



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento

Territorial

**Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía
Villonaco – Taquil, Kilómetro 9,5 – 12,00 Cantón y Provincia de Loja**

**Trabajo de Titulación, previo a
la obtención del título de
Ingeniero en Geología Ambiental
y Ordenamiento Territorial**

Autor:

Renato Alejandro Espinosa Albia

Director:

Ing. Fernando Rengel Jiménez Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 18 de junio del 2024

Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilómetro 9,5 – 12,00 Cantón y Provincia de Loja**, previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, de la autoría del estudiante **Renato Alejandro Espinosa Albia**, con cédula de identidad **Nro. 1104312200**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Renato Alejandro Espinosa Albia**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma:

Cedula de Identidad: 1104312200

Fecha: 18/06/2024

Correo electrónico: renato.espinosa@unl.edu.ec

Teléfono: 0959003975

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Renato Alejandro Espinosa Albia**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilómetro 9,5 – 12,00 Cantón y Provincia de Loja**, previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**; además 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 Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo en la ciudad de Loja, a los dieciocho días del mes de junio del dos mil veinticuatro

Firma:

Autor: Renato Alejandro Espinosa Albia

Cedula de Identidad: 1104312200

Dirección: Brasil y Andorra, Loja – Ecuador

Correo electrónico: renato.espinosa@unl.edu.ec

Teléfono: 0959003975

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Fernando Rengel Jiménez Mg. Sc.

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación va dedicado a toda mi familia, de manera especial a mis padres, que, con su amor, paciencia y consejos, me supieron guiar en este largo camino de mi desarrollo personal y académico, ya que me enseñaron a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento.

También quiero dedicarle este trabajo a mi hermana, que, con su sonrisa, apoyo y consejos, me brindo fortaleza cuando más la necesitaba.

Renato Alejandro Espinosa Albia

Agradecimiento

En primer lugar, quiero agradecer a la Universidad Nacional de Loja, de manera especial a los docentes de la Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, quienes compartieron sus conocimientos y me guiaron y apoyaron para mi desarrollo universitario.

Al ingeniero Fernando Rengel, director de este trabajo de investigación, quien fue el encargado de guiarme y apoyarme en cada una de las etapas ejecutadas en el presente trabajo.

A la empresa GEOCONS. CIA LTDA., por haberme dado la oportunidad de llevar a cabo las practicas pre-profesionales, mismas que me ayudaron a fortalecer los conocimientos adquiridos en las aulas, mediante los trabajos y proyectos asignados en la misma.

Además, extendiendo mis agradecimientos al laboratorio de suelos y pavimentos DELTA AI, que me han extendiendo una mano para lograr aprender, complementar y poner en práctica los conocimientos adquiridos en mi vida estudiantil.

De igual forma, quiero agradecer a mis padres, quienes siempre supieron brindarme su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos.

Finalmente, a mis amigos, con quienes compartí muy buenos momentos y experiencias. Gracias por las horas compartidas, los trabajos realizados en conjunto y las historias vividas.

Renato Alejandro Espinosa Albia

Índice de Contenido

<i>Portada</i>	<i>i</i>
<i>Certificación</i>	<i>ii</i>
<i>Autoría</i>	<i>iii</i>
<i>Dedicatoria</i>	<i>v</i>
<i>Agradecimiento</i>	<i>vi</i>
<i>Índice de Contenido</i>	<i>vii</i>
<i>Índice de tablas</i>	<i>xi</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>xiv</i>
<i>Índice de anexos</i>	<i>xviii</i>
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	4
3. Introducción	6
3.1. Problema de Investigación	7
4. Marco Teórico	9
4.1. Marco Topográfico	9
4.1.1. Topografía	9
4.1.1.1. Levantamiento Topográfico.....	9
4.1.1.2. Escala de Levantamientos Topográficos.....	10
4.1.1.3. Curvas de Nivel.	10
4.1.2. Fotogrametría	10
4.1.2.1. Fotogrametría con Drones.....	10
4.1.2.2. Principales Productos Fotogramétricos.....	11
4.2. Marco Geológico	11
4.2.1. Geología	11
4.2.1.1. Clasificación de las Rocas	11
4.2.2. Petrología	12
4.2.3. Litología	13
4.2.4. Geología Estructural	13
4.2.4.1. Esfuerzo de Deformación	13

4.2.4.2.	Principales Estructuras Geológicas.....	13
4.2.4.3.	Orientación de líneas y planos estructurales.....	14
4.2.5.	Mapeo Geológico	15
4.2.5.1.	Métodos de Mapeo Geológico	15
4.3.	Marco Geotécnico	16
4.3.1.	<i>Geotecnia</i>	16
4.3.2.	<i>Caracterización Geotécnica.....</i>	16
4.3.3.	<i>Mecánica de Suelos</i>	17
4.3.4.	<i>Parámetros Geotécnicos</i>	17
4.3.5.	<i>Métodos Indirectos.....</i>	18
4.3.5.1.	Geofísica.....	18
4.3.6.	<i>Métodos Directos</i>	19
4.3.6.1.	Ensayo de Penetración Estándar.....	19
4.3.6.2.	Ensayo de Compresión Triaxial.....	19
4.3.6.3.	Ensayo de Corte Directo.....	20
4.3.6.4.	Granulometría.....	20
4.3.7.	<i>Mecánica de Rocas</i>	23
4.3.7.1.	Propiedades Físicas de la Matriz Rocosa.....	23
4.3.7.2.	Propiedades Mecánicas de la Matriz Rocosa.....	24
4.3.8.	<i>Clasificación Geomecánica de los Macizos Rocosos.....</i>	24
4.3.8.1.	Clasificación Geomecánica RMR (Rock Mass Rating) Bieniawski.....	24
4.3.8.2.	Clasificación Geomecánica GSI (Índice de Resistencia Geológica)	25
4.3.9.	<i>Criterios de Rotura</i>	27
4.3.10.	<i>Equilibrio Limite y Factor de Seguridad</i>	29
4.3.11.	<i>Análisis de Estabilidad</i>	30
4.3.12.	<i>Análisis Pseudo-Estático de Estabilidad.....</i>	30
4.3.13.	<i>Análisis Estereográfico</i>	31
5.	Metodología.....	34
5.1.	Descripción General del Área de Estudio	34
5.1.1.	<i>Ubicación</i>	34
5.1.2.	<i>Acceso.....</i>	35
5.1.3.	<i>Descripción Biofísica</i>	37
5.1.3.1.	Información Climática	37
5.1.3.2.	Hidrografía.....	37
5.1.3.3.	Uso y Cobertura de Suelo	38
5.1.3.4.	Topografía.....	38

5.1.3.5.	Geomorfología	39
5.1.3.6.	Geología Regional	39
5.2.	Materiales y Equipos	41
5.3.	Procedimiento.....	42
5.3.1.	<i>Metodología para el Primer Objetivo</i>	44
5.3.1.1.	Topografía	44
5.3.1.2.	Pendientes	46
5.3.1.3.	Geología	46
5.3.2.	<i>Metodología para el segundo objetivo.....</i>	51
5.3.2.1.	Inventario de Deslizamientos	51
5.3.2.2.	Mecánica de Suelo.....	52
5.3.2.3.	Mecánica de Rocas.....	61
5.3.3.	<i>Metodología para el Tercer Objetivo.....</i>	73
5.3.3.1.	Análisis de Proyección Estereográfica	73
5.3.3.2.	Criterio de Barton y Choubey	73
5.3.3.3.	Análisis Cinemático	74
5.3.3.4.	Análisis de Resistencia de los Macizos Rocosos Mediante el Criterio de Rotura de Hoek – Brown	76
5.3.3.5.	Análisis de Estabilidad Global.....	76
5.3.3.6.	Análisis Pseudo-estático.....	77
6.	Resultados	80
6.1.	Topografía	80
6.2.	Pendientes	81
6.3.	Geología	82
6.4.	Geología Estructural.....	97
6.5.	Zonificación Geológico – Geotécnico.....	100
6.6.	Inventario de Deslizamientos	102
6.7.	Prospección Geofísica	105
6.7.	Propiedades Físico – Mecánicas de los Suelos	110
6.7.1.	<i>Ensayo de Corte Directo</i>	110
6.7.2.	<i>Ensayo de Compresión Triaxial</i>	111
6.7.3.	<i>Ensayo de Penetración Estándar SPT</i>	112
6.7.4.	<i>Ensayo CBR</i>	115

6.8.	Propiedades Físico – Mecánicas de las Rocas.....	117
6.8.1.	<i>Propiedades Físicas de las Rocas</i>	117
6.8.2.	<i>Ensayo de Resistencia a la Compresión Simple</i>	117
6.8.3.	<i>Índice Cuantitativo de Calidad de la Roca RQD</i>	122
6.9.	Clasificación Geomecánica de los Macizos Rocosos	124
6.9.1.	<i>Macizo Rocosos 1</i>	124
6.9.2.	<i>Macizo Rocosos 2</i>	126
6.9.3.	<i>Macizo Rocosos 3</i>	128
6.9.4.	<i>Macizo Rocosos 4</i>	130
6.10.	Análisis Geológico – Geotécnico	132
6.10.1.	<i>Resistencia a la Compresión de las Discontinuidades</i>	132
6.10.2.	<i>Análisis Cinemático</i>	134
6.10.3.	<i>Análisis de Estabilidad Global</i>	144
6.10.4.	<i>Análisis de Resistencia de los Macizos Rocosos Mediante el Criterio de Rotura de Hoek – Brown</i>	149
6.10.5.	<i>Análisis de Estabilidad Global en el Estado Actual y Pseudoestático</i>	153
6.11.	Definición de Zonas Críticas en Términos de Factor de Seguridad	165
7.	Discusión.....	169
8.	Conclusiones	172
9.	Recomendaciones	174
10.	Bibliografía.....	175
11.	Anexos.....	181

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Símbolos del Grupo (SUCS)</i>	20
<i>Tabla 2. Tipología de suelos según (SUCS)</i>	21
<i>Tabla 3. Clasificación de suelos (AASHTO)</i>	22
<i>Tabla 4. Clasificación geotécnica GSI</i>	26
<i>Tabla 5. Factor de alteración del criterio de rotura de Hoek&Brown</i>	28
<i>Tabla 6. Coordenadas Geográficas</i>	34
<i>Tabla 7. Materiales y Equipos para Campo</i>	41
<i>Tabla 8. Materiales y Equipos para Laboratorio</i>	42
<i>Tabla 9. Clasificación de Pendientes</i>	46
<i>Tabla 10. Coordenadas y dirección de los puntos medios de los ensayos de sísmica de refracción</i>	53
<i>Tabla 11. Puntos de ejecución de los SPT</i>	55
<i>Tabla 12. Ensayos de laboratorio</i>	56
<i>Tabla 13. Puntos de toma de muestras</i>	57
<i>Tabla 14. Puntos de ejecución de las calicatas de las cuales se extrajo las probetas</i>	60
<i>Tabla 15. Puntos de obtención de los testigos de roca</i>	61
<i>Tabla 16. Corrección del índice de rebote</i>	64
<i>Tabla 17. Rugosidad de acuerdo al índice de rugosidad JRC</i>	69
<i>Tabla 18. Clasificación de la Calidad del Macizo Rocoso Según el índice RQD</i>	70
<i>Tabla 19. Clasificación Geomecánica RMR</i>	71
<i>Tabla 20. Clasificación Geomecánica RMR</i>	72
<i>Tabla 21. Clasificación Geomecánica RMR</i>	72
<i>Tabla 22. Valores del factor Z, en función de la zona sísmica</i>	78
<i>Tabla 23. Valoración de las zonas sísmicas</i>	78
<i>Tabla 24. Tipo de suelo y factores de sitio</i>	79
<i>Tabla 25. Coordenadas Geográficas</i>	80
<i>Tabla 26. Clasificación de las pendientes del área de estudio</i>	82
<i>Tabla 27. Geología local del área de estudio</i>	82
<i>Tabla 28. Geología local del área de estudio</i>	83
<i>Tabla 29. Descripción de las zonas litoestructurales</i>	101
<i>Tabla 30. Coordenadas de los deslizamientos de interés geotécnico del área de estudio</i>	102
<i>Tabla 31. Parámetros morfométricos de campo</i>	104
<i>Tabla 32. Parámetros morfométricos de campo</i>	105
<i>Tabla 33. Complejos sísmicos, velocidades de ondas y correspondencia geológica. LS-01</i>	106
<i>Tabla 34. Complejos sísmicos, velocidades de ondas y correspondencia geológica. LS-02</i>	106
<i>Tabla 35. Complejos sísmicos, velocidades de ondas y correspondencia geológica. LS-03</i>	107

Tabla 36. Complejos sísmicos, velocidades de ondas y correspondencia geológica. LS-04.....	107
Tabla 37. Resultados de los parámetros dinámicos del primer estrato.....	108
Tabla 38. Resultados de los parámetros dinámicos del segundo estrato.....	108
Tabla 39. Resultados de los parámetros dinámicos del tercer estrato.....	109
Tabla 40. Resultados de las muestras de suelo recolectadas en taludes del área de estudio.....	110
Tabla 41. Resultados del ensayo de corte directo de las muestras de suelo.....	110
Tabla 42. Resultados del ensayo de compresión triaxial “Calicata 1”.....	111
Tabla 43. Resultados del ensayo de compresión triaxial “Calicata 1”.....	111
Tabla 44. Resultados del ensayo de compresión triaxial “Calicata 2”.....	112
Tabla 45. Resultados del ensayo de compresión triaxial “Calicata 2”.....	112
Tabla 46. Resultados de los ensayos de laboratorio de las muestras recolectadas en campo.....	112
Tabla 47. Resultados de la interpretación de la capacidad de carga.....	113
Tabla 48. Resultados de los ensayos de laboratorio de las muestras recolectadas en campo.....	113
Tabla 49. Resultados de la interpretación de la capacidad de carga.....	114
Tabla 50. Resultados de los ensayos de laboratorio de las muestras recolectadas en campo.....	114
Tabla 51. Resultados de la interpretación de la capacidad de carga.....	115
Tabla 52. Ubicación geográfica UTM de las calicatas.....	115
Tabla 53. Resultados de las muestras de suelo obtenidas en las calicatas a nivel de subrasante.....	115
Tabla 54. Clasificación General de suelos para carreteras según valores de CBR – (Calicata 1 subrasante).....	116
Tabla 55. Clasificación General de suelos para carreteras según valores de CBR – (Calicata 1 subrasante).....	116
Tabla 56. Resultados de las propiedades físicas de las muestras de rocas.....	117
Tabla 57. Resultados del ensayo de compresión simple.....	117
Tabla 58. Resultados del ensayo de compresión simple mediante el índice rebote del martillo de Schmidt o de bajo impacto.....	118
Tabla 59. Correlación de valores de resistencias a la compresión simple bajo criterios diferentes .	121
Tabla 60. Resultados del ensayo tilt test – Angulo de fricción básico.....	121
Tabla 61. Ángulo de fricción residual.....	122
Tabla 62. Cálculo del Índice RQD de la matriz rocosa del macizo rocoso 1.....	122
Tabla 63. Cálculo del Índice RQD del macizo rocoso 2.....	123
Tabla 64. Cálculo del Índice RQD del macizo rocoso 3.....	123
Tabla 65. Cálculo del Índice RQD del macizo rocoso 4.....	123
Tabla 66. Clasificación Geomecánica RMR → Macizo Rocosos 1.....	124
Tabla 67. Clasificación Geomecánica RMR.....	125
Tabla 68. Clasificación Geomecánica RMR → Macizo Rocosos 2.....	127
Tabla 69. Clasificación Geomecánica RMR.....	128

Tabla 70. Clasificación Geomecánica RMR → Macizo Rocoso 3.....	129
Tabla 71. Clasificación Geomecánica RMR.....	130
Tabla 72. Clasificación Geomecánica RMR → Macizo Rocoso 4.....	131
Tabla 73. Clasificación Geomecánica RMR.....	132
Tabla 74. Resultados de la clasificación geomecánica de los macizos rocoso del área de estudio ...	132
Tabla 75. Angulo de rugosidad de las discontinuidades macizo rocoso 1	133
Tabla 76. Angulo de fricción de las discontinuidades macizo rocoso 1	133
Tabla 77. Angulo de rugosidad de las discontinuidades macizo rocoso 2	133
Tabla 78. Angulo de fricción de las discontinuidades macizo rocoso 2	133
Tabla 79. Angulo de rugosidad de las discontinuidades macizo rocoso 3	133
Tabla 80. Angulo de fricción de las discontinuidades macizo rocoso 3	134
Tabla 81. Angulo de rugosidad de las discontinuidades macizo rocoso 4	134
Tabla 82. Angulo de fricción de las discontinuidades macizo rocoso 4	134
Tabla 83. Factores de Seguridad del Macizo Rocoso.....	149
Tabla 84. Datos para el análisis de resistencia de los macizos rocosos	149
Tabla 85. Resultados del análisis de resistencia de los macizos rocosos.....	153
Tabla 86. Parámetros físico-mecánicos de los macizos rocosos evaluados.....	153
Tabla 87. Parámetros físico-mecánicos de los deslizamientos evaluados.....	154
Tabla 88. Parámetros morfométricos del deslizamiento 01.....	162
Tabla 89. Volumen del deslizamiento 01	162
Tabla 90. Parámetros morfométricos del deslizamiento 02.....	164
Tabla 91. Volumen del deslizamiento 02	165
Tabla 92. Factores de Seguridad de los Taludes en Estudio.....	165
Tabla 93. Definición de Zonas Críticas en Términos de Factor de Seguridad.....	166

Índice de figuras

<i>Figura 1. Análisis para rotura por vuelco.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 2. Análisis cinemático para rotura planar.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3. Análisis para rotura en cuña</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4. Mapa de Ubicación del Área de Estudio</i>	<i>34</i>
<i>Figura 5. Mapa de Acceso Terrestre al Área de Estudio 1</i>	<i>35</i>
<i>Figura 6. Mapa de Acceso Terrestre al Área de Estudio 2</i>	<i>36</i>
<i>Figura 7. Mapa de Acceso Aéreo al Área de Estudio 1.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 8. Hoja Hidrográfica Regional, Parroquia Taquil.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 9. Morfología Zona de Estudio</i>	<i>38</i>
<i>Figura 10. Hoja Geológica de Loja a escala 1:100000; hoja 56, N – VI-F.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 11. Flujograma del Proceso Metodológico Desarrollado en la Presente Investigación</i>	<i>43</i>
<i>Figura 12. Estación Diferencial.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 13. Puntos de control “GCP’s”.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 14. Vuelo fotogramétrico</i>	<i>45</i>
<i>Figura 15. Metodología Elaboración de Levantamientos Geológicos-Estructurales</i>	<i>48</i>
<i>Figura 16. Metodología para Mapeo Geológico.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 17. Distribución de los Afloramientos a lo largo del Área de Estudio.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 18. Ubicación de las líneas de sísmica de refracción.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 19. Ensayo de sísmica de refracción.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 20. Ubicación de las líneas de sísmica de refracción.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 21. Ensayo de penetración estándar.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 22. Puntos de toma de muestras para el ensayo de corte directo.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 23. Ensayo de corte directo</i>	<i>57</i>
<i>Figura 24. Puntos de realización de las calicatas para la extracción de las muestras cubicas</i>	<i>59</i>
<i>Figura 25. Ensayo triaxial no consolidado no drenado</i>	<i>60</i>
<i>Figura 26. Macizos Rocosos – Puntos de estudio</i>	<i>61</i>
<i>Figura 27. Testigos de roca perfilados.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 28. Ensayo de resistencia a la compresión simple.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 29. Ensayo de rebote del martillo de Schmidt</i>	<i>63</i>
<i>Figura 30. Valores típicos de resistencia para la mayoría de las rocas</i>	<i>63</i>
<i>Figura 31. Esquema del ensayo tilt test en núcleos de roca.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 32. Ensayos de laboratorio.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 33. Ensayos de laboratorio.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 34. Ensayos de laboratorio.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 35. Ensayos de laboratorio.....</i>	<i>66</i>

Figura 36. Caracterización geomecánica de los macizos rocosos.....	68
Figura 37. Medida de amplitud y longitud de la asperidad de la junta	69
Figura 38. Gráfico para determinar el JRC en función de amplitud y longitud	69
Figura 39. Mapa de zonas sísmicas del Ecuador para propósitos de diseño y valor del factor Z.....	78
Figura 40. Plano Topográfico del Área de Estudio.....	80
Figura 41. Perfil Topográfico A –A”	81
Figura 42. Perfil Topográfico B –B”	81
Figura 43. Esquistos de la Unidad Cera basamento del área de estudio UTM: 0690800 / 9569208..	86
Figura 44. Zona de estudio P1	87
Figura 45. Zona de estudio P2	88
Figura 46. Zona de estudio P2	88
Figura 47. Zona de estudio P3	88
Figura 48. Zona de estudio P3	89
Figura 49. Zona de estudio P14	90
Figura 50. Zona de estudio P16	90
Figura 51. Zona de estudio P9	90
Figura 52. Zona de estudio P10	91
Figura 53. Zona de estudio P10	91
Figura 54. Zona de estudio P7.2 – pórfido.....	92
Figura 55. Zona de estudio P4.2 - dique	92
Figura 56. Zona de estudio P7.2 – fluorescencia de rayos x.....	93
Figura 57. Zona de estudio P9.2 – fluorescencia de rayos x.....	93
Figura 58. Zona de estudio P9.2	94
Figura 59. Zona de estudio P8	94
Figura 60. Aluviales de la Zona de Estudio.....	95
Figura 61. Aluviales de la Zona de Estudio.....	95
Figura 62. Perfil geológico A – A”	96
Figura 63. Perfil geológico B – B”	97
Figura 64. Contacto 1.....	97
Figura 65. Contacto 2 y Contacto 3	98
Figura 66. Contacto 4 y Contacto 5 p1	98
Figura 67. Contacto 6.....	99
Figura 68. Macizos Rocosos.....	99
Figura 69. Zonificación Litoestructural 01	100
Figura 70. Ubicación geográfica de los deslizamientos.....	103
Figura 71. Deslizamiento 01.....	103
Figura 72. Deslizamiento 02.....	105

Figura 73. “Resistencia a la Compresión Simple de Zona 1A – Macizo Rocosó 1.....	119
Figura 74. “Resistencia a la Compresión Simple de Zona 2A – Macizo Rocosó 1.....	119
Figura 75. “Resistencia a la Compresión Simple del Macizo Rocosó 2	120
Figura 76. “Resistencia a la Compresión Simple del Macizo Rocosó 3	120
Figura 77. “Resistencia a la Compresión Simple del Macizo Rocosó 4	121
Figura 78. “Macizo Rocosó 1”	124
Figura 79. “Macizo Rocosó 2”	126
Figura 80. “Macizo Rocosó 3”	128
Figura 81. “Macizo Rocosó 4”	130
Figura 82. Macizo Rocosó 1 → Análisis cinemático; Representación 3D de los planos.....	134
Figura 83. “Macizo Rocosó 1” → Análisis cinemático para rotura planar.....	135
Figura 84. “Macizo Rocosó 1 → Análisis cinemático para rotura en cuña	136
Figura 85. “Macizo Rocosó 1 → Análisis cinemático para rotura por vuelco.....	137
Figura 86. “Macizo Rocosó 2 → Análisis cinemático; Representación 3D de los planos	137
Figura 87. “Macizo Rocosó 2 → Análisis cinemático para rotura planar	138
Figura 88. “Macizo Rocosó 2 → Análisis cinemático para rotura en cuña	138
Figura 89. “Macizo Rocosó 2 → Análisis cinemático para rotura por vuelco.....	139
Figura 90. “Macizo Rocosó 3 → Análisis cinemático; Representación 3D de los planos	140
Figura 91. “Macizo Rocosó 3 → Análisis cinemático para rotura planar	140
Figura 92. “Macizo Rocosó 3 → Análisis cinemático para rotura en cuña	141
Figura 93. “Macizo Rocosó 3 → Análisis cinemático para rotura por vuelco.....	142
Figura 94. “Macizo Rocosó 4 → Análisis cinemático; Representación 3D de los planos	142
Figura 95. “Macizo Rocosó 4 → Análisis cinemático para rotura planar	143
Figura 96. “Macizo Rocosó 4 → Análisis cinemático para rotura en cuña	143
Figura 97. “Macizo Rocosó 4 → Análisis cinemático para rotura por vuelco.....	144
Figura 98. “Macizo Rocosó 1” → Análisis de Rotura Planar.....	145
Figura 99. “Macizo Rocosó 1” → Análisis de Rotura Planar.....	145
Figura 100. “Macizo Rocosó 1” → Análisis de Rotura en Cuña.....	146
Figura 101. “Macizo Rocosó 1” → Análisis de Rotura en Cuña.....	146
Figura 102. “Macizo Rocosó 1” → Análisis de Rotura en Cuña.....	147
Figura 103. “Macizo Rocosó 1” → Análisis de Rotura en Cuña.....	147
Figura 104. “Macizo Rocosó 2” → Análisis de Rotura Planar.....	148
Figura 105. “Macizo Rocosó 2” → Análisis de Rotura Planar.....	148
Figura 106. “Macizo Rocosó 1 → Análisis de resistencia criterio de rotura de Hoek & Brown	150
Figura 107. “Macizo Rocosó 2 → Análisis de resistencia criterio de rotura de Hoek & Brown	151
Figura 108. “Macizo Rocosó 3 → Análisis de resistencia criterio de rotura de Hoek & Brown	152
Figura 109. “Macizo Rocosó 4 → Análisis de resistencia criterio de rotura de Hoek & Brown	152

Figura 110. “Macizo Rocosó 1”	154
Figura 111. “Macizo Rocosó 1” → Rotura general y factor de seguridad en estado actual	155
Figura 112. “Macizo Rocosó 1” → Rotura general y Fs en condiciones pseudo-estáticas	155
Figura 113. “Macizo Rocosó 2”	156
Figura 114. “Macizo Rocosó 2” → Rotura general y Fs en estado actual	156
Figura 115. “Macizo Rocosó 2” → Rotura general y Fs en condiciones pseudo-estáticas	157
Figura 116. “Macizo Rocosó 3”	157
Figura 117. “Macizo Rocosó 3” → Rotura general y Fs en estado actual	158
Figura 118. “Macizo Rocosó 3” → Rotura general y Fs en condiciones pseudo-estáticas	158
Figura 119. “Macizo Rocosó 4”	159
Figura 120. “Macizo Rocosó 4” → Rotura general y Fs en estado actual	159
Figura 121. “Macizo Rocosó 4” → Rotura general y Fs en condiciones pseudo-estáticas	160
Figura 122. “Deslizamiento 01”	160
Figura 123. “Deslizamiento 01” → Representación de la cuña.....	161
Figura 124. “Deslizamiento 01” → Rotura general y Fs del deslizamiento en estado actual	161
Figura 125. “Deslizamiento 01” → Rotura general y Fs en condiciones pseudo-estáticas.....	162
Figura 126. “Deslizamiento 02”	163
Figura 127. “Deslizamiento 02” → Rotura general y Fs en estado actual.....	163
Figura 128. “Deslizamiento 02” → Rotura general y Fs en condiciones pseudo-estáticas.....	164
Figura 129. Mapa de Zonas Críticas en Términos de Factor de Seguridad.....	168

Índice de anexos

Anexo 1: Mapas del Area de Estudio.....	181
Anexo 1.1. Mapa de Ubicación Geográfica del Area de Estudio	181
Anexo 1.2. Mapa Hidrográfico Regional de la Parroquia Taquil a escala 1:25000	181
Anexo 1.3. Mapa Geológico Regional del Cantón Loja a escala 1:100000; Hoja 56, N – VI-F 181	
Anexo 1.4. Mapa de Densidad de Lineamientos Estructurales	181
Anexo 1.5. Mapa Topográfico del Área de Estudio	181
Anexo 1.6. Perfiles Topográficos del Area de Estudio	181
Anexo 1.7. Mapa de Pendientes del Área de Estudio.....	181
Anexo 1.8. Mapa Geológico del Área de Estudio	181
Anexo 1.9. Perfiles Geológicos del Área de Estudio	181
Anexo 1.10. Mapa de Zonificación Litoestructural Preliminar del Área de Estudio	181
Anexo 1.11. Mapa de Zonificación Según el Factor de Seguridad	181
Anexo 2: Monografía del Punto IGM e Informe de Puntos de Control del Levantamiento Topográfico	182
Anexo 3: Fichas de Descripción de Afloramientos	184
Anexo 4: Fichas de Descripción Macroscópica de Rocas e Informe de Fluorescencia	204
Anexo 5: Fichas de Inventario de Deslizamientos	212
Anexo 6: Campaña Geotécnica	214
Anexo 7: Fichas de Caracterización Geomecánica y Zonificación Litoestructural	252
Anexo 8: Certificación de Traducción.....	267

1. Título

**Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía
Villonaco – Taquil, Kilómetro 9,5 – 12,00 Cantón y Provincia de Loja.**

2. Resumen

El presente trabajo de investigación “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, desde el tramo absc. 9+500 hasta 12+000 ubicada entre el barrio Cera y la parroquia Taquil, cantón Loja, provincia de Loja” tiene como objetivo la caracterización geológica – geotécnica del tramo de vía en mención, enfocada principalmente en el levantamiento y caracterización geológico estructural de la zona, la determinación y caracterización de las propiedades físico-mecánicas de los geomateriales existentes a lo largo de la vía y la determinación del factor de seguridad de las zonas críticas encontradas “movimientos en masa”, a lo largo de la vía. El área de estudio abarca 2,50km y cubre un área de 108,46 hectáreas.

La primera etapa de la investigación fue el levantamiento topográfico a detalle realizado mediante fotogrametría con la ayuda de un Dron Phantom 4 y los softwares Pix4D y ArcMap, resultando en un mapa topográfico a escala 1: 5000 que muestra un relieve irregular, con alturas que varían desde 2120 m.s.n.m. (cota más baja) hasta 2330 m.s.n.m. (cota más alta).

Posteriormente y tomando como base el mapa topográfico, se realizó el levantamiento geológico local, en donde se describió un total de 20 afloramientos y a su vez se recolectaron muestras para la descripción macroscópica; etapa en la que se determinó que el área se encuentra constituida principalmente por, lavas basálticas, secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados, cuerpos riolíticos hipoabisales, e intrusiones de gabro y diorita de la Unidad Gonzabal y esquistos de la Unidad Cera, además de, depósitos coluviales con predominancia de bloques angulosos de rocas volcánicas.

Para la determinación y caracterización de las propiedades físico-mecánicas de los geomateriales del área de estudio, se utilizaron los datos obtenidos de, 2 calicatas a nivel de subrasante para la determinación de la capacidad portante y tipo de suelo en el que se emplaza la vía, mediante el CBR y clasificación según SUCS y ASSTHO; 2 ensayos de corte directo en taludes con indicadores de futura inestabilidad ante posibles cargas o fuerzas laterales; 4 líneas de refracción sísmica, 2 calicatas, 2 ensayos de compresión triaxial y 3 ensayos SPT's, en puntos estratégicos de los 2 deslizamientos estudiados; y 3 ensayos de resistencia a la compresión simple, 3 ensayos de tilt test, 3 ensayos de esclerometría de bajo impacto y determinación de propiedades físicas de acuerdo a la normas ASTM – D 854-58, ASTM C – 128-07, ASTM D 2216 – 98 y ASTM C 127-01, en testigos y muestras de rocas de los 4 macizos

rocosos estudiados. La clasificación geomecánica de cada macizo se la realizó mediante el RMR y GSI.

De esta forma, para el análisis de estabilidad de los macizos rocosos se procedió en primer lugar con, el análisis estereográfico de las familias de discontinuidades, mediante el software Dips para evaluar de manera efectiva la distribución de las discontinuidades y su influencia en la estabilidad; posteriormente se realizó el análisis de resistencia de los macizos rocosos mediante el criterio generalizado de Hoek & Brown ajustado al criterio de Mohr – Coulomb, en el software Roclab.

Finalmente, para la determinación del factor de seguridad, se realizó el análisis de estabilidad global en estado actual con cargas sísmicas y estáticas para los deslizamientos y macizos rocosos, utilizando para esto, métodos de equilibrio limite, mediante el software GeoStudio R2 y Slide 7.0.

Palabras clave: geomateriales, factor de Seguridad, subrasante, capacidad portante, clasificación geomecánica, análisis estereográfico, criterio de Hoek & Brown y Mohr Coulomb

Abstract

This research paper "Geological - Geotechnical Characterization at Scale 1:5000 of the Villonaco - Taquil Road, from section absc. 9+500 to 12+000 located between Cera neighborhood and Taquil parish, Loja canton, Loja province" aims to produce a geological-geotechnical characterization of the aforementioned section of road, primarily focused on a geological-structural survey and characterization of the area, the determination and characterization of the physical-mechanical properties of the existing geomaterials along the road, and the ascertainment of the safety factor of critical areas found, such as "mass movements," along the road. The study area spans 2.50 km and covers an area of 108.46 hectares.

The first stage of the investigation was a detailed topographic survey carried out by photogrammetry with the help of a Phantom 4 Drone and the software programs Pix4D and ArcMap, resulting in a topographic map at a scale of 1:5000 showing an irregular relief, with heights ranging from 2120 m.a.s.l. (lowest elevation) to 2330 m.a.s.l. (highest elevation).

Subsequently, based on the topographic map, a local geological survey was carried out, where a total of 20 outcrops were identified during which time samples were collected for macroscopic description. During this stage, it was determined that the area consists mainly of basaltic lavas, volcano-sedimentary sequences, conglomerate levels, hypoabyssal rhyolitic bodies, gabbro and diorite intrusions of the Gonzabal Unit and schists of the Cera Unit, in addition to colluvial deposits with a predominance of angular blocks of volcanic rocks.

For the identification and characterization of the physical-mechanical properties of the geomaterials in the study area, data was obtained from the following; 2 subgrade test pits which were used to determine the bearing capacity and type of soil on which the road is located, through CBR and classification according to SUCS and ASSTHO; 2 direct shear tests on slopes showing indicators of future instability under possible lateral loads or forces; 4 seismic refraction lines, 2 test pits, 2 triaxial compression tests and 3 SPT's tests in strategic points of the 2 landslides studied; and 3 tests of resistance to simple compression, 3 tilt tests, 3 low impact sclerometry tests and determination of physical properties according to ASTM - D 854-58, ASTM C - 128-07, ASTM D 2216 - 98 and ASTM C 127-01 standards, in cores and rock samples of the 4 rock massifs studied. The geomechanical classification of each massif was carried out using the RMR and GSI.

Thus, for the stability analysis of the rock massifs, we proceeded first with the stereographic analysis of the families of discontinuities using Dips software to effectively evaluate the distribution of discontinuities and their influence on stability; subsequently, the resistance analysis of the rock massifs was performed using the generalized Hoek & Brown approach adjusted to the Mohr - Coulomb criterion in Roclab software.

Finally, to determine the safety factor, a global stability analysis was carried out in its current state with seismic and static loads for the landslides and rock masses, using limit equilibrium methods in GeoStudio R2 and Slide 7.0 software's.

Keywords: geomaterials, factor of safety, subgrade, bearing capacity, geomechanical classification, stereographic analysis, Hoek & Brown and Mohr Coulomb criteria

3. Introducción

El tramo de vía que comprende el área de estudio de la presente investigación, “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Ye de Villonaco – Taquil, Absc. 9+500 hasta 12+000, ubicado entre el barrio Cera y la parroquia Taquil, cantón Loja, provincia de Loja”; integra a la red vial provincial las parroquias de Taquil, Chantaco, Chuquiribamba y Gualiel, facilitando el transporte de sus productos agrícolas y ganaderos, mejorando la calidad de vida de sus habitantes. Sin embargo, y a causa de, problemas relacionados a la estabilidad de taludes por la interacción de factores condicionantes y desencadenantes de la región, las condiciones de esta vía catalogada como de Tipo IV – Caminos Vecinales, no son las más óptimas.

Por lo que, el Gobierno Provincial de Loja en pro del beneficio de las parroquias Taquil, Chantaco, Chuquiribamba y Gualiel, ha visto la necesidad de elaborar estudios y diseños de ingeniería para, mejorar el diseño geométrico, la estructura de la vía a nivel de carpeta asfáltica y determinar los problemas de estabilidad de taludes, es decir, establecer los sitios con riesgo de deslizamiento o asentamiento.

Ante este contexto, surge la necesidad urgente de realizar el proyecto de investigación titulado “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Ye de Villonaco – Taquil, Kilómetro 9,5 – 12,00 Cantón y Provincia de Loja”. Proyecto enfocado en el levantamiento, análisis y procesamiento de: las características topográficas, geológico estructurales y propiedades físico-mecánicas de los geomateriales, de modo que la información generada sirva como base o referencia para futuros proyectos en la vía, ya sea para: la ampliación, rectificación, mejoramiento geométrico o a nivel de carpeta asfáltica, o para la estabilización de taludes. Optimizando de esta forma las actividades “comerciales, sociales y culturales” que se realizan dentro, a través y fuera de las parroquias Taquil, Chantaco, Chuquiribamba y Gualiel.

De esta forma, para la ejecución del proyecto de investigación se llevaron a cabo 4 etapas, fase preliminar, trabajo de campo, trabajo de laboratorio y por último trabajo de gabinete.

Durante la fase preliminar se recopiló y analizó información bibliográfica, artículos científicos, informes publicados, cartografía de la zona de estudio publicada por las distintas instituciones, resultados de laboratorio previos, entre otros. De modo que se pudiera

confeccionar mapas preliminares, y planificar de manera sistemática el desarrollo de las distintas fases.

Una vez finalizada la etapa de recopilación y planificación, se procedió con el levantamiento de información topográfica y geológica de toda la zona de estudio, de forma que, se definió las zonas, en donde posteriormente, se ejecutaron los ensayos de campo y la toma de muestras para la definición de: las propiedades físico-mecánicas de los geomateriales en laboratorio; y de las zonas con problemas de estabilidad. Cabe aclarar que durante esta etapa también se llevó a cabo la caracterización geomecánica de los macizos rocosos in – situ.

Por último, y con toda la información recolectada en campo y de los ensayos de campo y laboratorio, se dio inicio a la fase final en la que se: elaboraron los mapas topográficos, mapas geológicos, mapas de zonas con problemas de estabilidad, perfiles estratigráficos, determino la clasificación geomecánica de los macizos rocosos mediante el índice de calidad de la roca RQD y los índices RMR y GSI. Y finalmente, para la determinación del factor de seguridad, se realizó un análisis de estabilidad global en estado actual con cargas sísmicas y estáticas para cada una de las zonas críticas “movimientos en masa”, utilizando para esto, métodos de equilibrio limite y criterios de rotura.

3.1. Problema de Investigación

El área de estudio del presente trabajo de investigación localizada en el borde noroccidental del canton Loja integra social y económicamente a diversas parroquias rurales que se destacan por su gran influencia en la comercialización de productos de primera necesidad tanto agrícolas como ganaderos a diversos lugares de la provincia, entre las que sobresale la parroquia Taquil. Debido a esto, esta actividad económica acarrea consigo gran circulación vehicular fuera de la parroquia, por lo que el 31 de agosto de 2021 en pro del beneficio de los habitantes de la parroquia se firmó el contrato para el asfaltado de la vía que conecta a la parroquia con una de las vías principales del territorio nacional. Asfaltado que a pesar de haberse cumplido la fecha de contrato nunca se terminó, esto debido a problemas administrativos.

A lo antes expuesto, se suma que, el área de estudio “Vía Villonaco –Taquil” es propensa a recibir movimientos de masa, algunos de los cuales tienen consecuencias catastróficas, tal como el aluvión suscitado el 21 de diciembre 2021 que se cobró varias vidas, Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias., (2022); sumado a ello la paralización de las actividades económicas del sector debido a las continuas interrupciones en la vía.

Conforme la Red Sismológica Nacional., (2014) un movimiento en masa se produce cuando el material, cohesionado, se mueve a lo largo de una superficie de debilidad, que puede ser, por ejemplo, una falla.

Es importante también destacar que, a lo largo de todo la “Vía Villonaco –Taquil”, existen aproximadamente 50 movimientos en masa de diferentes dimensiones, de los cuales, menos del 60% ha sido estabilizado.

La seguridad de una red vial adecuada es fundamental para el desarrollo sostenible de una región. Proporciona la infraestructura necesaria para el transporte eficiente de bienes y personas, facilitando el acceso a oportunidades económicas y sociales. Al igual que una vivienda digna brinda estabilidad y oportunidades para un futuro prometedor, una red vial segura y bien mantenida promueve la estabilidad económica y social en una comunidad.

Todo lo antes expuesto orientado en, dar cumplimiento a los siguientes objetivos:

Objetivo General

- Realizar la Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 De La Vía Villonaco – Taquil, kilómetro 9,5 – 12,00, Cantón y Provincia De Loja

Objetivos Específicos

- Elaborar la topografía y geología local a detalle del kilómetro 9,5 – 12,00, de la vía Villonaco – Taquil, a escala 1:5000.
- Determinar estructuras, deformaciones y propiedades físico-mecánicas de los geomateriales de la zona de estudio.
- Caracterizar la zona critica encontrada a nivel de factor de seguridad (Fs).

4. Marco Teórico

4.1.Marco Topográfico

4.1.1. Topografía

Básicamente, a la topografía se la puede definir como “el campo científico orientado a la descripción física de la configuración superficial de la Tierra, así como al análisis y estudio rasgos y elementos geográficos. Además, implica el desarrollo y aplicación de técnicas para llevar a cabo dichas descripciones de manera precisa” (Escuela de Versalles, 2020).

Por su parte, García, Rosique y otros (1994), señalaron que “la topografía se centra en la investigación de las técnicas para obtener una representación bidimensional precisa de una parte específica de la superficie terrestre, con todos sus detalles” (p. 1). Pues, su importancia se fundamenta en que, para todo proyecto de ingeniería u obra civil, como la planificación y el trazado de un segmento de vía, se requiere una representación clara y precisa del relieve sobre el que se emplazara el proyecto.

4.1.1.1.Levantamiento Topográfico.

En términos generales, la ejecución de un levantamiento topográfico implica llevar a cabo todas las mediciones requeridas en el área de estudio con el objetivo de generar un plano topográfico detallado de dicha área. Como resultado, los levantamientos topográficos se clasifican en dos categorías: planimétricos y altimétricos.

- Levantamientos Topográficos Planimétricos: Este tipo de levantamientos consiste en “un conjunto de técnicas y procesos empleados para generar una representación a escala de los puntos y características del terreno en una superficie plana, sin tener en cuenta su relieve. En otras palabras, se enfocan en determinar las posiciones horizontales de los elementos” (CIENTEC, s.f).
- Levantamientos Topográficos Altimétricos: Este tipo de levantamientos se centra básicamente, en calcular las variaciones de altura entre los diferentes puntos del terreno en relación con un plano de referencia.

Es así que, a los levantamientos topográficos completos o mejor conocidos como planialtimétricos se los conoce como aquellos que, combinan tanto la determinación de las posiciones horizontales (planimetría), como las diferencias de nivel (altimetría) de los puntos sobre la superficie terrestre. Es decir, la combinación de los datos planimétricos y altimétricos, permite obtener una representación tridimensional precisa del terreno.

4.1.1.2. Escala de Levantamientos Topográficos.

Para trasladar las mediciones tomadas en el terreno a un dibujo o mapa en una hoja de papel, es esencial ajustarlas a una escala específica, lo que implica reducir proporcionalmente las distancias observadas. Pues, una escala indica la relación entre las distancias representadas en un dibujo o mapa y las distancias reales en el terreno. En este sentido, es importante destacar que las distancias que se representan en el mapa no son las geométricas sino las reducidas.

- Escala numérica: Esta escala se representa como la distancia entre dos puntos en el mapa, dividida por la distancia reducida entre los puntos correspondientes de la superficie. La Facultad de Ingeniería UNLP, (2018) indica que, “las escalas más comunes en topografía son 1/100, 1/250, 1/500, luego para extensiones de terreno mayores, a esos mismos denominadores se los utiliza multiplicados por 10 o 100. (p. 18).
- Escala gráfica: Según: Casanova, (2019) esta escala se define como una “línea recta dividida en partes iguales y graduadas, que establece la relación entre las dimensiones reales de un objeto en el terreno y sus correspondientes medidas en el plano topográfico”

4.1.1.3. Curvas de Nivel.

Las curvas de nivel son líneas trazadas en un mapa que conectan puntos que tiene la misma altitud, ya sea por encima o por debajo de una superficie de referencia, que generalmente coincide con la línea del nivel del mar. Su objetivo principal es el de representar el relieve del terreno, es decir, proyectar de forma tridimensional la superficie de un terreno en un mapa bidimensional. (Navarro, 2008, p. 1)

4.1.2. Fotogrametría

La fotogrametría sin lugar a dudas constituye una de las técnicas preferidas para la obtención de cartografía debido a su eficiencia en términos de coste y tiempos en comparación con los métodos topográficos convencionales. Estos últimos se reservan para levantamientos de alta precisión en áreas pequeñas, complementando la fotogrametría en casos donde esta no puede ser utilizada o no resulte viable. (Sanchez y Pereda, 2014, p. 3)

En este contexto, se puede definir a la fotogrametría como una ciencia por medio de la cual, a partir de mediciones precisas y detalladas de fotografías o imágenes satelitales de un terreno, se puede calcular su disposición horizontal (planta) como vertical (altitud) en el espacio, permitiendo así la generación de la topografía. (Peña y Méndez, 2011, p.9)

4.1.2.1. Fotogrametría con Drones.

La fotogrametría con drones, técnicamente conocida como fotogrametría aérea con (UAV), implica la utilización de drones equipados con cámaras para capturar imágenes aéreas de alta

resolución de una determinada área del terreno. Imágenes posteriormente procesadas, mediante algoritmos fotogramétricos para calcular la geometría y la posición tridimensional de los objetos en la superficie terrestre, lo que permite la generación de DEM's, ortofotos y otros productos topográficos con precisión y detalle.

La escala de operación de los drones los posiciona como una herramienta óptima para llenar el espacio que existe entre los levantamientos realizados con fotogrametría y los levantamientos convencionales con estación total. (Grijalba, s.f, p. 2)

4.1.2.2.Principales Productos Fotogramétricos.

Los productos fotogramétricos son los resultados obtenidos a través del procesamiento de las imágenes tomadas en campo, ya sea de forma manual o mediante software especializado. Estos productos incluyen entre otros, nubes de puntos, modelos digitales del terreno (MDT), modelos digitales de superficie (MDS) y ortofotos. (Sanchez y Pereda, 2014, p. 27)

4.2.Marco Geológico

4.2.1. Geología

Según la perspectiva de Meléndez y Fuster, (1991) la geología puede definirse como la disciplina técnica científica que se dedica al estudio de la Tierra, abordando aspectos como su composición, estructura, génesis y una amplia gama de fenómenos endógenos y exógenos que ocurren en ella, lo que incluye investigar su pasado geológico a través de los registros conservados en las rocas. (p. 13).

Dercourt, (2008) en su obra “Compendio de geología general”, expone que la geología estudia el entorno físico del hombre con el propósito de deducir principios y leyes. Pues su enfoque no se restringe al análisis de la Tierra en su estado presente, sino que busca reconstruir su historia geológica, examinando los fenómenos que han quedado registrados y fosilizados a lo largo del tiempo. (p. 13)

En cambio, en el libro titulado Geología Aplicada de Plaza, (s.f.), se define a la geología como el estudio de la composición y constitución de la corteza terrestre, los fenómenos que ocurren en ella y las leyes químicas y físicas que los gobiernan. (p. 7)

4.2.1.1.Clasificación de las Rocas.

Las rocas se definen como agregados de minerales que exhiben una textura característica del ambiente y las condiciones en las que se formaron. Se caracterizan por su composición mineralógica, que se refiere a los minerales predominantes, y por su textura, (termino que describe el aspecto general de la roca en función del tamaño, forma y orden de los

cristales). La textura, además, proporciona información sobre su génesis y los procesos que sobre ellas han actuado.

4.2.1.1.1. Rocas Ígneas.

Según Tarbuck y Lutgens, (2005), las rocas ígneas se forman cuando el magma se enfría y solidifica. Si el magma se enfría lentamente en el interior de la corteza terrestre, se forman rocas plutónicas con cristales grandes. Por otro lado, si el magma alcanza la superficie y se enfría rápidamente, se forman rocas volcánicas con cristales pequeños.

(Merino, 2017, como se citó en Perill, 2021 párr. 3) destaca que el contenido en sílice aporta otra clasificación distinta muy extendida para las rocas ígneas, que a su vez está asociado al carácter félsico (claro) o máfico (oscuro) de éstas. Según las concentraciones de sílice, las rocas ígneas pueden ser, ácidas, intermedias, básicas y ultrabásicas.

4.2.1.1.2. Rocas Sedimentarias.

Según Tarbuck y Lutgens, (2005), los sedimentos, que son la materia prima de las rocas sedimentarias, se generan a partir de fragmentación física o descomposición química de rocas preexistentes, debido a la acción de procesos exógenos como la erosión y meteorización. Estos procesos que suelen provocar la ruptura física de una roca sin alterar su composición, o bien pueden descomponerla químicamente transformando sus minerales en otros nuevos. Es así que, los productos resultantes transportados por la acción del agua, viento, hielo, se acumulan en cuencas de sedimentación, lugar en el que, con el tiempo, se acumulan, litifican y compactan hasta convertirse en una nueva roca.

4.2.1.1.3. Rocas Metamórficas.

De acuerdo al (Servicio Geológico Mexicano, 2021, párr. 1) las rocas metamórficas “se originan a partir de la alteración de rocas preexistentes que experimentan cambios estructurales y mineralógicos bajo ciertas condiciones físicas o químicas, o una combinación de ambas, como son la temperatura, la presión y/o la actividad química de los fluidos agentes del metamorfismo”. Estas modificaciones, generalmente ocurridas bajo la superficie, transforman la roca original sin que pierda su estado sólido generando una roca metamórfica.

4.2.2. Petrología

Se la puede entender como la ciencia que se ocupa del estudio de las rocas, que están compuestas por conjuntos minerales definidos y constituyen la mayor parte de la Tierra. Su objetivo principal radica en “investigar la forma en que estas rocas se presentan, su génesis, su composición y clasificación, así como su relación con los procesos y la historia geológica. En este sentido, la petrología juega un papel esencial dentro de la geología” (Huang, 2009, p. 12).

4.2.3. Litología

Según Blandón (2002), la litología se puede definir como el análisis y la descripción de las propiedades físicas de las rocas, principalmente mediante la observación de ejemplares de mano y afloramientos. Además, se utiliza como un termino que engloba las características físicas de las rocas, tales como su tipo, color, composición mineral y tamaño del grano, las cuales son consideradas como características litológicas (p. 11).

4.2.4. Geología Estructural

Belousov, (1979) definió a la geología estructural como “una rama de la geotectónica que se enfoca en investigar las características y evolución de la estructura de la corteza terrestre, especialmente en relación con los procesos mecánicos, movimientos y deformaciones que en ella tienen lugar” (p. 8).

Por otra parte, para Geología web, (2019, párr. 3), la geología estructural aborda el análisis de las diversas estructuras geológicas originadas por la dinámica terrestre, particularmente por la tectónica de placas que se fundamenta en las corrientes de convección del manto. Este análisis tiene como finalidad la reconstrucción de movimientos pasados (t, fallas, plegamientos, cizallamientos) y la identificación de eventos geológicos significativos.

4.2.4.1. Esfuerzo de Deformación.

Varela, (2014, pp. 209 - 211) en el Manual de Geología para Ingenieros indica que, “en la litosfera, las rocas están sujetas a la influencia de fuerzas que generan esfuerzos, los cuales se expresan como la magnitud de la fuerza aplicada por unidad de área”. Dentro de la litosfera, “cuando una fuerza actúa sobre un plano cualquiera, se puede descomponer en dos componentes: una perpendicular a la superficie del plano y otra paralela a ella, dando lugar a tres variedades de esfuerzos” según: (García M. 2012, p. 7) que se describen a continuación:

- Compresión: Los materiales tienden a acortarse en la dirección del esfuerzo, pudiendo generar pliegues o fallas, dependiendo si su comportamiento es dúctil o frágil.
- Tensión: Este tipo de esfuerzo actúa alargando o separando las rocas.
- Cizalla: Esfuerzo en que las fuerzas actúan en paralelo, pero en direcciones opuestas, lo que resulta en una deformación por desplazamiento a lo largo de planos poco espaciados.

4.2.4.2. Principales Estructuras Geológicas.

Según, (Rodríguez R. 2011, párr. 1), se reconoce que “las estructuras geológicas influyen en la configuración del relieve terrestre, lo cual se evidencia en las geoformas, que se presentan como expresiones directas de estas estructuras en un área específica, donde las masas rocosas exhiben ciertas características que las identifican como parte de una estructura”.

Estas estructuras están estrechamente vinculadas con los fenómenos tectónicos, que, según, (Rodríguez R. 2011, párr. 2) “se originan a partir de movimientos epirogénicos y orogénicos”.

- Pliegues: “Son deformaciones que surgen durante la flexión dúctil de las rocas. Se observan con mayor claridad en secuencias sedimentarias debido a su naturaleza. Sin embargo, también pueden ocurrir en rocas ígneas y metamórficas, aunque son menos comunes” (Twiss y Moore, 1997, párr. 1). Su clasificación principal se basa en la orientación de sus elementos, como el plano axial y el eje; es así que se tiene:
 - ✓ Anticlinal: tienen convexidad ascendente con los materiales antiguos en el núcleo.
 - ✓ Sinclinal: tienen convexidad descendente con los materiales modernos en el núcleo.
- Diaclasas: Griem W., (2020) precisa que las diaclasas son aberturas en la roca que resultan de diversos procesos tectónicos, físicos y químicos, que incluyen fisuras de enfriamiento y otros factores no exclusivamente tectónicos. No existe desplazamiento.
- Fallas: (Según el Servicio Geológico de Estados Unidos USGS, 2019, párr. 1), una falla es una fractura o zona de fracturas entre dos bloques de roca. Las fallas posibilitan el desplazamiento entre bloques. Este movimiento puede producirse rápidamente, en forma de terremoto, o lentamente, en forma de fluencia.

Existen diferentes tipos de falla según el tipo de desplazamientos entre los bloques, y si ocurren en dirección vertical u horizontal:

- ✓ Falla normal: (USGS, 2019, párr. 3) indica que “es una falla de buzamiento en la que está por encima de la falla se ha desplazado hacia abajo en relación con el bloque que está por debajo”. Este tipo de falla se produce en respuesta a la extensión.
- ✓ Fallas inversas: García M. (2012), señala que “estas producen un desplazamiento vertical por esfuerzos compresivos cuando el bloque de muro se desplaza hacia arriba con respecto al bloque de techo” (p. 7).
- ✓ Falla de deslizamiento: una falla en la que los dos bloques se deslizan uno al lado del otro.

4.2.4.3. Orientación de líneas y planos estructurales.

Como se mencionó anteriormente, el término estructura geológica se refiere a la configuración geométrica de las rocas, y la geología estructural se dedica al estudio de esta configuración cuando las rocas han experimentado algún tipo de deformación. Esto implica la existencia de dos tipos de estructuras: primarias y secundarias. (Geología Estructural, s.f., párr.2)

- Las estructuras primarias incluyen fenómenos como: Estratificación, foliación diagenética, bandeamiento de flujo, estructuras eutaxítica, y otros.

- Por otro lado, las estructuras secundarias comprenden a: Foliación metamórfica, pliegues, clivaje asociado al plegamiento, diaclasas y fallas, como las principales.

Estudiar la distribución de las estructuras geológicas significa entender como la geometría de dicha estructura se ubica espacialmente dentro del contexto geológico en el cual se encuentra. Partiendo de esta premisa y tomando como referencia el criterio de (Ibañez, 2020, p. 1); es importante mencionar que, en geología estructural, desde el punto de vista geométrico, se “trabaja con las tres dimensiones: 1D, 2D, 3D, cada una de las cuales, está representada por un elemento geométrico que es útil para la construcción de los mapas y modelos geológicos, punto, línea y plano. Por lo que cualquier estructura geológica puede ser georreferenciada respecto al Norte y a un plano horizontal imaginario o líneas de intersección”. Es así que, mediante una línea se pueden representar: estrías, trazas de planos, ejes de plegamientos, entre otros. Mediante un plano se pueden representar: diaclasas, fallas, flancos de pliegues, clivaje, foliación, estratificaciones y otros.

- Rumbo: Se expresa como el ángulo entre el norte y la línea de intersección entre el plano geológico y un plano horizontal. El rumbo no supera los 90 grados.
- Buzamiento: Es la línea de mayor pendiente del plano, siempre es perpendicular a la línea de rumbo de este. Proporciona información sobre la geometría tridimensional.
- Dirección de Buzamiento: Indica hacia donde se inclina un plano geológico en el espacio.

4.2.5. Mapeo Geológico

El mapeo geológico consiste en la representación cartográfica de todos los elementos geológicos visibles en un área, incluyendo tipos de roca, estructuras, evidencias de deformaciones y otros aspectos relevantes.

El mapeo geológico, según, Muthoni (2010, como se citó y modifíco por Ayala, 2018), implica seleccionar un área de interés e identificar todos los aspectos geológicos presentes con el fin de elaborar un reporte y un mapa geológico detallado cuya calidad dependerá de la exactitud y precisión del trabajo de campo (párr. 2). Esto permite observar una variedad de elementos, como diferentes tipos de rocas, estructuras, formaciones geológicas, manifestaciones geotermales, edades, distribución de yacimientos económicos y fósiles.

4.2.5.1. Métodos de Mapeo Geológico

Tradicionalmente, los métodos de mapeo geológico se han clasificado en tres categorías, según lo expuesto por (Echeveste, s.f.), dos de las cuales están determinadas por la escala en las plantea elaborar el levantamiento y en consecuencia el mapa geológico final: “el método de

mapeo por contactos, utilizado en mapas regionales de escala pequeña, y el mapeo por afloramientos, aplicado para un mapeo a detalle de gran escala. El tercer enfoque, conocido como método de los perfiles, es aplicable tanto para mapas regionales como en la de mapas detallados, ya sea en áreas bien expuestas o en regiones con escasos afloramientos” (párr. 11).

- Mapeo por contactos: La ubicación de contactos entre unidades litológicas constituye el objetivo principal de estos levantamientos. Pues, se basan en la identificación y registro de los límites entre diferentes unidades en su intersección con la superficie topográfica.
- Mapeo por afloramientos: Este tipo de mapeo implica la observación, análisis y recopilación de datos relacionados con la composición, distribución y estructura de las distintas unidades o formaciones geológicas expuestas en superficie, lo que contribuye significativamente al conocimiento de la geología de un área determinada. Cabe mencionar que a esta metodología se le suele complementar con la construcción de calicatas.
- Mapeo por perfiles: Este método implica simplemente en levantar la geología mientras se camina a lo largo de una ruta predeterminada, pues los contactos y otros rasgos serán extrapolados entre las observaciones realizadas en los perfiles contiguos.

4.3.Marco Geotécnico

4.3.1. Geotecnia

De manera técnica, se podría decir que la geotecnia tiene mucho que ver con la definición de las propiedades de resistencia y deformación del suelo, como la arcilla, el limo y la arena. Pues, esta incluye disciplinas como la mecánica de suelos, la hidrogeología y la geología y disciplinas adyacentes como la geofísica.

La ingeniería geológica, por otro lado, se ocupa de las propiedades de resistencia y deformación de los materiales rocosos.

De manera más específica se podría decir, que se la utiliza para “la planificación y el diseño en relación con, por ejemplo, la construcción de carreteras y los cimientos de edificios y otras estructuras. El campo también implica competencia en el análisis de estabilidad de taludes, capacidad de carga y deformación de obras y estructuras de terreno” (Hauge, s/f; párr. 2).

4.3.2. Caracterización Geotécnica

La caracterización geotécnica, según lo indicado por Bolero, (s/f) es, el resultado de una serie de actividades llevadas a cabo en campo, laboratorio y oficina, siguiendo procedimientos

y normas rigurosas para su ejecución, con el fin de tomar decisiones técnicas basadas en las condiciones cambiantes del terreno en estudio. (párr. 8)

Este proceso de caracterización geotécnica comienza con la exploración del subsuelo, seguido de ensayos de campo y de laboratorio, y finaliza con la interpretación de datos y la delimitación de sectores del terreno, considerando su resistencia y respuesta ante cargas externas.

Es importante destacar que los estratos del suelo nunca son realmente homogéneos. “Las propiedades del suelo en un sitio pueden mostrar grandes variaciones locales, pero puede que no haya tendencias generales en las variaciones” (Taylor, 1948, como se citó y modifico por Bolero, s/f, párr. 9).

Este hecho es importante, puesto que esta variabilidad requiere de la adopción de un modelo de comportamiento del suelo, “el cual se basa en parámetros geotécnicos que describen su respuesta a las cargas” (Bolero, s/f, párr. 10)

De esta forma, se puede entender que la caracterización geotécnica se completa asignando parámetros geomecánicos representativos a cada sector delimitado.

(Bolero, s/f, párr. 11)

4.3.3. *Mecánica de Suelos*

Taylor, (1961), define a la mecánica de suelos como “la disciplina que estudia todos los fenómenos que influyen en el comportamiento del suelo, especialmente en el contexto de la ingeniería” (p. 54). Esto abarca una amplia gama de procesos y comportamientos del suelo que son relevantes para diversas aplicaciones prácticas en geotecnia y en ingeniería.

Por otro lado, (Badillo y Rodríguez, 2005, p. 245), en su libro “Fundamentos de Mecánica de Suelos”, explican que la mecánica de suelos se basa en la aplicación de los principios de la mecánica y la hidráulica para abarcar los problemas relacionados con los suelos. Por lo que, se podría decir que el objetivo principal de la mecánica de suelos, es estudiar las propiedades, el comportamiento y la utilización del suelo como material estructural, garantizando que las deformaciones y la resistencia del suelo proporcionen seguridad y estabilidad.

4.3.4. *Parámetros Geotécnicos*

Su importancia radica en que son necesarios para poder describir y caracterizar los suelos, permitiendo comprender su comportamiento y proporcionando información clave para la construcción de modelos geotécnicos.

Para entender cómo responderán los suelos a diversas cargas, es crucial analizar detalladamente su perfil estratigráfico, incluyendo el tipo de suelo, su profundidad, espesor, parámetros dinámicos y elásticos. Para llevar a cabo esta tarea, se emplean diversos métodos, que van desde métodos directos como la excavación de calicatas hasta métodos más sofisticados; y métodos indirectos como la prospección geofísica.

4.3.5. Métodos Indirectos

Los métodos indirectos de exploración geotecnia según lo expuesto por (Herbert y Gomez, 2012, p. 12), en su libro “Utilización de Técnicas de Sondeos en Estudios Geotécnicos”, son aquellos que permiten investigar las propiedades físicas de los estratos del suelo sin la necesidad de acceder directamente al terreno. Pues, estos métodos se basan en la medición de diversas propiedades desde la superficie, lo que proporciona información sobre las diferentes capas o estratos del suelo.

Se incluyen en este grupo, entre otros la prospección geofísica, la cual incluye métodos gravimétricos, eléctricos, sísmicos, magnéticos y electromagnéticos.

4.3.5.1. Geofísica.

Todas las técnicas de geofísica aplicada se centran en investigar y distinguir las formaciones geológicas que se encuentran en profundidad mediante la medición de un parámetro físico asociado a ellas: la densidad, la velocidad de las ondas elásticas, la resistividad eléctrica. “Los métodos geofísicos son particularmente útiles cuando existen contrastes bien definidos entre las propiedades de materiales del subsuelo y son utilizados para cartografiar horizontes de suelo, y la posición del nivel freático y del basamento” (Arias, et al. 2012, p. 2)

Otro dato a destacar es que las exploraciones geofísicas son técnicas no destructivas que permiten evaluar el terreno en estudio a través de un conjunto de mediciones indirectas de ciertos parámetros físicos que se relacionan con las propiedades mecánicas del mismo. La distribución de ondas de corte en profundidad es una propiedad fundamental para la clasificación sísmica del suelo. (Ferrara, 2021, párr. 1).

4.3.5.1.1. Métodos Sísmicos.

“Estos estudian la propagación de ondas sísmicas, estableciendo su relación con la configuración geológica del subsuelo. La velocidad de propagación depende básicamente de las constantes elástica y de la densidad del medio” (González et al., 2002, p. 355)

Los contactos entre los cuerpos geológicos con diferente velocidad de transmisión de las ondas sísmicas, definen superficies de separación en las que las ondas sufren refracción, reflexión o difracción.

❖ **Refracción Sísmica**

La sísmica de refracción es ampliamente utilizada en geotecnia para estudiar el terreno debido a su eficiencia, bajo costo y flexibilidad. “Este método proporciona información inicial sobre el espesor de las capas de suelo y la profundidad del lecho rocoso en una ubicación determinada” (Das, Braja M, 2013, p. 318).

Este método mide el tiempo de llegada o de propagación de las ondas longitudinales (ondas P) y con ello es posible establecer un perfil del subsuelo. Cuando una onda incide en una superficie que separa dos medios con velocidades de propagación diferentes se produce un cambio en la trayectoria de dicha onda; efecto que se cuantifica a través de la Ley de Snell. (Albarracín et al., 2022, p. 10)

4.3.6. Métodos Directos

Los métodos directos de exploración geotecnia según lo expuesto por (Herbert y Gomez, 2012, p. 12), en su libro “Utilización de Técnicas de Sondeos en Estudios Geotécnicos”, son aquellos que permiten el acceso y observación directa al subsuelo, permitiendo a su vez la obtención de muestras.

4.3.6.1. Ensayo de Penetración Estándar.

El ensayo de penetración dinámica “permite obtener un valor N de resistencia a la penetración que puede correlacionarse con parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de fricción, la carga admisible y los asentamientos en los suelos granulares” (González et al., 2002, p. 365). Además, durante el ensayo se obtiene una muestra alterada, para realizar ensayos de identificación en laboratorio

El ensayo SPT puede realizarse en una amplia variedad de suelos, incluyendo aquellos con alteración rocosa “roca-suelo”, aunque es en los suelos granulares donde se realiza preferentemente.

4.3.6.2. Ensayo de Compresión Triaxial.

La finalidad de este ensayo según Gayo, (2017) es “obtener los parámetros de resistencia del suelo y estudiar su comportamiento frente a la deformación, a través de la determinación del esfuerzo cortante. Aunque es un ensayo complejo, la información que entrega es fundamental, ya que representa de manera precisa el esfuerzo cortante que experimenta una masa de suelo cuando se somete a carga. Por lo general, este ensayo implica el uso de tres probetas de un mismo suelo, cada una sometida a una tensión efectiva diferente, dentro de una célula triaxial”. (p. 31)

4.3.6.3. Ensayo de Corte Directo.

Este ensayo tiene por objeto “la determinación de los parámetros de resistencia, cohesión c y ángulo de fricción interno ϕ , de una muestra de suelo sometida a esfuerzo cortante. También se pueden obtener los parámetros de resistencia residual c_R y ϕ_R ”. (González et al., 2002, p. 345).

4.3.6.4. Granulometría.

A pesar de ser uno de los análisis más sencillos de ejecutar para la caracterización de los suelos, este nos permite aproximarnos a las características geotécnicas principales del suelo como por ejemplo la capacidad portante, deformabilidad o permeabilidad. Pues, tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de partículas presentes en un suelo a través de una serie normalizada de tamices, pesando la cantidad de suelo que queda retenido en cada uno de ellos.

Los suelos se clasifican generalmente como grava, arena, limo y arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas. Sin embargo, no existe total coincidencia entre las normativas internacionales en cuanto a los límites de tamaño que definen cada tipo de suelo.

Existen dos sistemas de clasificación de suelos ampliamente utilizados: el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), que se emplea en proyectos geotécnicos; y el sistema de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO), que se utiliza específicamente en la construcción de carreteras y terraplenes.

❖ Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS o USCS)

El sistema (SUCS) regido por la norma ASTM D-2487, identifica tres divisiones mayores de suelo: suelos de grano grueso, suelos de grano fino, y suelos altamente orgánicos. Estas tres divisiones son después divididas en un total de 15 grupos básicos de suelo.

Tabla 1. Símbolos del Grupo (SUCS)

Tipo de Suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobremente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Limite liquido alto (> 50)	L
Turba	Pt	Limite liquido bajo (< 50)	H

Nota. Adaptada de “Norma ASTM D-2487”. En la tabla se presenta el tipo de suelo con su respectivo prefijo, sufijo y el subgrupo al cual pertenece.

Basándose en los resultados de observaciones visuales y pruebas de laboratorio prescritas, un suelo es catalogado de acuerdo al grupo básico de suelo, asignándole un símbolo(s) de grupo y un nombre, quedando clasificado de este modo.

Tabla 2. Tipología de suelos según (SUCS)

Símbolo		Características Generales	
GW	Gravas (> 50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (finos < 5%)	Bien graduadas
GP			Pobremente graduadas
GM		Con finos (finos > 12%)	Componente limoso
GC			Componente arcilloso
SW	Arenas (< 50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (finos < 5%)	Bien graduadas
SP			Pobremente graduadas
SM		Con finos (finos > 12%)	Componente limoso
SC			Componente arcilloso
ML	Limos	Baja plasticidad (LL < 50)	
MH		Alta plasticidad (LL > 50)	
CL	Arcillas	Baja plasticidad (LL < 50)	
CH		Alta plasticidad (LL > 50)	
OL	Suelos orgánicos	Baja plasticidad (LL < 50)	
OH		Alta plasticidad (LL > 50)	
Pt	Turba	Suelos altamente orgánicos	

Nota. Adaptada de “Norma ASTM D-2487”. En la tabla se presenta los símbolos para la tipología de suelos según la SUCS y sus respectivas características generales.

❖ Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficinas de Transporte (AASHTO)

En el sistema AASHTO, los suelos pueden clasificarse según ocho (8) grupos principales A-1 a A-8, en base a su distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. Los suelos de los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de grano grueso, mientras que los incluidos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son de grano fino. El grupo A-8, por su parte, incluye suelos como la turba, compostas orgánicas y otros suelos con alto contenido de materia orgánica, los cuales se identifican mediante inspección visual.

Por otro lado, la evaluación cualitativa de un suelo como sub-rasante de una vía, se lleva a cabo considerando el índice de grupo (GI), el cual es un número que depende del porcentaje pasante por el tamiz #200, el límite líquido (LL), y el índice de plasticidad (IP).

Tabla 3. Clasificación de suelos (AASHTO)

Clasificación General	Materiales Granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)						
Clasificación de grupo	A-1		A-3A	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por mallas, (% que pasa)							
No. 10 (2.00 mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...
No. 40 (420 um)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...
No. 200 (75 um)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Para la fracción que pasa							
Malla No. 40							
Límite líquido	...	...	...	40 máx.	41mín.	40 máx.	41mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	...	N.P.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Calificación	Excelente a bueno						
La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2							
Clasificación General	Materiales Limo-arcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)						
Clasificación de grupo	A-4	A-5	A-6	A-7			
				A-7-5	A-7-6		
Análisis por mallas, (% que pasa)							
No. 10 (2.00 mm)	...	...	...	...	...	...
No. 40 (420 um)	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75 um)	35 máx.	36 mín.	36 mín.	...	36 mín.	...	
Para la fracción que pasa							
Malla No. 40							
Límite líquido	40 máx.	41mín.	40 máx.	...	41 mín.	...	
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11mín.	...	11 mín.	...	
Tipos de materiales característicos	Suelos limosos			Suelos arcillosos			
Calificación	Regular a malo						
(Si IP < LL = 30, la clasificación es A-7-5) – (Si IP > LL = 30, la clasificación es A-7-6)							

Nota. Adaptada de “Sistema AASHTO”. En la tabla se presenta el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO con sus respectivos valores de asignación para cada tipo de material.

4.3.6.5. Límites de Atterberg.

Los límites de Atterberg definen los puntos de transición en el comportamiento de un suelo cohesivo en función de su contenido de agua, determinando los estados sólido, semisólido, plástico y líquido. Estos límites son importantes para comprender cómo la plasticidad y la cohesión de un suelo cambian con la cantidad de humedad presente, lo que influye en su comportamiento ante diferentes cargas y condiciones de carga.

- Límite líquido: Porcentaje de contenido de humedad con que un suelo cambia, al disminuir su humedad, de la consistencia líquida a la plástica, o, al aumentar su humedad, de la consistencia plástica a la líquida. Este se determina con la ayuda del equipo de Casagrande.
- Límite plástico: Porcentaje de contenido de humedad con que un suelo cambia al disminuir su humedad de la consistencia plástica a la semisólida, o, al aumentar su humedad, de la consistencia semisólida a la plástica.
- Límite de retracción: El límite de retracción representa el valor a partir del cual si la humedad disminuye más ya no hay una variación del volumen del suelo (variación de volumen que si se produce al disminuir la humedad en los estados semisólidos, plástico o líquido)

4.3.7. Mecánica de Rocas

La “mecánica de rocas se encarga del estudio teórico-práctica de las propiedades físico-mecánicas del medio rocoso y de la respuesta del mismo ante la acción de fuerzas aplicadas” (BSG Institute, s.f., párr. 1).

Dentro de la mecánica de rocas “el conocimiento de las tensiones y las deformaciones que puede llegar a soportar el material rocoso ante unas determinadas condiciones permite evaluar su comportamiento mecánico. La relación entre ambos parámetros describe el comportamiento de los diferentes tipos de rocas y macizos”. (González, et al, 2002, p. 118)

4.3.7.1. Propiedades Físicas de la Matriz Rocosa

Las propiedades físicas de la matriz rocosa son determinadas por una serie de parámetros que se utilizan para su identificación y descripción cuantitativa. Estas propiedades, también conocidas como propiedades índice, junto con la composición mineralógica y la fábrica, son las que en primer lugar determinan las características de la matriz rocosa”. (González, et al, 2002, p. 127)”.

Entre estas propiedades físicas las más comúnmente empleadas incluyen gravedad específica, densidad, contenido de humedad, porosidad, compacidad, entre otros.

4.3.7.2. Propiedades Mecánicas de la Matriz Rocosa

En las propiedades y en el comportamiento mecánico de los macizos rocosos competentes influye el grado de fracturación y de meteorización, la presencia de agua, la orientación y tipo de discontinuidades, el tamaño de los bloques, entre otros.

La importancia de las discontinuidades, como son los planos de estratificación, diaclasas, fallas, pliegues y más, será también relativa en función de la escala de trabajo: si el efecto de las discontinuidades sobre el comportamiento del macizo no es importante, o si es pequeño, el medio puede ser considerado continuo, pero si las dimensiones de los planos de debilidad afectan el comportamiento en un ámbito mayor, su estudio debe ser abordado por separado. (González, et al, 2002, p. 126).

4.3.8. Clasificación Geomecánica de los Macizos Rocosos

Los macizos rocosos, como sistemas discontinuos, exhiben un comportamiento geomecánico complejo que puede ser analizado y clasificado de manera simplificada según su idoneidad para diversas aplicaciones. Por lo antes mencionado, es que, surgieron las clasificaciones geomecánicas, que según: González, et ál., (2002), “aportan mediante la observación directa de las características de los macizos rocosos y la realización de sencillos ensayos, índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos del macizo y sus características frente a los sostenimientos de taludes” (p. 229).

La principal ventaja de las clasificaciones geomecánicas según: (González, et al, 2002), es que “proporcionan una estimación inicial de los parámetros mecánicos del macizo. No obstante, debe ser considerada la excesiva simplificación que suponen a la hora de trabajar con macizos rocosos blandos, tectonizados y alterados, para los que, por lo general, sobrevaloran las propiedades mecánicas y resistentes, sin tener en cuenta aspectos importantes como la deformabilidad”. Estas limitaciones deben ser consideradas al aplicar las clasificaciones, debiendo interpretar los resultados con criterio y siempre en base al conocimiento de las propiedades y del comportamiento geomecánico de los diferentes tipos de macizos rocosos.

4.3.8.1. Clasificación Geomecánica RMR (Rock Mass Rating) Bieniawski

Desarrollada por Bieniawski, (1973, y actualizada en el 1979 y 1989), es un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad de la masa rocosa con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación. Además de que tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- ✓ Resistencia uniaxial del material rocoso.
- ✓ Índice cuantitativo de la calidad de la roca RQD.

- ✓ Espaciado, orientación y condiciones de las discontinuidades con respecto a talud o excavación.
- ✓ Estructura geológica y fallas.
- ✓ Filtraciones y presencias de agua.

La incidencia de estos parámetros se expresa por medio del índice de calidad RMR, que varía de 0 a 100, valorando cuantitativamente los parámetros que a continuación se presentan:

- ✓ Resistencia de la matriz rocosa, (F1);
- ✓ El RQD (%). (F2);
- ✓ La separación entre diaclasas. (F3);
- ✓ El estado de las discontinuidades. (F4);
- ✓ El agua freática (F5)

De esta forma para la obtención del RMR, primero se determina el RMR básico, el cual se calcula con la fórmula:

$$RMR_{básico} = F1 + F2 + F3 + F4 + F5$$

Posteriormente, se obtiene el RMR de la siguiente forma:

$$RMR = RMR_{básico} + F6$$

Donde:

- F6 = Correcciones por la orientación de las discontinuidades

4.3.8.2. Clasificación Geomecánica GSI (Índice de Resistencia Geológica)

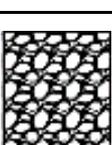
El índice de resistencia geológica, GSI, desarrollado por Hoek (1994), para “subsancar los problemas detectados con el uso del índice RMR para evaluar la resistencia de macizos rocosos según el criterio generalizado de Hoek-Brown.

- RMR: es la estructura del macizo rocoso, definida en términos de su blocosidad y grado de trabazón.
- JC: es la condición de las estructuras (discontinuidades) presentes en el macizo rocoso

La evaluación del índice GSI se hace por comparación del caso que interesa con las condiciones típicas que se muestran en la Tabla 4, y este índice puede variar de 0 a 100, lo que permite definir 5 clases de macizos rocosos:

De esta forma, la determinación en terreno del índice GSI no requiere de cálculos, ya que el valor de GSI se obtiene directamente, por comparación de la situación in situ con los casos que se muestran en el siguiente abaco.

Tabla 4. Clasificación geotécnica GSI

<p>Índice de Resistencia Geológica GSI (Hoek Y Marinos, 2000)</p> <p>A partir de la litología estructura y la condición de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio de GSI. No intente ser muy preciso. Escoger un rango de 33 a 37 es más realista que fijar GSI = 35. También notar que esta tabla no se aplica a mecanismos de falla controlados por estructuras. Donde se presentan planos estructuralmente débiles, en una orientación desfavorable con respecto a la cara de excavación, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. La resistencia al corte de las superficies en rocas que son propensas a detonarse como resultado de cambios en la humedad, se reducirá cuando exista presencia de agua. Cuando se trabaja con rocas de categoría regular a muy mala. puede moverse hacia la derecha para condiciones húmedas. La presión de poros se maneja con un análisis de esfuerzos efectivos</p> <p>Estructura</p>		<p>Condiciones Superficiales</p> <p>(Muy Buena) Muy Rugoso, Superficies frescas sin meteorización</p> <p>(Bueno) Rugoso, ligeramente meteorizada, superficie con óxido</p> <p>(Regular) Lizas, moderadamente meteorizadas y superficies alteradas.</p> <p>(Mala) Espejo de falla, altamente meteorizadas con recubrimiento compacto o rellenos o fragmentos</p> <p>(Muy Mala) Espejo de falla, superficies altamente meteorizadas con recubrimiento de arcilla o rellenos</p>				
		<p>Disminuye Calidad de Superficie -----></p>				
 <p>Intacto o Macizo Especímenes de roca intacta o masivo, in-situ; con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.</p>	<p>Disminuye el entrelazado de pedazos de roca</p> <p>-----</p> <p>∨</p>	90			N/A	N/A
 <p>Levemente fracturado Macizo rocoso no disturbado, muy bien entrelazado, constituido por bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades.</p>		80				
 <p>Moderadamente fracturado Entrelazado, macizo rocoso parcialmente disturbado con bloques angulosos de varias caras formado por 4 o más familias de discontinuidades.</p>		70				
 <p>Muy Fracturado/Disturbado/Agrietada Foliada con bloques ángulos formados por la intersección de muchos familias de discontinuidades. Persistencia de planos de estratificación o esquistosidad.</p>		60				
 <p>Desintegrado Pobrementemente entrelazado, macizo altamente fracturado compuesto de una mezcla de pedazos de rocas angulosas y redondeadas.</p>		50				
 <p>Foliado/Laminado/Cizallado Falta de formación de bloques debido al pequeño espaciamiento o esquistosidad débil o planos de corte</p>		40				
		30				
		20				
		10	N/A	N/A		

Nota. Hoek y Marinos., (2000). En la tabla se presenta los parámetros para la evaluación del índice de GSI

Sin embargo, hay que tener claro que la metodología antes expuesta, considera una “ventana de mapeo” y no es aplicable al mapeo geotécnico de sondajes, por lo que según, (Hoek, et al, s/f, p. 2); es necesario utilizar otro sistema de calificación para el mapeo de sondajes (ej. el sistema RMR), y luego transformar los resultados a valores de GSI.

4.3.9. Criterios de Rotura

4.3.9.1. Resistencia al Corte; Criterio de Rotura de Hoek & Brown Generalizado.

Para evaluar la resistencia de la matriz rocosa es más adecuado un criterio no lineal, donde la representación gráfica de la rotura es una curva de tipo cóncavo.

Es un enfoque válido para predecir la rotura en macizos rocosos isótropos. Este criterio considera varios factores que influyen en la rotura a gran escala de un medio rocoso, como la no linealidad con el nivel de tensiones, la influencia del tipo de roca y del estado del macizo, la relación entre la resistencia a la compresión y a la tracción, así como la disminución del ángulo de fricción con el aumento de la tensión de confinamiento, entre otros. (González, et al, 2002, p. 217).

El criterio fue desarrollado inicialmente para su aplicación a macizos rocosos fracturados sin alterar con matriz rocosa resistente, asumiendo que los bloques de roca están en contacto unos con otros y que la resistencia del macizo está controlada por la resistencia de las discontinuidades. La resistencia del macizo queda definida por la expresión

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} * \sqrt{m * \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}'} + S}$$

Donde:

- σ_1 y σ_3 = Son los esfuerzos principales mayor y menor en la rotura
- σ_{ci} = Es la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa
- m, S = Son constantes adimensionales que dependen de las propiedades del macizo rocoso, del tipo de roca y de la frecuencia y características de las discontinuidades

El valor de σ_{ci} , debe obtenerse en ensayos de compresión simple de laboratorio o, en su defecto, puede estimarse a partir del ensayo de carga puntual o de índices de campo. L

El uso del criterio no solo en macizos rocosos duros, sino también en macizos de rocas débiles, ha supuesto una reformulación del criterio, así como la introducción de nuevos parámetros. Su última versión se expresa:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} * (m_b * \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}'} + S)^\alpha$$

Donde:

- m_b = es un valor reducido de la constante del material m_l y está dado por

$$m_b = m_l \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

donde GSI (Geological Strength Index) es una clasificación geomecánica S y α son constantes del macizo rocoso dadas por las siguientes relaciones:

$$S = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right) \quad \alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}(e^{-GSI/15} - e^{-20/3})$$

D es un factor que depende sobre todo del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo por los efectos de las excavaciones (mecánicas o por voladuras) o por la relajación de esfuerzos.

El factor fue introducido en la última versión del criterio de rotura de Hoek&Brown (Hoek et al., 2002), porque se detectó que para el caso de macizos de rocas no alteradas ($D=0$), el criterio daba parámetros resistentes demasiado optimistas. El factor adopta valores desde 0 para la roca no alterada en condiciones in situ, hasta el valor de 1 para la roca muy alterada. (Hoek y Brown, 1980; G3nizalez et al., 2002; p. 217)

Cabe destacar, que en este caso ya no se utiliza el Rock Mas Rating, sino que se adopta el Geological Strength Index (GSI)

Tabla 5. Factor de alteración del criterio de rotura de Hoek&Brown

Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor D sugerido
	✓ Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel.	D=0
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo circundante. ✓ Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance. la alteración puede ser severa a menos que se coloquen una contra - bóveda temporal, tal como se muestra en la figura. 	<p>D=0</p> <p>D=0.5 No invert.</p>
	✓ Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3m en el macizo rocoso circundante.	D=0.8
	✓ Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo, la liberación de tensión resulta en alguna alteración.	<p>D=0.7 Good blasting</p> <p>D=1.0 Poor blasting</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento. ✓ En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afectación a los taludes será menor. 	<p>D=1.0 Production blasting</p> <p>D=0.7 Mechanical excavation</p>
---	---	---

Nota. En la tabla se presenta las guías para la estimación del factor de alteración del criterio de rotura de Hoek & Brown, D.

4.3.10. Equilibrio Límite y Factor de Seguridad

Los métodos de equilibrio límite analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consisten en comparar las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. Se basan en:

- ✓ La selección de una superficie teórica de rotura en el talud.
- ✓ El criterio de rotura de Mohr-Coulomb.
- ✓ La definición de «coeficiente de seguridad».

Los problemas de estabilidad son estáticamente indeterminados, y para su resolución es preciso considerar una serie de hipótesis de partida diferentes según los métodos. Asimismo, se asumen las siguientes condiciones:

- ✓ La superficie de rotura debe ser postulada con una geometría tal que permita que ocurra el deslizamiento, es decir, será una superficie cinemáticamente posible.
- ✓ La distribución de las fuerzas actuando en la superficie de rotura podrá ser computada utilizando datos conocidos (peso específico del material, presión de agua, etc.).
- ✓ La resistencia se moviliza simultáneamente a lo largo de todo el plano de rotura.

Con estas condiciones, se establecen las ecuaciones del equilibrio entre las fuerzas que inducen el deslizamiento y las resistentes. (González y otros, 2002, p. 446)

La mayoría de los métodos de límite de equilibrio tienen en común, la comparación de las fuerzas o momentos resistentes y actuantes sobre una determinada superficie de falla.

Para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones, se presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla. (Suárez, 2009, p. 149)

$$FS = \frac{\text{Resistencia al cortante disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}}$$

En las superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$FS = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento acuante}}$$

Existen, además, otros sistemas para plantear el factor de seguridad, tales como la relación de altura crítica y altura real del talud, así como métodos probabilísticos,

Otro criterio es dividir la masa que se va a estudiar en una serie de tajadas, dovelas o bloques y considerar el equilibrio de cada tajada por separado. Una vez realizado el análisis de cada tajada se analizan las condiciones de equilibrio de la sumatoria de fuerzas o de momentos.

La resistencia al corte de un suelo consiste de dos componentes, la cohesión y la fricción, y se puede expresar como:

$$\tau_f = c' + \sigma' * \text{Tan}\phi'$$

Donde:

- c' = cohesión
- σ' = ángulo de fricción del drenado
- ϕ' = esfuerzo normal efectivo en la superficie potencial de falla

4.3.11. Análisis de Estabilidad

El análisis de estabilidad se aplica al, diseño de taludes o cuando éstos presentan problemas de estabilidad, por lo que se debe elegir un coeficiente de seguridad adecuado, dependiendo de la finalidad de la excavación y del carácter temporal o definitivo del talud, combinando los aspectos de seguridad, consecuencias o riesgos que podría causar su rotura.

Los análisis permiten definir la geometría de la excavación o las fuerzas externas que deben ser aplicadas para lograr el factor de seguridad requerido. En caso de taludes inestables, los análisis permiten diseñar las medidas de corrección o estabilización adecuadas para evitar nuevos movimientos". (González et al., 2002, p. 469)

Los métodos de análisis de estabilidad se basan en un planteamiento físico-matemático en el que intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que actúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad.

4.3.12. Análisis Pseudo-Estático de Estabilidad

En su forma más común, los análisis pseudo-estáticos representan los efectos de las vibraciones de un terremoto mediante aceleraciones pseudoestáticas que producen fuerzas inerciales F_h y F_v , y las cuales actúan a través del centroide de la masa de falla. Las magnitudes de las fuerzas pseudoestáticas son:

$$F_h = \frac{a_h * W}{g} = K_h * W \quad \text{y} \quad F_v = \frac{a_v * W}{g} = K_v * W$$

en donde a_h y a_v son las aceleraciones horizontales y verticales, K_h y K_v son coeficientes pseudoestáticos horizontales y verticales adimensionales (coeficientes sísmicos), y W es el peso de la masa de falla. Las magnitudes de las aceleraciones pseudo-estáticas deberían estar vinculadas con la severidad o intensidad del movimiento de tierra. (Martínez et al, 2012)

Los efectos de un sismo en un talud pueden modelarse empleando aceleraciones horizontales y constantes. Terzaghi, (1959), fue el primero en aplicar un modelo pseudoestático para realizar un estudio de estabilidad de taludes durante un evento sísmico. En estos modelos, se representan los efectos del sismo mediante aceleraciones pseudoestáticas, las cuales producen fuerzas de inercia situadas en el centro de gravedad de cada dovela.

4.3.13. Análisis Estereográfico

Fundamentalmente existen tres tipologías de inestabilidad: rotura plana, cuñas y vuelco. Excepto en las raras y escasas situaciones en que se van masas rocosas completamente masivas, sin fracturación. Estas discontinuidades pueden aparecer aisladas (como es el caso habitual de las fallas) o de forma sistemática formando familias (como es el caso de los planos de estratificación o los planos de esquistosidad) y definen la estructura del macizo rocoso.

Esta técnica de representación geométrica permite traducir un problema tridimensional a dos dimensiones, de forma que los planos se pueden representar mediante líneas y las líneas mediante puntos. “La proyección estereográfica conserva las relaciones angulares entre líneas, planos y líneas y planos, pero no conserva las relaciones espaciales (por lo que no da información sobre la posición o el tamaño de lo que se representa)”. (Garzón y Torrijo, s.f.)

La proyección estereográfica se basa en el uso de una esfera de referencia que tiene una orientación fija de su eje con respecto al norte y de su plano ecuatorial con respecto a la horizontal. (Garzón y Torrijo, p. 2 – 4)

Así, cualquier plano que se quiera representar mediante esta técnica “se posiciona de forma que éste atraviese el centro de la esfera, produciendo una línea de intersección con el hemisferio inferior de la esfera de referencia. La proyección de dicha traza en el plano ecuatorial es el resultado buscado, el cual será un círculo mayor”. (Garzón y Torrijo, p. 2 – 4)

Condiciones para que tenga lugar un vuelco. – Para que se produzca vuelco los planos de discontinuidad deben ser sensiblemente paralelos al talud y aflorar abruptamente y con gran inclinación en él. Los vuelcos se caracterizan por tener movimientos horizontales significativos en su parte superior, pero muy reducidos en su pie. Para poder compatibilizar este movimiento diferencial entre el pie y la parte superior, debe

darse el movimiento de todo el bloque, por lo que es necesario que se supere la fuerza de rozamiento máxima movilizable por fricción entre bloques.

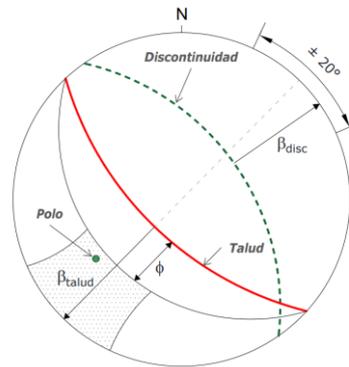


Figura 1. Análisis para rotura por vuelco. Toda discontinuidad cuyo polo caiga dentro de la zona sombreada presenta riesgo potencial de vuelco (cumple los condicionantes estructurales)

Nota. Adaptado de “Análisis cinemático de la estabilidad de taludes en roca por vuelco” (p. 2 – 4). Por Garzón y Torrijo, (s.f.)

- Condiciones para que tenga lugar una rotura plana. – Geométricamente, la ocurrencia de rotura plana en un macizo depende de la orientación de las discontinuidades respecto a la orientación del talud, así como del buzamiento de las discontinuidades respecto al del talud. Así, para que pueda ocurrir, tienen que darse las siguientes tres condiciones:
 - ✓ La dirección de buzamiento de la discontinuidad debe ser “sensiblemente” paralela a la dirección de buzamiento del talud. Por lo general, se considera que la diferencia entre la dirección de buzamiento de la discontinuidad y la del talud debe encontrarse un rango de $\pm 20^\circ$.

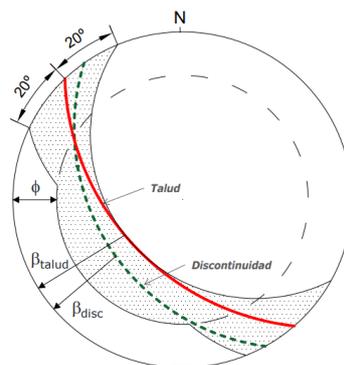


Figura 2. Análisis cinemático para rotura planar. Cualquier discontinuidad que caiga dentro de la zona sombreada presenta riesgo potencial de rotura plana (cumple los condicionantes estructurales)

Nota. Adaptado de “Análisis cinemático de la estabilidad de taludes en roca por rotura planar” (p. 2 – 4). Por Garzón y Torrijo, (s.f.)

- ✓ El buzamiento de la discontinuidad (β_{disc}) debe ser menor que el buzamiento del talud (β_{talud}), de forma que la discontinuidad debe aflorar en la superficie del talud.

- ✓ El buzamiento de la discontinuidad (β_{disc}) debe ser mayor que el ángulo de rozamiento (ϕ) del plano de deslizamiento (normalmente se toma el ángulo de rozamiento o fricción de la discontinuidad). Adicionalmente, para que se produzca rotura plana es necesario que existan lo que se denominan “juntas de relevo”, tales como diaclasas laterales o grietas de tracción, que permitan que parte de la masa rocosa pueda deslizarse y “separarse” de él.
- Condiciones para que tenga lugar una rotura en cuña. – Así, para que una rotura cuneiforme pueda ocurrir tienen que darse las siguientes dos condiciones estructurales:
 - ✓ La línea intersección debe aflorar en la superficie del talud, por lo que su rumbo (dirección) debe ser “similar” a la dirección de buzamiento del talud (más bien, no debe localizarse de forma opuesta a la dirección de buzamiento del éste) y su inmersión (β_{arista}) debe ser menor que el buzamiento del talud (β_{talud}).

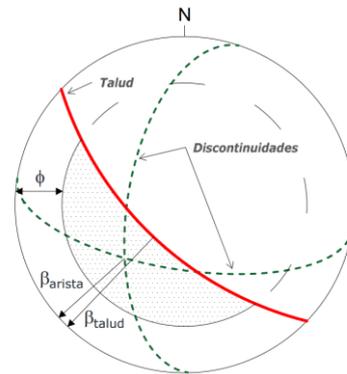


Figura 3. Análisis para rotura en cuña. Cualquier intersección que caiga dentro de la zona sombreada presenta riesgo potencial de rotura cuneiforme (cumple los condicionantes estructurales)
 Nota. Adaptado de “Análisis cinemático de la estabilidad de taludes en roca por cuña” (p. 2 – 4). Por Garzón y Torrijo, (s.f.)

- ✓ La inmersión de la línea intersección (β_{arista}) debe ser mayor que el ángulo de rozamiento (ϕ) de los planos de deslizamiento (normalmente se toma el ángulo de rozamiento o fricción de las dos discontinuidades; si estos valores son muy diferentes, se puede hacer la media).

5. Metodología

5.1. Descripción General del Área de Estudio

5.1.1. Ubicación

El presente proyecto de investigación se encuentra localizado en el km 9,5 – 12 de la vía Villonaco – Taquil, misma que se ubica al sur del Ecuador, en la provincia de Loja, más específicamente, al noroccidente del cantón Loja. Dicha área de estudio según la división político – administrativa descrita en el PDOT del cantón, se encuentra ubicada en la parroquia rural Taquil, misma que limita al norte con la parroquia Santiago, al sur con el cantón Catamayo, al oeste con la parroquia Chantaco y el cantón Catamayo y al este con la ciudad de Loja.

