m; y la última capa se encuentran arcillas húmedas con potencia de 7.20 m y una resistividad de 15.5  $\Omega$ .m.

Sobrepasado esta profundidad se evidencia valores de resistividad de 0  $\Omega$ .m ubicando de esta manera el nivel freático o zona saturada al 100%. Esta potencia se encuentra indefinida.



**Figura 35.** Perfil geoelectrico del SEV 3.  
Fuente: El autor, 2016.

## SEV 4

- Descripción general y resistividades obtenidas

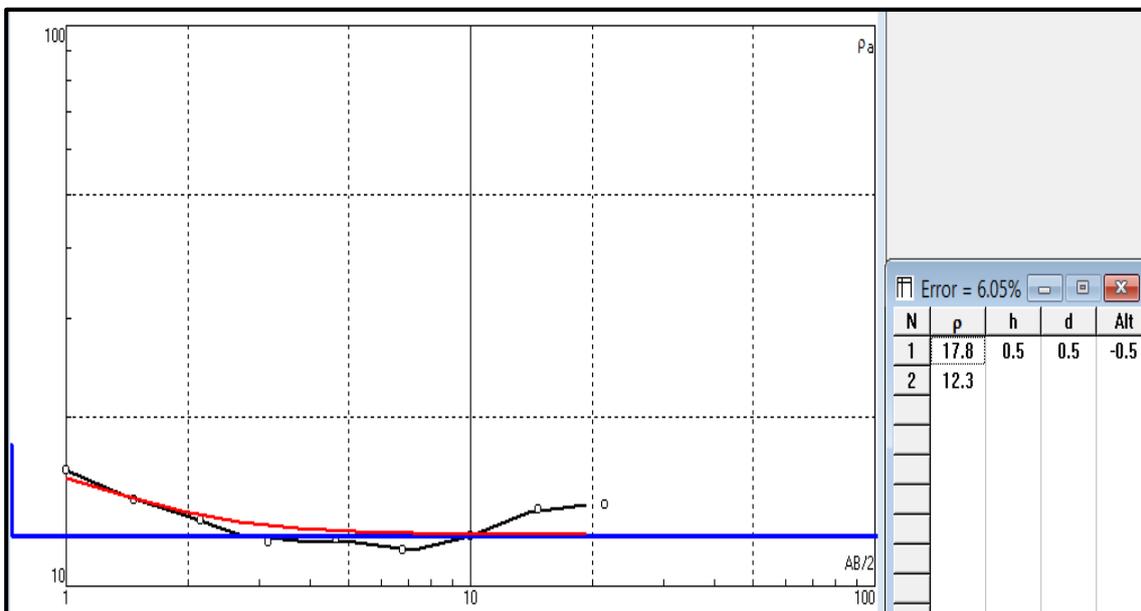
Esta línea se realizó al noroeste del sector de estudio en las coordenadas X=696392, Y=9598310, Z=2501. Tiene una dirección de N 45° W, una abertura máxima AB/2 de 31.60 m y una profundidad estimada de 7.90 m. Ver **Tabla 31**.

**Tabla 31** . Datos obtenidos en el campo para el SEV 4.

Estación punto	AB/2 (m)	MN (m)	K (m)	Resistividad ( $\Omega.m$ )
1	1.00	0.20	7.54	16.05
2	1.47	0.20	16.66	14.28
3	2.15	0.20	35.99	13.07
4	3.16	0.20	78.11	12.00
5	4.64	0.50	86.85	12.14
6	6.81	0.50	144.91	11.62
7	10.00	0.50	313.37	12.26
8	14.70	2.00	166.58	13.70
9	21.50	2.00	359.91	13.93
10	31.60	2.00	781.13	0.00

Fuente: El autor, 2016.

- Obtención de curvas de resistividad



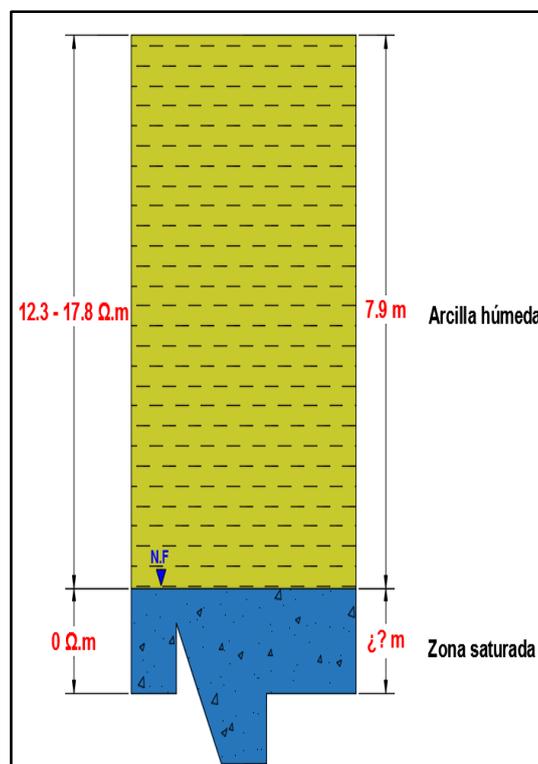
**Figura 36.** Curvas de resistividad y error admisible del SEV 4.

Fuente: El autor, 2016.

- **Análisis del perfil geoelectrico**

En función de la **Figura 36** se determina que existen dos capas con resistividades dentro del rango de las arcillas húmedas por lo que se decidió integrar y obtener una sola capa de 7.90 m de potencia y una resistividad de 12.3 a 17.8  $\Omega$ .m.

Sobrepasado la profundidad de los 7.90 m se tiene lecturas de 0  $\Omega$ .m relacionado con zonas saturadas al 100% o el nivel freático con una potencia indefinida.



**Figura 37.** Perfil geoelectrico del SEV 4.  
**Fuente:** El autor, 2016.

## SEV 5

- Descripción general y resistividades obtenidas

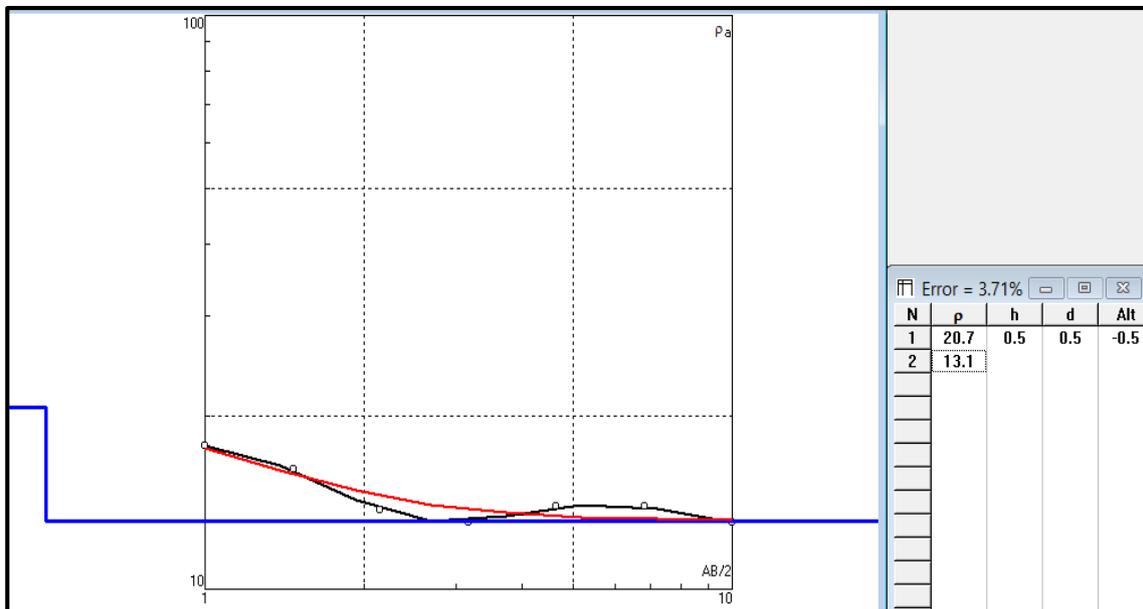
Esta línea se realizó al noroeste del sector de estudio en las coordenadas X=696517, Y=9598507, Z=2452. Tiene una dirección de N 50° W, una abertura máxima AB/2 de 14.70 m y una profundidad estimada de 3.67 m. Ver **Tabla 32**.

**Tabla 32.** Datos obtenidos en el campo para el SEV 5.

Estación punto	AB/2 (m)	MN (m)	K (m)	Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )
1	1.00	0.20	7.54	17.76
2	1.47	0.20	16.66	16.15
3	2.15	0.20	35.99	13.72
4	3.16	0.20	78.11	13.10
5	4.64	0.50	86.85	13.92
6	6.81	0.50	144.91	13.32
7	10.00	0.50	313.37	13.09
8	14.70	2.00	166.58	0.00

Fuente: El autor, 2016.

- Obtención de curvas de resistividad



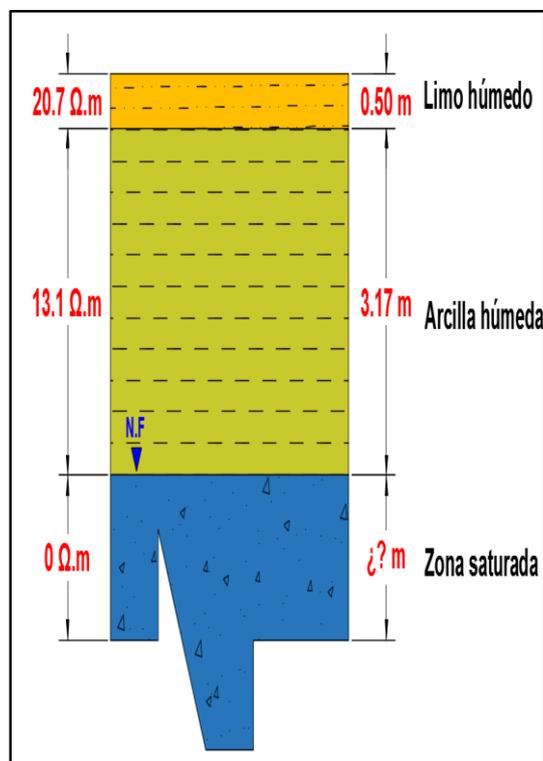
**Figura 38.** Curvas de resistividad y error admisible del SEV 5.

Fuente: El autor, 2016.

- **Análisis del perfil geoelectrico**

La **Figura 38** determina que existen dos capas. La primera capa corresponde a limo húmedo con 0.50 m de potencia y una resistividad de 20.7  $\Omega$ .m; la segunda capa corresponde a una arcilla saturada de 3.17 m de potencia y una resistividad de 13.1  $\Omega$ .m.

Sobrepasado la profundidad de los 3.67 m se tiene lecturas de 0  $\Omega$ .m relacionado con zonas saturadas al 100% o el nivel freático con una potencia indefinida.



**Figura 39.** Perfil geoelectrico del SEV 5.

Fuente: El autor, 2016.

## CORTES GEOELÉCTRICOS

De los resultados obtenidos con los 5 SEV's se correlacionó con la geología local previamente establecida.

Para la correlación se consideró un mínimo de 2 SEV's y fueron cuidadosamente seleccionadas.

De los 2 cortes geoelectricos obtenidos se evidencia una disposición de geomateriales que van desde los limos (secos/húmedos) en las primeras capas a arcillas saturadas en capas posteriores.

Es preciso aclarar que no se evidencia el basamento (toba riolítica) del corte geológico debido a que la profundidad alcanzada con los SEV's es insuficiente (máximo 7.90 m); pero se ha comprobado la presencia de la matriz cementante (limos) del coluvión de toba riolítica.

Se expone la descripción de cada uno de los cortes geoelectricos:

- **Corte 1**

Se interpoló los SEV's 1 (N 60° W), 2 (N 80° W) y 3 (N 30° W) todas de manera paralela en las que se evidencia la secuencia de limo y arcilla húmedo para terminar con la zona saturada con una potencia indefinida.

- **Corte 2**

Este corte geoelectrico se lo realizo en base a la interpolación de los SEV's 4 (N 45° W) y 5 (N 50° W) de manera paralela en las que se evidencia secuencia de limo y arcilla húmedo para terminar con la zona saturada con una potencia indefinida.

Las **Figuras 40 y 41** exponen lo descrito.

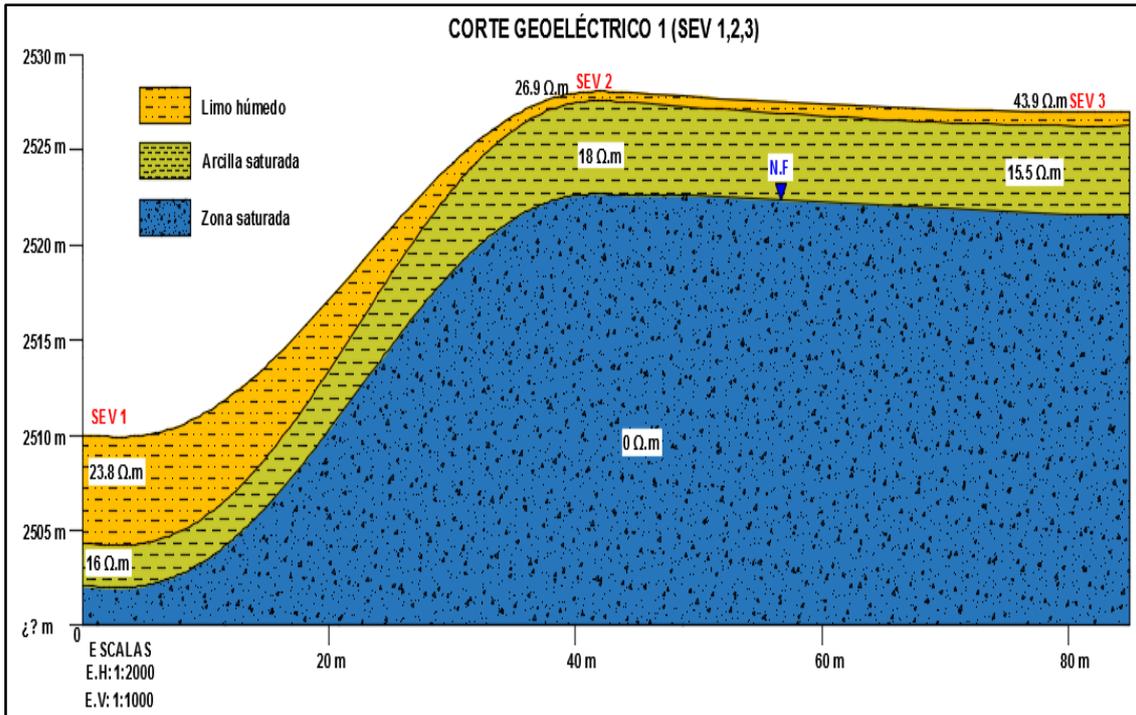


Figura 40. Corte geoelectrico 1 (SEV 1, 2 y 3).  
Fuente: El autor, 2016.

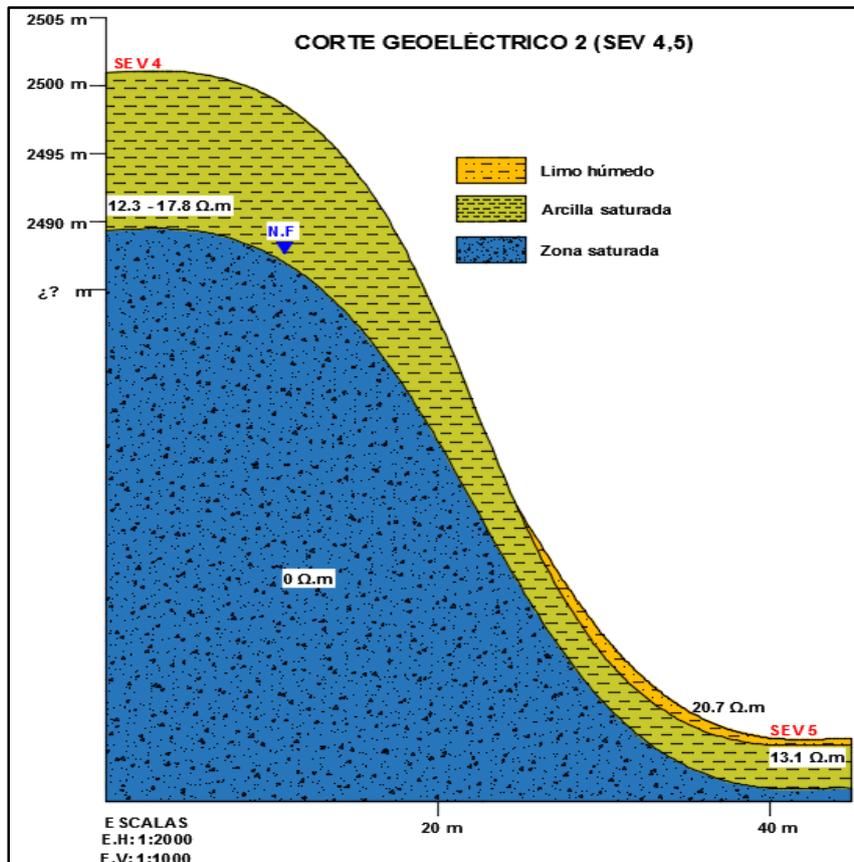


Figura 41. Corte geoelectrico 2 (SEV 4 y 5).  
Fuente: El autor, 2016.

### 6.2.8.2 Métodos Directos (SPT)

Desarrollado bajo normativa ASTM D1586 y en cumplimiento a las condicionantes especificadas en el apartado de *metodología* se realizó 2 ensayos de penetración estándar (SPT).

Cada uno de los ensayos fueron ubicados en sectores estratégicos con la finalidad de realizar una correlación e interpretación final integra.

La **Tabla 33** expone la ubicación geográfica de los dos ensayos, la profundidad alcanzada de los mismos, litología asumida y la formación geológica.

La **Figura 29** expone la ubicación y su relación con los SEV´s.

**Tabla 33.** Ubicación geográfica de los SPT´s.

Punto SPT	Ubicación geográfica			Profundidad alcanzada (m)	Litología asumida	Formación geológica
	X	Y	Z			
1	696146	9598874	2494	6	Toba riolítica	Fm. Saraguro
2	695829	9598271	2530	6	Limos y arcillas	Depósitos superficiales

Fuente: El autor, 2016.

Los ensayos de campo y laboratorio (análisis de muestras) fueron realizados por el laboratorio de mecánica de suelos ESTSUELCON CIA. LTDA. De los resultados otorgados (**Anexo 19**) se hizo uso para el cálculo de otros parámetros geotécnicos.

Se exponen los perfiles estratigráficos (**Figuras 42 y 43**) y los datos de las **Tablas 34 y 35** en donde el análisis se los realiza cada 2 m por tratarse del mismo tipo de suelo.

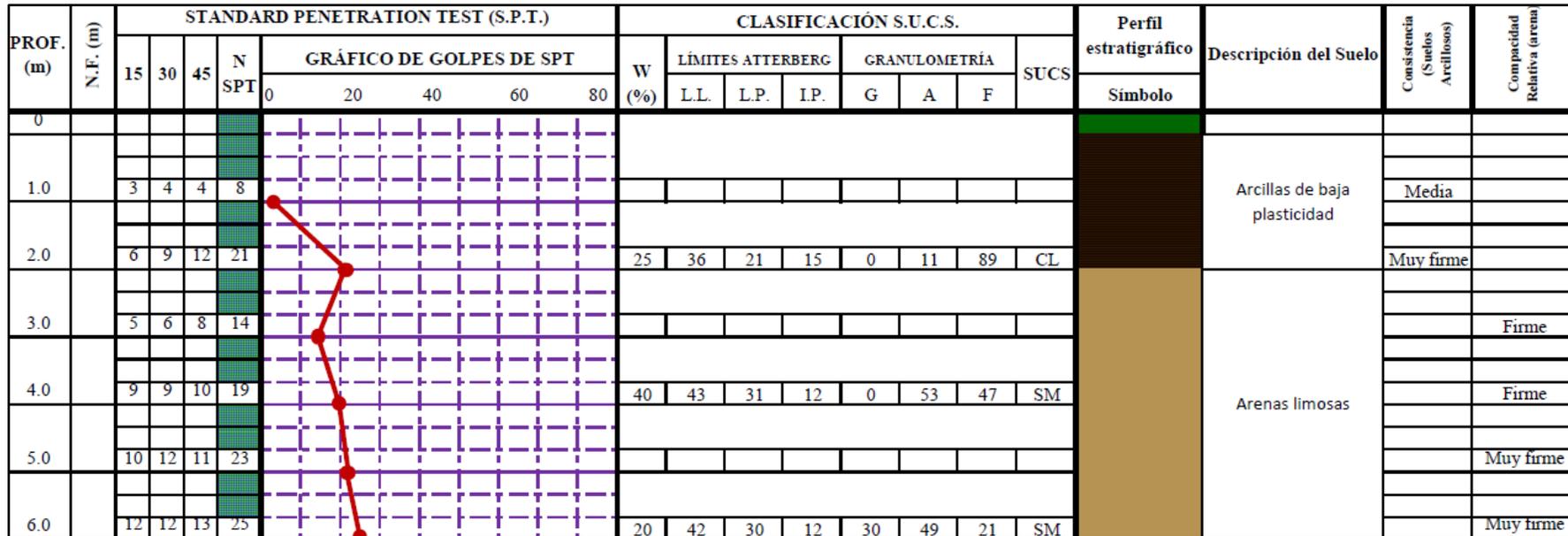


Figura 42. Perfil estratigráfico del SPT 1.  
Fuente: ESTSUELCON CIA.LTDA, 2016.

Tabla 34. Datos del SPT 1.

Prof. (m)	Límites Atterberg				Granulometría			Clasificación		Golpes N			NSPT	Qu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Qu-neta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Qa-neta (Kg/cm <sup>2</sup> )	c' (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ø(°)	Υ(T/m <sup>3</sup> )	Υ <sup>*H</sup> (T/m <sup>2</sup> )
	C.H	L.L.	L.P.	I.P.	G	S	C	SUCS	AASHTO	15 cm	30 cm	45 cm								
	%	%	%	%	%	%	%													
1										3	4	4	8	1.07	2.75	0.92	0.53	34	1.65	1.65
2	25	36	21	15	0	11	89	CL	A-6	6	9	12	21	2.41	6.18	2.06	1.20	31	1.65	3.30
3										5	6	8	14		3.93	1.31		33	1.65	4.95
4	40	43	31	12	0	53	47	SM	A-7-5	9	9	10	19		4.82	1.61		33	1.65	6.60
5										10	12	11	23		5.03	1.68		34	1.65	8.25
6	20	42	30	12	30	49	21	SM	A-2-7	12	12	13	25		5.58	1.86		28	1.65	9.90

Fuente: ESTSUELCON CIA.LTDA, 2016.

