



1859



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 y geotécnica de la vía antigua a Cuenca tramo el
Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja

Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera en
Geología Ambiental y Ordenamiento
Territorial.

AUTORA:

Maritza Fernanda Cevallos Valencia

DIRECTOR:

Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 12 de septiembre de 2023

Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización geológica y geotécnica de la vía antigua a Cuenca tramo el Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, de autoría de la estudiante **Maritza Fernanda Cevallos Valencia**, con **cédula de identidad N° 1105434813**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados 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, **Maritza Fernanda Cevallos Valencia**, declaro ser la autora 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:



Cédula de Identidad: 1105434813

Fecha: 12/09/2023.

Correo electrónico: maritza.cevallos@unl.edu.ec

Teléfono: 0990452907

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

Yo, **Maritza Fernanda Cevallos Valencia**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización geológica y geotécnica de la vía antigua a Cuenca tramo el Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja**, como requisito para optar el título de **Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**; autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar los contenidos de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los doce días del mes de septiembre del dos mil veintitrés.

Firma:



Autor: Maritza Fernanda Cevallos Valencia

Cédula: 1105434813

Dirección: Loja, Ciudadela del Chofer, la Banda

Correo electrónico: maritza.cevallos@unl.edu.ec

Teléfono: 0990452907

DATOS COMPLEMENTARIOS:

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

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación primeramente le dedico a Dios por nunca haberme dejado caer ante las adversidades. A mis padres Luis Cevallos y Sonia Valencia porque son mi inspiración y sobre todo por haber estado siempre a mi lado apoyándome y motivándome constantemente tanto en el ámbito académico como personal.

A mis hermanas Pamela Cevallos y Salomé Cevallos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, y de manera muy especial a mi mascota “princesa” por ser mi compañera incondicional durante todos los años de estudio.

Maritza Fernanda Cevallos Valencia

Agradecimiento

Primeramente, le agradezco a Dios y a la Virgen del Cisne por haberme dado vida, salud y protección; y sobre todo por ayudarme a lograr cada una de mis metas planteadas.

A mis padres Sonia y Luis les estoy eternamente agradecida por su apoyo incondicional, porque gracias a ustedes soy lo que soy y he llegado a cumplir esta primera meta.

A mi hermana Pamela Cevallos, a mi tío Jorge Cevallos y a mis amigos Edwin Ramos, Kevin Ñíguez, María Isabel Freire, Lilibeth Cuenca y Danny Tene les estoy infinitamente agradecida porque nunca se negaron a apoyarme en campo durante el desarrollo de mi tesis.

A mi director del Trabajo de Titulación , Ing. Fernando Rengel por su paciencia, conocimientos inculcados y orientación desde el primer día hasta el último día de culminación de la presente investigación.

Agradezco a toda mi familia que durante mi vida académica me han apoyado y motivado a seguir adelante y no rendirme, a mis amigos y amigas que Dios me permitió conocer en la Universidad gracias por compartir experiencias inolvidables día tras día.

Finalmente, pero no menos importante, agradezco a la Universidad Nacional de Loja y a los docentes de la carrera de Geología ambiental y ordenamiento territorial por inculcarme de conocimientos y aprendizajes que me harán una excelente profesional.

Maritza Fernanda Cevallos Valencia

Índice de Contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenidos	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xiii
Índice de anexos	xviii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1. Topografía	6
4.1.1. Levantamiento Topográfico	6
4.1.2. Tipos de levantamientos topográficos.....	6
4.1.3. Levantamiento Topográfico con Drones	7
4.1.4. Drones	7
4.1.5. Ventajas de los drones.....	7
4.1.6. Desventajas de los drones	8
4.2. Geología.....	8
4.2.1. Mapa Geológico	8
4.2.2. Tipos de mapa geológico.....	9
4.2.3. Métodos de mapeo	10
4.2.4. Geología estructural	12
4.2.5. Geomorfología	14
4.2.6. Hidrología.....	14
4.2.7. Pendiente	15
4.2.8. Movimientos en masa.....	16
4.3. Geotecnia	19
4.3.1. Estudio geotécnico	19

4.3.2.	Métodos directos	19
4.3.3.	Métodos indirectos	22
4.3.4.	Ensayos in situ para determinar resistencia.....	23
4.3.5.	Mecánica de Suelos	26
4.3.6.	Sistema de clasificación de suelos	27
4.3.7.	Mecánica de Rocas.....	31
4.3.8.	Clasificaciones Geomecánicas de los macizos rocosos	33
4.4.	Estabilidad	40
4.4.1.	Criterios de rotura en Macizos Rocosos isótropos	41
4.4.2.	Tipos de mecanismos de falla en taludes y su análisis Cinemático	42
4.4.3.	Metodologías utilizadas en la estabilidad de taludes	45
4.4.4.	Factor de Seguridad.....	47
5.	Metodología	49
5.1.	Área de estudio	49
5.1.1.	Ubicación geográfica.....	49
5.1.2.	Acceso	50
5.1.3.	Clima	50
5.1.4.	Hidrografía	51
5.1.5.	Geología Regional.....	52
5.2.	Materiales y Equipos	54
5.3.	Método.....	55
5.3.1.	<i>Metodología para el primer objetivo</i>	<i>56</i>
5.3.2.	<i>Metodología para el segundo objetivo</i>	<i>63</i>
5.3.3.	<i>Metodología para el tercer objetivo.....</i>	<i>87</i>
6.	Resultados.....	91
6.1.	Topografía	91
6.1.1.	Perfiles topográficos.....	91
6.2.	Geología Local	93
6.3.	Inventario de Deslizamientos	106
6.4.	Pendientes.....	116
6.5.	Geomorfología.....	117
6.6.	Caracterización Geotécnica	120
6.6.1.	Prospección Geofísica.....	120
6.6.2.	Calicata Geotécnica.....	127

6.6.3.	Ensayo de corte directo en el deslizamiento representativo MM4.....	131
6.6.4.	Clasificación geomecánica de los 4 taludes de roca representativos	131
6.6.5.	Propiedades físicas de la matriz rocosa.....	155
6.7.	Análisis Geológico-Geotécnico	156
6.7.1.	Resistencia del macizo rocoso.....	156
6.7.2.	Análisis Cinemático	159
6.7.3.	Análisis de la estabilidad global.....	162
6.8.	Caracterización geológica y geotécnica	169
7.	Discusión	172
8.	Conclusiones	175
9.	Recomendaciones	177
10.	Bibliografía	178
11.	Anexos	182

Índice de tablas:

Tabla 1. Ensayos directos in situ de resistencia.	23
Tabla 2. Clasificación de materiales según AASHTO.	28
Tabla 3. Sistema unificado de clasificación de suelo SUCS.	29
Tabla 4. Nomenclatura de la clasificación de suelo SUCS.	30
Tabla 5. Propiedades de la matriz rocosa y métodos para su determinación.	32
Tabla 6. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989.	34
Tabla 7. Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR de Bieniawski 1989.	35
Tabla 8. Clasificación para el RQD según Deere 1967.	37
Tabla 9. Clasificación geomecánica de taludes SMR.	37
Tabla 10. Carta para evaluar el índice de resistencia geológica en macizos fracturados.	40
Tabla 11. Estimación del índice GSI para macizos rocosos heterogéneos.	40
Tabla 12. Metodologías utilizadas en la modelación de taludes.	46
Tabla 13. Métodos de límite de equilibrio.	47
Tabla 14. Coordenadas del punto de inicial y final del tramo de estudio.	49
Tabla 15. Equipos y Materiales a utilizar en el desarrollo del proyecto.	54
Tabla 16. Coordenada de la estación permanente para georrefenciar el GPS diferencial.	57
Tabla 17. Puntos de Control Procesados.	58
Tabla 18. Ubicación geográfica de afloramientos y deslizamientos.	59
Tabla 19. Clasificación de las pendientes según DEMEK,1972.	62
Tabla 20. Clasificación de unidades geomorfológicas de mesorelieve.	62
Tabla 21. Coordenadas de ubicación de los SEVs realizados.	64
Tabla 22. Valores de resistividad para algunos tipos de suelo y roca.	66
Tabla 23. Ubicación de la calicata geotécnica.	67
Tabla 24. Cantidades representativas de muestras de suelo para contenido de humedad.	70
Tabla 25. Ubicación de los puntos de muestreo.	73
Tabla 26. Ubicación de los taludes representativos.	77
Tabla 27. Ubicación de los puntos de muestreo.	80
Tabla 28. Fórmulas para determinar las propiedades físicas de las muestras.	86
Tabla 29. Parámetros empleados en el programa RocLab 1.0.	87
Tabla 30. Parámetros geotécnicos de los taludes de roca representativos y deslizamiento MM4 empleados en el software Slide 5.0.	88
Tabla 31. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM1	107
Tabla 32. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM2.	108

Tabla 33. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM3.	110
Tabla 34. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM4.	111
Tabla 35. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM5 más reciente	112
Tabla 36. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM6	113
Tabla 37. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM7.	114
Tabla 38. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM8.	115
Tabla 39. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM9.	116
Tabla 40. Pendientes del tramo de estudio.	116
Tabla 41. Geomorfología del área de estudio.....	117
Tabla 43. Datos obtenidos en el campo para el SEV 1.	121
Tabla 44. Resultado del SEV1.	122
Tabla 45. Datos obtenidos en el campo para el SEV 2.	123
Tabla 46. Resultado del SEV2.	124
Tabla 47. Datos obtenidos en el campo para el SEV 3.	125
Tabla 48. Resultado del SEV3.	126
Tabla 49. Resultados de la clasificación de suelos según AASHTO en el estrato 1.....	129
Tabla 50. Resultados de la clasificación de suelos según SUCS en el estrato 1.....	129
Tabla 51. Resultados de la clasificación de suelos según AASHTO en el estrato 2.....	129
Tabla 52. Resultados de la clasificación de suelos según SUCS en el estrato 2.....	130
Tabla 53. Resultados de la clasificación de suelos según AASHTO en el estrato 3.....	130
Tabla 54. Resultados de la clasificación de suelos según SUCS en el estrato 3.....	131
Tabla 55. Resultados de ensayo de corte directo en laboratorio de la muestra de suelo.....	131
Tabla 56. Cálculo del RQD del talud de roca N° 1.	132
Tabla 57. Resultados de ensayo de compresión simple en el Talud de roca N° 1.	133
Tabla 58. Parámetros para clasificación geomecánica RMR_{89} del talud de roca 1-junta 1... 134	
Tabla 59. Cálculo del RMR para las 5 familias de juntas del talud de roca N° 1.	135
Tabla 60. Análisis del RMR corregido para el Talud de roca N° 1.	136
Tabla 61. Datos empleados para la clasificación SMR del talud de roca N° 1.....	136
Tabla 62. Factores de ajuste en el caso de rotura planar para el Talud de roca N° 1.....	136
Tabla 63. Factores de ajuste en el caso de rotura por vuelco para el Talud de roca N° 1.....	136
Tabla 64. Resumen de valores mínimos para el índice SMR del talud 1.....	137
Tabla 65. Cálculo del RQD del talud de roca N° 2.	138
Tabla 66. Resultados de ensayo de compresión simple o uniaxial en el Talud 2.	139
Tabla 67. Parámetros para clasificación geomecánica RMR_{89} del talud de roca 2-junta 1... 139	

Tabla 68. Cálculo del RMR para las 4 familias de juntas del talud de roca N° 2.	141
Tabla 69. Análisis del RMR corregido para el Talud de roca N° 2.	142
Tabla 70. Datos empleados para la clasificación SMR del talud de roca N° 2.	142
Tabla 71. Factores de ajuste en el caso de rotura planar para el Talud de roca N° 2.	142
Tabla 72. Factores de ajuste en el caso de rotura por vuelco para el Talud de roca N° 2.	142
Tabla 73. Resumen de valores mínimos para el índice SMR del talud 2.	143
Tabla 74. Cálculo del RQD del talud de roca N° 3.	145
Tabla 75. Resultados de ensayo de compresión simple o uniaxial en el Talud 3.	145
Tabla 76. Parámetros para clasificación geomecánica RMR ₈₉ del talud de roca 3-junta 1... 146	146
Tabla 77. Cálculo del RMR para las 3 familias de juntas del talud de roca N° 3.	147
Tabla 78. Análisis del RMR corregido para el Talud de roca N° 3.	148
Tabla 79. Datos empleados para la clasificación SMR del talud de roca N° 3.	148
Tabla 80. Factores de ajuste en el caso de rotura planar para el Talud de roca N° 3.	148
Tabla 81. Factores de ajuste en el caso de rotura por vuelco para el Talud de roca N° 3.	148
Tabla 82. Resumen de valores mínimos para el índice SMR del talud 3.	149
Tabla 83. Cálculo del RQD del talud de roca N° 4.	150
Tabla 84. Resultados de ensayo de compresión simple o uniaxial en el Talud 4.	151
Tabla 85. Parámetros para clasificación geomecánica RMR ₈₉ del talud de roca 4-junta 1... 151	151
Tabla 86. Cálculo del RMR para las 3 familias de juntas del talud de roca N° 4.	153
Tabla 87. Análisis del RMR corregido para el Talud de roca N° 4.	154
Tabla 88. Datos empleados para la clasificación SMR del talud de roca N° 4.	154
Tabla 89. Factores de ajuste en el caso de rotura planar para el Talud de roca N° 4.	154
Tabla 90. Factores de ajuste en el caso de rotura por vuelco para el Talud de roca N° 4.	154
Tabla 91. Resumen de valores mínimos para el índice SMR del talud 4.	155
Tabla 92. Propiedades Físicas de muestras de roca.	155
Tabla 93. Parámetros de estabilidad.	158
Tabla 94. Datos del Talud de roca N° 2 empleados en el análisis de rotura planar y cuña... 159	159
Tabla 95. Datos del Talud 3 empleados en el análisis de rotura planar y cuña.	160
Tabla 96. Resumen de resultados del análisis cinemático.	162
Tabla 97. Resumen de resultados del Factor de Seguridad.	169

Índice de figuras:

Figura 1. Nivel freático local, zona saturada y de aireación.	15
Figura 2. Procesos de inclinación y volcamiento de unidades de material.	17
Figura 3. Desplazamiento Rotacionales de Laderas.	18
Figura 4. Desplazamiento traslacional en laderas.	18
Figura 5. Medida de resistividades del terreno mediante métodos eléctricos.	23
Figura 6. Esquema del aparato de corte directo.	25
Figura 7. Gráfica de plasticidad.	30
Figura 8. Representación de un macizo rocoso con discontinuidades.	31
Figura 9. Estimación del R.Q.D. a partir de testigos de sondeo.	36
Figura 10. Correlaciones entre diferentes métodos del RQD.	37
Figura 11. (a) Condición estructural en un deslizamiento plano, (b) Representación estereográfica.	43
Figura 12. (a) Condición estructural en un deslizamiento en cuña, (b) Representación estereográfica.	44
Figura 13. (a) Condición estructural para una falla por vuelco, (b) Representación estereográfica.	45
Figura 14. Ubicación y acceso al área de estudio.	49
Figura 15. Acceso a la Zona de estudio por la Troncal de la Sierra.	50
Figura 16. Hidrografía del área de estudio tramo El Gallo-Naranjo.	52
Figura 17. Geología Regional del área de estudio.	53
Figura 18. Puntos de control para levantamiento de información.	56
Figura 19. Análisis de la ortofoto, hillshade y dem.	60
Figura 20. Procedimiento para la elaboración del mapa de pendientes.	61
Figura 21. Ubicación de los puntos SEVS.	64
Figura 22. Equipo de resistividad eléctrica modelo Terrameter SAS 4000 (Izquierda), y disposición de electrodos en línea SEV2 (Derecha).	65
Figura 23. Ubicación de la Calicata realizada con fines geotécnicos.	67
Figura 24. Procedimiento para la apertura de Calicata.	67
Figura 25. Muestras de suelo procedente de la calicata	68
Figura 26. Análisis granulométrico.	68
Figura 27. Lavado del material pasante el tamiz #4.	69
Figura 28. Determinación del límite líquido	71
Figura 29. Rollito de suelo que llegó al límite plástico.	72

Figura 30. Ubicación del punto de muestreo para el ensayo de corte directo.....	73
Figura 31. Extracción de la muestra para ser transportada a laboratorio.	74
Figura 32. Procedimiento para el ensayo de corte directo en el laboratorio.	75
Figura 33. Procedimiento para determinar la densidad con matraz.	76
Figura 34. Recolección de información de parámetros para la clasificación geomecánica. ...	77
Figura 35. Ubicación de los taludes estudiados y taludes representativos.....	78
Figura 36. Gráfica del Tiempo de estabilidad en función del RMR.	79
Figura 37. Ubicación de taludes de roca representativos para análisis geomecánico con muestreo.	80
Figura 38. Muestras de cubos de los taludes de roca representativos N°1, N°2, N°3 y N°4..	81
Figura 39. Toma de medida de las aristas de los cubos mediante un calibrador.	82
Figura 40. Ensayo de compresión simple.	83
Figura 41. Determinación del peso natural.	83
Figura 42. Determinación del peso seco.	84
Figura 43. Determinación del peso saturado.....	84
Figura 44. Determinación del peso sumergido.	84
Figura 45. Preparación de la muestra para el ensayo del picnómetro.	85
Figura 46. Procedimiento para el ensayo del picnómetro.	86
Figura 47. Procedimiento para el análisis de la estabilidad global.	89
Figura 48. Procedimiento para el modelamiento en 3D de los taludes.	90
Figura 49. Perfil Topográfico A-A´ con dirección SW-NE.....	91
Figura 50. Perfil Topográfico B-B´ con dirección NW-SE.	92
Figura 51. Perfil Topográfico C-C´ con dirección NW-SE.	92
Figura 52. Perfil Topográfico D-D´ con dirección SW-NE.....	93
Figura 53. Ubicación geográfica de los afloramientos.....	93
Figura 54. Afloramiento N°1 de Granodiorita altamente meteorizada en la Loma el Gallo ubicado en las coordenadas x:698636.15; y: 9575015.01; z: 2023.....	94
Figura 55. Afloramiento N° 2 de Granodiorita altamente meteorizada ubicado en la entrada al barrio Jesús María ubicado en las coordenadas x: 698534.58; y: 9574996.09; z: 2013.12.	95
Figura 56. Movimiento en masa (MM1) formado por granodiorita moderadamente meteorizada ubicado en las coordenadas x: 698385.02; y: 9574976.17; z: 1998.08.....	96
Figura 57. Afloramiento N°3 formado por granodiorita moderadamente meteorizada ubicado en las coordenadas x: 698442.77; y: 9575341.32; y z: 1986.05.	96

Figura 58. Afloramiento N°11 formado por granodiorita moderadamente meteorizada ubicado en las coordenadas x: 696858.81; y: 9576171.82; y z: 1991.68.	97
Figura 59. Movimiento en masa (MM4) formado por dioritas.	97
Figura 60. Afloramiento N°5 constituido por Metagranodioritas.	98
Figura 61. Afloramiento N°6 constituido por metagranodioritas de origen ígneo.	99
Figura 62. Contacto litológico entre las metagranodioritas y la granodiorita del batolito San Lucas.	99
Figura 63. Contacto litológico entre las granodioritas del batolito San Lucas y los esquistos de la unidad Tres Lagunas.	100
Figura 64. Afloramiento N°7 constituido por esquistos buzando preferencialmente N10°E/50°SE.....	101
Figura 65. Afloramiento N°9 constituido por esquistos buzando preferencialmente N85°W/41°NE.....	101
Figura 66. Macizo rocoso constituido por esquistos atravesado por una falla normal de N75°W/58°NE.....	102
Figura 67. Afloramiento N°8 constituido por de Gneis de la Unidad Tres Lagunas.	103
Figura 68. Terrazas Aluviales contiguas al río San Lucas.	103
Figura 69. Depósito aluvial y Montículo de material arrastrado por el río San Lucas.	104
Figura 70. Corte Geológico A-A´ con dirección SW-NE.	104
Figura 71. Corte Geológico B-B´ con dirección NW-SE.	105
Figura 72. Corte Geológico C-C´ con dirección NW-SE.	105
Figura 73. Corte Geológico D-D´ con dirección SW-NE.	106
Figura 74. Ubicación geográfica de los deslizamientos.	106
Figura 75. Deslizamiento MM1 formado por granodioritas.	107
Figura 76. Deslizamiento MM2 formado por granodioritas.	108
Figura 77. Deslizamiento MM3 formado por granodioritas.	109
Figura 78. Deslizamiento MM4 formado por dioritas.	110
Figura 79. Deslizamiento MM5 formado por granodioritas.	111
Figura 80. Deslizamiento MM6 formado por metagranodioritas.	112
Figura 81. Deslizamiento MM7 formado por Esquistos micáceos.	113
Figura 82. Deslizamiento MM8 formado por granodiorita.....	114
Figura 83. Deslizamiento MM9 formado por granodiorita.....	115
Figura 84. Relieve Montañoso.	117
Figura 85. Colinas Altas.....	118

Figura 86. Colinas Medianas.....	118
Figura 87. Vertientes.....	119
Figura 88. Terrazas Aluviales.	119
Figura 89. Registro fotográfico de la ubicación de los 3 SEVs.	121
Figura 90. Curva de Resistividad aparente del SEV1 y tabla de datos.	122
Figura 91. Curva de Resistividad aparente del SEV2 y tabla de datos.	124
Figura 92. Curva de Resistividad aparente del SEV3 y tabla de datos.	126
Figura 93. Pseudo sección de resistividad aparente.	127
Figura 94. Calicata realizada en el área de estudio.	127
Figura 95. Columna estratigráfica de la calicata realizada con fines geotécnicos.	128
Figura 96. Muestras falladas.	131
Figura 97. Talud de roca N°1 formado por granodiorita.	132
Figura 98. Representación gráfica de juntas en el talud de roca N° 1.	132
Figura 99. Cubos de roca del Talud de roca N° 1 después de aplicar la carga uniaxial.	133
Figura 100. Talud de roca N°2 formado por metagranodiorita.....	137
Figura 101. Representación gráfica de juntas en el talud de roca N°2.	138
Figura 102. Cubos de roca del Talud 2, después de aplicar la carga uniaxial.	139
Figura 103. Talud de roca N°3 formado por Esquistos.....	144
Figura 104. Representación gráfica de juntas en el talud de roca N° 3.	144
Figura 105. Cubos de roca del Talud de roca N° 3, después de aplicar la carga uniaxial. ...	145
Figura 106. Talud de roca N°4 formado por Granodiorita.....	149
Figura 107. Representación gráfica de juntas en el talud de roca N°4.	150
Figura 108. Cubos de roca del Talud de roca N° 4, después de aplicar la carga uniaxial. ...	151
Figura 109. Parámetros de estabilidad del Talud de roca N°1.....	156
Figura 110. Parámetros de estabilidad del Talud de roca N°2.....	157
Figura 111. Parámetros de estabilidad del Talud de roca N°3.....	157
Figura 112. Parámetros de estabilidad del Talud de roca N°4.....	158
Figura 113. Análisis estereográfico del talud 2 para rotura planar.	159
Figura 114. Análisis estereográfico del talud 2 para rotura en cuña.	160
Figura 115. Análisis estereográfico del talud 3 para rotura planar.	161
Figura 116. Análisis estereográfico del talud 3 para rotura en cuña.	162
Figura 117. Diseño del talud de roca N° 1 para análisis de estabilidad.....	163
Figura 118. Análisis de rotura general para el talud de roca N° 1.	163
Figura 119. Diseño del talud de roca N° 2 para análisis de estabilidad.....	164

Figura 120. Análisis de rotura general para el talud de roca N°2.	165
Figura 121. Diseño del talud de roca N°3 para análisis de estabilidad.	165
Figura 122. Análisis de rotura general para el talud de roca N° 3.	166
Figura 123. Diseño del talud de roca N°4 para análisis de estabilidad.	167
Figura 124. Análisis de rotura general para el talud de roca N° 4.	167
Figura 125. Diseño del talud MM4 para análisis de estabilidad.	168
Figura 126. Análisis de rotura general para el deslizamiento MM4.	168

Índice de anexos:

Anexo 1. Fichas para el levantamiento de puntos de control.....	182
Anexo 2. Ficha de la Estación Permanente REGME-UTPL	189
Anexo 3. Reporte técnico del levantamiento topográfico.....	190
Anexo 4. Ficha de descripción de afloramientos	195
Anexo 5. Fichas de levantamiento de movimientos en masa	206
Anexo 6. Ficha de descripción petrográfica de muestras.....	215
Anexo 7. Registro en campo de resistividades (SEV)	217
Anexo 8. Ficha de Descripción de la Calicata geotécnica	220
Anexo 9. Resumen de los resultados obtenidos de la clasificación de suelos	221
Anexo 10. Ensayos de corte directo de la muestra de suelo	224
Anexo 11. Fichas de caracterización geomecánica de macizos rocosos.....	228
Anexo 12. Resultados de propiedades físicas determinadas en laboratorio	246
Anexo 13. Mapa de ubicación y acceso	247
Anexo 14. Mapa topográfico de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo-Naranjo	247
Anexo 15. Mapa geológico regional de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo-Naranjo ...	247
Anexo 16. Mapa geológico local de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo-Naranjo	247
Anexo 17. Mapa de pendientes de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo-Naranjo	247
Anexo 18. Mapa geomorfológico de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo-Naranjo	247
Anexo 19. Mapa de ubicación de macizos rocosos y deslizamientos estudiados.....	247
Anexo 20. Mapa de caracterización geotécnica de los taludes estudiados en la presente investigación.....	247
Anexo 21. Certificado de traducción del resumen	248

1. Título

**Caracterización Geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca
tramo El Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja.**

2. Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo realizar la caracterización geológica y geotécnica de la vía antigua a Cuenca tramo El Gallo – Naranjo ubicado en el cantón y provincia de Loja, en una extensión de 3 Km, abarcando un área de 58.18 ha. Primeramente, se desarrolló el levantamiento topográfico con un vehículo aéreo no tripulado (dron) a escala 1:5000, el cual sirvió de base para la elaboración del mapa geológico local realizado a partir de la información recopilada en la descripción de 11 afloramientos. Además, se realizó el inventario de 10 movimientos en masa a lo largo del tramo. Una vez identificada la litología local se realizó 3 SEVs cercanos a los deslizamientos críticos, 1 calicata geotécnica sobre la corona del deslizamiento antiguo MM1, 1 ensayo de corte directo realizado sobre la corona del deslizamiento representativo MM4 y la caracterización geomecánica de 9 macizos rocosos. Se seleccionaron 4 taludes de roca representativos de los cuales se extrajo muestras de roca para analizarlas en laboratorio y determinar las propiedades físico-mecánicas, además se los caracterizó mediante los sistemas RQD, RMR, SMR y GSI y se desarrolló el análisis cinemático para el caso de rotura planar y cuña en el software Dips 7.0. La cohesión y ángulo de fricción se obtuvo del análisis de resistencia realizado en el software Roclab bajo el criterio de Hoek and Brown ajustado al criterio Mohr-Coulomb. Finalmente, con las características geológicas, geomecánicas y geotécnicas de los 4 taludes de roca representativos y deslizamiento MM4 se calculó el factor de seguridad en el Software Slide v5.0 mediante la metodología de equilibrio límite: Método Bishop simplified, Janbu simplified, y Spencer, obteniéndose para el talud de roca N°1, N°2 y N°4 factores de seguridad estables > 1.5 , para del talud de roca N°3 un FS crítico de 1.52 y para el deslizamiento MM4 un FS inestable de 0.93.

Palabras claves: geomateriales, talud de roca representativo, deslizamientos, parámetros de resistencia, factor de seguridad.

2.1. Abstract

The objective of the current research work is to carry out the geological and geotechnical characterization of the old road to Cuenca, El Gallo – Naranjo section, located in the canton and province of Loja, in an area of 3 km, covering an area of 58.18 ha. First, the topographic survey was developed with an unmanned aerial vehicle (drone) at a scale of 1:5000, which served as the basis for the preparation of the local geological map made from the information collected in the description of 11 outcrops. In addition, an inventory of 10 mass movements along the section was carried out. Once the local lithology was identified, 3 VES were carried out close to the critical landslides, 1 geotechnical pit test on the crown of the old landslide MM1, 1 direct shear test carried out on the crown of the representative landslide MM4 and the geomechanical characterization of 9 rock masses. Four representative rock slopes were selected from which rock samples were extracted to analyze them in the laboratory and determine the physical-mechanical properties. They were also characterized using the RQD, RMR, SMR and GSI systems and the kinematic analysis was developed for the case of planar and wedge breakage in the Dips 7.0 software. The cohesion and friction angle were obtained from the resistance analysis carried out in the Roclab software under the Hoek and Brown criterion adjusted to the Mohr-Coulomb criterion. Finally, with the geological, geomechanical and geotechnical characteristics of the 4 representative rock slopes and MM4 landslide, the safety factor was calculated in the Slide v5.0 Software using the limit equilibrium methodology: Bishop simplified, Janbu simplified, and Spencer method, obtaining for rock slope N°1, N°2 and N°4 stable safety factors > 1.5 , for rock slope N°3 a critical SF of 1.52 and for the MM4 slide an unstable SF of 0.93.

Keywords: *geomaterials, representative rock slope, landslides, resistance parameters, safety factor.*

3. Introducción

A principios del año 2022, el Banco de Desarrollo del Ecuador, amplió la capacidad de endeudamiento para la Prefectura de Loja, por lo tanto, esta entidad pretende incluir en los proyectos viales a ejecutarse en 2022 a la vía antigua a Cuenca, que anteriormente no se contemplaban por dificultades económicas, pero solo la parte Saucos Norte-Jimbilla, debido a que la complejidad de la obra demanda de muchos recursos. Según Dávila R. (2022) menciona que “la vía antigua a Cuenca es un proyecto técnicamente complejo por las condiciones topográficas, por un lado, taludes verticales en grandes peñas y, por el otro, quebradas y el río”. Sin embargo, no descarta la probabilidad de intervenir en los próximos años en el segundo tramo que comprende Solamar-San Lucas.

Haciendo hincapié en que el segundo tramo Solamar-San Lucas no tiene estudios geológicos ni geotécnicos de taludes y laderas, surge la necesidad de realizar la “Caracterización Geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca tramo El Gallo – Naranjo ubicado en el cantón y provincia de Loja”, trayecto que forma parte del tramo Solamar-San Lucas y que frecuentemente se ve afectada por la ocurrencia de deslizamientos, caída de rocas, escorrentía superficial sobre la calzada debido a la ineficiencia de los sistemas de drenaje de las aguas lluvias; altura e inclinación de taludes muy pronunciados lo que provoca obstrucción de la vía y por ende interrupciones en el tiempo de viaje de las unidades de transporte que trasladan a los habitantes diariamente con sus productos agrícolas hacia los mercados de la ciudad de Loja.

El proyecto fue enfocado en realizar la caracterización geológica y geotécnica de 3 Km de vía, con una faja de estudio de 100 metros a cada lado del eje de la vía, lo cual permitirá proporcionar información y datos sobre la estabilidad de los taludes más representativos que se encuentran al margen de la vía, mediante el cálculo de factores seguridad, con un previo levantamiento de la topografía a escala 1:5000, geología local, hidrología, pendientes, geomorfología y propiedades físico - mecánicas de los geo materiales, lo cual será de gran utilidad para la ampliación, mejoramiento y asfaltado de la misma.

Al disponer de estudios geológicos y geotécnicos se pueden diseñar e implementar medidas de estabilización de taludes, drenajes para las aguas superficiales y subterráneas, dando solución a los principales problemas que se presentan en la vía y de esta manera se evitarán movimientos de remoción en masa que puedan afectar la inversión que realizará el Gobierno Provincial de Loja para la construcción de esta obra. Además, si se requiere una expansión de la vía o cortes en el talud, se pueden tener en cuenta los criterios planteados en la presente investigación.

Para la ejecución del presente proyecto investigativo se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General

Desarrollar la caracterización geológica y geotécnica de la vía antigua a Cuenca tramo El Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja.

Objetivos específicos

- Elaborar el levantamiento topográfico y geológico a escala 1:5000 de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo– Naranjo.
- Determinar las propiedades físico - mecánicas de los geomateriales presentes en la vía antigua a Cuenca tramo El Gallo– Naranjo.
- Calcular el Factor de Seguridad en los taludes más representativos de los 3 kilómetros de vía que comprende el tramo El Gallo–Naranjo.

4. Marco Teórico

4.1. Topografía

Según Jimenez (2007) la topografía es:

“Una ciencia aplicada que, a partir de principios, métodos y con la ayuda de instrumentos permite representar gráficamente las formas naturales y artificiales que se encuentran sobre una parte de la superficie terrestre, como también determinar la posición relativa o absoluta de puntos sobre la Tierra”.

Los procedimientos destinados a lograr la representación gráfica se denomina levantamiento topográfico y al producto se le conoce como plano el cual contiene la proyección de los puntos de terreno sobre un plano horizontal, ofreciendo una visión en planta del sitio levantado. El levantamiento consiste en la toma o captura de los datos que conducirán a la elaboración de un plano. (p.2)

4.1.1. *Levantamiento Topográfico*

Rincón et al. en el año 2017 define a un levantamiento topográfico como “ el conjunto de operaciones que tienen por objeto determinar la posición de puntos en el espacio y su representación en un plano, que incluye: selección del método de levantamiento; elección del equipo a utilizar; identificar y ubicar posibles vértices de apoyo; realización de mediciones en terreno; cálculo y procesamiento de datos; y elaboración de planos. (p.22)

4.1.2. *Tipos de levantamientos topográficos*

Los tipos levantamientos topográficos mencionados por Rincón et al., (2017, p. 22) son:

- Levantamiento de terrenos en general que tienen por objeto marcar linderos o localizarlos, medir y dividir superficies, ubicar terrenos en planos generales ligando con levantamientos anteriores o proyectar obras y construcciones.
- Topografía para vías de comunicación que sirven para estudiar y construir caminos, ferrocarriles, canales, líneas de transmisión, acueductos, etc.
- Topografía de minas que tiene por objeto fijar y controlar la posición de trabajos subterráneos y relacionarlos con las obras superficiales.
- Levantamientos catastrales se tratan de levantamientos urbanos o rurales, con el propósito de localizar los linderos de las propiedades (agrícolas, mineras, acuicultura, derechos de agua, etc.) y las construcciones que contienen, para conocer sus detalles, su extensión, su valor, los derechos.

4.1.3. Levantamiento Topográfico con Drones

Los drones han supuesto una revolución en el trabajo topográfico. En primer lugar, por la importante reducción de costes que suponen, lo cual ha permitido que proyectos que no eran viables por su elevado coste económico y en personal, hoy se puedan realizar sin problemas y en un corto tiempo. Por ejemplo, examinar un terreno podía costar días o semanas dependiendo de su extensión, mientras que hoy en día con un dron en menos de una hora se puede explorar unas cien hectáreas, por lo que el avance es muy importante de considerar. (Global Mediterranea Geomática, 2018)

4.1.4. Drones

Según Fernández y Gutiérrez (2016, p.90) los drones son:

“Vehículos aéreos no tripulados, conocidos por sus siglas VANT o rPAs del inglés Remotely Piloted Aircrafts. Gracias a la reducción de su tamaño y el escaso peso que presentan, permiten la incorporación de precisos GPS y sistemas inerciales preparados para la navegación autónoma, además permiten su fácil transporte, pudiendo ser utilizados en zonas de difícil acceso para otro tipo de aeronaves”.

Los drones permiten obtener ortofotografías y modelos digitales de la topografía con una alta resolución especialmente útiles para el conocimiento de los procesos geológicos y el desarrollo de trabajos científicos. Son numerosas las posibilidades que ofrecen en campos tan dispares como la paleontología, la geomorfología, la conservación del patrimonio o las ciencias del mar. (p.90)

4.1.5. Ventajas de los drones

Respecto a las ventajas de los drones la empresa Global Mediterranea Geomática en el año 2018 menciona que:

“El levantamiento topográfico que se consigue con drones aporta mucha más información gráfica y real que un levantamiento topográfico tradicional, gracias a sus cámaras de última generación. Además, con un dron se puede llegar a zonas de difícil acceso o incluso inaccesibles, y por lo tanto se amplía el conocimiento del lugar y de los alrededores, con lo que consigue mayor información. La información es mucho más completa en cuanto a color de las fotografías, mayor resolución y realismo del terreno. Por otra parte, se consigue evitar riesgos innecesarios para el topógrafo, porque no tienen que ir por zonas de difícil acceso debido a la geografía del terreno, ni por zonas altamente contaminadas ni peligrosas como volcanes o incendios forestales”.

4.1.6. Desventajas de los drones

Uno de los grandes problemas que tienen los drones es la escasa capacidad de las baterías eléctricas, y, por tanto, poca duración de vuelo, además cada vuelo está reglamentado según la normativa que tiene cada país para la regulación de vuelos con dron, existiendo casos en los cuales no existe prácticamente ningún tipo de leyes, y en otros casos como en España, que existe un entramado importante a considerar de normas. (Silva, 2020)

4.2. Geología

De acuerdo a Duque (2020, p.9) la Geología es “la ciencia que estudia el planeta Tierra en su conjunto, describe los materiales que la forman para averiguar su historia y su evolución e intenta comprender la causa de los fenómenos endógenos y exógenos. La unidad de tiempo en geología es el millón de años”.

Antes de que sea necesario gastar en exploraciones del subsuelo, el geólogo debe proporcionar al ingeniero la información preliminar para el proyecto de la obra, como la que se refiere a: los tipos de roca que se encuentran, su distribución y sus relaciones estructurales; la presencia de rocas que pueden presentar problemas de cimentación; la existencia de condiciones especiales como resultado de fenómenos de glaciación o de depósitos lacustres; la presencia de fallas de importancia, o de un excesivo fracturamiento; la profundidad a que ha actuado el intemperismo, para estimar una cimentación o un corte; la profundidad de los rellenos de los valles; y las condiciones generales de las aguas superficiales y subterráneas en el lugar (Puig, 1970, p.11).

4.2.1. Mapa Geológico

El mapa geológico constituye la información básica de cualquier informe geológico. Debido a que en él se sintetiza toda la información necesaria para comprender la evolución geológica de una región o área. Los objetivos de un mapa geológico son variados y dependen de la finalidad de la investigación. Los mapas más básicos son los que sintetizan la geología de una región sin discriminar una especialidad, es decir son las cartas geológicas que cubren el territorio de cada país. (Echeveste,2018, p.3)

Conforme Echeveste (2018, p.165) un buen mapa geológico se genera casi por completo en el campo y tienen las siguientes características:

- La información registrada debe ser objetiva, basada en un examen cuidadoso de las rocas y las exposiciones, realizado con una mente abierta y sin ideas preconcebidas.
- Se deben mostrar tanto los datos observados positivamente como lo interpretado, pero el lector del mapa debe poder distinguir claramente entre la información que fue

observada en el lugar (datos) y las inferencias que se hicieron de las observaciones geológicas (interpretación).

- Las relaciones geológicas/temporales entre unidades, estructuras, etc. deben ser consistentes en todo el mapa.
- Los datos se deben mostrar en un nivel de detalle que corresponda a la escala del mapa, el mapa no debe contener excesiva información que lo torne confuso e imposible de leer ni estar escaso de datos.

El mapa base para la elaboración de un mapa geológico puede ser un mapa topográfico, una imagen satelital georeferenciada o un mosaico de fotografías aéreas controlado o semicontrolado. Puede ocurrir que sea necesario levantar el mapa topográfico simultáneamente con el mapa geológico, con brújula, instrumental óptico (plancheta, teodolito o estación total) o GPS. (Echeveste, 2018, 165).

4.2.2. Tipos de mapa geológico

Según Barnes y Lisle (2003, p.21-22) los mapas geológicos se dividen en cuatro grupos principales: mapas de reconocimiento; mapas elaborados de geología regional; mapas a gran escala de zonas limitadas; y mapas para fines especiales, los cuales se describen a continuación:

Los mapas geológicos de reconocimiento se realizan para cubrir grandes áreas volcando la mayor información geológica posible en el menor tiempo. Son generalmente hechos a escala de 1:250.000 o más pequeñas. Se pueden elaborar a partir de fotointerpretación o del análisis de imágenes satelitales, con un mínimo de control de campo, solo para identificar tipos litológicos y las principales características estructurales.

Los mapas geológicos regionales son resultado de trabajos de mayor detalle, con un riguroso control de campo. El reconocimiento puede haber dado el contorno de la distribución de rocas y la estructura general; ahora la geología debe ser estudiada con más detalle, más comúnmente a una escala de 1:50000 o 1:25000, aunque cualquier mapa resultante probablemente será publicado a 1:100000. El mapeo geológico regional hecho en el terreno puede estar respaldado por fotogeología sistemática, y se debe enfatizar que la evidencia fotogeológica no es inferior a la información obtenida en el terreno, aunque puede diferir en carácter.

Los mapas geológicos de detalle normalmente son de escala 1:20.000 y más grandes. Suelen realizarse en áreas delimitadas a partir de tareas de prospección minera,

zonas de interés petrolero o en aquellas donde se desarrollan proyectos ingenieriles de gran envergadura como represas.

Los mapas especializados incluyen mapas a gran escala de áreas pequeñas hechos para registrar características geológicas específicas con gran detalle. Algunos son para investigación, otros para fines económicos, como planes de minas a cielo abierto a escalas de 1:1000 a 1:2500; planes de minas geológicas subterráneas a 1:500 o más; e investigaciones de sitios de ingeniería a escalas similares. Incluyen mapas geofísicos y geoquímicos; mapas de foliación y de juntas; y planes de muestreo. La mayoría se superponen a un esquema de la geología, o se dibujan en transparencias para ser superpuestas a mapas geológicos, para estudiar su relación con la geología sólida.(Barnes y Lisle, 2003, p. 21-22)

4.2.3. Métodos de mapeo

Tradicionalmente se han dividido los métodos de mapeo geológico en tres tipos:

4.2.3.1. Mapeo de contactos: Es el método empleado en los mapeos regionales, de escala pequeña a intermedia, 1:20.000 y más pequeña; consiste en volcar en el mapa la traza de los contactos entre las distintas unidades de mapeo en su intersección con la superficie topográfica. Una de las características más importante de este método es que no se tienen en cuenta la cobertura superficial, es decir se vuelca en el mapa la litología que subyace a los depósitos superficiales. En zonas pobremente expuestas, las rocas pueden estar ocultas por la vegetación o cubiertas por depósitos delgados no consolidados. Las distintas litologías que subyacen a estos depósitos superficiales pueden inferirse analizando distintas pistas.(Echeveste, 2018, p.168)

4.2.3.2. Mapeo por afloramientos. Muchos terrenos están compuestos de exposiciones de rocas más o menos dispersas separadas por zonas cubiertas por depósitos superficiales, vegetación, hielo, agua, etc. La extensión de cada afloramiento, o grupo de afloramientos, se indica en el mapa de campo con el color apropiado para ese tipo de roca o formación. (Echeveste, 2018, p.172)

El mapeo por afloramientos es particularmente indicado en terrenos metamórficos donde las rocas pueden presentar una fuerte variabilidad en distancias pequeñas.(Echeveste, 2018, p.172)

4.2.3.3. Mapeo por perfiles. Se suele adoptar este método para el mapeo de reconocimiento de grandes regiones, a escalas relativamente pequeñas (1:250.000 a 1:50.000). También suele ser el único método posible donde las exposiciones de las rocas están restringidas a cortes de carreteras, arroyos o filos. Implica levantar la geología mientras se camina a lo largo de una ruta predeterminada. Los contactos y otros rasgos geológicos serán extrapolados entre las observaciones realizadas en perfiles contiguos. Es un método que da muy buenos resultados en el levantamiento de zonas plegadas y corridas.(Echeveste, 2018, p.173)

Otro método para llegar a un mapeo de la geología específica de un área es la fotointerpretación:

4.2.3.4. Fotointerpretación. Se refiere al uso de las fotografías aéreas para obtener información geológica tanto cualitativa como cuantitativa. Es hacer geología desde el aire. Se define como la ciencia de examinar imágenes aerofotográficas con el fin de identificar objetos sobre el terreno, deducir su significado y describir las características del terreno mismo, en función del propósito de la investigación (Naranjo, 2015).

Cuando la roca presenta textura isotrópica, los drenajes se desarrollan ya sea en forma aleatoria o controlados por la estructura de la roca en presencia de fallas, diaclasas o pliegues. Sobre las rocas de textura anisotrópica, como algunas rocas metamórficas, el drenaje tiene la tendencia a orientarse siguiendo la foliación. La red hídrica en fotografías se observa con una tonalidad negra a gris oscura. Toda anomalía en una red de drenaje indica algún tipo de control ya sea estructural, litológico o por movimientos en masa, por ejemplo:

- Un drenaje cortado indica un levantamiento estructural o una captura fluvial.
- Un estrechamiento del lecho de un río indica un cambio de litología debido a plegamiento.
- Un ensanchamiento de la llanura de inundación indica un control estructural, generalmente por plegamiento en la parte baja del ensanchamiento.
- Los cambios bruscos de dirección indican fallamiento y/o diaclasamiento.
- La devolución de los drenajes, indica plegamiento o fallamiento que aún no ha alcanzado la superficie.
- Anomalías más locales como el cambio del curso de un drenaje indican movimientos de masa afectando el drenaje.

- La existencia de un meandro abandonado en una corriente de montaña es debido a un antiguo represamiento del río por movimientos de masa.
- La densidad de la red de drenaje disminuye con la dureza de las rocas.

Las rocas ígneas de origen intrusivo muestran una red de drenaje externa espaciada y bien desarrollada debido a que son cuerpos de mayor área superficial, frecuentemente controlada por diaclasas y fallas. Tienen una distribución más uniforme de la vegetación, pero escasa. En las fotografías aéreas se las observa con un tono gris claro a blanco cuando no están cubiertos por vegetación.

Las rocas metamórficas presentan ciertas claves para identificarlas. Por ejemplo, los esquistos si es que son de alto grado de metamorfismo y están caracterizados por una separación muy pronunciada de componentes feldespáticos y micáceos suelen ser de tono gris mediano con salientes lineales de tono claro. Tienen gran variación en la resistencia a la erosión y el resultado de ellos puede ser una apariencia bandeada con estructuras onduladas y verticales en carencia de la vegetación. El drenaje de esquistos ricos en cuarzo y feldespato es menos denso que en esquistos micáceos. Los gneis en terrenos áridos, las zonas paralelas de tonalidades variables y estructuras de pliegues de fuerte buzamiento son sus rasgos diagnósticos principales (Naranjo, 2015).

Para reconocer terrazas aluviales en fotos aéreas se parte de que se forman en superficies planas o muy leves como una superficie escalonada entre el río y el contacto superior con la ladera de la montaña, ausencia general del drenaje superficial, los tonos varían entre gris claro y gris medio claro con pequeños puntos oscuros, las zonas de mayor humedad tienen tonos más oscuros y tienen una distribución uniforme de vegetación.

Para identificar fallas se consideran algunos criterios como: valles rectos u otro rasgo lineal; alineación de ríos y lagos; escarpillas de falla; facetas triangulares, retroescarpes, valle de ángulo de falla, loma de obturación, espolón en L, cambio de pendiente, desplazamiento del drenaje, cambios en el diseño y textura del drenaje, alineación de manantiales (Naranjo, 2015).

4.2.4. Geología estructural

Arellano Gil et al. (2002, p.5), define a la geología regional como “la rama de la Geología que se encarga del estudio de las características estructurales de las masas rocosas que forman la corteza terrestre, de la distribución geográfica de tales características, del tiempo

geológico y de las causas que las originaron; también es importante su identificación, descripción y representación gráfica en mapas y secciones geológicas”.

Las estructuras geológicas, se las puede estudiar a nivel microscópico (microscopio petrográfico y estereoscópico), en láminas delgadas, en una muestra de mano, en un afloramiento o como un rasgo mayor en una fotografía aérea o en una imagen de satélite; por lo que se describen también como microestructuras, mesoestructuras y macroestructuras. Arellano Gil et al. (2002, p.5)

Las estructuras geológicas se encuentran en cualquier tipo de roca y se forman en todos los ambientes geológicos. Presentan características distintivas relacionadas con su origen, tiempo de formación y tipo de material, por lo que se dividen en estructuras primarias y secundarias, sin embargo, la Geología Estructural se encarga de estudiar únicamente a las estructuras geológicas producto de la deformación.(Arellano Gil et al., 2002, p.5)

4.2.4.1. Estructuras geológicas. Son el arreglo espacial y temporal particular que guardan los componentes rocosos o un conjunto rocoso. Las estructuras geológicas presentan características geométricas distintivas y otros rasgos característicos de los que sobresalen la forma, el tamaño, sus límites, sus relaciones, su orientación, el tipo de material, su distribución geográfica, etc. (Arellano Gil et al., 2002, p.6)

4.2.4.1.1. Pliegues: Durante la formación de las montañas, las rocas sedimentarias y volcánicas suelen doblarse en una serie de ondulaciones semejantes a ondas denominadas pliegues. Algunos pliegues son amplias flexuras en las cuales unidades rocosas de centenares de metros de grosor se han doblado ligeramente. Otros, son estructuras microscópicas muy apretadas que se encuentran en las rocas metamórficas. La mayoría de los pliegues se produce como consecuencia de esfuerzos compresivos que provocan el acortamiento y engrosamiento de la corteza. A veces, los pliegues se encuentran aislados, pero es mucho más frecuente que aparezcan como una serie de ondulaciones.(Tarbuck y Lutgens, 2005, p.291)

4.2.4.1.2. Fallas. Son fracturas en la corteza a lo largo de las cuales se ha producido un desplazamiento apreciable. Las fallas en las que el movimiento es fundamentalmente vertical se denominan fallas con desplazamiento vertical. Estas fallas incluyen las normales y las fallas inversas. Las fallas inversas de poco ángulo se denominan cabalgamientos. Las fallas normales indican esfuerzos tensionales que separan la corteza. A lo largo de los centros de expansión de las placas, la divergencia puede hacer que un bloque central, denominado graben, limitado por fallas normales, descienda a medida que las placas se separan. (Tarbuck y Lutgens, 2005, p.305)

4.2.4.1.3. Diaclasas: Son fracturas a lo largo de las cuales no se ha producido desplazamiento apreciable. Suelen aparecer en grupos con orientaciones aproximadamente paralelas y son consecuencia de la fracturación frágil de rocas localizadas en la corteza más externa. En estas zonas, los esfuerzos tensionales y de cizalla asociados con los movimientos de la corteza hacen que las rocas se rompan frágilmente. (Tarbuck y Lutgens, 2005, p.301)

4.2.5. Geomorfología

De acuerdo a Bueno (2019, p.2) la Geomorfología es:

“La ciencia que estudia el origen y desarrollo de las formas terrestres (como por ejemplo colinas, valles, dunas, cuevas), y cómo esas características se combinan para formar paisajes. Los estudios geomorfológicos incluyen el análisis cuantitativo de los relieves geográficos, el monitoreo de los procesos en la superficie y cerca de ella que moldean los relieves y la caracterización de los cambios en el relieve que ocurren en respuesta a factores tales como la actividad tectónica y volcánica, cambios en el clima y en el nivel del mar y actividades antropogénicas. Las investigaciones están dirigidas principalmente hacia la reconstrucción de antiguos procesos y cambios en el relieve, hacia comprender los procesos y cambios en el relieve actuales o hacia la anticipación de procesos y cambios futuros”.

4.2.6. Hidrología

Montes (2011) define a la hidrología como “la ciencia que trata de las aguas terrestres y se ocupa del estudio del ciclo completo del agua, desde el momento en que ésta cae desde la atmósfera a la tierra hasta que desemboca en el mar o vuelve a la atmósfera. El ciclo del agua se desarrolla en tres medios distintos: la atmósfera, la superficie del suelo y el subsuelo”. Por tanto, la hidrología comprende dos ramas: hidrología de superficie e hidrología subterránea. (p.4)

La Hidrología subterránea o hidrogeología es el estudio geológico de las aguas subterráneas, o bien, aquella parte de la hidrología que estudia el almacenamiento, circulación y distribución de las aguas subterráneas en el interior de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones, sus reacciones a la acción antrópica, etc.(Montes, 2011, p.4)

Para que el agua se infiltre en el subsuelo es condición indispensable que las rocas sean permeables. Dentro de estas rocas el agua infiltrada alcanza grandes profundidades, dependiendo de su espesor y su estructura, constituyendo un acuífero o embalse subterráneo cuyas aguas pueden quedar retenidas, lateralmente y en profundidad, por rocas impermeables que impiden la infiltración a otros niveles más profundos o la circulación lateral a otros acuíferos. (Montes, 2011, p.4)

4.2.6.1. El Nivel Freático: El agua subterránea circula a través de las cavidades de las rocas permeables con una velocidad proporcional al tamaño de los conductos y a la presión a que se encuentre sometida, finalmente se almacena saturando todos los orificios y alcanzando un cierto nivel próximo a la superficie llamado “nivel freático”.

El nivel freático está sujeto a oscilaciones de acuerdo con la recarga del acuífero, descendiendo durante las épocas de sequía o de máximo estiaje, por efecto de la evaporación, mientras que cuando la pluviometría es abundante asciende llegando incluso hasta la superficie, originando localmente surgencias de agua que constituyen las fuentes o manantiales (figura 1). (Montes, 2011, p.7)

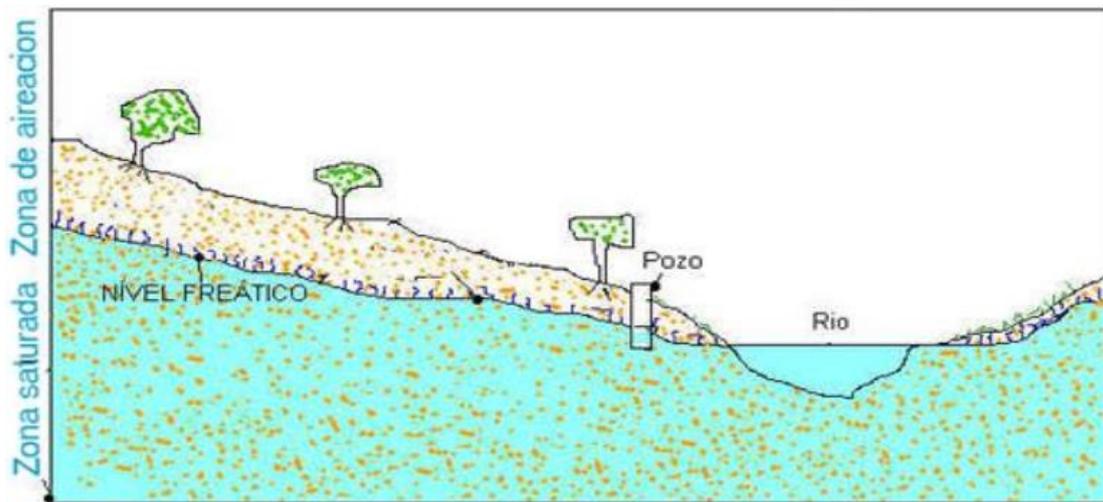


Figura 1. Nivel freático local, zona saturada y de aireación.

Nota. Montes, 2011

4.2.7. Pendiente

Es la medida de la inclinación de la superficie del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m:1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde

a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: $45^\circ = 100\% = 1H:1V$. Los suelos o rocas más resistentes generalmente forman laderas de mayor pendiente y los materiales de baja resistencia o blandos, tienden a formar laderas de baja pendiente. (Suárez, 2009, p. 4)

El grado o porcentaje de inclinación que presenta el terreno en una determinada área de estudio, permite determinar qué zonas se encuentran más o menos propensas a algún tipo de afectación por la influencia de las pendientes; información que posteriormente se la representa en un mapa de pendientes con ayuda de programas SIG. (Rogel, 2018)

4.2.8. Movimientos en masa

Según la Alcaldía de Medellín (2015) los movimientos en masa “son desplazamientos del terreno a favor de la pendiente que se generan por acción de la fuerza de gravedad, bajo la influencia de ciertos factores como son el agua, los eventos sísmicos, la aplicación de carga excesiva, las excavaciones para la adecuación de viviendas o la apertura de senderos y vías, entre otros. Estos movimientos producen cambios visibles en el terreno como agrietamientos, hundimientos e incluso desprendimientos de grandes cantidades de suelo o roca, de ahí que puedan ocasionar la destrucción y/o deterioro de la infraestructura pública, viviendas, cultivos y propiciar el represamiento de cauces de ríos o quebradas” (p.7).

4.2.8.1. Clasificación de movimientos en masa. Para la clasificación de los deslizamientos se presenta el sistema propuesto por Varnes (1978, como se citó en Suárez D., 2009), el cual tipifica los principales tipos de movimiento.

4.2.8.1.1. Caído. Es el desprendimiento y caída de materiales del talud. En los caídos se desprende una masa de cualquier tamaño desde un talud de pendiente fuerte a lo largo de una superficie en la cual el desplazamiento de corte es mínimo o no se da. Este desplazamiento se produce principalmente por caída libre, a saltos o rodando. (Varnes 1978, como se citó en Suárez D., 2009, p.8)

4.2.8.1.2. Inclinación o Volcamiento. Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad. Generalmente, los volcamientos ocurren en las formaciones rocosas, pero también, se presentan en suelos cohesivos secos y en suelos residuales (Figura 2). La inclinación puede abarcar zonas muy pequeñas o incluir volúmenes grandes hasta de varios millones de metros cúbicos (Varnes 1978, como se citó en Suárez D., 2009, p.11).

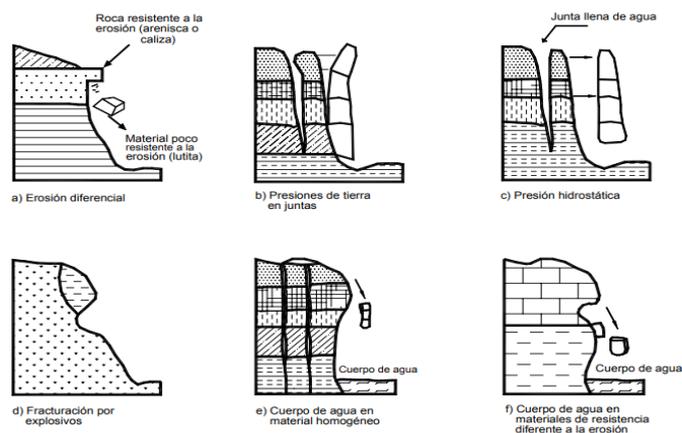


Figura 2. Procesos de inclinación y volcamiento de unidades de material.
Nota. Suárez D., 2009.

4.2.8.1.3. La reptación o creep. Consiste en movimientos del suelo subsuperficial desde muy lentos a extremadamente lentos sin una superficie definida de falla. La profundidad del movimiento puede ser desde pocos centímetros hasta varios metros. Generalmente, el desplazamiento horizontal es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno. La reptación comúnmente ocurre en las laderas con pendiente baja a media. Se les atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en los suelos, usualmente arcillosos, muy blandos o alterados, con características expansivas (Varnes 1978, como se citó en Suárez D., 2009, p.12).

4.2.8.1.4. Deslizamientos en Masa (Traslacionales y Rotacionales). Consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. Los deslizamientos en masa pueden ser de una sola masa coherente que se mueve, o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes (Varnes 1978, como se citó en Suárez D., 2009, p.14).

El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda la que sería la superficie de falla, sino que se va generando en un proceso gradual. La superficie de falla es una zona de determinado espesor, en la cual se producen cambios volumétricos y desplazamientos relacionados con la falla o rotura, al cortante de los materiales.

Los desplazamientos en masa se pueden subdividir en subtipos denominados deslizamientos rotacionales (figura 3), deslizamientos traslacionales o planares (figura 4) y deslizamientos compuestos de rotación y traslación. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear (Varnes 1978, como se citó en Suárez D., 2009, p.14).

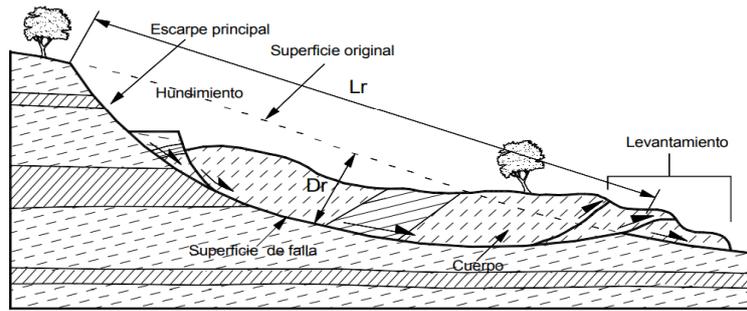


Figura 3. Desplazamiento Rotacionales de Laderas.

Nota. Suárez D., 2009.

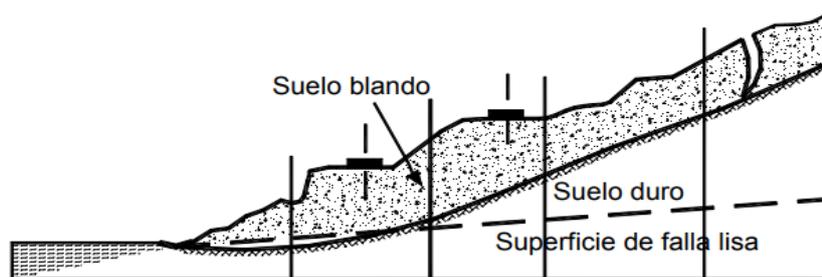


Figura 4. Desplazamiento traslacional en laderas.

Nota. Suárez D., 2009.

4.2.8.1.5. Extensión lateral. Son movimientos con componentes laterales, en taludes de baja pendiente. En los esparcimientos laterales el modo del movimiento dominante, es la extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión (sobre roca o sobre suelos plásticos). Las extensiones laterales ocurren comúnmente en las masas de roca, sobre suelos plásticos o finos, tales como arcillas y limos sensitivos que pierden gran parte de su resistencia al remoldearse (Varnes 1978, como se citó en Suárez D., 2009, p.17).

4.2.8.1.6. Hundimientos. Son movimientos generalmente verticales de masas de suelo, en las cuales ocurre una disminución del volumen general del terreno. Los procesos de hundimiento de gran magnitud se clasifican como parte de los movimientos en masa o deslizamientos, aunque para su ocurrencia, la presencia de un talud no es necesariamente un pre-requisito. Pueden ser de gran magnitud o relativamente pequeños (Varnes 1978, como se citó en Suárez D., 2009, p.20).

4.2.8.1.7. Flujos. En un flujo ocurren movimientos relativos de las partículas, o bloques pequeños, dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie. Las deformaciones relativas internas son muy grandes y fluyen en forma similar a un líquido viscoso. El flujo puede ser laminar a turbulento. Al aumentar la densidad y la viscosidad, el flujo puede transportar grandes bloques hacia la parte superior (Varnes 1978, como se citó en Suárez D., 2009, p.21).

4.3. Geotecnia

Braja Das, en el año 2013 (p.1) define a la geotecnia como “la rama de la ingeniería civil que enfoca su estudio en las propiedades mecánicas e hidráulicas de suelos y rocas, tanto en superficie como en el subsuelo, incluyendo la aplicación de los principios de la mecánica de suelos y mecánica de rocas en el diseño de los cimientos, estructuras de contención y las estructuras de tierra”.

4.3.1. Estudio geotécnico

Un estudio geotécnico reúne el conjunto de reconocimientos del terreno y la interpretación de los datos obtenidos, que permiten caracterizar los diversos suelos presentes en la zona de estudio (Braja D, 2013, p.9). En cualquier caso, un estudio geotécnico debe: contener datos relevantes para la correcta construcción del proyecto, regirse en base a ensayos de campo y de laboratorio adecuados al tipo de proyecto para el que se solicita, incluir recomendaciones propias para cada tipo de proyecto: cimentaciones; excavaciones; balsas; pistas o caminos rurales; edificaciones; naves; etc.(Herrera y Castilla, 2012, p.5).

Para el reconocimiento geotécnico del terreno pueden utilizarse desde la básica inspección visual, (muy utilizada en la caracterización de macizos rocosos), hasta técnicas de campo o laboratorio más o menos sofisticadas y que se agrupan en métodos directos e indirectos (Herrera y Castilla, 2012, p.5).

4.3.2. Métodos directos

A este grupo pertenecen las técnicas que permiten el acceso y observación directa al subsuelo, permitiendo a su vez la obtención de muestras. Eventualmente permiten la realización de ensayos “in situ” (Herrera y Castilla, 2012, p.6).

La principal ventaja de los ensayos in situ es que son más representativos que los ensayos de laboratorio con respecto a las condiciones del terreno en el que se va a construir la obra o estructura, al involucrar un volumen considerablemente mayor de material y estar éste en condiciones naturales (González de Vallejo et al., 2002, p.340).

4.3.2.1. Sondeos geotécnicos. Estos sondeos están encaminados al reconocimiento de la naturaleza y localización de las diferentes capas del terreno; la extracción de muestras alteradas en toda la columna, inalteradas, y de agua; la realización de ensayos “in situ”, la realización de ensayos de permeabilidad Lefranc (suelos) o Lugeon (roca); y la instalación de piezómetros (Herrera y Castilla, 2012, p.13).

Generalmente son de pequeño diámetro, ya que no hay que olvidar que tienen por objeto reconocer la naturaleza y localización de las diferentes capas del terreno (y consecuentemente, establecer la columna litológica del terreno en el punto de investigación), así como extraer muestras del mismo a partir de los testigos de perforación y realizar ensayos “in situ” para determinar ciertas características mecánicas asociadas a cada litología (Herrera y Castilla, 2012, p.13).

A continuación, se describen algunos métodos de sondeos geotécnicos, cuya utilización de uno u otro método depende del tipo de terreno a perforar y del objetivo de la investigación (González de Vallejo et al., 2002, p.320).

4.3.2.1.1. Sondeos a rotación. Los sondeos a rotación pueden perforar cualquier tipo de suelo o roca hasta profundidades muy elevadas y con distintas inclinaciones. La profundidad habitual no excede los 100 m, aunque pueden alcanzarse los 1.000 m. La extracción de testigo es continua y el porcentaje de recuperación del testigo con respecto a la longitud perforada puede ser muy alto, dependiendo del sistema de extracción (González de Vallejo et al., 2002).

Algunos tipos de materiales son difíciles de perforar a rotación, como las gravas y los bolos o las arenas finas bajo el nivel freático, debido al arrastre del propio fluido de perforación. En un sondeo a rotación el sistema de perforación consta de los siguientes elementos integrados en las baterías: cabeza, tubo porta testigo, extractor, manguito portaextractor y corona de corte. (p.317)

4.3.2.1.2. Sondeos con barrena helicoidal. Su uso se limita a suelos relativamente blandos y cohesivos, no siendo operativos para suelos duros o cementados. Entre sus ventajas se encuentran el bajo coste y la facilidad de desplazamiento y rápida instalación de los equipos. Este tipo de perforación no permite precisiones inferiores a + 0,50 m en la localización de los diferentes niveles atravesados. El tipo de muestras que se obtiene en la sonda helicoidal es alterado, si bien, es posible en determinados tipos de sondas obtener muestras inalteradas (González de Vallejo et al., 2002, p.320)

Los sondeos con barrena helicoidal incluyen desde los que se realizan manualmente, para pequeñas profundidades (2-4 m) y diámetros (1-2 pulgadas), a los mecánicos, para profundidades hasta unos 40 m y diámetros de 3, 4, 6 y 8 pulgadas, normalmente empleados en la realización de sondeos de reconocimiento.

Las barrenas son de dos tipos, huecas y normales. Las primeras, a diferencia de las normales, permiten obtener muestras inalteradas sin extraer a la superficie la maniobra, y están formadas por un tubo central de mayor diámetro que en las normales. A lo largo y por el interior de las barrenas se instala un varillaje que termina al final de la cabeza helicoidal y lleva una pequeña broca. Cuando se toma una muestra se extraen las varillas del interior de las barrenas, y a continuación se introduce por el interior de las mismas un tomamuestras. (González de Vallejo et al., 2002, p.320).

4.3.2.1.3. Sondeos a percusión. Se utilizan tanto en suelos granulares como en suelos cohesivos, pudiendo atravesar suelos de consistencia firme a muy firme. Este tipo de sondeos puede alcanzar profundidades de hasta 30 ó 40 m, si bien las más frecuentes son de 15 a 20 m y consiste en la hincada de tubos de acero mediante el golpeo de una maza de 120 kg que cae desde una altura de 1 m. Se deben contar sistemáticamente los golpes necesarios para la penetración de cada tramo de 20 cm, lo que permite conocer la compacidad del suelo atravesado. Las tuberías empleadas pueden tener diámetros exteriores de 91, 128, 178 y 230 mm, actúan como entibación durante la extracción de muestras mediante cucharas y trépanos (González de Vallejo et al., 2002, p.320).

4.3.2.1.4. Perforaciones especiales. Además de los anteriores métodos de perforación, en ocasiones se utiliza la perforación con trépano, martillo de fondo o rotopercusión, y la trituración con tricono. Este tipo de métodos se denomina métodos de perforación a destroza, debido a que en ellos no se obtiene testigo sino un ripio o material pulverizado que sale por el emboquille del sondeo. La utilización de uno u otro método depende del tipo de terreno a perforar y del objetivo de la investigación. La perforación a destroza se emplea para perforar bolos o bloques sueltos, y la rotopercusión puede emplearse para la detección de huecos o cavidades (González de Vallejo et al., 2002, p.320).

4.3.2.2. Calicatas. Las calicatas, zanjas, rozas, pozos, etc., consisten en excavaciones realizadas mediante medios mecánicos convencionales, que permiten la observación directa del terreno a cierta profundidad, así como la toma de muestras y la realización de ensayos in situ (González de Vallejo et al., 2002, p. 321)

Tienen la ventaja de que permiten acceder directamente al terreno, pudiéndose observar las variaciones biológicas, estructura, discontinuidades, etc., así como tomar muestras de gran tamaño para la realización de ensayos y análisis. Son uno de los métodos más empleados en el reconocimiento superficial del terreno, y dado su bajo coste y rapidez de realización, constituyen un elemento habitual en cualquier tipo de investigación in situ, pero a que solo alcanzan una profundidad de reconocimiento limitada. (González de Vallejo et al., 2002, p. 321)

Otras ventajas es que permiten describir estratigrafía del suelo superficial, conocer la profundidad de la roca y sus propiedades geotécnicas superficiales, detectar niveles freáticos superficiales, toma de muestras para ensayos, realización de ensayos “in situ” del terreno y clasificar geotécnicamente el suelo (Herrera y Castilla, 2012, p.83).

Los resultados de este tipo de reconocimientos se registran en estadillos en los que se indica la profundidad, continuidad de los diferentes niveles, descripción litológica, discontinuidades, presencia de filtraciones, situación de las muestras tomadas y fotografías. (González de Vallejo et al., 2002, p. 322)

4.3.3. Métodos indirectos

Según Herrera y Castilla (2012, p.6) , los métodos indirectos son “aquellos que se llevan a cabo sin necesidad de acceder directamente al terreno, midiendo desde la superficie algunas propiedades físicas de los materiales que constituyen los diferentes niveles o estratos del terreno”.

4.3.3.1. Métodos Geofísicos-Sondeo eléctrico vertical. Son aquellos que estudian la respuesta del terreno cuando se propagan a través de él corrientes eléctricas continuas (DC). El parámetro físico que se controla es la resistividad (ρ) y la interpretación final se hace en función de las características geológicas de la zona en que se aplican (González de Vallejo et al., 2002, p. 329).

El método consiste básicamente en emitir al terreno corriente continua o pulsante de baja frecuencia a través de un par de electrodos de acero (A y B) dispuestos en forma simétrica respecto del punto de atribución; y medir la diferencia de potencial (DV) a través de otro par de recepción (M y N) dispuestos de igual forma (figura 5). El subsuelo actúa como impedancia, de tal forma que, al variar la separación interelectródica ello implicará, por una parte, abarcar un mayor volumen de terreno entre los electrodos, lo que modificará la impedancia (resistividad aparente) y, por otra, una

mayor profundidad de penetración de la corriente en el subsuelo, con aumento de la profundidad de investigación (Imhof et al., 2001, p.266)

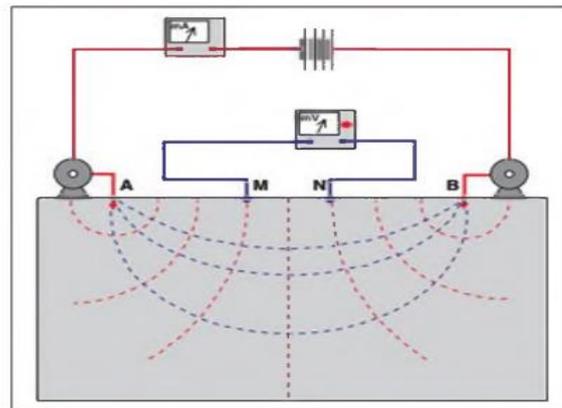


Figura 5. Medida de resistividades del terreno mediante métodos eléctricos.

Nota. González de Vallejo et al., 2002.

4.3.4. Ensayos *in situ* para determinar resistencia

En la tabla 1 se presenta una variedad de ensayos para determinar la resistencia en suelos, rocas y discontinuidades González de Vallejo et al., 2002.

Tabla 1. Ensayos directos *in situ* de resistencia.

Ensayo	Lugar	Descripción	Características	Resultados
Penetración estándar (SPT)	En el interior de sondeos.	Resistencia a la penetración de una puntaza mediante golpeo con una energía normalizada.	En suelos, especialmente en materiales no cohesivos.	Valor N de resistencia a la penetración que puede ser correlacionado con parámetros geotécnicos.
Penetrómetro dinámico	A partir de superficie hasta una profundidad de « 25 m.	Medida de la resistencia a la penetración de una puntaza mediante golpeo con una energía normalizada.	Tipos: Borro, DPL, DPM, DPH y DPSH. No se obtienen muestras.	Medida indirecta de la resistencia del terreno mediante el valor N_B . Se puede relacionar con el SPT.
Penetrómetro estático	A partir de superficie hasta una profundidad de % 30 m.	Registro continuo de la resistencia a la penetración de una punta y un vástago mediante presión.	En suelos granulares y cohesivos blandos. Orando se instala un piezocono se pueden medir presiones intersticiales. No se obtienen muestras.	Resistencia por punta, rozamiento lateral y presiones intersticiales.
Molinete	En el interior de sondeos.	Medida del par de giro necesario para la rotura del terreno.	En materiales cohesivos blandos saturados.	Resistencia al corte sin drenaje.

Ensayo	Lugar	Descripción	Características	Resultados
Martillo Schmidt	Sobre superficies de roca.	Medida del rebote registrado al efectuar una percusión con el martillo en la zona elegida.	Permite ensayar rocas y discontinuidades.	Resistencia a compresión simple del material a partir de correlaciones.
Carga puntual (PLT)	Sobre muestras de roca.	Medida de la carga necesaria para la rotura de una muestra mediante compresión entre puntas.	Sobre testigos de sondeos o fragmentos de roca.	Resistencia a compresión simple del material a partir de correlaciones.
Corte in situ	En galerías, zanjás y pozos.	Medida de la tensión tangencial necesaria para producir la rotura a través de una discontinuidad sometida a una determinada carga normal.	Puede emplearse la célula de Hoek para muestras pequeñas o testigos en campo.	Resistencia al cate de un plano de discontinuidad.

Nota. González de Vallejo et al., 2002.

4.3.4.1. Resistencia en Suelos

4.3.4.1.1. Ensayo de corte directo. Consiste en aplicar una fuerza normal y una horizontal (corte) a la mitad de la caja de corte y medir los desplazamientos horizontales como verticales, con estos datos es posible determinar las gráficas de esfuerzos de corte vs. desplazamiento horizontal, desplazamiento vertical vs desplazamiento horizontal, esfuerzo normal vs. esfuerzo de corte y con esta gráfica determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo (Simón, 2019).

Según Braja Das (2013) ésta es la forma más antigua y simple de arreglo de prueba de corte. En la figura 6 se muestra un diagrama del aparato de prueba de corte directo. El equipo de prueba consiste en una caja de corte de metal en la que se coloca la muestra de suelo. Las muestras de suelo pueden ser cuadradas o circulares. El tamaño de las muestras utilizadas generalmente es alrededor de 20 a 25 cm² de sección transversal y de 25 a 30 mm de altura. La caja se divide horizontalmente en dos mitades. La fuerza normal sobre la muestra se aplica desde la parte superior de la caja de corte. El esfuerzo normal sobre las muestras puede ser tan grande como 1000 kN/m². La fuerza cortante se aplica moviendo una mitad de la caja con respecto a la otra para provocar una falla en la muestra de suelo (p.233).

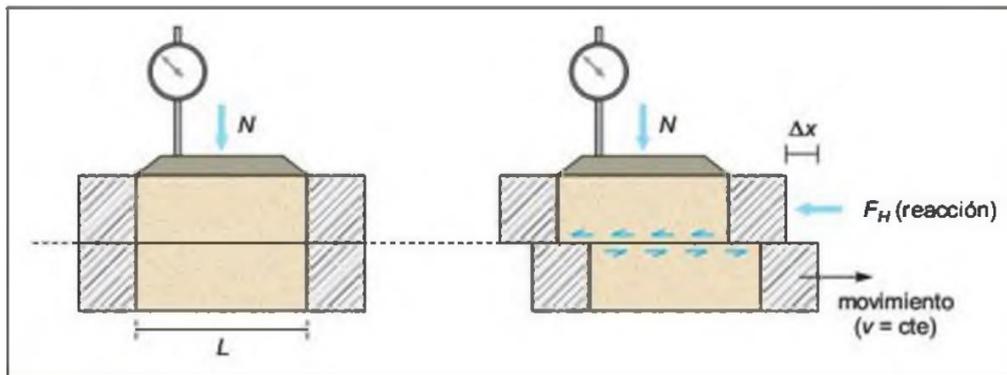


Figura 6. Esquema del aparato de corte directo.

Nota. González de Vallejo et al., 2002.

Una prueba completa sobre un determinado suelo consiste en ensayar tres muestras idénticas del mismo material bajo tres cargas verticales distintas (N_v , N_2 , N_s) (González de Vallejo et al., 2002).

Este ensayo puede ser realizado bajo varias condiciones, por lo cual se llegan a distinguir tres tipos de ensayos que son:

- **Ensayo consolidado-drenado (CD):** Se permite el drenaje de la muestra durante todo el ensayo de modo que las presiones intersticiales sean nulas durante la aplicación del esfuerzo cortante (Iglesias C., 1997).
- **Ensayo consolidado-no drenado (CU):** Se permite el drenaje de la muestra durante la aplicación del esfuerzo vertical, por lo que al comenzar a aplicar el esfuerzo de corte la presión intersticial es nula, pero no durante su aplicación posterior (Iglesias C., 1997).
- **Ensayo no consolidado-no drenado (UU):** No se permite el drenaje de la muestra ni durante la aplicación de la carga vertical ni durante la aplicación del esfuerzo cortante (Iglesias C., 1997).