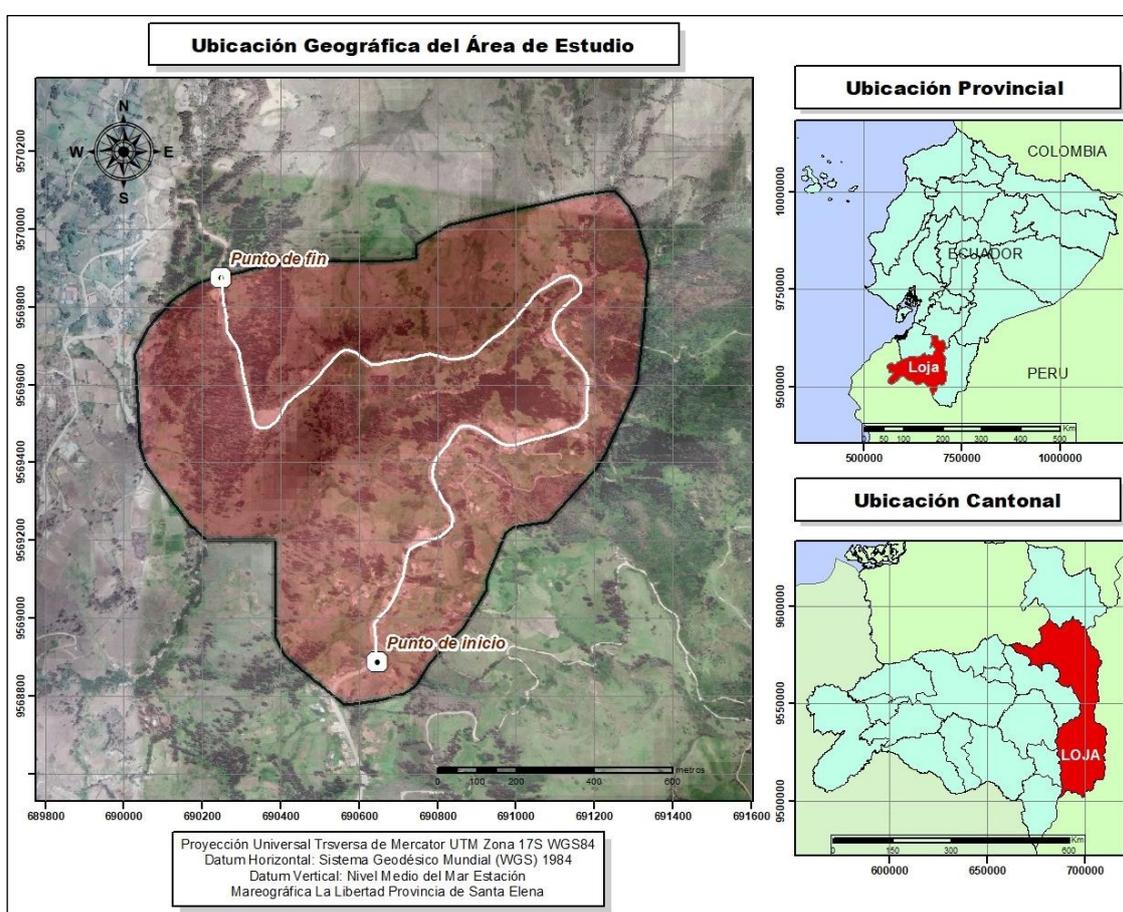


Figura 4. Mapa de Ubicación del Área de Estudio

En la tabla 6 que se presenta a continuación, se detallan las coordenadas geográficas del punto inicial y final del tramo de vía (km 9,5 – 12), que comprende el área de estudio.

Tabla 6. Coordenadas Geográficas

	Coordenada en X	Coordenada en Y	Altura Z
P. Inicial	690562.00	9568793.00	2280
P. Final	690247.00	9569873.00	2261

5.1.2. Acceso

El acceso al área de estudio se lo puede realizar de las siguientes maneras:

5.1.2.1. Vía Terrestre

La ruta se inicia en el Terminal Terrestre “Quitumbe”, ubicado en la ciudad de Quito, de donde se sale hacia la carretera Panamericana “Troncal de la Sierra”, por la que se continúa atravesando las provincias de Latacunga, Ambato, Riobamba, Azogues y Cuenca, hasta llegar a la ciudad de Loja, en un recorrido de 652Km. Posteriormente, y tomando como referencia el Terminal Terrestre “Reina del Cisne”, se sale en dirección al cantón Catamayo, esto se lo realiza por la vía Panamericana Norte - Transversal del Sur, esto recorrido se lo realiza hasta llegar a la “Y de Villonaco – Cazador de Atardeceres”, en donde se toma la vía “A Gualel”, que nos conducirá directamente al aérea de estudio. Este recorrido toma aproximadamente 37 minutos.

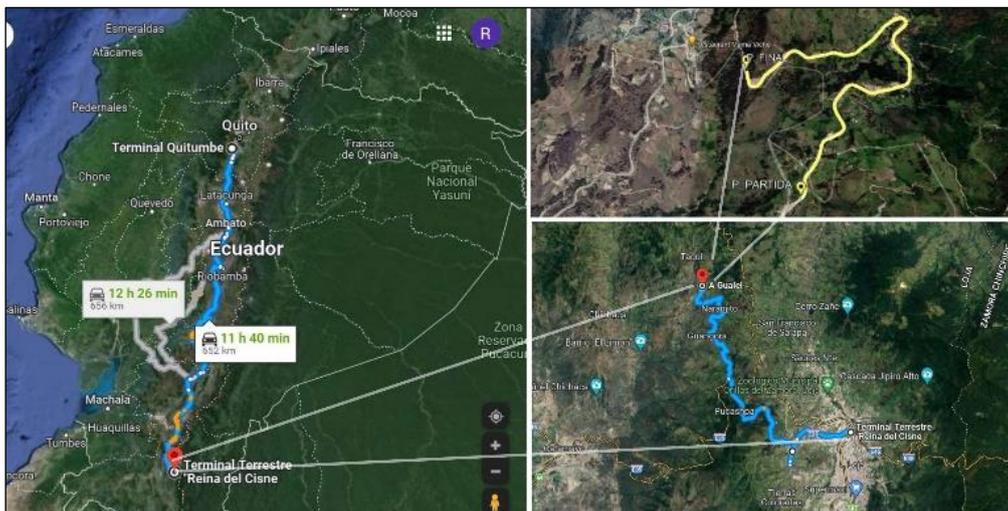


Figura 5. Mapa de Acceso Terrestre al Área de Estudio 1

Nota. Fuente: Google Maps (2022). Modificado y definido por el Autor (2023)

Otra ruta de igual importancia a la antes mencionada, es la que inicia en el Terminal Terrestre “Gómez Platero”, ubicado en la ciudad de Guayaquil, de donde se sale hacia la carretera E582 y Carretera Panamericana “Troncal de la Sierra”, por la que se continúa, hasta llegar a la ciudad de Loja, en un recorrido de 395Km. Posteriormente, y tomando como referencia el Terminal Terrestre “Reina del Cisne”, se sale en dirección al cantón Catamayo, esto se lo realiza por la vía Panamericana Norte - Transversal del Sur, esto recorrido se lo realiza hasta llegar a la “Y del Villonaco – Cazador de Atardeceres”, en donde se toma la vía “A Gualel”, que nos conducirá directamente al aérea de estudio. Este recorrido toma aproximadamente 37 minutos.

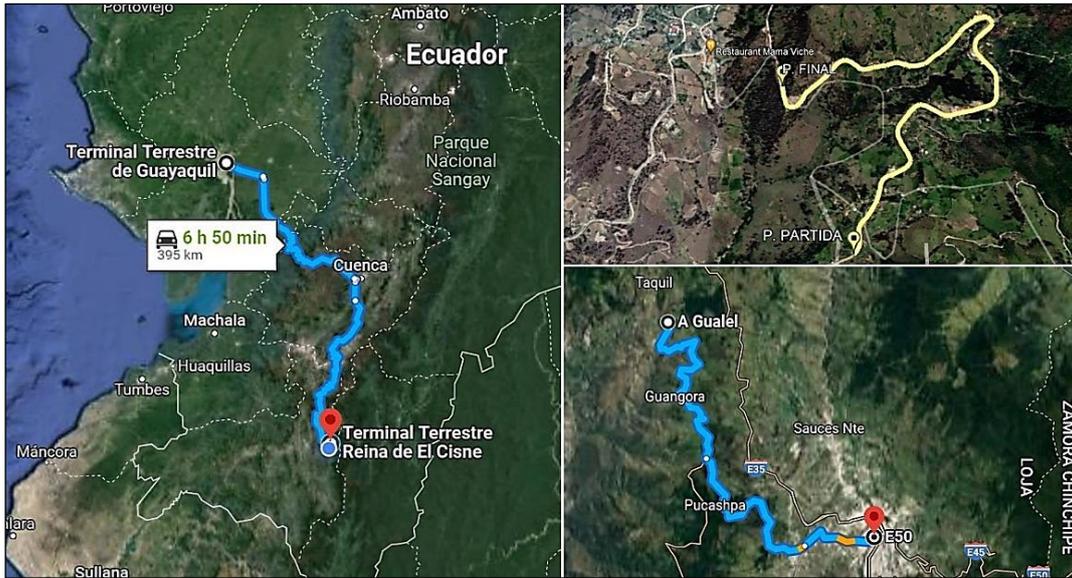


Figura 6. Mapa de Acceso Terrestre al Área de Estudio 2

Nota. Fuente: Google Maps (2022). Modificado y definido por el Autor (2023)

5.1.2.2.Vía Aérea

Se accede a través de la ruta Quito-Catamayo, desde el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre hasta el aeropuerto Ciudad de Catamayo en un tiempo estimado de 50 minutos. Desde Catamayo por la vía a Loja “La Troncal de la Sierra (E35)”, se recorre hasta la altura de la “Y del Villonaco – Cazador de Atardeceres”, en donde se toma la vía de segundo orden “A Gualiel”, que nos conducirá directamente al aérea de estudio. Este recorrido toma aproximadamente 65 minutos.

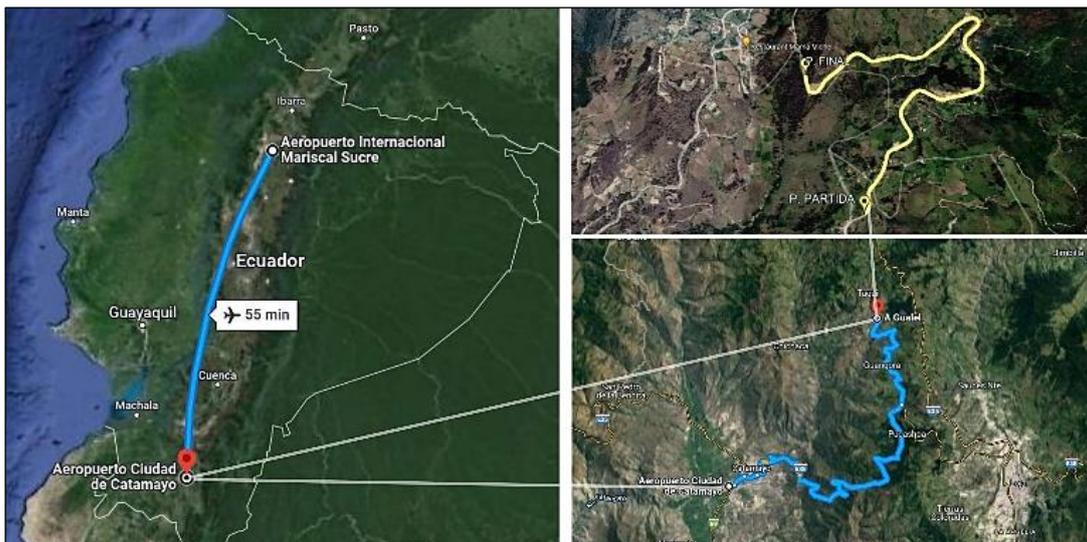


Figura 7. Mapa de Acceso Aéreo al Área de Estudio 1

Nota. Fuente: Google Maps (2022). Modificado y definido por el Autor (2023)

5.1.3. Descripción Biofísica

5.1.3.1. Información Climática

Según el PDOT de la Parroquia Taquil 2014 – 2019, la parroquia, por la ubicación geográfica en la que se encuentra y por la influencia de la Cordillera de los Andes principalmente, presenta 5 tipos de climas diferentes, de mayor a menor influencia; templado sub-húmedo con un área de 5986,42 Has del territorio parroquial, templado húmedo con un área de 1877,15 Has, subtropical seco con un área de 1377,49 Has, sub-templado sub-húmedo con un área de 4,79 Has y tropical subdesértico con un área de 0,82 Has.

De igual forma en el PDOT de la parroquia, se señala que las precipitaciones varían desde los 500 a los 1000mm anuales, mismas que alcanzan su pico más alto entre enero y abril.

Por otro lado, según registros del INAHMI, las temperaturas en la parroquia fluctúan entre, los 12°C en la zona noroeste, a los 20°C en la parte suroccidental de la parroquia.

5.1.3.2. Hidrografía

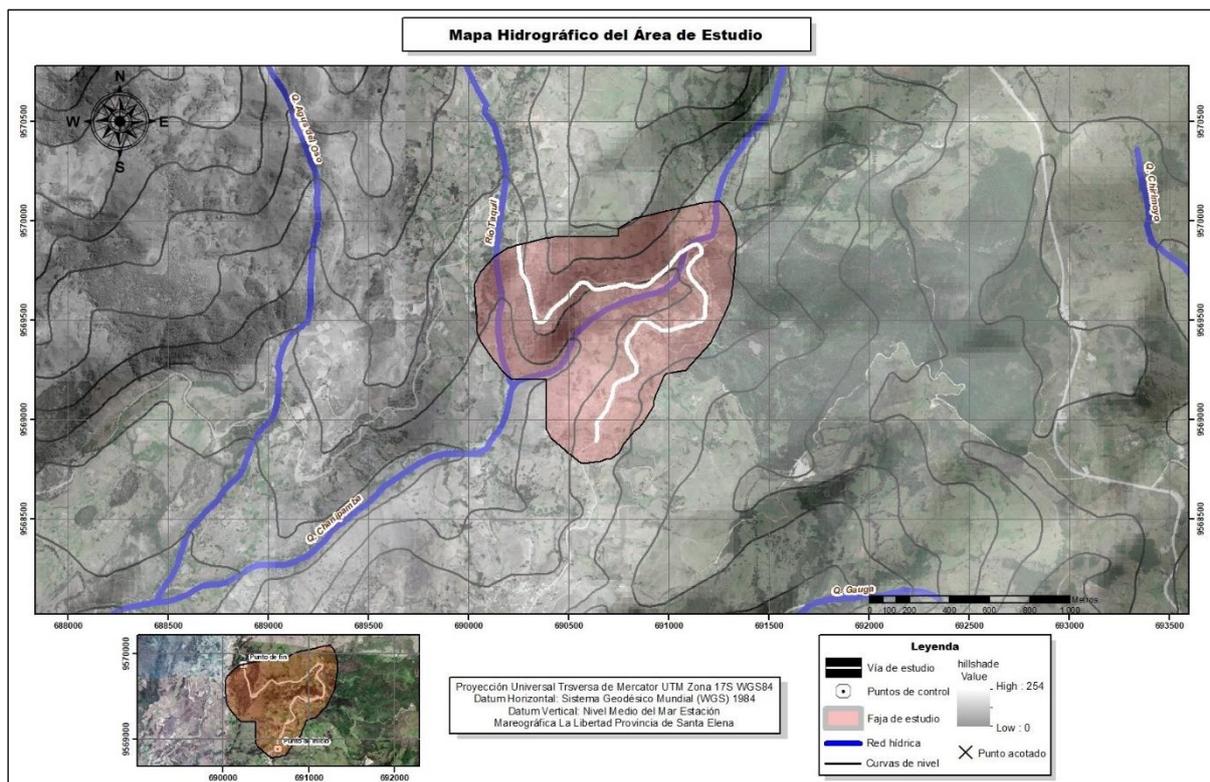


Figura 8. Hoja Hidrográfica Regional, Parroquia Taquil

Nota. Adaptada a partir de las ortofotos del cantón Loja y Catamayo “NVI-F3b-F1 a la NVI-F3b-E4”, proporcionadas por el MAGAP a través de su programa SIGTIERRAS.

De acuerdo con la información presentada en el PDOT de la Parroquia Taquil 2014 – 2019, el sistema hídrico que atraviesa la parroquia, es el de la sub-cuenca del Río Catamayo, la cual a su vez forma parte de la cuenca binacional Catamayo – Chira. Además, de que, por una pequeña parte del sistema hídrico de la parroquia, paso la sub-cuenca del Río Santiago.

De manera más detallada, también se ha logrado identificar 3 micro-cuencas en la parroquia, las cuales drenan sus aguas en las quebradas que atraviesan el territorio de la parroquia; donde la mayoría de drenajes naturales (quebradas) escurren con una dirección preferencial S confluyendo de esta forma en el Rio Taquil, el cual en su curso se une con el Rio Chantaco.

5.1.3.3. Uso y Cobertura de Suelo

De acuerdo a lo expuesto en el PDOT de la Parroquia Taquil 2014 – 2019, el uso y cobertura de suelo de la parroquia, está integrado por: área urbana, correspondiente al 0,25%; área de boques nativos que representa el 13,26%; área de tierras agropecuarias que ocupan el 37,31%; y área de vegetación arbustiva y herbácea, que corresponde al 49,16%.

5.1.3.4. Topografía

La parroquia Taquil presenta un relieve con características topográficas bastante variadas, pues este se caracteriza por presentar altitudes que van desde los 1.180 a 2.230 m.s.n.m. mismo que podría haber surgido por el empuje generado por el orógeno de los andes y otros procesos geológicos característicos de la zona, lo que ha dado lugar a la formación de montañas que se entrelazan naturalmente en el valle, sobre el que se asienta la parroquia.



Figura 9. *Morfología Zona de Estudio*

De manera más detallada, se podría decir que esta parroquia tiene una orografía muy accidentada que lo constituye en una verdadera maraña de cerros, pequeñas cordilleras y lomas alrededor de la Hoya de Loja que es de relieve bastante irregular.

5.1.3.5. Geomorfología

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Taquil 2014 – 2019, en la parroquia se ha podido catalogar de acuerdo a la génesis, morfología y morfometría, 5 tipos de unidades geomorfológicas, mismas que corresponden a un relieve:

- Tectónico Erosivo: Corresponde a levantamientos tectónicos que generan unidades geomorfológicas colinadas y montañosas de diversas alturas y pendientes, y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de procesos erosivos. Cubre un área de 8478,24 ha, dentro de la parroquia.
- Denudativo: Formas originadas por la acción de la gravedad en combinación con el transporte de las aguas. El área que ocupa esta unidad dentro de la parroquia 474,47 ha.
- Depositional o Acumulativo: Se refiere a formas originadas por el depósito de material, transportado por agentes erosivos como el agua, el hielo o el viento. El área que cubre esta unidad de origen con sus respectivas unidades geomorfológicas es de 167,50 ha.
- Depositional Erosivo: Formas originadas por la acción erosiva de formas deposicionales preexistentes. El área con la que cuenta esta unidad es de 74,64 ha.
- Tectónico: El área que ocupa esta unidad de origen con sus unidades geomorfológicas: Escarpe de Terraza, es de 28,08 ha.

5.1.3.6. Geología Regional

En base a la Hoja Geológica de Loja escala 1:100000 actualizada en el año 2017; en un contexto geológico regional la parroquia, se encuentra localizada al, sur de la CR del Ecuador, lugar en el que afloran rocas metamórficas de bajo grado como pizarras y filitas de edad paleozoica, cubiertas por, rocas metamórficas de grado medio como esquistos pelíticos y paragneises que han sido correlacionados con la unidad Agoyán, seguido por secuencias sedimentarias de origen vulcano-sedimentario, y también se han logrado identificar depósitos coluviales de rocas angulosas metamórficas y volcánicas. En menor medida se han encontrado, rocas intrusivas como granodioritas al nor-este de la zona de estudio al igual que, rocas sub-volcánicas como pórfidos andesíticos y dacíticos al sur-este y sur oeste del área de estudio respectivamente, y en la parte nor-occidental de la parroquia se han identificado rocas riolíticas.

- Unidad Chiguinda (PZLC). – (Litherland y otros, 1994). Descrita como una de las principales unidades litológicas de la CR. Consiste de rocas metamórficas de bajo grado desde pizarras y filitas hasta esquistos grafitosos, variablemente intercaladas con cuarcitas. Se infieren contactos tectónicos con las otras unidades metamórficas y forma el basamento de las unidades terciarias. Se le asigna una edad del Devónico al Pérmico

y se la interpreta como una secuencia derivada de una fuente continental, probablemente en una cuenca intercratónica o de margen pasivo.

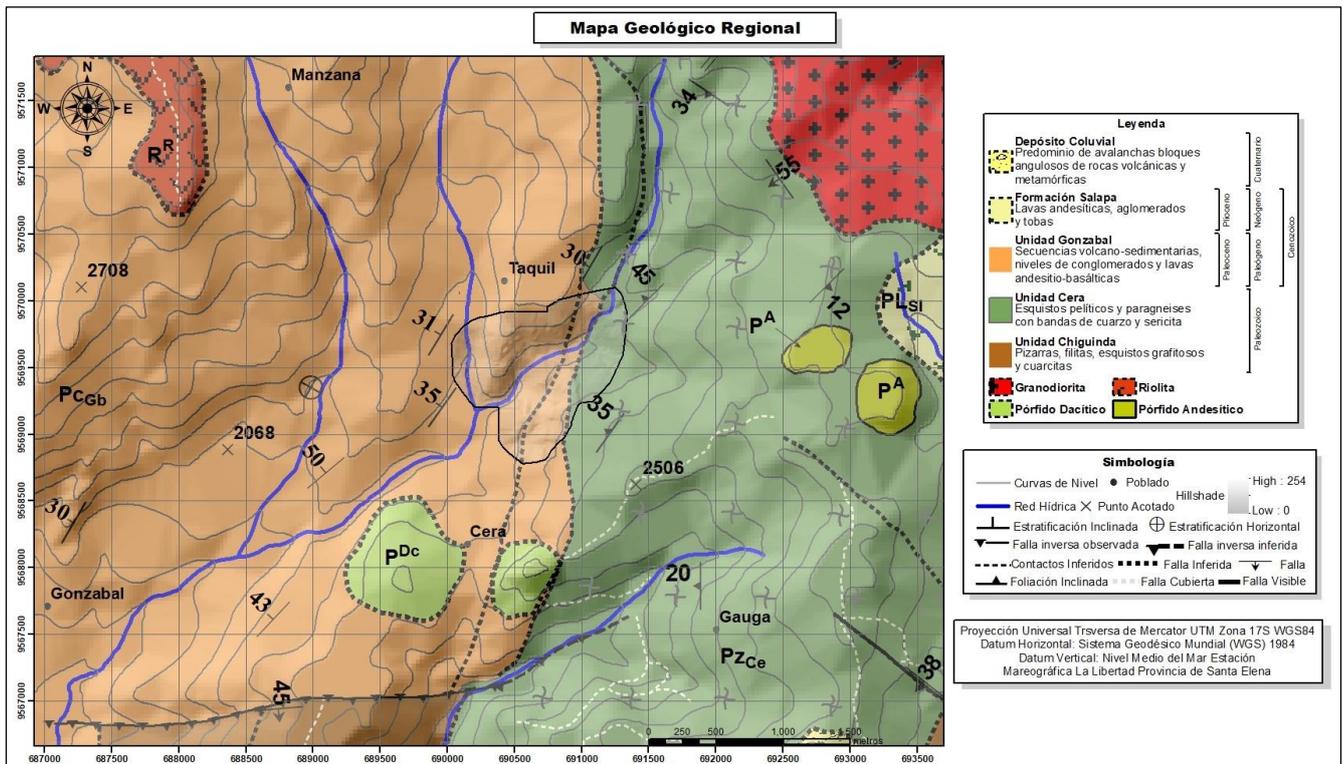


Figura 10. Hoja Geológica de Loja a escala 1:100000; hoja 56, N – VI-F

Nota. INIGEMM (2017). Adaptada por El Autor., (2023)

- Unidad Gonzabal (PCGb). - Inicialmente cartografiada como parte de la Formación Sacapalca (Pratt y otros, 1997), y posteriormente fragmentada en diferentes unidades volcánicas, que corresponden al paleoceno y que se extienden en el Terciario hasta el Plioceno. Consiste de una secuencia vulcano-sedimentaria, cuyos principales afloramientos se encuentran a lo largo de las vías Catamayo-Gonzabal y Taquil-Chantaco. La secuencia incluye tobas líticas, brechas, niveles conglomeráticos grano-decrecientes con estratificación cruzada local y lavas andesito-basálticas subporfidíticas. La unidad se encuentra en contacto fallado con la Unidad Chiguinda y subyace discordante a la Formación Catamayo y a las unidades oligocénicas, por lo que se infiere que es de edad paleocénica tardía.
- Unidad Cera (PZCe). – Definida como una secuencia metamórfica de grado medio que varía desde esquistos hasta paragneises, correlacionables con la Unidad Agoyán. Los principales afloramientos se encuentran en la vía Villonaco - Cera - Taquil y en la quebrada Chanipamba. Litológicamente consiste de esquistos pelíticos de color gris

verdoso, con cuarzo y biotita y paragneises con bandas de cuarzo y sericita. De edad paleozoica.

- Formación Salapa (PLSI). – (Kennerly, 1973). Incluye rocas volcánicas como lavas andesíticas marrones y capas de aglomerados andesíticos con matriz clasto-soportada.
- Depósitos Coluviales (Qc). - En los sectores de Chuquiribamba, así como al borde occidental y al norte de la cuenca de Loja, predominan depósitos de avalanchas y “debris slope” que presentan cantos y guijarros de rocas metamórficas en matriz arenosa.

5.2. Materiales y Equipos

Para dar cumplimiento a los objetivos planeados en el presente trabajo investigativo, fue necesario el levantamiento, la recolección, el análisis, el procesamiento y representación de información, razón por la cual se utilizó una variedad de materiales y equipos de campo y gabinete, mismos que se detallan a continuación:

Tabla 7. Materiales y Equipos para Campo

	Materiales de Campo	
Levantamiento Topográfico	<ul style="list-style-type: none"> - Receptor RTK GPS geodésico marca “EMLID REACH” RS+ - Drone DJI Phantom 4PRO+ V2.0 - Estacas - Machete 	<ul style="list-style-type: none"> - Bipode y Tripode - Cintas de peligro - Combo
Levantamiento geológico	<ul style="list-style-type: none"> - Brújula tipo Brunton - Martillo geológico - Ácido clorhídrico (10%) - Cinta métrica de 50 m - Lápices de colores - Tablero - Libreta de campo 	<ul style="list-style-type: none"> - Lápiz rallador - Fundas Ziploc - Marcador permanente - GPS Garmin - Fichas de descripción de afloramientos - Equipo de protección personal
Levantamiento geotécnico y geofísico	<ul style="list-style-type: none"> - Esclerómetro - Peine de Barton - Juego geométrico - Pintura spray - Escalímetro - Cinta métrica - Geófonos y sensores - Resistivímetro 	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo de S.P.T - Perforadora - Caja de sondeos geotécnico - Barreta y pala - Pala retroexcavadora - Placa - Sismógrafo
Laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> - Juego completo de ensayo de corte directo - Equipo para resistencia a la compresión simple - Equipo para determinar límites de Atterberg - Equipo para clasificación granulométrica 	

Tabla 8. Materiales y Equipos para Laboratorio

	Materiales de Laboratorio	
Información Preliminar	<ul style="list-style-type: none"> - Carta geológica de Loja (hoja 56, N VI-F) a escala 1:100 000 del año 2017. - Mapa Geológico del Proyecto de Rehabilitación de la vía “Ye de Villonaco-Taquil” a escala 1:60 000, generado por el Departamento de estudios viales y obras civiles del Gobierno Provincial de Loja. 	
Información post - campo	<ul style="list-style-type: none"> - Fotografías aéreas del área de estudio, levantadas por el Dron Dji - Phantom 4 para el procesamiento y obtención de la ortofoto. 	
Herramientas y softwares para el procesamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Softwares ArcGis 10.3 - Google Earth Pro - Google Maps - Pix4dmapper 	<ul style="list-style-type: none"> - Rocscience V-4.0 - Dips 7.0 - AutoCAD 2024 - Slide 6.0

5.3.Procedimiento

Con el fin de dar cumplimiento a la caracterización geológica – geotécnica propuesta en el presente trabajo de titulación, se utilizó un enfoque metodológico analítico mixto en el cual se combinaron técnicas de análisis cualitativo y cuantitativo para obtener una comprensión integral de las características geológicas y geotécnicas del area de estudio. Este enfoque permitió una evaluación exhaustiva de los diferentes parámetros geológicos, tales como la composición litológica, la distribución espacial de las diferentes estructuras geológicas, la génesis y cronogeología de las distintas unidades, así como, sus parámetros geotécnicos como las propiedades físico-mecánicas de las geomateriales y la relación de los mismos con la estabilidad de los taludes objeto de estudio. Además, de la inclusión de herramientas de análisis estadístico para la cuantificación de datos y la identificación de tendencias significativas, validando los resultados obtenidos mediante ensayos de campo y laboratorio.

De esta forma, el trabajo inicio con la recopilación de la información base actualizada de la zona de estudio, es decir, se recopiló y valido información bibliográfica de fuentes académicas, como artículos científicos, tesis afines al tema de investigación, libros, cartografía de la zona de estudio, informes de estudios geológicos o geotécnicos de la zona en general publicados bien por instituciones públicas o por empresas privadas que cuenten con la debida sustentación científica. Todo esto permitió:

- ✓ Conocer de forma general las características de la zona de estudio,
- ✓ Confeccionar mapas preliminares, y
- ✓ Planificar de manera sistemática el desarrollo de las distintas fases, en función del objetivo que se desea conseguir.

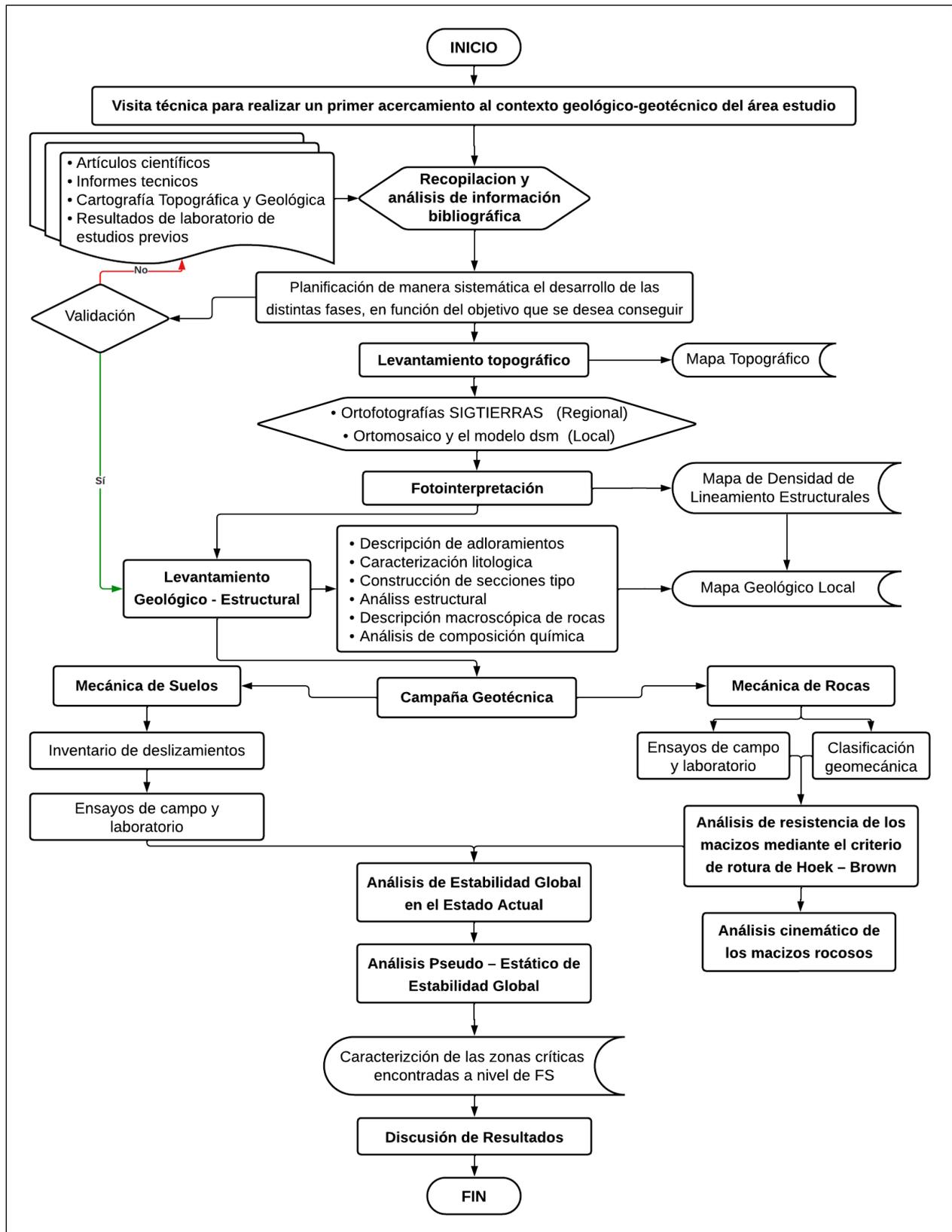


Figura 11. *Flujograma del Proceso Metodológico Desarrollado en la Presente Investigación*

5.3.1. Metodología para el Primer Objetivo

“Elaborar la topografía y geología local a detalle del kilómetro 9,5 – 12,00, de la vía Villonaco – Taquil, a escala 1:5000”

5.3.1.1. Topografía

El levantamiento topográfico, a escala 1:5000 del área de estudio se lo realizo mediante fotogrametría utilizando para ello, un dron “DJI Phantom 4 de alta precisión”.

❖ Trabajo de campo

Como punto de partida de la etapa de campo se realizó un primer recorrido a lo largo de toda la vía, con la finalidad de localizar el punto más alto del área para poder colocar el Receptor RTK GPS geodésico “EMLID REACH” RS+.

Posteriormente, se procedió a cargar el polígono en el software: Drone Deploy, el cual permitió que el dron identifique el polígono a levantar, tras lo cual, el software propuso, el plan de vuelo autónomo más adecuado, en función de la altura del relieve y de la velocidad y dirección del viento, para la respectiva verificación por parte del operador del Drone.

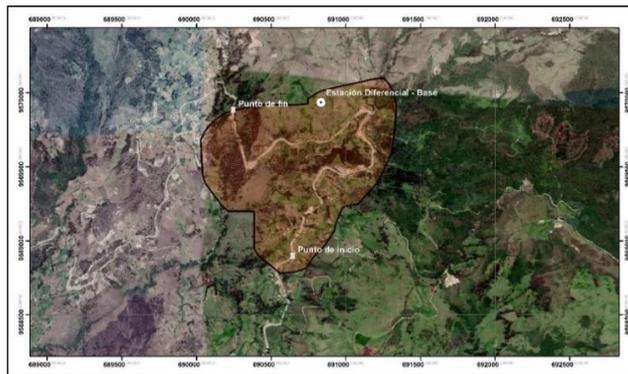


Figura 12. Estación Diferencial

Nota. Polígono del área de estudio y Plan de Vuelo

Una vez ubicada la estación diferencial, se procedió a ubicar los puntos de control con dianas en el suelo, para que de esta forma el dron sea capaz de ubicarlos teniendo una referencia topográfica georreferenciada de cada uno.



Figura 13. Puntos de control “GCP’s”

Nota. Calibración de base, ubicación y enlace de puntos de control

Etapa que fue precedida por el levantamiento de dichos puntos de control, tanto en estado RTK (Real Time Kinematic) como en estado RAW, para de esta forma poder post-procesar milimétricamente el archivo (Rinex) de los puntos en el software Leica Infiny, es decir, cada diana colocada representaba un punto de control “GCP’s”, que necesitaba ser enlazado con la estación base, para la posterior georreferenciación.

Una vez enlazado cada punto GCP’s con la base se procedió con el levantamiento de los puntos de control fijos en estado RTK y en modo RAW, de manera tal que, el arrastre y enlace de dichos puntos. con el punto de la red geodésica nacional REGME “LJEC - UTPL” (ver, Anexo 2), sea preciso.

Al finalizar esta etapa, se procedió con el vuelo fotogramétrico en donde se tomaron 596 fotografías mismas que, se solaparon posteriormente para la obtención del ortomosaico.

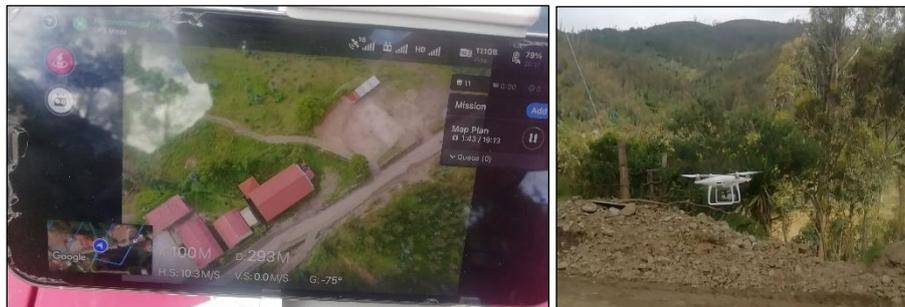


Figura 14. *Vuelo fotogramétrico*

❖ *Trabajo de gabinete*

Una vez finalizada la etapa de campo, se procedió con la etapa de gabinete la cual se dividió en dos fases, el post proceso y el procesamiento del ortomosaico.

- **Post – Proceso.** – Esta etapa se la realizó con ayuda de los softwares Emlid Studio, Leica Infinity y para hacer la corrección diferencial se utilizó los datos de la base permanente (Figura 14). El lapso de tiempo que se utilizó para la toma de puntos en modo estático fue de una hora en ambos casos y luego se hizo el “postproceso” siguiendo el procedimiento regular. Luego de esto se ingresó las “Efemérides” al proyecto, para de esta forma determinar las coordenadas de los puntos móviles y de esta forma verificar dichos datos con los tomados en campo, tras esto, se inició el auto procesamiento que se lo oriento a frecuencias “GPS-GLONAS”; y finalmente se generó el informe de las características levantadas, el cual se lo utilizo en la siguiente etapa.
- **Procesamiento del orto mosaico.** – Esta fase se la realizo con la ayuda del software Pix4d en el que, en primera instancia, se procedió a importar las imágenes levantadas por el dron, verificando que tengan información de “omega, phi y kappa”, luego de esto se seleccionó la plantilla 3D capa full, que es la ideal para la obtención de la ortofoto,

seguido de esto, se dio inicio al procesamiento inicial en completo. Tras esto, se agregó los puntos de control tomados en campo y verificados en el “postproceso”, los cuales se enlazaron y optimizaron con el modelo de terreno, para posteriormente pasar a la segunda etapa en la que se ejecutó el proceso de generación de nube de puntos y malla.

Con la nube de puntos y malla de triángulos generada se procedió a depurar la vegetación, y demás elementos ajenos al relieve; esto con la finalidad de evitar la generación de curvas de nivel que distorsionen la realidad.

Finalmente, se procedió con la fase de generación y configuración de las propiedades del ortomosaico en la pestaña de opciones de procesamiento, lo que dio como resultado, la ortofoto, el dsm, el dtm, y los contornos, listos para ser exportados al software “Arcmap 10.3”, en donde a partir del modelo de elevación digital “DEM”, se generó las curvas de nivel a escala 1:5000.

5.3.1.2. Pendientes

Para la elaboración del mapa de pendientes a escala 1:500 de la zona de estudio, se empleó el software Arcmap 10.3 y la clasificación propuesta por Demek, (1972). El proceso se realizó en tres etapas.

Primeramente, se creó una “Red de Triangulación Regular”, o mejor conocida en sus siglas en inglés “TIN”. Posterior a lo cual, se generó un modelo digital del terreno “DEM”, el cual sirvió como base para la elaboración del primer modelo surface/slope. Finalmente, los resultados de esta ultima fase fueron reclasificados, de acuerdo con la clasificación antes citada.

Tabla 9. *Clasificación de Pendientes*

Rango	Descripción
0° - 5°	Pendiente Medianamente Inclinada
5° - 15°	Pendiente Fuertemente Inclinada
15° - 35°	Pendiente Muy Inclinada
35° - 55°	Pendiente Empinada
> 55°	Pendiente Vertical

Nota. Demek J., (1972)

Por último, al mapa ya reclasificado se lo convirtió en modelo vector, el cual facilito el cálculo de las áreas y porcentajes que son ocupadas por los distintos tipos de pendiente.

5.3.1.3. Geología

5.3.1.3.1. Fotointerpretación

Debido a la importancia de la observación de imágenes aéreas y satelitales para la cartografía geológica preliminar, la fotointerpretación se realizó a rasgos regionales y locales,

por lo que se tomó como base, las ortofotografías de Loja norte y Catamayo, con resolución espectral de 0.5m por 0.5 m, que fueron facilitadas por el MAGAP a través de su programa SIGTIERRAS, a lo que se le complementó, el ortomosaico y el modelo dsm obtenidos en el levantamiento topográfico realizado previamente.

De esta forma, con el fin de generar un mapa de densidad de lineamientos estructurales de la zona de estudio a una escala de 1:5000, se utilizó un enfoque que integró la fotointerpretación, y la topografía junto con el análisis del modelo de elevación digital “DEM”, bajo el marco de la metodología propuesta en el artículo “Extracción de lineamientos de diferentes ángulos de azimut utilizando técnicas geoespaciales” (Das y otros, 2018).

El proceso de elaboración del mapa se llevó a cabo utilizando el software Arcmap 10.3, siguiendo el procedimiento que a continuación se detalla.

- Para la primera variable, se utilizó la herramienta “Create TIN” para crear el modelo raster que sirvió de base para crear el modelo de elevación digital “DEM”.
- Seguidamente, se procedió a utilizar la herramienta "hillshade" con el propósito de obtener una representación visual más clara de los lineamientos presentes en el terreno. Esta herramienta permitió generar varios mapas de sombras con diferentes ángulos de azimut, también conocidos como direcciones de sombreado. Para ello, se configuraron los parámetros correspondientes en la herramienta "hillshade" de acuerdo a los ángulos de azimut deseados. Estos ángulos determinaron la dirección desde la cual se proyectó la luz solar virtualmente sobre el terreno, generando así una simulación de las sombras que se formarían en función de la orientación de las características lineales presentes. La generación de mapas de sombras con diferentes ángulos de azimut permitió analizar y visualizar los lineamientos desde diferentes perspectivas, lo que facilitó la identificación de patrones y relaciones espaciales entre ellos.
- Finalmente, se llevó a cabo un análisis y clasificación de la densidad de los lineamientos del área de estudio utilizando la herramienta "Spatial Analyst Tools >> Density >> Line Density", resultando de esta forma, en un mapa de densidad de lineamientos, en el cual se asignaron diferentes colores o niveles de densidad para representar las áreas con mayor o menor concentración de lineamientos, lo que permitió identificar y clasificar las zonas con mayor densidad de lineamientos.

En resumen, resultado de esta etapa, se obtuvo un mapa exclusivamente producto de la fotointerpretación, enmarcando en primer lugar, la red hidrográfica, en segundo lugar, los rasgos topográficos y en tercer lugar los rasgos geológicos y geomorfológicos. Rasgos reconocidos directamente en campo como, contactos entre distintas litologías, zonas con

afloramientos de rocas de basamento y aquellas cubiertas con sedimentos modernos, estructuras como sistemas de fallas o sistemas de diaclasas y lineamientos en general.

5.3.1.3.2. Levantamiento Geológico – Estructural

Para el cumplimiento de esta etapa fue necesario, el análisis e integración de la información teórica y práctica expuesta en: la metodología publicada en la plataforma “ONIX” del (Instituto de Investigación Geológico y Energético, IIGE), para la realización de levantamientos geológicos estructurales en todas sus fases; y la metodología para mapeo geológico y elaboración de mapas geológicos elaborada por (Ayala, 2018). La integración de ambas metodologías permitió establecer un marco de trabajo sólido para llevar a cabo el levantamiento geológico estructural y la elaboración del mapa geológico del área de estudio.

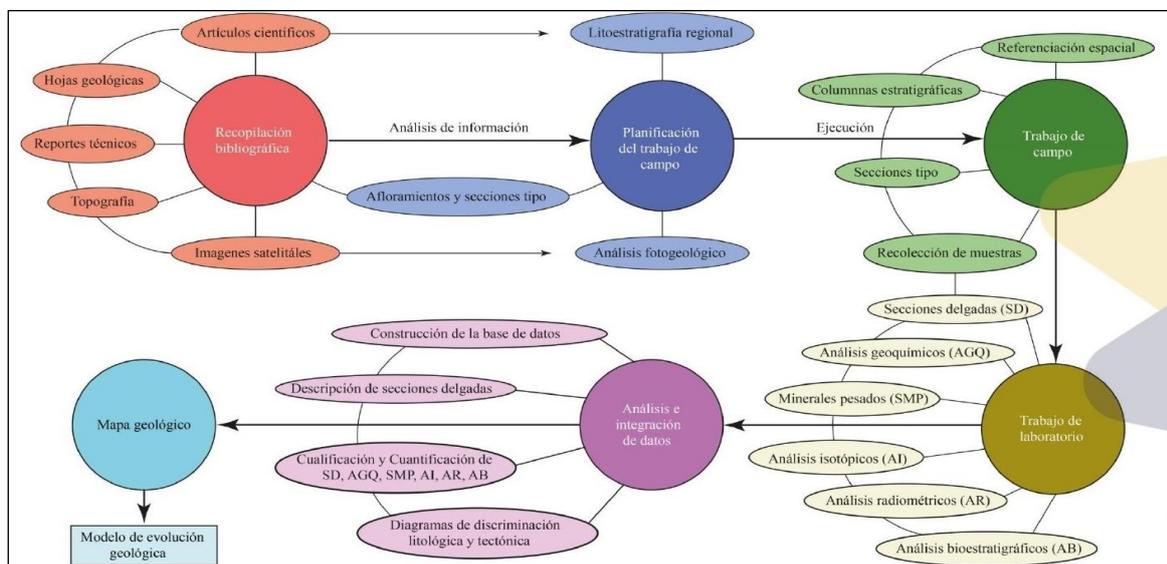


Figura 15. Metodología Elaboración de Levantamientos Geológicos-Estructurales en todas sus fases
Nota. Adaptado de “Plataforma ONIX”, (sección 3). Por IIGE, (2022)

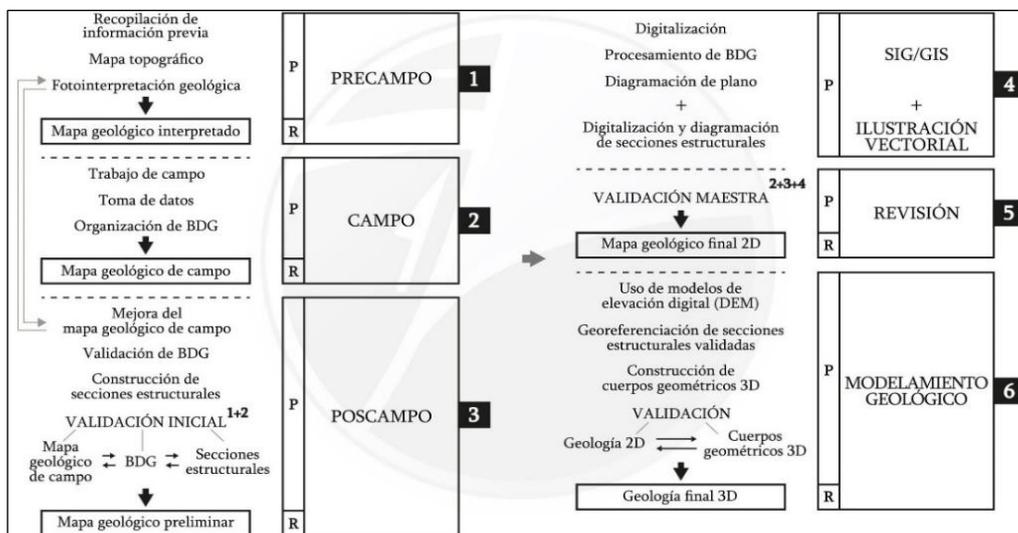


Figura 16. Metodología para Mapeo Geológico

Nota. Adaptado de “Explorock”, (sección 7). Por Ayala L., (2018)

De esta forma, como etapa previa a la ejecución del levantamiento geológico estructural, se procedió con la recopilación y análisis de información bibliográfica, en la que se incluyó, artículos científicos, mapas geológicos, cortes geológicos y imágenes satelitales, con la finalidad de identificar la problemática del área de estudio ya sea por contradicciones entre distintos autores o por la ausencia de información.

Seguidamente, sobre la base topográfica a escala 1:5000 previamente elaborada, se confecciono una grilla de $50m^2$, sobre la que se planificaron las geotrasversías a seguir, tomando en cuenta para esto, la interpretación de la información bibliográfica recolectada previamente a partir de la cual se elaboró un esquema litoestratigráfico regional preliminar. Como fase final de esta planificación, se elaboraron fichas para la descripción de afloramientos (ver, Anexo 3), la cual abarco aspectos clave; al igual que fichas para la descripción macroscópica de muestras de roca (ver, Anexo 4).

Una vez completada la fase de análisis e interpretación de la información geológica preliminar, se inició con el mapeo geológico en campo; etapa que se llevó a cabo describiendo los afloramientos naturales y antrópicos presentes en la zona de estudio (ver, Anexo 3). Para cada uno de estos afloramientos se realizó una georreferenciación precisa mediante GPS, la caracterización litológica, la construcción de secciones tipo y se realizó un análisis estructural que incluyó la medición de los datos estructurales como rumbo, buzamiento y azimut.

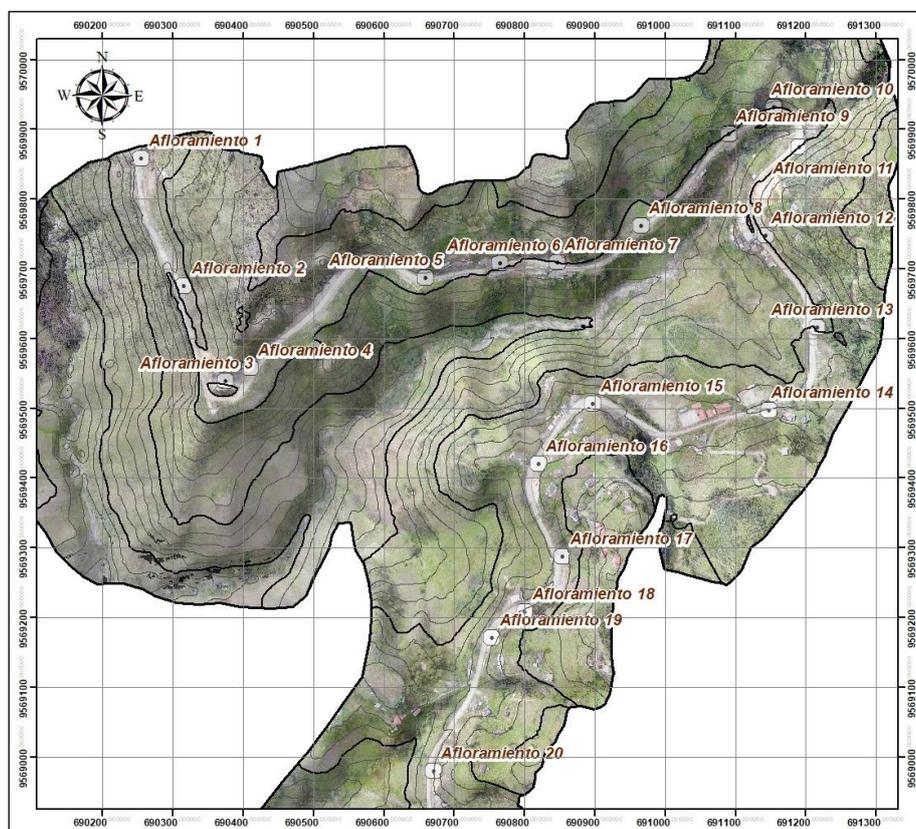


Figura 17. Distribución de los Afloramientos a lo largo del Área de Estudio

Adicionalmente, se recolectaron muestras representativas de las principales rocas aflorantes para su posterior análisis en el laboratorio y descripción macroscópica. Todo esto en el marco del siguiente procedimiento:

- De cada uno de los afloramientos de interés se extrajo una muestra de roca representativa y se las almaceno adecuadamente en fundas de muestreo codificadas, según lo indicado en el manual de “Manejo de Fichas de Descripción Macroscópica de Muestras de Roca del IIGE”.
- Posteriormente, las muestras recolectadas se analizaron en gabinete a nivel macroscópico atendiendo a sus características mineralógicas y texturales y mediante el diagrama de flujo del “Manual de Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas de: (Castro Dorado, Antonio;, 2015)” (ver, Anexo 4)., en el que se indica los pasos para llegar a la asignación de un nombre textural a una roca volcánica, combinando los criterios de cristalinidad, porfirismo y tipo de matriz. Diagrama al que según lo explicado por el autor se le puede agregar cualquier otro tipo de matriz.

Finalmente, las características de cada ejemplar se plasmaron en las fichas de descripción macroscópicas de rocas expuesta anteriormente.

- Para aquellas muestras de roca de mayor interés, se llevó a cabo un análisis de su composición química mediante la técnica de fluorescencia de rayos X (XRF); técnica espectroscópica analítica utilizada para determinar la composición química de una muestra. En el contexto de las rocas, se puede usar la fluorescencia de rayos X para analizar la composición elemental de la muestra, incluyendo la presencia y cantidad de elementos como silicio, aluminio, hierro, calcio, potasio, sodio, y otros. Análisis que se llevó a cabo siguiendo la metodología establecida por el laboratorio de geoquímica analítica de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). De esta forma los resultados fueron procesados y representados en diagramas de clasificación utilizando el software PetroGraph. Software especializado que permitió realizar la visualización, el análisis y diagramación de los datos geoquímicos obtenidos en el estudio.

Por otra parte, y con el objetivo de estudiar las características de suelo directamente en profundidad en las zonas donde no existían afloramientos, se llevaron a cabo dos calicatas en diferentes puntos dentro del area de estudio (ver, Anexo 6). Este proceso permitió caracterizar in situ cada estrato identificado, incluyendo detalles como color, composición y litología.

Posteriormente, una vez analizados e integrados los datos de campo y laboratorio, y validado y mejorado el mapa geológico de campo y las secciones tipo construidas, se dio inicio a la elaboración del mapa geológico final, en el marco del siguiente proceso:

- Primeramente, mediante el uso del software Arcmap 10.3, se digitalizo y proceso los datos recolectados de cada afloramiento mediante la diagramación en el plano.
- Seguidamente se elaboró la ilustración vectorial, digitalización y diagramación de las secciones estructurales; que permitieron interpretar y comprender la disposición, la geometría y la relación entre las diferentes litologías y estructuras.
- Por ultimo, para la elaboración del mapa geologico final 3D, es decir el modelamiento geologico, se hizo uso de los modelos digitales del terreno y de los cuerpos geometricos “secciones” 3D que fueron elaborados con la ayuda del software Strater.

5.3.2. Metodología para el segundo objetivo

“Determinar estructuras, deformaciones y propiedades físico-mecánicas de los geomateriales de la zona de estudio”

Los levantamientos de información topográfica y geológica realizados dentro del area de estudio constituyeron la base para recopilación de datos necesarios para la delimitación de diferentes zonas con características más o menos homogéneas “zonificación o sectorización del área de estudio”. En este sentido, la delimitación de zonas litoestructurales a lo largo del area de estudio represento la fase preliminar para la planificación de la campaña geotécnica. Esta campaña geotécnica cuya metodología se detalla a continuación, se ejecutó con el objetivo de caracterizar las propiedades físico – mecánicas de los geomateriales presentes en cada una de las zonas litoestructurales identificadas; proceso que permitió al final, la zonificación del área de estudio en términos de estabilidad.

5.3.2.1. Inventario de Deslizamientos

Para esta etapa, se utilizó la información topográfica y geológica previamente recopilada como base para el análisis. Los recorridos de campo, junto con las fichas de inventario de deslizamientos (ver, Anexo 5), permitieron establecer unidades geomorfológicas más manejables y facilitaron la observación directa de las características del terreno para su descripción.

Además, se realizaron observaciones minuciosas de las características visibles en la imagen mediante el análisis, comparación e interpretación de la ortofoto resultante del vuelo fotogramétrico en el levantamiento topográfico y de las ortofotos de Loja norte y Catamayo, proporcionadas por el MAGAP a través de su programa SIGTIERRAS. Estas observaciones incluyeron deformaciones del terreno, cambios en la vegetación y acumulaciones de materiales con el tiempo; lo que permitió identificar zonas de inestabilidad donde se sospecha la presencia de deslizamientos u otros fenómenos de remoción en masa que podrían afectar a la vía.

Una vez finalizada la etapa de campo, se procedió con el cálculo de los parámetros morfométricos de cada uno de los deslizamientos. Para llevar a cabo este cálculo, se realizó una simulación del estado anterior de los deslizamientos utilizando el software GeoStudio Slope Res R2 2018. Previamente, se llevó a cabo un modelamiento en el software Civil 3D v.2021. Esta simulación, conocida como retro-cálculo según Arellano, Bielefeldt y Correa (2017), tuvo en cuenta la topografía del área de estudio. Utilizando esta información, se determinó el volumen del deslizamiento después de la falla, medido en metros cúbicos, a partir de la ecuación propuesta por (Suárez, 2009):

$$Vol_{desl.} = \left(\frac{1}{6} \pi D_r * W_r * L_r \right) * F_{ex}$$

Donde:

- F_{ex} = Factor de expansión del suelo al ser perturbado, varía de 1.25 a 1.30
- D_r = Profundidad de la superficie de falla
- W_r = Ancho de la superficie de falla
- L_r = Longitud de la superficie de falla

Habiéndose determinado los parámetros morfométricos de cada deslizamiento, se procedió con la definición del tipo de deslizamiento mediante la siguiente relación:

- Deslizamiento rotacional: $0,15 < \frac{D_r}{L_r} < 0,33$
- Deslizamiento traslacional: $\frac{D_r}{L_r} \leq 0,10$

5.3.2.2. Mecánica de Suelo

5.3.2.2.1. Método Indirecto

❖ Sísmica de Refracción

Una vez finalizado el inventario de deslizamientos y tomando como base las características de cada uno, se seleccionó el de mayor susceptibilidad a deslizarse con la finalidad de determinar sus principales características geotécnicas “disposición de los perfiles del subsuelo a profundidades mayores a 6 metros” mediante el método sísmico de refracción que utiliza la determinación de la velocidad de propagación de las ondas longitudinales (ondas P) y las transversales (ondas S) del subsuelo mediante geófonos verticales de disparo vertical. Información que posteriormente fue empleada para determinar el factor de seguridad.

Por lo que, para llevar a cabo este análisis se ejecutaron un total de 4 ensayos de refracción sísmica de 30 metros de longitud horizontal y con una profundidad aproximada exploración de 8 a 10 metros siguiendo el perfil del deslizamiento en estudio, en la zona más crítica.

Tabla 10. *Coordenadas y dirección de los puntos medios de los ensayos de sísmica de refracción*

	Coordenadas UTM WGS-84			Dirección
	Punto de Partida	X	Y	
Línea de Sísmica 1	Pt. inicio	691140,00	9569779,00	Norte - Sur
	Pt. final	691153,00	9569753,00	
Línea de Sísmica 2	Pt. inicio	691173,00	9569763,00	Sur – Norte
	Pt. final	691159,00	9569790,00	
Línea de Sísmica 3	Pt. inicio	691159,00	9569771,00	Este - Oeste
	Pt. final	691135,00	9569758,00	
Línea de Sísmica 4	Pt. inicio	691156,00	9569771,00	Oeste - Este
	Pt. final	691177,00	9569782,00	

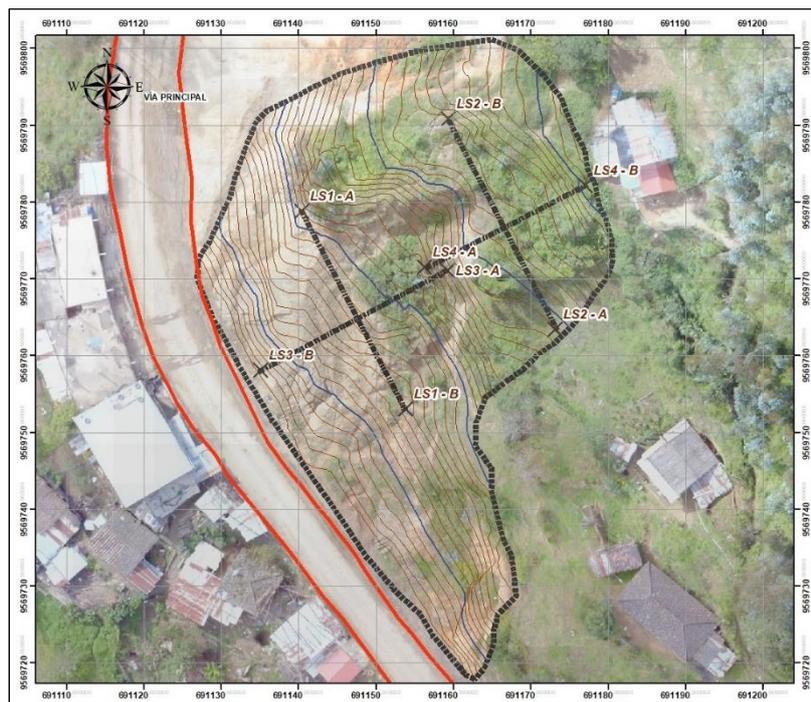


Figura 18. *Ubicación de las líneas de sísmica de refracción*

Para la refracción sísmica de cada perfil, se utilizaron 6 geófonos separados a una distancia de 5 metros en línea recta. Esto permitió ejecutar 3 disparos en 3 puntos específicos de cada línea: dos disparos en los extremos de la línea, a una distancia de 2.50 metros de los geófonos 1-6 respectivamente, y un disparo adicional entre los geófonos 3 y 4. Esta disposición facilitó la obtención de datos precisos para el análisis de la refracción sísmica en cada perfil, proporcionando información valiosa sobre las características del subsuelo en los puntos de interés.

Este estudio geofísico se realizó utilizando un sismógrafo de refracción modelo PASI Antero de 48 canales, junto con los accesorios correspondientes, como cables de geófonos y de extensión, una batería y una placa metálica con un combo para la generación de las ondas.



Figura 19. *Ensayo de sísmica de refracción*

Una vez finalizada la etapa de campo, se procedió al procesamiento de datos con la ayuda del software ZOND-2d, que es una herramienta especializada y diseñada para el procesamiento de datos sísmicos en el dominio de la refracción, de acuerdo a los siguientes pasos:

- La primera etapa consistió en la manipulación de los datos sísmicos obtenidos en el campo, es decir la eliminación de ruido no deseado, la corrección de posibles errores y la optimización de la calidad de los registros sísmicos.
- Seguidamente, se identificaron y marcaron las primeras llegadas de las ondas Vp en los sismogramas obtenidos en el campo. Estas llegadas representan los tiempos de arribo de las ondas refractadas.
- Posteriormente se calcularon los retardos de las ondas refractadas. Esto se logro mediante técnicas de cálculo basadas en los tiempos de arribo y la geometría de los sistemas de domocronas. Los métodos comunes incluyen el método "de lay time", que utiliza los tiempos de tránsito de las ondas refractadas, así como el análisis de interceptos y paralelismo para determinar los retardos entre diferentes puntos de medición.
- Finalmente se procedió al cálculo de los espesores y profundidades de las multicapas teniendo en cuenta para esto las velocidades de propagación de las ondas sísmicas.

5.3.2.2.2. Métodos Directos

❖ Ensayo de Penetración Estándar

En el área de estudio, se realizaron tres ensayos de penetración estándar (SPT) con el objetivo de caracterizar la zona de mayor inestabilidad identificada como "Deslizamiento 01". Para lograr esto, se dividió el deslizamiento en tres secciones distintas: parte inferior, parte media y parte superior.



Figura 20. Ubicación de las líneas de sísmica de refracción

Es importante resaltar que, de acuerdo a diversos criterios de evaluación, un estudio en un deslizamiento debe incluir un mínimo de tres perforaciones para sondeos. No obstante, este número puede aumentar en función del tamaño del talud en consideración

Tabla 11. Puntos de ejecución de los SPT

	Coordenadas UTM			Profundidad (m)
	X	Y	Z	
SPT 1 (parte baja)	691138,00	9569755,00	2250	4,00
SPT 2 (parte media)	691159,00	9569766,00	2268	6,00
SPT 3 (parte alta)	691174,00	9569775,00	2280	6,00

Los ensayos SPT se llevaron a cabo siguiendo los lineamientos establecidos por la norma ASTM D-1586., la cual implicó el hincado de un toma muestras estándar "45cm de longitud" en el suelo mediante una serie de golpes con un martillo de peso estándar. Durante el ensayo, se registró el número de golpes necesarios para que el toma muestras avanzara una distancia de 15 cm en el suelo, considerando que no se toma en cuenta los golpes del primer segmento debido a que es la penetración de la parte inicial del terreno. Esta medida de penetración se utilizó como indicador de la resistencia del suelo y proporciono información sobre sus características geotécnicas.

El seguimiento de la norma ASTM D-1586 garantizó la consistencia y comparabilidad de los resultados obtenidos. Las muestras recolectadas durante todo el ensayo fueron cuidadosamente transportadas al laboratorio para su posterior análisis.



Figura 21. *Ensayo de penetración estándar*

Tabla 12. *Ensayos de laboratorio*

	Ensayo	Norma
1	Contenido de humedad	ASTM - D2216
2	Limite líquido, Limite plástico e Índice de plasticidad	ASTM - D4318
3	Granulometría	ASTM -D422
4	Clasificación de suelos según SUCS y AASHTO	

Con los resultados obtenidos en el laboratorio, en concordancia con los datos recabados en el campo, se logró determinar una serie de parámetros importantes, tales como el ángulo de fricción, la cohesión, la compacidad, la consistencia, el módulo de elasticidad, la capacidad última y la capacidad admisible. Para estos últimos parámetros, se consideró un factor de seguridad de 3.

❖ ***Ensayo de Corte Directo***

Con la topografía, geología y el mapa de pendientes como base, se identificaron dos puntos dentro del area de estudio con una clara predisposición a la inestabilidad en el futuro.

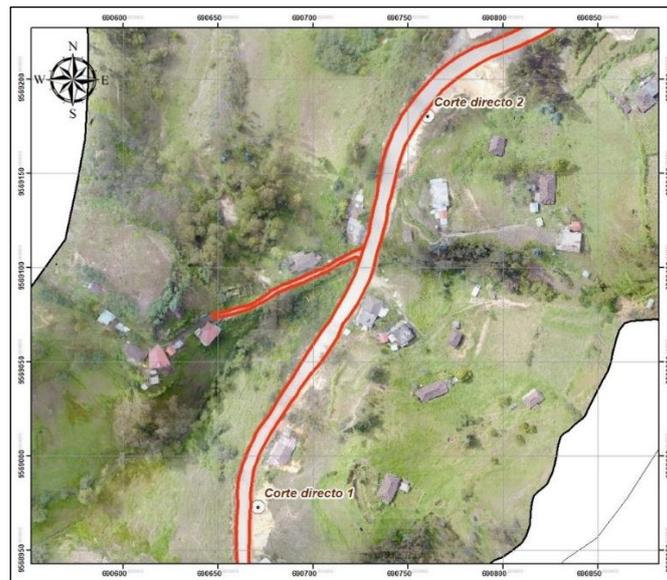


Figura 22. *Puntos de toma de muestras para el ensayo de corte directo*

Con el propósito de evaluar la estabilidad de estos puntos ante posibles cargas o fuerzas laterales, se llevó a cabo un ensayo de corte directo individualizado. Ensayo que tuvo como

objetivo determinar tanto la resistencia al corte como las propiedades de deformación inherentes a los materiales presentes en cada uno de los puntos identificados.

Tabla 13. *Puntos de toma de muestras*

	Coordenadas UTM		
	X	Y	Z
Corte directo 1	690670,00	9568972,00	2265
Corte directo 2	690760,00	9569180,00	2278

Para llevar a cabo el ensayo de corte directo de cada punto, se siguió la norma ASTM - 3080, mientras que para la determinación de los contenidos de humedad se utilizó la norma ASTM D-2216.

De esta manera, el procedimiento de preparación del espécimen de cada ensayo se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Extracción de una porción de la muestra: Utilizando un anillo, se obtuvo una porción representativa de la muestra de suelo.
- Enrazado de la muestra: La porción de muestra obtenida se enrazó cuidadosamente para asegurar que esté compacta y libre de agregados gruesos.
- Pesado de la muestra: Se pesó la muestra en su estado inicial húmedo para determinar su masa inicial. Este valor se utilizará posteriormente para calcular el contenido de humedad inicial y el peso unitario de la muestra.
- Armado de la caja de corte: Se procedió a armar la caja de corte de acuerdo con las especificaciones establecidas en la norma ASTM - 3080. La caja de corte proporcionará el espacio para realizar el ensayo de corte directo.
- Introducción de la caja de corte en el equipo: La caja de corte se colocó en el equipo de ensayo de corte directo, asegurándose de que esté correctamente posicionada y ajustada para evitar fugas o movimientos durante el ensayo.



Figura 23. *Ensayo de corte directo*

- Aplicación de la carga: Se aplicó una carga vertical sobre la muestra para asegurar un contacto firme. Luego, se aplicó una carga lateral gradual o incremental para inducir el corte en la muestra.

- Finalmente, se midió la deformación de la muestra durante el ensayo.

Entonces, con el ensayo de corte directo se buscó determinar la resistencia de la muestra de suelo a deformaciones que simulan las cargas existentes o que existirán en el terreno. Según la ecuación de Coulomb, que relaciona tensiones efectivas normales y tensiones tangenciales actuando en cualquier plano del suelo. Este criterio establece que, para un suelo saturado, la resistencia al corte viene dada por:

$$\tau = c' + (\sigma_n - u) * \text{Tan}\phi'$$

Donde:

- τ = Esfuerzo de resistencia al corte.
- c' = Cohesión efectiva.
- σ_n = Tensión total normal actuando sobre el mismo plano.
- u = Presión intersticial.
- ϕ' = Ángulo de rozamiento interno efectivo.

La ecuación anterior representa una recta en el espacio, que a menudo se denomina línea de resistencia intrínseca o envolvente de rotura del suelo.

El análisis de la ecuación de Coulomb requiere conocer los parámetros, el ángulo de fricción y cohesión, los cuales se consideran como propiedades intrínsecas del suelo. La presencia del agua reduce el valor de la resistencia del suelo que depende de las presiones internas o de poros de acuerdo con la ecuación de Coulomb, en la cual el “factor u ”, está restando al valor de la presión normal total. (Suárez, 2009, p. 75)

Para el caso de suelos no saturados, la ecuación de Coulomb se expresa de la siguiente forma:

$$\tau = c' + (\sigma_n - \sigma_a) * \text{Tan}\phi' + (u_a - u_w) * \text{Tan}\phi^b$$

Donde:

- τ = Esfuerzo de resistencia al corte.
- c' = Cohesión efectiva.
- σ_n = Tensión total normal actuando sobre el mismo plano.
- σ_a = Esfuerzo normal total.
- ϕ' = Ángulo de rozamiento interno efectivo.
- u_a = Presión en el aire de los poros.
- u_w = Presión en el agua de los poros, la cual comúnmente es negativa.
- ϕ^b = Ángulo de fricción igual a la pendiente de la curva de succión matricial ($u_a - u_w$) contra resistencia al cortante τ , cuando $(\sigma_n - u_a)$, se mantiene constante.

❖ *Ensayo de Compresión Triaxial*

El objetivo principal de llevar a cabo el ensayo de compresión triaxial no consolidado no drenado, siguiendo los procedimientos establecidos en la norma ASTM D-2850, fue obtener información precisa sobre la resistencia al corte del suelo, específicamente en relación con el deslizamiento, su rigidez y su potencial de falla.

El ensayo permitió determinar cuantitativamente la resistencia del suelo a las fuerzas de corte bajo condiciones no drenadas, lo cual es esencial para evaluar la estabilidad del suelo y su capacidad para soportar cargas en el contexto del deslizamiento. Además, se obtuvieron datos sobre la rigidez del suelo, que es su capacidad para resistir deformaciones y transmitir cargas sin experimentar cambios significativos en su forma

La realización del ensayo según las directrices establecidas en la norma, permitió una evaluación más precisa del potencial de falla del suelo, es decir, la probabilidad de que ocurra una pérdida de estabilidad.

Esta práctica se inició con la elaboración de calicatas en los puntos de interés o considerados como representativos de la zona inestable “Deslizamiento 01”, seguido de la extracción de muestras cúbicas de las mismas. El objetivo era obtener muestras representativas e inalteradas que reflejen con precisión las condiciones del suelo en profundidad y posterior determinación precisa de la resistencia al corte del suelo, específicamente en relación al deslizamiento.

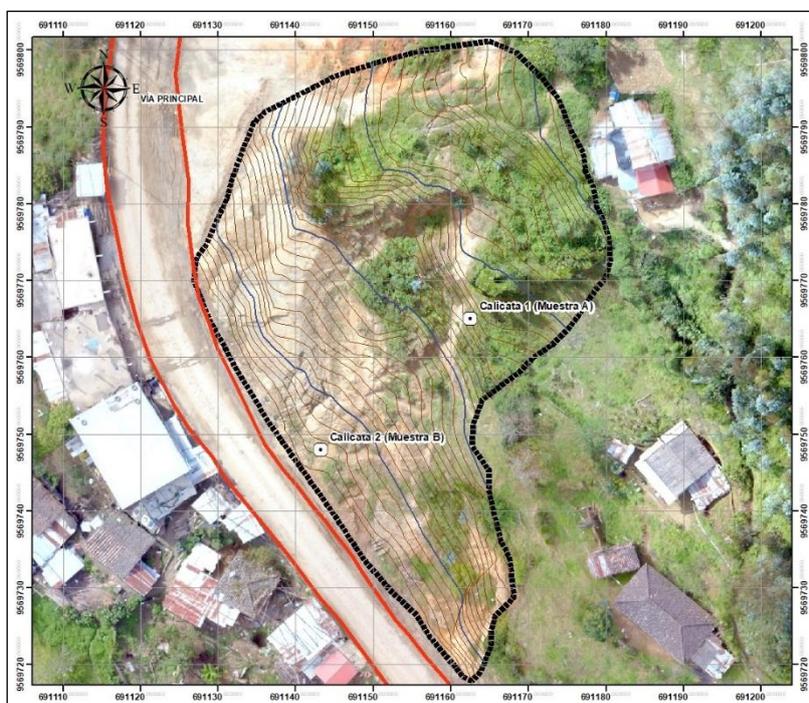


Figura 24. Puntos de realización de las calicatas para la extracción de las muestras cúbicas utilizadas

Tabla 14. Puntos de ejecución de las calicatas de las cuales se extrajo las probetas

	Coordenadas UTM		
	X	Y	Z
Calicata 1 (Muestra A – PM1)	691162,00	9569765,00	2270
Calicata 2 (Muestra B – PB2)	691143,00	9569747,00	2256

Una vez en laboratorio y según lo indicado en la norma ASTM D-2850, se procedió con:

- Extracción y preparación: En una primera instancia se procedió con la extracción de probetas cilíndricas de suelo relación 2:1 altura – diámetro, de las muestras cúbicas.
- Ensamblaje de la muestra en la celda triaxial: Se verificó que la celda triaxial contara con un sistema adecuado de carga axial y lateral. Posteriormente, se preparó la muestra de suelo, la cual fue envuelta en una membrana impermeable. En los extremos de la muestra se colocaron cabezas equipadas con piedras porosas que se conectan al sistema de drenaje para permitir la saturación o el drenaje del espécimen. La unión entre la membrana y las cabezas se aseguró con una banda de hule para garantizar un sello hermético. Los tubos de drenaje se conectaron a una bureta graduada que permitió medir el volumen de agua expulsado o absorbido por el suelo. Todo el conjunto se colocó dentro de una cámara a presión, la cual tenía un vástago que permitía la transmisión de la carga axial al espécimen.
- Ensayo de compresión triaxial no consolidado no drenado: Durante este ensayo, las válvulas de drenaje permanecieron cerradas, y la presión de agua se transmitió hidrostáticamente al espécimen, sometiéndolo a una presión de confinamiento. A través de un pistón de carga vertical, se aplicó un esfuerzo axial para producir la falla del suelo.



Figura 25. Ensayo triaxial no consolidado no drenado

- Análisis de los resultados: Al final del ensayo, se obtuvieron tres círculos de Mohr en rotura, los cuales se expresaron en esfuerzos totales y se trazó una línea de resistencia intrínseca tangente a los círculos. Esta línea representa los valores de cohesión y ángulo

de resistencia al corte. En el eje de las abscisas se representaron los esfuerzos normales, mientras que en el eje de las ordenadas se representaron los esfuerzos cortantes.

5.3.2.3. Mecánica de Rocas

5.3.2.3.1. Ensayo de Resistencia a la Compresión Simple

A partir de la información geológica obtenida previamente, se procedió con la selección de los macizos rocosos más representativos del área estudio, esto con el fin de extraer testigos de roca para evaluar la resistencia a la compresión simple.

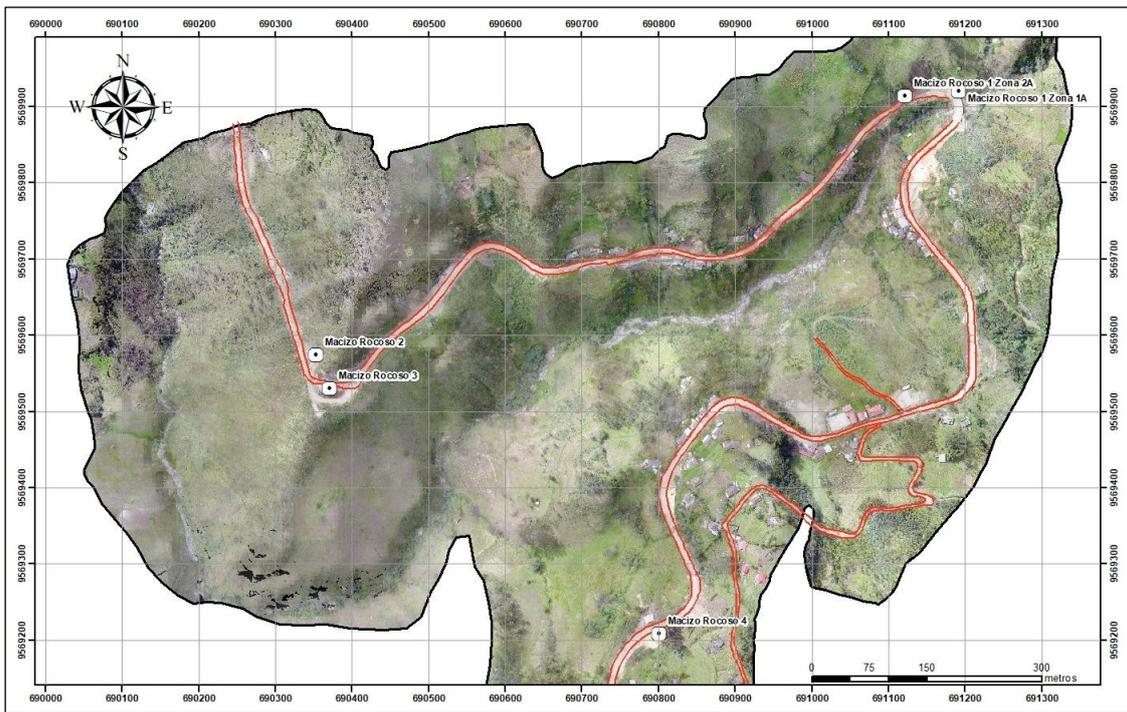


Figura 26. Macizos Rocosos – Puntos de estudio

Tabla 15. Puntos de obtención de los testigos de roca

	Coordenadas UTM		
	X	Y	Z
Macizo Rocosos 1	691191,00	9569919,00	2272
Macizo Rocosos 2	690351,00	9569574,00	2256
Macizo Rocosos 3	690370,00	9569530,00	2254
Macizo Rocosos 4	690800,00	9569208,00	2290

Las dimensiones de las muestras obtenidas fueron de alrededor de 15 centímetros de altura por 5.5 centímetros de diámetro, extrayéndose tres muestras de roca de cada uno de los macizos rocosos seleccionados.

En el laboratorio previo al ensayo de las muestras se procedió a:

- Perfilar y nivelar las muestras de roca, para obtener un testigo de 11cm x 5,5cm de diámetro según la norma UNE-EN 1926:2006.

- Luego, con la ayuda de una balanza analítica se pesó la muestra, cuyo valor corresponde a la masa (m), valor que se usó posteriormente para el cálculo de la densidad.



Figura 27. Testigos de roca perfilados

Utilizando los testigos de roca preparados en laboratorio, se llevaron a cabo varios ensayos para la determinación de sus propiedades geomecánicas. Estos ensayos incluyeron la resistencia a la compresión simple, valor de rebote del martillo de Schmidt tipo L y ángulo de fricción básico.

Para la realización del ensayo de resistencia a la compresión simple de los testigos, se aplicó la norma ASTM – D2166. El proceso de ensayo consistió en colocar el testigo en una prensa, donde la parte superior de la prensa es fija y la inferior es accionada por un gato hidráulico que ejerció una fuerza gradualmente creciente sobre el testigo, comprimiéndolo en el eje vertical.

Durante este proceso, se registraron las mediciones de carga aplicada y la deformación correspondiente, por lo que, el ensayo continuó hasta que se produjo la rotura del testigo de roca. En este punto, se registró el valor máximo de carga alcanzado; valor que representa la resistencia a la compresión simple de la muestra.



Figura 28. Ensayo de resistencia a la compresión simple

Se tiene entonces, los datos necesarios para poder calcular la resistencia a la compresión simple de las muestras, reemplazando los valores en la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

- $\sigma = \text{Esfuerzo expresado en } \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

- $F = \text{Fuerza o carga aplicada}$
- $A = \text{Área de la muestra}$

La metodología para el cálculo de la resistencia a la compresión simple cuando se trata de la matriz rocosa (JCS) se obtiene generalmente por ensayos de compresión simple en laboratorio o por ensayo de carga puntual, pero en el caso de discontinuidades, no podemos realizar estos ensayos mecánicos, debiendo utilizarse métodos indirectos como el índice de rebote del martillo de Schmidt de bajo impacto (o tipo L).



Figura 29. Ensayo de rebote del martillo de Schmidt

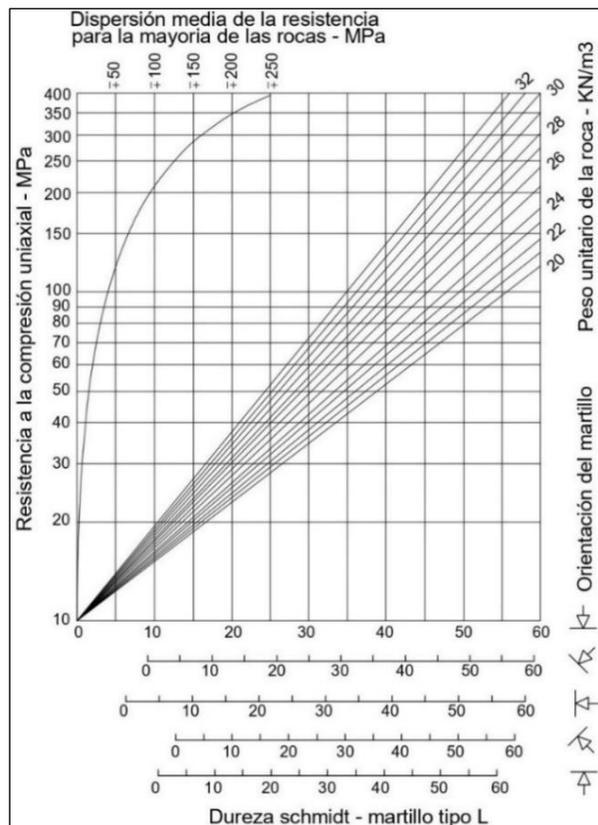


Figura 30. Valores típicos de resistencia para la mayoría de las rocas, en función del índice de rebote
Nota. Criterio “Resistencia a la compresión – índice de rebote vs densidad”

Una vez calculada la resistencia a la compresión simple, la densidad de la roca y el índice de rebote en posición vertical con el martillo de Schmidt, se correlaciono los resultados, mediante la siguiente ecuación:

$$\log_{10}\sigma c = 0.00088yR + 1.01$$

Donde:

- σc = esfuerzo a la compresión simple de la superficie (MN/m^2)
- y = densidad seca de la roca (KN/m^2)
- R = índice de rebote en posición vertical

Por conveniencia de símbolos se utiliza “R” cuando el índice de rebote se ha obtenido sobre una roca inalterada y “r” cuando se ha obtenido sobre la superficie de una discontinuidad, el valor de la compresión simple obtenido representa el JCS. Por lo que otro dato, que se tomó en cuenta es la corrección del índice de rebote por orientación del martillo.

Tabla 16. Corrección del índice de rebote

Rebote R	Hacia abajo		Hacia arriba		Horizontal
	$\sigma = -90^\circ$	$\sigma = -45^\circ$	$\sigma = +90^\circ$	$\sigma = +45^\circ$	$\sigma = 0^\circ$
10	0	-0,8	-	-	-3,2
20	0	-0,9	-8,8	-6,9	-3,4
30	0	-0,8	-7,8	-6,2	-3,1
40	0	-0,7	-6,6	-5,3	-2,7
50	0	-0,6	-5,3	-4,3	-2,1
60	0	-0,4	-4	-3,3	-1,7

Nota. Corrección para reducción de la medida del índice de rebote del martillo de Schmidt cuando el martillo no se encuentra en posición vertical

En función de la relación entre el índice de rebote de la roca inalterada con respecto a la roca alterada, se puede encontrar también el valor del ángulo de fricción residual de la roca con base en su ángulo de fricción básico, mediante la ecuación:

$$\phi r = (\phi b - 20) + 20 \frac{r}{R}$$

Donde:

- ϕb = ángulo de fricción básico estimado por el ensayo de Tilt Test sobre una superficie seca inalterada
- R = rebote del martillo de schmidt sobre una superficie seca inalterada
- r = rebote del martillo de schmidt sobre una superficie alterada húmeda

Para el caso específico del ángulo de fricción básico de la roca, el ensayo tilt test es el ideal. La metodología seguida fue la recomendada por Stimpson (1981), el cual ha definido la siguiente expresión para encontrar el ángulo de fricción básico utilizando los tres testigos de roca obtenidos de cada macizo; razón por la que, este ensayo fue el primero en realizarse.

$$\phi b = \tan^{-1}(2/\sqrt{3} * \tan\alpha)$$

Donde:

- α = ángulo medido en el ensayo tilt test



Figura 31. Esquema del ensayo tilt test en núcleos de roca

5.3.2.3.2. Ensayos para la Determinación de las Propiedades Físicas de las Rocas

En base a las características geológicas y geotécnicas preliminares de la zona de estudio, se llevó a cabo la evaluación de las propiedades físicas de las muestras de roca recolectadas de cada uno de los macizos rocosos que se estudió. Por lo que, para la determinación de cada una de las propiedades, se tomó como referencia las respectivas normativas y cada una de las fórmulas y parámetros que se citan en los libros de: “Ingeniería Geológica de Luis González de Vallejo (2002), y Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 4ta edición de Braja, M. Das (2013)”.

▪ Gravedad específica

Para la determinación de la gravedad específica que es uno de los parámetros más importantes, se utilizó la norma ASTM – D 854-58.



Figura 32. Ensayos de laboratorio

▪ Peso específico real

Para obtener el peso específico real de las rocas de cada macizo rocoso, se lo hizo a partir de los resultados obtenidos en el ensayo del picnómetro realizado para establecer la gravedad específica. El peso específico real se determinó con la siguiente fórmula

$$\rho_r = \frac{M - P}{W + M - P - S}$$

Donde:

- M = Masa del picnómetro + muestra
- P = Masa del picnómetro
- W = Masa del picnómetro + agua destilada
- S = Masa del picnómetro + muestra + agua destilada

▪ Densidad

La densidad se determinó con la siguiente expresión:

$$\delta = \frac{m}{v}$$

Donde:

- m = masa de la muestra de roca
- v = volumen de la muestra de roca



Figura 33. Ensayos de laboratorio

▪ Densidad Saturada Superficialmente Seca.

Para la determinación de la densidad saturada superficialmente seca, se debe primeramente llevar la muestra de suelo hasta esta condición, esto según lo especificado en la norma ASTM C – 128-07, en la que se señala, el proceso para llegar a esta condición. Cabe destacar que este ensayo se lo realizó por el método gravimétrico.



Figura 34. Ensayos de laboratorio

▪ Humedad

Para la determinación de la humedad se lo realizó según el procedimiento establecido en la norma ASTM D 2216 – 98.



Figura 35. Ensayos de laboratorio

▪ **Peso específico aparente**

Para la determinación del peso específico aparente se utilizó el método de “Prueba para determinar la gravedad específica y absorción del agregado grueso”, que se detalla en la norma ASTM C 127-01.

Una vez finalizados los ensayos de laboratorio y compilados los resultados obtenidos, se procedió al cálculo de las propiedades físicas restantes. Estas propiedades incluyeron la:

- ✓ Porosidad.
- ✓ Porosidad eficaz y cerrada.
- ✓ Coeficiente de absorción.
- ✓ Módulo de saturación.
- ✓ Compacidad.

Este análisis adicional permitió obtener una comprensión completa de la naturaleza de cada macizo rocoso.

5.3.2.3.3. Caracterización del Macizo Rocosos

La caracterización de la matriz rocosa de los macizos localizados en la zona de estudio se efectuó, siguiendo la secuencia metodológica expuesta en el “Libro de Ingeniería Geológica – Descripción, Zonificación y Caracterización de Macizos Rocosos – de Ferrer y González de Vallejo, 1999 ”; en la que se expone que, una vez finalizado el levantamiento de información topográfica y geológica de la zona, se procede con la división de zonas o sectorización y descripción de las mismas, es decir, la etapa previa para la caracterización fue, la definición de zonas litoestructurales a ser analizadas, zonas de similares características en cuanto al tipo de roca, grado de fracturamiento y de meteorización; lo que facilitó las posteriores descripciones y la aplicación sistemática de procedimientos en la toma de datos de campo y muestreo de rocas a ensayarse en el laboratorio.

De esta forma, para la obtención de los datos geomecánicos, una vez definidas las zonas litoestructurales, las descripciones se ejecutaron de forma cualitativa y cuantitativa, de manera que resultaran útiles para establecer valores objetivos con los que se puede trabajar y posteriormente clasificar geo-mecánicamente los macizos. Por lo que, en la mayoría de macizos rocosos, se definieron varias estaciones de medida, en cada una de las cuales se realizó la toma sistemática de datos, teniendo en cuenta que, cuanto mayor sea el número de medidas y estaciones realizadas, mayor será la representatividad de los resultados obtenidos en cuanto a caracterización global del macizo rocoso.

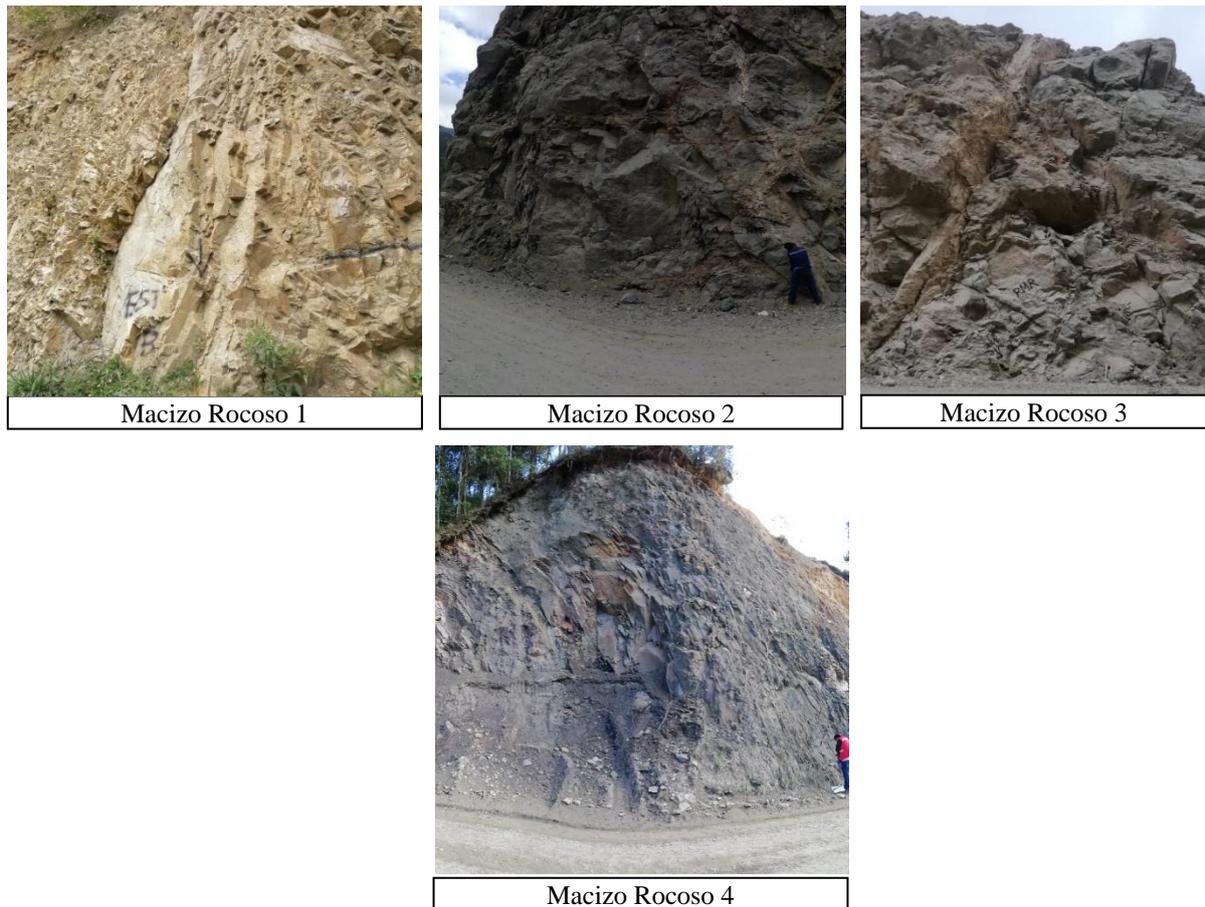


Figura 36. *Caracterización geomecánica de los macizos rocosos*

Según la metodología antes expuesta, los datos de cada macizo rocoso deben recolectarse a través de fichas de zonificación, descripción y caracterización, por lo que para la presente investigación se utilizó, una ficha para la descripción y división en zonas a los macizos (ver, Anexo 7), con el objetivo de zonificar cada macizo y establecer estaciones representativas para obtener mayor cantidad de información. Asimismo, se utilizó dos fichas más para la toma de datos de campo de la matriz y de las discontinuidades (ver, Anexo 7).

Con las fichas de campo, se pudo recolectar gran parte de la información geomecánica necesaria para la caracterización global del macizo rocoso. Sin embargo, para el caso de las medidas de rugosidad, además de la apreciación visual a través de perfiles típicos, fue necesario seguir la metodología de (Barton y Bandis, 1990); considerándose el efecto de escala y calculándose en forma cuantitativa el valor de la rugosidad JRC_n , para lo cual se mide la profundidad de la aspereza de la discontinuidad, en función del tamaño del bloque, donde n es la longitud del perfil medido.

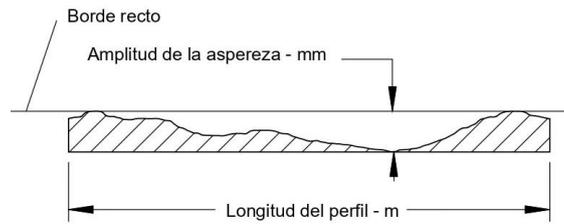


Figura 37. Medida de amplitud y longitud de la aspereza de la junta

Nota. Fuente: Barton y Bandis, (1990)

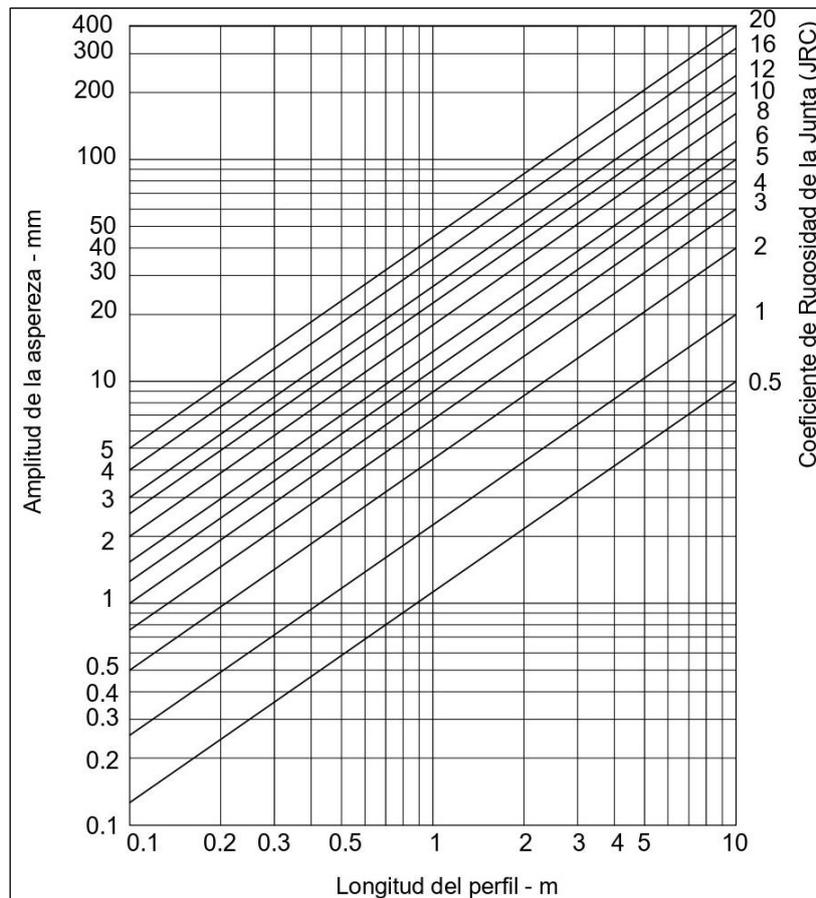


Figura 38. Gráfico para determinar el JRC en función de amplitud y longitud de la aspereza de la junta

Nota. Fuente: Barton y Bandis, (1990)

Tabla 17. Rugosidad de acuerdo al índice de rugosidad JRC

Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave
JRC 20 – 16	JRC 16 – 12	JRC 12 – 8	JRC 8 – 4	JRC 4 – 0

Nota. Parámetros considerados por (Bieniawski, 1989)

Una vez completada la caracterización de la matriz rocosa de cada uno de los macizos localizados en el área de estudio, se dio inicio a la etapa de oficina. Durante esta etapa, se llevó a cabo la clasificación geomecánica de cada uno de los mecánicos. Esto requirió recopilar todos los datos levantados en campo durante la caracterización, así como los resultados de los ensayos para la determinación de las propiedades físicas de las muestras de rocas extraídas de los

macizos. También se incluyeron los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión simple, el cual es uno de los parámetros geomecánicos del macizo que se correlaciona con el índice de calidad de la roca (RQD %), para la determinación del RMR.