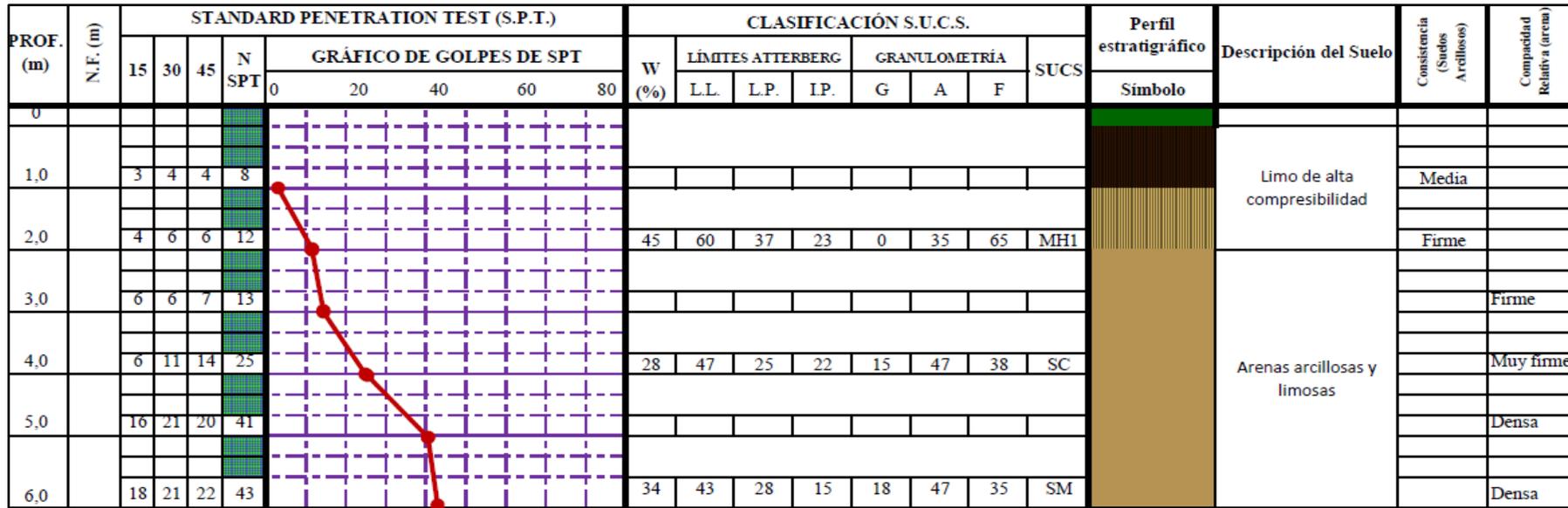


Figura 43. Perfil estratigráfico del SPT 2.  
Fuente: ESTSUELCON CIA.LTDA, 2016.

Tabla 35 . Datos del SPT 2.

Prof. (m)	Límites Atterberg				Granulometría			Clasificación		Golpes N				qu (Kg/cm <sup>2</sup> )	qu-neta (Kg/cm <sup>2</sup> )	qa-neta (Kg/cm <sup>2</sup> )	c' (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ø(°)	Υ(T/m <sup>3</sup> )	Υ*H (T/m <sup>2</sup> )
	C.H	L.L.	L.P.	I.P.	G	S	C	SUCS	AASHTO	15 cm	30 cm	45 cm	NSPT							
	%	%	%	%	%	%	%													
1	45	60	37	23	0	35	65	MH1	A-7-5	3	4	4	8	1.07	2.75	0.92	0.53	31	1.65	1.65
2	45	60	37	23	0	35	65	MH1	A-7-5	4	6	6	12	1.80	4.64	1.55	0.54	31	1.65	3.30
3	28	47	25	22	15	47	38	SC	A-7-6	6	6	7	13		3.8	1.27		34	1.65	4.95
4	28	47	25	22	15	47	38	SC	A-7-6	6	11	14	25		5.67	1.89		37	1.65	6.60
5	34	43	28	15	18	47	35	SM	A-2-7	16	21	20	41		7.41	2.47		38	1.65	8.25
6	34	43	28	15	18	47	35	SM	A-2-7	18	21	22	43		8.09	2.7		15	1.65	9.90

Fuente: ESTSUELCON CIA.LTDA, 2016.

Los datos obtenidos permitieron realizar correlaciones con tablas estandarizadas y cálculos tales como el comportamiento geotécnico de los suelos (arcillas), esfuerzos ( $T, T'; \mu$ ), cargas ( $q_a; q_u$ ), asentamientos ( $S$ ), permeabilidad ( $k$ ) y el factor de seguridad (F.S) con la finalidad de integrar la información en una interpretación geotécnica para determinar variables de cimentación adecuada en el sector de estudio.

## CORRELACIÓN DE RESULTADOS

- **Características de suelos y aptitud de uso**

Es necesario tener en consideración las características de los distintos suelos y sus aptitudes de uso en las diferentes obras civiles. La **Tabla 36** expone las mismas.

**Tabla 36.** Características y uso de los suelos.

Suelo	Cap. de carga	Permeabilidad	Riesgo asentamiento	Compactibilidad	Riesgo deslizamiento
CL	Baja	Impermeable	Medio	Media a mala	Medio a alto
SM	Alta a media	Semi permeable a impermeable	Bajo	Media	Bajo a medio
SM	Alta a media	Semi permeable a impermeable	Bajo	Media	Bajo a medio
MH1	Baja	Semi permeable a impermeable	Alto	Muy mala	Medio a alto
SC	Alta a media	Impermeable	Bajo	Buena a media	Bajo

**Fuente:** Modificado por el autor según Grupo SUCS.

## CÁLCULOS

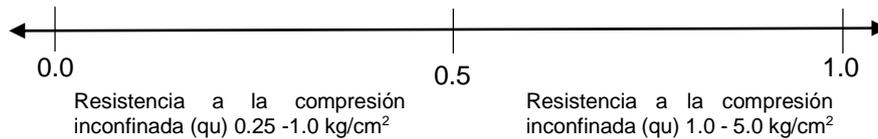
- **Comportamiento geotécnicos de los suelos (arcillas)**

Es meritorio aclarar que se realizó cálculos solo para materiales que presenten condiciones desfavorables para la construcción de obras civiles. En este caso, se analizó aquellos suelos que tengan el mayor porcentaje de material arcilloso; es decir; las arcillas de baja plasticidad (CH con 2 m de potencia) en el SPT 1, y los limos de alta compresibilidad (MH1 con 2 m de potencia) en el SPT 2.

- **Consistencia Relativa (CR)**

Permite determinar la firmeza y la solides del suelo.

$$CR = \frac{LL - Wn}{IP}$$



**Tabla 37.** Consistencia relativa.

Intervalos	Descripción del Suelo
0.00 - 0.25	Suelo muy blando
0.25 - 0.50	Suelo blando
0.50 - 0.75	Suelo consistencia media
0.75 - 1.00	Suelo consistencia rígida

Fuente: Gonzales de Vallejo Luis I, 2002.

**Tabla 38.** Resultado de la consistencia relativa (CR).

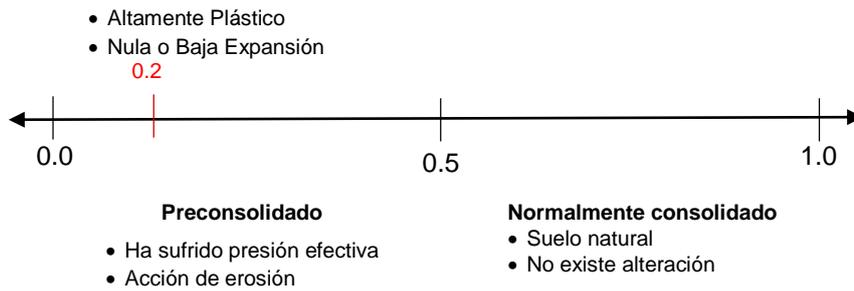
N° SPT	Cálculos	Interpretación
1	$CR = \frac{0.36 - 0.25}{0.15}$ <b>CR = 0.73</b>	Según la <b>Tabla 37</b> se determina que son suelos de consistencia media y tienen una resistencia a la compresión inconfiada ( $q_u$ ) de 1.0-5.0 kg/cm <sup>2</sup> .
2	$CR = \frac{0.60 - 0.45}{0.23}$ <b>CR = 0.65</b>	Según la <b>Tabla 37</b> se determina que son suelos de consistencia media y tienen una resistencia a la compresión inconfiada ( $q_u$ ) de 1.0-5.0 kg/cm <sup>2</sup> .

Fuente: El autor, 2016.

- **Índice de Liquidez (IL)**

Permite evaluar el comportamiento plástico de los depósitos (suelos) y obtener una idea de la historia de esfuerzos a la que están sometidos.

$$IL = \frac{Wn - LP}{IP}$$



**Tabla 39.** Comportamiento de los suelos en función del IL.

IL	Comportamiento de suelos
0.0-1.0	Plástico (Arcillas expansivas)
>1.0	Sensibles (en estado natural son estables, pero con cargas colapsan)

Fuente: Michael Valarezo, 2015.

**Tabla 40.** Resultado del índice de liquidez (IL).

N° SPT	Cálculos	Interpretación
1	$IL = \frac{0.25 - 0.21}{0.15}$ $IL = 0.27$	<p>Se determina que son suelos preconsolidados. Ha sufrido presiones efectivas (T') y tiene rasgos de efectos de erosión.</p> <p>Se trata de arcillas plásticas y expansivas. Al tratarse de arcillas preconsolidadas o sobreconsolidadas el valor de su cohesión será mayor a cero (c' &gt;0).</p>
2	$IL = \frac{0.45 - 0.37}{0.23}$ $IL = 0.35$	<p>Se determina que son suelos preconsolidados. Ha sufrido presiones efectivas (T') y tiene rasgos de efectos de erosión.</p> <p>Se trata de arcillas plásticas y expansivas. Al tratarse de arcillas preconsolidadas o sobreconsolidadas el valor de su cohesión será mayor a cero (c' &gt;0).</p>

Fuente: El autor, 2016.

• **Comportamiento de arcillas (A)**

Es un valor adimensional que permite determinar el comportamiento, actividad, potencial de cambio de volumen y el tipo de arcillas.

$$A = \frac{IP}{\text{Fracción de arcillas (\% < 2mm)}}$$

**Tabla 41.** Clasificación de las arcillas según su comportamiento “A”.

Actividad	Clasificación	Tipo de arcilla	Potencial cambio de volumen
<0.75	Inactiva	Caolinita	Bajo
0.75 - 1.25	Normal	Ilita	Medio
>1.25	Activa	Montmorillonita	Alto

Fuente: Skempton, 1956.

Tipo de Arcilla	Valor del Parámetro A de Skempton
Altamente sensitiva	0.75 a 1.5
Normalmente consolidada	0.5 a 1.0
Arcilla arenosa compactada	0.25 a 0.75
Arcilla ligeramente sobreconsolidada	0.0 a 0.5
Arcillas gravosas compactadas	- 0.25 a +0.25
Arcillas muy sobreconsolidadas	-0.5 a 0.0

**Figura 44.** Valores típicos del comportamiento “A”.

Fuente: Suarez Días Jaime, 2009.

**Tabla 42.** Resultados del comportamiento “A”.

N° SPT	Cálculos	Interpretación
1	$A = \frac{0.15}{0.89}$ $A = 0.17$	<p>Según la <b>Tabla 41</b> se determina que son suelos inactivos. Según Skempton (1956), estos suelos están dentro del grupo de la caolinita con un bajo potencial de cambio de volumen.</p> <p>En función de la relación de la <b>Figura 44</b> se establece que este tipo de suelo está ligeramente sobreconsolidados; es decir, el parámetro A está entre 0 y 0.5.</p>
2	$A = \frac{0.23}{0.65}$ $A = 0.35$	<p>Según la <b>Tabla 41</b> se determina que son suelos inactivos. Según Skempton (1956), estos suelos están dentro del grupo de la caolinita con un bajo potencial de cambio de volumen.</p> <p>En función de la relación de la <b>Figura 44</b> se establece que este tipo de suelo está ligeramente sobreconsolidados; es decir, el parámetro A está entre 0 y 0.5.</p>

Fuente: El autor, 2016.

**Tabla 43.** Criterios para determinar cambio de volumen.

Cambios de volumen de las arcillas ( $\Delta v$ )	Límites de contracción (LC)	IP
Bajo	>12	0-15
Moderado	10-12	15-30
Alto	0-10	>30

Fuente: Holtz & Gibbs, 1956.

**Tabla 44.** Criterios para determinar el potencial expansivo.

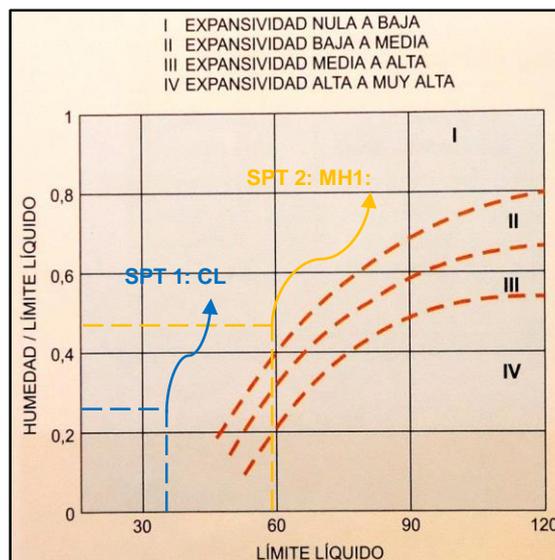
Potencial expansivo	Potencial (%)	LL (%)	IP (%)
Bajo	< 0.5	< 50	< 25
Moderado	0.5-1.5	50-60	25-35
Alto	$\geq 1.5$	> 60	> 35

Fuente: Zepeda & Pérez, 1995.

Relacionando las **Tablas 43 y 44** se determina que las caolinita (SPT 1) tienen un potencial expansivo y un cambio de volumen bajo.

De los suelos del SPT 2 se determina que las caolinita tiene un potencial expansivo de bajo a moderado y un cambio de volumen moderado.

En la **Figura 45** se comprueba gráficamente el grado de expansividad de las caolinitas de los dos SPT.



**Figura 45.** Criterio de peligrosidad a partir de la expansividad.

Fuente: Oteo, 1986.

• **Esfuerzos (T,T';μ)**

Se realizó el cálculo de tensiones en suelos estratificados sin peso o cargas (infraestructura) y se consideró el mismo peso específico para los dos casos.

Los cálculos fueron realizados cada 2 m de potencia aunque el SPT 1 posea el mismo tipo de suelos (SM). El valor de los pesos específicos fue tomado de los ensayos de SPT realizados en el sector de estudio.

Para la cimentación solo se considera los esfuerzos verticales; pero, en este apartado se calculó los esfuerzos laterales con la finalidad de tener un acercamiento más completo sobre el comportamiento de los suelos en diferentes escenarios.

Para la determinación de la tensión horizontal se consideró el coeficiente de estrés lateral (Ko) que tiene rangos normales entre 0.3 y 0.5; y en casos extremos llega hasta 2.0.

Se expone en las **Figuras 46, 47,48 y 49** las formulas o relaciones utilizadas, los cálculos y las gráficas que servirán para su posterior interpretación.

PROF. (m)	N.F. (m)	Perfil estratigráfico	Tensión vertical					
			Tensión total		Presión de poros		Tensión efectiva	
0			$T_{VCL} = \gamma * H$	<b>3.30 T/m<sup>2</sup></b>	$\mu_{VCL} = \gamma_w * H$	<b>0 T/m<sup>2</sup></b>	$T'_{VCL} = T_{VCL} - \mu_{VCL}$	<b>3.30 T/m<sup>2</sup></b>
			$T_{VSM} = T_{VCL} + (\gamma * H)$	<b>6.60 T/m<sup>2</sup></b>	$\mu_{VSM} = \mu_{VCL} + (\gamma_w * H)$	<b>0 T/m<sup>2</sup></b>	$T'_{VSM} = T_{VSM} - \mu_{VSM}$	<b>6.60 T/m<sup>2</sup></b>
			$T_{VSM} = T_{VSM} + (\gamma * H)$	<b>9.90 T/m<sup>2</sup></b>	$\mu_{VSM} = \mu_{VSM} + (\gamma_w * H)$	<b>0 T/m<sup>2</sup></b>	$T'_{VSM} = T_{VSM} - \mu_{VSM}$	<b>9.90 T/m<sup>2</sup></b>
1.0		<b>CL</b> Wn=25% $\gamma = 1.65 \text{ T/m}^3$ Ko=0.3	Tensión horizontal					
			Tensión total		Presión de poros		Tensión efectiva	
			$T_{HCL} = T'_{HCL} + \mu_{HCL}$	<b>0.99 T/m<sup>2</sup></b>	$\mu_{HCL} = \gamma_w * H$	<b>0 T/m<sup>2</sup></b>	$T'_{HCL} = T_{VCL} * Ko$	<b>0.99 T/m<sup>2</sup></b>
2.0			$T_{HSM} = T'_{HSM} + \mu_{HSM}$	<b>3.30 T/m<sup>2</sup></b>	$\mu_{HSM} = \mu_{HCL} + (\gamma_w * H)$	<b>0 T/m<sup>2</sup></b>	$T'_{HSM} = T_{VSM} * Ko$	<b>3.30 T/m<sup>2</sup></b>
3.0		<b>SM</b> Wn=40% $\gamma = 1.65 \text{ T/m}^3$ Ko=0.5	$T_{HSM} = T'_{HSM} + \mu_{HSM}$	<b>2.97 T/m<sup>2</sup></b>	$\mu_{HSM} = \mu_{HSM} + (\gamma_w * H)$	<b>0 T/m<sup>2</sup></b>	$T'_{HSM} = T_{VSM} * Ko$	<b>2.97 T/m<sup>2</sup></b>
4.0			Formulas					
5.0		<b>SM</b> Wn=20% $\gamma = 1.65 \text{ T/m}^3$ Ko=0.3	$T_v = \gamma * H$ $\mu = \gamma_w * H$ $T'_v = T_v - \mu$		$T_H = T' + \mu$ $\mu = \gamma_w * H$ $T'_H = T'_v * Ko$		T <sub>v</sub> : Tensión total vertical T <sub>H</sub> : Tensión total horizontal T' <sub>v</sub> : Tensión efectiva vertical T' <sub>H</sub> : Tensión efectiva horizontal μ: Presión intersticial Ko: Coeficiente de estrés lateral  $Ko = T'_H / T'_v$	
6.0								

**Figura 46.** Tensiones verticales y horizontales (SPT 1).

Fuente: El autor, 2016.

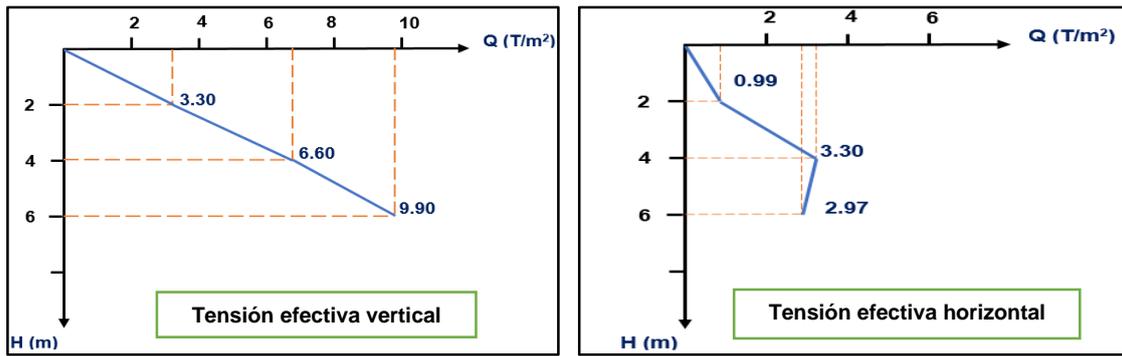


Figura 47. Tensiones Vs. Profundidad (SPT 1).  
Fuente: El autor, 2016.

PROF. (m)	N.E. (m)	Perfil estratigráfico	Tensión vertical		
			Tensión total	Presión de poros	Tensión efectiva
0			$T_{VMH1} = \gamma * H$ 3.30 T/m <sup>2</sup>	$\mu_{VMH1} = \gamma_w * H$ 0 T/m <sup>2</sup>	$T'_{VMH1} = T_{VMH1} - \mu_{VMH1}$ 3.30 T/m <sup>2</sup>
			$T_{VSC} = T_{VMH1} + (\gamma * H)$ 6.60 T/m <sup>2</sup>	$\mu_{VSC} = \mu_{VMH1} + (\gamma_w * H)$ 0 T/m <sup>2</sup>	$T'_{VSC} = T_{VSC} - \mu_{VSC}$ 6.60 T/m <sup>2</sup>
			$T_{VSM} = T_{VSC} + (\gamma * H)$ 9.90 T/m <sup>2</sup>	$\mu_{VSM} = \mu_{VSC} + (\gamma_w * H)$ 0 T/m <sup>2</sup>	$T'_{VSM} = T_{VSM} - \mu_{VSM}$ 9.90 T/m <sup>2</sup>
			Tensión horizontal		
			Tensión total	Presión de poros	Tensión efectiva
1.0		MH1 Wn=45% $\gamma = 1.65 \text{ T/m}^3$ Ko=0.5	$T_{HMH1} = T'_{HMH1} + \mu_{HMH1}$ 1.65 T/m <sup>2</sup>	$\mu_{HMH1} = \gamma_w * H$ 0 T/m <sup>2</sup>	$T'_{HMH1} = T_{HMH1} * Ko$ 1.65 T/m <sup>2</sup>
2.0			$T_{HSC} = T'_{HSC} + \mu_{HSM}$ 1.98 T/m <sup>2</sup>	$\mu_{HSC} = \mu_{HMH1} + (\gamma_w * H)$ 0 T/m <sup>2</sup>	$T'_{HSC} = T'_{VSC} * Ko$ 1.98 T/m <sup>2</sup>
3.0		SC Wn=28% $\gamma = 1.65 \text{ T/m}^3$ Ko=0.3	$T_{HSM} = T'_{HSM} + \mu_{HSM}$ 2.97 T/m <sup>2</sup>	$\mu_{HSM} = \mu_{HSC} + (\gamma_w * H)$ 0 T/m <sup>2</sup>	$T'_{HSM} = T'_{VSM} * Ko$ 2.97 T/m <sup>2</sup>
4.0			<b>Formulas</b>		
5.0		SM Wn=34% $\gamma = 1.65 \text{ T/m}^3$ Ko=0.3	$T_v = \gamma * H$ $\mu = \gamma_w * H$ $T'_v = T_v - \mu$	$T_H = T' + \mu$ $\mu = \gamma_w * H$ $T'_H = T'_v * Ko$	T <sub>v</sub> : Tensión total vertical T <sub>H</sub> : Tensión total horizontal T' <sub>v</sub> : Tensión efectiva vertical T' <sub>H</sub> : Tensión efectiva horizontal μ: Presión intersticial Ko: Coeficiente de estrés lateral  $Ko = T'_H / T'_v$
6.0					

Figura 48. Tensiones verticales y horizontales (SPT 2).  
Fuente: El autor, 2016.