En este ensayo son aplicadas dos tipos de presiones o de esfuerzos, una de ellas es la presión vertical denominada presión de consolidación y es la que se encarga de eliminar las presiones intersticiales en la muestra de suelo; y el esfuerzo horizontal o de corte el cual puede ser aplicado de dos formas distintas y según su forma de aplicación el ensayo recibe un nombre, dichas maneras de aplicación son:

- **Ensayo de esfuerzo controlada:** Se aplica un determinado esfuerzo horizontal, y se miden las deformaciones horizontales hasta estabilización; a continuación, se aumenta la fuerza horizontal, y así sucesivamente, hasta que llega un momento en que las deformaciones no se estabilizan, lo cual indica que se ha sobrepasado la carga de rotura (Iglesias C., 1997).

- **Ensayo de deformación controlada:** La placa móvil se desplaza a velocidad constante, midiéndose los esfuerzos horizontales correspondientes mediante un anillo dinamométrico conectado en serie con la fuerza horizontal (Iglesias C., 1997).

4.3.4.2. Resistencia de la matriz rocosa

4.3.4.2.1. Esclerómetro o martillo Schmidt. Este ensayo permite estimar de forma aproximada la resistencia a compresión simple mediante una sencilla correlación, siendo aplicable fundamentalmente a matriz rocosa, pero también a discontinuidades. Su uso está muy extendido dada la facilidad y rapidez de utilización (González de Vallejo et al., 2002).

El esclerómetro consiste en un pequeño aparato metálico de geometría cilíndrica que dispone de un muelle en su interior y de una punta retráctil, la cual, al ser presionada contra la roca hace que el muelle se dispare. (p.346)

4.3.4.3. Ensayos en discontinuidades. El término discontinuidad según González de Vallejo et al., (2002) hace referencia a cualquier plano de separación en el macizo rocoso, pudiendo tener origen sedimentario, como las superficies de estratificación o laminación, diagenético o tectónico, como las diaclasas o las fallas. Las diaclasas o juntas son los planos de discontinuidad más frecuentes en los macizos rocosos, y corresponden a superficies de fracturación o rotura de la roca a favor de las cuales no ha habido desplazamiento o ha sido muy pequeño. (p.349)

4.3.5. Mecánica de Suelos

De acuerdo con c la mecánica de suelos es:

“La aplicación de la ciencia física que se ocupa del estudio de las propiedades físicas del suelo y el comportamiento de las masas de suelos sometidos a diferentes tipos de fuerzas. El suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas”. (p. 1)

4.3.5.1. Distribución granulométrica. En cualquier masa de suelo, los tamaños de los granos varían en gran medida. Para clasificar apropiadamente un suelo, se debe conocer su distribución granulométrica. La distribución granulométrica de un suelo de grano grueso se determina por lo general mediante un análisis granulométrico con mallas. Para un suelo de grano fino, la distribución granulométrica se puede obtener por medio del análisis del hidrómetro (Braja D, 2011, p. 2).

De acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2014): Geotecnia y Cimentaciones, apartado 1.3.2. Normas NTE INEN, establece que “para el análisis granulométrico por tamizado se debe aplicar la norma ASTM D 422, la cual determina cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo, además describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo hasta la malla de 74 mm (N° 200)”.

4.3.5.2. Consistencia del suelo. Cuando los minerales de arcilla están presentes en el suelo de grano fino, el suelo se puede remover en presencia de algo de humedad sin que se desmorone. Esta naturaleza cohesiva se debe al agua adsorbida que rodea a las partículas de arcilla. Dependiendo del contenido de humedad, la naturaleza del comportamiento del suelo puede ser dividido en 4 estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido, conocidos como límites de Atterberg (Braja D, 2013, p.64).

4.3.5.3. Límite líquido (LL). Es la transición del estado plástico al estado líquido y se lo determina utilizando la copa de Casagrande con base al procedimiento dado en la norma NTE INEN 691 Designación ASTM D-4318 (Braja D, 2013, p.65).

4.3.5.3.1. Límite plástico (PL). Se define como el contenido de humedad, en porcentaje, en el que el suelo al enrollarse en hilos de 3.2 mm de diámetro se desmorona. El límite plástico es el límite inferior del escenario plástico del suelo. El índice de plasticidad (PI) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo. El procedimiento para la prueba de límite plástico se da en la norma NTE INEN 692- Designación ASTM D-4318 (Braja D, 2013, p.65).

4.3.5.3.2. Límite de contracción (SL). Se define como el contenido de humedad en el que el suelo no experimenta ningún cambio adicional en su volumen con la pérdida de humedad. El procedimiento se da en la Norma ASTM D-427 (Braja D, 2011, p. 16).

4.3.5.3.3. Índice de liquidez. De acuerdo con Braja D. (2013) la consistencia relativa de un suelo cohesivo en estado natural puede ser definida por una relación llamada índice de liquidez (LI):

$$LI = \frac{w - PL}{LL - PL}$$

Dónde: w = es el contenido de humedad in situ de suelo (P.73).

4.3.6. Sistema de clasificación de suelos

Los suelos con propiedades similares pueden ser clasificados en grupos y subgrupos en función de las características mecánicas y su comportamiento para la ingeniería. Los sistemas

de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar de forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas. En la actualidad, hay dos sistemas de clasificación que utilizan la distribución granulométrica y la plasticidad de los suelos. Se trata del American Association of State Highway Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Braja D, 2013, p.78).

4.3.6.1. Sistema de Clasificación AASHTO. Este sistema fue desarrollado en 1929 como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras. Ha sido objeto de varias revisiones, con la actual versión propuesta por la Comisión de Clasificación de Materiales para los Tipos de Carreteras Subrasantes y Granulares de la Junta de Investigación de Carreteras en 1945 (Norma ASTM D-3282; método AASHTO M145).

De acuerdo con Braja D (2013, p.78) este sistema el suelo se clasifica en siete grupos principales: A-1 a A-7. Los suelos que clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz núm. 200. Los suelos donde más de 35% pasa a través del tamiz núm. 200 se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, tal y como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de materiales según AASHTO.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso							
Núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativo constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						
Clasificación general	Materiales Limo-Arcillosos (más del 35% del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	A-7			
				A-7-5* A-7-6 ⁺			
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10							
Núm. 40							
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.			

Características de la fracción de paso				
Núm. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes		Suelos limosos	Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante		Regular a malo		
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$				
+Para A-7-6, $PI > LL - 30$				

Nota. Braja D. 2013.

El sistema de clasificación AASHTO se basa en los siguientes criterios: grava es la fracción que pasa el tamiz de 75 mm y es retenida en el tamiz núm. 10 (2 mm); arena es la fracción que pasa el tamiz núm. 10 (2 mm) y es retenida en el tamiz núm. 200 (0.075 mm); y limo y arcilla es la fracción que pasa el tamiz núm. 200 (Braja D, 2013, p.80).

4.3.6.2. Sistema unificado de clasificación de suelo SUCS. Fue propuesto por Casagrande en 1948, en colaboración con el U.S (como se cita en Braja D, 2013). En la actualidad, es ampliamente utilizado y se clasifica en dos grandes categorías:

Suelos de grano grueso que son de grava y arena en estado natural con menos de 50% que pasa a través del tamiz núm. 200, G es para el suelo de grava o grava y S para la arena o suelo arenoso; y suelos de grano fino con 50% o más que pasa por el tamiz núm. 200, los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de M, que es sinónimo de limo inorgánico, C para la arcilla inorgánica y O para limos orgánicos y arcillas. (p.82)

Otros símbolos que también se utilizan para la clasificación son: W para suelo bien clasificado; P para suelo mal clasificado; L para suelo de baja plasticidad y H para suelo con alta plasticidad (Braja D, 2013, p.82).

A continuación, se presentan la tabla 3 que se usa para clasificación de suelos según SUCS:

Tabla 3. Sistema unificado de clasificación de suelo SUCS.

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	GW
		Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^e$	GP
	Arenas	Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 7)	GM
		Más de 12% finos ^{a,d}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 7)	GC
	Arenas	Menos de 5% finos ^b	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	SW
			$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^e$	SP

	50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Más de 12% finos ^{b,d}	PI < 4 o gráficos por debajo de línea "A" (figura 7)	SM
			PI > 7 y gráficos en o por encima de línea "A" (Figura 7)	SC
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Limos y arcillas	Inorgánico	PI > 7 y gráficos en o por encima de línea "A" (Figura 7)	CL
		Orgánico	PI < 4 o gráficos por debajo de línea "A" (figura 7)	ML
			<i>Límite líquido: secado</i>	OL
			<i>Límite líquido: no secado</i>	
			< 0,75; vea la figura 7; zona OL	
			Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 7)	CH
Limos y arcillas	Límite líquido 50 o mas	Inorgánico	Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 7)	MH
		Orgánico	<i>Límite líquido: secado</i>	OH
			<i>Límite líquido: no secado</i>	
			< 0,75; vea la figura 7; zona OH	
Suelos altamente orgánicos		Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico		

^a Gravillas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW -GM, GW - GC, GP -GM, GP- GC.

^b Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW -SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

$$C_a = \frac{D_{60}}{D_{10}}; C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

^d Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 7, se usa doble símbolo GC - GM o SC - SM.

^e Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 7, se usa doble símbolo CL- ML.

Nota. Braja D. 2013

La tabla 4 representa la nomenclatura de la clasificación SUCS:

Tabla 4. Nomenclatura de la clasificación de suelo 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	Baja Plasticidad	L
		Alta plasticidad	H

Nota. Braja D. 2013.

La siguiente figura es la gráfica de plasticidad con la que trabaja el Sistema unificado de clasificación de suelo SUCS.

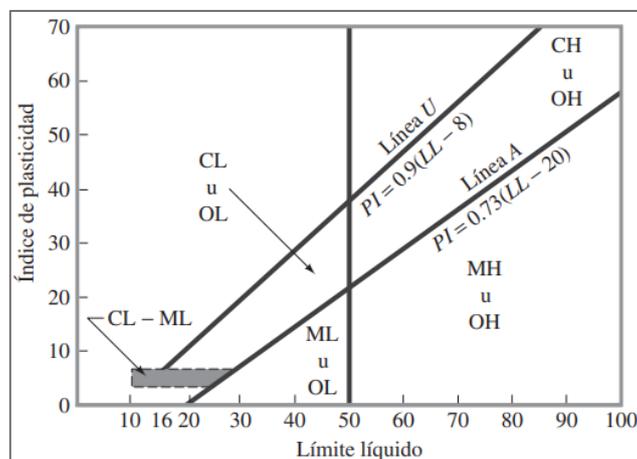


Figura 7. Gráfica de plasticidad.

Nota. Braja D. 2013.

4.3.7. Mecánica de Rocas

Una definición comúnmente aceptada de mecánica de rocas propuesta por el Comité Americano (1974, como se citó en Ramírez y Leandro, 2004) es:

“Mecánica de rocas es la ciencia teórica y aplicada que estudia el comportamiento de mecánico de las rocas y de los macizos rocosos. Sería pues la rama de la ingeniería dedicada al estudio de la respuesta de las rocas y macizos rocosos al campo de fuerzas que actúan en su entorno”. (p.3)

Según González de Vallejo et al. (2002):

“La mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y de su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico. El desarrollo de la mecánica de rocas se inició como consecuencia de la utilización del medio geológico para obras superficiales y subterráneas y explotación de recursos mineros”. (p.118)

4.3.7.1. Macizo Rocosos. Los autores González de Vallejo et al., en el año 2002, mencionan que un macizo rocoso es:

“Es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótopos y heterogéneos (figura 8). Prácticamente puede considerarse que presentan una resistencia a la tracción nula”. (p. 123)

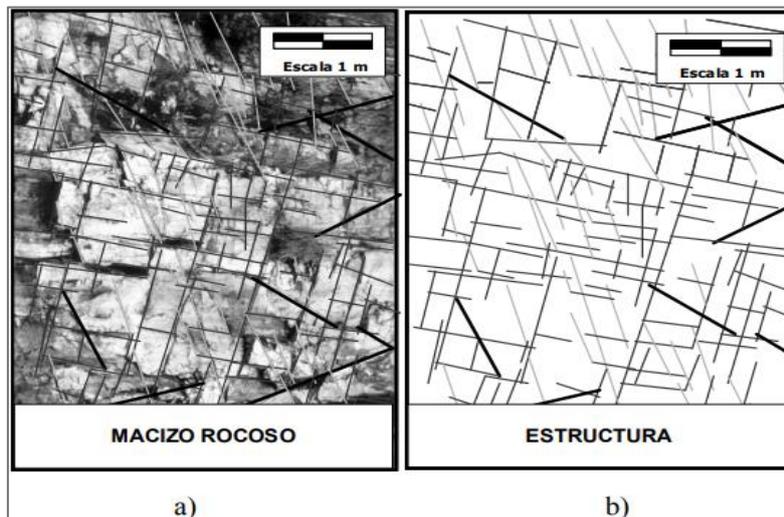


Figura 8. Representación de un macizo rocoso con discontinuidades.
Nota. Ramírez O y Leandro M, 2004.

4.3.7.1.1. Propiedades físicas y mecánicas de las rocas. Las propiedades físicas de las rocas son el resultado de su composición mineralógica, fábrica e historia geológica, deformacional y ambiental, incluyendo los procesos de alteración, meteorización y presencia de agua. La gran variabilidad de estas propiedades se refleja en comportamientos mecánicos diferentes frente a las fuerzas que se aplican sobre las rocas, comportamientos que quedan definidos por la resistencia del material y por su modelo de deformación (González de Vallejo et al., 2002, p.123).

4.3.7.2. Matriz rocosa. Es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de «roca intacta» que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad.(González de Vallejo et al., 2002, p.123)

4.3.7.2.1. Propiedades físicas de la matriz rocosa. Estas propiedades, denominadas propiedades índice, serán las que determinen en primera instancia, junto con la composición mineralógica y la fábrica, las propiedades y el comportamiento mecánico de la matriz rocosa (González de Vallejo et al., 2002, p.127). En la tabla 5 se presenta una lista de todas ellas y los métodos para su evaluación.

Tabla 5. Propiedades de la matriz rocosa y métodos para su determinación.

	Propiedades	Métodos de determinación
Propiedades de identificación y clasificación	Composición mineralógica. Fábrica y textura. Tamaño de grano. Color.	Descripción visual. Microscopía óptica y electrónica. Difracción de rayos X.
	Porosidad (n). Peso específico (y). Contenido en humedad.	Técnicas de laboratorio.
	Permeabilidad (coeficiente de permeabilidad, k).	Ensayo de permeabilidad.
	Durabilidad. Alterabilidad (índice de alterabilidad).	Ensayos de alterabilidad.
	Resistencia a compresión simple (σ_e).	Ensayo de compresión uniaxial. Ensayo de carga puntual. Martillo Schmidt.
Propiedades mecánicas	Resistencia a tracción (σ).	Ensayo de tracción directa. Ensayo de tracción indirecta.
	Velocidad de ondas sónicas (V_p , V_s).	Medida de velocidad de ondas elásticas en laboratorio.
	Resistencia (parámetros c y ϕ).	Ensayo de compresión triaxial.

Propiedades	Métodos de determinación
Deformabilidad (módulos de deformación elástica estáticos o dinámicos: E, ν).	Ensayo de compresión uniaxial. Ensayo de velocidad sónica.

Nota. González de Vallejo et al., 2002.

4.3.7.3. Caracterización geomecánica de macizos rocosos. La descripción y medida de las características y propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades y de los parámetros del macizo rocoso, proporcionan los datos necesarios para la evaluación geomecánica global del macizo. A partir de estos datos, la aplicación de las clasificaciones geomecánicas permite estimar la calidad y los parámetros resistentes aproximados del macizo, en términos de cohesión y fricción (González de Vallejo et al., 2002).

Para completar la caracterización del macizo rocoso es también necesario evaluar otros aspectos que, en gran manera, influyen en su comportamiento mecánico, como son: Resistencia y deformabilidad; comportamiento hidrogeológico; y estado tensional. Estos factores no pueden ser cuantificados a partir de datos de afloramientos, pero sí pueden ser realizadas observaciones que permitan conocer, al menos de una forma cualitativa, las características correspondientes de los macizos rocosos. (p.261)

4.3.8. Clasificaciones Geomecánicas de los macizos rocosos

Conforme lo menciona González de Vallejo et al., (2002) las clasificaciones geomecánicas sirven para aportar, 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 túneles y taludes y la excavabilidad de las rocas, entre otros.(p.229)

En lo que se refiere a los taludes, la principal ventaja de las clasificaciones geomecánicas consiste en que permiten obtener, mediante unas correlaciones establecidas, los principales parámetros mecánicos del macizo rocoso: módulo de elasticidad, coeficientes del criterio de rotura Hoek-Brown, etc. Bieniawski (2003, como se citó en Ramírez O y Leandro M, 2004, p.145) .

Las características de los macizos rocosos que se consideran en las distintas clasificaciones son las siguientes: Resistencia del material rocoso; índice RQD; espaciado de las discontinuidades; orientación de las discontinuidades; condiciones de las discontinuidades; estructura geológica y fallas; filtraciones y presencia de agua; y estado tensional (González de Vallejo et al., 2002, p.230).

4.3.8.1. Clasificación RMR de Bieniawski (1973, 1979 y 1989). Constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos: Resistencia uniaxial de la matriz rocosa; grado de fracturación en términos del RQD; espaciado de las discontinuidades; condiciones de las discontinuidades; condiciones hidrogeológicas; y orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación. La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR, rock mass rating, que varía de 0 a 100. Bieniawski (1989, como se citó en González de Vallejo et al., 2002, p.230).

Para aplicar la clasificación RMR se divide el macizo rocoso en zonas o tramos que presenten características geológicas más o menos uniformes de acuerdo con las observaciones hechas en campo, en las que se lleva a cabo la toma de datos y medidas referentes a las propiedades y características de la matriz rocosa y de las discontinuidades (Vallejo et al., 2002, p.230).

Conforme la metodología de Bieniawski, para calcular el índice RMR correspondiente a cada una de las zonas se sigue el procedimiento señalado en la siguiente tabla:

Tabla 6. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).

1	Resistencia de 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		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2	< 0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	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 < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		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 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-02	02-0,5	> 0,5
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
Puntuación		15	10	7	4	0	
Corrección por la orientación de las discontinuidades							
Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables	
Muy desfavorables	Túneles	0	-2	-5	-10	-12	
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25	
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60	
Orientación de las discontinuidades en el túnel							
Dirección perpendicular al eje en el túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0° - 20°. Cualquier dirección	
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buz. 45-90	Buz. 20-45		
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45		
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable	
Clasificación							
Clase	I	II	III	IV	V		
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala		
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20		
Características geotécnicas							
Clase	I	II	III	IV	V		
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 2,5 m de vano	30 minutos con 1 m de vano		
Cohesión	> 4 Kp/cm ²	3-4 Kp/cm ²	2-3 Kp/cm ²	1-2 Kp/cm ²	< 1 Kp/cm ²		
Ángulo de rozamiento	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°		

Nota. González de Vallejo et al., 2002.

Una vez obtenidas las puntuaciones que resultan de aplicar los cinco parámetros de clasificación, se efectúa la corrección por orientación de discontinuidades y se obtiene un valor numérico con el que se clasifica finalmente el macizo rocoso (González de Vallejo et al., 2002, p. 233). Esta clasificación distingue 5 clases, cuyo significado se expresa en la tabla 7.

Tabla 7. Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR de Bieniawski 1989.

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	> 4 kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm ²	35° - 45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm ²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm ²	15 -25°
V	Muy mala	<20	<1 kg/cm ²	<15°

Nota. González de Vallejo et al., 2002.

4.3.8.2. Clasificación RQD de Deere (1967). Este parámetro se obtiene a partir del porcentaje de trozos de testigo mayores de 10 cm recuperado en un sondeo, tal y como muestra en la Figura 9 y permite estimar el grado de fracturación del macizo rocoso (Ramírez y Leandro, 2004, p.147).

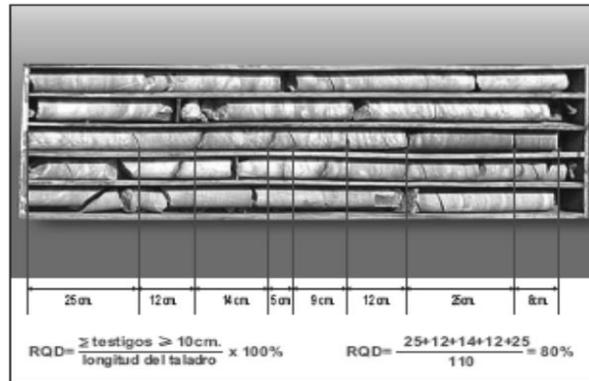


Figura 9. Estimación del R.Q.D. a partir de testigos de sondeo.

Nota. Ramírez O y Leandro M, 2004

Según Palmstrom y Norway (2005) para realizar el cálculo del RQD se usa la siguiente fórmula:

$$RQD = \frac{f_{10}}{L_{total}} * 100$$

Donde:

Suma f10 = Suma de la longitud de testigos superiores a 10 cm

Ltotal= Longitud total de sondeo.

Cuando no se dispone de sondeos, una manera indirecta de estimar el índice RQD es la utilización del índice volumétrico de juntas (Jv) (número de discontinuidades por unidad de volumen) (Jv), bien sea porque se puedan visualizar las discontinuidades en un afloramiento en superficie o por la realización de calicatas o trincheras de reconocimiento. De acuerdo a esto, y utilizando la expresión de Palmström, se puede obtener el RQD mediante las siguientes expresiones:

$$RQD = 110 - 2.5 Jv \quad \text{para } Jv = 4 \text{ a } 44$$

$$RQD = 0 \quad \text{para } Jv > 44$$

$$RQD = 100 \quad \text{para } Jv < 4$$

$$\text{Dónde: } Jv = \sum \frac{n^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{\text{Longitud de medida}}$$

Teniendo el valor en porcentaje del RQD se le atribuye su respectiva clasificación como se muestra en la tabla 8:

Tabla 8. Clasificación para el RQD según Deere 1967.

RQD %	Calidad
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 - 90	Buena
90 -100	Muy Buena

Nota. Deere D. et al. (1967, como se cita en Palmstrom y Norway, 2005)

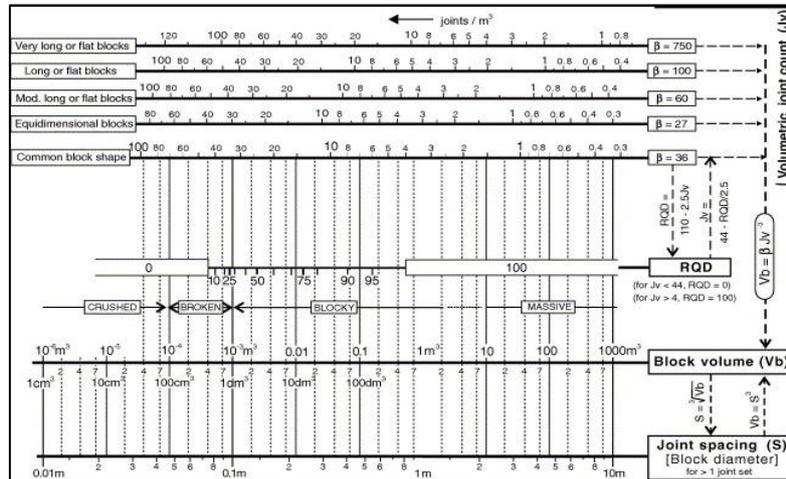


Figura 10. Correlaciones entre diferentes métodos del RQD.

Nota. Palmstrom y Norway, 2005.

4.3.8.3. Clasificación SMR de Romana 1997. Romana (1997, como se cita en González de Vallejo et al., 2002) ha propuesto la clasificación SMR aplicada a taludes, el cual es un índice SMR que se obtiene del RMR definiéndose unos factores de ajuste por orientación de las discontinuidades y por el método de excavación; el primero de ellos es producto de los subfactores F1, F2 y F3 los cuales se representan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Clasificación geomecánica de taludes SMR.

Factores de ajuste por la orientación de las juntas (F ₁ , F ₂ Y F ₃)						
Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy Desfavorable
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	>30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180° $					
P/T	F ₁	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	$ \beta_j $	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	>45°
	F ₂	0,15	0,15	0,70	0,85	1,00
T	F ₂	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	> 10°	10° - 0°	0°	0 - (- 10°)	< - 10°
	$\beta_j + \beta_s$	< 110°	110° - 120°	>120°	-	-
P/T	F ₃	0	-6	-25	-50	-60
Factor de ajuste por el método de excavación (F ₄)						
Método	Talud natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o excavación mecánica	Voladura deficiente	
F ₄	+ 15	+ 10	+ 8	0	-8	

Clases de estabilidad					
Clase	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno
P: rotura plana		α_s : dirección de talud		β_s : buzamiento de talud	
T: rotura por vuelco		α_j : dirección de las juntas		β_j : buzamiento de las juntas	

Nota. González de Vallejo et al., 2002.

González de Vallejo, L., (2002) señala las directrices de sostenimiento a aplicar a los taludes basadas en SMR (Romana, 1985), los cuales se agrupan en seis clases:

- $SMR > 65$: sin sostenimiento (saneo).
- $70 > SMR > 45$: protección (zanjas de pie, vallas de pie o de talud)
- $75 > SMR > 30$: refuerzo (bulones o anclajes)
- $60 > SMR > 20$: hormigón (gunita, hormigón de relleno, contra fuertes y/o vigas, muros de pie)
- $40 > SMR > 10$: drenaje (superficial y profundo)
- $30 > SMR > 10$: reexcavación (tendidos, muros de contención).

Con base a la tabla 9, a continuación, se describen cada uno de los factores que intervienen para el cálculo del SMR (González de Vallejo et al., 2002, p.469).

F₁ depende del paralelismo entre la dirección de las juntas o discontinuidades y la del plano del talud. Varía entre 1,0 (cuando ambas direcciones son paralelas) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambas es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja). Estos valores se ajustan aproximadamente a la expresión:

$$F_1 = [1 - \sin(\alpha_j - \alpha_s)]^2$$

Donde $\alpha_i - \alpha_s$ son los ángulos de dirección de la junta y del talud respectivamente.

F₂ depende del buzamiento de la junta, en el caso de roturas planas, varía entre 1,0 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°); puede ajustarse aproximadamente según la relación:

$$F_2 = \text{tg}^2 \beta_j$$

Donde β_j es el buzamiento de la junta y F₂ vale 1 para roturas por vuelco.

F₃ refleja la relación entre los buzamientos de la junta y el talud y el factor de ajuste por el método de excavación, F₄, se indica en la tabla 9. Por lo tanto, el valor final del índice SMR se obtiene:

$$SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

4.3.8.4. Clasificación GSI, Geological Strength Index (Hoek,1994). El índice de resistencia geológica GSI, fue desarrollado por Hoek en el año 1994 para subsanar los problemas detectados con el uso del índice RMR para evaluar la resistencia de macizos rocosos según el criterio generalizado de Hoek-Brown. Este índice de calidad geotécnica se determina en base a dos parámetros que definen la resistencia y la deformabilidad de los macizos rocosos:

- RMS: Es la “estructura del macizo rocoso”.
- 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 Tabla 10 y este índice puede variar de 0 a 100, lo que permite definir 5 clases 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 ($80 < GSI \leq 100$)

Para valorar al macizo rocoso por el método del GSI se aplica la relación existente entre GSI y RMR en base al RMR de 1976 o 1989, se detalla a continuación:

$$RMR_{76} > 18 \rightarrow GSI = RMR_{76}$$

$$RMR_{76} < 18 \rightarrow \text{No se puede utilizar el RMR}_{76} \text{ para obtención del GSI}$$

$$RMR_{89} > 23 \rightarrow GSI = RMR_{89} - 5$$

$$RMR_{89} < 23 \rightarrow \text{No se puede utilizar el RMR}_{89} \text{ para obtención del GSI.}$$

Básicamente la determinación del GSI se hace a partir de la Tabla 10 y la Tabla 11 a las que se ingresa desde dos puntos diferentes, uno horizontal: referente al tamaño y entramamiento de bloques, composición y estructura; el ingreso vertical es referente a las condiciones de las discontinuidades, se converge posteriormente en el valor del GSI dispuesto en las líneas diagonales.

Tabla 10. Carta para evaluar el índice de resistencia geológica en macizos rocosos fracturados.

Rock Type: <input type="text" value="General"/> <input type="button" value="OK"/>		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
GSI Selection: <input type="text" value="50"/>		DECREASING SURFACE QUALITY →				
STRUCTURE INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes		DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES				
		90			N/A	N/A
		80				
		70				
		60			50	
				40		
			30			
				20		
		N/A	N/A		10	

Nota. Marinos, V. et al., 2007.

Tabla 11. Estimación del índice GSI para macizos rocosos heterogéneos.

GSI FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (Marinos, P and Hoek, E. 2000)		SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Presumably bedding planes)						
From a description of the lithology, structure and surface conditions (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. Locate the position in the box that corresponds to the condition of the discontinuities and estimate the average value of GSI from the contours. Do not attempt to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than giving GSI = 35. Note: that the Hoek-Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourably oriented continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.		VERY GOOD - Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD - Rough, slightly weathered surfaces	FAIR - Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR - Very smooth, occasionally slickensided surfaces with compact coatings or fillings with angular fragments	VERY POOR - Very smooth slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings		
COMPOSITION AND STRUCTURE		70	60	50	40	30	20	10
	A. Thick bedded, very blocky sandstone The effect of pelitic coatings on the bedding planes is minimized by the confinement of the rock mass. In shallow tunnels or slopes these bedding planes may cause structurally controlled instability.		A					
	B. Sandstone with thin inter-layers of siltstone		B					
	C. Sandstone and siltstone in similar amounts		C					
	D. Siltstone or silty shale with sandstone layers		D					
	E. Weak siltstone or clayey shale with sandstone layers		E					
	F. Tectonically deformed, intensively folded/faulted, sheared clayey shale or siltstone layers broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure			F				
	G. Undisturbed silty or clayey shale with or without a few very thin sandstone layers			G				
	H. Tectonically deformed silty or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces.				H			

Nota. Marinos, V. et al., 2007.

4.4. Estabilidad

Según Suárez D., (2009) algunos de los factores fundamentales que afectan la estabilidad de los taludes son: la litología o formación geológica; la estructura geológica; la tectónica y la fracturación; la geomorfología; el estado de meteorización; la pendiente y el relieve; el clima y la hidrología; la hidrogeología; la sismicidad; y la cobertura vegetal. (p 38 – p 42)

4.4.1. Criterios de rotura en Macizos Rocosos isótopos

4.4.1.1. Criterio de Hoek y Brown. Es un criterio de rotura válido para macizos rocosos isótopos, y tiene en cuenta los factores que determinan la rotura de un medio rocoso a gran escala, como son 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, la disminución del ángulo de rozamiento con el aumento de la tensión de confinamiento, etc. (González de Vallejo et al., 2002, p.193).

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 (Hoek et al., 2002, p.2):

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \sqrt{m \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s}$$

Donde:

σ_1 y σ_3 son los esfuerzos principales efectivos mayor y menor en el momento de rotura.

σ_{ci} es la resistencia a compresión uniaxial del material intacto.

m y s son las constantes del material, donde s = 1 para roca intacta.

El valor de σ_{ci} debe obtenerse en ensayos de compresión simple de laboratorio o, en su defecto, puede estimarse a partir del ensayo PLT. Los valores de m y s pueden obtenerse a partir del índice RMR. (González de Vallejo et al., 2002, p 193)

Para macizos rocosos sin alterar y no afectados por voladuras:

$$m = m_i \exp \frac{RMR-100}{28} \quad s = \exp \frac{RMR-100}{9}$$

Para macizos rocosos sin alterar y afectados por voladuras:

$$m = m_i \exp \frac{RMR-100}{14} \quad s = \exp \frac{RMR-100}{6}$$

4.4.1.2. Criterio de Mohr-Coulomb. Según Mohr-Coulomb (como se citó en González de Vallejo et al., 2002, p.160) este criterio expresa la resistencia al corte a lo largo de un plano en un estado triaxial de tensiones, obteniéndose la relación entre los esfuerzos normal y tangencial actuantes en el momento de la rotura mediante la expresión matemática:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi$$

donde:

τ y σ_n son las tensiones tangencial y normal sobre el plano de rotura.

C y ϕ son la cohesión y ángulo de rozamiento de la matriz rocosa.

La ventaja del criterio de Mohr-Coulomb es su simplicidad. Sin embargo, presenta los inconvenientes sobre todo los relacionados con el comportamiento tensión-deformación no lineal de los macizos rocosos, por lo que no es un criterio adecuado para la estimación de su resistencia. No obstante, en determinados casos el criterio puede ser empleado para macizos rocosos resistentes en los que la rotura se produzca a favor de superficies de discontinuidad, teniendo en cuenta que deben adoptarse valores para la cohesión y para el ángulo de rozamiento representativos del macizo rocoso (González de Vallejo et al., 2002, p.197).

4.4.2. Tipos de mecanismos de falla en taludes y su análisis Cinemático

Los mecanismos de rotura o falla son los movimientos que se originan o pudiesen originarse como falla del talud dentro del macizo rocoso a lo largo de discontinuidades geológicas pre-existentes. Según Ramírez y Leandro (2004, p.266) los mecanismos básicos de falla que se producen de manera más frecuente en el ámbito de las ingenierías civil y minera son la rotura plana, la rotura en cuña y la rotura por vuelco, las cuales se describen a continuación:

4.4.2.1. Rotura plana. Ocurre cuando una discontinuidad geológica, como la estratificación, buza en forma paralela hacia la cara del talud y su buzamiento es mucho mayor que el ángulo de fricción (figura 11). Según Turner y Schuster (1996) las condiciones estructurales para que ocurra una falla planar se resumen a continuación:

- La dirección de buzamiento del plano de discontinuidad planar (β) debe estar 20° dentro de la dirección de buzamiento de la cara del talud o ladera, en ambas direcciones: $\alpha_p = \alpha_f \pm 20^\circ$. Esa misma condición debe cumplirse en caso de trabajar con rumbo y buzamiento (figura 11.a).
- El buzamiento de la discontinuidad debe ser menor que el buzamiento de la cara del talud o ladera, además de inclinarse hacia dicha cara: $\psi_p < \psi_f$. Por lo que la estructura debe aflorar en la ladera (figura 11.a).
- El buzamiento de la discontinuidad debe ser mayor que el ángulo de fricción de la superficie de deslizamiento $\psi_p > \phi_p$ (figura 11.a).

Donde:

α_p : Dirección de buzamiento del plano de discontinuidad

α_f : Dirección de buzamiento de la cara del talud

ψ_p : Buzamiento del plano de discontinuidad

ψ_f : Buzamiento del talud

ϕ_p : ángulo de fricción

En la representación estereográfica los planos de discontinuidad que satisfagan las razones $(\alpha_f - 20^\circ) < (\alpha_p + 20^\circ)$ y $\phi_p < \psi_p < \psi_f$ son cinemáticamente viables para superficies de deslizamiento. Los círculos máximos que se encuentran dentro del área sombreada cumplen con las condiciones de rotura planar (figura 11.b.).

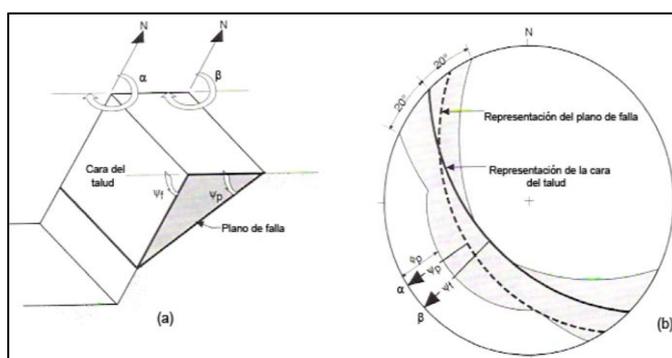


Figura 11. (a) Condición estructural en un deslizamiento plano, (b) Representación estereográfica.

Nota. Norrish N. y Wyllie D. 1996.

Se debe considerar que la evaluación de un deslizamiento puede ser influenciado por la presencia de la presión de poros (agua), a lo largo de la superficie de falla. Por lo que es posible generar un deslizamiento planar incluso si el ángulo de fricción es más alto que el manto de la estructura (Turner y Schuster, 1996).

4.4.2.2. Rotura en cuña. Ocurre cuando un bloque de roca se desliza a través de la intersección de al menos dos discontinuidades, las cuales buzcan hacia la cara del talud den un ángulo oblicuo hacia la cara del corte, formando un bloque en forma de cuña. Según Turner y Schuster (1996) las condiciones estructurales para que ocurra una falla por cuña son las siguientes:

- El rumbo de la línea de intersección (γ) debe aproximarse a la dirección de manto de la ladera (δ): $\alpha_i = \alpha_f$ (figura 12.a).
- La línea de intersección debe aflorar en la ladera. Para esto el buzamiento de la línea de intersección (Ψ_i) debe ser menor que el manto de la ladera (Ψ_f): $\Psi_i < \Psi_f$ (figura 12.a).
- El buzamiento de la línea de intersección (Ψ_i) debe ser mayor que el ángulo de fricción de la superficie (ϕ). En caso que el ángulo de fricción de ambas superficies que generan la cuña sean muy distintos, puede considerarse un ángulo de fricción promedio de ambas: $\phi < \Psi_i$ (figura 12.a).

- Si los ángulos de manto de los planos de las estructuras son menores a los ángulos de dirección de manto (Dip Dir) de la ladera y del azimut de la línea de intersección, entonces el deslizamiento ocurrirá en el plano de las estructuras de mayor manto (αa ó αb están entre αi y αf); en caso contrario el deslizamiento ocurrirá a lo largo de la línea de intersección.

En la representación estereográfica las combinaciones de planos de discontinuidad con una línea de intersección que aflore hacia la cara del talud $\alpha i = \alpha f \pm \psi$ y que satisfagan la desigualdad $\phi < \psi i < \psi f$ representan cinemáticamente fallamientos viables en cuña. Las líneas de intersección de aquellos planos deberán ubicarse dentro del área sombreada en la estereofalsilla. (figura 12.b.).

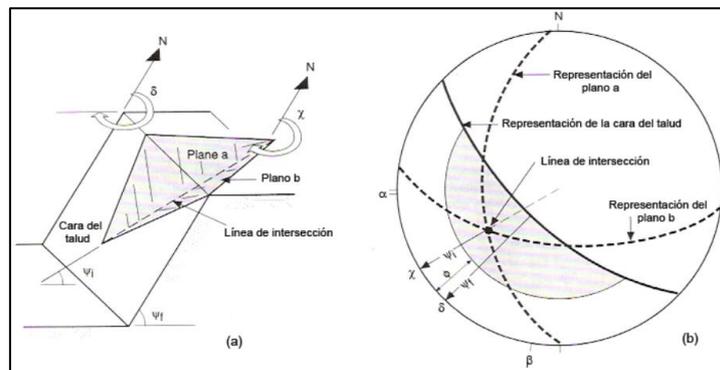


Figura 12. (a) Condición estructural en un deslizamiento en cuña, (b) Representación estereográfica.
Nota. Norrish N. y Wyllie D. 1996.

4.4.2.3. Rotura por vuelco. Estos movimientos implican una rotación de unidades con forma de columna o bloque sobre una base, bajo la acción de la gravedad y fuerzas ejercidas por unidades adyacentes o por inclusión de agua en las discontinuidades. Los vuelcos se pueden considerar exclusivamente de medios rocosos, condicionados por la disposición estructural de los estratos hacia el interior del talud y un sistema de discontinuidades bien desarrollado. Según Turner y Schuster (1996) las condiciones necesarias para este mecanismo se enlistan a continuación:

- El rumbo de las capas debe ser aproximadamente paralelo a la superficie del talud, dentro de un rango de $\pm 20^\circ$.
- El manto de las capas (Ψp) debe ser en dirección opuesta al manto de la ladera (Ψf). Esta condición y la anterior se traducen en que la dirección del manto de las capas (αp), entre la dirección de la cara del talud (αf) debe de ser entre 160° y 200° , $\alpha p = (\alpha f \pm 180^\circ) \pm 20^\circ$ (figura 13.a).

- La recta normal al plano potencial de toppling ($90^\circ - \Psi_p$) debe tener un buzamiento menor que el manteo de la ladera (Ψ_f) menos el ángulo de fricción de la superficie (ϕ_p) (figura 13.a). Esta condición se representa como sigue:

$$(90 - \Psi_p) \leq (\Psi_f - \phi_p)$$

donde:

Ψ_p = manteo de las capas (planos)

Ψ_f = manteo de la ladera o cara del talud

ϕ_p = ángulo de fricción interna a lo largo de los planos

En la representación estereográfica los planos de discontinuidad que satisfagan las desigualdades $(\alpha_f + 160^\circ) \leq \alpha_p \leq (\alpha_f + 200^\circ)$ y $(90^\circ - \psi_p) < (\psi_f - \phi_p)$ son cinemáticamente viables como planos de vuelco. Los polos de éstos se ubicarán dentro del área sombreada. (figura 13.b.).

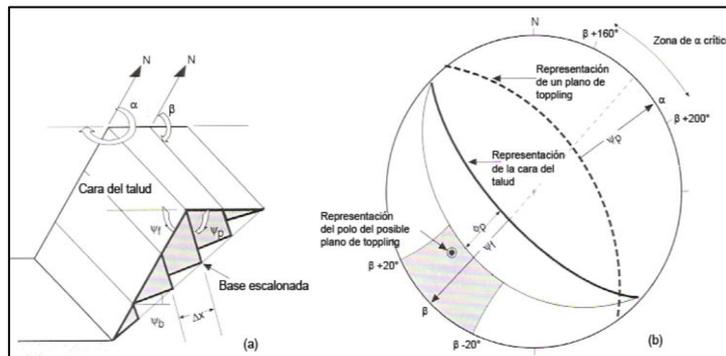


Figura 13. (a) Condición estructural para una falla por vuelco, (b) Representación estereográfica.
Nota. Norrish N. y Wyllie D. 1996.

4.4.3. Metodologías utilizadas en la estabilidad de taludes

Dentro de las metodologías para determinar la estabilidad de los taludes se encuentran los métodos de límite de equilibrio, los métodos numéricos y los métodos dinámicos para el análisis de caídos de roca y flujos, entre otros (Suárez D., 2009, p.136).

Los métodos numéricos son la técnica que muestra la mejor aproximación al detalle, de las condiciones de estabilidad en la mayoría de los casos de evaluación de estabilidad de taludes. Sin embargo, los métodos de límite de equilibrio, son más sencillos de utilizar y permiten analizar los casos de falla traslacional y de falla rotacional, así como las fallas de inclinación y las fallas en cuña (Suárez D., 2009, p.136).

En la tabla 12 se presenta un resumen de las metodologías utilizadas en los análisis convencionales de estabilidad de taludes.

Tabla 12. Metodologías utilizadas en la modelación de taludes.

Método	Parámetros Utilizados	Ventajas	Limitaciones
Límite de equilibrio	Topografía del talud, estratigrafía, ángulo de fricción, cohesión, peso unitario, niveles freáticos y cargas externas.	Existe una gran cantidad de paquetes de software. Se obtiene un número de factor de seguridad. Analiza superficies curvas, rectas, cuñas, inclinaciones, etc. Análisis en dos y tres dimensiones con muchos materiales, refuerzos y condiciones de nivel de agua.	Genera un número único de factor de seguridad sin tener en cuenta el mecanismo de inestabilidad. El resultado difiere de acuerdo con el método que se utilice. No incluye análisis de las deformaciones.
Esfuerzo-deformación continuos	Geometría del talud, propiedades de los materiales, propiedades elásticas, elastoplásticas y de creep. Niveles freáticos, resistencia.	Permite simular procesos de deformación. Permite determinar la deformación del talud y el proceso de falla. Existen programas para trabajar en dos y tres dimensiones. Se puede incluir análisis dinámico y análisis de creep.	Es complejo y no lineal. Comúnmente no se tiene conocimiento de los valores reales a utilizar en la modelación. Se presentan varios grados de libertad. No permite modelar roca muy fracturada
Discontinuos Esfuerzo deformación elementos discretos	Geometría del talud, propiedades del material, rigidez, discontinuidades resistencia y niveles freáticos.	Permite analizar la deformación y el movimiento relativo de bloques.	Existe poca información disponible sobre las propiedades de las juntas. Se presentan problemas de escala, especialmente en los taludes en roca.
Cinemáticos estereográficos para taludes en roca	Geometría y características de las discontinuidades. Resistencia a las discontinuidades.	Es relativamente fácil de utilizar. Permite la identificación y análisis de bloques críticos, utilizando teoría de bloques. Pueden combinarse con técnicas estadísticas.	Útiles para el diseño preliminar. Se requiere criterio de ingeniería para determinar cuáles son las discontinuidades críticas. Evalúa las juntas.
Dinámica de caídos de roca	Geometría del talud, tamaño y forma de los bloques y coeficiente de restitución.	Permite analizar la dinámica de los bloques y existen programas en dos y tres dimensiones.	Existe muy poca experiencia de su uso en los países tropicales.

Nota. Suárez D., 2009.

4.4.3.1. Métodos de equilibrio límite

Según Suárez D., (2009) éste sistema supone que, en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes, son iguales a lo largo de la superficie de falla y equivalentes a un factor de seguridad de 1.0.

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. En la tabla 13 se enumeran algunos de los métodos más utilizados.

Tabla 13. Métodos de límite de equilibrio.

Método	Superficies de Falla	Equilibrio	Características
Talud infinito	Rectas	Fuerzas	Bloque delgado con nivel freático, falla paralela a la superficie.
Bloques o cuñas	Cuñas con tramos rectos	Fuerzas	Cuñas simples, dobles o triples, analizando las fuerzas que actúan sobre cada cuña.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, son cero.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma	Fuerzas	Asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.

Nota. Suárez D., 2009.

4.4.4. Factor de Seguridad

De acuerdo con Suárez D., (2009) un análisis de límite de equilibrio permite obtener un factor de seguridad o a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla. Una vez se han determinado las propiedades de resistencia al cortante de los suelos, las presiones de poros y otras propiedades del suelo y del talud, se puede proceder a calcular el factor de seguridad del talud. Este análisis de estabilidad consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento (p.130).

El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1922, como se citó en Suárez D., 2009, p.130) 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:

$$F. S. = \frac{\text{Resistencia al cortante disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}}$$

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

$$F. S. = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}}$$

Existen, además, otros sistemas para plantear el factor de seguridad, tales como la relación de altura crítica y altura real del talud, métodos probabilísticos, así como tablas empíricas locales basadas en el comportamiento típico de los taludes (Suárez D., 2009, p.130).

La mayoría de los sistemas de análisis asumen un criterio de “límite de equilibrio” donde el criterio de falla de Coulomb es satisfecho a lo largo de una determinada superficie. Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para producir el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se compara con la disponible del suelo o roca y se obtiene una indicación del factor de seguridad.

Cuando el factor de seguridad es demasiado bajo y aproximadamente igual a 1, el talud está en un estado de fallo inminente. En general un valor de 1.5 para el FS es aceptable para el diseño de un talud estable (Braja D., 2013).

Además, según Suárez D. (2009) es importante tomar en cuenta el uso de los siguientes factores de seguridad mínimos recomendados por para la evaluación de deslizamientos:

FS < 1 = Inestable

FS 1.0 – 1.5 = Crítico

FS > 1.5 = Estable

5. Metodología

5.1. Área de estudio

5.1.1. Ubicación geográfica

El área de estudio se encuentra ubicada geográficamente al sur de Ecuador en la provincia de Loja, al norte del cantón Loja dentro de la parroquia Rural Santiago. Los límites de la parroquia Santiago son:

Norte: Parroquia Rural San Lucas

Sur: Parroquia Carigán perteneciente al cantón Loja

Este: Parroquia Rural San Lucas y Jimbilla

Oeste: Parroquia Taquil

El tramo de estudio El Gallo-Naranjo de 3 Km de longitud está comprendido dentro de la vía antigua a Cuenca de 28 km de longitud, la cual conecta la cabecera cantonal de Loja, con las parroquias rurales San Lucas, Santiago, Jimbilla, así como a la parroquia Imbana, perteneciente a la provincia de Zamora Chinchipe. En la presente tabla se detallan las coordenadas geográficas UTM WGS84 17S del punto inicial y final del tramo de estudio:

Tabla 14. Coordenadas del punto de inicial y final del tramo de estudio.

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Cota (msnm)
Inicial-El Gallo	698641.44	9575014.44	2020.33
Final-Naranjo	696824.75	9576155.61	1982.48

La figura 14 y anexo 13 representa la ubicación geográfica del tramo de estudio (3 Km) que comprende desde el barrio el Gallo – al barrio el Naranjo:

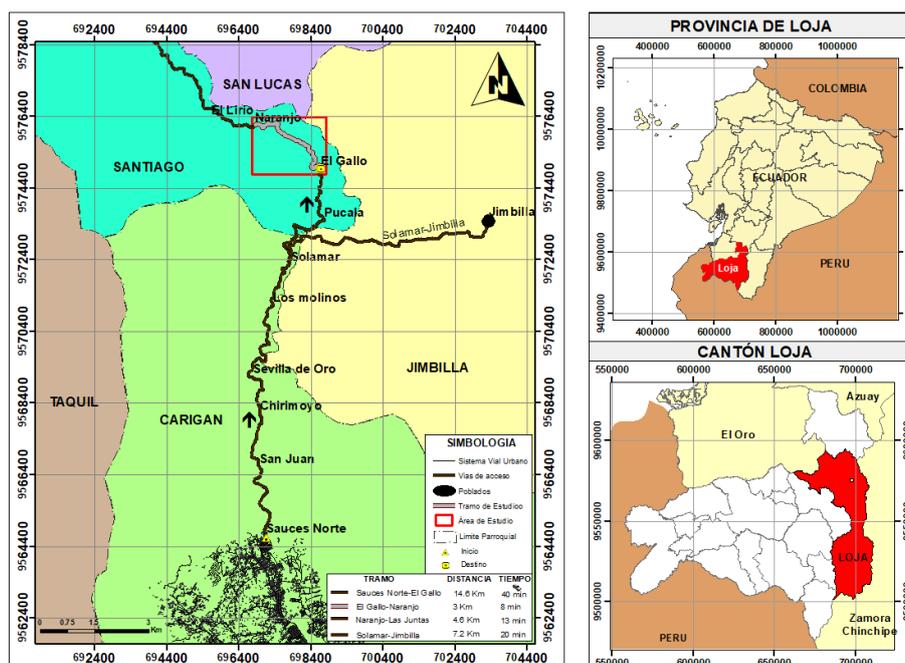


Figura 14. Ubicación y acceso al área de estudio.

Nota. Infoplan,2012, elaborado por autora, 2022.

5.1.2. Acceso

El Acceso desde la Ciudad de Quito se lo realiza desde el terminal terrestre de Carcelén durante un recorrido de 686 km por la vía de primer orden E35 “Troncal de la Sierra”, pasando por Latacunga, Ambato, Riobamba y Cuenca hasta llegar al terminal terrestre de la ciudad de Loja en un tiempo estimado de 11h 49 min en Transporte Terrestre (Figura 15).



Figura 15. Acceso a la Zona de estudio por la Troncal de la Sierra.

Nota. Google maps, 2022

Para acceder al área de estudio desde la ciudad de Loja se toma como referencia el terminal Terrestre Reina del Cisne y se sigue por la avenida 8 de diciembre hasta la ciudadela Saucos Norte. Desde este sector se recorre en dirección Sur-Norte por una vía lastrada conocida como la vía antigua a Cuenca hasta llegar a la entrada del barrio El Gallo ubicado a 14.6 km de distancia desde la ciudad de Loja. El tiempo de viaje es 30 minutos en vehículo particular y 40 minutos en la unidad de Transporte interparroquial Vinoyacu (Ver figura 14).

5.1.3. Clima

Según el Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia rural Santiago (2020), en la parroquia Santiago predomina un tipo de clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo, está entre los 1859 y 3667 m.s.n.m. las temperaturas oscilan de entre 10°C y 18°C. Los factores que dan origen al clima de la parroquia son la latitud y el relieve y se caracteriza por tener precipitaciones que fluctúan entre los 750 y 1500mm. Las temporadas donde la lluvia predomina son los meses de febrero, marzo, abril, mayo, octubre y noviembre.

La parroquia Santiago cuenta con un Bioclima Pluvial, el cual se caracteriza por la mayor parte del año tener lluvias que permiten abastecer las cuencas hídricas de donde se toma

el agua para consumo humano y para riego, prácticamente la totalidad de la población utiliza el agua lluvia para riego por lo que prácticamente carecen de sistemas especializados.

5.1.4. Hidrografía

Según el PDYOT de la parroquia Santiago (2020), la mayor parte de la parroquia Santiago se ubica dentro de la cuenca del río Santiago, esta representa el 96,39% de la superficie y; solo el 3,61% de la superficie es de la cuenca del río Catamayo - Chira.

La parroquia Santiago está dentro de la subcuenca del Río Zamora y se compone de dos microcuencas río Santiago y río Cenén, las cuales se alimentan de todas las quebradas y vertientes de agua que drenan y escurren desde la parte alta. El principal afluente de la parroquia es el Río Santiago, el cual se encuentra alimentado por: quebrada Minas, quebrada el Sauce, quebrada Chuquiral, quebrada Saguan, quebrada Gandil, quebrada Chacuyanta, quebrada Sayo, quebrada Atacuri, quebrada Chinchilla, quebrada Macará y otras quebradas de menor caudal. Otro afluente de importancia es el río Cenén alimentado por: quebrada Napo, quebrada Turbia, quebrada Onda, quebrada Chaguarqueral, quebrada Cascarilla, quebrada Challipaccha, y quebrada Lliclla. Además de los afluentes principales hay quebradas de importancia tales como: quebrada Lirio, quebrada Gallo, quebrada Bunque y quebrada Naranja. Todos los afluentes desembocan en el río San Lucas que es el límite parroquial y además reúne todas las aguas provenientes de la parroquia Santiago y San Lucas para finalmente desembocar en el río Zamora.

La vía antigua a cuenca tramo el Gallo-Naranja corre paralela al río San Lucas, la cual forma parte de la cuenca del río Santiago dentro del límite parroquial San Lucas y se alimenta del río Bunque; la quebrada el naranja; quebrada el bunque; quebrada Illizhapa; quebrada el gallo; y vertientes permanentes de bajo caudal en época de verano. En la siguiente figura se observa la red hidrográfica del área de estudio:

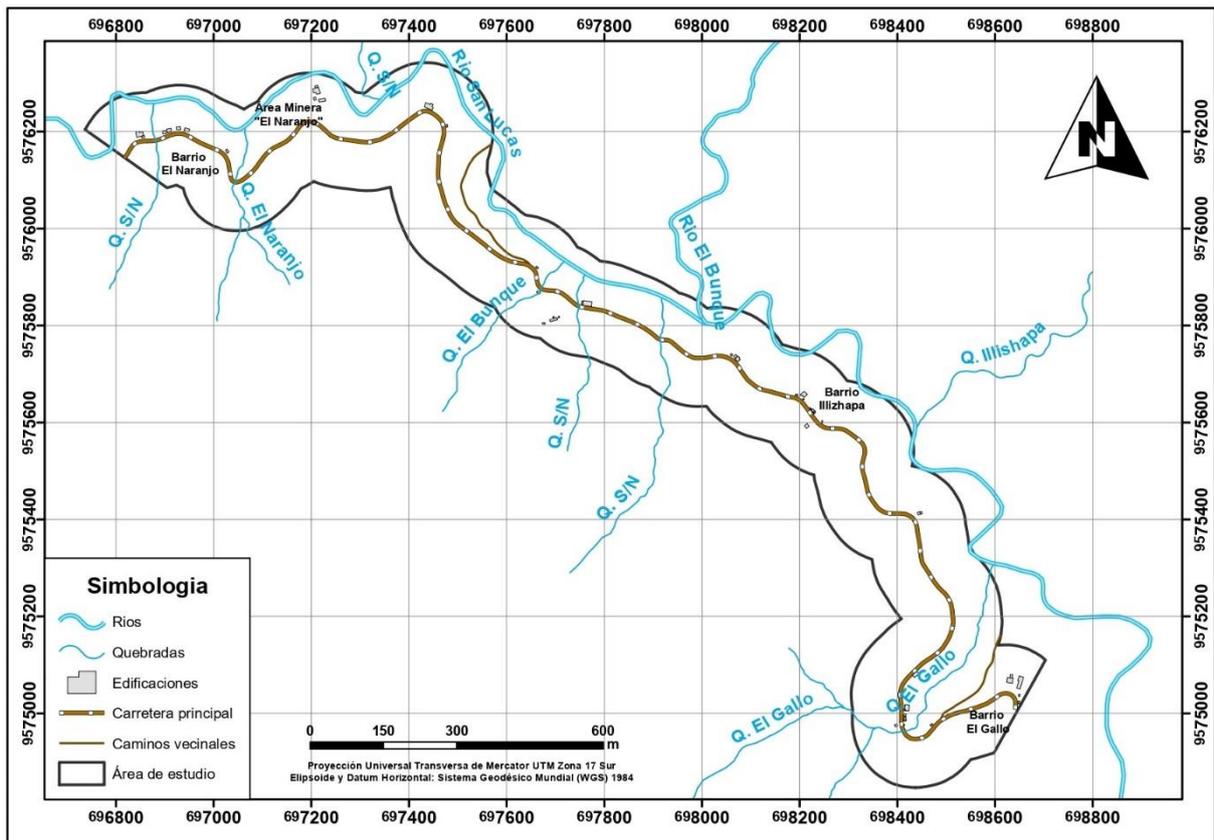


Figura 16. Hidrografía del área de estudio tramo El Gallo-Naranjo.

5.1.5. Geología Regional

Geográficamente el tramo de estudio se ubica al Sur de la Cordillera Real del Ecuador dentro de la provincia y cantón Loja, entre las parroquias rurales San Lucas, Santiago y Jimbilla y según la carta geológica de Loja en estas parroquias se encuentra la presencia de rocas graníticas pertenecientes al batolito de San Lucas; granitoides de la unidad tres lagunas y rocas metamórficas de la unidad Agoyán. Estas litologías se localizan en la parte central, extendiéndose hacia el sur y norte del tramo de estudio. En la siguiente figura y en el anexo 15 se presenta a la geología regional del área de estudio la cual es un fragmento de la carta geológica de Loja a escala 1:100000 INIGEMM - 2017 - 003, Hoja 56, N VI-F.

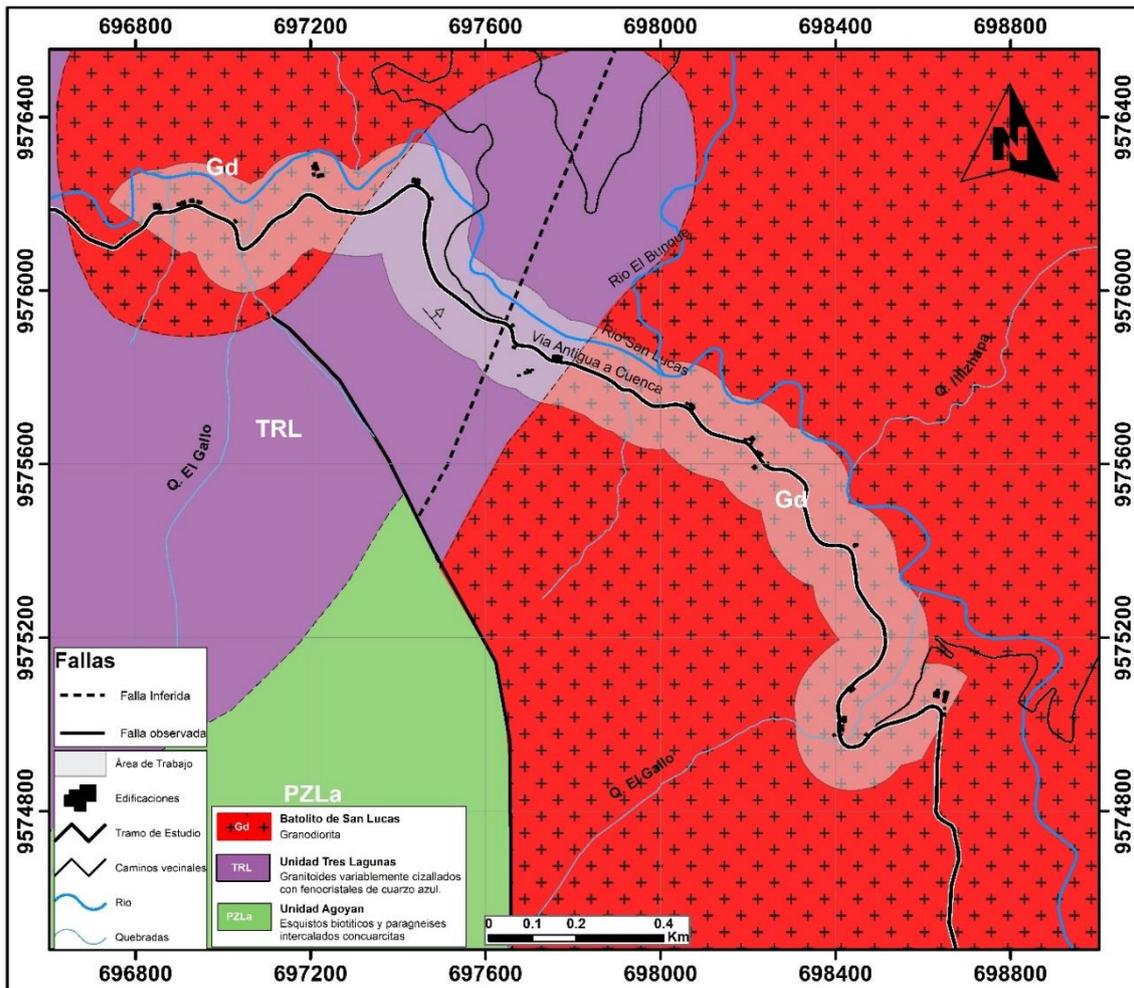


Figura 17. Geología Regional del área de estudio.

Nota. INIGEMM, 2017, elaborado por la autora 2022

A continuación, se describen las principales unidades y formaciones geológicas dentro del área de estudio:

5.1.5.1. Batolito de San Lucas (Gd)

Según (Litherland et al,1994) el cuerpo de mayor extensión es el batolito de San Lucas cuya edad varía entre 66 y 51Ma ha cristalizado a inicios del Eoceno entre rocas Paleozoicas y el Granitos tipo S de la Unidad Tres Lagunas, en una corteza continental de 20 a 30 km de espesor aproximadamente, ha ascendido mediante fracturas y/o contactos de estas rocas, este intrusivo es producto de la convergencia entre la placa Farallón y Sudamericana, con una alta tasa de convergencia ($>100\text{mm/año}$) (Pardo y Molnar, 1987). Se expone en la parte centro sur y norte del área y los mejores afloramientos se presentan en la vía Cuenca - Loja entre los poblados San Lucas y Santiago. Este cuerpo granodiorítico muestra variaciones a granito, con textura fanerítica de grano medio a grueso, compuesto por plagioclasa, feldespato alcalino, cuarzo, biotita y menor hornblenda. Es frecuente la presencia de colgajos del basamento metamórfico.

5.1.5.2. Unidad Tres Lagunas (TRL)

Los principales afloramientos se encuentran en la vía Salapa Alto-Quebrada Solamar y a lo largo de la vía antigua a cuenca en la parte oeste y norte del área de estudio. Consiste de cuerpos masivos de granitoides variablemente cizallados de grano medio a grueso, con plagioclasa, moscovita, biotita y fenocristales de cuarzo azul, las rocas evidencian recristalización, deformación y metamorfismo. Claramente hay muestras que evidencian una deformación incipiente con texturas grano-lepidoblástica hasta lepidoblástica y estructuras gnéisicas-esquistosas. Al norte de Loja, la unidad se encuentra intruída por el Plutón de San Lucas. Litherland y otros (1994), señalan una edad de $227,6\text{Ma} \pm 3,2\text{Ma}$ Triásico superior. Es la principal Unidad ígnea de la división Loja constituida por granitoides como granitos tipo S emplazados en una zona de rift, y asociada con las rocas metasedimentarias de Chigüinda y Agoyán a lo largo de la Cordillera Real, en formas que van desde batolitos a lentes tectónicamente separados con pocos centímetros de ancho (Aspden et al., 1992b). Las rocas evidencian recristalización, deformación y metamorfismo.

5.1.5.3. Unidad Agoyán (PZLa)

Se encuentra en la parte central de la carta geológica de Loja, pero proyectada hasta el norte de la cuenca de Loja, en el sector de Quilloloma hasta Solamar. Los contactos con las unidades adyacentes son tectónicos. Se desconoce su espesor, pero está estrechamente relacionada con los granitoides de Tres Lagunas. Está constituida por esquistos biotíticos intercalados con cuarcitas grises que regularmente presentan segregación de biotita, y para gneises con bandeamiento de cuarzo y biotita. Análisis geocronológicos de K/Ar indican una edad de 417 Ma (Everden, 1961) y cretácico tardío (Litherland et al., 1994), por lo que la edad deposicional de la Unidad Agoyán es probablemente paleozoico.

5.2. Materiales y Equipos

Para cumplir con los objetivos plantados en la presente investigación se utilizaron diversos materiales, equipos, herramientas y softwares los cuales se especifican en la tabla 15:

Tabla 15. Equipos y Materiales a utilizar en el desarrollo del proyecto.

Topografía	
Campo	Oficina
- Vehículo aéreo no tripulado con cámara fotográfica de alta resolución y gps dual integrado marca dji mavic 2 pro.	- Carta Topográfica de Loja Norte escala 1:50000
- Gps emlid reach	- Computador Hp
- Estacas de madera (30 cm)	- Google Earth Pro
- Cinta amarilla de peligro (16 m)	- Microsoft Excel
- Cámara fotográfica	- Programas (Emlid studio, Agisoft Metashape Professional 1.8, 3D pilot, avensa maps)
	- Software ArcGis 10.8

Geología		
Campo	Laboratorio	Oficina
<ul style="list-style-type: none"> - Brújula tipo brunton - Martillo geológico - Gps garmin etrex10 - Flexómetro - Ácido clorhídrico 10% - Lupa 30x 60x - Fundas ziploc - Lápiz, lápices de colores - Tablero - Fichas de campo 	<ul style="list-style-type: none"> - Microscopio Petrográfico óptico 	<ul style="list-style-type: none"> - Mapa geológico de Loja a escala 1:100000 - Mapa geológico de la parroquia rural Santiago a escala 1:50000 - Ortofoto escala 1:5000 - Software ArcGis 10.8 - Programas Office
Geofísica-Geotecnia		
Campo	Laboratorio	Oficina
<ul style="list-style-type: none"> - Pala, pico, barreta - Sacos y fundas ziploc - Resistivímetro marca Abem modelo terrameter Sas 4000 y accesorios (electrodos, carretes de alambre, combos, conectores) - Esclerómetro - Martillo de schmidt - Peine de barton - Martillo geológico - Brújula tipo brunton - Flexómetro - Combo de 5kg - Cinceles - Cámara fotográfica - Gps garmin - Fichas de campo 	<ul style="list-style-type: none"> - Tamices (3" - #200) - Balanza Analítica - Horno - Cuchara de Casagrande - Vidrio esmerilado - Cubos de roca - Prensa Uniaxial - Cronómetro - Porrón - Tamiz #200 - Bandejas - Brocha - Pissetas de agua destilada - Cápsulas - Agua Destilada - Picnómetro - Bomba de Vacío - Equipo de corte directo (caja, pesas, deformímetros, piedra porosa, compactador y anillo cuadrado) 	<ul style="list-style-type: none"> - Computadora Laptop Hp - Software ArcGis 10.8 - Software Autocad 2017 - Software IPI2Win - Software Leapfrog Geo 5.0.1 - Programa Datacom - Programas Office - Paquete ROCSCIENCE (RocLab 1.0, Slide 5.0, Dips 7.0) - Ortofoto escala 1:5000 - Fichas de laboratorio

5.3. Método

El método que se empleó para cumplir con los objetivos planteados es analítico con un enfoque mixto, tipo de investigación correlacional, con un diseño muestral poblacional aleatorio, donde la población representa a todos los taludes y laderas de la vía antigua a Cuenca en el tramo comprendido entre El Gallo y El Naranjo, y la muestra son los taludes y laderas más representativos de acuerdo a características topográficas, litológicas, estructurales,

hidrológicas y geotécnicas de todo el tramo a los cuales se les realizó los estudios y ensayos pertinentes.

5.3.1. Metodología para el primer objetivo

“Elaborar el levantamiento topográfico y geológico a escala 1:5000 de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo– Naranjo”

5.3.1.1. Levantamiento Topográfico

Para obtener la topografía escala 1:5000, se trabajó mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado con cámara fotográfica de alta resolución y GPS integrado (DJI MAVIC 2 PRO) perteneciente a la empresa Setia Group S.A.

5.3.1.1.1. Planificación de vuelo

Como etapa previa al levantamiento de campo se recopiló información bibliográfica sobre acceso, clima, vegetación y relieve con referencia al área de estudio, luego se elaboró un plan del vuelo para cubrir toda el área, definiendo la altura a la cual volará el dron en función de la escala requerida para este caso en particular fue de 310 m de altura, además previamente en google Earth pro se ubicaron los 7 puntos de control que debían ser posicionados en campo (figura 18) y finalmente se definió el día más idóneo para el levantamiento en función de las características hidrometereológicas del sector (clima y dirección del viento).



Figura 18. Puntos de control para levantamiento de información.

Nota. Google Earth Pro, 2022.

5.3.1.1.2. Trabajo de Campo

El primer paso fue colocar al margen derecho de la vía la estación fija y posteriormente levantar los puntos de control terrestres mediante el GPS de precisión Emlid Reach, para lo cual mediante la aplicación Emlid se conectó la estación base con el Rover móvil y de esta manera se levantaron los 7 puntos de control posicionados a lo largo de todo el tramo de estudio.

Mientras se levantaron los puntos de control se colocaban estacas de madera pintadas de color rojo, además se señalaba con cintas de peligro color amarillo en forma de cruz de 1m por lado, con la finalidad de que estas marcas sean visibles durante el vuelo. La información recopilada por cada punto se la registro en fichas las cuales se presentan en el Anexo 1.

Seguidamente se realizó la configuración y preparación del dron y mediante el plan de vuelo previamente realizado en el software 3D pilot se efectuó el vuelo a través de las 6 líneas, las mismas que tenían como finalidad poder abarcar de 50m a 80m fuera del área de estudio, y de esta manera evitar errores de traslape en el post procesamiento de las fotografías.

5.3.1.1.3. Trabajo de oficina.

Primeramente, se descargaron todos los datos almacenados en la aplicación Emlid referente a los puntos y las imágenes del dron para su posterior procesamiento fotogramétrico y generación de datos espaciales.

Seguidamente se georeferenció la coordenada de la base con la estación permanente REGME ubicada en el Edificio de CITTES en la Universidad Técnica (Anexo 2), este procedimiento se lo realizó debido a que en campo el GPS diferencial no localizó ninguna antena cercana, ya que en el área de estudio no hay ninguna señal de internet ni de telefonía. En la tabla 16 se presentan las coordenadas de la antena REGME-UTPL código LJEC en UTM WGS84:

Tabla 16. Coordenada de la estación permanente, usada para georreferenciar el GPS diferencial.

Antena REGME-UTPL código LJEC			
Zona	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud msnm
17 S	700008.309 m.	9558951.575 m.	2016.4

Nota. Instituto Geográfico Militar, 2020

Posteriormente se procesan las coordenadas obtenidas de la base y el Rover mediante el programa Emlid studio y se convierten de coordenadas geográficas a UTM WGS84 usando el software Geographic Calculator. En la tabla 17 se observan los 7 puntos de control resultantes en coordenadas WGS84.

Tabla 17. Puntos de Control Procesados.

Puntos de control del Tramo El Gallo-Naranja							
Punto	Coordenadas Geográficas (WGS84)			Coordenadas UTM (WGS84)			Error (m)
	Longitud	Latitud	Altitud	Este	Norte	Altitud (m)	
1	-79.225797	-3.832650	1998.714	697017.201	9576166.75	1981.20341	0.000000
2	-79.227416	-3.832546	2000.723	696837.378	9576178.57	1983.21018	0.050762
3	-79.221697	-3.832160	2000.728	697472.794	9576219.99	1983.22092	0.182478
4	-79.220071	-3.834816	1997.667	697652.777	9575925.92	1980.17034	0.179736
5	-79.217576	-3.836168	1997.267	697929.607	9575775.75	1979.77746	0.053766
6	-79.213021	-3.839502	2001.781	698434.837	9575406.05	1984.30677	0.000000
7	-79.213306	-3.843345	2015.064	698402.253	9574981.12	1997.60096	0.003610

Nota. Setia Group,2022

Luego de haber descargado las fotografías tomadas por el vehículo aéreo no tripulado se realizó el procesamiento mediante el uso del software Agisoft Metashape Pro v1.8.0, en esta etapa se corrigió las fotografías con las coordenadas UTM WGS84 de los puntos de control, además se eliminaron las fotografías con no tenían buena resolución, posteriormente se orientó las fotos y luego el programa automáticamente creó la nube de puntos, modelos digitales de superficie (MDS) y terreno (MDT) y el ortomosaico (ortofoto). Cabe mencionar que el MDS representa todos los elementos existentes o presentes en la superficie de la tierra, por lo tanto, para la creación del DEM se filtró la cobertura vegetal e infraestructuras, árboles, postes y líneas eléctricas. Consecutivamente se obtienen las curvas de nivel cada 1 metro.

Finalmente, con la información generada en el Software ArcGis 10.8 se realizó el mapa topográfico a escala 1:5000, donde las curvas principales están cada 5 metros y las secundarias cada 1 metro en el Datum de referencia usado en la república de Ecuador UTM WGS 84, Zona 17 Sur (Anexo 3. *Reporte de procesamiento de datos*).

5.3.1.2. Levantamiento Geológico-Estructural

Debido a la extensión del área de estudio se realizó el levantamiento teniendo como base la geología del sitio que se encuentra en el mapa geológico de Loja a una escala 1:100000 y el mapa litológico de la parroquia rural Santiago que se encuentra en el PDOT 2019-2023 a escala 1:50000.

Cabe mencionar que mediante un análisis de la ortofoto generada anteriormente en el levantamiento topográfico se delimito a los principales afloramientos y movimientos en masa dentro del área de estudio para facilitar su localización y descripción en campo tendiendo como base el manual de levantamiento geológico de Echeveste (2018) “*Mapeo por afloramientos o mapeo de todos los afloramientos*”.

5.3.1.2.1. Trabajo de Campo

El levantamiento geológico en campo comprendió a todo afloramiento visible de origen natural o antrópico que se encuentre a lo largo de la vía y a una faja de 100 por lado, a través de caminos, senderos, quebradas, taludes, laderas con cortes y deslizamientos; además se tomó datos de estructuras geológicas como fallas y contactos geológicos que se presentaron dentro del área de estudio usando como instrumento de recolección de datos fichas de descripción de afloramientos (Anexo 4) y equipos como brújula, lupa, piqueta, ácido clorhídrico y cinta métrica. De la misma manera se realizó un inventario de deslizamientos mediante fichas de movimientos en masa (Anexo 5).

A continuación, se indica la ubicación geográfica de los afloramientos y deslizamientos levantados dentro del área de estudio.

Tabla 18. Ubicación geográfica de afloramientos y deslizamientos.

Descripción	Sistema de Coordenadas (UTM Datum WGS84 17S)		
	X	Y	Z
Afloramientos			
Afloramiento 1	698636.15	9575015.01	2023.00
Afloramiento 2	698534.58	9574996.09	2013.12
Afloramiento 3	698442.77	9575341.32	1986.05
Afloramiento 4	698425.23	9575401.08	1988.33
Afloramiento 5	698326.55	9575486.66	1986.77
Afloramiento 6	697881.05	9575787.96	1987.48
Afloramiento 7	697697.85	9575868.72	1987.80
Afloramiento 8	697628.31	9575922.06	1985.46
Afloramiento 9	697481.56	9576022.34	1984.18
Afloramiento 10	697065.39	9576101.61	1994.32
Afloramiento 11	696858.81	9576171.82	1991.68
Deslizamientos			
Deslizamiento 1	698534.58	9574996.09	2013.12
Deslizamiento 2	698385.02	9574976.17	1998.08
Deslizamiento 3	698443.94	9575103.33	1994.87
Deslizamiento 4	698505.84	9575222.86	1987.07
Deslizamiento 5	698208.89	9575631.88	1989.60
Deslizamiento 6	697870.32	9575799.25	1986.19
Deslizamiento 7	697465.84	9576207.72	1986.84
Deslizamiento 8	697249.62	9576180.52	1986.44
Deslizamiento 9	697025.25	9576136.75	1990.73

Cada afloramiento y deslizamiento fue georreferenciado mediante GPS garmin. En los afloramientos se tomaron datos estructurales como rumbo, buzamiento y dirección de buzamiento con la brújula brunton, además se describió tonalidades, grados de meteorización y se recolectó una muestra de mano para análisis petrográfico.

5.3.1.2.2. Trabajo de oficina

En oficina se describió a las rocas que fueron tomadas como muestras de mano en campo por cada afloramiento visible mediante un reconocimiento macroscópico con ayuda de la lupa 30x 60x. Debido a la dificultad por identificar a las rocas a causa de la meteorización que presentaban se llevó 4 muestras de roca al laboratorio de Petrografía de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Universidad Nacional de Loja donde se empleó la ficha de descripción petrográfica de muestras (Anexo 6).

Con base a los datos recopilados de los 11 afloramientos y 9 deslizamientos presentes en el sector se procedió a elaborar el mapa geológico a escala 1:5000 mediante el sistema de coordenadas UTM Datum WGS84, zona 17 Sur en el software ArcGis 10.8 donde se ubicaron a los puntos GPS de los afloramientos y lugares de los cuales se recogieron muestras de mano, posteriormente se representaron en shapefiles correspondientes a puntos, líneas y polígonos a las litologías, datos estructurales, contactos observados, contactos inferidos y fallas.

Las estructuras geológicas como contactos inferidos fueron fotointerpretados y delimitados tendiendo como base a la ortofoto del área de estudio escala 1:5000, el mapa de sombras elaborado con base al DEM y las curvas de nivel; considerando los criterios como patrones de drenaje, tonalidades y colores característicos para el reconocimiento de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas (Figura 19), expuestos en el libro de “fotogeología práctica” de Naranjo (2015). Mientras que las estructuras como fallas y contactos observados fueron levantados y verificados en campo mediante el mapeo por afloramientos previamente realizado.