▪ **Índice cuantitativo de calidad de la roca RQD**

Para la determinación del RQD, existen dos metodologías de estudio, una que considera el % de testigo extraído en un sondeo de longitud, superior a 10cm, y otra que es la que, se consideró para la presente investigación, ya que no se extrajo de testigos con tal fin; es la que considera las fisuras presentes en la cara del macizo.

En tal escenario, fue necesario emplear la fórmula propuesta por (Palmström, 2005), la cual considera la suma de las fisuras por metro cubico, (J_v) presentes en el macizo rocoso.

$$RQD (\%) = 115 - 3,3 * J_v, \text{ para } J_v > 4.5: \text{ para macizos rocosos con bloques con formas cúbicas}$$

$$RQD (\%) = 110 - 2,5 * J_v, \text{ para } J_v > 4.5: \text{ macizos rocosos con bloques en forma prismática o tabulares (planos o alargados),}$$

$$RQD (\%) = 0, \text{ para } J_v > 44$$

$$RQD (\%) = 100, \text{ para } J_v \leq 4.5$$

El valor de J_v se determinó contando las discontinuidades de cada estación que interceptan una longitud determinada, midiendo perpendicularmente a la dirección de cada una de las familias.

$$J_v = \sum * \frac{1}{SM_i} \Rightarrow J_v = \sum * \frac{1}{\text{Espaciamiento medio de cada junta en } m}$$

Los rangos de valores de la calificación de calidad del (RQD), asociados a cada categoría de masa rocosa según el sistema de Palmström, se definen de la siguiente manera:

Tabla 18. Clasificación de la Calidad del Macizo Rcoso Según el índice RQD

RQD	Calidad de la masa rocosa	
< 25%	Muy Mala	> 27 juntas por m^3
25 - 50 %	Mala	20 – 27 juntas por m^3
50 - 75%	Regular	13 – 19 juntas por m^3
75 - 90%	Buena	8 – 12 juntas por m^3
90 - 100%	Muy Buena	< 7 juntas por m^3

▪ **Clasificación Geomecánica RMR**

Como la clasificación geomecánica, ofrece una metodología para establecer la correlación entre los índices de calidad y los parámetros geotécnicos de los macizos rocosos y

las excavaciones: se recopiló información en campo sobre las discontinuidades, matriz rocosa y nivel freático. Además, se tomaron en cuenta los resultados de los ensayos realizados en laboratorio para evaluar la "Resistencia de la matriz rocosa". Esta recopilación exhaustiva de datos permitió un análisis preciso de cada macizo rocoso en la zona de estudio.

Tabla 19. Clasificación Geomecánica RMR

1	Resistencia a la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10 -- 4	4 -- 2	2 -- 1	Compresión simple (Mpa)		
		Compresión simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25--5	5--1	< 1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25 %		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2m	2 - 0,6m	0,6 - 0,2m	0,2 - 0,06m	< 0,06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 L/min	25 -125 L/min	> 125 L/min		
		Presión de agua -Tensión principal mayor	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		

Nota. En la tabla se presenta los parámetros de clasificación a través de la Clasificación RMR,

En la fase final del proceso, se llevó a cabo la evaluación individual de cada uno de los parámetros mediante la asignación de puntuaciones. Estas puntuaciones fueron posteriormente

sumadas, teniendo en cuenta los resultados obtenidos para las 5 variables evaluadas. Este procedimiento permitió obtener la clasificación correspondiente al macizo rocoso, así como su calidad asociada.

Tabla 20. *Clasificación Geomecánica RMR*

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

Nota. En la tabla se presenta las clases para la clasificación RMR

Tabla 21. *Clasificación Geomecánica RMR*

Dirección y Buzamiento	Muy favorables	Favorables	Medios	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación Túneles	0	-2	-5	-10	-12
Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Nota. Parámetros para la corrección por la orientación de discontinuidades Clasificación RMR

▪ **Clasificación Geomecánica GSI**

Para el cálculo del índice GSI se empleó el sistema de calificación RMR y luego se transformó los resultados a valores de GSI conforme lo siguiente:

- ✓ Si se utiliza el índice RMR_{89} , deberá suponerse que el macizo rocoso está completamente seco y no deberá efectuarse ajuste por orientación de las estructuras. El valor resultante del índice RMR_{89} , se relaciona con el índice GSI:
 - Si $RMR_{89} \geq 23$, entonces $GSI = RMR_{89} - 5$
 - Si $RMR_{89} < 23$, entonces no puede estimarse el valor del GSI (la estimación es poco fiable)

La evaluación del índice GSI se realizó, además por comparación del caso que interesa con las condiciones típicas, en el que este índice puede variar de 0 a 100, lo que permitió definir el tipo de macizos rocosos:

- Macizos de calidad muy mala: $(0 \leq GSI \leq 20)$
- Macizos de calidad mala: $(20 < GSI \leq 40)$
- Macizos de calidad regular: $(40 < GSI \leq 60)$
- Macizos de calidad buena: $(60 < GSI \leq 80)$
- Macizos de calidad muy buena: $(80 < GSI \leq 100)$
-

5.3.3. Metodología para el Tercer Objetivo

“Caracterizar la zona crítica encontrada a nivel de factor de seguridad (Fs)”

Para dar cumplimiento al tercer objetivo de caracterizar las zonas críticas identificadas en términos de factor de seguridad (Fs), se utilizaron diferentes métodos de análisis. Es importante señalar que, para esta investigación, se consideran como zonas críticas todos los movimientos en masa de importancia encontrados a lo largo de la vía del área de estudio.

Por lo que, se requirió la recopilación de datos geotécnicos y geológicos de las zonas litoestructurales, así como definir parámetros como densidad, factor de perturbación, el ángulo de fricción interna, cohesión y demás propiedades de resistencia al corte del suelo o de la roca.

5.3.3.1. Análisis de Proyección Estereográfica

Para la evaluación de los macizos rocosos encontrados en la zona de estudio, se utilizó el sistema de representación estereográfica. Este sistema permitió determinar los posibles mecanismos de falla de cada macizo rocoso y definir las familias de discontinuidades presentes en sus estructuras.

En este proceso, se empleó un plano polar, el cual se divide en 360 grados para representar la dirección de las discontinuidades, de manera similar a una brújula y noventa círculos concéntricos que representan el buzamiento de las discontinuidades que se deseaban graficar. Cada discontinuidad observada en el campo se representó mediante la ubicación de un punto en el plano polar. La dirección del buzamiento se midió en relación con la coordenada norte, mientras que el buzamiento de la discontinuidad se representó según la distancia radial correspondiente.

En resumen, el análisis estereográfico consistió en trazar puntos en el plano polar para cada diaclasa encontrada en los macizos rocosos de la zona de estudio. A través de un análisis estadístico, se identificaron las zonas con una alta concentración de puntos en el plano polar, lo cual indica la presencia de una familia de diaclasas.

De esta forma este enfoque permitió una representación gráfica precisa de la geología estructural del sitio analizado, facilitando la identificación de las características de las discontinuidades y proporcionando información valiosa para comprender los mecanismos de falla y la estabilidad de los macizos rocosos.

5.3.3.2. Criterio de Barton y Choubey

Como la resistencia a la compresión de las discontinuidades no puede evaluarse a través del ensayo de compresión simple, esta propiedad pasa a ser definida principalmente por su

ángulo de fricción pico. Por lo que, siguiendo el criterio de Barton y Choubey, se determino el ángulo de rugosidad para cada familia de discontinuidades de cada macizo. En donde:

$$\tau = \sigma n \tan \left[JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma n} \right) + \phi r \right]$$

Donde:

- τ = esfuerzo pico al corte
- σn = esfuerzo normal efectivo
- JRC = coeficiente de rugosidad de las discontinuidades
- JCS = esfuerzo a la compresión de la pared de la discontinuidad
- ϕr = ángulo de fricción residual o básico en rocas inalteradas

En esta ecuación $\left[JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma n} \right) + \phi r \right]$ se representa el ángulo de fricción pico de la roca, y $JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma n} \right)$; el ángulo de rugosidad.

Para grandes esfuerzos el ángulo de rugosidad se considera cero y para esfuerzos muy pequeños se debe usar un valor muy fijo.

$$\phi_i = 0, \text{ cuando } \frac{JCS}{\sigma n} \leq 1$$

$$\phi_i = JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma n} \right), \text{ cuando } 1 > \frac{JCS}{\sigma n} \leq 50$$

$$\phi_i = 1.7JRC, \text{ cuando } \frac{JCS}{\sigma n} > 50$$

5.3.3.3. Análisis Cinemático

Para la evaluación de los macizos rocosos encontrados en la zona de estudio, se utilizó el sistema de representación estereográfica mediante el software Dips 6.0. Este sistema permitió determinar los posibles mecanismos de falla de cada macizo rocoso y definir las familias de discontinuidades presentes en sus estructuras.

En este proceso, se empleó un plano polar, el cual se divide en 360 grados para representar la dirección de las discontinuidades, de manera similar a una brújula y noventa círculos concéntricos que representan el buzamiento de las discontinuidades que se deseaban graficar. Cada discontinuidad observada en el campo se representó mediante la ubicación de un punto en el plano polar. La dirección del buzamiento se midió en relación con la coordenada norte, mientras que el buzamiento de la discontinuidad se representó según la distancia radial correspondiente.

Para este análisis se utilizó los datos de la dirección y buzamiento de cada una de las familias de diaclasas que indico la proyección estereográfica, de manera tal que se pudo definir

y relacionar si para los macizos rocosos en estudio existe la probabilidad de que ocurra algún tipo de falla como fallas por volcamiento, planas o por cuñas

La metodología consistió en realizar una evaluación detallada de las propiedades geotécnicas del macizo rocoso, como la resistencia al corte de las rocas, la presencia de discontinuidades y su orientación, la cohesión del material, el ángulo de fricción interna, entre otros.

Una vez obtenidas las propiedades del macizo rocoso, se compararon con las características del macizo, como la geometría (altura, pendiente, forma), las condiciones de drenaje, la presencia de cargas adicionales (por ejemplo, estructuras o rellenos) y cualquier otra variable relevante.

A continuación, se muestran las condiciones que se consideró, que debe presentar el macizo y las familias de discontinuidades que se tienen en cuenta en el análisis de admisibilidad cinemático, para cada uno de los tipos de fallas que puedan afectar el macizo rocoso.

▪ ***Rotura Planar.***

- La dirección de buzamiento de la discontinuidad deberá ser similar a la dirección de buzamiento del talud (entre unos 20° aproximadamente), es decir que el rumbo de la discontinuidad planar estará dentro de los 20° más próximos al rumbo de la cara del talud, en ambas direcciones. $\alpha_p = \alpha_f \pm 20^\circ$
- El buzamiento de la discontinuidad deberá ser menor que el del talud y el plano de falla deberá cortar la cara libre del talud. $\psi_p < \psi_f$
- El buzamiento de la discontinuidad deberá ser mayor que el ángulo de fricción de la superficie de contacto entre sus caras. $\psi_p > \phi_p$
- La extensión lateral de la masa en falla potencial deberá estar definida por discontinuidades que no contribuyan en forma significativa a la estabilidad de la masa.

▪ ***Rotura en Cuña.***

- El rumbo de la cuña debe estar 20° dentro del rumbo de la cara del talud en ambas direcciones. $\alpha_i = \alpha_f \pm 20^\circ$
- El buzamiento de la discontinuidad debe ser menor, que el buzamiento de la cara del talud, además de inclinarse hacia dicha cara. $\psi_i < \psi_f$
- Inclinación de la línea de intersección mayor que el ángulo de fricción de las superficies. Si el ángulo de fricción de los dos planos es marcadamente diferente, se debe utilizar un valor promedio. $\phi < \psi_i$

▪ ***Rotura por Volcamiento.***

- Rumbo de las losas aproximadamente paralelo al talud con diferencias entre 15° y 30°.
- Para que se presente deslizamiento entre capas, la normal al plano de volcamiento debe tener una inclinación menor que la diferencia existente entre el buzamiento de la cara del talud y el ángulo de fricción de la superficie.
- La dirección de buzamiento de las discontinuidades (asimiladas a planos) debe ser “sensiblemente” ortogonal a la dirección de buzamiento del talud. Por lo general, se considera que la diferencia entre la dirección de buzamiento de las discontinuidades y la dirección de buzamiento del talud debe encontrarse un rango de entre 160° y 200° (es decir $180^\circ \pm 20^\circ$).
- La inmersión de la normal a los planos de discontinuidad (en proyección estereográfica, la inmersión del polo de dichos planos) debe ser menor que la inclinación resultante de restar al buzamiento del talud el ángulo de rozamiento de los planos de deslizamiento (normalmente se toma el ángulo de rozamiento o fricción de las discontinuidades).

5.3.3.4. Análisis de Resistencia de los Macizos Rocosos Mediante el Criterio de Rotura de Hoek – Brown

Para el análisis de la resistencia de cada macizo rocoso, se consideró el criterio de rotura de Hoek-Brown ajustado al criterio de Mohr-Coulomb debido a que este enfoque permite modelar con mayor precisión el comportamiento de macizos rocosos con presencia de discontinuidades, como las juntas y fracturas.

La elección de este criterio se fundamenta en la necesidad de evaluar la estabilidad de los 3 macizos rocosos del área de estudio, ya que, para calcular el factor de seguridad, es esencial expresar los parámetros de resistencia en términos de cohesión y ángulo de fricción, tal como lo prescribe el criterio de Mohr-Coulomb.

5.3.3.5. Análisis de Estabilidad Global

Para la elección del método más idóneo para el análisis de estabilidad global del deslizamiento y de los macizos rocosos de la zona de estudio, fue necesario el conocimiento geológico y geomecánico de los materiales que los conforman, de los posibles modelos o mecanismos de rotura que pueden tener lugar y de los factores que influyen, condicionan y desencadenan las inestabilidades. Por lo que, considerando lo antes mencionado se optó por los métodos de equilibrio límite.

Primeramente, se comparó las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura, considerando para esto:

- La selección de una superficie teórica de rotura en el talud.
- El criterio de rotura de Mohr-Coulomb.
- La definición de «coeficiente de seguridad»

Posteriormente considerando que los problemas de estabilidad son estáticamente indeterminados, y para su resolución es preciso considerar una serie de hipótesis de partida diferentes según los métodos, se asumió las siguientes condiciones:

- La superficie de rotura debe ser postulada con una geometría tal que permita que ocurra el deslizamiento, es decir, será una superficie cinemáticamente posible.
- La distribución de las fuerzas actuando en la superficie de rotura podrá ser computada utilizando datos conocidos (peso específico del material, presión de agua, etc.).
- La resistencia se moviliza simultáneamente a lo largo de todo el plano de rotura

Con estas condiciones, se estableció las ecuaciones del equilibrio entre las fuerzas que inducen el deslizamiento y las resistentes que se oponen al mismo. Estas ecuaciones se basan en el criterio de rotura de Mohr-Coulomb, el cual establece que la resistencia al deslizamiento de un material está relacionada con la cohesión y el ángulo de fricción interna del material.

5.3.3.6. Análisis Pseudo-estático

Con el objetivo de estudiar el comportamiento de las zonas críticas del área de estudio en condiciones sísmicas, se llevó a cabo un análisis pseudo-estático. Este análisis se realizó utilizando un coeficiente de aceleración horizontal, sin considerar las aceleraciones verticales. Ecuador se divide en seis zonas sísmicas distintas, cada una caracterizada por un valor de Z . Es importante destacar que la zona sur de la provincia se clasifica como una zona de alta amenaza sísmica, lo cual enfatiza la necesidad de realizar este tipo de análisis en el área de estudio.

Durante el análisis pseudo-estático, se aplicó un coeficiente específico de aceleración horizontal, que representa la máxima aceleración sísmica estimada para la zona considerada. Este coeficiente fue utilizado para evaluar la respuesta estática de las zonas críticas frente a posibles eventos sísmicos.

En el software Slide v7.0 se incorporó un coeficiente sísmico horizontal de 0.25, el cual fue utilizado en el análisis de estabilidad de la zona del proyecto. Para determinar este coeficiente sísmico horizontal específico, se siguieron los siguientes pasos:

- En primer lugar, para facilitar la determinación del valor de Z, se toma como referencia la tabla 1, capítulo 3 de la NEC 15:

Tabla 22. Valores del factor Z, en función de la zona sísmica

Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	> 0.50
Caracterización de la Amenaza Sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

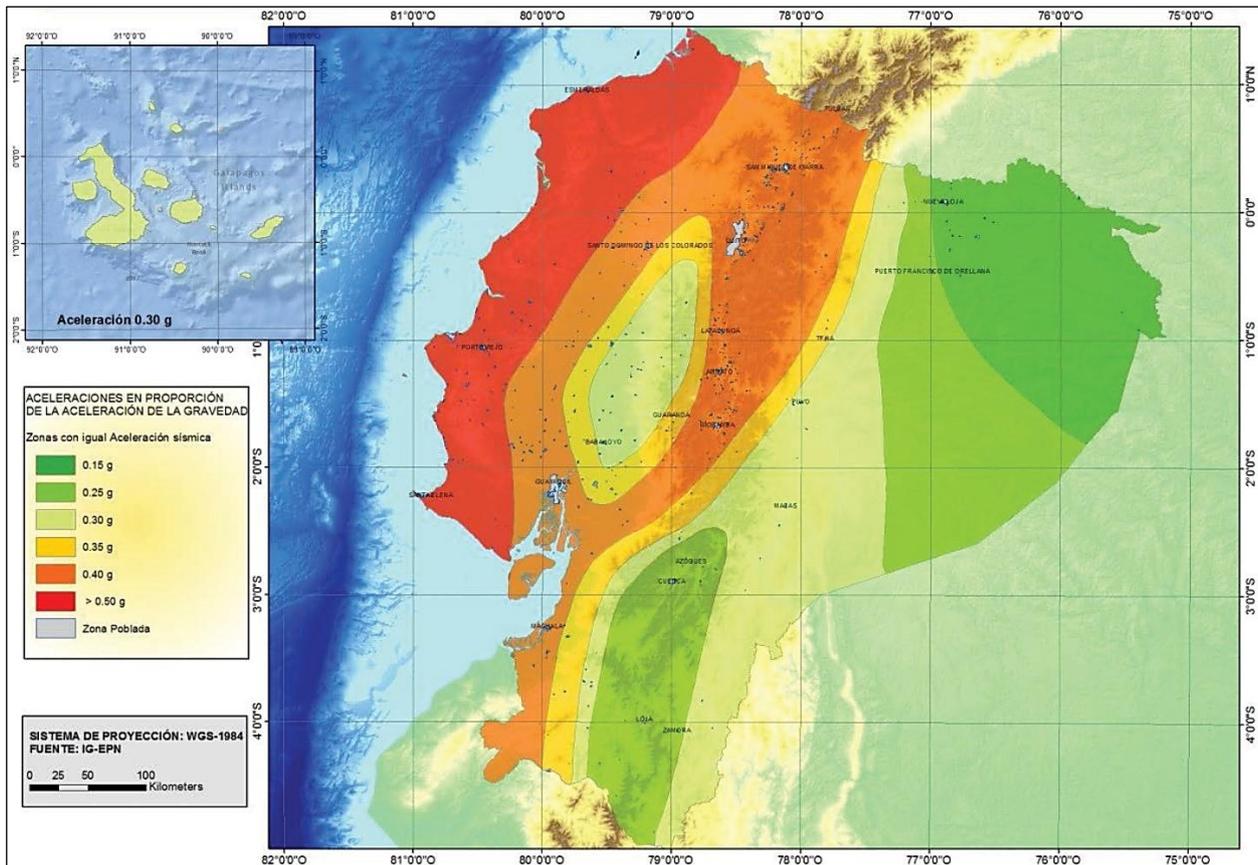


Figura 39. Mapa de zonas sísmicas del Ecuador para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z

Tabla 23. Valoración de las zonas sísmicas

Provincia	Cantón	Factor Z
Loja	Loja	0.25
Loja	Catamayo	0.25

- De acuerdo con la NEC, el sector de estudio se ubicó en la Zona Sísmica II, adaptándose así un valor de Z entre 0.25.
- A partir de la información anterior, se determinó un factor de amplificación sísmica (Fa) de 1.4 para suelos y de, 0.90 para rocas, para el análisis sísmico.

Tabla 24. Tipo de suelo y factores de sitio

Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	> 0.50
A	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1.40	1.30	1.25	1.23	1.20	1.18
D	1.60	1.40	1.30	1.35	1.20	1.12
E	1.80	1.50	1.39	1.26	1.14	0.97

- Según la NEC-SE-GC (2015) la demanda sísmica para el análisis pseudo-estático es del 60% de la aceleración máxima en el terreno:

$$K_h = \frac{0.6 * (a_{max})}{g}$$

Donde:

- $a_{max} = Z * Fa$

- $Fa = Fuerzas actuantes$

- A partir de esto, se reemplazaron los datos de la zona de estudio previamente establecidos

$$a_{max} = 0.25 * 1.40 = 0.35$$

$$a_{max} = 0.25 * 0.90 = 0.22$$

- Finalmente, se obtuvo el coeficiente sísmico horizontal reemplazando

$$K_h = 0.6 * (0.35) = 0.21 \rightarrow \text{suelos}$$

$$K_h = 0.6 * (0.22) = 0.13 \rightarrow \text{rocas}$$

6. Resultados

6.1. Topografía

El levantamiento de información topográfica (fotogrametría) realizada en la vía “Ye de Villonaco Cazador de Atardeceres – Taquil km 9,50 – 12,00”, del cantón y provincia de Loja, se extiende sobre un polígono de aproximadamente 108 hectáreas, mismo que, cuyos puntos de control principales a nivel de eje vía, tienen como coordenadas geográficas DATUM/WGS84.

Tabla 25. *Coordenadas Geográficas*

	Coordenada en X	Coordenada en Y	Altura Z
P. Inicial	690562.00	9568793.00	2280
P. Final	690247.00	9569873.00	2261

El mapa topográfico del área de estudio a escala 1:5000 resultante (ver, Anexo 1.5), presenta información detallada sobre el relieve del terreno, representado a través de curvas de nivel primarias y secundarias. En este caso, las curvas de nivel secundarias se han trazado a una distancia vertical de 10 metros, mientras que las curvas de nivel primarias se han representado a una distancia de 50 metros. Este enfoque ha permitido capturar con precisión la variabilidad del terreno, mostrando un relieve irregular con altitudes que oscilan entre 2120 metros sobre el nivel del mar (cota más baja) hasta 2330 metros sobre el nivel del mar (cota más alta), en un área total de 108,46 hectáreas. La altura media es de 2125 metros sobre el nivel del mar.

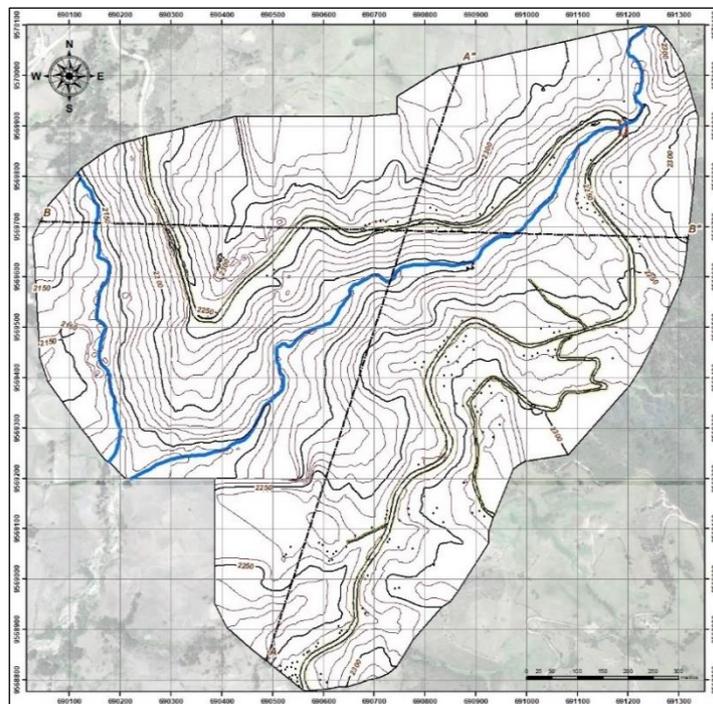


Figura 40. *Plano Topográfico del Área de Estudio*

Nota. Plano Topográfico Base del Área de Estudio para la Ejecución de los Perfiles topográficos

A continuación, se presenta una descripción detallada de los perfiles topográficos trazados, las cuales corresponden a las direcciones preferenciales del eje de la vía.

Perfil topográfico A – A''. En la figura 41 se representa el perfil topográfico correspondiente a esta sección, con una dirección NE –SW, con una longitud de 1200 m, con una altitud mayor de 2330 m y una altitud menor de 2190 m, resultando en una diferencia altitudinal de 140 m. Adicionalmente, en el perfil topográfico se puede observar la disposición de la vía principal y de la Quebrada Chanipamba.

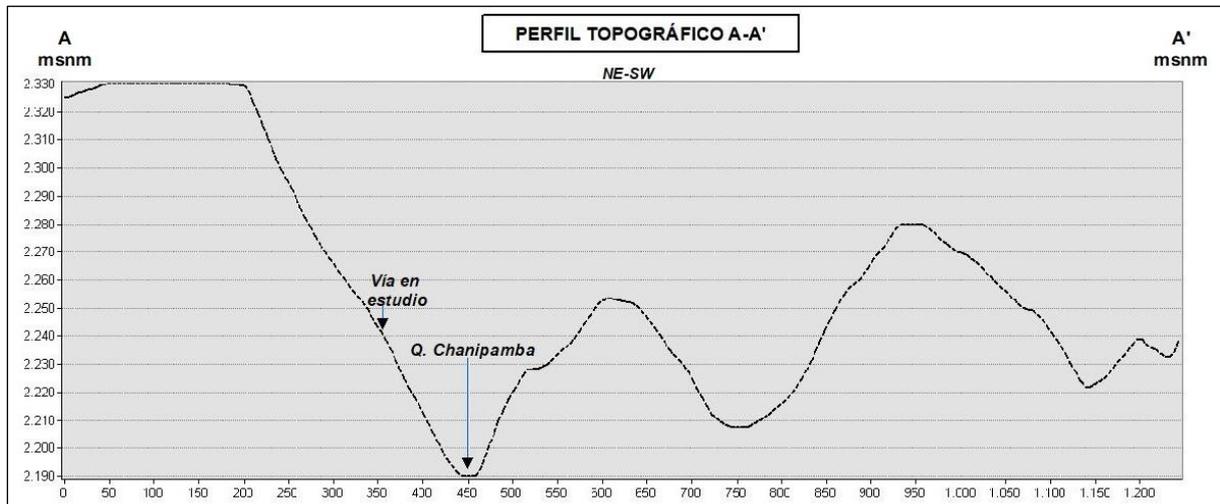


Figura 41. Perfil Topográfico A –A''

Perfil topográfico B-B''. La figura 42 corresponde a una sección con dirección W-E de 1250 m de longitud. Este perfil cuenta con una altitud mínima de 2140 m y una altitud máxima de 2300 m, lo que resulta en una diferencia de altura de 160 m.

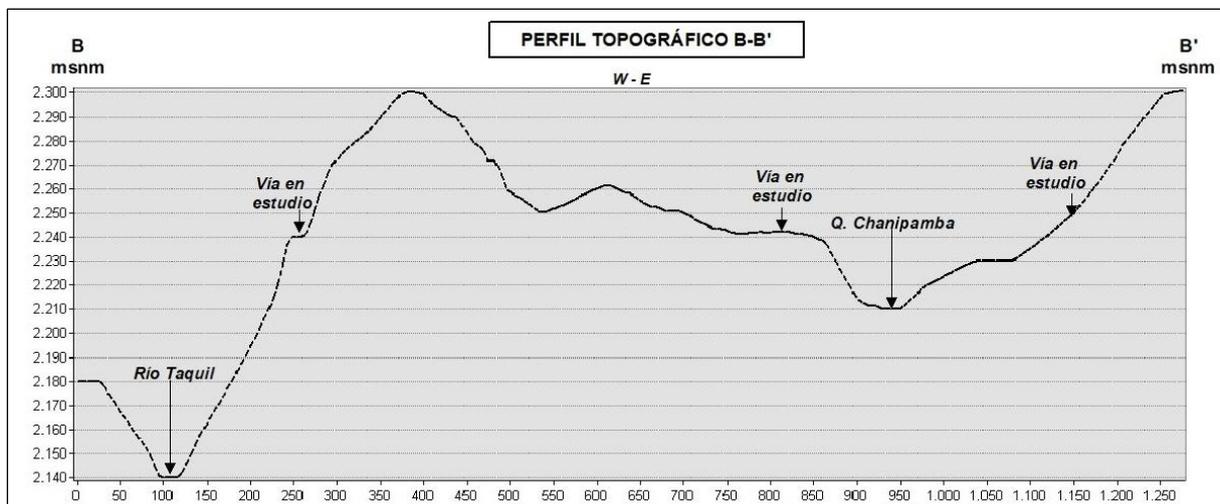


Figura 42. Perfil Topográfico B –B''

6.2. Pendientes

El mapa de pendientes, (ver, Anexo 1.7), hace referencia a la magnitud de la variación de la elevación respecto de la distancia horizontal en el área de estudio. En este sentido, se ha logrado determinar 5 clases diferenciadas de pendientes en términos de grados, como se muestra en la (tabla 26), que describe el relieve de las 108,46 hectáreas que conforman el área de estudio.

Tabla 26. Clasificación de las pendientes del área de estudio

Color	Rango	Área (Ha)	Porcentaje
	0° - 5°	5.12	4.72 %
	5° - 15°	27.68	25.51 %
	15° - 35°	54.60	50.33 %
	35° - 55°	20.05	18.48 %
	55° - 81,5°	1.01	0.93 %

Nota. Tabla que muestra las áreas que abarcan los diferentes tipos de pendientes expresadas en grados.

De esta forma, se ha observado que la pendiente máxima del terreno se refiere a zonas muy inclinadas con una inclinación de más de 15° a 35°, y cubren un área de 54,6 Ha, lo que equivale al 50,33% de la zona de estudio. Además, se han identificado zonas con pendientes fuertemente inclinadas y empinadas, las cuales se caracterizan por tener una inclinación de más de 5°-15° y más de 35°-55°, respectivamente.

También se han identificado zonas de relieve ligeramente inclinado, con una inclinación de entre 0° y 5°, y planicies, que cubren un 5,12% y un 4,72% del área, respectivamente, y se localizan principalmente en el centro-sur del territorio. Por último, se ha determinado que las zonas con pendientes verticales ocupan el menor porcentaje, con solo un 0,93% de la superficie.

6.3. Geología

El levantamiento de información geológica realizada en la vía “Ye de Villonaco – Taquil km 9,50 – 12,00”, del cantón y provincia de Loja, permitió definir la presencia de 9 diferentes tipos de litología, mismas que corresponda a: esquistos pertenecientes a la Unidad Cera; lavas basálticas y flujos piroclásticos pertenecientes a la Unidad Gonzabal; secuencias volcano – sedimentarias, niveles de conglomerados grano decrecientes, riolitas, diques dioríticos, intrusiones de gabro, depósitos coluviales y depósitos aluviales de la quebrada Chanipamba.

Tabla 27. Geología local del área de estudio

Simbología	Código	Descripción	Periodo	Área (Ha)	Porcentaje
	QA	Depósito Aluvial	Cuaternario	2,17	1,90 %
	DC	Depósito Coluvial		5,29	4,63 %
	R	Riolitas	Neógeno	6,41	5,62 %
	C N	Niveles de Conglomerados	Paleógeno	1,77	1,55 %
	VS	Secuencias Volcano-Sedimentarias		11,29	9,86 %
	GZ	Lavas Basálticas y Piroclásticos		56,27	49,29 %
	CE	Esquistos	Paleozoico	18,88	20,91 %
	DD	Diorita	---	0,049	0,043 %
	GB	Gabro		7,01	6,14 %

Nota. En la tabla se presenta la simbología, el código, el periodo, el área y el porcentaje de cada una de las unidades litológicas que conforman el área de estudio

A continuación, (tabla 28), se presenta una descripción geológica detallada de cada uno de los afloramientos y puntos que se estudiaron en el campo.

Tabla 28. Geología local del área de estudio

Afloramiento	Unidad litológica	Descripción	Estructura	Orientación Estructuras															
1	Unidad Gonzabal	Brechas piroclásticas con clastos de composición variable en contacto discordante con lavas basálticas, que se caracterizan por una matriz porfídica. La potencia del estrato de lavas es de 92 cm aprox., y entra en contacto erosivo nuevamente con una secuencia de brechas piroclásticas. Otro dato importante, es que en esta zona el macizo, se encuentra atravesado por una vetilla de calcita. En la parte central del afloramiento, la secuencia se repite, extendiéndose por aprox. 12 m, en donde se observó un cambio a tobas de ceniza.	Estrato de lavas basálticas	<table border="1"> <tr> <td>Azimet</td> <td>83°</td> </tr> <tr> <td>Buzam.</td> <td>23°</td> </tr> <tr> <td>Dir. Bz.</td> <td>173° SE</td> </tr> </table>	Azimet	83°	Buzam.	23°	Dir. Bz.	173° SE									
Azimet	83°																		
Buzam.	23°																		
Dir. Bz.	173° SE																		
2	Unidad Gonzabal	Lavas basálticas asociadas con brechas y tobas de lapilli de composición andesítica. Estas brechas presentan una matriz porfídica las tobas presentan una matriz predominantemente afanítica, de coloración gris verdosa oscura. Además, se observan áreas donde los fragmentos de cristales han sido completamente reemplazados por calcita, formando una serie de vetillas.		<table border="1"> <tr> <td>Azimet</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Buzam.</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Dir. Bz.</td> <td>-</td> </tr> </table>	Azimet	-	Buzam.	-	Dir. Bz.	-									
Azimet	-																		
Buzam.	-																		
Dir. Bz.	-																		
3	Unidad Gonzabal	Brechas piroclásticas que presentan clastos de composición variable entre andesítica y dacítica. De clastos con un tamaño > 64mm y una coloración en su mayoría grisácea y marrón. Además, existe una zona con un vetilleo tipo stockwork conformado por vetillas de calcita de 5 a 10cm, que están dispuestas entrecruzadas y sin un orden aparente.	Dirección Preferente Planos de Debilidad	<table border="1"> <tr> <td>Azimet</td> <td>25°</td> </tr> <tr> <td>Buzam.</td> <td>69°</td> </tr> <tr> <td>Dir. Bz.</td> <td>115° SE</td> </tr> </table>	Azimet	25°	Buzam.	69°	Dir. Bz.	115° SE									
Azimet	25°																		
Buzam.	69°																		
Dir. Bz.	115° SE																		
4	Unidad Gonzabal	Predominancias de depósitos piroclásticos de brechas de composición andesítica con clastos de un tamaño aproximado de 64mm e inferior. La matriz es afanítica fina a media y la coloración en su mayoría es marrón. Esta capa se encuentra en contacto discordante “discordancia angular”; con brechas piroclásticas de composición variable entre andesítica y tobacea, lo que le confiere una coloración en su mayoría verdosa. Los clastos de estas brechas tienen un tamaño aproximado de 64mm y superior. La potencia del estrato es de 2m. Otra característica importante de esta zona es que las brechas están atravesadas por un dique de gabro con una potencia de 72cm. Entre los minerales apreciables se tienen fenocristales, plagioclasas y piroxenos.	<table border="1"> <tr> <td>Estrato de brecha verdosa</td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Azimet</td> <td>177°</td> </tr> <tr> <td>Buzam.</td> <td>39°</td> </tr> <tr> <td>Dir. Bz.</td> <td>267° SW</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>Dique de gabro</td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Azimet</td> <td>8°</td> </tr> <tr> <td>Buzam.</td> <td>66°</td> </tr> <tr> <td>Dir. Bz.</td> <td>98° SE</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	Estrato de brecha verdosa	<table border="1"> <tr> <td>Azimet</td> <td>177°</td> </tr> <tr> <td>Buzam.</td> <td>39°</td> </tr> <tr> <td>Dir. Bz.</td> <td>267° SW</td> </tr> </table>	Azimet	177°	Buzam.	39°	Dir. Bz.	267° SW	Dique de gabro	<table border="1"> <tr> <td>Azimet</td> <td>8°</td> </tr> <tr> <td>Buzam.</td> <td>66°</td> </tr> <tr> <td>Dir. Bz.</td> <td>98° SE</td> </tr> </table>	Azimet	8°	Buzam.	66°	Dir. Bz.	98° SE
Estrato de brecha verdosa	<table border="1"> <tr> <td>Azimet</td> <td>177°</td> </tr> <tr> <td>Buzam.</td> <td>39°</td> </tr> <tr> <td>Dir. Bz.</td> <td>267° SW</td> </tr> </table>	Azimet	177°	Buzam.	39°	Dir. Bz.	267° SW												
Azimet	177°																		
Buzam.	39°																		
Dir. Bz.	267° SW																		
Dique de gabro	<table border="1"> <tr> <td>Azimet</td> <td>8°</td> </tr> <tr> <td>Buzam.</td> <td>66°</td> </tr> <tr> <td>Dir. Bz.</td> <td>98° SE</td> </tr> </table>	Azimet	8°	Buzam.	66°	Dir. Bz.	98° SE												
Azimet	8°																		
Buzam.	66°																		
Dir. Bz.	98° SE																		
5		Zona de contacto litológico entre el volcánico de la formación Gonzabal que en este sector muestra “capas compuestas por taba de ceniza gruesa de composición andesítica, de coloración marrón claro”; con material coluvial, en el que se muestra predominio de bloques angulosos de rocas volcánicas altamente meteorizados, de coloración amarillenta anaranjada.		<table border="1"> <tr> <td>Azimet</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Buzam.</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Dir. Bz.</td> <td>-</td> </tr> </table>	Azimet	-	Buzam.	-	Dir. Bz.	-									
Azimet	-																		
Buzam.	-																		
Dir. Bz.	-																		

6		Depósitos coluviales que se caracterizan por la presencia de clastos angulares de composición andesítica. Los clastos angulares encontrados en estos depósitos coluviales conservan su forma original, pero presentan señales evidentes de alteración y descomposición química, lo cual indica que han sido sometidos a un proceso de meteorización prolongado.		Azimet	-
				Buzam.	-
				Dir. Bz.	-
7		Intrusión de gabro que se caracteriza por tener una coloración que varía entre verde oscuro y grisácea. Asimismo, se observa la presencia de vetillas de calcita que atraviesan la intrusión. Además, es posible apreciar la presencia de diaclasas. Entre los minerales apreciables se encuentran las plagioclasas y los piroxenos.		Azimet	-
				Buzam.	-
				Dir. Bz.	-
8		Depósitos coluviales que se caracterizan por la presencia de clastos angulares de composición andesítica. Los clastos angulares encontrados en estos depósitos coluviales conservan su forma original, pero presentan señales evidentes de alteración y descomposición química, lo cual indica que han sido sometidos a un proceso de meteorización prolongado. La composición andesítica de los clastos revela la presencia de minerales como feldespato, cuarzo, mica y otros componentes característicos de la descomposición de la roca "patina". Estos procesos pueden incluir la formación de minerales secundarios, como óxidos de hierro o calcio, o el crecimiento de microorganismos, como líquenes o bacterias.		Azimet	-
				Buzam.	-
				Dir. Bz.	-
9	Unidad Cera	Esquistos de color amarillento con un grado medio de meteorización y un buzamiento hacia el suroeste. Estos esquistos tienen un espesor estimado de alrededor de 40 metros y están en contacto con conglomerados. Adicionalmente, se ha encontrado un dique diorítico con una textura porfídica que intruye los esquistos y conglomerados presentes en la zona de estudio. Posteriormente, se observó una nueva interfaz entre los conglomerados y los esquistos de la unidad cera.	Dique Diorítico	Azimet	170°
				Buzam.	53°
				Dir. Bz.	260° SW
10	Correlacionable con la Unidad Sayo Cruz	Riolitas hipoabisales que se destacan morfológicamente como estructuras columnares. Estas estructuras sugieren un proceso de enfriamiento lento de la masa magmática durante su emplazamiento subterráneo, seguido de una cristalización posterior. En dirección noroeste de esta zona, en contacto con las riolitas, se encuentran niveles de conglomerados subangulares y esquistos pertenecientes a la Unidad Cera. Este contacto indica una transición litológica y posiblemente un cambio en las condiciones de deposición o eventos tectónicos en la región.	Cuerpos Riolfíticos	Azimet	130°
				Buzam.	57°
				Dir. Bz.	220° SW
Q. Chanipamba	Unidad Cera	Si se empieza el recorrido a partir de la cota 2240 aguas abajo (cascada), nos encontramos con bloques, cantos y guijarros de rocas volcánicas y metamórficas. Por otro lado, si se inicia a partir de la cota 2250 aguas arriba nos encontramos, "al margen izquierdo dir. NE"; rocas metamórficas "esquistos y pizarras y filitas en menor proporción". Y "margen derecho" cuerpos riolíticos con baja meteorización.		Azimet	-
				Buzam.	-
				Dir. Bz.	-

11	Unidad Cera	Niveles de conglomerados matriz-soportado, subangulares y con una clasificación deficiente. Estos se encuentran en contacto con los esquistos de la Unidad Cera. Además, se puede inferir una discordancia litológica entre los conglomerados y los cuerpos riolíticos.		Azimut	-
				Buzam.	-
				Dir. Bz.	-
12		En esta zona se identificó una zona de contacto entre esquistos y riolitas altamente alteradas.		Azimut	-
				Buzam.	-
				Dir. Bz.	-
13	Unidad Cera	Este afloramiento está conformado por conglomerados con una matriz areno-limosa de tamaño inferior a 64mm. Presencia de lente de limolita.		Azimut	-
				Buzam.	-
				Dir. Bz.	-
14		Este afloramiento está conformado por intercalaciones de secuencias volcánicas como tobas líticas y riolitas con una potencia de 0.5 m. Ambos materiales se encuentran altamente meteorizados.		Azimut	-
				Buzam.	-
				Dir. Bz.	-
15	Unidad Cera	Este afloramiento está conformado por esquistos de color grisáceo a marrón altamente meteorizados. A su vez está conformado por riolitas altamente meteorizadas de color amarillento a blanco, con presencia de oxidación. Entre los minerales apreciables se tienen plagioclasas en proceso de caolinización		Azimut	-
				Buzam.	-
				Dir. Bz.	-
16		Este afloramiento está conformado por intercalaciones de material volcano-sedimentario como fragmentos de tobas de lapilli, riolitas, y conglomerados “con matriz limo-arenosa.		Azimut	-
				Buzam.	-
				Dir. Bz.	-
17		En este afloramiento se observa el contacto entre la secuencia volcano-sedimentaria y el basamento de la Unidad Cera. Sobre los esquistos existe material coluvial.	Esquistos	Azimut	200°
				Buzam.	48°
				Dir. Bz.	290° NW
18	Unidad Cera	Este afloramiento está conformado por esquistos altamente meteorizados de coloración grisácea, mismos que muestran cierto plegamiento.	Esquistos	Azimut	180°
				Buzam.	61°
				Dir. Bz.	270° N
19		Este afloramiento está conformado por intercalaciones de material volcano-sedimentario como fragmentos de tobas de lapilli, riolitas, y conglomerados “con matriz limo-arenosa. En contacto con esquistos.		Azimut	-
				Buzam.	-
				Dir. Bz.	-
20		Este afloramiento está conformado por intercalaciones de material volcano-sedimentario como fragmentos de tobas de lapilli, riolitas, y conglomerados “con matriz limo-arenosa.		Azimut	-
				Buzam.	-
				Dir. Bz.	-

Nota. Descripción detallada de cada de los afloramientos estudiados en la zona de estudio

A continuación, se describe cada una de las litologías identificadas en campo, las cuales están representadas en el mapa geológico local del area de estudio a escala 1:5000 (ver, Anexo 1.8).

6.3.1. Basamento

El basamento del area de estudio lo conforman rocas metamórficas de bajo grado como pizarras y filitas de edad paleozoica de la cordillera Real, cubiertas por, rocas metamórficas de grado medio como esquistos pelíticos y paragneises que pueden correlacionarse con la unidad Agoyán y que en el area de estudio han sido definidos como parte de la Unidad Cera.

6.3.1.1. Esquistos / Unidad Cera

Secuencias metamórficas de grado medio que forma parte de la Unidad Cera del paleozoico que está compuesta por esquistos medianamente meteorizados correlacionales con la Unidad Agoyán. La unidad se encuentra en contacto tectónico con la Unidad Chigüinda y según lo interpretada en campo, se encuentra en contacto fallado con la Unidad Gonzabal. Estas secuencias se encuentran aflorando intermitentemente en la zona nororiental del área de estudio UTM: 0691090 / 9569893, aguas arriba en la Quebrada Chanipamba UTM: 0691203 / 9570044, y en gran parte de la zona centro sur.

Estas secuencias se caracterizan por esquistos de coloración marrón a grisáceo con un grado medio de meteorización y un buzamiento hacia el suroeste; y hacia la zona centro sur del área de estudio se caracterizan por estar plegadas centimétrica.



Figura 43. Esquistos de la Unidad Cera basamento del área de estudio UTM: 0690800 / 9569208

Por otro lado, a nivel de la Quebrada Chanipamba cota 2250 UTM: 0691207 / 9569899, se observó un pequeño afloramiento de rocas metamórficas de bajo grado como pizarras, filitas y esquistos correspondientes también a la parte basal y posiblemente correlacionables con la Unidad Chigüinda, la cual se ha llegado a interpretar como una secuencia paleozoica derivada de una fuente continental.

6.3.2. Unidad Gonzabal

La Unidad Gonzabal se consideró en este trabajo como parte de la actividad volcánica del arco continental que inicio en el Paleoceno con el denominado arco Sacapalca, con la

generación de productos volcánicos y volcano-sedimentarios. Pues, la intensa actividad volcánica y magmática dentro del área de estudio UTM: 0690255 / 9569858, quedo evidenciada en basaltos, lavas basálticas y flujos piroclásticos correlacionables posiblemente con el (Mb. Sacapalca Basal). La actividad volcánica cesó durante el Eoceno inferior, teniendo de esta forma ambientes acuáticos que retrabajaron los depósitos de flujos piroclásticos (Mb. Tobas). El posible punto de erupción de las tobas “encontradas también dentro del área de estudio UTM: 0690315 / 9569675”, fue al sur del área de estudio, debido a que el tamaño de granos de lapilli y tobas decrece hacia el norte.

6.3.2.1. Lavas Basálticas/Flujos Piroclásticos/Tobas

Se reconocen flujos piroclásticos y brechas piroclásticas sobre las lavas basálticas que se correlación con la formación Sacapalca.

Ubicación y afloramientos: La ocurrencia es en general en la zona noroccidental del área de estudio. Pues se identificaron 4 afloramientos importantes en este sector, abscisa 12+000 “afloramiento 1” UTM: 0690255 / 9569858, “afloramiento 2” UTM: 0690315 / 9569675, “afloramiento 3” UTM: 0690374 / 9569539, y al SE de este ultimo; “afloramiento 4” UTM: 0690409 / 95695588.

Litología: Secuencias de brechas piroclásticas con clastos de composición variable entre andesítica y dacítica porfídica, mismos que tienen un tamaño aproximado de 64mm e inferior. La matriz es afanítica y la coloración en su mayoría es anaranjada-rojiza. Estas brechas se encuentran en contacto discordante con lavas basálticas formando secuencias.



Figura 44. Zona de estudio P1

Las capas de lavas basálticas tienen una matriz porfídica, de coloración grisácea y marrón, entre los minerales apreciables tenemos plagioclasas y piroxenos. Otro dato importante, es que esta zona se encuentra atravesada por una vetilla de calcita asociada posiblemente a una alteración hidrotermal.

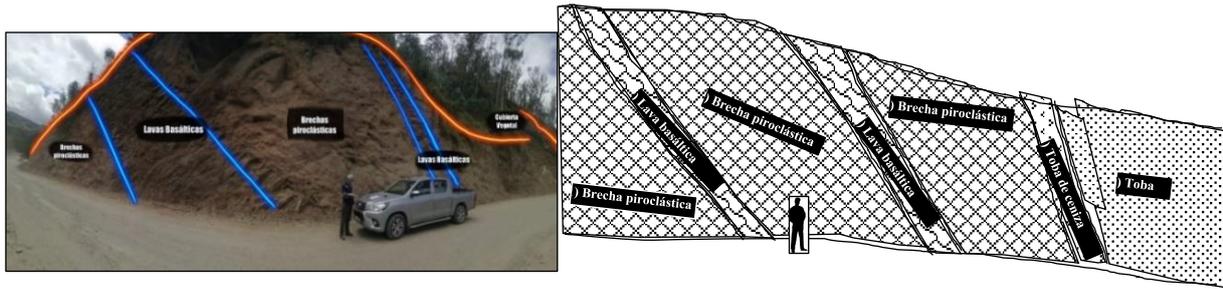


Figura 45. Zona de estudio P2

Nota. La potencia de los estratos de lavas basálticas es de aprox. 92 cm, con una dirección de buzamiento y buzamiento de $173^{\circ}/23^{\circ}$

En dirección S-SE desde la absc. 12+000, las secuencias se repiten, es decir, las brechas piroclásticas vuelven a entrar en contacto con lavas basálticas y estas a su vez nuevamente con una capa de brechas piroclásticas, en donde, además se observó cambios litológicos a tobas de ceniza de grano grueso de coloración gris verdosa oscura. Asimismo, se observan áreas donde los fragmentos de cristales han sido completamente reemplazados por calcita, formando una serie de vetillas.



Figura 46. Zona de estudio P2

En este mismo sector en dirección S-SE, afloran brechas con características más máficas, correspondientes a basaltos. Estas brechas basálticas exhiben una textura porfídica, donde cristales grandes se dispersan en una matriz fina. Además, existe una zona con un vetilleo tipo stockwork conformado por vetillas de calcita de 5 a 10cm, que están dispuestas entre cruzadas y sin un orden aparente.



Figura 47. Zona de estudio P3



Figura 48. Zona de estudio P3

En concordancia con las secuencias inicialmente descritas, hacia la parte NW abs. 11+700 de la vía Cera Taquil, se puede observar nuevamente predominancias de depósitos piroclásticos de brechas de composición andesítica con clastos de tamaño aproximado de 64mm e inferior, matriz afanítica fina a media y coloración en su mayoría marrón, en intercalaciones con brechas piroclásticas de composición variable de coloración en su mayoría verdosa.

Estas secuencias volcánicas paleocénicas de lavas basálticas, tobas y brechas piroclásticas se extienden por el 49.82% del área de estudio, lo que indica erupciones explosivas y efusiones de lavas basálticas que tuvieron lugar en el pasado geológico de la región.

Espesor: La potencia de estas lavas basálticas, flujos piroclásticos y tobas dentro del área de estudio según lo observado en campo y según las correlaciones existentes entre la Unidad Gonzabal de la cual forman parte; y el miembro Sacapalca basal, se estima entre 400 y 600 metros.

6.3.3. Secuencias Volcano–Sedimentario

Luego de un periodo de inactividad volcánica y erosión de las secuencias anteriormente depositadas; en el Eoceno superior y Oligoceno inferior, se infiere se formaron los depósitos volcano-sedimentarios presentes en la zona centro – sur del área de estudio UTM: 0690819 / 9569420.

Ubicación y afloramientos: Se los puede encontrar al sureste del área de estudio y en menor proporción hacia el E. Al sureste se identificaron 4 afloramientos importantes “afloramiento 16” UTM: 0690819 / 9569420, “afloramiento 17” UTM: 0690854 / 9569288, “afloramiento 19” UTM: 0690754 / 9569171, y “afloramiento 20” UTM: 0690670 / 9568980. Hacia el E del área de estudio se encontró un único afloramiento UTM: 0691148 / 9569498.

Litología: Se componen en la base de intercalaciones de brechas, tobas, y conglomerados que se encuentran en discordancia litológica sobre la Unidad Cera. Los materiales se encuentran altamente meteorizados.



Figura 49. Zona de estudio P14



Figura 50. Zona de estudio P16

Seguidos por intercalaciones de material volcano-sedimentario y volcánico como fragmentos de tobas de lapilli, lavas andesíticas, fragmentos de tocas riolíticas y conglomerados “con matriz limo-arenosa”.

Espesor: El espesor de estas secuencias según sus equivalentes laterales de formación loma blanca se estima en unos 200 metros en el area de estudio

6.3.4. Niveles de Conglomerados

Ubicación y afloramientos: La ocurrencia es en general en la zona nororiental del área de estudio. Pues se identificaron algunos afloramientos importantes en este sector, “afloramiento 9” UTM: 0691090 / 9569893, “afloramiento 11” UTM: 0691191 / 9569875, en donde se encuentran en contacto esquistos de color grisáceo a marrón medianamente meteorizadas. Más hacia el E UTM: 0691216 / 9569616, se encuentran en intercalaciones con secuencias volcano-sedimentarias y con rocas volcánicas.



Figura 51. Zona de estudio P9

Litología: Niveles de conglomerados que se caracterizan por clastos de rocas metamórficas matriz-soportado, subangulares y con una clasificación deficiente. Se puede inferir una discordancia litológica entre los conglomerados y las rocas riolíticas antes mencionados.

6.3.5. Riolitas

Ubicación y afloramientos: La ocurrencia es en general en la zona nororiental del área de estudio. Pues se identificaron cuerpos riolíticos aflorando en UTM: 0691154 / 9569933 y aguas debajo de la quebrada Chanipamba.

Litología: Riolitas que se destacan morfológicamente como estructuras columnares con una orientación azimutal de 130° y un buzamiento de 57° hacia el suroeste. Se caracterizan por matriz afanítica con ausencia de minerales apreciables y una coloración marrón claro, a lo que se le suma un estado avanzado de meteorización.

Edad: Se infiere una edad miocénica a partir de las correlaciones estratigráficas. Periodo en el que se presente uno de los últimos remanentes de la actividad volcánica del arco actual del sur del Ecuador.



Figura 52. Zona de estudio P10



Figura 53. Zona de estudio P10

6.3.6. Intrusivos

En el área de estudio fueron registrados varios cuerpos intrusivos de diferente edad. El principal intrusivo se lo encontró al N del area de estudio. Además, se encontró algunos diques que afectan a las secuencias paleocenicas y a la Unidad Cera.

6.3.6.1. Intrusión de Gabro

Ubicación y afloramientos: El intrusivo fue descrito en dos puntos “afloramiento 7” UTM: 0690409 / 9569558 y “afloramiento 4” UTM: 0690846 / 9569709, en forma de dique.

Litología: El intrusivo se encuentra ubicado al sureste de la parroquia Taquil, en el afloramiento 7. De coloración marrón oscura a grisácea, está compuesto por gabros con un alto grado de meteorización. En cuanto a su textura, el intrusivo exhibe una configuración inequigranular, caracterizada por una distribución irregular de granos de distintos tamaños. Sin embargo, debido a la intensa meteorización, ciertas áreas del intrusivo pueden aparentar tener una textura porfídica similar a la de las rocas andesíticas. Esta textura porfídica se caracteriza por la presencia de cristales grandes (fenocristales) dispersos en una matriz más fina.

Además, se caracteriza por la presencia de diaclasas en el intrusivo, que corresponden a fracturas o grietas presentes en la roca. Estas diaclasas indican la existencia de zonas de debilidad estructural en la formación.



Figura 54. Zona de estudio P7.2 – pórfido



Figura 55. Zona de estudio P4.2 - dique

Desde el punto de vista mineralógico, el intrusivo contiene plagioclasas y piroxenos como sus componentes principales. Estos minerales son comunes en las rocas básicas. Asimismo, se puede observar la presencia de vetillas de calcita que atraviesan la intrusión.

Composición Química: Se determinó que la muestra codificada como A7M7 tomada en el intrusivo, corresponde a gabro.

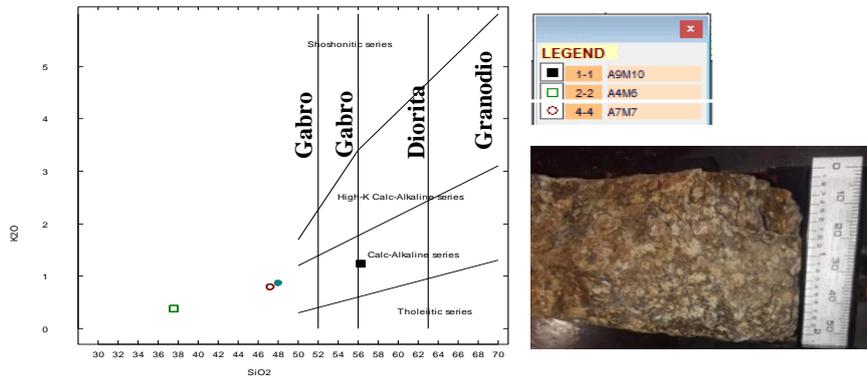


Figura 56. Zona de estudio P7.2 – fluorescencia de rayos x

6.3.6.2. Dique Diorítico

Ubicación y afloramientos: La ocurrencia de este intrusivo menor “dique” está limitada a la parte nororiental del area de estudio. Pues se lo pudo identificar en el “afloramiento 9” UTM: 0691090 / 9569893., cortando a las secuencias metamórficas de la Unidad Cera.

Litología: Se compone de dioritas de coloración gris oscura, con presencia de fenocristales de plagioclasas de 2 a 4 mm, textura inequigranular. La aparición de diques en el resto del area de estudio no es recurrente.

Composición Química: Se determinó que la muestra codificada como A9M10 corresponde a diorita.

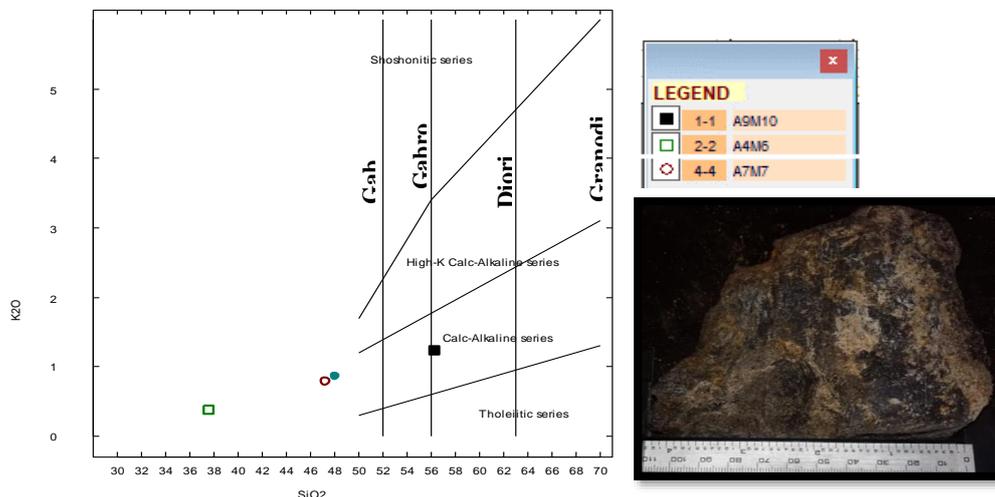


Figura 57. Zona de estudio P9.2 – fluorescencia de rayos x

Relación Estratigráfica: Se observó que el dique diorítico encontrado intruye a los esquistos de la Unidad Cera y a niveles de conglomerados grano decrecientes, por lo que son más jóvenes que estos. La edad del dique no está determinada, sin embargo, se puede inferir que es más

joven que los volcánicos equivalentes laterales de la formación Loma Blanca, posiblemente resultante del volcanismo miocénica del arco Sacapalca.



Figura 58. Zona de estudio P9.2

6.3.7. Depósitos Cuaternarios

6.3.7.1. Depósitos Coluviales

Depósitos UTM: 0690659 / 9569688., que presentan una predominancia de bloques angulosos de rocas volcánicas de composición andesítica altamente meteorizados, de coloración amarillenta anaranjada, mismos que tienen un tamaño mayor a 5 cm. También se encontraron depósitos al N del area de estudio UTM: 0690966 / 9569762 que se caracterizan por la presencia de clastos angulares con mal sorteo de composición andesítica con pátina blanca en una matriz café amarillenta. Adicionalmente presentan señales evidentes de alteración y descomposición química, lo cual indica que han sido sometidos a un proceso de meteorización prolongado.



Figura 59. Zona de estudio P8

6.3.7.2. Depósitos Aluviales

Se localizan a lo largo de los márgenes de la Quebrada Chanipamba y del Río Taquilñ pues si se empieza el recorrido a partir de la cota 2240 aguas abajo, nos encontramos con material poco consolidado compuesto en gran parte por, bloques, cantos y guijarros de rocas volcánicas y metamórficas.



Figura 60. Aluviales de la Zona de Estudio



Figura 61. Aluviales de la Zona de Estudio

Posteriormente, se trazaron 2 perfiles geológicos estratégicamente ubicados, de manera tal que abarcaran la totalidad de las formaciones geológicas presentes en el área. Estos perfiles se trazaron en las direcciones SW-NE y W-E

Perfil geológico A – A”. En la figura 62 se representa el perfil geológico correspondiente a esta sección, con una dirección SW – NE, con una longitud de 1400 m, con una altitud mayor de 2300 m.

El perfil geológico A-A’’ atraviesa 7 diferentes tipos de rocas que se han depositado en el pasado geológico de la región. Pues, como se puede observar, el basamento del área de

estudio esta constituido por rocas metamórficas de grado medio “esquistos (CE)” de edad paleozoica, derivados de una fuente continental, probablemente depositados en una cuenca intercratónica o de margen pasivo, que habría funcionado del Devónico al Pérmico. Posteriormente, la intensa actividad volcánica y magmática que se dio, con el inicio de la actividad volcánica del arco Sacapalca en el Paleoceno, generó “lavas basálticas y flujos piroclásticos (GZ)” que se depositaron sobre el basamento. Tras esto y luego del cese de la actividad volcánica hasta el Eoceno Inferior; inicio un nuevo evento volcánico en el Oligoceno que dio paso a la “intrusión de gabro (GB)”, esto si se lo correlaciona con el intrusivo Palo Blanco. La edad del “dique diorítico (DD)” no está determinada, sin embargo, es mas joven que los volcánicos equivalentes laterales de la Formación Loma Blanca. Las “Riolitas (R)” que se encuentran al tope de la secuencia son el resultado de uno los últimos remanentes de la actividad volcánica del arco Sacapalca en el Mioceno, esto si se las correlaciona con la Unidad Sayo Cruz.

Finalmente, la ocurrencia de los depósitos cuaternarios “depósitos aluviales (Qa)” y “depósitos coluviales (Qa)”

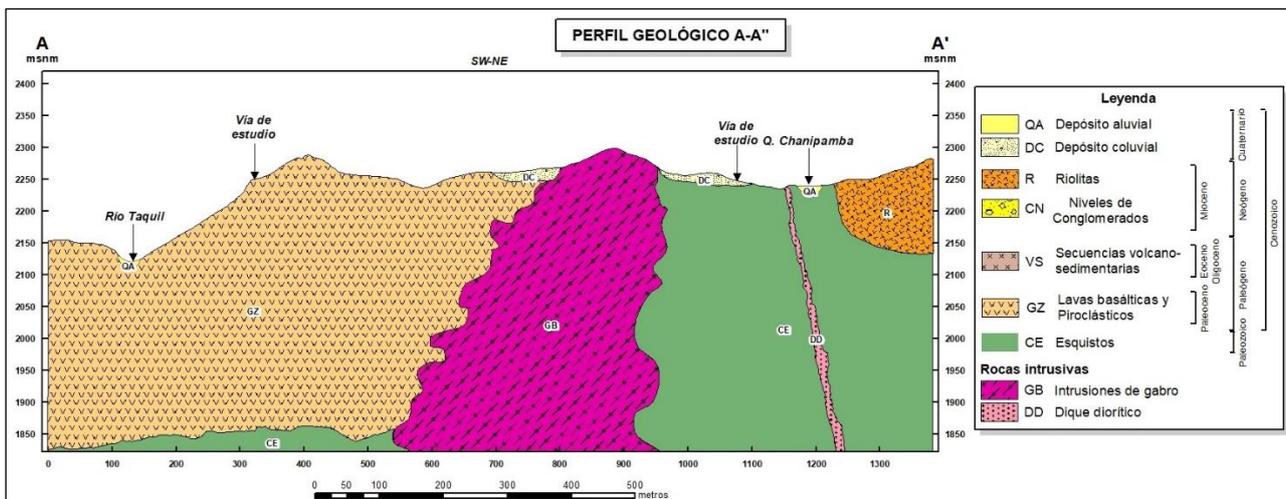


Figura 62. Perfil geológico A – A’

Perfil geológico B – B’. En la figura 63 se representa el perfil geológico correspondiente a esta sección, con una dirección SW –NE, con una longitud de 2330 m, con una altitud mayor de 2340 m.

El perfil geológico B-B’” atraviesa 5 diferentes tipos de rocas que se han depositado en el pasado geológico de la región. Pues, el basamento del area de estudio está constituido por rocas metamórficas de grado medio “esquistos (CE)” de edad paleozoica. Sobre, estos se depositaron “lavas basálticas y flujos piroclásticos (GZ)”, los cuales son el resultado de la actividad volcánica del arco Sacapalca en el Paleoceno.

Luego de un periodo de inactividad volcánica y erosión de los miembros anteriormente depositados; en el Eoceno superior y Oligoceno inferior, se infiere un nuevo evento volcánico que dio lugar a la creación de los volcánicos equivalentes laterales de Loma Blanca. En este tiempo, se formaron los “depósitos volcano-sedimentarios (VS)”, depositados en la parte suroriental según el perfil. Adicionalmente, se puede apreciar que este evento volcánico dio paso a una “intrusión de gabro (GB)”, esto si se lo correlaciona con el intrusivo Palo Blanco. Finalmente, la ocurrencia de los depósitos cuaternarios “depósitos aluviales (Qa)” y “depósitos coluviales (Qa)”

Este perfil geológico también atraviesa una falla inferida regional de dirección NE – SW, probablemente inversa.

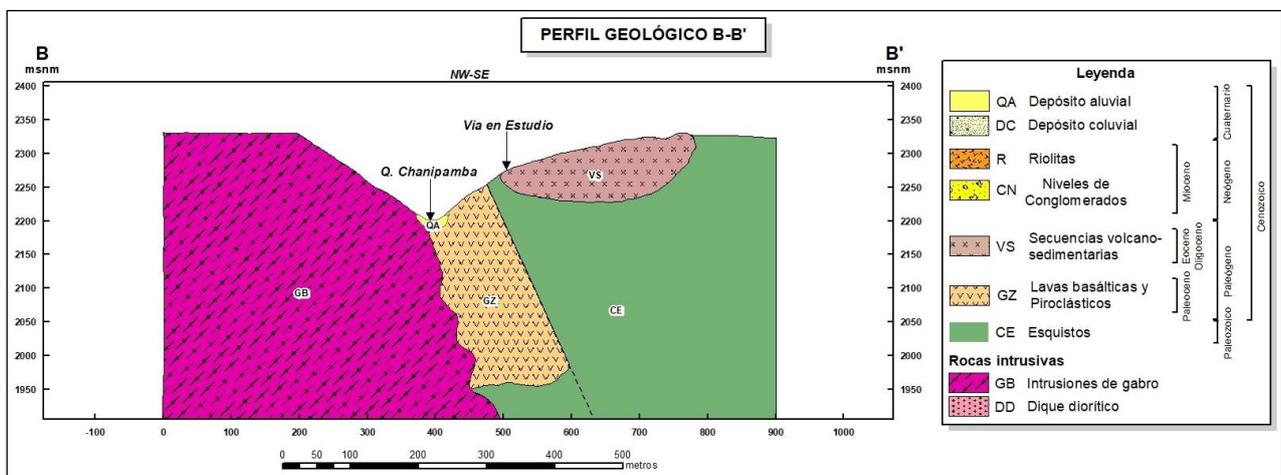


Figura 63. Perfil geológico B – B’

6.4. Geología Estructural

Durante el levantamiento de campo se identificó algunas zonas de contacto entre las distintas unidades de la zona de estudio. La primera de estas zonas de contacto se identificó en el “afloramiento 01”. Zona de contacto que muestra una interacción entre brechas piroclásticas con clastos de composición variable, con una capa de lavas basálticas cuyos datos estructurales son $173^{\circ}/23^{\circ}$.



Figura 64. Contacto 1

El segundo contacto fue identificado en el afloramiento 4, en donde brechas de composición andesítica con clastos de un tamaño aproximado de 64mm e inferior, están en contacto con un dique de gabro de 72cm de potencia. La dirección de buzamiento del dique es de 98° y el buzamiento es de 66°.



Figura 65. Contacto 2 y Contacto 3

En esta zona también se encuentra otra zona de contacto. Contacto 3 en el que las brechas andesíticas con clastos de un tamaño aproximado de 64mm e inferior, están en contacto con brechas de composición variable entre andesítica y tobacea, cuyos datos estructurales son 267°/ 39°.

El cuarto contacto identificado está localizado en el afloramiento 9, entre esquistos de la Unidad Cera, y conglomerados que contienen clastos metamórficos de cuarcita, que, a su vez, se encuentran en contacto con un dique diorítico. Cuyos elementos estructurales son 260°/ 53°.



Figura 66. Contacto 4 y Contacto 5 p1

La sexta zona de contacto fue identificada en el afloramiento 12, entre riolitas altamente meteorizadas, con esquistos de la Unidad Cera.



Figura 67. *Contacto 6*

Por otro lado, también se identificaron varias familias de discontinuidades que afectan a los macizos rocosos de la zona de estudio.

Dentro del macizo rocoso 1 se identificaron superficies de contactos litológicos, planos de esquistosidad de origen tectónico, disyunciones columnares, varias familias de juntas formadas por contracción durante o después del emplazamiento del cuerpo ígneo., Los datos estructurales de la familia 1 son $148^{\circ}/66^{\circ}$, de la familia 2 son $274^{\circ}/57^{\circ}$, de la esquistosidad 1 $220^{\circ}/5^{\circ}$ y de la esquistosidad 2 $209^{\circ}/36^{\circ}$, siendo estas las discontinuidades más representativas.

En el macizo rocoso 2 y 3 que tienen una génesis muy similar, se pudieron identificar varias familias de discontinuidades como vetillas tipo stockwork y juntas formadas por contracción. Los datos estructurales más representativos de estas familias son los siguientes: familia 1: 320° de dirección de buzamiento y 43° de buzamiento, familia 2: 111° de dirección y 32° de buzamiento, familia 3: 79° de dirección y 71° de buzamiento, familia 4: 65° de dirección y 35° de buzamiento.



Figura 68. *Macizos Rocosos*

6.5. Zonificación Geológica – Geotécnica

Sobre la base topográfica y tomando en cuenta la información geológica de toda el área de estudio, la hidrología, la geometría de la vía y los perfiles de meteorización basados en las estaciones de campo, se definieron ocho zonas distintas; zonas que se describen en la (tabla 29). Esta delimitación del area de estudio o sectorización fueron la base de la campaña geotécnica que a continuación se describe y cuyo objetivo es el de definir las propiedades físico-mecánicas de los geomateriales.

En la figura 69 se muestra la zonificación sobrepuesta sobre la base topográfica, en la que sobresale la “Zona 8”, por ser la de mayor extensión.

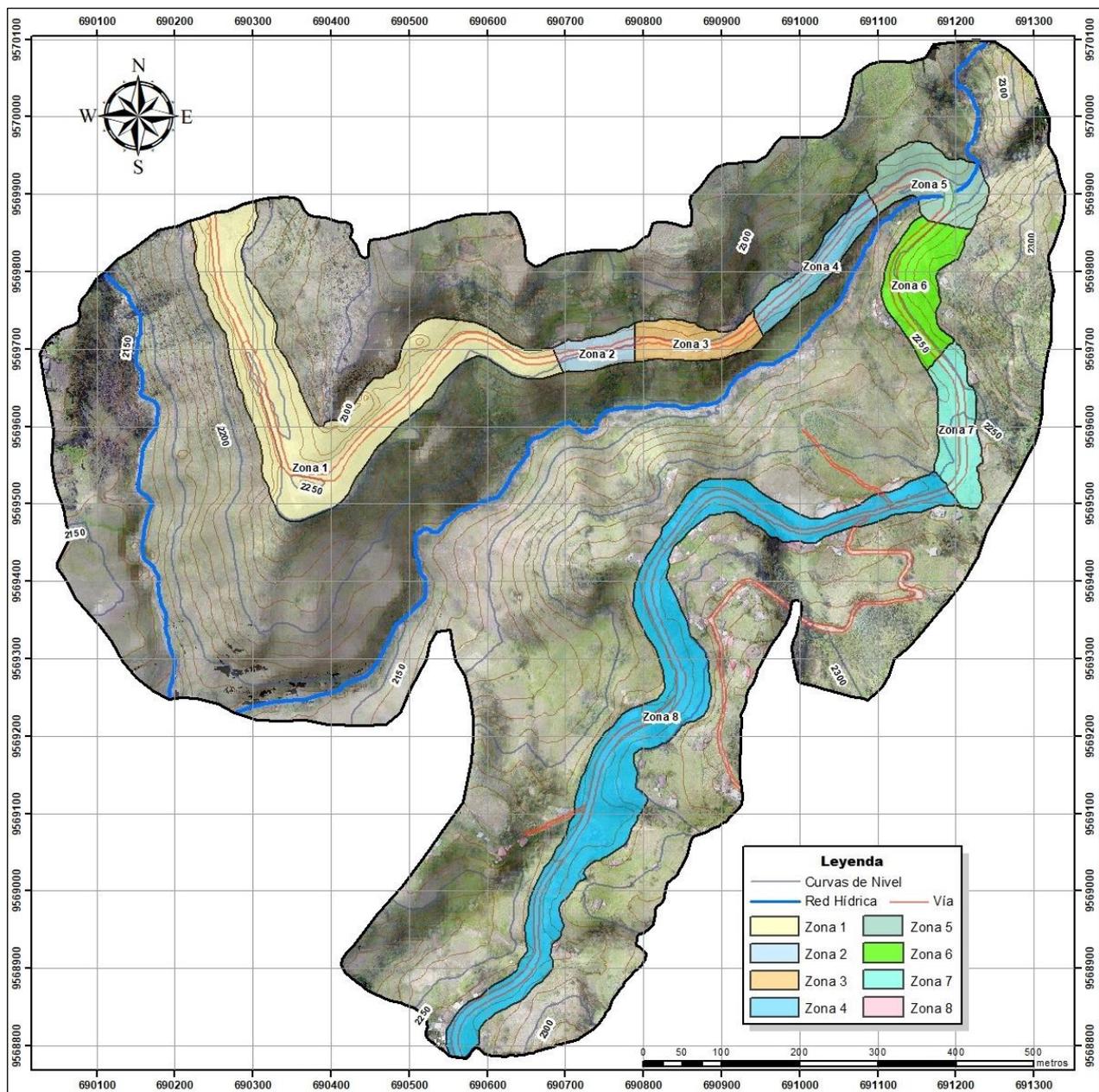


Figura 69. Zonificación Litoestructural 01

Tabla 29. Descripción de las zonas litoestructurales

Zona Nro.	Descripción
Zona 1	La vía de estudio correspondiente a esta zona tiene una longitud total de 799,50 metros y una geometría caracterizada por curvas de bajo radio (> 150 m) y intercalación de tramos rectos y largos de hasta 400 metros. Hay facilidad relativa de ampliación. Topográficamente se presentan pendientes muy inclinadas a empinadas e incluso verticales en ciertas zonas. Litológicamente se reconocen capas de lavas basálticas en contacto con secuencias de brechas y flujos piroclásticos como tobas de lapilli. Presencia de vetilleo tipo stockwork. Estructuralmente la dirección preferente de los planos de debilidad de los taludes es de 69°/115° SE. Además, se observa una meteorización moderada en la mayoría de los taludes; sin nivel freático observable.
Zona 2	Esta zona tiene una longitud total de 105,05 metros y una geometría muy modesta caracterizada por una recta con curvas muy suaves. Hay posibilidad reducida de ampliación hacia el flanco izquierdo “zona semi-poblada”; debido a que, hacia el flanco derecho dirección noroccidental, se ha construido un muro de contención como medida de estabilidad. Topográficamente se presentan pendientes que varían entre fuertemente inclinadas y muy inclinadas. Litológicamente esta zona se caracteriza por la presencia de depósitos coluviales con predominancia de bloques angulosos de rocas volcánicas. Además, se observa señales de meteorización prolongada, sin nivel freático observable.
Zona 3	Esta zona tiene una longitud de 170 metros y se caracteriza por una geometría con un par de curvas de amplio radio (50 – 75 m) y tramos rectos muy cortos de aproximadamente (15 – 30 m). Hay posibilidad reducida de ampliación por ser una zona semi-poblada. Topográficamente se presentan pendientes desde muy inclinadas a empinadas. Litológicamente esta zona se caracteriza porque se encuentra en superficie un intrusivo de gabro con un grado de meteorización moderado y un leve flujo de agua hacia parte central del macizo. Un dato, importante a destacar es que en esta zona ya se han ejecutado medidas de estabilidad sobre el macizo rocoso.
Zona 4	Esta zona tiene una longitud de 218 metros y se caracteriza por presentar una geometría caracterizada por recta larga con curvas muy leves. Hay facilidad relativa de ampliación. Topográficamente la zona se caracteriza por pendientes que van desde ligeramente inclinadas a muy inclinadas. La litología en esta zona se caracteriza por presentar en su mayoría depósitos coluviales con clastos angulares con señales evidentes de alteración y descomposición acompañados de un pequeño afloramiento de secuencias de esquistos que evidencia una meteorización moderada.
Zona 5	La vía de estudio correspondiente a esta zona tiene una longitud total de 157 metros con una geometría caracterizada por curvas de bajo radio (120 – 140 m). Hay posibilidad relativa de ampliación hacia el flanco derecho. Cabe destacar que en esta sección de la vía se encuentra ubicado un puente. Topográficamente esta zona se caracteriza por pendientes que van desde fuertemente inclinadas a pendientes inclinadas (35° – 55°), en un mayor porcentaje. En términos litológicos, se identificaron secuencias de esquistos de grado medio en contacto con niveles de conglomerados matriz-soportados, además de riolitas que se destacan morfológicamente. Estructuralmente la dirección preferente de las familias de diaclasas del macizo rocoso mas representativo de esta zona es de 57°/220° SW. Por otro lado, los materiales exhiben una meteorización de moderada a muy alterada en ciertos puntos. Otro dato importante a destacar es que esta zona presenta una densidad de drenajes moderada, siendo el principal la Quebrada Chanipamba que atraviesa la zona con dirección NE-SW.

Zona 6	<p>La vía de estudio correspondiente a esta zona tiene una longitud total de 215 metros con una geometría caracterizada por rectas cortas cuyas longitudes no superan los 60 metros, y por curvas de amplio radio ($\leq 100 m$). Hay posibilidad reducida de ampliación por ser una zona semi-poblada. Topográficamente esta zona se caracteriza por presentar pendientes fuertemente inclinadas a pendientes muy inclinadas y empinadas. En términos litológicos esta zona esta compuesta por niveles de conglomerados de clastos subangulares, rocas riolitas y secuencias de esquistos, además de taludes inestables conformados a la base de roca fracturada sobre la que se han deslizado, depositado y litificado sedimentos y coluviales. Cade destacar que en esta zona se evidencia una meteorización que varía de moderada a muy alterada. Aunque, no se observa un nivel freático, se identifican zonas con cierto grado de humedad. Hidrográficamente en esta zona, se presentan ciertos puntos con pequeños drenajes latentes “lentes de agua” que se extienden hacia el flanco izquierdo de la vía “dirección S”.</p>
Zona 7	<p>Esta zona tiene una longitud total de 177 metros con una geometría caracterizada por un par de curvas de amplio radio ($> 30 m$) y por una recta larga. Hay facilidad relativa de ampliación. Topográficamente esta zona se caracteriza por pendientes de ligeramente inclinadas en un bajo porcentaje y por pendientes fuertemente inclinadas a muy inclinadas. Litológicamente esta zona esta compuesta por secuencias de esquistos de bajo grado cubiertas en gran parte por niveles de conglomerados granodecrecientes matriz-soportados. La meteorización en esta zona es moderada. Hidrográficamente en esta zona, se presentan ciertos puntos con pequeños drenajes latentes “lentes de agua” que se extienden hacia el flanco izquierdo de la vía “dirección S”.</p>
Zona 8	<p>Esta zona tiene una longitud total de 1226 metros y una geometría caracterizada en gran parte por una intercalación de curvas de amplio y bajo radio y por unas cuantas rectas ($>150n$). Hay facilidad relativa de ampliación debido a la topografía, aunque, es una zona semi-poblada. Topográficamente esta zona se caracteriza por pendientes de ligeramente inclinadas a empinadas. En términos litológicos esta zona esta compuestos secuencias de esquistos sobre las que se han depositado secuencias volcano-sedimentarias. La meteorización en esta zona es moderada; sin nivel freático observable.</p>

6.6. Inventario de Deslizamientos

En el área de estudio se identificaron dos deslizamientos de especial interés debido a sus características morfométricas y a las afectaciones que estos causan a la vía Villonaco – Taquil, constantemente. A continuación, se presentan la ubicación específica de cada uno de los deslizamientos y sus principales características.

Tabla 30. *Coordenadas de los deslizamientos de interés geotécnico del área de estudio*

	Coordenadas UTM		
	X	Y	Z
Deslizamiento 01	691152,00	9569731,00	2302
Deslizamiento 02	691132,00	9569820,00	2299

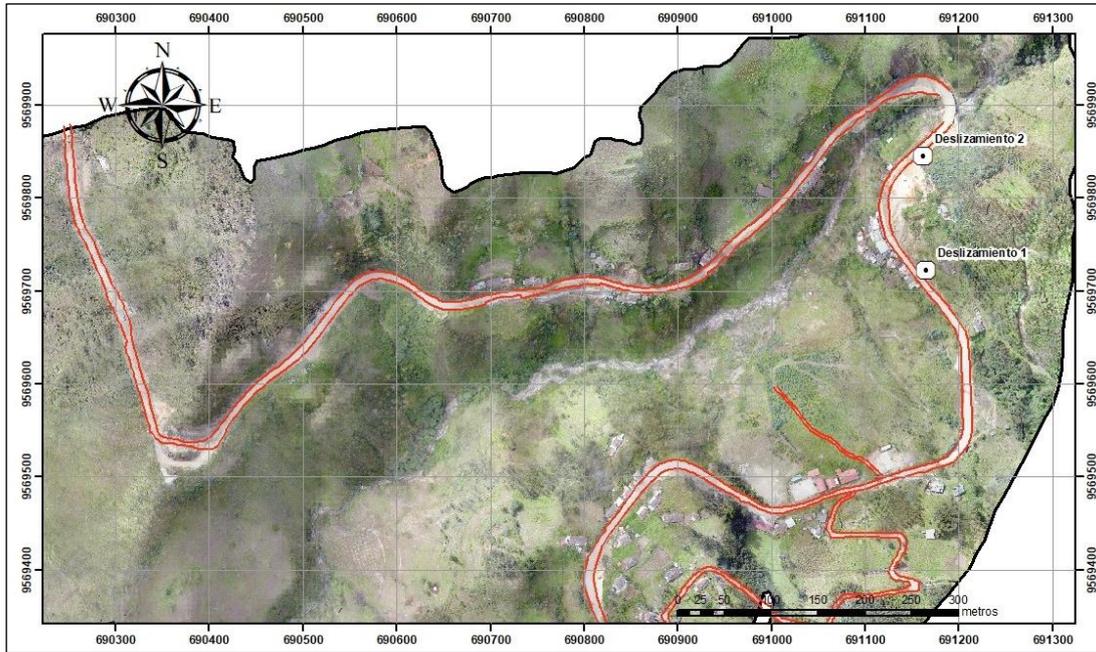


Figura 70. Ubicación geográfica de los deslizamientos

6.6.1. Deslizamiento 01

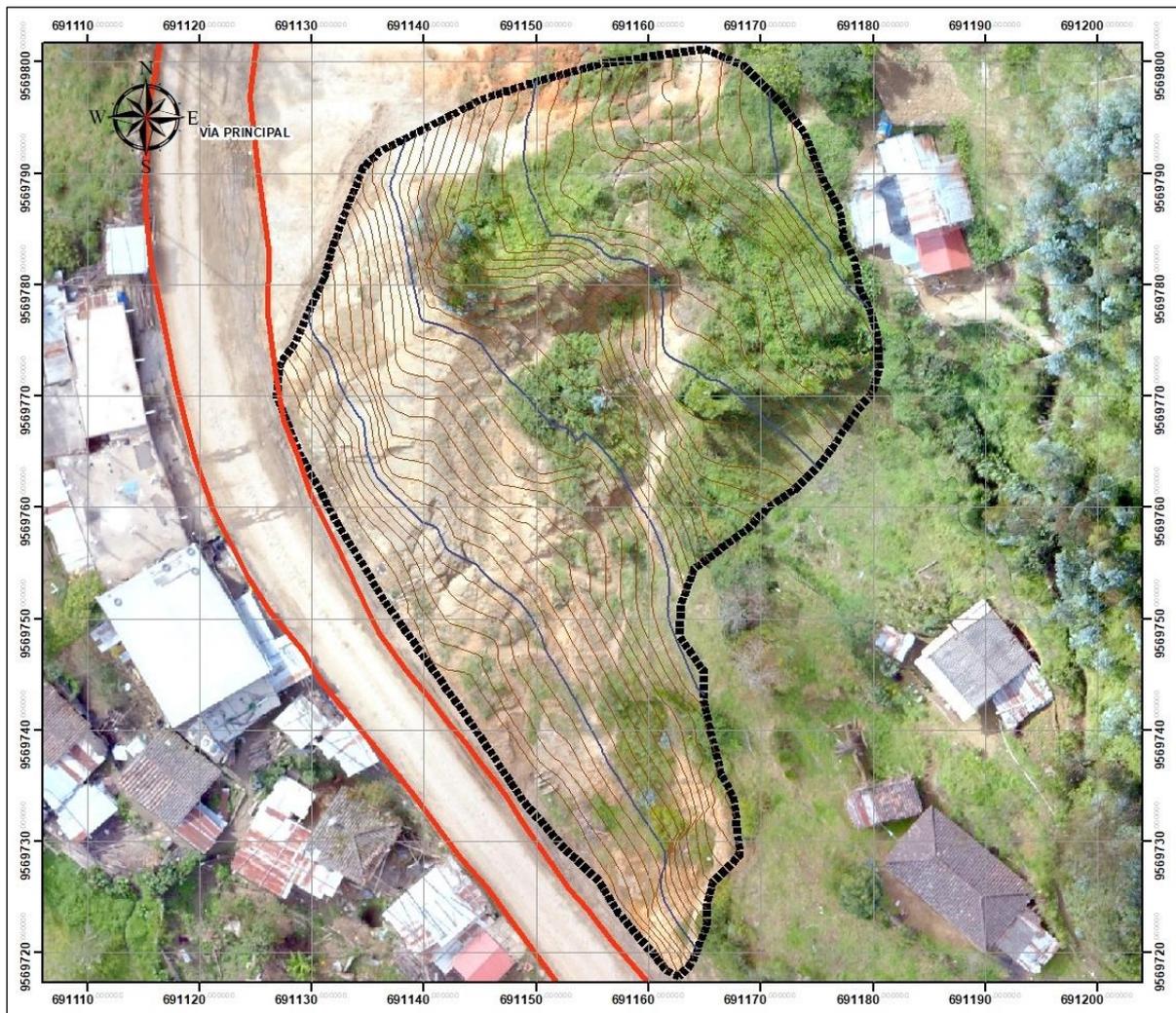


Figura 71. Deslizamiento 01

El deslizamiento 01 es un deslizamiento de tipo rotacional actualmente en estado latente, que abarca un área aproximada de 2567,43 m². En términos litológicos este deslizamiento está conformado por esquistos muy meteorizados, arcilla de mediana y baja plasticidad y arenas limosas con gravas.

Este deslizamiento se caracteriza por presentar una dirección S39°W, de forma irregular, con una superficie de falla cóncava medianamente evidente. A su vez se evidencia un escarpe principal, con marcada claridad, acompañado de escarpes secundarios parcialmente evidentes. La característica principal de este deslizamiento es que el material se está deslizando sobre la cuña de un macizo rocoso, lo que deja en evidencia un primer episodio, en el que se depositó dicho material coluvial sobre una zona de rotura en cuña.

La definición de sus flancos es bastante evidente. Hacia el pie del deslizamiento el material se dispone de manera muy irregular hacia los costados debido a la presencia de un estrato de roca medianamente competente que no se ha visto afectado. Además, también presenta grietas transversales en la parte media.

Tabla 31. *Parámetros morfométricos de campo*

Deslizamiento 01		
Variables	Unidades	Resultado
Tipo de deslizamiento	---	Rotacional
Estado del deslizamiento	---	Latente
Diferencia de altura corona - punta	m	28
Pendiente del talud post – falla	grados	39 °
Longitud del recorrido de la masa	m	45.87
Ancho total del deslizamiento	m	61,09
Ancho de la superficie de falla	m	28,64

Nota. En esta tabla se presentan los valores de los parámetros morfométricos medidos en campo del deslizamiento 01

6.6.2. Deslizamiento 02

El deslizamiento 02 es un deslizamiento de tipo rotacional actualmente en estado activo, que abarca un área aproximada de 844,24 m². En términos litológicos este deslizamiento está conformado por esquistos muy meteorizados, arcilla de mediana y baja plasticidad y arenas limosas con gravas.

La configuración morfológica de este deslizamiento se caracteriza por su naturaleza irregular, destacando que la superficie de falla es casi indistinta debido a que el material deslizado está dispuesto como flujo en una dirección N57°W. Aunque el escarpe principal que lo define posee una presencia poco marcada, se observa una relativa evidencia de escarpes secundarios. La definición de sus flancos es medianamente evidente. Hacia el pie del deslizamiento el material se dispone multi-amontonado. La cabeza del movimiento bascula hacia atrás y los árboles de la parte superior están inclinados hacia atrás, mientras que a medida que se avanza hacia el pie se inclinan hacia adelante. Las dimensiones del deslizamiento son de 22,89 m de alto por 40,10 m de ancho.

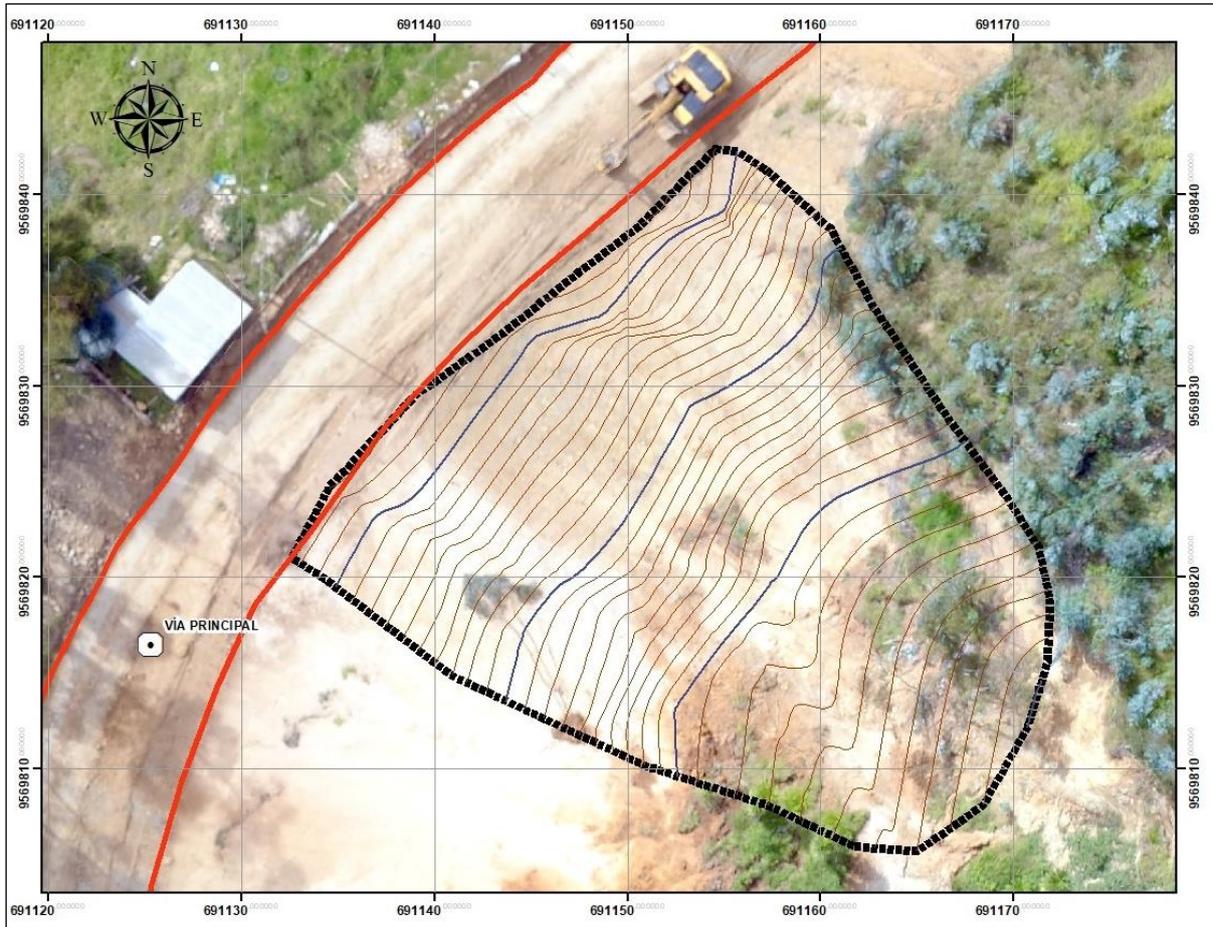


Figura 72. Deslizamiento 02

Tabla 32. Parámetros morfométricos de campo

Deslizamiento 02		
Variables	Unidades	Resultado
Tipo de deslizamiento	---	Rotacional
Estado del deslizamiento	---	Activo
Diferencia de altura corona - punta	m	30
Pendiente del talud post – falla	grados	53 °
Longitud del recorrido de la masa	m	36,77
Ancho total del deslizamiento	m	35,46
Ancho de la superficie de falla	m	22,89

Nota. En esta tabla se presentan los valores de los parámetros morfométricos medidos en campo del deslizamiento 02

6.7. Prospección Geofísica

6.7.1. Sísmica de Refracción

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de los sismogramas y perfiles sísmicos (ver, Anexo 6).

6.7.1.1. Línea de Refracción Sísmica 1

A partir del modelo geosísmico para esta línea sísmica (ver, Anexo 6)., se determinó la presencia de 3 estratos, de diferentes características litológicas y propiedades físico-mecánicas.

Tabla 33. Complejos sísmicos, velocidades de ondas y correspondencia geológica. LS-01

Línea Sísmica 1			
Capa	Velocidad Sísmica - Ondas P	Espesores (m)	Tipo de material
1	350 m/s	0 – 3,50	Arcilla arenosa de media plasticidad
2	400 m/s	3,50 – 6,80	Arcilla arenosa de baja plasticidad
3	800 m/s	> 6,80	Arenas con gravas

De acuerdo a las velocidades sísmicas de las ondas y a las propiedades físico-mecánicas de cada uno. El primer estrato con espesor aproximado de 3,50 m y de velocidad de las ondas sísmicas $V_p = 350 \text{ m/s}$, corresponde a una arcilla arenosa de media plasticidad. El segundo estrato de velocidad de ondas sísmicas $V_p = 400 \text{ m/s}$, y de espesor aproximado de 3,30 m, corresponde a una arcilla arenosa de baja plasticidad. El tercer estrato con ondas de velocidad $V_p = 800 \text{ m/s}$, corresponde a arenas con intercalaciones de gravas, con un espesor indefinido debido al alcance del estudio

6.7.1.2. Línea de Refracción Sísmica 2

A partir del modelo geosísmico para esta línea sísmica (ver, Anexo 6)., se determinó la presencia de 3 estratos, de diferentes características litológicas y propiedades físico-mecánicas.

Tabla 34. Complejos sísmicos, velocidades de ondas y correspondencia geológica. LS-02

Línea Sísmica 2			
Capa	Velocidad Sísmica - Ondas P	Espesores (m)	Tipo de material
1	390 m/s	0 – 3,50	Arcilla arenosa de media plasticidad
2	420 m/s	3,50 – 7,00	Arcilla arenosa de baja plasticidad
3	770 m/s	> 7,00	Arenas con gravas

De acuerdo a las velocidades sísmicas de las ondas y a las propiedades físico-mecánicas de cada perfil sísmico. El primer estrato con un espesor variable entre 1, 00m - 3,50 m y de velocidad de las ondas sísmicas $V_p = 390 \text{ m/s}$, corresponde a una arcilla arenosa de media plasticidad. El segundo estrato de velocidad de ondas sísmicas $V_p = 420 \text{ m/s}$, y de espesor aproximado de 3,50 m, corresponde a una arcilla de baja plasticidad. El tercer estrato con ondas de velocidad $V_p = 770 \text{ m/s}$, corresponde a arenas con intercalaciones de gravas.