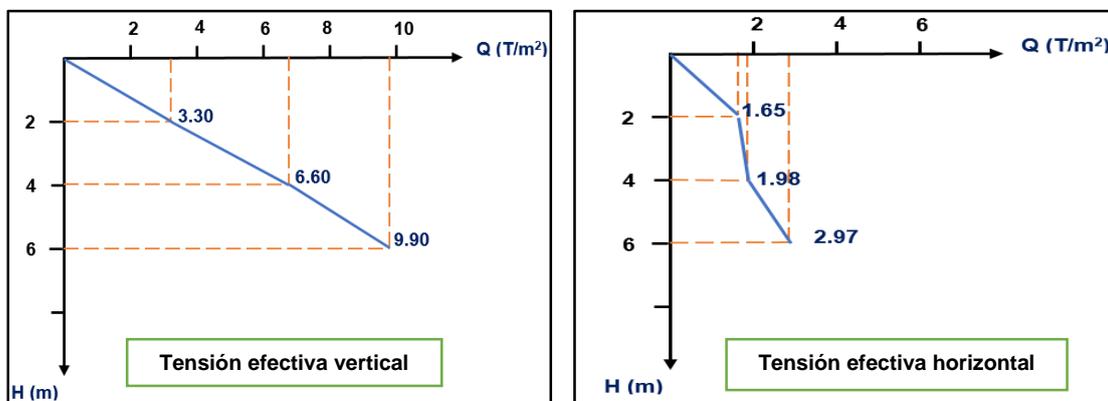


Figura 49. Tensiones Vs. Profundidad (SPT 2).  
Fuente: El autor, 2016.

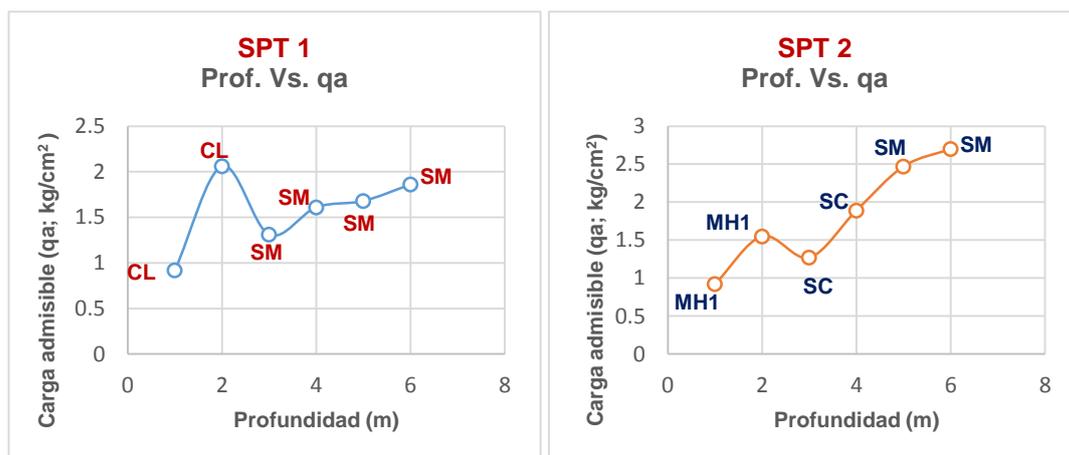
Analizando las **Figuras 46, 47, 48 y 49** se concluye que los suelos de los dos sondeos presentan los mismos valores de tensión vertical por cada 2 m de profundidad; es decir, va desde los 3.30 T/m<sup>2</sup>, 6.60 T/m<sup>2</sup> y 9.90 T/m<sup>2</sup>. Los valores de tensión total y tensión efectiva son iguales debido a que la presión de poros es 0.

La diferencia recae en las tensiones horizontales; pues se utiliza valores diferentes del coeficiente ( $K_0$ ) en función del porcentaje de humedad que presentan.

- **Cargas ( $q_a$ ;  $q_u$ )**

La carga última neta ( $q_{u-neta}$ ) aumenta o disminuye en proporción a la variación de la carga admisible neta por lo que su análisis estará basado en el de las cargas admisibles netas ( $q_{a-neta}$ ). Ver **Tablas 34 y 35**.

Se relaciona la profundidad con las cargas admisibles netas ( $q_{a-neta}$ ) y se expone en la **Figura 50**.



**Figura 50.** Profundidad Vs. carga admisible neta.  
Fuente: El autor, 2016.

En el SPT 1 se evidencia un ascenso desde el primer hasta el segundo metro de 0.92  $\text{Kg/cm}^2$  a 2.06  $\text{Kg/cm}^2$  respectivamente; pero tiene un decremento brusco (aproximadamente del 36.4%) hasta llegar a 1.31  $\text{Kg/cm}^2$ . Este decremento da indicios de la presencia de material no competente (capa de turba) que justifica este valor.

Para los últimos 4 m se evidencia un incremento proporcional a la profundidad pasando de 1.31  $\text{Kg/cm}^2$  a los 3 m hasta 1.86  $\text{Kg/cm}^2$  a los 6 m.

En el SPT 2 se tiene un ascenso desde el primer hasta el segundo metro pasando de  $0.92 \text{ Kg/cm}^2$  a  $1.55 \text{ Kg/cm}^2$  respectivamente. Como en el caso anterior, se evidencia un decremento leve (aproximadamente del 18%) hasta llegar a  $1.27 \text{ Kg/cm}^2$ . El descenso de este valor es un indicativo de la presencia de material poco o nada competente (capa de turba).

Para los últimos 4 m se evidencia un incremento proporcional a la profundidad pasado de  $1.27 \text{ Kg/cm}^2$  a los 3 m hasta  $2.70 \text{ Kg/cm}^2$  a los 6 m.

De manera resumida se expone que los suelos del SPT 1 soporta mayor carga en los primeros 2 m a diferencia de los suelos del SPT 2 que tiene valores altos de carga admisible en los 2 últimos metros.

Las consideraciones técnicas expuestas son válidas al momento del realizar cálculos para cimentaciones superficiales.

- **Asentamientos (S)**

En la **Tabla 45** se expone los asentamientos calculados por el laboratorio ESTSUELCON CIA. LTDA a partir de la cual se hará la interpretación.

**Tabla 45.** Asentamientos calculados.

Pozo	Suelo	B	Prof.	Si	Sc	St
		m	m	cm	cm	cm
1	CL	1.00	2.00	0.35	0.56	0.91
	SM	1.50	2.00	0.53	0.83	1.36
	SM	2.00	2.00	0.70	1.11	1.81
2	MH1	1.00	2.00	0.28	0.42	0.70
	SC	1.50	2.00	0.42	0.63	1.05
	SM	2.00	2.00	0.56	0.83	1.39

**Fuente:** ESTSUELCON CIA. LTDA, 2016.

**Donde:**

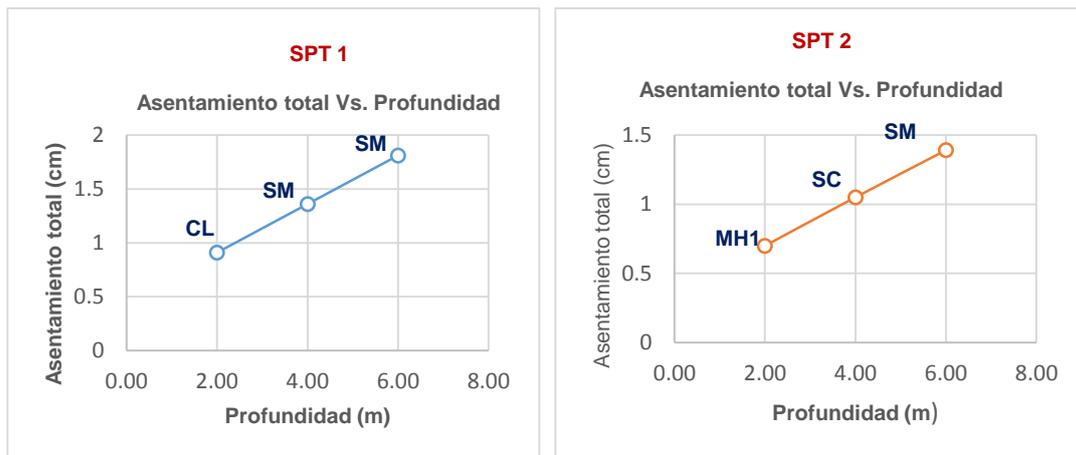
B: Base de cimentación

Si: Asentamiento inmediato

Sc: Asentamiento por consolidación

St: Asentamiento total

De la tabla anterior se relaciona y se expone la **Figura 51**.



**Figura 51.** Relación profundidad y asentamiento total.  
**Fuente:** El autor, 2016.

Para los suelos del SPT 1 se determina un asentamiento total ( $St$ ) creciente conforme se incrementa la base de cimentación ( $B$ ) y la profundidad; es así, que para los primeros 2 metros se tiene un  $St= 0.91$  cm y a los 2 últimos metros se tiene un  $St=1.81$  cm.

De igual manera para el SPT 2 se determina un incremento de asentamiento total ( $St$ ) conforme se incrementa la base de cimentación ( $B$ ) y la profundidad; es así, que para los primeros 2 metros se tiene un  $St= 0.70$  cm y a los 2 últimos metros se tiene un  $St=1.39$  cm.

- **Permeabilidad ( $k$ )**

Es necesario determinar el coeficiente de permeabilidad equivalente horizontal ( $k_h$ ) y el coeficiente de permeabilidad equivalente vertical ( $k_v$ ).

Para estos cálculos se hizo uso de los coeficientes de permeabilidad ( $k$ ) de cada uno de los tipos de suelos determinados mediante los SPT. Ver **Tabla 46**.

**Tabla 46.** Rangos de permeabilidad de los suelos del sector de estudio.

Tipo de suelo	Símbolo	K (cm/s)	Capacidad de infiltración (mm/hora)
Arena limosa	SM	$10^{-3}$ a $5 \times 10^{-3}$	13.0 a 20.0
Arena arcillosa	SC	$10^{-4}$ a $10^{-3}$	8.0 a 13.0
Arcillas de baja plasticidad	CL	$10^{-5}$ a $10^{-3}$	0.25 a 2.5
Limo de alta compresibilidad	MH1	$10^{-6}$ a $10^{-4}$	2.5 a 8.0

**Fuente:** Suarez Días Jaime, 2009 & Gonzales de Vallejo Luis I, 2002.

PROF. (m)	N.F. (m)	Perfil estratigráfico	$kv = \frac{B}{\sum \frac{B_i}{k_i}}$	$kh = \frac{\sum B_i * k_i}{B}$
		Símbolo		
0				
1.0		CL B1= 2 m k1=10 <sup>-5</sup> a 10 <sup>-3</sup>	B1/k1 = 200,000	B1 * k1 = 2 x 10 <sup>-5</sup>
2.0			B2/k2 = 4,000	B2 * k2 = 4 x 10 <sup>-3</sup>
3.0			$\sum \frac{B_i}{k_i} = 204,000$	$\sum B_i * k_i = 4.02 \times 10^{-3}$
4.0		SM B2= 4 m k2=10 <sup>-3</sup> a 5 x 10 <sup>-3</sup>	$kv = \frac{6}{204,000}$	$kh = \frac{4.02 \times 10^{-3}}{6}$
5.0			$kv = 2.94 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$	$kh = 6.7 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$
6.0				

Figura 52. Cálculo de coeficiente de permeabilidad. SPT 1.  
Fuente: El autor, 2016.

PROF. (m)	N.F. (m)	Perfil estratigráfico	$kv = \frac{B}{\sum \frac{B_i}{k_i}}$	$kh = \frac{\sum B_i * k_i}{B}$
		Símbolo		
0				
1.0		MH1 B1= 2 m k1=10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-4</sup>	B1/k1 = 2,000,000	B1 * k1 = 2 x 10 <sup>-6</sup>
2.0			B2/k2 = 20,000	B2 * k2 = 2 x 10 <sup>-4</sup>
3.0		SC B2= 2 m k2=10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-3</sup>	B3/k3 = 2,000	B2 * k2 = 2 x 10 <sup>-3</sup>
4.0			$\sum \frac{B_i}{k_i} = 2,022,000$	$\sum B_i * k_i = 2.202 \times 10^{-3}$
5.0		SM B3= 2 m k3=10 <sup>-3</sup> a 5 x 10 <sup>-3</sup>	$kv = \frac{6}{2,022,000}$	$kh = \frac{4.02 \times 10^{-3}}{6}$
6.0			$kv = 2.97 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$	$kh = 3.67 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$

Figura 53. Cálculo de coeficiente de permeabilidad. SPT 2.  
Fuente: El autor, 2016.

En los dos casos se determina que el kh es mayor a kv debido a que el agua en las arcillas viaja más rápido horizontalmente.

- **Factor de seguridad (F.S)**

Se usó el ábaco (N° 3) de Hoek y Bray para lo cual se considera que el nivel freático está a una profundidad de ¼ de la altura del deslizamiento. Esto es aplicable para deslizamientos rotacionales en suelos.

En las **Figuras 54, 55 y 56** se determina el factor de seguridad de los deslizamientos 2, 5 y 6. Los deslizamientos faltantes (1, 3, 4 y 7) tienen un factor de seguridad de 0 debido a que su cohesión es 0.

La relación matemática usada para determinar los valores de X e Y es:

$$R1 = \left[ \frac{c'}{\gamma * H * \tan \phi} \right]$$

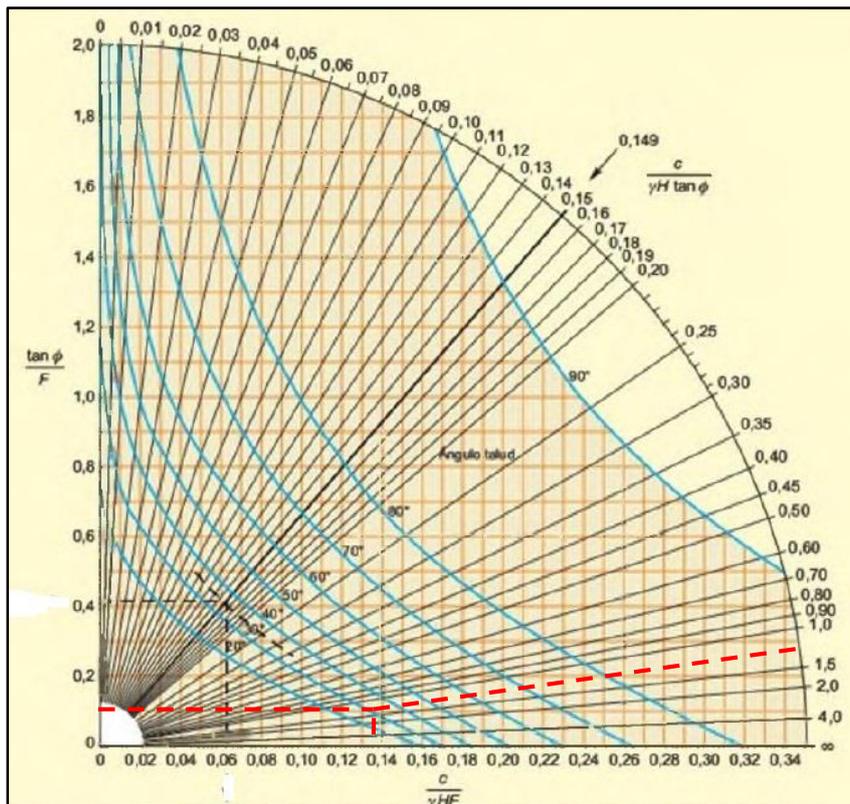
**Donde:**

**c'**: Cohesión

**γ**: Peso específico del material

**H**: Altura de deslizamiento

**Φ**: Ángulo de fricción interna



**Figura 54.** Factor de seguridad para el deslizamiento 2.

**Fuente:** El autor, 2016.

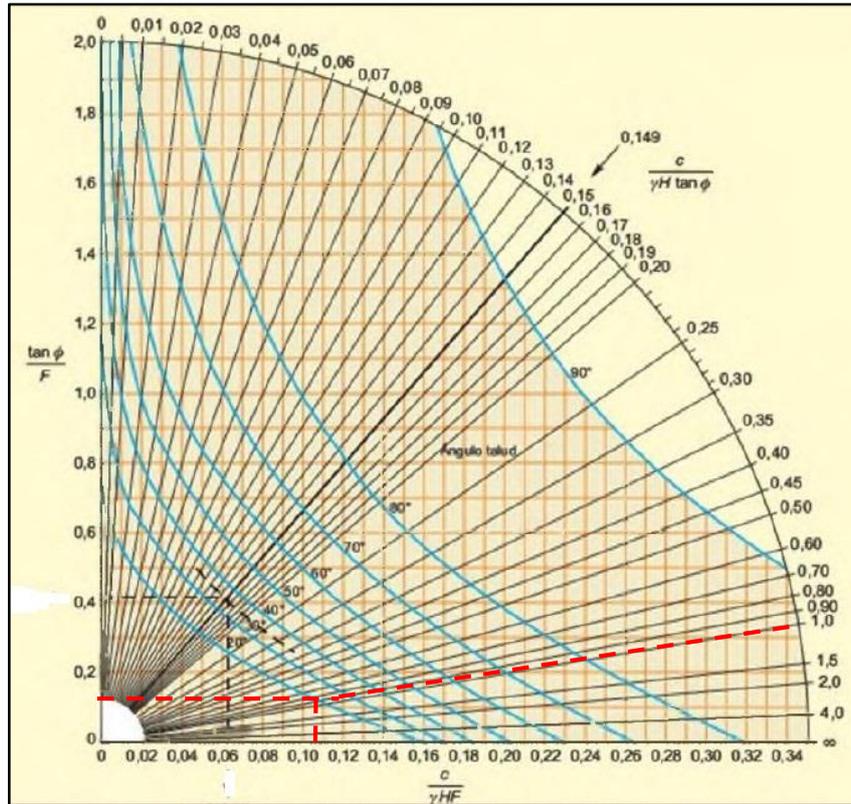


Figura 56. Factor de seguridad para el deslizamiento 5.  
Fuente: El autor, 2016.

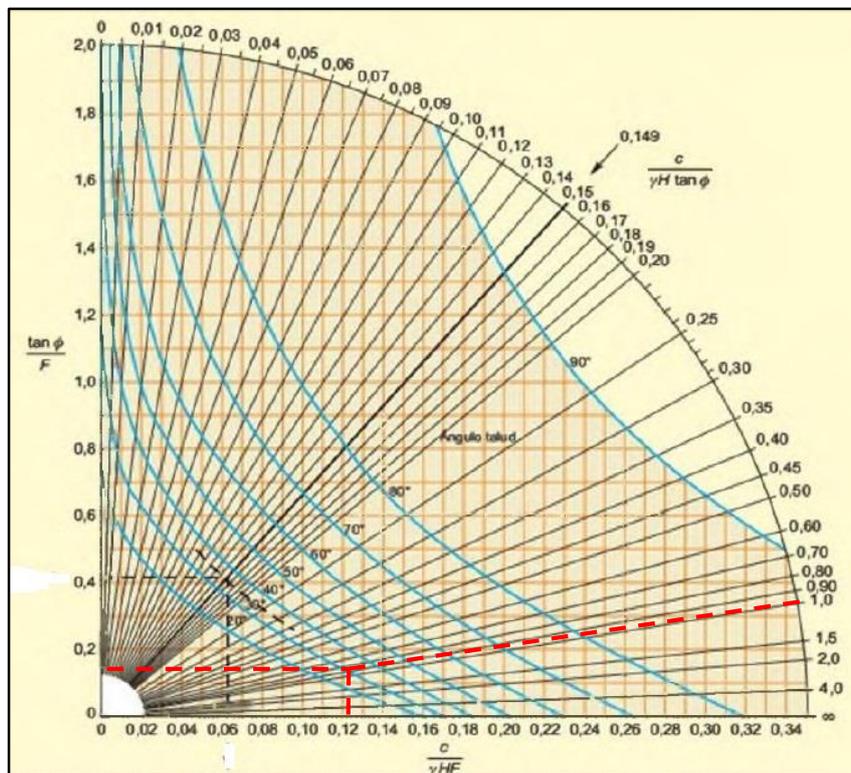


Figura 55. Factor de seguridad para el deslizamiento 6.  
Fuente: El autor, 2016.

Con la finalidad de establecer la gráfica de sensibilidad se realizó el cálculo con el método del talud infinito. Se hizo uso de la siguiente relación matemática:

$$F.S = \left[ \frac{c'}{\gamma * d * \text{sen } \beta} \right] + \left[ \frac{\text{tang } \Phi}{\text{tang } \beta} \right] - \left[ \frac{md * \gamma_w * \text{tang } \Phi}{\gamma * \text{tang } \beta} \right]$$

**Donde:**

**F.S:** Factor de seguridad en función de escenarios

**c´:** Cohesión

**γ:** Peso específico del material

**H y d:** Profundidad del deslizamiento

**Φ:** Ángulo de fricción interna

**β:** Ángulo de trabajo

**md =** Porcentaje de saturación (10%, 50% y 100%)

En la **Tabla 47 y 48** se exponen los factores de seguridad calculados.

**Tabla 47.** Factor de seguridad (ábaco N° 3 de Hoek y Bray).

Cod	γ (KN/m³)	B (°)	H (m)	c' KN/m²	Φ (°)	R1	Valor		F.S
							X	Y	
D-G-01	16.18	8.00	41.20	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D-G-02	16.18	31.00	9.00	52.46	15.00	1.34	0.13	0.16	1.67
D-G-03	16.18	36.00	10.00	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D-G-04	16.18	10.00	6.00	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D-G-05	16.18	22.00	12.10	52.46	15.00	1.00	0.10	0.16	1.67
D-G-06	16.18	28.00	12.00	52.46	15.00	1.00	0.12	0.18	1.50
D-G-07	16.18	9.00	14.00	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Fuente:** El autor, 2016.