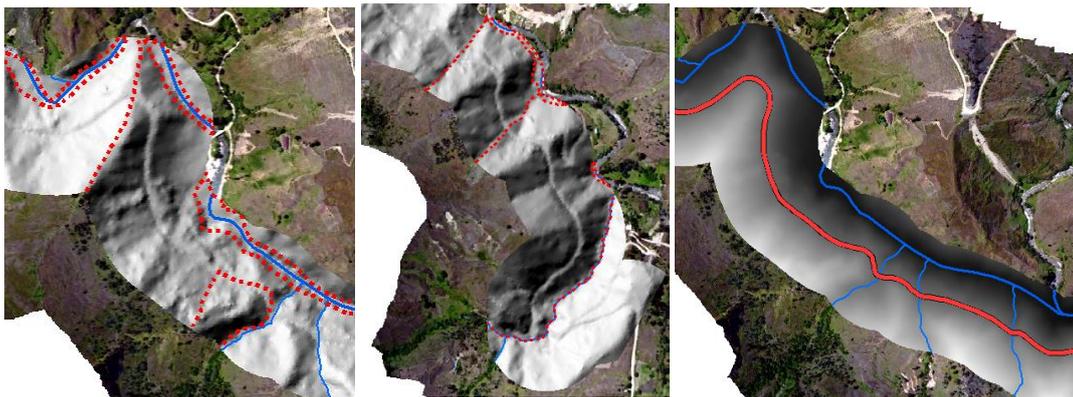


Figura 19. Análisis de la ortofoto, hillshade y dem.

Para la elaboración y presentación de la leyenda del mapa se tomó como referencia a la leyenda de la carta geológica de Loja escala 1:100000 (INIGEMM, 2017); y para la presentación se la simbología geológica se tomó en cuenta la resolución Nro.2019-082-DE la cual presenta los estándares de nomenclatura estratigráfica, simbolización y abreviaturas para

la cartografía geológica (IIGE,2019). Finalmente, tras la elaboración del mapa geológico se realizaron cuatro cortes geológicos teniendo como base a los perfiles topográficos previamente realizados.

5.3.1.3. Mapa de Pendientes

Para obtener el mapa de pendientes se aplicó el software ArcGis 10.8, mismo que utilizó las curvas de nivel obtenidas en el levantamiento topográfico. Para la elaboración del mapa en oficina se realizaron los pasos mencionados en la figura 20 el cual es un diagrama de flujo Model Builder, en donde primeramente se creó un Modelo TIN, luego se lo transformó a un modelo raster DEM, posteriormente con la herramienta de análisis espacial se procedió a crear el modelo de pendientes (Slope) en grados. Luego, se lo reclasificó de acuerdo a la metodología de clasificación de pendientes propuesta por Demek (1972), que se muestra en la tabla 19. Finalmente, el mapa reclasificado de pendientes se convirtió a formato vector, en donde se calcularon los parámetros de área (Ha) y porcentaje.

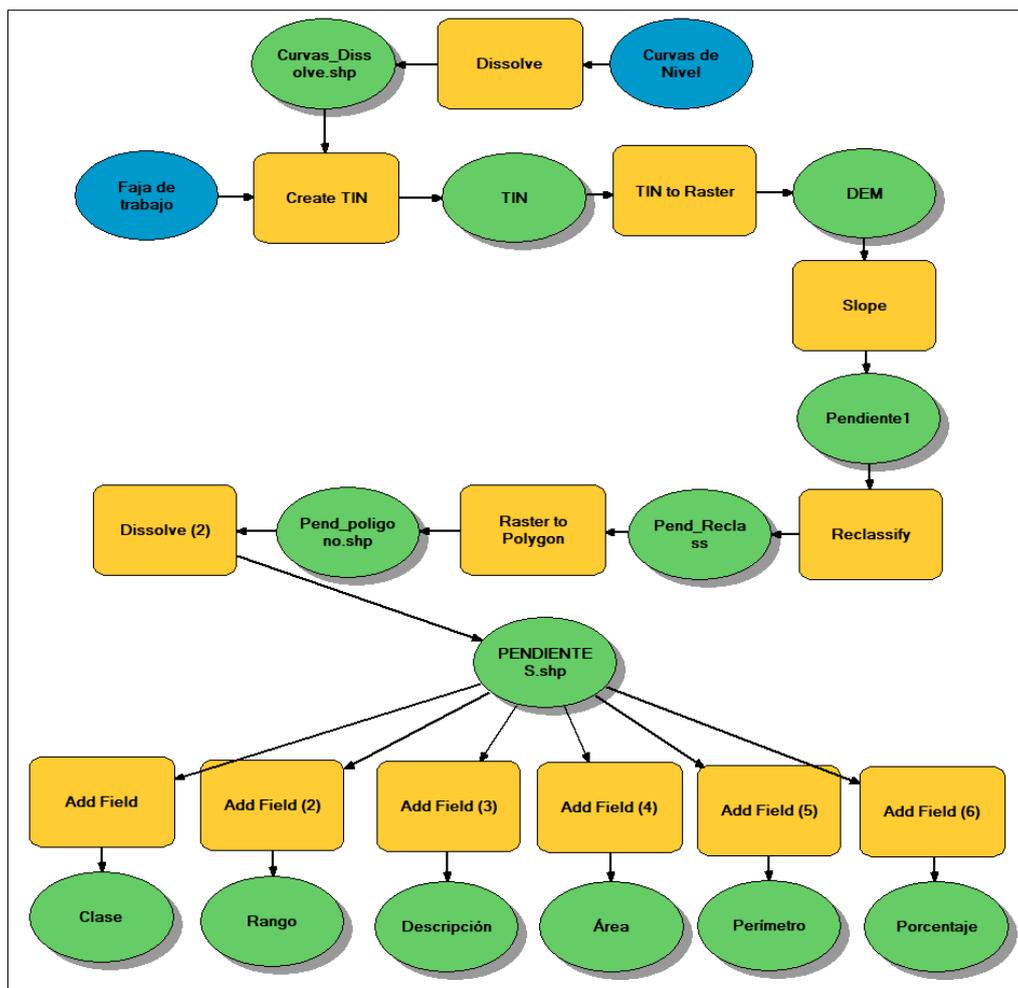


Figura 20. Procedimiento para la elaboración del mapa de pendientes.

Tabla 19. Clasificación de las pendientes según DEMEK,1972.

Rango de la Pendiente (°)	Gradiente	Descripción	Color
0-5	3.5-8.7	Ligeramente inclinado	
>5-15	8.7-26.8	Fuertemente inclinado	
>15-35	26.8-70	Muy inclinado	
>35-55	70-143	Empinado	
>55	>143	Vertical	

Nota. Demek J., 1972.

5.3.1.4. Mapa geomorfológico

El mapa geomorfológico se fundamentó en la generación de información primaria obtenida de la observación de campo, la fointerpretación mediante ortofotos y herramientas GIS para generar insumos necesarios.

Para la elaboración del mapa geomorfológico se emplearon los siguientes insumos: ortofoto levantada en el área de estudio a escala 1:5000, mapa de pendientes elaborado previamente, y el Modelo digital de elevación (DEM) obtenido del levantamiento topográfico.

En el Software ArcGis 10.8 se tomó como base el DEM para elaborar el mapa de sombras (Hillshade.). El DEM sirvió además para generar el Índice de posición Topográfica (TPI) que muestra líneas de quiebre y curvaturas del terreno esenciales para delinear las geoformas.

Para elaborar el TPI en ArcGis 10.8 se emplea la herramienta Topography tools/Topographic Position Index (Jenness), donde se especifica la manera como realizar el análisis con celdas colindantes, en este caso se realizó el análisis por círculo desde el centro hacia afuera de la celda en un radio de acción de 30 del cual resultó el índice de posición topográfica con un degradado de colores. Los valores negativos representan zonas bajas como planicies y vaguadas; y los valores positivos representa a las zonas altas como colinas y relieve montañoso.

Posteriormente se elaboró un shapefile de polígonos para delimitar a cada una de las geoformas con base a la información obtenida de los insumos. Luego se realizó un dissolve de las geoformas y se prosiguió a clasificar las unidades geomorfológicas de mesorelieve de acuerdo a la clasificación propuesta por el Ministerio del Ambiente (2013), en la publicación “Modelo de unidades geomorfológicas para la representación cartográfica de ecosistemas del Ecuador continental.

Tabla 20. Clasificación de unidades geomorfológicas de mesorelieve.

Mesorelieve	Son las unidades geomorfológicas menores, de escala local (1-10 km) y que representan a un paisaje tridimensional (geoformas) caracterizado por uno o más atributos morfométricos, litológicos y estructurales. Se distinguen los siguientes: Edificios volcánicos, relieves montañosos, colinas altas, colinas medianas, colinas bajas, vertientes, entre otros.
--------------------	---

Relieves Montañosos	A este grupo se incluyen las montañas cuya altura y formas se deben a plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en diverso grado por los procesos de denudación fluvio – erosional y glaciárica, respectivamente.
Colinas Altas	Son unidades morfológicas con una topografía colinada arrugada con una diferencia de altura relativa de 75-200 m con una pendiente de 14-20 %.
Colinas Medianas	Son unidades morfológicas con una topografía ondulada con una diferencia de altura relativa de 25-75 m con una pendiente de 8- 13 %.
Vertientes	Es una superficie topográfica inclinada situada entre los puntos altos (picos, crestas, bordes de mesetas o puntos culminantes del relieve) y los bajos (pie de vertientes o vaguadas). El perfil de una vertiente puede ser regular, irregular, mixta, rectilínea, convexa y cóncava (es decir, con rupturas de pendiente), dependiendo de la litología y la acción de la erosión.
Terrazas	Son zonas llanas, bajas y estrechas formadas por depósitos aluviales de arenas características del Cuaternario combinados con guijarros grandes. Se localizan a ambos lados del plano inundable y originado por repetidos descensos del nivel de base de erosión.

Nota. Ministerio del Ambiente, 2013.

Para la asignación de colores a las unidades geomorfológicas se tomó como referencia al Mapa Geomorfológico hoja Loja Norte NVI-F4 a 1:25000 publicada por el MAGAP PRAT-SIGTIERRAS en el año 2015. Finalmente se calculó el área Ha y Porcentaje de cada geoforma y se obtuvo el mapa geomorfológico a escala 1:5000 de la zona de estudio (Anexo 18).

5.3.2. Metodología para el segundo objetivo

“Determinar las propiedades físico - mecánicas de los geomateriales presentes en la vía antigua a Cuenca tramo El Gallo– Naranjo”

5.3.2.1. Resistividad Eléctrica

Como un método prospección geofísica indirecto se realizaron 3 sondeos eléctricos verticales (SEVs) al pie de 3 deslizamientos críticos (MM5, MM6, MM9) los cuales permitieron determinar el espesor y profundidad de los materiales, condiciones geológicas y localización de agua subterránea. El método se lo realizó conjuntamente con la compañía ESTSUELCON CIA. LTDA.

Como paso previo a la fase de campo se hizo un reconocimiento del área de estudio in situ, para seleccionar los sitios específicos donde realizar los SEVs, considerando la topografía y características geológicas del sitio y se identificaron los posibles obstáculos que pudiesen impedir la correcta medición de la resistividad. A continuación, se detalla el procedimiento realizado en la fase de campo y de oficina.

5.3.2.1.1. Fase de Campo

La prospección geofísica con el método de resistividad eléctrica se realizó mediante sondeos eléctricos verticales (SEVs). Para determinar la resistividad de los materiales, se realizaron 3 sondeos con abertura AB/2 de 100 m, los cuales están ubicados en las coordenadas de la tabla 21 y representados en la figura 21.

Tabla 21. Coordenadas de ubicación de los SEVs realizados.

N° SEV	Coordenadas UTM WGS84 17S		
	X	Y	Z
1	697015	9576147	1990.73
2	697858	9575806	1986.19
3	698196	9575649	1989.60

Nota. Estsuelcon,2023

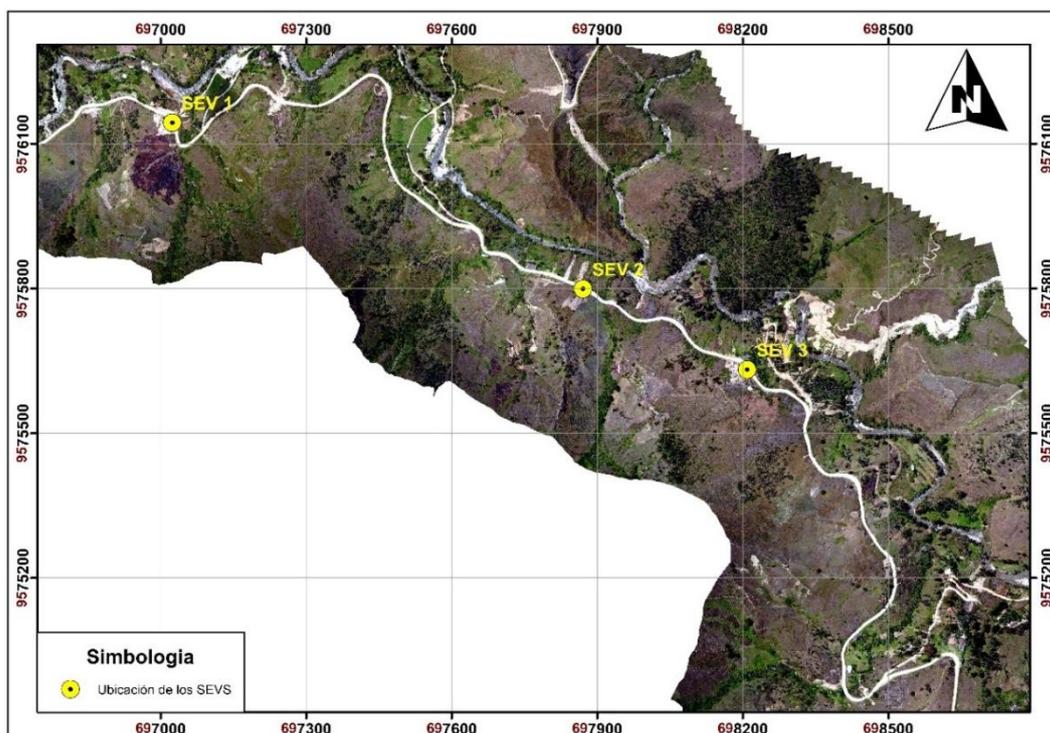


Figura 21. Ubicación de los puntos SEVs.

En el estudio de resistividad eléctrica, se utilizó el resistímetro marca ABEM modelo Terrameter SAS 4000, utiliza un voltaje máximo de salida a los electrodos de corriente igual a 400 voltios como se observa en la Figura 22.

La amplitud de corriente es fijada automáticamente por el instrumento, o por control manual para facilitar la adaptación a las condiciones reales de los estudios, con un rango de amperaje entre 1 mA a 1000 mA, suficiente para una separación de electrodos de corriente AB de hasta 1000.0 m. bajo buenas condiciones de medida.

El equipo SAS 4000 responde a las medidas creadas por el transmisor de corriente en el momento de su acción, mientras rechaza las existentes por campos DC (SP), voltaje y ruido; la relación V/I consta en las hojas de recolección de datos de cada sondeo (Anexo 7).



Figura 22. Equipo de resistividad eléctrica modelo Terrameter SAS 4000 (Izquierda), y disposición de electrodos en línea SEV2 (Derecha).

El arreglo empleado fue el de Schlumberger el cual consistió básicamente en emitir al terreno corriente continua o pulsante de baja frecuencia a través de un par de electrodos de acero (A y B) dispuestos en forma simétrica en una misma línea respecto del punto de atribución; y se mide la diferencia de potencial (DV) a través de otro par de recepción (M y N) dispuestos de igual forma. Básicamente el trabajo en campo consistió en:

- 1) Ubicar el equipo en el centro de la línea y revisar su correcta configuración para el arreglo Schlumberger.
- 2) Colocar en el equipo los carretes A y B en C1 y C2, y M y N en P1 y P2 respectivamente.
- 3) Colocar los electrodos en las distancias fijadas de acuerdo a la ficha de campo.
- 4) Anotar las resistividades obtenidas automáticamente por el equipo.

La ficha de campo utilizada para recopilar los datos se compone de la abertura $AB/2$ y MN , coeficiente geométrico K , resistividad aparente (Ohm.m), y la relación $\Delta V/I$ que se calcula automáticamente y visualiza en la pantalla digitalmente en kilohmios, ohmios o miliohmios. El registro de los datos de campo se adjunta en el Anexo 7 donde la resistividad aparente directamente se la calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$pa = K (\Delta V/I)$$

Donde:

pa = resistividad aparente en ohmios metro (Ωm)

K = coeficiente del dispositivo Schlumberger (m)

ΔV = diferencia de potencial en milivoltios (mv)

I = intensidad de la corriente continua en miliamperios (ma)

5.3.2.1.2. Fase de Oficina

Primeramente, los datos sobre resistividad obtenidos en campo fueron procesados en el interpretador automático IPI2Win que está diseñado para la interpretación automática o semi-automática de datos procedentes de un sondeo eléctrico vertical obtenidos con varios de los arreglos utilizados con más frecuencia en la prospección eléctrica en este caso el arreglo Schlumberger.

Posteriormente, se establecieron los espesores de las capas y las resistividades verdaderas de cada una de ellas, mismas que sirven para la construcción de pseudo-secciones aparentes. Para asumir la litología en función de las resistividades obtenidas de los SEVS se tomó en consideración la tabla 22, la cual fue adaptada de acuerdo a la litología local del área anteriormente determinada:

Tabla 22. Valores de resistividad para algunos tipos de suelo y roca.

Tipo de Suelo y Roca	Valor medio de resistividad en Ωm
Aluvión de limo	20-100
Arcilla suave	50
Arena arcillosa	50-500
Arena silíceas	200-300
Arenas no saturadas	400-700
Arenas Saturadas	100-200
Humus, moho de hoja	10-150
Limos no saturados	100-200
Limos saturados	20-100
Suelo pedregoso	1500-3000
Subsuelo pedregoso cubierto de hierba	300-500
Suelo fértil, relleno húmedo compactado	50
Suelo árido, grava, relleno no uniforme sin compactar	500
Suelo pedregoso, arena seca y desnuda, rocas agrietadas.	3000
Esquisto, pizarra	50-300
Granito y arenisca	1500-10000
Granito modificado y arenisca	100-600
Rocas ígneas, intrusivo o calizas	>300
Contacto entre rocas ígneas con lutitas	10-80
Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	>10000
Basamento. Roca fracturada	1500-5000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000

Nota. Electrical engineering toolbox, 2015 y Arias et al., 2012, adaptado por la autora, 2023

5.3.2.2. Calicata Geotécnica

5.3.2.2.1. Fase de Campo

Se realizó 1 calicata en un sector conformado por material altamente meteorizado (sábulo) delimitado previamente de acuerdo al levantamiento geológico perteneciente al batolito San Lucas, con la finalidad de observar directamente el terreno a profundidad y

determinar las características generales del suelo. La calicata está ubicada en las coordenadas que se presentan en la tabla 23 y figura 23:

Tabla 23. Ubicación de la calicata geotécnica.

#Calicata	Coordenadas UTM WGS84 17S		
	X	Y	Z
Cal. 1	698535.54	9574921.45	2066.86



Figura 23. Ubicación de la Calicata realizada con fines geotécnicos.

La calicata se realizó manualmente con pico y pala, de 1 metro por lado y 1.5 metros de profundidad teniendo en cuenta la norma NTP 339.162 (ASTM D420). En las siguientes fotografías se evidencia el procedimiento para la apertura de la calicata, desde el desbroce hasta la recolección de las muestras de 2kg de suelo de las paredes de la calicata por cada uno de los 3 estratos observados.



Figura 24. Procedimiento para la apertura de Calicata.

En la calicata se describió algunas propiedades físicas del suelo in situ como litología, color, humedad, potencias de capas o estratos, que se registró en la ficha de descripción de calicatas (Anexo 8). Finalmente se obtuvo 2kg de muestra de suelo de las paredes de la calicata y colocadas en bolsas para que conserven su estado natural (Figura 25), posteriormente fueron

llevadas y analizadas en laboratorio con su respectiva etiqueta para realizarles un análisis granulométrico, contenido de humedad, Límites de Atterberg ((límite líquido y límite plástico) y la clasificación de los suelos AASHTO y SUCS.



Figura 25. Muestras de suelo procedente de la calicata

5.3.2.2.2. Fase de Laboratorio

- **Análisis Granulométrico por Tamizado**

El análisis Granulométrico por Tamizado se lo realizó en las instalaciones del laboratorio de suelos y pavimentos DELTA CIA. LTDA. y se trabajó bajo las normas ASTM D421 y D422, cuyo procedimiento se describe a continuación:

Preparación de la Muestra:

- 1) Primeramente, según la norma D421, se dejó secar la muestra de suelo. Para verificar que la muestra esta seca después de un determinado tiempo se examinó su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si el material se puede romper y pulverizar fácilmente bajo la presión de los dedos, ya se puede efectuar el análisis con tamices.
- 2) Todo el material seco se lo procedió a pesar (figura 26a).
- 3) Después de preparar la muestra se dividió en dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (N° 4) y otra que pasa dicho tamiz (figura 26b). Ambas fracciones se ensayaron por separado.



Figura 26. Análisis granulométrico.

Nota. a) Peso inicial de la muestra, b) Separación del material en dos fracciones.

Fracción retenida en el Tamiz N°4

A las porciones retenidas en el tamiz N°4 se las paso entre una serie de fracciones usando los tamices 3” (75 mm), 2” (50 mm), 1 ½ “(37,5 mm), 1” (25,0 mm), 3/4” (19,0 mm), 3/8” (9,5mm), N°4 (4,75 mm). El material quedado por tamiz se lo peso y se anotó el valor.

Fracciones pasantes en el Tamiz N°4

- 1) Primeramente, se tomó en cuenta lo que menciona la norma, la cual menciona que el tamaño de la porción que pasa el tamiz N° 4 será aproximadamente 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos limosos y arcillosos.
- 2) Después de tener la muestra uniforme obtenida por cuarteo, se pesó la muestra seleccionada y se la llevó al horno durante 24 horas o hasta obtener una masa constante.
- 3) Una vez secada la muestra y enfriada, se procedió a tomar el peso de la muestra secada al horno y se lo lavó a través del tamiz N° 200, luego el material retenido se lo secó en el horno por 24 horas.



Figura 27. Lavado del material pasante el tamiz #4.

- 4) Pasadas las 24 horas se sacó el material del horno y se separó la porción de muestra retenida en el tamiz N° 4 en una serie de fracciones usando los tamices #10, #16, #40, #100 y #200.
- 5) Finalmente, del material retenido en cada tamiz se determinó el peso de cada fracción en una balanza analítica con una sensibilidad de 0.1 %.
- 6) Al término de las pesadas, la suma de las masas retenidas sobre la totalidad de los tamices usados será necesariamente igual a la masa original de la cantidad tamizada.
- 7) Una vez obtenido los pesos retenidos en los tamices, se procede a calcular el porcentaje retenido por cada tamiz con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{W_{\text{tamiz}}}{W_1} * 100\%$$

Donde

W_{malla} : Peso retenido en cada tamiz

W_1 : Peso de la muestra secada al horno

- **Contenido de Humedad**

El contenido de humedad se lo determinó en las instalaciones del laboratorio de suelos y pavimentos DELTA CIA. LTDA. y se trabajó bajo la norma ASTM D2216-98 cuyo procedimiento se describe a continuación:

- 1) Primeramente, a un espécimen de prueba se lo secó en un horno a temperatura de (110 ± 5 °C) hasta peso constante. La pérdida de peso durante el secado se lo consideró como agua.
- 2) La masa mínima del material húmedo que se seleccionó para ser representativa de la muestra completa, fue acorde a la siguiente tabla:

Tabla 24. Cantidades representativas de muestras de suelo para contenido de humedad.

Tamaño máximo de partículas (100% pasando)	Tamaño malla estándar	Masa mínima recomendada para especímenes húmedos de prueba para contenido de humedad reportada al ± 0.1%	Masa mínima recomendada para especímenes húmedos de prueba para contenido de agua reportado al ± 1%
2 mm o menos	#10	20 g	20 g*
4.75 mm	#4	100 g	20 g*
9.5 mm	3/8 pulg	500 g	50 g
19.0 mm	¾ pulg	2.5 Kg	250 g
37.5 mm	1 ½ pulg	10 Kg	1 Kg
75.0 mm	3 pulg	50 Kg	5 Kg

* - Para que sea representativo no se debe usar menos de 20 g.

Nota. Norma ASTM 2216-98

- 3) En una balanza analítica con precisión 0.000 g se obtuvo el peso de la cápsula, el peso de la muestra húmeda y peso de la muestra seca. Todos estos datos se anotaron en una libreta.
- 4) Seguidamente el contenido de agua se calculó usando el peso de agua y el peso del espécimen seco a través de la siguiente fórmula.

$$w = \frac{PH - PS}{PS - Pcap} * 100\%$$

Donde:

w: contenido de humedad %

PH: Peso de la cápsula y el espécimen húmedo, g

PS: Peso de la cápsula y el espécimen seco, g

Pcap: Peso de la cápsula, g

- **Límites de atterberg -Limite Liquido**

El limite Liquido se lo determinó según la norma ASTM D4318 en las instalaciones del laboratorio de suelos y pavimentos DELTA CIA. LTDA. cuyo procedimiento se describe a continuación:

a) Preparación del material.

Se utilizó únicamente la parte del suelo que pasa por la malla # 40 (0.42 mm). En un recipiente de porcelana se procedió a agregar o retirar agua según sea necesario y revolver la muestra hasta obtener una pasta semi-líquida homogénea en términos de humedad hasta que la constancia requiera alrededor de 25 a 35 golpes del dispositivo de límite líquido para cerrar la ranura. Luego se realizó el procedimiento indicado en el literal b.

b) Determinación del límite líquido.

- 1) Se colocó entre 50 y 70 g de suelo húmedo en la cuchara de Casagrande (Aprox $\frac{3}{4}$ del contenido de la cuchara), alisando la superficie a una altura de 1 cm con la espátula, cuidando de no dejar burbujas de aire en la masa de suelo (figura 28.a).
- 2) Usando el acanalador se separó el suelo en dos mitades según el eje de simetría de la cuchara.
- 3) Se giró la manivela de manera uniforme a una velocidad de dos revoluciones/seg; continuar hasta que el surco se cierre en $\frac{1}{2}$ " de longitud; anotar el número de golpes, cuando éste sea inferior a 40 (figura 28.b).
- 4) Se tomó una muestra de aproximadamente 5 g de suelo en la zona donde se cerró el surco y se lo pesó de inmediato para obtener su contenido de humedad, lo que permitió obtener un punto en el gráfico semi-logarítmico de humedad v/s número de golpes (figura 28.c).
- 5) Se vació el suelo de la cuchara de Casagrande a la de porcelana, y se continúa revolviendo el suelo con la espátula (suelo pierde humedad) para repetir el procedimiento unas 3 veces y de esta manera obtener mayor información para graficar.
- 6) Finalmente, en una hoja semilogarítmica se construyó la curva de flujo entre el contenido de humedad y el número de golpes, estos puntos se alinearon sobre una recta.



Figura 28. Determinación del límite líquido.

Nota. a) Material colocado en la cuchara de Casagrande, b) Material ranurado y golpeado, c) Muestra para determinar el contenido de humedad del suelo.

- **Límites de atterberg -Limite Plástico**

El limite Plástico se lo determinó en las instalaciones del laboratorio de suelos y pavimentos DELTA CIA. LTDA. bajo la norma ASTM D4318 cuyo procedimiento se describe a continuación:

- 1) Se utilizó aproximadamente 20 g de porción del material que quedó del ensayo del límite líquido.
- 2) Se secó el material al aire durante un cierto tiempo extendiéndolo sobre la placa de vidrio esmerilado; asegurando que se seque de manera uniforme.
- 3) Se tomó una bolita de suelo de 1 cm³ y se la amasó sobre el vidrio con la palma de la mano hasta formar bastoncitos de 3 mm de diámetro.
- 4) Seguidamente se reconstruyó la bolita de suelo, uniendo el material con fuerte presión de las puntas de los dedos y se amasó nuevamente un bastoncito hasta llegar al límite plástico. El límite plástico, w_p , corresponde al contenido de humedad para el cual el bastoncito de 3 mm, así formado, se rompe en trozos de 0.5 a 1 cm de largo.



Figura 29. Rollito de suelo que llegó al límite plástico.

- 5) Se pesó inmediatamente el bastoncito así formado para determinar su contenido de humedad.
- 6) Este procedimiento se lo repitió 3 veces y se promedió el valor de contenido de humedad.

- **Índice de plasticidad**

El índice de plasticidad se lo determinó a través de la siguiente fórmula:

$$IP=LL-LP$$

Donde:

LL= Límite líquido

LP= Límite Plástico

Finalmente, la clasificación se suelos se la realizó mediante una gráfica que correlaciona el índice de plasticidad y el límite líquido, además se consideró los criterios mencionados en el apartado 4.3.6. *Sistema de clasificación de suelos.*

5.3.2.3. Ensayo de corte directo

De los 9 deslizamientos inventariados a lo largo del tramo se seleccionó 1 deslizamiento rotacional activo representativo conformado por dioritas moderadamente meteorizadas para realizarle un análisis de estabilidad a través de la determinación de parámetros de resistencia cohesión y ángulo de fricción obtenidos mediante el ensayo de corte directo. En la tabla 25 y figura 30 se presenta la ubicación geográfica de la muestra de suelo tomada para el ensayo de corte directo.

Tabla 25. Ubicación de los puntos de muestreo.

Descripción	Coordenadas WGS84 UTM 17S			Lugar de referencia	Ensayo
	Norte Y	Este X	Cota Z		
D-4	9575215	698484	2011	El Gallo	Corte Directo 1

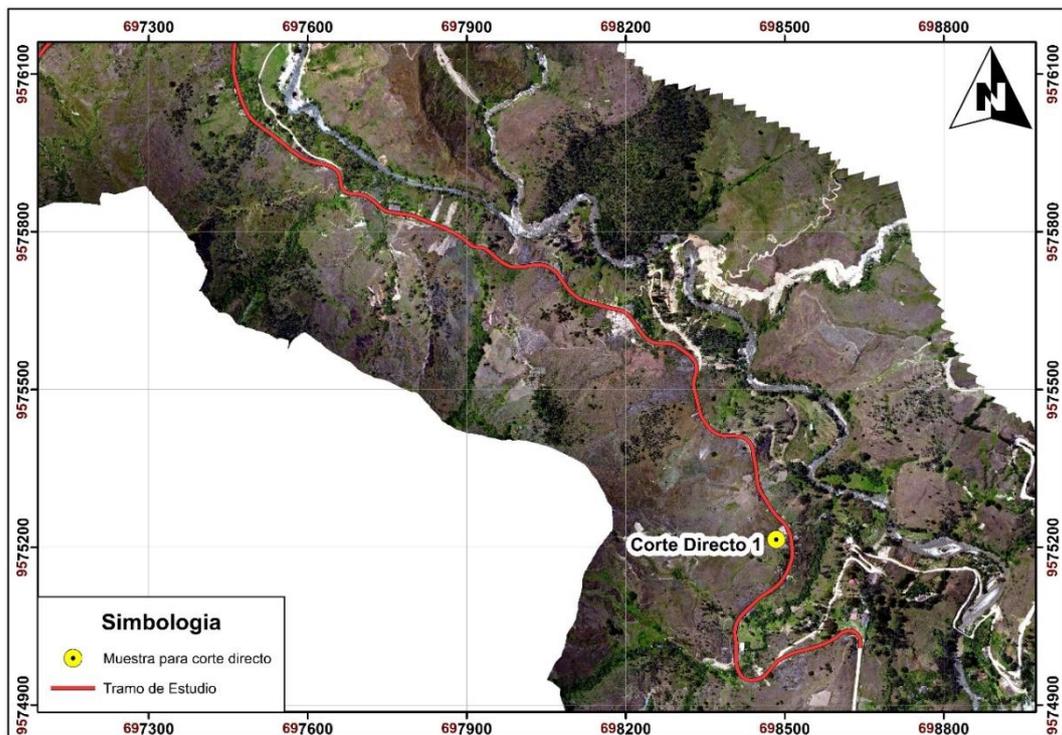


Figura 30. Ubicación del punto de muestreo para el ensayo de corte directo.

5.3.2.3.1. Fase de Campo

Debido a las características del suelo, el cual es un material disgregado y arenoso no se pudo obtener una muestra inalterada por lo tanto se procedió a obtener una muestra representativa a 5 metros sobre la corona del deslizamiento a una profundidad de 1.5 m tomando las debidas precauciones al momento de tomar la muestra, preservarla y transportarla considerando la norma ASTM D4220 para la conservación y transporte de muestras de suelo con el fin de evitar alterar las propiedades de la muestra (figura 31).



Figura 31. Extracción de la muestra para ser transportada a laboratorio.

5.3.2.3.2. Fase de Laboratorio

En el laboratorio de la carrera de geología ambiental y ordenamiento territorial sobre la muestra representativa obtenida e impermeabilizada en campo se realizó el ensayo de corte directo bajo las normas ASTM-D 3080 y AASHTO T 236 (consolidado drenado) cuyo procedimiento se describe a continuación:

- 1) Primeramente, se extrajo el material de las fundas ziploc y de la cinta masking transparente. Cabe mencionar que la cantidad de muestra debe ser lo suficientemente grande para poder obtener 3 especímenes similares para realizar el ensayo (figura 32.a).

Se pesó una porción pequeña de la muestra inicial húmeda y se la colocó en el horno a una temperatura de 105° , para volverla a pesar después de 24 horas y calcular el contenido de humedad de la muestra de suelo bajo la norma ASTM D2216-98.

- 2) En segundo lugar, el procedimiento a seguir para el desarrollo del ensayo es el siguiente:
 - Pesar el anillo cuadrado.
 - Moldear el material disgregado en el anillo cuadrado de dimensiones: largo 6cm, ancho 6cm y 1.5 cm de espesor. Seguido a esto pesar la muestra + anillo cuadrado, y de esta manera conocer el peso inicial de la muestra (figura 32.b).
 - Ensamblar la caja de corte colocando una piedra porosa húmeda en la base de la caja de corte, luego papel filtro húmedo, posteriormente la muestra de suelo y encima de esta, otro papel filtro y piedra porosa húmeda. Después fijar mediante tornillos y colocar la caja en el dispositivo de corte (figura 32.c).
 - Llenar con agua la caja de corte y una vez colocada la caja ensamblada retirar los tornillos, conectar y ajustar el sistema de corte, así como los deformímetros de medición del desplazamiento horizontal y vertical (figura 32.d, e).
 - Aplicar un esfuerzo normal mediante la adición de un peso al brazo de soporte de la palanca del equipo en este caso se realizaron tres ensayos de la misma muestra bajo

pesos de 1.75 Kg, 3.5 Kg y 7Kg respectivamente (figura 32.f). Antes de iniciar el ensayo se debe liberar el peso.

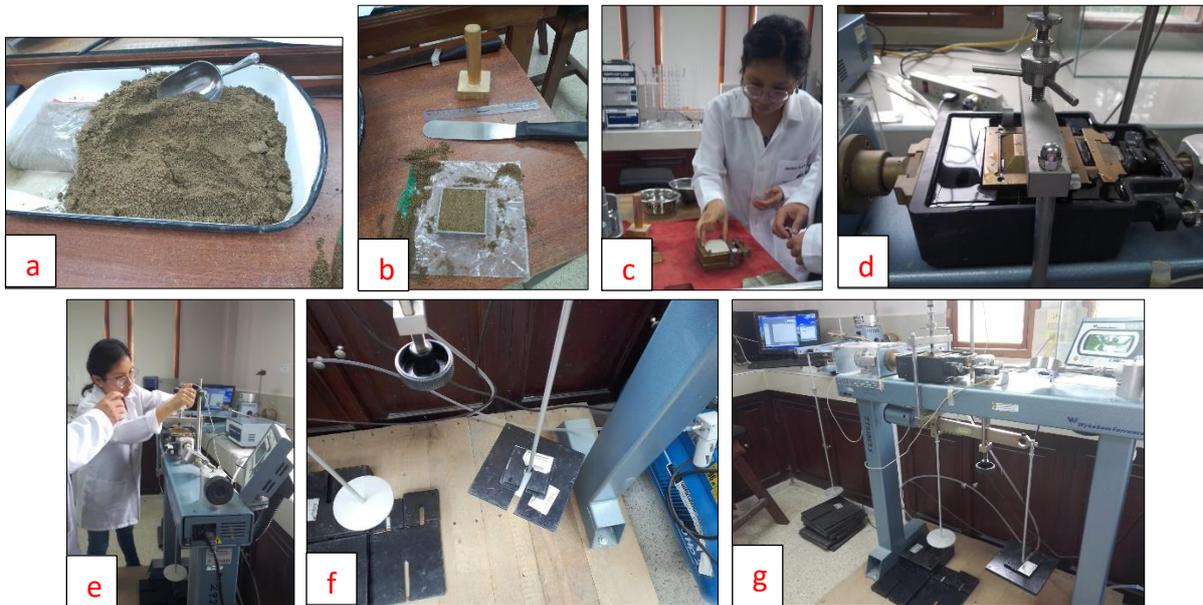


Figura 32. Procedimiento para el ensayo de corte directo en el laboratorio.

Nota. a) Muestra representativa; b) Material moldeado en el anillo cuadrado; c) Ensamblaje de la caja de corte; d) colocación de la caja en el dispositivo de corte; e) Ajuste de los deformímetros de medición; f) Adición de pesos; g) Equipo de corte directo.

- En el programa Datacom se encoró los deformímetros encargados de medir la consolidación producto del esfuerzo normal aplicado y los desplazamientos horizontales producto de los esfuerzos cortantes aplicados.
- Posteriormente, se registró las lecturas de deformación horizontal (mm), deformación vertical (mm) y fuerza (N) versus el tiempo transcurrido (min).
- El corte de la muestra se lo realiza hasta cuando actúe la máxima resistencia al corte y la curva presentada en el programa Datacom empieza a descender.
- Luego de alcanzar la falla, se detiene al equipo y se retira los deformímetros, las pesas y se desarma la caja.
- Finalmente con los valores recopilados en el programa Datacom se realizaron los cálculos respectivos, se realizó la gráfica de esfuerzo cortante versus desplazamiento horizontal, y se determinó el ángulo de fricción (ϕ) y cohesión (c) mediante el gráfico esfuerzo de corte en la falla versus esfuerzo normal (Anexo 10) considerando la ecuación de Coulomb:

$$\tau = c + \sigma n * Tg(\phi)$$

Donde:

τ = Esfuerzo de resistencia al corte

c = Cohesión

σn = Esfuerzo normal efectivo en el plano de corte

ϕ = Ángulo de fricción

La determinación de la densidad se lo realizó con matraz bajo la norma ASTM D854-58, en donde se obtuvo el peso el matraz sin tapa, peso matraz + agua hasta 250 ml, peso del matraz + agua + 100 gr de material y con estos datos de cálculo la gravedad específica (figura 33).

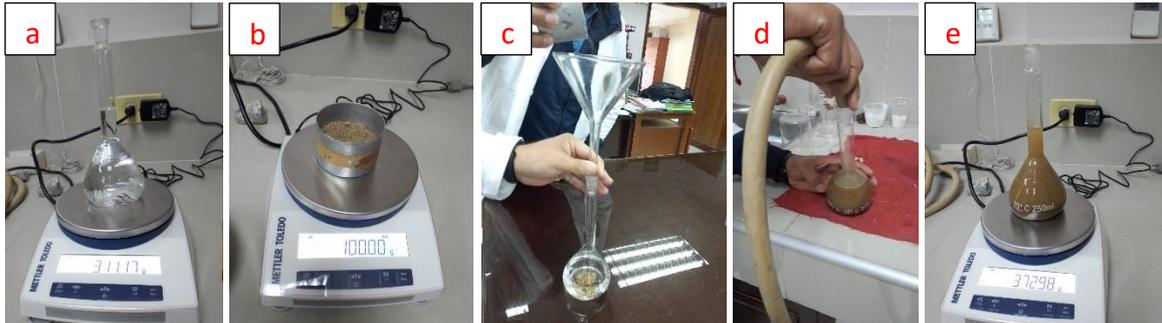


Figura 33. Procedimiento para determinar la densidad con matraz.

Nota. a) Peso del Matraz; b) Peso de los 100 gr de material; c) Colocación del material en el matraz; d) Eliminación de burbujas de aire; e) Peso matraz + agua + material.

5.3.2.4. Caracterización geomecánica de taludes de roca

5.3.2.4.1. Metodología en Campo

La caracterización geomecánica se realizó de 9 macizos rocosos ubicados a lo largo del tramo El Gallo – Naranjo. En cada uno de los macizos rocosos se seleccionó la zona más representativa en donde predominen las discontinuidades con la finalidad de darle una mejor caracterización y valoración al macizo rocoso de acuerdo con el Índice de Calidad RMR que toma en cuenta 5 parámetros propuestos por Bieniawski (1989): Resistencia a compresión simple de la roca; RQD (Rock Quality Designation); distancia de separación entre las discontinuidades; condición de las discontinuidades; y flujo del agua subterránea en las discontinuidades (figura 34).

Para la recolección de la información se aplicó la ficha de campo del anexo 11, la cual contempla tanto las características generales del macizo rocoso, matriz rocosa y discontinuidades.



Figura 34. Recolección de información de parámetros para la clasificación geomecánica.

Nota. Toma de datos estructurales, rugosidad, separación entre familias y resistencia a la compresión simple.

➤ **Calificación mediante los sistemas RQD, RMR, SMR y GSI**

De los 9 macizos rocosos caracterizados geomecánicamente, se seleccionaron 4 macizos rocosos representativos tomando en cuenta la presencia de discontinuidades, litología, grado de meteorización y altura del talud de roca para la calificación mediante los sistemas RQD, RMR, SMR y GSI, todos esos taludes de roca están gobernados por familias de juntas. En la tabla 26 y figura 35 se presenta la ubicación de los taludes de roca representativos.

Tabla 26. Ubicación de los taludes representativos.

Punto	Talud de roca	X	Y	Z
P3	T1-P3	698428.409	9575385.249	1991.43
P5	T2-P5	697886.197	9575787.416	1983.08
P7	T3-P7	697465.244	9576068.272	1981.82
P9	T4-P9	9576170.83	696855.034	1981.84

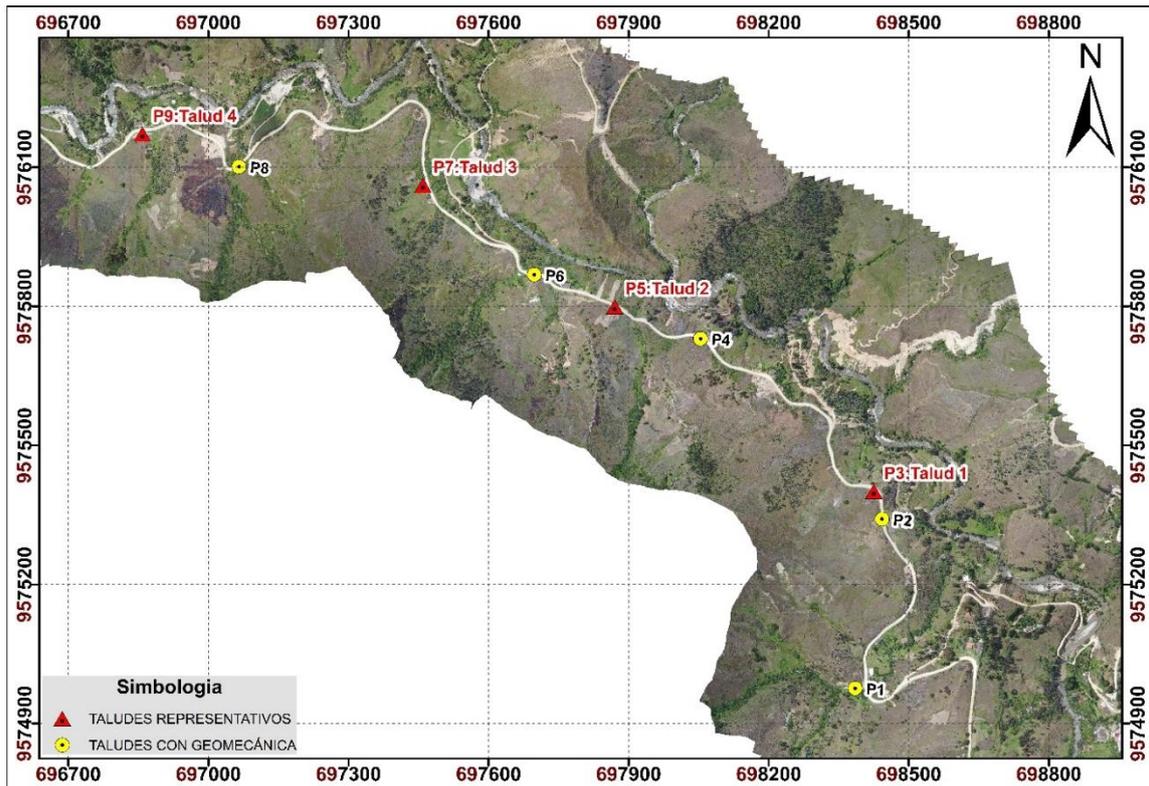


Figura 35. Ubicación de los taludes estudiados y taludes representativos.

5.3.2.4.2. Metodología en Oficina

Los datos obtenidos en las fichas de caracterización geomecánica se emplearon para la calificación de la calidad de macizos rocosos de los 4 taludes representativos mediante los sistemas de clasificación geomecánica RQD, RMR, SMR y GSI.

1) RQD índice de calidad de la roca (Deere, 1967)

El cálculo de la calidad de la roca (RQD, %) se aplicó para los 4 taludes de roca representativos. Consistió en el conteo de fisuras por metro cúbico (J_v) (método de ventanas) en el macizo rocoso considerando el espaciado promedio de las juntas 1/sm y luego se aplicó la siguiente fórmula para realizar el cálculo respectivo $RQD = 110 - 2.5J_v$ la cual es aplicable para J_v entre 4 y 44. Posteriormente el RQD del macizo rocoso se lo clasificó de acuerdo a la tabla 8 que se encuentra en el apartado de revisión literaria: *Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos*.

2) RMR, Rocks Mass Rating (Bieniawski, 1989)

Para la caracterización del macizo rocoso en base a la clasificación de Bieniawski, índice RMR, se empleó la versión de 1989. Este sistema se aplicó para los 4 taludes de roca representativos. Los parámetros que intervienen en la clasificación RMR fueron calificados de acuerdo a los rangos y puntajes de la tabla 6 que se encuentra en el apartado 4.3.8. *Clasificaciones Geomecánicas de los macizos rocosos*.

Posteriormente se realizó la sumatoria de los parámetros de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{RMR} = \text{V1} + \text{V2} + \text{V3} + \text{V4} + \text{V5}$$

V1: Resistencia de la matriz rocosa

V2: RQD

V3: Separación de discontinuidades

V4: Estado de las discontinuidades

V5: Flujo de agua

Finalmente, el RMR del macizo rocoso se lo clasificó de acuerdo a la tabla 7 que se encuentra en el apartado de revisión literaria: *clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos*, considerando para la interpretación a la siguiente figura.

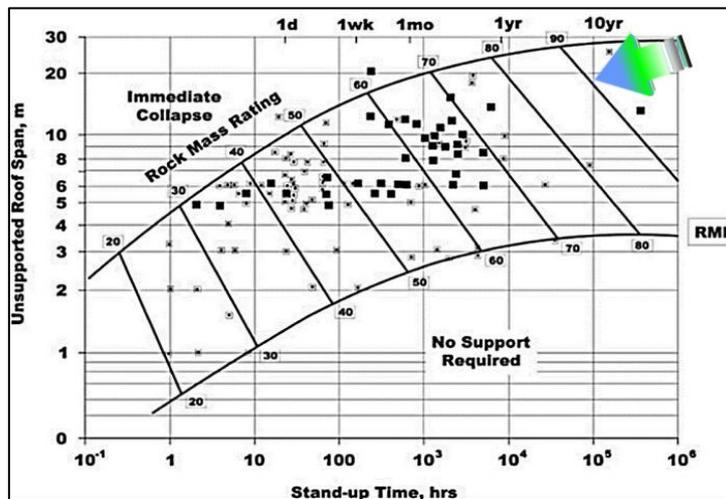


Figura 36. Gráfica del Tiempo de estabilidad en función del RMR.

Nota. Bieniawski, 1989

3) SMR, Slope Mass Rating (Romana, 1997)

El índice SMR se lo obtuvo en los 4 taludes de roca representativos por ajuste del RMR_{89} , aplicándolo exclusivamente para taludes con un método de excavación mecánica, para lo cual se empleó la tabla 9 que se encuentra en apartado de revisión literaria: *clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos*.

El cálculo se lo realizó a través de factores de ajuste por orientación de las discontinuidades y orientación del talud (F1, F2 Y F3) y por el método de excavación (F4). Se valoró para los casos rotura plana y vuelco, cabe mencionar que no se realizó el análisis de rotura por cuña ya que el SMR de Romana (1997) no considera las roturas en cuña (esta rotura se analizó en el programa Dips).

Para el cálculo del SMR se empleó la siguiente fórmula $\text{SMR} = \text{RMR}_b + (\text{F1} * \text{F2} * \text{F3}) + \text{F4}$. Una vez obtenido el valor del SMR para cada una de las familias de juntas se trabaja con el

valor menor de los datos tanto para rotura plana como en vuelco. A estos valores se los clasifica según las 5 clases de estabilidad y 1 medida por sostenimiento, conforme de detalla en el apartado 4.3.8.3. *Clasificación SMR de Romana 1997.*

4) GSI, índice de resistencia geológica (Hoek,1994)

Para valorar a los 4 macizos representativos por el índice de resistencia geológica GSI se aplicó la relación existente entre el GSI y RMR89 utilizando la siguiente fórmula:

$$RMR_{89} > 23 \rightarrow GSI = RMR_{89} - 5$$

$$RMR_{89} < 23 \rightarrow \text{No se puede utilizar el } RMR_{89} \text{ para obtener el GSI}$$

Según el valor obtenido se procedió a dar una clase conforme lo mencionado en el apartado 4.3.8.4. *Clasificación GSI, Geological Strength Index (Hoek, 1994).*

5.3.2.5. Ensayo de compresión Simple.

El ensayo de compresión simple se realizó de los 4 taludes de roca representativos. Se tomaron 2 muestras de roca con la finalidad de correlacionar los datos y un promedio por cada uno de los 4 taludes de roca, estas muestras de roca fueron lo más sanas posibles y no presentaban alteración o fracturas. En la tabla 27 y figura 37 se observa las coordenadas geográficas de los puntos de donde se extrajo las muestras de roca.

Tabla 27. Ubicación de los puntos de muestreo.

Muestra	Coordenadas WGS84 UTM 17S		
	Norte Y	Este X	Cota Z
1	9575385.249	698428.409	1991.43
2	9575787.416	697886.197	1983.08
3	9576068.272	697465.244	1981.82
4	9576170.830	696855.034	1981.84

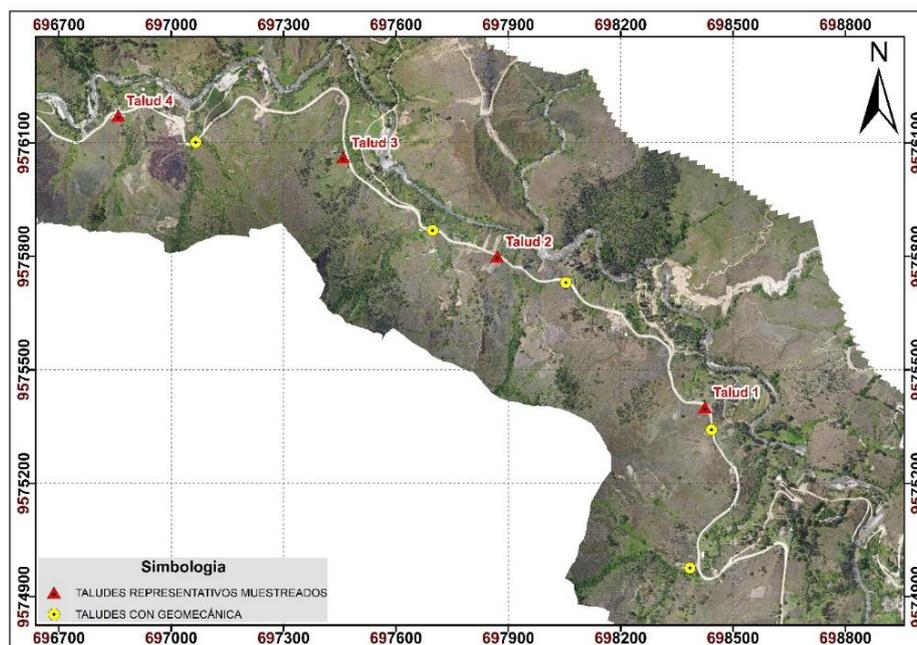


Figura 37. Ubicación de taludes de roca representativos para análisis geomecánico con muestreo.

5.3.2.5.1. Preparación de cubos de roca

En campo se extrajeron 2 muestras de roca de aproximadamente 15x20 cm lo más sanas posible por cada uno de los 4 taludes de roca representativos. Una vez obtenidas las muestras se las procedió a llevar al laboratorio Delta Cia. Ltda. para realizar los trabajos de corte y perfilados de cada una de las muestras hasta obtener cubos con dimensiones 5x5x5 cm ideales para la determinación de ensayos de compresión simple.

Posteriormente al obtener cada uno de los cubos pertenecientes a cada macizo rocoso representativo con un total de 8 cubos, se procedió a etiquetar cada uno de ellos con el fin de poder diferenciarlos y así realizar los ensayos de compresión uniaxial y la respectiva toma de datos.



Figura 38. Muestras de cubos de los taludes de roca representativos N°1, N°2, N°3 y N°4.

5.3.2.5.2. Trabajo de laboratorio

El ensayo de compresión uniaxial se lo realizó en una prensa del laboratorio de mecánica de rocas de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, donde primeramente se procedió a medir las aristas de cada uno de los cubos de roca con un calibrador o pie de rey, así como también tomar su peso en una balanza, con el fin de obtener la mayor cantidad de datos posibles como áreas y volúmenes que fueron necesarios para determinar la resistencia a la compresión uniaxial (Figura 39).



Figura 39. Toma de medida de las aristas de los cubos mediante un calibrador.

Teniendo las medidas de las aristas se realizó el siguiente procedimiento:

- 1) Colocar las pesas (alzas) en el equipo de compresión simple una sobre otra hasta llegar a una distancia tal que al colocarlo al cubo este cerca a la pesa superior (figura 40.a).
- 2) Nivelar la plataforma superior.
- 3) Colocar la muestra de roca en la plataforma base de la prensa lo más centrada posible para que se pueda aplicar una fuerza necesaria hasta que se rompa el cubo.
- 4) En la pantalla táctil del equipo ingresar los datos tomados previamente como: largo, ancho, alto y peso de la muestra de roca. Cabe mencionar que en este paso se verificó los datos ingresados al equipo para un ensayo de compresión simple. La velocidad de trabajo fue de 300N/S (figura 40.b).
- 5) Levantar y dar paso al hidráulico ubicado en la parte baja del equipo.
- 6) Iniciar el proceso de rotura.
- 7) Cuando se escuche el quiebre o fracturamiento del cubo, se detiene automáticamente la prensa obteniendo el valor de fuerza en KN y esfuerzo en Mpa aplicado sobre la misma, este valor la fuerza es necesario para el cálculo de la resistencia a la compresión simple. Cabe mencionar que para detener la compresión se debe bajar el hidráulico.



Figura 40. Ensayo de compresión simple.

Nota. a) Disposición de alzas en el equipo de compresión simple, b) Ingreso de datos en el programa.

5.3.2.6. Análisis de las propiedades físicas de las muestras

La determinación de las propiedades físicas de la matriz rocosa procedente de los 4 taludes de roca representativos se lo realizó en el laboratorio de la carrera de geología ambiental y ordenamiento territorial.

5.3.2.6.1. Determinación del peso natural, saturado, sumergido y seco

Para la obtención y cálculo de los diferentes pesos en diferentes estados de las muestras se tomaron como base 2 muestras por cada macizo rocoso para correlacionar los valores.

- a) Para la determinación del peso natural, se pesó el recipiente y el recipiente más la muestra en la balanza en su estado natural (Wh).



Figura 41. Determinación del peso natural.

- b) Para la determinación del peso en seco, se colocó a la muestra en su estado natural en el horno a una temperatura aproximada de 105°C por un lapso de 24 horas con el fin de que la muestra se encuentre totalmente seca y de esta manera obtener el peso seco (Ws).



Figura 42. Determinación del peso seco.

- c) Para la determinación del peso saturado, luego de haber obtenido el peso seco a estas muestras se las procedió a sumergir en agua en su totalidad, de tal manera que queden totalmente cubiertas y puedan absorber toda el agua; a las muestras se las deja sumergida por un tiempo aproximado de 24 horas, para al día siguiente secarlas con una franela y pesarlas y de esta manera se obtuvo el peso saturado (W_{sat}).



Figura 43. Determinación del peso saturado.

- d) Para la determinación del peso sumergido, se procedió a llenar de agua un vaso precipitado en el cual mediante la balanza analítica y el uso de una cuerda que colgaba a la roca se obtuvo el peso sumergido (W_{sum}).



Figura 44. Determinación del peso sumergido.

5.3.2.6.2. Determinación de la gravedad específica

Para el cálculo de la gravedad específica se empleó el método del picnómetro, en este caso se trabajó con una muestra por cada talud de roca representativo, cuyo procedimiento se basó en la norma ASTM D854-58 los cuales se detallan a continuación:

- 1) Secado de la muestra al horno en temperatura constante de 105°C.
- 2) Posteriormente, las muestras de roca pasaron por trituración y molienda de tal manera que se obtuvo un material granular muy fino que pueda pasar por el tamiz #200.
- 3) El proceso de conminución del material se lo realizó de forma manual con ayuda de un porrón para luego ser pasada por el tamiz y obtener 50 gr de material fino. A continuación, las figuras detallan el procedimiento.



Figura 45. Preparación de la muestra para el ensayo del picnómetro.

Una vez obtenido los 50 gramos de material granular fino por muestra se procedió a realizar el ensayo mediante el uso del picnómetro.

- 1) Pesar el picnómetro vacío y limpio en la balanza analítica y anotamos su valor; el picnómetro debe estar con su respectiva tapa.
- 2) Colocar agua destilada en el mismo con ayuda de la piseta a tope del picnómetro, y taparlo, secarlo para luego proceder a pesarlo en la balanza analítica anotando su valor.
- 3) Vaciar y dejar la cantidad de agua destilada a $\frac{1}{2}$ de la capacidad del volumen del picnómetro (Figura 46.a).
- 4) A continuación, se procedió a poner los 50 gramos de muestra en el picnómetro, se la puede realizar con ayuda de un embudo pequeño, y se procedió a agitar un poco y luego a llenar el picnómetro a tope con agua destilada (Figura 46.b).
- 5) Posterior se lleva la muestra a la bomba de vacío misma que sacó todo el aire y burbujas que la muestra conservaba, el procedimiento se lo realizo de 3-5 min y luego se procedió a pesarla. Este valor representa la gravedad específica (Figura 46.c, d, e y f).



Figura 46. Procedimiento para el ensayo del picnómetro.

Una vez obtenidos cada uno de los valores promedios por cada muestra procedente de los 4 taludes de roca representativos se realizaron los cálculos respectivos de las propiedades índice, estas propiedades son calculadas aplicando fórmulas obtenidas de Braja D., (2013) y González de Vallejo et. al. (2002) que se presentan a continuación:

Tabla 28. Fórmulas para determinar las propiedades físicas de las muestras.

<p>Peso específico</p> $Pr = \frac{W_{pulg}}{W_{pa} + W_{pulg} - w_{papulg}}$ <p>Wpulg = Masa pulverizada Wpa = Masa picnómetro + agua Wpapulg = Masa picnómetro + agua + muestra pulverizada</p>	<p>Densidad del material</p> $\delta = \frac{m}{v}$ <p>Peso específico aparente</p> $\rho_a = \frac{W_{seco}}{w_{sat} - W_{sum}} * \rho_w$
<p>Gravedad Específica de sólidos</p> $G_s = \frac{W_s}{W_w} = \frac{W_s}{W_s + W_{bw} - W_{bws}}$ <p>Ws = peso del suelo Wbws = peso picnómetro + agua + suelo Wbw = peso picnómetro + agua</p>	<p>Contenido de agua</p> $W = \frac{W_h - W_s}{W_s} * 100\%$ <p>Wh: Peso de roca húmeda Ws: Peso de roca seca</p>
<p>Porosidad Eficaz</p> $n_e = \frac{W_{sat} - W_{sec}}{W_{sat} - W_{sum}} * 100\%$ <p>Wsat = Peso saturado Wsec = Peso seco Wsat = Peso saturado Wsum = Peso sumergido</p>	<p>Porosidad (%)</p> $n = \left(1 - \frac{Pa}{Pr}\right) * 100\%$ <p>Porosidad cerrada nc (%)</p> $nc = n - ne$

Coefficiente de absorción, Cabs (%)	Compacidad, C (%)
$C_{abs} = \frac{W_{sat} - W_{sec}}{W_{sec}} * 100\%$	$C = 1 - n$
Módulo de saturación, Msat (%)	Densidad Real
$Msat = \left(\frac{n_e}{n}\right) * 100\%$	$\delta_r = Pr * 0.0997 \text{ g/cm}^3$
	Donde: Pr = Peso específico real Pa = densidad del agua

Nota. Braja D., (2013) y González de Vallejo et. al. (2002).

5.3.3. Metodología para el tercer objetivo

“Calcular el Factor de Seguridad en los taludes más representativos de los 3 kilómetros de vía que comprende el tramo El Gallo–Naranjo”

5.3.3.1. Determinación de los parámetros de resistencia de taludes de roca

Para el análisis de la cinemática y estabilidad global primeramente se obtuvieron los parámetros de cohesión y ángulo de fricción de los 4 taludes de roca representativos en el programa Roclab empleando el criterio de Hoek-Brown ajustado al criterio de Mohr-Coulomb, considerando los valores obtenidos de los ensayos de laboratorio, como resistencia a la compresión simple para los taludes, GSI, peso específico de la roca, altura de talud, coeficientes D (factor de perturbancia) y Mi (valor asignado según tipo de roca) obtenidos del programa RocLab 1.0.

Tabla 29. Parámetros empleados en el programa RocLab 1.0.

Talud de roca	Parámetro					
	Oc(Mpa)	GSI	Mi	D	Peso específico (MN/m ³)	Altura (m)
T1	59.665	44.600	29	1	0.02612	37.61
T2	36.475	36.000	28	1	0.02881	63.19
T3	24.835	23.000	10	1	0.02685	9.79
T4	96.176	39.667	29	1	0.02559	18.06

Nota. Roclab, modificado por autora, 2023

5.3.3.2. Análisis cinemático

El análisis cinemático se realizó para el talud de roca Nro. 2 formado por metagranodiorita y talud de roca N°3 formado por esquistos, debido a que están gobernado por familias de juntas cuyas direcciones y buzamientos tienen a formar una rotura planar y en cuña. No se realizó análisis para rotura por vuelco, debido a que la inestabilidad por vuelco se la ha considerado como un tipo de movimiento en masa más no como un tipo de rotura, además la rotura por vuelco ocurre según las condiciones geológicas, cuando se presenta una disyunción

columnar (diaclasado que forman hexágonos) que en este caso no se pudo evidenciar en ningún talud de roca.

El análisis de los 2 taludes de roca representativos se lo realizó con base a la presencia de familias de discontinuidades, para ello se realizaron proyecciones estereográficas en el software DIPS 7.0 para un análisis por rotura planar y cuña tomando en cuenta la dirección y buzamiento del talud y de las discontinuidades en la notación Dip/Dip Direction y el ángulo de fricción del talud obtenido de programa RocLab 1.0. Una vez insertados los datos estructurales en el software Dips 7.0., automáticamente éste analiza según el criterio de falla aplicable a cada mecanismo posible el total de polos (falla planar), intersecciones entre discontinuidades (falla por cuña) que caen sobre la zona especificada como de falla y representa esto como porcentaje de probabilidad del total de polos o intersecciones entre juntas que presenta el macizo rocoso.

La interpretación de las proyecciones estereográficas resultantes del software Dips se lo realizó tomando en cuenta las condiciones generales para que ocurra una falla planar y en cuña las cuales se describen en el apartado 4.4.2. *Tipos de mecanismos de falla en taludes y su análisis cinemático.*

5.3.3.3. Análisis de la estabilidad global

El análisis de la estabilidad global se lo realizó en los 4 taludes de roca representativos y en el deslizamiento MM4 de igual manera considerado como representativo del cual se disponía mayor información geotécnica, para lo cual se procedió al modelamiento de taludes y cálculo del factor de seguridad mediante el método de Bishop Simplified, Jambu Simplified y Spencer, en el software Slide v.5.0, donde se emplearon los datos como el peso específico, cohesión y ángulo de fricción del material.

Tabla 30. Parámetros geotécnicos de los taludes de roca representativos y deslizamiento MM4 empleados en el software Slide 5.0.

Talud	Parámetro		
	Peso específico (MN/m ³)	Cohesión Mpa	Ángulo de Fricción (°)
T1 (roca)	0.02612	0.282	45.11
T2 (roca)	0.02881	0.256	30.99
T3 (roca)	0.02685	0.027	24.19
T4 (roca)	0.02559	0.185	50.94
MM4 (suelo y roca)	0.02561	0.00440	36.88

Nota. Roclab, modificado por autora, 2023

En la siguiente figura se presenta el procedimiento realizado para el análisis de la estabilidad global, desde el perfilado de taludes en el software Arcgis 10.8 hasta la obtención del factor de seguridad en el software Slide 5.0.

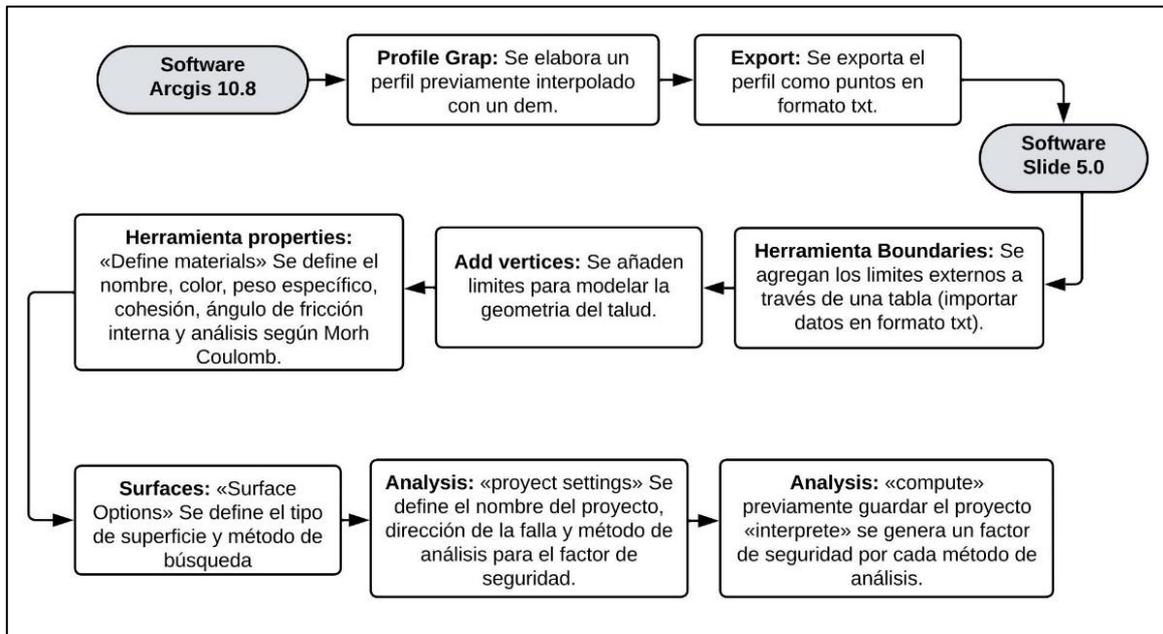


Figura 47. Procedimiento para el análisis de la estabilidad global.

Nota. Slide 5.0 y Autora,2023

5.3.3.4. Caracterización geológica y geotécnica

Finalmente, se realizó una caracterización geológica y geotécnica de los 4 taludes de roca y 1 deslizamiento representativo que se encuentran en la vía antigua a Cuenca a lo largo del tramo el Gallo-Naranjo con base a toda la información recopilada y analizada en el presente proyecto de investigación considerando principalmente litologías, grado de meteorización, datos estructurales (fallas) dimensiones y pendiente del talud, propiedades físico-mecánicas como densidad, peso específico, porosidad, contenido de humedad y resistencia a la compresión simple de los geomateriales, sistemas de clasificación geomecánica RQD, RMR, y GSI, probabilidad de rotura planar, vuelco y cuña, parámetros de resistencia como cohesión y ángulo de fricción; y el valor de factor de seguridad según la metodología de Bishop Simplified.

Además, tomando en cuenta las características geométricas, topográficas y grado de estabilidad de cada uno de los taludes se los modelo en 3D en el Software Leapfrog Geo 5.0.1, cuyo procedimiento se describe en la siguiente figura:

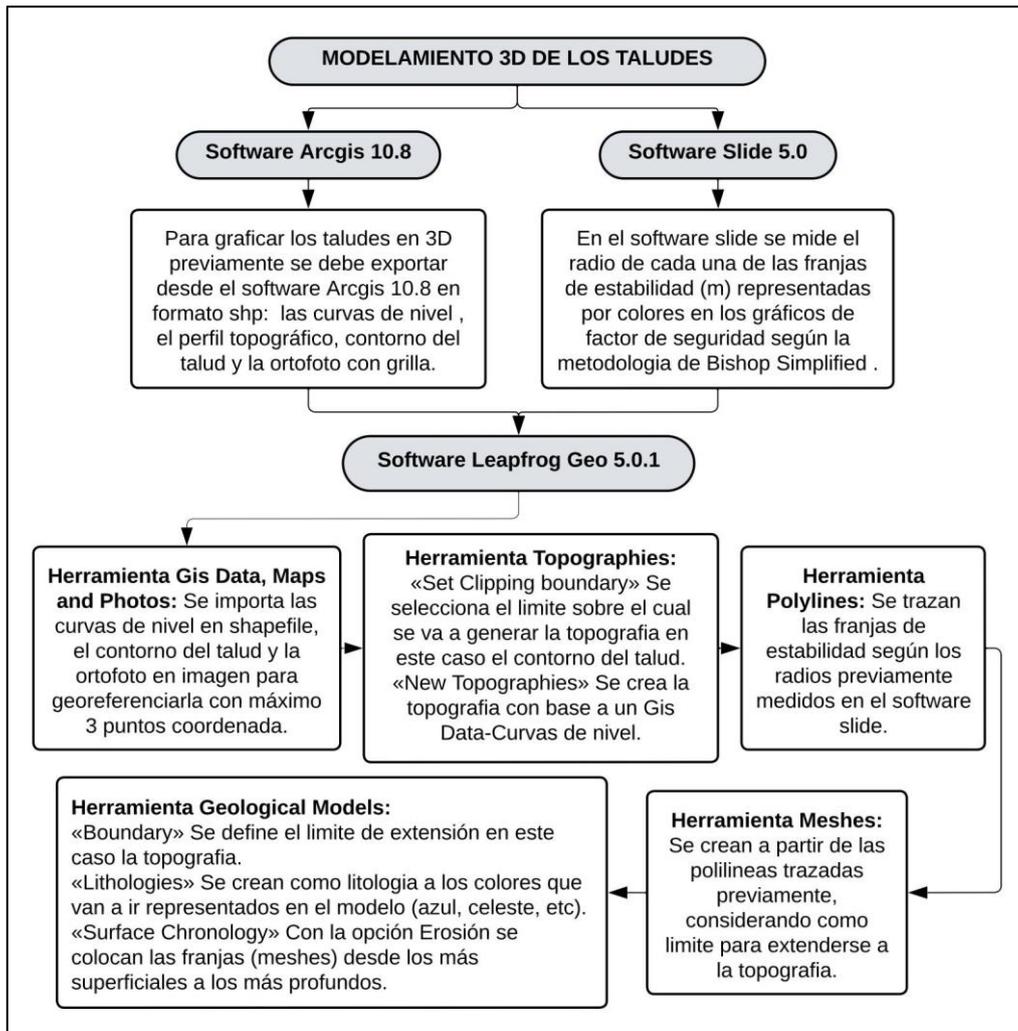


Figura 48. Procedimiento para el modelamiento en 3D de los taludes.
Nota. Leapfrog Geo y Autora,2023

6. Resultados

6.1. Topografía

El levantamiento topográfico se lo realizó desde El barrio el Gallo hasta el Naranjo a lo largo de la vía comprendiendo una faja de 100 m a cada lado del eje de la vía abarcando un área total de 58.18 Ha, tomando como punto de partida las siguientes coordenadas UTM WGS84 17S x: 698641.44; y: 698641.44; z: 2020.33 msnm hasta el punto de llegada x: 696824.75; y:9576155.61; z: 1982.48 msnm.

El mapa topográfico está compuesto por curvas de nivel principales cada 5 m y secundarias cada 1 metro, obteniéndose un relieve irregular con altitudes que oscilan entre 1909 m.s.n.m (cota más baja) la cual se presenta contigua al borde del río San Lucas y 2089 m.s.n.m (cota más alta) estas elevaciones se presentan al lado oeste del tramo de estudio donde hay colinas altas, relieves montañosos y caminos de herradura, existiendo un desnivel de 180 m.

En el mapa también se consideró la infraestructura presente en el sector como casas cuya distribución en el área es mínima; red hídrica considerando ríos y quebradas permanentes; y los caminos vecinales. Obteniéndose en formato A2 el mapa topográfico a escala 1:5000 y los 4 perfiles topográficos que se encuentran en el Anexo 14.

6.1.1. Perfiles topográficos

A partir de la topografía se elaboró 4 perfiles topográficos ubicados al inicio, centro y final del área de estudio con la finalidad de apreciar los desniveles del terreno que posteriormente son verificados en el mapa de pendientes los cuales se describen a continuación:

En la figura 49 se presenta el Perfil topográfico A-A' realizado en la parte inicial del tramo (Naranjo) con dirección SW-NE, tiene una longitud de 680 metros. La topografía es generalmente irregular encontrándose a los 105 metros de distancia se encuentra el pico más alto de 2014 msnm, luego la altitud desciende hasta los 1960 msnm el cual es el desnivel más bajo donde se pasa una quebrada permanente. La diferencia de altura entre la cota de mayor y menor relevancia es de 54 m.

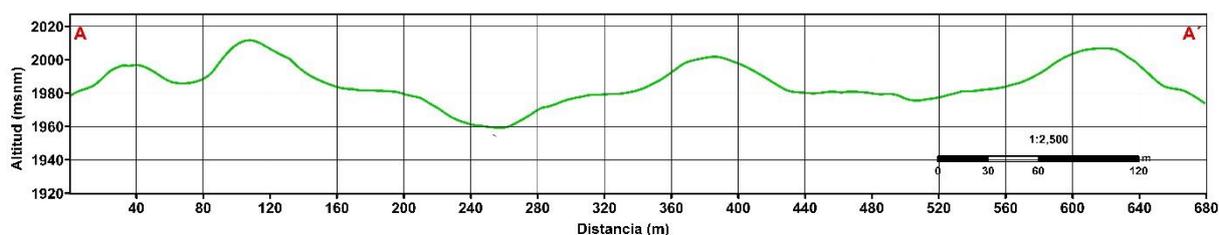


Figura 49. Perfil Topográfico A-A' con dirección SW-NE.

En la figura 50 se muestra el Perfil topográfico B-B' realizado en la parte central del tramo (Bunque e Illizhapa) con dirección NW-SE, tiene una longitud de 1060 metros. La

topografía es muy irregular donde los picos más altos tienen altitudes que oscilan entre los 2017 y 2010 msnm; y los picos más bajos generalmente se deben al paso de quebradas permanentes y vaguadas ubicándose en la parte final del perfil el desnivel más bajo de 1930 msnm debido al paso del Río San Lucas. La diferencia de altura entre la cota de mayor y menor relevancia es de 88 m.

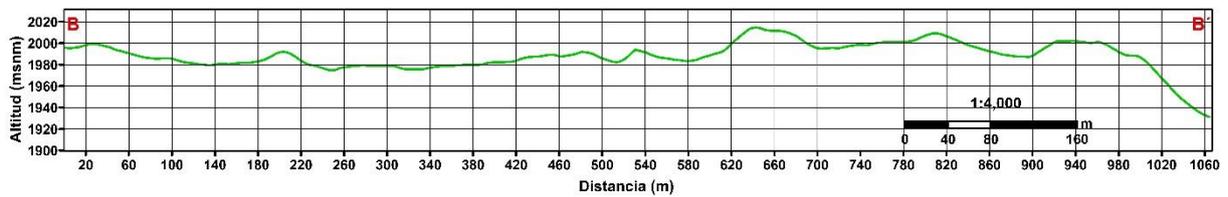


Figura 50. Perfil Topográfico B-B' con dirección NW-SE.

En la figura 51 se presenta el Perfil topográfico C-C' realizado en la parte final del tramo (El Gallo) con dirección NW-SE, tiene una longitud de 550 metros. La topografía es irregular encontrándose a los 380 metros de distancia la altitud más baja de 1956 msnm debido al paso de la quebrada El Gallo y en la parte final se encuentra el pico más alto con una altitud de 2060m. La diferencia de altura entre la cota de mayor y menor relevancia es de 106 m.

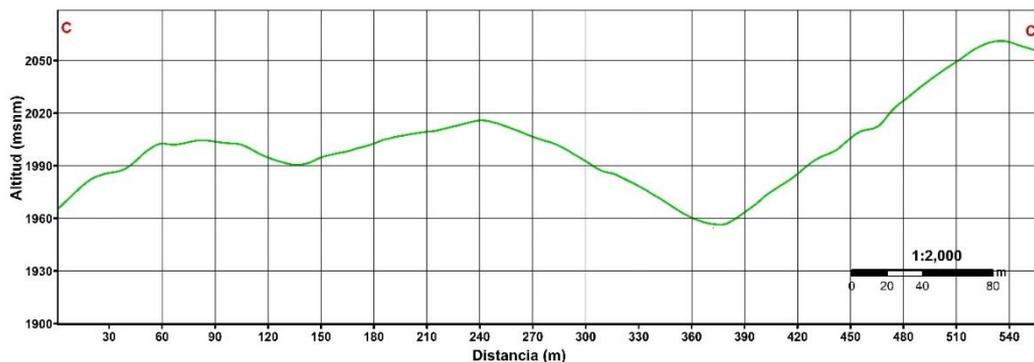


Figura 51. Perfil Topográfico C-C' con dirección NW-SE.

En la figura 52 se muestra el Perfil topográfico D-D' realizado en la parte final del tramo (El Gallo) con dirección SW-NE de manera perpendicular al perfil C-C', tiene una longitud de 295 metros. La topografía es irregular encontrándose picos que oscilan entre los 2008 y 2012 msnm y desniveles que oscilan entre los 2000 msnm y 1977 msnm los cuales se deben al paso de la quebrada El Gallo la cual transcurre en dirección SW-NE hasta desembocar en el río San Lucas. La diferencia de altura entre la cota de mayor y menor relevancia es de 39 m.