6.7.1.3. Línea de Refracción Sísmica 3

A partir del modelo geosísmico para esta línea sísmica (ver, Anexo 6)., se determinó la presencia de 3 estratos, de diferentes características litológicas y propiedades físico-mecánicas.

Tabla 35. Complejos sísmicos, velocidades de ondas y correspondencia geológica. LS-03

Línea Sísmica 3			
Capa	Velocidad Sísmica - Ondas P	Espesores (m)	Tipo de material
1	380 m/s	0 – 3,50	Arcilla arenosa de media plasticidad
2	520 m/s	3,50 – 6,80	Arcilla arenosa de baja plasticidad
3	740 m/s	> 6,80	Arenas con gravas

De esta zona, de acuerdo a las velocidades sísmicas de las ondas y a las propiedades físico-mecánicas de cada uno de los perfiles sísmicos. El primer estrato con un espesor aproximado de 3,50 m y de velocidad de las ondas sísmicas $V_p = 380 \text{ m/s}$, corresponde a una arcilla arenosa de media plasticidad. El segundo estrato de velocidad de ondas sísmicas $V_p = 520 \text{ m/s}$, y de espesor aproximado de 3,30 m, corresponde a una arcilla de baja plasticidad. El tercer estrato con ondas de velocidad $V_p = 740 \text{ m/s}$, corresponde a arenas con intercalaciones de gravas.

6.7.1.4. Línea de Refracción Sísmica 4

A partir del modelo geosísmico para esta línea sísmica (ver, Anexo 6)., se determinó la presencia de 3 estratos, de diferentes características litológicas y propiedades físico-mecánicas.

Tabla 36. Complejos sísmicos, velocidades de ondas y correspondencia geológica. LS-04

Línea Sísmica 4			
Capa	Velocidad Sísmica - Ondas P	Espesores (m)	Tipo de material
1	340 m/s	0 – 3,50	Arcilla arenosa de media plasticidad
2	480 m/s	3,50 – 6,80	Arcilla arenosa de baja plasticidad
3	770 m/s	> 6,80	Arenas con gravas

De acuerdo a las velocidades sísmicas de las ondas y a las propiedades físico-mecánicas de cada uno. El primer estrato con un espesor aproximado de 3,50 m y de velocidad de las ondas sísmicas $V_p = 340 \text{ m/s}$, corresponde a una arcilla arenosa de media plasticidad. El segundo estrato de velocidad de ondas sísmicas $V_p = 480 \text{ m/s}$, y de espesor aproximado de 3,30 m, corresponde a una arcilla de baja plasticidad. El tercer estrato con ondas de velocidad $V_p = 770 \text{ m/s}$, corresponde a arenas con intercalaciones de gravas, con un espesor indefinido.

Una vez definidas las características geológicas y velocidades de propagación de las ondas longitudinales (ondas P) y las transversales (ondas S) de cada uno de los estratos; se

procedió a la interpolación de todas las líneas sísmica con la finalidad de definir de manera precisa la continuidad de cada uno de los estratos, así como los parámetros dinámicos y elásticos para cada uno de los horizontes geosísmicos.

Tabla 37. Resultados de los parámetros dinámicos del primer estrato

Estrato 1 – Líneas Sísmicas Interpoladas	
Espesor de	0.0 – 3.50
Vp	365 m/s
Vs	205.4 m/s
Vp/Vs	1.77 m/s
Cuando, Vp = 300 m/s – 400 m/s	Arcilla arenosa de media plasticidad
Coefficiente de Poisson μ	0.25
Densidad δ	12.48 KN/m ³
Angulo de Fricción ϕ	21.05 grados
Factor Reducción Sv	1.00
Módulo Elástico (E)	138.02 Mpa
Módulo Rígido (G)	54.13 Mpa
Módulo de Bulk (B)	91.58 Mpa
N-30	7
Q. Admisible	0.68 Kg/cm ²

En la Tabla 37, se presentan los resultados de los parámetros dinámicos del primer estrato según la interpolación de las líneas sísmicas, en donde se determina que, el estrato 1 con un espesor no superior a los 3.50 m y velocidades de ondas sísmicas $Vp = 365 \text{ m/s}$ - $Vs = 205,4 \text{ m/s}$, y cuya relación sísmica es de $Vs/Vp = 1,77 \text{ m/s}$, corresponde a una arcilla arenosa de media plasticidad con un coeficiente de Poisson $\mu = 0,25$, con unas densidad de 12.48 KN/m^3 , un ángulo de fricción $\phi = 21.05$ grados y una capacidad admisible de 0.68 Kg/cm^2 .

Tabla 38. Resultados de los parámetros dinámicos del segundo estrato

Estrato 2 – Líneas Sísmicas Interpoladas	
Espesor de	3.50 – 7.20
Vp	455 m/s
Vs	261.7 m/s
Vp/Vs	1.73 m/s
Cuando, Vp = 400 m/s – 500 m/s	Arcilla arenosa de baja plasticidad
Coefficiente de Poisson μ	0.25

Densidad δ	12.98 KN/m^3
Angulo de Fricción ϕ	22 grados
Factor Reducción Sv	1.00
Módulo Elástico (E)	224.60 Mpa
Módulo Rígido (G)	88.13 Mpa
Módulo de Bulk (B)	149.73 Mpa
N-30	9
Q. Admisible	0.85 Kg/cm^2

En la Tabla 38, se presentan los resultados de los parámetros dinámicos del segundo estrato según la interpolación de las líneas sísmicas, en donde se determina que, el estrato 2 con un espesor no superior a los 7,20 m y velocidades de ondas sísmicas $V_p = 455 \text{ m/s}$ - $V_s = 261,7 \text{ m/s}$, y cuya relación sísmica es de $V_s/V_p = 1,73 \text{ m/s}$, corresponde a una arcilla arenosa de baja plasticidad con un coeficiente de Poisson $\mu = 0,25$, con unas densidad de 12.98 KN/m^3 , un ángulo de fricción $\phi = 22.00$ grados y una capacidad admisible de 0.85 Kg/cm^2 .

Tabla 39. Resultados de los parámetros dinámicos del tercer estrato

Estrato 3 – Líneas Sísmicas Interpoladas	
Espesor de	7.20 – 12.40
V_p	800 m/s
V_s	402.0 m/s
V_p/V_s	1.99 m/s
Cuando, $V_p = 600 \text{ m/s} - 800 \text{ m/s}$	Arenas con gravas
Coefficiente de Poisson μ	0.33
Densidad δ	14.41 KN/m^3
Angulo de Fricción ϕ	32 grados
Factor Reducción Sv	1.00
Módulo Elástico (E)	631.47 Mpa
Módulo Rígido (G)	232.89 Mpa
Módulo de Bulk (B)	619.09 Mpa
N-30	14
Q. Admisible	1.44 Kg/cm^2

En la Tabla 39, se presentan los resultados de los parámetros dinámicos del tercer estrato según la interpolación de las líneas sísmicas, en donde se determina que, el estrato 3 con un espesor indefinido por el alcance del estudio realizado; y velocidades de ondas sísmicas $V_p = 800 \text{ m/s}$ - $V_s = 402,9 \text{ m/s}$, y cuya relación sísmica es de $V_s/V_p = 1,99 \text{ m/s}$, corresponde a

arenas intercaladas con gravas con un coeficiente de Poisson $\mu = 0,33$, con una densidad de 14.41 KN/m^3 , un ángulo de fricción $\phi = 32.00$ grados y una capacidad admisible de 1.44 Kg/cm^2 .

6.7. Propiedades Físico – Mecánicas de los Suelos

6.7.1. Ensayo de Corte Directo

Tabla 40. Resultados de las muestras de suelo recolectadas en taludes del área de estudio

Nro.	Límites de Atterberg			Granulometría					Clasificación		CH (%)	Descripción de suelo SUCS
	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Pasa N° 200	Pasa N° 4	Grava	Arena	Finos	SUCS	AASHTO		
Talud 1 (Corte directo 1)	46	27	19	34	100	0	66	34	SM	A – 2 – 7	14,63	Arena Limosa
Talud 2 (Corte directo 2)	40	30	10	17	96	4	79	17	SM	A – 2 – 4	17,95	Arena Limosa

A partir de la recolección de muestras de suelo en campo y su posterior transporte al laboratorio, se pudo determinar que, el suelo presente en el “Talud 1” es del tipo SM y A – 2 – 7, según las normativas SUCS y ASSTHO, con ausencia de material retenido en la malla Nro. 4, es decir corresponde a arenas limosas de baja plasticidad.

Por otro lado, el material presente en el “Talud 2”, es del mismo tipo del anterior SM y A – 2 – 4, pero con cierto contenido de gravas.

A continuación, se exponen los resultados de los parámetros de cohesión y ángulo de fricción obtenidos mediante el ensayo de corte directo realizado en los dos puntos.

Tabla 41. Resultados del ensayo de corte directo de las muestras de suelo

Muestra	Nro. Ensayo	Profund. (m)	Densidad ($\frac{gr}{cm^3}$)	Esfuerzos (Kg/cm^2)			Ángulo de fricción	Cohesión ($\frac{Kg}{cm^2}$)
				X	Y	Y (calculado)		
				Normal	Cortante	Tangencial		
Corte Directo 1 (muestra cúbica)	1	1,00 m	1,76	0,51	0,544	0,6364	45	0,23
	2	1,00 m	1,93	1,02	1,174	1,0355		
	3	1,00 m	1,77	2,04	1,784	1,8336		
Corte Directo 2 (muestra cúbica)	1	1,00 m	1,88	0,51	0,321	0,4349	49	0,00
	2	1,00 m	1,93	1,02	1,035	0,8699		
	3	1,00 m	1,92	2,04	1,686	1,7397		

En la Tabla 41 se presentan los resultados de los ensayos de corte directo aplicado a las muestras de suelo extraídas de los “Talud 1” – “Talud 2” considerados durante la etapa de campo, como propensos a presentar inestabilidades a futuro: “grietas en la corona, pendiente pronunciada y humedad en la base de los taludes”.

Las arenas limosas del tipo SM y A – 2 – 7, según las normativas SUCS y ASSTHO, que conforman el “Talud 1”, presentan un ángulo de fricción = 45 ° y una *cohesión* = 0,23 Kg/cm², lo que se traduce en un suelo con buena capacidad de resistencia a las fuerzas cortantes, a pesar de presentar una cohesión baja.

Por otro lado, las arenas limosas del tipo SM y A – 2 – 4, según las normativas SUCS y ASSTHO, que conforman el “Talud 2”, presentan un ángulo de fricción = 49 ° y una *cohesión* = 0,00 Kg/cm², lo que se traduce en un suelo con buena capacidad de resistencia a las fuerzas cortantes, a pesar de presentar una cohesión nula.

6.7.2. Ensayo de Compresión Triaxial

Este ensayo permitió determinar cuantitativamente la resistencia del suelo a las fuerzas de corte bajo condiciones no drenadas “Ángulo de fricción y Cohesión”, lo cual es esencial para evaluar la estabilidad del suelo y su capacidad para soportar cargas en el contexto de los deslizamientos que se está evaluando.

6.7.2.1. Calicata 1

Tabla 42. Resultados del ensayo de compresión triaxial “Calicata 1”

Muestra	Nro.	Profund. (m)	Contenido de Humedad	Densidad natural ($\frac{gr}{cm^3}$)	Densidad seca ($\frac{gr}{cm^3}$)	Esfuerzo Desviador ($\frac{Kg}{cm^2}$)
Compresión Triaxial 1 (Muestra A PM1)	1	1,00 m	14,98	1,29	1,12	2,39
	2	-	14,35	1,28	1,12	2,56
	3	1,50 m	14,02	1,28	1,12	3,00

La Tabla 42, correspondiente a la muestra de “arcilla ligera arenosa de baja plasticidad”, extraída de la calicata 1, para este ensayo, la cual presenta un $C.H.promd. = 14,45$, una $\delta.promd. = 1,28$ y una densidad seca promedio $\delta.S.promd. = 1,12$.

Tabla 43. Resultados del ensayo de compresión triaxial “Calicata 1”

Muestra	Ángulo de Fricción	Cohesión ($\frac{Kg}{cm^2}$)
Compresión Triaxial 1 (Muestra A – PM1)	16,70°	0,85

En la Tabla 43, se presentan los valores de ángulo de fricción $\Phi = 16,70^\circ$ y de cohesión $C = 0,85 \text{ Kg/cm}^2$, correspondientes a la “arcilla ligera arenosa de baja plasticidad”.

6.7.2.2. Calicata 2

Tabla 44. Resultados del ensayo de compresión triaxial “Calicata 2”

Muestra	Nro.	Profund. (m)	Contenido de Humedad	Densidad natural ($\frac{gr}{cm^3}$)	Densidad seca ($\frac{gr}{cm^3}$)	Esfuerzo Desviador ($\frac{gr}{cm^2}$)
Compresión Triaxial 2 (Muestra B PM2)	1	1,00 m	14,98	1,44	1,25	1,19
	2	-	14,85	1,45	1,26	1,35
	3	1,50 m	14,62	1,48	1,29	1,93

La Tabla 44, correspondiente a la muestra de “arena limosa”, extraída de la calicata 2, para este ensayo; presenta un $C.H._{promd.} = 14,86$, $una = \delta_{promd.} = 1,45$ y una densidad seca promedio $\delta.S._{promd.} = 1,26$.

Tabla 45. Resultados del ensayo de compresión triaxial “Calicata 2”

Muestra	Ángulo de Fricción	Cohesión (Kg/cm^2)
Compresión Triaxial 2 (Muestra B – PM2)	29,05°	0,36

En la Tabla 45, se presentan los valores de ángulo de fricción $\Phi = 29,05^\circ$ y de cohesión $C = 0,36 Kg/cm^2$, correspondientes a la “arena limosa”.

6.7.3. Ensayo de Penetración Estándar SPT

6.7.3.1. Zona 1. – (SPT 1 – P.A.)

No se detectaron filtraciones de agua subterránea durante el proceso de exploración, lo que indica que el nivel freático no influye de manera significativa en la estabilidad de la zona.

Tabla 46. Resultados de los ensayos de laboratorio de las muestras recolectadas en campo

Prof.	Porcentaje de Humedad (%)		Límites de Atterberg			Granulometría				Clasificación		Tipo de Suelo	
	30	50	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Pasa N° 200	Pasa N° 4	Grava	Arena	Finos	SUCS		AASHTO
0,0	37,30		30	15	16	53,6	80	20	26,4	53,6	CL	A – 6	Arcilla de m.p.
1,0	35,27		31	15	16	60,5	83	17	22,5	60,5	CL	A – 6	Arcilla de m.p.
2,0	34,02		31	16	14	58,7	97	3	38,3	58,7	CL	A – 6	Arcilla de m.p.
3,0	34,35		33	17	16	52,2	98	2	45,8	52,2	CL	A – 6	Arcilla de m.p.
4,0	32,47		27	10	17	62,5	91	9	28,5	62,5	CL	A – 6	Arcilla de b.p.
5,0	31,10		28	9	18	65,6	94	6	38,4	65,6	CL	A – 6	Arcilla de b.p.
6,0													

En este punto se logró identificar y caracterizar 2 estratos. El primer estrato, que se extiende desde la superficie hasta una profundidad de 4,00 metros, consiste en una arcilla de media plasticidad con un contenido arenoso. Esta arcilla ha sido clasificada como de tipo "CL" según la clasificación unificada de suelos, y su color es predominantemente café claro.

El segundo estrato, que se ubica desde una profundidad de 4,00 metros hasta aproximadamente 6,00 metros, está compuesto por una arcilla de baja plasticidad con una fracción arenosa. Esta arcilla también pertenece a la categoría "CL" en términos de clasificación.

Tabla 47. Resultados de la interpretación de la capacidad de carga

Capacidad de Carga SPT 1 – P.A.	
Tipo de Estrato	CL → Arcilla de M.P.
Q. ultimo	2,923 Kg/cm ²
Q. admisible	0,974 Kg/cm ²
Densidad δ	12,59 KN/m ³
Angulo de Fricción ϕ	21,05 grados
Cohesión	0,96 Kg/cm ²

En la Tabla 47, se indica que la “arcilla de media plasticidad”, presenta una densidad de $\delta = 12,59 \text{ KN/m}^3$, un ángulo de fricción $\phi = 21,05^\circ$ y una cohesión de $C = 0,96 \text{ Kg/cm}^2$. La capacidad última del terreno in situ fue $Q.ultimo = 2,923 \text{ Kg/cm}^2$. La capacidad admisible de estas arcillas considerando un factor de seguridad de $Fs = 3$, es de $Q.admisible = 0,974 \text{ Kg/cm}^2$.

6.7.3.2. Zona 2. – (SPT 2 – P.M.)

Tabla 48. Resultados de los ensayos de laboratorio de las muestras recolectadas en campo

Prof.	Porcentaje de Humedad		Límites de Atterberg			Granulometría					Clasificación		Tipo de Suelo	
	(%)	20	40	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Pasa N° 200	Pasa N° 4	Grava	Arena	Finos	SUCS		AASHTO
0,0	35,70			21	13	8	52,1	92	8	32,9	52,1	CL	A – 4	Arcilla de m.p.
1,0	35,14			22	13	9	54,8	90	10	35,2	54,8	CL	A – 4	Arcilla de m.p.
2,0	25,25			44	45	16	50,5	96	4	45,5	50,5	ML	A – 7 – 6	Limo de b.p.
3,0	23,21			39	32	6	57,2	99	1	41,8	57,2	ML	A – 4	Limo de b.p.
4,0	24,54			18	15	3	55,0	93	7	38,0	55,0	ML	A – 4	Limo de b.p.
5,0	21,73			20	16	4	58,9	96	4	37,1	58,9	ML	A – 4	Limo de b.p.
6,0														

En este punto se logró identificar y caracterizar 2 estratos. El primer estrato, que abarca desde la superficie hasta una profundidad de 2,00 metros, se encuentra compuesto por una arcilla de baja plasticidad con una textura predominantemente arenosa. Este tipo de suelo ha sido clasificado bajo la designación "CL" de acuerdo con la clasificación unificada de suelos. Además, su color característico es café claro.

El segundo estrato, que se extiende desde los 2,00 metros hasta aproximadamente 6,00 metros de profundidad, consiste en un limo de baja plasticidad con una fracción de arena. Este tipo de suelo ha sido categorizado como "ML" según la mencionada clasificación de suelos.

Tabla 49. Resultados de la interpretación de la capacidad de carga

Capacidad de Carga SPT 2 – P.M.	
Tipo de Estrato	CL → Arcilla de B.P.
Q. ultimo	2,856 Kg/cm ²
Q. admisible	0,962 Kg/cm ²
Densidad δ	12,76 KN/m ³
Angulo de Fricción ϕ	21,05 grados
Cohesión	0,90 Kg/cm ²

En la Tabla 49, se indica que la “arcilla de baja plasticidad”, presenta una densidad de $\delta = 12,76 \text{ KN/m}^3$, un ángulo de fricción $\phi = 21,05^\circ$ y una cohesión de $C = 0,90 \text{ Kg/cm}^2$. La capacidad ultima del terreno in situ fue $Q.ultimo = 2,856 \text{ Kg/cm}^2$. La capacidad admisible de estas arcillas es de $Q.admisible = 0,962 \text{ Kg/cm}^2$.

6.7.3.3.Zona 3. – (SPT 3 – P.B.)

Tabla 50. Resultados de los ensayos de laboratorio de las muestras recolectadas en campo

Prof.	Porcentaje de Humedad			Límites de Atterberg			Granulometría				Clasificación		Tipo de Suelo	
	(%)	10	30	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Pasa N° 200	Pasa N° 4	Grava	Arena	Finos	SUCS		AASHTO
0,0	22,3			0	0	0	46,5	98	2	51,5	46,5	SM	A – 4	Arena limosa
1,0	18,9			0	0	0	13,4	96	4	82,6	13,4	SM	A – 2 – 4	Arena limosa
2,0	13,1			0	0	0	32,6	65	35	32,4	32,6	GM	A – 2 – 4	Arenas con gravas
3,0														

En este punto se logró identificar y caracterizar 2 estratos. El primer estrato, que se extiende desde la superficie hasta una profundidad de 2,00 metros, corresponde a una capa de

arena limosa. Este sustrato ha sido clasificado como "SM" de acuerdo con la clasificación unificada de suelos. Su color predominante es café claro.

El segundo estrato, que abarca desde los 2,00 metros hasta aproximadamente los 3,00 metros de profundidad, está constituido por una mezcla de grava limosa con arena y se clasifica bajo la denominación "GM" según la mencionada clasificación de suelos. Cabe señalar que el ensayo se concluyó en esta profundidad debido a la observación de golpes que superaron el umbral de 50, lo que se considera como rebote (R), en profundidades mayores.

Tabla 51. Resultados de la interpretación de la capacidad de carga

Capacidad de Carga SPT 3 – P.B.	
Tipo de Estrato	SM → Arena limosa
Q. ultimo	3,045 Kg/cm ²
Q. admisible	1,015 Kg/cm ²
Densidad δ	15,01 KN/m ³
Angulo de Fricción ϕ	23,41 grados
Cohesión	0,52 Kg/cm ²

En la Tabla 51, se indica que la “arena limosa”, presenta una densidad de $\delta = 15,01 \text{ KN/m}^3$, un ángulo de fricción $\phi = 23,41^\circ$ y una cohesión de $C = 0,52 \text{ Kg/cm}^2$. La capacidad ultima del terreno in situ fue $Q.ultimo = 3,045 \text{ Kg/cm}^2$. La capacidad admisible de estas arcillas es de $Q.admisible = 1,015 \text{ Kg/cm}^2$.

6.7.4. Ensayo CBR

A continuación, se presenta los resultados obtenidos después de analizar las muestras recolectadas de las calicatas ejecutaron a nivel de subrasante, con la finalidad de evaluar la capacidad portante.

Tabla 52. Ubicación geográfica UTM de las calicatas

	Coordenadas UTM		
	X	Y	Z
Calicata 1 (A nivel de Subr)	690570,00	9568833,00	2267
Calicata 2 (A nivel de Subr)	690956,00	9569742,00	2250

Tabla 53. Resultados de las muestras de suelo obtenidas en las calicatas a nivel de subrasante

Nro.	Profund. (m)	CH (%)	Descripción del suelo SUCS	Compactación		CBR (95%)
				DSM Kg/m ²	OCH %	
Calicata 1 (Subr.)	0,50	7,77	Grava mal gradada con limo y arenas	1992	11,95	
	1,00	9,65	Grava arcillosa con arenas	2209	6,40	
	1,50	15,04	Grava arcillosa con arenas	1974	12,15	35,00

Calicata 2 (Subr.)	0,50	7,83	Grava limosa con arena	2203	8,10	
	1,00	9,29	Grava mal gradada con arcilla y arena	2233	6,70	
	1,30	10,36	Grava mal gradada con arcilla y arena	2099	9,80	7,30

Una vez definidos los valores del CBR (Tabla 53) se procedió con la clasificación cuantitativa del suelo, seguida de la evaluación de su idoneidad para su potencial uso como subrasante o base.

Tabla 54. Clasificación General de suelos para carreteras según valores de CBR – (Calicata 1 subrasante)

CBR	Clasificación Cuantitativa del Suelo	Uso	Clasificación del Tipo de Suelo
0 a 3	Muy Pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL
3 a 7	Pobre a Regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL
7 a 20	Regular	Subrasante	OL, CL, ML, SC, SM, SP
20 a 50	Bueno	Base o Subrasante	GM, GC, SW, SM, SP, GP
> 50	Excelente	Base	GW, GM

Nota. Tabla de Clasificación Cuantitativa Según Valores de CBR. *Fuente:* Bowles. (1992)

Con base en los resultados obtenidos, con un valor del índice de soporte California Bearing Ratio (CBR) de 35,00, se puede concluir que el material extraído en la abscisa 10+000 Km, específicamente en la "Calicata 1 sub-rasante", indica que las condiciones de la vía en este sector son favorables o presentan un comportamiento satisfactorio.

Tabla 55. Clasificación General de suelos para carreteras según valores de CBR – (Calicata 1 subrasante)

CBR	Clasificación Cuantitativa del Suelo	Uso	Clasificación del Tipo de Suelo
0 a 3	Muy Pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL
3 a 7	Pobre a Regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL
7 a 20	Regular	Subrasante	OL, CL, ML, SC, SM, SP
20 a 50	Bueno	Base o Subrasante	GM, GC, SW, SM, SP, GP
> 50	Excelente	Base	GW, GM

Nota. Tabla de Clasificación Cuantitativa Según Valores de CBR. *Fuente:* Bowles. (1992)

Con base en los resultados obtenidos, con un valor del índice de soporte California Bearing Ratio (CBR) de 7,30, se puede concluir que el material extraído en la ubicación de la abscisa 12+000 Km, particularmente en la "Calicata 2 sub-rasante", indica que las condiciones de la vía en este sector son deficientes o inadecuadas, lo que sugiere la necesidad de intervenciones y mejoras significativas para garantizar un comportamiento apropiado.

6.8. Propiedades Físico – Mecánicas de las Rocas

6.8.1. Propiedades Físicas de las Rocas

En base a las características geológicas y geotécnicas preliminares de la zona de estudio, se llevó a cabo la evaluación de las propiedades físicas de las muestras de roca recolectadas de cada uno de los macizos rocosos que se estudió.

Tabla 56. Resultados de las propiedades físicas de las muestras de rocas obtenidas en cada macizo

Propiedades Físicas	Simbología	Unidad	Nro. de Zona				
			Macizo Rocosos 1		Macizo Rocosos 2	Macizo Rocosos 3	Macizo Rocosos 4
			Zona 1A	Zona 2A			
Gravedad Específica	G_s	-	2,70	2,63	2,84	2,84	2,57
Densidad	δ	gr/cm^3	2,64	2,46	2,81	2,81	2,41
Densidad Sat. Superficialmen. Seca	δ_{sss}	gr/cm^3	2,36	2,29	2,71	2,71	2,27
Peso Específico Real	p_r	gr/cm^3	2,70	2,61	2,90	2,90	2,56
Peso Específ. Aparente	p_a	gr/cm^3	2,39	2,33	2,77	2,77	2,29
Humedad	W	%	1,04	5,09	0,33	0,33	4,31
Porosidad	n	%	11,44	10,69	4,40	4,40	10,69
Porosidad Eficaz	n_e	%	7,56	8,53	2,31	2,31	8,53
Porosidad Cerrada	n_c	%	3,88	2,16	2,09	2,09	2,16
Coefficiente de Absorc.	$C. abs$	%	3,15	3,65	0,83	0,83	3,65
Módulo de Saturación	$M. Sat$	%	66,10	79,83	52,44	52,44	79,83
Compacidad	C	%	88,56	89,31	95,60	95,60	89,31

En la Tabla 56, se presentan los datos resultantes de la evaluación de las propiedades físicas de cada uno de los macizos rocosos.

6.8.2. Ensayo de Resistencia a la Compresión Simple

Tabla 57. Resultados del ensayo de compresión simple ejecutado a los testigos de los 4 macizos rocosos

Nro.	#	Diámetro cm	Radio cm	Altura cm	Área cm ²	Volumen cm ³	Carga Kg	Densidad gr/cm ³	Esfuerzo Kg/cm ²	Comp. Simple
Macizo 1 Zona 1A	# 1	5,02	2,51	10,70	19,79	211,78	5555,56	2,39	280,691	24,43 MPa
	# 2	4,36	2,18	8,95	14,93	133,62	5565,75	2,83	372,786	
Promedio =>								2,610	249,721	
Nro. de Zona	#	Diámetro cm	Radio cm	Altura cm	Área cm ²	Volumen cm ³	Carga Kg	Densidad gr/cm ³	Esfuerzo Kg/cm ²	Comp. Simple
Macizo 1 Zona 2A	# 1	4,33	2,17	8,50	14,73	125,17	3221,20	2,33	218,752	22,62 MPa
	# 2	4,38	2,19	8,98	14,81	128,96	3251,31	2,59	242,582	
Promedio =>								2,460	230,667	
Macizo 2	# 1	5,48	2,74	10,96	23,59	258,50	15830,7	2,77	671,198	54,45 MPa
	# 2	5,02	2,51	10,94	19,79	216,53	9102,96	2,69	459,92	
Promedio =>								2,73	565,56	

Nro. de Zona	#	Diámetro cm	Radio cm	Altura cm	Área cm ²	Volumen cm ³	Carga Kg	Densidad gr/cm ³	Esfuerzo Kg/cm ²	Comp. Simple
Macizo 3	# 1	5,48	2,74	10,96	23,59	258,50	15830,7	2,77	671,198	54,45 MPa
	# 2	5,02	2,51	10,94	19,79	216,53	9102,96	2,69	459,92	
Promedio =>								2,73	565,56	
Nro. de Zona	#	Diámetro cm	Radio cm	Altura cm	Área cm ²	Volumen cm ³	Carga Kg	Densidad gr/cm ³	Esfuerzo Kg/cm ²	Comp. Simple
Macizo 4	# 1	4,38	2,19	8,98	14,81	128,96	3251,31	2,29	242,582	23,80 Mpa

Mediante el ensayo de resistencia a la compresión simple aplicado a los testigos de roca de los 4 macizos rocosos, se determinó que el “Macizo Rocosos 1” en la Zona 1A, presenta una resistencia a la compresión simple de 24,43 Mpa, este mismo macizo, pero en la Zona 2A, presenta una resistencia a la compresión simple de 22,62 Mpa. Por otro lado, el “Macizo Rocosos 2”, que comparte características con el “Macizo Rocosos 3”, presento una resistencia a la compresión simple de 54,45 Mpa, y por último el “Macizo Rocosos 4” presento una resistencia a la compresión simple de 23,80 Mpa.

Tabla 58. Resultados del ensayo de compresión simple mediante el índice rebote del martillo de Schmidt o de bajo impacto

Nro. de Zona	Nro. testigo	Rebote 1	Rebote 2	Rebote 3	Rebote 4	Rebote 5	Rebote promed.	Posición	Densidad gr/cm ³	Comp. Simple
Zona 1A	# 1	19	19	20	19	20	19	– 90°	2,39	25, 22 MPa
Zona 2A	# 1	20	20	19	17	18	18	– 90°	2,33	23,53 MPa
Macizo 2	# 1	37	36	35	36	36	36	– 90°	2,77	74,20 MPa
Macizo 3	# 1	37	36	35	36	36	36	– 90°	2,77	74,20 MPa
Macizo 4	# 1	21	22	18	19	19	20	– 90°	2,29	25,43 MPa

Para el ensayo de resistencia a la compresión simple mediante el índice de rebote del martillo de Schmidt aplicado a los testigos de roca de los 4 macizos rocosos, se determinó que el “Macizo Rocosos 1” en la Zona 1A, presenta una resistencia a la compresión simple de 25,22 Mpa, este mismo macizo, pero en la Zona 2A, presenta una resistencia a la compresión simple de 23,53 Mpa. El “Macizo Rocosos 2”, que comparte características con el “Macizo Rocosos 3”, presento una resistencia a la compresión simple de 74,20 Mpa. Por otro lado, el “Macizo Rocosos 4”, presento una resistencia a la compresión simple de 25,43 Mpa.

Una vez calculada la densidad y el índice de rebote, se correlaciono los resultados, mediante la gráfica “Valores típicos de resistencia, en función del índice de rebote”.

- **Macizo Rocosó 1 Zona 1A**

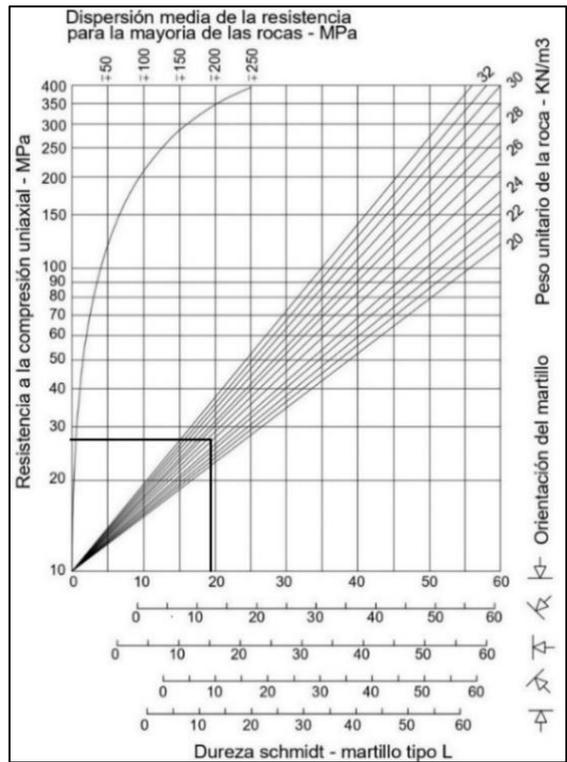


Figura 73. “Resistencia a la Compresión Simple de Zona 1A – Macizo Rocosó 1

Nota. En esta tabla se presentan los valores de resistencia a la compresión simple en función de “Índice de rebote de laboratorio en posición vertical Vs Densidad de la roca”

- **Macizo Rocosó 1 Zona 2A**

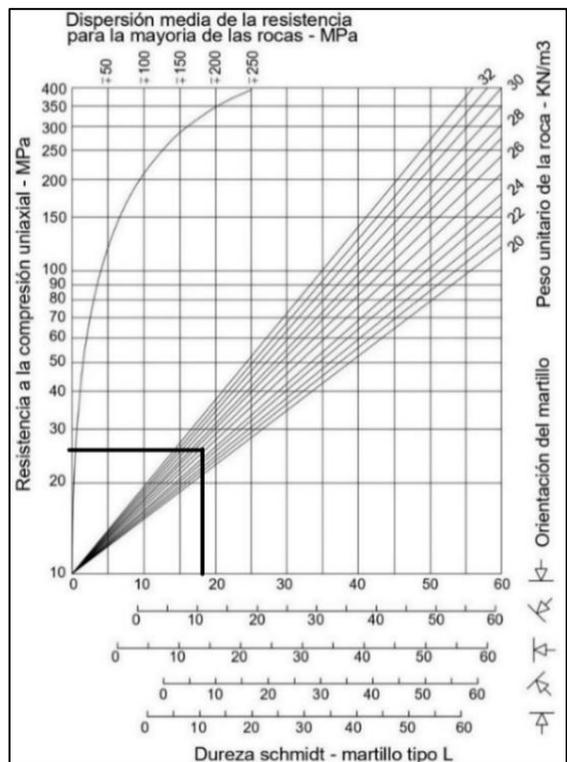


Figura 74. “Resistencia a la Compresión Simple de Zona 2A – Macizo Rocosó 1

Nota. En esta tabla se presentan los valores de resistencia a la compresión simple en función de “Índice de rebote de laboratorio en posición vertical Vs Densidad de la roca”

- **Macizo Rocos 2**

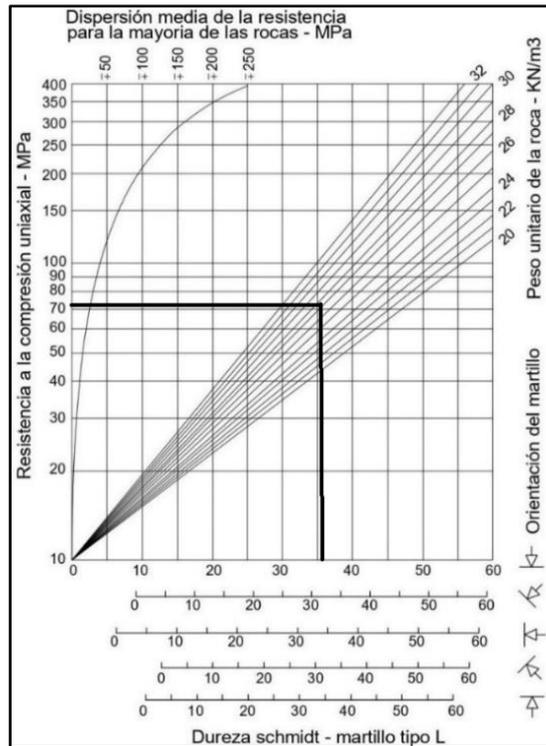


Figura 75. “Resistencia a la Compresión Simple del Macizo Rocos 2

Nota. En esta tabla se presentan los valores de resistencia a la compresión simple en función de “Índice de rebote de laboratorio en posición vertical Vs Densidad de la roca”

- **Macizo Rocos 3**

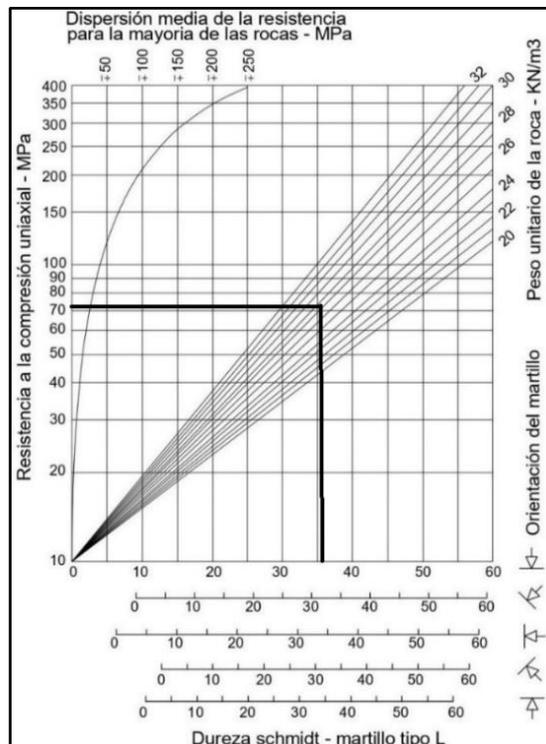


Figura 76. “Resistencia a la Compresión Simple del Macizo Rocos 3

Nota. En esta tabla se presentan los valores de resistencia a la compresión simple en función de “Índice de rebote de laboratorio en posición vertical Vs Densidad de la roca”

▪ **Macizo Rocoso 4**

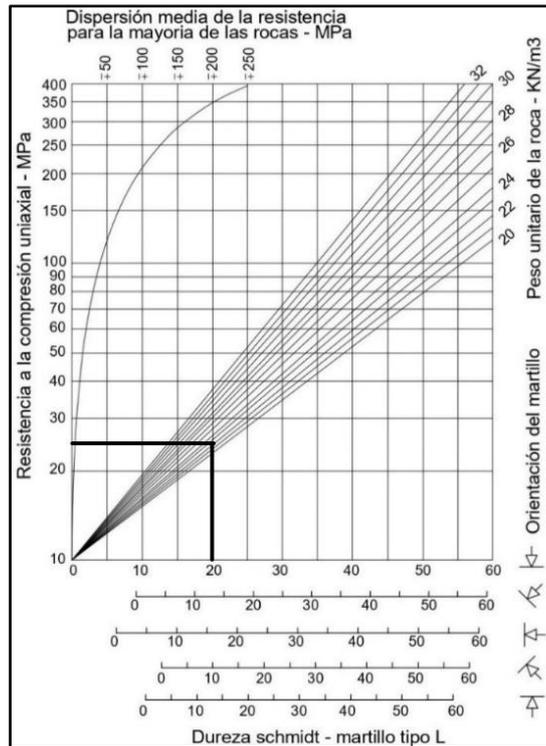


Figura 77. “Resistencia a la Compresión Simple del Macizo Rocoso 4

Nota. En esta tabla se presentan los valores de resistencia a la compresión simple en función de “Índice de rebote de laboratorio en posición vertical Vs Densidad de la roca”

Una vez finalizado el cálculo de la resistencia a la compresión simple de cada una de las muestras de los macizos rocosos, se realizó la correlación de los valores resultantes (Tabla 59); de cada una de las pruebas.

Tabla 59. Correlación de valores de resistencias a la compresión simple bajo criterios diferentes

Nro. de Zona	Resistencia a la Compresión Simple		
	Ensayo de Resistencia a la Compresión Simple	Índice de rebote de bajo impacto	Gráfica dispersión media de la resistencia
Macizo 1	Zona 1A	24,43 Mpa	27,65 MPa
	Zona 2A	22,62 Mpa	25,90 MPa
Macizo 2		54,45 Mpa	72,85 Mpa
Macizo 3		54,45 Mpa	72,85 Mpa
Macizo 4		23,80 Mpa	26,50 Mpa

Como se mencionó en la metodología, para el caso específico del ángulo de fricción básico de las rocas, el ensayo tilt test es el ideal.

Tabla 60. Resultados del ensayo tilt test – Angulo de fricción básico

Nro. de Zona	Nro. testigo	$\phi 1$ grados	$\phi 2$ grados	$\phi 3$ grados	$\phi 4$ grados	$\phi 5$ grados	$\phi_{prom.}$ grados	Estado	ϕb básico
Zona 1A	# 1	38	34	34	35	34	35	seco	39 grados
Zona 2A	# 1	29	29	28	28	29	29	seco	33 grados

Macizo 2	# 1	36	37	38	37	37	37	seco	41 grados
Macizo 3	# 1	36	37	38	37	37	37	seco	41 grados
Macizo 4	# 1	31	29	29	31	27	29	seco	33 grados

Mediante el ensayo de Tilt Test aplicado a los testigos de roca de los 3 macizos rocosos, se determinó que el “Macizo Rocosos 1” en la Zona 1A, presenta un ángulo de fricción básico de $\varphi_b = 39^\circ$, este mismo macizo, pero en la Zona 2A, presenta un ángulo de fricción básico de $\varphi_b = 33^\circ$. El “Macizo Rocosos 2”, que comparte características con el “Macizo Rocosos 3”, presento un ángulo de fricción básico de $\varphi_b = 41^\circ$, por otro lado, el “Macizo Rocosos 4”, presento un ángulo de fricción básico de $\varphi_b = 34^\circ$.

En función de la relación entre el índice de rebote de la roca inalterada con respecto a la roca alterada, se puede encontrar también el valor del ángulo de fricción residual de la roca con base en su ángulo de fricción básico.

Tabla 61. *Ángulo de fricción residual*

	Nro. de Zona	Nro. testigo	φ básico	r	R	φ Residual
Macizo 1	Zona 1A	# 1	39 grados	24	19	39,00
	Zona 2A	# 1	33 grados	22	18	33,00
Macizo 2		# 1	41 grados	23	36	33,77
Macizo 3		# 1	41 grados	23	36	33,77
Macizo 4		# 1	34 grados	22	20	34,00

Mediante la relación entre el índice de rebote de la roca inalterada con respecto a la roca alterada. Se determinó que el “Macizo Rocosos 1” en la Zona 1A, presenta un ángulo de fricción residual de $\varphi_r = 39,00^\circ$, este mismo macizo, pero en la Zona 2A, presenta un ángulo de fricción residual de $\varphi_r = 33,00^\circ$. El “Macizo 2”, que comparte características con el “Macizo 3”, presento un ángulo de fricción residual $\varphi_r = 33,77^\circ$. Por otro lado, el “Macizo 4”, presento un Angulo de fricción residual $\varphi_r = 34,00^\circ$.

6.8.3. Índice Cuantitativo de Calidad de la Roca RQD

A continuación, se presentan los resultados del cálculo del RQD, para la matriz rocosa de cada uno de los macizos rocosos evaluados.

6.8.3.1. RQD de la Matriz Rocosa del Macizo Rocosos 1

Tabla 62. *Cálculo del Índice RQD de la matriz rocosa del macizo rocosos 1*

Junta - Esquistosidad	SM_i (m)	$1/SM_i$ (m)	JV/m^3	RQD	Calidad de la Roca
J1	0,286	3,49	14,090	74,776	Calidad Regular
J2	0,360	2,77			
S1	0,220	4,54			
S2	0,316	3,26			

Seguindo la clasificación propuesta por Barton, y considerando el puntaje alcanzado “74,776%”, se determina que la matriz rocosa del macizo rocoso 1 presenta una calidad “Regular”. Calidad característica de macizos que presentan entre 13 – 19 juntas por m^3 .

6.8.3.2.RQD de la Matriz Rocosa del Macizo Rcoso 2

Tabla 63. Cálculo del Índice RQD del macizo rocoso 2

Juntas	$SM_i (m)$	$1/SM_i (m)$	JV/m^3	RQD	Calidad de la Roca
J1	0,774	1,295	12,754	78,112	Calidad Buena
J2	1,286	0,777			
J3	0,167	5,988			
J4	0,213	4,694			

Seguindo la clasificación propuesta por Barton, y considerando el puntaje alcanzado “78,112%”, se determina que la matriz rocosa del macizo rocoso 2 presenta una calidad “Buena”. Calidad característica de macizos que presentan entre 8 – 12 juntas por m^3 .

6.8.3.3.RQD de la Matriz Rocosa del Macizo Rcoso 3

Tabla 64. Cálculo del Índice RQD del macizo rocoso 3

Juntas	$SM_i (m)$	$1/SM_i (m)$	JV/m^3	RQD	Calidad de la Roca
J1	0,670	1,492	4,74	98,13%	Calidad muy buena
J2	0,628	1,592			
J3	0,601	1,660			

Seguindo la clasificación propuesta por Barton, y considerando el puntaje alcanzado “98,13%”, se determina que la matriz rocosa del macizo rocoso 2 presenta una calidad “Muy Buena”. Calidad característica de macizos que presentan menos de 7 juntas por m^3 .

6.8.3.4.RQD de la Matriz Rocosa del Macizo Rcoso 4

Tabla 65. Cálculo del Índice RQD del macizo rocoso 4

Juntas	$SM_i (m)$	$1/SM_i (m)$	JV/m^3	RQD	Calidad de la Roca
S1	0,168	5,952	10,262	84,35%	Calidad Buena
S2	0,232	4,310			

Seguindo la clasificación propuesta por Barton, y considerando el puntaje alcanzado “%”, se determina que la matriz rocosa del macizo rocoso 4 presenta una calidad “Buena”. Calidad característica de macizos que presentan entre 8 – 12 juntas por m^3 .

6.9. Clasificación Geomecánica de los Macizos Rocosos

6.9.1. Macizo Rocoso 1

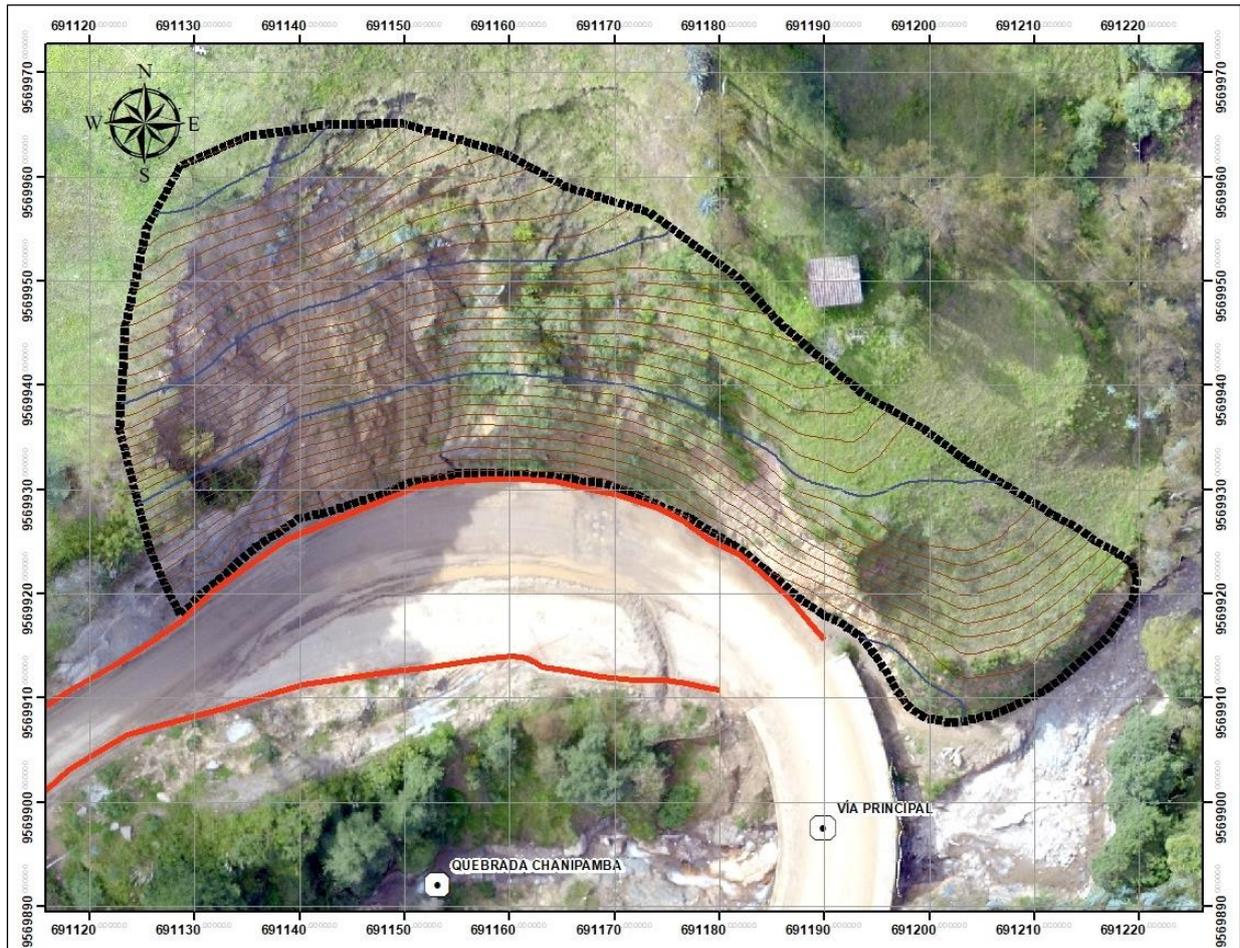


Figura 78. "Macizo Rocoso 1"

6.9.1.1. Rock Mass Rating (RMR)

La evaluación del RQD del macizo rocoso se la efectuó considerando todas las discontinuidades encontradas en las 4 estaciones litoestructurales en las que fue dividido para el presente estudio.

Tabla 66. Clasificación Geomecánica RMR → Macizo Rocoso 1

1	Matriz	Ensayo de carga puntual	> 10	10 -- 4	4 -- 2	2 -- 1	Compresión simple (Mpa)			J1	J2	S1	S2
		Compresión simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25--5	5--1	< 1	24,43 Mpa		22,62 Mpa	
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	2		2	
2		RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25 %			74,776			
		Puntuación	20	17	13	6	3			13			
3		Separación entre diaclasas	> 2m	2 - 0,6m	0,6 - 0,2m	0,2 - 0,06m	< 0,06m			0,28	0,36	0,22	0,31
		Puntuación	20	15	10	8	5			10	10	10	10

4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	0,48	0,55	0,48	0,60
		Puntuación	6	4	2	1	0	6	6	6	6
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm	> 5	> 5	> 5	> 5
		Puntuación	6	5	3	1	0	0	0	0	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave	> 20	> 20	> 20	> 20
		Puntuación	6	5	3	1	0	6	6	6	6
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5mm	N/A	N/A	N/A	N/A
		Puntuación	6	4	2	2	0	6	6	6	6
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadam. alterada	Muy alterada	Descompuesta	IV	IV	III	III
		Puntuación	6	5	3	1	0	1	1	3	3
5	Agua freática.	Caudal por 10m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 L/min	25 -125 L/min	> 125 L/min	N/A	N/A	Lig. Húm.	Lig. Húm.
		Presión agua Tensión principal <	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5				
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo				
		Puntuación	15	10	7	4	0	15	15	10	10
RMR PROMEDIO								59	59	56	56
								57,50			

Nota. Tabla utilizada para la determinación del RMR mediante la correlación de los resultados de laboratorio y campo con los parámetros base

Según la valoración de los parámetros de cada discontinuidad que conforma el “Macizo Rocoso 1”, se alcanzó un RMR de “57,50”, valor que según la Tabla 67, cae dentro de la “clase III”, es decir, corresponde a un macizo de “Media Calidad”.

Tabla 67. Clasificación Geomecánica RMR

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

Nota. En la tabla se presenta la clase a la que corresponde el “Macizo Rocoso 1”, según la clasificación propuesta por Bieniawski

6.9.1.2. Geological Strength Index (GSI)

Para el cálculo del índice GSI del “Macizo Rocos 1”, se empleó el sistema de calificación RMR y luego se transformó los resultados a valores de GSI conforme el índice RMR89, bajo el supuesto de que el macizo rocoso está completamente seco.

- ✓ Si, $GSI = RMR_{89} - 5$
- ✓ $GSI = 57,50 - 5$
- ✓ $GSI = 52,50$

De esta forma, si el GSI del macizo rocoso es de “52,50” se lo calificaría como de “Calidad Regular.”

6.9.2. Macizo Rocos 2

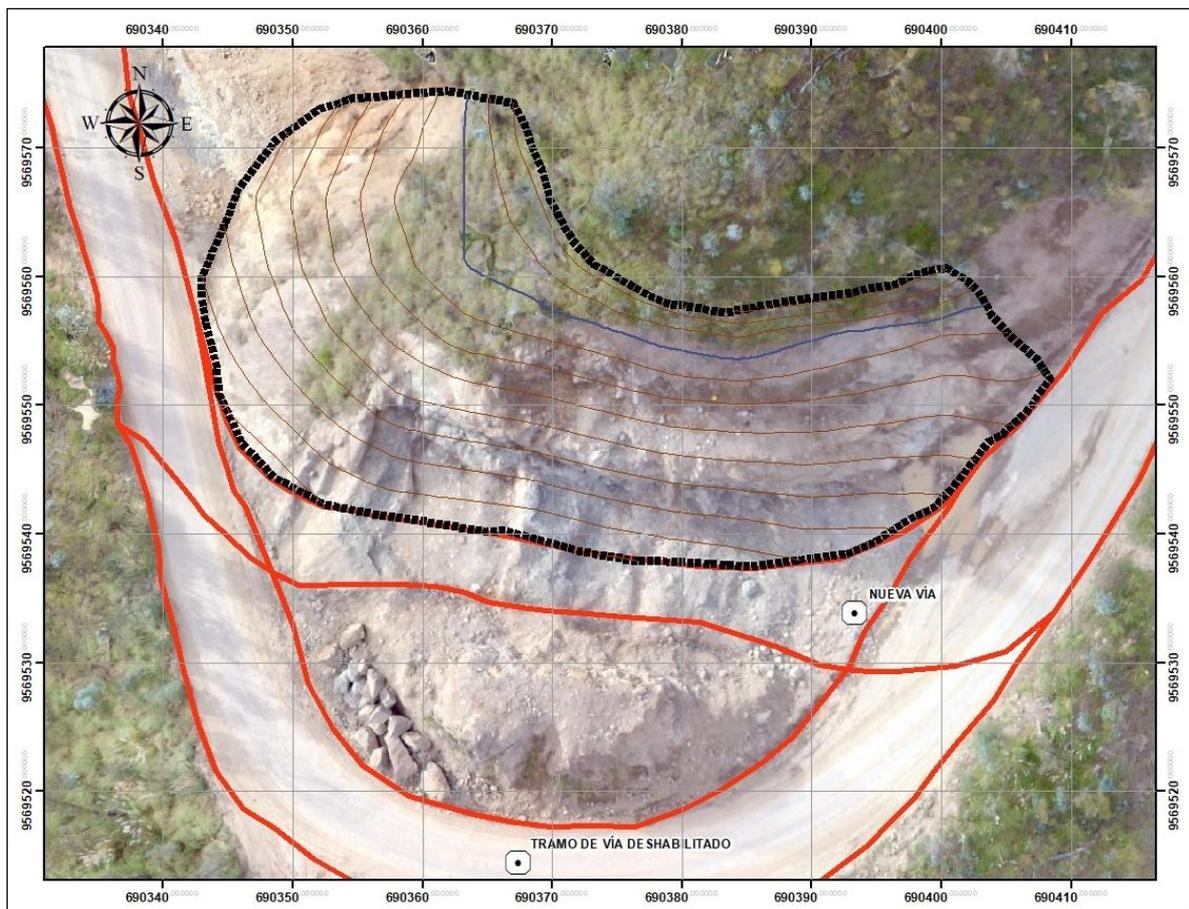


Figura 79. “Macizo Rocos 2”

6.9.2.1. Rock Mass Rating (RMR)

La evaluación del RQD del macizo rocoso se la efectuó considerando todas las discontinuidades encontradas en las 4 estaciones litoestructurales en las que fue dividido para el presente estudio.

Tabla 68. Clasificación Geomecánica RMR → Macizo Rocoso 2

1	Matriz (Mpa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10 -- 4	4 -- 2	2 -- 1	Compresión simple (Mpa)			J1	J2	J3	J4
		Compresión simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25--5	5--1	< 1	54,45 Mpa			
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	7			
2	RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25 %			78,112 %				
	Puntuación	20	17	13	6	3			17				
3	Separación entre diaclasas	> 2m	2 - 0,6m	0,6 - 0,2m	0,2 - 0,06m	< 0,06m			0,77	1,28	0,16	0,21	
	Puntuación	20	15	10	8	5			15	15	8	10	
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			0,65	0,58	0,76	0,38
		Puntuación	6	4	2	1	0			6	6	6	6
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm			> 5	> 5	> 5	> 5
		Puntuación	6	5	3	1	0			0	0	0	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave			> 20	> 20	> 20	> 20
		Puntuación	6	5	3	1	0			6	6	6	6
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5mm			N/A	N/A	N/A	N/A
		Puntuación	6	4	2	2	0			6	6	6	6
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadam. alterada	Muy alterada	Descompuesta			III	III	III	III
		Puntuación	6	5	3	1	0			3	3	3	3
5	Agua freática.	Caudal por 10m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 L/min	25 - 125 L/min	> 125 L/min			N/A	N/A	N/A	N/A
		Presión agua Tensión principal <	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5						
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo						
		Puntuación	15	10	7	4	0			15	15	15	15
RMR PROMEDIO									75	75	68	70	
									72				

Nota. Tabla utilizada para la determinación del RMR mediante la correlación de los resultados de laboratorio y campo con los parámetros base

Según la valoración de los parámetros de cada discontinuidad que conforma el “macizo rocoso 2”, se alcanzó un RMR de “72”, valor que según la Tabla 69, cae dentro de la “clase II”, es decir, corresponde a un macizo de “buena calidad”.

Tabla 69. Clasificación Geomecánica RMR

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

Nota. En la tabla se presenta la clase a la que corresponde el “Macizo Rocosó 1”, según la clasificación propuesta por Bieniawski

6.9.2.2. Geological Strength Index (GSI)

Para el cálculo del índice GSI del “Macizo Rocosó 2”, se empleó el sistema de calificación RMR y luego se transformó los resultados a valores de GSI conforme el índice *RMR89*, bajo el supuesto de que el macizo rocoso está completamente seco.

- ✓ Si, $GSI = RMR_{89} - 5$
- ✓ $GSI = 72 - 5$
- ✓ $GSI = 67$

De esta forma, si el GSI del macizo rocoso 2 es de “67” se lo calificaría como de “Calidad Buena”.

6.9.3. Macizo Rocosó 3

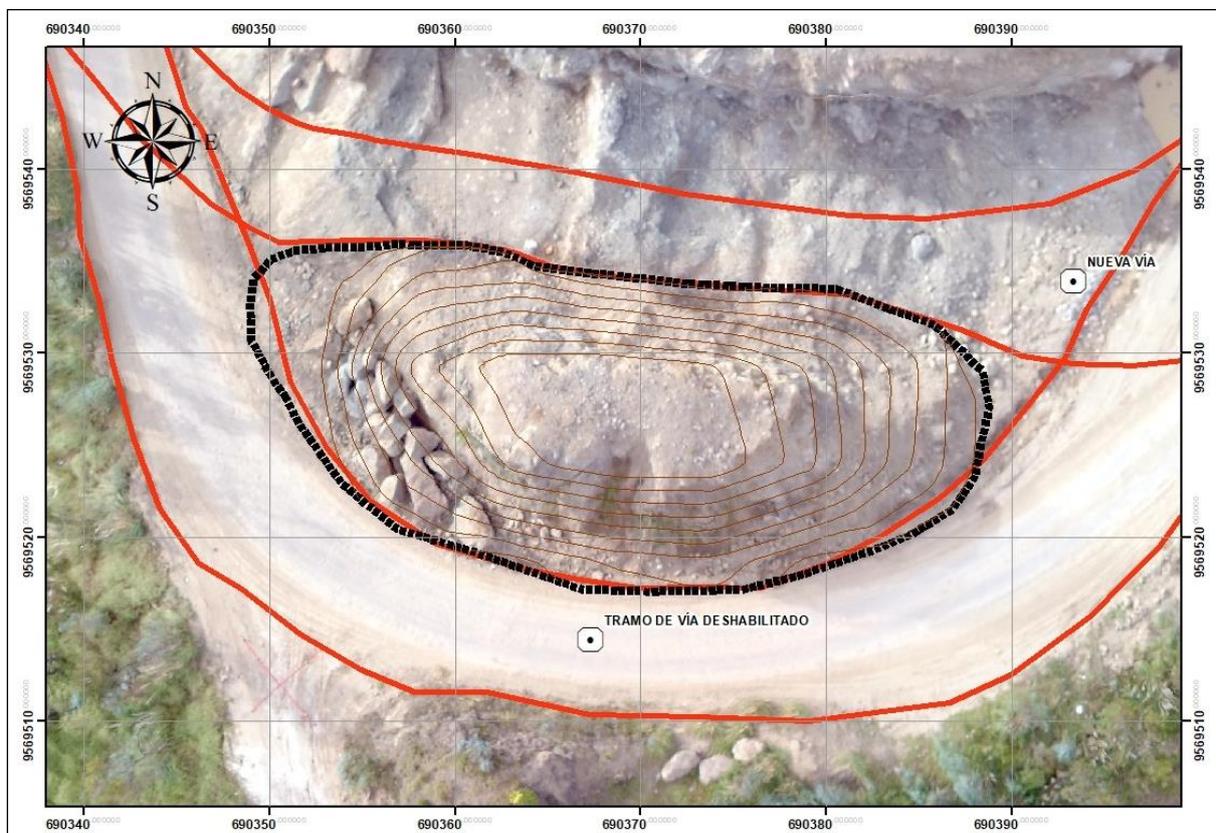


Figura 80. “Macizo Rocosó 3”

6.9.3.1. Rock Mass Rating (RMR)

La evaluación del RQD del macizo rocoso se la efectuó considerando todas las discontinuidades encontradas en las 3 estaciones litoestructurales en las que fue dividido para el presente estudio.

Tabla 70. Clasificación Geomecánica RMR → Macizo Rocosó 3

1	Matriz	Ensayo de carga puntual	> 10	10 -- 4	4 -- 2	2 -- 1	Compresión simple (Mpa)			J1	J2	J3
		Compresión simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25--5	5--1	< 1	54,45 Mpa		
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	7			
2	RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25 %			98,13%			
	Puntuación	20	17	13	6	3			20			
3	Separación entre diaclasas	> 2m	2 - 0,6m	0,6 - 0,2m	0,2 - 0,06m	< 0,06m			0,67	0,62	0,60	
	Puntuación	20	15	10	8	5			15	15	10	
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			0,55	0,58	0,58
		Puntuación	6	4	2	1	0			6	6	6
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm			> 5	> 5	> 5
		Puntuación	6	5	3	1	0			0	0	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave			> 20	> 20	> 20
		Puntuación	6	5	3	1	0			6	6	6
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5mm			N/A	N/A	N/A
		Puntuación	6	4	2	2	0			6	6	6
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadam. alterada	Muy alterada	Descompuesta			III	III	III
		Puntuación	6	5	3	1	0			3	3	3
5	Agua freática.	Caudal por 10m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 L/min	25 -125 L/min	> 125 L/min			N/A	N/A	N/A
		Presión agua Tensión principal <	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5					
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo					
		Puntuación	15	10	7	4	0			15	15	15
RMR PROMEDIO									78	78	73	
									76			

Nota. Tabla utilizada para la determinación del RMR mediante la correlación de los resultados de laboratorio y campo con los parámetros base

Según la valoración de los parámetros de cada discontinuidad que conforma el “macizo rocoso 3”, se alcanzó un RMR de “76”, valor que según la Tabla 71, cae dentro de la “clase II”, es decir, corresponde a un macizo de “buena calidad”.

Tabla 71. Clasificación Geomecánica RMR

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

Nota. En la tabla se presenta la clase a la que corresponde el “Macizo Rocosos 1”, según la clasificación propuesta por Bieniawski

6.9.3.2. Geological Strength Index (GSI)

Para el cálculo del índice GSI del “macizo rocoso 3”, se empleó el sistema de calificación RMR y luego se transformó los resultados a valores de GSI conforme el índice *RMR89*, bajo el supuesto de que el macizo rocoso está completamente seco.

✓ Si, $GSI = RMR_{89} - 5$

✓ $GSI = 76 - 5 = 71$

De esta forma, si el GSI del macizo rocoso 3 es de “71”, se lo calificaría como de “Buena Calidad”.

6.9.4. Macizo Rocosos 4

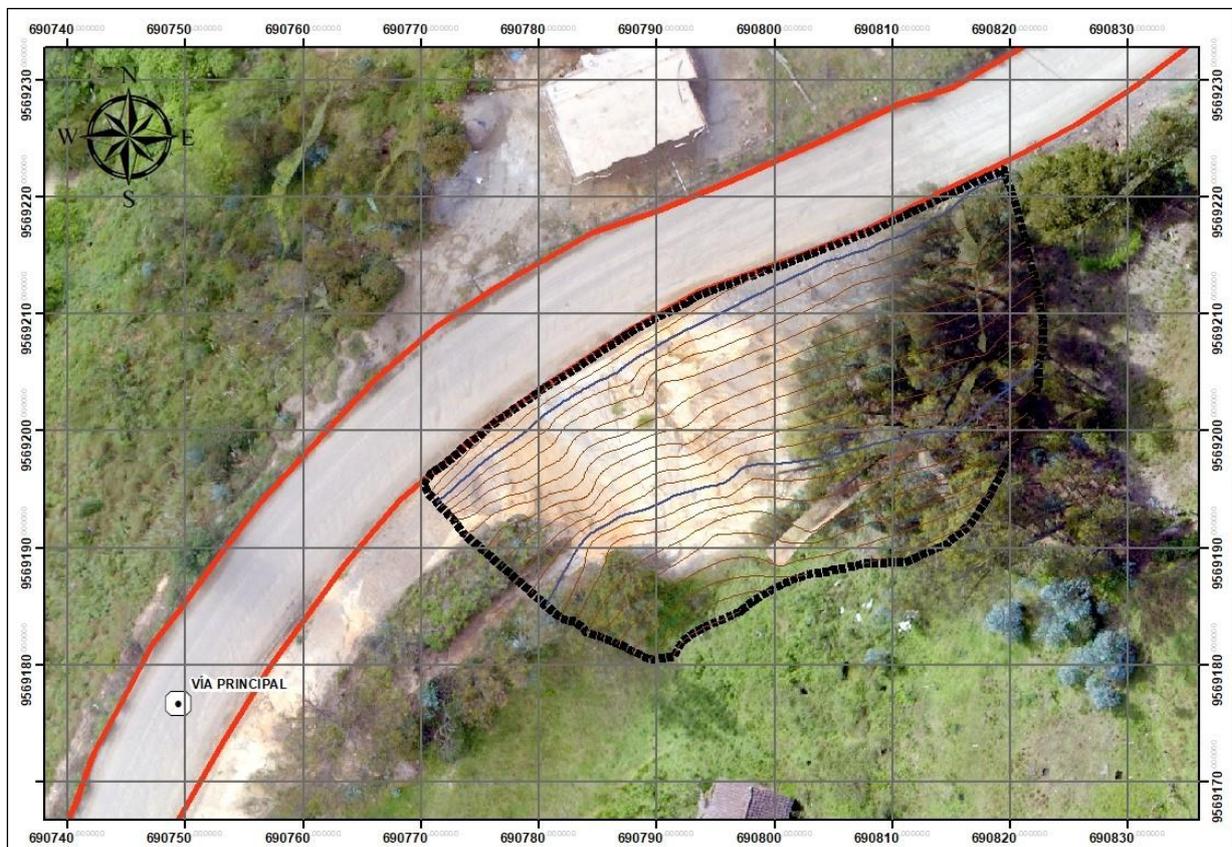


Figura 81. “Macizo Rocosos 4”

6.9.4.1. Rock Mass Rating (RMR)

La evaluación del RQD del macizo rocoso se la efectuó considerando todas las discontinuidades encontradas.

Tabla 72. Clasificación Geomecánica RMR → Macizo Rocosos 4

1	Matriz	Ensayo de carga puntual	> 10	10 -- 4	4 -- 2	2 -- 1	Compresión simple (Mpa)			S1	S2
		Compresión simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25--5	5--1	< 1	23,80 Mpa	
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	4		
2	RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25 %			84,35 %		
	Puntuación	20	17	13	6	3			17		
3	Separación entre diaclasas	> 2m	2 - 0,6m	0,6 - 0,2m	0,2 - 0,06m	< 0,06m			0,16	0,23	
	Puntuación	20	15	10	8	5			8	10	
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			0,66	0,91
		Puntuación	6	4	2	1	0			6	6
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm			> 5	> 5
		Puntuación	6	5	3	1	0			0	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave			> 20	> 20
		Puntuación	6	5	3	1	0			6	6
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5mm			N/A	N/A
		Puntuación	6	4	2	2	0			6	6
		Alteración	Inalterada	Ligerament e alterada	Moderadam. alterada	Muy alterada	Descompuesta			III	III
		Puntuación	6	5	3	1	0			3	3
5	Agua freática.	Caudal por 10m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 L/min	25 - 125 L/min	> 125 L/min			N/A	N/A
		Presión agua Tensión principal <	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5				
		Estado general	Seco	Ligerament e húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo				
		Puntuación	15	10	7	4	0			15	15
RMR PROMEDIO									65	67	
66											

Nota. Tabla utilizada para la determinación del RMR mediante la correlación de los resultados de laboratorio y campo con los parámetros base

Según la valoración de los parámetros de cada discontinuidad que conforma el “macizo rocoso 4”, se alcanzó un RMR de “66”, valor que según la Tabla 73, cae dentro de la “clase II”, es decir, corresponde a un macizo de “buena calidad”.

Tabla 73. Clasificación Geomecánica RMR

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

Nota. En la tabla se presenta la clase a la que corresponde el “Macizo Rocosos 1”, según la clasificación propuesta por Bieniawski

6.9.4.2. Geological Strength Index (GSI)

Para el cálculo del índice GSI del “macizo rocoso 4”, se empleó el sistema de calificación RMR y luego se transformó los resultados a valores de GSI conforme el índice RMR89, bajo el supuesto de que el macizo rocoso está completamente seco.

✓ Si, $GSI = RMR_{89} - 5$

✓ $GSI = 66 - 5 = 61$

De esta forma, si el GSI del macizo rocoso 4 es de “61”, se lo calificaría como de “Buena Calidad”.

Una vez finalizada la caracterización geomecánica de los 4 macizos rocosos del área de estudio, se correlaciono los resultados obtenidos de cada índice RMR y GSI, en la Tabla 71, que se presenta a continuación.

Tabla 74. Resultados de la clasificación geomecánica de los macizos rocoso del área de estudio

	RMR		GSI	
	Calidad	Puntuación	Calidad	Puntuación
Macizo Rocosos 1	Media calidad	56,50	Regular	51.50
Macizo Rocosos 2	Buena calidad	72	Buena calidad	67
Macizo Rocosos 3	Buena calidad	76	Buena calidad	71

Nota. En la tabla se presenta los resultados de la clasificación geomecánica de acuerdo a cada índice

6.10. Análisis Geológico – Geotécnico

6.10.1. Resistencia a la Compresión de las Discontinuidades

Siguiendo el criterio de Barton y Choubey, se determinó el ángulo de rugosidad, para cada familia de discontinuidades de cada macizo rocoso

6.10.1.1. Macizo Rocosos 1

Tabla 75. Ángulo de rugosidad de las discontinuidades macizo rocoso 1

Juntas	Densidad gr/cm ³	Altura m	JRC	r	JCS	σ'_n MPa	JCS/σ'_n	Ángulo de Rugosidad <i>i</i>
J1	2,39	19,00	20	24	31,77	0,0265	1198,86	34
J2				25	33,31		1258,11	34
S1	26			34,92	1198,86		34	
S2	24			31,77	1092,45		34	

Posteriormente, se calculó el ángulo de fricción de las discontinuidades

Tabla 76. Ángulo de fricción de las discontinuidades macizo rocoso 1

Juntas	r	R	φ básico	φ fricción residual	<i>i</i> rugosidad	φ_p fricción pico
J3	24	19	39	39	34	73
J4	25			39	34	73
S1	26			33	34	67
S2	24			33	34	67

6.10.1.2. Macizo Rocosos 2

Tabla 77. Ángulo de rugosidad de las discontinuidades macizo rocoso 2

Juntas	Densidad gr/cm ³	Altura m	JRC	r	JCS	σ'_n MPa	JCS/σ'_n	Ángulo de Rugosidad <i>i</i>
J1	2,73	21	20	22	34,55	0,0477	724,31	34
J2				23	36,52		765,61	34
J3				22	34,55		724,31	34
J4				24	38,61		809,43	34

Posteriormente, se calculó el ángulo de fricción de las discontinuidades

Tabla 78. Ángulo de fricción de las discontinuidades macizo rocoso 2

Juntas	r	R	φ básico	φ fricción residual	<i>i</i>	φ_p fricción de discontinuidades
J1	22	36	41	33	34	67
J2	23			34	34	68
J3	22			33	34	67
J4	24			34	34	68

6.10.1.3. Macizo Rocosos 3

Tabla 79. Ángulo de rugosidad de las discontinuidades macizo rocoso 3

Juntas	Densidad gr/cm ³	Altura m	JRC	r	JCS	σ'_n MPa	JCS/σ'_n	Ángulo de Rugosidad <i>i</i>
J1	2,73	13	20	20	30,93	0,0386	801,29	34
J2				22	34,55		970,50	34
J3				22	34,55		970,50	34

Posteriormente, se calculó el ángulo de fricción de las discontinuidades

Tabla 80. *Angulo de fricción de las discontinuidades macizo rocoso 3*

Juntas	r	R	φ básico	φ fricción residual	i	φ_p fricción de discontinuidades
J1	20			32	34	66
J2	22	36	41	33	34	67
J3	22			33	34	67

6.10.1.4. Macizo Rocosó 4

Tabla 81. *Angulo de rugosidad de las discontinuidades macizo rocoso 4*

Juntas	Densidad gr/cm^3	Altura m	JRC	r	JCS	σ'_n MPa	JCS/σ'_n	Ángulo de Rugosidad i
S1				23	29,75		1122,64	34
S2	2,29	19	20	22	25,88	0,0265	976,60	34

Posteriormente, se calculó el ángulo de fricción de las discontinuidades

Tabla 82. *Angulo de fricción de las discontinuidades macizo rocoso 4*

Juntas	r	R	φ básico	φ fricción residual	i	φ_p fricción de discontinuidades
S1	23			23	34	67
S2	22	20	33	22	34	67

6.10.2. Análisis Cinemático

Una vez determinado el ángulo de fricción residual y pico de cada una de las familias de discontinuidades que conforman cada uno de los macizos rocosos en estudio; se dio inicio al análisis cinemático, mismo que se lo realizo para los tres tipos de rotura: planar, cuña y vuelco. Cabe aclarar que el análisis cinemático se lo desarrollo para la dirección de talud mas critica “zona con mayor tendencia a deslizarse”

❖ Macizo Rocosó 1

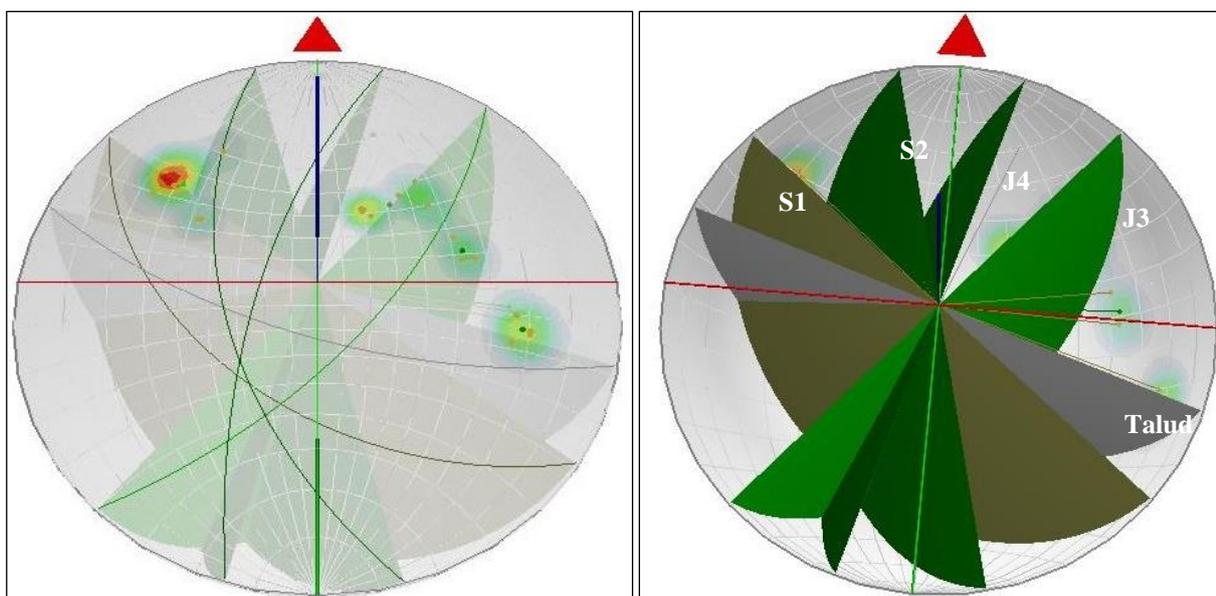


Figura 82. *Macizo Rocosó 1 → Análisis cinemático; Representación 3D de los planos*

▪ **Análisis para Rotura Planar**

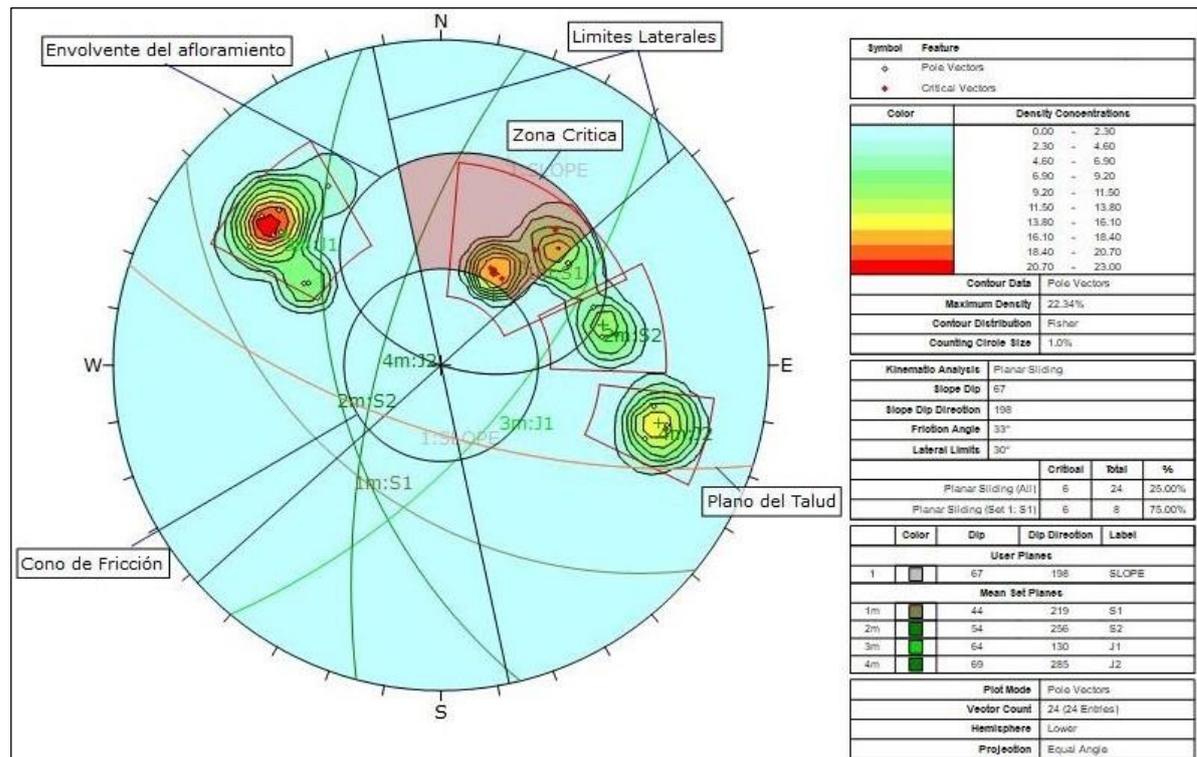


Figura 83. “Macizo Rocoso 1” → Análisis cinemático para rotura planar

En el análisis cinemático realizado al “Macizo Rocoso 1” se determinó que la rotura planar es favorable para el macizo, ya que, el 25.00% de los sectores analizados cumplen las condiciones para que se produzca este tipo de rotura. Es decir, la familia “S1” rompe para este tipo de rotura tomando como dirección de buzamiento del talud 198°. En este contexto se puede verificar que cumple con la condición básica de rotura planar en donde la dirección de buzamiento de la discontinuidad deberá ser similar a la dirección de buzamiento del talud (entre unos 20° aproximadamente), es decir que el rumbo de la discontinuidad planar está dentro de los 20° más próximos al rumbo de la cara del talud, en ambas direcciones.

Asimismo, el buzamiento del plano es menor al buzamiento del talud. Por el contrario, el buzamiento del plano de deslizamiento es menor al ángulo de fricción del mismo plano.

En consecuencia, de lo antes expuesto, el 75,00% de las discontinuidades de las familias que tienden a rotura planar, rompen efectivamente; es decir que, aproximadamente de la muestra tomada, el 25,00% de las discontinuidades rompe efectivamente en forma planar.

▪ **Análisis para Rotura en Cuña**

En el análisis cinemático realizado al “Macizo Rocoso 1” se determinó que la rotura en cuña es favorable para el macizo, ya que, existe intersección entre las familias 2 y 3 “S2-J1”,

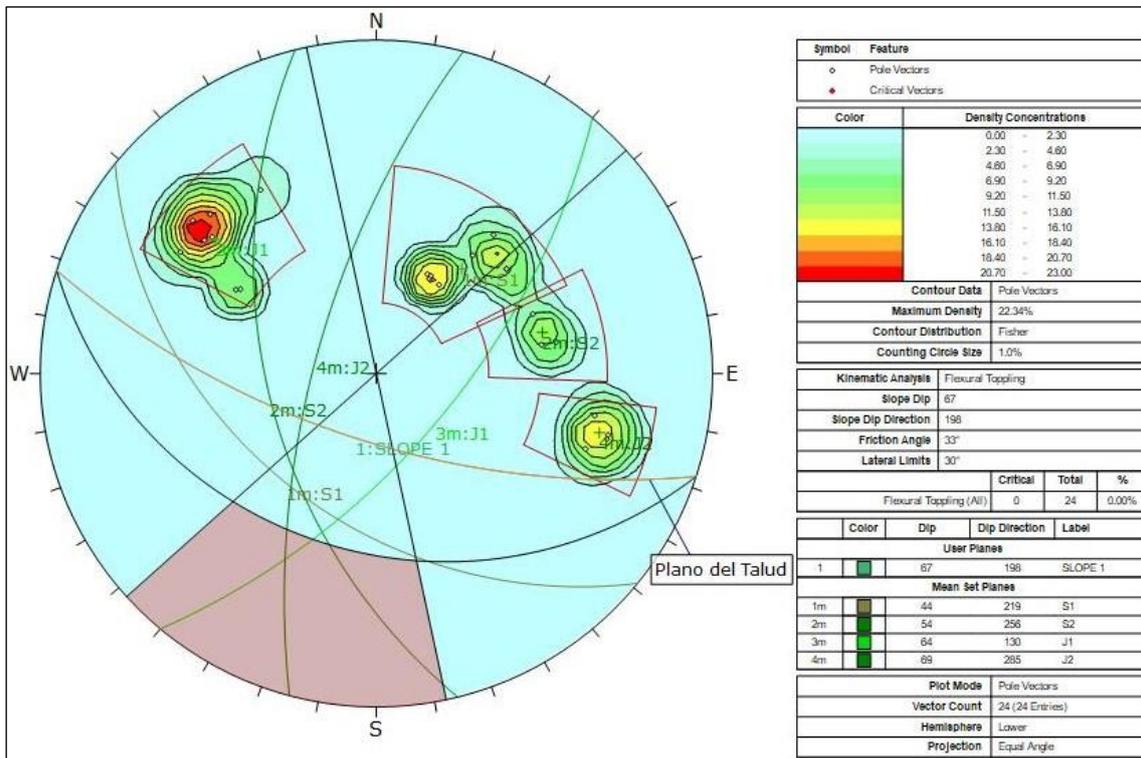


Figura 85. “Macizo Rocos 1 → Análisis cinemático para rotura por vuelco

❖ **Macizo Rocos 2**

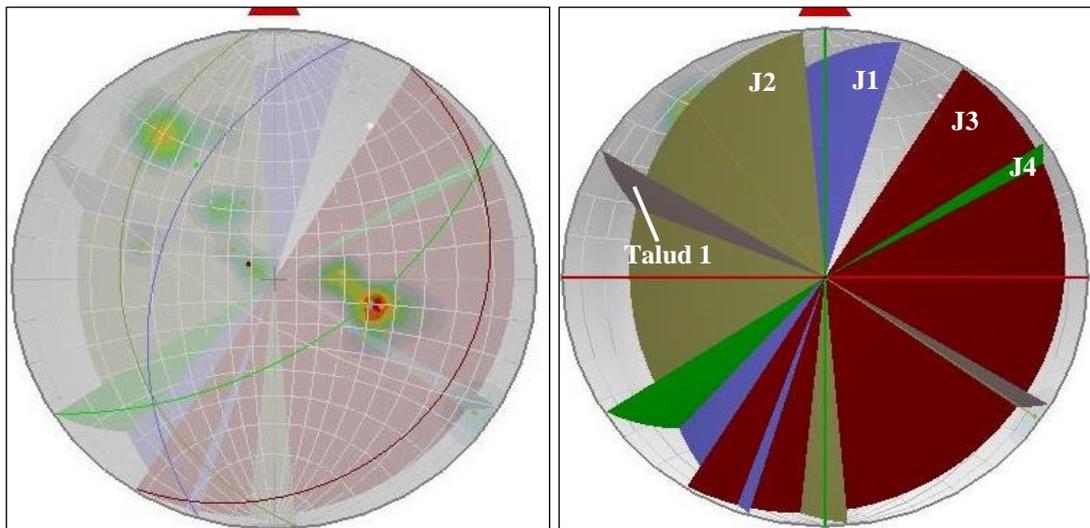


Figura 86. “Macizo Rocos 2 → Análisis cinemático; Representación 3D de los planos

▪ **Análisis para Rotura Planar**

En el análisis cinemático realizado al “Macizo Rocos 2” se determinó que la rotura planar no es favorable para el macizo, pues, el 100.00% de los sectores analizados no cumplen las condiciones para que se produzca este tipo de rotura. Es decir, ninguna de las familias rompe para este tipo de rotura tomando como dirección de buzamiento del talud 198°.

En este contexto se puede verificar que no cumplen con la condición básica de rotura planar en donde la dirección de buzamiento de las discontinuidades deberá ser similar a la dirección de buzamiento del talud (entre unos 20° aproximadamente).

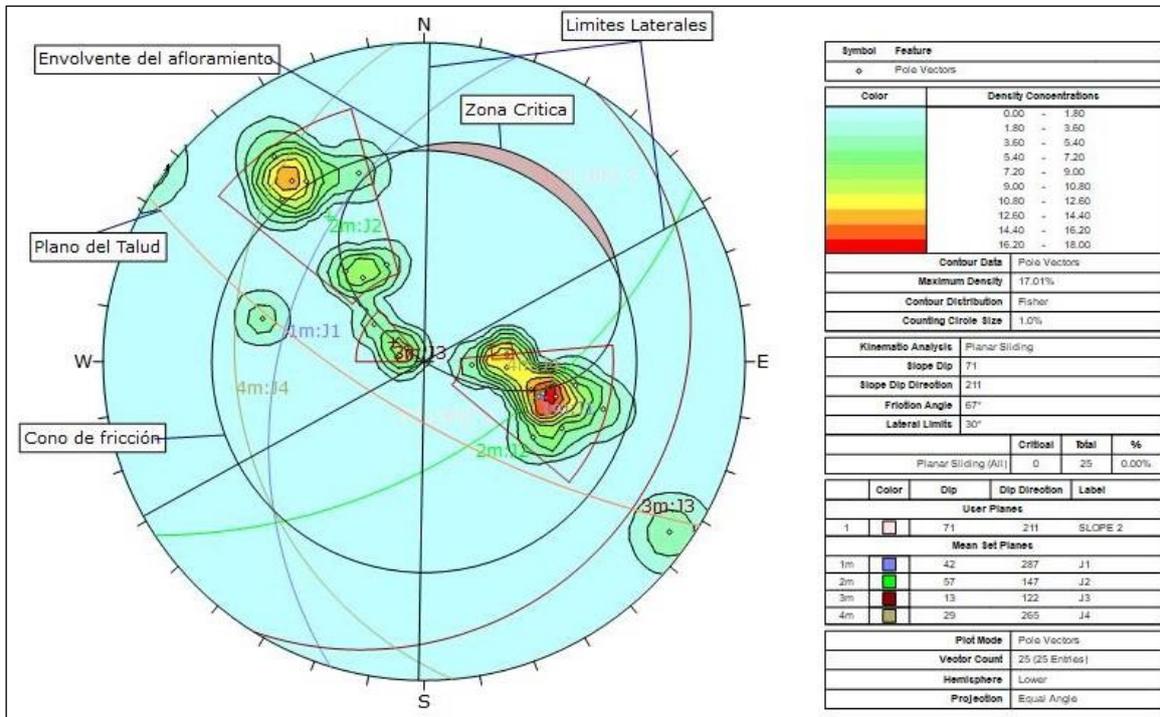


Figura 87. "Macizo Rocoso 2 → Análisis cinemático para rotura planar"

▪ Análisis para Rotura en Cuña

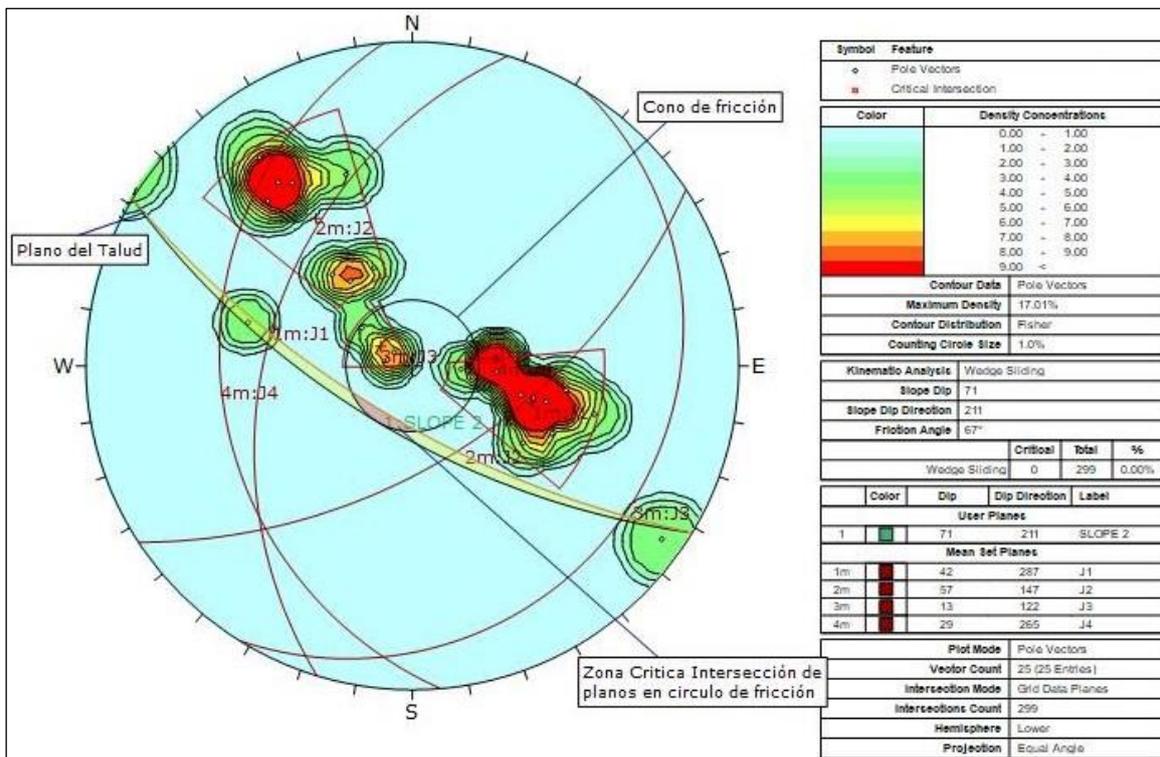


Figura 88. "Macizo Rocoso 2 → Análisis cinemático para rotura en cuña"

En el análisis cinemático realizado al “Macizo Rocos 2” se determinó que la rotura en cuña no es favorable para el macizo, ya que, a pesar de que existe intersección entre las familias 1 y 2 “J1-J2”, la inclinación de la línea de intersección es menor que el ángulo de fricción

De esta forma, se tiene una probabilidad de ocurrencia de rotura tipo cuña del 0.00% de las discontinuidades analizadas.

▪ **Análisis para Rotura por Vuelco**

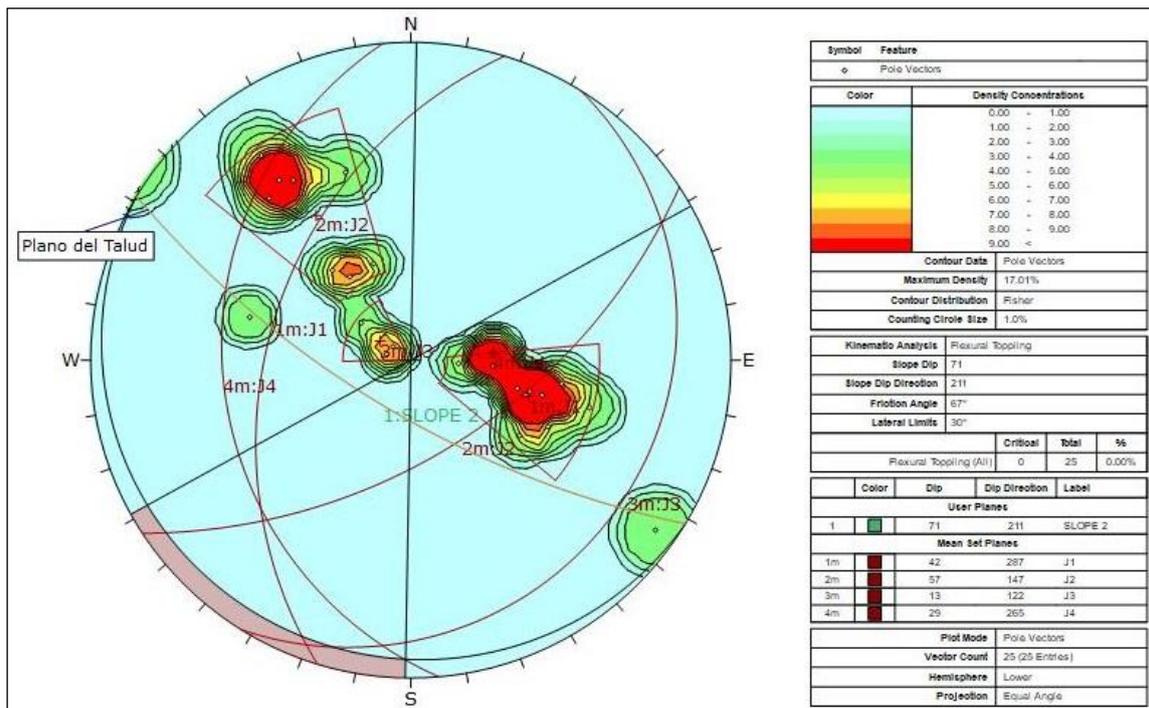


Figura 89. “Macizo Rocos 2 → Análisis cinemático para rotura por vuelco

En el análisis cinemático realizado al “Macizo Rocos 2” se determinó que la rotura por vuelco no es favorable para el macizo, ya que, para que se presente deslizamiento entre capas, la normal al plano de volcamiento debe tener una inclinación menor que la diferencia existente entre el buzamiento de la cara del talud y el ángulo de fricción de la superficie, el cual no es el caso, por lo que la probabilidad de ocurrencia de una rotura por vuelco es del 0.00%.