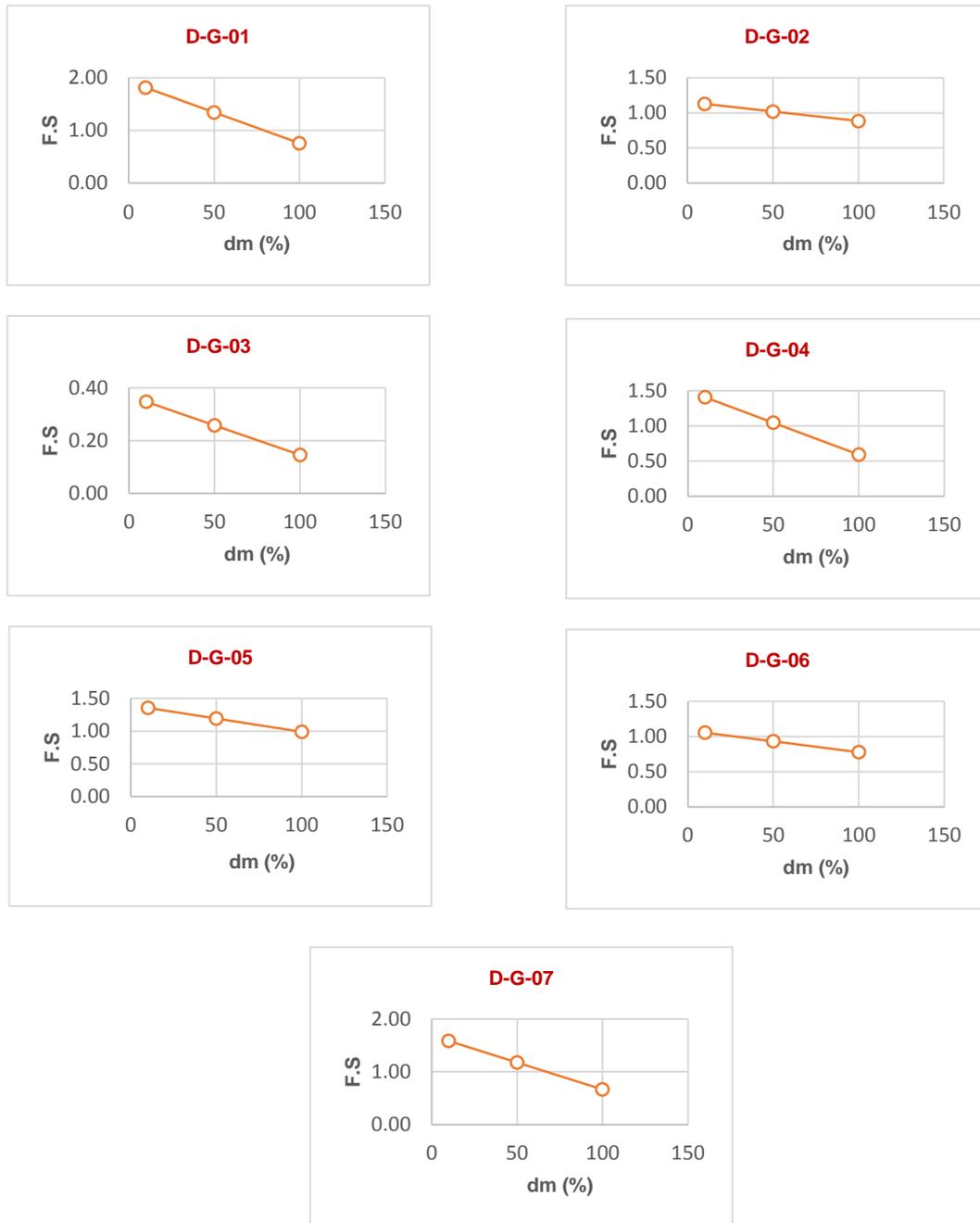
**Tabla 48.** Factor de seguridad en función de escenarios (grados de saturación).

Cod	γ (KN/m³)	B (°)	H (m)	c' KN/m²	Φ (°)	F.S (10% =0.1)	F.S (25% =0.25)	F.S (100% =1.0)
D-G-01	16.18	8.00	41.20	0.00	15.00	1.81	1.34	0.76
D-G-02	16.18	31.00	9.00	52.46	15.00	1.13	1.02	0.88
D-G-03	16.18	36.00	10.00	0.00	15.00	0.35	0.26	0.15
D-G-04	16.18	10.00	6.00	0.00	15.00	1.41	1.05	0.59
D-G-05	16.18	22.00	12.10	52.46	15.00	1.36	1.19	0.99
D-G-06	16.18	28.00	12.00	52.46	15.00	1.05	0.93	0.78
D-G-07	16.18	9.00	14.00	0.00	15.00	1.59	1.18	0.66

**Fuente:** El autor, 2016.

Con los factores de seguridad de la **Tabla 48** se establece la gráfica de sensibilidad para cada uno de los deslizamientos.

La **Figura 57** expone las gráficas de sensibilidad.



**Figura 57.** Gráficas de sensibilidad.  
**Fuente:** El autor, 2016.

Es necesario relacionar los F.S calculados con los distintos escenarios o situaciones en el que se puede dar. Es así que la **Tabla 49** determina el grado de estabilidad y la **Tabla 50** relaciona los posibles escenarios y el F.S requerido para las mismas.

**Tabla 49.** Índice de estabilidad y clase de estabilidad.

F.S	Estabilidad
0.00	Inestabilidad alta
0.0-0.50	Inestabilidad media
0.50-1.00	Inestabilidad baja
1.00-1.25	Estabilidad baja
1.25-1.50	Estabilidad media
> 1.50	Estabilidad alta

Fuente: Lan & otros, 2004.

**Tabla 50.** Relación escenario y factor de seguridad.

F. S	Cuando
1.7	Puede ocurrir pérdidas de vidas humanas
1.5	Pérdidas de más del 30% de la inversión
1.3	Pérdidas económica menor al 30%
1.2	No causará daños

Fuente: El autor, 2016.

**Tabla 51.** Resumen valoración del factor de seguridad de los deslizamientos.

Cod	F.S (ábacos)			F.S (100% saturación)		
	F.S	Nivel de estabilidad	Cumple condición	FS	Nivel de estabilidad	Cumple condición
D-G-01	0.00	Inestabilidad alta	NO	0.76	Inestabilidad baja	NO
D-G-02	1.67	Estabilidad alta	NO	0.88	Inestabilidad baja	NO
D-G-03	0.00	Inestabilidad alta	NO	0.15	Inestabilidad baja	NO
D-G-04	0.00	Inestabilidad alta	NO	0.59	Inestabilidad baja	NO
D-G-05	1.67	Estabilidad alta	NO	0.99	Inestabilidad baja	NO
D-G-06	1.50	Estabilidad media	NO	0.78	Inestabilidad baja	NO
D-G-07	0.00	Inestabilidad alta	NO	0.66	Inestabilidad baja	NO

Fuente: El autor, 2016.

Luego de analizar los datos de la **Tabla 51** se establece que con el F.S (ábacos N° 3); el 100% de los deslizamientos (7 en total) no cumplen con la condición de tener un F.S  $\geq 1.7$  (cuando pueden ocurrir pérdidas de vidas humanas).

Del F.S con el 100% de saturación, se evidencia que el 100% de los deslizamientos (7 en total) presentan una inestabilidad baja y ninguno cumple con la condición de tener un F.S  $\geq 1.7$  (cuando pueden ocurrir pérdidas de vidas humanas).

## INTERPRETACIÓN GEOTÉCNICA

Este apartado tiene como objeto caracterizar geológica y geotécnicamente los geomateriales del sector de estudio.

Se establece que existen dos unidades geológicas-geotécnicas denominadas como:

- Depósitos del Eoceno dominados por la Fm. Saraguro y representados por tobas riolíticas.
- Depósitos superficiales del Cuaternario representados por coluviones, arcillas, limolitas y limos.

### ❖ **Unidad geológica-geotécnica N° 1: Tobas riolíticas de la Fm. Saraguro (Eoceno)**

- **Litología: Fm. Saraguro**

Está caracterizada por poseer una textura piroclástica compuesta por clastos de riolita y andesita porfírica de sub redondeados a redondeados con diámetros desde los 0.02 m hasta los 0.20 m.

Se evidencia bloques que superan 1 m de diámetro, las mismas que tiene pequeñas incrustaciones de riolita y andesita porfírica con diámetros no superiores a los 0.05 m.

Los cantos y los bloques presentan una meteorización leve y están sobre una matriz limo arenosa de coloración gris-amarillenta que presentan una alta disgregación.

- **Geología**

La Fm. Saraguro es una secuencia alterna de lavas andesíticas y piroclastos. Los piroclastos varían desde tobas de grano fino hasta aglomerados de espesores grandes formando escarpes prominentes hacia la periferia de Saraguro (Kennerly, 1973).

Es evidenciable que el material piroclástico está contenida en una matriz limo arenosa de coloración gris-amarillenta.

- **Estructura**

De manera general, la Fm. Saraguro se encuentra suavemente plegado y sus ejes siguen rumbos N y NE.

En lo concerniente a las estructuras dentro de esta formación, la que destaca es el pliegue sinclinal del río León.

- **Geotecnia: Interrelación e interpretación con los SEV's y los SPT's**

En función de los SEV's se tiene resistividades de 12 a 20.7  $\Omega$ .m relacionados con material finos (arcillas y limos) alcanzadas hasta la profundidad analizada (7.90 m). En lo referente al nivel freático (NF) la correlación indica que está bajo los 6 m de profundidad.

En función de los SPT se determina que esta unidad está caracterizado de la siguiente manera:

Se han determinado 2 tipos de suelos, CL a los primeros 2 m y SM los últimos 4 m. Generalmente tienen un promedio de: humedad = 27.5%, L.L= 39%, L.P= 25.7%, I.P = 13.5%, gravas= 15%, arenas = 31% y arcillas= 61.5%.

Para estos 2 tipos de suelos se ha determinado un peso específico 1.65 T/m<sup>3</sup>. El suelo CL poseen una cohesión calculada de 0.53 a 1.20 Kg/cm<sup>2</sup> y el suelo SM una cohesión de cero. El ángulo de fricción está en el rango de 28° a los 6 m de profundidad y 34° en el primer metro.

Estos suelos soporta mayor carga (2.06 Kg/cm<sup>2</sup>) en el segundo metro con un asentamiento total (St) de 0.91 cm. Para los últimos 4 m se evidencia que soporta cargas menores a 2.06 Kg/cm<sup>2</sup> con asentamiento total (St) promedio de 1.6 cm. Se puede aseverar que el decremento considerable de la capacidad portante obedece a la presencia de una capa de material poco o nada competente como la turba por ejemplo.

Relacionando los límites de Atterberg se ha determinado que poseen un consistencia relativa (CR) de 0.73 lo que indica que son suelos de consistencia media y tienen una resistencia a la compresión inconfiada ( $q_u$ ) de 1.0-5.0 kg/cm<sup>2</sup>. Presentan un índice de liquidez (IL) de 0.27 lo que da a entender que se trata de suelos preconsolidados que han sufrido presiones efectivas ( $T'$ ) y tiene rasgos de efectos de erosión.

En cuanto al comportamiento (A), se determina un A de 0.17; lo que significa que son suelos inactivos; y según Skempton (1956), estos suelos están dentro del grupo de la caolinita con un bajo potencial de cambio de volumen y soportan más las tensiones verticales.

Respecto a las tensiones (sin considerar cargas) se determina que las tensiones totales (T) y efectivas (T') son iguales debido a la nula presión intersticial ( $\mu$ ). De esta manera se tiene las tensiones efectivas verticales (de 3.30 a 9.90 T/m<sup>2</sup>) y las tensiones efectivas horizontales (de 0.99 a 2.97 T/m<sup>2</sup>) desde el primer al sexto metro respectivamente para los dos casos.

Esta unidad se considera impermeable (CL con  $k = 10^{-5}$  a  $10^{-3}$  cm/s con una capacidad de infiltración de 0.25 a 2.5 mm/hora) y poco permeables (SM con  $k = 10^{-3}$  a  $5 \times 10^{-3}$  cm/s con una capacidad de infiltración de 13 a 20 mm/hora).

Se expone el coeficiente de permeabilidad equivalente horizontal ( $k_h = 6.7 \times 10^{-4}$  cm/s) y el coeficiente de permeabilidad equivalente vertical ( $k_v = 2.94 \times 10^{-5}$  cm/s); de esta manera corroborando que  $k_h > k_v$ .

- **Condiciones de estabilidad**

De las características del suelo (CL) se especifica que poseen una capacidad de carga baja; es impermeable y posee una media compresibilidad en estado compacto; presenta un riesgo a asentamiento y deslizamientos de medio a alto; y finalmente, su compactibilidad es de media a alto.

Para el suelo (SM) se especifica que poseen una capacidad de carga de alta a media; es semipermeable a impermeable y posee una baja compresibilidad en estado compacto; presenta un riesgo a asentamiento y deslizamientos de bajo a medio; y finalmente, su compactibilidad es de bajo a medio.

El ángulo de talud recomendado para secciones en terraplén es de 1.8H:1V a 2H: 1V para alturas menores a 5 m. Para taludes en corte se recomienda ángulos de 1.2H:1V a 1.5H:1V.

Estos criterios se exponen en la **Tabla 52**.

**Tabla 52.** Pendientes típicas para taludes en terraplenes y cortes.

Material	Altura (m)	Pendiente sugerida	Descripción
Suelos arcillosos de buena calidad	<5	1.5H:1V a 1.8H:1V	Pendientes típicas para taludes en terraplenes
	5-10	1.8H:1V a 2H:1V	
Suelos arcillosos blandos	<5	1.8H:1V a 2H:1V	
Suelos cohesivos mezclados con masas de roca o bloques	5-10	1.2H:1V a 1.5H:1V	Pendientes típicas para taludes en cortes.

**Fuente:** Suarez Jaime, 2009.

❖ **Unidad geológica-geotécnica N° 2: Coluviones, arcillas, limolitas y limos. Depósitos superficiales (Cuaternario)**

• **Litología: Depósitos superficiales**

Esta caracterizado por la presencia de clastos de riolita y andesita porfírica desde los 0.02 m hasta grandes bloques de diámetros mayores a 1 m sostenidas por una matriz limo arenosa de coloración gris-amarillenta a veces hasta rojiza debido a su gran oxidación. En ciertas zonas los clastos están fuertemente meteorizadas y disgregadas.

Las limolitas están relacionados con el proceso de disgregación y transporte de la toba riolítica bajo un régimen laminar. Consta de bloques de 0.3 m hasta 2 m medianamente meteorizadas.

En las partes planas (zonas de acumulación) se evidencia material limoso que actúa como matriz cementante de los coluviones de las partes altas (laderas) que erosionados y transportados son depositados hacia las partes más bajas.

• **Geología**

Los depósitos superficiales provienen de la disgregación, transporte y depósito de la toba riolítica y están presentes en toda la superficie del sector de estudio. Estos depósitos difieren en cuanto a humedad y grado de meteorización, no siendo así en su textura, estructura, tamaño de granos y/o bloques y matriz cementante.

- **Estructura**

Los clastos están dispuestos de tal manera que se evidencia su imbricación con una dirección preferencial de flujo al momento de su deposición. Su dirección es de S 74° W y un buzamiento de 12° N.

- **Geotecnia: Interrelación e interpretación con los SEV's y los SPT's**

En función de los SEV's se tiene resistividades de 15 a 43.9  $\Omega$ .m relacionados con material finos (arcillas y limos) alcanzadas hasta la profundidad analizada (7.90 m). En lo referente al nivel freático (NF) la correlación indica que está bajo los 6 m de profundidad.

En función de los SPT se determina que esta unidad está caracterizado de la siguiente manera:

Se han determinado 3 tipos de suelos, MH1 a los primeros 2 m, SC en los segundos 2 m y SM los últimos 4 m. Generalmente tienen un promedio de: humedad = 35.6%, L.L= 50%, L.P= 30%, I.P = 20%, gravas= 43%, arenas = 31% y arcillas= 46%.

Para estos 3 tipos de suelos se ha determinado un peso específico 1.65 T/m<sup>3</sup> y están catalogados como suelos granulares por lo que su cohesión es de cero, a excepción del suelo tipo MH1 que posee una cohesión de 0.53 a 0.90 Kg/cm<sup>2</sup>. El ángulo de fricción está en el rango de 15° a los 6 m de profundidad y 31° en el primer metro.

Soporta mayor carga (promedio de 2.6 Kg/cm<sup>2</sup>) en los 2 últimos metros con un asentamiento total (St) de 1.4 cm. Para los 4 primeros metros se evidencia que soporta cargas menores a 2.6 Kg/cm<sup>2</sup> con asentamiento total (St) promedio de 0.85 cm. Se puede aseverar que el decremento considerable de la capacidad portante obedece a la presencia de una capa de material poco o nada competente como la turba por ejemplo.

Relacionando los límites de Atterberg se ha determinado que poseen un consistencia relativa (CR) de 0.65 lo que indica que son suelos de consistencia media y tienen una resistencia a la compresión inconfiada ( $q_u$ ) de 1.0-5.0 kg/cm<sup>2</sup>. Presentan un índice de liquidez (IL) de 0.35 lo que da a entender que se trata de suelos preconsolidados que han sufrido presiones efectivas ( $T'$ ) y tiene rasgos de efectos de erosión.

En cuanto al comportamiento (A) se determina un A de 0.35; lo que significa que son suelos inactivos; y según Skempton (1956), estos suelos están dentro del grupo de la caolinita con un bajo potencial de cambio de volumen y soportan más las tensiones verticales.

Respecto a las tensiones (sin considerar cargas) se determina que las tensiones totales (T) y efectivas (T') son iguales debido a la nula presión intersticial ( $\mu$ ). De esta manera se tiene las tensiones efectivas verticales (de 3.30 a 9.90 T/m<sup>2</sup>) y las tensiones efectivas horizontales (de 1.65 a 2.97 T/m<sup>2</sup>) desde el primer al sexto metro respectivamente para los dos casos.

Esta unidad se considera poco permeables tanto para MH1 ( $k= 10^{-6}$  a  $10^{-4}$  cm/s y una capacidad de infiltración de 2.5 a 8.0 mm/hora), SC ( $k= 10^{-4}$  a  $5 \times 10^{-3}$  cm/s con una capacidad de infiltración de 8.0 a 13.0 mm/hora) y SM ( $k= 10^{-3}$  a  $5 \times 10^{-3}$  cm/s y una capacidad de infiltración de 13.0 a 20.0 mm/hora).

Se expone el coeficiente de permeabilidad equivalente horizontal ( $k_h = 3.67 \times 10^{-4}$  cm/s) y el coeficiente de permeabilidad equivalente vertical ( $k_v= 2.97 \times 10^{-6}$  cm/s); de esta manera corroborando que  $k_h > k_v$ .

- **Condiciones de estabilidad**

De las características del suelo (MH1) se especifica que poseen una capacidad de carga baja; es impermeable a semipermeable y posee una elevada compresibilidad en estado compacto; presenta un riesgo a asentamiento y deslizamientos de medio a alto; y finalmente, su compactibilidad es muy mala. Para el suelo (SC) se ha determinado una capacidad de carga de media a alta; es impermeable y posee una baja compresibilidad en estado compacto; presenta un riesgo a asentamiento y deslizamientos bajo y finalmente, su compactibilidad es de media a buena.

Para el suelo (SM) se especifica que poseen una capacidad de carga de alta a media; es semipermeable a impermeable y posee una baja compresibilidad en estado compacto; presenta un riesgo a asentamiento y deslizamientos de bajo a medio; y finalmente, su compactibilidad es de bajo a medio.

El ángulo de talud recomendado para secciones en terraplén es de 1.8H:1V a 2H: 1V para alturas menores a 5 m. Para taludes en corte se recomienda ángulos de 1.2H:1V a 1.5H:1V. Estos criterios se exponen en la **Tabla 52**.

## RESUMEN Y VALORACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA

Valencia Carolina (2008), plantea una metodología sencilla para la valoración como zona geológica-geotécnica. Esta metodología integra condicionantes geotécnicos tales como la capacidad portante, la deformabilidad, la excavabilidad el tipo de explanada, la clasificación del material para su reutilización y el drenaje.

En la **Tabla 53** se recopila y expone los criterios de valoración para las unidades geológicas-geotécnicas descritas y en la **Tabla 54** se expone la valoración de dichas unidades.

**Tabla 53.** Valoración de unidades geológicas-geotécnicas.

General		Reutilización		Posibles problemas geotécnicos		Global	
Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción
0	Menos favorable	0	Marginal	0	Existe	≤5	Deficiente
2	Más favorable	1	Tolerable	1	No existe	6-9	Aceptable
		2	Adecuado			>9	Bueno
		3	Seleccionado				

**Fuente:** El autor. Según Valencia Carolina, 2008.

**Tabla 54.** Resumen de valoración geológica-geotécnica.

Valoración		
Criterio	Unidad geotécnica N° 1	Unidad geotécnica N° 2
Capacidad portante	1.5	2
Deformabilidad	1	1
Escavabilidad	2	2
Tipo de explanada	1.5	2
Reutilización	0	0
Drenaje	0.5	0.5
<b>Total valoración Geológica-Geotécnica</b>	<b>6</b>	<b>7.5</b>
<b>Clasificación</b>	<b>Aceptable (con restricciones)</b>	<b>Aceptable (con restricciones)</b>

**Fuente:** El autor, 2016.

## CIMENTACIÓN

Atendiendo a la valoración de las 2 unidades geotécnicas se tiene que los suelos presentan características aceptables con restricciones.

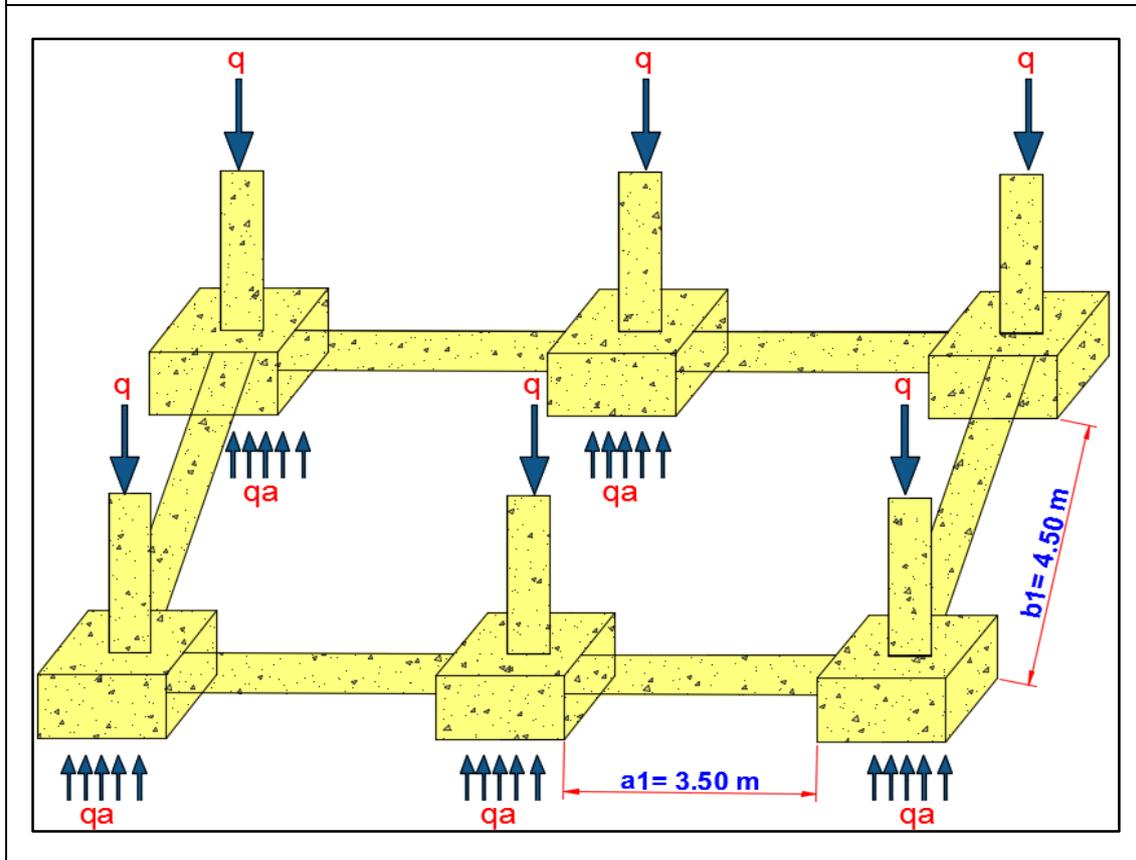
Se expone los datos, los cálculos y las debidas recomendaciones para las cimentaciones superficies en el sector de estudio.