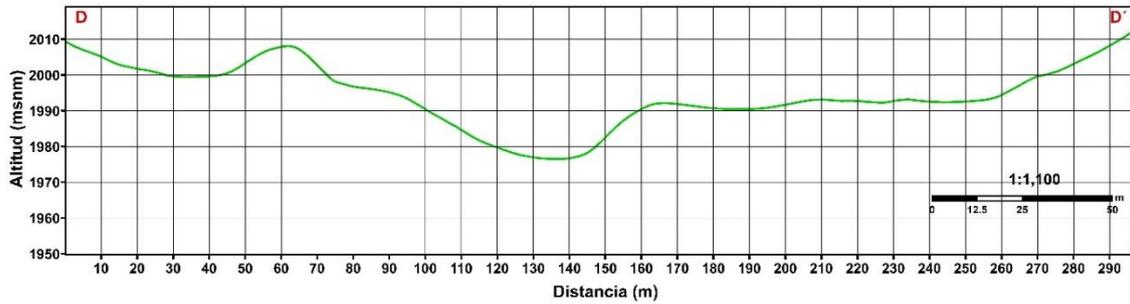


Figura 52. Perfil Topográfico D-D' con dirección SW-NE.

6.2. Geología Local

En la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo-Naranjo de 3 kilómetros de longitud y 100m de faja a cada lado del eje de la vía se realizó la descripción de 11 afloramientos los cuales permitieron identificar la presencia de 6 litologías bien diferenciadas como: granodioritas alta y moderadamente meteorizadas, dioritas, y metagranodioritas pertenecientes a batolito de San Lucas; esquistos y gneis pertenecientes a la unidad Tres Lagunas; y depósitos aluviales a la orilla del río San Lucas. En la siguiente figura se presenta la ubicación de los afloramientos levantados dentro del área de estudio.

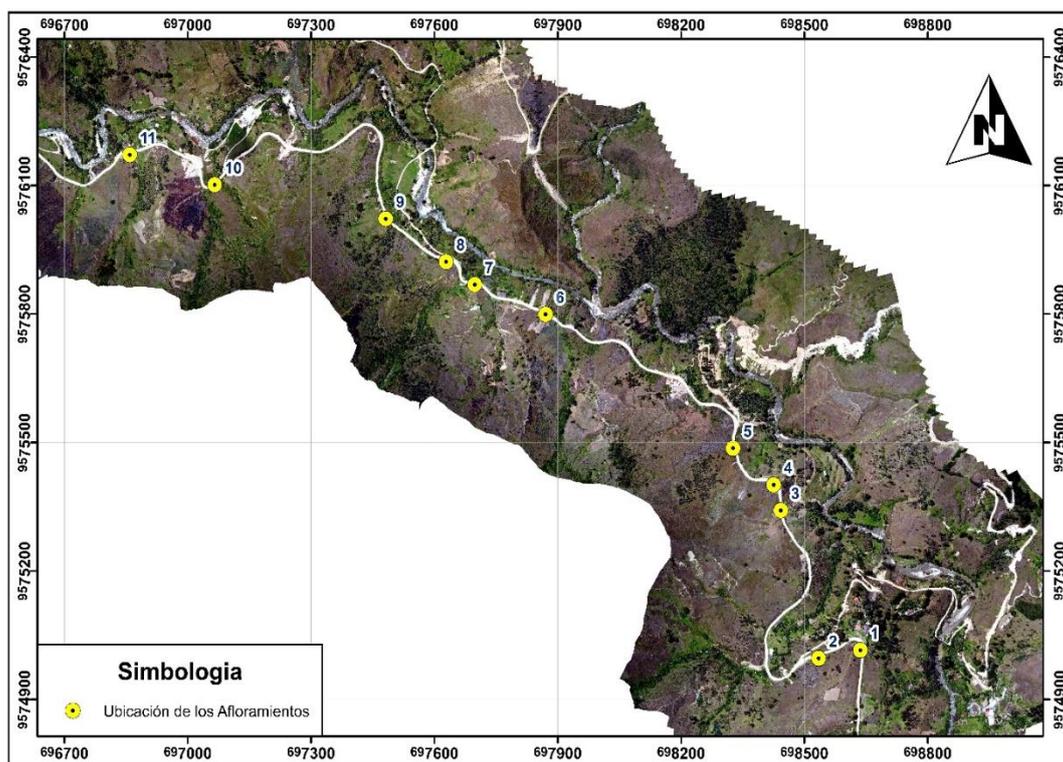


Figura 53. Ubicación geográfica de los afloramientos.

A continuación, se describe a cada una de las litologías identificadas en campo mismas que se encuentran representadas en el mapa geológico local del área de estudio a escala 1:5000 (Anexo 15).

6.2.1. Batolito San Lucas

El batolito San Lucas se encuentra conformado de granodioritas esta visible al inicio y fin del tramo de estudio y se encuentra intruyendo a la unidad tres Lagunas. Las granodioritas se encuentran desde alta a moderadamente meteorizadas y expuestas en afloramientos, movimientos en masa y macizos rocosos. Petrográficamente las rocas son de color gris con tonalidades anaranjadas debido a la meteorización, tienen una textura fanerítica, con contenidos de cuarzo, feldespato, plagioclasas, hornblenda, biotita, moscovita entre otros.

6.2.1.1. Granodioritas Altamente Meteorizadas

Este cuerpo granodiorítico altamente meteorizado se ubica al sur del tramo se caracteriza por su alto grado de meteorización y fácilmente deleznable en forma de sábulo, esto debido principalmente a un proceso de hidrólisis donde interviene el agua como reactivo, el cual va transformando los feldespatos en arcillas, convirtiendo la granodiorita en un material arenoso y poco consistente denominado sábulo, que se erosiona con facilidad.

La granodiorita presenta una textura fanerítica de grano medio a grueso, tiene una matriz areno-limosa con una coloración café claro a anaranjada esto debido al grado de meteorización. Está compuesto por minerales como plagioclasas, feldespato alcalino, cuarzo, biotita y moscovita. Se lo puede encontrar en los afloramientos contiguos a la vía y caminos vecinales desde la Loma del gallo (x: 698639.77; y: 9574976.42) hasta la quebrada el Gallo (x: 698,411.959; y: 9,574,965.436).

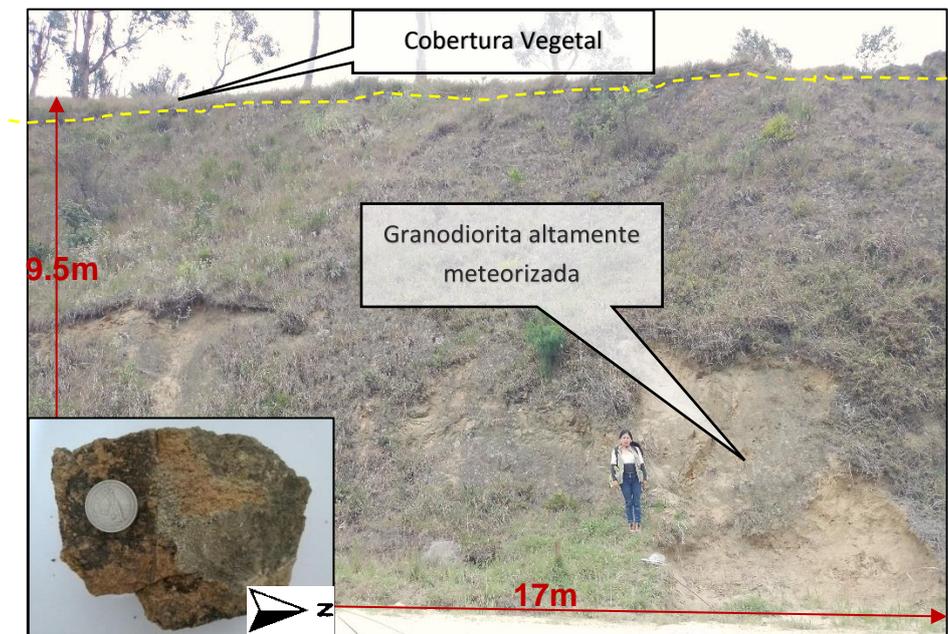


Figura 54. Afloramiento N°1 de Granodiorita altamente meteorizada en la Loma el Gallo ubicado en las coordenadas x:698636.15; y: 9575015.01; z: 2023.

En este sector la granodiorita altamente meteorizada forma parte de un deslizamiento rotacional antiguo ubicado en la entrada al barrio Jesús María el cual se describe en el apartado 6.3.1. y se presenta a continuación:

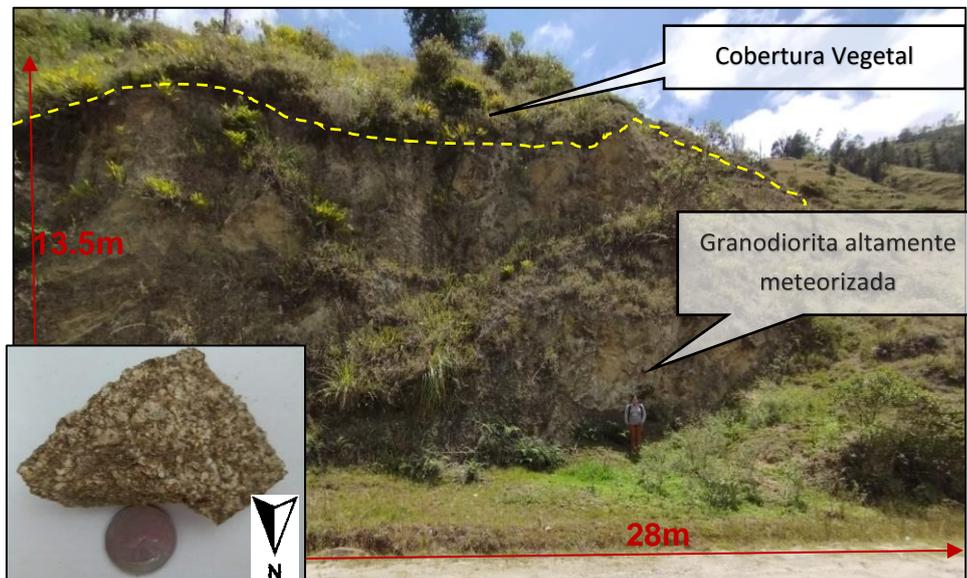


Figura 55. Afloramiento N° 2 de Granodiorita altamente meteorizada ubicado en la entrada al barrio Jesús María ubicado en las coordenadas x: 698534.58; y: 9574996.09; z: 2013.12.

6.2.1.2. Granodioritas moderadamente Meteorizadas

Las granodioritas moderadamente meteorizadas forman parte del Batolito de San Lucas y afloran a largo de todo el tramo de estudio en contacto tectónico con los granitoides metamorfoseados pertenecientes a la unidad Tres Lagunas.

Las rocas están envueltas en una matriz arenosa y son de color café claro a gris con tonalidad blancas y negras, el tamaño del grano es medio, están conformadas por minerales de colores claros y grises ricos en sílice, que tienen feldespato alcalino, alto porcentaje en cuarzo lechoso y plagioclasa, además de contener biotita y moscovita. A continuación, se presentan fotografías que evidencian la presencia de granodioritas en los afloramientos contiguos a la vía:

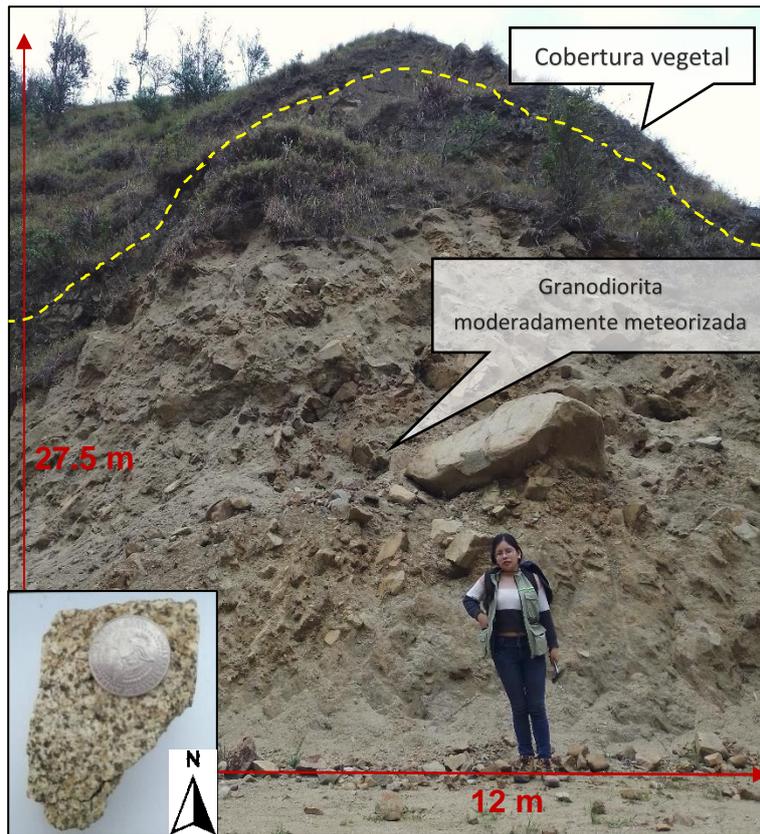


Figura 56. Movimiento en masa (MM1) formado por granodiorita moderadamente meteorizada ubicado en las coordenadas x: 698385.02; y: 9574976.17; z: 1998.08.

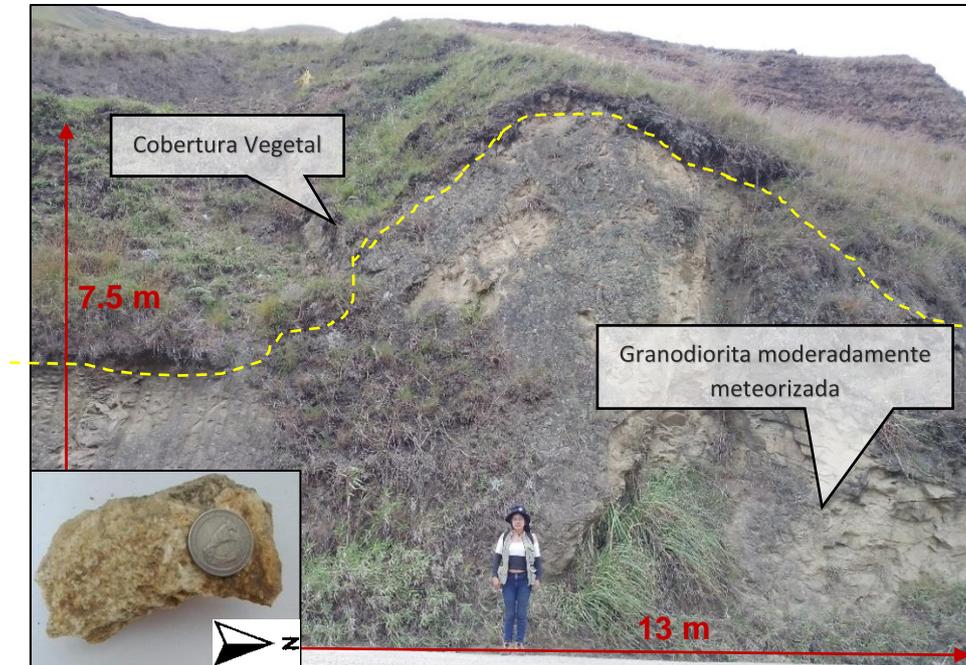


Figura 57. Afloramiento N°3 formado por granodiorita moderadamente meteorizada ubicado en las coordenadas x: 698442.77; y: 9575341.32; y z: 1986.05.

En los afloramientos ubicados al norte del tramo de estudio específicamente en el barrio el Naranja (Afloramiento 10 y 11) se puede apreciar que las granodioritas muestran variaciones

a granito por el alto contenido de cuarzo, además las muestras de mano son de tonalidad más clara y con menor grado de meteorización.

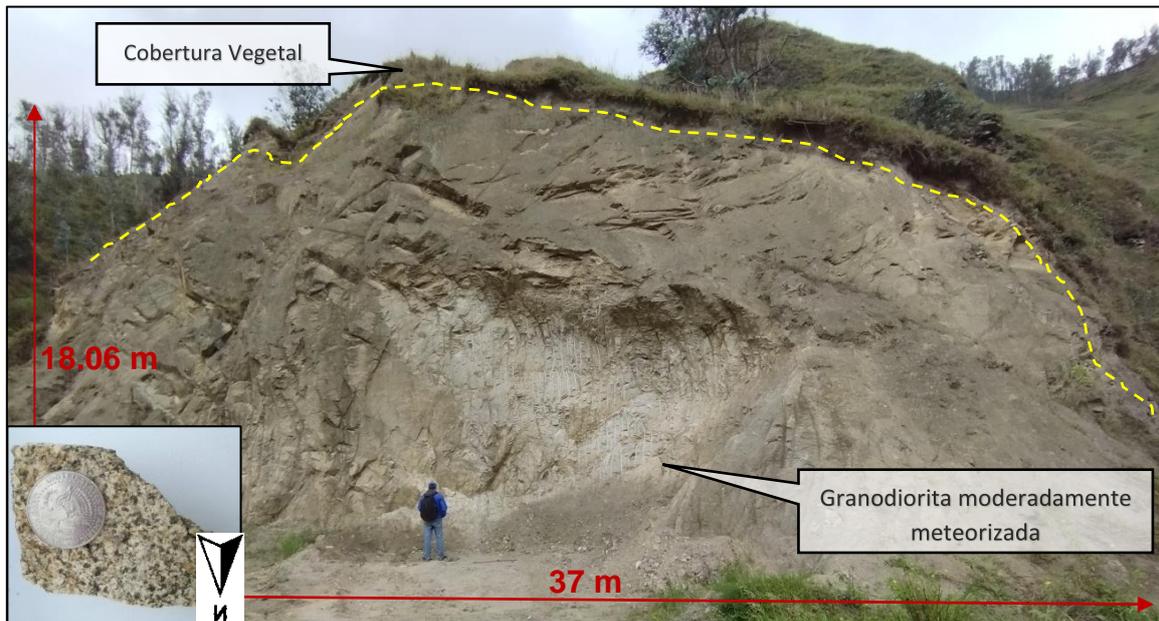


Figura 58. Afloramiento N°11 formado por granodiorita moderadamente meteorizada ubicado en las coordenadas x: 696858.81; y: 9576171.82; y z: 1991.68.

6.2.1.3. Dioritas

Las dioritas se las encuentra en el cuerpo del deslizamiento N°4 (MM4) ubicada en Illizhapa en las coordenadas x: 698505.84; y: 9575222.86; z: 1987.07. Esta roca es plutónica intrusiva, pertenece al batolito San Lucas, es de grano grueso y se presenta con una tonalidad gris oscuro dentro de una mezcla contrastante de granos minerales blancos y negros, mineralógicamente está compuesta por plagioclasa sódica, piroxeno, anfíbol como la hornblenda, biotita y cuarzo.

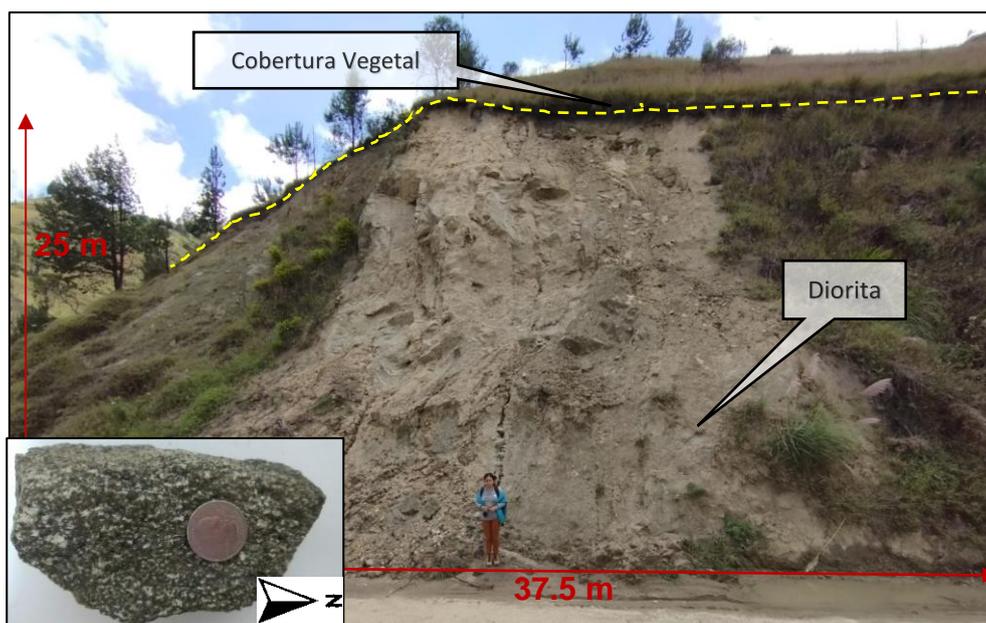


Figura 59. Movimiento en masa (MM4) formado por dioritas.

6.2.1.4. Metagranodiorita

Este tipo de roca se la puede observar en los afloramientos artificiales ubicados en la entrada al barrio Illizhapa, específicamente en la coordenada: x: 698326.55; y: 9575486.66 y en el bunque en las coordenadas x: 697881.05; y: 9575787.96. Es una roca de origen ígneo (protolito: granodiorita) que se ha metamorfoseado y por lo tanto ha provocado que los minerales adquieran una orientación definida.

El terreno presenta una meteorización moderada provocada el agua y el viento. Está constituido por metagranodioritas de color gris oscuro azulada formada por minerales como plagioclasas, cuarzo, feldespatos potásicos, micas como la biotita y moscovita y hornblenda. La matriz es areno-limosa. El tamaño del grano es fino con minerales que tienen tendencia de alargamiento (bandas) debido al metamorfismo de contacto.

En las siguientes figuras se observan los afloramientos N°5 y N°6 constituidos por metagranodioritas:

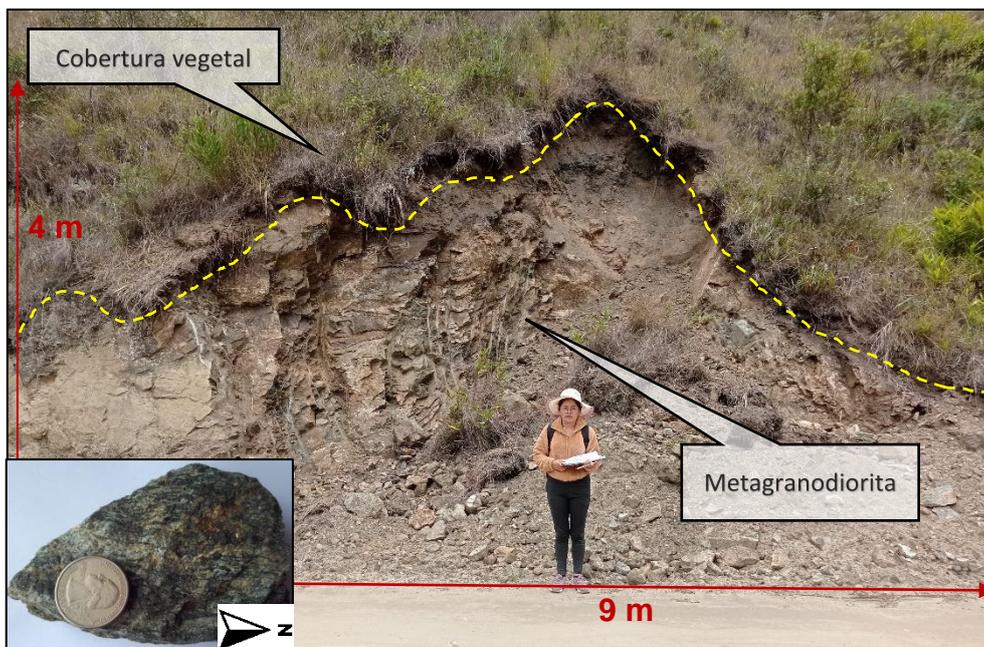


Figura 60. Afloramiento N°5 constituido por Metagranodioritas.

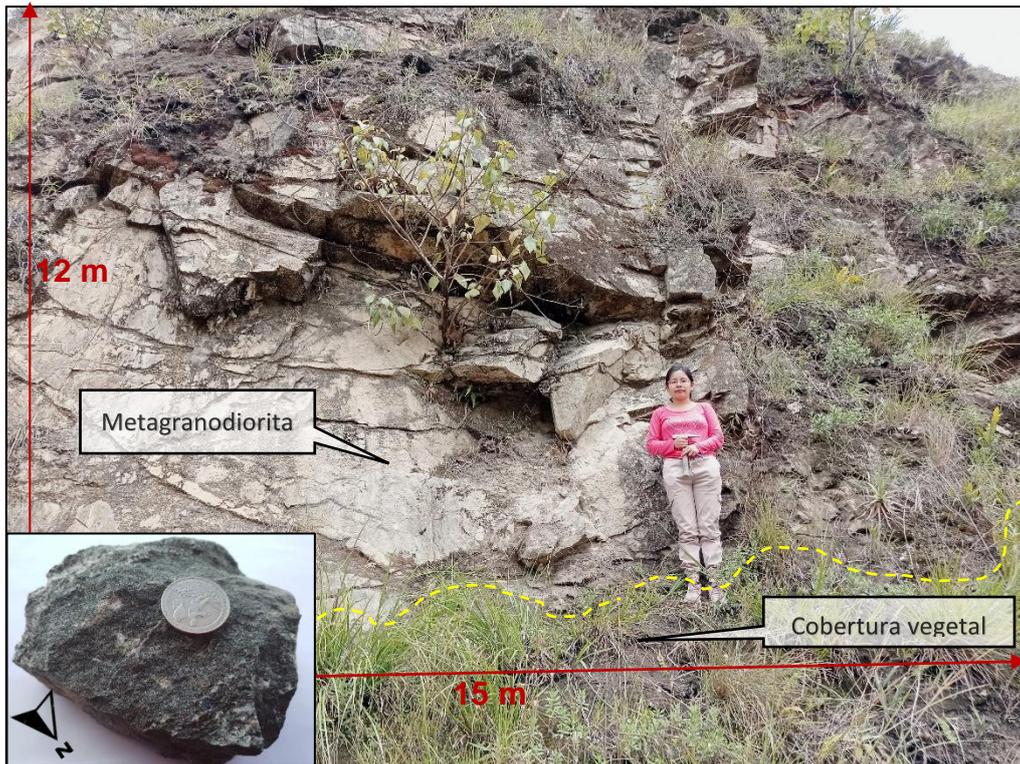


Figura 61. Afloramiento N°6 constituido por metagranodioritas de origen ígneo.

En la figura 62 se presenta el contacto litológico entre las metagranodioritas (izquierda) y la granodiorita moderadamente meteorizada del batolito San Lucas (derecha) con los siguientes datos estructurales $S2^{\circ}E/85^{\circ}SW$ ubicado en las siguientes coordenadas x: 697830.58; y: 9575808.73; z: 1981.34.

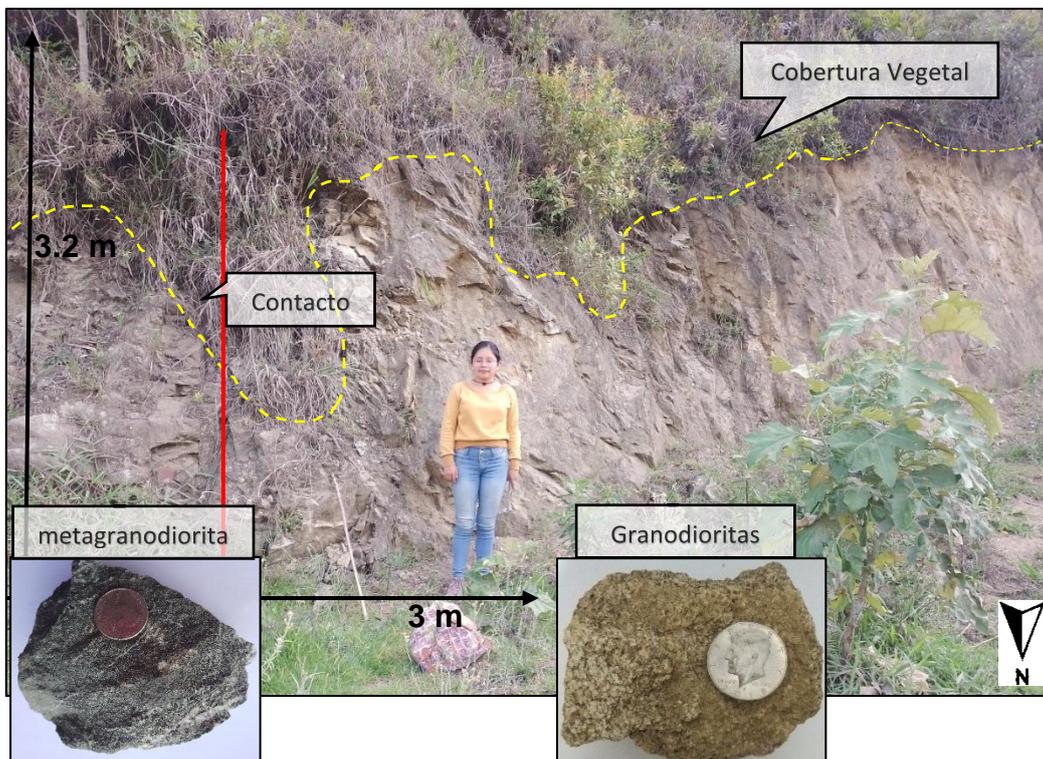


Figura 62. Contacto litológico entre las metagranodioritas y la granodiorita del batolito San Lucas.

6.2.2. Unidad Tres Lagunas

La unidad tres Lagunas teóricamente se caracteriza por estar conformada por granitoides tipo S, sin embargo, en el área de estudio muestra una clara evidencia de metamorfismo de contacto encontrándose rocas como: esquistos micáceos y ortogneis derivado de una roca ígnea. Esta unidad está visible en afloramientos artificiales contiguos a la vía ubicados desde la entrada al Bunque hasta el Naranja intruida por el Batolito de San Lucas.

6.2.2.1. Esquistos

Los esquistos micáceos pertenecen a la unidad tres lagunas y se los puede encontrar en el centro del tramo exactamente desde la coordenada x: 697811.26; y: 9575813.19 hasta la coordenada x: 697430.25; y: 9576239.31. Estas rocas se encuentran en contacto tectónico con las granodioritas del batolito de San Lucas y en contacto inferido con los gneis de la unidad Tres Lagunas.

En la figura 63 se presenta el contacto litológico entre la granodiorita moderadamente meteorizada del batolito San Lucas (izquierda) y los esquistos de la unidad Tres lagunas (derecha) con los siguientes datos estructurales $S40^{\circ}W/70^{\circ}NW$ ubicado en las siguientes coordenadas: x: 697811.26; y: 9575813.19.

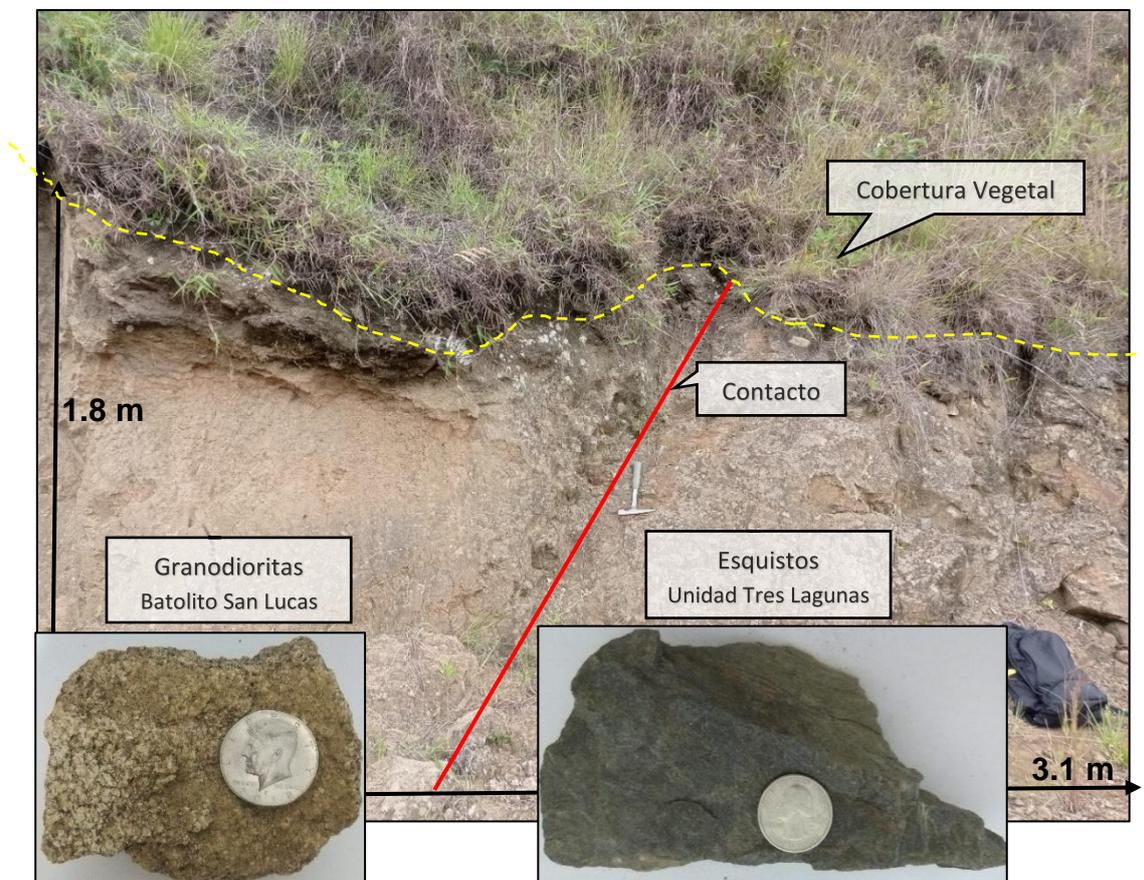


Figura 63. Contacto litológico entre las granodioritas del batolito San Lucas y los esquistos de la unidad Tres Lagunas.

Los esquistos se observan en los afloramientos N° 7 y N° 9 ubicados en el Bunque (x:697697.85; y:9575868.72) y el Naranjo (x: 697481.56; y: 9576022.34) respectivamente. Estos afloramientos presentan una meteorización media provocada por el agua y el viento.

Las rocas contienen minerales como plagioclasas, cuarzo lechoso, feldespatos potásicos, micas como la biotita y moscovita. La matriz es areno-limosa. Presentan una dureza media dependiendo del grado de meteorización de la roca. Las siguientes figuras representan a los afloramientos donde se evidencia la presencia de esquistos:

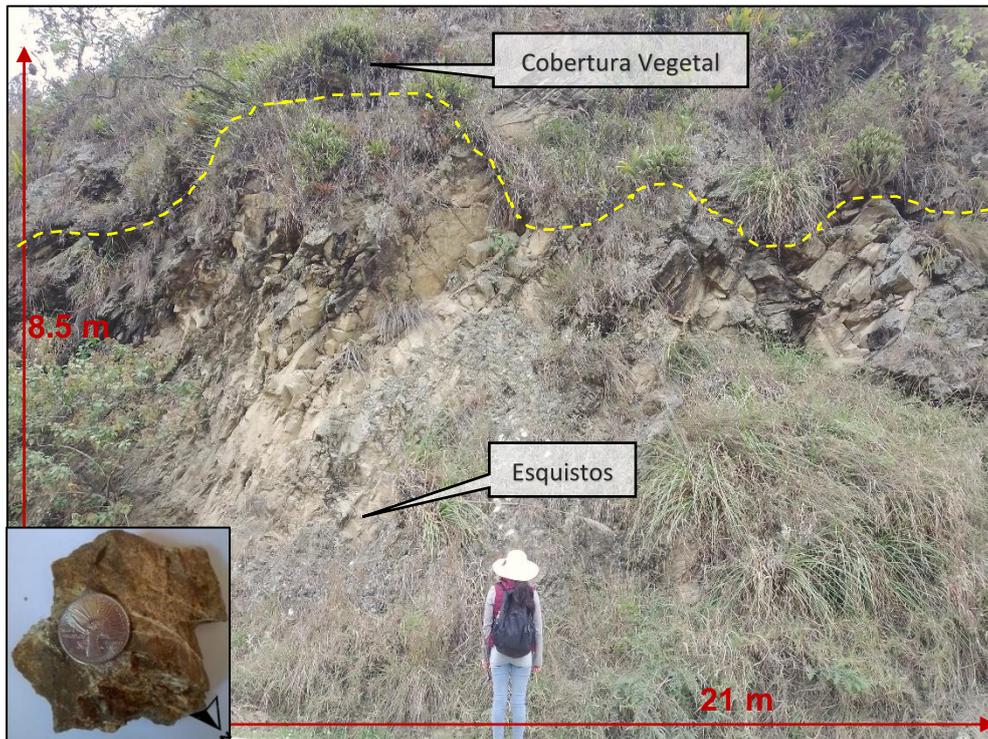


Figura 64. Afloramiento N°7 constituido por esquistos buzando preferencialmente N10°E/50°SE.

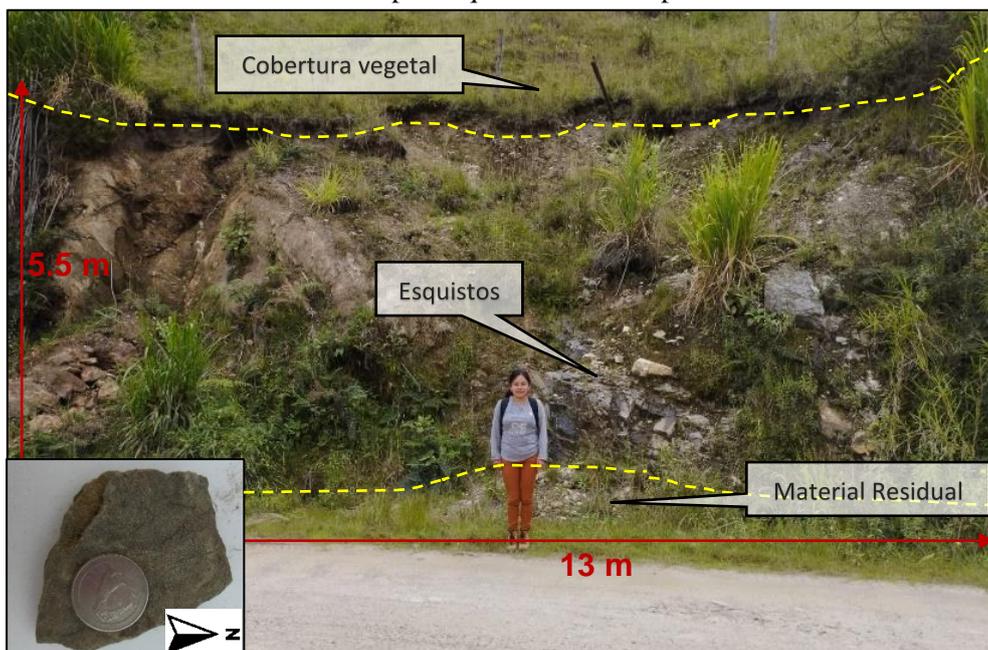


Figura 65. Afloramiento N°9 constituido por esquistos buzando preferencialmente N85°W/41°NE.

En la siguiente figura se presenta la ubicación de una falla normal local observada con rumbo $N75^{\circ}W$ buzando 58° hacia el NE que atraviesa un macizo rocoso conformado por esquistos ubicado en las coordenadas x: 697465.24; y: 9576068.27.

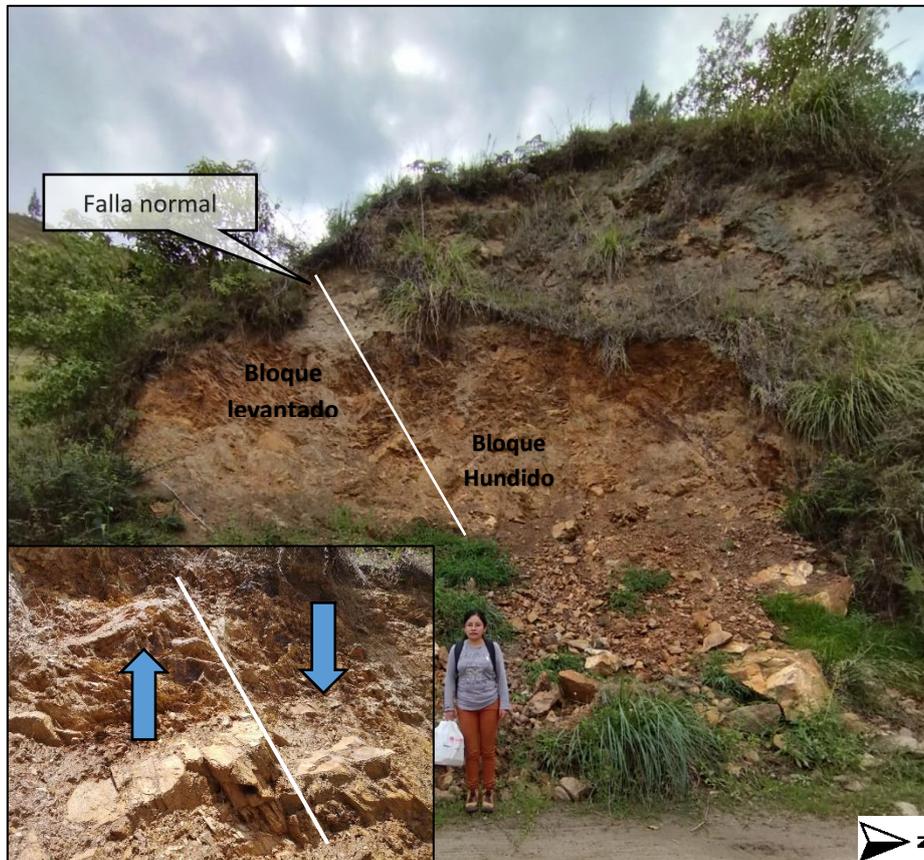


Figura 66. Macizo rocoso constituido por esquistos atravesado por una falla normal de $N75^{\circ}W/58^{\circ}NE$.

6.2.2.2. Gneis

Los gneis (ortogneis) es una roca metamórfica formada por la deformación seguida de la cristalización del granito pertenece a la Unidad Tres Lagunas, se lo puede apreciar en un afloramiento artificial que se ubica en la entrada al barrio el Bunque ubicado en las coordenadas: x: 697628.31; y: 9575922.06 en contacto inferido con los Esquistos.

Las rocas son de color café claro de grano fino a medio, presentan una dureza media Tienen bandas y lentes de composición variable, foliada y bandeada. Las bandas son de color claro compuestas por cuarzo, plagioclasas y feldspatos potásicos y se alternan con bandas de minerales de color oscuro como biotita y anfíboles. Los planos están buzando preferencialmente hacia: $N10^{\circ}E/52NW$. A continuación, se presenta fotográficamente al afloramiento formado por gneis.

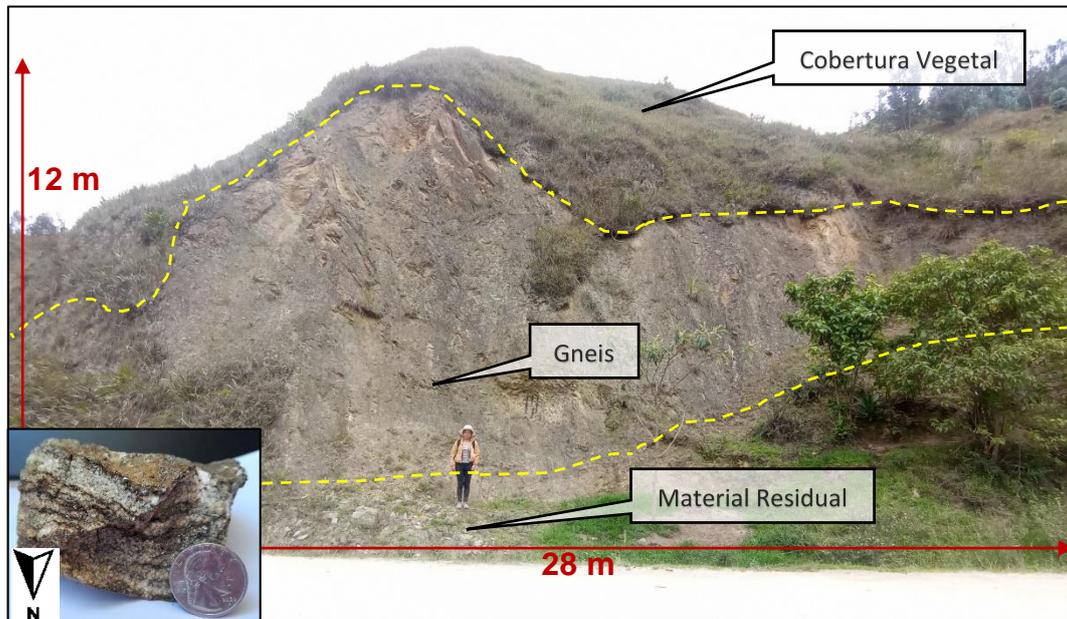


Figura 67. Afloramiento N°8 constituido por de Gneis de la Unidad Tres Lagunas.

6.2.3. Depósitos aluviales

Estos depósitos se ubican a lo largo de todo el tramo de la vía en la ribera del río San Lucas y de las diferentes quebradas existentes. Son depósitos poco consolidados como gravas, arena fina, arena gruesa y limos de origen plutónico como la granodiorita, dioritas y metagranodioritas; y metamórfico como el gneis y esquistos que son arrastrados por la corriente del río San Lucas y Santiago. Son clastos de formas muy variadas desde subangulosas a muy redondeadas, de tamaños centimétricos. Tienen una matriz areno-limosa de color gris y café claro.

Se los encuentra como terrazas y montículos a la orilla del río San Lucas donde hay la presencia de áreas mineras de áridos y pétreos con régimen especial de minería artesanal. Las siguientes figuras evidencian la presencia de estos depósitos.



Figura 68. Terrazas Aluviales contiguas al río San Lucas.



Figura 69. Depósito aluvial y Montículo de material arrastrado por el río San Lucas.

Finalmente, el mapa geológico local a escala 1:5000 del tramo El Gallo-Naranjo se encuentra en el anexo 16.

6.2.4. Cortes geológicos

Se realizaron 4 cortes geológicos con la finalidad de abarcar toda el área de estudio, los cuales se describen a continuación:

En la Figura 70 se presenta el corte geológico A-A' con una longitud de 680 m y una orientación SW – NE. El corte A-A' atraviesa un contacto inferido entre materiales del batolito de San Lucas como granodioritas moderadamente meteorizadas y materiales de la unidad Tres Lagunas constituida por esquistos con matriz areno-limosa. Además, se evidencia depósitos aluviales resultantes de las quebradas como arena fina, arena gruesa y clastos subangulosos de origen volcánico.

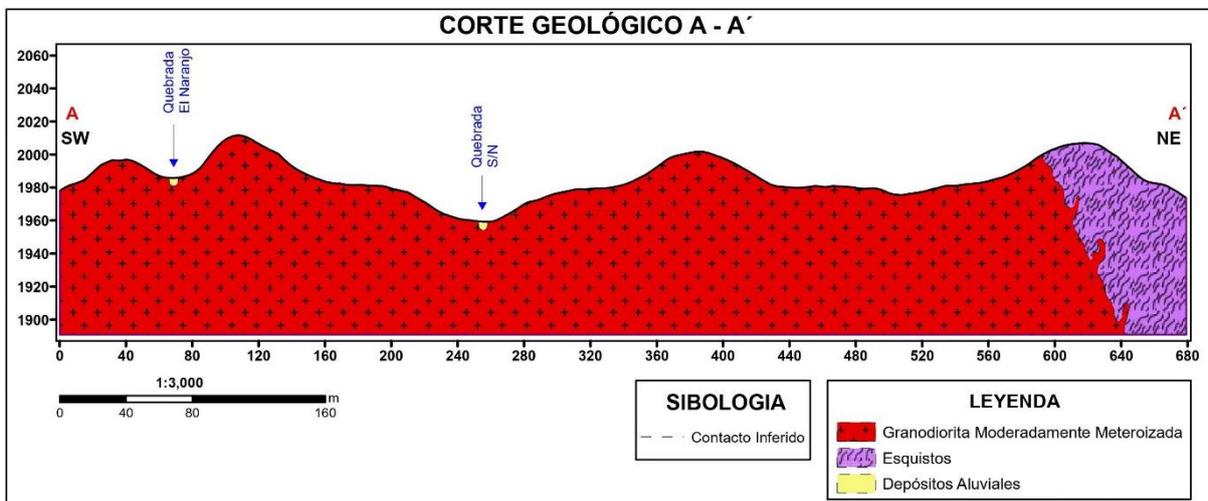


Figura 70. Corte Geológico A-A' con dirección SW-NE.

En la Figura 71 se presenta el corte geológico B-B' con una longitud de 1060 m y una orientación NW – SE. El corte B-B' atraviesa un contacto inferido entre los esquistos y gneis de la Unidad Tres Lagunas; un contacto definido entre materiales de la unidad Tres Lagunas constituida por esquistos y materiales del batolito San Lucas como granodioritas moderadamente meteorizadas; un contacto definido entre granodioritas moderadamente meteorizadas y metagranodioritas pertenecientes al batolito San Lucas; y finalmente un

contacto inferido entre las granodioritas moderadamente meteorizadas y las metagranodioritas, se evidencia depósitos aluviales resultantes de las quebradas como arena fina, arena gruesa y clastos subangulosos de origen volcánico y metamórfico.

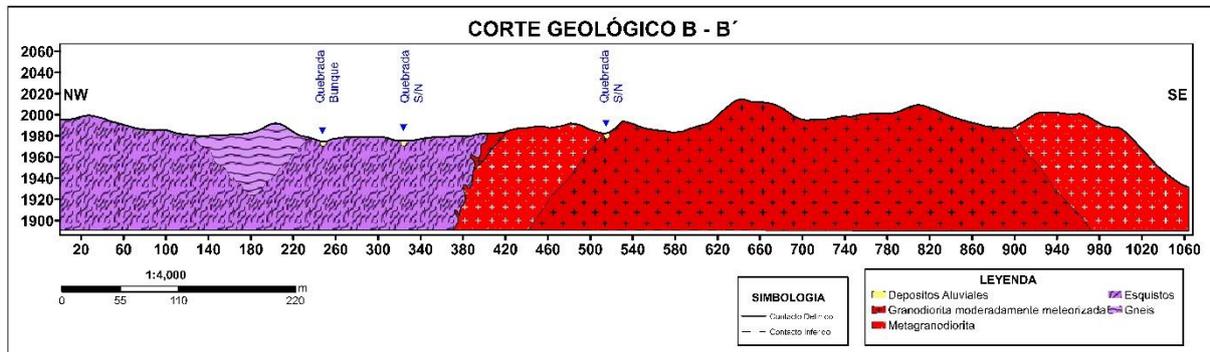


Figura 71. Corte Geológico B-B' con dirección NW-SE.

La Figura 72 presenta al corte geológico C-C' con una longitud de 560 m, con orientación NW – SE. El corte C-C' atraviesa contactos inferidos entre los materiales del batolito de San Lucas como granodioritas moderadamente meteorizadas, dioritas y granodioritas altamente meteorizadas con matriz areno-limosa. Además, se evidencia depósitos aluviales a la orilla de la quebrada El Gallo como arena fina, arena gruesa y clastos subangulosos de origen volcánico.

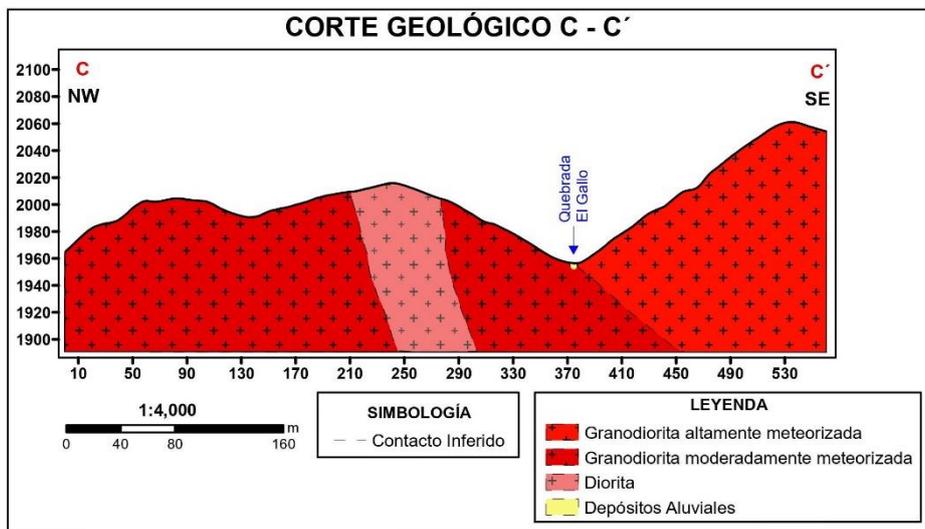


Figura 72. Corte Geológico C-C' con dirección NW-SE.

La Figura 73 presenta al corte geológico D-D' con una longitud de 290 m, con orientación SW – NE realizado perpendicularmente al corte C-C'. El corte D-D' atraviesa contactos inferidos entre los materiales del batolito de San Lucas como granodioritas moderadamente meteorizadas y granodioritas altamente meteorizadas con matriz areno-limosa. Se evidencia depósitos aluviales resultante de la quebrada el Gallo como arena fina, arena gruesa y clastos subangulosos de origen volcánico.

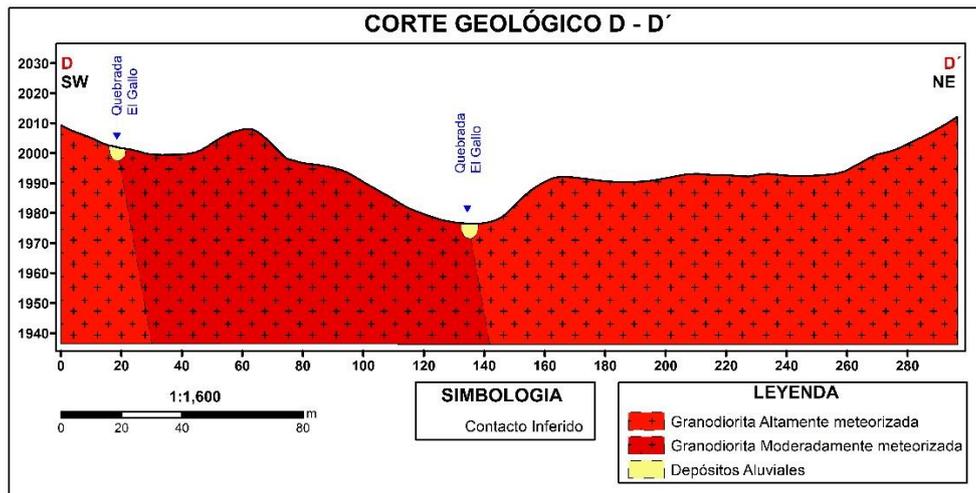


Figura 73. Corte Geológico D-D' con dirección SW-NE.

6.3. Inventario de Deslizamientos

Dentro del área de estudio se realizó el inventario de 9 deslizamientos (Anexo 5) los cuales se describen a continuación:

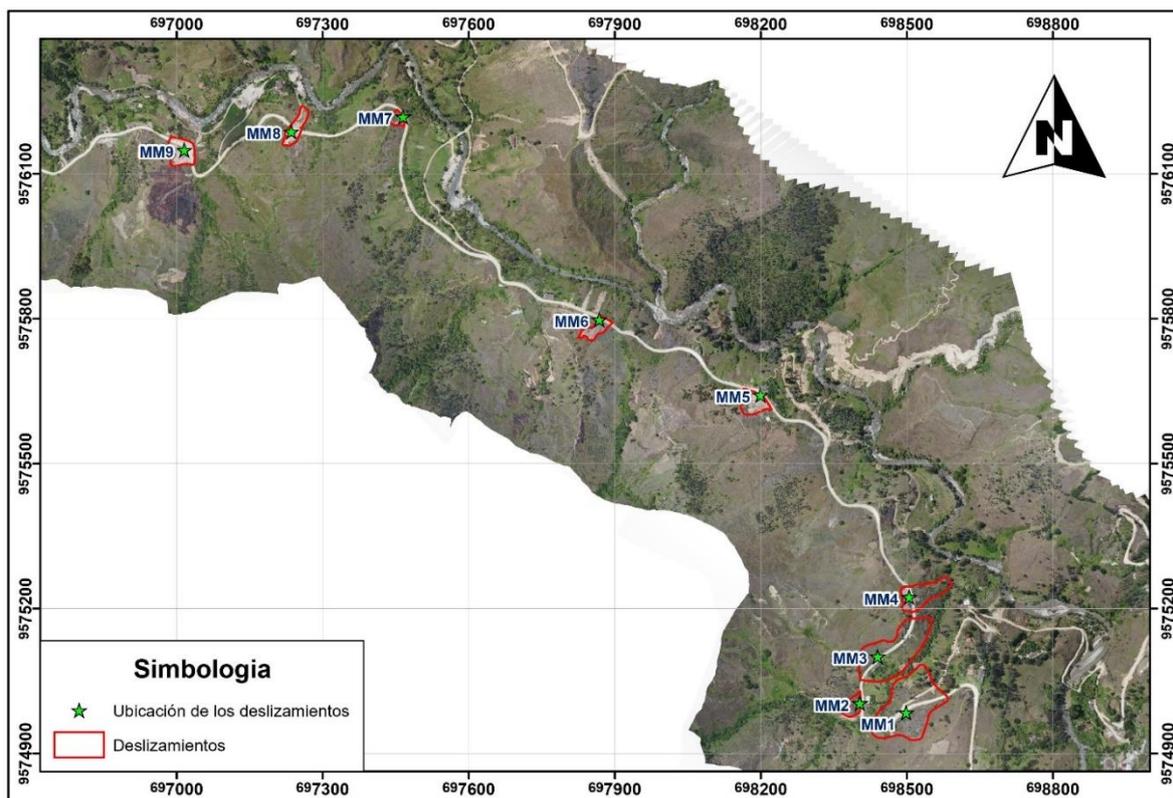


Figura 74. Ubicación geográfica de los deslizamientos.

De los 9 deslizamientos rotacionales inventariados se seleccionó al deslizamiento MM4 como el deslizamiento más representativo por sus características morfométricas, topográficas, pendientes e influencia social.

6.3.1. Deslizamiento MM1



Figura 75. Deslizamiento MM1 formado por granodioritas.

El deslizamiento MM1 (COD.010) está ubicado en la entrada al barrio Jesús María exactamente en las coordenadas: x:698534.58; y: 9574996.09; z: 2013.12. Está formado por granodioritas altamente meteorizadas (sábulo) perteneciente al batolito San Lucas con una matriz areno-limosa y poco consistente que se disgrega con facilidad. Las rocas tienen una coloración café claro con tonalidad anaranjada debido a la meteorización al cual está expuesto por acción del agua y viento.

Es un deslizamiento rotacional antiguo con una edad entre 41-60 años, producido artificialmente debido a la desestabilidad de la ladera provocada por la apertura la vía antigua a Cuenca. Según la descripción general presenta una dirección N32°W, actualmente tiene un estado de movimiento latente pero que puede ser reactivado por sus causas originales como: cortes en la ladera por acción humana, disminución de la resistencia de los suelos y rocas por la presencia de agua lluvia de moderada intensidad, pero continuas y prolongadas que provoca saturación del suelo, entre otras causas. Pese a ser un deslizamiento antiguo en periodo invernal se producen otros tipos de movimientos en la masa desplazada como flujos. Geomorfológicamente el deslizamiento está dentro de una colina alta con pendientes empinadas entre un rango 35°-55°.

Tabla 31. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM1

Tipo de movimiento	Desliz. Rotacional
Estado de movimiento	latente
Diferencia de altura corona a punta	88.5 m
Longitud horizontal corona a punta	118.6 m
Pendiente de ladera en Post-falla	36.7°
Ancho de la masa desplazada	59 m
Longitud de la masa desplazada	98 m
Longitud total	147.98 m

6.3.2. Deslizamiento MM2



Figura 76. Deslizamiento MM2 formado por granodioritas.

El deslizamiento MM2 (COD.013) está ubicado en el Gallo exactamente en las coordenadas: x: 698385.02; y: 9574976.17; z: 1998.08. Está formado por material perteneciente al batolito San Lucas como las granodioritas moderadamente meteorizadas en una matriz arenosa. Las rocas tienen una coloración café claro a gris con tonalidades blancas y negras.

Es un deslizamiento rotacional con una edad entre 16-20 años, producido artificialmente debido a la pérdida de la resistencia de las rocas y la fuerte pendiente resultante de la apertura la vía antigua a Cuenca. Según la descripción general presenta una dirección S82°E, actualmente tiene un estado de movimiento reactivado donde a lo largo de la masa desplazada se han producido otros tipos de movimientos en masa como: caída de rocas y flujos de detritos, éstos movimientos secundarios son frecuentes en periodo invernal es por ello que se encuentra ligeramente húmedo. Geomorfológicamente el deslizamiento está dentro de una colina alta con pendientes empinadas entre un rango 35°-55°.

Tabla 32. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM2.

Tipo de movimiento	Desliz. Rotacional
Estado de movimiento	Reactivado
Diferencia de altura corona a punta	27.5 m
Longitud horizontal corona a punta	26.2 m
Pendiente de ladera en Post-falla	46.4°
Ancho de la masa desplazada	36.4 m
Longitud de la masa desplazada	19.8 m
Longitud total	37.98 m

6.3.3. Deslizamiento MM3

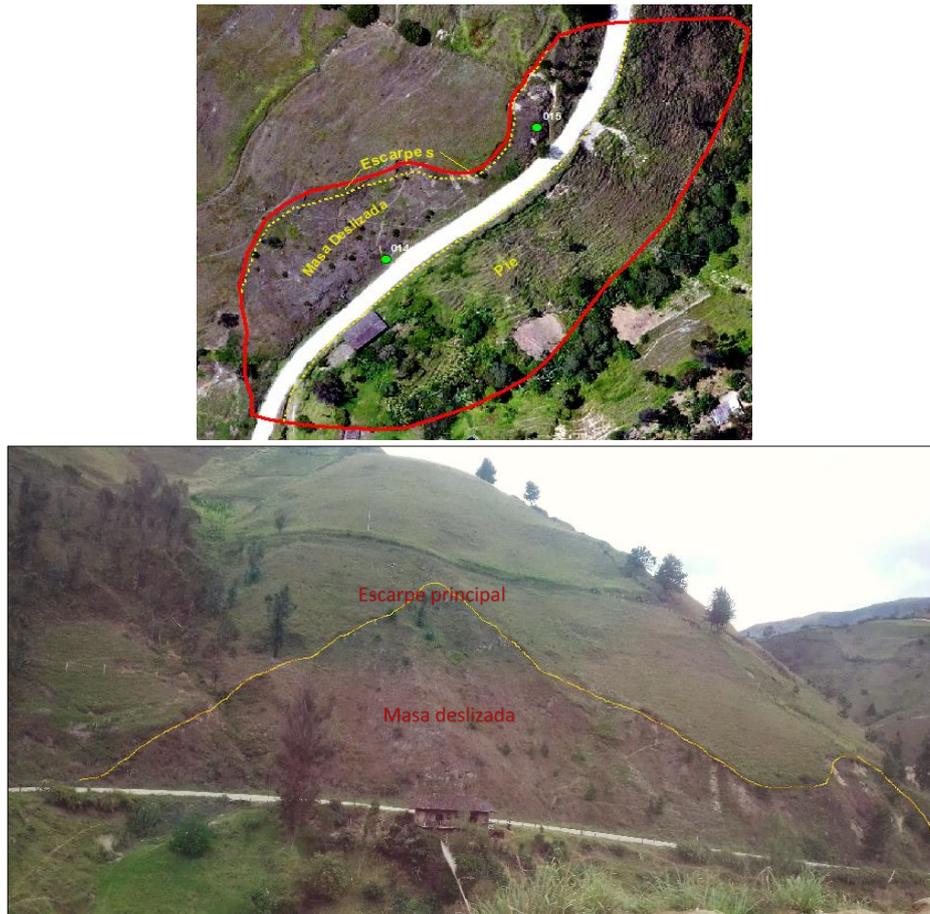


Figura 77. Deslizamiento MM3 formado por granodioritas.

El deslizamiento MM3 (COD.014) está ubicado en el Gallo exactamente en las coordenadas: x: 698443.94; y: 9575103.33; z: 1994.87. Está formado por material perteneciente al batolito San Lucas como las granodioritas moderadamente meteorizado con una matriz areno-limosa. Las rocas tienen una coloración gris a café claro.

Es un deslizamiento rotacional antiguo con una edad entre 41-60 años, producido artificialmente debido a la desestabilidad de la ladera provocada por la apertura la vía antigua a Cuenca. Según la descripción general presenta una dirección S50°E, actualmente tiene un estado de movimiento latente, pero puede ser reactivado por sus causas originales como: cortes en la ladera por acción humana, disminución de la resistencia de los suelos y rocas por la presencia de agua lluvia. Pese a ser un deslizamiento antiguo en periodo invernal se producen otros tipos de movimientos en la masa desplazada como caída de rocas y flujo de detritos, además se encuentra ligeramente húmedo. Geomorfológicamente el deslizamiento está dentro de una colina alta con pendientes empinadas entre un rango 35°-55°.

Tabla 33. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM3.

Tipo de movimiento	Desliz. Rotacional
Estado de movimiento	Latente
Diferencia de altura corona a punta	66 m
Longitud horizontal corona a punta	88.5 m
Pendiente de ladera en Post-falla	36.7°
Ancho de la masa desplazada	112 m
Longitud de la masa desplazada	26 m
Longitud total	110.4 m

6.3.4. Deslizamiento MM4



Figura 78. Deslizamiento MM4 formado por dioritas.

El deslizamiento MM4 (COD.016) está ubicado en el Gallo exactamente en las coordenadas: x: 698505.84; y: 9575222.86; z: 1987.07. Está formado por dioritas del batolito San Lucas con una matriz arenosa. Las rocas tienen una coloración gris oscuro dentro de una mezcla contrastante de granos minerales blancos y negros.

Es un deslizamiento rotacional con una edad entre 6-10 años, producido artificialmente debido a la saturación del suelo y rocas en periodo invernal y la fuerte pendiente resultante de la apertura la vía antigua a Cuenca. Según la descripción general presenta una dirección N82°E, actualmente tiene un estado de movimiento activo donde a lo largo de la masa desalojada se

han producido flujos en periodo invernal. Geomorfológicamente el deslizamiento está dentro de una colina alta con pendientes empinadas entre un rango 35°-55°.

Tabla 34. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM4.

Tipo de movimiento	Desliz. Rotacional
Estado de movimiento	Activo
Diferencia de altura corona a punta	20.63 m
Longitud horizontal corona a punta	21.5 m
Pendiente de ladera en Post-falla	43.81°
Ancho de la masa desplazada	37.5 m
Longitud de la masa desplazada	16.5 m
Profundidad de la superficie de ruptura	2.70 m
Longitud total	21.28 m

6.3.5. Deslizamiento MM5

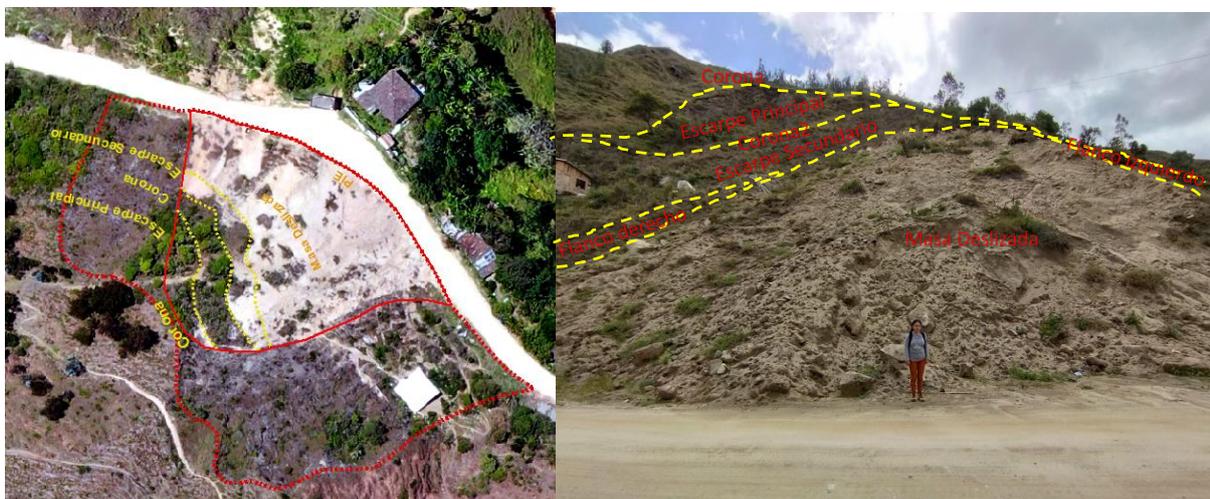


Figura 79. Deslizamiento MM5 formado por granodioritas.

El deslizamiento MM5 (COD.020) está ubicado frente a la visera del barrio Illizhapa exactamente en las coordenadas: x: 698208.89; y: 9575631.88; z:1989.60. Está formado por granodioritas moderadamente meteorizadas perteneciente al batolito San Lucas con una matriz arenosa. Las rocas tienen una coloración café claro a gris con tonalidades blancas y negras.

Es un deslizamiento rotacional reciente (6-10 años) sin embargo procede de un deslizamiento antiguo que se produjo durante la apertura de la vía por la pérdida de la resistencia de las rocas y la fuerte pendiente de la ladera. Actualmente se activa todos los años en periodo invernal produciendo deslizamientos del mismo tipo y pone en riesgo a la población que se encuentra asentada en el pie del deslizamiento. Según la descripción general el deslizamiento original antiguo presenta una dirección N54°E y la distancia desde el pie del deslizamiento hasta el escarpe principal es de 51.82m; una longitud horizontal corona a punta de 68 m; un ancho de la masa desplazada de 55.57m; longitud de la masa desplazada de 85m; y una longitud total de 90.6m. Geomorfológicamente el deslizamiento está dentro de una colina alta con pendientes empinadas entre un rango 35°-55°.

Tabla 35. *Parámetros morfométricos del deslizamiento MM5 más reciente*

Tipo de movimiento	Desliz. Rotacional
Estado de movimiento	Activo
Diferencia de altura corona a punta	40 m
Longitud horizontal corona a punta	50 m
Pendiente de ladera en Post-falla	38.65°
Ancho de la masa desplazada	42 m
Longitud de la masa desplazada	30.2 m
Longitud total	64.03 m

6.3.6. Deslizamiento MM6

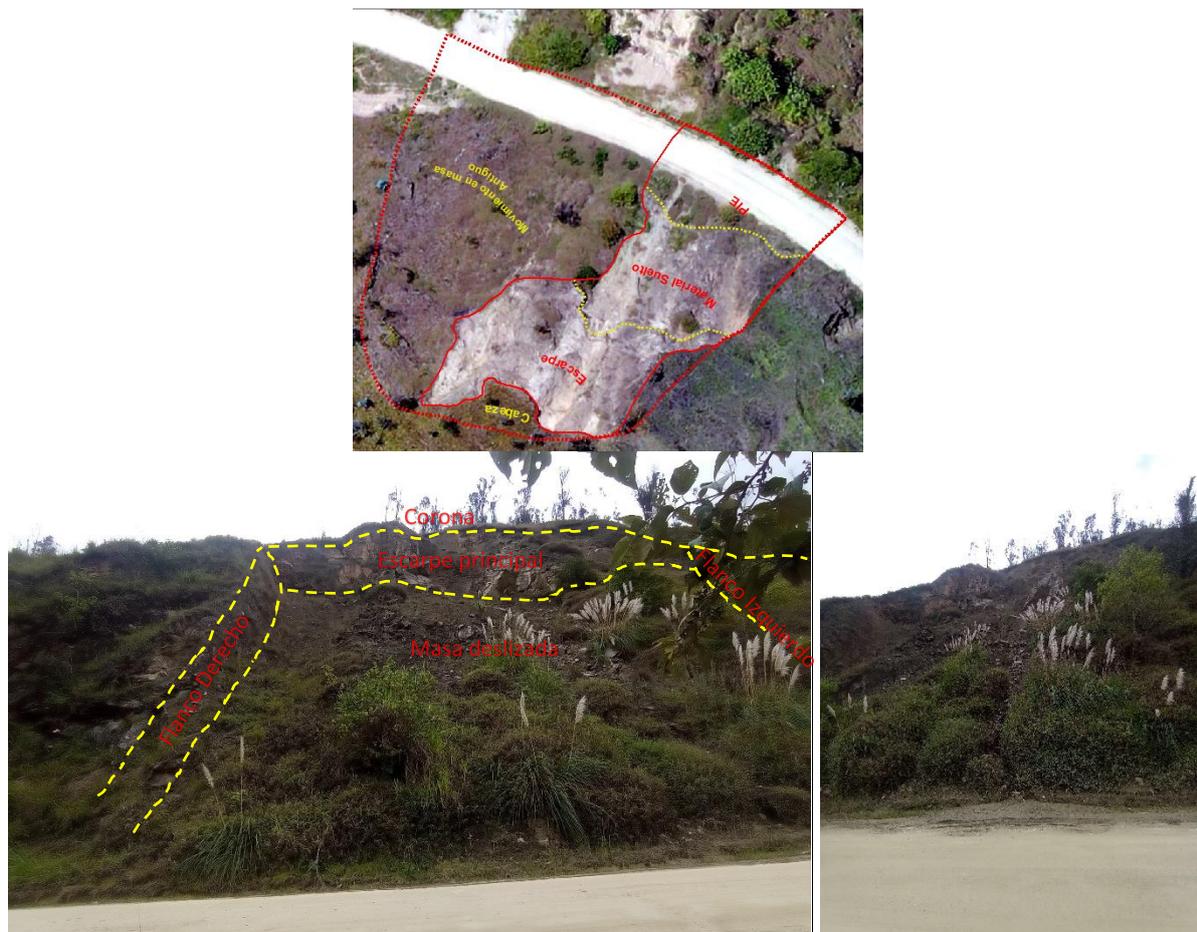


Figura 80. Deslizamiento MM6 formado por metagranodioritas.

El deslizamiento MM7 (COD.022) está ubicado en el Bunque exactamente en las coordenadas: x: 697870.32; y: 9575799.25; z: 1986.19. Está formado por metagranodioritas con una coloración gris oscuro con tonalidad azul.

Es un deslizamiento rotacional procedente de un deslizamiento antiguo ocurrido hace 41-60 años. Se produjo artificialmente debido a la disminución de la resistencia de las rocas por la presencia de lluvias prolongadas y la fuerte pendiente resultante del corte que se realizó durante la construcción de la vía antigua a Cuenca el cual provocó que la pendiente quede alta y por consiguiente exista la caída de rocas por efecto de la gravedad. Según la descripción general el deslizamiento presenta una dirección N41°E, actualmente tiene un estado de

movimiento reactivado, ya que en los últimos años se ha producido caída de rocas, éstas caídas son frecuentes en periodo invernal. Geomorfológicamente el deslizamiento está dentro de una colina alta con pendientes empinadas entre un rango 35°-55°.

Tabla 36. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM6

Tipo de movimiento	Desliz. rotacional y caída de roca
Estado de movimiento	Reactivado
Diferencia de altura corona a punta	63.19 m
Longitud horizontal corona a punta	61 m
Pendiente de ladera en Post-falla	55°
Ancho de la masa desplazada	35 m
Longitud de la masa desplazada	59.2 m
Longitud total	87.7 m

6.3.7. Deslizamiento MM7



Figura 81. Deslizamiento MM7 formado por Esquistos micáceos.

El deslizamiento MM7 (COD.026) está ubicado en el Naranjo exactamente en las coordenadas: x: 697465.84; y: 9576207.72; z: 1986.84. Está formado por material perteneciente a la unidad Tres Lagunas como esquistos micáceos con una matriz areno-limosa. Las rocas tienen una coloración café claro a rojizo.

Es un deslizamiento rotacional con una edad entre 11-15 años, producido artificialmente años después de la apertura la vía antigua a Cuenca, debido a la disminución de la resistencia de las rocas por el agua lluvia. Según la descripción general presenta una dirección N74°E,

actualmente tiene un estado de movimiento reactivado donde a lo largo de la masa desplazada se han producido otros tipos de movimientos en masa como: flujos de detritos dentro del mismo plano de falla, éstos movimientos secundarios son frecuentes en periodo invernal. Geomorfológicamente el deslizamiento está dentro de una colina alta con pendientes empinadas entre un rango 35°-55°.

Tabla 37. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM7.

Tipo de movimiento	Desliz. rotacional
Estado de movimiento	Reactivado
Diferencia de altura corona a punta	21 m
Longitud horizontal corona a punta	28.1 m
Pendiente de ladera en Post-falla	36.7°
Ancho de la masa desplazada	25.6 m
Longitud de la masa desplazada	17 m
Longitud total	35.1 m

6.3.8. Deslizamiento MM8



Figura 82. Deslizamiento MM8 formado por granodiorita.

El deslizamiento MM8 (COD.028) está ubicado en el Naranjo exactamente en las coordenadas: x: 697249.62; y: 9576180.52; z: 1986.44. Está formado por material perteneciente al batolito San Lucas como granodioritas moderadamente meteorizadas con una matriz arenolimsa. Las rocas tienen una coloración café claro con tonalidad anaranjada debido a la meteorización al cual está expuesto por acción del agua y viento.

Es un deslizamiento rotacional procedente de un deslizamiento antiguo ocurrido hace 41-60 años durante la apertura de la vía antigua a Cuenca. El deslizamiento más reciente tiene una edad entre 6-10 años, producido por la disminución de la resistencia de los suelos y rocas por la presencia de agua lluvia de moderada intensidad, pero continuas y prolongadas. Según

la descripción general presenta una dirección N31°E, actualmente tiene un estado de movimiento reactivado, ya que se han producido otros movimientos en masa en el cuerpo del deslizamiento antiguo como: deslizamientos rotacionales y flujos de detritos, éstos movimientos secundarios son frecuentes en periodo invernal. Geomorfológicamente el deslizamiento está dentro de una vertiente y colina alta con pendientes empinadas entre un rango 35°-55°.

Tabla 38. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM8.