❖ **Macizo Rocosó 3**

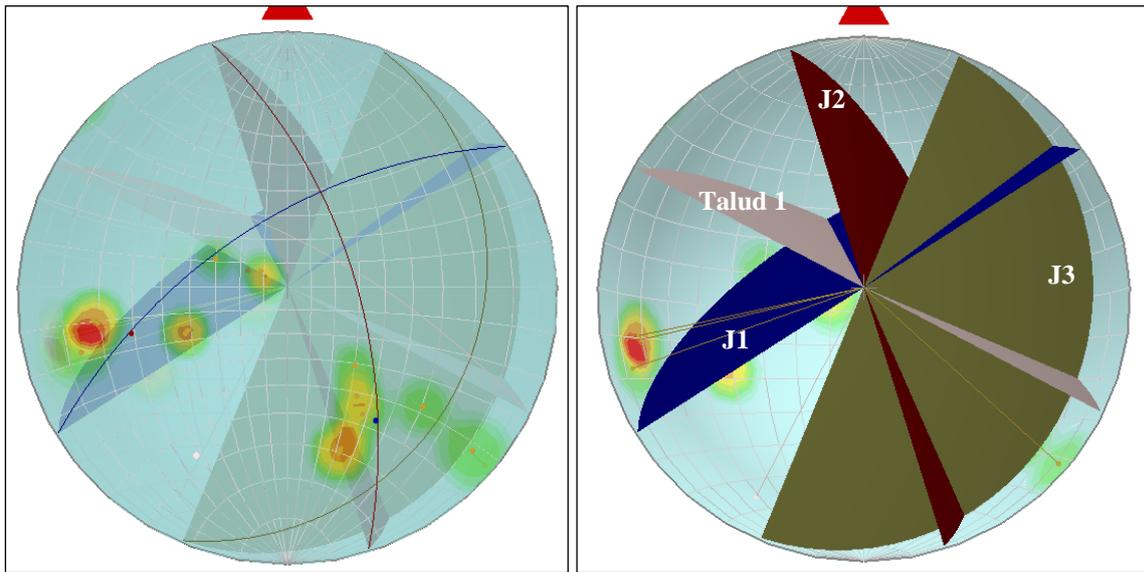


Figura 90. “Macizo Rocosó 3 → Análisis cinemático; Representación 3D de los planos

▪ **Análisis para Rotura Planar**

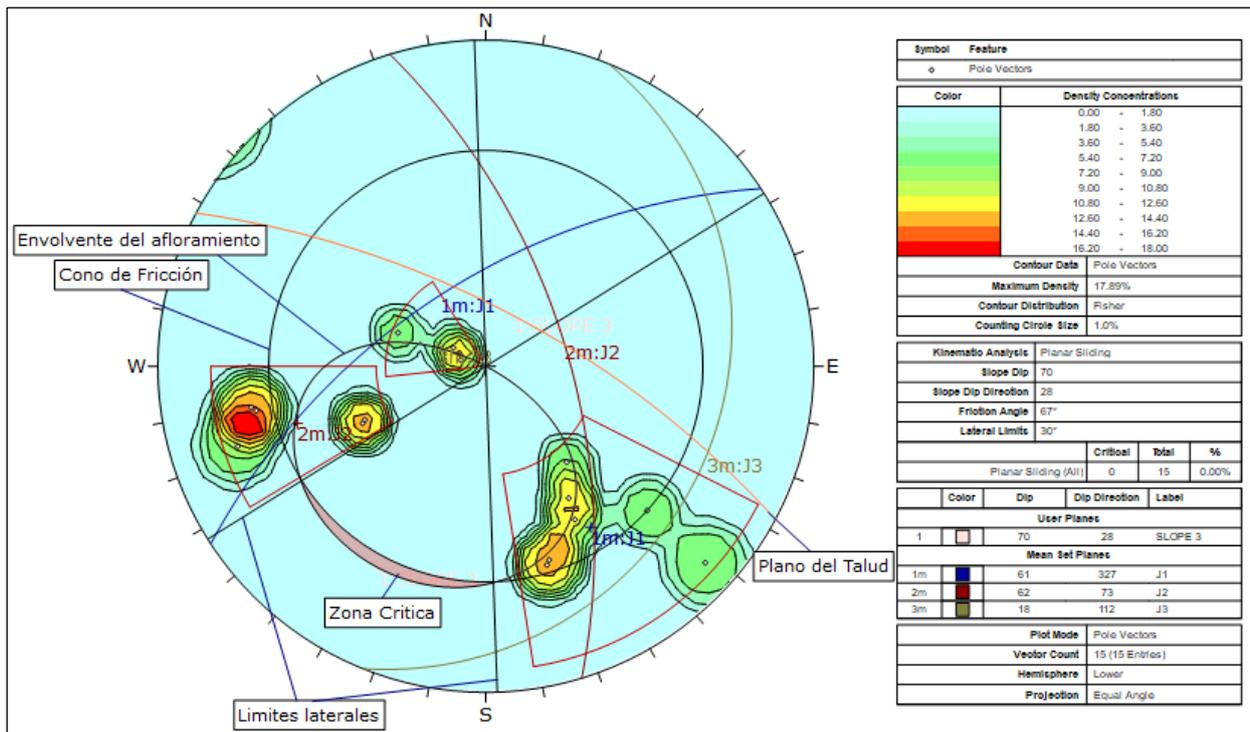


Figura 91. “Macizo Rocosó 3 → Análisis cinemático para rotura planar

En el análisis cinemático realizado al “Macizo Rocosó 3” se determinó que la rotura planar no es favorable para el macizo, pues, el 100.00% de los sectores analizados no cumplen las condiciones para que se produzca este tipo de rotura. Es decir, ninguna de las familias rompe para este tipo de rotura tomando como dirección de buzamiento del talud 28°. En este contexto se puede verificar que no cumplen con la condición básica de rotura planar en donde la dirección

de buzamiento de las discontinuidades deberá ser similar a la dirección de buzamiento del talud (entre unos 20° aproximadamente).

▪ **Análisis para Rotura en Cuña**

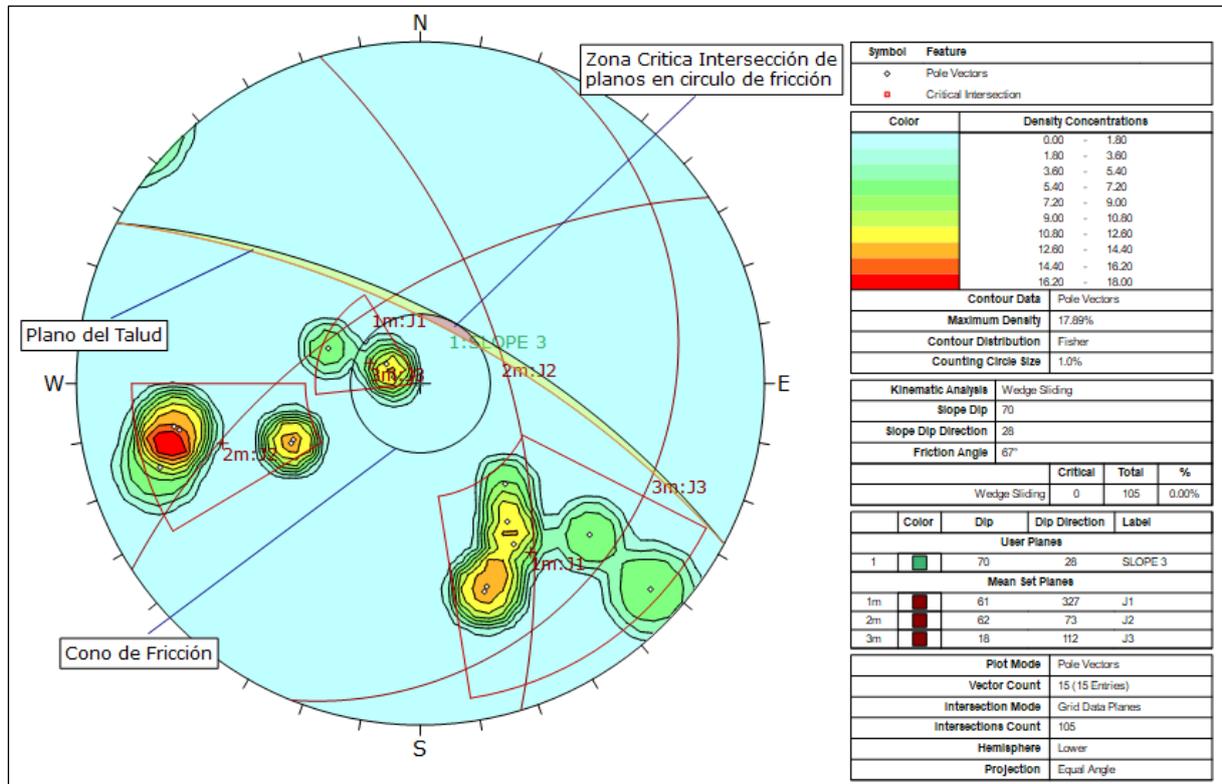


Figura 92. “Macizo Rocosó 3” → Análisis cinemático para rotura en cuña

En el análisis cinemático realizado al “Macizo Rocosó 3” se determinó que la rotura en cuña no es favorable para el macizo, ya que, la inclinación de la línea de intersección es menor que el ángulo de fricción.

De esta forma, se tiene una probabilidad de ocurrencia de rotura tipo cuña del 0.00% de las discontinuidades analizadas.

▪ **Análisis para Rotura por Vuelco**

En el análisis cinemático realizado al “Macizo Rocosó 3” se determinó que la rotura por vuelco no es favorable para el macizo, ya que, para que se presente deslizamiento entre capas, la normal al plano de volcamiento debe tener una inclinación menor que la diferencia existente entre el buzamiento de la cara del talud y el ángulo de fricción de la superficie, el cual no es el caso, por lo que la probabilidad de ocurrencia de una rotura por vuelco es del 0.00%.

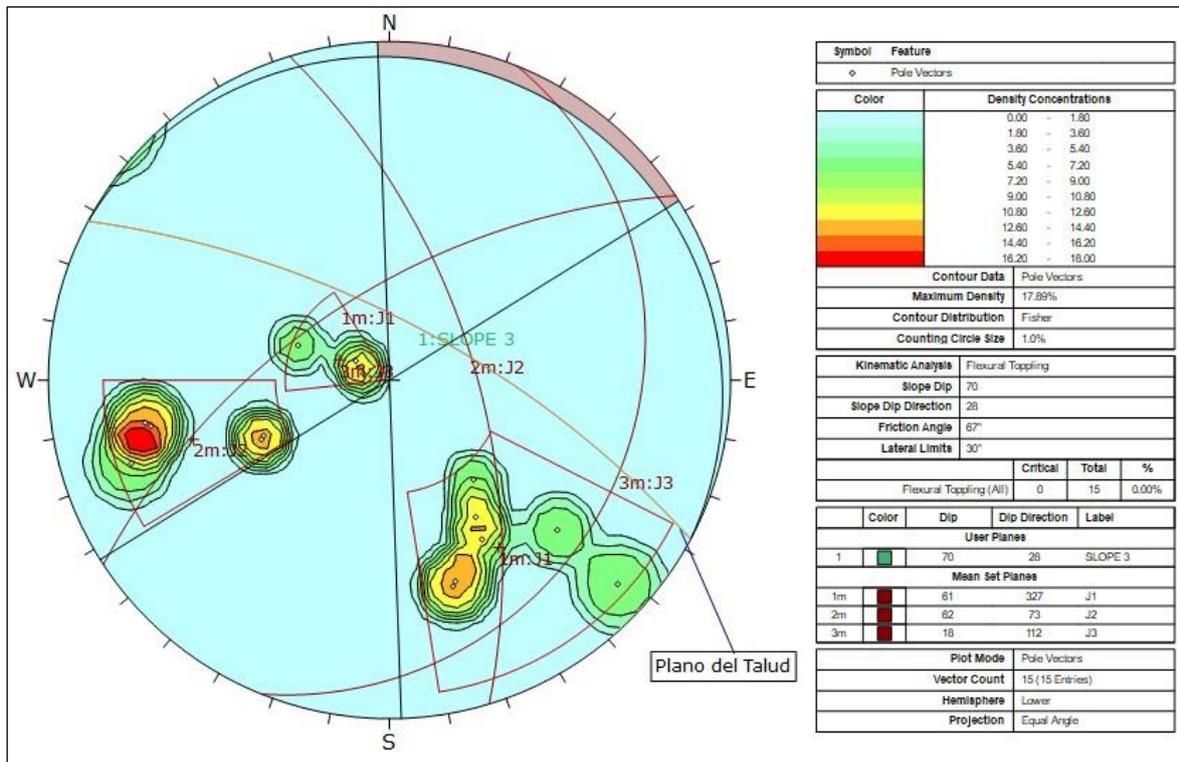


Figura 93. “Macizo Rocos 3 → Análisis cinemático para rotura por vuelco

❖ Macizo Rocos 4

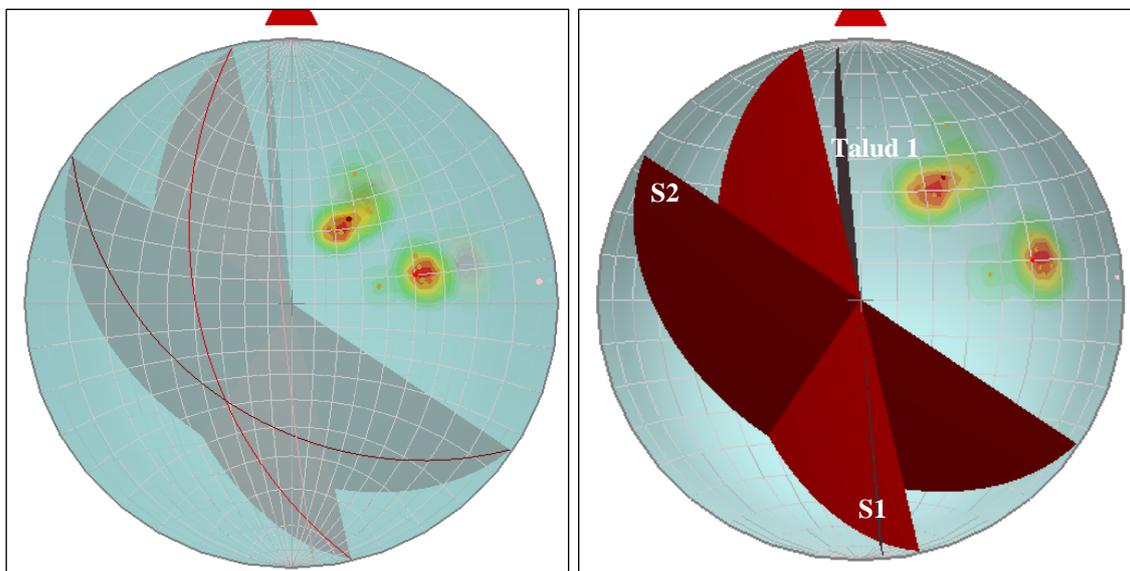


Figura 94. “Macizo Rocos 4 → Análisis cinemático; Representación 3D de los planos

▪ Análisis para Rotura Planar

En el análisis cinemático realizado al “Macizo Rocos 4” se determinó que la rotura planar no es favorable para el macizo, pues, el 100.00% de los sectores analizados no cumplen las condiciones para que se produzca este tipo de rotura. Es decir, ninguna de las familias rompe para este tipo de rotura tomando como dirección de buzamiento del talud 265°. En este contexto se puede verificar que no cumplen con la condición básica de rotura planar en donde la dirección

de buzamiento de las discontinuidades deberá ser similar a la dirección de buzamiento del talud (entre unos 20° aproximadamente).

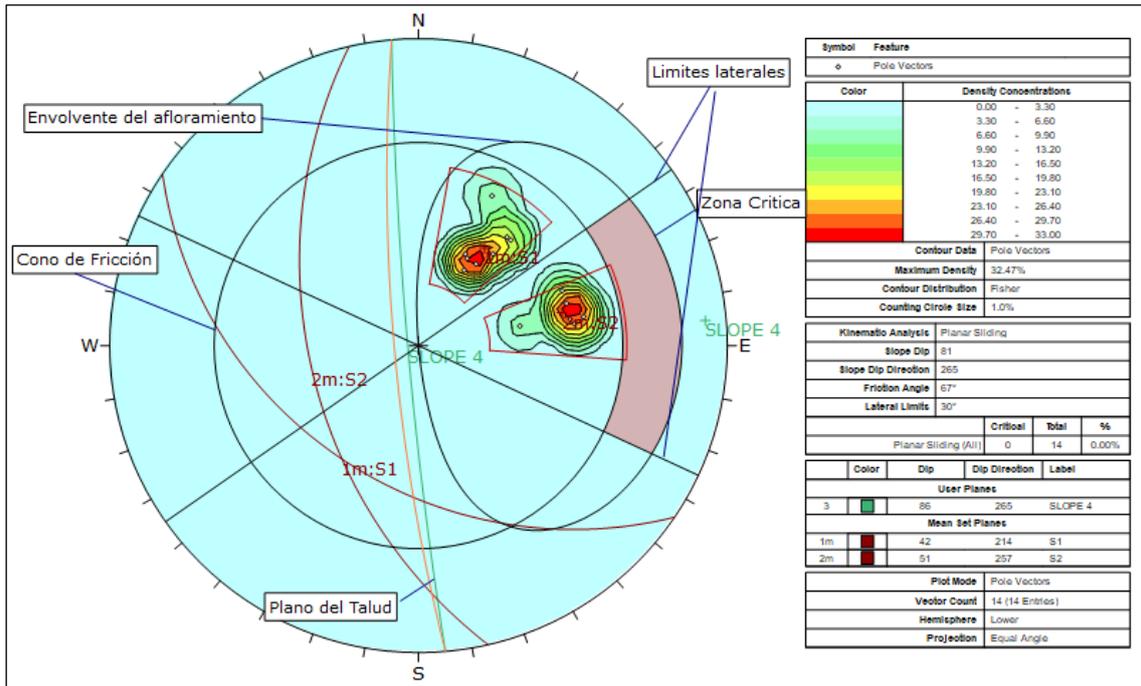


Figura 95. “Macizo Rocoso 4 → Análisis cinemático para rotura planar

▪ Análisis para Rotura en Cuña

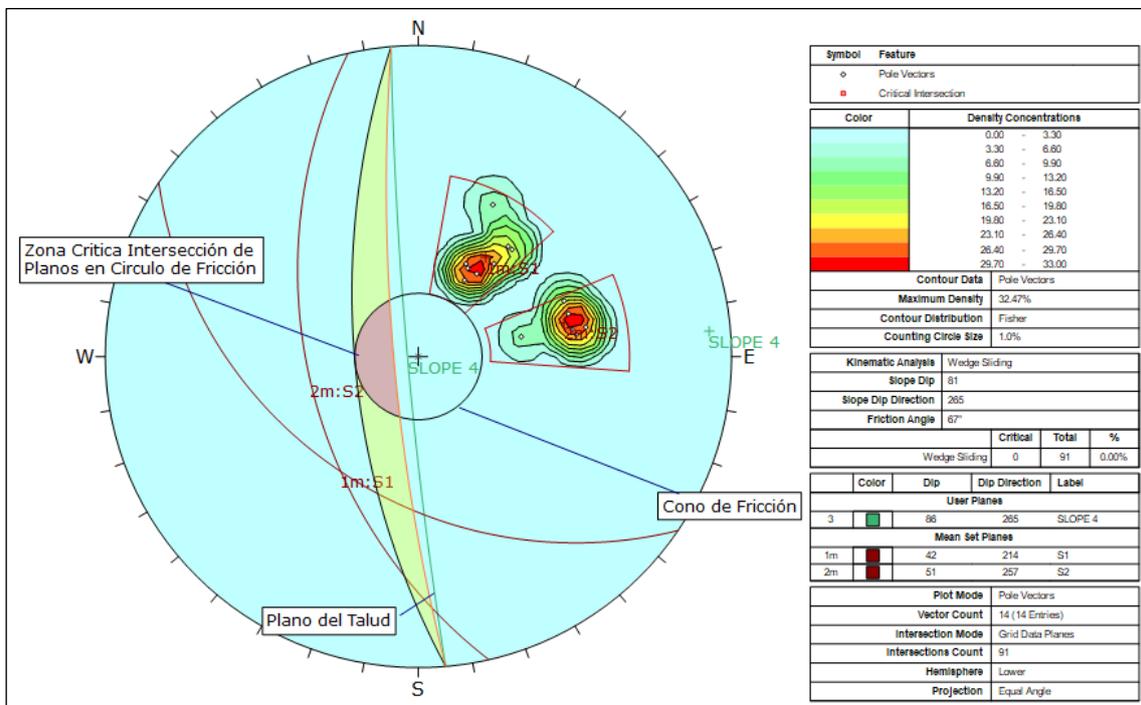


Figura 96. “Macizo Rocoso 4 → Análisis cinemático para rotura en cuña

En el análisis cinemático realizado al “Macizo Rocoso 4” se determinó que la rotura en cuña no es favorable para el macizo, ya que, a pesar de que existe intersección entre las familias 1 y 2 “S1-S2”, la inclinación de la línea de intersección es menor que el ángulo de fricción

De esta forma, se tiene una probabilidad de ocurrencia de rotura tipo cuña del 0.00% de las discontinuidades analizadas.

▪ **Análisis para Rotura por Vuelco**

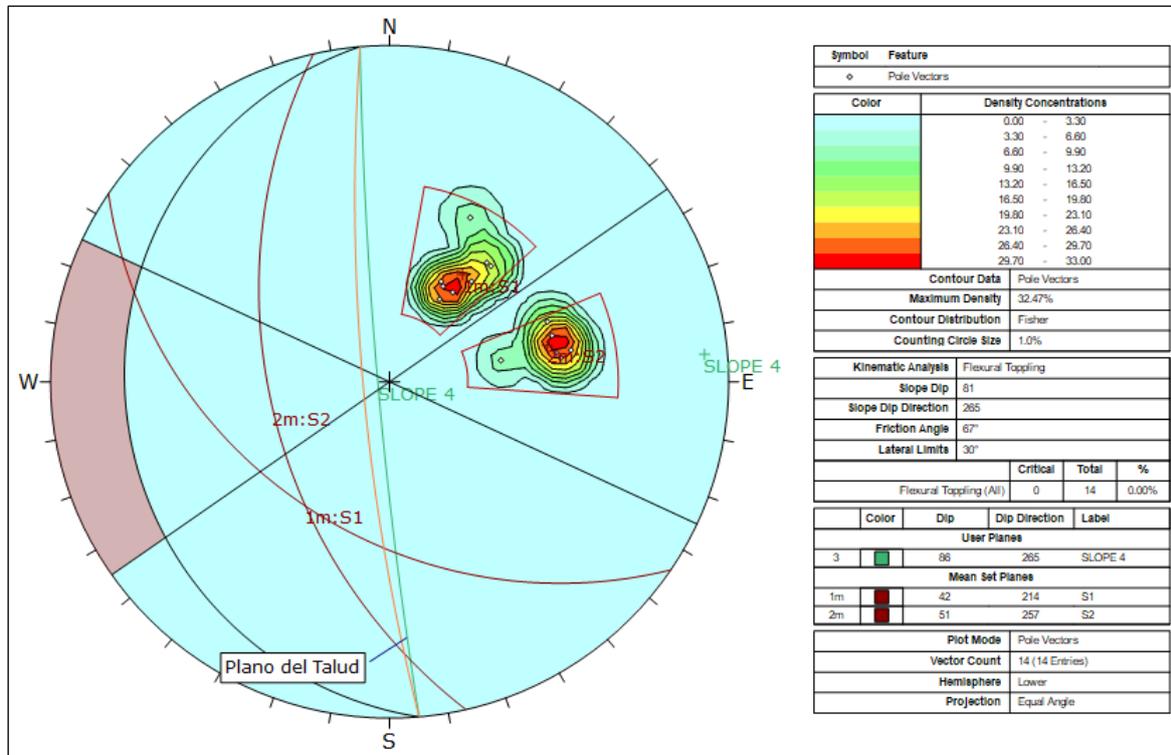


Figura 97. “Macizo Rocoso 4” → Análisis cinemático para rotura por vuelco

En el análisis cinemático realizado al “Macizo Rocoso 4” se determinó que la rotura por vuelco no es favorable para el macizo, ya que, para que se presente deslizamiento entre capas, la normal al plano de volcamiento debe tener una inclinación menor que la diferencia existente entre el buzamiento de la cara del talud y el ángulo de fricción de la superficie, el cual no es el caso, por lo que la probabilidad de ocurrencia de una rotura por vuelco es del 0.00%.

6.10.3. Análisis de Estabilidad Global

En base a los resultados del análisis cinemático se calculó el factor de seguridad de los macizos rocosos que presentaron o presentan indicadores de algún tipo de rotura, ya sea planar, cuña y vuelco.

❖ **Macizo Rocoso 1**

▪ **Análisis de Rotura Planar en el Estado Actual**

El análisis de la rotura planar se llevó a cabo utilizando enfoques deterministas, ya que se refiere a una serie de discontinuidades, específicamente la S1 en este caso, que tiende a producir este tipo de rotura.

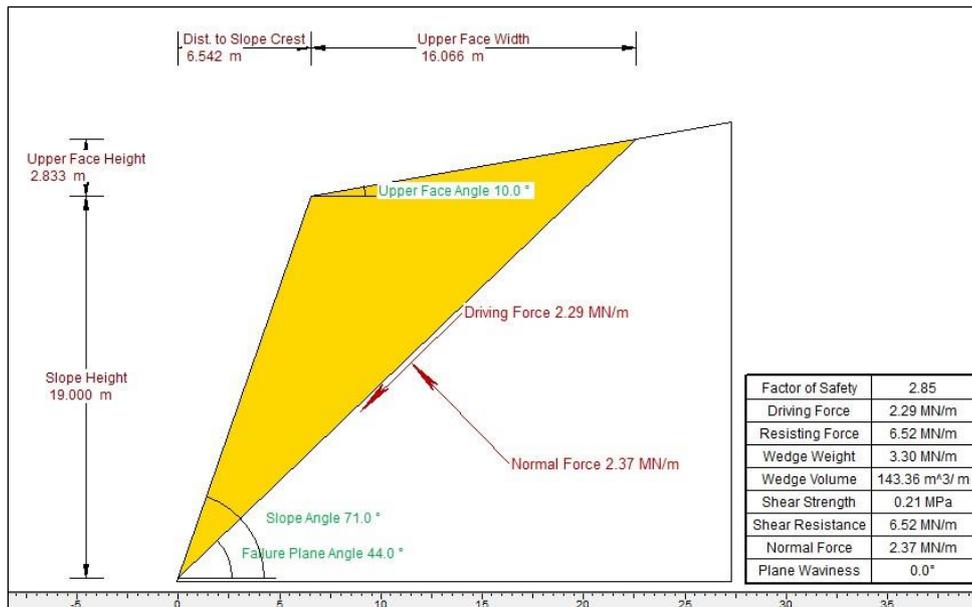


Figura 98. “Macizo Rocoso 1” → Análisis de Rotura Planar

El factor de seguridad para el “Macizo Rocoso 1” en el estado actual corresponde a 2.85 valor que se traduce a “ESTABLE”.

▪ Análisis de Rotura Planar en Condiciones Pseudo – Estáticas

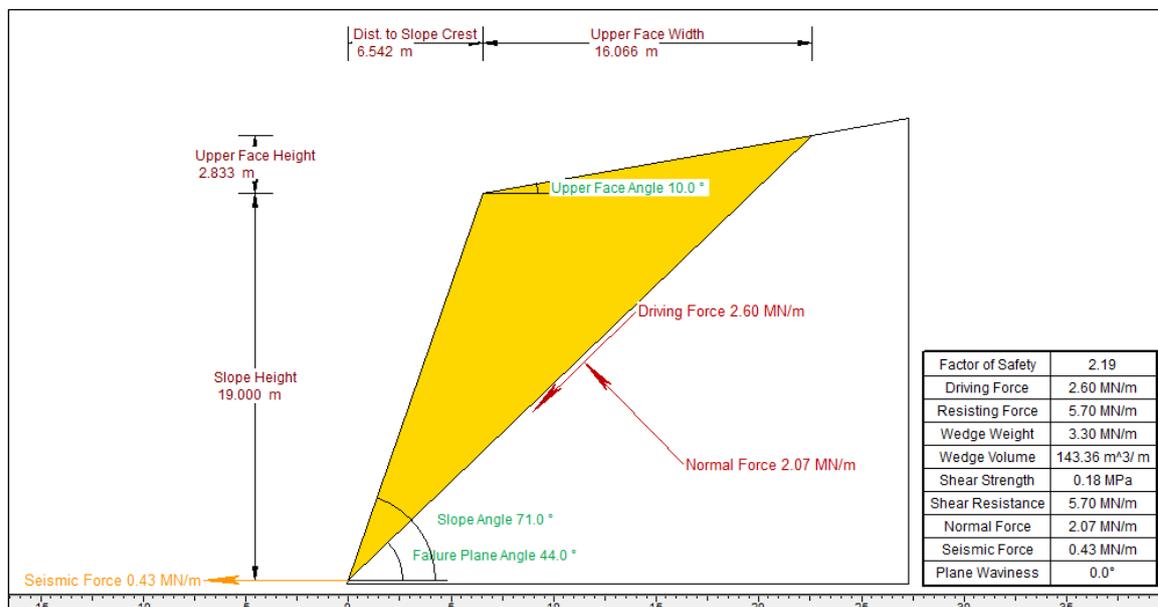


Figura 99. “Macizo Rocoso 1” → Análisis de Rotura Planar

El factor de seguridad para el “Macizo Rocoso 1” en condiciones pseudo-estáticas corresponde a 2.19 valor que se traduce a “ESTABLE”.

▪ Análisis de Rotura en Cuña en Estado Actual P – 01

El análisis para rotura en cuña en el estado actual de las familias 1 y 3 “S1-J1”, del “Macizo Rocoso 1” dio como resultado un factor de seguridad de 3.63, por lo que el talud se encuentra en estado “ESTABLE”.



Figura 100. “Macizo Rocoso 1” → Análisis de Rotura en Cuña

- **Análisis de Rotura en Cuña en Condiciones Pseudo – Estáticas P – 01**

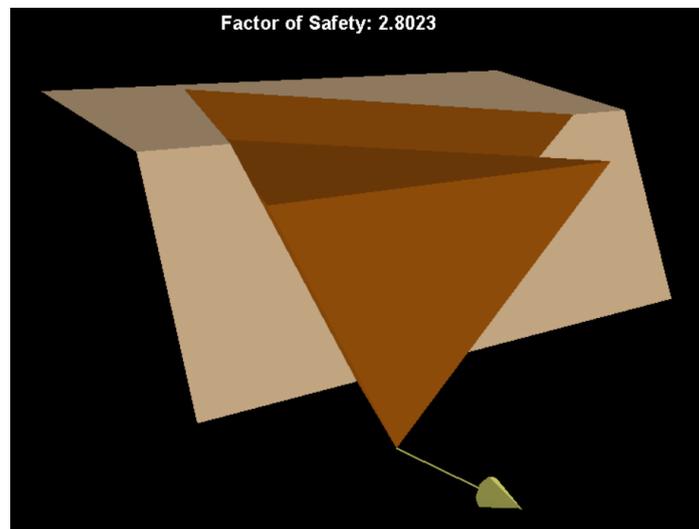


Figura 101. “Macizo Rocoso 1” → Análisis de Rotura en Cuña

El análisis para rotura en cuña bajo condiciones pseudo-estáticas de las familias 1 y 3 “S1-J1”, del “Macizo Rocoso 1”, dio como resultado un factor de seguridad de 2.80, por lo que el talud se encuentra en estado “ESTABLE”.

- **Análisis de Rotura en Cuña en Estado Actual P – 02**

El análisis para rotura en cuña en el estado actual de las familias 2 y 3 “S2-J1”, del “Macizo Rocoso 1” dio como resultado un factor de seguridad de 2.02, por lo que el talud se encuentra en estado “ESTABLE”.

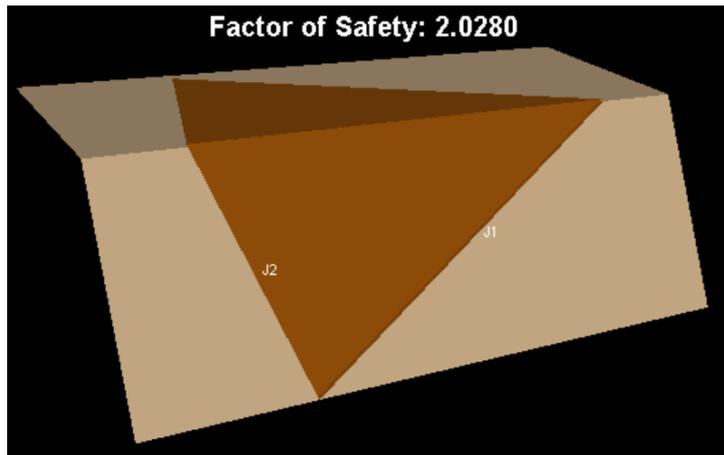


Figura 102. “Macizo Rocosó 1” → Análisis de Rotura en Cuña

- **Análisis de Rotura en Cuña en Condiciones Pseudo – Estáticas P – 02**

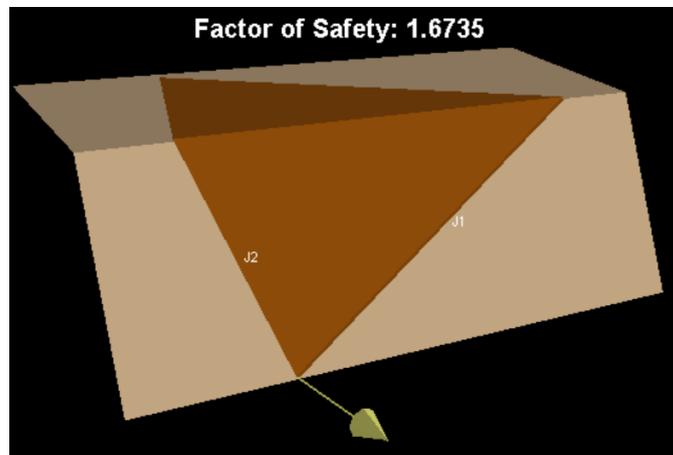


Figura 103. “Macizo Rocosó 1” → Análisis de Rotura en Cuña

El análisis para rotura en cuña bajo condiciones pseudo-estáticas de las familias 2 y 3 “S2-J1”, del “Macizo Rocosó 1”, dio como resultado un factor de seguridad de 1.67, por lo que el talud se encuentra en estado “ESTABLE”.

- ❖ **Macizo Rocosó 2**

El análisis de la rotura planar en este macizo se realizó únicamente con el propósito de evaluar la estabilidad de la familia 1 “J1” en relación con la dirección preferente de inestabilidad del talud, considerando a la vez el ángulo de fricción residual y no el ángulo de fricción pico.

- **Análisis de Rotura Planar en el Estado Actual**

El factor de seguridad para el “Macizo Rocosó 1” en el estado actual corresponde a 3.05 valor que se traduce a “ESTABLE”.

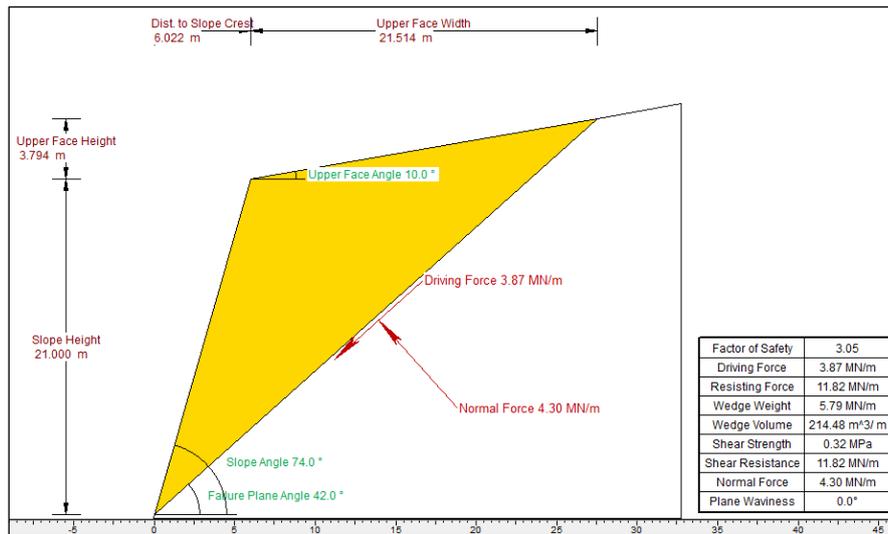


Figura 104. “Macizo Rocosó 2” → Análisis de Rotura Planar

▪ Análisis de Rotura Planar en Condiciones Pseudo – Estáticas

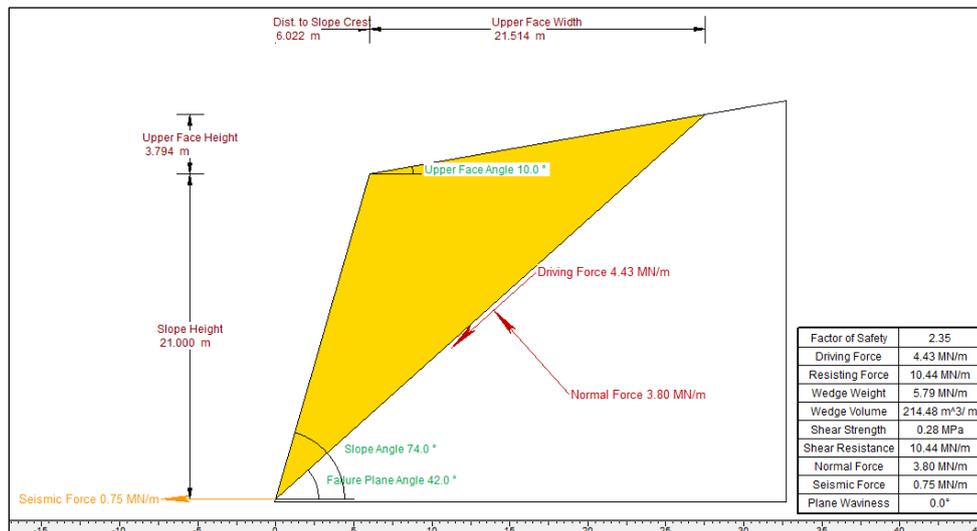


Figura 105. “Macizo Rocosó 2” → Análisis de Rotura Planar

El factor de seguridad para el “Macizo Rocosó 2” en condiciones pseudo-estáticas corresponde a 2.35 valor que se traduce a “ESTABLE”.

A continuación, se presenta una tabla resumen “tabla 83”, de los factores de seguridad de cada uno de los macizos rocosos que se analizó para los tipos de rotura definidos en el análisis cinemático

En donde:

- Inestable = $Fs < 1.0$
- Critico = $FS 1.0 - 1.5$
- Estable = $FS > 1.5$

Tabla 83. Factores de Seguridad del Macizo Rocosos

	Estático		Condición	Pseudo-estático		Condición
	Rotura Planar	Rotura en Cuña		Rotura Planar	Rotura en Cuña	
Macizo Rocosos 1	2.85	3.63	Estable	2.19	2.02	Estable
		2.80	Estable		1.67	Estable
	Estable			Estable		
	Estático		Pseudo-estático			
	Rotura Planar					
Macizo Rocosos 2	3.05	Estable	2.35	Estable		

6.10.4. Análisis de Resistencia de los Macizos Rocosos Mediante el Criterio de Rotura de Hoek – Brown

La elección de este criterio se fundamenta en la necesidad de evaluar la estabilidad de los 4 macizos rocosos del área de estudio, ya que, para calcular el factor de seguridad, es esencial expresar los parámetros de resistencia en términos de cohesión y ángulo de fricción, tal como lo prescribe el criterio de Mohr-Coulomb.

En este contexto, para llevar a cabo el análisis se consideró ciertos parámetros “Tabla 84”, obtenidos de los ensayos para la determinación de las propiedades físicas – mecánicas de las rocas.

Tabla 84. Datos para el análisis de resistencia de los macizos rocosos

	σ_c Mpa	GSI	Densidad gr/cm ³	Altura m	Factor de Perturbación
Macizo Rocosos 1	22,62 Mpa	51.50	2,33	19	0,70
Macizo Rocosos 2	54,45 Mpa	67,00	2,77	21	
Macizo Rocosos 3	54,45 Mpa	71,00	2,77	13	
Macizo Rocosos 4	23,80 Mpa	61,00	2,29	19	

En la Figura 106, Figura 107, Figura 108 y Figura 108, se presenta la representación gráfica del análisis de resistencia realizado en los cuatro macizos rocosos mediante el empleo del software RocLab. En la primera gráfica, se exhiben las fuerzas principales menor y mayor que se han aplicado, mientras que, en la segunda gráfica, se ilustra el esfuerzo normal en función del esfuerzo cortante. Vale la pena destacar que se han incorporado tres curvas significativas para un análisis más completo:

- ✓ La línea de color naranja representa la “Envolvente de Mohr-Coulomb”, que es un criterio fundamental en la geomecánica para evaluar la resistencia de los materiales y las estructuras.
- ✓ La línea color azul corresponde al criterio de Hoek-Brown, que se utiliza especialmente en macizos rocosos con presencia de discontinuidades, como fracturas y juntas.
- ✓ La línea de color verde representa la Línea de Mogi. Línea que cuando se encuentra por debajo de la envolvente de resistencia de Mohr-Coulomb, indica que el modo de rotura es frágil, es decir, es más propenso a la fractura. Por otro lado, si la línea se encuentra por encima, se sugiere una deformación más dúctil, es decir, es más propenso a la deformación plástica antes de romperse.

6.10.4.1. Análisis de Resistencia “Macizo Rocosó 1” Mediante el Criterio de Rotura de Hoek – Brown

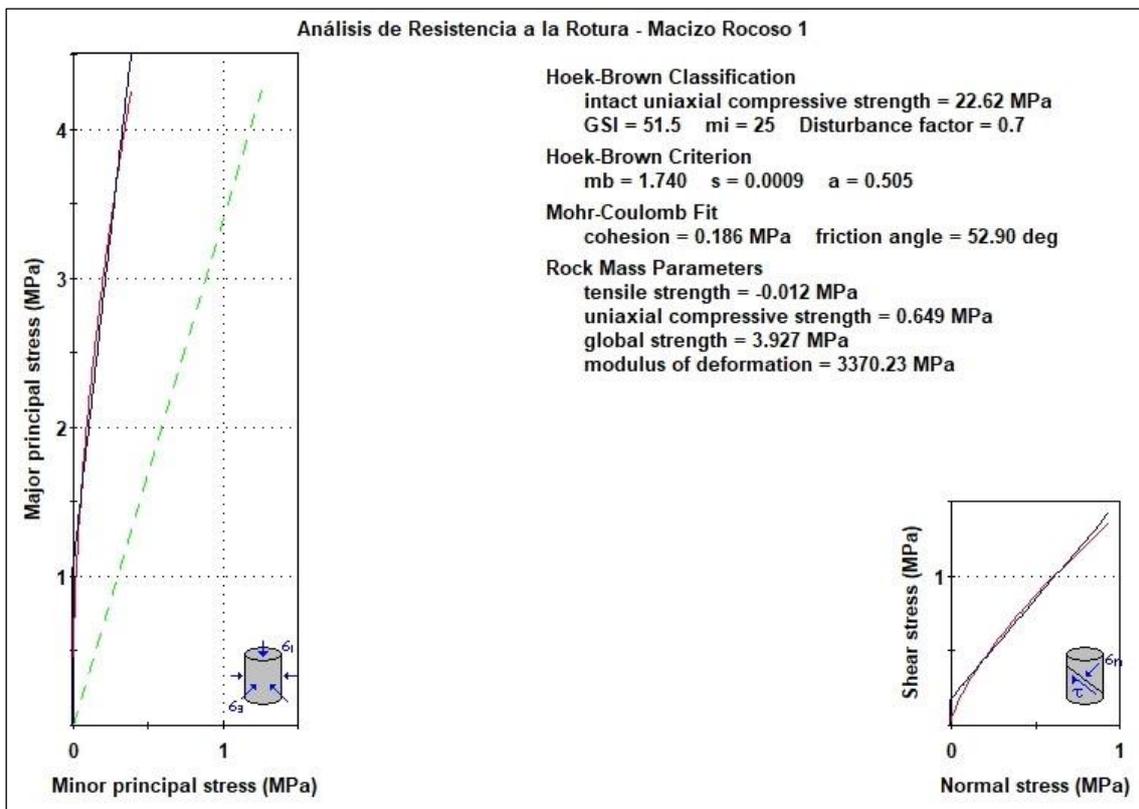


Figura 106. “Macizo Rocosó 1 → Análisis de resistencia criterio de rotura de Hoek & Brown

En la Figura 106, “Análisis de Resistencia a la Rotura del Macizo Rocosó 1 Bajo el Criterio de Rotura de Hoek & Brown” se logró determinar una $mb \rightarrow$ tensión = 1.740, una $s \rightarrow$ intensidad de esfuerzo = 0.0009 y una $a \rightarrow$ ductilidad = 0.505. Mientras que bajo el Criterio de Mohr-Coulomb se obtuvo una $c \rightarrow$ cohesión = 0.186 MPa y un ángulo de fricción = 52.90°.

6.10.4.2. Análisis de Resistencia “Macizo Rocosó 2” Mediante el Criterio de Rotura de Hoek – Brown

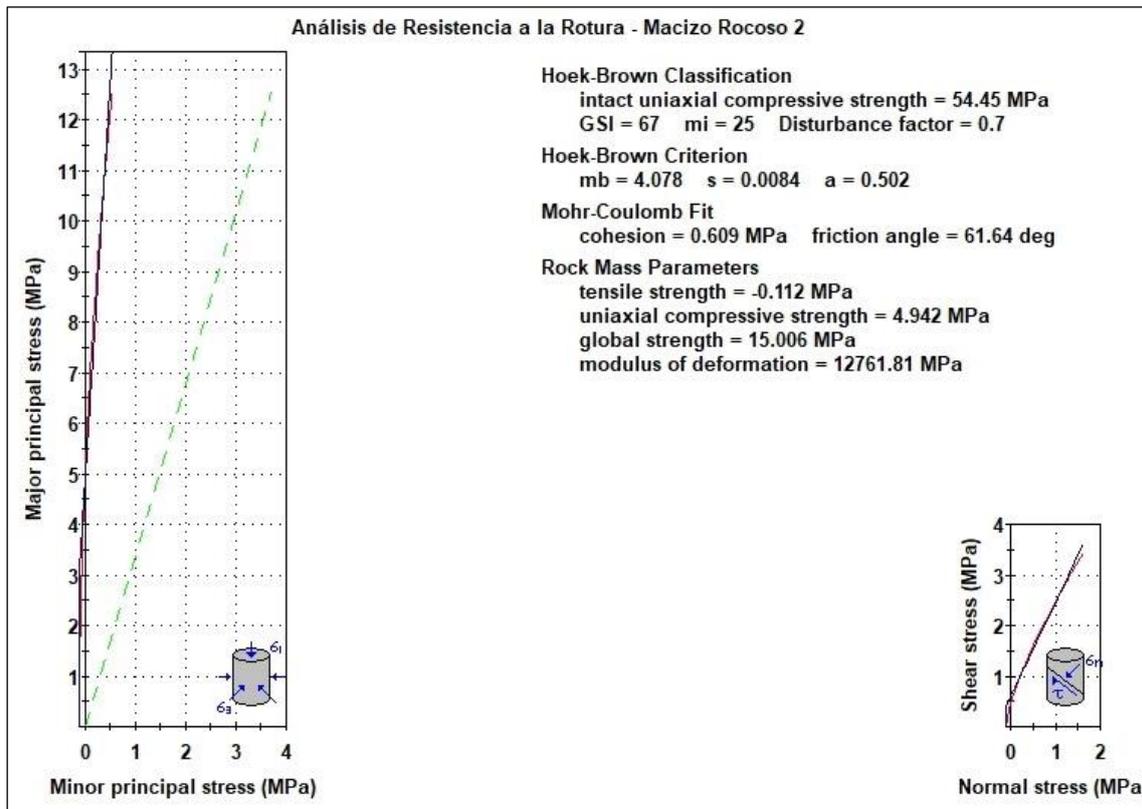


Figura 107. “Macizo Rocosó 2 → Análisis de resistencia criterio de rotura de Hoek & Brown

En la Figura 107, “Análisis de Resistencia a la Rotura del Macizo Rocosó 2 Bajo el Criterio de Rotura de Hoek & Brown” se logró determinar una $mb \rightarrow$ tensión = 4.078, una $s \rightarrow$ intensidad de esfuerzo = 0.0084 y una $a \rightarrow$ ductilidad = 0.502. Mientras que bajo el Criterio de Mohr-Coulomb se obtuvo una $c \rightarrow$ cohesión = 0.609 MPa y un ángulo de fricción = 61.64°.

6.10.4.3. Análisis de Resistencia “Macizo Rocosó 3” Mediante el Criterio de Rotura de Hoek – Brown

En la Figura 108, “Análisis de Resistencia a la Rotura del Macizo Rocosó 3 Bajo el Criterio de Rotura de Hoek & Brown” se logró determinar una $mb \rightarrow$ tensión = 5.081, una $s \rightarrow$ intensidad de esfuerzo = 0.0150 y una $a \rightarrow$ ductilidad = 0.501. Mientras que bajo el Criterio de Mohr-Coulomb se obtuvo una $c \rightarrow$ cohesión = 0.697 MPa y un ángulo de fricción = 64.34°.

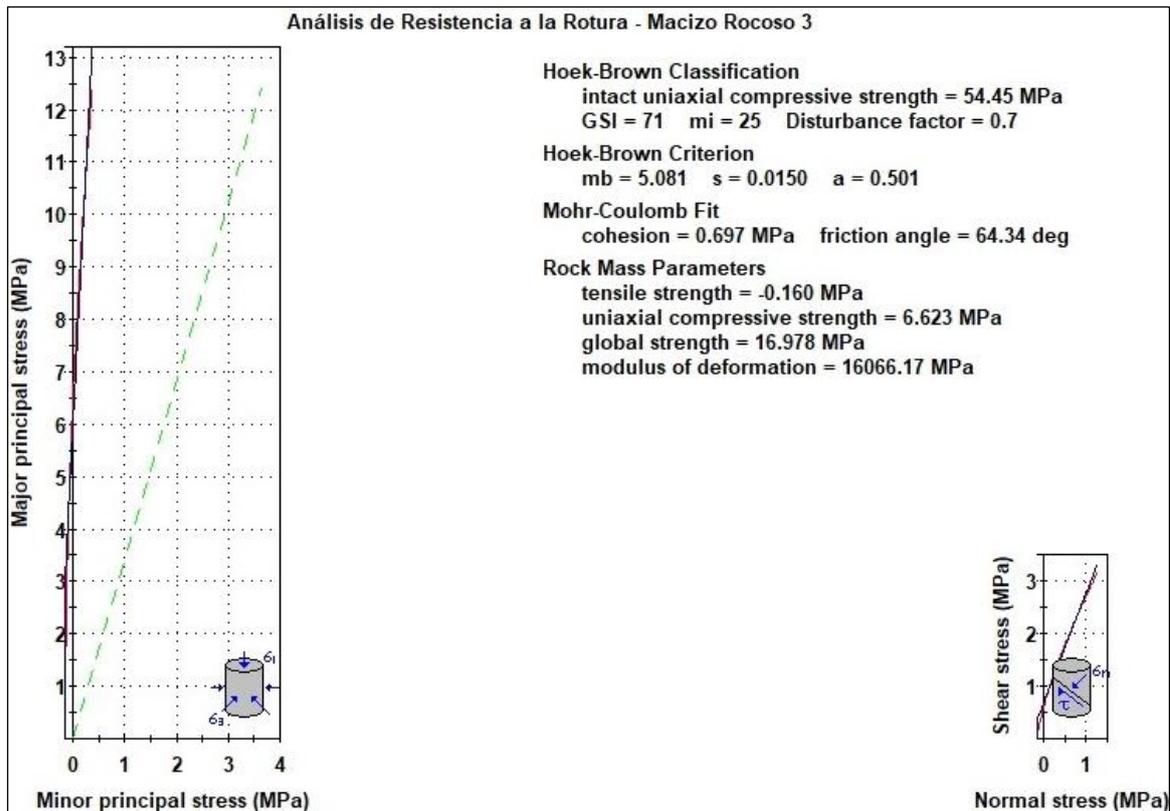


Figura 108. “Macizo Rocoso 3 → Análisis de resistencia criterio de rotura de Hoek & Brown

6.10.4.4. Análisis de Resistencia “Macizo Rocoso 4” Mediante el Criterio de Rotura de Hoek – Brown

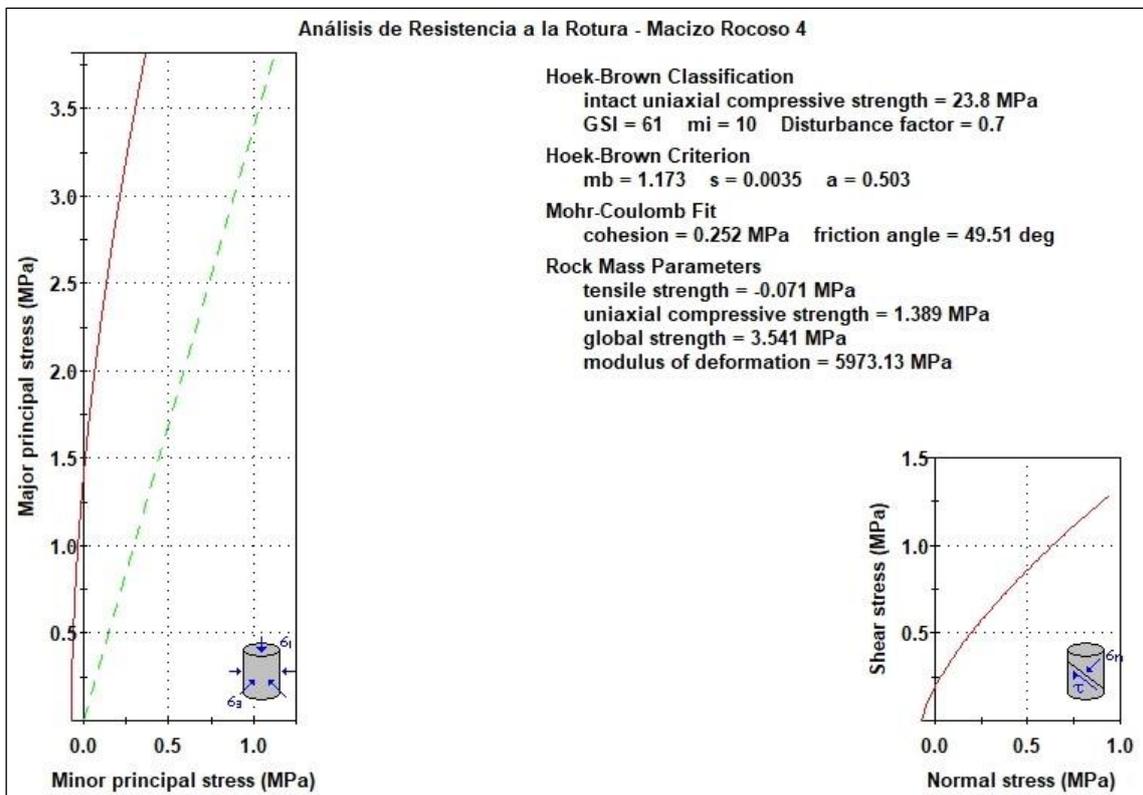


Figura 109. “Macizo Rocoso 4 → Análisis de resistencia criterio de rotura de Hoek & Brown

En la Figura 109, “Análisis de Resistencia a la Rotura del Macizo Rocosó 4 Bajo el Criterio de Rotura de Hoek & Brown” se logró determinar una $mb \rightarrow tensión = 1.173$, una $s \rightarrow intensidad de esfuerzo = 0.0035$ y una $a \rightarrow ductilidad = 0.503$. Mientras que bajo el Criterio de Mohr-Coulomb se obtuvo una $c \rightarrow cohesión = 0.252 MPa$ y un $ángulo de fricción = 49.51^\circ$.

❖ Resumen del Análisis de Resistencia de los Macizos Rocosos

En la tabla 85, se presentan los valores de los parámetros de resistencia en términos de cohesión y ángulo de fricción, de los cuatro macizos rocosos, mismos que se calculó considerando el criterio de Hoek & Brown ajustado al criterio de Mohr-Coulomb.

Tabla 85. Resultados del análisis de resistencia de los macizos rocosos

	σc Mpa	GSI	Densidad gr/cm ³	Altura m	Factor de Perturbación	Angulo de Fricción ϕ	Cohesión Kg/cm ²
Macizo Rocosó 1	22,62	52.50	2,33	19	0,70	52,90	1,89
Macizo Rocosó 2	54,45	67	2,77	21		61,64	6,21
Macizo Rocosó 3	54,45	71	2,77	13		64,34	7,11
Macizo Rocosó 4	23,80	61	2,29	19		49,51	2,61

6.10.5. Análisis de Estabilidad Global en el Estado Actual y Pseudoestático

Este análisis a diferencia de los anteriores se ejecutó tanto para roca como para suelo, es decir, se realizó para los 4 macizos rocosos y para los 2 deslizamientos estudiados, esto con la finalidad de evaluar el factor de seguridad de cada uno. Factor de seguridad que se evaluó tanto para condiciones estáticas, como para condiciones pseudo-estáticas, es decir considerando un coeficiente supuesto de aceleración horizontal, originado en un evento sísmico.

Tabla 86. Parámetros físico-mecánicos de los macizos rocosos evaluados

	Litología	Ensayo	Densidad KN/m ³	Angulo de Fricción ϕ	Cohesión Kg/cm ²
Macizo Rocosó 1	Riolitas	Compresión Simple & Propiedades físico mecánicas	23,30	53,30	1,91
Macizo Rocosó 2	Brechas Piroclásticas, Basálticas		27,70	61,60	6,23
Macizo Rocosó 3			27,70	64,44	7,08
Macizo Rocosó 4	Esquistos		22,90	49,51	2,61

Tabla 87. Parámetros físico-mecánicos de los deslizamientos evaluados

	Litología	Ensayo	Densidad KN/m ³	Angulo de Fricción ϕ	Cohesión Kg/cm ²
Deslizamiento 01	Arcilla arenosa de media plasticidad	Refracción Sísmica	12,48	21,05	-
		Ensayo SPT	12,59	21,05	0,96
	Arcilla arenosa de baja plasticidad	Refracción Sísmica	12,98	22	-
		Ensayo Triaxial	12,12	16,70	0,85
	Arenas con gravas	Ensayo SPT	12,76	21,05	0,90
		Refracción Sísmica	14,41	32	-
Deslizamiento 02	Arcilla arenosa de media plasticidad	Ensayo Triaxial	12,60	29,05	0,36
		Ensayo SPT	15,01	23,41	0,52
	Arcilla arenosa de baja plasticidad	Refracción Sísmica	12,48	21,05	-
		Ensayo SPT	12,59	21,05	0,96
	Arenas con gravas	Refracción Sísmica	12,98	22	-
		Ensayo Triaxial	12,12	16,70	0,85
		Ensayo SPT	12,76	21,05	0,90
		Refracción Sísmica	14,41	32	-
		Ensayo Triaxial	12,60	29,05	0,36
		Ensayo SPT	15,01	23,41	0,52

❖ **Macizo Rocoso Nro. 1**

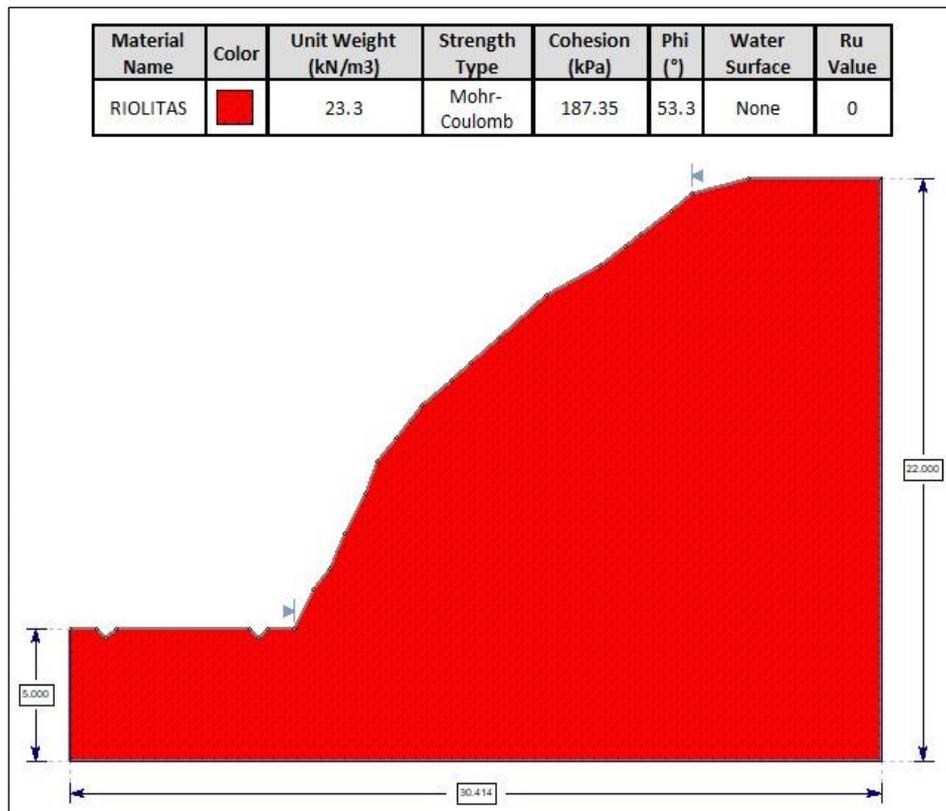


Figura 110. “Macizo Rocoso 1”

Este macizo rocoso formado por rocas riolíticas, según el análisis de estabilidad global en el estado actual tiene un factor de seguridad de 3.51 por ende, se encuentra en una condición “ESTABLE”

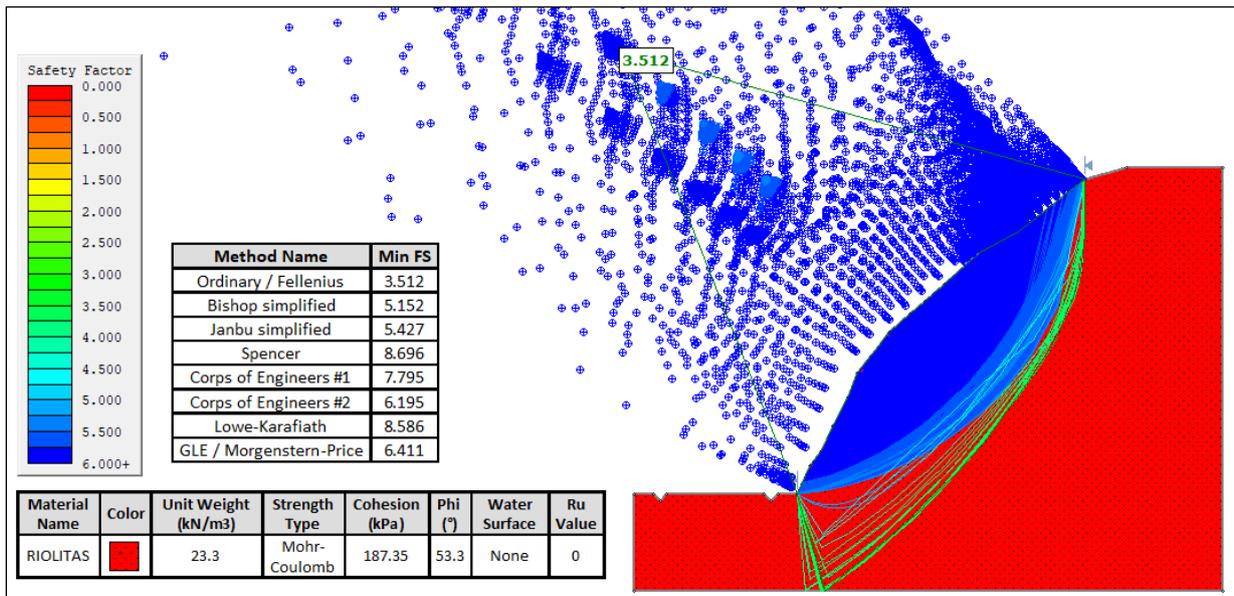


Figura 11. “Macizo Rocosos 1” → Rotura general y factor de seguridad del macizo rocoso en estado actual

El factor de seguridad para el macizo rocoso 1 en condiciones pseudo-estáticas corresponde a 1.75 valor que se traduce a “ESTABLE”, tal y como se muestra en la Figura 112.

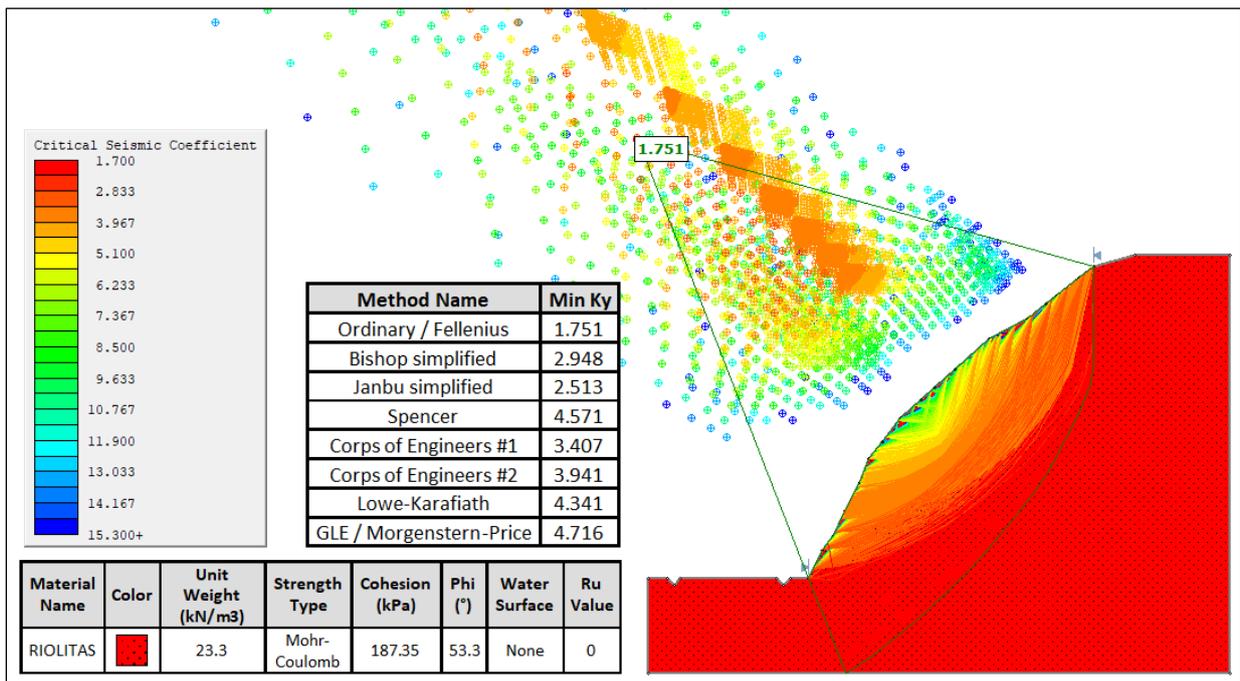


Figura 12. “Macizo Rocosos 1” → Rotura general y factor de seguridad del macizo rocoso en condiciones pseudo-estáticas

❖ **Macizo Rocosó Nro. 2**

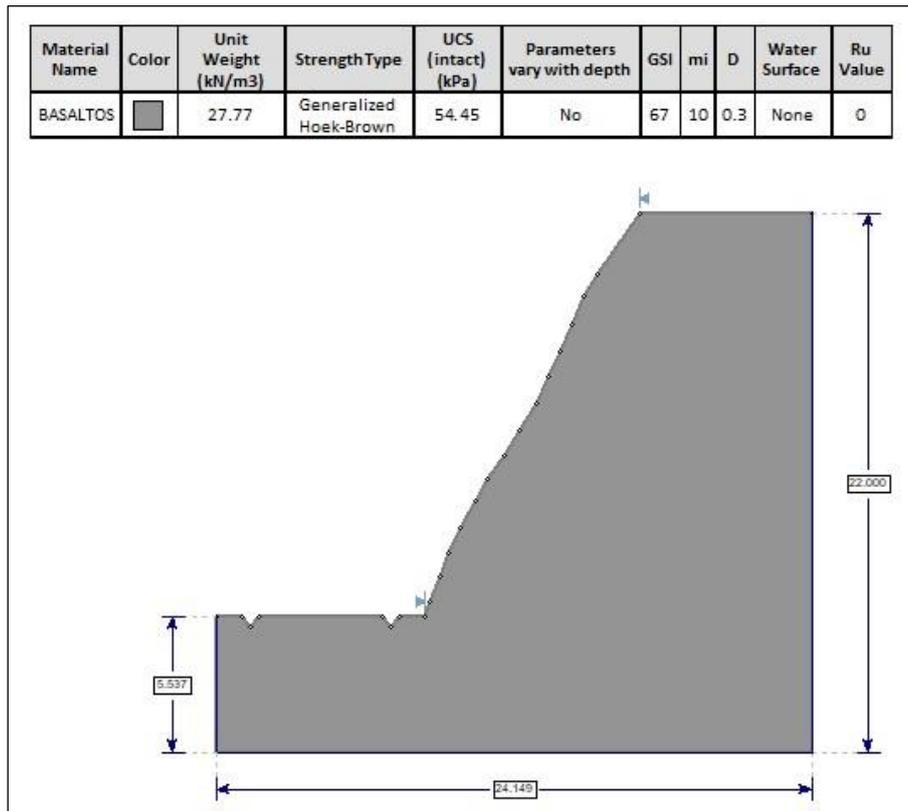


Figura 113. “Macizo Rocosó 2”

Este macizo rocoso formado por rocas basálticas, según el análisis de estabilidad global en el estado actual tiene un factor de seguridad de 9.64 por ende, se encuentra en una condición “ESTABLE”

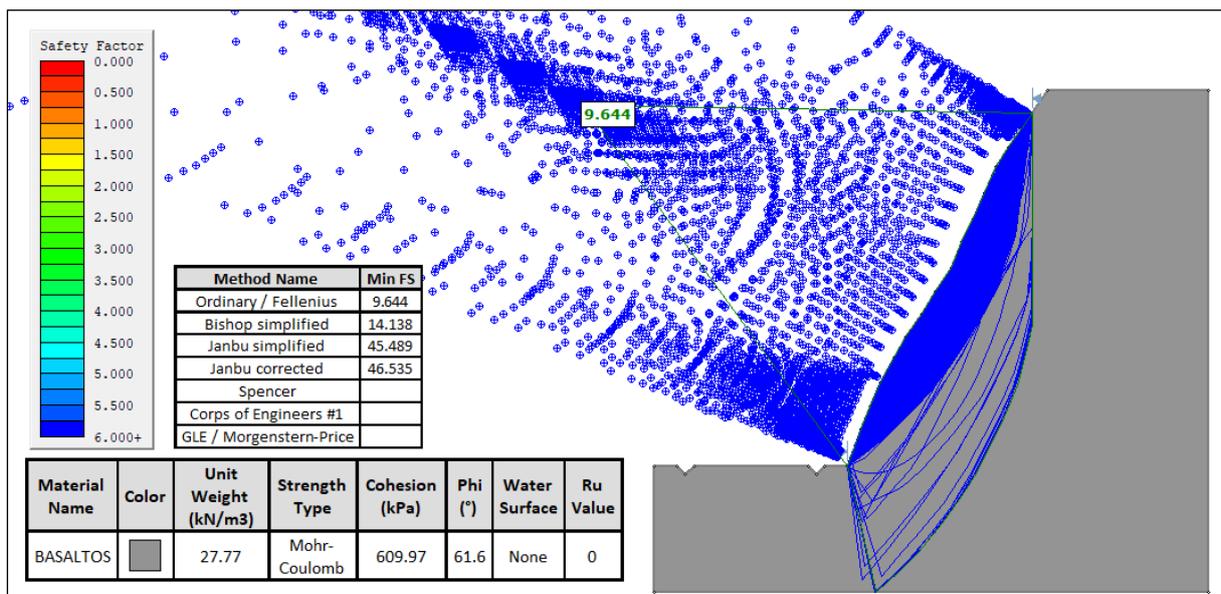


Figura 114. “Macizo Rocosó 2” → Rotura general y factor de seguridad del macizo rocoso en estado actual

El factor de seguridad para el macizo rocoso 2 en condiciones pseudo-estáticas corresponde a 5.02 valor que se traduce a “ESTABLE”.

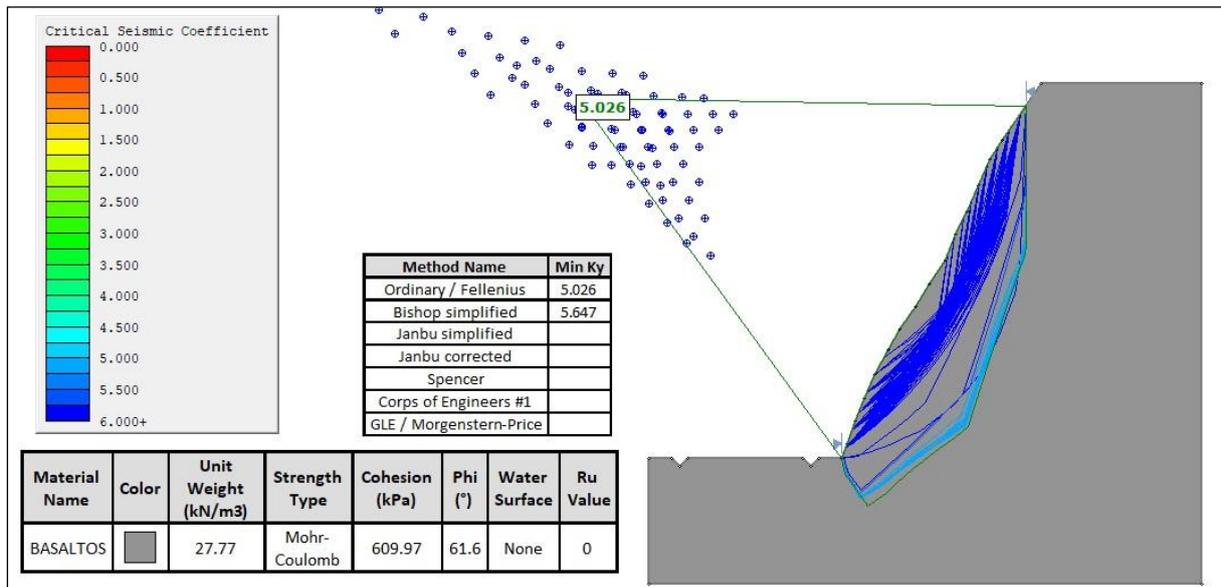


Figura 115. “Macizo Rocos 2” → Rotura general y factor de seguridad del macizo rocoso en condiciones pseudo-estáticas

❖ Macizo Rocos Nro. 3

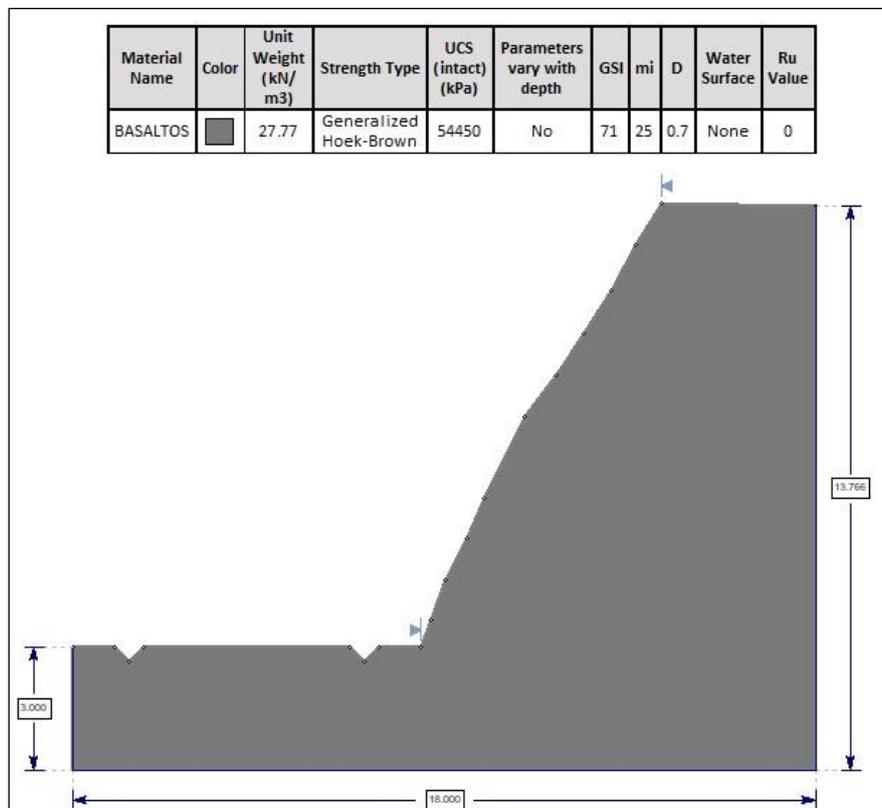


Figura 116. “Macizo Rocos 3”

Este macizo rocoso formado por rocas basálticas, según el análisis de estabilidad global en el estado actual tiene un factor de seguridad de 14.37 por ende, se encuentra en una condición “ESTABLE”

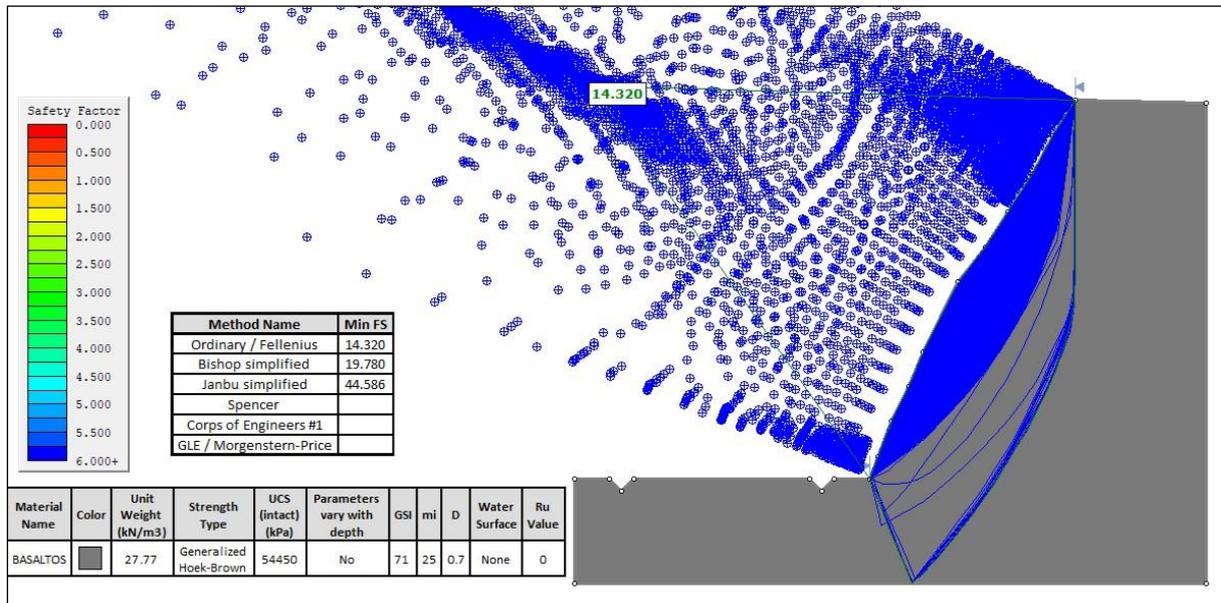


Figura 117. “Macizo Rocosó 3” → Rotura general y factor de seguridad del macizo rocoso en estado actual

El factor de seguridad para el macizo rocoso 3 en condiciones pseudo-estáticas corresponde a 7.83 valor que se traduce a “ESTABLE”.

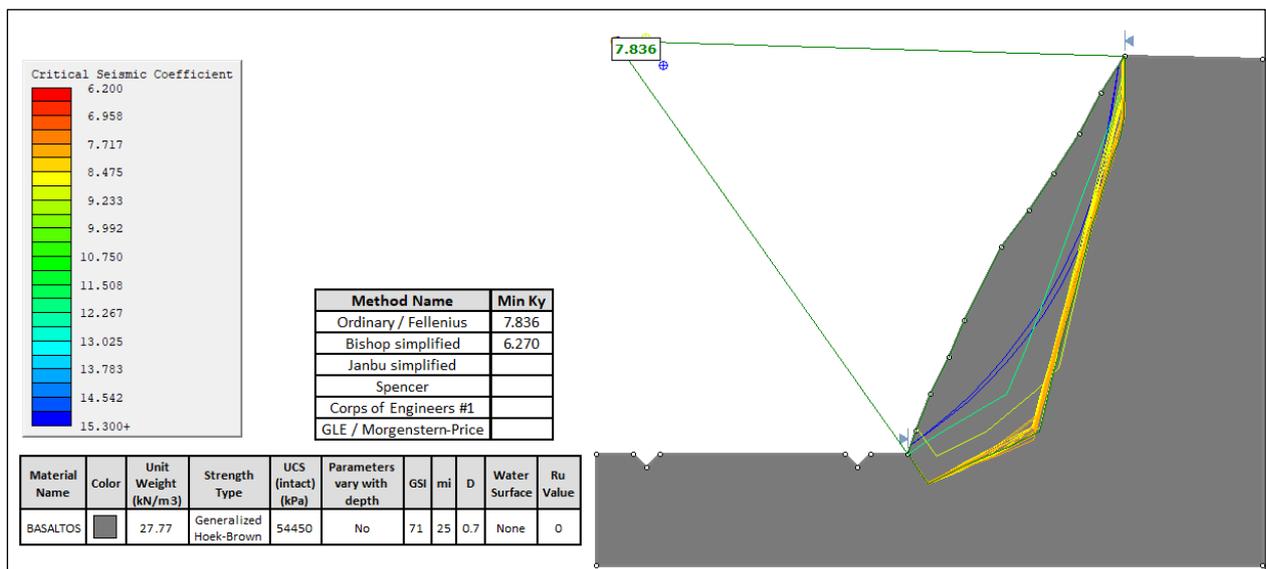


Figura 118. “Macizo Rocosó 3” → Rotura general y factor de seguridad del macizo rocoso en condiciones pseudo-estáticas

❖ **Macizo Rocoso Nro. 4**

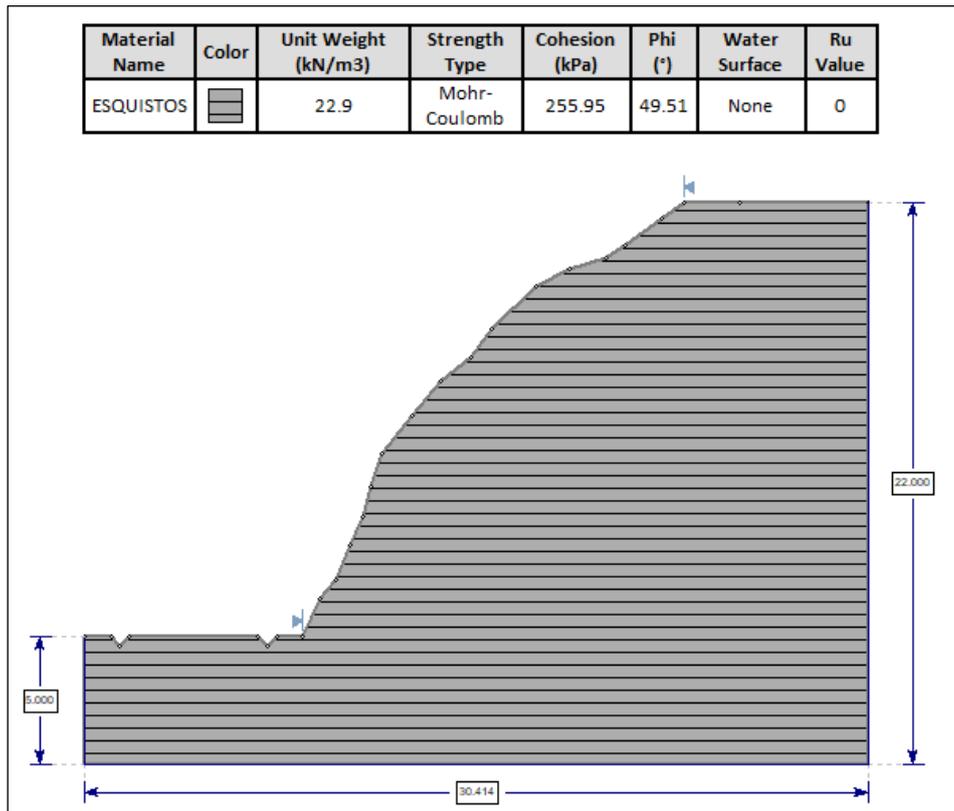


Figura 119. “Macizo Rocoso 4”

Según el análisis de estabilidad global en el estado actual este macizo rocoso formado por secuencias metamórficas de esquistos de bajo grado, tiene un factor de seguridad de 5.72 por ende, se encuentra en una condición “ESTABLE”

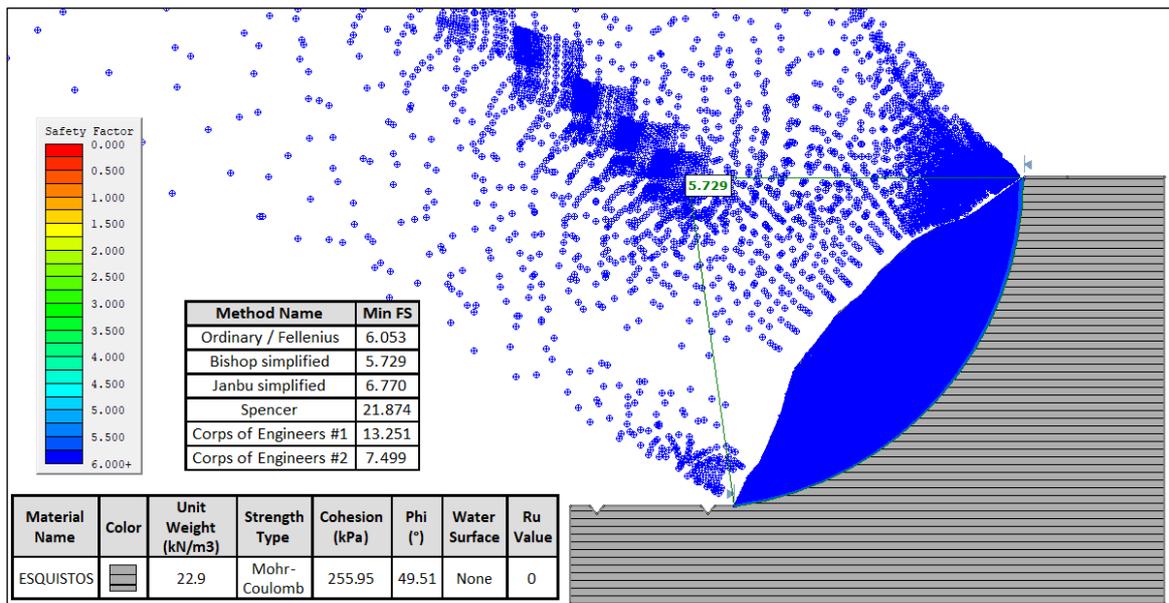


Figura 120. “Macizo Rocoso 4” → Rotura general y factor de seguridad del macizo rocoso en estado actual

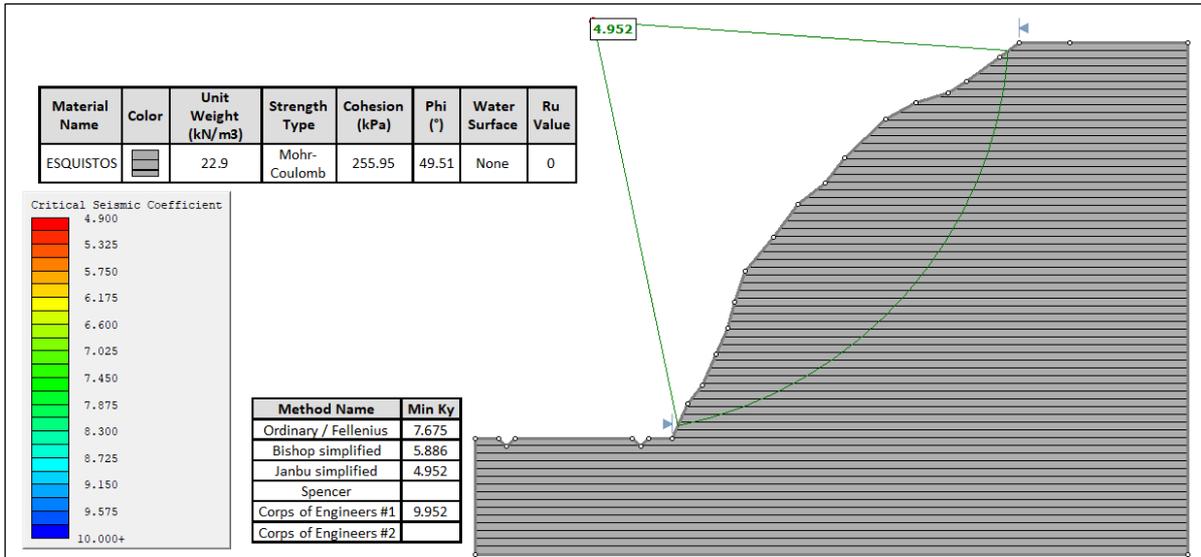


Figura 121. “Macizo Rocoso 4” → Rotura general y factor de seguridad del macizo rocoso en condiciones pseudo-estáticas

El factor de seguridad para el macizo rocoso 4 en condiciones pseudo-estáticas corresponde a 4.95 valor que se traduce a “ESTABLE”.

❖ Deslizamiento Nro. 1

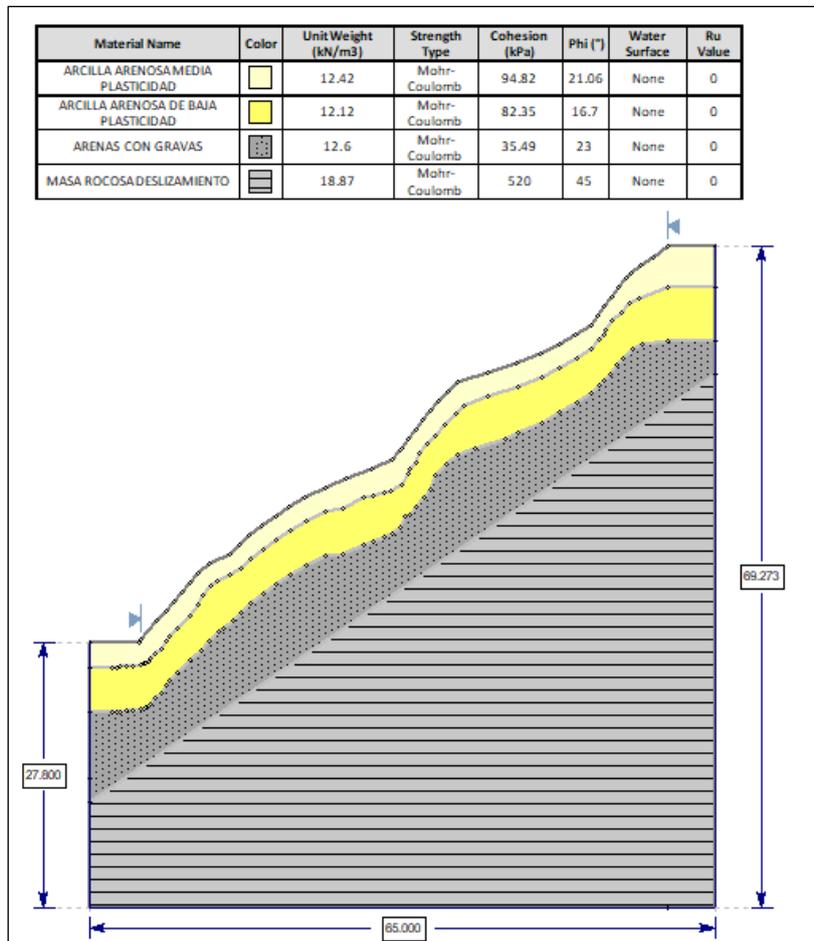


Figura 122. “Deslizamiento 01”

Como se mencionó anteriormente este deslizamiento se caracteriza por presentar una dirección S39°W, de forma irregular, cuya característica principal es que el material se está deslizando sobre la cuña de un macizo rocoso, lo que deja en evidencia un primer episodio, en el que se depositó dicho material coluvial sobre una zona de rotura en cuña. La definición de sus flancos es bastante evidente.

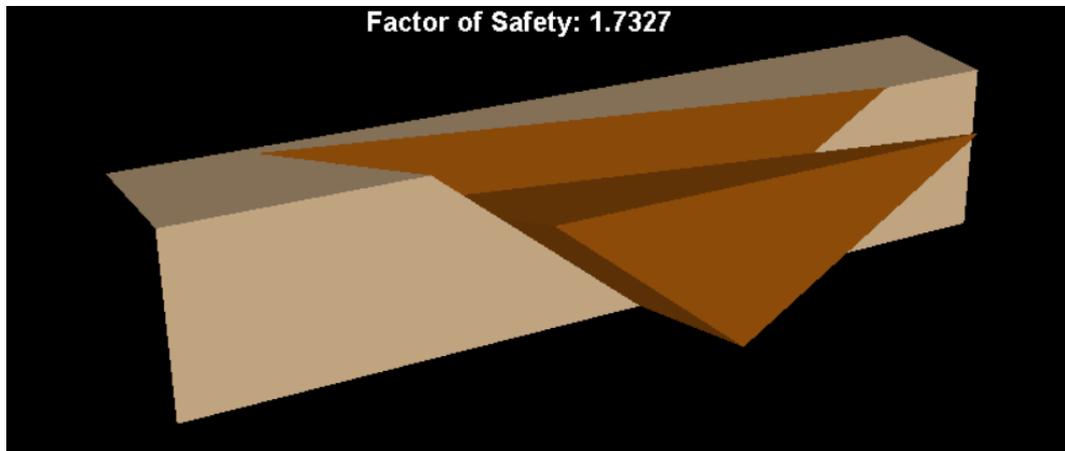


Figura 123. “Deslizamiento 01” → Representación de la cuña sobre la que se ha depositado el material coluvial que se está deslizando en esta zona

Según el análisis de estabilidad global en condiciones estáticas “Figura123”; el deslizamiento 01 el cual se ha producido sobre una cuña de una masa rocosos, tiene un factor de seguridad de 1.15, lo que se traduce a una condición “CRITICA”.

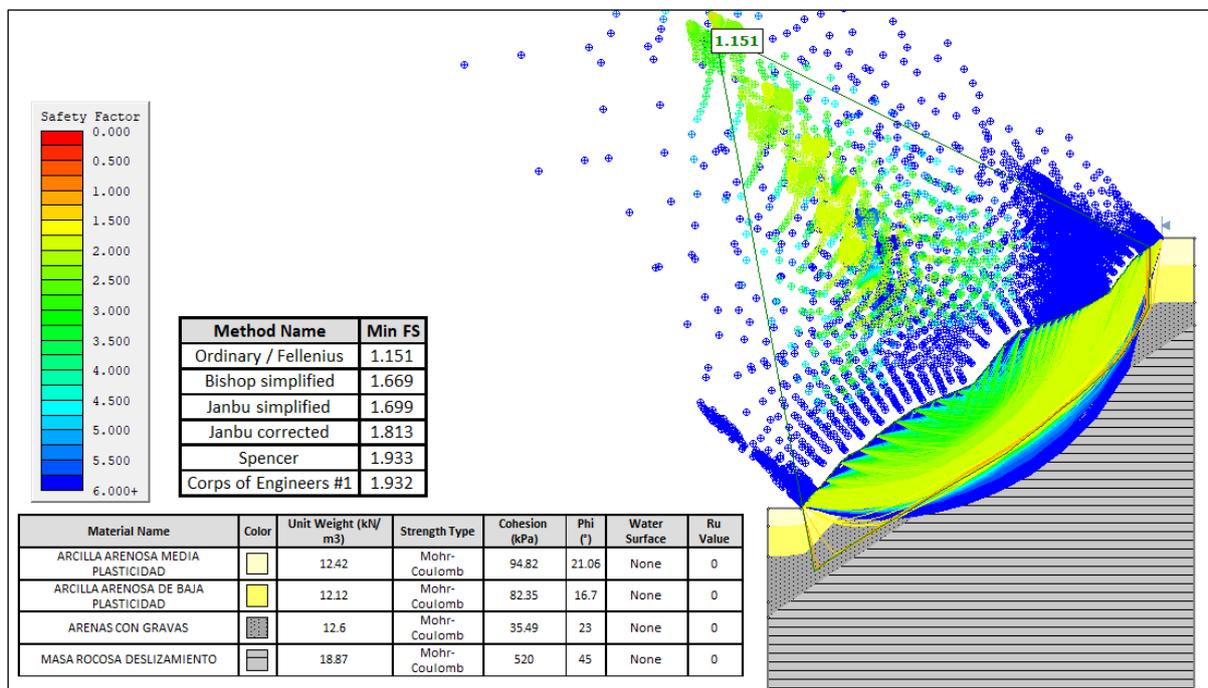


Figura 124. “Deslizamiento 01” → Rotura general y factor de seguridad del deslizamiento en estado actual

El factor de seguridad para el deslizamiento 01 en condiciones pseudo-estáticas corresponde a 0.595, valor que se traduce a “INESTABLE”.