Los datos para los cálculos se exponen en la **Tabla 55**.

**Tabla 55.** Datos y fórmulas para cálculos de cimentación.

Datos	Fórmulas	
a1= 3.50 m b1=4.50 m n=2 pisos A= (1 m <sup>2</sup> , 2.25 m <sup>2</sup> , 4 m <sup>2</sup> ) CM=250 Kg/m <sup>2</sup> CV=250 Kg/m <sup>2</sup> AC= 15.75 Kg/m <sup>2</sup> CT=500 Kg/m <sup>2</sup>	$AC= a1 \times b1; m^2$ $CT= CM + CV; Kg/m^2$ $Q= (AC \times C \times n); Ton$ $q= Q/ A; Kg/m^2$	<b>Donde:</b> CM: Carga Muerta CV: Carga Viva AC: Área Colaborante CT: Carga Total Q: Carga del edificio n: Número de pisos A: Área de cimentación q: Carga unitaria

**Ilustración**



Fuente: El autor, 2016.

Se expone en las **Tablas 56 y 57** los cálculos de cimentación superficial para las dos unidades geotécnicas.

**Tabla 56.** Cimentación para la unidad geotecnia N° 1.

Datos				Cálculos												
Suelo				Cálculos 1 piso				Cálculos 2 pisos				Cálculos 3 pisos				
Prof. (m)	Suelo	q <sub>a-neta</sub>	St	Q	q (A=1m <sup>2</sup> )	q (A=2.25 m <sup>2</sup> )	q (A=4m <sup>2</sup> )	Q	q (A=1m <sup>2</sup> )	q (A=2.25 m <sup>2</sup> )	q (A=4m <sup>2</sup> )	Q	q (A=1m <sup>2</sup> )	q (A=2.25 m <sup>2</sup> )	q (A=4m <sup>2</sup> )	
		Kg/cm <sup>2</sup>	cm	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	CL	9.2	0.91													
2		20.6		7.88	7.88	3.50	1.97	15.75	15.75	7.00	3.94	23.63	23.63	10.50	5.91	
3	SM	13.1	1.36													
4		16.1		7.88	7.88	3.50	1.97	15.75	15.75	7.00	3.94	23.63	23.63	10.50	5.91	
5	SM	16.8	1.81													
6		18.6		7.88	7.88	3.50	1.97	15.75	15.75	7.00	3.49	23.63	23.63	10.50	5.91	
<b>Carga admisible a considerar</b>				<b>Recomendable técnicamente y económicamente</b>				<b>Recomendable técnicamente y no económicamente</b>				<b>No recomendable</b>				

Fuente: El autor, 2016.

**Tabla 57.** Cimentación para la unidad geotecnia N° 2.

Datos				Cálculos												
Suelo				Cálculos 1 piso				Cálculos 2 pisos				Cálculos 3 pisos				
Prof. (m)	Suelo	q <sub>a-neta</sub>	St	Q	q (A=1m <sup>2</sup> )	q (A=2.25 m <sup>2</sup> )	q (A=4m <sup>2</sup> )	Q	q (A=1m <sup>2</sup> )	q (A=2.25 m <sup>2</sup> )	q (A=4m <sup>2</sup> )	Q	q (A=1m <sup>2</sup> )	q (A=2.25 m <sup>2</sup> )	q (A=4m <sup>2</sup> )	
		Kg/cm <sup>2</sup>	cm	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Ton	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	CL	9.2	0.70													
2		15.5		7.88	7.88	3.50	1.97	15.75	15.75	7.00	3.94	23.63	23.63	10.50	5.91	
3	SM	12.7	1.05													
4		18.9		7.88	7.88	3.50	1.97	15.75	15.75	7.00	3.94	23.63	23.63	10.50	5.91	
5	SM	24.7	1.40													
6		27.0		7.88	7.88	3.50	1.97	15.75	15.75	7.00	3.49	23.63	23.63	10.50	5.91	
<b>Carga admisible a considerar</b>				<b>Recomendable técnicamente y económicamente</b>				<b>Recomendable técnicamente y no económicamente</b>				<b>No recomendable</b>				

Fuente: El autor, 2016.

- **Cimentación recomendada en la unidad Geotecnia N° 1**

A cualquier profundidad del suelo analizado (CL y SM) con el SPT 1; se puede construir viviendas de 1 a 3 pisos con un área de cimentación (A) mayor o igual a 2.25 m<sup>2</sup>.

Para construcciones (1 a 2 pisos) seguras es recomendable (técnica y económicamente) cimentar a los 2 m de profundidad debido a su bajo asentamiento total (St=0.91 cm). Pero por normativa, el área de cimentación (A) mínimo es de 2.25 m<sup>2</sup>.

- **Cimentación recomendada en la unidad Geotecnia N° 2**

Las viviendas de 1 piso se pueden construir a cualquier profundidad (6 m) que involucran los suelos MH1, SC y SM; para viviendas de 2 pisos sólo se puede cimentar desde los 4 m en adelante (suelo SC Y SM); finalmente, para viviendas de 3 pisos, sólo se puede cimentar en los últimos 2 m (suelo SM). Estas construcciones deben tener un área de cimentación mínima de 2.25 m<sup>2</sup>.

Si se pretende construir vivienda de 3 pisos, se puede hacer a cualquier profundidad (6 m); pero el área de cimentación (A) debe ser mayor o igual a 2.25 m<sup>2</sup>.

Para construcciones (1 piso) seguras es recomendable (técnica y económicamente) cimentar a los 2 m de profundidad debido a su bajo asentamiento total (St=0.70 cm). El área de cimentación (A) mínima recomendado para este tipo de construcción según la normativa es de 2.25 m<sup>2</sup>.

### 6.2.9 Análisis de susceptibilidad por el método multicriterio

Luego de haber generado los mapas (variables) que son considerados para el análisis de susceptibilidad se realizó el siguiente proceso.

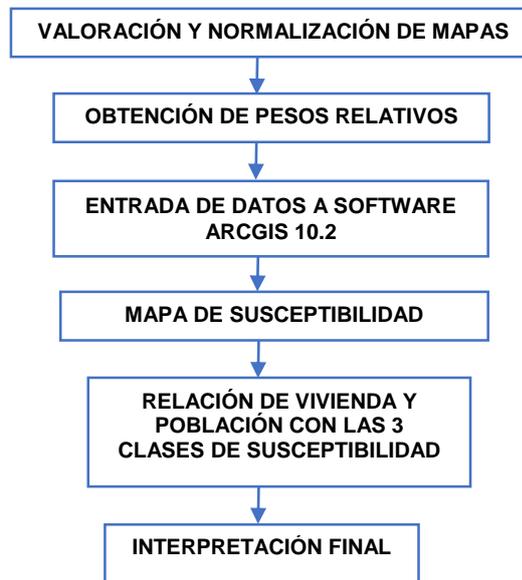


Figura 58. Procedimiento para obtener el mapa de susceptibilidad.  
Fuente: El autor, 2016.

#### a. Valoración y normalización de los mapas

Cada mapa está categorizado en función de rangos para cada característica, por lo que tienen diferente significado y unidad de medida. Para ser comparados, se establece una escala numérica en donde 0 representa la más baja potencialidad y 1 representa la más alta potencialidad para la ocurrencia de deslizamientos. Se requiere la asignación de valores a cada uno de los componentes de los mapas, logrando de esta manera normalizarlos por el método del valor máximo encontrado. (Torres Raisa, 2015).

Posteriormente para relacionar los criterios de los mapas normalizados en un mapa final, se debe asignar pesos en función de la importancia o incidencia en la generación de deslizamientos. Es decir, los que tengan mayor incidencia en la ocurrencia de los deslizamientos tendrán mayor peso (Torres Raisa, 2015).

Se detalla los parámetros de cada uno de los mapas ya normalizados.

• **Geomorfología**

**Tabla 58.** Normalización de las variables de geomorfología.

	Deslizamiento	Coluvión	Colina media	Colina baja	Valle	Llanura		
Deslizamiento	1	4	4	4	4	4	3.50	0.322
Coluvión	0.25	1	4	4	4	4	2.88	0.265
Colina media	0.25	0.3	1	2	4	4	1.92	0.177
Colina baja	0.25	0.3	0.5	1	3	4	1.50	0.138
Valle	0.25	0.3	0.25	0.3	1	2	0.68	0.063
Llanura	0.25	0.3	0.25	0.3	0.5	1	0.42	0.038
<b>Fuente:</b> El autor, 2016.							10.89	1.00

• **Geología**

**Tabla 59.** Normalización de las variables de geología.

	Coluvión	Limos	Limolita	Toba riolítica		
Coluvión	1	4	4	4	3.25	0.502
Limos	0.25	1	2	3	1.56	0.241
Limolita	0.25	1	1	3	1.19	0.183
Toba riolítica	0.3	0	0.3	1	0.48	0.074
<b>Fuente:</b> El autor, 2016.					6.48	1.00

• **Pendiente**

**Tabla 60.** Normalización de las variables de pendiente.

	>75%	50-75%	30-50%	15-30%	0-15%		
>75%	1	3	4	4	4	3.20	0.365
50-75%	0.3	1	3	4	4	2.47	0.281
30-50%	0.3	0.3	1	3	4	1.72	0.196
15-30%	0.3	0.3	0.33	1	3	0.97	0.110
0-15%	0.3	0.3	0.25	0.3	1	0.42	0.048
<b>Fuente:</b> El autor, 2016.						8.77	1.00

- **Uso actual de suelo**

**Tabla 61.** Normalización de las variables de uso actual de suelo.

	Zonas erosionadas	Vegetación herbácea	Vegetación arbustiva	Cultivos	Vías	Zonas pobladas		
Zonas erosionadas	1	2	3	3	3	4	2.67	0.263
Vegetación herbácea	0.5	1	3	4	3	4	2.58	0.255
Vegetación arbustiva	0.33	0.3	1	3	4	4	2.11	0.209
Cultivos	0.33	0.3	0.33	1	4	4	1.65	0.163
Vías	0.33	0.3	0.25	0.3	1	2	0.69	0.069
Zonas pobladas	0.25	0.3	0.25	0.3	0.5	1	0.42	0.041
							10.13	1.00

**Fuente:** El autor, 2016.

**b. Obtención de los pesos relativos por la Matriz de Jerarquización Analítica de Saaty**

A partir de los mapas normalizados se realiza el cruce de variables por pares y luego del criterio válido de acuerdo a los análisis de los materiales de campo, es posible emitir un criterio técnico para definir el valor de mayor importancia de cada uno de los factores en la ocurrencia de los deslizamientos (Torres Raisa, 2015).

En este proceso se toma en consideración lo expuesto en la **Tabla 12** para la asignación de los valores en función de su importancia.

Se describe cada uno de los pares analizados.

- **Relación Geomorfología- Geología**

La geomorfología en relación a la geología tiene mayor incidencia en la ocurrencia de deslizamientos. Se destaca que la geomorfología integra el análisis de la geología por lo que su análisis es mucho más amplio y se justifica su predominancia absoluta sobre la variable geología.

- **Relación Geomorfología- Pendiente**

Considerando que la geomorfología integra el análisis de geología, pendiente y uso actual de suelo; se argumenta y justifica su predominancia total sobre la variable pendiente. Como en el caso anterior, las unidades geomorfológicas determinadas condicionan la inestabilidad de taludes y/o laderas y la ocurrencia de deslizamientos.

- **Relación Geomorfología- Uso actual de suelo**

Las geofomas determinadas en el sector de estudio condicionan los diferentes tipos de actividades y usos que se puede dar al recurso suelo. Las unidades geomorfológicas condicionan la inestabilidad de taludes y/o laderas y la ocurrencia de deslizamientos.

- **Relación Geología-Pendiente**

Se considera que la geología presente tiene una ligera supremacía en relación a la variable pendiente. Las características físicos-mecánicos de los geomateriales hacen que sean altamente susceptibles para la ocurrencia de deslizamientos sin importar que las pendientes sean fuertes.

- **Relación Geología- Uso actual de suelo**

Se determina que la geología presenta una predominancia absoluta en relación con el uso actual de suelos; pues, las características físico-mecanismos de los geomateriales condicionan una alta susceptibilidad sin importar el uso que se le dé al recurso suelo.

- **Relación Pendiente-Uso actual de suelo**

Las pendientes en relación al uso actual de suelo presentan una supremacía total. Es lógico el argumento de que las pendientes abruptas siempre serán condicionantes en la ocurrencia de deslizamientos; no siendo así, las áreas y los distintos usos que se le dé al recurso suelo.

En la **Tabla 62** se expone los pesos relativos asignados a cada uno de los mapas necesarios para la obtención del mapa de susceptibilidad a deslizamientos.

Tabla 62. Normalización de los mapas para la susceptibilidad.

	Geomorfología	Geología	Pendientes	Uso del Suelo		Peso Relativo
Geomorfología	1	4	4	4	3.25	0.470
Geología	0.25	1	2	4	1.81	0.262
Pendientes	0.25	0.5	1	4	1.44	0.208
Uso del Suelo	0.25	0.25	0.25	1	0.44	0.063
					6.94	1.00

Fuente: El autor, 2016.

### c. Obtención del mapa de susceptibilidad a deslizamientos

En el software ArcGis 10.2 mediante el uso de la herramienta suma ponderada (weighted sum) se tiene como datos de entrada cada uno de los mapas normalizados a las que se les asigna sus respectivos pesos relativos.

Se optó por reclasificar en 3 clases; susceptibilidad baja, susceptibilidad media y susceptibilidad alta.

En la **Figura 13** se expone el Model Builder que sintetiza el procedimiento descrito anteriormente.

### d. Interpretación del mapa de susceptibilidad

El mapa final de susceptibilidad integra tres clases caracterizados de la siguiente manera.

SUSCEPTIBILIDAD		ÁREA(ha)	(%)
	Baja	15.72	24.11
	Media	35.35	54.22
	Alta	14.13	21.67
<b>Total</b>		<b>65.2</b>	<b>100</b>

Figura 59. Susceptibilidad del sector Gunudel-Gulagpamba.

Fuente: El autor, 2016.

Es necesario realizar cálculos en los que se relacione el número total de viviendas y habitantes con las 3 clases de susceptibilidad. Ver **Tabla 63**.

**Tabla 63.** Relación susceptibilidad con las viviendas y habitantes.

Datos de entrada		Cálculos			Total			
Total población (u)	290.00	Personas por vivienda (hab/viv)	2.54					
Total viviendas (u)	114.00	Densidad poblacional (hab/ha)	4.45					
Total área de estudio (ha)	65.20	Viviendas por unidad de área (viv/ha)	1.75					
			Nº	%	Nº	%		
Área de susceptibilidad (ha)	B	15.72	Viviendas por zonas de susceptibilidad (viv/ha)	B	30.00	26.32	114.00	100.00
	M	35.35		M	34.00	29.82		
	A	14.13		A	50.00	43.86		
			Personas por zonas de susceptibilidad (hab/ha)	B	76.00	26.21	290.00	100.00
				M	87.00	30.00		
				A	127.00	43.79		

Fuente: El autor, 2016

- **Susceptibilidad baja**

Ocupan el 24.11% de la totalidad de la superficie analizada y están distribuidas en mayor porcentaje hacia el suroeste y sureste; límite con el sector de Las Lagunas; al extremo oeste; en menor porcentaje hacia al extremo este a 40 metros del río Sinincapac; y zonas pequeñas y dispersas hacia el noroeste.

Están caracterizadas por presentar relieves con pendientes de 0 a 30% categorizados como terrenos planos a inclinados; dominados en su mayoría por coluviones de matriz soportado y en menor proporción de tobas riolíticas con bajo grado de meteorización.

Como unidad geomorfológica que domina estas áreas está el coluvión antiguo; y en lo referente al uso actual de suelo se determina que el 70% son pastizales, el 20% son de cultivos anuales y el 10% corresponde a arbustos.

El 26.32% de las viviendas y el 18.69% de la longitud de las vías se encuentran asentadas en estas áreas. Según los cálculos expuestos en la **Tabla 63**, se estima que el 26.21% de la población total habitan en áreas de susceptibilidad baja.

- **Susceptibilidad media**

Se ha determinado que ocupa el 54.22% de la totalidad de la superficie analizada y están distribuidas en mayor porcentaje hacia la parte céntrica; zonas dispersas al suroeste; al extremo oeste, hacia la antigua panamericana; al extremo este, paralelo al río Sinincapac.

Caracterizados por presentar relieves con pendientes de 0 a 75% categorizados como terrenos planos a escarpados; dominados en su mayoría por coluviones de matriz soportado, y en menor proporción de limolitas y tobas riolíticas con bajo grado de meteorización.

Como unidad geomorfológica que domina estas áreas está en mayor porcentaje el coluvión antiguo, seguido de zonas de deslizamientos, y en un porcentaje inferior se encuentran los relieves colinados (bajo y medio).

Como uso actual de suelo se determina que el 50% son pastizales, el 15% son de cultivos anuales, el 10% de arbustos y un 25% son zonas erosionadas.

Según los cálculos expuestos en la **Tabla 63** se determina que el 29.82% de las viviendas, el 30% de la población, el 62.52% y el 52.73% de la longitud de las vías de primer y tercer orden respectivamente se encuentran asentadas en estas áreas.

- **Susceptibilidad alta**

Ocupa el 21.67% de la totalidad de la superficie analizada y están distribuidas mayormente hacia el suroeste, al extremo oeste y este se evidencia zonas dispersas; y en menor proporción hacia la parte norte involucrando a la antigua panamericana.

Están caracterizadas por presentar relieves con pendientes de 0 hasta mayores a 75% categorizados como terrenos planos a muy escarpados; dominados en su mayoría por limos, seguido de coluviones de matriz soportado, limolitas y menor proporción de tobas riolíticas con bajo grado de meteorización.

Como unidad geomorfológica que domina estas áreas está en mayor porcentaje los relieves planos y valles, seguido de zonas de deslizamientos y de coluvión antiguo.

Respecto al uso actual de suelo se determina que el 70% son pastizales, el 15% son de cultivos anuales, el 5% de arbustos y un 10% son zonas erosionadas.

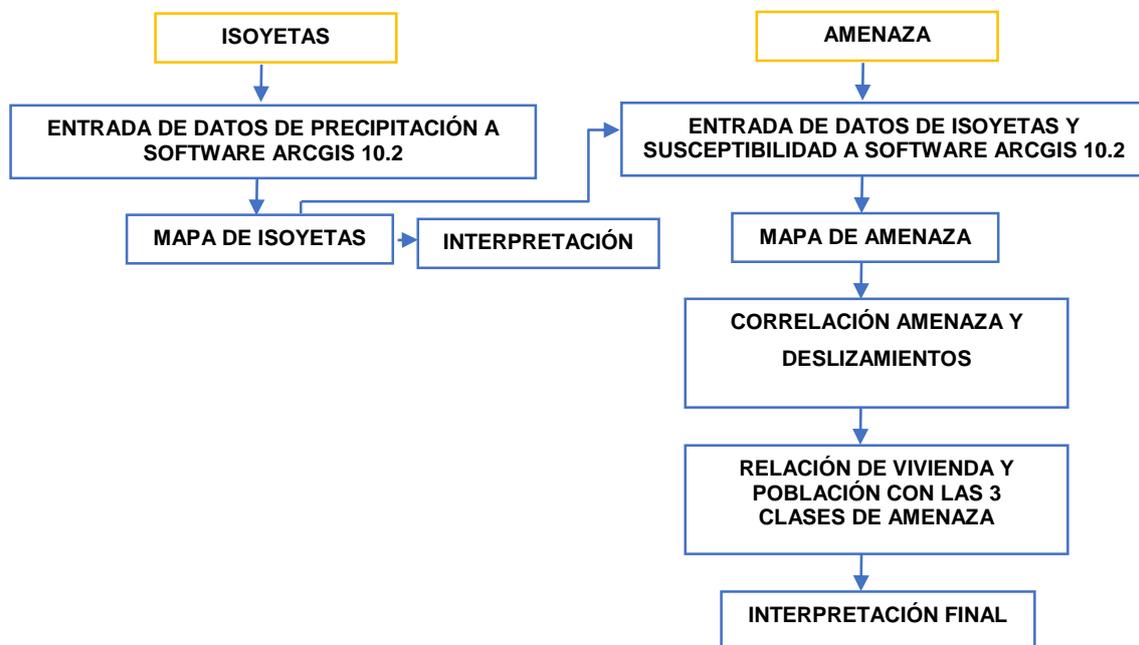
En función de los cálculos expuestos en la **Tabla 63** se determina que el 43.87% de las viviendas, el 43.79% de la población, el 37.48% y el 28.58% de la longitud de las vías de primer y tercer orden respectivamente se encuentran asentadas en estas áreas.

El mapa de susceptibilidad a escala 1:4000 se expone en el **Anexo 14**.

### 6.2.10 Análisis de amenaza por deslizamientos

Para este análisis se requirió obtener previamente el mapa de isoyetas (precipitación) considerando los cálculos probabilísticos.

Se expone los procedimientos.