Tipo de movimiento	Desliz. rotacional
Estado de movimiento	Reactivado
Diferencia de altura corona a punta	65 m
Longitud horizontal corona a punta	87 m
Pendiente de ladera en Post-falla	36.7°
Ancho de la masa desplazada	22 m
Longitud de la masa desplazada	73.4 m
Longitud total	108.6 m

6.3.9. Deslizamiento MM9

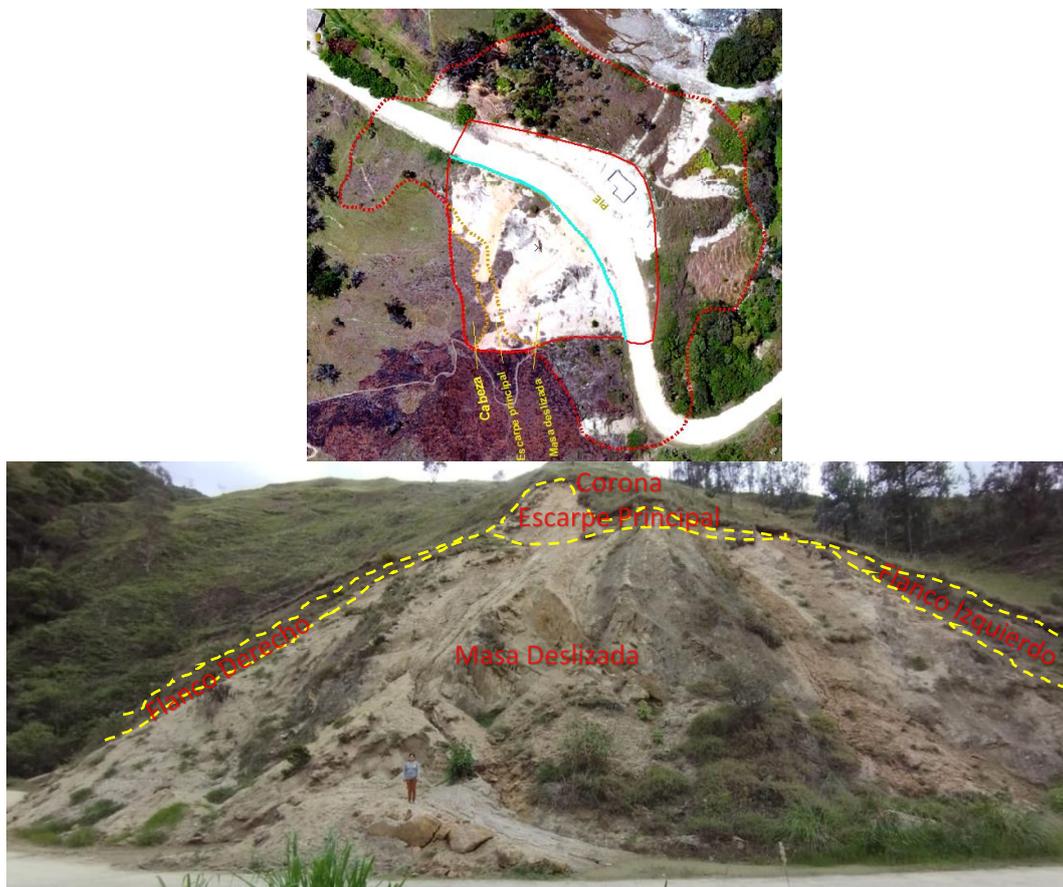


Figura 83. Deslizamiento MM9 formado por granodiorita.

El deslizamiento MM9 (COD.030) está ubicado en el Naranjo exactamente en las coordenadas: x: 697025.25; y: 9576136.75; z: 1990.73. Está formado por material perteneciente al batolito San Lucas como granodioritas moderadamente meteorizadas tendiendo a granito con una matriz areno-limosa. Las rocas tienen una coloración gris con tonalidades anaranjadas.

Es un deslizamiento rotacional procedente de un deslizamiento antiguo que se encontraba inactivo y ocurrió hace 41-60 años durante la apertura de la vía antigua a Cuenca. El deslizamiento más reciente tiene una edad entre 6-10 años, producido por la disminución de la resistencia de los suelos y rocas por la presencia de agua lluvia. Actualmente hay que ejecutar medidas de estabilización ya que existe población habitando en el pie del deslizamiento. Según la descripción general presenta una dirección N47°E, actualmente tiene un estado de movimiento reactivado, ya que se ha producido otro movimiento en masa en el cuerpo del deslizamiento antiguo como: deslizamientos rotacionales éstos movimientos secundarios son frecuentes en periodo invernal. Geomorfológicamente el deslizamiento está dentro de una colina alta con pendientes empinadas entre un rango 35°-55°.

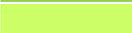
Tabla 39. Parámetros morfométricos del deslizamiento MM9.

Tipo de movimiento	Desliz. rotacional
Estado de movimiento	Reactivado
Diferencia de altura corona a punta	32.08 m
Longitud horizontal corona a punta	45 m
Pendiente de ladera en Post-falla	35.5°
Ancho de la masa desplazada	39.7 m
Longitud de la masa desplazada	35.7 m
Longitud total	44.5 m

6.4. Pendientes

El mapa de pendientes muestra los cambios de elevación en un nivel y determina la inclinación de las laderas. En el área de estudio se identificaron 5 categorías según la clasificación de Demek: pendiente ligeramente inclinada, pendiente fuertemente inclinada, pendiente muy inclinada, pendiente empinada y pendiente vertical con valores desde <1° hasta >55°.

Tabla 40. Pendientes del tramo de estudio.

Clase	Rango (°)	Descripción	Color	Área (Ha)	Porcentaje
1	0-5	Pendientes ligeramente inclinadas		1.1720	2.0237
2	>5-15	Pendientes fuertemente inclinadas		4.4697	7.7175
3	>15-35	Pendientes muy inclinadas		18.181	31.393
4	>35-55	Pendientes empinadas		33.652	58.105
5	>55	Pendientes verticales		0.4406	0.7608

De los resultados obtenidos la mayor parte del territorio está constituida por pendientes empinadas con 35°-55° y abarca un área de 33.652Ha correspondiente al 58.11%. De igual manera la clase de relieve muy inclinado con un rango de pendiente >15°-35° cubre un área de 18.181 Ha correspondiente al 31.39%, éstas pendientes están distribuidas en toda el área de estudio hacia el este y oeste del Río San Lucas.

Las pendientes ligera y fuertemente inclinadas referidas a inclinaciones 0° - 5° y $>5^{\circ}$ - 15° ocupan un área total de 1.1720Ha y 4.469Ha respectivamente y se encuentran en las partes bajas junto a la ribera del Río San Lucas y El Bunque.

Los relieves con pendientes verticales $>55^{\circ}$ ocupan el menor porcentaje del territorio correspondiendo a un 0.7608%, se ubican en las partes altas y en las colinas situadas al lado oeste del Río San Lucas.

El mapa de pendientes resultante a escala 1:5000 del tramo El Gallo-Naranja se presenta en el anexo 17.

6.5. Geomorfología

El relieve que predomina en el área de estudio son las colinas altas, ya que se presenta en el 52.71% del territorio con un área de 30.668 Ha; seguido de las vertientes con un porcentaje de 31.729% y un área de 18.45Ha. Los siguientes en importancia son las terrazas que se presentan en el 9.62% contiguas al río San Lucas y río Bunque; y las colinas medianas que abarcan el 5.24% del total parroquial. Por ultimo en menor porcentaje con un 0.696% se tiene al relieve montañoso con una extensión de 0.405Ha.

Tabla 41. Geomorfología del área de estudio.

Color	Geoforma	Pendiente	Área (Ha)	Porcentaje
	Relieve Montañoso	35° - 55°	0.405	0.696
	Colinas altas	15° - 55°	30.668	52.715
	Colinas medianas	15° - 35°	3.050	5.243
	Vertientes	5° - 55°	18.459	31.729
	Terrazas	0° - 15°	5.595	9.617

6.5.1. Relieve Montañoso



Figura 84. Relieve Montañoso.

Esta unidad geomorfológica se ubica al Sur-Oeste del área de estudio específicamente en la entrada a Illizhapa la cual se encuentra en las siguientes coordenadas x: 698269.39; y:

9575432.28; z: 2062.42. El relieve montañoso cubre un área de 0.405 Ha lo cual representa el 0.696%. Tiene un desnivel relativo de 65 m. La pendiente es empinada entre los 35°-55°. Está constituido por rocas duras y metamorfoseadas como las metagranodioritas del batolito San Lucas.

6.5.2. *Colinas Altas*



Figura 85. Colinas Altas.

Esta unidad geomorfológica es la geoforma predominante distribuida en toda el área de estudio de este a oeste del Río San Lucas. Las colinas altas cubren un área de 30.668Ha lo cual representa el 52.72%. Tiene desniveles relativos de hasta 105 m. Las pendientes van desde fuertemente inclinadas hasta empinadas entre los 15°-55° respectivamente. Están constituidas por rocas de origen ígneo pertenecientes al batolito San Lucas y metamórficas de la unidad Tres Lagunas.

6.5.3. *Colinas Medianas*



Figura 86. Colinas Medianas.

Esta unidad geomorfológica se ubica al Norte del área de estudio específicamente en el Barrio El Naranjo. Las colinas medianas cubren un área de 3.050Ha lo cual representa el 5.243%. Tienen un desnivel relativo de 63 m. Las pendientes van desde fuertemente inclinada hasta muy inclinada entre los 15°-35°. Está constituido por granodioritas pertenecientes al batolito San Lucas y metamórficas como los esquistos de la unidad Tres Lagunas.

6.5.4. Vertientes



Figura 87. Vertientes.

Esta unidad geomorfológica está distribuida en toda el área de estudio al oeste del Río San Lucas. Las vertientes cubren un área de 18.46Ha lo cual representa el 31.73%. Tiene desniveles relativos de hasta 100 m. Las pendientes van desde ligeramente inclinadas hasta empinadas entre los 5°-55° respectivamente. Están constituidas por rocas de origen ígneo pertenecientes al batolito San Lucas y metamórficas de la unidad Tres Lagunas.

6.5.5. Terrazas



Figura 88. Terrazas Aluviales.

Esta unidad geomorfológica está presente a ambos márgenes del río San Lucas y río Bunque. Las terrazas aluviales cubren un área de 5.59Ha lo cual representa el 9.62%. Tiene desniveles relativos de 4 m. Las pendientes son ligeramente inclinadas con valores entre 0°-15°. Están formadas por depósitos aluviales transportados y depositados de granulometría muy diversa como grava gruesa y arena fina. Su desarrollo se debe a que estos terrenos dan lugar a inundaciones en épocas de crecida.

En general el relieve es bastante quebrado tanto al lado este y oeste del tramo de vía el Gallo-Naranjo. El mapa geomorfológico del área de estudio con la ubicación de los 9 deslizamientos inventariados se presenta en el anexo 18, donde sobresale que la mayoría de los deslizamientos están dentro de una colina alta con pendientes entre 15°-55°.

6.6. Caracterización Geotécnica

Con la finalidad de aportar con información relevante para la ampliación y mejoramiento de la vía antigua a Cuenca, específicamente en el tramo el Gallo-Naranjo se optó por aplicar método geotécnicos directos e indirectos tomando en consideración las características del área de estudio, geología, topografía, geomorfología y pendientes.

6.6.1. Prospección Geofísica

6.6.1.1. Sondeos eléctricos Verticales

Los sondeos eléctricos verticales se emplearon con la finalidad de definir y corroborar las litologías y grado de saturación existentes en el subsuelo del área de estudio, es por ello que se realizaron un total de 3 sondeos eléctricos verticales mediante el arreglo Schlumberger, cada uno de ellos está ubicado en zonas críticas del tramo de estudio (figura 89).





Figura 89. Registro fotográfico de la ubicación de los 3 SEVs.

Nota. Etsuelcon, 2023.

A continuación, se describen los resultados por cada uno de los sondeos eléctricos verticales:

- **SEV 1**

Ubicado al norte del área de estudio, en las coordenadas 697015 - 9576147, la línea se realizó a una cota de 1990.73 m.s.n.m, una abertura de AB/2 de 100m y una profundidad estimada de 16m. En la Tabla 43 se observan los datos obtenidos en el campo para el SEV 1 y en la figura 90 la curva de resistividad aparente SEV 1 en el software IPI2Win con los datos para su posterior interpretación. El error es 3.27% valor que se considera aceptable ya que el equipo posee un error permisible de 10%.

Tabla 42. Datos obtenidos en el campo para el SEV 1.

AB/2 (m)	MN (m)	K	$\Delta v/I$	pa (Ωm)
1	0.500	2.40	21.1640	50.79
1.5	0.500	6.28	9.5847	60.19
2	0.500	11.78	6.2325	73.42
2.5	0.500	18.85	4.2989	81.03
2.5	1.000	8.25	9.4717	78.14
3	0.500	27.50	3.2372	89.02
3	1.000	12.60	6.9751	87.89
5	1.000	37.70	2.8939	109.10
7	1.000	75.40	1.5247	114.96
10	1.000	155.50	0.7825	121.68
10	2.500	58.90	2.1139	124.51
15	1.000	351.90	0.3704	130.36
15	2.500	137.40	0.9843	135.25
20	2.500	247.40	0.6002	148.48
20	10.000	47.10	3.1451	148.13
30	10.000	125.70	1.4796	185.99
40	10.000	235.60	0.9000	212.04
50	10.000	377.00	0.6974	262.93
70	10.000	754.00	0.5807	437.83
100	10.000	1555.10	0.4284	666.17
150	10.000	6267.50		
200	10.000	19226.50		

Nota. Etsuelcon, 2023.

De acuerdo a las curvas teóricas, en el software IPI2Win se generó 4 capas, obteniendo así la curva de resistividad aparente, la cual se presenta a continuación:

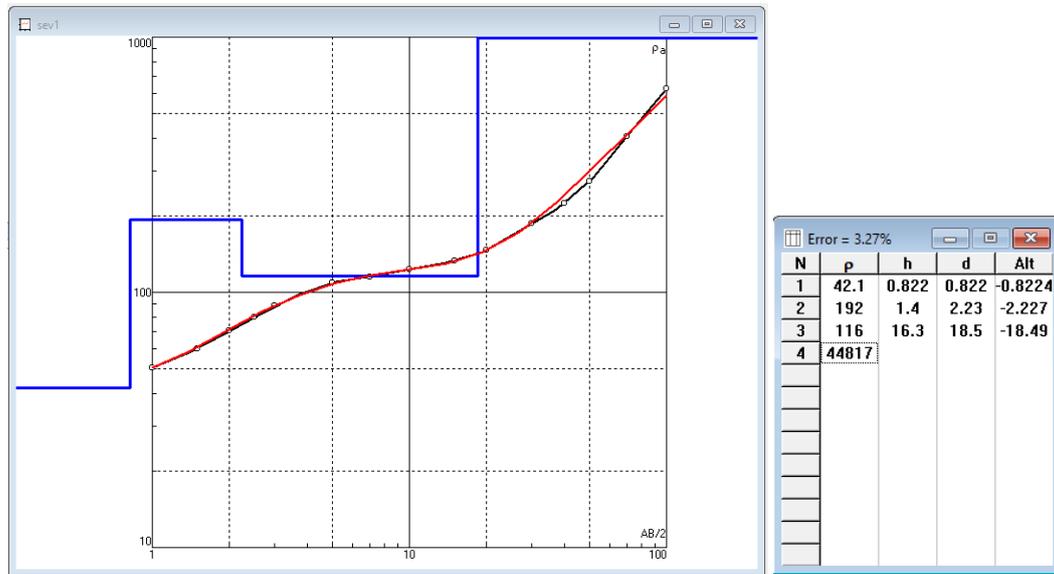


Figura 90. Curva de Resistividad aparente del SEV1 y tabla de datos.

Interpretación SEV 1.

Según la curva de resistividad eléctrica, se establece 4 capas. La primera capa corresponde a un suelo arenoso sin materia orgánica, seco y suelto con un espesor de 0.8 m y una resistividad de 42.1 Ωm . La segunda capa se conforma de arena limosa seca, sin presencia de materia orgánica con un espesor de 1.4 m y una resistividad de 192 Ωm . La tercera capa corresponde a bloques de roca fracturada de granito modificado alternando con arenas con una potencia de 16.3m y una resistividad de 116 Ωm . Y, por ultimo una capa con resistividad de 44817 Ωm sin una potencia definida correspondiente a Roca sana con diaclasas espaciadas, posibles rocas intrusivas del batolito San Lucas (Granodiorita).

Tabla 43. Resultado del SEV1.

Nº SEV	Resistividad Ωm	Espesor (m)	Descripción	Color
1	42.1	0.8	Suelo arenoso sin materia orgánica, seco y suelto.	Blue
	192	1.4	Arena limosa seca, sin presencia de materia orgánica.	Green
	116	16.3	Bloques de roca fracturada de granito modificado, alternancia con arenas.	Yellow
	44817	∞	Roca sana con diaclasas espaciadas, posibles rocas intrusivas del batolito San Lucas (Granodiorita).	Red

De acuerdo al comportamiento de la curva de resistividad, a la geología de la zona (roca meteorizada) se entiende que los materiales tengan una variación entre horizontes compuestos por arenas tipo sábulos en alternancia con bloques meteorizados y fracturados de rocas tipo granodioríticas, haciendo que la curva presente incrementos considerables en la resistividad de los materiales.

- **SEV 2**

Ubicado en la parte central del área de estudio, en las coordenadas 697858 - 9575806, la línea se realizó a una cota de 1986.19 m.s.n.m y a una abertura de AB/2 de 100m. En la Tabla 45 se observan los datos obtenidos en el campo para el SEV 2 y en la figura 91 la curva de resistividad aparente SEV 2 en el software IPI2Win con los datos para su posterior interpretación. El error es 4.39% valor que se considera aceptable ya que el equipo posee un error permisible de 10%.

Tabla 44. Datos obtenidos en el campo para el SEV 2.

AB/2 (m)	MN (m)	K	$\Delta v/I$	pa (Ωm)
1	0.500	2.40	143.6800	344.83
1.5	0.500	6.28	69.1390	434.19
2	0.500	11.78	45.3570	534.31
2.5	0.500	18.85	25.1210	473.53
2.5	1.000	8.25	41.0190	338.41
3	0.500	27.50	12.6730	348.51
3	1.000	12.60	28.6780	361.34
5	1.000	37.70	12.3970	467.37
7	1.000	75.40	7.5223	567.18
10	1.000	155.50	4.3624	678.35
10	2.500	58.90	10.8300	637.89
15	1.000	351.90		0
15	2.500	137.40	5.3944	741.19
20	2.500	247.40	3.2441	802.59
20	10.000	47.10	16.5770	780.78
30	2.500	561.60		0
30	10.000	125.70	7.1776	902.22
40	10.000	235.60	4.5279	1066.77
50	10.000	377.00	3.2915	1240.90
70	10.000	754.00	1.8075	1362.86
100	10.000	1555.10	1.0420	1620.41
150	10.000	6267.50		
200	10.000	19226.50		

Nota. Etsuelcon, 2023.

De acuerdo a las curvas teóricas, en el software IPI2Win se generó 6 capas, obteniendo así la curva de resistividad aparente, la cual se presenta a continuación:

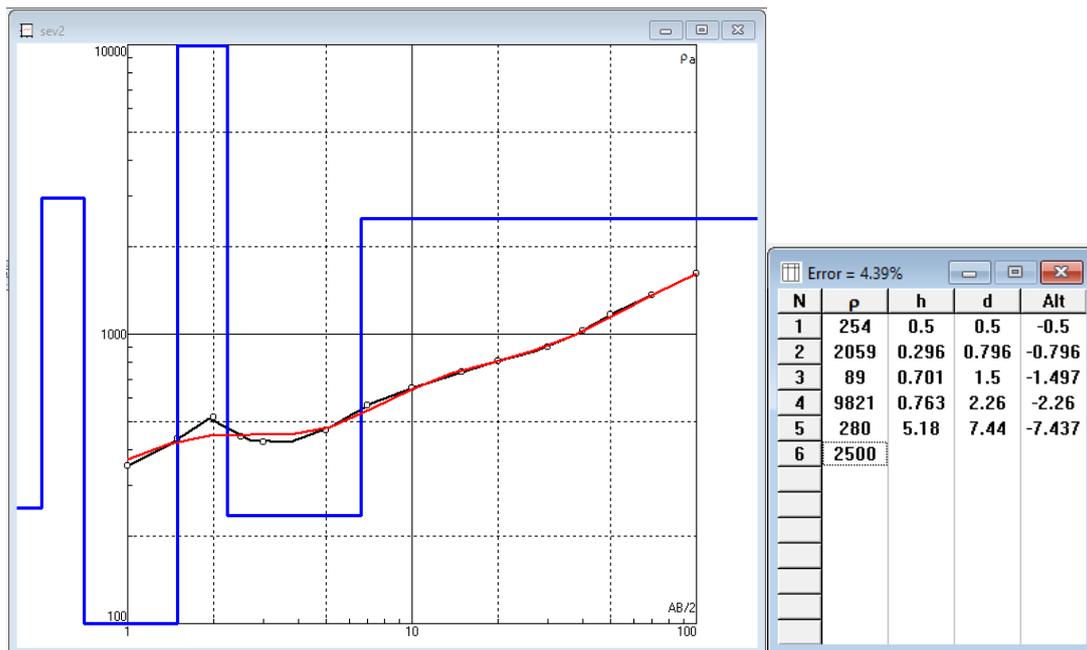


Figura 91. Curva de Resistividad aparente del SEV2 y tabla de datos.

Interpretación SEV 2.

Según la curva de resistividad eléctrica, se establece 6 capas. La primera capa corresponde a un suelo areno-limoso sin materia orgánica seco que tiene un espesor de 0.5m y una resistividad de 254 Ωm. La segunda capa se conforma de roca intrusiva meteorizadas derivadas del granito con un espesor de 0.296 m y una resistividad de 2059 Ωm. La tercera capa se conforma de rocas intrusivas fracturadas derivadas del granito con trazas de humedad con un espesor de 0.701 m y una resistividad de 89 Ωm. La cuarta capa se conforma de roca intrusiva sana derivada del granito con un espesor de 0.763 m y una resistividad de 9821 Ωm. La quinta capa se conforma de bloques de roca ígnea intercalado con suelos areno-limosos con un espesor de 5.18 m y una resistividad de 280 Ωm. Y, por ultimo una capa con resistividad de 2500 Ωm sin una potencia definida correspondiente a roca sana intrusiva posiblemente del batolito San Lucas (Granodiorita).

Tabla 45. Resultado del SEV2.

Nº SEV	Resistividad Ωm	Espesor (m)	Correspondencia del material	Color
2	254	0.5	Suelo areno-limoso sin materia orgánica seco.	Verde
	2059	0.296	Rocas intrusivas meteorizadas derivadas del granito .	Amarillo
	89	0.701	Rocas intrusivas fracturadas derivadas del granito con trazas de humedad.	Naranja
	9821	0.763	Roca intrusiva sana derivada del granito.	Marrón
	280	5.18	Bloques de roca ígnea intercalado con suelos areno-limosos.	Púrpura
	2500	∞	Roca ígnea sana posibles rocas intrusivas del batolito San Lucas (Granodiorita).	Rojo

De acuerdo al comportamiento de la curva de resistividad, a la geología de la zona (metagranodioritas) se entiende que los materiales tengan variación entre las capas compuestas por materiales arenosos poco consolidados en superficie a rocas meteorizadas, rocas sanas de grano medio como metagranodioritas y rocas granodioríticas del batolito San Lucas, haciendo que la curva de campo sea bastante irregular.

- **SEV 3**

Ubicado al sur del área de estudio, en las coordenadas 698196 - 9575649, la línea se realizó a una cota de 1989.60 m.s.n.m, una abertura de AB/2 de 100m y una profundidad estimada de 12m. En la Tabla 47 se observan los datos obtenidos en el campo para el SEV 3 y en la figura 92 la curva de resistividad aparente SEV 3 en el software IPI2Win con los datos para su posterior interpretación. El error es 2.97% valor que se considera aceptable ya que el equipo posee un error permisible de 10%.

Tabla 46. Datos obtenidos en el campo para el SEV 3.

AB/2 (m)	MN (m)	K	$\Delta v/I$	pa (Ωm)
1	0.500	2.40	144.9400	347.86
1.5	0.500	6.28	72.4640	455.07
2	0.500	11.78	43.2720	509.74
2.5	0.500	18.85	27.3940	516.38
2.5	1.000	8.25	63.1580	521.05
3	0.500	27.50	17.2500	474.38
3	1.000	12.60	38.5530	485.77
5	1.000	37.70	9.9490	375.08
7	1.000	75.40	4.3027	324.42
10	1.000	155.50	2.0347	316.40
10	2.500	58.90	5.0605	298.06
15	1.000	351.90		0
15	2.500	137.40	2.4886	341.93
20	2.500	247.40	1.6618	411.13
20	10.000	47.10	7.0669	332.85
30	2.500	561.60	4.2000	0
30	10.000	125.70	4.2623	535.77
40	10.000	235.60	3.1235	735.90
50	10.000	377.00	2.3206	874.87
70	10.000	754.00	1.3736	1035.69
100	10.000	1555.10	775.88	
150	10.000	6267.50		
200	10.000	19226.50		

Nota. Etsuelcon, 2023.

De acuerdo a las curvas teóricas, en el software IPI2Win se generó 4 capas, obteniendo así la curva de resistividad aparente, la cual se presenta a continuación:

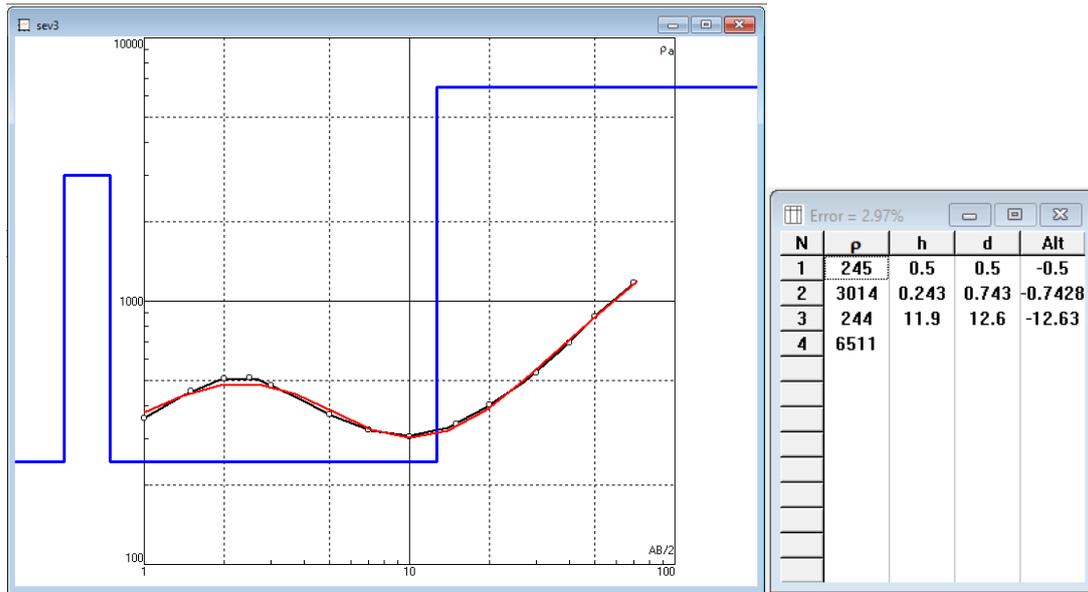


Figura 92. Curva de Resistividad aparente del SEV3 y tabla de datos.

Interpretación SEV 3.

Según la curva de resistividad eléctrica, se establece 4 capas. La primera capa corresponde a un suelo arenoso-limoso sin materia orgánica, seco y suelto con un espesor de 0.5 m y una resistividad de 245 Ωm . La segunda capa se conforma de bloques de roca sana derivados del granito, con un espesor de 0.243 m y una resistividad de 3014 Ωm . La tercera capa se conforma de roca fracturada de granito modificado con un espesor de 11.9 m y una resistividad de 244 Ωm Y, por ultimo una capa con resistividad de 6511 Ωm sin una potencia definida correspondiente roca sana posiblemente material intrusivo del batolito San Lucas (Granodiorita).

Tabla 47. Resultado del SEV3.

Nº SEV	Resistividad Ωm	Espesor (m)	Correspondencia del material	Color
3	245	0.5	Suelo arenoso-limoso sin materia orgánica, seco y suelto.	
	3014	0.243	Bloques de roca sana derivados del granito	
	244	11.9	Roca fracturada de granito modificado.	
	6511	∞	Roca sana posiblemente material intrusivo del batolito San Lucas (Granodiorita).	

De acuerdo al comportamiento de las curvas de resistividad, a la geología de la zona (granodiorita moderadamente meteorizada) se entiende que los materiales tengan poca variación entre horizontes compuestos por rocas meteorizadas en superficie a rocas sanas granodioríticas a profundidad, haciendo que la curva de campo presente incrementos considerables en la resistividad de los materiales.

Con base a los 3 sondeos realizados en campo y al procesamiento de datos, se desarrolló una pseudo sección de resistividad aparente (Figura 93), en el cual se distingue las distintas resistividades que presentan los geomateriales en cada sitio de estudio.

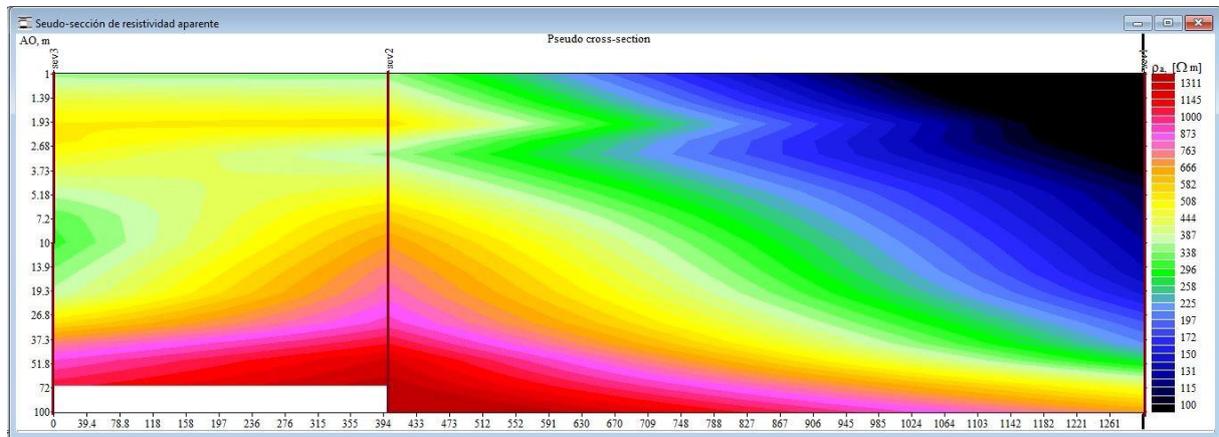


Figura 93. Pseudo sección de resistividad aparente.

6.6.2. *Calicata Geotécnica*

Se realizó 1 calicata con fines geotécnicos en la parte sur del área de estudio de la cual sobresalieron tres estratos (figura 94) conformados principalmente de limos orgánicos, arenas limosas, y limos de baja plasticidad, lo que permitió obtener información sobre las características de los suelos y representarlas en una columna estratigráfica (figura 95).

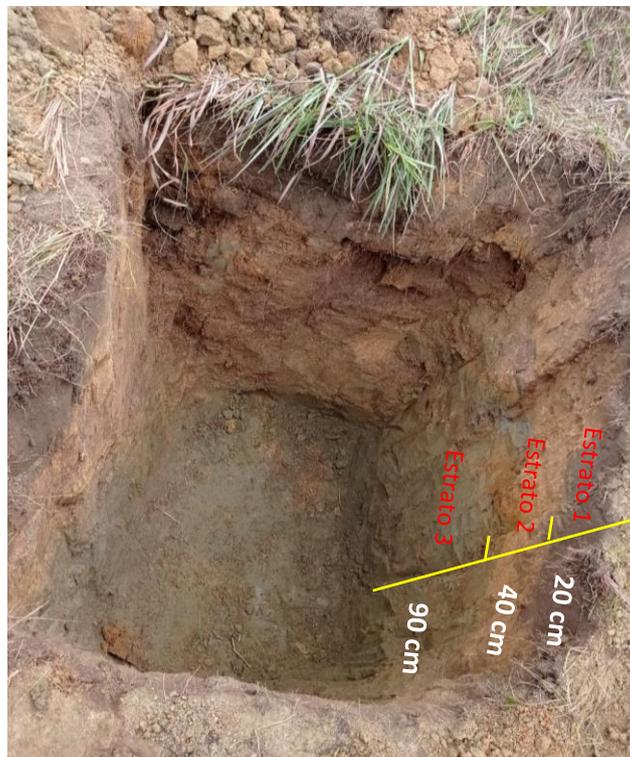


Figura 94. Calicata realizada en el área de estudio.

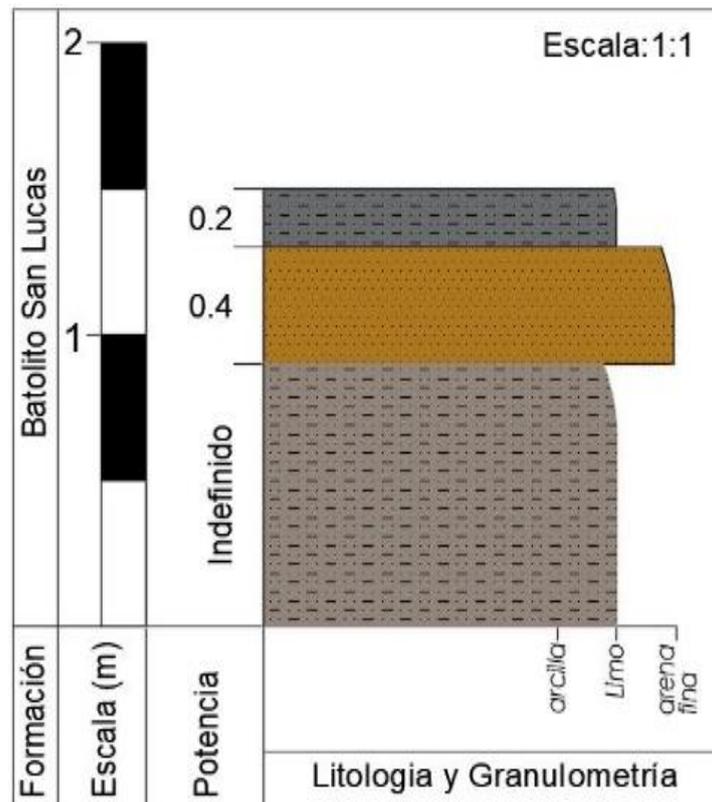


Figura 95. Columna estratigráfica de la calicata realizada con fines geotécnicos.

En la figura 95 se presenta a la columna estratigráfica de la calicata realizada en la zona de meteorización alta, la cual tiene una capa de 20 cm de limo orgánico en la parte superficial que se encuentra ligeramente húmedo, 40 cm de arena limosa en la parte central el cual es un regolito producto de la disgregación de la roca madre (granodiorita); y los 90 cm restantes considerados de potencia indefinida correspondiente a una capa de limo de baja plasticidad con mayor contenido de humedad a diferencia de los estratos superiores.

6.6.2.1. Clasificación de Suelos

Tomando en consideración a las normas ASTM D421, ASTM D422, ASTM D2216 y ASTM D4318 y las tablas y figuras del apartado 4.3.6. *Sistema de clasificación de suelos*, se llegó a obtener los resultados que se describen a continuación por cada uno de los tres estratos, además en el anexo 9 se puede observar el resumen de resultados para llegar a la clasificación de suelos según AASHTO y SUCS.

6.6.2.1.1. Estrato 1

El estrato 1 se caracteriza por tener más 35% de material pasando por la malla 200, constituyendo un material fino, además tiene un índice de plasticidad de 0% y un contenido de humedad de 15.20%, por lo tanto, considerando todos los criterios de clasificación según AASHTO se le asigna al grupo A-4 como un suelo limoso con calificación general de la capa de regular a mala conforme se presenta en la tabla 49.

Tabla 48. Resultados de la clasificación de suelos según AASHTO en el estrato 1.

Criterio	Estrato 1	
	Resultado	Grupo de clasificación A-4
% pasa malla 10	98%	-
% pasa malla 40	68%	-
% pasa malla 200	56.2%	36min
Límite Líquido	0%	40 max
Índice de plasticidad	0%	10 max
Tipo común de material significativo	Suelos Limosos	
Calificación general de la capa	Regular a malo	

Nota. Delta Cia. Ltda. 2023

Según la clasificación de suelos SUCS el estrato 1 es un Limo de baja plasticidad (ML) o un Limo orgánico (OL), ya que se caracteriza por tener un bajo contenido de humedad de 15.20%, límite líquido $LL < 50\%$, un índice de plasticidad de 0% y porque más del 50% de material fino pasa la malla 200 conforme se especifica en la tabla 50 y en el anexo 9.

Tabla 49. Resultados de la clasificación de suelos según SUCS en el estrato 1.

Criterio	Estrato 1	
% pasa malla 4	100%	
% pasa malla 200	56.2%	
Límite Líquido	0%	
Índice de plasticidad	0%	
Símbolo de grupo	ML	OL
Tipo de material	Limo de baja plasticidad	Limo orgánico

Nota. Delta Cia. Ltda. 2023

6.6.2.1.2. Estrato 2

El estrato 2 se caracteriza por tener un 40.9% de material pasando por la malla 200, constituyendo un material fino, además tiene un índice de plasticidad de 7% y un contenido de humedad de 11.80%, por lo tanto, considerando todos los criterios de clasificación según AASHTO se le asigna al grupo A-4 como un suelo limoso con calificación general de la capa de regular a mala conforme se presenta en la tabla 51.

Tabla 50. Resultados de la clasificación de suelos según AASHTO en el estrato 2.

Criterio	Estrato 2	
	Resultado	Grupo de clasificación A-4
% pasa malla 10	93%	-
% pasa malla 40	58%	-
% pasa malla 200	40.9%	36min
Límite Líquido	32%	40 max
Índice de plasticidad	7%	10 max

Tipo común de material significativo	Suelos Limosos
Clasificación general de la capa	Regular a malo

Nota. Delta Cia. Ltda. 2023

Según la clasificación de suelos SUCS el estrato 2 es una arena limosa (SM), ya que se caracteriza por tener un bajo contenido de humedad de 11.80%, límite líquido LL<50%, un índice de plasticidad de 7% y porque más del 50% de material pasa la malla N°4 conforme se especifica en la tabla 52 y en el anexo 9.

Tabla 51. Resultados de la clasificación de suelos según SUCS en el estrato 2.

Criterio	Estrato 2
% pasa malla 4	100%
% pasa malla 200	40.9%
Límite Líquido	32%
Índice de plasticidad	7%
Símbolo de grupo	SM
Tipo de material	Arena Limosa

Nota. Delta Cia. Ltda. 2023

6.6.2.1.3. Estrato 3

Se caracteriza por tener un 70.3% de material pasando por la malla 200, constituyendo un material fino, además tiene un índice de plasticidad de 0% y un contenido de humedad de 20.66%, por lo tanto, considerando todos los criterios de clasificación según AASHTO se le asigna al grupo A-4 como un suelo limoso con calificación general de la capa de regular a mala conforme se presenta en la tabla 53.

Tabla 52. Resultados de la clasificación de suelos según AASHTO en el estrato 3.

Criterio	Estrato 3	
	Resultado	Grupo de clasificación A-4
% pasa malla 10	98%	-
% pasa malla 40	85%	-
% pasa malla 200	70.3%	36min
Límite Líquido	0%	40 max
Índice de plasticidad	0%	10 max
Tipo común de material significativo	Suelos Limosos	
Clasificación general de la capa	Regular a malo	

Nota. Delta Cia. Ltda. 2023

Según la clasificación de suelos SUCS el estrato 3 es un limo de baja plasticidad (ML), ya que se caracteriza por tener un bajo contenido de humedad de 20.66%, límite líquido LL<50%, un índice de plasticidad de 0% y porque más del 50% de material pasa la malla N°200 conforme se especifica en la tabla 54 y en el anexo 9.

Tabla 53. Resultados de la clasificación de suelos según SUCS en el estrato 3.

Criterio	Estrato 3
% pasa malla 4	100%
% pasa malla 200	70.3%
Límite Líquido	0%
Índice de plasticidad	0%
Símbolo de grupo	ML
Tipo de material	Limo de baja plasticidad

Nota. Delta Cia. Ltda. 2023

En general la calicata se caracteriza por tener un material arenoso limoso de baja plasticidad.

6.6.3. Ensayo de corte directo en el deslizamiento representativo MM4

Se recolectó una muestra alterada de suelo mediante una calicata de 30cm x 30 cm y de 1.5 de profundidad extraído sobre la corona del deslizamiento MM4, litológicamente la muestra de suelo es una arena limosa procedente de las dioritas. Aquella muestra fue llevada a laboratorio para el respectivo ensayo del cual se obtuvo los resultados que se presentan en la siguiente tabla y detallados en el anexo 10:

Tabla 54. Resultados de ensayo de corte directo en laboratorio de la muestra de suelo.

Descripción	N° de ensayo	Esfuerzos (Kg/cm ²)			Peso específico (KN/m ³)	Ángulo de fricción (°)	Cohesión (Kg/cm ²)
		X Normal	Fuerza Máxima	Y Cortante			
MM4	1	0.49	140.6	0.3981	25.605	36.877	0.0449
	2	0.97	280.3	0.7937			
	3	1.98	538.0	1.5234			



Figura 96. Muestras falladas.

El material ensayado constituye a un suelo no fallado que tiene un ángulo de fricción de 36.877° y un valor de cohesión 0.0449 Kg/cm², lo que significa que el suelo no es cohesivo y tiene una estructura granular.

6.6.4. Clasificación geomecánica de los 4 taludes de roca representativos

Las clasificaciones geomecánicas RQD, RMR, SMR Y GSI se aplicaron a los 4 taludes de roca representativos correspondientes a las litologías de Granodiorita, Metagranodioritas, Esquistos y Granodiorita, lo cual se detalla a continuación.

6.6.4.1. Talud de roca N°1 formado por Granodiorita

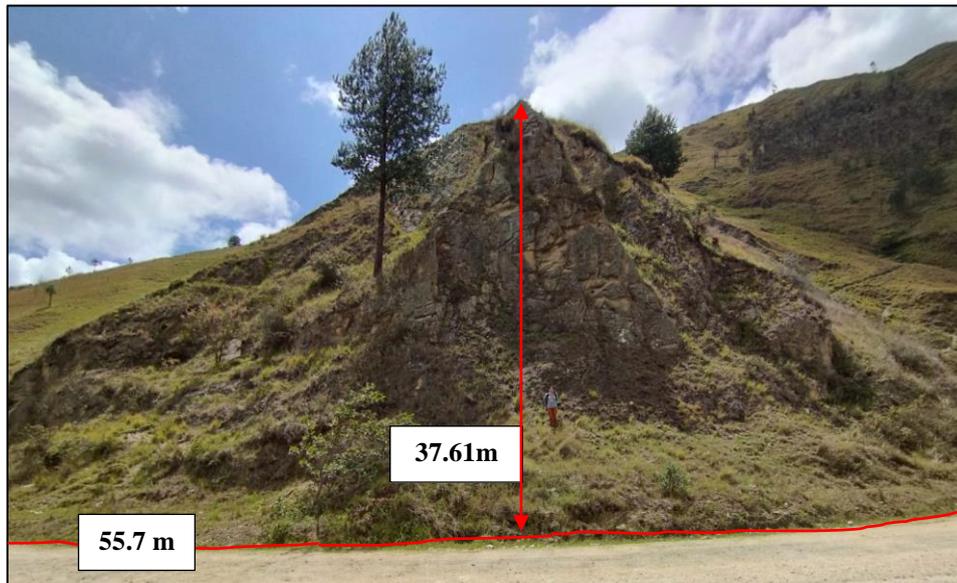


Figura 97. Talud de roca N°1 formado por granodiorita.

6.6.4.1.1. RQD

El talud de roca N° 1 presenta 5 familias de juntas dentro de 1m³, se encuentra moderadamente alterado y corresponde a un macizo con calidad de roca media RQD 50.403%.

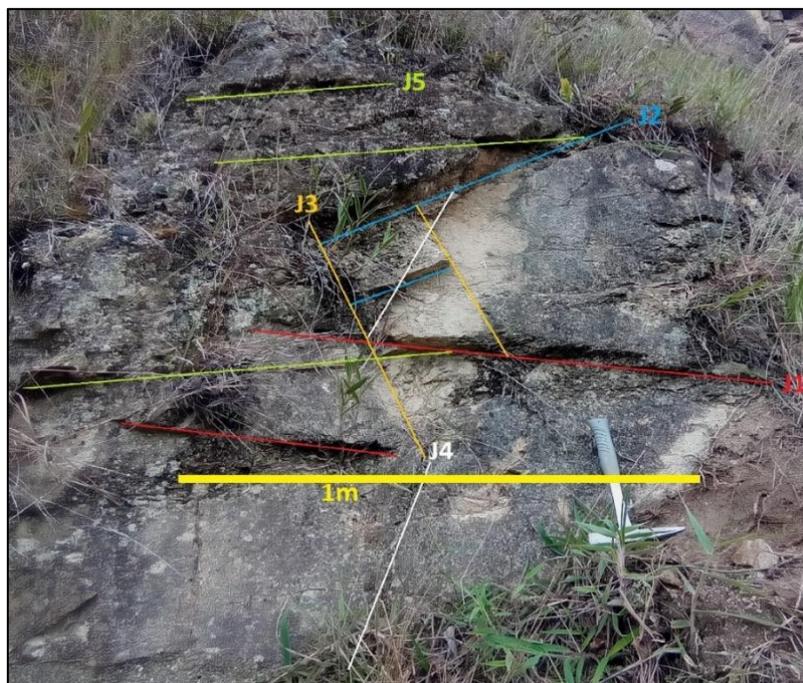


Figura 98. Representación gráfica de juntas en el talud de roca N° 1.

Tabla 55. Cálculo del RQD del talud de roca N° 1.

Junta	RQD del talud de roca N°1				Calidad de la Roca
	Sm: Promedio espaciado (m)	1/Sm	Jv/m ³	RQD (%)	
J1	0.23	4.35	23.84	50.403	Media
J2	0.16	6.25			

Junta	RQD del talud de roca N°1				Calidad de la Roca
	Sm: Promedio espaciado (m)	1/Sm	Jv/m ³	RQD (%)	
J3	0.22	4.55			
J4	0.23	4.35			
J5	0.23	4.35			

6.6.4.1.2. Resistencia a la compresión Simple

Mediante el ensayo de compresión simple realizado en laboratorio sobre 2 cubos de roca de granodiorita representativos del Talud de roca N°1 (figura 99) se obtuvo una resistencia a la compresión simple promedio de 59.665 Mpa clasificada como roca dura (tabla 57).



Figura 99. Cubos de roca del Talud de roca N° 1 después de aplicar la carga uniaxial.

Nota. Muestra T1 ante un esfuerzo máximo de 47.36 Mpa durante un tiempo de 5 min presenta 1 fractura (ruptura completa) en la cara lateral izquierda del cubo y 1 fisura (ruptura incompleta) en la parte frontal del cubo de roca. Muestra T1.1 ante un esfuerzo máximo de 71.97 Mpa durante un tiempo de 7 min 50s presenta 2 fracturas (ruptura completa) apreciadas en la parte frontal del cubo en sus dos lados izquierdo y derecho.

Tabla 56. Resultados de ensayo de compresión simple o uniaxial en el Talud de roca N° 1.

N°	Muestra	Peso (gr)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Área (mm ²)	Volumen (mm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Mpa)	RCS promedio (Mpa)
1	T1	339.5	51.66	50.77	52.11	2621.20	136672.97	124.1	47.36	59.665
	T1.1	295	47.69	49.31	49.04	2346.80	115322.16	168.9	71.97	

6.6.4.1.3. RMR

El RMR₈₉ se ha calculado para las 5 familias de juntas del macizo rocoso N°1, ejemplificando la selección de los valores para cada parámetro de la familia de juntas 1 (J1) en la siguiente tabla.

Tabla 57. Parámetros para la clasificación geomecánica RMR₈₉ del talud de roca 1-junta 1.

1	Resistencia de 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		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2	< 0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	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 < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		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 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: 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		
Corrección por orientación de las discontinuidades									
Dirección perpendicular al eje del talud				Dirección paralela al eje del talud		Buzamiento 0° - 20°. Cualquier dirección			
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento							
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45				
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable			
0	-5	-25	-50	-60	-25	-50			
Clasificación									
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. Bieniawski, 1989. Adaptado por la Autora, 2023.

Tabla 58. Cálculo del RMR para las 5 familias de juntas del talud de roca N° 1.

Talud Representativo	Junta	σc (Mpa)	(V1)	RQD (%)	(V2)	Sm (m)	(V3)	Estado de las discontinuidades (V4)							Flujo de agua	(V5)	Corrección por orientación de discontinuidades	(V6)	RMR	Calidad				
								Long. Disc. (m)	(Valor)	Apertura (mm)	(Valor)	Rugosidad	(Valor)	Relleno							(Valor)	Alteración	(Valor)	(V4)
Talud N° 1	J1	59.7	7	50.4	13	0.23	10	0.79	6	8.5	0	Rugosa	5	Blando <5mm	2	Moderada	3	16	Seco	15	Favorable	-5	56	Media
	J2	59.7	7	50.4	13	0.16	8	0.45	6	7.5	0	Ligeramente rugosa	3	Blando <5mm	2	Moderada	3	14	Seco	15	Favorable	-5	52	Media
	J3	59.7	7	50.4	13	0.22	10	0.47	6	4	1	Suave	0	Blando <5mm	2	Moderada	3	12	Seco	15	Favorable	-5	52	Media
	J4	59.7	7	50.4	13	0.23	10	0.39	6	5	1	Suave	0	Blando <5mm	2	Moderada	3	12	Seco	15	Favorable	-5	52	Media
	J5	59.7	7	50.4	13	0.23	10	0.65	6	9	0	Rugosa	5	Blando <5mm	2	Moderada	3	16	Seco	15	Media	-25	36	Mala
RMR BÁSICO		RMR CORREGIDO		CLASE		CALIDAD																		
58.6		49.6		III		Media																		

Una vez analizadas todas las familias de juntas del talud de roca N° 1 formado por granodiorita mediante la fórmula $RMR = V1+V2+V3+V4+V5+V6$ se obtuvo un RMR promedio corregido de 49.6, clase III, de calidad media que presenta un tiempo de mantenimiento de 1 semana con 5m de vano, tiene una cohesión de 2-3 Kp/cm² y un ángulo de rozamiento de 25° - 35°, que requiere un sostenimiento con bulonado sistemático de 3-4 m con separaciones de 1.5 a 2 m en clave conforme se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 59. Análisis del RMR corregido para el Talud de roca N° 1.

Clasificación					
Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
Características geotécnicas					
Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 2,5 m de vano	30 minutos con 1 m de vano
Cohesión	> 4 Kp/cm ²	3-4 Kp/cm ²	2-3 Kp/cm ²	1-2 Kp/cm ²	< 1 Kp/cm ²
Ángulo de rozamiento	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°

6.6.4.1.4. SMR

Mediante la clasificación geomecánica SMR de Romana (1997) se realizó el análisis ante una rotura planar y por vuelco del talud de roca N°1 cuyos resultados se detallan a continuación:

Tabla 60. Datos empleados para la clasificación SMR del talud de roca N° 1.

SMR del talud N°1				
Familia de Juntas	Dirección del talud α_s	Dirección de las juntas α_j	Buzamiento del talud β_s	Buzamiento de las juntas β_j
1		246		20
2		163		27
3	62	329	63	48
4		163		49
5		130		35

Tabla 61. Factores de ajuste en el caso de rotura planar para el Talud de roca N° 1.

Familia de Juntas	F1	Valor	F2	Valor	F3	Valor	F4	RMR	SMR
1	184	0.15	20	0.40	-43	-60	0	61.0	57.4
2	101	0.15	27	0.40	-36	-60	0	57.0	53.4
3	267	0.15	48	1.00	-15	-60	0	57.0	48.0
4	101	0.15	49	1.00	-14	-60	0	57.0	48.0
5	68	0.15	35	0.80	-28	-60	0	61.0	53.8

Tabla 62. Factores de ajuste en el caso de rotura por vuelco para el Talud de roca N° 1.

Familia de Juntas	F1	Valor	F2	Valor	F3	Valor	F4	RMR	SMR
1	4	1.00	20	1.00	83	0	0	61.0	61.0
2	79	0.15	27	1.00	90	0	0	57.0	57.0
3	87	0.15	48	1.00	111	-6	0	57.0	56.1

Familia de Juntas	F1	Valor	F2	Valor	F3	Valor	F4	RMR	SMR
4	79	0.15	49	1.00	112	-6	0	57.0	56.1
5	112	0.15	35	1.00	98	0	0	61.0	61.0

Conforme con el procedimiento de Vallejo, L. 2002 se adopta el valor del SMR menor por rotura planar y por vuelco para el talud de roca 1 y se lo procede a clasificar en base a la estabilidad y medidas de sostenimiento, lo cual se indica en la siguiente tabla.

Tabla 63. Resumen de valores mínimos para el índice SMR del talud 1.

Rotura	SMR	Clase	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento	Medida de Sostenimiento
Planar	48.0	III	Normal	Parcialmente Estable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático	Protección (zanjas de pie, vallas de pie o de talud)
Vuelco	56.1	III	Normal	Parcialmente Estable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático	Protección (zanjas de pie, vallas de pie o de talud)

6.6.4.1.5. GSI

La clasificación del macizo rocoso N°1 formado por granodiorita respecto al valor obtenido del GSI se presenta a continuación:

$$GSI=RMR_{89}-5$$

$$GSI=49.600-5$$

$$GSI=44.600$$

Calidad: Clasificado como macizo de calidad Regular

6.6.4.2. Talud de roca N°2 formado por Metagranodiorita

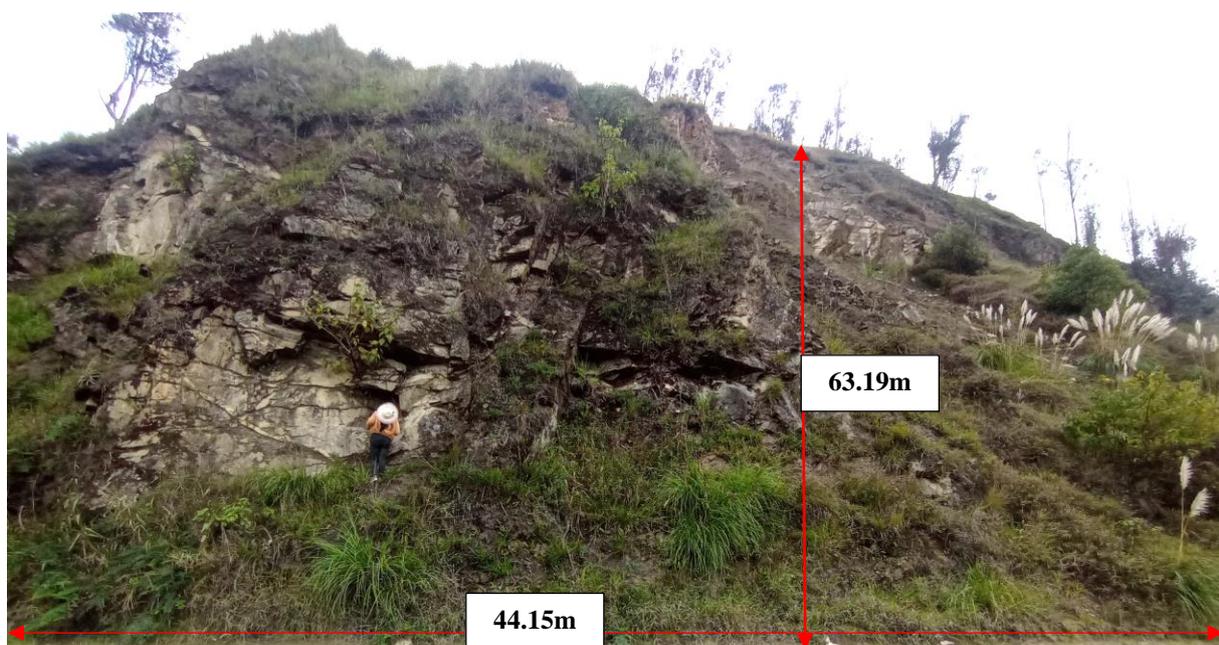


Figura 100. Talud de roca N°2 formado por metagranodiorita.

6.6.4.2.1. RQD

El talud de roca N° 2 presenta 4 familias de juntas dentro de 1m³, se encuentra ligeramente alterado y corresponde a un macizo con calidad de roca buena RQD 75.607%.

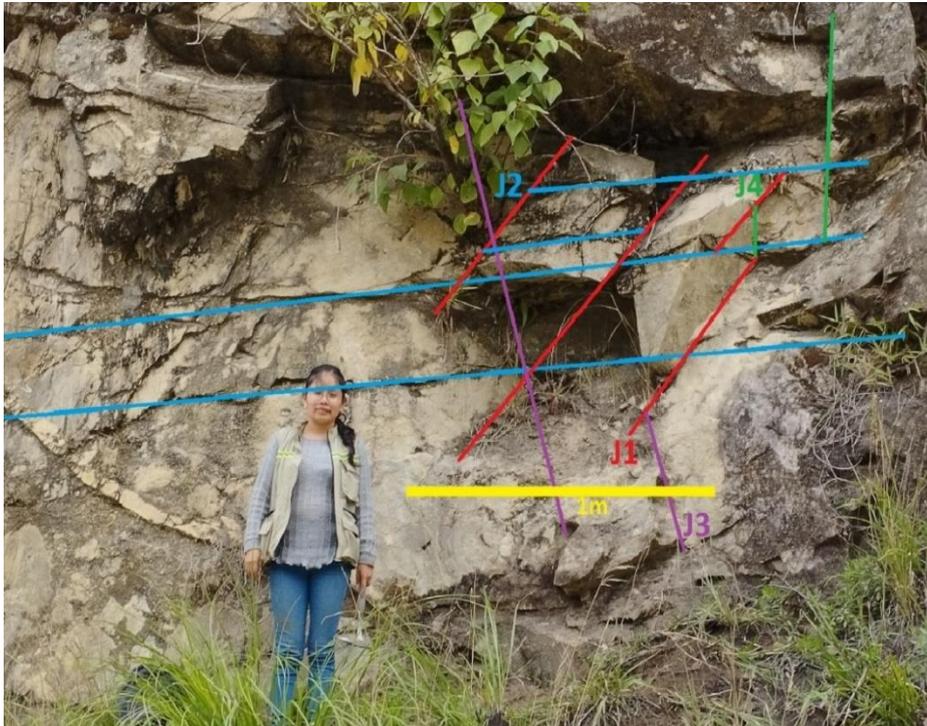


Figura 101. Representación gráfica de juntas en el talud de roca N°2.

Tabla 64. Cálculo del RQD del talud de roca N° 2.

RQD del talud de roca N°2					
Junta	Sm: Promedio espaciado (m)	1/Sm	Jv/m ³	RQD (%)	Calidad de la Roca
J1	0.25	4.00	13.76	75.607	Buena
J2	0.23	4.35			
J3	0.38	2.63			
J4	0.36	2.78			

6.6.4.2.2. Resistencia a la compresión simple

Mediante el ensayo de compresión simple realizado en laboratorio sobre 2 cubos de roca de metagranodiorita del Talud de roca N°2 (figura 102) se obtuvo una resistencia a la compresión simple de 36.475 Mpa clasificada como roca moderadamente dura (tabla 66).



MUESTRA T2.1



Figura 102. Cubos de roca del Talud 2, después de aplicar la carga uniaxial.

Nota. Muestra T2 ante un esfuerzo máximo de 29.5 Mpa durante un tiempo de 4 min 16s presenta 1 fractura (ruptura completa) en la cara lateral izquierda del cubo y 2 fisuras (ruptura incompleta) en la parte frontal del cubo de roca. Muestra T2.1 ante un esfuerzo máximo de 43.45 Mpa durante un tiempo de 5 min presenta 1 fractura (ruptura completa) apreciada en la parte posterior del cubo.

Tabla 65. Resultados de ensayo de compresión simple o uniaxial en el Talud 2.

Nº	Muestra	Peso (gr)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Área (mm ²)	Volumen (mm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Mpa)	RCS promedio (Mpa)
2	T2	449	57.72	52.07	55.03	3000.40	165391.59	88.5	29.5	36.475
	T2.1	381.5	50.84	51.46	52.16	2611.10	136462.37	113.5	43.45	

6.6.4.2.3. RMR

El RMR₈₉ se ha calculado para las 4 familias de juntas del macizo rocoso N°2, ejemplificando la selección de los valores para cada parámetro de la familia de juntas 1 (J1) en la siguiente tabla.

Tabla 66. Parámetros para la clasificación geomecánica RMR₈₉ del talud de roca 2-junta 1.

1	Resistencia de 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
	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		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2	< 0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	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 < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm				
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 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-02	02-0,5	> 0,5
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
		Puntuación	15	10	7	4	0

Corrección por orientación de las discontinuidades

Dirección perpendicular al eje del talud				Dirección paralela al eje del talud		Buzamiento 0° - 20°. Cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buz. 45-90	Buz. 20-45	
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable
0	-5	-25	-50	-60	-25	-50

Clasificación

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. Bieniawski, 1989. Adaptado por la Autora, 2023.

Tabla 67. Cálculo del RMR para las 4 familias de juntas del talud de roca N° 2.

Talud Representativo	Junta	oc (Mpa)	(V1)	RQD (%)	(V2)	Sm (m)	(V3)	Estado de las discontinuidades (V4)							Flujo de agua	(V5)	Corrección por orientación de discontinuidades	(V6)	RMR	Calidad				
								Long. Disc. (m)	(Valor)	Apertura (mm)	(Valor)	Rugosidad	(Valor)	Relleno							(Valor)	Alteración	(Valor)	(V4)
Talud N°2	J1	36.5	4	75.6	17	0.25	10	0.71	6	6	0	Suave	0	Blando <5mm	2	Ligera	5	13	Seco	15	Medio	-25	34	Mala
	J2	36.5	4	75.6	17	0.23	10	2.15	4	12	0	Ondulada	1	Blando <5mm	2	Ligera	5	12	Seco	15	Muy Favorable	0	58	Media
	J3	36.5	4	75.6	17	0.38	10	0.88	6	8.5	0	Ligeramente Rugosa	3	Blando <5mm	2	Ligera	5	16	Seco	15	Medio	-25	37	Mala
	J4	36.5	4	75.6	17	0.36	10	0.44	6	4	1	Suave	0	Blando <5mm	2	Ligera	5	14	Seco	15	Medio	-25	35	Mala
RMR BÁSICO		RMR CORREGIDO						CLASE				CALIDAD												
59.750		41.000						III				Media												

Una vez analizadas todas las familias de juntas del talud de roca N°2 formado por metagranodiorita mediante la fórmula $RMR = V1+V2+V3+V4+V5+V6$ se obtuvo un RMR promedio corregido de 41.0, clase III, de calidad media que presenta un tiempo de mantenimiento de 1 semana con 5m de vano, tiene una cohesión de 2-3 Kp/cm² y un ángulo de rozamiento de 25° - 35°, que requiere un sostenimiento con bulonado sistemático de 3-4 m con separaciones de 1.5 a 2 m en clave conforme se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 68. Análisis del RMR corregido para el Talud de roca N° 2.

Clasificación					
Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
Características geotécnicas					
Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 2,5 m de vano	30 minutos con 1 m de vano
Cohesión	> 4 Kp/cm ²	3-4 Kp/cm ²	2-3 Kp/cm ²	1-2 Kp/cm ²	< 1 Kp/cm ²
Ángulo de rozamiento	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°

6.6.4.2.4. SMR

Mediante la clasificación geomecánica SMR de Romana (1997) se realizó el análisis ante una rotura plana y por vuelco del talud de roca N°2 cuyos resultados se detallan a continuación:

Tabla 69. Datos empleados para la clasificación SMR del talud de roca N° 2.

SMR del talud N°2				
Familia de Juntas	Dirección del talud α_s	Dirección de las juntas α_j	Buzamiento del talud β_s	Buzamiento de las juntas β_j
1		58		62
2	25	218	69	3
3		321		69
4		19		80

Tabla 70. Factores de ajuste en el caso de rotura planar para el Talud de roca N° 2.

Familia de Juntas	F1	Valor	F2	Valor	F3	Valor	F4	RMR	SMR
1	33	0.15	62	1.00	-7	-50	0	58.0	50.5
2	193	0.15	3	0.15	3	-6	0	58.0	57.9
3	296	0.15	69	1.00	0	-25	0	62.0	58.3
4	6	0.85	80	1.00	11	0	0	60.0	60.0

Tabla 71. Factores de ajuste en el caso de rotura por vuelco para el Talud de roca N° 2.

Familia de Juntas	F1	Valor	F2	Valor	F3	Valor	F4	RMR	SMR
1	147	0.15	62	1.00	131	-25	0	58.0	54.3
2	13	0.70	3	1.00	72	0	0	58.0	58.0
3	116	0.15	69	1.00	138	-25	0	62.0	58.3

Familia de Juntas	F1	Valor	F2	Valor	F3	Valor	F4	RMR	SMR
4	186	0.15	80	1.00	149	-25	0	60.0	56.3

Conforme con el procedimiento de Vallejo, L. 2002 se adopta el valor del SMR menor por rotura planar y por vuelco para el talud de roca 2 y se lo procede a clasificar en base a la estabilidad y medidas de sostenimiento, lo cual se indica en la siguiente tabla.

Tabla 72. Resumen de valores mínimos para el índice SMR del talud 2.

Rotura	SMR	Clase	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento	Medida de Sostenimiento
Planar	50.5	III	Normal	Parcialmente estable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático	Protección (zanjas de pie, vallas de pie o de talud)
Vuelco	54.3	III	Normal	Parcialmente estable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático	Protección (zanjas de pie, vallas de pie o de talud)

6.6.4.2.5. GSI

La clasificación del macizo rocoso N°2 formado por metagranodiorita respecto al valor obtenido del GSI se presenta a continuación:

$$GSI=RMR_{89}-5$$

$$GSI=41.000-5$$

$$GSI=36.000$$

Calidad: Clasificado como macizo de calidad Mala

6.6.4.3. Talud de roca N°3 formado por Esquisto

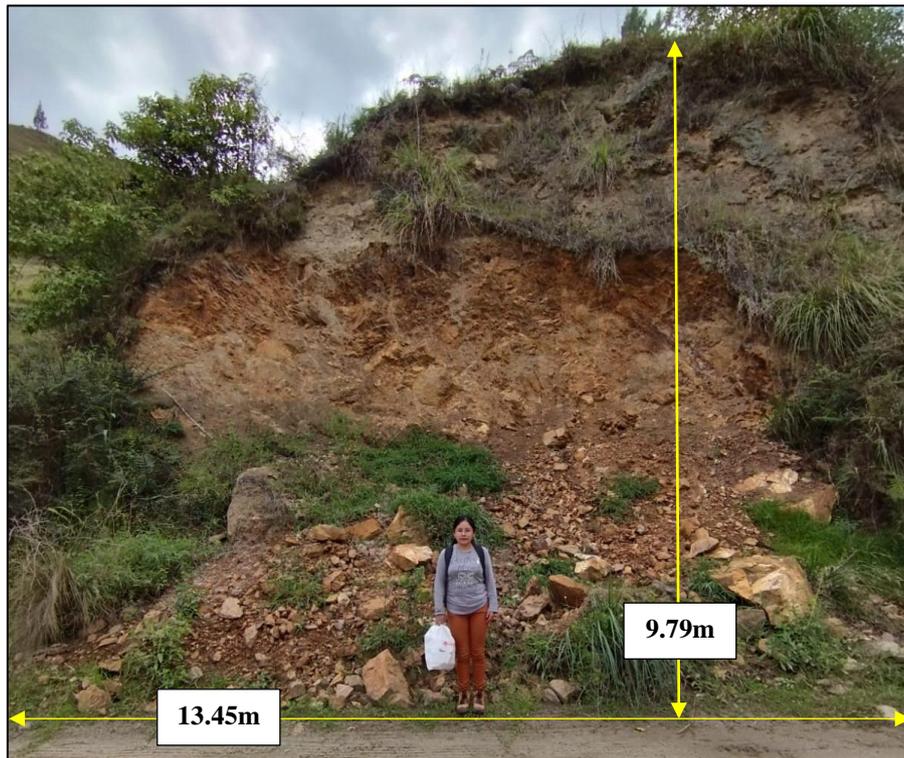


Figura 103. Talud de roca N°3 formado por Esquistos.

6.6.4.3.1. RQD

El talud de roca N°3 presenta 3 familias de juntas dentro de 1m^3 , se encuentra muy alterado y corresponde a un macizo con calidad de roca mala RQD 45.294%.

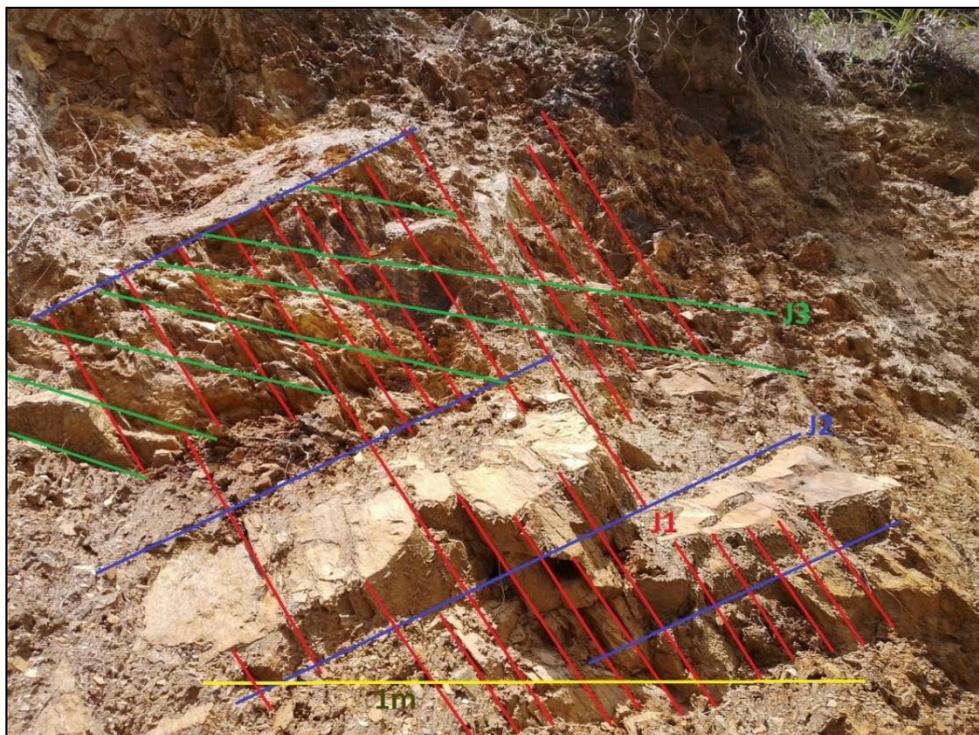


Figura 104. Representación gráfica de juntas en el talud de roca N° 3.

Tabla 73. Cálculo del RQD del talud de roca N° 3.

RQD del talud de roca N°3					
Junta	Sm: Promedio espaciado (m)	1/Sm	Jv/m ³	RQD (%)	Calidad de la Roca
J1	0.06	16.67	25.88	45.294	Mala
J2	0.3	3.33			
J3	0.17	5.88			

6.6.4.3.2. Resistencia a la compresión simple

Mediante el ensayo de compresión simple realizado en laboratorio sobre 2 cubos de roca de esquistos representativos del Talud de roca N°3 (figura 105) se obtuvo una resistencia a la compresión simple promedio de 24.835 Mpa clasificada como roca blanda (tabla 75).

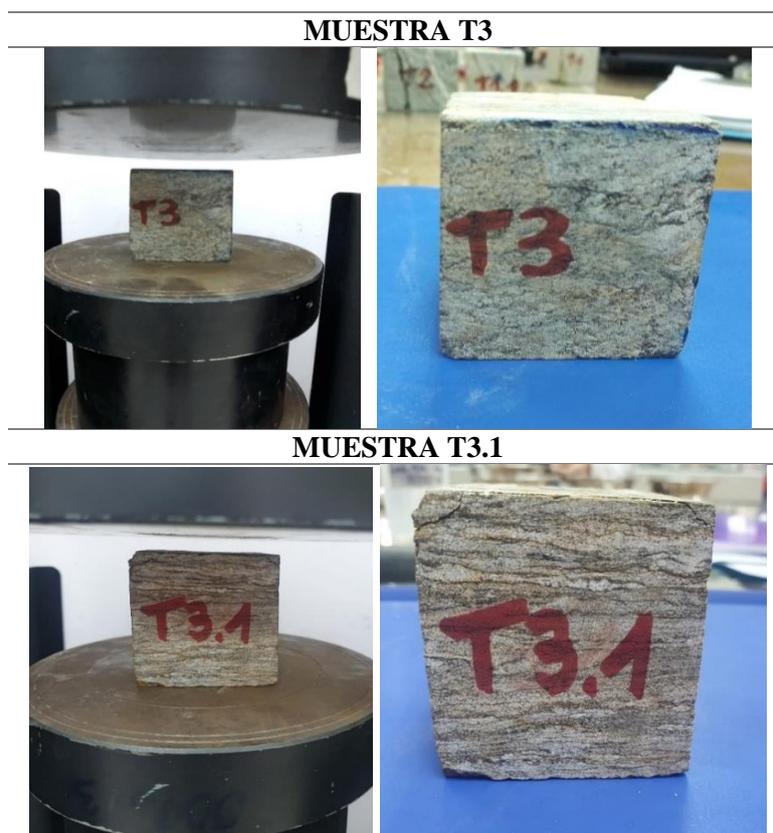


Figura 105. Cubos de roca del Talud de roca N° 3, después de aplicar la carga uniaxial.

Nota. Muestra T3 ante un esfuerzo máximo de 36.06 Mpa durante un tiempo de 4 min 16s presentó fisuras en las caras laterales del cubo. Muestra T3.1 ante un esfuerzo máximo de 13.61 Mpa durante 50 segundos presentó fisuras en las caras laterales y superior del cubo.

Tabla 74. Resultados de ensayo de compresión simple o uniaxial en el Talud 3.

N°	Muestra	Peso (gr)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Área (mm ²)	Volumen (mm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Mpa)	RCS promedio (Mpa)
3	T3	442	55.68	54.84	56.02	3046.80	171056.58	109.9	36.06	24.835
	T3.1	472	57.04	53.49	62.21	3049.50	189807.04	41.50	13.61	

6.6.4.3.3. RMR

El RMR₈₉ se ha calculado para las 3 familias de juntas del macizo rocoso N°3, ejemplificando la selección de los valores para cada parámetro de la familia de juntas 1 (J1) en la siguiente tabla.

Tabla 75. Parámetros para la clasificación geomecánica RMR₈₉ del talud de roca 3-junta 1.

1	Resistencia de 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		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2	< 0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	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 < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		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 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: 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		
Corrección por orientación de las discontinuidades									
Dirección perpendicular al eje del talud				Dirección paralela al eje del talud			Buzamiento 0° - 20°. Cualquier dirección		
Excavación con buzamiento	Excavación contra buzamiento			Buz. 45-90	Buz. 20-45				
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45				
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media		Desfavorable		
0	-5	-25	-50	-60	-25		-50		
Clasificación									
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. Bieniawski, 1989. Adaptado por la Autora, 2023.

Tabla 76. Cálculo del RMR para las 3 familias de juntas del talud de roca N° 3.

Talud Representativo	Junta	oc (Mpa)	(V1)	RQD (%)	(V2)	Sm (m)	(V3)	Estado de las discontinuidades (V4)						Flujo de agua	(V5)	Corrección por orientación de discontinuidades	(V6)	RMR	Calidad					
								Long. Disc. (m)	(Valor)	Apertura (mm)	(Valor)	Rugosidad	(Valor)							Relleno	(Valor)	Alteración	(Valor)	(V4)
Talud N°3	J1	24.8	2	45.3	6	0.06	8	0.6	6	3.9	1	Muy Rugosa	6	Blando <5mm	2	Muy Alterada	1	16	Seco	15	Medio	-25	22	Mala
	J2	24.8	2	45.3	6	0.30	10	0.87	6	5.3	0	Ligeramente rugosa	3	Blando <5mm	2	Muy Alterada	1	12	Seco	15	Medio	-25	20	Mala
	J3	24.8	2	45.3	6	0.17	8	0.56	6	4.4	1	Muy Rugosa	6	Blando <5mm	2	Muy Alterada	1	16	Seco	15	Favorable	-5	42	Media
RMR BÁSICO			RMR PROMEDIO						CLASE						CALIDAD									
46.333			28.000						IV						Mala									

Una vez analizadas todas las familias de juntas del talud de roca N° 3 formado por esquistos mediante la fórmula $RMR = V1+V2+V3+V4+V5+V6$ se obtuvo un RMR promedio corregido de 28.00, clase IV, de calidad mala que presenta un tiempo de mantenimiento de 10 horas con 2.5 m de vano, tiene una cohesión de 1-2 Kp/cm² y un ángulo de rozamiento de 15° - 25°, que requiere un sostenimiento con bulonado sistemático de 4-5 m con separaciones de 1 a 1.5 m en clave, conforme se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 77. Análisis del RMR corregido para el Talud de roca N° 3.

Clasificación					
Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
Características geotécnicas					
Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 2,5 m de vano	30 minutos con 1 m de vano
Cohesión	> 4 Kp/cm ²	3-4 Kp/cm ²	2-3 Kp/cm ²	1-2 Kp/cm ²	< 1 Kp/cm ²
Ángulo de rozamiento	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°

6.6.4.3.4. SMR

Mediante la clasificación geomecánica SMR de Romana (1997) se realizó el análisis ante una rotura plana y por vuelco del talud de roca N°3 cuyos resultados se detallan a continuación:

Tabla 78. Datos empleados para la clasificación SMR del talud de roca N° 3.

SMR del talud N°3				
Familia de Juntas	Dirección del talud α_s	Dirección de las juntas α_j	Buzamiento del talud β_s	Buzamiento de las juntas β_j
1		5		61
2	75	111	80	59
3		327		35

Tabla 79. Factores de ajuste en el caso de rotura planar para el Talud de roca N° 3.

Familia de Juntas	F1	Valor	F2	Valor	F3	Valor	F4	RMR	SMR
1	70	0.15	61	1.00	-19	-60	0	47.0	38.0
2	36	0.15	59	1.00	-21	-60	0	45.0	36.0
3	252	0.15	35	0.80	-45	-60	0	47.0	39.8

Tabla 80. Factores de ajuste en el caso de rotura por vuelco para el Talud de roca N° 3.

Familia de Juntas	F1	Valor	F2	Valor	F3	Valor	F4	RMR	SMR
1	250	0.15	61	1.00	141	-25	0	47.0	43.3
2	144	0.15	59	1.00	139	-25	0	45.0	41.3
3	72	0.15	35	1.00	115	-6	0	47.0	46.1

Conforme con el procedimiento de Vallejo, L. 2002 se adopta el valor del SMR menor por rotura planar y por vuelco para el talud de roca 3 y se lo procede a clasificar en base a la estabilidad y medidas de sostenimiento, lo cual se indica en la siguiente tabla.

Tabla 81. Resumen de valores mínimos para el índice SMR del talud 3.