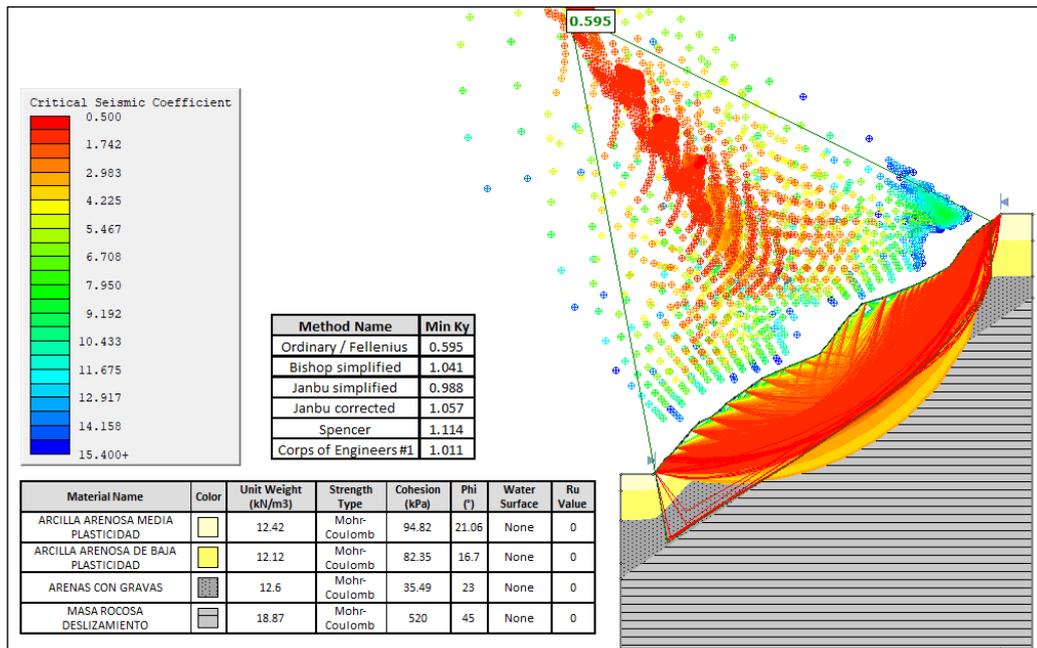


Figura 125. “Deslizamiento 01” → Rotura general y factor de seguridad del macizo rocoso en condiciones pseudo-estáticas

A continuación, se presentan los parámetros morfométricos del deslizamiento 01, resultantes de la simulación del estado anterior del deslizamiento.

Tabla 88. Parámetros morfométricos del deslizamiento 01

Deslizamiento 01		
Variable morfométrica	Unidades	Resultado
Ancho de la masa desplazada (Wd)	m	61,09
Ancho de la superficie de falla (Wr)	m	28,64
Longitud de la masa deslizada (Ld)	m	57,54
Longitud de la superficie de falla (Lr)	m	58,52
Profundidad de la masa desplazada (Dd)	m	7,34
Profundidad de la superficie de falla (Dr)	m	9,06
Longitud Total (L)	m	63,49
Longitud de la línea central (Lcl)	m	50,72
Relación (Dr/Lr)	---	0,15
Tipo de deslizamiento	---	Rotacional

Habiéndose definido los parámetros morfométricos del “Deslizamiento 01”, y considerando que el volumen del material medido antes del deslizamiento, generalmente aumenta con el movimiento debido a que el material se dilata, es decir, se da un aumento del volumen por un factor de expansión; se obtuvo un volumen final de 10335.88 m^3 del deslizamiento 01.

$$Vol_{desl.} = \left(\frac{1}{6}\pi D_r * W_r * L_r\right) * F_{ex} \rightarrow Vol_{desl.} = \left(\frac{1}{6}\pi * 9,06 * 28,64 * 58,52\right) * 1,30$$

Tabla 89. Volumen del deslizamiento 01

Deslizamiento 01		
Vol. del deslizamiento (Vol.)	m^3	10335,88

❖ Deslizamiento Nro. 2

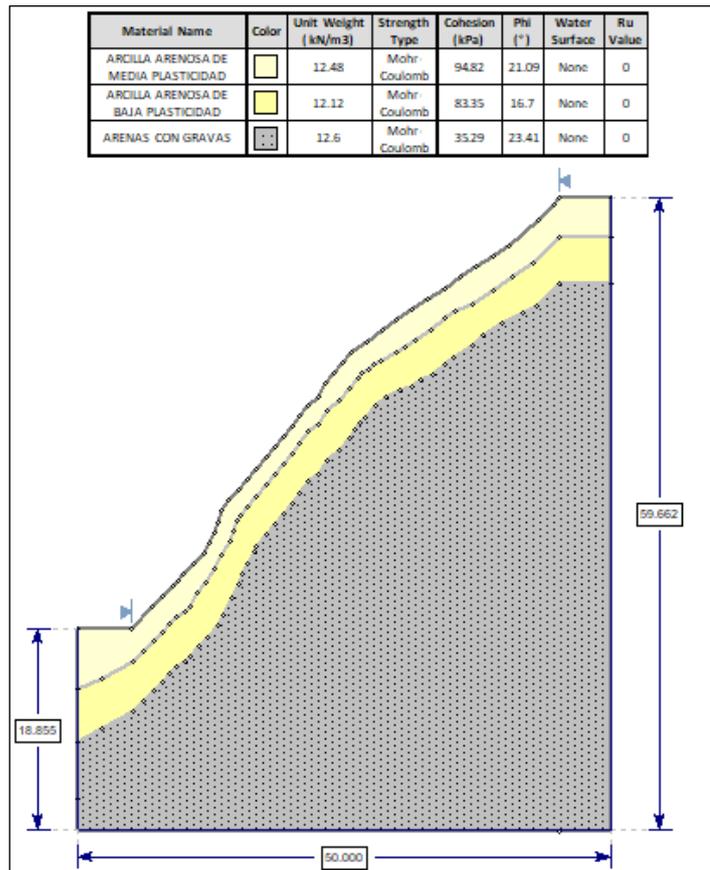


Figura 126. “Deslizamiento 02”

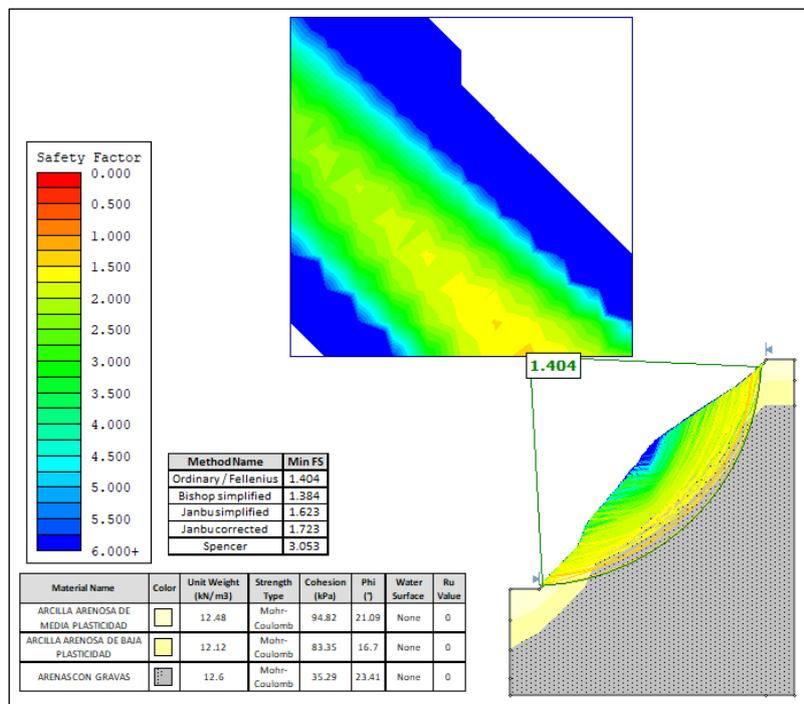


Figura 127. “Deslizamiento 02” → Rotura general y factor de seguridad del deslizamiento en estado actual

Según el análisis de estabilidad global en condiciones estáticas “Figura126”; el deslizamiento 02, tiene un factor de seguridad de 1.404, lo que se traduce a una condición “CRITICA”.

Por otro lado, el factor de seguridad para el deslizamiento 02 en condiciones pseudo-estáticas corresponde a 0.988, valor que se traduce a “INESTABLE”.

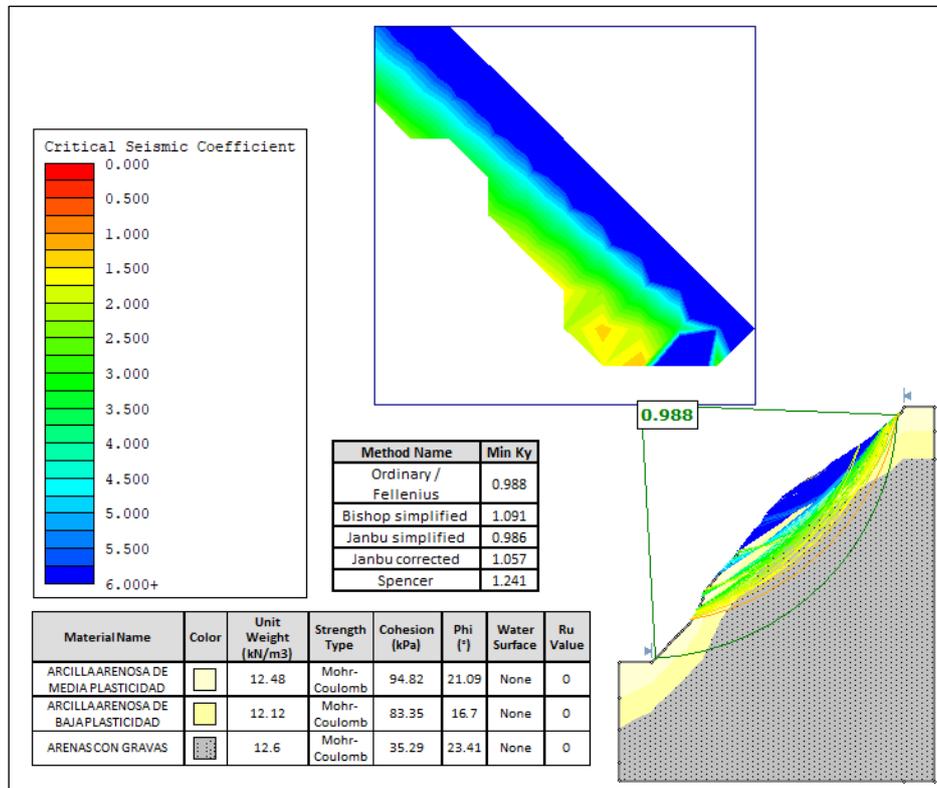


Figura 128. “Deslizamiento 02” → Rotura general y factor de seguridad del macizo rocoso en condiciones pseudo-estáticas

A continuación, se presentan los parámetros morfométricos del deslizamiento 01, resultantes de la simulación del estado anterior del deslizamiento.

Tabla 90. Parámetros morfométricos del deslizamiento 02

Deslizamiento 02		
Variable morfométrica	Unidades	Resultado
Ancho de la masa desplazada (Wd)	m	35,46
Ancho de la superficie de falla (Wr)	m	22,89
Longitud de la masa desplazada (Ld)	m	49,57
Longitud de la superficie de falla (Lr)	m	45,34
Profundidad de la masa desplazada (Dd)	m	10,04
Profundidad de la superficie de falla (Dr)	m	11,20
Longitud Total (L)	m	57,06
Longitud de la línea central (Lcl)	m	36,94
Relación (Dr/Lr)	---	0,24
Tipo de deslizamiento	---	Rotacional

Habiéndose definido los parámetros morfométricos del “Deslizamiento 02”, y considerando que el volumen del material medido antes del deslizamiento, generalmente aumenta con el movimiento debido a que el material se dilata, es decir, se da un aumento del volumen por un factor de expansión, se obtuvo un volumen final de $7912,01 \text{ m}^3$ del deslizamiento 02

$$Vol_{desl.} = \left(\frac{1}{6}\pi D_r * W_r * L_r\right) * F_{ex}$$

$$Vol_{desl.} = \left(\frac{1}{6}\pi * 11,20 * 22,89 * 45,34\right) * 1,30$$

Tabla 91. Volumen del deslizamiento 02

Deslizamiento 02		
Vol. del deslizamiento (Vol.)	m^3	7912,01

A continuación, se presenta una tabla resumen “tabla 92”, de los factores de seguridad de cada uno de los taludes que se analizó tanto en condiciones estáticas como pseudoestáticas En donde:

- *Inestable* = $Fs < 1.0$
- *Critico* = $FS \ 1.0 - 1.5$
- *Estable* = $FS > 1.5$

Tabla 92. Factores de Seguridad de los Taludes en Estudio

	Estática		Pseudo-Estática	
	Ordinario de Fellenius	Condición	Ordinario de Fellenius	Condición
Macizo Rocosos 1	3.512	Estable	1.751	Estable
Macizo Rocosos 2	9.644	Estable	5.026	Estable
Macizo Rocosos 3	14.32	Estable	7.836	Estable
Macizo Rocosos 4	6.053	Estable	4.952	Estable
Deslizamiento 01	1.151	Critico	0.595	Inestable
Deslizamiento 02	1.404	Critico	0.988	Inestable

6.11. Definición de Zonas Críticas en Términos de Factor de Seguridad

Una vez completada la campaña geotécnica y el análisis geológico – geotécnico de cada una de las zonas críticas identificadas a lo largo del eje de la vía del área de estudio, y con base en la zonificación litoestructural realizada en la etapa anterior, se procedió a la definición de las zonas críticas en términos de factor de seguridad.

Tabla 93. Definición de Zonas Críticas en Términos de Factor de Seguridad

Zona Nro.	Descripción
Zona 1	Según los resultados obtenidos durante la campaña geotécnica y durante el análisis geológico – geotécnico se ha determinado que el sector sobre el que se encuentra emplazada la vía de estudio correspondiente a esta zona “vía con una longitud total de 799,50 metros y una geometría caracterizada por curvas de bajo radio”; se caracteriza por taludes de “Clase II”, es decir, corresponden a macizos rocosos de “Buena Calidad”. Los factores de seguridad calculados para estos macizos son de 9.644 y 14.320 en condiciones estáticas y 5.026 – 7.863 en condiciones pseudo – estáticas, lo que se traduce en un factor de seguridad “Estable” para ambas condiciones.
Zona 2	Como esta zona caracterizada por depósitos coluviales, pendientes que varían entre fuertemente inclinadas y muy inclinadas y una geometría muy modesta con curvas muy suaves, presenta un muro de contención como medida de mitigación hacia la parte inestable se la definió en términos técnicos como: “Zona con FS > 1.50 → Estable”.
Zona 3	Esta zona, caracterizada por una limitada capacidad de expansión debido a su condición semi-poblada, ha sido definida técnicamente para este estudio como: “Zona estable con un Factor de Seguridad (FS) > 1.5”. Esta definición se fundamenta en la implementación previa de medidas de estabilidad en los macizos rocosos de dicha área, a causa de la sobrepoblación misma.
Zona 4	Al estar esta zona caracterizada por, presentar una geometría de rectas largas con curvas muy leves, pendientes que van desde ligeramente inclinadas a muy inclinadas y principalmente por estar emplazada sobre depósitos coluviales de rocas volcánicas, no se la evaluó en el presente trabajo, por lo que, en base a sus características se la define como una zona “Estable”. Cabe destacar que la subrasante de un tamo de la vía de esta zona indica que las condiciones de la vía en este sector son deficientes o inadecuadas, lo que sugiere la necesidad de intervenciones y mejoras significativas para garantizar un comportamiento apropiado.
Zona 5	La vía de estudio correspondiente a esta zona tiene una longitud total de 157 metros con una geometría caracterizada por curvas de bajo radio (120 – 140 m). Hay posibilidad relativa de ampliación hacia el flanco derecho. Cabe destacar que en esta zona se caracteriza por taludes de “Clase III”, es decir, corresponden a macizos rocosos de “Media Calidad”, para RMR, y de “Calidad Regular” para GSI. Los factores de seguridad calculados para estos macizos son de 3.512 en condiciones estáticas y 1.751 en condiciones pseudo – estáticas, lo que se traduce en un factor de seguridad “Estable” para ambas condiciones. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en esa zona también se logró determinar que la rotura planar y la rotura en cuña son favorables para el macizo de mayor importancia, lo que se traduce en un factor de seguridad futuro “Crítico”.
Zona 6	La vía de estudio correspondiente a esta zona tiene una longitud total de 215 metros con una geometría caracterizada por rectas cortas cuyas longitudes no superan los 60 metros, y por curvas de amplio radio. Cabe destacar que en esta zona se evidencia una meteorización que varía de moderada a muy alterada, lo que ha dejado un paso marcado en el relieve. Por lo que una vez finalizada la campaña geotécnica y el análisis geológico – geotécnico se ha determinado que el sector sobre el que se encuentra emplazada la vía de estudio correspondiente a esta zona se caracteriza por presentar dos zonas con problemas de estabilidad, en donde, el “deslizamiento 01” actualmente en estado latente, con una superficie de falla cóncava medianamente evidente y con un volumen 10335.88 m ³ , presenta

	<p>un factor de seguridad de 1.152 en condiciones estáticas y 0.595 en condiciones pseudo – estáticas, lo que se traduce en un factor de seguridad “Crítico” para la condición estática y “Inestable” para condiciones pseudo – estáticas. Por otro lado, el “deslizamiento 02” actualmente en estado activo y con un volumen $7912,01 m^3$, presenta un Fs de 1.40 en condiciones estáticas y 0.988 en condiciones pseudo – estáticas, lo que se traduce en un Fs “Crítico” para la condición estática y “Inestable” para condiciones pseudo – estáticas</p>
Zona 7	<p>El sector sobre el que se encuentra emplazada la vía de estudio correspondiente a esta zona se caracteriza por un par de curvas de amplio radio ($> 30 m$) y por una recta larga, se lo ha definido como una zona “Estable” debido a las características geológicas y topográficas que se presentan hacia los márgenes de la vía, a lo que se suma que es una zona medianamente poblada. Sin embargo se debe tener en cuenta que se presentan ciertos puntos con pequeños drenajes latentes “lentes de agua” que se extienden hacia el flanco izquierdo de la vía “dirección S”.</p>
Zona 8	<p>Según los resultados obtenidos durante la campaña geotécnica y durante el análisis geológico – geotécnico se ha determinado que el sector sobre el que se encuentra emplazada la vía de estudio correspondiente a esta zona “vía con una longitud total de 1226 metros y una geometría caracterizada en gran parte por una intercalación de curvas de amplio y bajo radio”; se caracteriza por taludes de “Clase II”, es decir, corresponden a macizos rocosos de “Buena Calidad”. Los factores de seguridad calculados para estos macizos son de 6.053 en condiciones estáticas y 4.952 en condiciones pseudo – estáticas, lo que se traduce en un factor de seguridad “Estable” para ambas condiciones. Cabe destacar que la subrasante de un tamo de la vía de esta zona indica que las condiciones de la vía en este sector son favorables o presentan un comportamiento satisfactorio.</p>

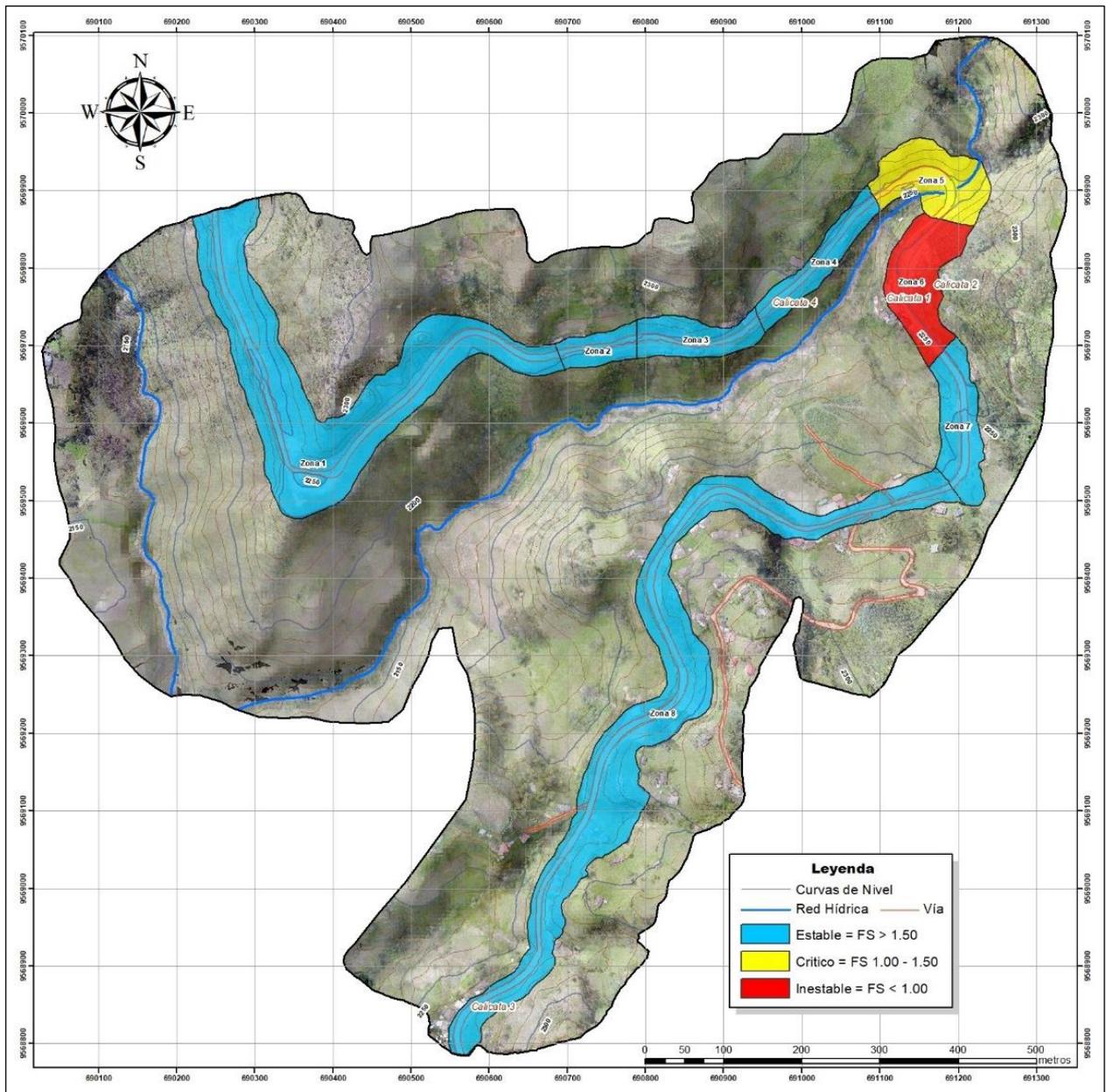


Figura 129. Mapa de Zonas Críticas en Términos de Factor de Seguridad

7. Discusión

La vía Villonaco – Taquil está caracterizada por la presencia de taludes de grandes dimensiones lo que conlleva a tener grandes pendientes en la zona de estudio, por ello tomando la metodología de Demek (1972), se clasificó las pendientes en 5 clases; permitiéndonos determinar que la mayor parte del área “más del 50%” está ocupada por pendientes muy inclinadas (35° a 55°), y “menos del 5%”, por pendientes medianamente inclinadas (0° a 5°). Dato que coincide con la información presentada en el PDOT de la parroquia Taquil año 2015, actualización 2015 – 2025, a escala 1:50000, donde se indica que el mayor porcentaje del área de estudio tiene pendientes fuertes (24 a 50%), y que las pendientes planas (0 a 5%) no sobrepasan el 5% del área. Los taludes con grandes pendientes son considerados como zonas críticas en el presente trabajo ya que muchos de ellos se desencadenarán como deslizamientos; y parte de uno los objetivos del presente trabajo, es caracterizar las zonas críticas y por ende este resultado es de suma importancia. Arellano, Bielefeldt y Correa (2017) determinan que para saber el tipo de deslizamiento es necesario conocer los parámetros morfométricos de cada talud dentro de estos parámetros se encuentra las pendientes en donde se determina que las pendientes muy inclinadas disminuyen el FS de los taludes y a menor pendiente el FS aumenta.

En base al levantamiento geológico local en el área de estudio afloran secuencias volcano-sedimentarias, brechas, tobas, lavas, niveles de conglomerados y rocas metamórficas, tal y como se indica en la Hoja Geológica de Loja a escala 1:100000; hoja 56, N – VI-F del INIGEMM año 2017. Sin embargo, y debido a la escala “1:5000” con la que se trabajó, también se pudieron identificar intrusiones de gabro, diques dioríticos, una zona con un vetilleo tipo stockwork, depósitos coluviales en contacto con las secuencias volcánicas; por lo que, gracias a este resultado se logró comprender los cambios en los procesos geológicos y geomorfológicos. Además, se encontró riolitas que sugieren un proceso de enfriamiento lento de la masa magmática y depósitos aluviales de rocas ígneas y metamórficas. Por lo que, mediante el muestreo y análisis macroscópico de los materiales se obtuvo un mayor conocimiento en características macroscópicas de los materiales presentes en la zona de estudio y esto permitió caracterizar in situ las zonas críticas, además de analizar las propiedades físico-mecánicas de los geomateriales de la zona de estudio.

La zonificación del área de estudio, fundamental para la campaña geotécnica, se llevó a cabo mediante un análisis detallado que incluyó la base topográfica, la información geológica, la hidrología, la geometría de la vía y los perfiles de meteorización obtenidos en las estaciones de campo. Estos criterios técnicos permitieron identificar y caracterizar ocho zonas distintas,

cada una con propiedades específicas que afectan directamente la planificación y ejecución de la infraestructura vial.

Como parte del trabajo investigativo se realizó un inventario de deslizamientos. Esto permitió tener una clasificación general de los mismos identificando cuales son deslizamientos activos y pasivos siendo los activos las zonas críticas y en donde se realizó un mayor análisis, para la definición de los parámetros morfométricos de los deslizamientos inventariados, los autores Suárez, (2009) y (Arellano., et al 2017), consideran una simulación del estado anterior de los deslizamientos conocida como retro-cálculo, en la que se debe tomar en cuenta la topografía del área inestable para el modelado, es por ello, que para llevar a cabo el cálculo de los parámetros morfométricos, se realizó una simulación del estado anterior de los deslizamientos utilizando el software GeoStudio Slope Res R2 2018, con el fin de conocer cuales fueros los factores condicionantes y desencadenantes en cada uno de ellos con este análisis se determinó que los deslizamientos del área de estudio son rotacionales, cuyo origen está relacionado con la reducción del esfuerzo cortante del suelo.

En el contexto de la sismica de refracción Claude C., (2005) enfatiza la importancia de medir y comprender las velocidades de las ondas sísmicas en diferentes capas geológicas. Destaca que este conocimiento es esencial para interpretar adecuadamente los datos sísmicos y reconstruir la estructura subsuperficial con precisión; bajo esta premisa, se puede indicar que con base en la velocidad de propagación de las ondas se delimito cada uno de los horizontes del subsuelo, de las 4 líneas sísmicas realizadas en las zonas inestables, considerando a la par las propiedades dinámicas obtenidas. Además de ello, mediante el ensayo triaxial se obtuvo la capacidad del suelo para resistir la deformación bajo condiciones de carga rápida sin permitir la disipación de agua; lo que permitió determinar la condición crítica de esfuerzo en la que los taludes “D-01 y D-02” deslizan.

La clasificación geomecánica de los 4 macizos rocosos mediante la definición de zonas litoestructurales, tal y como lo indica (González et al., 2002), resulto útil para establecer valores objetivos con los que se puede trabajar y posteriormente clasificar geo-mecánicamente los macizos. Por lo que, en la mayoría de macizos rocosos, se definieron varias estaciones de medida, en cada una de las cuales se realizó la toma sistemática de datos, teniendo en cuenta que, cuanto mayor sea el número de medidas y estaciones realizadas, mayor será la representatividad de los resultados obtenidos en cuanto a caracterización global del macizo rocoso para el índice RMR y GSI.

Con toda la información recolectada y previo a la determinación del factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudo-estáticas, de los macizos rocosos, fue necesario realizar el

análisis de la resistencia de cada macizo considerando el criterio de rotura de Hoek-Brown ajustado al criterio de Mohr-Coulomb debido a que este enfoque permite modelar con mayor precisión el comportamiento de macizos rocosos con presencia de discontinuidades, como las juntas y fracturas. La elección de este criterio se fundamenta en la necesidad de evaluar la estabilidad de los 4 macizos rocosos del área de estudio, ya que, para calcular el factor de seguridad, es esencial expresar los parámetros de resistencia en términos de cohesión y ángulo de fricción, tal como lo prescribe el criterio de Mohr-Coulomb.

8. Conclusiones

Con base en los resultados derivados de la ejecución de trabajo de campo, análisis de laboratorio y trabajo de gabinete, se presentan las conclusiones de acuerdo con los objetivos previamente definidos en el contexto de la “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilómetro 9,5 – 12,00”

- Topográficamente el área de estudio muestra un relieve irregular, con alturas que varían desde 2120 metros sobre el nivel del mar (cota más baja) hasta 2330 metros (cota más alta), en un área total de 108,46 hectáreas. Área que está cubierta en un 50,33%, es decir, 54,6 Ha, por pendientes muy inclinadas (15° a 35°). En un, 25,51% correspondientes a 27,68 hectáreas, por pendientes fuertemente inclinadas con ángulos que varían entre los 5° y 15° . Asimismo, se registró que un 18,48% del área presenta pendientes empinadas en el rango de 35° a 55° , mientras que el 4,72% se compone de pendientes ligeramente inclinadas de 0° y 5° . Por último, se identificó una porción de 0,93% de la superficie 1,01 Ha con pendientes verticales, que van desde los 55° hasta los $81,5^{\circ}$.
- Geológicamente el área de estudio está constituida principalmente por 9 diferentes tipos de litología, mismas que correspondan a: esquistos pertenecientes a la Unidad Cera; lavas basálticas y flujos piroclásticos pertenecientes a la Unidad Gonzabal; secuencias volcánico – sedimentarias, niveles de conglomerados grano decrecientes, riolitas, diques dioríticos, intrusiones de gabro, depósitos coluviales y depósitos aluviales de la quebrada Chanipamba.
- Durante el levantamiento geológico estructural se identificó algunas zonas de contacto entre los distintos materiales y zonas de debilidad, juntas y diaclasamientos en los distintos macizos rocosos.
- Dentro del área de estudio se definieron un total de 8 zonas litoestructurales en función de la información geológica de toda el área de estudio, la hidrología, la geometría de la vía y los perfiles de meteorización basados en las estaciones de campo.
- Para determinar las propiedades físico – mecánicas de los geomateriales se realizó la apertura de cuatro calicatas, que permitieron obtener la clasificación y tipo de suelo, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y ASSTHO donde las 2 primeras calicatas indican la presencia de arcillas, limos y arenas, mientras que las otras 2 calicatas realizadas a nivel de subrasante indicaron que las condiciones de la vía en la absc 10+000 son favorables con un CBR de 35, mientras que las condiciones de la vía

en la absc 12+000 con un CBR de 7,30 son deficientes o inadecuadas, lo que sugiere la necesidad de intervenciones y mejoras significativas.

- Los métodos indirectos; sísmica de refracción y SPT's realizados en las zonas de mayor inestabilidad "Deslizamiento 01 y Deslizamiento 02", permitieron definir 3 estratos emplazados a diferentes profundidades, arcillas arenosas de media plasticidad, arcillas arenosas de baja plasticidad, y arenas limosas con gravas.
- Mediante ensayos de compresión simple y esclerometría de bajo impacto con el martillo tipo L, realizados a los testigos de roca extraídos de los macizos rocosos se determinó que el macizo rocoso 1 zona-1a presenta una resistencia a la compresión de 24,43 Mpa, mientras que para la zona-2a una resistencia de 22,62 Mpa, para el macizo rocoso 2 y 3 la resistencia a la compresión de ambos fue de 54,45 Mpa, y para el macizo rocoso 4 la resistencia a la compresión fue de 23,80 Mpa; así mismo mediante el ensayo de tilt test se determinó el ángulo de fricción básico.
- Mediante el criterio de rotura de Hoek-Brown ajustado al criterio de Mohr-Coulomb, se obtuvo una cohesión de 0,186 MPa y ángulo de fricción de 52.90° para el macizo Nro. 1; cohesión de 0,091 MPa y ángulo de fricción de 61.64° para el macizo Nro. 2; cohesión de 0,697 MPa y ángulo de fricción de 64.34° para el macizo Nro. 3; y cohesión de 0.252 MPa y ángulo de fricción de 49.91° para el macizo Nro. 4.
- Los factores de seguridad calculados para la zona 5 son de 3.512 en condiciones estáticas y 1.751 en condiciones pseudo – estáticas, lo que se traduce en un factor de seguridad "Estable" para ambas condiciones. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en esa zona también se logró determinar que la rotura planar y la rotura en cuña son favorables para el macizo de mayor importancia, lo que se traduce en un factor de seguridad futuro "Crítico".
- El sector sobre el que se encuentra emplazada la vía de estudio correspondiente a la zona 6 se caracteriza por presentar dos áreas con problemas de estabilidad, en donde, el "deslizamiento 01" actualmente en estado latente, con una superficie de falla cóncava medianamente evidente y con un volumen 10335.88 m^3 , presenta un factor de seguridad de 1.152 en condiciones estáticas y 0.595 en condiciones pseudo – estáticas, lo que se traduce en un factor de seguridad "Crítico" para la condición estática y "Inestable" para condiciones pseudo – estáticas. Por otro lado, el "deslizamiento 02" actualmente en estado activo y con un volumen 7912,01 m^3 , presenta un Fs de 1.40 en condiciones estáticas y 0.988 en condiciones pseudo – estáticas, lo que se traduce en un Fs "Crítico" para la condición estática y "Inestable" para condiciones pseudo – estáticas

9. Recomendaciones

- Todos los datos geológicos y geotécnicos levantados, analizados, evaluados y expuestos durante la presente investigación, pueden servir como base para futuros estudios viales que se vayan a ejecutar en este sector; ya sea, estabilización de taludes, ampliación de la vía, mejoramiento de la subrasante, aprovechamiento de geomateriales entre otros.
- En cuanto a la prospección geofísica de las zonas inestables, se recomienda aumentar el número de líneas sísmicas y su extensión de manera que se pueda obtener información más detallada del subsuelo de cada zona.
- Considerar como puntos de monitoreo los deslizamientos D-01 y D-02, debido a que son los puntos más críticos de la zona y propensos a deslizamiento del material, especialmente en época lluviosa.
- Con el objetivo de aumentar el factor de seguridad de los deslizamientos “D-01 y D-02”, se recomienda como medida de mitigación, la construcción de cunetas de coronación, ubicadas aproximadamente a una distancia de 2 metros desde la corona de cada deslizamiento.
- Para el deslizamiento “D-01”, se recomienda la modificación de la geometría del mismo, por medio de sistemas de terrazas o bancos, reduciendo de esta forma la carga y las fuerzas actuantes.
- Se recomienda considerar la modificación geométrica del deslizamiento mediante la construcción de bermas escalonadas como medida para mejorar la estabilidad. Bermas que deben ser adecuadamente cortadas y compactadas en el lado exterior del talud para aumentar las fuerzas actuantes en el perfil crítico de estudio, es decir, de modo que se generen momentos estabilizantes que ampliarán el círculo crítico de falla, resultando en un aumento significativo del factor de seguridad del talud.
- Para el caso del deslizamiento “D-02”, se recomienda como medida de estabilidad la reducción de su pendiente, considerando para esto la resistencia al corte de los materiales existentes y del estado en el que se encuentran sus flancos.
- Se recomienda aprovechar las propiedades físico – mecánicas de los materiales presentes en los macizos rocosos Nro. 2 y Nro. 3 al momento de llevar a cabo la rectificación y mejoramiento de la vía.

10. Bibliografía

- ACC Drone. (2020, 05 18). <https://acgdrone.com/fotogrametria-aerea-con-drones/>
- Albarracín, J., Álvarez, J., Chamba, J., González, S., Palchisaca, J., & Sánchez, M. (2022). *Métodos de exploración directa e indirecta expuestos en la NEC*. Informe Academico, Universidad Católica de Cuenca, Geotecnia y Cimentaciones Noveno Ciclo, Cuenca. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-catolica-de-cuenca/geotecnia/exploracion-directa-e-indirecta/22944176>
- Apuntes de Geología.* (s/f). http://www.joachim.cl/geologia/html2/006geologia_estructural/005_orientacion_de_planes.htm#:~:text=La%20orientación%20de%20un%20plano,con%20un%20plano%20imaginario%20horizontal.
- Arias, D., Echeverri, O., & Hoyos, F. (2012). THE GEOELECTRICAL RELATIONS ON THE GEOTECHNICAL. *SciELO*, 1, 12. <https://doi.org/http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n31/n31a03.pdf>
- Ayala Luis - Explorock. (2019). *Explorock S.G.* <https://www.explorock.com/notas-esenciales-sobre-mapeo-geologico/>
- Ayala, L. (2018). *Explorock*. <https://www.explorock.com/notas-esenciales-sobre-mapeo-geologico/>
- Badillo, E. J., & Rodríguez, A. R. (2005). *Fundamentos de Mecánica de Suelos*. México: Limusa. <https://veteranos1927.files.wordpress.com/2014/05/mecanica-de-suelos-tomo-1-juarez-badillo.pdf>
- Belousov, V. (1979). *Geología Estructural*. (V. LLanos, Trad.) Moscú, Rusia: Mir.
- Blandón, A. (2002). *Principios de Estratigrafía*. Medellín, Colombia: UNAL-Medellín. <file:///D:/Respaldo/Documents/UNIVERSIDAD/GEOLOGIA%20AMBIENTAL%20NIVELACION,%20PRIMERO,%20SEGUNDO,%20TERCERO,%20CUARTO%20Y%20QUINTO%20CICLO/5.%20GEOLOGIA%20AMBIENTAL%20QUINTO%20CICLO/ESTRATIGRAFIA/DOCUMENTOS%20GUIA/42968477.2002.Parte1.2.pdf>
- Bolero, A. (s/f). *geo.webonline*. <https://geo-webonline.com/caracterizacion-geotecnica-del-terreno/>
- British Society for Geomorphology. (2014). *10 razones por las cuales la geomorfología es importante*. (S. A. Bueno, Trad.) Londres, Gran Bretaña: British University.

- BSG Institute. (s/f). <https://bsginstitute.com/SubArea/Mecanica-de-Rocas#:~:text=La%20Mecánica%20de%20Rocas%20es,predecir%20y%20controlar%20su%20comportamiento.>
- Casanova, L. (2019). *Representación de Planos* (Vol. 8). <https://topodata.com/wp-content/uploads/2019/10/9-Topografi%CC%81a-Plana-CAP8.pdf>
- Castro Dorado, Antonio;. (2015). *Petrografía de Rocas igneas y metamórficas*. Madrid, España: Paraninfo S.A. <https://www.geologiaviva.info/wp-content/uploads/2021/09/Castro-Dorado-Petrografia-de-Rocas-Igneas-y-metamorficas.pdf>
- CIENTEC. (s.f). <https://cientecinstrumentos.cl/que-es-un-levantamiento-topografico/>
- Corrales, Z. (1977). *Estratigrafía*. https://books.google.com.pe/books?id=bENAOgAACAAJ&source=gbs_navlinks_s
- Das, Braja M. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. (C. C. Castro, Ed., & F. V. Migoya, Trad.) Santa Fe: CENGAGE.
- Das, S., Pardeshi, S., Kulkarni, P., & Doke, A. (2018). *Extraction of lineaments from different azimuth angles using geospatial techniques: a case study of Pravara basin*. India: Arabian Journal of Geosciences.
- Departamento de Geología UNSL;. (s/f). *Problema de los tres puntos; Reconstrucción del diseño de adloramiento de estratos*. San Luis, Argentina. <http://www0.unsl.edu.ar/~estructural/login/Teoria/TP3.pdf>
- Dercourt, P. (2008). Geología. En D. Rojas, & J. Paredes, *compendio de geología gener* (pág. 14). Lima, Lima, Perú: EDUNI.
- EADIC. (2021, 01 27). *eadic*. <https://eadic.com/blog/entrada/clasificacion-geomecanica-de-deere-indice-rqd-1967-parte-1a/>
- Echeveste, H. (s.f.). Manual de levantamiento geológico.
- Escuela de Versalles. (2020, 02 21). <https://escuelaversailles.com/topografia/>
- Facultad de Ingeniería UNLP. (2018). *Operaciones Topográficas* (Vol. 1). La Plata, Buenos Aires, Argentina: Facultad de Ingeniería UNLP. <http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASH013e.dir/doc.pdf>
- Ferrara. (2021). *Ferrara; proyectos especiales*. <https://ferrara.cl/servicios/exploraciones-geotecnicas/campanas-geotecnicas/exploraciones-geofisicas/#:~:text=Las%20exploraciones%20geofísicas%20son%20técnicas,de%20ondas%20de%20compresión%20o>

- García, A., Rosique, M., & Segado, F. (1994). *Topografía Básica para Ingenieros* (Vols. ISBN 84-7684-568-5). Murcia, España: Universidad de Murcia Servicios de Publicaciones. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=KxMmdTQmkEQC&oi=fnd&pg=PA1&dq=que+es+la+topografia+&ots=RGuVuTw9Ou&sig=CdjchmvIU-y4wuggQQMuGimCw6U#v=onepage&q=que%20es%20la%20topografia&f=false>
- García, M. (2012). *Geología Estructural: Esfuerzos y Deformaciones de las Rocas*,. Madrid, España: ISBN: 978-84-92767-65-6. https://www.researchgate.net/publication/263925700_Geologia_estructural_Esfuerzos_y_deformaciones_de_las_rocas_Deformacion_ductil_los_pliegues_y_sus_tipos_Mecanismos_de_plegamiento_Deformaciones_fragiles_diaclasas_y_fallas_Caracteristicas_y_tipos_Asoc
- Garzón, J. R., & Torrijo, J. F. (s.f.). *Departamento de Ingeniería del Terreno Universidad Politècnica de València*. <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/103394/Garzón%3BTorrijo%20-%20Análisis%20cinemático%20de%20la%20estabilidad%20de%20taludes%20en%20Oroca%20por%20vuelco%20%28toppling%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gayo, M. B. (2017). *Análisi de la variabilidad de algunos parámetros geotecnicos de suelos*. Madrid.
- Geología Estructural*. (s.f.). <https://www.geologiaestructural.com/introduccion/#:~:text=El%20término%20estructura%20geológica%20hace,estructuras%20geológicas%3A%20primarias%20y%20secundarias.>
- Geología.web*. (2019). <https://geologiaweb.com/geologia-general/geologia-estructural/>
- González, d. V., . Ferrer, M., . Ortuño, L., . Oteo, C., & . (2002). *Ingeniería Geológica* (1 ed.). (I. Capella, Ed.) Madrid, España: Pearson.
- Griem, W. (2020, 10 25). *Geovirtual2*. <https://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/02-diaclasas.htm>
- Grijalba, P. (s.f). *Fotogrametría aérea con Drones*. Lima. <https://www.roboticairsystems.com/Downloads/informe-fotogrametria.pdf>
- Hauge, K. (s/f). *NGI*. <https://www.ngi.no/eng/About-NGI/What-is-Geotechnical-engineering>
- Hedberg, H. D. (1980). *Guía estratigráfica internacional: Guía para la clasificación terminología y procedimientos estratigráficos* (Vol. 1). Nueva Jersey, Estados Unidos: Reverte.

- Herbert, J., & Gomez, J. (2012). *Utilización de Técnicas de Sondeos en Estudios Geotécnicos y Obras Subterráneas*. Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Exploración de Recursos Minerales, Madrid. <https://doi.org/10.20868/UPM>
- Hoek, E., Brown, E., Bieniawski, Barton, N., Lien, R., Marinos, P., . . . Karzulovic, A. (s/f). *SISTEMAS DE CALIFICACION Y CLASIFICACION GEOTECNICA DE MACIZOS ROCOSOS METODO DEL INDICE GSI Método del Índice GSI*. https://www.academia.edu/16304191/SISTEMAS_DE_CALIFICACION_Y_CLASIFICACION_GEOTECNICA_DE_MACIZOS_ROCOSOS_METODO_DEL_INDICE_GSI_Método_del_Índice_GSI
- Huang, W. (2009). *Petrología* (Vol. 1). (R. Díaz, Ed.) Ciudad de México, México: Limusa.
- Ibañez, O. (2020). *Orientación planos y líneas en el espacio*. <http://www0.unsl.edu.ar/~estructural/login/Teoria/TP1.pdf>
- IGEPN. (2021, 12 01). <https://lemag.ird.fr/es/mapa-de-peligrosidad-sismica-de-ecuador>
- jsessionid. (s/f). *Medida de la resistividad eléctrica del subsuelo*. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6316/05capitulo2.PDF;jsessionid=6FA53889A9334F2D5E6CC45AA4580591?sequence=5>
- Lluch, R., Martínez, M., & Apraiz, A. (2008). *Introducción a la Cartografía Geológica*.
- Martínez, r., Barrera, s., & Gómez, p. (2012). El método pseudoestático de estabilidad en presas: un análisis crítico. *Obras y Proyectos*, 9, 8. <https://doi.org/https://scielo.conicyt.cl/pdf/oyp/n9/art04.pdf>
- Maza, M. (2017). *Análisis cinemático de dos taludes de macizo rocoso en la ciudad de Loja para conocer su grado de estabilidad*. UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA, Repositorio Institucional UTPL. Loja: Creative Commons 4.0., <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/17551>
- Meléndez, & Fuster. (1991). Geología. En D. R. Caballero, & J. Paredes, *Compendio de Geología General* (pág. 13). Madrid, España: Paraninfo.
- Merino, E. (2017). *Análisi y Caracterización de Rocas Igneas y Metamórficas y sus Recursos Naturales Asociados*. Madrid, España: Ingeoexpert. <https://ingeoexpert.com/cursos/curso-de-analisis-y-caracterizacion-de-rocas-igneas-y-metamorficas-y-sus-recursos-naturales-asociados-2/>
- Navarrete, E. (2012). *Apuntes de Estratigrafía y Sedimentación*.b. Guayaquil: ESPOL.
- Navarro, S. (2008). Topografía II. En *Dibujo y Geometría Descriptiva II* (pág. 104). <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/curvas-de-nivel.pdf>

- Olivos, C., Flores, R., Chávez, C., & Trillo, N. (2020, 07). *Repositorio Digital Pontificia Universidad Católica del Perú*.
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/17059/OLIVOS_MENDOZA_CESAR_MÉTODOS_OBTENCIÓN_PARÁMETROS.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Los%20parámetros%20geotécnicos%20de%20un,como%20los%20asentamientos%20en%20suelos.
- Peña, J. S., & Méndez, T. S. (2011). *Fundamentos de Fotogrametría*. La Rioja, España.
- Perill, B. (2021, 01 12). *Institut Cartografic i geologic de Catsbylunya*. gencat:
<https://www.icgc.cat/es/Ciudadano/Explora-Cataluna/Atlas/Atlas-geologico-de-Cataluna/Los-tipos-litologicos/Rocas-igneas>
- Plaza, O. (s/f). *Geología Aplicada*. Madrid, España.
- Portillo, G. (2015). *Metereología enred*. https://www.meteorologiaenred.com/anticlinal-y-sinclinal.html#Clasificacion_de_los_pliegues
- Pothenot. (2004). *Levantamiento y Carteo Geológico I*. San Juan, A. Argentina: UNSJ.
<http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASH011e/5939e09d.dir/doc.pdf>
- Rodriguez, G. K., & Paredes, T. (2015). *Levantamiento Topográfico*. Bellavista: Instituto Superior Tecnológico Público Bellavista.
<https://erp.iestbellavista.edu.pe/upload/al20210422054538431phprstey70.pdf>
- Rodriguez, R. (2011, 06 09). *geologiavenezolana*.
<https://geologiavenezolana.blogspot.com/2011/06/estructuras-geologicas.html>
- Rojas, D. R., & Paredes, J. A. (2008). *Compendio de Geología General* (Vol. 1). (á. Montaña, Ed.) Lima, Perú: Editorial Universitaria EDUNI.
- Romana, M., Seón, J., & Montalar, E. (2001, 11). LA CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA SMR: APLICACIÓN, EXPERIENCIAS Y VALIDACIÓN. *ResearchGate*, 13.
https://www.researchgate.net/publication/290984182_La_clasificacion_geomecanica_SMR_aplicacion_experiencias_y_validacion
- Sala, Á. (s/f). *ambientech*. <https://ambientech.org/el-ciclo-geologico>
- Sanchez, J., & Pereda, R. (2014). Metodologías topográficas y aplicaciones. En *Topografía y Geodesía* (pág. 33).
<https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2494/course/section/2568/Fotogrametria.pdf>
- Sanz, R. V., Martí, S. S., & Díaz, A. (2015). Estabilidad de Taludes: Conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo. *Civilizate*, 7, 5.

- Servicio Geológico Mexicano. (2021, 03 23). *SGM*.
<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Rocas-metamorficas.html>
- SOTASOL*. (s/f). http://www.sotasol.cat/cartografia-geologica-geologia-barcelona_es.php
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2022). Quito.
https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/06/SITREP-No-45-Epoca_Lluviosa-01102021_-31052022.pdf
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos* (Vol. 1). Bucaramanga, Colombia: ISBN.
- Tapia, M. (2019). *LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO, ESTRATIGRÁFICO Y ESTRUCTURAL DE Macas*.
- Tarbuck Edward. J., L. F. (2005). *Ciencias de la Tierra - Una introducción a la Geofísica*. (Romo Miguel. M., Ed., & A. T. Científicas, Trad.) Madrid, España: Pearson Prentice Hall.
- Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra - Una introducción a la Geofísica*. (Romo Miguel. M., Ed., & A. T. Científicas, Trad.) Madrid, España: Pearson Prentice Hall.
- Taylor, D. W. (1961). *Principios Fundamentales de Mecánica de Suelos*. Ciudad de México.
- Twiss, & Moore. (1997). *Geología Estructural*. <https://www.geologiaestructural.com/analisis-estructural-pliegues/>
- USGS*. (2019). https://www.usgs.gov/faqs/what-a-fault-and-what-are-different-types?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products
- Varela, R. (2014). *Manual de Geología*. Buenos Aires, La Plata, Argentina: CONICET.
- Vera, J. A. (1994). *Estratigrafía Principios y métodos* (Vol. 1). Madrid, España: Grafur.
https://www.geologiaviva.info/wp-content/uploads/2021/03/Estratigrafia-Juan_Vera.pdf
- Weller. (1960). *Estratigrafía*. Francia.
[http://usuarios.geofisica.unam.mx/gvazquez/estratiGAB/Zona%20desplegar/Clases/Clase%2008%20PEPS%20\(Historia%20de%20la%20Estrat\).pdf](http://usuarios.geofisica.unam.mx/gvazquez/estratiGAB/Zona%20desplegar/Clases/Clase%2008%20PEPS%20(Historia%20de%20la%20Estrat).pdf)
- Wintra*. (2019). <https://wingtra.com/es/topografia-sig/>

11. Anexos

Anexo 1: Mapas del Area de Estudio

Anexo 1.1. Mapa de Ubicación Geográfica del Area de Estudio

Anexo 1.2. Mapa Hidrográfico Regional de la Parroquia Taquil a escala 1:25000

Anexo 1.3. Mapa Geológico Regional del Cantón Loja a escala 1:100000; Hoja 56, N – VI-F

Anexo 1.4. Mapa de Densidad de Lineamientos Estructurales del Área de Estudio a escala 1:5000

Anexo 1.5. Mapa Topográfico del Área de Estudio

Anexo 1.6. Perfiles Topográficos del Area de Estudio

Anexo 1.7. Mapa de Pendientes del Área de Estudio

Anexo 1.8. Mapa Geológico del Área de Estudio

Anexo 1.9. Perfiles Geológicos del Área de Estudio

Anexo 1.10. Mapa de Zonificación Litoestructural Preliminar del Área de Estudio

Anexo 1.11. Mapa de Zonificación Según el Factor de Seguridad

Anexo 2: Monografía del Punto IGM e Informe de Puntos de Control del Levantamiento Topográfico



I N S T I T U T O
Geográfico Militar



Ficha de Estación Permanente - REGME

junio-2020

Situación:

Código.....: LJEC
Nombre.....: Loja
Código IERS: 42010M001
Instalación...: 13-ene-2009

Cantón: Loja
Provincia: Loja

Localización.: Edificio de CITTES en la Universidad Técnica Particular de Loja UTPL.

Construcción: Estructura mixta de acero y concreto de 2.00 m de alto. Sobre esta se ubica el centrado forzozo (CF-IGM-v1) en el cual se encuentra la antena.

Coordenadas ITRF2008:

Latitud.....: 3° 59' 17.7352" S
Longitud.....: 79° 11' 54.7355" W
Altitud elipsoidal: 2143.510 m

X.....: 1192829.004 m
Y.....: -6252161.660 m
Z.....: -440799.114 m

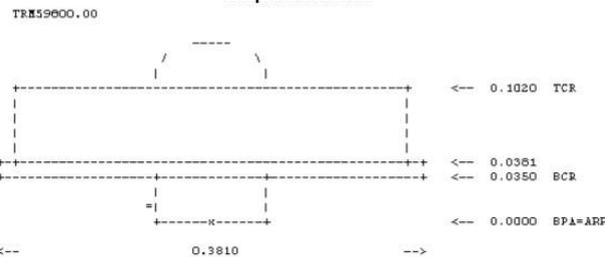
Este UTM.....: 700008.309 m
Norte UTM.....: 9558951.575 m
Zona.....: 17 Sur

Altitud sobre el nivel medio del mar:
Época de referencia: 2016.4

Instrumentación:

Receptor: TRIMBLE NET R9
Antena: TRM59800.00 SCIS **Altura:** 0.0100 m. (BPA)

Esquema antena



Información adicional:

Esta estación permanente, además de a la red REGME, pertenece a la siguiente red:
- Red SIRGAS Sistema de Referencia Geocéntrico para Las Américas:
<http://www.sirgas.org/es/>

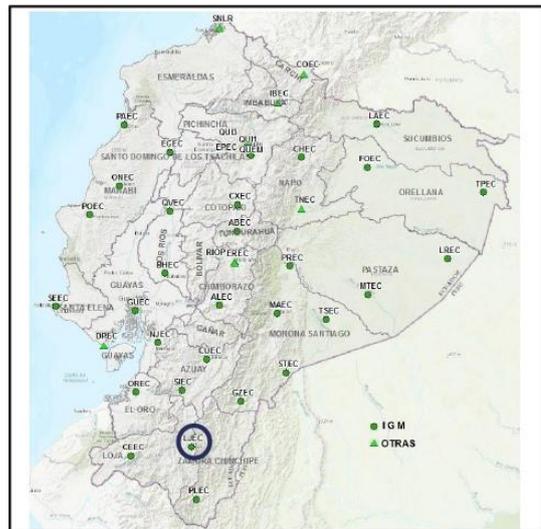
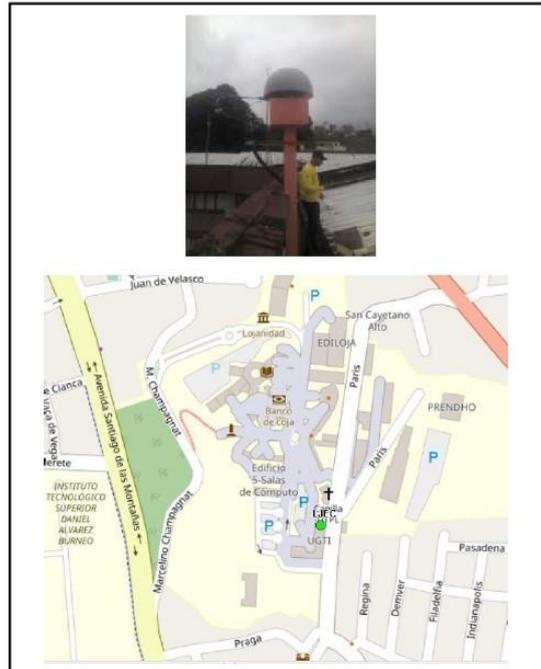
Datos diarios crudos a 1 segundo y rinex a 30 segundos:
<http://www.geoportaligm.gov.ec/geodesia/>

Emite correcciones diferenciales a través del Caster:
Principal: <http://regme-ip.igm.gov.ec:2101>
Backup: <http://regme-ip.esepoch.ec:2101>

E-mail de contacto IGM: proceso.geodesia@geograficomilitar.gob.ec

Coordenadas oficiales hasta el 15 de abril 2016:
ITRF94 - SIRGAS95

Latitud.....: 3° 59' 17.7411" S
Longitud.....: 79° 11' 54.7346" W
Altitud elipsoidal.....: 2143.532 m
Época de referencia.....: 1995.4



Observaciones:

Más información de esta estación permanente:
<ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/DGF/station/log>

Sensor meteorológico MET4 que proporciona datos: (PR, TD, HR) con un intervalo de 5 minutos
<http://www.geoportaligm.gov.ec/geodesia/>

ma

Points Quality Report

Report created: 17/06/2022 08:56:31

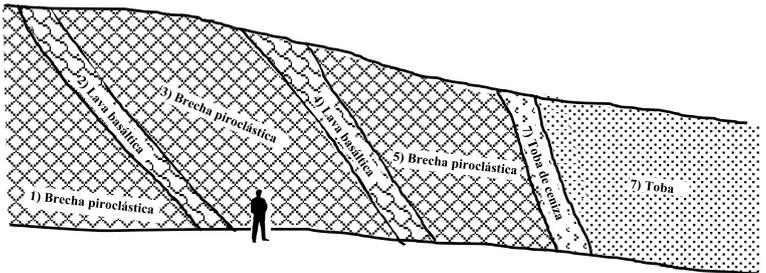
Project Details

General		Customer Details		Master Coordinate System	
Project Name:	TOPOGRAFÍA RENATO ALEJANDRO ESPINOSA ALBIA	Customer Name:	-	Coordinate System Name:	WGS84 17S _ EGM96
Owner:	Arq. Bryan Jiménez Vega	Contact Person:	-	Transformation Type:	Classical 3D
Lead Surveyor:	DELTA CIA. LTDA.	Number:	-	Residual Distribution:	None
Date Created:	17/06/2022 08:28:54	Email:	-	Ellipsoid:	WGS 1984
Last Accessed:	17/06/2022 08:28:55	Skype:	-	Projection Type:	UTM
Application Software:	Infinity 3.2	Website:	-	Geoid Model:	EGM96ec
				CSCS Model:	-
Path:	E:\DELTA\TOPOGRAFIA\TESISTAS UNL\Renato Espinoza\PROCESOS LEICA\TOPOGRAFÍA RENATO ALEJANDRO ESPINOSA ALBIA\TOPOGRAFÍA RE NATO ALEJANDRO ESPINOSA ALBIA.iprj...				
Size:	101,3 MB				
Comments:	-				

Summary

#	Point ID	Point Role	Easting [m]	Northing [m]	Ortho. Height [m]	Ellips. Height [m]	Code	Tilt [gon]	3D CQ [m]	2D CQ [m]	1D CQ [m]	Date/Time
1	BASE	Control	690.834,4905	9.569.934,7294	2.404,2313	2.422,1529		-	0,0002	0,0001	0,0002	17/06/2022 08:45:04
2	GCP1	Fixed PP	691.124,1160	9.569.971,5376	2.285,0982	2.303,0206		-	0,0003	0,0004	0,0002	08/06/2022 11:35:22
3	GCP2	Fixed PP	690.962,4746	9.569.767,0800	2.246,5487	2.264,4710		-	0,0002	0,0001	0,0002	08/06/2022 12:13:11
4	GCP3	Fixed PP	690.787,4303	9.569.706,4294	2.250,2344	2.268,1562		-	0,0004	0,0001	0,0003	08/06/2022 12:37:12
5	GCP4	Fixed PP	690.510,4983	9.569.631,6479	2.269,7250	2.287,6461		-	0,0005	0,0003	0,0005	08/06/2022 12:52:08
6	GCP5	Fixed PP	690.350,5566	9.569.511,9787	2.264,5124	2.282,4331		-	0,0008	0,0004	0,0007	08/06/2022 13:11:08
7	GCP6	Fixed PP	691.091,6034	9.569.877,9380	2.248,6143	2.266,5368		-	0,0002	0,0002	0,0003	08/06/2022 13:39:57
8	GCP7	Fixed PP	691.162,8241	9.569.914,5486	2.249,2807	2.267,2034		-	0,0002	0,0001	0,0001	08/06/2022 13:52:03
9	GCP8	Fixed PP	691.194,3269	9.569.612,1354	2.249,9498	2.267,8727		-	0,0007	0,0002	0,0006	08/06/2022 14:45:52
10	GCP9	Fixed PP	691.166,5477	9.569.464,6918	2.278,8083	2.296,7312		-	0,0003	0,0001	0,0002	08/06/2022 15:10:22
11	GCP10	Fixed PP	691.063,6224	9.569.527,0059	2.253,6079	2.271,5306		-	0,0009	0,0004	0,0008	08/06/2022 15:26:08
12	GCP11	Fixed PP	690.851,9472	9.569.274,2124	2.280,8893	2.298,8115		-	0,0004	0,0003	0,0005	08/06/2022 15:48:09
13	GCP12	Fixed PP	690.797,0606	9.569.070,0683	2.292,7042	2.310,6264		-	0,0001	0,0002	0,0003	08/06/2022 16:03:18
14	GCP13	Fixed PP	690.692,9416	9.569.054,4796	2.271,0585	2.288,9805		-	0,0007	0,0004	0,0005	08/06/2022 16:35:13
15	LJEC	Control Fixed 3D	700.008,3092	9.558.951,5747	2.125,7095	2.143,5100		-	-	-	-	17/06/2022 08:37:51
16	PC1	Fixed PP	691.037,1689	9.569.497,1289	2.262,7459	2.280,6685		-	0,0002	0,0001	0,0001	08/06/2022 17:24:22
17	PC2	Fixed PP	691.027,8061	9.569.477,6445	2.262,7338	2.280,6564		-	0,0003	0,0001	0,0003	08/06/2022 17:58:08

Anexo 3: Fichas de Descripción de Afloramientos

Fecha:		Responsable:		Afloramiento/Ficha:			
27/07/2022		Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento 01 – Ficha 1			
Tipo de Afloramiento:		Coordenadas UTM/WGS-84		X	Y	Z	
Natural () Antrópico (X)				690255.00	9569858.00	2264	
Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.							
Litología y Características del afloramiento							
Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas							
Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura	Potencia	Espesor
N°	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	83°	23°	173° SE	Vegetación/Altura: Si (X) No () 1,50 m		Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen una génesis ígnea de carácter volcánico	
Descripción: Debido a las dimensiones de este afloramiento y a los cambios litológicos que se evidenciaron se lo dividió en 6 zonas lito estructurales.							
Zona lito-estructural 1: Se encontraron brechas piroclásticas con clastos de composición variable entre andesítica y dacítica porfídica, mismos que tenían un tamaño aproximado de 64mm e inferior. La matriz es afanítica y la coloración en su mayoría es anaranjada-rojiza.							
Zona lito-estructural 2: Esta capa se encuentra en contacto discordante “discordancia angular erosiva”; con la capa de brechas piroclásticas. La litología de esta capa son lavas basálticas con matriz porfídica, de coloración grisácea y marrón, entre los minerales apreciables tenemos plagioclasas y piroxenos. La potencia del estrato es de 92cm aproximadamente y se encuentra en contacto erosivo con la capa suprayacente.							
Zona lito-estructural 3: Esta capa está compuesta por brechas piroclásticas con clastos de composición variable entre andesítica y basáltica, mismos que tenían un tamaño aproximado de 64mm e inferior. La matriz es afanítica y la coloración en su mayoría es anaranjada-rojiza. Otro dato importante, es que en esta zona el macizo, se encuentra atravesado por una vetilla de calcita asociada posiblemente a una alteración hidrotermal.							
Zona lito-estructural 4: Esta capa es de lavas basálticas con un matriz porfídica, de color grisácea y una potencia de 3m.							
Zona lito-estructural 5: En esta capa de aproximad. 12m de espesor se encontraron nuevamente brechas piroclásticas.							
Zona lito-estructural 6: Esta zona está compuesta por taba de ceniza gruesa de composición andesítica.							
Registro del afloramiento							
							
				Esquema			
							

FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Proyecto: "Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja"

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha Afloramiento 02 – Ficha 2		
Tipo de Afloramiento:	Natural (X)	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico ()		690315.00	9569675.00	2267

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas.

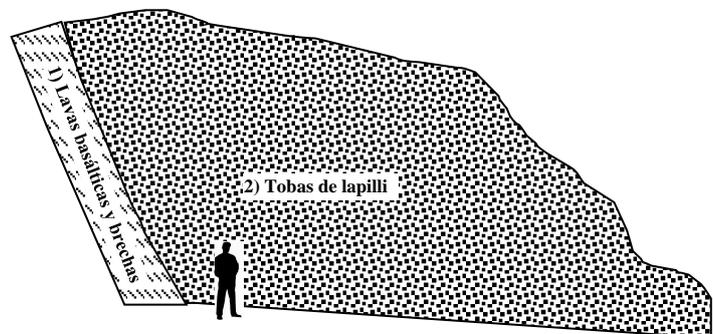
Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura 10,80 m	Potencia Masivo	Espesor 18.90 m
N °	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	-	-	-	Vegetación/Altura: Si (X) No () 1,10	Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen una génesis ígnea de carácter volcánico		

Descripción: En este sector afloran lavas andesíticas acompañadas por brechas y tobas de lapilli de composición andesítica con una matriz mayoritariamente afanítica y de coloración gris verdosa oscura. Además, existen zonas en donde los fragmentos de cristales han sido reemplazados totalmente por calcita formando una serie de vetillas. Presencia de cubierta vegetal en la parte superior del afloramiento.

Registro del afloramiento



Esquema



Proyecto: “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja”

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha Afloramiento 03 – Ficha 3		
Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico (X)		690374.00	9569539.00	2262

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas.

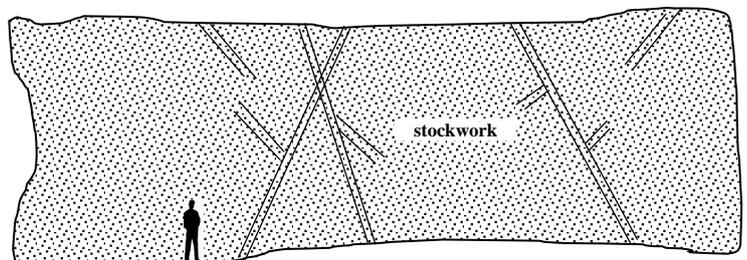
Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura	Potencia	Espesor
N °	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	25°	69°	115° SE	Vegetación/Altura: Si (X) No () 0,40	35.80 m	-	80.00 m
				Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen una génesis ígnea de carácter volcánico			

Descripción: En este sector se encontraron brechas piroclásticas con clastos de composición variable entre andesítica y dacítica porfídica, mismos que tenían un tamaño > 64mm. La coloración en su mayoría grisácea y marrón. También se encontraron brechas con un carácter más máfico “basaltos” con textura porfídica. Además, existe una zona con un vetilleo tipo stockwork conformado por vetillas de calcita de 5 a 10cm, que están dispuestas entre-cruzadas y sin un orden aparente.

Registro del afloramiento



Esquema



FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Proyecto: “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja”

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha Afloramiento 04 – Ficha 4		
Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico (X)		690409.00	9569558.00	2267

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas.

Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura 6,30	Potencia -	Espesor 14,40
Z.L	Azimet	Buzam.	Dir. Buzam.				
2	177°	39°	267° SW	Vegetación/Altura: Si (X) No () 1,10 cm	Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen una génesis ígnea de carácter volcánico		
4	8°	66°	98° SE				

Descripción: Debido a los cambios litológicos que se evidenciaron en el afloramiento se lo dividió en 4 zonas lito estructurales.

Zona lito-estructural 1: Se encontraron depósitos piroclásticos de brechas de composición andesítica con clastos de un tamaño aproximado de 64mm e inferior. La matriz es afanítica fina a media y la coloración en su mayoría es marrón y grisácea.

Zona lito-estructural 2: Esta capa se encuentra en contacto discordante “discordancia angular”; con la capa de brechas piroclásticas. La litología de esta capa son brechas piroclásticas de composición variable entre andesítica y tobacea, mismos que tenían un tamaño aproximado de 64mm y superior. La matriz es afanítica y la coloración en su mayoría es verdosa. La potencia del estrato es de 2m y se encuentra en contacto erosivo con la capa suprayacente.

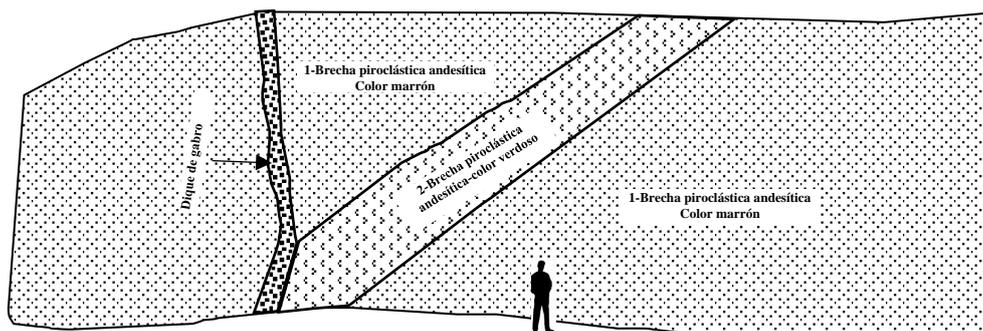
Zona lito-estructural 3: Esta capa comparte litología con la zona lito-estructural 1.

Zona lito-estructural 4: Dique de gabro con una potencia de 72cm. Entre los minerales apreciables se tienen fenocristales, plagioclasas y piroxenos.

Registro del afloramiento



Esquema



FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia	Afloramiento/Ficha Afloramiento 05 – Ficha 5			
Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico (X)		690659.00	9569688.00	2262

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

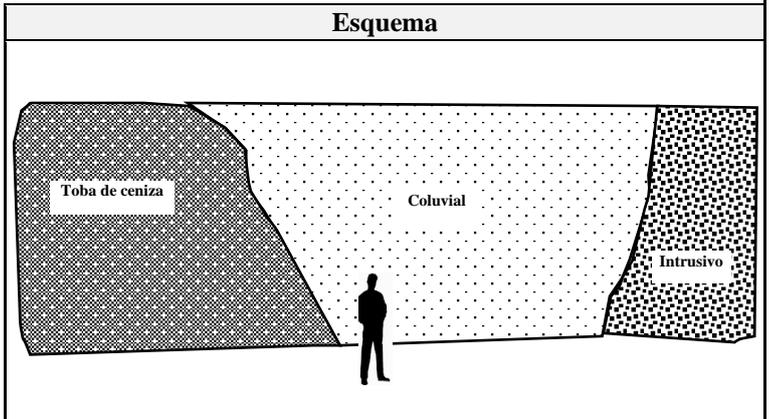
Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas.

Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura	Potencia	Espesor
N °	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	-	-	-	Vegetación/Altura: Si (X) No () 1,00 cm	-	-	112 m
				Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen génesis volcánica y volcano-sedimentaria			

Descripción: Zona de contacto litológico entre el volcánico de la formación Gonzabal que en este sector muestra “capas compuestas por taba de ceniza gruesa de composición andesítica, de coloración marrón claro”; con material coluvial, en el que se muestra predominio de bloques angulosos de rocas volcánicas altamente meteorizados, de coloración amarillenta anaranjada, mismos que tienen un tamaño mayor a 5 cm.

Registro del afloramiento



FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Proyecto: “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja”

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha Afloramiento 06 – Ficha 6		
Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico (X)		690765.00	9569708.00	2265

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas.

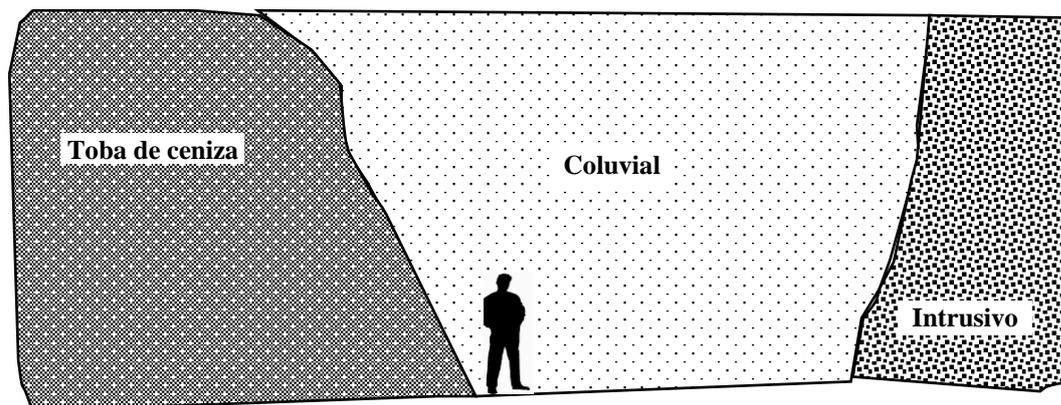
Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura	Potencia	Espesor
N°	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	-	-	-	Vegetación/Altura: Si (X) No () 0,90 cm	Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen génesis volcánica y volcano-sedimentaria		

Descripción: Zona de contacto litológico entre el depósito de material coluvial, en el que se muestra predominio de bloques angulosos de rocas volcánicas altamente meteorizados, de coloración amarillenta anaranjada, mismos que tienen un tamaño mayor a 5 cm; con rocas de textura granular y un carácter más máfico. “Zona de contacto inferida”

Registro del afloramiento



Esquema



FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Proyecto: “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja”

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha Afloramiento 07 – Ficha 7		
Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico (X)		690846.00	9569709.00	2257

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado, además de la presencia de un flujo de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas.

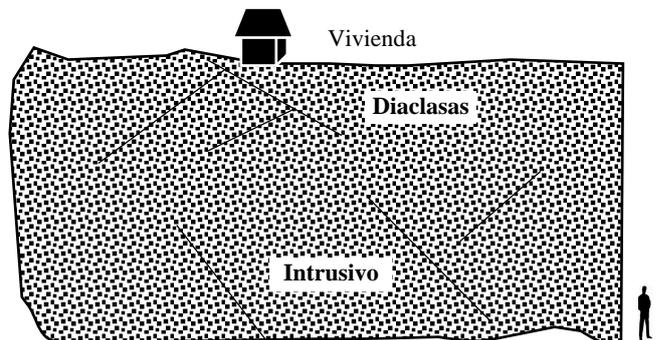
Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura 9,80 m	Potencia -	Espesor 38,1m
N °	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	-	-	-	Vegetación/Altura: Si (X) No () 0,65 cm	Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen una génesis ígnea de carácter volcánico		

Descripción: En este sector la litología tiene un carácter más plutónico, que se caracteriza por la presencia de una intrusión gabroica. Esta intrusión se caracteriza por tener una coloración que varía entre verde oscuro y grisácea. Asimismo, se observa la presencia de vetillas de calcita que atraviesan la intrusión. Además, es posible apreciar la presencia de diaclasas, que son fracturas o grietas en la roca. Entre los minerales apreciables se encuentran las plagioclasas y los piroxenos.

Registro del afloramiento



Esquema



FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Proyecto: “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja”

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha Afloramiento 08 – Ficha 8		
Tipo de Afloramiento:	Natural (X)	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico ()		690966.00	9569762.00	2257

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas.

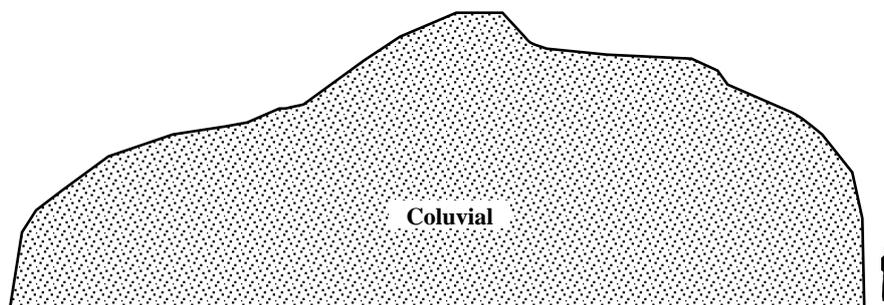
Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura	Potencia	Espesor
N °	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	-	-	-	Vegetación/Altura: Si (X) No () 0,40 cm		-	188 m
				Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen una génesis volcano-sedimentaria			

Descripción: En esta zona se encontraron nuevamente depósitos coluviales, con clastos angulares de composición andesítica .

Registro del afloramiento



Esquema



FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia	Afloramiento/Ficha Afloramiento 09 – Ficha 9			
Tipo de Afloramiento:	Natural (X)	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico ()		691090.00	9569893.00	2273

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y con presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas. Además de la Unidad Cera. – Esquistos pelíticos y paragneises con bandas de cuarzo y sericita.

Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura 10 – 24 m	Potencia -	Espesor 89,4 m
N °	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	170°	53°	260° SW	Vegetación/Altura: Si (X) No () 1,15 cm	Tipo de Roca o Material Aflorante En este sector la litología es muy variada, pasando de metamórfica a ígnea y a volcano-sedimentaria.		

Descripción: Debido a los cambios litológicos que se evidenciaron se lo dividió en 6 zonas lito estructurales.

Zona 1: En este sector se encuentran esquistos de color amarillento, medianamente meteorizados, que se encuentran buzando al SW. El espesor de esta capa es de aproximadamente 40m.

Zona 2: Zona de contacto litológico entre esquistos con conglomerados con clastos metamórficos “cuarcita”, sub-angulares, de color grisáceo y con una matriz arenosa.

Zona 3: Corresponde a un dique diorítico de textura porfídica que atraviesa los conglomerados. La potencia del dique es de 1.5m aproximadamente.

Zona 4: Zona de contacto entre los conglomerados y los esquistos.

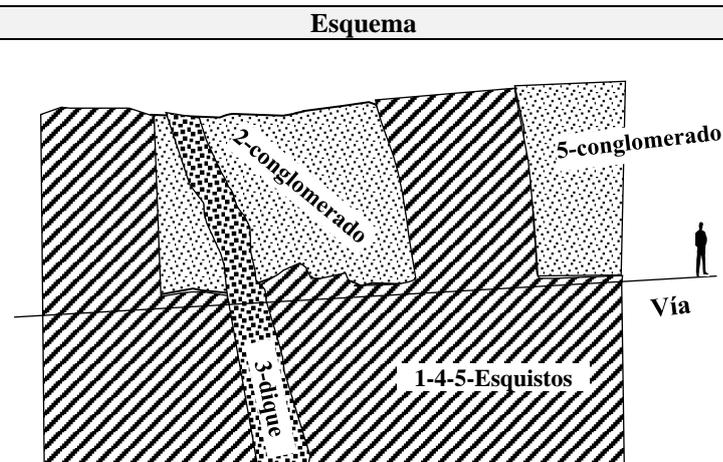
Zona 5: En esta zona nuevamente se encontraron conglomerados sub-angulares.

Zona 6: Zona de intercalaciones entre esquistos y conglomerados.

Registro del afloramiento



Esquema



FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Proyecto: “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja”

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha Afloramiento 10 – Ficha 10		
Tipo de Afloramiento:	Natural (X)	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico ()		691154.00	9569933.00	2273

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas. Además de la Unidad Cera. – Esquistos pelíticos y paragneises con bandas de cuarzo y sericita.

Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura 10 – 18 m	Potencia -	Espesor 55.4 m
Nº	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	130°	57°	220° SW	Vegetación/Altura: Si (X) No () 0,75 cm	Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen una génesis ígnea, metamórfica y volcano-sedimentaria		

Descripción: Debido a las dimensiones de este afloramiento y a los cambios litológicos que se evidenciaron se lo dividió en 4 zonas lito estructurales.

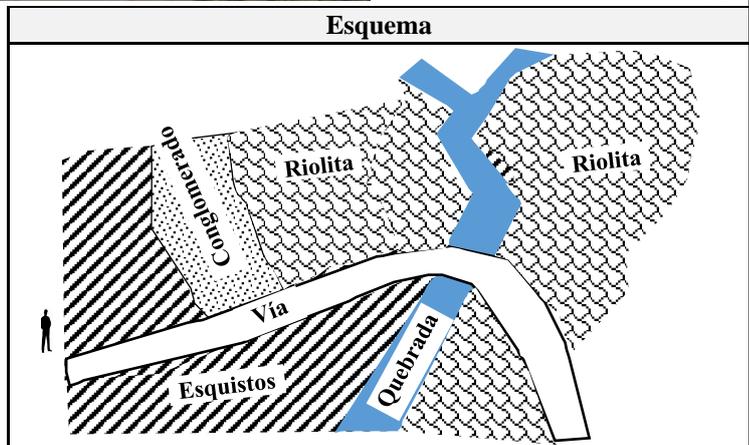
Zona 1: En esta zona afloran rocas riolíticas de matriz afanítica sin minerales apreciables de coloración marrón, fracturadas y altamente meteorizadas.

Zona 2: En contacto con las riolitas se tienen niveles de conglomerados sub-angulares y esquistos.

Zona 3: A nivel de la quebrada se encontraron depósitos coluviales con predominio de bloques angulosos de rocas volcánicas y metamórficas; al margen izquierdo de la quebrada se encontraron esquistos.

Zona 4: Al margen derecho de la quebrada nuevamente afloran las riolitas

Registro del afloramiento



FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Proyecto: "Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja"

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha Afloramiento 11 – Ficha 11		
Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico (X)		691191.00	9569875.00	2281

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas. Además de la Unidad Cera. – Esquistos pelíticos y paragneises con bandas de cuarzo y sericita.

Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura 8 – 25 m	Potencia -	Espesor 164 m
N °	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	187°	55°	277° SW	Vegetación/Altura: Si (X) No ()	Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen una génesis ígnea, metamórfica y volcano-sedimentarias		

Descripción: Debido a las dimensiones de este afloramiento y a los cambios litológicos que se evidenciaron se lo dividió en 3 zonas lito estructurales.

Zona 1: En esta zona afloran rocas riolíticas de matriz afanítica sin minerales apreciables de coloración marrón, fracturadas y altamente meteorizadas.

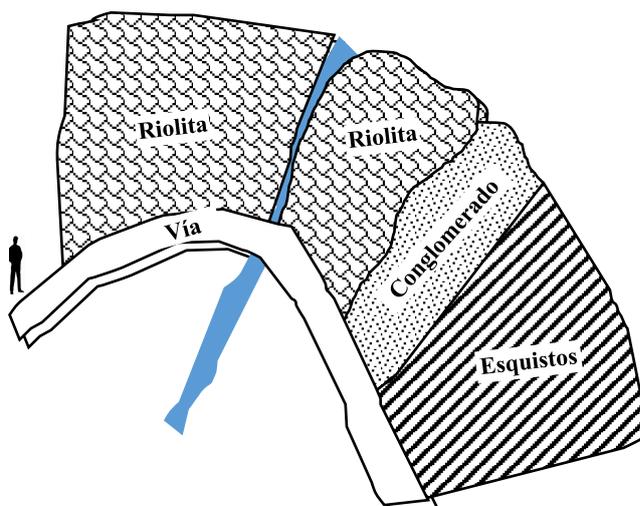
Zona 2: Esta zona está constituida por niveles de conglomerados de matriz areno-limosa, de tamaño inferior a 64 mm. La composición de los clastos varía entre esquistos, gneis y dacita porfídica.

Zona 3: Constituida por esquistos altamente meteorizados. Presencia de esquistos.

Registro del afloramiento



Esquema





Universidad Nacional de Loja

Universidad Nacional de Loja
Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



Proyecto: “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja”

FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha Afloramiento 12 – Ficha 12		
Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico (X)		691143.00	9569748.00	2275

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

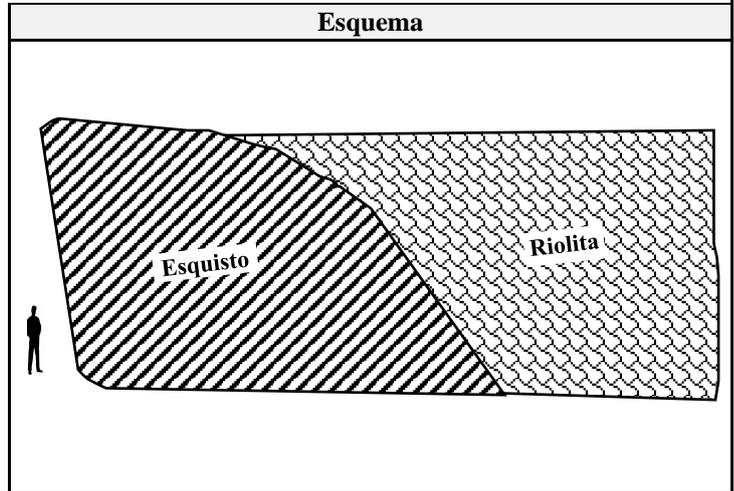
Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas. Además de la Unidad Cera. – Esquistos pelíticos y paragneises con bandas de cuarzo y sericita.

Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura	Potencia	Espesor
Nº	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
					8,40 m	-	177,5 m
1.	-	-	-	Vegetación/Altura: Si (X) No () 0.70 cm	Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen una génesis ígnea y rocas metamórficas		

Descripción: En esta zona se identificó una zona de contacto entre esquistos y riolitas altamente alteradas.

Registro del afloramiento



Proyecto: “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja”

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha Afloramiento 13 – Ficha 13		
Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico (X)		691216.00	9569616.00	2271

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas. Además de la Unidad Cera. – Esquistos pelíticos y paragneises con bandas de cuarzo y sericita.

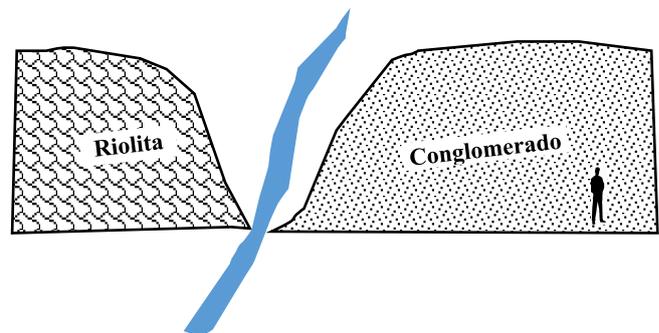
Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura	Potencia	Espesor
Nº	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
					2.50 m	-	18,5 m
1.	-	-	-	Vegetación/Altura: Si (X) No ()		Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen un carácter volcano-sedimentaria	

Descripción: Este afloramiento está conformado por conglomerados con una matriz areno-limosa de tamaño inferior a 64mm. Clastos de composición metamórfica. Presencia de lente de limolita.

Registro del afloramiento



Esquema



FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Proyecto: “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja”

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha Afloramiento 14 – Ficha 14		
Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico (X)		691148.00	9569498.00	2278

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas. Además de la Unidad Cera. – Esquistos pelíticos y paragneises con bandas de cuarzo y sericita.

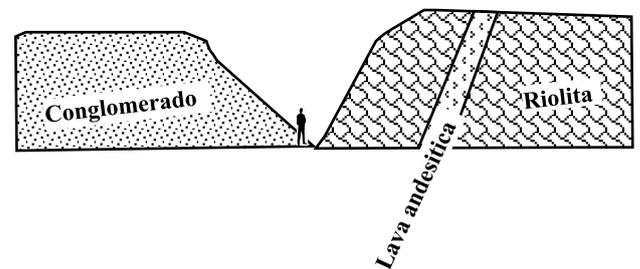
Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura	Potencia	Espesor
Nº	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
					2,25 m	-	82.9 m
				Vegetación/Altura: Si (X) No ()	Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen una génesis ígnea de carácter volcánico		

Descripción: Este afloramiento está conformado por intercalaciones de secuencias volcánicas entre riolita y tobas andesíticas que tienen una potencia de 0.5 m. Ambos materiales se encuentran altamente meteorizados.

Registro del afloramiento



Esquema



FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Proyecto: “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja”

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha: Afloramiento 15 – Ficha 15		
Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico (X)		690897.00	9569507.00	2278

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas.

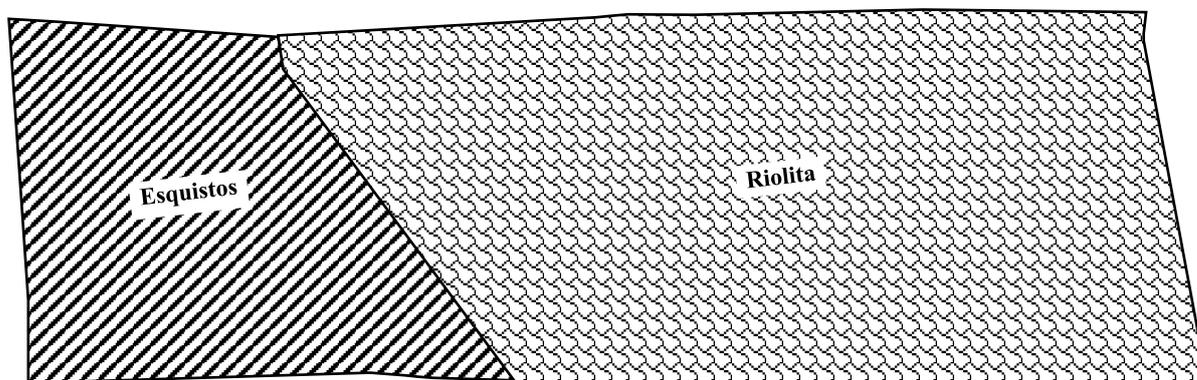
Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura 12,60 m	Potencia -	Espesor 95,6 m
Nº	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	-	-	-	Vegetación/Altura: Si (X) No () 0.40 m	Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen una génesis ígnea de carácter volcánico y metamórfica		

Descripción: Este afloramiento está conformado por esquistos de color grisáceo a marrón altamente meteorizados. A su vez está conformado por riolitas altamente meteorizadas de color amarillento a blanco, con presencia de oxidación. Entre los minerales apreciables se tienen plagioclasas en proceso de caolinización.

Registro del afloramiento



Esquema



FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Proyecto: “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja”

FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha: Afloramiento 16 – Ficha 16		
Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico (X)		690819.00	9569420.00	2292

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas.

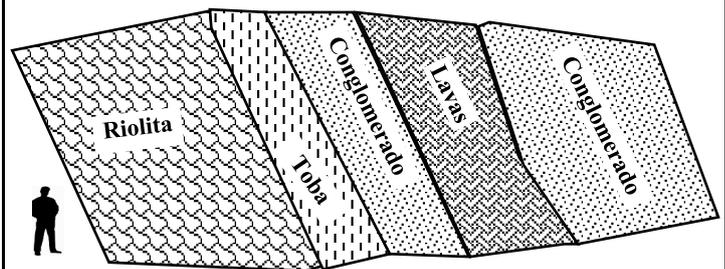
Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura 13,10 m	Potencia -	Espesor 78 m
Nº	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	-	-	-	Vegetación/Altura: Si (X) No () 0,80 m	Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen un carácter volcano-sedimentaria		

Descripción: Este afloramiento está conformado por intercalaciones de material volcano-sedimentario como fragmentos de riolita, lavas andesíticas y conglomerados “clastos metamórficos”, con matriz limo-arenosa.

Registro del afloramiento



Esquema



Proyecto: "Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja"

FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha °: Afloramiento 17 – Ficha 17		
Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico (X)		690854.00	9569288.00	2307

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

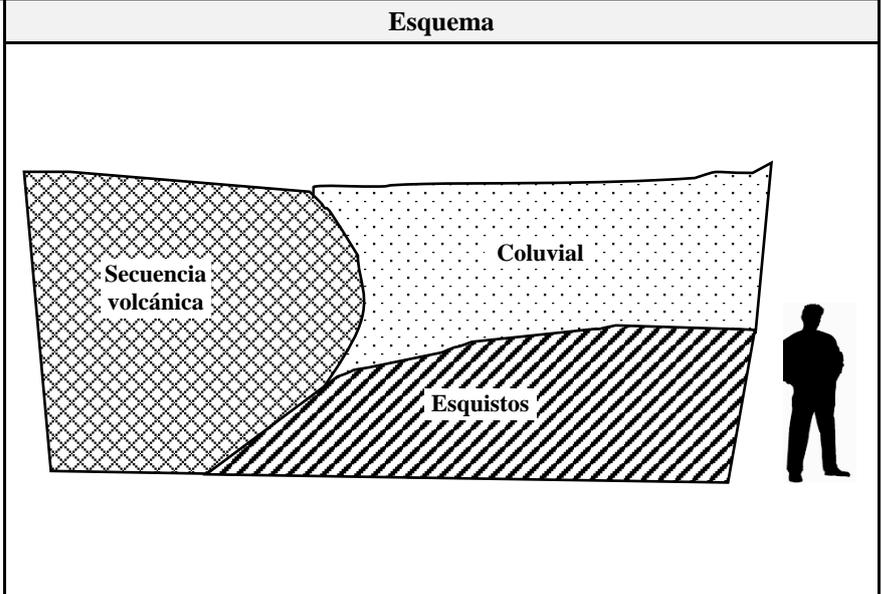
Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas.

Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura 4 m	Potencia -	Espesor 3,5 m
N °	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	200°	48°	290° NW	Vegetación/Altura: Si (X) No () 0,20 m	Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen una génesis volcano-sedimentaria y metamórfica		

Descripción: En este afloramiento se observa el contacto entre la secuencia volcano-sedimentaria y el basamento de la Unidad Cera. Sobre los esquistos existe material coluvial.

Registro del afloramiento



Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha: Afloramiento 18 – Ficha 18		
Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico (X)		690800.00	9569208.00	2290

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas.

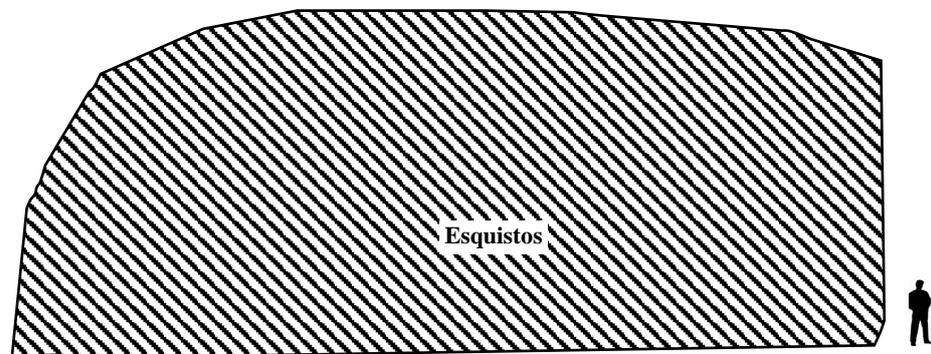
Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura 14.5 m	Potencia -	Espesor
N °	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	180°	61°	270° N	Vegetación/Altura: Si (X) No () 1,20	Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen una génesis metamórfica		

Descripción: Este afloramiento está conformado por esquistos altamente meteorizados de coloración grisácea, mismos que muestran cierto plegamiento.

Registro del afloramiento



Esquema



FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Proyecto: “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja”

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha: Afloramiento 19 – Ficha 19		
Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico (X)		690754.00	9569171.00	2280

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas.

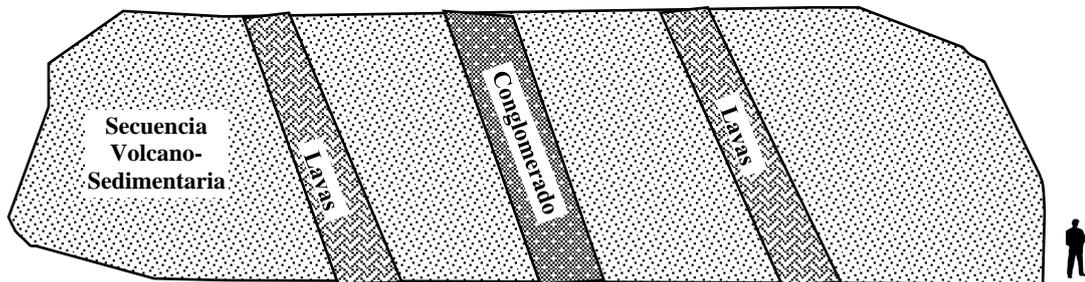
Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura 12,5 m	Potencia -	Espesor 65,2 m
Nº	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	-	-	-	Vegetación/Altura: Si (X) No () 0,40 m	Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen una génesis volcano-sedimentaria		

Descripción: Este afloramiento está conformado por intercalaciones de material volcano-sedimentario como fragmentos de riolita, lavas andesíticas y conglomerados “clastos metamórficos”, con matriz areno-limosa.

Registro del afloramiento



Esquema



FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Proyecto: “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja”

Fecha: 27/07/2022	Responsable: Renato Alejandro Espinosa Albia		Afloramiento/Ficha: Afloramiento 20 – Ficha 20		
Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Coordenadas UTM/WGS-84	X	Y	Z
	Antrópico (X)		690670.00	9568980.00	2279

Estado de Alteración/Estructura: Afloramiento antrópico moderadamente meteorizado y sin presencia de agua; forma parte de un relieve montañoso.