**Figura 60.** Procedimiento para obtener el mapa de amenaza.

**Fuente:** El autor, 2016.

#### 6.2.10.1 Obtención del mapa de isoyetas

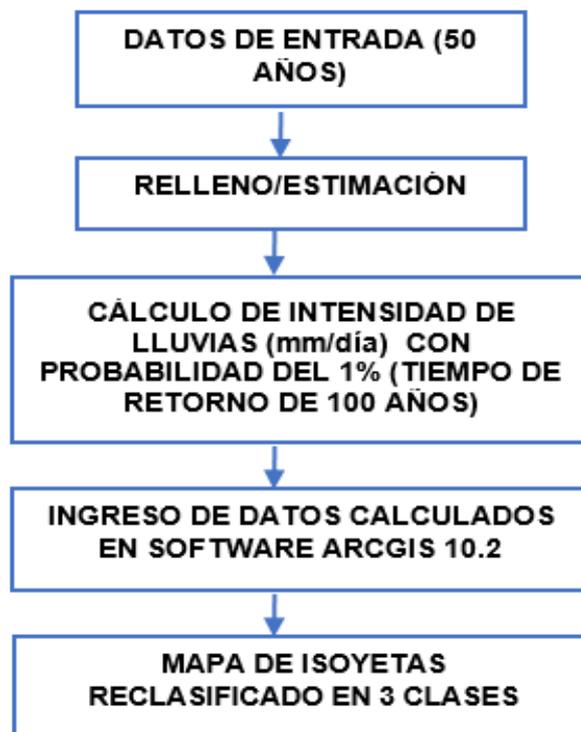
De los cálculos estadísticos efectuados se obtuvo los datos de precipitación para un tiempo de retorno de 100 años con una probabilidad del 1%. Ver **Tabla 64**.

**Tabla 64.** Precipitaciones calculadas para un tiempo de retorno de 100 años.

Estación	Cod	X	Y	Altura (m.s.n.m)	Número de años de la serie	Intensidad de lluvias calculadas (mm/día). Probabilidad del 1% (con tiempo de retorno de 100 años )
La Argelia	M0033	699710	9553629	2160	50	<b>23.36</b>
San Lucas	M0432	693085	9587311	2525	50	<b>22.46</b>
San Francisco	M0503	714075	9561614	1620	50	<b>61.94</b>
Saraguro	M0142	696352	9600544	2525	50	<b>18.39</b>
Zaruma	M0180	654194	9591185	1100	50	<b>36.73</b>

Fuente: El autor, 2016.

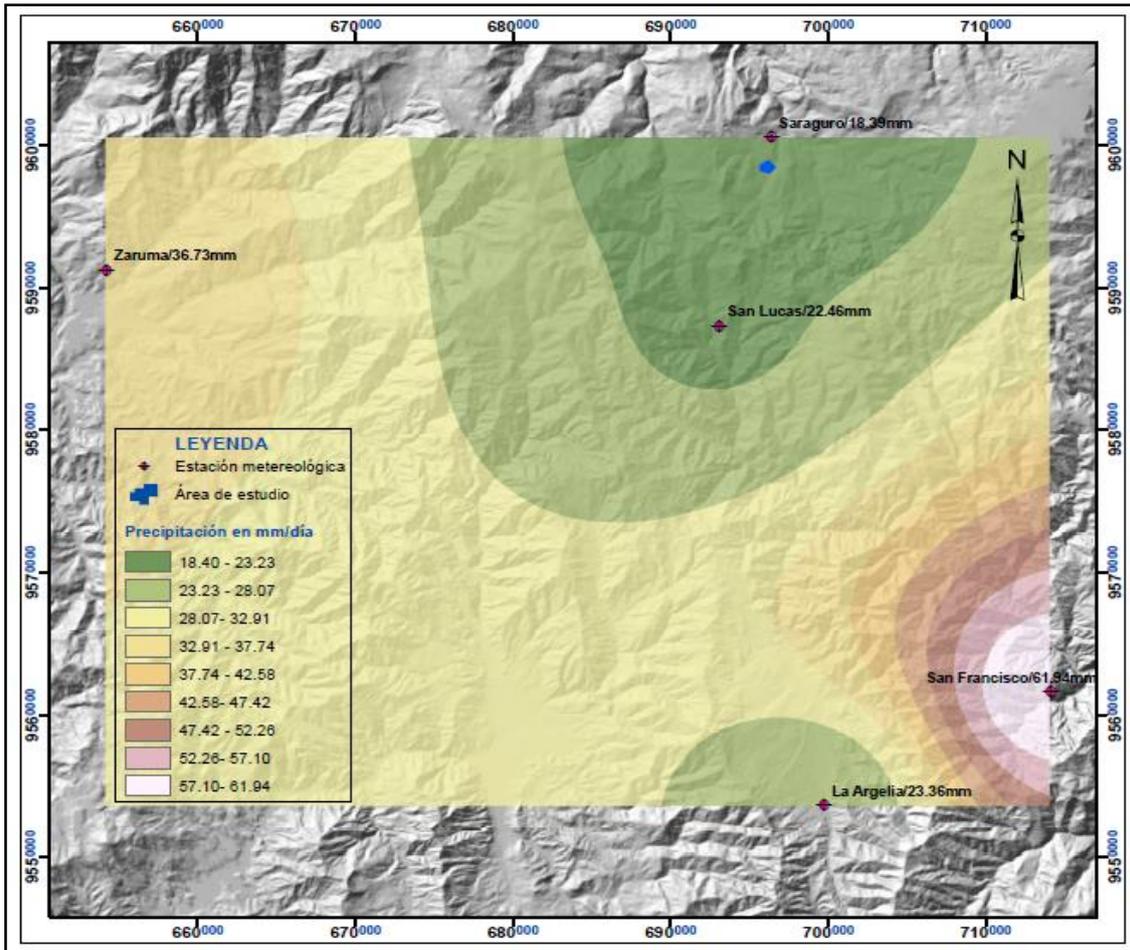
El procedimiento para el mapa de isoyetas se resume en la **Figura 61**.



**Figura 61.** Procedimiento para obtener el mapa de isoyetas.

Fuente: El autor, 2016.

Se expone en la **Figura 62** la ubicación de las 5 estaciones utilizadas con sus respectivos valores de precipitación calculadas para 100 años. La precipitación viene en mm/día o mm/24h.



**Figura 62.** Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas.  
Fuente: El autor, 2016.

**6.2.10.2 Interpretación del mapa de isoyetas**

El mapa final de isoyetas integra tres clases caracterizados de la siguiente manera.

	<b>PRECIPITACIÓN</b>	<b>RANGO (mm/día)</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>(%)</b>
	Baja	18.56-18.65	17.48	26.81
	Media	18.65-18.73	29.04	44.55
	Alta	18.73-18.82	18.68	28.64
	<b>Total</b>		<b>65.2</b>	<b>100</b>

**Figura 63.** Isoyetas del sector Gunudel-Gulagpamba.  
Fuente: El autor, 2016.

Toda la parte norte del sector de estudio está relacionado con una precipitación baja de 18.56 a 18.65 mm/día. Involucra el 26.81% de la superficie total del sector de estudio. Sobre esta zona están asentadas el 35.96% de las viviendas.

Con una precipitación media de rango 18.65 a 18.73 mm/día está la zona céntrica del sector de estudio; la misma que abarcan el 44.55% de la superficie total analizada. En esta zona están asentadas el 43.86% de la viviendas analizadas.

Hacia el norte se sitúa la zona con precipitación alta con un rango de 18.73 a 18.82 mm/día. Ocupa el 28.64% de la superficie total analizada e involucra al 20.18% de las viviendas.

En el **Anexo 15** se expone el mapa de isoyetas a escala 1:4000.

### 6.2.10.3 Obtención del mapa de amenaza por deslizamientos

En el software ArcGis 10.2 mediante el uso de la herramienta calculadora ráster (ráster calculator) se tiene como datos de entrada los rústers de los mapas de susceptibilidad obtenidas por el método multicriterio y el de isoyetas (precipitación).

Se optó por reclasificar en 3 clases; amenaza baja, amenaza media y amenaza alta.

En la **Figura 13** se expone el Model Builder que sintetiza el procedimiento descrito anteriormente.

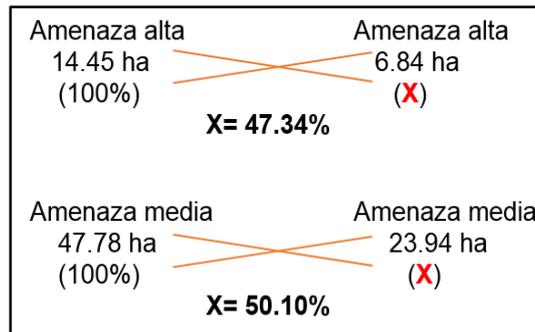
#### a. Correlación amenaza-deslizamientos

Los valores que relacionan las áreas de amenaza media y alta con los deslizamientos se exponen en la **Tabla 65** mediante los cálculos realizados en la **Figura 64**.

**Tabla 65.** Datos de correlación de amenaza y deslizamientos.

Áreas totales (ha)			Área de amenaza en deslizamiento (ha)		Porcentajes (%)	
Amenaza alta	Amenaza media	Deslizamientos	Amenaza alta	Amenaza media	Amenaza alta	Amenaza media
14.45	47.78	30.92	6.84	23.94	47.34	50.10
<b>Total</b>			30.78		97.44	

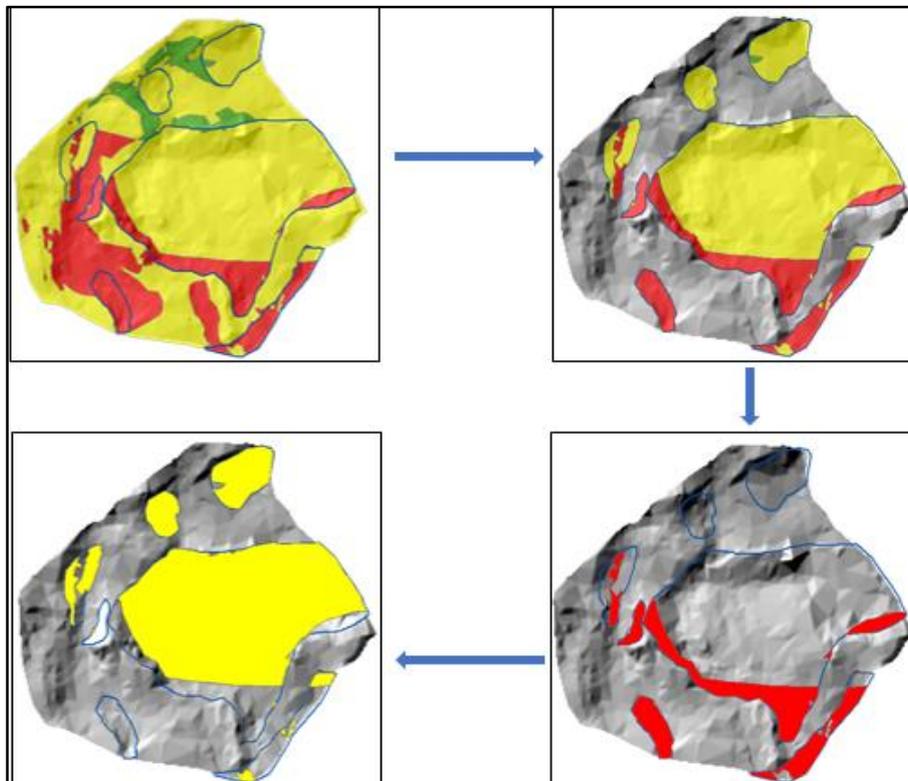
**Fuente:** El autor, 2016.



**Figura 64.** Porcentajes de amenaza alta y media respecto a deslizamientos.  
**Fuente:** El autor, 2016.

El área total de la amenaza alta y media es de 14.45 ha y 47.78 ha respectivamente; y el área total de los 7 deslizamientos es de 30.92 ha. Mediante el análisis se determina que el 47.34% del área de los deslizamientos está sobre la amenaza alta; y el 50.10% está sobre la amenaza media; dándonos un total de 97.44%.

La explicación gráfica del procedimiento descrito se ilustra en las **Figura 65** en donde se expone de fondo el mapa de amenazas (baja, media y alta), los polígonos de azul son los 7 deslizamientos.



**Figura 65.** Procedimiento para correlacionar amenaza-deslizamientos.  
**Fuente:** El autor, 2016.

### 6.2.10.4 Interpretación del mapa de amenaza

El mapa de amenaza integra tres clases caracterizados de la siguiente manera.

	AMENAZA	ÁREA (ha)	(%)	PERÍMETRO
	Baja	2.97	4.56	2.72
	Media	47.78	73.28	11.84
	Alta	14.45	22.16	6.87
	<b>Total</b>	<b>65.2</b>	<b>100</b>	<b>21.43</b>

Figura 66. Amenaza del sector Gunudel-Gulagpamba.

Fuente: El autor, 2016.

Los datos totales de viviendas y habitantes deben ser relacionados con las 3 clases de amenazas.

Tabla 66. Relación amenaza con las viviendas y habitantes.

Datos de entrada		Cálculos				Total		
Total población (u)	290.00	Personas por vivienda (hab/viv)	2.54					
Total viviendas (u)	114.00	Densidad poblacional (hab/ha)	4.45					
Total área de estudio (ha)	65.20	Viviendas por unidad de área (viv/ha)	1.75					
			Nº	%	Nº	%		
Área de amenaza (ha)	 B	2.97	Viviendas por zonas de amenaza (viv/ha)	 B	4.00	3.51	<b>114.00</b>	<b>100.00</b>
	 M	47.78		 M	77.00	67.54		
	 A	14.45		 A	33.00	28.95		
			Personas por zonas de amenaza (hab/ha)	 B	10.00	3.45	<b>290.00</b>	<b>100.00</b>
				 M	196.00	67.59		
				 A	84.00	28.97		

Fuente: El autor, 2016.

- **Amenaza baja**

Son áreas caracterizadas por tener condiciones de susceptibilidad y rango de precipitación baja. Poseen pendientes mayormente de 0 a 30% categorizados como terrenos planos a inclinados; una adecuada cobertura vegetal (60% de pastizal, 15% de arbustos, 15% de y 10% de áreas erosionada).

Geológica y geomorfológicamente está dominado por coluviones de matriz soportado y presenta una mínima red de drenaje artificial.

Estas zonas están concentradas solo en la parte noroeste del sector de estudio ocupando el 4.56% de la superficie total estudiada.

Sobre esta zona se encuentra el 3.51% de las viviendas, el 3.455% de la población total y el 7.02% del total de la longitud de las vías de tercer orden. Ver **Tabla 66**.

- **Amenaza media**

Estas áreas poseen mayormente condiciones de susceptibilidad media con un rango de precipitación de baja a media en gran proporción, y un pequeño porcentaje involucra a la precipitación alta. Poseen pendientes mayormente de 0 a 30% categorizados como terrenos planos a inclinados; una adecuada cobertura vegetal (50% de pastizal, 10% de arbustos, 25% de cultivos anuales y 15% de áreas erosionadas).

Como unidad geomorfológica se evidencia a los coluviones, los deslizamientos, colinas medias y terrenos planos u ondulados. Geológicamente está dominado por coluviones de matriz soportado, limos, limolitas y tobas riolíticas. Presenta una red de drenaje artificial muy densa.

Estas zonas están distribuidas uniformemente por todo el sector de estudio y ocupan el 73.28% de la superficie total estudiada.

En función de la **Tabla 66** se determina que el 67.54% de las viviendas, el 67.59% de la población total, el 96.85% y el 73.09% de las vías de primer tercer orden respectivamente se encuentran en esta zona.

- **Amenaza alta**

Estas áreas poseen mayormente condiciones de susceptibilidad alta con un rango de precipitación media a alta. Poseen pendientes mayormente de 0 a 50% categorizados como terrenos planos a moderadamente escarpados; una adecuada cobertura (60% de pastizal, 10% de arbustos, 15% de cultivos anuales y 15% de áreas erosionada).

Como unidad geomorfológica se evidencia a los deslizamientos, las colinas medias, los terrenos planos u ondulados y valles deposicionales. Geológicamente está dominado por coluviones de matriz soportado, limos y tobas riolíticas y presenta una red de drenaje artificial poco densa.

Estas zonas están distribuidas uniformemente desde el centro hacia el sur del sector de estudio y ocupan el 22.16% de la superficie total estudiada.

Sobre esta zona se encuentran el 28.95% de las viviendas, el 28.97% de la población total, el 3.15% y el 19.89% de la longitud de las vías del primer y tercer orden respectivamente. Ver **Tabla 66**.

En el **Anexo 16** se expone el mapa de amenaza a escala 1:4000.

### **6.2.11 Análisis de vulnerabilidad física**

Para su desarrollo fue necesario realizar el siguiente proceso.

#### **6.2.11.1 Vulnerabilidad física estructural de edificaciones**

Se realizó la caracterización estructural de cada vivienda y su medio circundante, la evaluación de la completitud (Índice de completitud); y finalmente la evaluación de la vulnerabilidad. En este orden los resultados se exponen de la siguiente manera.

##### **a. Caracterización estructural de las viviendas**

Se analizó un total de 114 viviendas y se determinó una población de 290 habitantes. Las viviendas fueron agrupadas en 4 grupos que están en función de su sistema estructural. Además, se consideró el material de las paredes, el número de pisos y su estado de conservación. Se expone las 4 tipologías de viviendas. Ver **Tabla 67 y 68**.

**Tabla 67.** Resultado específico de la tipología de viviendas.

<b>Tipología de las viviendas</b>			
<b>Sistema estructural</b>	<b>Material de paredes</b>	<b>Total viviendas</b>	<b>Porcentaje viviendas (%)</b>
Hormigón armado	Bloque	29	25.44
Hormigón armado	Ladrillo	5	4.39
Estructura metálica	Bloque	1	0.88
Estructura de pared	Adobe	34	29.82
Estructura de pared	Bloque	2	1.75
Estructura de pared	Piedra	1	0.88
Estructura de madera	Adobe	5	4.39
Estructura de madera	Bahareque	28	24.56
Estructura de madera	Bloque	5	4.39
Estructura de madera	Ladrillo	3	2.63
Estructura de madera	Madera	1	0.88
<b>Total</b>		<b>114</b>	<b>100.00</b>

**Fuente:** El autor, 2016.

**Tabla 68.** Resultado general de tipología de viviendas.

<b>Viviendas en función de su sistema estructural</b>		
<b>Tipología</b>	<b>N° viviendas</b>	<b>%</b>
Viviendas de hormigón armado	34	29.82
Viviendas con estructura metálica	1	0.88
Viviendas con estructura de pared	37	32.46
Viviendas con estructura de madera	42	36.84
<b>Total</b>	<b>114</b>	<b>100</b>

Fuente: El autor, 2016.

En el sector de estudio existe el dominio absoluto de las viviendas con estructura de madera, es decir, se determina el 36.84% de la totalidad; seguidamente se tiene que el 32.46% son de estructura de pared; el 29.82% con estructura de hormigón armado y finalmente el 0.88% corresponde a viviendas con estructura metálica.

También se ha determinado que todas ha sido construidos sin ninguna normativa (normas de construcción ecuatoriana) y muchas de ellas ya han sido reparados o reconstruidos tanto en pisos y paredes debido a su mal estado.

En los terrenos circundantes se evidencia agrietamientos desde los 0.03 m hasta los 0.30 m de abertura debido a la presencia de los deslizamientos que abarca grandes áreas.

El uso que se le da a las viviendas se resume en la **Tabla 69**; por lo que es justificable que exista un número de habitantes relativamente baja en relación al número de viviendas.

**Tabla 69.** Uso de las viviendas analizadas.

<b>Usos</b>					
	<b>Habitacional</b>		<b>Otros</b>		
	<b>Cantidad</b>	<b>%</b>	<b>Cantidad</b>	<b>%</b>	
	68	59.65	Educativo	6	5.26
			Religioso	2	1.75
			Comunal	1	0.88
			Bodega	18	15.79
			Desalojada por daños	15	13.16
			Desalojada (dueños viven en el exterior)	4	3.51
<b>Total</b>	68	59.65		46	40.35

Fuente: El autor, 2016.

Lo expuesto anteriormente permite tener un acercamiento e inferir en el grado de vulnerabilidad que puede tener cada una de las tipologías analizadas.

### ***b. Evaluación de la completitud (Índice de completitud)***

Para poder evaluar la vulnerabilidad física; el índice de completitud debe ser mayor al 90%. Se consideró 11 variables (sistema estructural, tipo de material en paredes, tipo de cubierta, sistema de entrepiso, número de pisos, año de construcción, estado de conservación, características del suelo bajo la edificación, topografía, forma de construcción, superficie de construcción).

Todas las viviendas expuestas en cada una de las tipologías ingresan al análisis de vulnerabilidad; pues el índice de completitud es del 100%.

La evaluación de la completitud se expone en el **Anexo digital 2**.

### ***c. Evaluación de la vulnerabilidad física estructural de viviendas (cálculos)***

Para la evaluación de la vulnerabilidad física de las viviendas analizadas se consideró 7 variables. Las variables consideradas son: el sistema estructural, el material en las paredes, el número de pisos, el año de construcción, el estado de conservación, las características del suelo bajo la edificación y la topografía.

Cabe mencionar que las variables e indicadores fueron adaptadas a las características estructurales propias del sector de estudio; tal es el caso del número de pisos que fue considerado solamente un máximo de dos pisos.

Los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad corresponden a los 4 grupos (en función de su sistema estructural) analizados en el apartado de la caracterización estructural de las viviendas.

La evaluación de la vulnerabilidad física estructural de edificaciones se expone en el **Anexo digital 3**.

En las **Tablas 70 y 71** se exponen el resultado de la evaluación de la vulnerabilidad para las 114 viviendas.

**Tabla 70.** Resultado específico de la evaluación de vulnerabilidad.

Tipología de las viviendas		Vulnerabilidad			Total
Sistema estructural	Material de paredes	Baja	Media	Alta	
Hormigón armado	Bloque	3	15	11	29
Hormigón armado	Ladrillo	0	5	0	5
Estructura metálica	Bloque	0	0	1	1
Estructura de pared	Adobe	0	5	29	34
Estructura de pared	Bloque	0	0	2	2
Estructura de pared	Piedra	0	0	1	1
Estructura de madera	Adobe	0	1	4	5
Estructura de madera	Bahareque	1	4	23	28
Estructura de madera	Bloque	1	2	2	5
Estructura de madera	Ladrillo	0	2	1	3
Estructura de madera	Madera	0	0	1	1
<b>Total viviendas</b>		<b>5</b>	<b>34</b>	<b>75</b>	<b>114</b>
<b>Porcentaje (%)</b>		<b>4.39</b>	<b>29.82</b>	<b>65.79</b>	<b>100.00</b>

Fuente: El autor, 2016.

**Tabla 71.** Resultado general de la evaluación de vulnerabilidad.

Tipología	Vulnerabilidad			Total
	Baja	Media	Alta	
Viviendas de hormigón armado	3	20	11	34
Viviendas con estructura metálica	0	0	1	1
Viviendas con estructura de pared	0	5	32	37
Viviendas con estructura de madera	2	9	31	42
<b>Total viviendas</b>	<b>5</b>	<b>34</b>	<b>75</b>	<b>114</b>
<b>Porcentaje (%)</b>	<b>4.39</b>	<b>29.82</b>	<b>65.79</b>	<b>100.00</b>

Fuente: El autor, 2016.