Rotura	SMR	Clase	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento	Medida de Sostenimiento
Planar	36.0	IV	Mala	Inestable	Juntas o grandes cuñas	Corrección	Refuerzo (bulones o anclajes)
Vuelco	41.3	III	Normal	Parcialmente estable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático	Protección (zanjas de pie, vallas de pie o de talud)

6.6.4.3.5. GSI

La clasificación del macizo rocoso N°3 formado por esquistos respecto al valor obtenido del GSI se presenta a continuación:

$$GSI = RMR_{89-5}$$

$$GSI = 28.000 - 5$$

$$GSI = 23.000$$

Calidad: Clasificado como macizo de calidad Mala

6.6.4.4. Talud de roca N°4 formado por Granodiorita



Figura 106. Talud de roca N°4 formado por Granodiorita.

6.6.4.4.1. RQD

El talud de roca N° 4 presenta 3 familias de juntas dentro de $1m^3$, se encuentra moderadamente alterado y corresponde a un macizo con calidad de roca media RQD 73.65%.



Figura 107. Representación gráfica de juntas en el talud de roca N°4.

Tabla 82. Cálculo del RQD del talud de roca N° 4.

RQD del talud de roca N°4					
Junta	Sm: Promedio espaciado (m)	1/Sm	Jv/m ³	RQD (%)	Calidad de la Roca
J1	0.13	7.69	14.54	73.650	Media
J2	0.23	4.35			
J3	0.4	2.50			

6.6.4.4.2. Resistencia a la compresión simple

Mediante el ensayo de compresión simple realizado en laboratorio sobre 2 cubos de roca de granodiorita representativos del Talud de roca N°4 (figura 108) se obtuvo una resistencia a la compresión simple promedio de 96.175Mpa clasificada como roca dura (tabla 84).

MUESTRA T4



MUESTRA T4.1



Figura 108. Cubos de roca del Talud de roca N° 4, después de aplicar la carga uniaxial.

Nota. Muestra T4 ante un esfuerzo máximo de 111.45 Mpa durante un tiempo de 10 min 30s presentó una fractura en la cara frontal del cubo. Muestra T4.1 ante un esfuerzo máximo de 80.90 Mpa durante un tiempo de 10 min presentó fracturas y fisuras alrededor de todo el cubo.

Tabla 83. Resultados de ensayo de compresión simple o uniaxial en el Talud 4.

N°	Muestra	Peso (gr)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Área (mm ²)	Volumen (mm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Mpa)	RCS promedio (Mpa)
4	T4	395	54.49	52.83	56.05	2872.10	161351.51	320.1	111.45	96.175
	T4.1	353.5	52.2	53.79	51.73	2803.10	145249.46	246.4	80.90	

6.6.4.4.3. RMR

El RMR₈₉ se ha calculado para las 3 familias de juntas del macizo rocoso N°4, ejemplificando la selección de los valores para cada parámetro de la familia de juntas 1 (J1) en la siguiente tabla.

Tabla 84. Parámetros para la clasificación geomecánica RMR₈₉ del talud de roca 4-junta 1.

1	Resistencia de 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		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2	< 0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	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 < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm				
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 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-02	02-0,5	> 0,5
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
		Puntuación	15	10	7	4	0
Corrección por orientación de las discontinuidades							
Dirección perpendicular al eje del talud				Dirección paralela al eje del talud		Buzamiento 0° - 20°. Cualquier dirección	
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buz. 45-90	Buz. 20-45		
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45		
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable	
0	-5	-25	-50	-60	-25	-50	
Clasificación							
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. Bieniawski, 1989. Adaptado por la Autora, 2023.

Tabla 85. Cálculo del RMR para las 3 familias de juntas del talud de roca N° 4.

Talud Representativo	Junta	oc (Mpa)	(V1)	RQD (%)	(V2)	Sm (m)	(V3)	Estado de las discontinuidades (V4)							Flujo de agua	(V5)	Corrección por orientación de discontinuidades	(V6)	RMR	Calidad				
								Long. Disc. (m)	(Valor)	Apertura (mm)	(Valor)	Rugosidad	(Valor)	Relleno							(Valor)	Alteración	(Valor)	(V4)
Talud N°4	J1	96.2	7	73.6	13	0.13	8	0.51	6	0.72	3	Ondulada	1	Blando <5mm	2	Moderadamente Alterada	3	15	Seco	15	Favorable	-5	53	Media
	J2	96.2	7	73.6	13	0.23	10	1.33	4	1.55	1	Suave	0	Blando <5mm	2	Moderadamente Alterada	3	10	Seco	15	Favorable	-5	50	Media
	J3	96.2	7	73.6	13	0.40	10	2.87	4	4	1	Ondulada	1	Blando <5mm	2	Moderadamente Alterada	3	11	Seco	15	Medio	-25	31	Mala
RMR BÁSICO		RMR PROMEDIO		CLASE		CALIDAD																		
56.333		44.667		III		Media																		

Una vez analizadas todas las familias de juntas del talud de roca N° 4 formado por granodiorita mediante la fórmula $RMR = V1 + V2 + V3 + V4 + V5 + V6$ se obtuvo un RMR promedio corregido de 44.667, clase III de calidad media que presenta un tiempo de mantenimiento de 1 semana con 5m de vano, tiene una cohesión de 2-3 Kp/cm² y un ángulo de rozamiento de 25° - 35°, que requiere un sostenimiento con bulonado sistemático de 3-4 m con separaciones de 1.5 a 2 m en clave conforme se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 86. Análisis del RMR corregido para el Talud de roca N° 4.

Clasificación					
Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
Características geotécnicas					
Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 2,5 m de vano	30 minutos con 1 m de vano
Cohesión	> 4 Kp/cm ²	3-4 Kp/cm ²	2-3 Kp/cm ²	1-2 Kp/cm ²	< 1 Kp/cm ²
Ángulo de rozamiento	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°

6.6.4.4.4. SMR

Mediante la clasificación geomecánica SMR de Romana (1997) se realizó el análisis ante una rotura plana y por vuelco del talud de roca N°4 cuyos resultados se detallan a continuación:

Tabla 87. Datos empleados para la clasificación SMR del talud de roca N° 4.

SMR del talud N°4				
Familia de Juntas	Dirección del talud α_s	Dirección de las juntas α_j	Buzamiento del talud β_s	Buzamiento de las juntas β_j
1		123		66
2	8	314	56	40
3		18		88

Tabla 88. Factores de ajuste en el caso de rotura planar para el Talud de roca N° 4.

Familia de Juntas	F1	Valor	F2	Valor	F3	Valor	F4	RMR	SMR
1	115	0.15	66	1.00	10	-6	0	58.0	57.1
2	306	0.15	40	0.85	-16	-60	0	55.0	47.4
3	10	0.80	88	1.00	32	0	0	56.0	56.0

Tabla 89. Factores de ajuste en el caso de rotura por vuelco para el Talud de roca N° 4.

Familia de Juntas	F1	Valor	F2	Valor	F3	Valor	F4	RMR	SMR
1	65	0.15	66	1.00	122	-25	0	58.0	54.3
2	126	0.15	40	1.00	96	0	0	55.0	55.0
3	170	0.15	88	1.00	144	-25	0	56.0	52.3

Conforme con el procedimiento de Vallejo, L. 2002 se adopta el valor del SMR menor por rotura planar y por vuelco para el talud 4 y se lo procede a clasificar en base a la estabilidad y medidas de sostenimiento, lo cual se indica en la siguiente tabla.

Tabla 90. Resumen de valores mínimos para el índice SMR del talud 4.

Rotura	SMR	Clase	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento	Medida de Sostenimiento
Planar	47.4	III	Normal	Parcialmente estable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático	Protección (zanjas de pie, vallas de pie o de talud)
Vuelco	52.3	III	Normal	Parcialmente estable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático	Protección (zanjas de pie, vallas de pie o de talud)

6.6.4.4.5. GSI

La clasificación del macizo rocoso N°4 formado por granodiorita respecto al valor obtenido del GSI se presenta a continuación:

$$GSI=RMR_{89-5}$$

$$GSI=44.667-5$$

$$GSI=39.667$$

Calidad: Clasificado como macizo de calidad Mala

6.6.5. Propiedades físicas de la matriz rocosa

La determinación de las propiedades físicas de la matriz rocosa de los taludes de roca más representativos se aplicaron las fórmulas detalladas en el apartado de metodología para determinación de propiedades físicas, mismas que se aplicaron en las 4 muestras y los datos obtenidos se especifican en la siguiente tabla.

Tabla 91. Propiedades Físicas de muestras de roca.

Propiedades físicas	Simbología	Unidad	Talud Representativo			
			1	2	3	4
Peso específico	Pr	-	2.67	2.95	2.75	2.62
Peso específico aparente	Pa	g/cm ³	2.60	2.78	2.52	2.59
Densidad aparente del material	δ	g/cm ³	2.52	2.71	2.58	2.44
Densidad real	δ_r	g/cm ³	2.66	2.94	2.74	2.61
Gravedad Específica es	Gs	g/cm ³	2.67	2.95	2.75	2.62
Contenido de agua	w	%	0.68	0.28	0.48	0.42
Porosidad Eficaz	ne	%	2.80	1.22	2.17	2.25
Porosidad	n	%	2.67	5.50	8.02	1.20
Coefficiente de absorción	Cabs	%	1.08	0.44	0.86	0.87
Módulo de saturación	Msat	%	104.91	22.19	27.09	187.78

Los datos sobre pesos natural, seco, saturado y sumergido; y el ensayo del picnómetro se detallan en el anexo 12.

6.7. Análisis Geológico-Geotécnico

6.7.1. Resistencia del macizo rocoso

Los parámetros de cohesión y fricción ajustados al criterio de Hoek-Brown se obtuvieron en el programa RocLab por cada uno de los taludes de roca representativos.

6.7.1.1. Talud de roca N° 1

Conforme al criterio de Hoek-Brown en el programa RocLab 1.0 se determinaron los coeficientes de resistencia como: mb (0.554), s (0.0001) y a (0,508). Mientras que con el criterio de Mohr coulomb se obtuvieron los parámetros de cohesión (0.282 Mpa) y ángulo de fricción (45.11°).

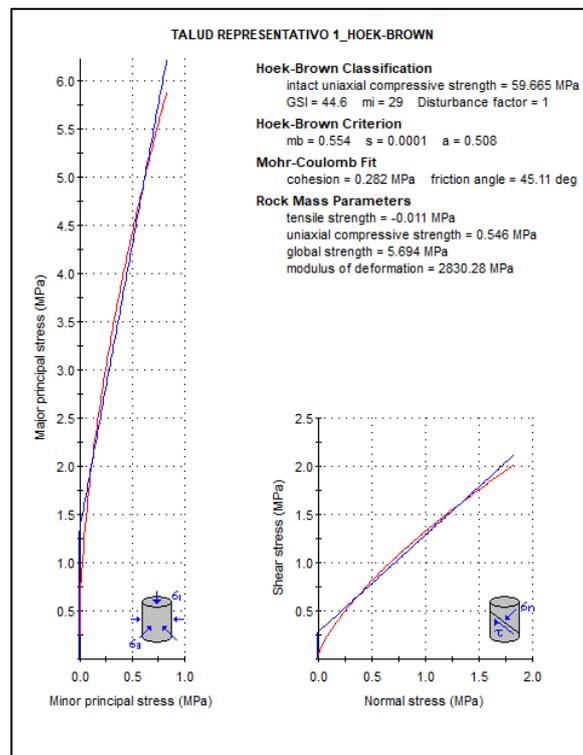


Figura 109. Parámetros de estabilidad del Talud de roca N°1.

Nota. RocLab,2023

6.7.1.2. Talud de roca N° 2

Conforme al criterio de Hoek-Brown en el programa RocLab 1.0 se determinaron los coeficientes de resistencia como: mb (0.290), s (2.33⁻⁵) y a (0,515). Mientras que con el criterio de Mohr coulomb se obtuvieron los parámetros de cohesión (0.256Mpa) y ángulo de fricción (30.99°).

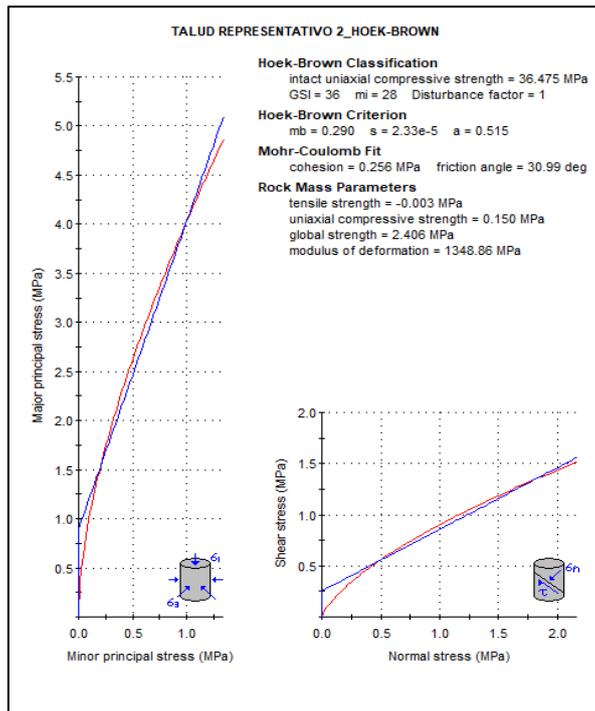


Figura 110. Parámetros de estabilidad del Talud de roca N°2.
Nota. RocLab,2023

6.7.1.3. Talud de roca N° 3

Conforme al criterio de Hoek-Brown en el programa RocLab 1.0 se determinaron los coeficientes de resistencia como: mb (0.041), s ($2.67 \cdot 10^{-6}$) y a (0,536). Mientras que con el criterio de Mohr coulomb se obtuvieron los parámetros de cohesión (0.027Mpa) y ángulo de fricción (24.19°).

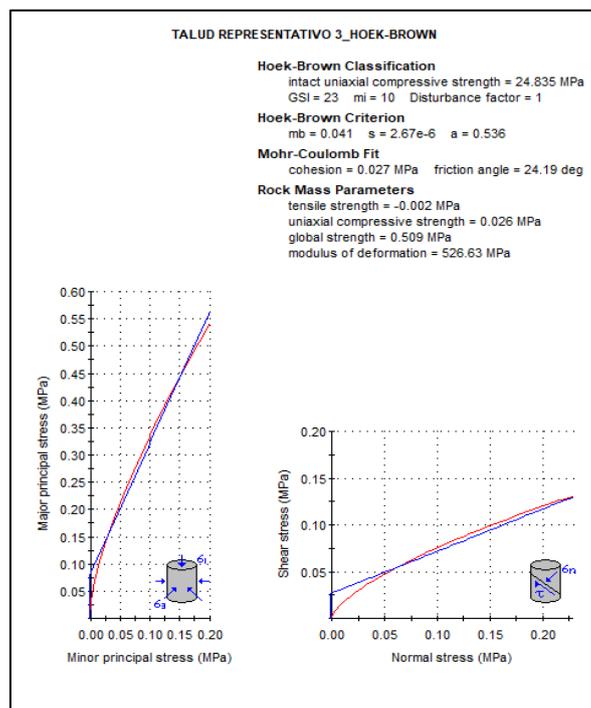


Figura 111. Parámetros de estabilidad del Talud de roca N°3.
Nota. RocLab,2023

6.7.1.4. Talud de roca N° 4

Conforme al criterio de Hoek-Brown en el programa RocLab 1.0 se determinaron los coeficientes de resistencia como: mb (0.390), s (4.29⁻⁵) y a (0,512). Mientras que con el criterio de Mohr coulomb se obtuvieron los parámetros de cohesión (0.185 Mpa) y ángulo de fricción (50.94°).

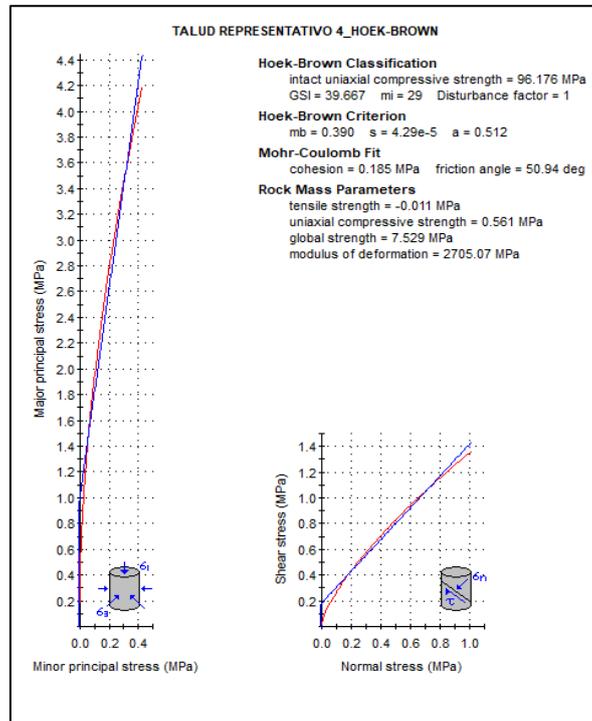


Figura 112. Parámetros de estabilidad del Talud de roca N°4.
Nota. RocLab 1, 2023

6.7.1.5. Resumen de parámetros de estabilidad de los taludes de roca

En la tabla 93 se presenta un resumen de los parámetros de estabilidad de acuerdo al criterio de Hoek-Brown ajustado al criterio de Mohr-Coulomb, donde el talud 1 es el que tiene una cohesión de 0.282 Mpa valor más alto con respecto a los demás taludes, por lo tanto una mayor disposición de partículas en virtud de las fuerzas internas del material; mientras que el talud 4 tiene un ángulo de fricción de 50.94, siendo mayor al resto de taludes por consiguiente tiene una mayor resistencia al deslizamiento de una superficie sobre otra:

Tabla 92. Parámetros de estabilidad.

Talud	Parámetro	
	Cohesión Mpa	Ángulo de Fricción (°)
T1	0.282	45.11
T2	0.256	30.99
T3	0.027	24.19
T4	0.185	50.94

Nota. Roclab 1, modificado por la autora,2023

6.7.2. Análisis Cinemático

El análisis cinemático se lo realizó en el software Dips 7.0 en el talud de roca representativos N° 2 y N° 3 Se aplicó para los casos de rotura planar y rotura en cuña.

6.7.2.1. Análisis Cinemático del talud de roca N° 2

Los datos estructurales del talud 2 y las juntas empleados en el análisis estereográfico se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 93. Datos del Talud de roca N° 2 empleados en el análisis de rotura planar y cuña.

Tipo de plano	DIP	DIP.DIR	Ángulo de Fricción (°)
J1	61	59	30.99
J2	3	218	
J3	68	321	
J4	80	19	
Talud	69	25	

- **Rotura Planar**

Mediante la proyección estereográfica se define que es favorable la rotura planar en el talud 2 ya que la familia de discontinuidades F1 buza en dirección favorable al talud considerando una dirección de buzamiento del talud de 25°. Se determina que cumple con la condición básica que es la presencia de discontinuidades buzando a favor del talud y con la misma dirección. Además, en la proyección estereográfica se considera que hay una rotura planar cuando el plano de alguna discontinuidad este dentro de la intersección entre el ángulo de fricción el cual es 30.99°, la envolvente y las líneas laterales, y para este caso la familia de juntas 1 están dentro de la intersección, por lo tanto, la rotura planar para el talud 2 es 25%.

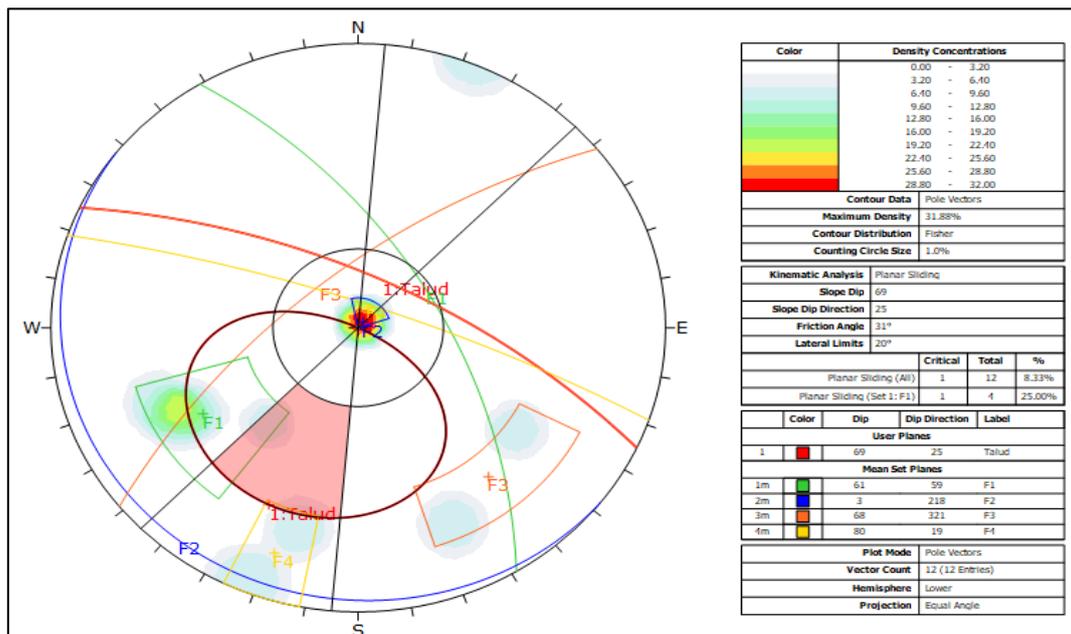


Figura 113. Análisis estereográfico del talud 2 para rotura planar.

Nota. Dips 7.0, 2023

- **Rotura en Cuña**

A partir del análisis de la proyección estereográfica de rotura en cuña el área de color naranja corresponde al talud y la rosada a los puntos críticos que se ven propensos a sufrir una rotura por cuña. Se observa que existe intersección entre las juntas 1 y 3, y que dicha intersección buza hacia la cara del talud. Por lo tanto, las intersecciones entre dos planos ameritan que se produzca una rotura por cuña en este caso con una probabilidad de ocurrencia de 23.81% en las discontinuidades analizadas.

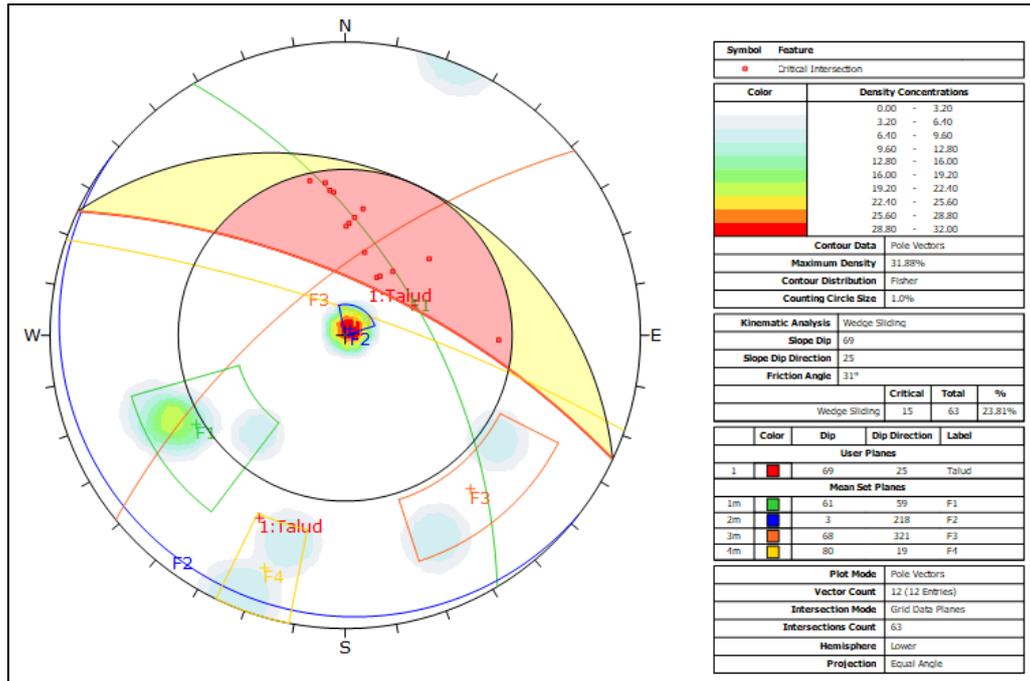


Figura 114. Análisis estereográfico del talud 2 para rotura en cuña.

Nota. Dips 7.0, 2023

6.7.2.2. Análisis Cinemático del talud de roca N°3

Los datos estructurales del talud de roca N° 3 y las juntas empleados en el análisis estereográfico se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 94. Datos del Talud 3 empleados en el análisis de rotura planar y cuña.

Tipo de Plano	DIP	DIP.DIR	Ángulo de Fricción (°)
J1	61	5	
J2	59	111	24.19
J3	35	327	
Talud	80	75	

- **Rotura Planar**

En la proyección estereográfica del macizo rocoso representativo N°3 se indica que no es favorable para rotura planar ya que las familias de discontinuidades no buzan a favor del talud y con la misma dirección la cual es 75°. Además, en una proyección estereográfica se

considera que hay una rotura planar cuando el plano de alguna discontinuidad este dentro de la intersección entre el ángulo de fricción la cual es 24.19° , la envolvente y las líneas laterales las cuales están a $\pm 20^\circ$ de la dirección de buzamiento del talud. Para este caso no existe ninguna junta que este dentro de la intersección, por lo tanto, la probabilidad de rotura planar para el talud 3 es 0%.

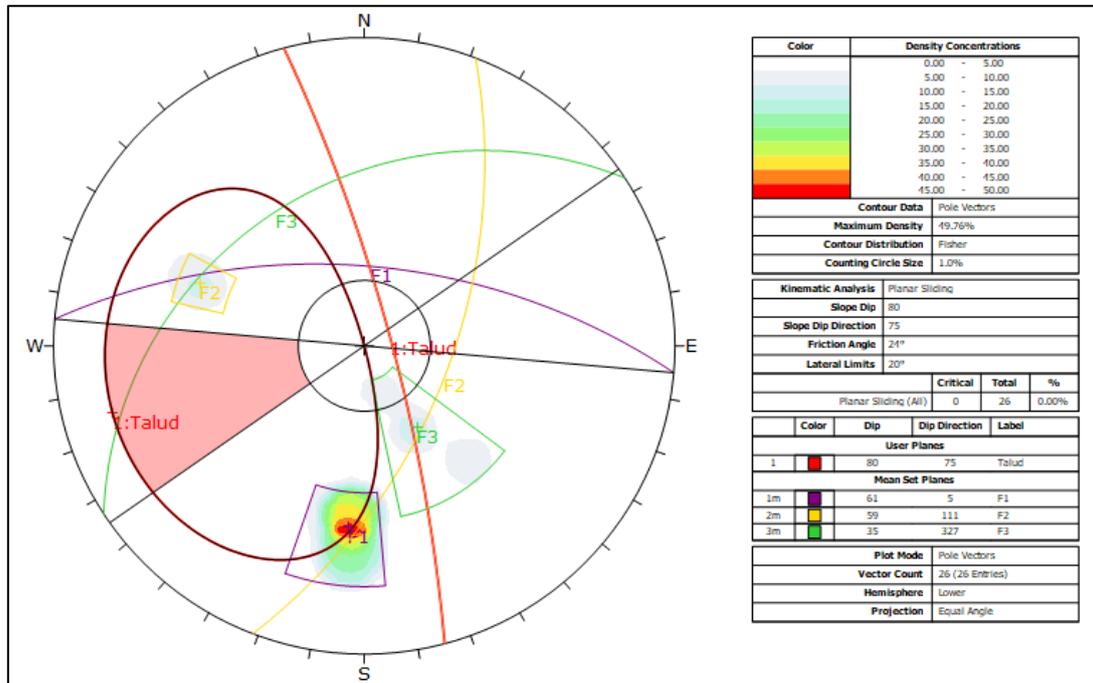


Figura 115. Análisis estereográfico del talud 3 para rotura planar.
Nota. Dips 7.0, 2023

- **Rotura por Cuña**

A partir del análisis de la proyección estereográfica de rotura en cuña el área de color naranja corresponde al talud y la rosada a los puntos críticos que se ven propensos a sufrir una rotura por cuña. Se observa que existe intersecciones entre las juntas 1 y 2, y entre las juntas 2 y 3, además dichas intersecciones buznan hacia la cara del talud. Por lo tanto, las intersecciones entre dos planos ameritan que se produzca una rotura por cuña en este caso con una probabilidad de ocurrencia de 24.25% en las discontinuidades analizadas.

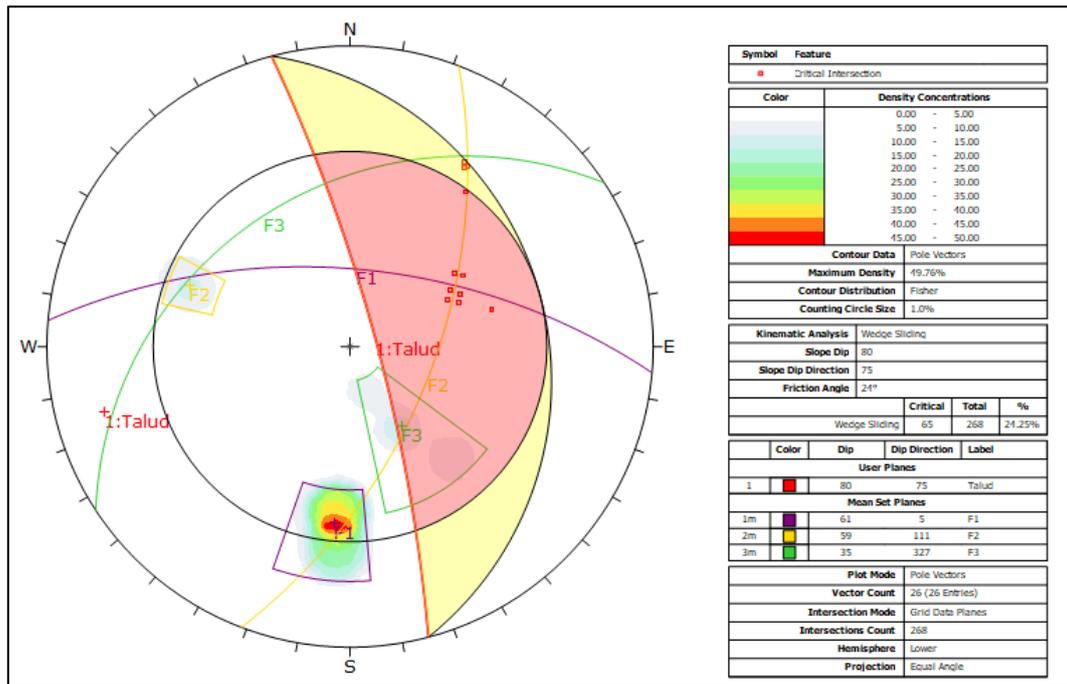


Figura 116. Análisis estereográfico del talud 3 para rotura en cuña.
Nota. Dips 7.0, 2023.

En la siguiente tabla se presenta un resumen con los porcentajes de probabilidad ante una rotura planar y por cuña para los taludes de roca representativos N°2 y N°3 donde se aprecia que el Talud de roca N° 2 tiene 25% probabilidad de rotura planar y 23.81% de rotura en cuña; y el talud 3 tiene 24.25% de probabilidad de falla en cuña.

Tabla 95. Resumen de resultados del análisis cinemático.

Talud	Probabilidad de rotura (%)	
	Falla Planar	Falla en cuña
T2	25%	23.81%
T3	0%	24.25%

Nota. Dips 7.0

6.7.3. Análisis de la estabilidad global

A continuación, se presentan los resultados de los factores de seguridad globales en condiciones estáticas obtenidos para los 4 taludes de roca representativos y para el deslizamiento representativo MM4 en el software slide 5.0 tomando en cuenta el criterio de Mohr-Coulomb en condiciones secas. Además, en la tabla 97 se resumen los factores de seguridad por el método de Bishop Simplified, Janbu Simplified y Spencer.

- **Talud de roca N° 1**

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado en el software slide 5.0 para el talud de roca N° 1 formado por Granodiorita moderadamente meteorizada se determinó un factor de seguridad FS=3.661, valor que según Suárez D. (2009) indica que el talud 1 se encuentra dentro de los rangos estables como se observa en la figura 117 y 118.

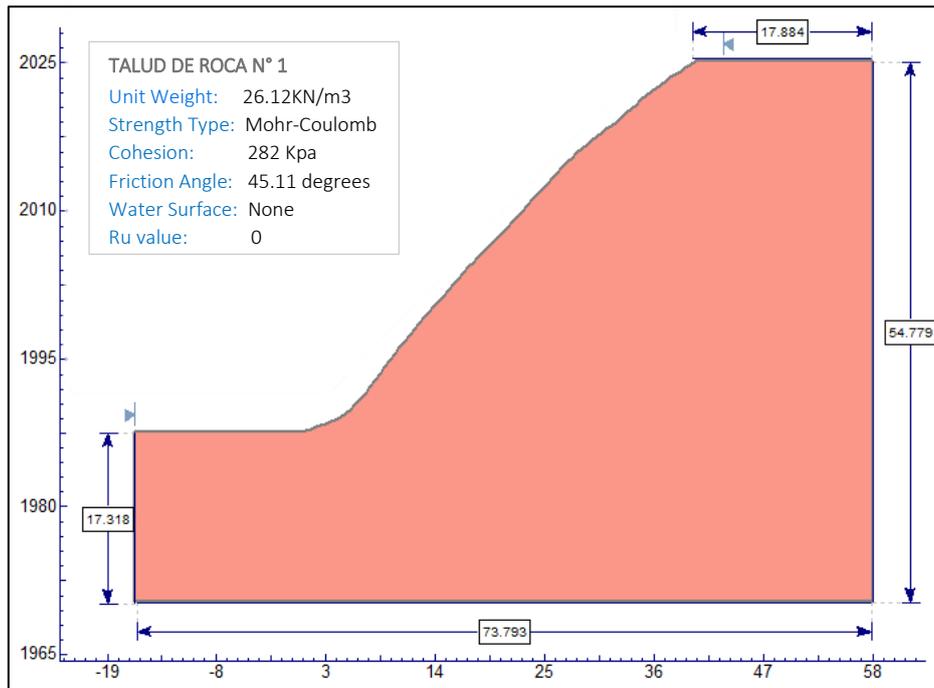


Figura 117. Diseño del talud de roca N° 1 para análisis de estabilidad.

Nota. Slide 5, elaborado por autora, 2023

En la siguiente figura observa que la superficie de falla del talud de roca N° 1 está dentro de la tonalidad verde la cual tiene un rango de valores de factor de seguridad que va desde 3.5 hasta 4 que se representan como estables.

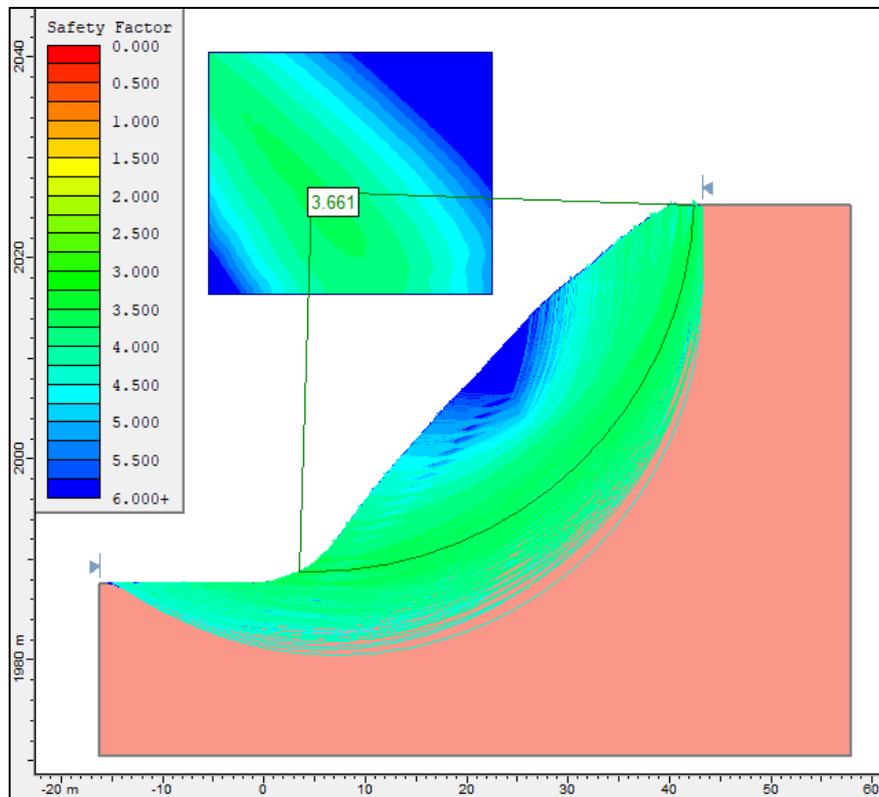


Figura 118. Análisis de rotura general para el talud de roca N° 1.

Nota. Slide 5, elaborado por autora, 2023

- **Talud de roca N° 2**

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado en el software slide 5.0 para el talud de roca N°2 formado por metagranodioritas se determinó un factor de seguridad $FS=2.009$, valor que según Suárez D. (2009) indica que el talud 2 se encuentra dentro de los rangos estables como se observa en la figura 119 y 120.

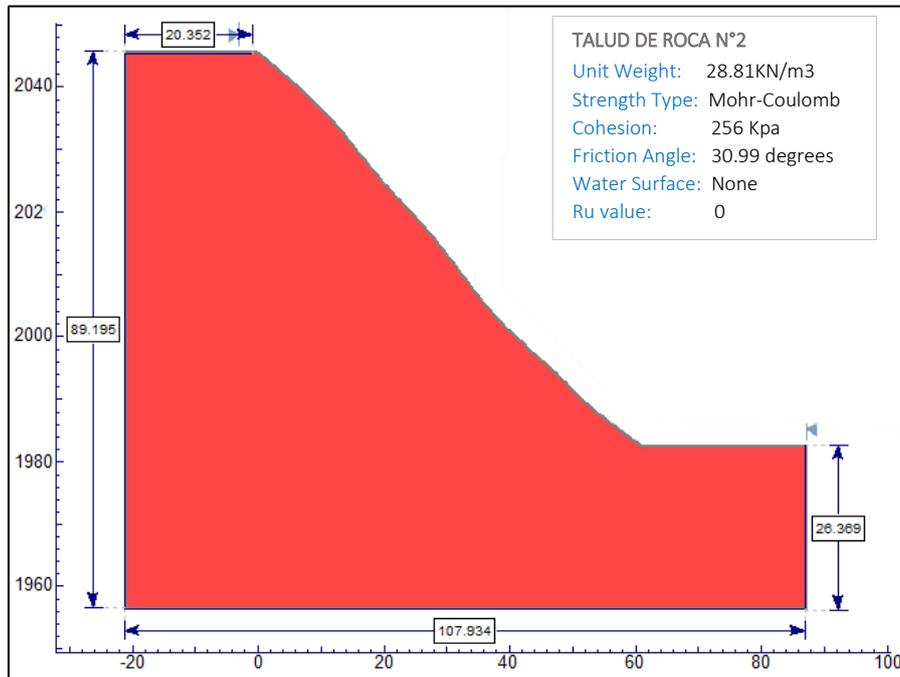


Figura 119. Diseño del talud de roca N° 2 para análisis de estabilidad.

Nota. Slide 5, elaborado por autora, 2023

En la siguiente figura se puede observar que la superficie de falla del talud de roca N°2 está dentro de la tonalidad verde claro que tiene un rango de valores de factor de seguridad que va desde 2 hasta 2.5 que se representan como estables.

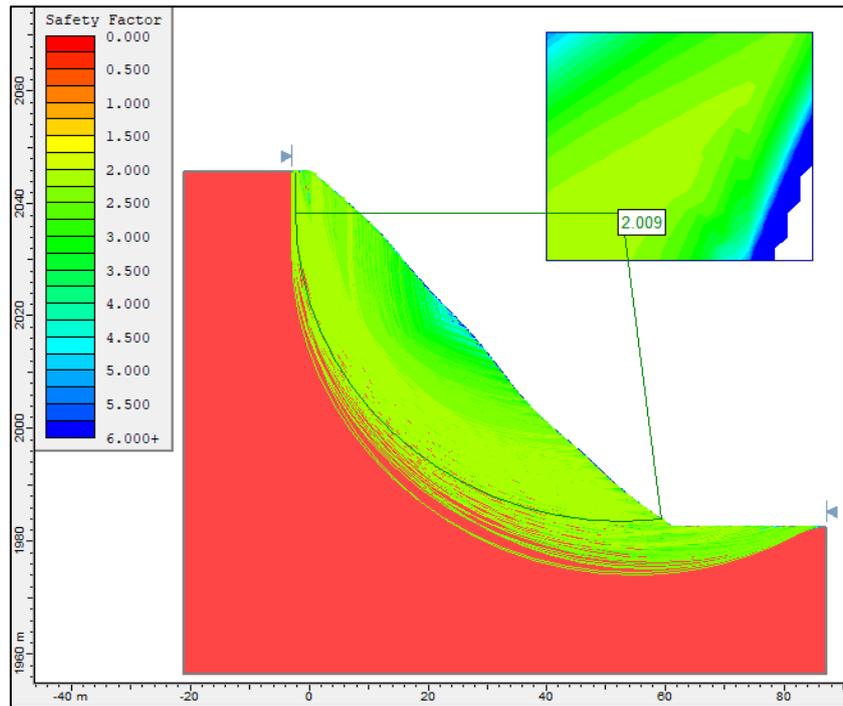


Figura 120. Análisis de rotura general para el talud de roca N°2.
Nota. Slide 5, elaborado por autora, 2023

- **Talud de roca N° 3**

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado en el software slide 5.0 para el talud de roca N° 3 formado por Esquistos se determinó un factor de seguridad $FS=1.523$, valor que según Suárez D. (2009) indica que el talud 3 se encuentra bordeando un estado crítico como se observa en la figura 121 y 122.

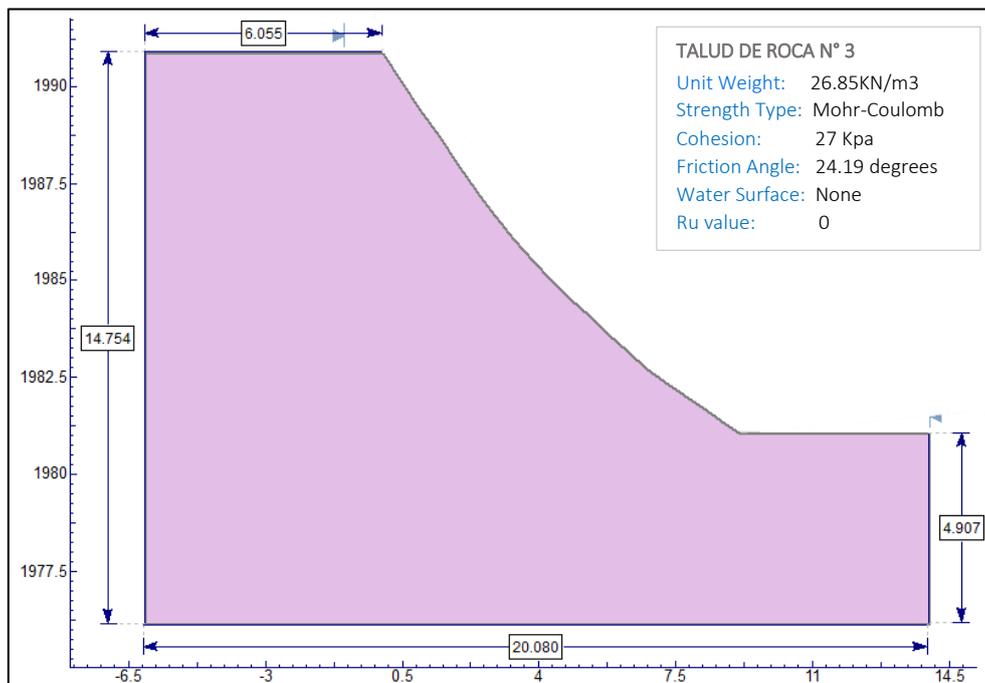


Figura 121. Diseño del talud de roca N°3 para análisis de estabilidad.
Nota. Slide 5, elaborado por autora, 2023

En la siguiente figura se puede observar que la superficie de falla del talud de roca N°3 está dentro de la tonalidad amarilla la cual tiene un rango de valores de factor de seguridad que va desde 1.5 hasta 1.8 que se representan como críticos-estables.

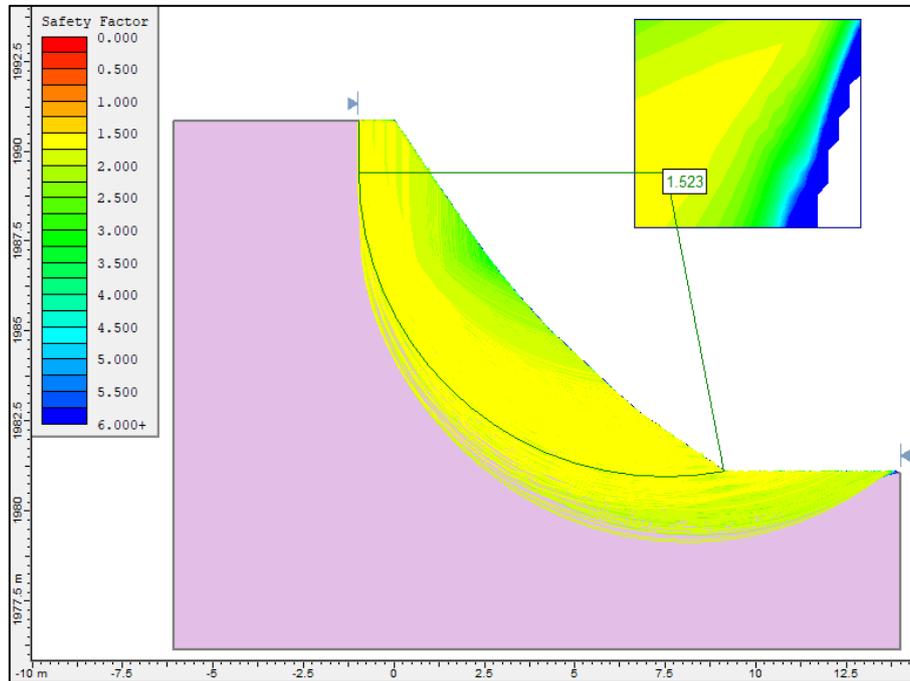


Figura 122. Análisis de rotura general para el talud de roca N° 3.

Nota. Slide 5, elaborado por autora, 2023

- **Talud de roca N°4**

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado en el software slide 5.0 para el talud de roca N° 4 formado por granodiorita moderadamente meteorizada se determinó un factor de seguridad $FS=3.995$, valor que según Suárez D. (2009) indica que el talud 4 se encuentra dentro de los rangos estables como se observa en la figura 123 y 124.

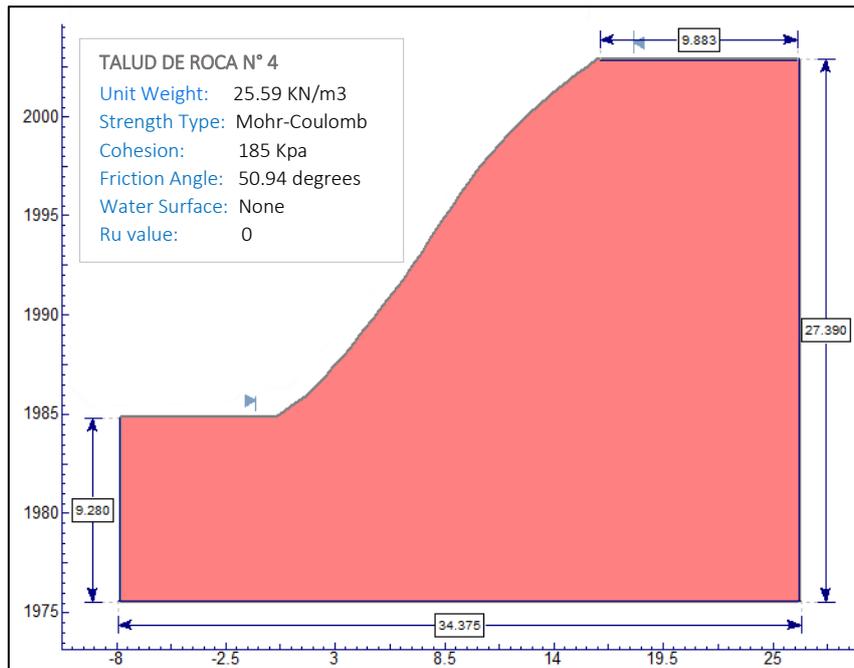


Figura 123. Diseño del talud de roca N°4 para análisis de estabilidad.
Nota. Slide 5, elaborado por autora, 2023

En la siguiente figura se puede observar que el plano de falla del talud de roca N°4 está dentro de la tonalidad verde azulada la cual tiene valores de factor de seguridad entre 3.8 hasta 4.3 que se representan como estables.

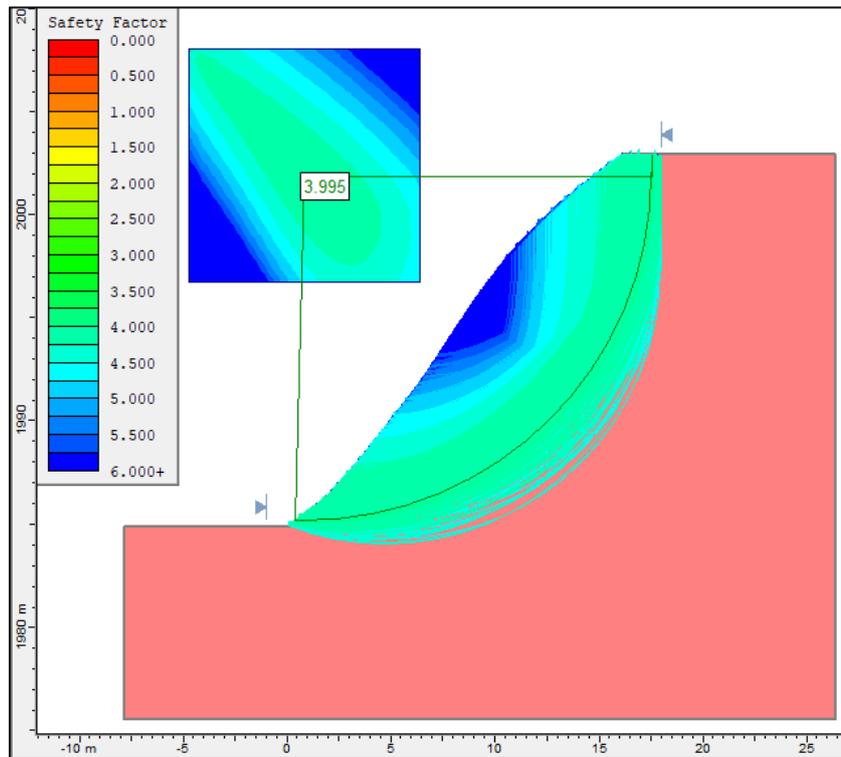


Figura 124. Análisis de rotura general para el talud de roca N° 4.
Nota. Slide 5, elaborado por autora, 2023

- **Deslizamiento MM4**

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado en el software slide 5.0 para el deslizamiento rotacional MM4 ubicado al sur del área de estudio formado por dioritas y un suelo areno limoso se determinó un factor de seguridad $FS=0.934$, lo cual indica que el talud se encuentra en condiciones inestables como se observa en la figura 125 y 126.

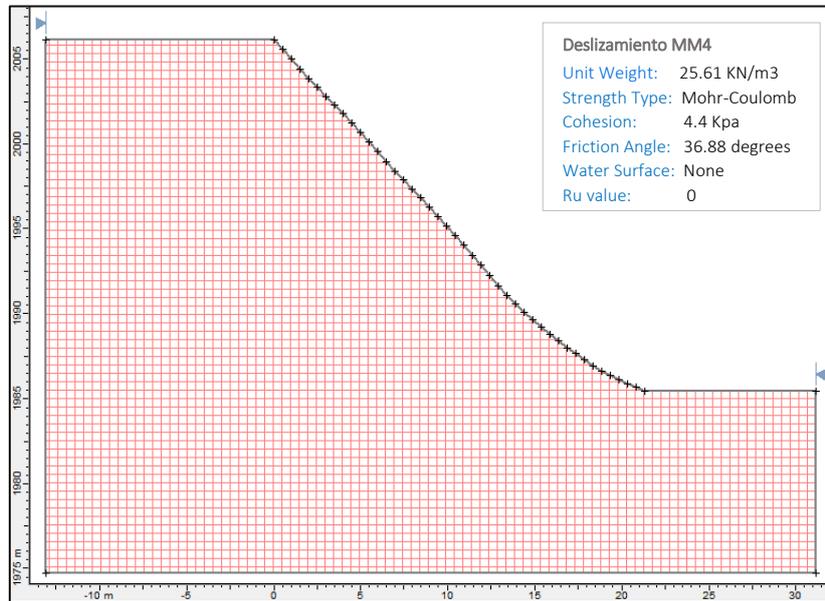


Figura 125. Diseño del talud MM4 para análisis de estabilidad.

Nota. Slide 5, elaborado por autora, 2023

En la siguiente figura se puede observar que el plano de falla del deslizamiento MM4 está dentro de la tonalidad anaranjada la cual tiene valores de factor de seguridad <1 . Además, según la gráfica el deslizamiento es inestable.

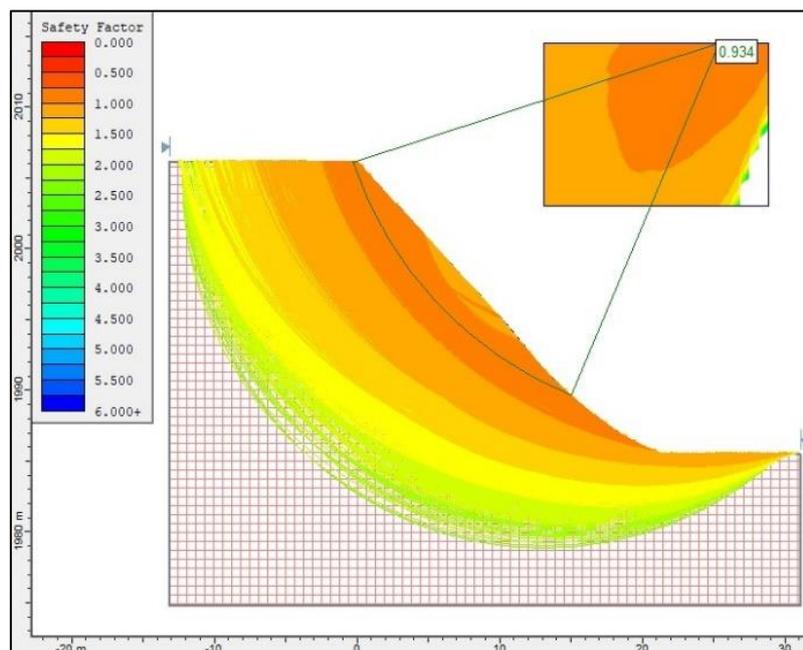


Figura 126. Análisis de rotura general para el deslizamiento MM4.

Nota. Slide 5, elaborado por autora, 2023

En la siguiente tabla se presentan los factores de seguridad de los taludes representativos de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo-Naranjo, donde se aprecia que en condiciones secas los taludes de roca N°1, N°2 y N°4 tienen factores de seguridad estables >1.5; el talud de roca N°3 un factor de seguridad crítico entre 1 y 1.5; y el deslizamiento MM4 tiene un factor de seguridad <1 que se lo clasifica como inestable.

Tabla 96. Resumen de resultados del Factor de Seguridad.

Talud	Bishop Simplified	Janbu Simplified	Spencer
T1 (roca)	3.661	3.507	3.703
T2 (roca)	2.009	1.878	1.968
T3 (roca)	1.523	1.374	1.519
T4 (roca)	3.995	3.819	3.954
MM4 (suelo y roca)	0.934	0.875	0.927

Nota. Slide 5, elaborado por autora, 2023

6.8. Caracterización geológica y geotécnica

Finalmente, acorde a las características geológicas y geotécnicas se describe a cada uno de los taludes de roca y deslizamiento MM4 representativos que han sido estudiados en el presente proyecto de investigación, además se los puede observar en el anexo 19 y 20:

- **Talud de roca representativo N°1:** Geológicamente se caracteriza por estar formado por granodiorita moderadamente meteorizada perteneciente al batolito San Lucas. Geotécnicamente es un talud que tiene una altura de 37.61m, presenta 5 familias de juntas en 1m³, tiene un RQD de 50.40% con calidad de roca media, un RMR de 49.6 calidad del macizo rocoso clase III calidad media que tiene un tiempo de mantenimiento de 1 semana con 5m de vano, GSI de 44.6 con calidad del macizo rocoso regular, no presenta probabilidad de rotura planar ni en cuña. La roca tiene una resistencia a la compresión simple de 59.665 Mpa; una porosidad de 2.67% y una densidad de 2.52g/cm³. Conforme al criterio de Mohr Coulomb los parámetros de resistencia son cohesión de 0.282 Mpa y ángulo de fricción de 45.11°. Se caracteriza por ser un talud de roca estable con un factor de seguridad según la metodología de Bishop Simplified de 3.661.
- **Talud de roca representativo N°2:** Geológicamente se caracteriza por estar formado por metagranodiorita, el material tiene resistividades entre 89Ωm y 9821Ωm. Geotécnicamente es un talud que tiene una altura de 63.19m, presenta 4 familias de juntas en 1m³, tiene un RQD de 75.61% con calidad de roca buena, un RMR de 41 calidad del macizo rocoso clase III calidad media que tiene un tiempo de mantenimiento de 1 semana con 5m de vano, GSI de 36 con calidad del macizo rocoso mala, tiene una

probabilidad de rotura planar del 25% debido a que la F1 buza en dirección favorable al talud y 23.81% de probabilidad de rotura en cuña debido a la intersección entre las juntas 1 y 3, buzando hacia la cara del talud. La roca tiene una resistencia a la compresión simple de 36.475Mpa; una porosidad de 5.50% y una densidad de 2.71g/cm³. Conforme al criterio de Mohr Coulomb los parámetros de resistencia son cohesión de 0.256 Mpa y ángulo de fricción de 30.99°. Se caracteriza por ser un talud de roca estable con un factor de seguridad según la metodología de Bishop Simplified de 2.009.

- **Talud de roca representativo N°3:** Geológicamente se caracteriza por estar formado por Esquistos pertenecientes a la unidad Tres Lagunas y atravesado por una falla normal con rumbo N75°W buzando 58° hacia el NE. Geotécnicamente es un talud que tiene una altura de 9.79 m, presenta 3 familias de juntas en 1m³, tiene un RQD de 45.29% con calidad de roca mala, un RMR de 28.00 calidad del macizo rocoso clase IV calidad mala que presenta un tiempo de mantenimiento de 10 horas con 2.5 m de vano, GSI de 23 con calidad del macizo rocoso mala, según el sistema de clasificación SMR el talud 3 es inestable con clase IV ante una rotura planar que requiere un tratamiento correctivo, además según el análisis estereográfico existe una probabilidad de rotura por cuña de 24.25%, ya que la J1 y J2; J2 y J3 se interceptan y dichas intercepciones buzando hacia la cara del talud. La roca tiene una resistencia a la compresión simple de 24.835 Mpa; una porosidad de 8.02% y una densidad de 2.58g/cm³. Conforme al criterio de Mohr Coulomb los parámetros de resistencia son cohesión de 0.027 Mpa y ángulo de fricción de 24.19°. Se caracteriza por ser un talud de roca crítico con un factor de seguridad según la metodología de Bishop Simplified de 1.523.
- **Talud de roca representativo N°4:** Geológicamente se caracteriza por estar formado por granodiorita moderadamente meteorizada perteneciente al batolito San Lucas. Geotécnicamente es un talud que tiene una altura de 18.06m, presenta 3 familias de juntas en 1m³, tiene un RQD de 73.65% con calidad de roca media, un RMR de 44.667 calidad del macizo rocoso clase III calidad media que tiene un tiempo de mantenimiento de 1 semana con 5m de vano, GSI de 39.667 con calidad del macizo rocoso mala, no presenta probabilidad de rotura planar ni en cuña. La roca tiene una resistencia a la compresión simple de 96.18 Mpa; una porosidad de 1.20% y una densidad de 2.44g/cm³. Conforme al criterio de Mohr Coulomb los parámetros de resistencia son cohesión de 0.185 Mpa y ángulo de fricción de 50.94°. Se caracteriza por ser un talud estable con un factor de seguridad según la metodología de Bishop Simplified de 3.995.

- **Deslizamiento representativo MM4:** Es un deslizamiento rotacional formado por diorita con matriz arenosa de baja plasticidad, tiene una altura de 20.63 m, un ancho de 37.5 m y una pendiente de 43.8° dentro de una colina alta. El material del cual está formado tiene una densidad de 2.61g/cm³ y un contenido de humedad de 7.82%. Conforme al criterio de Mohr Coulomb los parámetros de resistencia resultantes del ensayo de corte directo son cohesión de 0.00440 Mpa y ángulo de fricción de 36.88°. Se caracteriza por ser un talud de suelo y roca meteorizada inestable con un factor de seguridad según la metodología de Bishop Simplified de 0.934.

7. Discusión

Referente a la topografía los autores Reyes et al. (2017) mencionan que un levantamiento realizado con dron permite obtener información de alta resolución y calidad a un menor coste, es por ello que en el presente trabajo de investigación la topografía del área de estudio a escala 1:5000 se la levantó con un vehículo aéreo de alta precisión, de lo cual se obtuvo una información topográfica detallada con un error total en coordenadas de $\pm 0.115\text{m}$, el cual está relacionado con errores instrumentales y condiciones en las cuales se realizó el levantamiento como el viento. Además, según el Instituto geográfico militar (2008) el valor mínimo que debe garantizar una ortofoto a escala 1:5000 es un tamaño de pixel de 0.50 m, valor que concuerda con el obtenido en el presente trabajo de investigación.

La carta geológica de Loja a escala 1:100000 no toma en cuenta algunas litologías identificadas dentro del área de estudio como las metagranodioritas, dioritas, gneis, esquistos y depósitos aluviales, mientras que a una escala detallada 1:5000 y aplicando el método de levantamiento por afloramientos en el área de estudio se pudo identificar las litologías mencionadas anteriormente, además de las granodioritas muy representativas del batolito San Lucas, y con ello contactos litológicos entre la granodiorita y los esquistos de la unidad Tres Lagunas; y entre la metagranodiorita y la granodiorita del batolito San Lucas, los cuales fueron identificados en campo mediante observación directa con la respectiva toma de datos estructurales; y mediante fotointerpretación se delimito a los contactos inferidos, ya que como menciona Guerra F. (2003) la fotogeología permite obtener resultados confiables.

Con base a la metodología de Demek y a una escala 1:5000 se determinó que la mayor parte del territorio está constituida por pendientes empinadas de 35° a 55° las cuales se ubican en toda la parte este y oeste del área de estudio. Dato que coincide con lo representado en el mapa de pendientes que se encuentra en el PDOT de la parroquia rural Santiago elaborado en el año 2020 a escala 1:50000 donde se indica que el área de estudio tiene pendientes empinadas y muy empinadas que oscilan entre 36° - 57° .

En el mapa geomorfológico expuesto en el PDOT de la parroquia rural Santiago (2020) a escala 1:50000 se hace mención que el área de estudio está constituida específicamente por vertientes irregulares. Sin embargo, con base a una metodología más detallada propuesta por el Ministerio del ambiente en el año 2012 para el análisis de geoformas a escala 1:5000, localmente la mayor parte del territorio está constituida por colinas altas que ocupan un 52.72% del territorio, seguidas de las vertientes irregulares con un 31.73%.

Según la OPS (1998) los deslizamientos rotacionales se caracterizan por ocurrir lentamente, en forma de cuchara y el material comienza a fallar por rotación a lo largo de una

superficie cilíndrica apareciendo abombamientos al pie de la masa deslizante; entonces correlacionando lo mencionado por el autor con el inventario de deslizamientos realizado en el área de estudio se determina que la mayor parte de los deslizamientos son rotacionales cuya inestabilidad tuvo su origen debido a la relajación de los esfuerzos de confinamiento al momento de la apertura y corte de los taludes para la construcción de la vía hace más de 60 años, es por ello que se identificaron deslizamientos antiguos cubiertos de vegetación y deslizamientos recientes desencadenados por la presencia de fuertes lluvias continuas y prologadas coincidiendo con Suarez J (2009) el cual menciona que la mayoría de las fallas de los taludes están relacionadas de una u otra forma, con factores geohidrológicos.

Según Keller y Dexter (2012) un suelo con bajo contenido de humedad por debajo del LP presenta un comportamiento frágil, mientras que, por encima de un contenido de humedad el suelo se comporta como un líquido y puede fluir. Por lo tanto, con la información resultante de la clasificación de suelos por AASHTO y SUCS en la calicata geotécnica, la arena limosa del estrato 2 tiene un comportamiento frágil, mientras que el limo orgánico y los limos de baja plasticidad que se encuentran en el estrato 1 y 3 se comportan como un líquido que podría deslizarse como un movimiento tipo flujo.

Parasnis D. (1971) menciona que la variación de la resistividad eléctrica en un mismo tipo de roca se debe en gran medida al agua que contengan las fracturas y grietas en las rocas, donde por regla general las zonas de roca quebrantada y rota tienen resistividades bajas; bajo esta premisa se puede indicar que con base a la información obtenida de los sondeos eléctricos verticales realizadas al pie de los deslizamientos críticos efectivamente las rocas graníticas se encuentran fracturadas con resistividades bajas sobre todo a profundidades menores a 16 m, en cambio las rocas graníticas sanas tienen resistividades altas por encima de los 2000 Ω m.

Según los valores de resistencia a la compresión simple referidos por González de Vallejo et al., (2002) la granodiorita presenta un rango entre 100-200 Mpa, sin embargo, en laboratorio la granodiorita presentó valores inferiores entre 59.6 - 96.2 Mpa, este rango varía debido a que los macizos rocosos de los cuales provienen las muestras de roca están gobernados por familias de discontinuidades, y afectados por la meteorización. Las metagranodioritas en campo se comportan como una roca muy dura, sin embargo, en laboratorio presentó un valor de 36.475 MPa clasificada como moderadamente dura, este valor según Salinas (2018) puede deberse a la composición de la roca y el lugar donde se haya hecho los estudios, donde influyo la presencia de discontinuidades. Los esquistos según el autor en mención presentan un rango de valores entre 25-50 Mpa mientras que el valor obtenido en laboratorio para los esquistos es

de 24.835 MPa, según Maldonado (2021) los esquistos por sus abundantes granos de mica y su esquistosidad la convierten en una roca de baja resistencia.

González de Vallejo et al., (2002) menciona que la clasificación más útil en mecánica de rocas es la clasificación RMR, ya que considera las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades; según esta clasificación los taludes de roca 1, 2 y 4 son de clase III calidad media que tienen un tiempo de mantenimiento de 1 semana con 5m de vano; y el talud de roca 3 es un macizo de clase IV calidad mala que presenta un tiempo de mantenimiento de 10 horas con 2.5 m de vano. También se estableció la calidad de la roca mediante el índice RQD, del cual EGSciences (2022) señala que es el índice más usado para medir el grado de fracturación de un macizo rocoso, por lo tanto, los resultados fueron confiables entre una calidad de roca mala a buena. Se completó la información con el cálculo del índice geológico de resistencia GSI, donde resultó que el talud de roca N° 1 es un macizo perturbado de calidad regular y los taludes de roca N° 2,3 y 4 son macizos de calidad mala perturbados, fracturados y afectados por la presencia de juntas, por tanto, los valores se ajustan a las condiciones reales del terreno.

La clasificación SMR de Romana (1997) es altamente confiable, puesto que al contrastarlo con las observaciones de campo y determinación de las particularidades que tiene cada sistema de diaclasa referido con la dirección e inclinación del talud permite establecer que efectivamente se produce una inestabilidad planar y por cuña en el talud de roca 2 y 3; cosa que se pudo observar directamente en campo como el desprendimiento de roca; y efectivamente cuando se hace la comparación con los estereogramas se puede evidenciar que si se cumple a rajatabla las reglas establecidas por el método para el caso de rotura planar y cuña.

Finalmente, se determinó el factor de seguridad de los taludes de roca representativos y deslizamiento MM4 en el software slide 5.0 mediante el análisis de equilibrio límite considerando una superficie de falla circular por el método Bishop Simplified, Janbu Simplified y Spencer los cuales presentan valores diferentes de factor de seguridad; sin embargo según Suarez J. (2009) no existe un método de equilibrio completo que sea significativamente más preciso que otro y se prefiere trabajar con los métodos más sencillos que satisfagan el equilibrio completo como el método simplificado de Bishop, de los cuales los taludes de roca 1, 2 y 4 presentan valores estables encontrándose sobre el rango mínimo estipulado en la Normativa Ecuatoriana de Construcción (NEC-SE-GC-2014) para taludes en condición estática el cual es un $FS > 1.5$. Sin embargo, el talud de roca N°3 está en condición crítica y el deslizamiento MM4 en condición inestable lo que significa que tiene una alta probabilidad de falla debido a la pendiente, ya que de acuerdo al software slide el sitio de rotura se ubica en la zona de mayor pendiente.

8. Conclusiones

De la caracterización geológica-geotécnica realizada en la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo-Naranjo, se concluye lo siguiente:

- La topografía de la zona es muy irregular, con cotas que van desde los 1909 msnm hasta los 2089 msnm, existiendo un desnivel de 180 m y un área total de 58.18 Ha es por ello la existencia de pendientes empinadas en un 58.10% del área, seguida de las pendientes muy inclinadas con 31.39%, pendientes fuertemente inclinadas con 7.71%, pendientes ligeramente inclinadas con 2.02% contiguas a la ribera del río San Lucas y río Bunque y en menor porcentaje las pendientes verticales con 0.7%. De acuerdo a la geomorfología el relieve que predomina son las colinas altas con 52,71% con pendientes entre 15°-55°, seguida de las vertientes con 31,73%, terrazas con 9.62%, colinas medianas con 5.24% y relieve montañoso con 0.69%.
- Geológicamente el área de estudio se encuentra conformado por granodioritas alta y moderadamente meteorizadas, dioritas, y metagranodioritas (producto de un proceso de metasomatismo) pertenecientes a batolito de San Lucas; esquistos y gneis pertenecientes a la unidad Tres Lagunas; y depósitos aluviales como grava, arena gruesa, arena fina y limos en la orilla del río San Lucas. Dentro de la geología estructural localmente se identificó estructuras puntuales como contactos inferidos entre las diferentes litologías registradas en campo, un contacto definido entre la granodiorita del batolito San Lucas y los esquistos de la Unidad Tres Lagunas con rumbo S40°W buzando 70° al NW, un contacto litológico entre las andesitas basálticas y las granodioritas del Batolito San Lucas con rumbo S2°E buzando 85° al SW y una falla normal que atraviesa al talud de roca representativo N°3 con rumbo N75°W buzando 58° hacia el NE.
- Las propiedades físico mecánicas permitieron determinar suelos disgregados procedentes de la granodiorita con una matriz areno limosa de baja plasticidad ($IP < 7\%$), donde el contenido de humedad de 11.80% está por debajo del LP de 24.46% tendiendo hacia un comportamiento frágil. Las resistividades máximas varían conforme avanza la profundidad y en un mismo tipo de roca, 244 Ωm para roca fracturada, 2059 Ωm para roca meteorizada y 44817 Ωm para roca sana derivada del granito. Los valores de cohesión son muy bajos en el caso de taludes de roca valores entre 0.027 Mpa-0.282Mpa con ángulos de fricción entre 24.19° y 50.94°, y el deslizamiento MM4 con 0.00440 Mpa de cohesión y 36.88° de ángulo de fricción lo que significa que son geomateriales no cohesivos con estructura granular.

- En cuanto a las propiedades mecánicas la granodiorita del Talud de roca N°1 presenta una RCS de 59.665 Mpa clasificado como roca dura, la metagranodiorita del Talud de roca N°2 una RCS de 36.475 Mpa clasificado como roca moderadamente dura, los esquistos un esfuerzo de 24.835 Mpa clasificado como roca blanda, y la granodiorita del Talud de roca N°4 una RCS de 96.17Mpa clasificado como roca dura.
- Referente a las propiedades geomécnicas el talud de roca N°1 tiene un RQD de 50.40% con calidad de roca media, RMR 49.6 calidad del macizo rocoso clase III calidad media, tiempo de mantenimiento de 1 semana con 5m de vano y sostenimiento con bulonado sistemático de 3-4 m, GSI 44.6 con calidad del macizo rocoso regular. El talud de roca N°2 tiene un RQD de 75.61% con calidad de roca buena, RMR 41 calidad del macizo rocoso clase III calidad media, tiempo de mantenimiento de 1 semana con 5m de vano y sostenimiento con bulonado sistemático de 3-4 m, GSI 36 con calidad del macizo rocoso mala, tiene 25% de probabilidad de rotura planar y 23.81% de probabilidad de rotura en cuña. El Talud de roca N° 3 tiene un RQD de 45.29% con calidad de roca mala, RMR 28.00 calidad del macizo rocoso clase IV calidad mala, tiempo de mantenimiento de 10 horas con 2.5 m de vano con bulonado sistemático de 4-5 m, GSI 23 con calidad del macizo rocoso mala, según el sistema de clasificación SMR este talud es inestable con clase IV ante una rotura planar, y según el análisis estereográfico existe una probabilidad de rotura por cuña de 24.25%; y el talud de roca N° 4 tiene un RQD de 73.65% con calidad de roca media, RMR 44.667 calidad del macizo rocoso clase III calidad media, tiempo de mantenimiento de 1 semana con 5m de vano y sostenimiento con bulonado sistemático de 3-4 m, GSI 39.667 con calidad del macizo rocoso mala.
- Se determinó la estabilidad en condiciones estáticas de 4 taludes de roca y 1 deslizamiento según el método de Bishop Simplified, Janbu Simplified y Spencer, donde el factor de seguridad del talud de roca N° 1 formado por granodiorita es $FS=3.661$ lo que indica que se encuentra estable, el talud de roca N° 2 formado por metagranodioritas tiene un $FS=2.009$ lo que indica que se encuentra estable, el talud de roca N°3 formado por esquistos tiene un $FS=1.523$ lo que indica que se encuentra crítico; el talud de roca N°4 por granodiorita tiene un $FS=3.995$ lo que indica que se encuentra estable; el deslizamiento representativo MM4 formado por diorita y suelo areno-limoso tiene un $FS=0.934$ clasificado como inestable.

9. Recomendaciones

Con base a los resultados de la caracterización geológica y geotécnica del tramo el Gallo-Naranjo, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Utilizar la información topográfica, geológica, geomecánica y geotécnica obtenida en la presente investigación, como base para los estudios viales que se vayan a realizar en este tramo de vía.
- Considerar la ampliación de la faja topográfica y geológica, abarcando una zona de influencia aproximada de 200 m hacia el lado oeste del eje central de la vía, para obtener una visión más amplia de la variabilidad geológica-geotécnica.
- Se recomienda incrementar la profundidad de prospección para determinar la variabilidad de las propiedades de los geomateriales mediante la implementación de líneas de refracción sísmica.
- Para el deslizamiento representativo MM4 como medida de mitigación se recomienda construir obras complementarias como cunetas de coronación aproximadamente unos 5m arriba de la corona del deslizamiento y subdrenes de zanja para estabilizar el deslizamiento y de esta manera evitar la activación en cada periodo invernal; y como medida de sostenimiento se recomienda el retiro del material inestable y la instalación de anclajes.
- Para el talud de roca N°2 y N°3 por ser los más probables ante una rotura planar y en cuña se recomienda implementar un tratamiento correctivo con bulones o pernos de anclaje.
- Según las características físicas y mecánicas de las rocas se recomienda la ejecución de la obra de ampliación y asfaltado de la vía, tomando en cuenta las condiciones topográficas, geológicas, hidrológicas, pendientes, geomorfológicas, geomecánicas y geotécnicas.

10. Bibliografía

- Alcaldía de Medellín. (2015). *Movimientos en Masa*. Plan de Desarrollo. https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/Plan deDesarrollo_0_8/Publicaciones/SharedContent/Documentos/2016/CartillaMovMasa.pdf
- Arellano G, J., Carreón M, M., Morales B, W., Villarreal M, J., y De la Llata Romero, R. (2002). *Ejercicios de Geología Estructural*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Arias, D., Echeverri, O., y Hoyos, F. (2012). *Relaciones Geoeléctricas en la Exploración Geotécnica*. Boletín de Ciencias de La Tierra.
- Barnes, J. W., y Lisle, R. J. (2003). *Basic geological mapping* (4° Ed.). Blackwell Science.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. Canada: John Wiley y Sons
- Braja M, D. (2011). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (7° Ed.). Cengage Learning.
- Braja M, D. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (4° Ed.). Cengage Learning.
- Bueno, A. S. (2019). *10 Razones por las cuáles la Geomorfología es importante*. (S. Tooth y H. Viles, trad.). British Society for Geomorphology. (Trabajo original publicado en 2014). https://www.geomorphology.org.uk/sites/default/files/10_reasons_geom/10_reasons_Spanish.pdf
- Dávila R. (2022, 04 de enero). *Limitaciones para asfaltar vía antigua a Cuenca*. Ecotel Press, Noticias.
- Demek, J. (1972). *Manual of detailed geomorphological mapping: International Geographical Union, Commission on Geomorphological Survey and Mapping*. Prague Academia.
- Duque, G. (2020). *Manual de geología para ingenieros*. Universidad Nacional de Colombia, 9-28.
- Echeveste, H. (2018). *Manual de Levantamiento Geológico: Una introducción a la geología de campo* (1° Ed.). Edupl. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/69363>
- EGSciences (2022). *Método RQD*. LinkedIn Corporation. <https://www.linkedin.com/pulse/conoces-el-m%C3%A9todo-rqd-egsciences/?originalSubdomain=es>
- Electrical engineering toolbox (2015). *Valores de resistividad del suelo para diferentes tipos de suelo*. Electrical engineering toolbox.com. <https://www.electricalengineeringtoolbox.com/2015/12/soil-resistivity-values-for-different.html>

- Fernández, J., y Gutiérrez, G. (2016). Aplicaciones Geológicas de los Drones. *Revista de La Sociedad Geologica de España*, 1, 89–105.
- GEOSCAN-M Ltd. (2000). *IPI2Win guía de usuario*. [Archivo PDF]. http://geophys.geol.msu.ru/demo_exe/WIPI_OM2.PDF
- Global Mediterranea Geomática. (2018). *Drones y topografía la combinación perfecta*. <https://www.globalmediterranea.es/drones-topografia-la-combinacion-perfecta/>
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. In *Editorial Pearson Education, Madrid* (1°. Ed.). Pearson.
- Guerra F. (2003). Las doce principales reglas de la interpretación fotogeológica y las bases fundamentales de que se derivan. *Revista Scielo*, no. 50. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112003000100008
- Herrera Herbert, J., y Castilla Gómez, G. (2012). *Utilización de técnicas de sondeos en estudios geotécnicos*. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Hoek, E. (1994). *Strength of rock and rock masses*. *ISRM News Journal*, 4-16
- Hoek, E., Carranza, C., y Corkum, B. (2002). *El criterio de rotura de Hoek-Brown* (ed.2002). RocScience.
- Iglesias P. C. (1997). *Mecánica del Suelo*. Síntesis S.A.,219.
- IIGE (2019). *Estándares de nomenclatura estratigráfica, simbolización y abreviaturas para la cartografía geológica version 2.0*. Resolución N° 2019-082-DE
- Imhof, A. L., Guell, A. E., y Villagra, M. S. (2001). *Aplicación del metodo geoelectrico para la determinacion de horizontes Salinos en la Colonia Lloveras - PCIA de San Juan - Argentina*. *Brazilian Journal of Geophysics*, 19, 263–278. <https://doi.org/10.1590/s0102-261x2001000300003>
- INIGEMM (2017). *Hoja geológica Loja*. [Mapa]. geoenergía. https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/06/MAPA-2-1_compressed.pdf
- Instituto Geográfico Militar (2008). *Especificaciones Técnicas para Ortofotos Digitales*. CÓDIGO: IGM-PC-OR-ET-00
- Jimenez, G. (2007). *Topografía para Ingenieros Civiles* (1°.ed.). Universidad del Quindío.
- Keller, T. y Dexter, A. (2012). *Plastic limits of agricultural soils as functions of soil texture and organic matter content*. *Soil Res.*,7-17.