Litología y Características del afloramiento

Formación: Unidad Gonzabal. – Secuencias volcano-sedimentarias, niveles de conglomerados y lavas andesito basálticas.

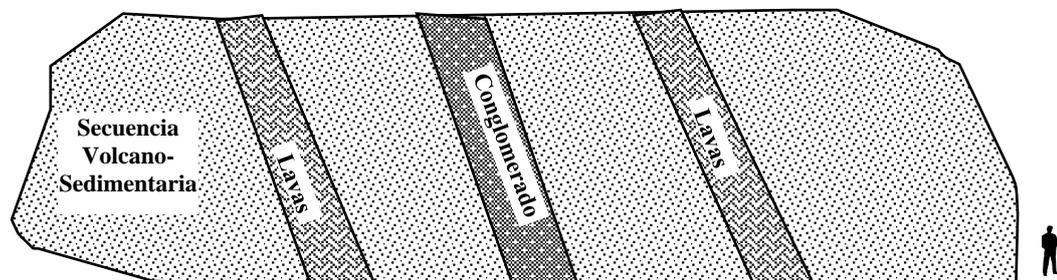
Medidas Estructurales				Dimensiones del Talud	Altura 14,5 m	Potencia -	Espesor 18,5 m
Nº	Azimut	Buzam.	Dir. Buzam.				
1.	-	-	-	Vegetación/Altura: Si (X) No ()	Tipo de Roca o Material Aflorante Las rocas aflorantes en este sector tienen una génesis volcano-sedimentaria		

Descripción: Este afloramiento está conformado por intercalaciones de material volcano-sedimentario como fragmentos de riolita, lavas andesíticas y conglomerados, con matriz areno-limosa.

Registro del afloramiento



Esquema



FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Anexo 4: Fichas de Descripción Macroscópica de Rocas e Informe de Fluorescencia de Rayos X

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> Universidad Nacional de Loja Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial </div> </div>				
Proyecto: “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja”				
Fecha:	Responsable:	Afloramiento/Muestra/Ensayo N°:		
07/02/2023	Renato Espinosa Albia	Afloramiento 1/Muestra 1/Fluorescencia de Rayos X		
Datos de Ubicación			Descripción Petrográfica	
Coordenadas UTM/WGS-84			Color:	marrón
X	Y	Z	Textura:	porfídica
690255.00	9569858.00	2264	Estructura:	Masiva
Contenido de Minerales			Tamaño del grano:	1-2 mm
Minerales Principales	Olivino, piroxeno		Forma de los granos:	
Minerales Secundarios	plagioclasas		Forma de los cristales:	
			% Fenocristales:	30
			% Matriz:	70
Nombre de la Roca		Datos Estructurales		Grado de Alteración
Basalto				Medio
Descripción/Observaciones:				
Muestra de roca tomada de capa de lava basáltica. Presenta coloración marrón oscura, con presencia de fenocristales de diámetro ligeramente superior a 1 mm, matriz hialocristalina de composición máfica. Por lo que corresponde a un basalto hialocristalino con matriz porfídica. Mediante el Diagrama de clasificación de Rocas volcánicas, de Peccerillo & Taylor, (1976), adaptado por Wilson, (1991) que utiliza la composición química de la roca, específicamente K2O vs SiO2, se determinó que esta muestra codificada A1M1, corresponde a basalto.				
Registro Fotográfico:				

Ficha Para Descripción Macroscópica De Muestras De Roca



Universidad Nacional de Loja

Universidad Nacional de Loja
Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



Proyecto: "Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja"

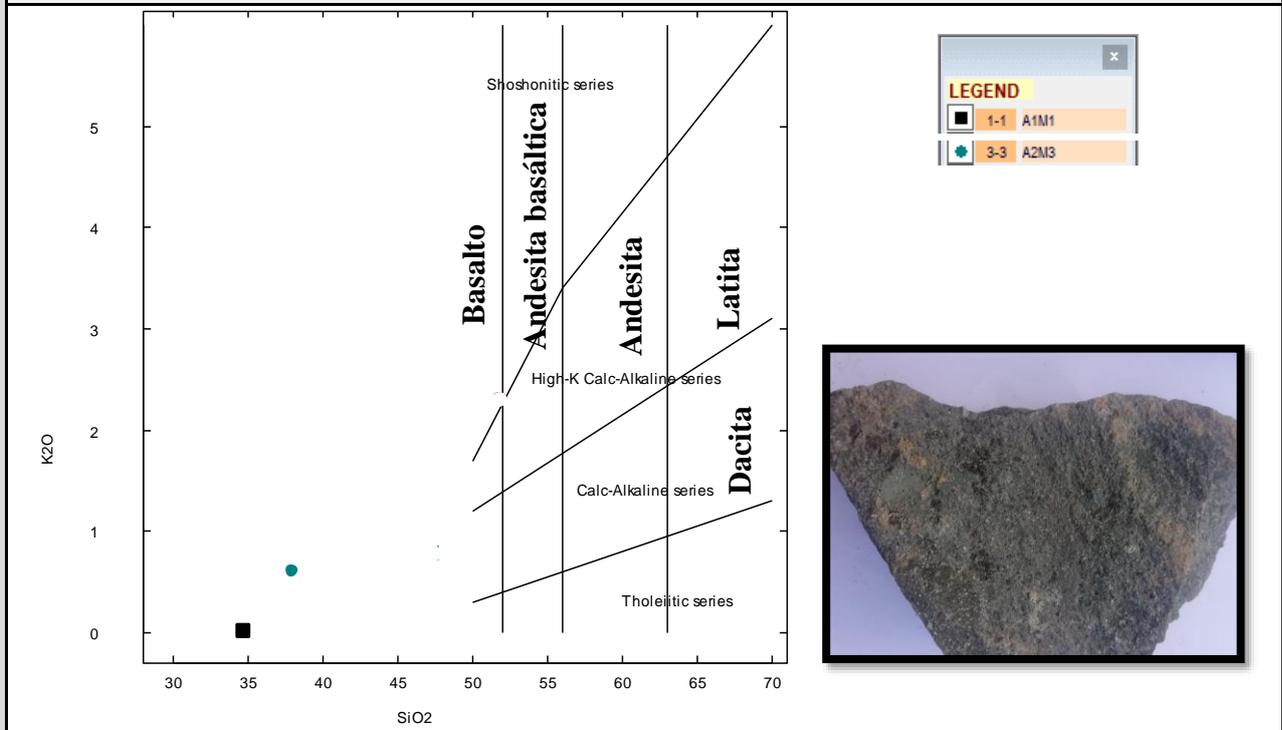
Ficha Para Descripción Macroscópica De Muestras De Roca

Fecha:			Responsable:			Afloramiento/Muestra/Ensayo N°:		
07/02/2023			Renato Espinosa Alba			Afloramiento 2/Muestra 3-4/Fluorescencia de Rayos X		
Datos de Ubicación						Descripción Petrográfica		
Coordenadas UTM/WGS-84						Color:		
X		Y		Z		Textura:		
690315.00		9569675.00		2267		Estructura:		
Contenido de Minerales						Tamaño del grano:		
Minerales Principales			Olivino, piroxeno			Forma de los granos:		
Minerales Secundarios			plagioclasas			Forma de los cristales:		
						% Fenocristales:		
						% Matriz:		
Nombre de la Roca			Datos Estructurales			Grado de Alteración		
Basalto						Medio		

Descripción/Observaciones:

Muestra de roca tomada de capa de lava basáltica. Presenta coloración gris oscura, con presencia de fenocristales de diámetro de 1 mm a 10 mm matriz hialocristalina de composición máfica. Por lo que corresponde a un basalto hialocristalino porfídico con matriz máfica. Mediante el Diagrama de clasificación de Rocas volcánicas, de Peccerillo & Taylor, (1976), adaptado por Wilson, (1991) que utiliza la composición química de la roca, específicamente K2O vs SiO2, se determinó que esta muestra codificada A2M3, corresponde a basalto.

Registro Fotográfico:





Universidad Nacional de Loja

Universidad Nacional de Loja
Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



Proyecto: "Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja"

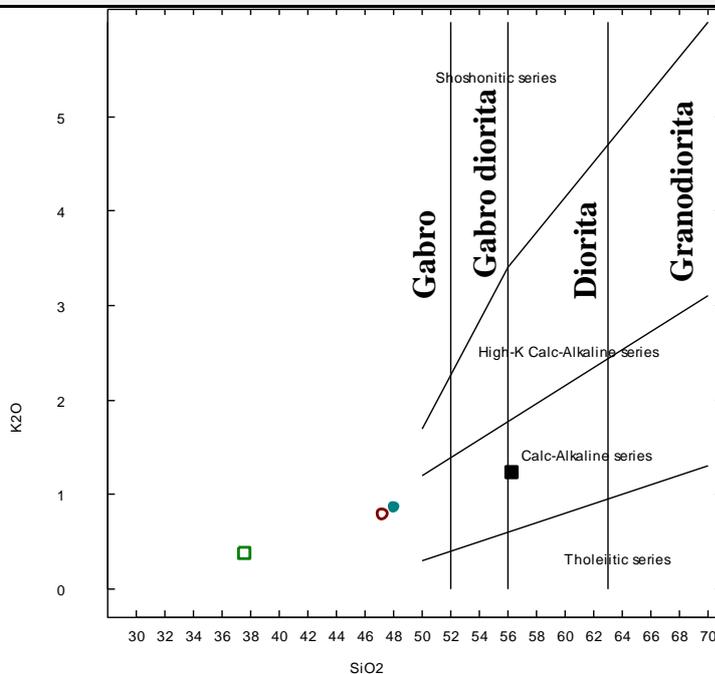
Ficha Para Descripción Macroscópica De Muestras De Roca

Fecha:		Responsable:		Afloramiento/Muestra/Ensayo N°:	
07/02/2023		Renato Espinosa Albia		Afloramiento 4/Muestra 6/Fluorescencia de Rayos X	
Datos de Ubicación				Descripción Petrográfica	
Coordenadas UTM/WGS-84				Color:	Marrón oscuro
X	Y	Z	Textura: Fanerítica: Alotriomórfica inequigranular		
690409.00	9569558.00	2267	Estructura: masiva		
Contenido de Minerales				Tamaño del grano:	2-8 mm
Minerales Principales	Olivino, piroxeno			Forma de los granos:	Tabular
Minerales Secundarios	plagioclasas			Forma de los cristales:	
				% Fenocristales:	40
				% Matriz:	60
Nombre de la Roca			Datos Estructurales		Grado de Alteración
Gabro					Alto

Descripción/Observaciones:

Presenta coloración marrón oscura, con presencia de fenocristales de plagioclasas de 2 a 8 mm, textura alotriomórfica inequigranular, matriz de composición máfica, se evidencia vetillas de calcita de potencia <1mm. Mediante el Diagrama de clasificación de Rocas plutónicas, de Peccerillo & Taylor, (1976), adaptado por Wilson, (1991) que utiliza la composición química de la roca, específicamente K₂O vs SiO₂, se determinó que esta muestra codificada A4M6, corresponde a gabro.

Registro Fotográfico:



LEGEND

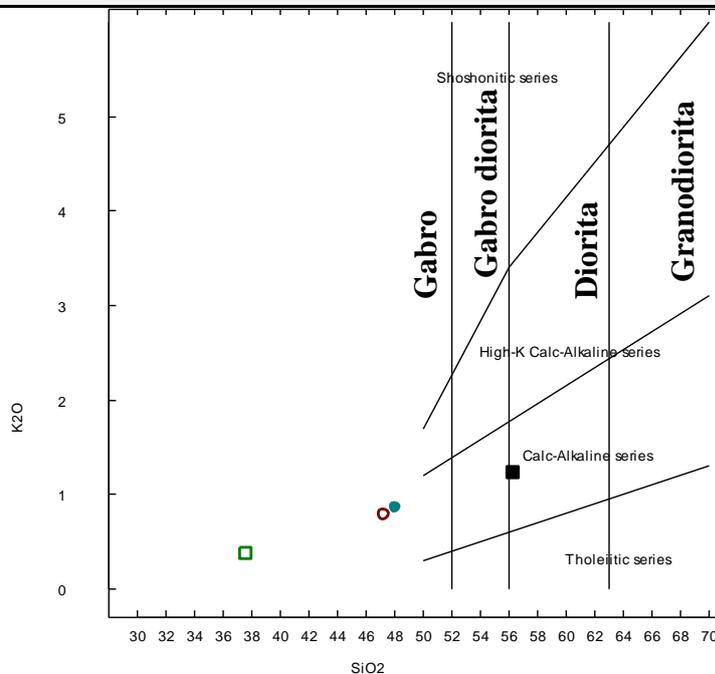
- 1-1 A9M10
- 2-2 A4M6
- 4-4 A7M7



Fecha:			Responsable:			Afloramiento/Muestra/Ensayo N°:		
07/02/2023			Renato Espinosa Albia			Afloramiento 7/Muestra 7/Fluorescencia de Rayos X		
Datos de Ubicación						Descripción Petrográfica		
Coordenadas UTM/WGS-84						Color:		
X		Y		Z		Marrón oscuro		
690846.00		9569709.00		2257		Textura:		
Contenido de Minerales						Estructura:		
Minerales Principales			Olivino, piroxeno			Tamaño del grano:		
Minerales Secundarios			Plagioclasas			Forma de los granos:		
						Forma de los cristales:		
						% Fenocristales:		
						% Matriz:		
Nombre de la Roca			Datos Estructurales			Grado de Alteración		
Gabro						Alto		

Descripción/Observaciones:

Presenta coloración marrón oscura, con presencia de fenocristales de plagioclasas de 2 a 8 mm, textura alotriomórfica inequigranular, matriz de composición máfica. Mediante el Diagrama de clasificación de Rocas plutónicas, de Peccerillo & Taylor, (1976), adaptado por Wilson, (1991) que utiliza la composición química de la roca, específicamente K₂O vs SiO₂, se determinó que esta muestra codificada A7M7, corresponde a gabro.

Registro Fotográfico:


LEGEND		
■	1-1	A9M10
□	2-2	A4M6
○	4-4	A7M7



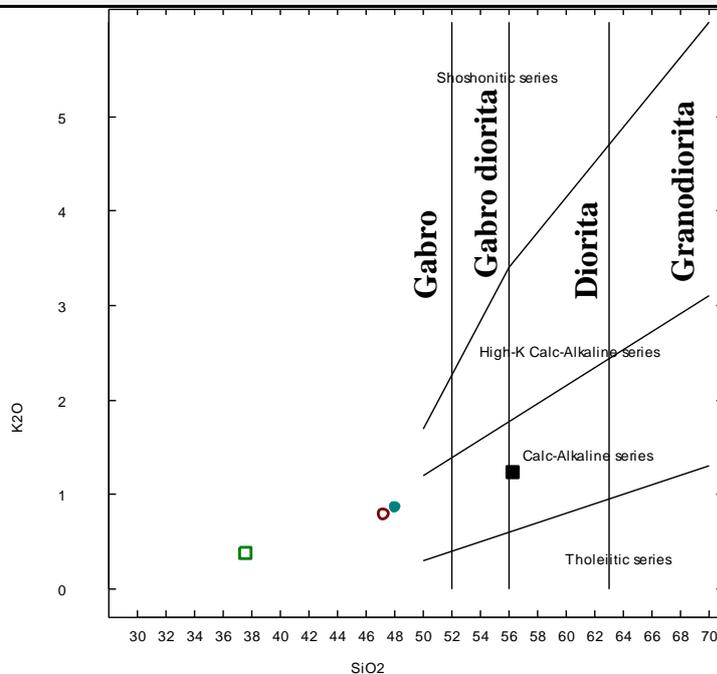
Ficha Para Descripción Macroscópica De Muestras De Roca

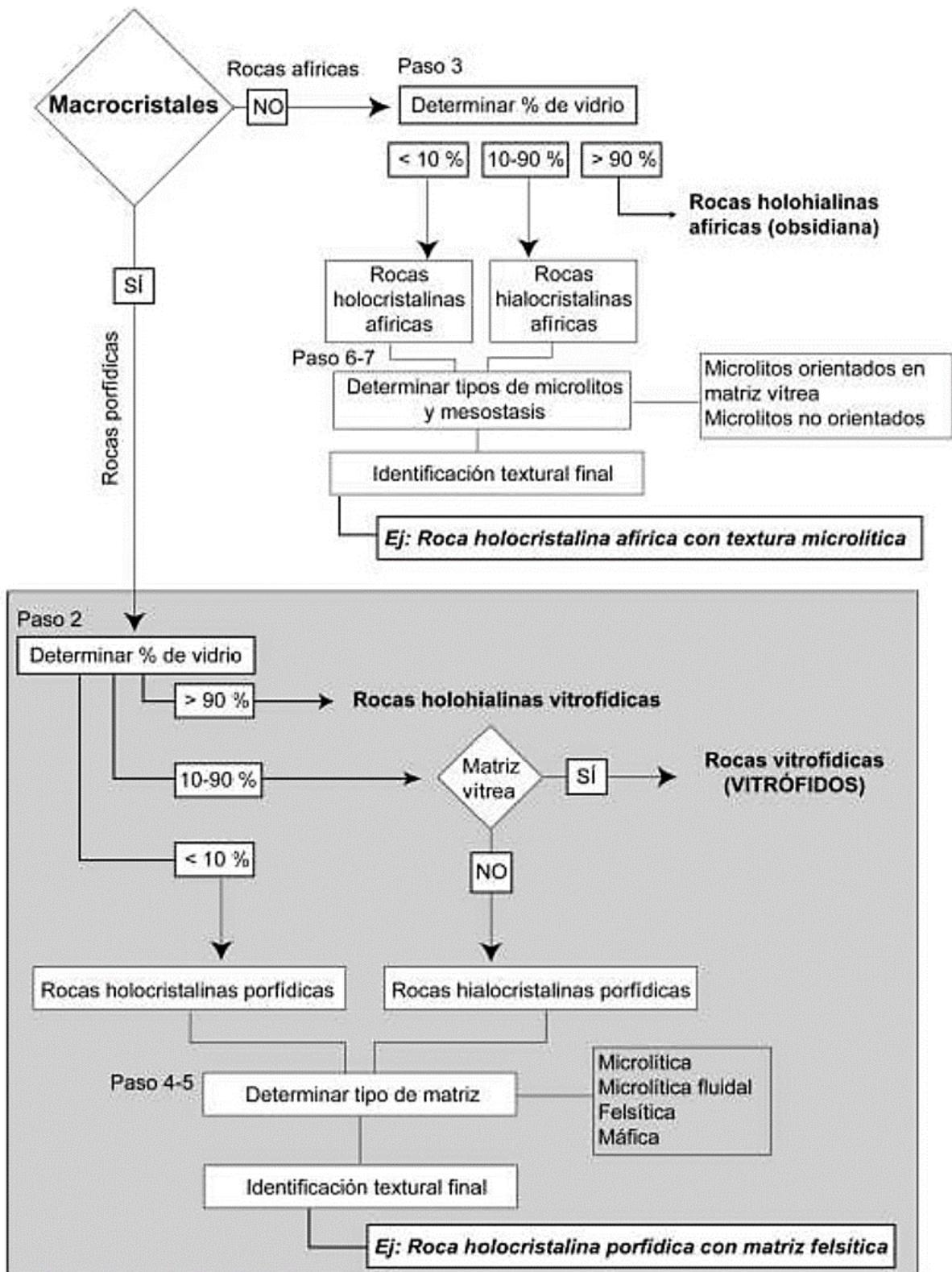
Fecha:			Responsable:			Afloramiento/Muestra/Ensayo N°:			
07/02/2023			Renato Espinosa Albia			Afloramiento 9/Muestra 10/Fluorescencia de Rayo X			
Datos de Ubicación						Descripción Petrográfica			
Coordenadas UTM/WGS-84						Color:			
X		Y		Z		Textura:			
691090.00		9569893.00		2273		Fanerítica: Alotriomórfica inequigranular			
Contenido de Minerales						Estructura:			
Minerales Principales: Piroxeno, plagioclasas						Masiva			
Minerales Secundarios: Anfíbol, cuarzo						Tamaño del grano:			
						2-4 mm			
						Forma de los granos:			
						Esféricos			
						Forma de los cristales:			
						% Fenocristales: 40			
						% Matriz: 60			
Nombre de la Roca				Datos Estructurales			Grado de Alteración		
Diorita							Medio		

Descripción/Observaciones:

Presenta coloración gris oscura, con presencia de fenocristales de plagioclasas de 2 a 4 mm, textura alotriomórfica inequigranular, matriz de composición máfica. Mediante el Diagrama de clasificación de Rocas plutónicas, de Peccerillo & Taylor, (1976), adaptado por Wilson, (1991) que utiliza la composición química de la roca, específicamente K₂O vs SiO₂, se determinó que esta muestra codificada A9M10 corresponde a diorita.

Registro Fotográfico:







**DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS
LABORATORIO DE GEOQUÍMICA ANALÍTICA**

Asunto: Informe de Fluorescencia de Rayos X
Método: Mining Light Elements (MLE)
Solicitante: Renato Alejandro Espinosa

Fecha de recepción: 19 de octubre de 2022
Fecha de entrega: 27 de octubre de 2022.

En la siguiente tabla se presentan los valores de composición química, obtenidos mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX) de las muestras correspondientes al **Exp. No. 056-2022**, empleando el equipo Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X portátil marca Bruker S1 Turbo SD.

MUESTRA	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)
A1.M1	11,1	34,7	ND	0,06	0,01	8,05
	Fe ₂ O ₃ (%)					
	4,45					
A5.M7	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)
	12,3	47,3	ND	0,07	0,78	4,92
	Fe ₂ O ₃ (%)					
A2.M3	3,20					
	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)
	10,4	38,0	ND	0,06	0,60	6,9
A11.M10	Fe ₂ O ₃ (%)					
	3,36					
	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)
A4.M6	12,8	56,3	ND	0,38	1,23	2,73
	Fe ₂ O ₃ (%)					
	1,44					
A4.M6	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)
	10,4	37,6	0,47	0,05	0,37	6,66
	Fe ₂ O ₃ (%)					

	4,19					
A12.M11	Al₂O₃ (%)	SiO₂ (%)	P₂O₅ (%)	S (%)	K₂O (%)	CaO (%)
	16,9	51,9	0,33	0,09	2,30	1,68
	Fe₂O₃ (%)					
	1,36					
A11.M9	Al₂O₃ (%)	SiO₂ (%)	P₂O₅ (%)	S (%)	K₂O (%)	CaO (%)
	13,9	48,1	0,38	0,09	0,86	4,91
	Fe₂O₃ (%)					
	3,40					

Estos resultados corresponden a la composición química de la muestra expresada en elementos mayoritarios (>1%), minoritarios (<1 a 0,1%) y trazas (ppm).

A: Afloramiento **M:** Muestra

ND: No detectó.

Observaciones: El Na₂O y Carbono no es analizado por FRX, pero la muestra los puede contener.

Universidad Técnica Particular de Loja (U.T.P.L.) y Laboratorio de Beneficio de Minerales se deslindan de toda responsabilidad civil, laboral y penal, derivado del protocolo de muestreo de las alícuotas ingresadas al laboratorio que puedan alterar los resultados del análisis, puesto que en este caso no fueron tomadas por un representante de la U.T.P.L.


Ing. Carlos Roberto Correa J.
Técnico de Laboratorio de Geoquímica Analítica



San Cayetano Alto s/n Loja -
 Ecuador
 Telf.: (593 - 7) 3701444
 Fax: (593 - 7) 2584893
 informacion@utpl.edu.ec Apartado
 Postal: 11 - 01 - 608 www.utpl.edu.ec

Anexo 5: Fichas de Inventario de Deslizamientos

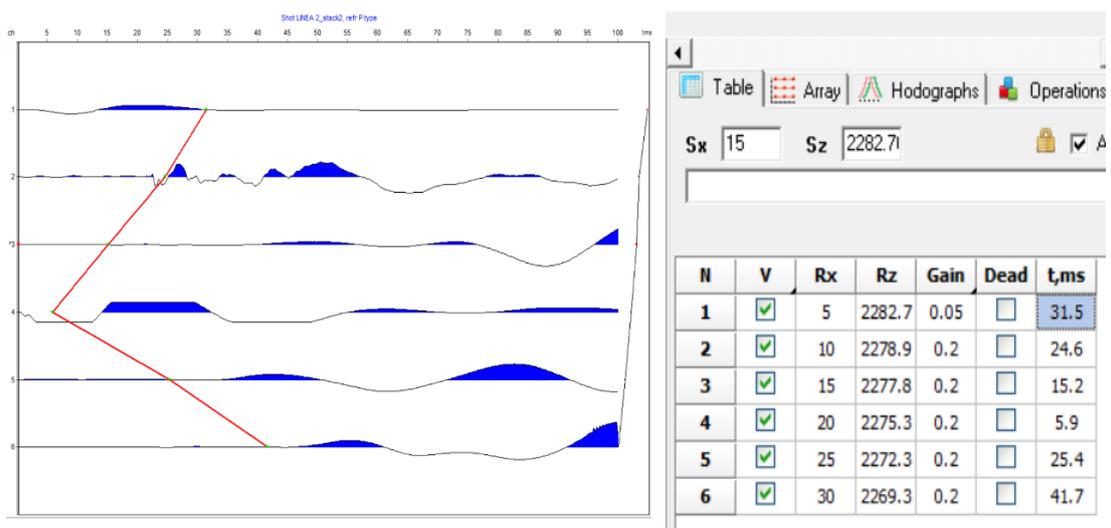
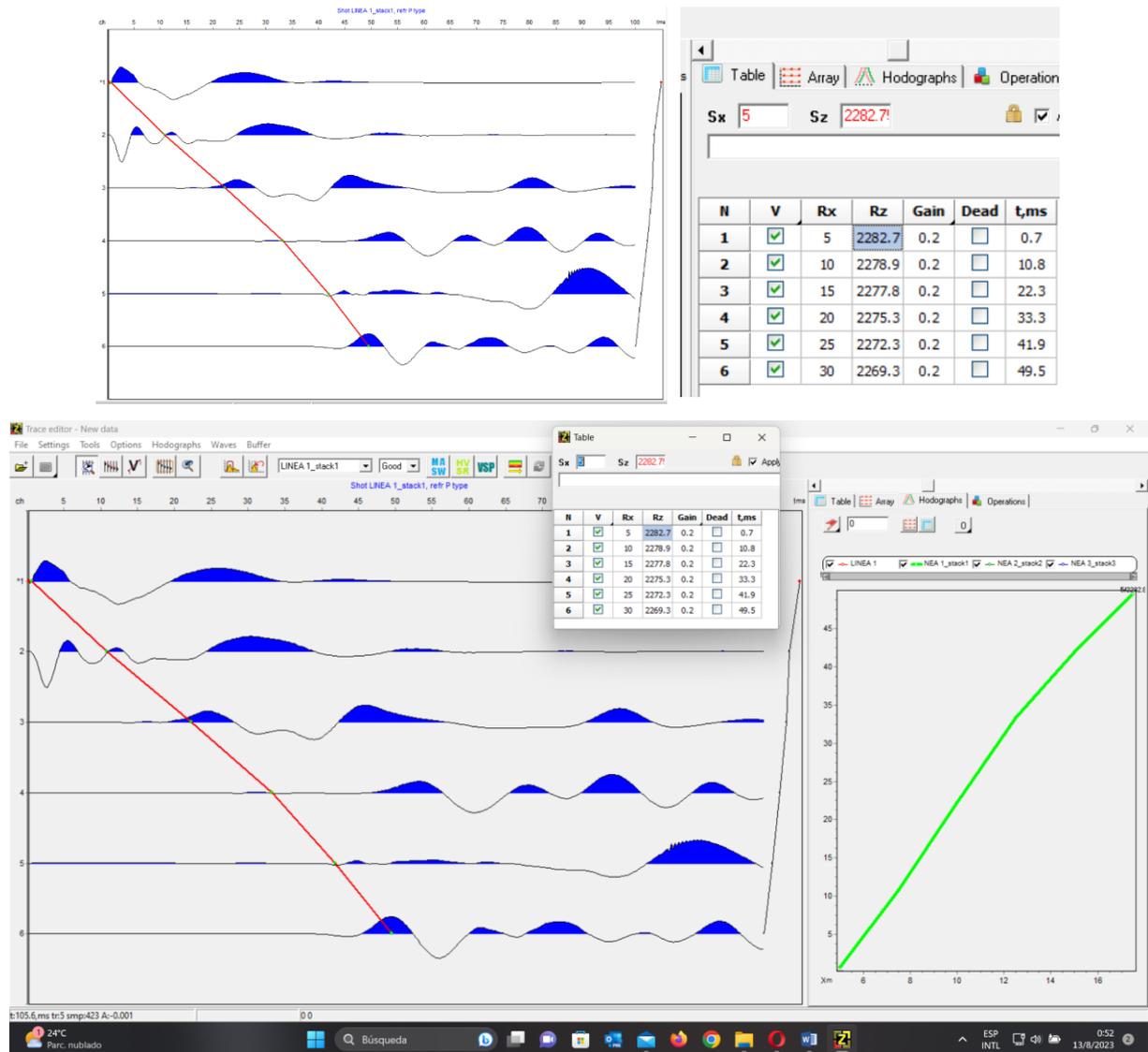
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> Universidad Nacional de Loja Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial “Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, Kilometro 9,5 – 12,00 Cantón Y Provincia De Loja” </div> </div>									
Fecha:	Responsable:			Código			Actividad		
06/03/2023	Renato Alejandro Espinosa Albia			Deslizamiento 01			Activo		
Coordenadas UTM/WGS-84				Dimensiones		Latente	X		
X	Y	Z-mayor	Altura	29,50 m		Estabilizado			
691152,00	9569731,00	2302	Ancho	28,64 m		Antiguo			
Tipo de Movimiento		Estado		Forma General			Litología		
	Deslizamiento traslacional	X	Reciente		Plano			Roca	
X	Deslizamiento rotacional		Antiguo		Flujo		X	Cambio Roca/Suelo	
	Flujo	Estilo			Frontal		X	Suelo arenoso	
	Reptación	X	Múltiple	X	Irregular			Suelo limoso	
	Propagación lateral		Único	Medidas Estructurales				Suelo arcilloso	
	Caída	Azimut		---	Buzamiento	---	Dirección Buzamiento		-----
Superficie		Escarpe Principal					Pie de movimiento		
X	Formas recientes	Altura (m): 7,60					Altura (m): 8,10 m		
X	Cubierta vegetal parcial	X	Bien evidente		Abovedada			Abollado	
	Cubierta vegetal total		Poco evidente		Lanceolado (forma de lanza)			Plano	
	Oculto/erosión		Parcial evidente				X	Indistinto	
	Oculto/actividad humana		No evidente		Rectilíneo			Empuje alrededor	
Intensidad de Forma		X	Grietas		Desigual			Mult. Amontonado	
	Fuerte	Morfología		Filtración		Márgenes		Observaciones	
X	Clara		Escalonada	X	Seco			Evidente	
	Leve		Ondulada		Húmeda		X	Parciales	
Origen de la Pendiente		X	Cóncava		Sobresaturada			Leves	
	Artificial		Indistinta		Manantiales			Indistintos	
X	Natural		Plana		Flujos de agua				
Fotografía									
									

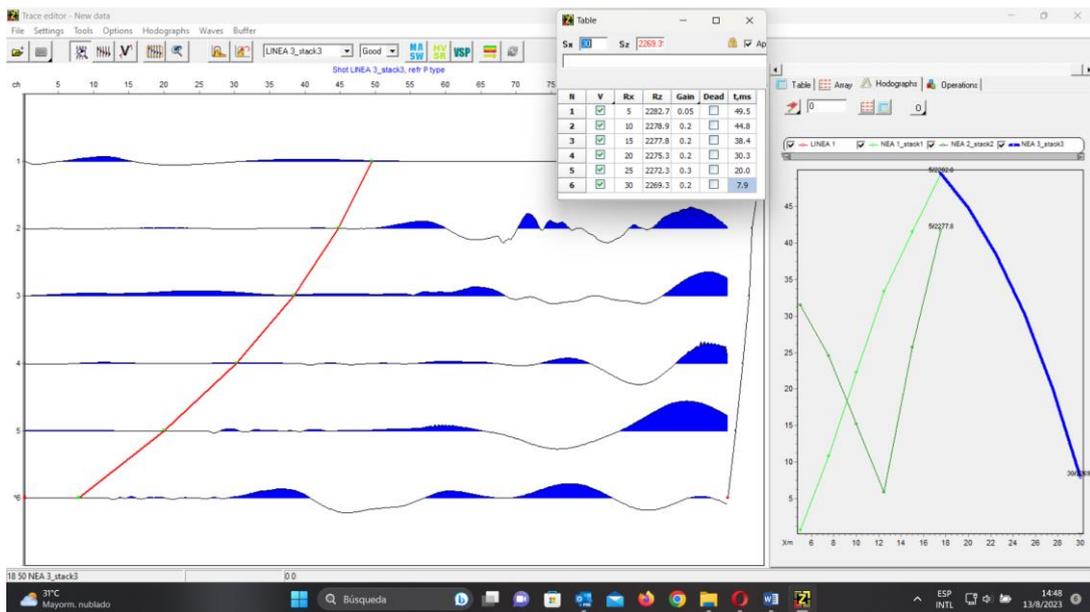
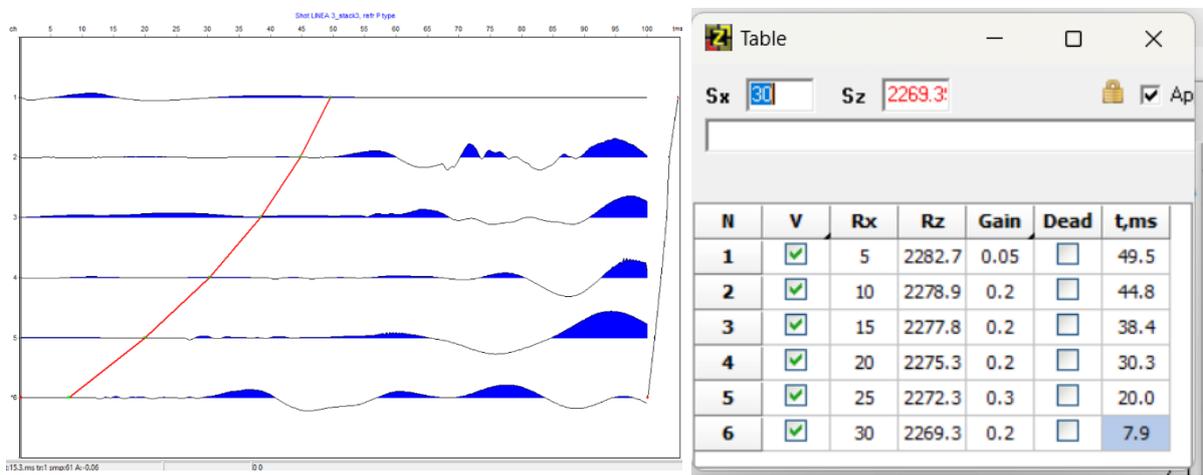
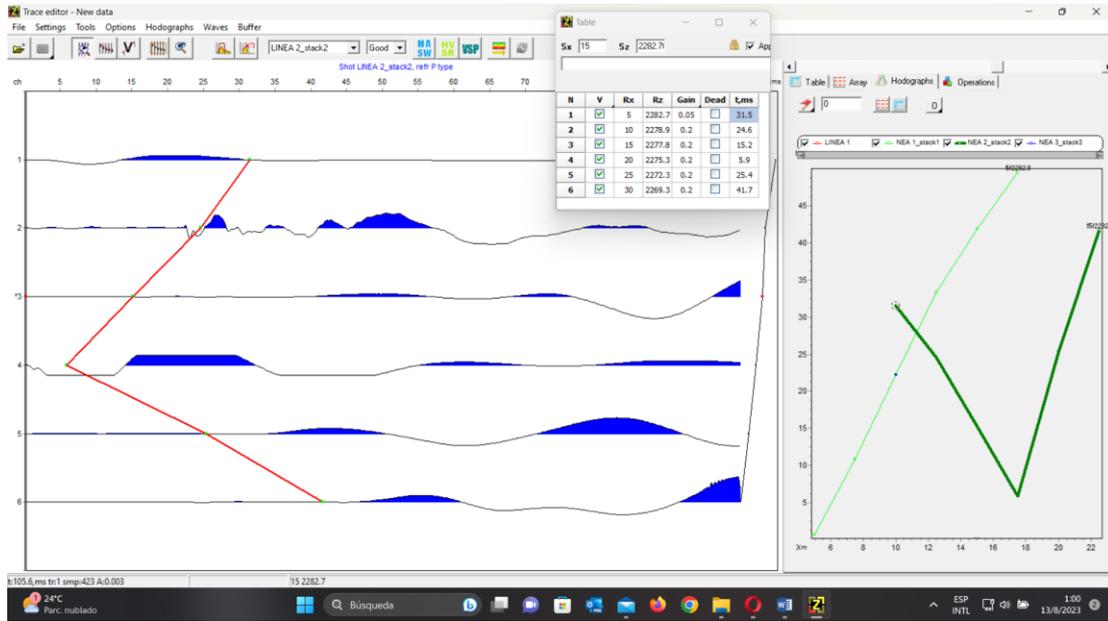
Ficha de Inventario de Deslizamientos

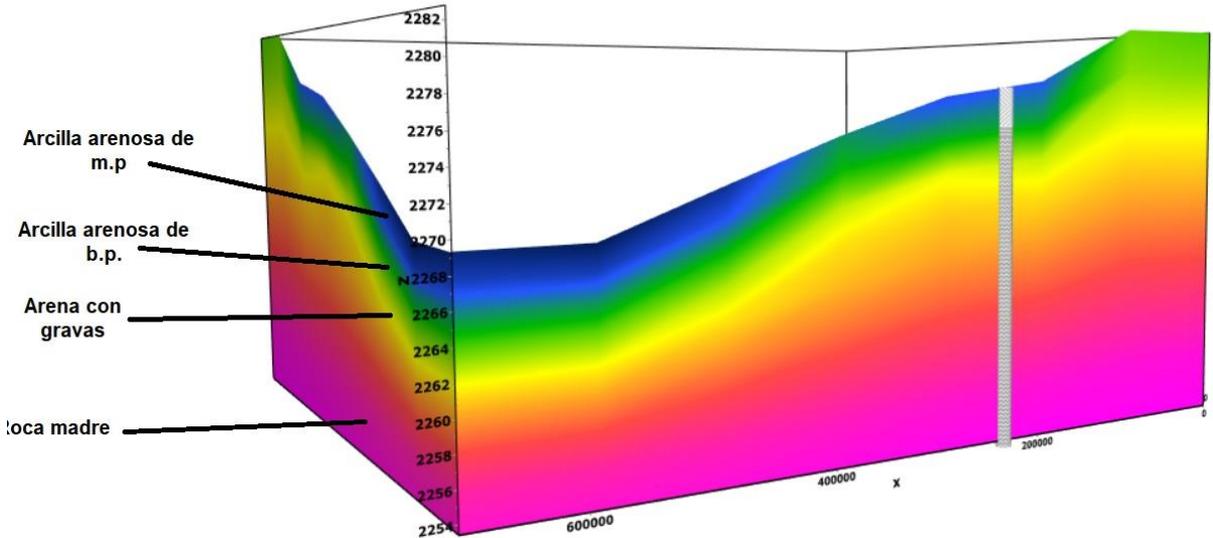
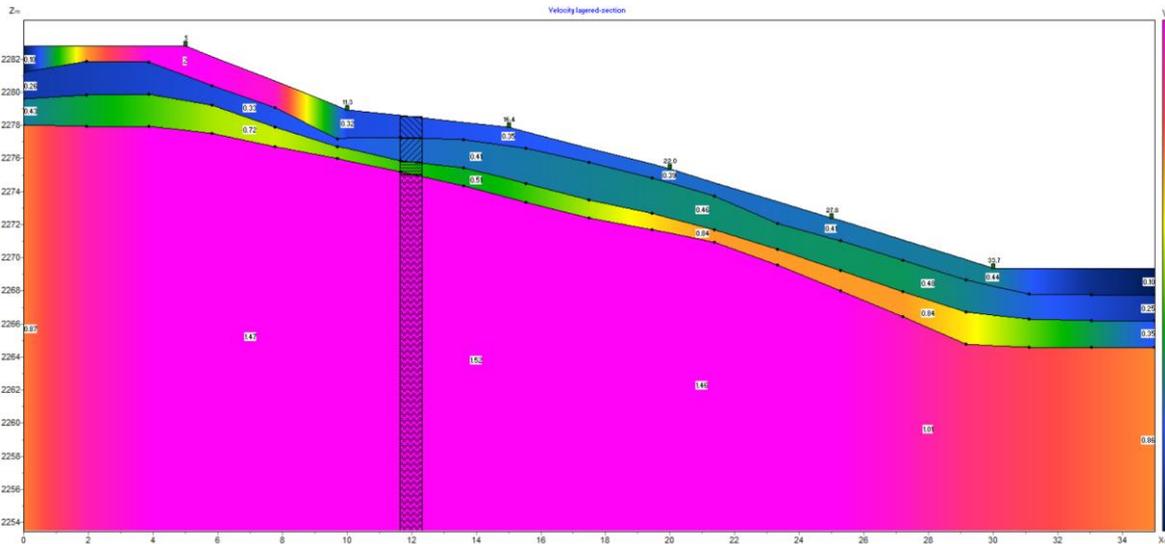
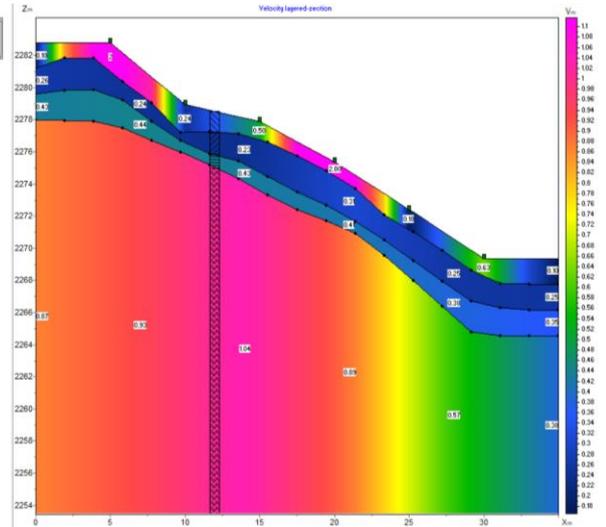
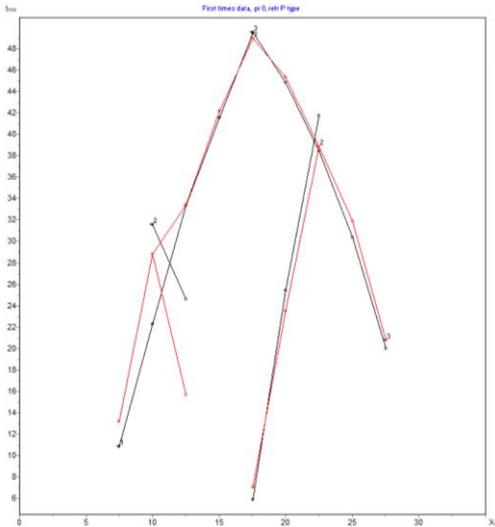
Ficha de Inventario de Deslizamientos

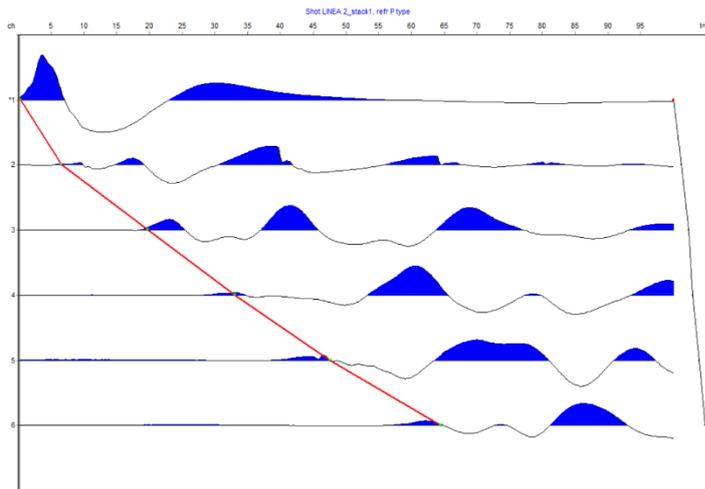
Fecha:		Responsable:		Código			Actividad	
06/03/2023		Renato Alejandro Espinosa Albia		Deslizamiento 02			Activo	X
Coordenadas UTM/WGS-84				Dimensiones		Latente		
X	Y	Z-mayor		Altura	40,10 m	Estabilizado		
691132,00	9569820,00	2299		Ancho	22,89 m	Antiguo		
Tipo de Movimiento		Estado		Forma General		Litología		
	Deslizamiento traslacional	X	Reciente		Plano		Roca	
X	Deslizamiento rotacional		Antiguo	X	Flujo	X	Cambio Roca/Suelo	
	Flujo	Estilo			Frontal		Suelo arenoso	
	Reptación	X	Múltiple		Irregular		Suelo limoso	
	Propagación lateral		Único	Medidas Estructurales		X	Suelo arcilloso	
	Caída	Azimut		---	Buzamiento	---	Dirección Buzamiento	
Superficie		Escarpe Principal				Pie de movimiento		
X	Formas recientes	Altura (m): 3,70 m				Altura (m): 6,50 m		
	Cubierta vegetal parcial		Bien evidente		Abovedada		Abollado	
	Cubierta vegetal total		Poco evidente		Lanceolado (forma de lanza)		Plano	
X	Oculto/erosión	X	Parcial evidente					Indistinto
	Oculto/actividad humana		No evidente		Rectilíneo		Empuje alrededor	
Intensidad de Forma			Grietas		Desigual	X	Mult. Amontonado	
	Fuerte	Morfología		Filtración		Márgenes		
	Clara		Escalonada	X	Seco	X	Evidente	
X	Leve		Ondulada		Húmeda		Parciales	
Origen de la Pendiente			Cóncava		Sobresaturada		Leves	
	Artificial	X	Indistinta		Manantiales		Indistintos	
X	Natural		Plana		Flujos de agua			
Fotografía								
								

Anexo 6: Campaña Geotécnica









Table

Sx: 5 Sz: 2282.7

N	V	Rx	Rz	Gain	Dead	t,ms
1	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2282.7	0.4	<input type="checkbox"/>	0.4
2	<input checked="" type="checkbox"/>	10	2286.1	0.2	<input type="checkbox"/>	6.6
3	<input checked="" type="checkbox"/>	15	2289.1	0.3	<input type="checkbox"/>	19.8
4	<input checked="" type="checkbox"/>	20	2290.8	0.2	<input type="checkbox"/>	33.1
5	<input checked="" type="checkbox"/>	25	2293.4	0.3	<input type="checkbox"/>	47.6
6	<input checked="" type="checkbox"/>	30	2296	0.2	<input type="checkbox"/>	64.4

New data

File Settings Tools Options Histograms Waves Buffer

LINEA_2_stack1 Good NA SW HV SR VSP

Table

Sx: 5 Sz: 2282.7

N	V	Rx	Rz	Gain	Dead	t,ms
1	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2282.7	0.4	<input type="checkbox"/>	0.4
2	<input checked="" type="checkbox"/>	10	2286.1	0.2	<input type="checkbox"/>	6.6
3	<input checked="" type="checkbox"/>	15	2289.1	0.3	<input type="checkbox"/>	19.8
4	<input checked="" type="checkbox"/>	20	2290.8	0.3	<input type="checkbox"/>	33.1
5	<input checked="" type="checkbox"/>	25	2293.4	0.3	<input type="checkbox"/>	47.6
6	<input checked="" type="checkbox"/>	30	2296	0.2	<input type="checkbox"/>	64.4

Table Array Histograms Operations

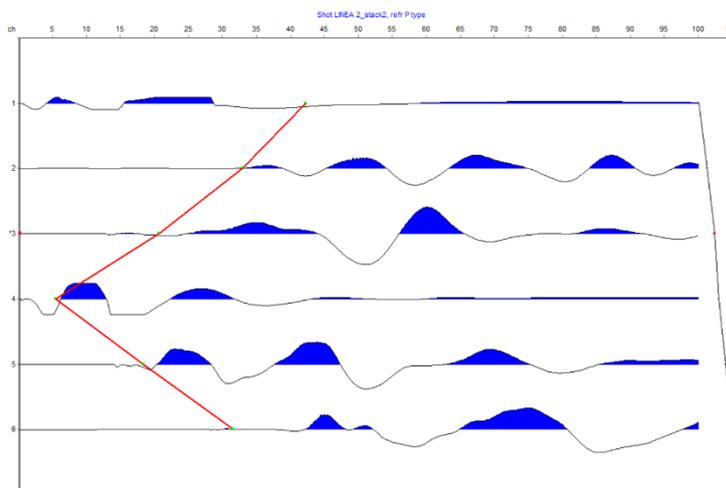
LINEA_2 NEA_2_stack1 NEA_2_stack2 NEA_2_stack3

673.0 ms tr:1 smp:292 A:-0.2 0.0

24°C Parc. nublado

Búsqueda

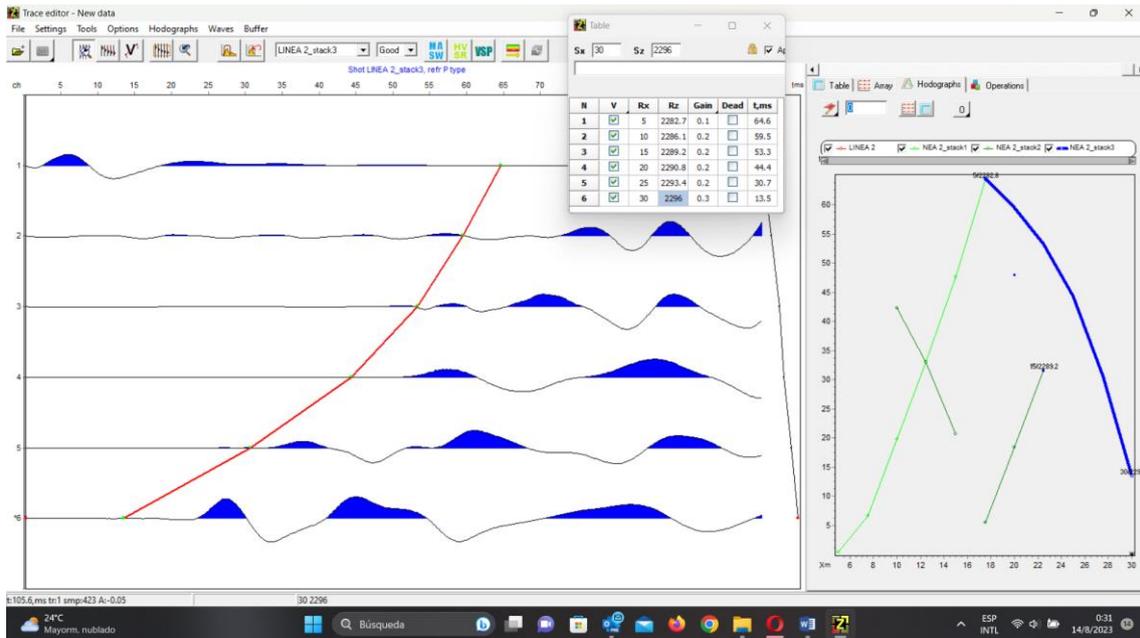
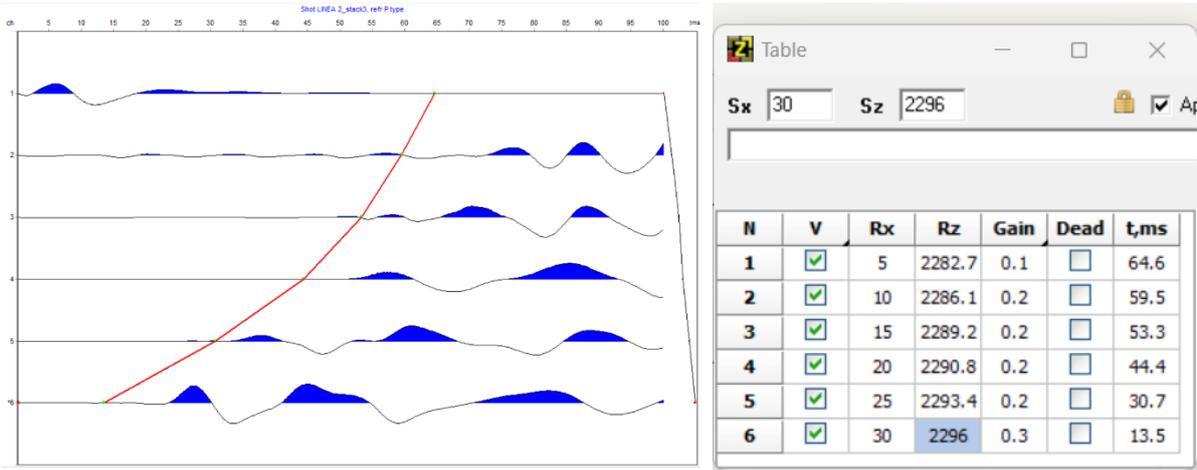
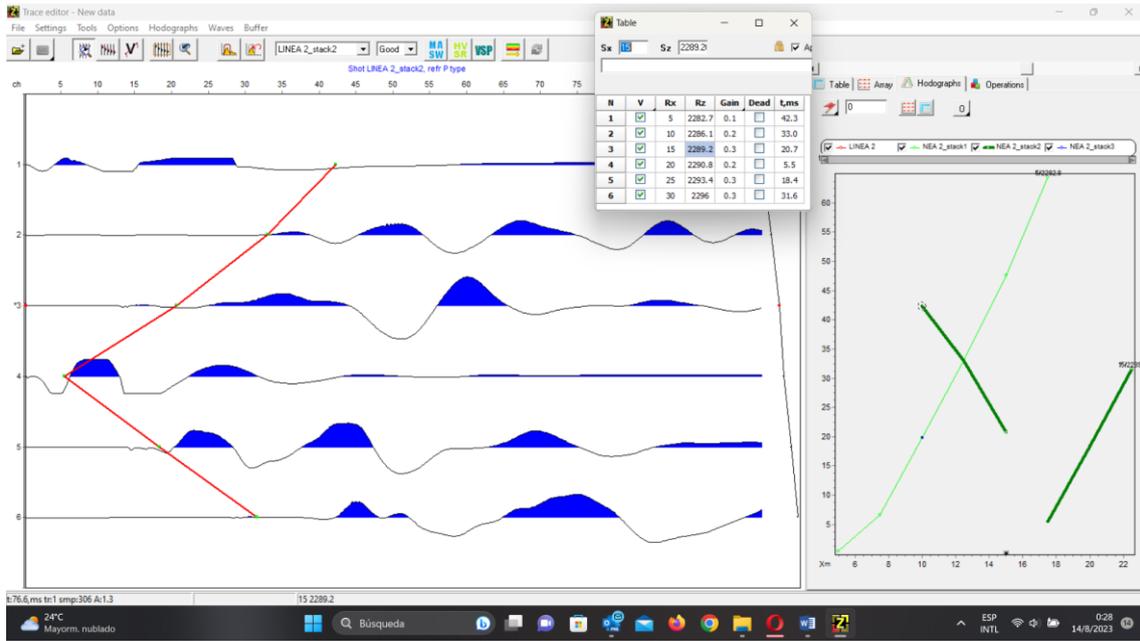
ESP INTL 14/8/2023

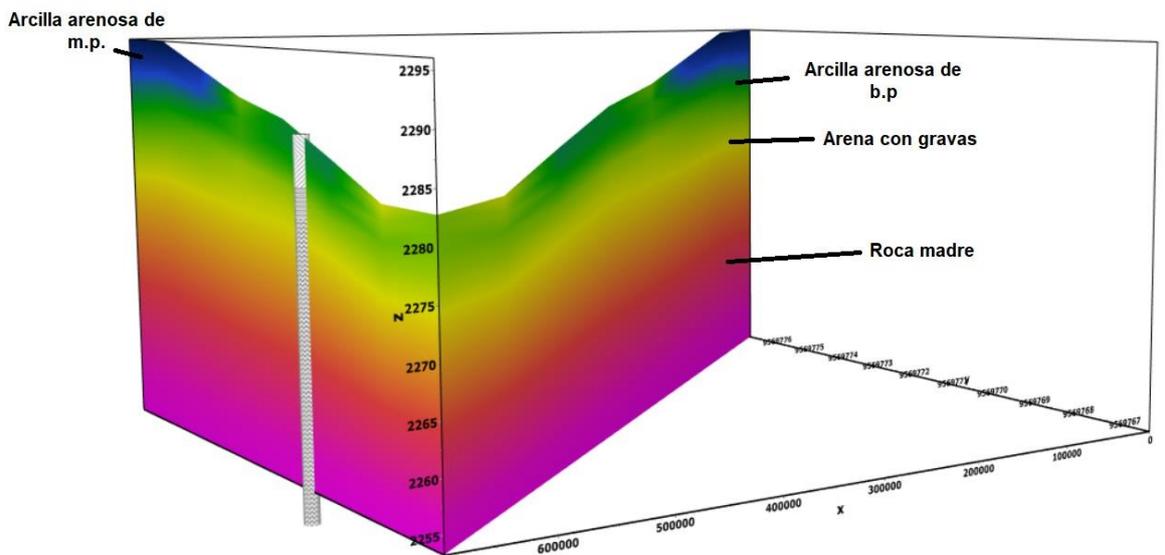
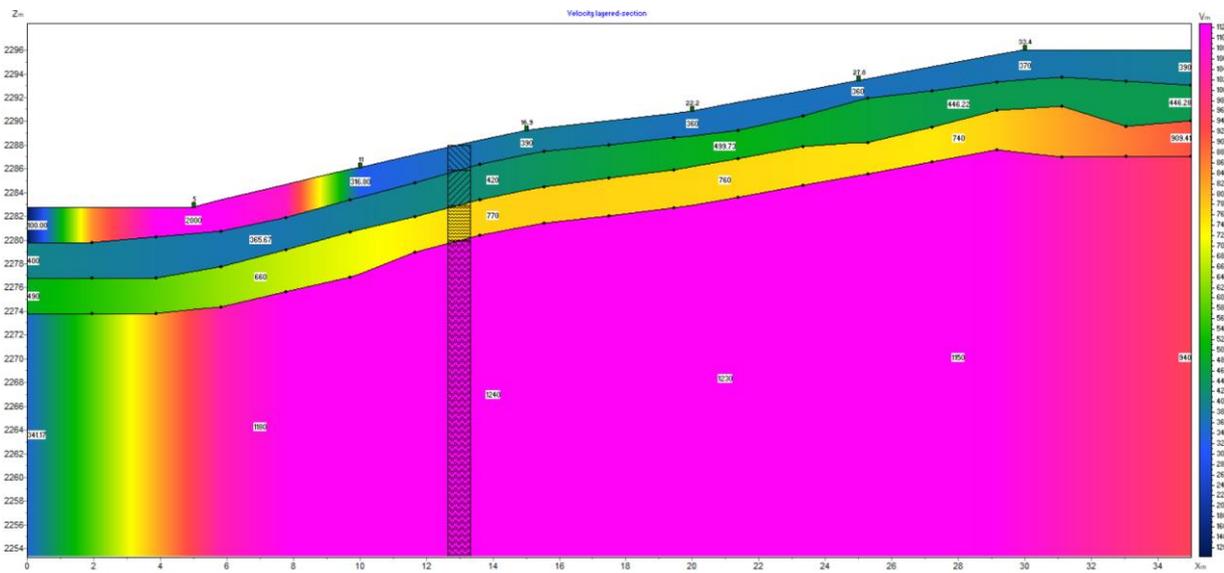
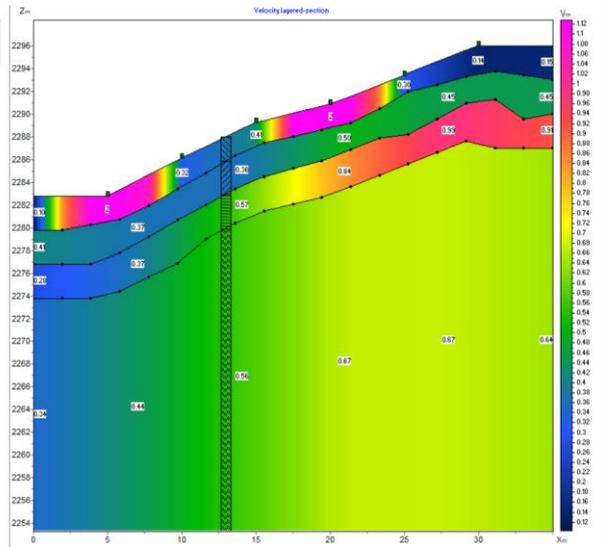
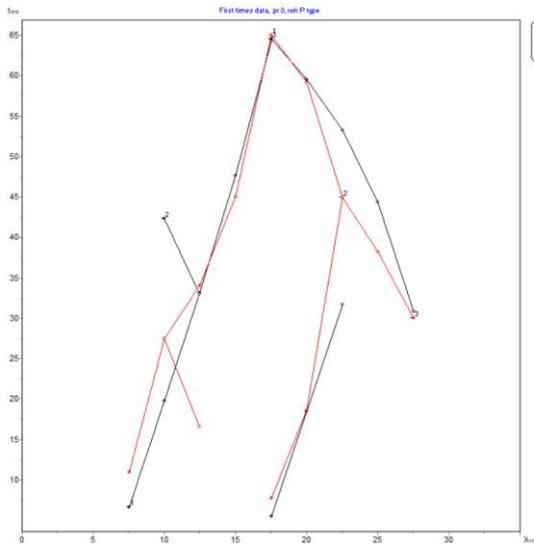


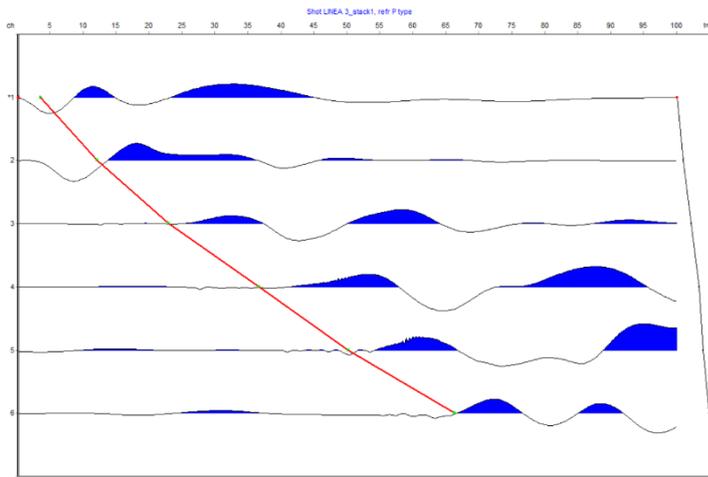
Table

Sx: 15 Sz: 2289.2

N	V	Rx	Rz	Gain	Dead	t,ms
1	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2282.7	0.1	<input type="checkbox"/>	42.3
2	<input checked="" type="checkbox"/>	10	2286.1	0.2	<input type="checkbox"/>	33.0
3	<input checked="" type="checkbox"/>	15	2289.2	0.3	<input type="checkbox"/>	20.7
4	<input checked="" type="checkbox"/>	20	2290.8	0.2	<input type="checkbox"/>	5.5
5	<input checked="" type="checkbox"/>	25	2293.4	0.3	<input type="checkbox"/>	18.4
6	<input checked="" type="checkbox"/>	30	2296	0.3	<input type="checkbox"/>	31.6







Table

Sx 5 Sz 2287.0

N	V	Rx	Rz	Gain	Dead	t,ms
1	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2287	0.2	<input type="checkbox"/>	3.6
2	<input checked="" type="checkbox"/>	10	2288	0.2	<input type="checkbox"/>	12.1
3	<input checked="" type="checkbox"/>	15	2289.4	0.2	<input type="checkbox"/>	23
4	<input checked="" type="checkbox"/>	20	2290.8	0.3	<input type="checkbox"/>	36.7
5	<input checked="" type="checkbox"/>	25	2291.5	0.3	<input type="checkbox"/>	50.2
6	<input checked="" type="checkbox"/>	30	2292.5	0.2	<input type="checkbox"/>	66.3

New data

File Settings Tools Options Hodographs Waves Buffer

LINEA_3_stack1 Good

Shot LINEA_3_stack1, ref P type

Table

Sx 5 Sz 2287.0

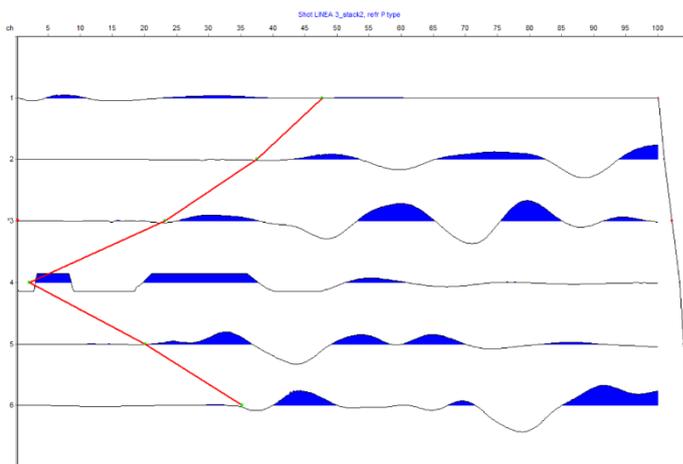
N	V	Rx	Rz	Gain	Dead	t,ms
1	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2287	0.2	<input type="checkbox"/>	3.6
2	<input checked="" type="checkbox"/>	10	2288	0.2	<input type="checkbox"/>	12.1
3	<input checked="" type="checkbox"/>	15	2289.4	0.2	<input type="checkbox"/>	23
4	<input checked="" type="checkbox"/>	20	2290.8	0.3	<input type="checkbox"/>	36.7
5	<input checked="" type="checkbox"/>	25	2291.5	0.3	<input type="checkbox"/>	50.2
6	<input checked="" type="checkbox"/>	30	2292.5	0.2	<input type="checkbox"/>	66.3

15:50 NEA_3_stack1 5 2287.0

25°C Prac. despedido

Búsqueda

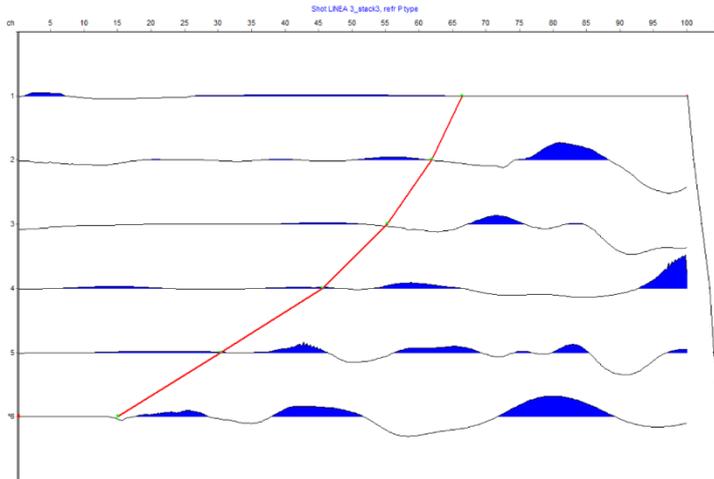
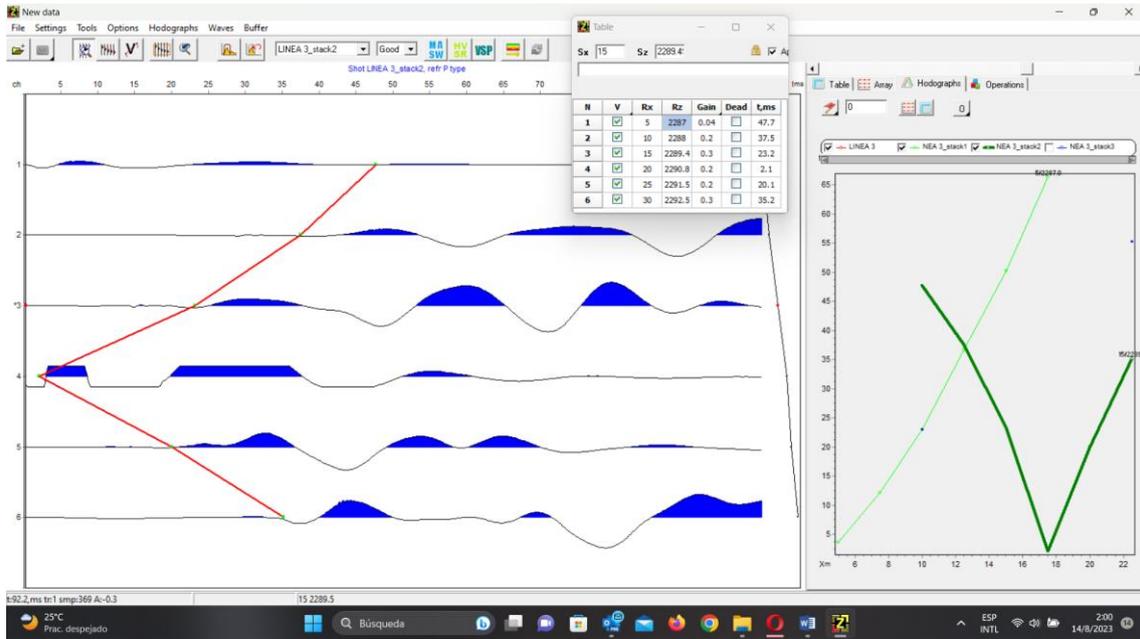
ESP INTL 1:58 14/8/2023



Table

Sx 15 Sz 2289.4

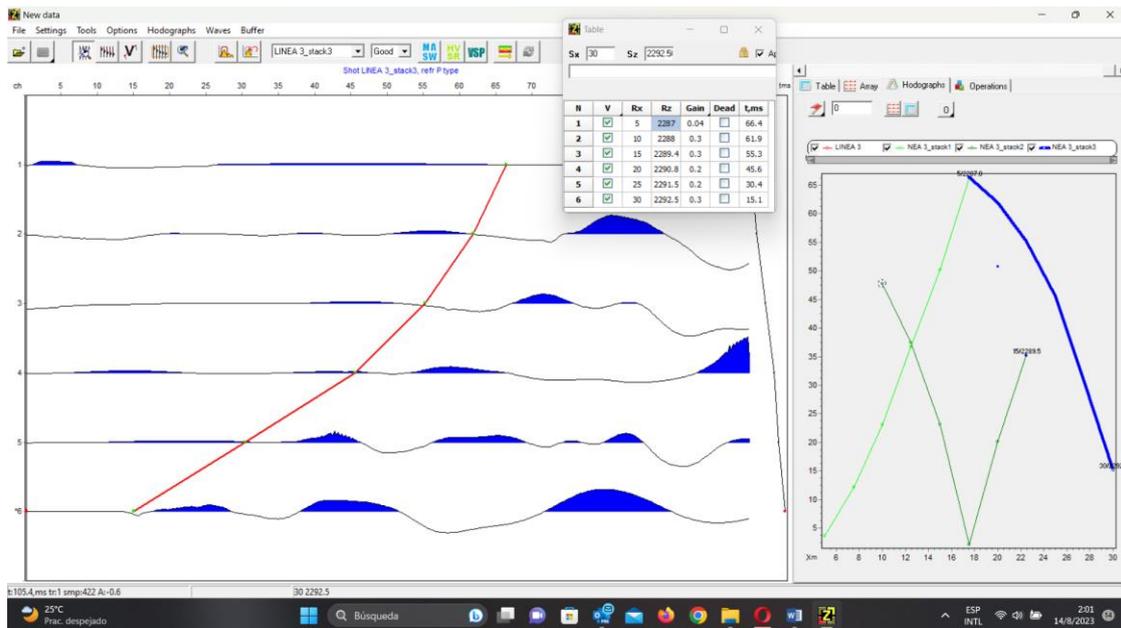
N	V	Rx	Rz	Gain	Dead	t,ms
1	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2287	0.04	<input type="checkbox"/>	47.7
2	<input checked="" type="checkbox"/>	10	2288	0.2	<input type="checkbox"/>	37.5
3	<input checked="" type="checkbox"/>	15	2289.4	0.3	<input type="checkbox"/>	23.2
4	<input checked="" type="checkbox"/>	20	2290.8	0.2	<input type="checkbox"/>	2.1
5	<input checked="" type="checkbox"/>	25	2291.5	0.2	<input type="checkbox"/>	20.1
6	<input checked="" type="checkbox"/>	30	2292.5	0.3	<input type="checkbox"/>	35.2

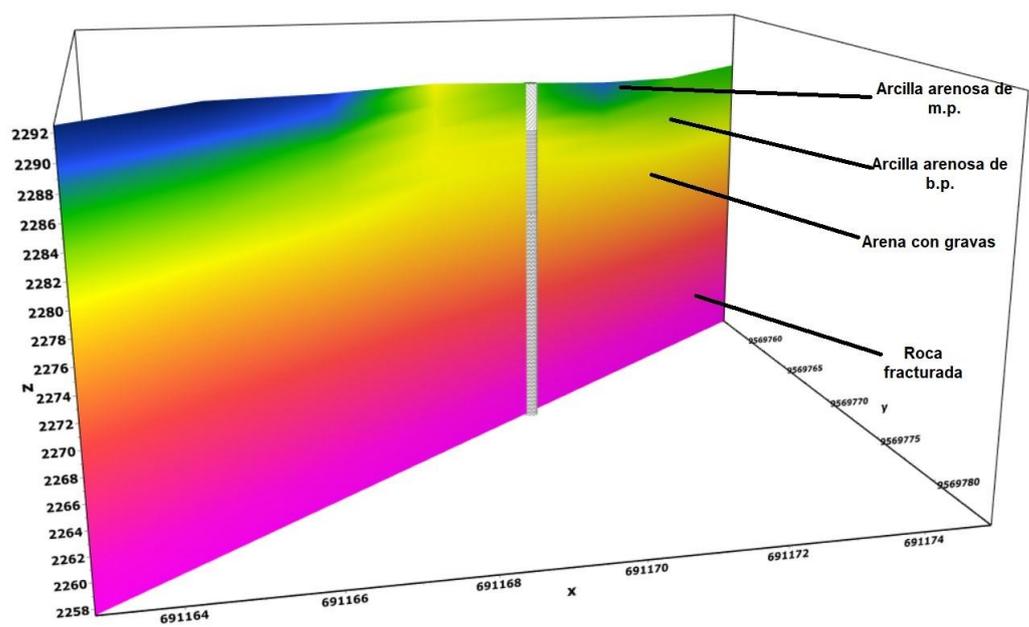
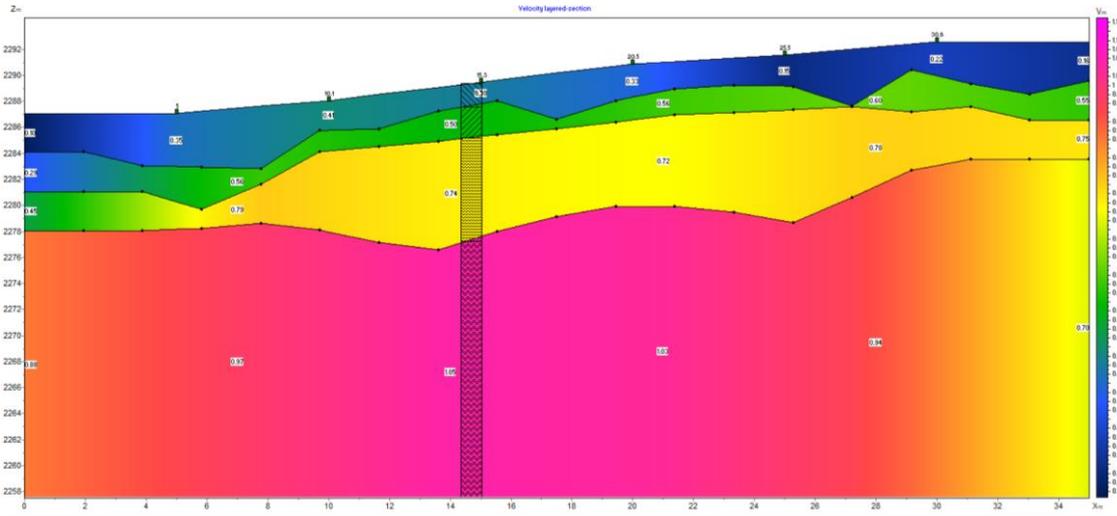
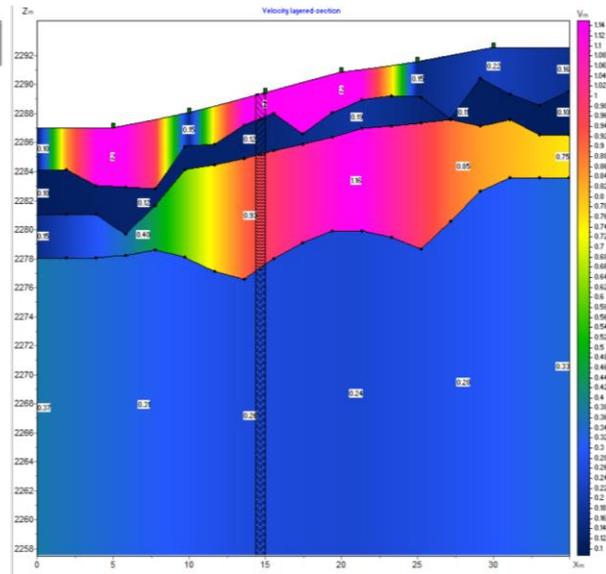
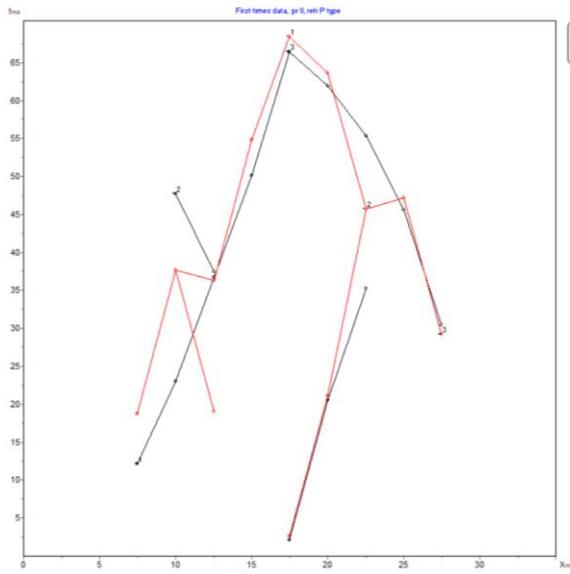


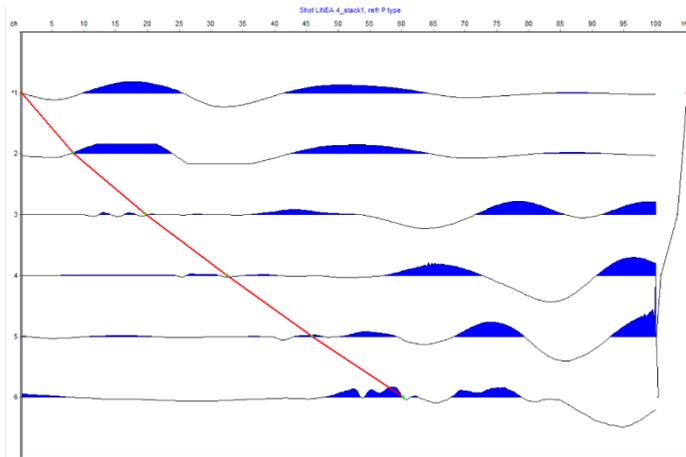
Table

Sx 30 Sz 2292.5

N	V	Rx	Rz	Gain	Dead	t,ms
1	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2287	0.04	<input type="checkbox"/>	66.4
2	<input checked="" type="checkbox"/>	10	2288	0.3	<input type="checkbox"/>	61.9
3	<input checked="" type="checkbox"/>	15	2289.4	0.3	<input type="checkbox"/>	55.3
4	<input checked="" type="checkbox"/>	20	2290.8	0.2	<input type="checkbox"/>	45.6
5	<input checked="" type="checkbox"/>	25	2291.5	0.2	<input type="checkbox"/>	30.4
6	<input checked="" type="checkbox"/>	30	2292.5	0.3	<input type="checkbox"/>	15.1







Table

Sx 5 Sz 2277.9

N	V	Rx	Rz	Gain	Dead	t,ms
1	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2277.9	0.2	<input type="checkbox"/>	0.3
2	<input checked="" type="checkbox"/>	10	2277.3	0.2	<input type="checkbox"/>	8.4
3	<input checked="" type="checkbox"/>	15	2276.6	0.2	<input type="checkbox"/>	19.8
4	<input checked="" type="checkbox"/>	20	2274.3	0.3	<input type="checkbox"/>	32.6
5	<input checked="" type="checkbox"/>	25	2273.7	0.3	<input type="checkbox"/>	46
6	<input checked="" type="checkbox"/>	30	2274	0.3	<input type="checkbox"/>	60.3

New data

File Settings Tools Options Hodographs Waves Buffer

LINEA_4_stack1 [Good] MA SW VSP

Shot LINEA_4_stack1, ref P type

Table

Sx 5 Sz 2277.9

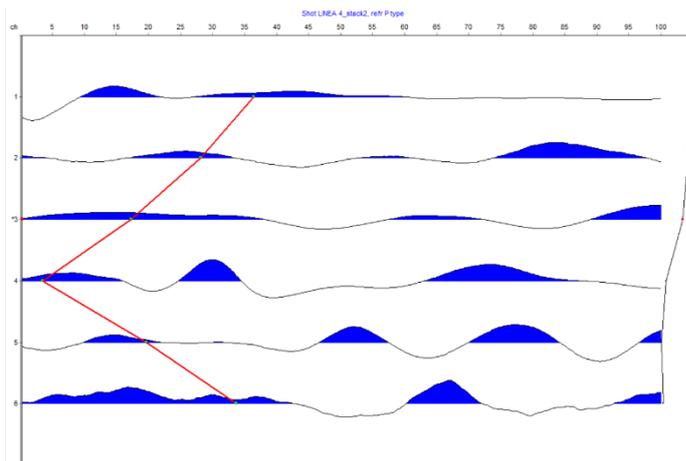
N	V	Rx	Rz	Gain	Dead	t,ms
1	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2277.9	0.2	<input type="checkbox"/>	0.3
2	<input checked="" type="checkbox"/>	10	2277.3	0.2	<input type="checkbox"/>	8.4
3	<input checked="" type="checkbox"/>	15	2276.6	0.2	<input type="checkbox"/>	19.8
4	<input checked="" type="checkbox"/>	20	2274.3	0.3	<input type="checkbox"/>	32.6
5	<input checked="" type="checkbox"/>	25	2273.7	0.3	<input type="checkbox"/>	46
6	<input checked="" type="checkbox"/>	30	2274	0.3	<input type="checkbox"/>	60.3

Table Array Hodographs Operations

LINEA_4 NEA_4_stack1 NEA_4_stack2 NEA_4_stack3

15:46 NEA_4_stack1 5 2277.9

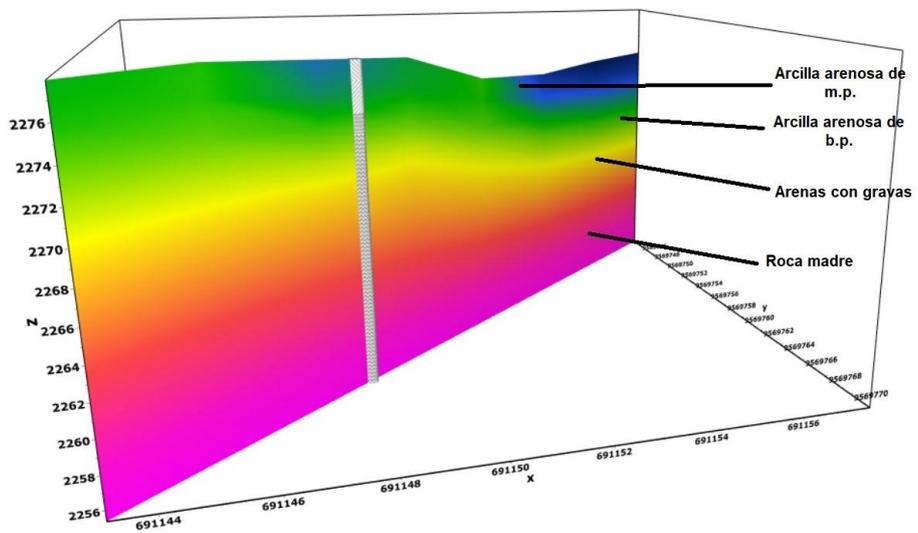
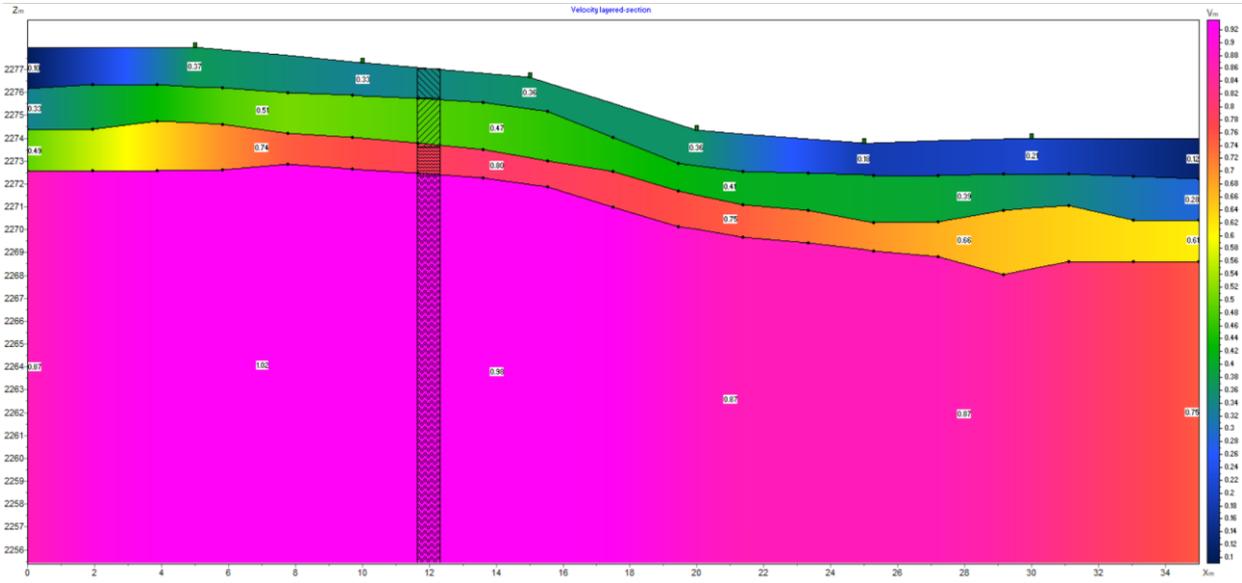
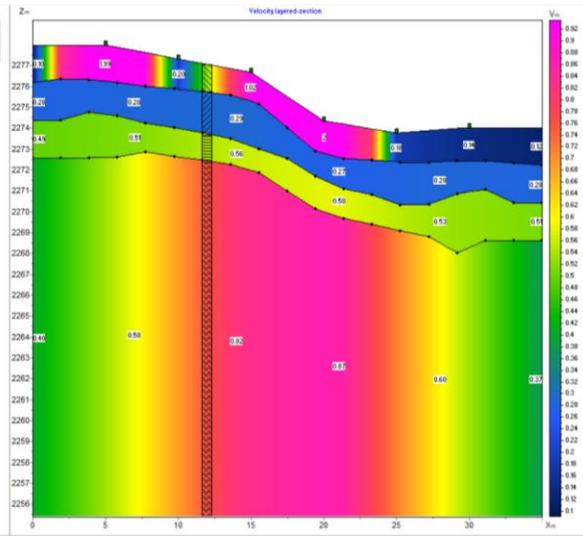
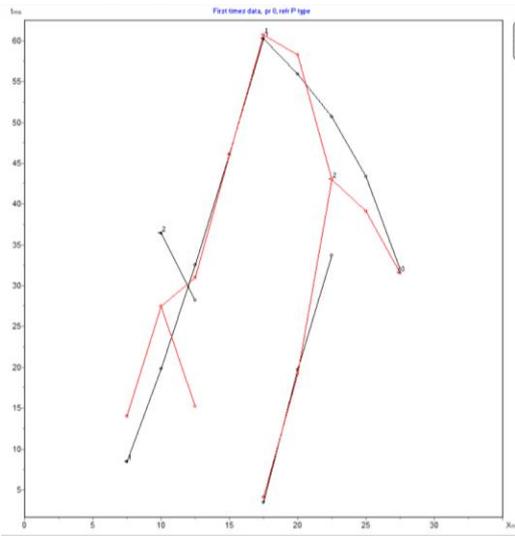
30°C Parc. aislado Búsqueda ESP INTEL 11:58 14/8/2023



Table

Sx 15 Sz 2276.6

N	V	Rx	Rz	Gain	Dead	t,ms
1	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2277.9	0.2	<input type="checkbox"/>	36.4
2	<input checked="" type="checkbox"/>	10	2277.3	0.2	<input type="checkbox"/>	28.2
3	<input checked="" type="checkbox"/>	15	2276.6	0.2	<input type="checkbox"/>	17.3
4	<input checked="" type="checkbox"/>	20	2274.3	0.3	<input type="checkbox"/>	3.5
5	<input checked="" type="checkbox"/>	25	2273.7	0.3	<input type="checkbox"/>	19.7
6	<input checked="" type="checkbox"/>	30	2274	0.3	<input type="checkbox"/>	33.7





ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

RESUMEN PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ROCA

PROYECTO	: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA ESCALA 1:5000 DE LA VÍA VILLONACO - TAQUIL, KILÓMETRO 9.5 - 12.00 CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"		
OBRA	: PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ROCA		
UBICACIÓN	: VÍA VILLONACO-TAQUIL, CANTÓN LOJA.		
OPERADOR	: D.O	MUESTRA	: INDICADAS
FECHA	: MARZO-2023	PROFUNDIDAD	: SUPERICIAL
COORDENADAS	: E 691168; N 9569932 (1) E 691099; N 9569899 (2) E 690355; N 9569528 (3)		

RESULTADOS:				
MUESTRA	1 MACIZO 2 ZONA 1a	2 MACIZO 1 ZONA 2a	3 MACIZO 1 ZONA 1a	UNIDADES
HUMEDAD NATURAL (C.H)	1.04	5.09	0.33	%
* DENSIDAD APARENTE (D _a)	2.39	2.33	2.77	gr/cm ³
** DENSIDAD REAL (D _r)	2.70	2.61	2.90	gr/cm ³
* POROSIDAD ABIERTA (P _a)	7.56	8.53	2.31	%
* ABSORCIÓN (A)	3.15	3.65	0.83	%
POROSIDAD TOTAL (P)	11.44	10.69	4.40	%
POROSIDAD CERRADA (P _c)	3.88	2.16	2.09	%
COMPACIDAD (C)	88.56	89.31	95.60	%
MODULO DE SATURACIÓN (M _{sat})	66.10	79.83	52.44	%

FORMULAS:			
$P = \left[1 - \frac{D_a}{D_r} \right] \times 100$	$M_{sat} = \frac{P_a}{P} \times 100$	$C = 100 - P_a$	$P_c = P - P_a$

* Hoja de resultados Densidad Aparente
** Hoja de resultados Densidad Real





ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

DENSIDAD APARENTE

PROYECTO	: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA ESCALA 1:5000 DE LA VÍA VILLONACO - TAQUIL, KILÓMETRO 9.5 - 12.00 CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"		
OBRA	: PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ROCA		
UBICACIÓN	: VÍA VILLONACO-TAQUIL, CANTÓN LOJA.		
OPERADOR	: D.O	MUESTRA	: INDICADAS
FECHA	: MARZO-2023	PROFUNDIDAD	: SUPERICIAL
COORDENADAS	: E 691168; N 9569932 (1) E 691099; N 9569899 (2) E 690355; N 9569528 (3)		

NORMA DE ENSAYO: UNE-EN 1936:2007

DATOS:				
MUESTRA	1 MACIZO 2 ZONA 1a	2 MACIZO 1 ZONA 2a	3 MACIZO 1 ZONA 1a	UNIDADES
TEMPERATURA DEL AGUA	20	20	20	°C
MASA SECA (m _d)	297.68	233.27	315.24	gr
MASA SATURADA (m _s)	307.07	241.79	317.86	gr
MASA SATURADA SUMERGIDA (m _h)	182.94	141.91	204.25	gr
RESULTADOS:				
$D_a = (m_d / m_s - m_h) \cdot D_w$				
DENSIDAD APARENTE (d _a)	2.39	2.33	2.77	gr/cm ³
$P_a = (m_s - m_d) / (m_s - m_h) \cdot 100$				
POROSIDAD ABIERTA (P _a)	7.56	8.53	2.31	%
$A = (m_s - m_d) / m_s \cdot 100$				
ABSORCIÓN (A)	3.15	3.65	0.83	%

* El valor de la densidad del agua a 20 °C es de 0.998 gr/cm³



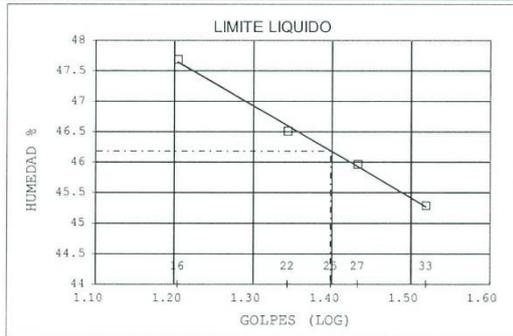


ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

ASTM D2487-AASHTO 3282 - 2487

PROYECTO : "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA ESCALA 1:5000 DE LA VÍA VILLONACO - TAQUIL, KILÓMETRO 9.5 - 12.00 CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA" OBRA : MECÁNICA DE SUELOS UBICACIÓN : VÍA VILLONACO-TAQUIL, CANTÓN LOJA. OPERADOR : D.O MUESTRA :10+310 Km FECHA : MARZO 2023 PROFUNDIDAD 1.50 m						
	GOLPES	W HM. (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADO%
1.- CONTENIDO HUMEDAD		99.22 104.85	88.92 95.03	19.13 27.31	14.76 14.50	14.63
2.- LIM. LIQUIDO	33 27 22 16	28.59 30.36 30.07 31.12	25.37 26.77 26.47 26.99	18.26 18.96 18.73 18.33	45.29 45.97 46.51 47.69	46.18
3.- LIMITE PLASTICO		21.72 21.20	21.12 20.64	18.89 18.57	26.91 27.05	26.98
4.- GRANULOMETRIA	5.- CLASIFICACION.-					
PESO INICIAL DE CALCULO:	503.05 gr					
TAMIZ	PESO R (gr)	% R.A.	% PASA	GRAVA= 0.43 % ARENA= 65.14 % FINOS= 34.43 % LL = 46.00 % LP = 27.00 % IP = 19.00 % cu 106.07 cc 1.42		
1 1/2"	0.00	0.00	100	CLASIFICACION: SUCS = SM Arena limosa AASHTO= A-2-7 IG 2 Grava o Arena limosa o arcillosa Excelente a Bueno		
1"	0.00	0.00	100			
3/4"	0.00	0.00	100			
1/2"	0.00	0.00	100			
3/8"	0.00	0.00	100			
No. 4	1.89	0.43	100			
No. 16	17.06	13.67	86			
No. 30	76.52	31.11	69			
No. 200	151.24	65.57	34			
COLOR	CAFÉ CLARO					



Ing. Ovidio Castillo J.
LABORATORIO
ESTSUELCON
Ing. Ovidio Castillo J.



ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (UU) - ASTM D3080

Proyecto: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA ESCALA 1:5000 DE LA VÍA VILLONACO - TAQUIL, KILÓMETRO 9.5 - 12.00 CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"			
Localización: Vía Villonaco-Taquil, cantón Loja		Muestra: 10+310 Km	
Descripción del suelo: Arena Limosa (SM)		Ensayo : N° 1	
Humedad: 19.47%	Carga: 15.3 Kg	Profundidad: 1.0 m	
Coordenadas: -	Constante de anillo Kg: 1.9048	Esfuerzo normal aplicado: 0.51 kg/cm2	

Datos del Ensayo						
Peso anillo (gr):	41.73	Altura muestra inicial (cm):	2	Humedad		
Peso anillo + muestra (gr):	147.6	Altura muestra final (cm):	2.023	Wcap	Wcap+SH	Wcap+SS
Peso muestra inicial (gr):	105.87	Diámetro (cm):	6.18	Área (cm2):	33.64	144.07
Peso muestra final (gr):	80.35	Densidad(g/cm3):	1.76	W%		31.76

Consolidación	
Tiempo	Deformación
0.0"	-
4"	-
15"	-
34"	-
1 min.	-
2 min. 1/4"	-
4 min.	-
6 min. 1/4"	-
9"	-
12 min. 1/4"	-
16 min.	-
20 min. 1/4"	-
25 min.	-
36 min.	-
49 min.	-
60 min.	-
80 min.	-
100 min.	-
120 min.	-
180 min.	-
240 min.	-
300 min.	-
360 min.	-
420 min.	-
480 min.	-
540 min.	-
600 min.	-
660 min.	-
720 min.	-

Tiempo min.	Lect. Anillo Carga	Lect. Deform. Horizontal x 0,01 mm	Lect. Deform. Vertical 0,01 mm	Deform. Unitaria		Deformación (%)		Carga aplicada Kg.	Cortante Kg/cm2
				Horiz.	Vertic.	Horiz.	Vertic.		
0.06	1.0	0	-0.20	0.0000	0.000	0.00	-0.01	0.535	0.018
0.12	2.5	10	-0.50	0.0016	0.000	0.16	-0.03	1.338	0.045
0.24	5.0	20	-1.80	0.0032	-0.001	0.32	-0.09	2.676	0.089
0.36	7.5	40	-2.20	0.0065	-0.001	0.65	-0.11	4.014	0.134
0.45	9.0	60	-2.70	0.0097	-0.001	0.97	-0.14	4.816	0.161
1.00	11.5	100	-4.00	0.0162	-0.002	1.62	-0.20	6.154	0.205
1.30	15.5	150	-4.00	0.0243	-0.002	2.43	-0.20	8.295	0.276
1.45	17.2	175	-3.80	0.0283	-0.002	2.83	-0.19	9.205	0.307
2.00	19.0	200	-2.80	0.0324	-0.001	3.24	-0.14	10.168	0.339
2.30	22.0	300	-0.10	0.0485	0.000	4.85	-0.01	11.773	0.392
3.00	25.0	350	3.30	0.0566	0.002	5.66	0.17	13.379	0.446
3.30	27.2	400	7.10	0.0647	0.004	6.47	0.36	14.556	0.485
4.00	29.2	450	11.50	0.0728	0.006	7.28	0.58	15.627	0.521
4.30	30.5	500	16.50	0.0809	0.008	8.09	0.83	16.322	0.544
5.00	30.2	550	22.10	0.0890	0.011	8.90	1.11	16.162	0.539
5.30	26.5	600	27.00	0.0971	0.014	9.71	1.35	14.182	0.473
6.00	23.8	650	31.20	0.1052	0.016	10.52	1.56	12.737	0.425
6.30	21.5	700	35.00	0.1133	0.018	11.33	1.75	11.506	0.384
7.00	19.7	750	37.10	0.1214	0.019	12.14	1.86	10.543	0.351
7.30	18.0	800	38.30	0.1294	0.019	12.94	1.92	9.633	0.321
8.00	17.5	850	39.80	0.1375	0.020	13.75	1.99	9.365	0.312
8.30	17.0	900	40.90	0.1456	0.020	14.56	2.05	9.098	0.303
9.00	16.5	950	42.00	0.1537	0.021	15.37	2.10	8.830	0.294
9.30	16.0	1000	42.20	0.1618	0.021	16.18	2.11	8.563	0.285
10.00	16.0	1050	42.50	0.1699	0.021	16.99	2.13	8.563	0.285
10.30	15.8	1100	43.10	0.1780	0.022	17.80	2.16	8.455	0.282
11.00	15.8	1150	43.80	0.1861	0.022	18.61	2.19	8.455	0.282
11.30	16.0	1200	44.80	0.1942	0.022	19.42	2.24	8.563	0.285
12.00	16.0	1250	44.80	0.2023	0.022	20.23	2.24	8.563	0.285
12.30	16.5	1300	45.00	0.2104	0.023	21.04	2.25	8.830	0.294



ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (UU) - ASTM D3080

Proyecto: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA ESCALA 1:5000 DE LA VÍA VILLONACO - TAQUIL, KILÓMETRO 9.5 - 12.00 CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"			
Localización: Vía Villonaco-Taquil, cantón Loja		Muestra: 10+310 Km	
Descripción del suelo: Arena Limosa (SM)		Ensayo : N° 2	
Humedad: 19.47%	Carga: 30.6 Kg	Profundidad: 1.0 m	
Coordenadas: -	Constante de anillo Kg: 1.9048	Esfuerzo normal aplicado: 1.02 kg/cm2	

Datos del Ensayo

Peso anillo (gr): 42.9	Altura muestra inicial (cm): 2	Humedad		
Peso anillo + muestra (gr): 158.99	Altura muestra final (cm): 2.045	Wcap	Wcap+SH	Wcap+SS
Peso muestra inicial (gr): 116.09	Diámetro (cm): 6.18	Área (cm2): 30	33.32	154.43
Peso muestra final (gr): 91.02	Densidad(g/cm3): 1.93		W%	128.28
				27.54

Consolidación		Tiempo min.	Lect. Anillo Carga	Lect. Deform. Horizontal x 0,01 mm	Lect. Deform. Vertical 0,01 mm	Deform. Unitaria		Deformación (%)		Carga aplicada Kg.	Cortante Kg/cm2
Tiempo	Deformación					Horiz.	Vertic.	Horiz.	Vertic.		
0.0"	-	0.06	2.0	0	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.00	1.070	0.036
4"	-	0.12	4.5	10	-0.10	0.0016	0.000	0.16	-0.01	2.408	0.080
15"	-	0.24	8.8	20	-0.10	0.0032	0.000	0.32	-0.01	4.709	0.157
34"	-	0.36	12.5	40	-0.10	0.0065	0.000	0.65	-0.01	6.689	0.223
1 min.	-	0.45	15.5	60	0.00	0.0097	0.000	0.97	0.00	8.295	0.276
2 min. 1/4"	-	1.00	19.8	100	0.00	0.0162	0.000	1.62	0.00	10.596	0.353
4 min.	-	1.30	28.8	150	1.20	0.0243	0.001	2.43	0.06	15.413	0.514
6 min. 1/4"	-	1.45	33.0	175	2.00	0.0283	0.001	2.83	0.10	17.660	0.589
9"	-	2.00	38.0	200	3.20	0.0324	0.002	3.24	0.16	20.336	0.678
12 min. 1/4"	-	2.30	47.2	300	5.90	0.0485	0.003	4.85	0.30	25.259	0.842
16 min.	-	3.00	56.0	350	10.30	0.0566	0.005	5.66	0.52	29.969	0.999
20 min. 1/4"	-	3.30	60.2	400	13.50	0.0647	0.007	6.47	0.68	32.216	1.074
25 min.	-	4.00	64.0	450	23.00	0.0728	0.012	7.28	1.15	34.250	1.142
36 min.	-	4.30	65.8	500	33.00	0.0809	0.017	8.09	1.65	35.213	1.174
49 min.	-	5.00	65.5	550	45.30	0.0890	0.023	8.90	2.27	35.053	1.168
60 min.	-	5.30	63.0	600	60.20	0.0971	0.030	9.71	3.01	33.715	1.124
80 min.	-	6.00	61.0	650	73.00	0.1052	0.037	10.52	3.65	32.645	1.088
100 min.	-	6.30	57.0	700	80.50	0.1133	0.040	11.33	4.03	30.504	1.017
120 min.	-	7.00	50.2	750	83.00	0.1214	0.042	12.14	4.15	26.865	0.895
180 min.	-	7.30	46.2	800	85.00	0.1294	0.043	12.94	4.25	24.724	0.824
240 min.	-	8.00	43.0	850	86.30	0.1375	0.043	13.75	4.32	23.012	0.767
300 min.	-	8.30	41.0	900	86.50	0.1456	0.043	14.56	4.33	21.941	0.731
360 min.	-	9.00	39.2	950	86.80	0.1537	0.043	15.37	4.34	20.978	0.699
420 min.	-	9.30	38.5	1000	87.50	0.1618	0.044	16.18	4.38	20.604	0.687
480 min.	-	10.00	37.5	1050	88.00	0.1699	0.044	16.99	4.40	20.068	0.669
540 min.	-	10.30	36.5	1100	88.50	0.1780	0.044	17.80	4.43	19.533	0.651
600 min.	-	11.00	35.8	1150	88.50	0.1861	0.044	18.61	4.43	19.159	0.639
660 min.	-	11.30	35.2	1200	88.70	0.1942	0.044	19.42	4.44	18.838	0.628
720 min.	-	12.00	34.8	1250	89.00	0.2023	0.045	20.23	4.45	18.623	0.621
		12.30	34.0	1300	89.50	0.2104	0.045	21.04	4.48	18.195	0.607



ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (UU) - ASTM D3080

Proyecto: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA ESCALA 1:5000 DE LA VÍA VILLONACO - TAQUIL, KILÓMETRO 9.5 - 12.00 CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"			
Localización: Vía Villonaco-Taquil, cantón Loja		Muestra: 10+310 Km	
Descripción del suelo: Arena Limosa (SM)		Ensayo : N° 3	
Humedad: 19.47%	Carga: 61.2 Kg	Profundidad: 1.0 m	
Coordenadas: -	Constante de anillo Kg: 1.9048	Esfuerzo normal aplicado: 2.04 kg/cm2	

Datos del Ensayo						
Peso anillo (gr):	42.61	Altura muestra inicial (cm):	2	Humedad		
Peso anillo + muestra (gr):	148.55	Altura muestra final (cm):	2.010	Wcap	Wcap+SH	Wcap+SS
Peso muestra inicial (gr):	105.94	Diámetro (cm):	6.18	33.15	143.49	117.14
Peso muestra final (gr):	80.64	Densidad(g/cm3):	1.77	W%		31.37

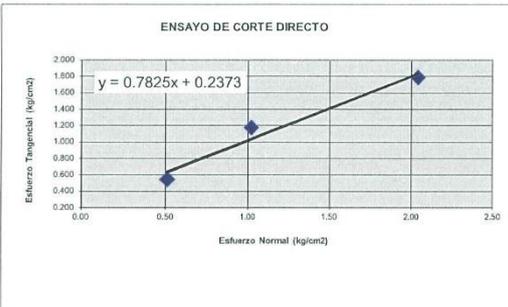
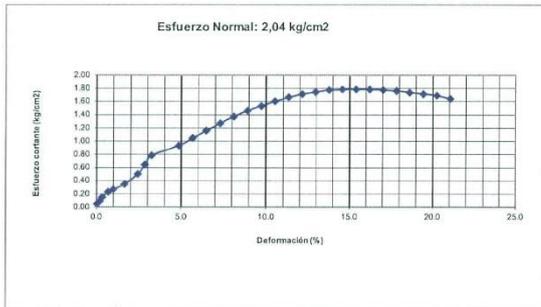
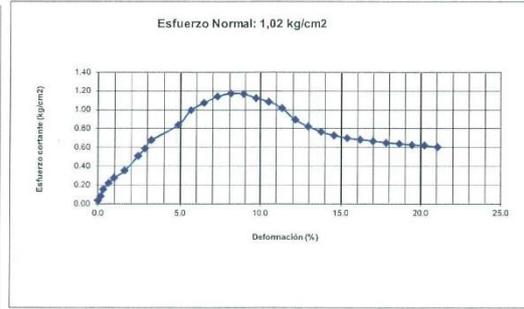
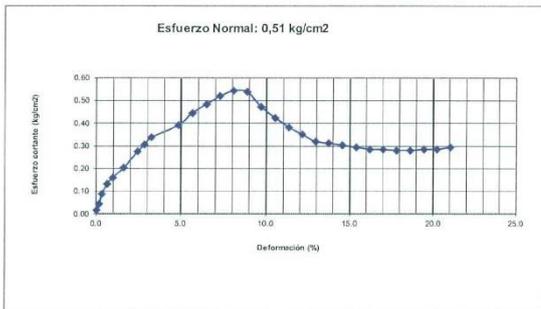
Consolidación		Tiempo min.	Lect. Anillo Carga	Lect. Deform. Horizontal x 0,01 mm	Lect. Deform. Vertical 0,01 mm	Deform. Unitaria		Deformación (%)		Carga aplicada Kg.	Cortante Kg/cm2
Tiempo	Deformación					Horiz.	Vertic.	Horiz.	Vertic.		
0.0"	-	0.06	2.5	0	-0.50	0.0000	0.000	0.00	-0.03	1.338	0.045
4"	-	0.12	5.0	10	-0.50	0.0016	0.000	0.16	-0.03	2.676	0.089
15"	-	0.24	8.5	20	-1.80	0.0032	-0.001	0.32	-0.09	4.549	0.152
34"	-	0.36	13.0	40	-3.80	0.0065	-0.002	0.65	-0.19	6.957	0.232
1 min.	-	0.45	15.0	60	-4.80	0.0097	-0.002	0.97	-0.24	8.027	0.268
2 min. 1/4"	-	1.00	19.5	100	-6.20	0.0162	-0.003	1.62	-0.31	10.436	0.348
4 min.	-	1.30	28.0	150	-9.20	0.0243	-0.005	2.43	-0.46	14.984	0.499
6 min. 1/4"	-	1.45	36.0	175	-11.20	0.0283	-0.006	2.83	-0.56	19.266	0.642
9"	-	2.00	44.2	200	-13.80	0.0324	-0.007	3.24	-0.69	23.654	0.788
12 min. 1/4"	-	2.30	52.0	300	-15.00	0.0485	-0.008	4.85	-0.75	27.828	0.928
16 min.	-	3.00	58.5	350	-15.50	0.0566	-0.008	5.66	-0.78	31.307	1.044
20 min. 1/4"	-	3.30	65.0	400	-15.90	0.0647	-0.008	6.47	-0.80	34.785	1.160
25 min.	-	4.00	71.2	450	-16.10	0.0728	-0.008	7.28	-0.81	38.103	1.270
36 min.	-	4.30	77.0	500	-16.10	0.0809	-0.008	8.09	-0.81	41.207	1.374
49 min.	-	5.00	82.0	550	-16.00	0.0890	-0.008	8.90	-0.80	43.883	1.463
60 min.	-	5.30	86.0	600	-15.00	0.0971	-0.008	9.71	-0.75	46.024	1.534
80 min.	-	6.00	90.0	650	-14.80	0.1052	-0.007	10.52	-0.74	48.164	1.605
100 min.	-	6.30	93.2	700	-12.00	0.1133	-0.006	11.33	-0.60	49.877	1.663
120 min.	-	7.00	96.0	750	-10.00	0.1214	-0.005	12.14	-0.50	51.375	1.713
180 min.	-	7.30	98.0	800	-7.80	0.1294	-0.004	12.94	-0.39	52.445	1.748
240 min.	-	8.00	99.5	850	-5.50	0.1375	-0.003	13.75	-0.28	53.248	1.775
300 min.	-	8.30	100.0	900	-3.20	0.1456	-0.002	14.56	-0.16	53.516	1.784
360 min.	-	9.00	100.2	950	-0.10	0.1537	0.000	15.37	-0.01	53.623	1.787
420 min.	-	9.30	100.0	1000	3.80	0.1618	0.002	16.18	0.19	53.516	1.784
480 min.	-	10.00	99.5	1050	6.80	0.1699	0.003	16.99	0.34	53.248	1.775
540 min.	-	10.30	98.8	1100	10.20	0.1780	0.005	17.80	0.51	52.874	1.762
600 min.	-	11.00	97.5	1150	12.80	0.1861	0.006	18.61	0.64	52.178	1.739
660 min.	-	11.30	96.2	1200	15.90	0.1942	0.008	19.42	0.80	51.482	1.716
720 min.	-	12.00	94.8	1250	18.50	0.2023	0.009	20.23	0.93	50.733	1.691
		12.30	92.2	1300	20.50	0.2104	0.010	21.04	1.03	49.342	1.645



ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (UU) - ASTM D3080

Proyecto: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA ESCALA 1:5000 DE LA VÍA VILLONACO - TAQUIL, KILÓMETRO 9.5 - 12.00 CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"		
Localización: Vía Villonaco-Taquil, cantón Loja	Muestra: 10+310 Km	Coordenadas: -
RESULTADOS		



RESULTADOS	Esfuerzos (kg/cm2)		
	X	Y	Y calculado
Ensayo No	Normal	Cortante	Tangencial*
1	0.51	0.544	0.6364
2	1.02	1.174	1.0355
3	2.04	1.787	1.8336

Angulo de Friccion (grados)	45	Cohesión (kg/cm2)	0.23	* Valores deducidos de ecuación de gráfico (regresión lineal)
-----------------------------	----	-------------------	------	---

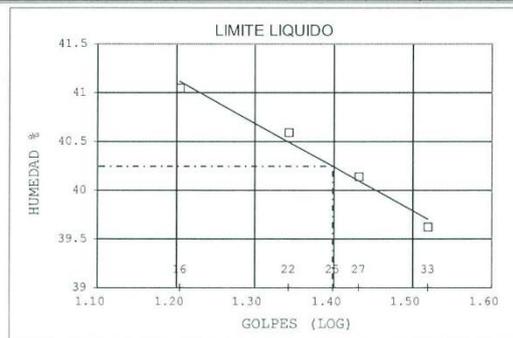




ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN
ASTM D2487-AASHTO 3282 - 2487

PROYECTO : "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA ESCALA 1:5000 DE LA VÍA VILLONACO - TAQUIL, KILÓMETRO 9.5 - 12.00 CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA" OBRA : MECÁNICA DE SUELOS UBICACIÓN : VÍA VILLONACO-TAQUIL, CANTÓN LOJA. OPERADOR : D.O MUESTRA :11+010 Km FECHA : MARZO 2023 PROFUNDIDAD 1.50 m						
	GOLPES	W HM. (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADO%
1.- CONTENIDO HUMEDAD		83.77 84.18	73.83 74.16	18.81 18.00	18.07 17.84	17.95
2.- LIM. LIQUIDO	33 27 22 16	28.45 32.20 31.77 41.59	25.28 28.21 27.93 37.44	17.28 18.27 18.47 27.33	39.63 40.14 40.59 41.05	40.24
3.- LIMITE PLASTICO		21.16 21.36	20.50 20.67	18.30 18.39	30.00 30.26	30.13
4.- GRANULOMETRIA	5.- CLASIFICACION.-					
PESO INICIAL DE CALCULO:		547.73 gr				
TAMIZ	PESO R (gr)	% R.A.	% PASA			
1 1/2"	0.00	0.00	100			
1"	0.00	0.00	100			
3/4"	0.00	0.00	100			
1/2"	0.00	0.00	100			
3/8"	0.00	0.00	100			
No. 4	17.19	3.70	96			
No. 16	111.80	57.46	43			
No. 30	47.41	67.67	32			
No. 200	69.86	82.72	17			
COLOR : CAFÉ CLARO						
		GRAVA=		3.70 %		
		ARENA=		79.01 %		
		FINOS=		17.28 %		
		LL =		40.00 %		
		LP =		30.00 %		
		IP =		10.00 %		
		cu		160.83		
		cc		7.44		
CLASIFICACION:						
		SUCS =		SM		
		Arena limosa				
AASHTO= A-2-4 IG 0						
Grava o Arena limosa o arcillosa						
Excelente a Bueno						





ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (UU) - ASTM D3080

Proyecto: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA ESCALA 1:5000 DE LA VÍA VILLONACO - TAQUIL, KILÓMETRO 9.5 - 12.00 CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"			
Localización: Vía Villonaco-Taquil, cantón Loja		Muestra: 11+010 Km	
Descripción del suelo: Arena Limosa (SM)		Ensayo : N° 1	
Humedad: 16.89%	Carga: 15.3 Kg	Profundidad: 1.0 m	
Coordenadas: -	Constante de anillo Kg: 1.9048	Esfuerzo normal aplicado: 0.51 kg/cm2	

Datos del Ensayo						
Peso anillo (gr): 41.73	Altura muestra inicial (cm): 2				Humedad	
Peso anillo + muestra (gr): 154.74	Altura muestra final (cm): 2.016				Wcap	Wcap+SH
Peso muestra inicial (gr): 113.01	Diámetro (cm): 6.18	Área (cm2): 30			33.36	152.27
Peso muestra final (gr): 89.44	Densidad(g/cm3): 1.88					Wcap+SS 127.47
					W%	26.35

Consolidación		Tiempo min.	Lect. Anillo Carga	Lect. Deform. Horizontal x 0,01 mm	Lect. Deform. Vertical 0,01 mm	Deform. Unitaria		Deformación (%)		Carga aplicada Kg.	Cortante Kg/cm2
Tiempo	Deformación					Horiz.	Vertic.	Horiz.	Vertic.		
0.0"	-	0.06	1.5	0	-0.50	0.0000	0.000	0.00	-0.03	0.803	0.027
4"	-	0.12	2.8	10	-0.80	0.0016	0.000	0.16	-0.04	1.498	0.050
15"	-	0.24	4.2	20	-1.80	0.0032	-0.001	0.32	-0.09	2.248	0.075
34"	-	0.36	5.8	40	-3.50	0.0065	-0.002	0.65	-0.18	3.104	0.103
1 min.	-	0.45	8.0	60	-4.00	0.0097	-0.002	0.97	-0.20	4.281	0.143
2 min. 1/4"	-	1.00	11.0	100	-4.00	0.0162	-0.002	1.62	-0.20	5.887	0.196
4 min.	-	1.30	12.2	150	-4.00	0.0243	-0.002	2.43	-0.20	6.529	0.218
6 min. 1/4"	-	1.45	13.0	175	-4.00	0.0283	-0.002	2.83	-0.20	6.957	0.232
9"	-	2.00	14.8	200	-2.50	0.0324	-0.001	3.24	-0.13	7.920	0.264
12 min. 1/4"	-	2.30	15.8	300	-0.50	0.0485	0.000	4.85	-0.03	8.455	0.282
16 min.	-	3.00	16.5	350	2.80	0.0566	0.001	5.66	0.14	8.830	0.294
20 min. 1/4"	-	3.30	17.5	400	5.00	0.0647	0.003	6.47	0.25	9.365	0.312
25 min.	-	4.00	17.8	450	8.20	0.0728	0.004	7.28	0.41	9.526	0.318
36 min.	-	4.30	18.0	500	11.20	0.0809	0.006	8.09	0.56	9.633	0.321
49 min.	-	5.00	17.5	550	14.80	0.0890	0.007	8.90	0.74	9.365	0.312
60 min.	-	5.30	17.0	600	14.80	0.0971	0.007	9.71	0.74	9.098	0.303
80 min.	-	6.00	16.0	650	17.50	0.1052	0.009	10.52	0.88	8.563	0.285
100 min.	-	6.30	14.5	700	19.50	0.1133	0.010	11.33	0.98	7.760	0.259
120 min.	-	7.00	13.0	750	21.50	0.1214	0.011	12.14	1.08	6.957	0.232
180 min.	-	7.30	12.2	800	22.50	0.1294	0.011	12.94	1.13	6.529	0.218
240 min.	-	8.00	12.0	850	23.00	0.1375	0.012	13.75	1.15	6.422	0.214
300 min.	-	8.30	12.0	900	23.80	0.1456	0.012	14.56	1.19	6.422	0.214
360 min.	-	9.00	12.0	950	24.40	0.1537	0.012	15.37	1.22	6.422	0.214
420 min.	-	9.30	12.0	1000	25.00	0.1618	0.013	16.18	1.25	6.422	0.214
480 min.	-	10.00	11.8	1050	25.80	0.1699	0.013	16.99	1.29	6.315	0.210
540 min.	-	10.30	11.8	1100	26.90	0.1780	0.013	17.80	1.35	6.315	0.210
600 min.	-	11.00	11.5	1150	28.00	0.1861	0.014	18.61	1.40	6.154	0.205
660 min.	-	11.30	11.5	1200	29.50	0.1942	0.015	19.42	1.48	6.154	0.205
720 min.	-	12.00	11.5	1250	30.50	0.2023	0.015	20.23	1.53	6.154	0.205
		12.30	11.2	1300	31.50	0.2104	0.016	21.04	1.58	5.994	0.200



ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (UU) - ASTM D3080

Proyecto: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA ESCALA 1:5000 DE LA VÍA VILLONACO - TAQUIL, KILÓMETRO 9.5 - 12.00 CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"			
Localización: Vía Villonaco-Taquil, cantón Loja		Muestra: 11+010 Km	
Descripción del suelo: Arena Limosa (SM)		Ensayo : N° 2	
Humedad: 16.89%	Carga: 30.6 Kg	Profundidad: 1.0 m	
Coordenadas: -	Constante de anillo Kg: 1.9048	Esfuerzo normal aplicado: 1.02 kg/cm2	

Datos del Ensayo					
Peso anillo (gr):	42.9	Altura muestra inicial (cm):	2	Humedad	
Peso anillo + muestra (gr):	158.52	Altura muestra final (cm):	2.024	Wcap	Wcap+SH
Peso muestra inicial (gr):	115.62	Diámetro (cm):	6.18	Área (cm2):	30
Peso muestra final (gr):	92.57	Densidad(g/cm3):	1.93	W%	24.90

Consolidación		Tiempo min.	Lect. Anillo Carga	Lect. Deform. Horizontal x 0,01 mm	Lect. Deform. Vertical 0,01 mm	Deform. Unitaria		Deformación (%)		Carga aplicada Kg.	Cortante Kg/cm2
Tiempo	Deformación					Horiz.	Vertic.	Horiz.	Vertic.		
0.0"	-	0.06	1.5	0	-0.30	0.0000	0.000	0.00	-0.02	0.803	0.027
4"	-	0.12	3.0	10	-0.30	0.0016	0.000	0.16	-0.02	1.605	0.054
15"	-	0.24	6.0	20	-0.80	0.0032	0.000	0.32	-0.04	3.211	0.107
34"	-	0.36	11.0	40	-0.80	0.0065	0.000	0.65	-0.04	5.887	0.196
1 min.	-	0.45	14.2	60	-1.20	0.0097	-0.001	0.97	-0.06	7.599	0.253
2 min. 1/4"	-	1.00	20.2	100	-1.50	0.0162	-0.001	1.62	-0.08	10.810	0.360
4 min.	-	1.30	23.0	150	-1.50	0.0243	-0.001	2.43	-0.08	12.309	0.410
6 min. 1/4"	-	1.45	26.0	175	-1.10	0.0283	-0.001	2.83	-0.06	13.914	0.464
9"	-	2.00	31.0	200	0.00	0.0324	0.000	3.24	0.00	16.590	0.553
12 min. 1/4"	-	2.30	35.5	300	1.80	0.0485	0.001	4.85	0.09	18.998	0.633
16 min.	-	3.00	40.2	350	3.50	0.0566	0.002	5.66	0.18	21.513	0.717
20 min. 1/4"	-	3.30	44.5	400	5.50	0.0647	0.003	6.47	0.28	23.815	0.794
25 min.	-	4.00	49.0	450	8.00	0.0728	0.004	7.28	0.40	26.223	0.874
36 min.	-	4.30	53.0	500	11.20	0.0809	0.006	8.09	0.56	28.363	0.945
49 min.	-	5.00	55.2	550	14.50	0.0890	0.007	8.90	0.73	29.541	0.985
60 min.	-	5.30	58.0	600	21.00	0.0971	0.011	9.71	1.05	31.039	1.035
80 min.	-	6.00	49.0	650	27.00	0.1052	0.014	10.52	1.35	26.223	0.874
100 min.	-	6.30	44.5	700	31.00	0.1133	0.016	11.33	1.55	23.815	0.794
120 min.	-	7.00	41.0	750	34.70	0.1214	0.017	12.14	1.74	21.941	0.731
180 min.	-	7.30	36.5	800	39.10	0.1294	0.020	12.94	1.96	19.533	0.651
240 min.	-	8.00	33.2	850	40.80	0.1375	0.020	13.75	2.04	17.767	0.592
300 min.	-	8.30	30.8	900	40.80	0.1456	0.020	14.56	2.04	16.483	0.549
360 min.	-	9.00	29.5	950	41.80	0.1537	0.021	15.37	2.09	15.787	0.526
420 min.	-	9.30	28.5	1000	42.50	0.1618	0.021	16.18	2.13	15.252	0.508
480 min.	-	10.00	28.0	1050	43.30	0.1699	0.022	16.99	2.17	14.984	0.499
540 min.	-	10.30	27.5	1100	44.00	0.1780	0.022	17.80	2.20	14.717	0.491
600 min.	-	11.00	27.2	1150	45.00	0.1861	0.023	18.61	2.25	14.556	0.485
660 min.	-	11.30	27.0	1200	45.80	0.1942	0.023	19.42	2.29	14.449	0.482
720 min.	-	12.00	27.0	1250	46.80	0.2023	0.023	20.23	2.34	14.449	0.482
		12.30	26.8	1300	47.50	0.2104	0.024	21.04	2.38	14.342	0.478



ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (UU) - ASTM D3080

Proyecto: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA ESCALA 1:5000 DE LA VÍA VILLONACO - TAQUIL, KILÓMETRO 9.5 - 12.00 CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"			
Localización: Vía Villonaco-Taquil, cantón Loja		Muestra: 11+010 Km	
Descripción del suelo: Arena Limosa (SM)		Ensayo : N° 3	
Humedad: 16.89%	Carga: 61.2 Kg	Profundidad: 1.0 m	
Coordenadas: -	Constante de anillo Kg: 1.9048	Esfuerzo normal aplicado: 2.04 kg/cm2	

Datos del Ensayo						
Peso anillo (gr):	42.61	Altura muestra inicial (cm):	2	Humedad		
Peso anillo + muestra (gr):	157.64	Altura muestra final (cm):	2.006	Wcap	Wcap+SH	Wcap+SS
Peso muestra inicial (gr):	115.03	Diámetro (cm):	6.18	33.7	151.55	128.94
Peso muestra final (gr):	92.96	Densidad(g/cm3):	1.92	W%	23.74	
		Área (cm2):	30			

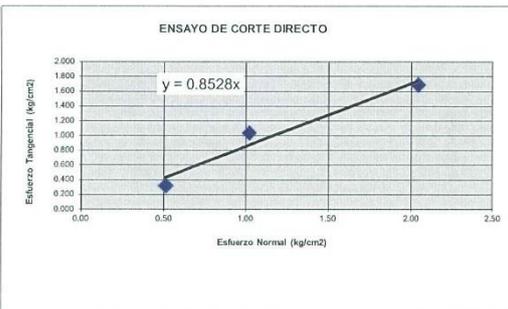
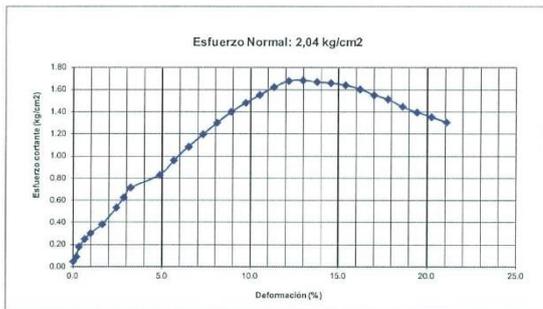
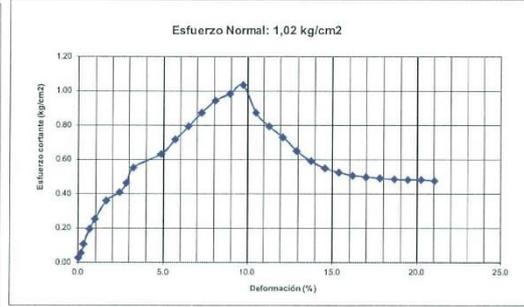
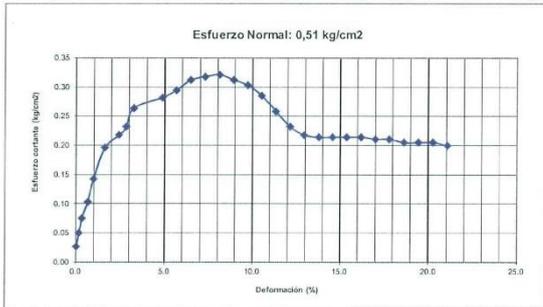
Consolidación		Tiempo min.	Lect. Anillo Carga	Lect. Deform. Horizontal x 0,01 mm	Lect. Deform. Vertical 0,01 mm	Deform. Unitaria		Deformación (%)		Carga aplicada Kg.	Cortante Kg/cm2
Tiempo	Deformación					Horiz.	Vertic.	Horiz.	Vertic.		
0.0"	-	0.06	2.5	0	0.00	0.0000	0.00	0.00	1.338	0.045	
4"	-	0.12	5.0	10	0.00	0.0016	0.000	0.16	2.676	0.089	
15"	-	0.24	10.0	20	-0.80	0.0032	0.000	0.32	-0.04	5.352	0.178
34"	-	0.36	14.0	40	-2.00	0.0065	-0.001	0.65	-0.10	7.492	0.250
1 min.	-	0.45	17.0	60	-3.00	0.0097	-0.002	0.97	-0.15	9.098	0.303
2 min. 1/4"	-	1.00	21.5	100	-3.90	0.0162	-0.002	1.62	-0.20	11.506	0.384
4 min.	-	1.30	30.0	150	-5.50	0.0243	-0.003	2.43	-0.28	16.055	0.535
6 min. 1/4"	-	1.45	35.0	175	-6.20	0.0283	-0.003	2.83	-0.31	18.731	0.624
9"	-	2.00	40.0	200	-7.00	0.0324	-0.004	3.24	-0.35	21.406	0.714
12 min. 1/4"	-	2.30	46.5	300	-7.90	0.0485	-0.004	4.85	-0.40	24.885	0.829
16 min.	-	3.00	53.8	350	-8.50	0.0566	-0.004	5.66	-0.43	28.791	0.960
20 min. 1/4"	-	3.30	60.8	400	-9.80	0.0647	-0.005	6.47	-0.49	32.538	1.085
25 min.	-	4.00	67.0	450	-9.80	0.0728	-0.005	7.28	-0.49	35.856	1.195
36 min.	-	4.30	73.0	500	-9.80	0.0809	-0.005	8.09	-0.49	39.066	1.302
49 min.	-	5.00	78.5	550	-9.50	0.0890	-0.005	8.90	-0.48	42.010	1.400
60 min.	-	5.30	83.0	600	-8.10	0.0971	-0.004	9.71	-0.41	44.418	1.481
80 min.	-	6.00	87.0	650	-6.20	0.1052	-0.003	10.52	-0.31	46.559	1.552
100 min.	-	6.30	91.0	700	-4.10	0.1133	-0.002	11.33	-0.21	48.699	1.623
120 min.	-	7.00	94.2	750	-2.20	0.1214	-0.001	12.14	-0.11	50.412	1.680
180 min.	-	7.30	94.5	800	-0.80	0.1294	0.000	12.94	-0.04	50.572	1.686
240 min.	-	8.00	93.5	850	-0.50	0.1375	0.000	13.75	-0.03	50.037	1.668
300 min.	-	8.30	93.0	900	1.90	0.1456	0.001	14.56	0.10	49.770	1.659
360 min.	-	9.00	92.0	950	2.80	0.1537	0.001	15.37	0.14	49.234	1.641
420 min.	-	9.30	90.0	1000	4.40	0.1618	0.002	16.18	0.22	48.164	1.605
480 min.	-	10.00	87.0	1050	5.80	0.1699	0.003	16.99	0.29	46.559	1.552
540 min.	-	10.30	84.8	1100	8.00	0.1780	0.004	17.80	0.40	45.381	1.513
600 min.	-	11.00	81.0	1150	9.00	0.1861	0.005	18.61	0.45	43.348	1.445
660 min.	-	11.30	78.2	1200	9.80	0.1942	0.005	19.42	0.49	41.849	1.395
720 min.	-	12.00	75.8	1250	10.00	0.2023	0.005	20.23	0.50	40.565	1.352
		12.30	73.2	1300	11.30	0.2104	0.006	21.04	0.57	39.174	1.306



ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (UU) - ASTM D3080

Proyecto: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA ESCALA 1:5000 DE LA VÍA VILLONACO - TAQUIL, KILÓMETRO 9.5 - 12.00 CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"		
Localización: Vía Villonaco-Taquil, cantón Loja	Muestra: 11+010 Km	Coordenadas: -
RESULTADOS		



RESULTADOS	Esfuerzos (kg/cm ²)		
	X	Y	Y calculado
Ensayo No	Normal	Cortante	Tangencial*
1	0.51	0.321	0.4349
2	1.02	1.035	0.8699
3	2.04	1.686	1.7397

Angulo de Friccion (grados)	49	Cohesión (kg/cm ²)	0.00
-----------------------------	----	--------------------------------	------

* Valores deducidos de ecuación de gráfico (regresión lineal)





ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ESTSUELCON

DENSIDAD REAL	
PROYECTO : "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA ESCALA 1:5000 DE LA VÍA VILLONACO - TAQUILL, KILOMETRO 9.5 - 12.00 CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA" OBRA : PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ROCA UBICACIÓN : VÍA VILLONACO-TAQUILL, CANTÓN LOJA.	MUESTRA : INDICADAS PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL
OPERADOR : D.O FECHA : MARZO-2023 COORDENADAS : E 691168; N 9569932 (1) E 691099; N 9569899 (2) E 690355; N 9569528 (3)	

NORMA DE ENSAYO: UNE-EN 1936:2007

MUESTRA	1		2			3			UNIDADES
	MACIZO 2 - ZONA 1a		MACIZO 1 - ZONA 2a			MACIZO 1 - ZONA 1a			
	1	2	1	2	3	1	2	3	
TEMPERATURA DEL AGUA		20		20			20		°C
P. DEL PICNÓMETRO (W_{pic})	33.95	160.42	33.92	160.42	444.36	33.95	160.42	301.76	gr
P. MUESTRA (W_s)	25.00	249.72	25.00	250.00	225.90	25.00	249.56	314.92	gr
P. PICNÓMETRO + AGUA (W_p)	83.72	661.01	83.93	661.01	1246.46	83.72	661.01	1031.77	gr
P. PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA (W_z)	99.49	818.50	99.26	816.40	1386.04	100.31	824.40	1235.74	gr
RESULTADOS:									
$P_w = W_d + W_p - W_z$									
PESO DEL AGUA (W_w)	9.23	92.23	9.67	94.61	86.32	8.41	86.17	110.95	gr
$D_r = (W_d/W_w) * D_w$									
DENSIDAD REAL (D_r)	2.70	2.70	2.58	2.64	2.61	2.97	2.89	2.83	gr/cm ³
PROMEDIO	2.70		2.61			2.90			gr/cm ³

* El valor de la densidad del agua a 20 °C es de 0.998 gr/cm³



Teléfono: (07)2613699. Celular: 0993883061-0999692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com

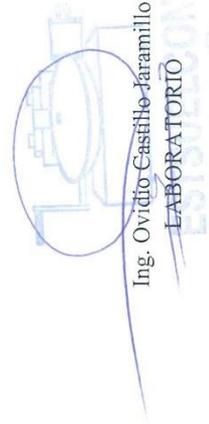


ESTSUELCON

ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

PROY.: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA ESCALA 1:5000 DE LA VÍA VILLONACO - TAQUIL, KILÓMETRO 9.5 - 12.00 CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"									
OBRA: PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ROCA									
UBIC.: VÍA VILLONACO-TAQUIL, CANTÓN LOJA									
FECHA: MARZO-2023		OPERADOR		O.C.		PROFUND.:		TALUD: MACIZO 1	
COORDENADAS:		X: 690,355		Y: 9,569,528		Muestra Superficial			
1.- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN									
Muestra	DIÁMETRO	RADIO	ALTURA	AREA	VOLUMEN	CARGA	ESFUERZO		
Nº	cm	cm	cm	cm ²	cm ³	Kg	Kg/cm ²		
1	5.48	2.74	10.96	23.59	258.50	15,830.78	671.198		
2	5.02	2.51	10.94	19.79	216.53	9,102.96	459.922		
Promedio							565.56		
2.- ENSAYO TILT TEST NUCLEO DE ROCA									
Muestra	φ1	φ2	φ3	φ4	φ5	ESTADO	φ prom	φ basico	
Nº	grados	grados	grados	grados	grados	-	grados	grados	
1	54	53	52	53	53	seco	53	57	
3.- ENSAYO DE ESCLEROMETRIA DE BAJO IMPACTO									
Muestra	r1	r2	r3	r4	r5	POSICIÓN	r prom.	DENSIDAD	C. SIMPLE
Nº	rebote	rebote	rebote	rebote	rebote	grados	rebote	gr/cm ³	Mpa
1	37	36	35	36	36	-90	36	2.77	7.72



Tele-fax: 2540594. Celular: 093883061-0999692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com



ESTSUELCON

ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

PROY.: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA ESCALA 1:5000 DE LA VÍA VILLONACO - TAQUIL, KILÓMETRO 9.5 - 12.00 CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA"									
OBRA: PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ROCA			TALUD: MACIZO 2						
UBIC.: VÍA VILLONACO-TAQUIL, CANTÓN LOJA			PROFUND.: Muestra Superficial						
FECHA: MARZO-2023			OPERADOR O.C.						
COORDENADAS:			X: 691,168		Y: 9,569,932				
1.- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN									
Muestra	DIÁMETRO	RADIO	ALTURA	AREA	VOLUMEN	CARGA	ESFUERZO		
Nº	cm	cm	cm	cm ²	cm ³	Kg	Kg/cm ²		
1	5.02	2.51	10.70	19.79	211.78	5,555.56	280.691		
2	4.33	2.17	8.50	14.73	125.17	3,221.20	218.752		
3	4.36	2.18	8.95	14.93	133.62	5,565.75	372.786		
Promedio							290.74		
2.- ENSAYO TIL'T TEST NUCLEO DE ROCA									
Muestra	φ1	φ2	φ3	φ4	φ5	ESTADO	φ prom	φ basico	
Nº	grados	grados	grados	grados	grados	-	grados	grados	
1	52	55.5	56	55	56	seco	55	59	
2	61	61	62	62	61	seco	61	65	
3.- ENSAYO DE ESCLEROMETRIA DE BAJO IMPACTO									
Muestra	r1	r2	r3	r4	r5	POSICIÓN	r prom.	DENSIDAD	C. SIMPLE
Nº	rebote	rebote	rebote	rebote	rebote	grados	rebote	gr/cm ³	Mpa
1	19	19	20	19	20	-90	19	2.39	2.62



Tele-fax: 2540594. Celular: 093883061-0999692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com



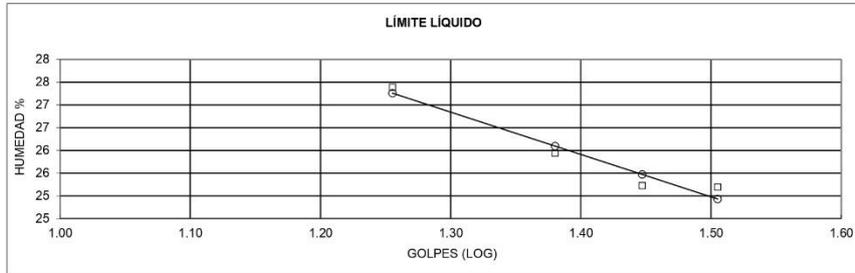
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

PROYECTO: VILLONACO - TAQUIL
TRAMO: VILLONACO - CERA
SOLICITA: SR. RENATO ESPINOSA
ELABORÓ: V.S
FECHA: 17/05/2023

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27
POZO: 6
PROFUNDIDA: 0.50 m
ABSCISA : 10+000

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		442.03	416.69	86.33	7.67	7.77
		426.60	401.69	85.22	7.87	
2.- LIM. LÍQUIDO	32	23.77	21.83	14.13	25.19	25.93
	28	24.96	22.72	13.84	25.23	
	24	22.23	20.51	13.88	25.94	
	18	23.41	21.32	13.69	27.39	
3.- LIMITE PLÁSTICO		10.82	10.09	7.02	23.78	23.79
		9.94	9.39	7.08	23.81	

4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN	
PESO IN=	1003.20	(H/S)	H	GRAVA	72
PESO INICIAL DE CÁLCULO:			930.86	ARENA	18
				FINOS	10
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 26.00	
1"	582.60	63	37	LP = 24.00	
3/4"	602.30	65	35	IP = 2.00	
1/2"	621.80	67	33	CLASIFICACIÓN SUCS : GP-GM AASHTO: A-1-a IG(86): 0 IG(45): 0	
3/8"	632.90	68	32		
No. 4	668.60	72	28		
No. 10	706.10	76	24		
No. 40	759.30	82	18		
No. 200	840.20	90	10		



CLASIFICACIÓN SUCS: GRAVA MAL GRADUADA CON LIMO, **GP-GM.**

OBSERVACIONES: La toma de muestras fue realizada por el personal del laboratorio de suelos.

Ing. Jimmy Jimenez
LABORATORISTA

Ing. Glenda Angamarca
LABORATORISTA

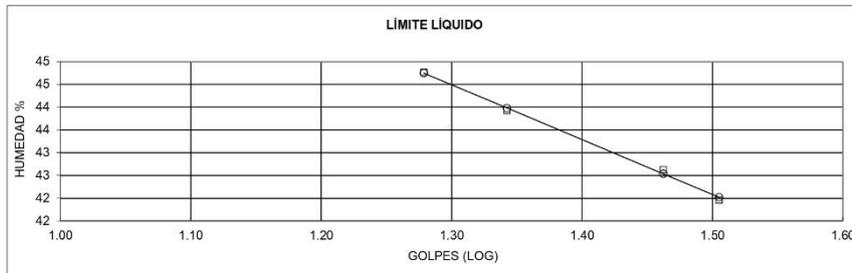


ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

PROYECTO: VILLONACO - TAQUIL
TRAMO: VILLONACO - CERA
SOLICITA: SR. RENATO ESPINOSA
ELABORÓ: V.S
FECHA: 17/05/2023

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27
POZO: 6
PROFUNDIDA: 1.00 m
ABSCISA : 10+000

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		341.71 364.81	316.71 338.21	58.78 61.17	9.69 9.60	9.65
2.- LÍM. LÍQUIDO	32 29 22 19	22.51 22.23 22.85 22.93	19.85 19.77 20.10 20.15	13.51 14.00 13.84 13.94	41.96 42.63 43.93 44.77	43.31
3.- LÍMITE PLÁSTICO		7.90 8.41	7.75 8.18	7.02 7.06	20.55 20.54	20.54
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 1000.20		(H/S)	H	GRAVA		54
PESO INICIAL DE CÁLCULO:			912.20	ARENA		32
				FINOS		14
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 43.00 LP = 21.00 IP = 22.00		
1"	220.10	24	76	CLASIFICACIÓN SUCS : GC AASHTO: A-2-7 IG(86): 0 IG(45): 0		
3/4"	250.90	28	72			
1/2"	308.00	34	66			
3/8"	369.70	41	59			
No. 4	491.20	54	46			
No. 10	603.60	66	34			
No. 40	716.50	79	21			
No. 200	780.70	86	14			



CLASIFICACIÓN SUCS: GRAVA ARCILLOSA, **GC**.

OBSERVACIONES: La toma de muestras fue realizada por el personal del laboratorio de suelos.

Ing. Jimmy Jimenez
LABORATORISTA

Ing. Glenda Angamarca
LABORATORISTA



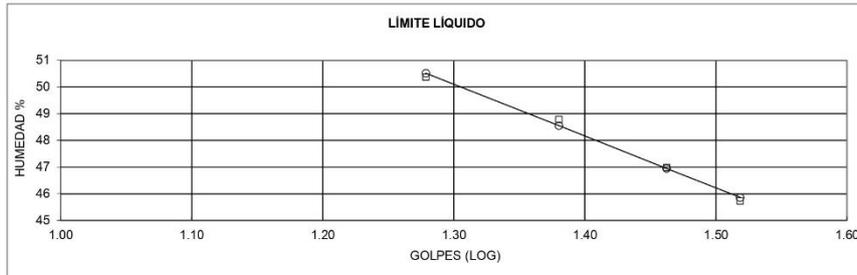
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

PROYECTO: VILLONACO - TAQUIL
TRAMO: VILLONACO - CERA
SOLICITA: SR. RENATO ESPINOSA
ELABORÓ: V.S
FECHA: 17/05/2023

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27
POZO: 6
PROFUNDIDA: 1.50 m
ABSCISA : 10+000

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		340.57	302.82	52.73	15.09	15.04
		387.13	345.74	69.44	14.98	
2.- LÍM. LÍQUIDO	33	19.52	17.70	13.72	45.73	48.20
	29	19.86	17.91	13.76	46.99	
	24	20.33	18.32	14.20	48.79	
	19	19.86	17.83	13.80	50.37	
3.- LÍMITE PLÁSTICO		8.70	8.38	7.07	24.43	24.42
		8.73	8.42	7.15	24.41	

4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN	
PESO IN=	945.90	(H/S)	H	GRAVA	63
PESO INICIAL DE CÁLCULO:				ARENA	20
				FINOS	17
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 48.00 LP = 24.00 IP = 24.00 CLASIFICACIÓN SUCS : GC AASHTO: A-2-7 IG(86): 0 IG(45): 0	
1"	368.80	45	55		
3/4"	397.10	48	52		
1/2"	442.50	54	46		
3/8"	469.90	57	43		
No. 4	521.50	63	37		
No. 10	578.70	70	30		
No. 40	635.80	77	23		
No. 200	684.90	83	17		



CLASIFICACIÓN SUCS: GRAVA ARCILLOSA, **GC**.

OBSERVACIONES: La toma de muestras fue realizada por el personal del laboratorio de suelos.

Ing. Jimmy Jimenez
LABORATORISTA

Ing. Glenda Angamarca
LABORATORISTA

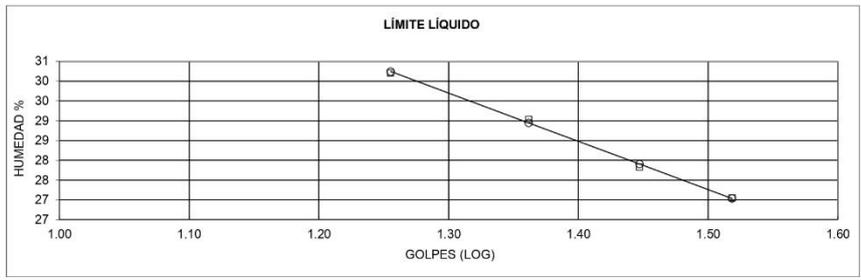


ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

PROYECTO: VILLONACO - TAQUIL
TRAMO: VILLONACO - CERA
SOLICITA: SR. RENATO ESPINOSA
ELABORÓ: A.R
FECHA: 17/05/2023

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27
POZO: 7
PROFUNDIDA: 0.50 m
ABSCISA: 12+000

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		451.39	424.37	85.35	7.97	7.83
		492.97	464.19	90.29	7.70	
2.- LÍM. LÍQUIDO	18	23.89	21.57	13.89	30.21	28.51
	23	25.50	22.82	13.59	29.04	
	28	25.15	22.67	13.76	27.83	
	33	24.04	21.80	13.52	27.05	
3.- LÍMITE PLÁSTICO		12.15	11.18	7.03	23.37	23.36
		11.79	10.91	7.14	23.34	
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 1247.90		(H/S)	H	GRAVA		63
PESO INICIAL DE CÁLCULO:			1157.25	ARENA		24
				FINOS		13
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 29.00 LP = 23.00 IP = 6.00		
1"	171.30	15	85			
3/4"	485.60	42	58	CLASIFICACIÓN SUCS : GM AASHTO: A-1-a IG(86): 0 IG(45): 0		
1/2"	588.40	51	49			
3/8"	641.90	55	45			
No. 4	729.70	63	37			
No. 10	815.90	71	29			
No. 40	905.90	78	22			
No. 200	1007.80	87	13			



CLASIFICACIÓN SUCS: GRAVA MAL GRADUADA CON LIMO, **GP-GM.**

OBSERVACIONES: La toma de muestras fue realizada por el personal del laboratorio de suelos.

Ing. Jimmy Jimenez
LABORATORISTA

Ing. Glenda Angamarca
LABORATORISTA

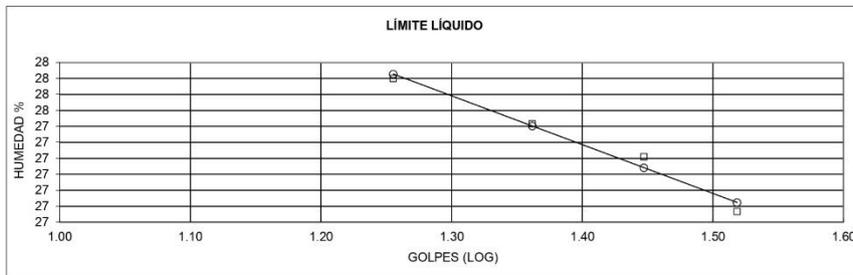


ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

PROYECTO: VILLONACO - TAQUIL
TRAMO: VILLONACO - CERA
SOLICITA: SR. RENATO ESPINOSA
ELABORÓ: A.R
FECHA: 17/05/2023

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27
POZO: 7
PROFUNDIDA: 1.00 m
ABSCISA : 12+000

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		454.69	423.56	88.04	9.28	9.29
		360.42	332.95	37.66	9.30	
2.- LÍM. LÍQUIDO	18	26.47	23.70	13.70	27.70	27.29
	23	26.00	23.39	13.87	27.42	
	28	26.50	23.76	13.69	27.21	
	33	25.25	22.84	13.87	26.87	
3.- LÍMITE PLÁSTICO		11.57	10.77	7.08	21.68	21.64
		12.04	11.15	7.03	21.60	
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 1088.70 (H/S)		H 996.15		GRAVA 79		
PESO INICIAL DE CÁLCULO:				ARENA 16		
				FINOS 5		
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 27.00 LP = 22.00 IP = 5.00		
1"	587.00	59	41			
3/4"	620.60	62	38	CLASIFICACIÓN SUCS : GP-GM AASHTO: A-1-a IG(86): 0 IG(45): 0		
1/2"	712.30	72	28			
3/8"	740.70	74	26			
No. 4	783.20	79	21			
No. 10	825.20	83	17			
No. 40	878.80	88	12			
No. 200	942.80	95	5			



CLASIFICACIÓN SUCS: GRAVA MAL GRADUADA CON LIMO, **GP-GM.**

OBSERVACIONES: La toma de muestras fue realizada por el personal del laboratorio de suelos.

Ing. Jimmy Jimenez
LABORATORISTA

Ing. Glenda Angamarca
LABORATORISTA

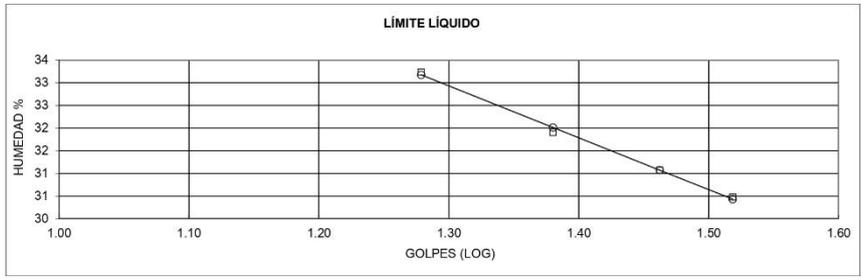


ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

PROYECTO: VILLONACO - TAQUIL
TRAMO: VILLONACO - CERA
SOLICITA: SR. RENATO ESPINOSA
ELABORÓ: A.R
FECHA: 17/05/2023

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27
POZO: 7
PROFUNDIDA: 1.50 m
ABSCISA : 12+000

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		438.99	406.23	86.74	10.25	10.36
		459.10	423.89	87.76	10.48	
2.- LIM. LÍQUIDO	33	30.18	26.30	13.57	30.48	31.81
	29	27.78	24.21	12.72	31.07	
	24	26.63	25.06	13.87	31.90	
	19	27.81	24.38	14.06	33.24	
3.- LÍMITE PLÁSTICO		8.94	8.60	7.10	22.67	22.70
		8.72	8.42	7.10	22.73	
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 1125.10		(H/S)	H	GRAVA		69
PESO INICIAL DE CÁLCULO:			1019.44	ARENA		23
				FINOS		8
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 32.00 LP = 23.00 IP = 9.00		
1"	455.80	45	55			
3/4"	494.40	48	52	CLASIFICACIÓN SUCS : GP-GC AASHTO: A-2-4 IG(86): 0 IG(45): 0		
1/2"	561.70	55	45			
3/8"	598.30	59	41			
No. 4	705.70	69	31			
No. 10	793.90	78	22			
No. 40	874.80	86	14			
No. 200	939.80	92	8			



CLASIFICACIÓN SUCS: GRAVA MAL GRADUADA CON ARCILLA, **GP-GC.**

OBSERVACIONES: La toma de muestras fue realizada por el personal del laboratorio de suelos.

Ing. Jimmy Jimenez
LABORATORISTA

Ing. Glenda Angamarca
LABORATORISTA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PROYECTO: VILLONACO - TAQUIL
TRAMO: VILLONACO - CERA
SOLICITA: SR. RENATO ESPINOSA
ELABORÓ: V.S
FECHA: 17/05/2023

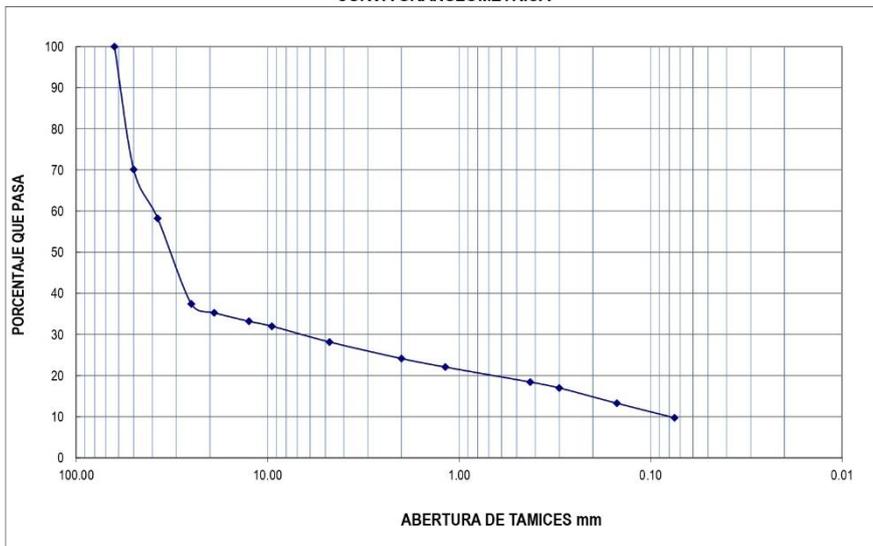
NORMA: AASHTO T 88 - ASTM D 422
POZO: 6
PROFUNDIDAD: 0.50 m
ABSCISA : 10+000

MICR.	TAMIZ N°	PESO RETENIDO PARCIAL (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO	% PASA	FAJA DE DISEÑO
GRANULOMETRIA SERIE GRUESA						
75	3"		0.00	0.00	100	
63	2 1/2"		0.00	0.00	100	
50	2"	278.20	278.20	29.89	70	
37.5	1 1/2"	110.40	388.60	41.75	58	
25	1"	194.00	582.60	62.59	37	
19	3/4"	19.70	602.30	64.70	35	
12.5	1/2"	19.50	621.80	66.80	33	
9.5	3/8"	11.10	632.90	67.99	32	
4.750	N°.4	35.70	668.60	71.83	28	
	Pasa N°.4	262.26				
GRANULOMETRIA SERIE FINA						
2.000	N°.10	37.5	706	75.85	24	
1.180	N°.16	19.3	725	77.93	22	
0.850	N°.20		725	77.93	22	
0.600	N°.30		725	77.93	22	
0.425	N°.40	33.9	759	81.57	18	
0.300	N°.50	13.3	773	83.00	17	
0.150	N°.100	34.7	807	86.73	13	
0.075	N°.200	32.9	840	90.26	10	
	FONDO	90.66	931	100.00	0	

MUESTRA INICIAL (gr) 930.86

MUESTRA ANTES DEL LAVADO (gr)
MUESTRA DESPUES DEL LAVADO (gr)

CURVA GRANULOMÉTRICA



PASA TAMIZ N° 4: 28.17
PASA TAMIZ N° 200: 9.74 %
D60: 39.12 mm
D30: 6.61 mm
D10: 0.08 mm

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu): 495.64
GRADO DE CURVATURA (Cc): 14.14

Ing. Jimmy Jimenez
LABORATORISTA

Ing. Glenda Angamarca
LABORATORISTA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PROYECTO: VILLONACO - TAQUIL
TRAMO: VILLONACO - CERA
SOLICITA: SR. RENATO ESPINOSA
ELABORÓ: V.S
FECHA: 17/05/2023

NORMA: AASHTO T 88 - ASTM D 422
POZO: 6
PROFUNDIDAD: 1.00 m
ABSCISA : 10+000

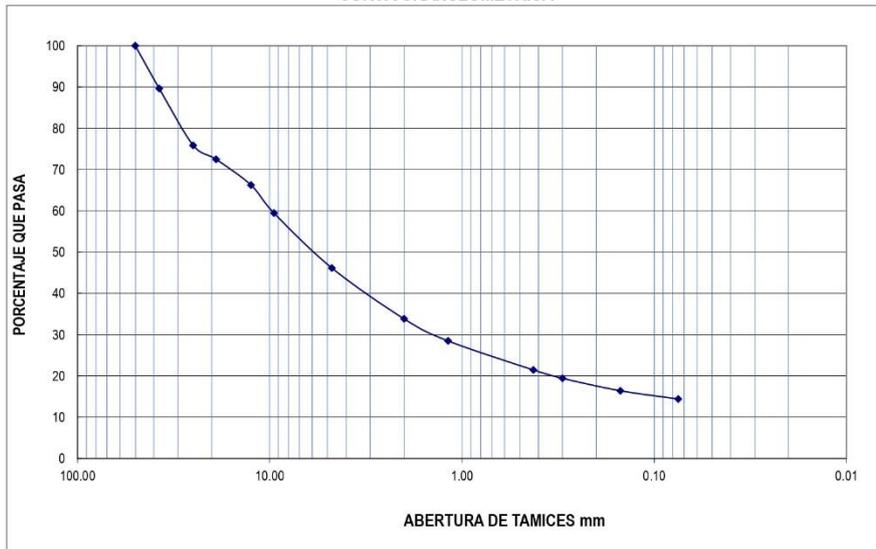
MICR.	TAMIZ N°	PESO RETENIDO PARCIAL (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO	% PASA	FAJA DE DISEÑO
GRANULOMETRIA SERIE GRUESA						
75	3"		0.00	0.00	100	
63	2 1/2"		0.00	0.00	100	
50	2"		0.00	0.00	100	
37.5	1 1/2"	94.70	94.70	10.38	90	
25	1"	125.40	220.10	24.13	76	
19	3/4"	30.80	250.90	27.50	72	
12.5	1/2"	57.10	308.00	33.76	66	
9.5	3/8"	61.70	369.70	40.53	59	
4.750	N°.4	121.50	491.20	53.85	46	
	Pasa N°.4	421.00				
GRANULOMETRIA SERIE FINA						
2.000	N°.10	112.4	604	66.17	34	
1.180	N°.16	48.8	652	71.52	28	
0.850	N°.20		652	71.52	28	
0.600	N°.30		652	71.52	28	
0.425	N°.40	64.1	717	78.55	21	
0.300	N°.50	18.5	735	80.57	19	
0.150	N°.100	27.5	763	83.59	16	
0.075	N°.200	18.2	781	85.58	14	
	FONDO	131.50	912	100.00	0	

MUESTRA INICIAL (gr) 912.20

MUESTRA ANTES DEL LAVADO (gr)

MUESTRA DESPUES DEL LAVADO (gr)

CURVA GRANULOMÉTRICA



PASA TAMIZ N° 4: 46.15
 PASA TAMIZ N° 200: 14.42 %
 D60: 9.71 mm
 D30: 1.37 mm
 D10: mm

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu):
 GRADO DE CURVATURA (Cc):

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

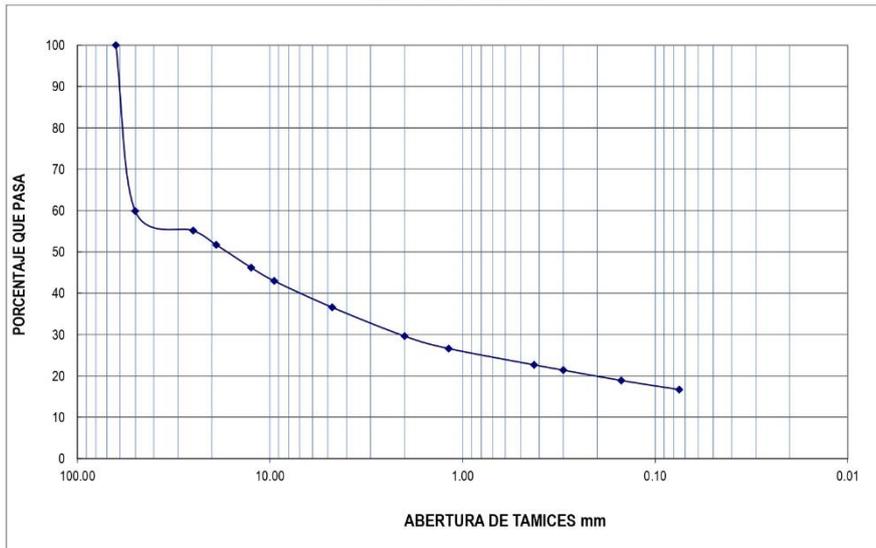
PROYECTO: VILLONACO - TAQUIL
TRAMO: VILLONACO - CERA
SOLICITA: SR. RENATO ESPINOSA
ELABORÓ: V.S
FECHA: 17/05/2023
NORMA: AASHTO T 88 - ASTM D 422
POZO: 6
PROFUNDIDAD: 1.50 m
ABSCISA : 10+000

MICR.	TAMIZ N°	PESO RETENIDO PARCIAL (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO	% PASA	FAJA DE DISEÑO
GRANULOMETRIA SERIE GRUESA						
75	3"		0.00	0.00	100	
63	2 1/2"		0.00	0.00	100	
50	2"	330.00	330.00	40.13	60	
37.5	1 1/2"		330.00	40.13	60	
25	1"	38.80	368.80	44.85	55	
19	3/4"	28.30	397.10	48.29	52	
12.5	1/2"	45.40	442.50	53.82	46	
9.5	3/8"	26.40	468.90	57.03	43	
4.750	N°.4	52.60	521.50	63.42	37	
	Pasa N°.4	300.75				
GRANULOMETRIA SERIE FINA						
2.000	N°.10	57.2	579	70.38	30	
1.180	N°.16	24.7	603	73.38	27	
0.850	N°.20		603	73.38	27	
0.600	N°.30		603	73.38	27	
0.425	N°.40	32.4	636	77.32	23	
0.300	N°.50	10.5	646	78.60	21	
0.150	N°.100	20.6	667	81.11	19	
0.075	N°.200	18	685	83.30	17	
	FONDO	137.35	822	100.00	0	

MUESTRA INICIAL (gr) 822.25

MUESTRA ANTES DEL LAVADO (gr)
MUESTRA DESPUES DEL LAVADO (gr)

CURVA GRANULOMÉTRICA



PASA TAMIZ N° 4: 36.58
PASA TAMIZ N° 200: 16.70 %
D60: 50.04 mm
D30: 2.10 mm
D10: mm

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu):
GRADO DE CURVATURA (Cc):

Ing. Jimmy Jimenez
LABORATORISTA

Ing. Glenda Angamarca
LABORATORISTA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PROYECTO: VILLONACO - TAQUIL
TRAMO: VILLONACO - CERA
SOLICITA: SR. RENATO ESPINOSA
ELABORÓ: A.R
FECHA: 17/05/2023

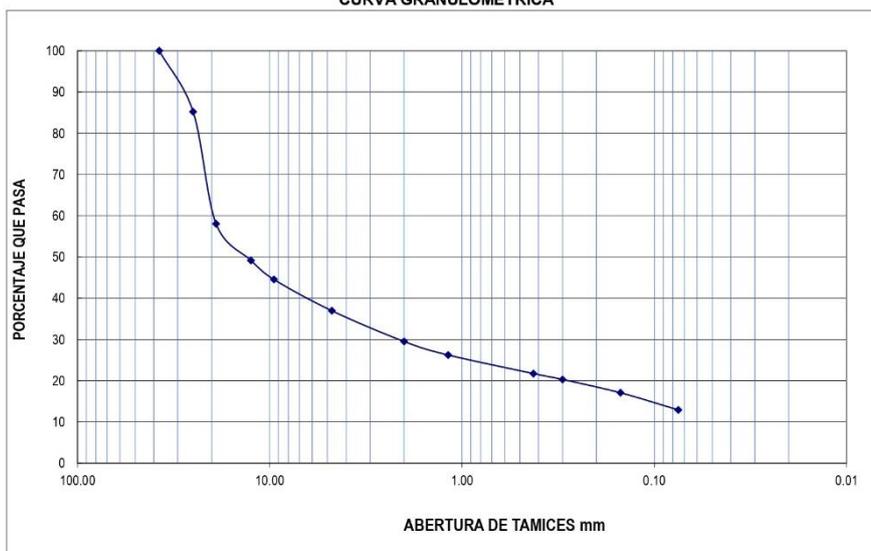
NORMA: AASHTO T 88 - ASTM D 422
POZO: 7
PROFUNDIDAD: 0.50 m
ABSCISA : 12+000

MICR.	TAMIZ N°	PESO RETENIDO PARCIAL (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO	% PASA	FAJA DE DISEÑO
GRANULOMETRIA SERIE GRUESA						
75	3"		0.00	0.00	100	
63	2 1/2"		0.00	0.00	100	
50	2"		0.00	0.00	100	
37.5	1 1/2"		0.00	0.00	100	
25	1"	171.30	171.30	14.80	85	
19	3/4"	314.30	485.60	41.96	58	
12.5	1/2"	102.80	588.40	50.84	49	
9.5	3/8"	53.50	641.90	55.47	45	
4.750	N°.4	87.80	729.70	63.05	37	
	Pasa N°.4	427.55				
GRANULOMETRIA SERIE FINA						
2.000	N°.10	86.2	816	70.50	29	
1.180	N°.16	37.9	854	73.78	26	
0.850	N°.20		854	73.78	26	
0.600	N°.30		854	73.78	26	
0.425	N°.40	52.1	906	78.28	22	
0.300	N°.50	16.5	922	79.71	20	
0.150	N°.100	37.4	960	82.94	17	
0.075	N°.200	48	1008	87.09	13	
	FONDO	149.45	1157	100.00	0	

MUESTRA INICIAL (gr) 1157.25

MUESTRA ANTES DEL LAVADO (gr)
MUESTRA DESPUES DEL LAVADO (gr)

CURVA GRANULOMÉTRICA



PASA TAMIZ N° 4: 36.95
PASA TAMIZ N° 200: 12.91 %
D60: 19.38 mm
D30: 2.12 mm
D10: mm

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu):
GRADO DE CURVATURA (Cc):

Ing. Jimmy Jimenez
LABORATORISTA

Ing. Glenda Angamarca
LABORATORISTA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

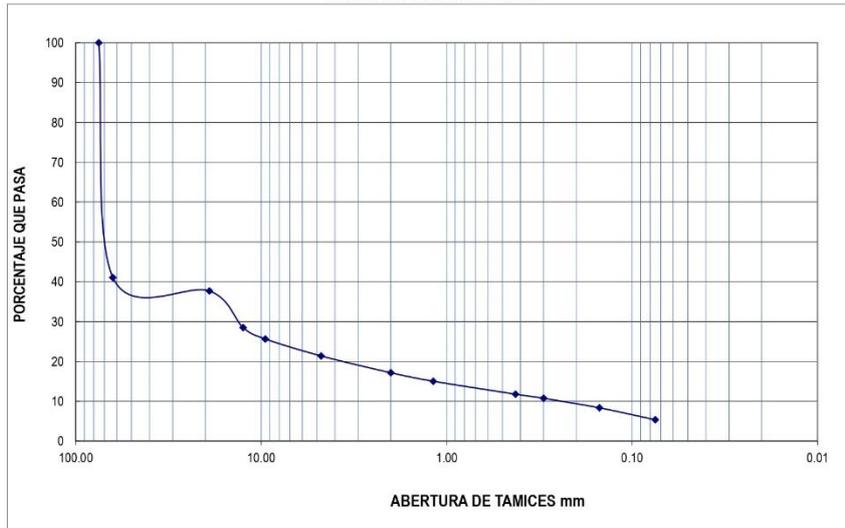
PROYECTO:	VILLONACO - TAQUIL	NORMA:	AASHTO T 88 - ASTM D 422
TRAMO:	VILLONACO - CERA	POZO:	7
SOLICITA:	SR. RENATO ESPINOSA	PROFUNDIDAD:	1.00 m
ELABORÓ:	A.R	ABSCISA :	12+000
FECHA:	17/05/2023		

MICR.	TAMIZ N°	PESO RETENIDO PARCIAL (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO	% PASA	FAJA DE DISEÑO
GRANULOMETRIA SERIE GRUESA						
75	3"		0.00	0.00	100	
63	2 1/2"	587.00	587.00	58.93	41	
50	2"		587.00	58.93	41	
37.5	1 1/2"		587.00	58.93	41	
25	1"		587.00	58.93	41	
19	3/4"	33.60	620.60	62.30	38	
12.5	1/2"	91.70	712.30	71.51	28	
9.5	3/8"	28.40	740.70	74.36	26	
4.750	N°.4	42.50	783.20	78.62	21	
	Pasa N°.4	212.95				
GRANULOMETRIA SERIE FINA						
2.000	N°.10	42	825	82.84	17	
1.180	N°.16	21.2	846	84.97	15	
0.850	N°.20		846	84.97	15	
0.600	N°.30		846	84.97	15	
0.425	N°.40	32.4	879	88.22	12	
0.300	N°.50	10.3	889	89.25	11	
0.150	N°.100	23.9	913	91.65	8	
0.075	N°.200	29.8	943	94.64	5	
	FONDO	53.35	996	100.00	0	

MUESTRA INICIAL (gr) 996.15

MUESTRA ANTES DEL LAVADO (gr)
MUESTRA DESPUES DEL LAVADO (gr)

CURVA GRANULOMÉTRICA



PASA TAMIZ N° 4:	21.38	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu):	275.54
PASA TAMIZ N° 200:	5.36 %	GRADO DE CURVATURA (Cc):	11.12
D60:	66.63 mm		
D30:	13.39 mm		
D10:	0.24 mm		

Ing. Jimmy Jimenez
LABORATORISTA

Ing. Glenda Angamarca
LABORATORISTA



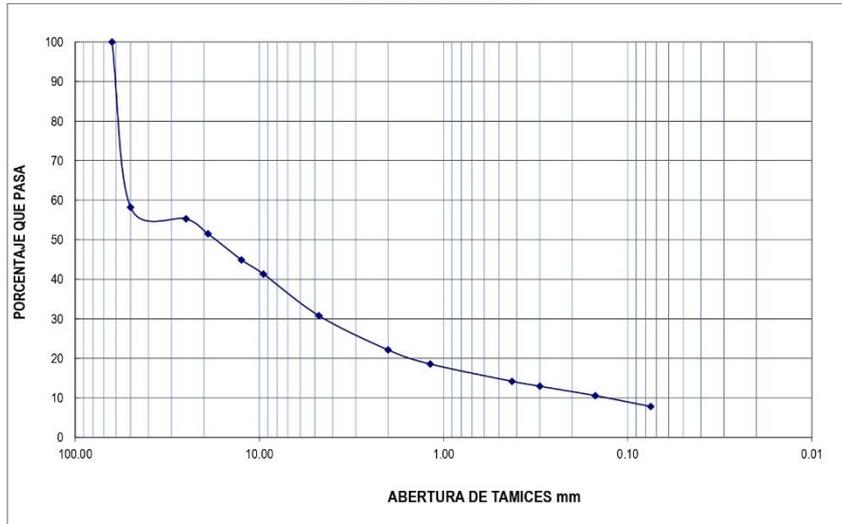
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PROYECTO: VILLONACO - TAQUIL **NORMA:** AASHTO T 88 - ASTM D 422
TRAMO: VILLONACO - CERA **POZO:** 7
SOLICITA: SR. RENATO ESPINOSA **PROFUNDIDAD:** 1.50 m
ELABORÓ: A.R **ABSCISA :** 12+000
FECHA: 17/05/2023

MICR.	TAMIZ Nº	PESO RETENIDO PARCIAL (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO	% PASA	FAJA DE DISEÑO
GRANULOMETRIA SERIE GRUESA						
75	3"		0.00	0.00	100	
63	2 1/2"		0.00	0.00	100	
50	2"	426.20	426.20	41.81	58	
37.5	1 1/2"		426.20	41.81	58	
25	1"	29.60	455.80	44.71	55	
19	3/4"	38.60	494.40	48.50	52	
12.5	1/2"	67.30	561.70	55.10	45	
9.5	3/8"	36.60	598.30	58.69	41	
4.750	Nº.4	107.40	705.70	69.22	31	
	Pasa Nº.4	313.74				
GRANULOMETRIA SERIE FINA						
2.000	Nº.10	88.2	794	77.88	22	
1.180	Nº.16	36.4	830	81.45	19	
0.850	Nº.20		830	81.45	19	
0.600	Nº.30		830	81.45	19	
0.425	Nº.40	44.5	875	85.81	14	
0.300	Nº.50	12.8	888	87.07	13	
0.150	Nº.100	24.2	912	89.44	11	
0.075	Nº.200	28	940	92.19	8	
	FONDO	79.64	1019	100.00	0	

MUESTRA INICIAL (gr) 1019.44 **MUESTRA ANTES DEL LAVADO (gr)**
MUESTRA DESPUES DEL LAVADO (gr)

CURVA GRANULOMÉTRICA



PASA TAMIZ Nº 4: 30.78 **COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu):** 387.66
PASA TAMIZ Nº 200: 7.81 % **GRADO DE CURVATURA (Cc):** 2.94
D60: 50.50 mm
D30: 4.40 mm
D10: 0.13 mm

Ing. Jimmy Jimenez
LABORATORISTA

Ing. Glenda Angamarca
LABORATORISTA

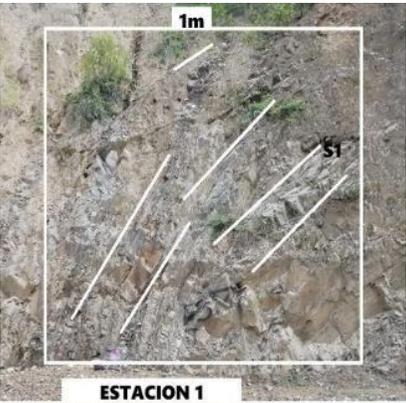
Anexo 7: Fichas de Caracterización Geomecánica y Zonificación Litoestructural

Macizo Rocoso 1

Tabla 1. Descripción General del Macizo Rocoso 1

 Universidad Nacional de Loja		"Caracterización geológica – geotécnica a escala 1:5000 de la vía Ye de Villonaco – Taquil, kilómetro 9,5 – 12,00 cantón y provincia de Loja"		
Localización: X: 691191,00 Y: 9569919,00 Z: 2272		Observador: Renato Alejandro Espinosa Albia		Fecha: 05/02/2023
Macizo Rocoso		Zona		
				
<p>Descripción General: Este macizo rocoso está constituido en su mayoría por cuerpos riolíticos hipoabisales que se destacan morfológicamente como estructuras columnares, que presentan un estado avanzado de fracturación y meteorización. Hacia el margen izquierdo, se produce una transición litológica hasta secuencias de esquistos medianamente meteorizados y con foliación inclinada.</p>				
<p>Características Básicas de la Zona: Debido a que este macizo rocoso ubicado en la zona nororiental del área de estudio, se caracteriza por presentar 2 diferentes tipos de material, que a su vez presentan varias familias de discontinuidades con diferente contexto estructural, se establecieron un total de 4 estaciones de medida, con la finalidad de obtener la mayor cantidad de datos representativos para el análisis geomecánico del macizo.</p>				
Datos Estructurales del Talud				
Rumbo:		Buzamiento:		Dirección de Buzamiento:

Tabla 2. Descripción General del Macizo Rocoso 1

Proyecto:	"Caracterización geológica – geotécnica a escala 1:5000 de la vía Ye de Villonaco – Taquil, kilómetro 9,5 – 12,00 cantón y provincia de Loja"					Zona:	Nororiental	Hoja/Plano:	01	
Realizado Por:	Renato Alejandro Espinosa Albia					Localización:	Afloramien. 9 - 10	Fotos	Geotec.01	
Litología	Naturaleza: Ígnea – Metamórfica					Potencia:	19 metros		Formación y Edad: Gonzabal – Paleoceno; Cera – Paleozoico	
Formaciones Superficiales	Naturaleza y Textura: Riolitas de textura afanática y secuencias de esquistos				Morfología: Afloramiento casi vertical – Antrópico			Espesor: 80 – 100 metros		
Estructura	Pliegues: Si - Tumbados		Fallas: No				Otros: Esquistosidades			
Fracturación	Bloques Jv Juntas/m3	Muy Grandes <1	Grandes 1 -3	Medios 3 -10	Pequeños 10 -30	Muy Pequeños > 30	Muy Brechificado > 60			
Resistencia de la Matriz Rocosa	Extremad. blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta de Martillo) 2	Media (1 golpe de martillo) 3	Dura (+ 1 de un golpe martillo) 4	Muy Dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Solo raya con martillo) 6			
Grados de Meteorización	I Inalterada (6)		II Ligeramente inalterada (5)		III Moderad. alterada (3)	IV Muy alterada (1)		V Completamente meteorizada (0)		VI Suelo residual (0)
Hidrogeología	Sin presencia de agua		Seco (sin señales de agua)		Húmedo		Goteos		Flujo	Caudal Estimado:
Muestras									Observaciones:	
Estación # 1			Estación # 2			Estación # 3			Estación # 4	
										

Macizo Rocoso 2

Tabla 1. Descripción General del Macizo Rocoso 2

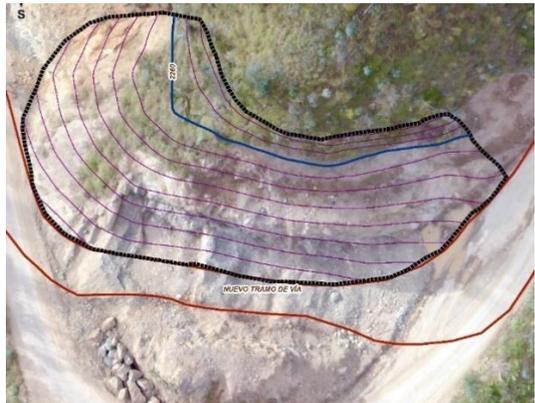
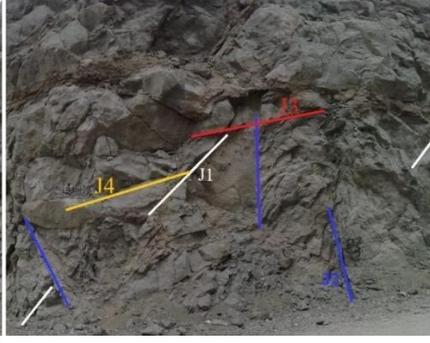
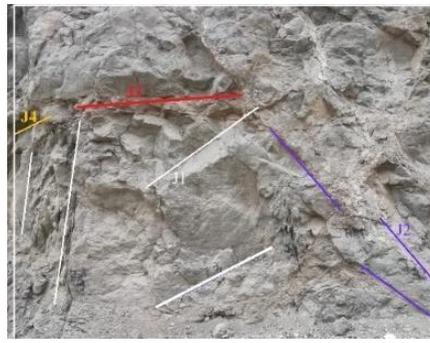
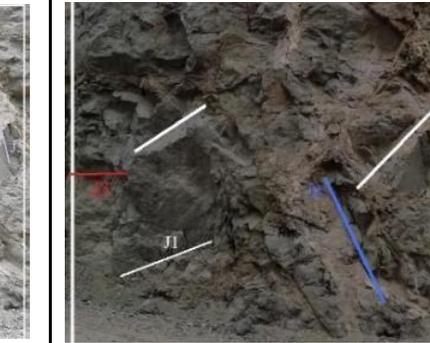
  Universidad Nacional de Loja  				
"Caracterización geológica – geotécnica a escala 1:5000 de la vía Ye de Villonaco – Taquil, kilómetro 9,5 – 12,00 cantón y provincia de Loja"				
Localización:			Observador: Renato Alejandro Espinosa Albia	Fecha: 05/02/2023
X:	Y:	Z:		
690351,00	9569574,00	2256		
Macizo Rocoso		Zona		
				
<p>Descripción General: Este macizo rocoso está constituido por brechas piroclásticas que presentan clastos de composición variable entre andesítica y dacítica. Además, se encontraron brechas con características más máficas, correspondientes a basaltos. Estas brechas basálticas exhiben una texturaporfídica, donde cristales grandes se dispersan en una matriz fina. También aflora una zona con un vetilleo tipo stockwork, que están dispuestas entrecruzadas y sin un orden aparente.</p>				
<p>Características Básicas de la Zona: Debido a la naturaleza y las características que presenta este macizo, se establecieron un total de 4 estaciones de medida, con la finalidad de obtener la mayor cantidad de datos representativos para el análisis geomecánico del macizo.</p>				
Datos Estructurales del Talud				
Rumbo:	Buzamiento:		Dirección de Buzamiento:	

Tabla 2. Descripción General del Macizo Rocoso 2

Proyecto:	"Caracterización geológica – geotécnica a escala 1:5000 de la vía Ye de Villonaco – Taquil, kilómetro 9,5 – 12,00 cantón y provincia de Loja"					Zona:	Noroccidental	Hoja/Plano:	02	
Realizado Por:	Renato Alejandro Espinosa Albia					Localización:	Afloramien. 3 - 4	Fotos	Geotec.02	
Litología	Naturaleza: Ígnea – Basáltica					Potencia: 21 metros		Formación y Edad: Gonzabal		
Formaciones Superficiales	Naturaleza y Textura: Brechas basálticas que exhiben una textura porfídica				Morfología: Afloramiento casi vertical – Antrópico			Espesor: 65,90 M		
Estructura	Pliegues: N/A		Fallas: M/A				Otros: N/A			
Fracturación	Bloques Jv Juntas/m3	Muy Grandes <1	Grandes 1 -3	Medios 3 -10	Pequeños 10 - 30	Muy Pequeños > 30	Muy Brechificado > 60			
Resistencia de la Matriz Rocosa	Extremad. blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta de Martillo) 2	Media (1 golpe de martillo) 3	Dura (+ 1 de un golpe martillo) 4	Muy Dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Solo raya con martillo) 6			
Grados de Meteorización	I Inalterada (6)		II Ligeramente inalterada (5)		III Moderad. alterada (3)	IV Muy alterada (1)	V Completamente meteorizada (0)	VI Suelo residual (0)		
Hidrogeología	Sin presencia de agua		Seco (sin señales de agua)		Húmedo	Goteos		Flujo	Caudal Estimado:	
Muestras							Observaciones: Macizo rocoso con varias familias de discontinuidades			
Estación # 1			Estación # 2			Estación # 3			Estación # 4	
										

Macizo Rocosó 3

Tabla 1. Descripción General del Macizo Rocosó 3

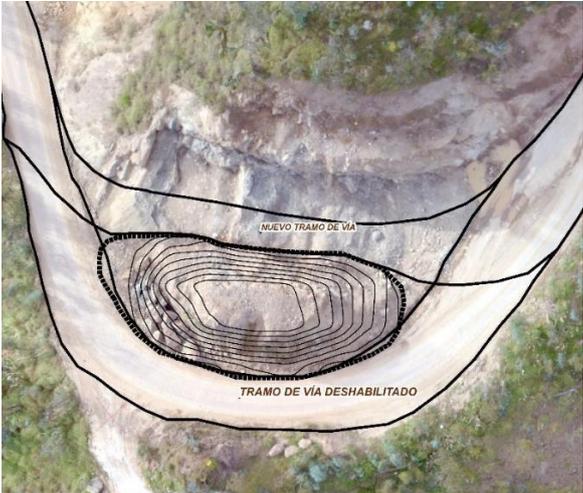
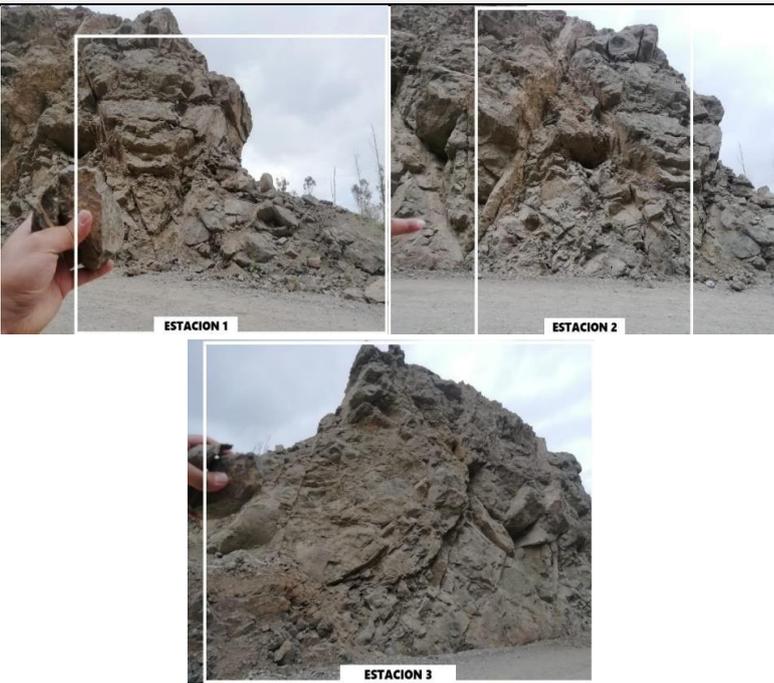
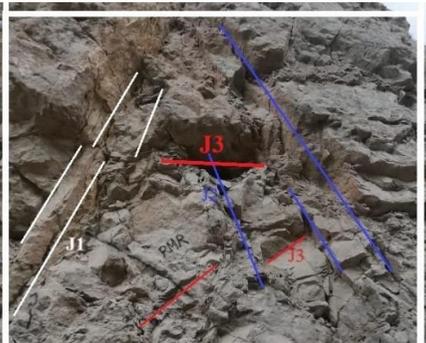
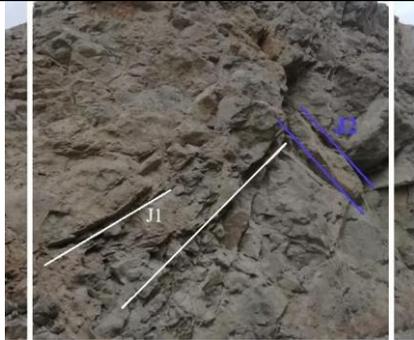
		"Caracterización geológica – geotécnica a escala 1:5000 de la vía Ye de Villonaco – Taquil, kilómetro 9,5 – 12,00 cantón y provincia de Loja"	
Localización: X: 690370,00 Y: 9569530,00 Z: 2256	Observador: Renato Alejandro Espinosa Albia	Fecha: 05/02/2023	
Macizo Rocosó	Zona		
			
<p>Descripción General: Este macizo rocoso está constituido por brechas piroclásticas que presentan clastos de composición variable entre andesítica y dacítica. Además, se encontraron brechas con características más máficas, correspondientes a basaltos. Estas brechas basálticas exhiben una textura porfídica, donde cristales grandes se dispersan en una matriz fina. También aflora una zona con un vetilleo tipo stockwork, que están dispuestas entrecruzadas y sin un orden aparente.</p>			
<p>Características Básicas de la Zona: Debido a la naturaleza y las características que presenta este macizo, se establecieron un total de 3 estaciones de medida, con la finalidad de obtener la mayor cantidad de datos representativos para el análisis geomecánico del macizo.</p>			
Datos Estructurales del Talud			
Rumbo:	Buzamiento:	Dirección de Buzamiento:	

Tabla 2. Descripción General del Macizo Rocosó 3

Proyecto:	"Caracterización geológica – geotécnica a escala 1:5000 de la vía Ye de Villonaco – Taquil, kilómetro 9,5 – 12,00 cantón y provincia de Loja"						Zona:	Noroccidental	Hoja/Plano:	03	
Realizado Por:	Renato Alejandro Espinosa Albia						Localización:	Afloramien. 3 - 4	Fotos	Geotec.03	
Litología	Naturaleza: Ígnea – Basáltica						Potencia: 13 metros		Formación y Edad: Gonzabal		
Formaciones Superficiales	Naturaleza y Textura: Brechas basálticas que exhiben una textura porfídica				Morfología: Afloramiento casi vertical – Antrópico			Espesor: 29,18 metros			
Estructura	Pliegues: N/A		Fallas: M/A					Otros: N/A			
Fracturación	Bloques Jv Juntas/m3	Muy Grandes <1	Grandes 1 -3	Medios 3 -10	Pequeños 10 - 30	Muy Pequeños > 30	Muy Brechificado > 60				
Resistencia de la Matriz Rocosa	Extremad. blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta de Martillo) 2	Media (1 golpe de martillo) 3	Dura (+ 1 de un golpe martillo) 4	Muy Dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Solo raya con martillo) 6				
Grados de Meteorización	I Inalterada (6)		II Ligeramente inalterada (5)		III Moderad. alterada (3)	IV Muy alterada (1)		V Completamente meteorizada (0)		VI Suelo residual (0)	
Hidrogeología	Sin presencia de agua		Seco (sin señales de agua)		Húmedo	Goteos		Flujo		Caudal Estimado:	
Muestras								Observaciones:			
Estación # 1				Estación # 2				Estación # 3			
											

Macizo Rocosó 4

Tabla 1. Descripción General del Macizo Rocosó 4

 "Caracterización geológica – geotécnica a escala 1:5000 de la vía Ye de Villonaco – Taquil, kilómetro 9,5 – 12,00 cantón y provincia de Loja" 				
Localización:			Observador:	Fecha:
X: 690800	Y: 9569208	Z: 2276	Renato Alejandro Espinosa Albia	05/02/2023
Macizo Rocosó			Zona	
				
<p>Descripción General: Este macizo rocoso está constituido por secuencias de esquistos que se encuentran levemente plegados hacia NW. Además, muestran una alteración moderada.</p>				
<p>Características Básicas de la Zona: Este macizo rocoso ubicado en la zona litoestructural 8, forma parte de secuencias metamórficas de grado medio que se distribuyen por toda la zona; secuencias sobre las que se han depositado secuencias volcánico-sedimentarias.</p>				
Datos Estructurales del Talud				
Rumbo:	Buzamiento:		Dirección de Buzamiento:	

Tabla 2. Descripción General del Macizo Rocoso 4

Proyecto:	"Caracterización geológica – geotécnica a escala 1:5000 de la vía Ye de Villonaco – Taquil, kilómetro 9,5 – 12,00 cantón y provincia de Loja"					Zona:	Suroriental	Hoja/Plano:	04
Realizado Por:	Renato Alejandro Espinosa Albia					Localización:	Afloramien. 18	Fotos	Geotec.04
Litología	Naturaleza: Metamorfismo de bajo grado					Potencia: 21 metros		Formación y Edad: Cera	
Formaciones Superficiales	Naturaleza y Textura: Secuencias de Esquistos				Morfología: Afloramiento casi vertical – Antrópico			Espesor: 80 metros aprox.	
Estructura	Pliegues: Si - Tumbados		Fallas: No Evidente			Otros: Esquistosidades			
Fracturación	Bloques Jv Juntas/m3	Muy Grandes <1	Grandes 1 -3	Medios 3 -10	Pequeños 10 - 30	Muy Pequeños > 30	Muy Brechificado > 60		
Resistencia de la Matriz Rocosa	Extremad. blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta de Martillo) 2	Media (1 golpe de martillo) 3	Dura (+ 1 de un golpe martillo) 4	Muy Dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Solo raya con martillo) 6		
Grados de Meteorización	I Inalterada (6)		II Ligeramente inalterada (5)		III Moderad. alterada (3)	IV Muy alterada (1)		V Completamente meteorizada (0)	VI Suelo residual (0)
Hidrogeología	Sin presencia de agua		Seco (sin señales de agua)		Húmedo	Goteos		Flujo	Caudal Estimado:
Muestras	18B						Observaciones: N/A		
Estación # 1									
									

Anexo 8: Certificación de Traducción



THE CANADIAN
HOUSE
CENTER
Aprende el Inglés de verdad...!

"Make today so awesome,
yesterday gets jealous."

Loja, 04 de septiembre de 2023

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

A quien corresponda,

Yo, José Geovanny Jiménez Balcázar, traductor oficial del The Canadian House Center, instituto privado especializado en la enseñanza del inglés como lengua extranjera y centro de traducción autorizado y acreditado por el Consejo Nacional de la Judicatura del Ecuador bajo la licencia profesional número 12282677, certifico que el resumen de tesis titulada *Caracterización Geológica – Geotécnica a Escala 1:5000 de la Vía Villonaco – Taquil, desde el tramo absc. 9+500 hasta 12+000 ubicada entre el barrio Cera y la parroquia Taquil, cantón Loja, provincia de Loja de la Universidad Nacional de Loja*, realizada por el Sr. Renato Alejandro Espinosa Albía, portador de la cédula de identidad ecuatoriana 1104312200, estudiante de la Universidad Nacional de Loja de la *Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables*, ha sido traducido de buena fe del español al inglés en la institución antes mencionada, y es una traducción fiel y exacta del documento original según mi leal saber y entender.

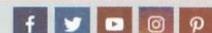
El portador puede hacer uso de este certificado y del documento traducido para cualquier fin legal que considere oportuno.


Lic. José Geovanny Jiménez Balcázar
TRADUCTOR OFICIAL
THE CANADIAN HOUSE CENTER
Email: chcloja@gmail.com
Tel: +593 (0)7 258 4334



CHC MATRÍZ: Venezuela 19 - 77 e/ José María Peña y Av. Pío Jaramillo Alvarado
CHC CENTRO: Miguel Riofrío 14 - 35 entre Bolívar y Sucre
2565257 (Chc Centro) · 2585435 (Chc Matriz)

www.thecanadianhousecenter.com

 /CHCLoja