**d. Análisis de la vulnerabilidad física estructural de edificaciones**

De la evaluación de las viviendas se obtiene que el 4.39% de la totalidad tienen una vulnerabilidad baja; seguida de la vulnerabilidad media con el 29.82% y finalmente el 65.79% tienen una alta vulnerabilidad.

Se evidencia que las viviendas que tienen vulnerabilidad baja son aquellas de hormigón armado con pared de bloque y las de bahareque. Los de vulnerabilidad media corresponden mayormente a las de hormigón armado con pared de bloque. En lo que respecta a vulnerabilidad alta se determina que mayormente están las viviendas de adobe, seguida de bahareque y finalmente las de bloque.

La **Fotografía 25** expone las tipologías de viviendas y los grados de vulnerabilidad.



**Fotografía 25.** Tipología de viviendas y sus grados de vulnerabilidad.  
**Fuente:** El autor, 2016.

### 6.2.11.2 Vulnerabilidad física de la red vial

Se realizó la caracterización de la red vial y su medio circundante; y finalmente la evaluación de la vulnerabilidad. En este orden los resultados se exponen de la siguiente manera.

#### a. Caracterización de la red vial

Con la aplicación de la ficha (**Anexo digital 1**) se levantó información de campo con la finalidad de caracterizar la red vial y determinar una tipología de cada uno de ellas. Esta tipología sirvió para evaluar de manera más acertada el grado de vulnerabilidad de las mismas. La evaluación de la vulnerabilidad física de las vías se expone en el **Anexo digital 3**.

En la **Tabla 72** se expone las características de las 2 tipologías de red vial.

**Tabla 72.** Tipología de red vial (Panamericana).

Red Vial-Panamericana					
Tramo	Material de construcción	Estado de revestimiento	Mantenimiento	Estándares de diseños y construcción	Longitud (km) y ancho (m)
1	Pavimento flexible	Regular	Esporádico	Versión anterior al 2002	0.308; 13
2	Lastre	Malo	Ninguno	Versión anterior al 2002	0.263; 6

**Fuente:** El autor, 2016.

De lo expuesto en la **Tabla 72** se determina que la antigua panamericana Loja-Cuenca se encuentra dividida en dos tramos debido al accionar de los deslizamientos. La primera con una longitud de 0.308 km de pavimento flexible en las que su estado de revestimiento está catalogado como regular, el mantenimiento es de forma esporádica y ha sido construido aplicando la normativa anterior a la emitida por el Ministerio de Obras Públicas del Ecuador (MOP) en el 2002. Presenta daños estructurales moderados tanto en la carpeta asfáltica y cunetas; además, se evidencia hundimientos y cortes de vía.

El segundo trayecto con una longitud de 0.263 km lastrado, con un estado de revestimiento malo, no tiene ningún tipo de mantenimiento. Presenta daños estructurales muy serios tanto en la carpeta asfáltica y cunetas; además, es normal zonas en los que se evidencia hundimientos y cortes de vía.

En resumen, se determina que actualmente se encuentra deshabilitada por daños; pero es usado esporádicamente para el tránsito de vehículos, motocicletas y personas. Cubre un 56 % del sector de estudio.

**Tabla 73.** Tipología de red vial (Tercer orden).

Red Vial-Tercer Orden				
Material de construcción	Estado de revestimiento	Mantenimiento	Estándares de diseños y construcción	Longitud (km) y ancho (m)
Lastre	Malo	Esporádico	No aplica normativa	2.75; 6

Fuente: El autor, 2016.

Las vías internas del sector de estudio; tiene una longitud total de 2.75 km, actualmente se encuentra lastrada con un estado de revestimiento catalogado como malo, el mantenimiento es de forma esporádica y ha sido construido sin ninguna normativa. Presenta daños estructurales muy serios tanto en la carpeta asfáltica y cunetas; además, los hundimientos y cortes de vía debido a los deslizamientos que imperan son normales en casi toda la longitud analizada.

#### **b. Evaluación de la vulnerabilidad física de la red vial (cálculos)**

En la caracterización de la red vial se expuso que la antigua panamericana que atraviesa el sector de estudio tiene una longitud total de 0.571 km y que debido a los deslizamientos ha quedado dividida en dos tramos con características diferentes.

De lo anterior se resume en la **Tabla 74 y 75**.

**Tabla 74.** Vulnerabilidad física de la red vial (Panamericana).

Tipología de red vial-Panamericana		Vulnerabilidad		
Tramo	Material de construcción	Baja	Media	Alta
1	Pavimento flexible	0	1	0
2	Lastre	0	0	1
<b>Total Vías</b>		<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Porcentaje (%)</b>		<b>0.00</b>	<b>53.94</b>	<b>46.06</b>

Fuente: El autor, 2016.

**Tabla 75.** Vulnerabilidad física de la red vial (Tercer Orden).

Tipología de red vial-Tercer Orden		Vulnerabilidad		
Material de construcción		Baja	Media	Alta
Lastre		0	0	1
<b>Total Vías</b>		<b>0</b>	<b>0.00</b>	<b>1</b>
<b>Porcentaje (%)</b>		<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: El autor, 2016.

**c. Análisis de vulnerabilidad física de la red vial**

De lo expuesto en las **Tabla 74 y 75** se determina que el 53.94% (tramo uno de 0.308 km) de la antigua panamericana tiene una vulnerabilidad media; mientras que el 46.06% (tramo dos de 0.263 km) tiene una vulnerabilidad alta. En los que respecta a la vía de tercer orden, se determina que el 100% de su longitud (2.75 km) tiene una vulnerabilidad alta.

La **Fotografía 26** expone lo expuesto anteriormente.

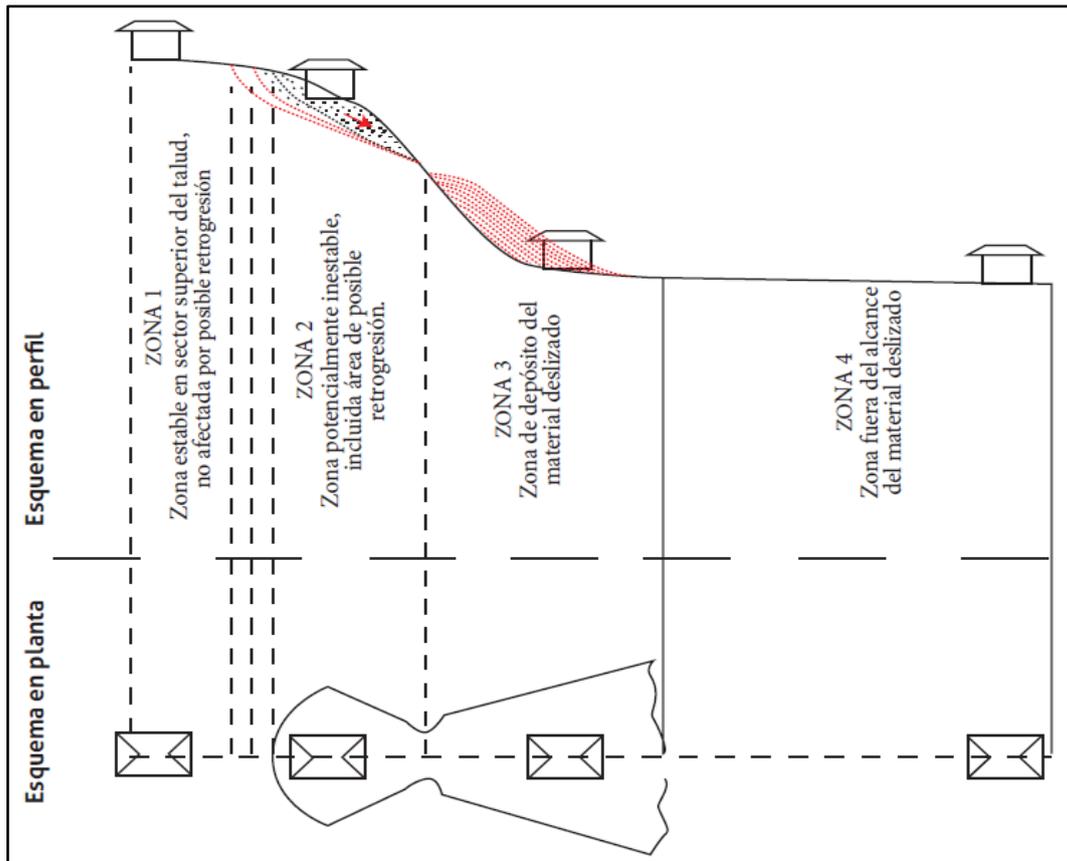


**Fotografía 26.** Tipología de vías y sus grados de vulnerabilidad.  
**Fuente:** El autor, 2016.

### 6.2.11.3 Caracterización de los elementos expuestos

Siguiendo la premisa de que; *no se es vulnerable sino se está expuesto*, es necesario determinar el grado de exposición de los elementos de riesgo (viviendas y vías) en relación a los deslizamientos antes identificados y caracterizados.

La **Figura 67** y la **Tabla 76** relacionan lo expuesto anteriormente.



**Figura 67.** Zonas de exposición de los elementos ante un deslizamiento.

**Fuente:** Servicio Geológico Colombiano, 2013.

**Tabla 76.** Zonas o escenarios de exposición.

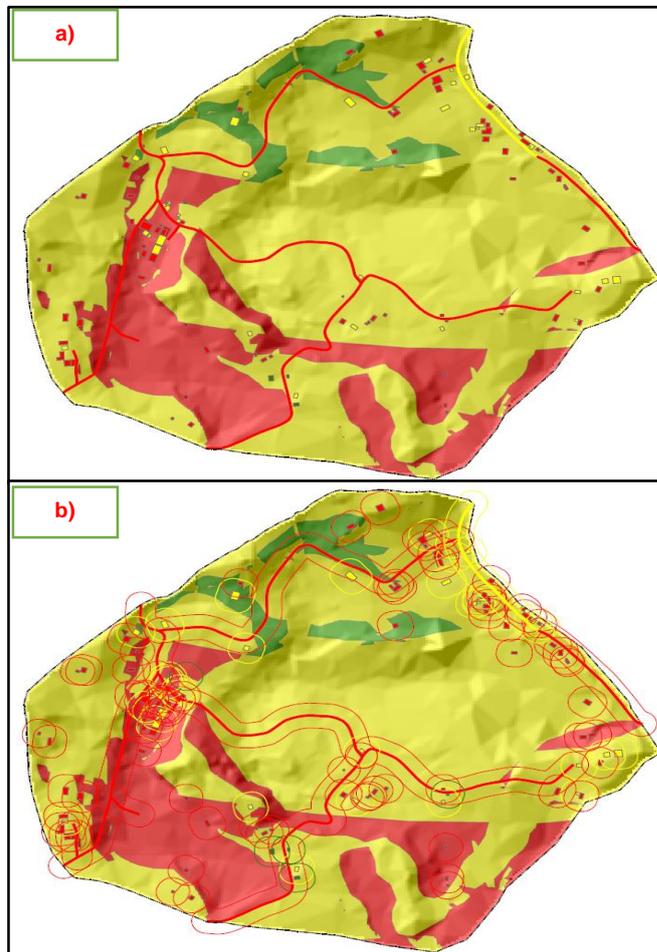
Zona	Descripción	Viviendas (u)	Vías (km)
1	Elementos ubicados sobre la zona estable en la parte superior del talud, sin posibilidad de afectación por retrogresión.	17	0.250
2	Elementos ubicados sobre una ladera potencialmente inestable o potencialmente afectados por efectos de retrogresión.	27	0.189
3	Elementos ubicados en la trayectoria del movimiento en masa o en la zona de depósito del material deslizado.	54	1.806
4	Elementos fuera del alcance del movimiento en masa y su área de depósito.	16	1.076
<b>Total</b>		<b>114</b>	<b>3.321</b>

**Fuente:** Modificado a partir del Servicio Geológico Colombiano, 2013.

#### 6.2.11.4 Evaluación de la vulnerabilidad física final

Una vez obtenido la vulnerabilidad física de las viviendas y de la red vial fue necesario determinar la vulnerabilidad final que será representado en un mapa. Para ello se realizó la comparación entre el mapa de amenazas y los resultados de las vulnerabilidades calculadas.

En a) de la **Figura 68** se expone de fondo el mapa de amenazas en sus tres clases (baja, media y alta); los polígonos pequeños representan la vulnerabilidad (baja, media y alta) calculada de las viviendas; y, los polígonos alargados, representan la vulnerabilidad (media y alta) calculada de las vías. En b) de la **Figura 68** se expone los buffers (área de influencia) de 25 metros realizados a cada uno de las vivienda y vías.



**Figura 68.** Procedimiento para obtener el mapa de amenazas.  
**Fuente:** El autor, 2016.

En este procedimiento se considera el criterio del autor para determinar coherentemente los distintos polígonos de vulnerabilidad final.

Para determinar la vulnerabilidad final se utilizó la relación que se expone en la **Tabla 77**. Por ejemplo; si la amenaza es alta y la vulnerabilidad de las viviendas o vías es media, la vulnerabilidad final será alta.

**Tabla 77.** Matriz para obtener la vulnerabilidad final.

		Vulnerabilidad final		
		Baja	Media	Alta
Amenaza	Baja	Baja	Media	Alta
	Media	Media	Media	Alta
	Alta	Alta	Alta	Alta
		Baja	Media	Alta
		Vulnerabilidad calculada		

Fuente: El autor, 2016.

#### 6.2.11.5 Interpretación del mapa de vulnerabilidad física final

El mapa de vulnerabilidad integra tres clases caracterizados de la siguiente manera.

VULNERABILIDAD			
	ÁREA (ha)	(%)	
■	Media	7.97	12.22
■	Alta	57.23	87.78
<b>Total</b>		<b>65.2</b>	<b>100</b>

**Figura 69.** Vulnerabilidad física del sector Gunudel-Gulagpamba

Fuente: El autor, 2016.

Conociendo los datos expuestos en la **Tabla 78** es necesario la relación del total de viviendas y habitantes con las 2 clases de vulnerabilidad.

**Tabla 78.** Relación vulnerabilidad final con las viviendas y habitantes.

Datos de entrada		Cálculos				Total	
Total población (u)	290.00	Personas por vivienda (hab/viv)	2.54				
Total viviendas (u)	114.00	Densidad poblacional (hab/ha)	4.45				
Total área de estudio (ha)	65.20	Viviendas por unidad de área (viv/ha)	1.75				
			Nº	%	Nº	%	
Área de vulnerabilidad (ha)	M	7.97	Viviendas por zonas de vulnerabilidad (viv/ha)	M	22.00	19.30	<b>114.00</b> <b>100.00</b>
	A	57.23		A	92.00	80.70	
			Personas por zonas de vulnerabilidad (viv/ha)	M	56.00	19.31	<b>290.00</b> <b>100.00</b>
				A	234.00	80.69	

Fuente: El autor, 2016.

- **Vulnerabilidad media**

Cubren el 12.22% de la superficie total y está disperso por todo el sector de estudio.

Tras el análisis y cálculo; las viviendas y vías están encasilladas dentro de baja y media vulnerabilidad (debido a sus características estructurales, características del suelo, pendientes, etc.) que sumado a la amenaza media dieron como resultado una vulnerabilidad final media. Las características de la amenaza media fueron expuestas en apartados anteriores, por lo que está demás su reiteración.

Es necesario enfatizar que dentro de esta zona se evidencia viviendas mayormente de hormigón armado, seguida de bahareque y finalmente las de adobe con un estado de conservación bueno a aceptable ubicados en pendientes planas a levemente inclinadas y en áreas firmes y/o secas. Se determina que el 19.30% de la totalidad de viviendas analizada se encuentra en esta zona.

En función de sus características; las vías internas (tercer orden) están dentro de esta zona en un 23.42% de su longitud y la antigua panamericana un 26.27% de su longitud total.

Así mismo mediante los cálculos efectuados en la **Tabla 78** se estima que el 19.31% de la población están asentadas en zonas de mediana vulnerabilidad.

- **Vulnerabilidad alta**

Esta categoría es la predominante y está distribuido homogéneamente por todo el sector de estudio. Cubren el 87.78% de la superficie total estudiada.

Tras el análisis y cálculo; las viviendas y vías están encasilladas dentro de media y alta vulnerabilidad (debido a sus características estructurales, características del suelo, pendientes, etc.) que sumado a la amenaza alta dieron como resultado una vulnerabilidad final alta. Las características de la amenaza alta fueron expuestas en apartados anteriores.

Es necesario enfatizar que dentro de esta zona se evidencia viviendas mayormente de adobe, seguida de bahareque y finalmente las de hormigón armado con un estado de conservación malo ubicados en pendientes de media a fuertes y en áreas húmedas.

Se determina que el 80.70% de la totalidad de las viviendas analizadas se encuentran en esta zona.

En función de sus características; las vías internas (tercer orden) están dentro de esta zona en un 76.58% de su longitud y la antigua panamericana un 73.73% de su longitud total.

Así mismo mediante los cálculos efectuados en la **Tabla 78** se estima que el 80.69% del total de los habitantes están asentados en zonas de alta vulnerabilidad.

El mapa de vulnerabilidad física a escala 1:4000 se expone en el **Anexo 17**.

### 6.2.12 Evaluación de riesgos

El mapa de riesgo integra tres clases caracterizados de la siguiente manera.

	<b>RIESGO</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>(%)</b>
	Bajo	13.63	20.90
	Medio	3.67	5.63
	Alto	47.90	73.46
	<b>Total</b>	<b>65.2</b>	<b>100</b>

**Figura 70.** Riesgo del sector Gunudel-Gulagpamba.

Fuente: El autor, 2016.

Conociendo los datos expuestos en la **Tabla 79**; es necesario la relación del total de viviendas y habitantes con las 3 clases de riesgo

**Tabla 79.** Relación riesgo con las viviendas y habitantes.

Datos de entrada		Cálculos				Total		
Total población (u)	290.00	Personas por vivienda (hab/viv)	2.54					
Total viviendas (u)	114.00	Densidad poblacional (hab/ha)	4.45					
Total área de estudio (ha)	65.20	Viviendas por unidad de área (viv/ha)	1.75					
			Nº	%	Nº	%		
Área de riesgo (ha)	 B	13.63	Viviendas por zonas de riesgo (viv/ha)	 B	30.00	26.31	114.00	100.00
	 M	3.67		 M	4.00	3.51		
	 A	47.90		 A	80.00	70.18		
			Personas por zonas de riesgo (hab/ha)	 B	76.00	26.21	290.00	100.00
				 M	10.00	3.45		
				 A	204.00	70.34		

Fuente: El autor, 2016.

- **Riesgo bajo**

Son las áreas que presentan una baja probabilidad de ocurrencia de deslizamientos y afectación a los elementos de riesgo. Caracterizado por presentar una amenaza de baja a media y una vulnerabilidad de media a alta; y no están relacionados directamente con zonas de deslizamiento en la actualidad.

Representa el 20.90% del territorio y están concentrados al sur y sureste del sector de estudio. Sobre esta zona están edificados el 26.32% de las viviendas; y en lo referente a los habitantes; el análisis de la **Tabla 79** permite estimar que el 26.21% de la población vive en esta zona.

El 24.8% de las vías internas (tercer orden) están dentro de esta zona

- **Riesgo medio**

Son las áreas dentro del territorio con baja probabilidad de ocurrencia de deslizamientos y afectación a la población, viviendas y la red vial. Esta caracterizado por presentar una amenaza y vulnerabilidad media. Estas áreas están relacionados directamente con zonas de deslizamiento en la actualidad.

El riesgo medio abarca el 5.63% del territorio y están presentes al noroeste en gran proporción y áreas pequeñas y dispersas al sur del sector de estudio. Sobre esta zona esta edificado el 3.51% de la totalidad de las viviendas; y en lo referente a los habitantes; el análisis de la **Tabla 79** permite estimar un que el 3.45% de la población está situado en esta zona.

El 10% de las vías internas (tercer orden) están dentro de esta zona-

- **Riesgo alto**

Poseen una alta probabilidad de ocurrencia de deslizamientos y afectación a la población, viviendas y la red vial. Esta caracterizado por presentar una amenaza y vulnerabilidad de media a alta. Actualmente están relacionados directamente con zonas de deslizamiento.

Cubre el 73.46% del territorio y están dispersos homogéneamente por todo el sector de estudio. Sobre esta zona se encuentra el 70.18% de las viviendas, el 65.2 % de las vías internas (tercer orden) y el 100% de la longitud de la antigua panamericana.

Según el análisis de la **Tabla 79** se estima que el 70.34% de la población están asentadas en esta zona.

En el **Anexo 18** se expone el mapa de riesgo por deslizamientos a escala 1:4000.

## 7. DISCUSIÓN

El sector de Gunudel - Gulagpamba está ubicada al sur del Ecuador; pertenece a la parroquia urbana Saraguro del cantón del mismo nombre, de la provincia de Loja. Específicamente se encuentra ubicada a 1.5 km al sureste del casco urbano de la parroquia Saraguro.

El sector de estudio topográficamente presenta un desnivel de 116 m y está dominado por fuertes escalonamientos y ondulaciones dispersas debido a la presencia de deslizamientos. Las cotas mínimas y máximas son 2448 m.s.n.m y 2564 m.s.n.m respectivamente.

Mayormente presenta pendientes de 0 a 15% denominadas como terrenos planos a casi planos y en una proporción inferior están las pendientes >75% denominados como muy escarpados.

Geológicamente está dominada por depósitos superficiales (Cuaternario) en los que constan los coluviones, limolitas y material fino (limos y arcillas) provenientes de la disgregación, transporte y deposición de las tobas riolíticas de la Fm. Saraguro (Eoceno). Los coluviones son matriz soportado con clastos de riolita y andesita porfirítica desde los 0.02 m hasta grandes bloques de diámetros mayores a 1 m sostenidas por una matriz limo arenosa de coloración gris-amarillenta a veces hasta rojiza debido a su gran oxidación.

En relación al uso actual de suelos se determina la predominancia de pastizales, cultivos y arbustos; seguido de áreas erosionadas y finalmente zonas de infraestructura (viviendas y vías). Para cada uno de estas se ha determinado diferentes grados de aportación para la ocurrencia de deslizamientos; es decir, las zonas de pastizales y cultivos presentan un sistema de riego deficiente (mala canalización y direccionamiento) que ocasiona el aumento de humedad y la saturación de los suelos; las zonas erosionadas facilitan la infiltración rápida y la saturación de suelos; y finalmente la zonas de infraestructura que poseen una mala canalización de las aguas servidas.

Tras las investigaciones en el campo se ha determinado la presencia de 7 deslizamientos de tipo rotacional que involucran grandes áreas (el mayor posee 23.31 ha) y comprometen muchos elementos de riesgo (vías, viviendas, población). Estos deslizamientos están relacionados a los movimientos tectónicos, litología con sus características, la precipitación y las actividades antrópicas (irrigación, mantenimiento deficiente de drenajes) mayormente.