- Litherland, M., Aspden, J. y Jemielita, R. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador*: British Geological Survey-CODIGEM.
- Maldonado Y. (2021). *Esquisto: Propiedades, características y usos*. Geologiaweb. <https://geologiaweb.com/rocas/esquisto/>
- Marinos, V., Marinos, P y Hoek, E. (2007). *The geological strength Index GSI: a characterization tool for assessing engineering Properties for rock masses*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 88-91.
- Montes, J. G. (2011). *Recursos hidrogeológicos*. [Archivo pdf]. <https://docplayer.es/12780140-Recursos-hidrogeologicos-juan-gil-montes-geologo.html>
- Naranjo, J. (2015). *Fotogeología Práctica. Fotogeología descriptiva e interpretativa con ejemplos de Colombia*. Universidad de Caldas. p.506
- Norma Ecuatoriana de la Construcción [NEC]. (2014). *Geotecnia y cimentaciones*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. [Archivo pdf]. https://cicp-ec.com/documentos/NEC_2015/NEC_SE_GC_Geotecnia_y_Cimentaciones.pdf
- Norrish, N. y Wyllie, D (1996). *Rock Slope Stability Analysis*. Landslides Investigation and mitigation, Report 247.
- OPS [Organización Panamericana de la Salud] (1998). *Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - Guías para el Análisis de Vulnerabilidad*. General Publications .
- Pacheco, A. E. (2022, enero). *Estudios Geofísicos Método de Resistividad Eléctrica* [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=OQ-LqPAy4y0>
- Palmstrom, A., y Norway, N. (2005). *Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD)*. Tunnelling and Underground Space Technology 20, 262-377
- Pardo, F. y Molnar, P. (1987). *Relative motion of the Nazca (Farallon) Plate and South American Plate since late Cretaceous time*. Tectonics, 6, 233–248.
- Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial, [PDOT]. (2020), *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia rural Santiago*. <http://www.gadsantiago.gob.ec/wp-content/uploads/2022/03/PDYOT-GADPS-2019-2023-ENTREGA-FINAL.pdf>
- Puig, J. (1970). *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil y fotointerpretación* (1°. Ed.). Universidad de Texas.
- Ramírez O, P., y Leandro M, A. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Universidad Politécnica de Madrid.

- Reyes B., Maria J., y Castillo L. (2017). *El uso del drone en levantamientos de información topográfica*. INTEC.
https://issuu.com/bryanreyesgonzalez/docs/g2._articulo._el_uso_del_drone_en_t
- Rincón, M., Vargas, W., y Gonzáles, C. (2017). *Topografía. Conceptos y Aplicaciones* (1°.ed.). ECOE Ediciones.
- Rogel Enríquez, G. A. (2018). *Estudio Geológico Geotécnico para la ampliación de la Vía Sauce - San Antonio Kilómetro 1.0 – 4.5, a Nivel de Lastrado, ubicado en el Cantón Paltas, Provincia de Loja*. [Trabajo de grado, Ingeniería en geología ambiental y ordenamiento territorial]. Universidad Nacional de Loja. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Loja - Moodle.
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/20959>
- Salinas, E. (2018) *Análisis de propiedades geotécnicas de algunas rocas comunes en Chile*. [Trabajo de Grado, Geólogo] Universidad de Chile. Repositorio académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2745>
- Silva, L. (2020). *Ventajas y desventajas de los drones*. Dronesweb.Net.
<https://www.dronesweb.net/ventajas-desventajas-los-drones/>
- Simón, U. M. (2019). *Ensayo de corte directo*. Centro de Geotecnia.
<http://www.fcyt.umss.edu.bo/investigacion/geotecnia/ensayos/corte.php>
- Suárez D., J. (2009). *Deslizamientos-Análisis geotécnico* (1°. Ed.). Publicaciones UIS.
- Tarback, E. J., y Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física* (8°. Ed.). Pearson.
- Tracasa (2015). *Mapa Geomorfológico hoja Loja Norte NVI-F4 a 1:25000*. MAGAP PRAT-SIGTIERRAS.http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/hojas50k/Geopedologia_MapaNVI_F4.pdf
- Turner, A. y Schuster, R. (1996) *Landslides: Investigation and Mitigation*. Special Report 247. Transportation Research Board.
<https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr247/sr247.pdf>

11. Anexos

Anexo 1. Fichas para el levantamiento de puntos de control

		Universidad Nacional de Loja	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA Ficha para el levantamiento de Puntos de control	Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial 
PROYECTO: “Levantamiento Topográfico de la vía antigua a Cuenca tramo El Gallo-Naranjo, a través de un vehículo aéreo no tripulado”				
Realizado por: Setia Group.		Cliente: Maritza Cevallos		Fecha: 27/09/2022
Equipo: Emlid Reach	Procesado en: Emlid studio	Estación de Referencia: REGME-UTPL	ID Punto: Base (1)	
Coordenadas UTM				
WGS84		Parámetros de Proyección		
Norte:	9576166.748	Proyección:	UTM	
Este:	697017.2013	Datum:	WGS84	
Altitud Elipsoidal	1981.203406	Zona:	17 S	
Coordenadas Geográficas (WGS84)				
Latitud: -3.832650		Longitud: -79.225797		
Altitud Ortogonal (Elevación N.M.M): 1998.7139				
Ubicación: BARRIO EL NARANJO		Referencia Fotográfica		
				



UNL

Universidad Nacional de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Ficha para el levantamiento de Puntos de control

Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



PROYECTO:

“Levantamiento Topográfico de la vía antigua a Cuenca tramo El Gallo-Naranjo, a través de un vehículo aéreo no tripulado”

Realizado por: Setia Group.	Cliente: Maritza Cevallos	Fecha: 27/09/2022
---------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------

Equipo: Emlid Reach	Procesado en: Emlid studio	Estación de Referencia: BASE (1)	ID Punto: Punto 2
-------------------------------	--------------------------------------	--	-----------------------------

Coordenadas UTM

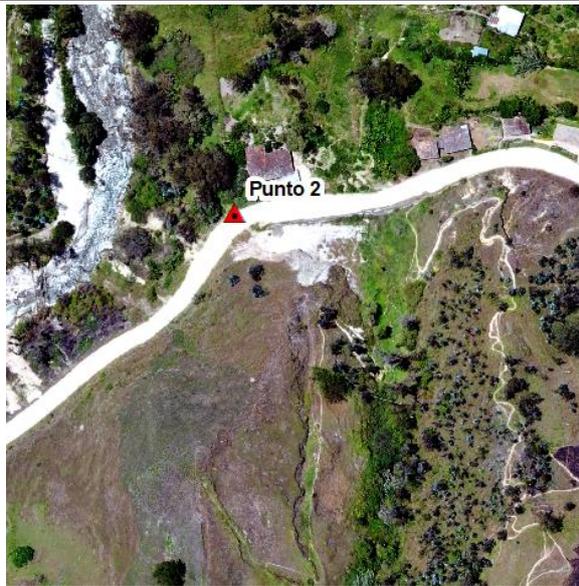
WGS84		Parámetros de Proyección	
Norte:	9576178.567	Proyección:	UTM
Este:	696837.3785	Datum:	WGS84
Altitud Elipsoidal	1983.210176	Zona:	17 S

Coordenadas Geográficas (WGS84)

Latitud: -3.832546	Longitud: -79.227416
---------------------------	-----------------------------

Altitud Ortogonal (Elevación N.M.M): 2000.723

Ubicación: BARRIO EL NARANJO	Referencia Fotográfica
-------------------------------------	-------------------------------





UNL

Universidad Nacional de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Ficha para el levantamiento de Puntos de control

Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



PROYECTO:

“Levantamiento Topográfico de la vía antigua a Cuenca tramo El Gallo-Naranjo, a través de un vehículo aéreo no tripulado”

Realizado por: Setia Group.	Cliente: Maritza Cevallos	Fecha: 27/09/2022
---------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------

Equipo: Emlid Reach	Procesado en: Emlid studio	Estación de Referencia: BASE (1)	ID Punto: Punto 3
-------------------------------	--------------------------------------	--	-----------------------------

Coordenadas UTM

WGS84		Parámetros de Proyección	
Norte:	9576219.988	Proyección:	UTM
Este:	697472.7937	Datum:	WGS84
Altitud Elipsoidal	1983.220916	Zona:	17 S

Coordenadas Geográficas (WGS84)

Latitud: -3.832160	Longitud: -79.221697
---------------------------	-----------------------------

Altitud Ortogonal (Elevación N.M.M): 2000.728

Ubicación: BARRIO EL NARANJO	Referencia Fotográfica
-------------------------------------	-------------------------------





UNL

Universidad Nacional de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
Ficha para el levantamiento de Puntos de control

Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



PROYECTO:

“Levantamiento Topográfico de la vía antigua a Cuenca tramo El Gallo-Naranjo, a través de un vehículo aéreo no tripulado”

Realizado por: Setia Group. **Cliente:** Maritza Cevallos **Fecha:** 27/09/2022

Equipo: Emlid Reach **Procesado en:** Emlid studio **Estación de Referencia:** BASE (1) **ID Punto:** Punto 4

Coordenadas UTM

WGS84		Parámetros de Proyección	
Norte:	9575925.925	Proyección:	UTM
Este:	697652.7772	Datum:	WGS84
Altitud Elipsoidal	1980.170339	Zona:	17 S

Coordenadas Geográficas (WGS84)

Latitud: -3.834816 **Longitud:** -79.220071

Altitud Ortogonal (Elevación N.M.M): 1997.667

Ubicación: ENTRADA AL BUNQUE **Referencia Fotográfica**





UNL

Universidad Nacional de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Ficha para el levantamiento de Puntos de control

Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



PROYECTO:

“Levantamiento Topográfico de la vía antigua a Cuenca tramo El Gallo-Naranjo, a través de un vehículo aéreo no tripulado”

Realizado por: Setia Group.	Cliente: Maritza Cevallos	Fecha: 27/09/2022
---------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------

Equipo: Emlid Reach	Procesado en: Emlid studio	Estación de Referencia: BASE (1)	ID Punto: Punto 5
-------------------------------	--------------------------------------	--	-----------------------------

Coordenadas UTM

WGS84		Parámetros de Proyección	
Norte:	9575775.751	Proyección:	UTM
Este:	697929.6074	Datum:	WGS84
Altitud Elipsoidal	1979.777457	Zona:	17 S

Coordenadas Geográficas (WGS84)

Latitud: -3.836168	Longitud: -79.217576
---------------------------	-----------------------------

Altitud Ortogonal (Elevación N.M.M): 1997.267

Ubicación: BUNQUE	Referencia Fotográfica
--------------------------	-------------------------------





UNL

Universidad Nacional de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Ficha para el levantamiento de Puntos de control

Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



PROYECTO:

“Levantamiento Topográfico de la vía antigua a Cuenca tramo El Gallo-Naranjo, a través de un vehículo aéreo no tripulado”

Realizado por: Setia Group.	Cliente: Maritza Cevallos	Fecha: 27/09/2022
---------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------

Equipo: Emlid Reach	Procesado en: Emlid studio	Estación de Referencia: BASE (1)	ID Punto: Punto 6
-------------------------------	--------------------------------------	--	-----------------------------

Coordenadas UTM

WGS84		Parámetros de Proyección	
Norte:	9575406.046	Proyección:	UTM
Este:	698434.8374	Datum:	WGS84
Altitud Elipsoidal	1984.306765	Zona:	17 S

Coordenadas Geográficas (WGS84)

Latitud: -3.839502	Longitud: -79.213021
---------------------------	-----------------------------

Altitud Ortogonal (Elevación N.M.M): 2001.781

Ubicación: BARRIO ILLIZHAPA	Referencia Fotográfica
------------------------------------	-------------------------------





UNL

Universidad Nacional de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
Ficha para el levantamiento de Puntos de control

Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



PROYECTO:

“Levantamiento Topográfico de la vía antigua a Cuenca tramo El Gallo-Naranjo, a través de un vehículo aéreo no tripulado”

Realizado por: Setia Group. **Cliente:** Maritza Cevallos **Fecha:** 27/09/2022

Equipo: Emlid Reach **Procesado en:** Emlid studio **Estación de Referencia:** BASE (1) **ID Punto:** Punto 7

Coordenadas UTM

WGS84

Parámetros de Proyección

Norte: 9574981.118 Proyección: UTM
Este: 698402.2534 Datum: WGS84
Altitud Elipsoidal 1997.600956 Zona: 17 S

Coordenadas Geográficas (WGS84)

Latitud: -3.843345 **Longitud:** -79.213306

Altitud Ortogonal (Elevación N.M.M): 2015.064

Ubicación: BARRIO EL GALLO **Referencia Fotográfica**



Anexo 2. Ficha de la Estación Permanente REGME-UTPL



I N S T I T U T O
Geográfico Militar



Ficha de Estación Permanente - REGME

junio-2020

Situación:

Código.....: **LJEC** Cantón: Loja
Nombre.....: **Loja**
Código IERS: 42010M001 Provincia: Loja
Instalación...: 13-ene-2009

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 forzoso (CF-IGM-v1) en el cual se encuentra la antena.

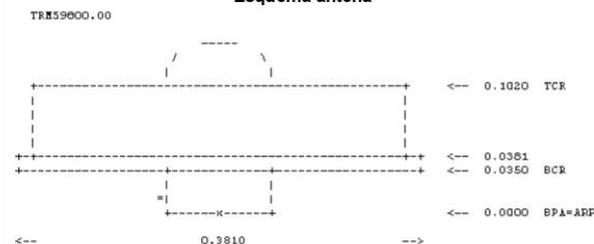
Coordenadas ITRF2008:

Latitud.....: 3° 59' 17.7352" S X.....: 1192829.004 m.
Longitud.....: 79° 11' 54.7355" W Y.....: -6252161.660 m.
Altitud elipsoidal: 2143.510 m. Z.....: -440799.114 m.
Este UTM.....: 700008.309 m. Altitud sobre el nivel medio del mar:
Norte UTM.....: 9558951.575 m.
Zona.....: 17 Sur 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/>

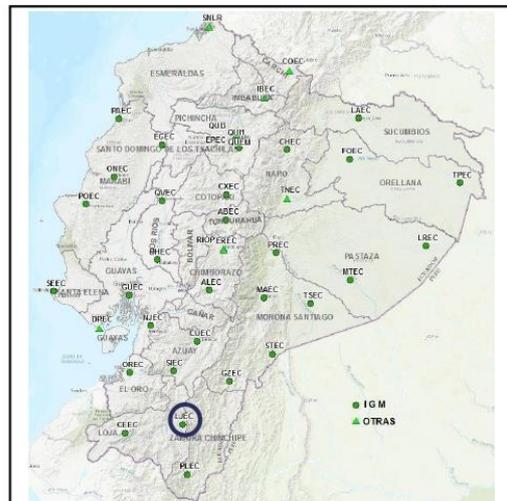
Emite correcciones diferenciales a través del Caster:
Principal: <http://regme-ip.igm.gov.ec:2101>
Backup: <http://regme-ip.esepoch.ec:2101>

E-mail de contacto IGM: proceso.geodesia@geograficomilitar.gov.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/>

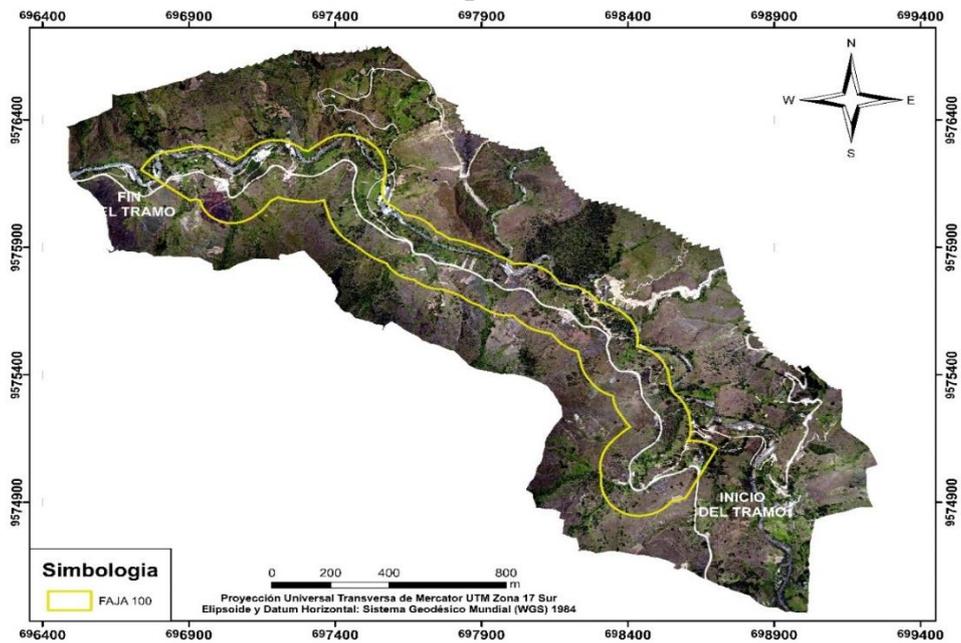
ma

Nota. IGM,2020

Anexo 3. Reporte técnico del levantamiento topográfico

REPORTE PROYECTO EL GALLO-NARANJO

Informe de procesamiento



DATOS DEL LEVANTAMIENTO

- Planificación del vuelo



- Posición de Cámaras

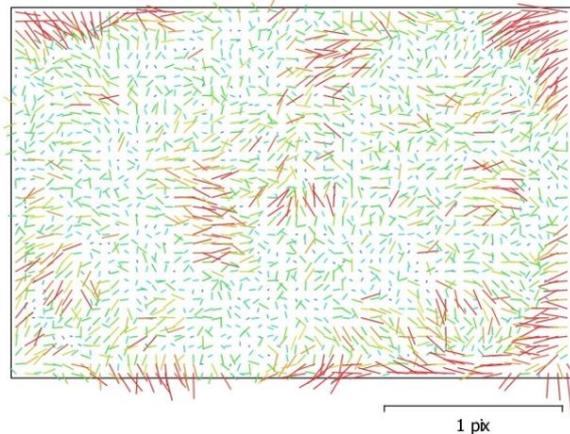


Número de imágenes: 398	Imágenes alineadas: 398
Altitud media de vuelo: 310 m	Puntos de paso: 354.149
Altura Planificada: 150 m	Proyecciones: 1320.372
Resolución en terreno: 12.6 cm/pix	Error de reproyección: 1.29 pix
Área cubierta: 2.69 km ²	

Modelo de cámara	Resolución	Distancia Focal	Tamaño de píxel	Recalibrado
Test_Pro (10.26 mm)	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 micras	No

CALIBRACIÓN DE CÁMARA

- Gráfico de residuales para test_Pro (10.26mm)



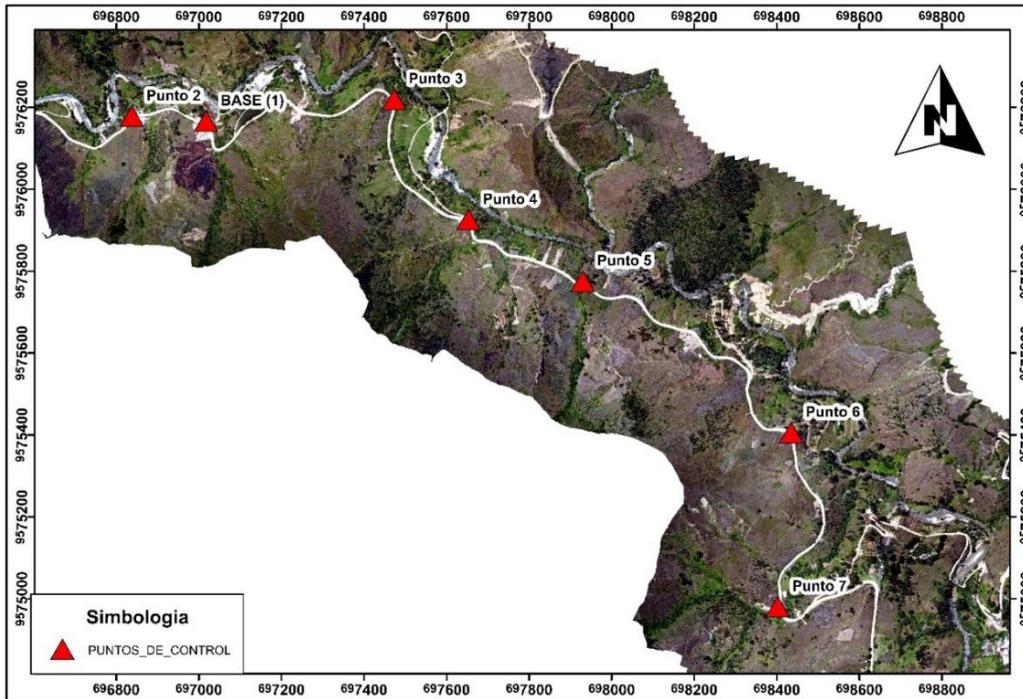
Test_Pro (10.26 mm)			
398 imágenes, correcciones adicionales			
Tipo	Resolución	Distancia Focal	Tamaño de píxel
Cuadro	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 micras

- Coefficientes de calibración y matriz de correlación

	Valbr	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	4412.91	1.4	1.00	-0.20	-0.21	-0.13	0.02	-0.32	0.32	-0.32	0.31	-0.03	-0.07
Cx	11.6032	0.18		1.00	0.15	0.07	-0.42	0.04	-0.04	0.04	-0.04	0.97	0.13
Cy	-57.6283	0.17			1.00	0.32	-0.05	0.05	-0.06	0.06	-0.07	0.12	0.98
B1	-2.01902	0.022				1.00	-0.00	0.31	-0.32	0.32	-0.30	0.07	0.32
B2	1.26009	0.015					1.00	-0.02	0.02	-0.02	0.02	-0.44	-0.04
K1	0.000646261	0.0012						1.00	-0.99	0.98	-0.95	0.04	0.04
K2	0.0117512	0.0051							1.00	-0.99	0.98	-0.04	-0.05
K3	-0.0508773	0.0095								1.00	-0.99	0.04	0.05
K4	0.0396263	0.0065									1.00	-0.04	-0.06
P1	0.000214347	2e-05										1.00	0.12
P2	-0.00371662	2.1e-05											1.00

PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE

- Posiciones de puntos de control y estimaciones de errores.

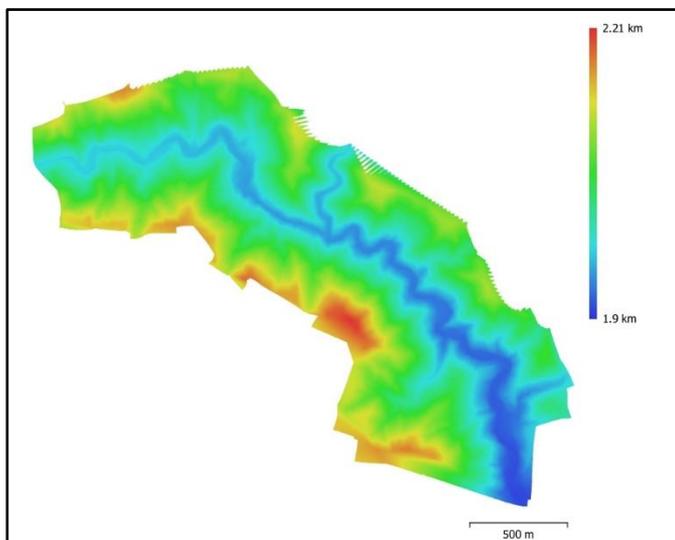


Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Total (cm)
5	7.1359	9.0339	0.322979	11.5123	11.5168

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
Point 2	-4.74168	1.80289	0.184884	5.07624	3.396 (22)
Point 3	9.95374	-15.2925	-0.216335	18.2478	6.460 (41)
Point 4	-10.2473	13.0529	0.0847972	16.595	7.685 (32)
Point 5	5.29419	-0.672065	0.654372	5.37664	2.209 (47)
Point 7	0.0979295	-0.339959	-0.0720602	0.361047	0.486 (65)
Total	7.1359	9.0339	0.322979	11.5168	4.450

X – Longitud, Y – Latitud, Z – Altitud

MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES



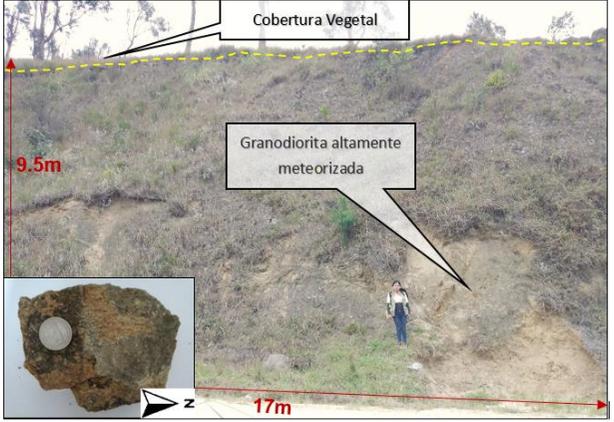
Resolución: 50cm/pix
Densidad: 4 puntos/m²

PARÁMETROS DE PROCESAMIENTO

GENERALES	
Cámaras	398
Cámaras orientadas	398
Marcadores	7
Formas	
Cadena poligonal	543
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S EGM08EC
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG:4326)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo
NUBE DE PUNTOS	
Puntos	354.149 de 434.992
RMS error de reproyección	0.158831 (1.28729 pix)
Error de reproyección máximo	3.37328 (45.8673 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	6.95705 pix
Cobres de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	5.47675
Parámetros de orientación	
Precisión	Media
Pre-selección genérica	Si
Pre-selección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	10.000
Límite de puntos clave por megapixel	1.000
Puntos de paso por foto	8.000
Excluir puntos de paso inmóviles	Sí
Emparejamiento guiado	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo búsqueda de emparejamiento	4 minutos 21 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	2.14 GB
Tiempo de orientación	32 minutos 45 segundos
Uso de memoria durante el alineamiento	1.25 GB
Parámetros de optimización	
Parámetros	F, b1, b2, cx, xy, k1-k4, p1, p2
Ajustar correcciones adicionales	Sí
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo de optimización	3 minutos 13 segundos
Fecha de creación	2022:09:22 23:09:53
Versión del programa	1.8.0.13794
Tamaño de Archivo	45.75 MB
MAPAS DE PROFUNDIDAD	
Número	527
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Leve
Límite máximo de redundancia	16
Tiempo de procesamiento	54 minutos 44 segundos
Uso de memoria	5.31 GB
Fecha de creación	2022:09:24 16:56:55
Versión del programa	1.8.0.13794
Tamaño de archivo	3.87 GB
NUBE DE PUNTOS DENSA	
Puntos	95.981350
Cobres de puntos	3 bandas, unit8
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Leve

Límite máximo de redundancia	16
Tiempo de procesamiento	54 minutos 44 segundos
Uso de memoria	5.31 GB
Parámetros de generación de la nube densa	
Tiempo de procesamiento	7 horas 38 minutos
Uso de memoria	12.23 GB
Fecha de creación	2022:09:25 00:35:35
Versión del programa	1.8.0.13794
Tamaño de archivo	1.33 GB
MODELO	
Caras	1.463.680
Vértices	735.643
Cobres de vértices	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Bajorrelieve / terreno
Origen de datos	Nube de puntos densa
Interpolación	Habilitada
Máscaras volumétricas estrictas	No
Tiempo de procesamiento	2 minutos 12 segundos
Uso de memoria	670.49 MB
Fecha de creación	2022:09:26 20:29:16
Versión del programa	1.8.0.13794
Tamaño de archivo	33.56 MB
MDE	
Tamaño	9.060 x 8.419
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S EGM08EC
Parámetros de reconstrucción	
Origen de datos	Mala
Interpolación	Habilitada
Tiempo de procesamiento	5 minutos 1 segundo
Uso de memoria	254.10 MB
Fecha de creación	2022:09:26 20:38:48
Versión del programa	1.8.0.13794
Tamaño de archivo	50.69 MB
ORTOMOSAICO	
Tamaño	22.048 x 17.712
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S EGM08EC
Colores	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	MDE
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	11 minutos 47 segundos
Uso de memoria	1.27 GB
Fecha de creación	2022:09:26 14:33:40
Versión del programa	1.8.0.13794
Tamaño de archivo	8.29 GB
SISTEMA	
Nombre del Programa	Agisoft Metashape Professional

Anexo 4. Ficha de descripción de afloramientos

 Universidad Nacional de Loja		FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial 		
Proyecto	Caracterización Geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja.					Afloramiento (Foto) 		
Afloramiento N°	1	Código	009	Fecha	07/10/2022			
Ubicación	El Gallo, inicio del tramo			Datum	UTM WGS84			
Coordenadas	X	Y	Z (msnm)					
	698636.15	9575015.01	2023.00					
Formación	Batolito de San Lucas							
Descripción del afloramiento								
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico	x				
Relieve	De Colinas	x	Llano					
	Montañoso		Bajo					
Vegetación	Moderada (arbustos pequeños con escasos árboles de eucalipto)							
Dimensiones	Alto	9.5 m	Ancho	17 m				
Datos estructurales	-							
Descripción de las Rocas								
Código	Geo_1_Aflo	Color	Anaranjado con gris					
Grado de alteración	Meteorización Alta	Nombre de la roca	Granodiorita					
Observaciones								
El terreno presenta humedad y alta meteorización provocada por la acción del agua y el viento. Está constituido por rocas intrusivas como granodioritas de color café claro con tonalidades anaranjadas y por minerales como plagioclasas, cuarzo, feldespatos potásicos, micas como la biotita y moscovita. La matriz es areno-limosa. Presenta una dureza media y se puede observar la acumulación de material erosionado en la parte inferior del afloramiento, además la vegetación en la parte superior es moderada observándose la presencia de pastos y escasos árboles.								
Muestra de Roca								
								



Universidad
Nacional
de Loja

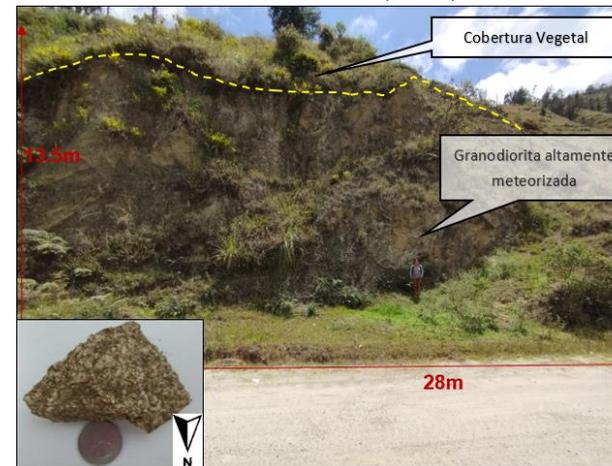
FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Ingeniería en Geología
Ambiental y Ordenamiento
Territorial



Proyecto	Caracterización Geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja.				
Afloramiento N°	2	Código	010	Fecha	07/10/2022
Ubicación	Entrada al barrio Jesús María		Datum	UTM WGS84	
Coordenadas	X	Y	Z (msnm)		
	698534.58	9574996.09	2013.12		
Formación	Batolito de San Lucas				
Descripción del afloramiento					
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico	x	
Relieve	De Colinas	x	Llano		
	Montañoso		Bajo		
Vegetación	Moderada (arbustos pequeños)				
Dimensiones	Alto	13.5m	Ancho	28m	
Datos estructurales	-				
Descripción de las Rocas					
Código	Geo_2_Aflo	Color	Café claro con gris		
Grado de alteración	Meteorización media	Nombre de la roca	Granodiorita		
Observaciones					
La litología de este afloramiento es procedente de un antiguo deslizamiento, se encuentra altamente meteorizado y erosionado provocada por la acción del agua y el viento. Está constituido por rocas intrusivas como granodioritas de color café claro (anaranjado) y por minerales como plagioclasas, cuarzo, feldespatos potásicos, micas como la biotita y moscovita. La matriz es areno-limosa. La muestra de mano tiene una dureza baja debido a que se disgrega con facilidad convirtiéndose en sábulo.					

Afloramiento (Foto)



Muestra de Roca





unl

Universidad
Nacional
de Loja

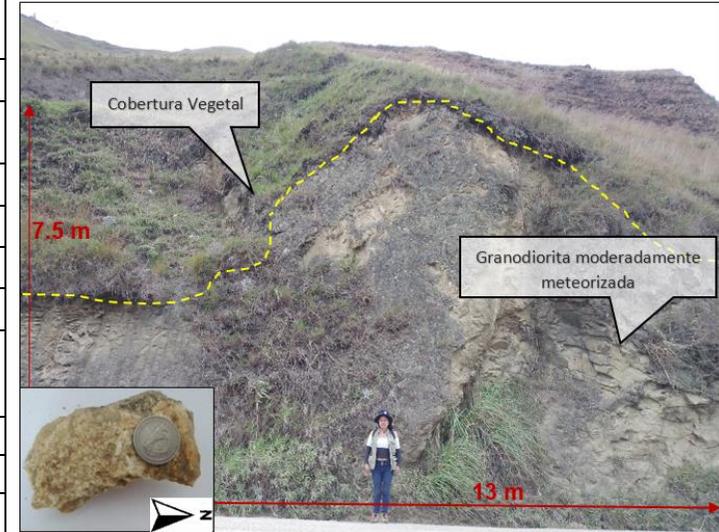
FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Ingeniería en Geología
Ambiental y Ordenamiento
Territorial



Proyecto	Caracterización Geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja.				
Afloramiento N°	3	Código	017	Fecha	07/10/2022
Ubicación	Barrio Illizhapa			Datum	UTM WGS84
Coordenadas	X	Y	Z (msnm)		
	698442.77	9575341.32	1986.05		
Formación	Batolito de San Lucas				
Descripción del afloramiento					
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico	x	
Relieve	De Colinas	x		Llano	
	Montañoso			Bajo	
Vegetación	Moderada (arbustos pequeños con pasto)				
Dimensiones	Alto	7 m	Ancho	13m	
Datos estructurales	-				
Descripción de las Rocas					
Código	Geo_3_Aflo	Color	Café claro		
Grado de alteración	Meteorización Media	Nombre de la roca	Granodiorita		
Observaciones	El afloramiento está constituido por rocas intrusivas como granodioritas de color café claro y por minerales como plagioclasa, cuarzo, feldespato, biotita y moscovita. Tiene una meteorización moderada expuesto principalmente al agua y el viento. La muestra de mano presenta una dureza alta y el tamaño del grano es medio tendiendo a fino en algunos lados del afloramiento.				

Afloramiento (Foto)



Muestra de Roca





Universidad
Nacional
de Loja

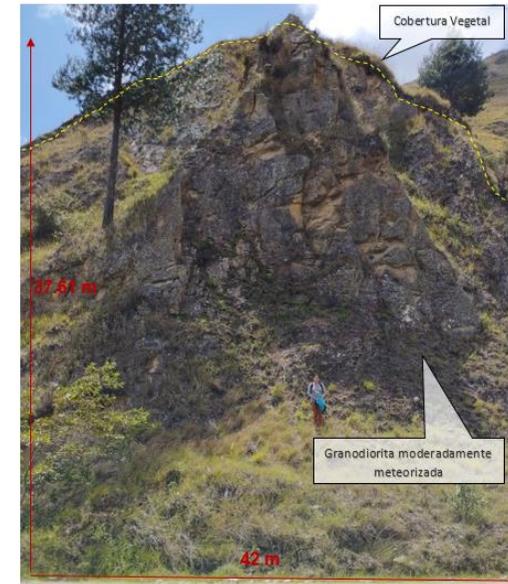
FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Ingeniería en Geología
Ambiental y Ordenamiento
Territorial



Proyecto	Caracterización Geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja.				
Afloramiento N°	4	Código	018	Fecha	07/10/2022
Ubicación	Illizhapa			Datum	UTM WGS84
Coordenadas	X	Y	Z (msnm)		
	698425.23	9575401.08	1988.33		
Formación	Batolito de San Lucas				
Descripción del afloramiento					
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico	x	
Relieve	De Colinas	x	Llano		
	Montañoso		Bajo		
Vegetación	Moderada (arbusitos pequeños con escasos árboles de eucalipto)				
Dimensiones	Alto	37.61 m	Ancho	45 m	
Datos estructurales	-				
Descripción de las Rocas					
Código	Geo_4_Aflo	Color	Café claro		
Grado de alteración	Meteorización media	Nombre de la roca	Granodiorita		
Observaciones					
El afloramiento presenta una meteorización media provocada por las precipitaciones y el viento. Está constituido por rocas intrusivas como granodioritas de grano medio a fino de color café claro, se caracteriza por tener minerales como plagioclasas, cuarzo, feldespatos potásicos, micas como la biotita y moscovita. Cabe mencionar que la parte izquierda del afloramiento es el sitio más expuesto al viento y por lo tanto las rocas son más débiles mientras que la parte derecha del afloramiento no está expuesto al viento y por lo tanto las rocas son más conservadas y duras.					

Afloramiento (Foto)



Muestra de Roca





Universidad
Nacional
de Loja

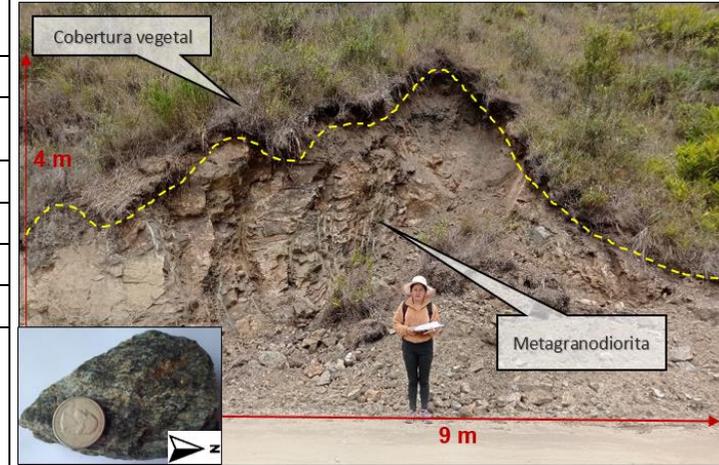
FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Ingeniería en Geología
Ambiental y Ordenamiento
Territorial



Proyecto	Caracterización Geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja.				
Afloramiento N°	5	Código	019	Fecha	07/10/2022
Ubicación	Entrada a Illizhapa		Datum	UTM WGS84	
Coordenadas	X	Y	Z (msnm)		
	698326.55	9575486.66	1986.77		
Formación	Unidad Tres Lagunas				
Descripción del afloramiento					
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico	x	
Relieve	De Colinas	x	Llano		
	Montañoso		Bajo		
Vegetación	Moderada (pastos pequeños)				
Dimensiones	Alto	4 m	Ancho	9 m	
Datos estructurales	-				
Descripción de las Rocas					
Código	Geo_5_Aflo	Color	Gris oscura		
Grado de alteración	Meteorización media	Nombre de la roca	Metagranodiorita		
Observaciones					
El afloramiento es artificial recientemente excavado para extraer material, donde aún se puede apreciar las uñas de una retroexcavadora. El terreno presenta una meteorización moderada provocada el agua el viento. Está constituido por rocas ígneas como metagranodioritas (cuyo protolito es una granodiorita) de color gris azulada a verdosa y por minerales como plagioclasas, cuarzo, feldspatos potásicos, micas como la biotita y moscovita y hornblenda. La matriz es areno-limosa. El tamaño del grano es fino con minerales que tienen tendencia de alargamiento (bandas) debido al metamorfismo de contacto.					

Afloramiento (Foto)



Muestra de Roca





UNL

Universidad
Nacional
de Loja

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Ingeniería en Geología
Ambiental y Ordenamiento
Territorial



Proyecto	Caracterización Geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja.				
Afloramiento N°	6	Código	022	Fecha	07/10/2022
Ubicación	Bunque			Datum	UTM WGS84
Coordenadas	X	Y	Z (msnm)		
	697881.05	9575787.96	1987.48		
Formación	Batolito de San Lucas				
Descripción del afloramiento					
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico	x	
Relieve	De colinas	x		Llano	
	Montañoso			Bajo	
Vegetación	Escasa (arbustos pequeños)				
Dimensiones	Alto	12m	Ancho	15m	
Datos estructurales	-				

Afloramiento (Foto)



Descripción de las Rocas

Código	Geo_6_Aflo	Color	Gris oscuro con tonalidad azul
Grado de alteración	Meteorización Baja	Nombre de la roca	Metagranodioritas

Observaciones

Este afloramiento representa al lado izquierdo de un deslizamiento activo constituido por metagranodioritas de color gris oscuro con tonalidad azul debido a un metamorfismo de contacto. El afloramiento presenta baja meteorización provocada por el viento y el agua. Las rocas se caracterizan por tener minerales como plagioclasas, feldspatos potásicos, micas como la biotita y moscovita, hornblenda y vetillas de cuarzo lechoso. La dureza de la roca en campo es muy alta.

Muestra de Roca





Universidad Nacional de Loja

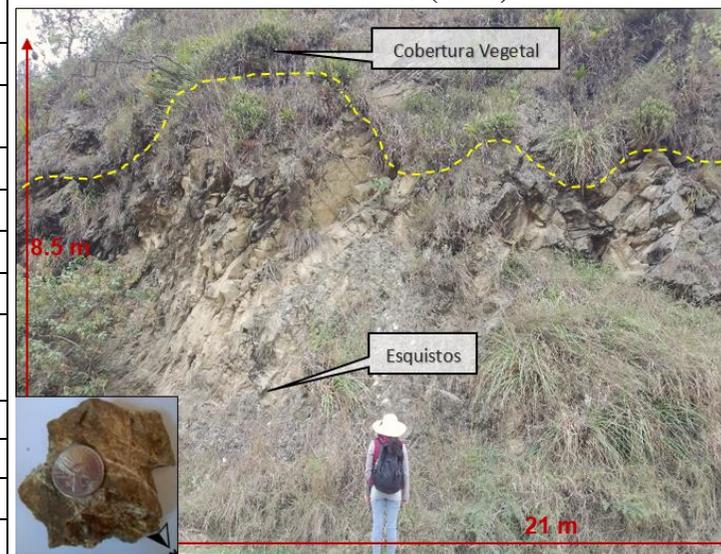
FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



Proyecto	Caracterización Geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja.				
Afloramiento N°	7	Código	023	Fecha	07/10/2022
Ubicación	Bunque			Datum	UTM WGS84
Coordenadas	X	Y	Z (msnm)		
	697697.85	9575868.72	1987.80		
Formación	Unidad Tres Lagunas				
Descripción del afloramiento					
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico	x	
Relieve	De Colinas	x		Llano	
	Montañoso			Bajo	
Vegetación	Moderada (arbustos pequeños)				
Dimensiones	Alto	8.5 m	Ancho	21m	
Datos estructurales	N10°E/50SE				

Afloramiento (Foto)



Descripción de las Rocas			
Código	Geo_7_Aflo	Color	Café claro
Grado de alteración	Meteorización Media	Nombre de la roca	Esquisto
Observaciones			

Muestra de Roca



El afloramiento presenta una meteorización media provocada por el agua y el viento. Está constituido por rocas metamórficas como esquistos. Se caracteriza por tener minerales como plagioclasas, cuarzo lechoso, feldspatos potásicos, micas como la biotita y moscovita. La matriz es arenosa. Presenta una dureza media. El afloramiento es específicamente un macizo rocoso cuya dirección preferencial de buzamiento de los planos es hacia el sureste.



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

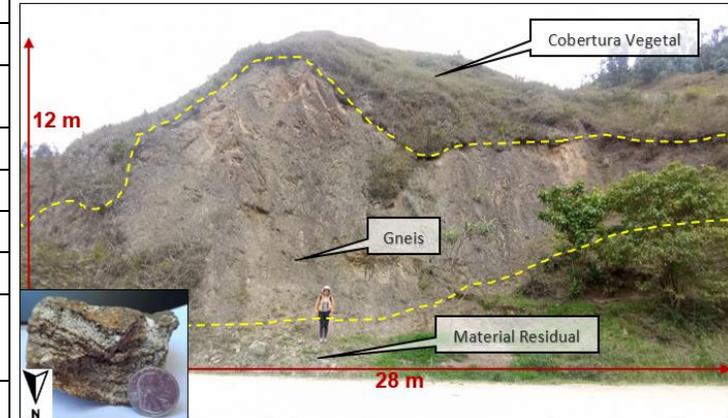
FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Ingeniería en Geología
Ambiental y Ordenamiento
Territorial



Proyecto	Caracterización Geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja.				
Afloramiento N°	8	Código	024	Fecha	07/10/2022
Ubicación	Bunque			Datum	UTM WGS84
Coordenadas	X	Y	Z (msnm)		
	697628.31	9575922.06	1985.46		
Formación	Unidad Tres Lagunas				
Descripción del afloramiento					
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico	x	
Relieve	De Colinas	x	Llano		
	Montañoso		Bajo		
Vegetación	Moderada (arbustos pequeños)				
Dimensiones	Alto	12m	Ancho	28m	
Datos estructurales	N10°E/52NW				
Descripción de las Rocas					
Código	Geo_8_Aflo	Color	Café claro		
Grado de alteración	Meteorización Media	Nombre de la roca	Gneis		
Observaciones	El Afloramiento está constituido por rocas metamórficas como gneis perteneciente a la unidad tres lagunas, la roca es de color café claro, se caracteriza por tener minerales como plagioclasas, cuarzo, feldespatos potásicos, micas como la biotita y moscovita foliados formando bandas onduladas. Presenta una dureza media.				

Afloramiento (Foto)



Muestra de Roca





unl

Universidad
Nacional
de Loja

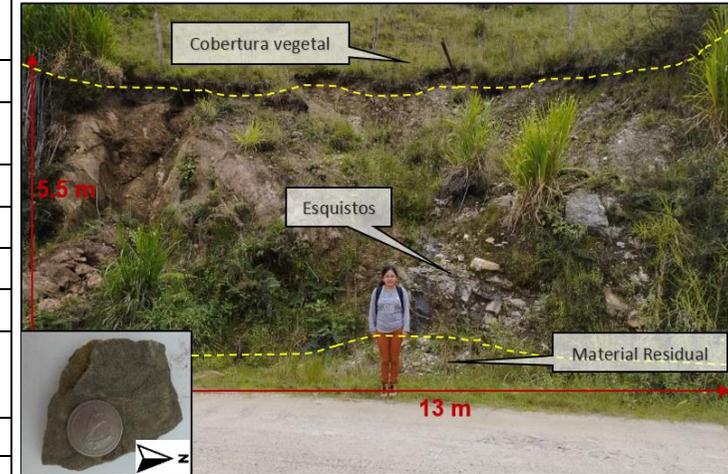
FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Ingeniería en Geología
Ambiental y Ordenamiento
Territorial



Proyecto	Caracterización Geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja.				
Afloramiento N°	9	Código	025	Fecha	07/10/2022
Ubicación	Bunque			Datum	UTM WGS84
Coordenadas	X	Y	Z (msnm)		
	697481.56	9576022.34	1984.18		
Formación	Unidad tres lagunas				
Descripción del afloramiento					
Tipo de afloramiento	Natural	x	Antrópico		
Relieve	De Colinas	x	Llano		
	Montañoso		Bajo		
Vegetación	Moderada (pastos)				
Dimensiones	Alto	5.5m	Ancho	13m	
Datos estructurales	N85°W/41NE				
Descripción de las Rocas					
Código	Geo_9_Aflo	Color	Café oscuro		
Grado de alteración	Meteorización Media	Nombre de la roca	Esquisto		
Observaciones	El afloramiento presenta una meteorización media provocada por el agua proveniente de un manantial (naciente de agua) que sobresale a superficie 8 metros hacia arriba. Está constituido por rocas metamórficas como esquistos de color café oscuro perteneciente a la unidad tres lagunas, se caracteriza por tener minerales foliados como plagioclasas, cuarzo, feldespatos potásicos, biotita, moscovita y clorita. Presenta una dureza media.				

Afloramiento (Foto)



Muestra de Roca





UNL
1859

Universidad
Nacional
de Loja

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Ingeniería en Geología
Ambiental y Ordenamiento
Territorial



Proyecto	Caracterización Geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja.				
Afloramiento N°	10	Código	029	Fecha	07/10/2022
Ubicación	Naranjo			Datum	UTM WGS84
Coordenadas	X	Y	Z (msnm)		
	697065.39	9576101.61	1994.32		
Formación	Batolito de San Lucas				
Descripción del afloramiento					
Tipo de afloramiento	Natural	x	Antrópico		
Relieve	De Colinas	x	Llano		
	Montañoso		Bajo		
Vegetación	Moderada (arbustos pequeños y pasto)				
Dimensiones	Alto	3.5 m	Ancho	2.4 m	
Datos estructurales	-				
Descripción de las Rocas					
Código	Geo_09_Aflo	Color	Gris claro		
Grado de alteración	Meteorización Media	Nombre de la roca	Granodiorita		
Observaciones					
El Afloramiento está formado por rocas intrusivas pertenecientes al batolito de San Lucas como granodioritas de color gris y por minerales como plagioclasas, cuarzo (>50%), feldespatos, micas como la biotita y moscovita. La matriz es areno-limosa. Este afloramiento es un macizo rocoso constituido por familias de juntas cuyos planos están buzando preferentemente al Noreste.					

Afloramiento (Foto)



Muestra de Roca





UNL

Universidad Nacional de Loja

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



Proyecto	Caracterización Geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja.				
Afloramiento N°	11	Código	031	Fecha	07/10/2022
Ubicación	Naranjo			Datum	UTM WGS84
Coordenadas	X	Y	Z (msnm)		
	696858.81	9576171.82	1991.68		
Formación	Batolito de San Lucas				
Descripción del afloramiento					
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico	x	
Relieve	De Colinas	x		Llano	
	Montañoso			Bajo	
Vegetación	Moderada (arbustos pequeños)				
Dimensiones	Alto	18.06 m	Ancho	37m	
Datos estructurales	-				
Descripción de las Rocas					
Código	Geo_10_Aflo	Color	Café claro		
Grado de alteración	Meteorización Media	Nombre de la roca	Granodiorita		
Observaciones					
Es un afloramiento artificial utilizado para extraer material de mejoramiento de vía. Tiene una meteorización media debido a la actuación del agua y el viento. Está constituido por rocas intrusivas pertenecientes al batolito San Lucas como granodioritas de color gris y por minerales como plagioclasas, cuarzo (>50%), feldespatos, micas como la biotita y moscovita. La matriz es arenosa. Presenta una dureza media ya que algunas rocas se desintegran con facilidad convirtiéndose en sábulo.					

Afloramiento (Foto)



Muestra de Roca



Anexo 5. Fichas de levantamiento de movimientos en masa

DATOS GENERALES				LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA																																																													
MM: 1 COD: MM010		FECHA		Institución		DIVISION POLITICA		COORDENADAS WGS84 UTM 17s																																																									
Encuestadora Mariza Fernanda Cevallos Valencia		7/10/2022		Universidad Nacional de Loja Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento territorial		Provincia y cantón: Loja Parroquia : Santiago Sector: Entrada a Jesús María		Latitud (Norte): 9574996.09 Longitud (Este): 698534.58 Altura (msnm): 2013.12																																																									
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				LITOLOGIA Y ESTRUCTURA																																																													
EDAD		ESTADO		ESTILO		DISTRIBUCIÓN		DESCRIPCIÓN		ESTRUCTURA																																																							
< 1 año <input type="checkbox"/> 21-30 años <input type="checkbox"/> 1-5 años <input type="checkbox"/> 31-40 años <input type="checkbox"/> 6-10 años <input type="checkbox"/> 41-60 años <input type="checkbox"/> 11-15 años <input type="checkbox"/> 61-80 años <input type="checkbox"/> 16-20 años <input type="checkbox"/> > 80 años <input type="checkbox"/>		Activo <input type="checkbox"/> Reactivado <input type="checkbox"/> Inactivo <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Estabilizado <input type="checkbox"/> Relicto <input type="checkbox"/>		Complejo <input type="checkbox"/> Compuesto <input type="checkbox"/> Múltiple <input type="checkbox"/> Sucesivo <input type="checkbox"/> Único <input type="checkbox"/>		Retrogresivo <input type="checkbox"/> Ensanchado <input type="checkbox"/> Confinado <input type="checkbox"/> Creciente <input type="checkbox"/> Decreciente <input type="checkbox"/>		Es un deslizamiento rotacional antiguo que actualmente esta latente pero que puede ser reactivado por sus causas originales como: Cortes en la ladera por acción humana, disminución de la resistencia de los suelos, y lluvias de moderada intensidad pero continuas y prolongadas, entre otras causas. Pese a ser un deslizamiento antiguo en periodo invernal se producen otros tipos de movimientos en la masa desplazada como flujos. Está formado por rocas ígneas bastante meteorizadas como granodioritas que pertenecen al batolito de San Lucas.		ESTRUCTURA Planos de DR BZ >2 2-0.6 0.6-0.2 0.2-0.06 <0.06 Estratificación <input type="checkbox"/> Foliación <input type="checkbox"/> Diaclasas Falla <input type="checkbox"/> Discordancia <input type="checkbox"/> Esquistosidad <input type="checkbox"/>																																																							
TIPO MOVIMIENTO				SUBTIPO MOVIMIENTO				TIPO		HUMEDAD		PLASTICIDAD																																																					
Caída <input type="checkbox"/> Volcamiento <input type="checkbox"/> Deslizamiento <input type="checkbox"/> Flujo <input type="checkbox"/> Propagación Lateral <input type="checkbox"/> Reptación <input type="checkbox"/>		Caída de roca <input type="checkbox"/> Caída de detritos <input type="checkbox"/> Caída de tierras <input type="checkbox"/> Volcam. flexural de roca <input type="checkbox"/> Desliz. rotacional <input type="checkbox"/>		Desliz. traslacional <input type="checkbox"/> Desliz. en cunfa <input type="checkbox"/> Desliz. traslacional planar <input type="checkbox"/>		Desliz. por flujo <input type="checkbox"/> Avalancha de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de tierra <input type="checkbox"/> Crecida de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de turba <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de arena <input type="checkbox"/>		Desliz. licuación de detritos <input type="checkbox"/> Desliz. licuación roca <input type="checkbox"/> Propag. lateral licuación <input type="checkbox"/> Reptación de suelos <input type="checkbox"/> Soliflucción <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de limo <input type="checkbox"/>		Roca <input type="checkbox"/> De tritos <input type="checkbox"/> Tierra <input type="checkbox"/> Lodos <input type="checkbox"/> Turba <input type="checkbox"/>		Mojado <input type="checkbox"/> Muy Húmedo <input type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Liger. húmedo <input type="checkbox"/> Seco <input type="checkbox"/>		Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/>																																																			
ORIGEN SUELO				VELOCIDAD				Probabilidad de recurrencia		Uso del suelo																																																							
Residual <input type="checkbox"/> Sedimentario <input type="checkbox"/>		Coluvial <input type="checkbox"/> Volcánico <input type="checkbox"/>		Aluvial <input type="checkbox"/> Eólico <input type="checkbox"/> Glaciar <input type="checkbox"/>		Lacustre <input type="checkbox"/> Coluvial <input type="checkbox"/>		Extr. rápido (>5 m/s) <input type="checkbox"/> Moderado (>13 m/mes) <input type="checkbox"/> Lento (>1.6 m/año) <input type="checkbox"/>		Extr. Lento (<16 mm/año) <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Vmax <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Vmin <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/>		Ganadería <input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Agricultura <input type="checkbox"/> Área protegida <input type="checkbox"/> Otro: Vialidad <input type="checkbox"/>																																																					
GENERAL				DIMENSIONES DEL TERRENO				DEFORMACIÓN		GEOFORMA																																																							
Diferencia de altura corona a punta (m) <u>88.5</u>		Longitud horizontal corona a punta (m) <u>118.6</u>		Fahrböschung (grados) <u>36.7°</u>		Pendiente de ladera en Post-falla (grados) <u>SE-NW</u>		Dirección de Inmovimiento (grados) <u>328°</u>		Azimut de ltahd (grados) <u>328°</u>		Ancho de la masa desplazada Wd (m) <u>59</u>		Ancho de la superficie de ruptura Wr (m) <u>98</u>		Longitud de la masa desplazada Ld (m) <u>98</u>		Longitud de superficie de ruptura Lr (m) <u>147.98</u>		Espesor de la masa desplazada Dd (m) <u>147.98</u>		Profundidad de superficie de ruptura Dr (m) <u>147.98</u>		Longitud total L (m) <u>147.98</u>		Volumen inicial (m3) <u> </u>		Volumen desplazado (m3) <u> </u>		Área inicial (Km2) <u> </u>		Área total afectada (Km2) <u> </u>		Run up (m) <u> </u>		Distancia de viaje (Km) <u> </u>		MODULO <input type="checkbox"/>		Ondulación <input type="checkbox"/>		Escalona miento <input type="checkbox"/>		SEVERIDAD <input type="checkbox"/>		Colina Alta <input type="checkbox"/>																			
INHERENTES				CAUSAS DEL MOVIMIENTO				CONTRIBUYENTES - DETONANTES																																																									
Materia plástica débil <input type="checkbox"/>		Materia sensible <input type="checkbox"/>		Materia lme teor. físicamente <input type="checkbox"/>		Materia lme teor. químicamente <input type="checkbox"/>		Materia lfalla do por corte <input type="checkbox"/>		Materia l fisura do y agrietado <input type="checkbox"/>		Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/>		Orientación de fav. de discontinuidades <input type="checkbox"/>		Contraste de permeabilidad de materiales <input type="checkbox"/>		Contraste de rigidez de materiales <input type="checkbox"/>		Meteoriz. por descongelamiento/deshielo <input type="checkbox"/>		Meteoriz. por expansión/contracción <input type="checkbox"/>		Movimiento tectónico <input type="checkbox"/>		Sismo M <u> </u> E <u> </u> De <u> </u> P <u> </u>		Erupción volcánica <input type="checkbox"/>		Lluvias (mm) 24h <u> </u> 48h <u> </u> 72h <u> </u> Mes <u> </u>		Viento <input type="checkbox"/>		Avance/Retroceso de glaciares <input type="checkbox"/>		Rompimiento de lagos en crateres <input type="checkbox"/>		Desembalse rápido de presas <input type="checkbox"/>		Erosión pata de ltahd por glaciares <input type="checkbox"/>		Socavación pata de ltahd por corriente agua <input type="checkbox"/>		Socavación pata de ltahd por oleaje <input type="checkbox"/>		Socavación de margenes de ríos <input type="checkbox"/>		Erosión Pluvial <input type="checkbox"/>		Carga en la corona de ltahd <input type="checkbox"/>		Mantenimiento deficiente sistema de drenaje <input type="checkbox"/>		Litología <input type="checkbox"/>		Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/>		Pendiente <input type="checkbox"/>		Disposición deficiente de estériles/escombros <input type="checkbox"/>		Erosión Fluvial <input type="checkbox"/>		Erosión subterránea (disolución, irrigación) <input type="checkbox"/>	
NOTA: C: Condicionante, D: Detonante				24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento. M: Magnitud E: Escala (Ml, Ms, mb, Mw) De: Distancia del epicentro (Km) P: Profundidad (Km)				Anexo fotográfico																																																									

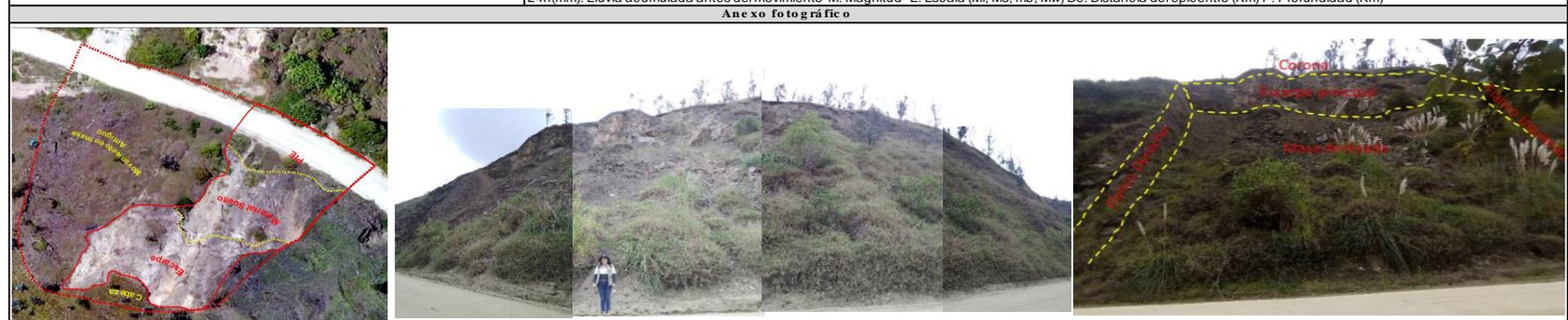
DATOS GENERALES				LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA															
MM: 2 COD: 013		FECHA		Institución		DIVISION POLITICA		COORDENADAS WGS84 UTM 17s											
Encuestadora Maritza Fernanda Cevallos Valencia		7/10/2022		Universidad Nacional de Loja Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento territorial		Provincia y cantón: Loja Parroquia : Santiago Sector: El Gallo		Latitud (Norte): 9574976.17 Longitud (Este): 698385.02 Altura (msnm): 1998.08											
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				LITOLOGIA Y ESTRUCTURA															
EDAD		ESTADO		ESTILO		DISTRIBUCIÓN		DESCRIPCIÓN		ESTRUCTURA									
< 1 año <input type="checkbox"/> 21-30 años <input type="checkbox"/> 1-5 años <input type="checkbox"/> 31-40 años <input type="checkbox"/> 6-10 años <input type="checkbox"/> 41-60 años <input type="checkbox"/> 11-15 años <input type="checkbox"/> 61-80 años <input type="checkbox"/> 16-20 años <input checked="" type="checkbox"/> > 80 años <input type="checkbox"/>		Activo <input type="checkbox"/> Reactivado <input type="checkbox"/> Inactivo <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Estabilizado <input type="checkbox"/> Relicto <input type="checkbox"/>		Complejo <input type="checkbox"/> Compuesto <input type="checkbox"/> Múltiple <input type="checkbox"/> Sucesivo <input type="checkbox"/> Único <input type="checkbox"/>		Progresivo <input type="checkbox"/> Retrogresivo <input type="checkbox"/> Ensanchado <input type="checkbox"/> Confinado <input type="checkbox"/> Creciente <input type="checkbox"/> Decreciente <input type="checkbox"/>		Es un deslizamiento rotacional reactivado, donde a lo largo de la masa desplazada se han producido otros tipos de movimientos en masa como: caída de rocas y flujos. Los principales factores condicionantes de los movimientos secundarios son la pendiente y la resistencia de las rocas por la presencia de agua. Este movimiento en masa esta formado de granodioritas moderadamente meteorizadas del batolito de San Lucas.		ESTRUCTURA Planos de <input type="checkbox"/> DR <input type="checkbox"/> BZ <input type="checkbox"/> Estratificación <input type="checkbox"/> Foliación Diaclasas <input type="checkbox"/> Falla Discordancia <input type="checkbox"/> Esquistosidad <input type="checkbox"/>		ORIENTACIÓN >2 <input type="checkbox"/> 2-0.6 <input type="checkbox"/> 0.6-0.2 <input type="checkbox"/> 0.2-0.06 <input type="checkbox"/> <0.06 <input type="checkbox"/>							
TIPO MOVIMIENTO				SUBTIPO MOVIMIENTO				TIPO		HUMEDAD		PLASTICIDAD							
Caída <input type="checkbox"/> Volcamiento <input type="checkbox"/> Deslizamiento <input type="checkbox"/> Flujo <input type="checkbox"/> Propagación Lateral <input type="checkbox"/> Reptación <input type="checkbox"/>		Caída de roca <input type="checkbox"/> Caída de detritos <input type="checkbox"/> Caída de tierras <input type="checkbox"/> Volc. am. flexural de roca <input type="checkbox"/> Volc. am. de roca <input type="checkbox"/> Desliz. rotacional <input type="checkbox"/>		Desliz. traslacional <input type="checkbox"/> Desliz. en cuña <input type="checkbox"/> Desliz. traslacional planar <input type="checkbox"/> Avalancha de rocas <input type="checkbox"/> Flujo de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de lodo <input type="checkbox"/>		Desliz. por flujo <input type="checkbox"/> Avalancha de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de tierra <input type="checkbox"/> Crecida de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de turba <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de arena <input type="checkbox"/>		Desliz. licuación de detritos <input type="checkbox"/> Desliz. licuación roca <input type="checkbox"/> Propag. lateral licuación <input type="checkbox"/> Reptación de suelos <input type="checkbox"/> Soliflucción <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de limo <input type="checkbox"/>		Roca <input type="checkbox"/> Detritos <input type="checkbox"/> Tierra <input type="checkbox"/> Lodos <input type="checkbox"/> Turba <input type="checkbox"/>		Mojado <input type="checkbox"/> Muy Húmedo <input type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Liger. húmedo <input type="checkbox"/> Seco <input type="checkbox"/>		Alta <input type="checkbox"/> Media Baja <input type="checkbox"/> No plástico <input type="checkbox"/>					
ORIGEN SUELO				VELOCIDAD				Probabilidad de recurrencia		Uso del suelo									
Residual <input type="checkbox"/> Sedimentario <input type="checkbox"/>		Coluvial <input type="checkbox"/> Volcánico <input type="checkbox"/>		Aluvial <input type="checkbox"/> Eólico <input type="checkbox"/> Glaciar <input type="checkbox"/>		Lacustre <input type="checkbox"/> Coluvial <input type="checkbox"/>		Extr. rápido (>5 m/s) <input type="checkbox"/> Muy rápido (>3 m/min) <input type="checkbox"/> Rápido (>1.8 m/hr) <input type="checkbox"/>		Moderado (>13 m/mes) <input type="checkbox"/> Lento (>1.6 m/año) <input type="checkbox"/> Muy lento (>16 mm/año) <input type="checkbox"/>		Extr. Lento (<16 mm/año) <input type="checkbox"/> Vmáx <input type="checkbox"/> Vmín <input type="checkbox"/>		Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/>		Ganadería <input type="checkbox"/> Agricultura <input type="checkbox"/> Otro: Vialidad <input type="checkbox"/>			
GENERAL				DIMENSIONES DEL TERRENO				DEFORMACIÓN		GEOFORMA									
Diferencia de altura corona a punta (m) <u>27.5</u> Longitud horizontal corona a punta (m) <u>26.2</u> Fahrböschung (grados) <u>46.4</u> Pendiente de ladera en Post-falla (grados) <u>46.4</u> Pendiente de ladera en Pre-falla (grados) <u>NW-SE</u> Dirección del movimiento (grados) <u>98°</u> Azimut de la ladera (grados) <u>98°</u>		Ancho de la masa desplazada Wd (m) <u>36.4</u> Ancho de la superficie de ruptura Wr (m) <u>19.8</u> Longitud de la masa desplazada Ld (m) <u>37.98</u> Longitud de superficie de ruptura Lr (m) <u>37.98</u> Espesor de la masa desplazada Dd (m) <u>37.98</u> Profundidad de superficie de ruptura Dr (m) <u>37.98</u> Longitud total L (m) <u>37.98</u>		Volumen inicial (m3) <u>36.4</u> Volumen desplazado (m3) <u>19.8</u> Área inicial (Km2) <u>37.98</u> Área total afectada (Km2) <u>37.98</u> Run up (m) <u>37.98</u> Distancia de viaje (Km) <u>37.98</u>		MODO Ondulación <input type="checkbox"/> Escalonamiento <input type="checkbox"/>		SEVERIDAD Leve Media <input type="checkbox"/> Severa <input type="checkbox"/>		Colina Alta									
INHERENTES				CAUSAS DEL MOVIMIENTO															
Material plástico o débil <input type="checkbox"/> Material sensible <input type="checkbox"/> Material colapsible <input type="checkbox"/> Material meteor. físicamente <input type="checkbox"/> Material meteor. químicamente <input type="checkbox"/> Material fallado por corte <input type="checkbox"/>				Material fisurado y agrietado <input type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Orientación desfav. de discontinuidades <input type="checkbox"/> Contraste de permeabilidad de materiales <input type="checkbox"/> Contraste de rigidez de materiales <input type="checkbox"/> Meteoriz. por descongelamiento/deshielo <input type="checkbox"/> Meteoriz. por expansión/contracción <input type="checkbox"/>				Movimiento tectónico <input type="checkbox"/> Sismo M ___ E ___ De ___ P ___ Erupción volcánica <input type="checkbox"/> Lluvias (mm) 24h ___ 48h ___ 72h ___ Mes ___ Viento <input type="checkbox"/> Avance/Retroceso de glaciares <input type="checkbox"/> Rompimiento de lagos en crateres <input type="checkbox"/>				Desembalse rápido de presas <input type="checkbox"/> Erosión pata de la ladera por glaciares <input type="checkbox"/> Socavación pata de la ladera por corrimiento <input type="checkbox"/> Lluvia <input type="checkbox"/> Socavación pata de la ladera por oleaje <input type="checkbox"/> Socavación de márgenes de ríos <input type="checkbox"/> Erosión Fluvial <input type="checkbox"/> Carga en la corona de la ladera <input type="checkbox"/>				Mantenimiento deficiente sistema de drenaje <input type="checkbox"/> Escapes de agua de tuberías <input type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Pendiente <input type="checkbox"/> Disposición deficiente de estériles/escorrios <input type="checkbox"/> Erosión Fluvial <input type="checkbox"/> Erosión subterránea (disolución, irrigación) <input type="checkbox"/>			
NOTA: C: Condicionante, D: Detonante				24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento M: Magnitud E: Escala (Ml, Ms, mb, Mw) De: Distancia del epicentro (Km) P: Profundidad (Km)															
Anejo fotográfico																			
																			

DATOS GENERALES				LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA											
MM: 3 COD: 014		FECHA		Institución		DIVISION POLITICA		COORDENADAS WGS84 UTM 17s							
Encuestadora Maritza Fernanda Cevallos Valencia		7/10/2022		Universidad Nacional de Loja Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento territorial		Provincia y cantón: Loja Parroquia : Santiago Sector: El Gallo		Latitud (Norte): 9575103.33 Longitud (Este): 698443.94 Altura (msnm): 1994.87							
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				LITOLOGIA Y ESTRUCTURA											
EDAD		ESTADO		ESTILO		DISTRIBUCIÓN		DESCRIPCIÓN		ESTRUCTURA					
< 1 año <input type="checkbox"/> 21-30 años <input type="checkbox"/> 1-5 años <input type="checkbox"/> 31-40 años <input type="checkbox"/> 6-10 años <input type="checkbox"/> 41-60 años <input type="checkbox"/> 11-15 años <input type="checkbox"/> 61-80 años <input type="checkbox"/> 16-20 años <input type="checkbox"/> > 80 años <input type="checkbox"/>		Activo <input type="checkbox"/> Reactivado <input type="checkbox"/> Inactivo <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Estabilizado <input type="checkbox"/> Relicto <input type="checkbox"/>		Complejo <input type="checkbox"/> Múltiple <input type="checkbox"/> Sucesivo <input type="checkbox"/> Único <input type="checkbox"/>		Retrogresivo <input type="checkbox"/> Ensanchado <input type="checkbox"/> Confinado <input type="checkbox"/> Creciente <input type="checkbox"/> Decreciente <input type="checkbox"/>		Es un deslizamiento rotacional antiguo latente que puede ser reactivado por sus causas originales como: Cortes en la ladera por acción humana esta, actualmente durante el período invernal está desencadenando eventos secundarios como caída de rocas y flujos de detritos. Es un movimiento en masa formado por rocas ígneas como granodiorita moderadamente meteorizada de grano medio a fino que pertenecen al batolito de San Lucas.		ESTRUCTURA Planos de Estratificación <input type="checkbox"/> Foliación Diacласas <input type="checkbox"/> Falla Discordancia <input type="checkbox"/> Esquistosidad <input type="checkbox"/>		ORIENTACIÓN DR <input type="checkbox"/> BZ <input type="checkbox"/>		ESPACIAMIENTO (m) >2 <input type="checkbox"/> 2-0.6 <input type="checkbox"/> 0.6-0.2 <input type="checkbox"/> 0.2-0.06 <input type="checkbox"/> <0.06 <input type="checkbox"/>	
NOTA: DR: Dirección de buzamiento, BZ: Buzamiento															
CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO															
TIPO MOVIMIENTO		SUBTIPO MOVIMIENTO						TIPO		HUMEDAD		PLASTICIDAD			
Caída <input type="checkbox"/> Volcámiento <input type="checkbox"/> Deslizamiento <input type="checkbox"/> Flujo <input type="checkbox"/> Propagación Lateral <input type="checkbox"/> Reptación <input type="checkbox"/>		Caída de roca <input type="checkbox"/> Caída de detritos <input type="checkbox"/> Caída de tierras <input type="checkbox"/> Volcám. flexural de roca <input type="checkbox"/> Volcám. de roca <input type="checkbox"/> Desliz. rotacional <input type="checkbox"/>		Desliz. traslacional <input type="checkbox"/> Desliz. en cuña <input type="checkbox"/> Desliz. traslacional planar <input type="checkbox"/> Avancha de rocas <input type="checkbox"/> Flujo de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de lodo <input type="checkbox"/>		Desliz. por flujo <input type="checkbox"/> Avalancha de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de tierra <input type="checkbox"/> Crecida de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de turba <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de arena <input type="checkbox"/>		Desliz. licuación de detritos <input type="checkbox"/> Desliz. licuación roca <input type="checkbox"/> Propag. lateral licuación <input type="checkbox"/> Reptación de suelos <input type="checkbox"/> Soliflucción <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de limo <input type="checkbox"/>		Roca <input type="checkbox"/> Detritos <input type="checkbox"/> Tierra <input type="checkbox"/> Lodos <input type="checkbox"/> Turba <input type="checkbox"/>		Mojado <input type="checkbox"/> Muy Húmedo <input type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Ligero húmedo <input type="checkbox"/> Seco <input type="checkbox"/>		Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> No plástico <input type="checkbox"/>	
NOTA: 1: Primer movimiento, 2: Segundo Movimiento															
ORIGEN SUELO			TIPO DEPOSITO (Origen suelo sedimentario)			VELOCIDAD			Probabilidad de recurrencia		Uso del suelo				
Residual <input type="checkbox"/> Coluvial <input type="checkbox"/> Sedimentario <input type="checkbox"/> Volcánico <input type="checkbox"/>			Aluvial <input type="checkbox"/> Eólico <input type="checkbox"/> Glaciár <input type="checkbox"/> Lacustre <input type="checkbox"/> Coluvial <input type="checkbox"/>			Extr. rápido (>5 m/s) <input type="checkbox"/> Muy rápido (>3 m/min) <input type="checkbox"/> Rápido (>1.8 m/hr) <input type="checkbox"/> Moderado (>13 m/mes) <input type="checkbox"/> Lento (>1.6 m/año) <input type="checkbox"/> Muy lento (>16 mm/año) <input type="checkbox"/>			Extr. Lento (<16 mm/año) <input type="checkbox"/> Vmáx <input type="checkbox"/> Vmín <input type="checkbox"/>		Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/>		Ganadería <input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Agricultura <input type="checkbox"/> Área protegida <input type="checkbox"/> Otro: Vialidad <input type="checkbox"/>		
GENERAL				DIMENSIONES DEL TERRENO				DEFORMACIÓN		GEOFORMA					
Diferencia de altura corona a punta (m) <u>66</u> Longitud horizontal corona a punta (m) <u>88.5</u> Fahrböschung (grados) _____ Pendiente de ladera en Post-falla (grados) _____ Pendiente de ladera en Pre-falla (grados) <u>36.7</u> Dirección del movimiento (grados) <u>NW-SE</u> Azimut de la ladera (grados) <u>130°</u>				Ancho de la masa desplazada Wd (m) <u>42</u> Ancho de la superficie de ruptura Wr (m) _____ Longitud de la masa desplazada Ld (m) <u>26</u> Longitud de superficie de ruptura Lr (m) _____ Espesor de la masa desplazada Dd (m) _____ Profundidad de superficie de ruptura Dr (m) _____ Longitud total LL (m) <u>110.4</u>				Volumen inicial (m3) _____ Volumen desplazado (m3) _____ Área inicial (Km2) _____ Área total afectada (Km2) _____ Run up (m) _____ Distancia de viaje (Km) _____		MODO Ondulación <input type="checkbox"/> Escalonamiento <input type="checkbox"/>		Colina Alta y Vertiente			
SEVERIDAD Leve <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Severa <input type="checkbox"/>															
CAUSAS DEL MOVIMIENTO				CONTRIBUYENTES - DETONANTES											
INHERENTES Material plástico o débil <input type="checkbox"/> Material fisurado y agrietado <input type="checkbox"/> Material sensible <input type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Material colapsible <input type="checkbox"/> Orientación desfav. de discontinuidades <input type="checkbox"/> Material meteor. físicamente <input type="checkbox"/> Contraste de permeabilidad de materiales <input type="checkbox"/> Material meteor. químicamente <input type="checkbox"/> Contraste de rigidez de materiales <input type="checkbox"/> Material fallado por corte <input type="checkbox"/> Meteoriz. por descongelamiento/deshielo <input type="checkbox"/> Meteoriz. por expansión/contracción <input type="checkbox"/>				MOVIMIENTO TECTÓNICO Sismo M ___ E ___ De ___ P ___ Erupción volcánica <input type="checkbox"/> Lluvias (mm) 24h ___ 48h ___ 72h Mes ___ Viento <input type="checkbox"/> Avance/Retroceso de glaciares <input type="checkbox"/> Rompimiento de lagos en cráteres <input type="checkbox"/>				DESARROLLO DE PRESAS Desembalse rápido de presas <input type="checkbox"/> Erosión pata de ladera por glaciares <input type="checkbox"/> Socavación pata de ladera por corrimiento <input type="checkbox"/> Inundación <input type="checkbox"/> Socavación pata de ladera por oleaje <input type="checkbox"/> Socavación de márgenes de ríos <input type="checkbox"/> Erosión Pluvial <input type="checkbox"/> Carga en la corona de la ladera <input type="checkbox"/>				MANTENIMIENTO DE FICENTE SISTEMA DE DRENAJE Escapes de agua de tuberías <input type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Pendiente <input type="checkbox"/> Disposición de ficiente de estériles/escorbros <input type="checkbox"/> Erosión Fluvial <input type="checkbox"/> Erosión subterránea (disolución, irrigación) <input type="checkbox"/>			
NOTA: C: Condicionante, D: Detonante															
24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento M: Magnitud E: Escala (Ml, Ms, mb, Mw) De: Distancia del epicentro (Km) P: Profundidad (Km)															
Anejo fotográfico															