Geomorfológicamente se ha determinado la presencia de 6 formas de relieve: valle deposicional, llanuras planas a onduladas, deslizamientos, coluvial antiguo, colina baja y colina media; cada uno con diferentes grados de aportación a la inestabilidad de taludes y/o laderas.

Como secuencia de esta investigación fue necesario la determinación de la susceptibilidad a deslizamientos con la aplicación del método multicriterio y el uso de cuatro variables jerarquizadas y asignadas sus pesos correspondientes; es así: geomorfología (0.470), la geología (0.262), las pendientes (0.208) y el uso actual de suelo (0.036) dando como resultado 3 clases de susceptibilidad (baja, media y alta) con el dominio de la susceptibilidad alta distribuidas mayormente hacia el suroeste del sector de estudio.

Considerando las precipitaciones como el evento detonante para la ocurrencia de deslizamientos; se obtuvo el mapa de isoyetas que sumado a la susceptibilidad dieron como resultado 3 niveles de amenaza (baja, media y alta) en el que se determina la supremacía de la amenaza media distribuida uniformemente por todo el sector de estudio.

Determinado las características de las edificaciones y vías; así como las características de su medio circundante se realizó la evaluación de la vulnerabilidad física con el empleo de variables e indicadores correctos. Resultado de lo anterior se obtiene 2 niveles de vulnerabilidad (media y alta) en el que se ha determinado el dominio de la vulnerabilidad alta distribuido homogéneamente por todo el sector de estudio. Esta vulnerabilidad compromete viviendas de adobe y bahareque mayormente y las vías de tercer orden.

Como el paso final de esta investigación se determinó el riesgo por deslizamiento con la consideración y suma de la amenaza y vulnerabilidad dando como resultado 3 niveles de riesgo (bajo, medio y alto) con la predominancia de riesgo alto dispersos homogéneamente por todo el sector de estudio.

La secuencia descrita anteriormente hizo necesaria la ejecución de una campaña geotécnica mediante la aplicación de 5 líneas SEV (profundidad mínima de 3.67 m y máxima de 7.90 m) y 2 puntos SPT (6 m de profundidad cada uno) con la finalidad de obtener información geo-científica que caracterice física y mecánicamente los geomateriales.

Esta caracterización permitió determinar y zonificar áreas estables con características geológica-geotécnicas propicias para la construcción de obras civiles; es decir, se ha determinado la presencia del nivel freático (N.F) a una profundidad mayor a los 6 m y cargas admisibles mayores a los primeros 2 metros (unidad geotécnica N° 1) con 2.06 Kg/cm<sup>2</sup> y mayores a los 2 últimos metros (unidad geotécnica N° 2) con 2.70 Kg/cm<sup>2</sup>.

Realizado los cálculos correspondientes se determina construcciones de viviendas de 2 pisos con cimentación a los 2 metros de profundidad, zapatas de 1.5 m x 1.5 m para la unidad geotécnica N° 1 y viviendas de 1 piso con cimentación a los 2 metros de profundidad y zapatas de 1.5 x 1.5 m para la unidad geotécnica N° 2.

Con los cálculos del factor de seguridad de los 7 deslizamientos se ha determinado que en condiciones reales (grado de saturación) todos presentan valores desfavorables por lo que es necesario implementar las adecuadas medidas de estabilización y control.

## 8. CONCLUSIONES

- El levantamiento topográfico a detalle con escala 1:4000 comprende un área total de 65.2 ha y un perímetro de 3.09 km en el que se encuentran cotas desde los 2448 m.s.n.m. en las partes más bajas hasta los 2564 m.s.n.m. en las partes más altas.
- Tras el levantamiento geológico se determina la presencia de toba riolítica pertenecientes a la Fm. Saraguro (Eoceno) de textura piroclástica que ocupa el 12.44% de la superficie. Seguidamente están los depósitos superficiales (cuaternario) tales como los coluviones con una superficie de 66.81%, las limolitas con superficie del 0.81% y finalmente los limos y arcillas con el 19.94%.
- Como pendientes características se determina la supremacía de terrenos planos a inclinados con pendientes de 0 a 30% que ocupan una superficie de 76.06%. El 23.94% de la superficie las ocupan terrenos moderadamente escarpados a muy escarpados con pendientes del 30 a >75%.
- En relación al uso actual de suelos se determina que la vegetación herbácea y cultivos ocupan una superficie de 76.75%, seguida de zonas erosionadas con el 9.19%, zonas de arbustos con el 8.24% y las zonas de infraestructura (vivienda y vías) con el 5.83%.
- En la descripción geomorfológica se ha determinado 6 geoformas en las que se evidencia mayor presencia de relieves de deslizamiento con el 47.42%, seguida del coluvial antiguo con el 23.55%, el valle deposicional con el 9.05%, llanuras planas a onduladas con el 7.15% y finalmente las colinas (baja y media) con el 9.80% de la superficie total.
- Se han identificado 7 deslizamientos del tipo rotacional; de las cuales el deslizamiento activo D-G-01 ubicado en la parte céntrica del sector de estudio presenta una superficie de afectación de 23.31 ha e involucra a 21 viviendas y un total de 1.39 Km de la red vial. Este deslizamiento es el más grande y tiene mayor implicación sobre los elementos de riesgo.

- Mediante la aplicación de las 5 líneas de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) se obtuvo como resultados la presencia de arcillas y limos húmedos con resistividades de 13.1 a 18  $\Omega$ .m y de 20 a 43.9  $\Omega$ .m respectivamente. De la relación de las resistividades y la profundidad de sondeo máximo se determina la presencia del nivel freático a 7.90 m de profundidad a excepción de la línea 5 cuyo nivel freático está a los 3.67 m de profundidad.
- En función del número de SPT se determina 2 unidades geológica-geotécnicas con una clasificación de 6 a 7.5 puntos denominados como aceptable con restricciones.
- En la unidad geotécnica N° 1, las arcillas de mediana plasticidad (CL) tienen un incremento de la capacidad portante pasando de 0.92 a 2.06 Kg/cm<sup>2</sup> del primer al segundo metro de profundidad. Para las arenas limosas (SM) se determina un decremento considerable de la capacidad portante en relación al que posee en el segundo metro; es decir, de 2.06 a 1.31 Kg/cm<sup>2</sup> al tercer metro lo que evidencia la presencia de una capa de material poco o nada competente como la turba por ejemplo. A partir del tercer metro hay un incremento de 1.31 Kg/cm<sup>2</sup> a 1.86 Kg/cm<sup>2</sup> en función de la profundidad hasta llegar a los 6 m.
- En la unidad geotécnica N° 2, los limos de alta compresibilidad (MH1) tienen un incremento mínimo de la capacidad portante pasando de 0.92 a 1.55 Kg/cm<sup>2</sup> del primer al segundo metro; pero se evidencia un decremento mínimo al tercer metro (SC) pasado de 1.55 a 1.27 Kg/cm<sup>2</sup> debido a la presencia de una capa de material poco o nada competente como la turba por ejemplo. A partir del tercer metro hay un incremento notorio para los suelos tipo SM pasando de 1.89 Kg/cm<sup>2</sup> a 2.70 Kg/cm<sup>2</sup> en función de la profundidad hasta llegar a los 6 m.
- En la unidad geotécnica N° 1 se determina que la capacidad portante más alta se ubica en el segundo metro (CL); mientras que en la unidad geotécnica N° 2 está ubicada en los 2 últimos metros (SM).
- Relacionando la consistencia relativa (CR), índice de liquidez (IL) y el factor (A) se especifica que las 2 unidades geológicas-geotécnicas dan como resultado suelos inactivos del tipo caolinita con una plasticidad media y una expansividad de nula a moderada, preconsolidados, de consistencia media y con una resistencia a la compresión inconfiada ( $q_u$ ) de 1.0-5.0 kg/cm<sup>2</sup>.

- Para los suelos del sector se determina un asentamiento total (St) creciente conforme se incrementa la base de cimentación (B) y la profundidad; es así, que para los primeros 2 metros se tiene un St de 0.70 a 0.91 cm y a los 2 últimos metros se tiene un St de 1.39 a 1.81 cm.
- Con el factor de seguridad calculados mediante el ábaco (N° 3) de Hoek y Bray y mediante el método del talud infinito (saturación al 100%); el 100% de los deslizamientos no cumplen con la condición de tener un  $F.S \geq 1.7$  (cuando pueden ocurrir pérdidas de vidas humanas).
- En la unidad geotécnica N° 1 se puede construir viviendas de 1 a 3 pisos a cualquier profundidad con un área de cimentación (A) mayor o igual a 2.25 m<sup>2</sup>.
- En la unidad geotécnica N° 2, las viviendas de 1 piso se pueden construir a cualquier profundidad; para viviendas de 2 pisos sólo se puede cimentar desde los 4 m en adelante y para viviendas de 3 pisos sólo se puede cimentar en los últimos 2 m. Estas construcciones deben tener un área de cimentación mayor o igual a 2.25 m<sup>2</sup>.
- Para el mapa de susceptibilidad se usó el método multicriterio que integra 4 variables y sus pesos relativos tales como: geomorfología (0.470), la geología (0.262), las pendientes (0.208) y el uso actual de suelo (0.036) llegando a tener 3 clases de susceptibilidad; la baja con el 24.11%, la media con 54.22% y la alta con 21.67% de la superficie total del sector estudiado.
- Para el mapa de amenaza se tomó como evento detonante a las precipitaciones y se realizó cálculos con 5 estaciones meteorológicas considerando sus precipitaciones máximas en mm/día para determinar la intensidad de lluvias en un periodo de retorno de 100 años con una probabilidad del 1%. El mapa de amenazas obtenido integra 3 clases; la baja que ocupa el 4.56%, la media con el 73.28% y la alta con el 22.16% de la superficie total del sector de estudio.
- De la caracterización de las edificaciones se argumenta que existe 114 viviendas clasificadas en 4 tipologías según su sistema estructural y que relaciona a 290 habitantes. De ahí, se especifica que el sector de estudio tiene una densidad poblacional de 4.45 (4) habitantes por hectárea, habitan 2.54 (2) personas por vivienda y tiene 1.75 (2) viviendas por hectárea.

- En el sector de estudio existe el dominio absoluto de las viviendas con estructura de madera con el 36.84% de la totalidad; seguidamente se tiene las de estructura de pared con el 32.46%, el 29.82% con estructura de hormigón armado y finalmente el 0.88% corresponde a viviendas con estructura metálica.
- De la evaluación de las viviendas se obtiene que el 4.39% de la totalidad tienen una vulnerabilidad baja (hormigón armado y bahareque); seguida de la vulnerabilidad media (hormigón armado) con el 29.82% y finalmente el 65.79% tienen un alta vulnerabilidad (adobe, bahareque y bloque).
- Para determinar la vulnerabilidad de las edificaciones se consideró las características estructurales de las mismas y las del medio circundantes; es decir, viviendas de hormigón armado con estado de conservación buenas pero en suelos húmedos y en pendientes altas dan como resultado una vulnerabilidad media o alta.
- Respecto a la red vial del sector de estudio se especifica la existencia de 2 tipologías; la de primer orden (antigua panamericana) de pavimento flexible y lastre porque está dividida en 2 tramos con una longitud total de 0.57 Km; y la de segundo orden (vías internas) de lastre con una longitud total de 2.75 Km. Al evaluar la red vial se obtiene como resultado una vulnerabilidad media y alta para las de primer orden (2 tramos) y alta para las de segundo orden.
- De la exposición de los elementos de riesgo se especifica que 81 viviendas y 1.99 Km de la red vial están ubicados en la trayectoria o zona de deposición de los deslizamientos.
- Integrando la vulnerabilidad de edificaciones y de la red vial se determina la vulnerabilidad final con 2 clases; la media con el 12.22% y la alta con el 87.78% de la superficie estudiada.
- El mapa de riesgo obtenido integra 3 clases; el riesgo bajo con el 20.90%, el medio con el 5.63% y el alto con el 73.46% de la superficie del sector Gunudel-Gulagpamba.

## 9. RECOMENDACIONES

- Los trabajos primarios de campo y oficina deben ser realizados y analizados de manera técnica, ordenada, coherente y relacionable con la finalidad de obtener datos confiables de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo.
- En el análisis de la susceptibilidad considerar la mayor cantidad de variables estáticas (humedad, dirección de pendiente) y dinámicas (eventos sísmicos) para obtener un resultado más integro.
- Las actividades generadores de inestabilidad (sistemas de riego, mala canalización y tratamiento de aguas servidas), la excavación en pie de taludes y/o laderas y cargas en corona de ladera deben ser corregidas.
- Realizar un análisis de estabilidad detallado para cada uno de los deslizamientos con la finalidad de determinar el factor de seguridad por el método correcto e integrar factores dinámicos en sus cálculos.
- Realizar el cálculo del factor de seguridad considerando el peor de los escenarios posibles con el objeto de proponer las diferentes medidas de estabilización y control.
- El desarrollo de los SEV y SPT debe obedecer a objetivos específicos, cumplir requisitos y estar estrechamente relacionados con la finalidad de obtener información geo-científica válida y comparable.
- Realizar estudios geotécnicos más detallado y con una malla de investigación en función de las necesidades constructivas del sector.
- A más de considerar los esfuerzos verticales, considerar lo esfuerzos horizontales.
- Considerar que las deformaciones de los suelos sean admisibles y que los asentamientos diferenciales (magnitud y velocidad) en suelos arcillosos sean los mínimos.

- En las 2 unidades geológicas-geotécnicas, el ángulo de talud recomendado para secciones en terraplén es de 1.8H:1V a 2H: 1V para alturas menores a 5 m y para taludes en corte se recomienda ángulos de 1.2H:1V a 1.5H:1V.
- Para construcciones seguras se debe cimentar a los 2 m de profundidad con 2.25 m<sup>2</sup> de área mínimo para las zapatas y el número de pisos es de 1 a 2 para la unidad geológica- geotécnica N° 1 y de solo 1 piso para la unidad geológica-geotécnica N° 2.
- A demás de considerar la valoración geológica-geotecnia a la hora de cimentar; se debe tener presente lo siguiente: Normativa de Construcción Ecuatoriana actual, profundidad del nivel freático, adecuadas instalaciones hidrosanitarias, sistema de drenajes dirigidos y aplicados según normativas, drenaje (superficiales y profundos) adecuados y en función de régimen secos o lluviosos y la profundidad del nivel freático, estabilización y control (cal, cemento o polímeros) de suelos arcillosos deficientes desde el punto de vista geotécnico, mejoramiento y adecuada compactación de suelos, impermeabilización (geomembrana) total o parcial de cimentaciones, no construir en zonas afectadas por deslizamientos, en casos especiales establecer muros (flexibles) de contención en base a criterios técnicos.
- Las zonas con los diferentes grados de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo deben ser relacionado con los elemento de riesgo (edificaciones, red vial, población) para la correcta toma de decisiones.
- Las áreas de amenaza media y alta deben ser relacionados con las áreas de deslizamiento para determinar la idoneidad del método utilizado.
- Las viviendas que presentan media y alta vulnerabilidad deben ser considerados para su desalojo.
- Para construcciones en áreas determinadas de riesgo dar cumplimiento a la normativa de construcción vigente y elaborar estudios geotécnicos detallados para cada uno.

- Los resultados técnicos obtenidos en esta investigación deben ser considerados bajo criterio responsable para la actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Saraguro a fin de emitir normativas que regule y controle las construcciones en zonas determinadas como de medio y alto riesgo.
- La información técnica de esta investigación debe ser la base para la gestión de riesgo con la finalidad de establecer planes de emergencia o evacuación ante la suscitación de desastres.
- Socializar y concientizar a las autoridades y habitantes del sector sobre las implicaciones de vivir con o bajo el riesgo y las alternativas adecuadas a desarrollarse antes la suscitación de un desastre.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO (1996). Standards Specifications for Highway Bridges. Division I-A, Seismic Design, Washington, D.C.
- Baldock, J. W. (1982). Geología del Ecuador. Boletín de la Explicación del Mapa Geológico de la República del Ecuador Escala 1: 1,000.000. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos. Quito: Dirección General de Geología y Minas. 66 p.
- Billings, M.P. (1974). Geología Estructural. Argentina: Editorial Universitaria de Buenos Aires. Cuarta Edición. 564 p.
- Blaikie P. et al., (1996). Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres. La Red, 374 p.
- Cardona, O. D. (2002). Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos.
- Cardona, O.D. (1993). Manejo ambiental y prevención de desastres: dos temas asociados, Anexos, in Los desastres no son naturales, La Red, pp. 75-93
- Castro Mendoza, L.S. (2014). Susceptibilidad a deslizamiento en la vía de integración barrial, sector Menfis central hasta el barrio Obrapía. Universidad Nacional de Loja. 169 p.
- Drobin, M.B. (1975). Introducción a la Prospección Geofísica. Barcelona: Ediciones Omega, S.A.
- Duque Escobar, Gonzalo. (2003). Manual de Geología para Ingenieros. Colombia: Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. 479 p.
- Gonzales de Vallejo, Luis I., Ferrer Mercedes, Ortuño Luis., Oteo Carlos. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación. ISBN 84-205-3104-9. 744 p.
- Gorshkov, G., Yakushova, A. (1970). Geología General. Traducido del Ruso por: Grekov V. Moscú: Editorial MIR. 628 p.

- Gravity. (2001). Fensibility Study Report on Global risk and vulnerability index – Trends peryear, UNEP, DEWA, GRID, 76 p.
- Guamán, Galo. (2012). Aplicación de Sig para el Manejo de Riesgos Naturales en el área urbano de la ciudad de Loja. Universidad San Francisco de Quito. 113 p.
- Herrera Herbert, Juan., Castilla Gómez, Jorge. (2012). Utilización de Técnicas de Sondeos en Estudios Geotécnicos. Madrid: Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas.
- Hoek, E. and Brown, E.T. (1995). Practical estimates of rock mass strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 34, No. 8.
- Kennerly, J.B. (1973). Geology of Loja Province, southern Ecuador. Inst. Geol. Sci., London, Overseas Division Report. N° 23.
- Memoria Técnica El Piedrero. Generación de Geo información para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional. Escala 1: 25 000. (2013).
- Movimientos en Masa en la Región Andina. Una Guía para la Evaluación de Amenazas. Proyecto Multinacional Andino. Geociencias para las Comunidades Andinas. Publicación Multinacional N° 4. 2007. 433 p.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción (2011). Capítulo 9. Geotecnia y cimentaciones.
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del Cantón Saraguro (2014).
- Pozo Rodríguez, Manuel., González Yelmos, Javier., Giner Robles, Jorge. Geología Práctica. Introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas. Madrid: Editorial Pearson. 350 p.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD & Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2012). Propuestas metodológica para el análisis de la vulnerabilidad a nivel municipal. Quito-Ecuador: AH/Editorial. 143 p.

- Servicio Geológico Colombiano. (2013) Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. 182 p. ISBN: 978-958-99528-5-6.
- Suarez Días, Jaime. (2009). Deslizamientos. Volumen 1. Análisis Geotécnico. Bucaramanga-Colombia. 607 p.
- Tambo, W. (2011). Estudio de Peligro de Deslizamiento del Norte de la ciudad de Loja, provincia de Loja. Loja.
- Tarbuck, Edward J. & Lutgens, Frederick K. (2005). Ciencias de la Tierra. Una Introducción a la geología física. Madrid: Pearson. Prentice Hall. Madrid. ISBN: 84-205-4400-0. 736 p.
- Universidad Nacional de Colombia. (2000). Investigación de aguas subterráneas región Valles y San Nicolás. Medellín.

## 11. ANEXOS

**ANEXO 1.** Ubicación geográfica, tabla técnica de datos y ficha técnica para descripción de afloramientos.

**ANEXO 2.** Ficha técnica para descripción de deslizamientos y esquema de deslizamientos.

**ANEXO 3.** Metodología para elaborar el mapa de geomorfología y fichas para caracterización geomorfológica.

**ANEXO 4.** Estimaciones logarítmicas de precipitación faltantes y precipitación de las 5 estaciones meteorológicas (La Argelia, San Lucas, San Francisco, Saraguro, Zaruma).

**ANEXO 5.** Probabilidad de retorno de lluvia para un tiempo de 100 años.

**ANEXO 6.** Mapa de ubicación y acceso.

**ANEXO 7.** Mapa topográfico y perfiles topográficos.

**ANEXO 8.** Mapa de geología regional.

**ANEXO 9.** Mapa de geología local y cortes geológicos.

**ANEXO 10.** Mapa de pendientes.

**ANEXO 11.** Mapa de uso actual del suelo.

**ANEXO 12.** Mapa de geomorfología.

**ANEXO 13.** Mapa de inventario de deslizamientos.

**ANEXO 14.** Mapa de susceptibilidad a deslizamientos.

**ANEXO 15.** Mapa de isoyetas.

**ANEXO 16.** Mapa de amenaza por deslizamientos.

**ANEXO 17.** Mapa de vulnerabilidad física.

**ANEXO 18.** Mapa de riesgo por deslizamientos.

**ANEXO 19.** Resultados de los Ensayos de Penetración Estándar (SPT).

## **ANEXO 1**

**Ubicación geográfica, tabla técnica de datos y ficha técnica para descripción de afloramientos**

## **ANEXO 2**

### **Ficha técnica para descripción de deslizamientos y esquema de deslizamientos**

## **ANEXO 3**

### **Metodología para elaborar el mapa de geomorfología y fichas para caracterización geomorfológica**

## **ANEXO 4**

**Estimaciones logarítmicas de precipitación faltantes y precipitación de las 5 estaciones meteorológicas (La Argelia, San Lucas, San Francisco, Saraguro, Zaruma)**

## **ANEXO 5**

**Probabilidad de retorno de lluvia para un tiempo de 100  
años**

## **ANEXO 6**

### **Mapa de ubicación y acceso**

## **ANEXO 7**

### **Mapa topográfico y perfiles topográficos**

## **ANEXO 8**

### **Mapa de geología regional**

## **ANEXO 9**

### **Mapa de geología local y cortes geológicos**

## **ANEXO 10**

### **Mapa de pendientes**

## **ANEXO 11**

### **Mapa de uso actual del suelo**

## **ANEXO 12**

### **Mapa de geomorfología**

## **ANEXO 13**

### **Mapa de inventario de deslizamientos**

## **ANEXO 14**

### **Mapa de susceptibilidad a deslizamientos**

## **ANEXO 15**

### **Mapa de isoyetas**

## **ANEXO 16**

### **Mapa de amenaza por deslizamientos**

## **ANEXO 17**

### **Mapa de vulnerabilidad física**

## **ANEXO 18**

### **Mapa de riesgo por deslizamientos**

## **ANEXO 19**

### **Resultados de los Ensayos de Penetración Estándar (SPT)**

## **ANEXO 20**

### **Artículo científico**