DATOS GENERALES				LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA											
MM: 4 COD: 016		FECHA		Institución		DIVISION POLITICA		COORDENADAS WGS84 UTM 17s							
Encuestadora Maritza Fernanda Cevallos Valencia		7/10/2022		Universidad Nacional de Loja Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento territorial		Provincia y cantón: Loja Parroquia : Santiago Sector: El Gallo		Latitud (Norte): 9575222.86 Longitud (Este): 698505.84 Altura (msnm): 1987.07							
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				LITOLOGÍA Y ESTRUCTURA											
EDAD		ESTADO		ESTILO		DISTRIBUCIÓN		DESCRIPCIÓN		ESTRUCTURA					
< 1 año <input type="checkbox"/> 21-30 años <input type="checkbox"/> 1-5 años <input type="checkbox"/> 31-40 años <input type="checkbox"/> 6-10 años <input type="checkbox"/> 41-60 años <input type="checkbox"/> 11-15 años <input type="checkbox"/> 61-80 años <input type="checkbox"/> 16-20 años <input type="checkbox"/> > 80 años <input type="checkbox"/>		Activo <input type="checkbox"/> Reactivado <input type="checkbox"/> Inactivo <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Estabilizado <input type="checkbox"/> Relicto <input type="checkbox"/>		Complejo <input type="checkbox"/> Compuesto <input type="checkbox"/> Múltiple <input type="checkbox"/> Sucesivo <input type="checkbox"/> Único <input type="checkbox"/>		Retrogrado <input type="checkbox"/> Ensanchado <input type="checkbox"/> Confinado <input type="checkbox"/> Creciente <input type="checkbox"/> Decreciente <input type="checkbox"/>		Es un deslizamiento rotacional que se activa constantemente en periodo invernal, esta formado por rocas ígneas como dioritas que pertenecen al batolito de San Lucas. Es un deslizamiento que en su masa desplazada esta dando origen a otros deslizamientos del mismo tipo. Este deslizamiento se activa debido a factores como la saturación del suelo y rocas en periodo invernal y la pendiente que supera los 40 grados.		ESTRUCTURA Planos de DR BZ >2 2-0.6 0.6-0.2 0.2-0.06 <0.06 Estratificación <input type="checkbox"/> Foliación Diaclasas <input type="checkbox"/> Falla Discordancia <input type="checkbox"/> Esquistosidad <input type="checkbox"/>		ESPACIAMIENTO (m) DR BZ >2 2-0.6 0.6-0.2 0.2-0.06 <0.06 NOTA: DR: Dirección de buzamiento, BZ: Buzamiento			
TIPO MOVIMIENTO				SUBTIPO MOVIMIENTO				TIPO		HUMEDAD		PLASTICIDAD			
Caída <input type="checkbox"/> 1* 2 Volcamiento <input type="checkbox"/> Deslizamiento <input type="checkbox"/> Flujo <input type="checkbox"/> Propagación Lateral <input type="checkbox"/> Reptación <input type="checkbox"/>		Caída de roca <input type="checkbox"/> 1* 2 Caída de detritos <input type="checkbox"/> Caída de tierras <input type="checkbox"/> Volcam. flexural de roca <input type="checkbox"/> Volcam. de roca <input type="checkbox"/> Desliz. rotacional <input type="checkbox"/>		Desliz. traslacional <input type="checkbox"/> 1* 2 Desliz. en cuña <input type="checkbox"/> Desliz. traslacional planar <input type="checkbox"/> Avalancha de rocas <input type="checkbox"/> Flujo de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de lodo <input type="checkbox"/>		Desliz. por flujo <input type="checkbox"/> 1* 2 Avalancha de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de tierra <input type="checkbox"/> Crecida de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de turba <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de arena <input type="checkbox"/>		Desliz. licuación de detritos <input type="checkbox"/> 1* 2 Desliz. licuación roca <input type="checkbox"/> Propag. lateral licuación <input type="checkbox"/> Reptación de suelos <input type="checkbox"/> Soliflucción <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de limo <input type="checkbox"/>		Roca <input type="checkbox"/> Detritos <input type="checkbox"/> Tierra <input type="checkbox"/> Lodos <input type="checkbox"/> Turba <input type="checkbox"/>		Mojado <input type="checkbox"/> Muy Húmedo <input type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Liger. húmedo <input type="checkbox"/> Seco <input type="checkbox"/>		Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> No plástica <input type="checkbox"/>	
ORIGEN SUELO				VELOCIDAD				Probabilidad de recurrencia		Uso del suelo					
Residual <input type="checkbox"/> Coluvial <input type="checkbox"/> Sedimentario <input type="checkbox"/> Volcánico <input type="checkbox"/>		TIPO DEPOSITO (Origen suelo sedimentario) Aluvial <input type="checkbox"/> Lacustre <input type="checkbox"/> Eólico <input type="checkbox"/> Coluvial <input type="checkbox"/> Glaciar <input type="checkbox"/>		Extr. rápido (>5 m/s) Muy rápido (>3 m/min) Rápido (>1.8 m/hr)		Moderado (>13 m/mes) Lento (>1.6 m/año) Muy lento (>16 mm/año)		Extr. Lento (<16 mm/año) Vmáx Vmín		Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/>		Ganadería <input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Agricultura <input type="checkbox"/> Área protegida <input type="checkbox"/> Otro: Vialidad <input type="checkbox"/>			
GENERAL				DIMENSIONES DEL TERRENO				DEFORMACIÓN		GEOFORMA					
Diferencia de altura corona a punta (m) <u>20.63</u> Longitud horizontal corona a punta (m) <u>21.5</u> Fahrhöschung (grados) _____ Pendiente de ladera en Post-falla (grados) <u>43.81</u> Pendiente de ladera en Pre-falla (grados) _____ Dirección del movimiento (grados) <u>SW-NE</u> Azimut de lalud (grados) <u>82°</u>		Ancho de la masa desplazada Wd (m) <u>37.5</u> Ancho de la superficie de ruptura Wr (m) _____ Longitud de la masa desplazada Ld (m) <u>16.5</u> Longitud de superficie de ruptura Lr (m) _____ Espesor de la masa desplazada Dd (m) _____ Profundidad de superficie de ruptura Dr (m) <u>2.70m</u> Longitud total L (m) <u>21.28</u>		Volumen inicial (m3) _____ Volumen desplazado (m3) _____ Área inicial (Km2) _____ Área total afectada (Km2) _____ Run up (m) _____ Distancia de viaje (Km) _____		MODO Ondulación <input type="checkbox"/> Escalonamiento <input type="checkbox"/> SEVERIDAD Leve <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Severa <input type="checkbox"/>		Colina Alta							
CAUSAS DEL MOVIMIENTO				CONTRIBUYENTES - DETONANTES											
INHERENTES				C D				C D							
Material plástico débil <input type="checkbox"/> C Material sensible <input type="checkbox"/> Material colapsible <input type="checkbox"/> Material meteor. físicamente <input type="checkbox"/> Material meteor. químicamente <input type="checkbox"/> Material fallado por corte <input type="checkbox"/>		Material fisurado y agrietado <input type="checkbox"/> C Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Orientación de fav. de discontinuidades <input type="checkbox"/> Contraste de permeabilidad de materiales <input type="checkbox"/> Contraste de rigidez de materiales <input type="checkbox"/> Meteoriz. por descongelamiento/deshielo <input type="checkbox"/> Meteoriz. por expansión/contracción <input type="checkbox"/>		Movimiento tectónico <input type="checkbox"/> C D Sismo M: _____ E: _____ De: _____ P: _____ Erupción volcánica <input type="checkbox"/> Lluvias (mm) 24h _____ 48h _____ 72h _____ Mes _____ Viento <input type="checkbox"/> Avance/Retrceso de glaciares <input type="checkbox"/> Rompimiento de lagos en cráteres <input type="checkbox"/>		Desembalse rápido de presas <input type="checkbox"/> C D Erosión pata del talud por glaciares <input type="checkbox"/> Socavación pata del talud por corriente <input type="checkbox"/> agua <input type="checkbox"/> Socavación pata del talud por oleaje <input type="checkbox"/> Socavación de margenes de ríos <input type="checkbox"/> Erosión Pluvial <input type="checkbox"/> Carga en la corona del talud <input type="checkbox"/>		Mantenimiento deficiente sistema de drenaje <input type="checkbox"/> C D Escapes de agua de tuberías <input type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Pendiente <input type="checkbox"/> Disposición de deficiente de estériles/escombros <input type="checkbox"/> Erosión Fluvial <input type="checkbox"/> Erosión subteranea (disolución, Irigación) <input type="checkbox"/>							
NOTA: C: Condicionante, D: Detonante				24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento M: Magnitud E: Escala (Ml, Ms, mb, Mw) De: Distancia del epicentro (Km) P: Profundidad (Km)											
Anejo fotográfico															

DATOS GENERALES				LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA															
MM: 5 COD: 020		FECHA		Institución		DIVISION POLITICA		COORDENADAS WGS84 UTM 17s											
Encuestadora		7/10/2022		Universidad Nacional de Loja		Provincia y cantón: Loja		Latitud (Norte): 9575631.88											
Maritza Fernanda				Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento territorial		Parroquia : Santiago		Longitud (Este): 698208.89											
Cevallos Valencia						Sector: Visera de Ilizhapa		Altura (msnm): 1989.60											
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				LITOLOGIA Y ESTRUCTURA															
EDAD		ESTADO		ESTILO		DISTRIBUCIÓN		DESCRIPCIÓN		ESTRUCTURA									
< 1 año <input type="checkbox"/> 21-30 años <input type="checkbox"/> 1-5 años <input type="checkbox"/> 31-40 años <input type="checkbox"/> 6-10 años <input type="checkbox"/> 41-60 años <input type="checkbox"/> 11-15 años <input type="checkbox"/> 61-80 años <input type="checkbox"/> 16-20 años <input type="checkbox"/> > 80 años <input type="checkbox"/>		Activo <input checked="" type="checkbox"/> Reactivado <input type="checkbox"/> Inactivo <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Estabilizado <input type="checkbox"/> Relicto <input type="checkbox"/>		Complejo <input type="checkbox"/> Compuesto <input type="checkbox"/> Múltiple Sucesivo <input checked="" type="checkbox"/> Único <input type="checkbox"/>		Progresivo <input checked="" type="checkbox"/> Retrogresivo <input type="checkbox"/> Ensanchado <input type="checkbox"/> Confinado <input type="checkbox"/> Creciente <input type="checkbox"/> Decreciente <input type="checkbox"/>		Es un deslizamiento rotacional reciente que se activa todos los años en periodo invernal y pone en riesgo a la población que se encuentra asentada en el pie del deslizamiento. Este deslizamiento constantemente se ve afectado y desencadenado por disminución de a resistencia de los suelos y rocas por la presencia del agua. Esta formado por rocas ígneas como granodioritas moderadamente meteorizadas que pertenecen al batolito de San Lucas.		ESTRUCTURA Planos de Estratificación <input type="checkbox"/> Foliación Diaclasas <input type="checkbox"/> Falla Discordancia <input type="checkbox"/> Esquistosidad <input type="checkbox"/>		ORIENTACIÓN DR BZ >2 2-0.6 0.6-0.2 0.2-0.06 <0.06							
TIPO MOVIMIENTO				SUBTIPO MOVIMIENTO				TIPO		HUMEDAD		PLASTICIDAD							
Caída <input type="checkbox"/> Volcamiento <input type="checkbox"/> Deslizamiento <input type="checkbox"/> Flujo <input type="checkbox"/> Propagación Lateral <input type="checkbox"/> Reptación <input type="checkbox"/>		Caída de roca <input type="checkbox"/> Caída de detritos <input type="checkbox"/> Volcam. flexural de roca <input type="checkbox"/> Desliz. rotacional <input type="checkbox"/>		Desliz. traslacional <input type="checkbox"/> Desliz. en cuña <input type="checkbox"/> Desliz. traslacional planar <input type="checkbox"/> Avalancha de rocas <input type="checkbox"/> Flujo de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de lodo <input type="checkbox"/>		Desliz. por flujo <input type="checkbox"/> Avalancha de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de tierra <input type="checkbox"/> Crecida de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de turba <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de <input type="checkbox"/>		Desliz. licuación detritos <input type="checkbox"/> Desliz. licuación roca <input type="checkbox"/> Propag. lateral licuación Reptación de suelos <input type="checkbox"/> Soliflujión <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de limo <input type="checkbox"/>		Roca <input type="checkbox"/> Detritos <input type="checkbox"/> Tierra <input type="checkbox"/> Lodos <input type="checkbox"/> Turba <input type="checkbox"/>		Mojado <input type="checkbox"/> Muy Húmedo <input type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Liger. húmedo <input type="checkbox"/> Seco <input type="checkbox"/>		Alta <input type="checkbox"/> Media Baja <input type="checkbox"/> No plástico <input checked="" type="checkbox"/>					
ORIGEN SUELO		TIPO DEPOSITO (Origen suelo sedimentario)		VELOCIDAD		Probabilidad de recurrencia		Uso del suelo											
Residual <input type="checkbox"/> Sedimentario <input type="checkbox"/>		Coluvial <input type="checkbox"/> Volcánico <input checked="" type="checkbox"/> Aluvial/Eólico <input type="checkbox"/> Glaciar <input type="checkbox"/> Lacustre <input type="checkbox"/> Coluvial <input checked="" type="checkbox"/>		Extr. rápido (>5 m/s) Muy rápido (>3 m/min) Rápido (>1.8 m/hr)		Moderado (>13 m/mes) Lento (>1.6 m/año) Muy lento (>16		Extr. Lento (<16 mm/año) Vmáx Vmín		Alta Media Baja		Ganadería <input type="checkbox"/> Agricultura <input checked="" type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Área protegida <input type="checkbox"/> Otro: Vialidad <input type="checkbox"/>							
GENERAL				MORFOMETRÍA				DEFORMACIÓN		GEOFORMA									
Diferencia de altura corona a punta (m) <u>51.82</u> Longitud horizontal corona a punta (m) <u>50</u> Fahrböschung (grados) <u>38.65</u> Pendiente de ladera en Post-falla (grados) <u>38.65</u> Pendiente de ladera en Pre-falla (grados) <u>SW-NE</u> Dirección de movimiento (grados) <u>SW-NE</u> Azimut de lalud (grados) <u>54°</u>		Ancho de la masa desplazada Wd (m) <u>42</u> Ancho de la superficie de ruptura Wr (m) <u>30.2</u> Longitud de la masa desplazada Ld (m) <u>64.03</u> Longitud de superficie de ruptura Lr (m) <u>64.03</u> Espesor de la masa desplazada Dd (m) <u>64.03</u> Profundidad de superficie de ruptura Dr (m) <u>64.03</u> Longitud total L (m) <u>64.03</u>		Volumen inicial (m3) <u> </u> Volumen desplazado (m3) <u> </u> Área inicial (Km2) <u> </u> Área total afectada (Km2) <u> </u> Run up (m) <u> </u> Distancia de viaje (Km) <u> </u>		Modo Ondulación <input type="checkbox"/> Escalonamiento <input type="checkbox"/> Severidad Leve Media <input type="checkbox"/> Severa <input type="checkbox"/>		Colina Alta											
INHERENTES				CAUSAS DEL MOVIMIENTO															
Material plástico o débil <input type="checkbox"/> Material sensible <input type="checkbox"/> Material colapsible <input type="checkbox"/> Material meteor. físicamente <input type="checkbox"/> Material meteor. químicamente <input type="checkbox"/> Material falla por corte <input type="checkbox"/>				Material fisurado y agrietado <input type="checkbox"/> ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Orientación desfav. de discontinuidades <input type="checkbox"/> Contraste de permeabilidad de materiales <input type="checkbox"/> Contraste de rigidez de materiales Meteoriz. por descongelamiento/deshielo <input type="checkbox"/> Meteoriz. por expansión/contracción <input type="checkbox"/>				Movimiento tectónico <input type="checkbox"/> Sismo M <u> </u> E <u> </u> De <u> </u> P <u> </u> Erupción volcánica <input type="checkbox"/> Lluvias (mm) 24h <u> </u> 48h <u> </u> 72h <u> </u> Mes <u> </u> Viento <input type="checkbox"/> Avance/Retroceso de glaciares <input type="checkbox"/> Rompimiento de lagos en cráteres <input type="checkbox"/>				Desembalse rápido de presas <input type="checkbox"/> Erosión pata de lalud por glaciares <input type="checkbox"/> Socavación pata de lalud por corriente de agua <input type="checkbox"/> Socavación pata de lalud por oleaje <input type="checkbox"/> Socavación de margenes de ríos <input type="checkbox"/> Erosión Pluvial <input type="checkbox"/> Carga en la corona de lalud <input type="checkbox"/>				Mantenimiento de eficiente sistema de drenaje <input type="checkbox"/> Escapes de agua de tuberías <input type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Minería <input type="checkbox"/> Disposición de eficiente de estériles/escombros <input type="checkbox"/> Erosión Fluvial <input type="checkbox"/> Erosión subteranea (disolución, Irigación) <input type="checkbox"/>			
NOTA: C: Condicionante, D: Detonante				24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento M: Magnitud E: Escala (Ml, Ms, mb, Mw) De: Distancia del epicentro (Km) P: Profundidad (Km)															
Anejo fotográfico																			

DATOS GENERALES				LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA											
MM: 6 COD: 022		FECHA		Institución		DIVISION POLITICA		COORDENADAS WGS84 UTM 17s							
Encuestadora		7/10/2022		Universidad Nacional de Loja		Provincia y cantón: Loja		Latitud (Norte): 9575799.25							
Mariza Fernanda				Carretera de Ingeniería en Geología Ambiental y		Parroquia : San Lucas		Longitud (Este): 697870.32							
Cevallos Valencia				Ordenamiento territorial		Sector: Bunque		Altura (msnm): 1986.19							
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				LITOLOGIA Y ES TRUCTURA											
EDAD		ESTADO		ESTILO		DISTRIBUCIÓN		DESCRIPCIÓN							
ESTRUCTURA		ORIENTACIÓN		ESPACIAMIENTO (m)											
Planos de		DR		BZ		>2		2-0.6 0.6-0.2 0.2-0.06 <0.06							
Estratificación															
Foliación Diac lasas															
Falla Discordancia															
Esquistosidad															
								NOTA: DR: Dirección de buzamiento, BZ: Buzamiento							
TIPO MOVIMIENTO				SUBTIPO MOVIMIENTO				TIPO		HUMEDAD		PLASTICIDAD			
Caída		Caída de roca		Desliz. traslacional		Desliz. por flujo		Desliz. licuación de tritos		Roca		Mojado		Alta	
Volcamiento		Caída de detritos		Desliz. en cuña		Avalancha de detritos		Desliz. licuación roca		Detritos		Muy Húmedo		Medía Baja	
Deslizamiento		Caída de tierras		Desliz. traslacional planar		Flujo de tierra		Propag. lateral licuación		Tierra		Húmedo		No plástico	
Flujo		Volcamiento de roca		Avalancha de rocas		Creceda de detritos		Reptación de suelos		Lodos		Liger. húmedo			
Propagación Lateral		Volcamiento de roca		Flujo de detritos		Flujo de turba		Soliflucción		Turba		Seco			
Reptación		Desliz. rotacional		Flujo de lodo		Desliz. licuación de arena		Desliz. licuación de limo							
														NOTA: 1: Primer movimiento, 2: Segundo movimiento	
ORIGEN SUELO				VELOCIDAD				Probabilidad de recurrencia		Uso del suelo					
Residual		Coluvial		Extr. rápido (>5 m/s)		Moderado (>13 m/mes)		Extr. Lento (<16 mm/año)		Alta		Ganadería		Vivienda	
Sedimentario		Volcánico		Muy rápido (>3 m/min)		Lento (>1.6 m/año)		Vmax		Media		Agricultura		Área protegida	
				Rápido (>1.8 m/hr)		Muy lento (>16 mm/año)		Vmin		Baja		Otro: Vialidad			
MORFOMETRÍA				CAUSAS DEL MOVIMIENTO											
GENERAL		DIMENSIONES DEL TERRENO				DEFORMACIÓN		GEOFORMA							
Diferencia de altura corona a punta (m)		Ancho de la masa desplazada Wd (m)				MODO		Colina Alta							
Longitud horizontal corona a punta (m)		Ancho de la superficie de ruptura Wr (m)				Ondulación									
Fahrböschung (grados)		Longitud de la masa desplazada Ld (m)				Escalonamiento									
Pendiente de ladera en Post-falla (grados)		Longitud de superficie de ruptura Lr (m)				SEVERIDAD									
Pendiente de ladera en Pre-falla (grados)		Espesor de la masa desplazada Dd (m)				Leve									
Dirección del movimiento (grados)		Profundidad de superficie de ruptura Dr (m)				Medía									
Azimut de la ladera (grados)		Longitud total L (m)				Severa									
INHERENTES				CONTRIBUYENTES - DETONANTES											
Materia plástica débil		Materia fisurada y agrietada		Movimiento tectónico		Desembalse rápido de presas		Mantenimiento deficiente sistema de drenaje							
Materia insensible		Deforestación o ausencia de vegetación		Sismo M E De P		Erosión pata de lalud por glaciares		Escapes de agua de tuberías							
Materia colapsible		Orientación de fav. de discontinuidades		Erupción volcánica		Socavación pata de lalud por corrientes		Deforestación o ausencia de vegetación							
Materia meteor. físicamente		Contraste de permeabilidad de materiales		Lluvias (mm) 24h 48h 72h Mes		Socavación pata de lalud por oleaje		Pendiente de lalud							
Materia meteor. químicamente		Contraste de rigidez de materiales		Viento		Socavación pata de lalud por oleaje		Disposición deficiente de estériles/escombros							
Materia fallada por corte		Meteoriz. por descongelamiento/deshielo		Avance/Retroceso de glaciares		Socavación de margenes de ríos		Erosión Fluvial							
		Meteoriz. por expansión/contracción		Rompimiento de lagos en crateres		Erosión Pluvial		Erosión subteranea (disolución, irrigación)							
NOTA: C: Condicionante, D: Detonante				24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento M: Magnitud E: Escala (Ml, Ms, mb, Mw) De: Distancia del epicentro (Km) P: Profundidad (Km)											



DATOS GENERALES				LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA															
MM: 7 COD: 026		FECHA		Institución		DIVISION POLITICA		COORDENADAS WGS84 UTM 17s											
Encuestadora Maritza Esmeralda Cevallos Valencia		7/10/2022		Universidad Nacional de Loja Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento territorial		Provincia y cantón: Loja Parroquia : Santiago Sector: ElNarajo		Latitud (Norte): 9576207.72 Longitud (Este): 697465.84 Altura (msnm): 1986.84											
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				LITOLOGIA Y ESTRUCTURA															
EDAD		ESTADO		ESTILO		DISTRIBUCIÓN		DESCRIPCIÓN		ESTRUCTURA									
< 1 año <input type="checkbox"/> 21-30 años <input type="checkbox"/> 1-5 años <input type="checkbox"/> 31-40 años <input type="checkbox"/> 6-10 años <input type="checkbox"/> 41-60 años <input type="checkbox"/> 11-15 años <input type="checkbox"/> 61-80 años <input type="checkbox"/> 16-20 años <input type="checkbox"/> > 80 años <input type="checkbox"/>		Activo <input type="checkbox"/> Reactivado <input type="checkbox"/> Inactivo <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Estabilizado <input type="checkbox"/> Relicto <input type="checkbox"/>		Complejo <input type="checkbox"/> Compuesto <input type="checkbox"/> Múltiple <input type="checkbox"/> Sucesivo <input type="checkbox"/> Único <input type="checkbox"/>		Retrogresivo <input type="checkbox"/> Ensanchado <input type="checkbox"/> Confinado <input type="checkbox"/> Creciente <input type="checkbox"/> De creciente <input type="checkbox"/>		Es un deslizamiento rotacional que se dio años después de la apertura de la vía se encontrada inactivo, sin embargo, el incremento de lluvias ha provocado que se reactive dando origen a nuevos movimientos como flujos dentro del mismo plano de falla. Esta formado por rocas metamórficas como esquistos que pertenecen a la unidad Tres Lagunas.		ESTRUCTURA PLANOS DE Estratificación <input type="checkbox"/> Foliación Diaclasas <input type="checkbox"/> Falla Discordancia <input type="checkbox"/> Esquistosidad <input type="checkbox"/>		ORIENTACIÓN DR BZ		ESPACIAMIENTO (m) >2 2-0.6 0.6-0.2 0.2-0.06 <0.06					
NOTA: DR: Dirección de buzamiento. BZ: Buzamiento																			
CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO																			
TIPO MOVIMIENTO		SUBTIPO MOVIMIENTO				TIPO		HUMEDAD		PLASTICIDAD									
Caída <input type="checkbox"/> Volcamiento <input type="checkbox"/> Deslizamiento <input type="checkbox"/> Flujo <input type="checkbox"/> Propagación Lateral <input type="checkbox"/> Reptación <input type="checkbox"/>		Caída de roca <input type="checkbox"/> Caída de detritos <input type="checkbox"/> Caída de tierras <input type="checkbox"/> Volcam. flexural de roca <input type="checkbox"/> Volcam. de roca <input type="checkbox"/> Desliz. rotacional <input type="checkbox"/>				Desliz. traslacional <input type="checkbox"/> Desliz. en cuña <input type="checkbox"/> Desliz. traslacional planar <input type="checkbox"/> Avalancha de rocas <input type="checkbox"/> Flujo de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de lodo <input type="checkbox"/>		Desliz. por flujo <input type="checkbox"/> Avalancha de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de tierra <input type="checkbox"/> Crecida de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de turba <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de arena <input type="checkbox"/>		Desliz. licuación de detritos <input type="checkbox"/> Desliz. licuación roca <input type="checkbox"/> Propag. lateral licuación <input type="checkbox"/> Reptación de suelos <input type="checkbox"/> Soliflucción <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de limo <input type="checkbox"/>		Roca <input type="checkbox"/> De tritos <input type="checkbox"/> Tierra <input type="checkbox"/> Lodos <input type="checkbox"/> Turba <input type="checkbox"/>		Mojado <input type="checkbox"/> Muy Húmedo <input type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Liger. húmedo <input type="checkbox"/> Seco <input type="checkbox"/>		Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> No plástico <input type="checkbox"/>			
ORIGEN SUELO Metamórfico <input type="checkbox"/> Sedimentario <input type="checkbox"/> Coluvial <input type="checkbox"/> Volcánico <input type="checkbox"/>		TIPO DEPOSITO (Origen suelo sedimentario) Aluvial <input type="checkbox"/> Eólico <input type="checkbox"/> Glaciar <input type="checkbox"/> Lacustre <input type="checkbox"/> Coluvial <input type="checkbox"/>		VELOCIDAD Extr. rápido (>5 m/s) <input type="checkbox"/> Muy rápido (>3 m/min) <input type="checkbox"/> Rápido (>1.8 m/hr) <input type="checkbox"/> Moderado (>13 m/mes) <input type="checkbox"/> Lento (>1.6 m/año) <input type="checkbox"/> Muy lento (>16 mm/año) <input type="checkbox"/>		Probabilidad de recurrencia Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/>		Uso del suelo Ganadería <input type="checkbox"/> Agricultura <input type="checkbox"/> Otro: Vialidad <input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Área protegida <input type="checkbox"/>											
MORFOMETRÍA																			
GENERAL				DIMENSIONES DEL TERRENO				DEFORMACIÓN		GEOFORMA									
Diferencia de altura corona a punta (m) = 21 Longitud horizontal corona a punta (m) = 28.1 Fahrböschung (grados) = 36.7 Pendiente de ladera en Post-falla (grados) = 36.7 Pendiente de ladera en Pre-falla (grados) = SW-NF Dirección de lmovimiento (grados) = SW-NF Azimut de laltura (grados) = 74°				Ancho de la masa desplazada Wd (m) = 25.6 Ancho de la superficie de ruptura Wr (m) = 17 Longitud de la masa desplazada Ld (m) = 35.1 Longitud de superficie de ruptura Lr (m) = Espesor de la masa desplazada Dd (m) = Profundidad de superficie de ruptura Dr (m) = Longitud total L (m) =				Volumen inicial (m3) = Volumen desplazado (m3) = Área inicial (Km2) = Área total afectada (Km2) = Run up (m) = Distancia de viaje (Km) =		MODO Ondulación <input type="checkbox"/> Escalonamiento <input type="checkbox"/> SEVERIDAD Leve <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Severa <input type="checkbox"/>		Colina Alta							
INHERENTES					CAUSAS DEL MOVIMIENTO														
Material plástico o débil <input type="checkbox"/> Material sensible <input type="checkbox"/> Material colapsible <input type="checkbox"/> Material meteor. físicamente <input type="checkbox"/> Material meteor. químicamente <input type="checkbox"/> Material falla por corte <input type="checkbox"/>					CONTRIBUYENTES - DETONANTES Movimiento tectónico <input type="checkbox"/> Sismo M ___ E ___ De ___ P ___ <input type="checkbox"/> Erupción volcánica <input type="checkbox"/> Lluvias (mm) 24h ___ 48h ___ 72h ___ Mes ___ <input type="checkbox"/> Viento <input type="checkbox"/> Avance/Retroceso de glaciares <input type="checkbox"/> Rompimiento de lagos en cráteres <input type="checkbox"/>					Desembalse rápido de presas <input type="checkbox"/> Erosión pata del talud por glaciares <input type="checkbox"/> Socavación pata del talud por corriente de agua <input type="checkbox"/> Socavación pata del talud por oleaje <input type="checkbox"/> Socavación de margenes de ríos <input type="checkbox"/> Erosión Pluvial <input type="checkbox"/> Carga en la corona de laltura <input type="checkbox"/>					Mantenimiento de eficiente sistema de drenaje <input type="checkbox"/> Escapes de agua de tuberías <input type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Minería <input type="checkbox"/> Disposición de eficiente de estériles/escombros <input type="checkbox"/> Erosión Fluvial <input type="checkbox"/> Erosión subterránea (disolución, Irigación) <input type="checkbox"/>				
NOTA: C: Condicionante, D: Detonante																			
24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento M: Magnitud E: Escala (Ml, Ms, mb, Mw) De: Distancia del epicentro (Km) P: Profundidad (Km)																			
Anejo fotográfico																			

DATOS GENERALES				LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA															
MM: 8 COD:028		FECHA		Institución		DIVISION POLITICA		COORDENADAS WGS84 UTM 17s											
Encuestadora Maritza Fernanda Cevallos Valencia		7/10/2022		Universidad Nacional de Loja Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento territorial		Provincia y cantón: Loja Parroquia : Santiago Sector: El Naranjo		Latitud (Norte): 9576180.52 Longitud (Este): 697249.62 Altura (msnm): 1986.44											
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				LITOLÓGIA Y ESTRUCTURA															
EDAD		ESTADO		ESTILO		DISTRIBUCIÓN		DESCRIPCIÓN		ESTRUCTURA									
<input type="checkbox"/> < 1 año <input type="checkbox"/> 1-5 años <input type="checkbox"/> 6-10 años <input type="checkbox"/> 11-15 años <input type="checkbox"/> 16-20 años <input type="checkbox"/> 21-30 años <input type="checkbox"/> 31-40 años <input type="checkbox"/> 41-60 años <input type="checkbox"/> 61-80 años <input type="checkbox"/> > 80 años		<input type="checkbox"/> Activo <input type="checkbox"/> Reactivado <input type="checkbox"/> Inactivo <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Estabilizado <input type="checkbox"/> Relicto		<input type="checkbox"/> Complejo <input type="checkbox"/> Compuesto <input type="checkbox"/> Múltiple <input type="checkbox"/> Sucesivo <input type="checkbox"/> Único		<input type="checkbox"/> Retrogresivo <input type="checkbox"/> Ensanchado <input type="checkbox"/> Confinado <input type="checkbox"/> Creciente <input type="checkbox"/> Decreciente		Es un deslizamiento rotacional desencadenado producto de un deslizamiento antiguo que se activa en periodo invernal, dando origen a otros movimientos del mismo tipo a lo largo de la superficie de falla y en el material desplazado. Esta formado por rocas igneas moderadamente meteorizadas como granodioritas que pertenecen al batolito de San Lucas.		ESTRUCTURA Planos de Estratificación Foliación Diachasa Falla Discordancia Esquistosidad		ORIENTACIÓN DR BZ ESPACIAMIENTO (m) >2 2-0.6 0.6-0.2 0.2-0.06 <0.06							
CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO																			
TIPO MOVIMIENTO		SUBTIPO MOVIMIENTO						TIPO		HUMEDAD		PLASTICIDAD							
<input type="checkbox"/> 1* <input type="checkbox"/> 2 Caída Volcanismo Deslizamiento Flujo Propagación Lateral Reptación		<input type="checkbox"/> 1* <input type="checkbox"/> 2 Caída de roca Caída de detritos Caída de tierras Volcan. flujura de roca Volcan. de roca Desliz. rotacional		<input type="checkbox"/> 1* <input type="checkbox"/> 2 Desliz. traslacional Desliz. en cuña Desliz. traslacional planar Avalancha de rocas Flujo de detritos Flujo de lodo		<input type="checkbox"/> 1* <input type="checkbox"/> 2 Desliz. por flujo Avalancha de detritos Flujo de tierra Crecida de detritos Flujo de turba Desliz. licuación de arena		<input type="checkbox"/> 1* <input type="checkbox"/> 2 Desliz. licuación de detritos Desliz. licuación roca Propag. lateral licuación Reptación de suelos Solifluxión Desliz. licuación de limo		Roca Detritos Tierra Lodos Turba		Mojado Muy Húmedo Húmedo Liger. húmedo Seco		Alta Media Baja No plástico					
ORIGEN SUELO		TIPO DEPOSITO (Origen suelo sedimentario)		VELOCIDAD		Probabilidad de recurrencia		Uso del suelo											
<input type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Sedimentario		<input type="checkbox"/> Coluvial <input type="checkbox"/> Volcánico		<input type="checkbox"/> Aluvial <input type="checkbox"/> Eólico <input type="checkbox"/> Glaciar		<input type="checkbox"/> Lacustre <input type="checkbox"/> Coluvial		<input type="checkbox"/> Extr. rápido (>5 m/s) <input type="checkbox"/> Muy rápido (>3 m/min) <input type="checkbox"/> Rápido (>1.8 m/hr)		<input type="checkbox"/> Moderado (>13 m/mes) <input type="checkbox"/> Lento (>1.6 m/año) <input type="checkbox"/> Muy lento (>16 mm/año)		<input type="checkbox"/> Extr. lento (<16 mm/año) <input type="checkbox"/> Vmáx <input type="checkbox"/> Vmín		<input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja		<input type="checkbox"/> Ganadería <input type="checkbox"/> Agricultura <input type="checkbox"/> Otro: Vialidad			
GENERAL				DIMENSIONES DEL TERRENO				DEFORMACIÓN		GEOFORMA									
Diferencia de altura corona a punta (m) <u>65</u> Longitud horizontal corona a punta (m) <u>87</u> Fahrböschung (grados) <u>36.7</u> Pendiente de ladera en Post-falla (grados) <u>31°</u> Pendiente de ladera en Pre-falla (grados) <u>SW-NF</u> Dirección del movimiento (grados) <u>31°</u> Azimut de la lúd (grados) <u>31°</u>				Ancho de la masa desplazada Wd (m) <u>22</u> Ancho de la superficie de ruptura Wr (m) <u>73.4</u> Longitud de la masa desplazada Ld (m) <u>108.6</u> Longitud de superficie de ruptura Lr (m) <u>108.6</u> Espesor de la masa desplazada Dd (m) <u>108.6</u> Profundidad de superficie de ruptura Dr (m) <u>108.6</u> Longitud total LL (m) <u>108.6</u>				Volumen inicial (m3) <u>22</u> Volumen desplazado (m3) <u>73.4</u> Área inicial (Km2) <u>108.6</u> Área total afectada (Km2) <u>108.6</u> Run up (m) <u>108.6</u> Distancia de viaje (Km) <u>108.6</u>		<input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Severa		<input type="checkbox"/> Colina Alta y Vertiente							
INHERENTES				CAUSAS DEL MOVIMIENTO				CONTRIBUYENTES - DETONANTES											
<input type="checkbox"/> Material plástico débil <input type="checkbox"/> Material sensible <input type="checkbox"/> Material colapsible <input type="checkbox"/> Material meteor. físicamente <input type="checkbox"/> Material meteor. químicamente <input type="checkbox"/> Material falla por corte		<input type="checkbox"/> Material fisurado y agrietado <input type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Orientación desfav. de discontinuidades <input type="checkbox"/> Contraste de permeabilidad de materiales <input type="checkbox"/> Contraste de rigidez de materiales <input type="checkbox"/> Meteoriz. por descongelamiento/deshielo <input type="checkbox"/> Meteoriz. por expansión/contracción		<input type="checkbox"/> Movimiento tectónico <input type="checkbox"/> Sismo M ___ E ___ De ___ P ___ <input type="checkbox"/> Erupción volcánica <input type="checkbox"/> Lluvia (mm) 24h ___ 48h ___ 72h ___ Mes ___ <input type="checkbox"/> Viento <input type="checkbox"/> Avance/Retrceso de glaciares <input type="checkbox"/> Rompimiento de lagos en cráteres		<input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> Desembalse rápido de presas <input type="checkbox"/> Erosión pata de lta lúd por glaciares <input type="checkbox"/> Socavación pata de lta lúd por corriente agua <input type="checkbox"/> Socavación pata de lta lúd por oleaje <input type="checkbox"/> Socavación de margenes de ríos <input type="checkbox"/> Erosión Fluvial <input type="checkbox"/> Carga en la corona de lta lúd		<input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> Mantenimiento deficiente sistema de drenaje <input type="checkbox"/> Escapes de agua de tuberías <input type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Minería <input type="checkbox"/> Disposición deficiente de estériles/escombros <input type="checkbox"/> Erosión Fluvial <input type="checkbox"/> Erosión subternea (disolución, Irrigación)		<input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D									
NOTA: C: Condicionante, D: Detonante 24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento M: Magnitud E: Escala (Ml, Ms, mb, Mw) De: Distancia del epicentro (Km) P: Profundidad (Km)																			
Anexo fotográfico																			

DATOS GENERALES				LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA															
MM: 9	COD: 030	FECHA	Institución	DIVISION POLITICA	COORDENADAS WGS84 UTM 17s														
Encuestadora Mariza Fernanda Cevallos Valencia		7/10/2022	Universidad Nacional de Loja Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento territorial	Provincia y cantón: Loja Parroquia : Santiago Sector: El Naranjo	Latitud (Norte): 9576136.75 Longitud (Este): 697025.25 Altura (msnm): 1990.73														
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				LITOLOGIA Y ESTRUCTURA															
EDAD	ESTADO	ESTILO	DISTRIBUCIÓN	DESCRIPCIÓN	ESTRUCTURA														
< 1año 1-5 años 6-10 años 11-15 años 16-20 años	21-30 años 31-40 años 41-60 años 61-80 años > 80 años	Activo Reactivado Inactivo Latente Estabilizado Relicto	Complejo Compuesto Múltiple Sucesivo Único	Retrogresivo Ensamblado Confinado Creciente Decreciente	Es un deslizamiento rotacional desencadenado de un deslizamiento rotacional antiguo que se encontraba inactivo pero que debido a factores como la disminución de la resistencia de los suelos y rocas por la presencia de agua lluvia dio lugar a un nuevo deslizamiento rotacional. Esta formado por rocas ígneas moderadamente meteorizadas como granodioritas que pertenecen al batolito de San Lucas. Cabe mencionar que es un deslizamiento que hay que tomar medidas de estabilización debido a la presencia de población en la parte inferior del mismo.	ESTRUCTURA	ORIENTACIÓN	ESPACIAMIENTO (m)											
					Planos de	DR	BZ	>2	2-0.6	0.6-0.2	0.2-0.06	<0.06							
					Extr. tificación														
					Foliación Diacласas														
					Falla Discordancia														
					Esquistosidad														
					NOTA: DR: Dirección de buzamiento, BZ: Buzamiento														
TIPO MOVIMIENTO				SUBTIPO MOVIMIENTO				TIPO	HUMEDAD	PLASTICIDAD									
Caída Volc. amiento Deslizamiento Flujo Propagación Lateral Reptación	1* 2	Caída de roca Caída de detritos Caída de tierras Volc. am. flexural de roca Volc. am. de roca Desliz. rotacional	1* 2	Desliz. traslacional Desliz. en cuña Desliz. traslacional planar Avalancha de rocas Flujo de detritos Flujo de lodo	1* 2	Desliz. por flujo Avalancha de detritos Flujo de tierra Crecida de detritos Flujo de turba Desliz. licuación de arena	1* 2	Desliz. licuación de detritos Desliz. licuación roca Propag. lateral licuación Reptación de suelos Solifluxión Desliz. licuación de limo	1* 2	NOTA: 1: Primer movimiento. 2: Segundo Movimiento	Roca Detritos Tierra Lodos Turba	Mojado Muy Húmedo Húmedo Liger. húmedo Seco	Alta Media Baja No plástico						
ORIGEN SUELO		TIPO DEPOSITO	VELOCIDAD		Probabilidad de recurrencia		Uso del suelo												
Residual Sedimentario	Coluvial Volcánico	Aluvial Eólico Glaciar	Origin suelo sedimentario	Lacustre Coluvial	Extr. rápido (>5 m/s) Muy rápido (>3 m/min) Rápido (>1.8 m/hr)	Mediano (>13 m/mes) Lento (>1.6 m/año) Muy lento (>1.6 mm/año)	Extr. Lento (<16 mm/año) Vmax Vmin	Alta Media Baja	Ganadería Agricultura Otro: Vialidad	Vivienda Área protegida									
GENERAL				MORFOMETRÍA				DEFORMACIÓN		GEOFORMA									
Diferencia de altura corona a punta (m)	32.09	Ancho de la masa desplazada Wd (m)	39.7	Volúmen inicial (m3)		MODO		Colina Alta											
Longitud horizontal corona a punta (m)	45	Ancho de la superficie de ruptura Wr (m)		Volúmen desplazado (m3)		Ondulación													
Fahrböschung (grados)		Longitud de la masa desplazada Ld (m)	35.7	Área inicial (Km2)		Escalonamiento													
Pendiente de ladera en Post-falla (grados)	35.5	Longitud de superficie de ruptura Lr (m)		Área total afectada (Km2)		SEVERIDAD													
Pendiente de ladera en Pre-falla (grados)		Espesor de la masa desplazada Dd (m)		Run up (m)		Leve													
Dirección del movimiento (grados)	SW-NE	Profundidad de superficie de ruptura Dr (m)		Distancia de viaje (Km)		Media													
Azmut de la litud (grados)	47	Longitud total L (m)	44.5			Severa													
INHERENTES				CAUSAS DEL MOVIMIENTO															
Materia plástica débil Materia sensible Materia colapsible Materia meteor. físicamente Materia meteor. químicamente Materia fallada por corte				Materia fisurado y agrietado Deforestación o ausencia de vegetación Orientación de fav. de discontinuidades Contraste de permeabilidad de materiales Contraste de rigidez de materiales Meteoriz. por descongelamiento/deshielo Meteoriz. por expansión/contracción				Movimiento tectónico Sismo M ___ E ___ De ___ P ___ Erupción volcánica Lluvias (mm) 24h ___ 48h ___ 72h ___ Mes ___ Viento Avance/Retroceso de glaciales Rompimiento de lagos en cráteres				Desembalse rápido de presas Erosión pata de litud por glaciares Socavación pata de litud por corrimiento Lluvia Socavación pata de litud por oleaje Socavación de márgenes de ríos Erosión Pluvial Carga en la corona de litud				Mantenimiento deficiente sistema de drenaje Escapes de agua de tuberías Deforestación o ausencia de vegetación Minería Disposición deficiente de estériles/escombros Erosión Fluvial Erosión subteranea (disolución, Irigación)			
NOTA: C: Condicionante, D: Detonante				24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento M: Magnitud E: Escala (Ml, Ms, mb, Mw) De: Distancia del epicentro (Km) P: Profundidad (Km)															



Anexo 6. Ficha de descripción petrográfica de muestras

  Facultad de la Energía, Las Industrias y Recursos Naturales No Renovables Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA					
DATOS GENERALES					
Realizado por	Maritza Cevallos	Nro	1 (COD. 010)		
Fecha	21/11/2022	Ubicación	El Gallo_ Entrada a Jesús María		
Coordenadas	X: 698534.58	Y: 9574996.09	Z: 2013.12		
2. DESCRIPCIÓN PETROLÓGICA					
Tipo de roca	Ígnea (Granodiorita)				
Origen	Plutónico (Intrusivo)				
Color	Café claro con tonalidades blanca y negra y anaranjada (Meteorización)				
Minerales principales	Cuarzo, Feldespato alcalino y Plagioclasa				
Minerales secundarios	Micas biotita y moscovita				
Minerales accesorios	Clorita				
Tamaño de grado	Medio a Grueso				
Textura	Fanerítica				
Cristalinidad	Holocristalina				
Composición Química	Ácida				
Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizada ()	Moderadamente Meteorizada ()	Muy Meteorizado (X)	Completamente Meteorizada ()
Descripción	Roca ígnea, intrusiva, de textura granular de grano medio, compuesto por cristales de plagioclasas blanquecinos, cuarzo lechoso. El alto grado de meteorización provoca que la muestra de mano se desintegre con facilidad.				

  Facultad de la Energía, Las Industrias y Recursos Naturales No Renovables Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA					
DATOS GENERALES					
Realizado por	Maritza Cevallos	Nro	2 (COD. 025)		
Fecha	21/11/2022	Ubicación	El Naranjo		
Coordenadas	X: 697481.55	Y: 9576022.34	Z: 1984.18		
2. DESCRIPCIÓN PETROLÓGICA					
Tipo de roca	Metamórfica (Esquisto)				
Origen	Metamorfismo Regional				
Color	Gris y anaranjada (Meteorización)				
Minerales principales	Cuarzo lechoso y transparente, Feldespato potásico y plagioclasa.				
Minerales secundarios	Micas como biotita y moscovita				
Minerales accesorios	Clorita				
Tamaño de grado	Fino				
Textura	Esquistosidad				
Estructura	Foliada				
Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizada ()	Moderadamente Meteorizada ()	Muy Meteorizado (X)	Completamente Meteorizada ()
Descripción	Roca metamórfica esquistosa de grano fino, compuesto por cristales de cuarzo, feldespato, clorita, biotita y mayor presencia de moscovita. El alto grado de meteorización provoca que la muestra de mano sea débil.				



unl

Facultad de la Energía, Las Industrias y Recursos Naturales No Renovables

Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

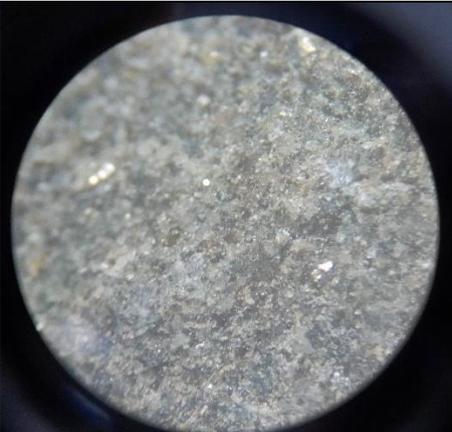
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA



DATOS GENERALES

Realizado por	Maritza Cevallos	Nro	3 (COD. 038)
Fecha	21/11/2022	Ubicación	Entrada al Bunque
Coordenadas	X: 697830.57	Y: 9575808.73	Z: 1981.34

2. DESCRIPCIÓN PETROLÓGICA

Tipo de roca	Ígnea (Metagranodiorita)			
Origen	Ígneo			
Color	Gris oscuro con tonalidad azul.			
Minerales principales	plagioclasas, feldespatos potásicos			
Minerales secundarios	Cuarzo lechoso y hornblenda			
Minerales accesorios	Biotita y moscovita			
Tamaño de grado	Fino a medio			
Textura	fanerítica			
Cristalinidad	Hipocristalino			
Composición química	Intermedia			
Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizada (X)	Moderadamente Meteorizada ()	Muy Meteorizado ()
				Completamente Meteorizada ()
	<i>Descripción</i>			
	Roca metamorfoseada procedente de una roca ígnea de grano fino a medio y color gris oscuro compuesta principalmente de plagioclasas, feldespato, hornblenda, cuarzo lechoso, y micas. En la muestra de mano se observa una orientación de minerales y vetillas de cuarzo lechoso.			
				



unl

Facultad de la Energía, Las Industrias y Recursos Naturales No Renovables

Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

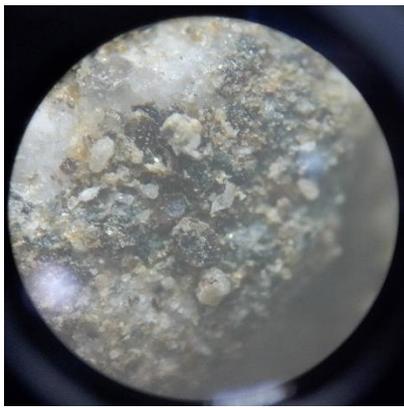
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA



DATOS GENERALES

Realizado por	Maritza Cevallos	Nro	4 (COD. 016)
Fecha	21/11/2022	Ubicación	Illizhapa
Coordenadas	X: 698505.83	Y: 9575222.86	Z: 1987.07

2. DESCRIPCIÓN PETROLÓGICA

Tipo de roca	Ígnea (Diorita)			
Origen	Plutónico (Intrusivo)			
Color	Gris oscuro			
Minerales principales	Plagioclasa sódica, piroxeno, Anfíbol (Hornblenda).			
Minerales secundarios	Micas biotita, cuarzo			
Minerales accesorios	Magnetita			
Tamaño de grado	Medio a Grueso			
Textura	Fanerítica			
Cristalinidad	Holocristalina			
Composición Química	Intermedia			
Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizada ()	Moderadamente Meteorizada (X)	Muy Meteorizado ()
				Completamente Meteorizada ()
<i>Descripción</i>				
Roca ígnea intrusiva de textura granular de grano medio a grueso Fanerítica, compuesto por minerales generalmente oscuros como plagioclasa sódica, piroxenos y hornblenda, con menor porcentaje de cuarzo y feldespatos.				
				

Anexo 7. Registro en campo de resistividades (SEV)

**SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL
ARREGLO SCHLUMBERGER**


ESTSUELCON

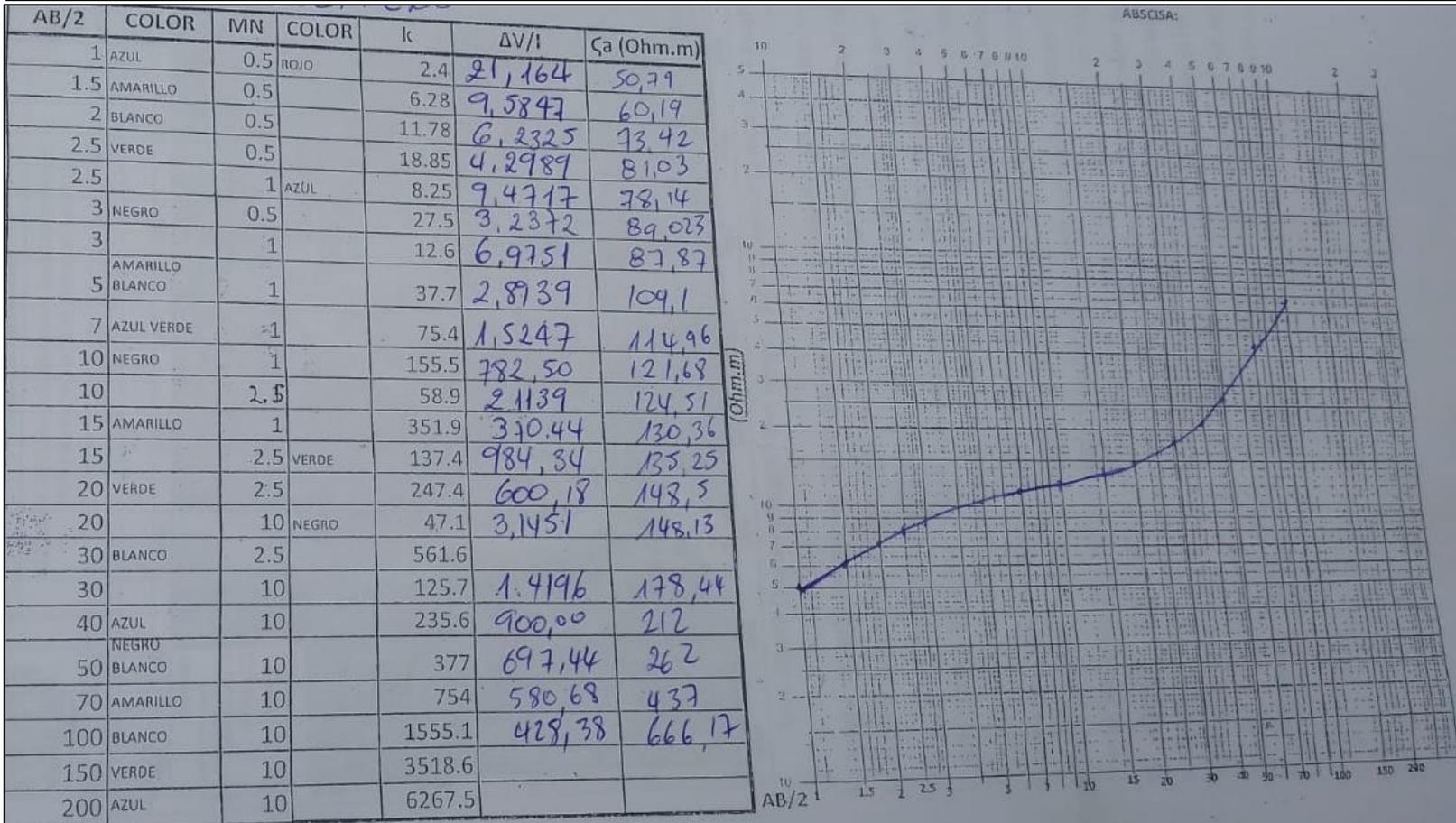
Fecha: _____

Proyecto: **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA VIA ANTIGUA A CUENCA, TRAMO EL GALLO-NARANJO**

Solicita: **SRTA. MARITZA CEVALLOS** SEV: 1

Coordenadas: X: **697015** Y: **9576147** Azimut: E-O

Realizó: **Claudel Guerrero**



**SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL
ARREGLO SCHLUMBERGER**



Fecha:

Proyecto: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA VIA ANTIGUA A CUENCA, TRAMO EL GALLO-NARANJO

Solicita: SRTA. MARITZA CEVALLOS

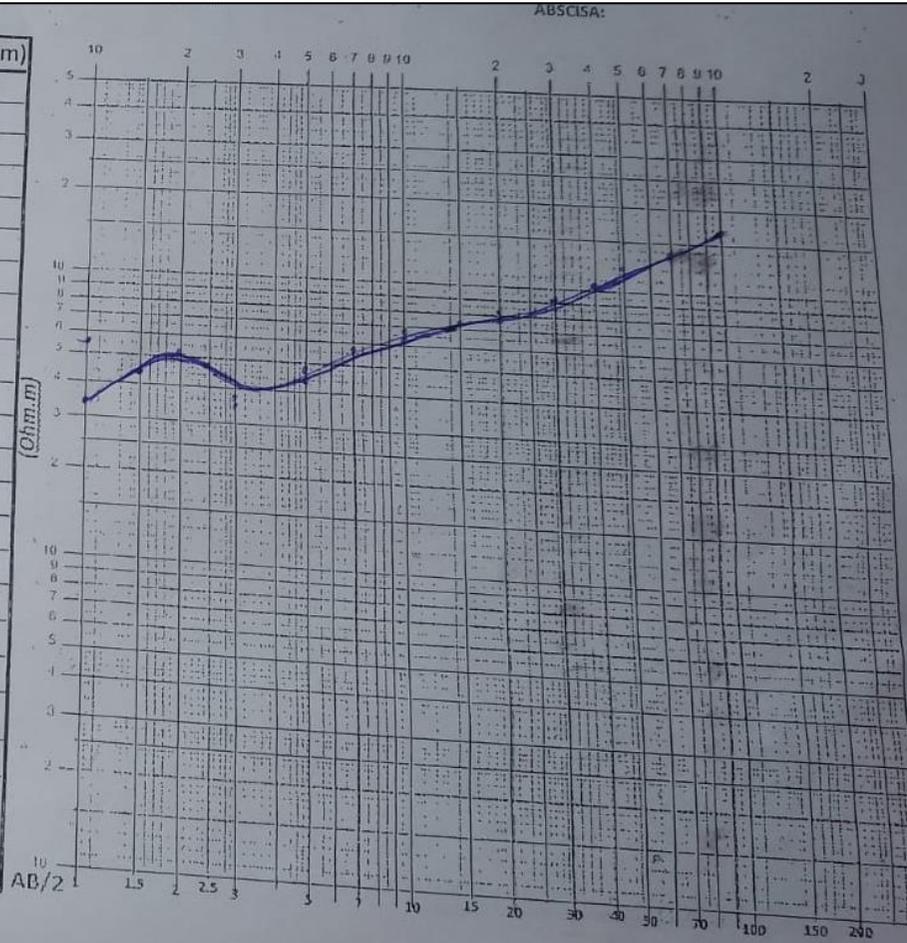
SEV: 2

Coordenadas: X: 697858 Y: 9575806

Azimut: NO-SE

Realizó: Claudel Guerrero

COLOR	MN	COLOR	k	$\Delta V/I$	ζ_a (Ohm.m)
AZUL	0.5	ROJO	2.4	1,4368	3,45
AMARILLO	0.5		6.28	691,39	4,34
BLANCO	0.5		11.78	453,57	5,34
VERDE	0.5		18.85	251,21	4,73
	1	AZÚL	8.25	41,019	338
NEGRO	0.5		27.5	12,673	348
	1		12.6	28,678	361
AMARILLO			37.7	12,397	467
BLANCO	1		75.4	7,5223	567,18
VERDE	1		155.5	4,3624	678,35
	2.5		58.9	10,830	637,89
	1		351.9		
	2.5	VERDE	137.4	5,3944	741,19
	2.5		247.4	3,2441	802,59
	10	NEGRO	47.1	16,577	780,37
	2.5		561.6		
	10		125.7	7,1776	902
	10		235.6	4,5279	1066
	10		377	3,2915	1240
	10		754	1,8075	1362
	10		1555.1	1,0420	1620
	10		3518.6		
	10		6267.5		



**SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL
ARREGLO SCHLUMBERGER**



Fecha:

Proyecto: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA VIA ANTIGUA A CUENCA, TRAMO EL GALLO-NARANJO

Solicita: SRTA. MARITZA CEVALLOS

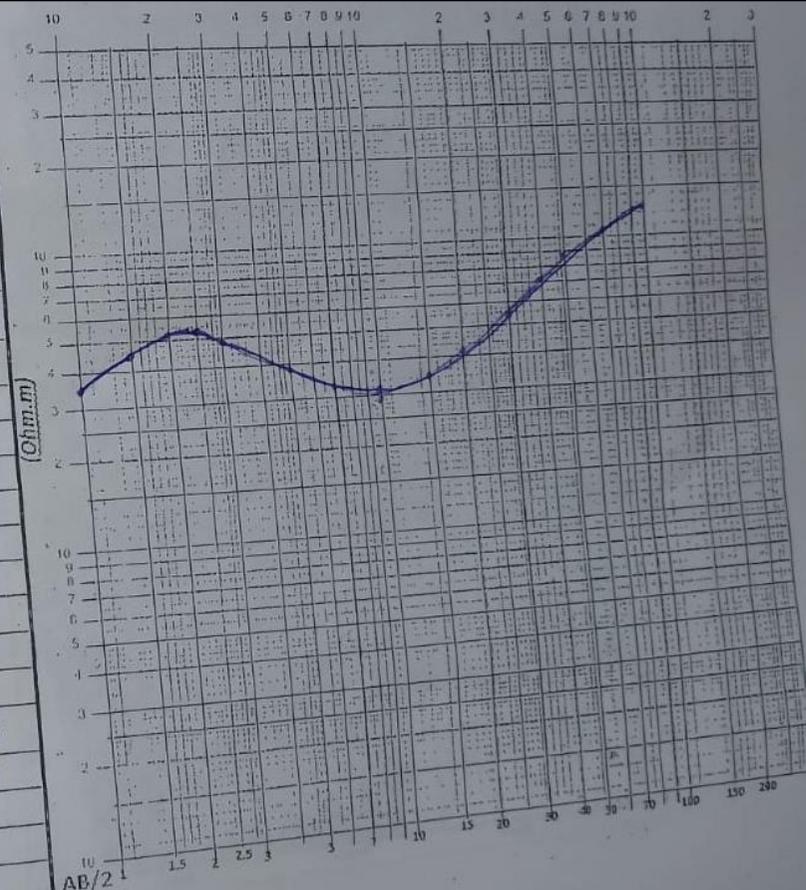
SEV: 3

Coordenadas: X: 698196 Y: 9575649

Azimut: NO-SE

Realizó: Claudel Guerrero

AB/2	COLOR	MN	COLOR	k	$\Delta V/I$	ζ_a (Ohm.m)
1	AZUL	0.5	ROJO	2.4	144,94	347
1.5	AMARILLO	0.5		6.28	72,464	455
2	BLANCO	0.5		11.78	43,272	509
2.5	VERDE	0.5		18.85	27,394	516
2.5		1	AZUL	8.25	63,158	521
3	NEGRO	0.5		27.5	17,250	474
3		1		12.6	38,553	485
5	AMARILLO BLANCO	1		37.7	9,9490	375
7	AZUL VERDE	1		75.4	4,3027	324
10	NEGRO	1		155.5	2,0347	316
10		2.5		58.9	5,0605	298
15	AMARILLO	1		351.9	2,	
15		2.5	VERDE	137.4	2,4986	341
20	VERDE	2.5		247.4	1,6618	411
20		10	NEGRO	47.1	7,0669	332
30	BLANCO	2.5		561.6	4,2	
30		10		125.7	4,2623	535
40	AZUL	10		235.6	3,1235	735
40	NEGRO	10		377	2,3206	875
50	BLANCO	10		754	1,3736	1035
70	AMARILLO	10		1555.1	775,89	
100	BLANCO	10		3518.6		
150	VERDE	10		6267.5		



Anexo 8. Ficha de Descripción de la Calicata geotécnica

 Universidad Nacional de Loja		FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CALICATAS			Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial 			
Proyecto	Caracterización Geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo – Naranjo del cantón y provincia de Loja.			Afloramiento (Foto) 				
Calicata N°	Cal.1		Fecha				10/02/2023	
Ubicación	Barrio El Gallo, Parroquia Santiago		Datum				UTM WGS84	
Coordenadas	X	Y	Z (msnm)					
	698535.54	9574921.45	2066.86					
Descriptor:	Maritza Fernanda Cevallos Valencia							
Descripción de la calicata								
Condiciones climáticas actuales	Soleado con temperatura 20°C	Relieve	Colina Alta					
Vegetación	Moderada (arbustos pequeños y pasto)							
Dimensiones	Profundidad	1.50 m	Ancho				1m x 1m	
	Descripción por estrato							
Estrato 1	Corresponde a suelos orgánicos de color negruzco ligeramente húmedos y de consistencia blanda a firme. Según la clasificación de SUCS es un Limo de baja plasticidad arenoso ML; y según la clasificación de AASHTO es un A-4 Suelo limoso.							
Estrato 2	Con una potencia de 0.20 m son suelos color café claro ligeramente húmedos que según SUCS son suelos areno limosos SM y según AASHTO corresponde a un suelo limoso A-4.							
Estrato 3	Con una potencia indefinida se encuentran un material color café grisáceo con presencia de humedad. Según la clasificación de SUCS corresponde a un Limo de baja plasticidad arenoso ML y según AASHTO a un suelo limoso A-4.							
Observaciones								
El sitio donde se realizó la calicata tiene una pendiente de 55° y corresponde a la parte alta de un antiguo deslizamiento. El material expuesto en la superficie contiguo a la vía está bastante meteorizado.								

Anexo 9. Resumen de los resultados obtenidos de la clasificación de suelos



"DELTA CIA. LTDA."

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

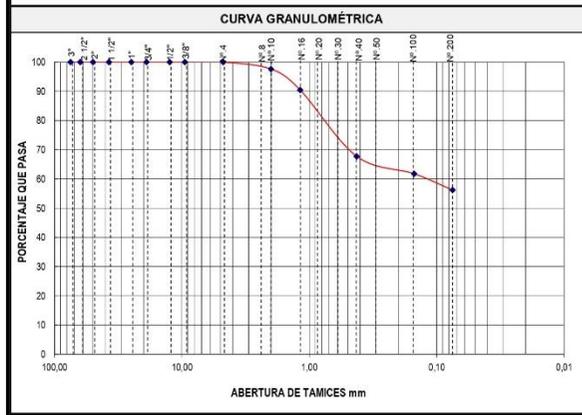
Cel: 0986335585

Cel: 0980080384

PROYECTO	CARACTERIZACIÓN GEOLOGÍA Y GEOTÉCNICA DE LA VÍA ANTIGUA A CUENCA TRAMO EL GALLO - NARANJO		
MUESTRA	ESTRATO N° 1; Profundidad: 20 cm; COLOR NEGRO		FECHA
SOLICITA	SRTA. MARITZA FERNANDA CEVALLOS VALENCIA	UBICACIÓN	TRAMO GALLO - NARANJO, PROVINCIA DE LOJA
			17 de febrero de 2023

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37.5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	0	0	100	
12.5	1/2"	0	0	100	
9.5	3/8"	0	0	100	
4.750	N°4	0	0	100	
	Pasa N°4	3521	100	0	
2.360	N°8				
2.000	N°10	6	2	98	
1.180	N°16	24	10	90	
0.850	N°20				
0.600	N°30				
0.425	N°40	81	32	68	
0.300	N°50				
0.150	N°100	96	38	62	
0.075	N°200	110	44	56.2	
	Pasa N°200	141	56.2		
	TOTAL	3521			

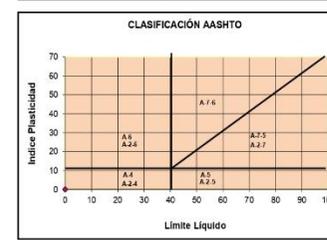
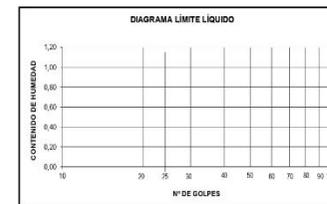
Peso Total de Lavado:	251.00
Peso Total después de Lavado:	110.00



CONTENIDO DE HUMEDAD			
PESO CAP. + SUELO HUM.	PESO CAP. + SUELO SECO	PESO DE CÁPSULA	CONTENIDO DE HUMEDAD
52,58	47,97	17,94	15,20

LÍMITES DE CONSISTENCIA			
LÍMITE LÍQUIDO			
PESO CÁPSULA			
PESO DE CÁPSULA + SUELO HÚMEDO			
PESO CÁPSULA + SUELO SECO			
N° DE GOLPES			
PROMEDIO			
LÍMITE PLÁSTICO			
PESO CÁPSULA			
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO			
PESO CÁPSULA + SUELO SECO			
PROMEDIO			

CLASIFICACIÓN	
Indice de Plasticidad	0,00
D10 (diámetro efectivo)	
D30	
D60	0,3
Coefficiente de Uniformidad	
Grado de Curvatura	
Indice de Grupo	12
Clasificación S.U.C.S.	Limo baja plasticidad arenoso ML
Clasificación AASHTO	A-4 Suelo limoso



ING. MSC. PABLO JIMÉNEZ VEGA
ESPECIALISTA GEOTECNICO



"DELTA CIA. LTDA."

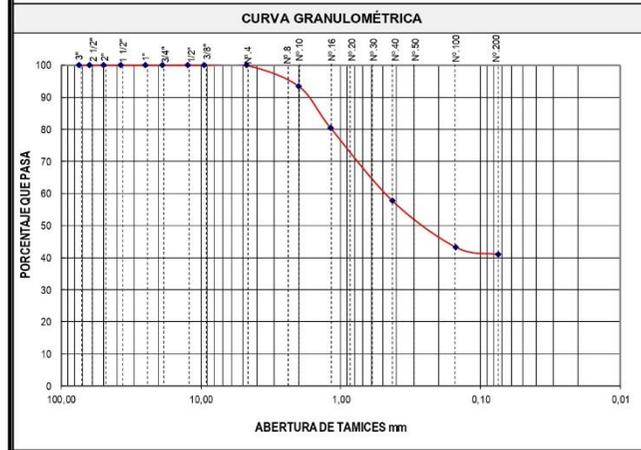
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Cel: 0986335585

Cel: 0980080384

PROYECTO	CARACTERIZACIÓN GEOLOGÍA Y GEOTÉCNICA DE LA VÍA ANTIGUA A CUENCA TRAMO EL GALLO-NARANJO		
MUESTRA	ESTRATO N° 2; Profundidad: 40 cm; COLOR CAFÉ CLARO		FECHA
SOLICITA	SRTA. MARITZA FERNANDA CEVALLOS VALENCIA	UBICACIÓN	TRAMO GALLO - NARANJO, PROVINCIA DE LOJA
			17 de febrero de 2023

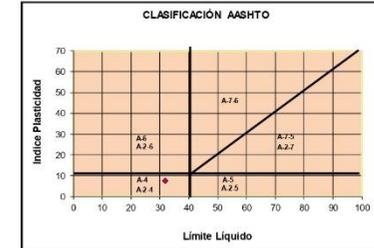
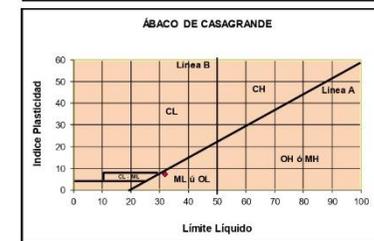
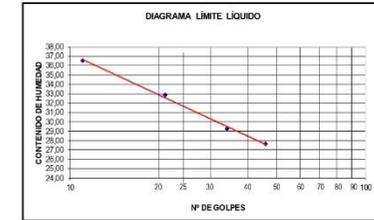
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37.5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	0	0	100	
12.5	1/2"	0	0	100	
9.5	3/8"	0	0	100	
4.750	N°.4	0	0	100	
	Pasa N°.4	2630	100	0	
2.360	N°.8				
2.000	N°.10	14	7	93	
1.180	N°.16	42	20	80	
0.850	N°.20				
0.600	N°.30				
0.425	N°.40	91	42	58	
0.300	N°.50				
0.150	N°.100	122	57	43	
0.075	N°.200	127	59	40.9	
	Pasa N°.200	88	40.9		
	TOTAL	2630			
	Peso Total de Lavado:		215.00		
	Peso Total después de Lavado:		127.00		



CONTENIDO DE HUMEDAD			
PESO CAP. + SUELO HUM.	PESO CAP. + SUELO SECO	PESO DE CÁPSULA	CONTENIDO DE HUMEDAD
55,83	51,86	18,11	11,80

LÍMITES DE CONSISTENCIA				
LÍMITE LÍQUIDO				
PESO CÁPSULA	17,98	16,67	17,99	17,84
PESO DE CÁPSULA + SUELO HÚMEDO	24,89	24,76	25,41	24,26
PESO CÁPSULA + SUELO SECO	23,04	22,76	23,73	22,87
N° DE GOLPES	11	21	34	46
PROMEDIO	31,90			
LÍMITE PLÁSTICO				
PESO CÁPSULA	10,32	10,52	9,80	
PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO	10,83	11,03	10,56	
PESO CÁPSULA + SUELO SECO	10,73	10,93	10,41	
PROMEDIO	24,46			

CLASIFICACIÓN	
Índice de Plasticidad	7,44
D10 (diámetro efectivo)	
D30	
D60	0,48
Coefficiente de Uniformidad	
Grado de Curvatura	
Índice de Grupo	1
Clasificación S.U.C.S.	<i>Arena limosa SM</i>
Clasificación AASHTO	<i>A-4 Suelo limoso</i>



ING. MSC. PABLO JIMÉNEZ VEGA
ESPECIALISTA GEOTECNICO



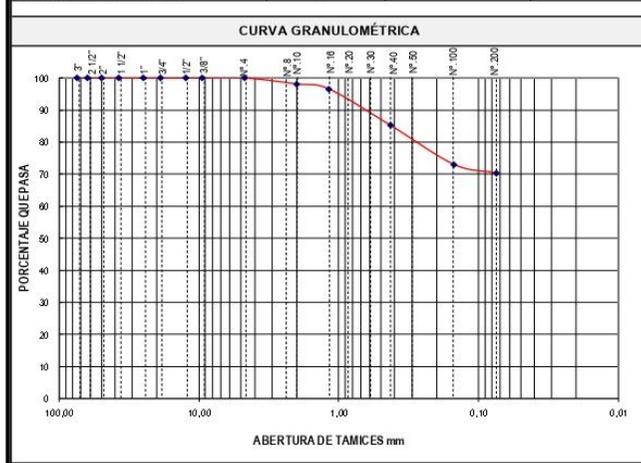
"DELTA CIA. LTDA."

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Cel: 0986335585
Cel: 0980080384

PROYECTO	CARACTERIZACIÓN GEOLOGÍA Y GEOTÉCNICA DE LA VÍA ANTIGUA A CUENCA TRAMO EL GALLO - NARANJO	
MUESTRA	ESTRATO N° 3; Profundidad: 90 cm; COLOR CAFÉ CLARO	FECHA
SOLICITA	SRTA. MARITZA FERNANDA CEVALLOS VALENCIA	17 de febrero de 2023
	UBICACIÓN	TRAMO GALLO - NARANJO, PROVINCIA DE LOJA

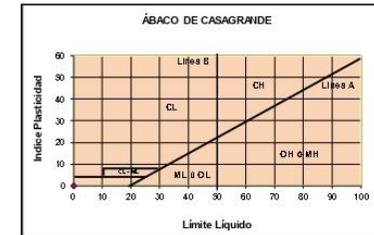
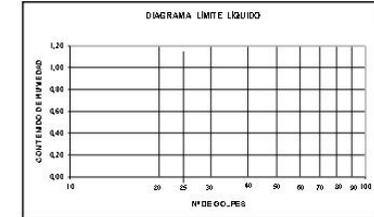
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
MCR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37.5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	0	0	100	
12.5	1/2"	0	0	100	
9.5	3/8"	0	0	100	
4.750	N° 4	0	0	100	
	Pasa N° 4	2572	100	0	
2.360	N° 8				
2.000	N° 10	5	2	98	
1.180	N° 16	9	3	97	
0.850	N° 20				
0.600	N° 30				
0.425	N° 40	39	15	85	
0.300	N° 50				
0.150	N° 100	71	27	73	
0.075	N° 200	78	30	70.3	
	Pasa N° 200	185	70.3		
	TOTAL	2572			
	Peso Total de Lavado:	283.00			
	Peso Total después de Lavado:	78.00			



CONTENIDO DE HUMEDAD			
PESO CÁP. + SUELO HUM.	PESO CAP.+ SUELO SECO	PESO DE CÁPSULA	CONTENIDO DE HUMEDAD
53,37	47,26	18,06	20,66

LÍMITES DE CONSISTENCIA			
LÍMITE LÍQUIDO			
PESO CÁPSULA			
PESO DE CÁPSULA + SUELO HÚMEDO			
PESO CÁPSULA+ SUELO SECO			
N° DE GOLPES			
PROMEDIO			
LÍMITE PLÁSTICO			
PESO CÁPSULA			
PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO			
PESO CÁPSULA + SUELO SECO			
PROMEDIO			

CLASIFICACIÓN	
Índice de Plasticidad	0,00
D10 (diámetro efectivo)	
D30	
D60	
Coefficiente de Uniformidad	
Grado de Curvatura	
Índice de Grupo	15
Clasificación S.U.C.S.	<i>Limo baja plasticidad con arena ML</i>
Clasificación AASHTO	<i>A-4 Suelo limoso</i>



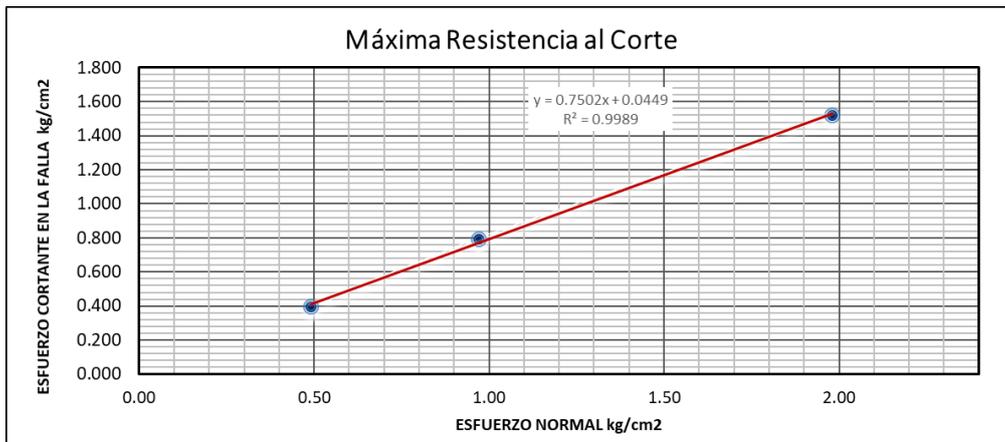
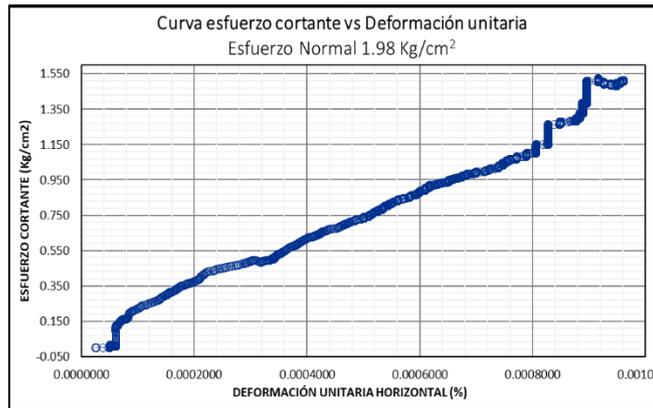
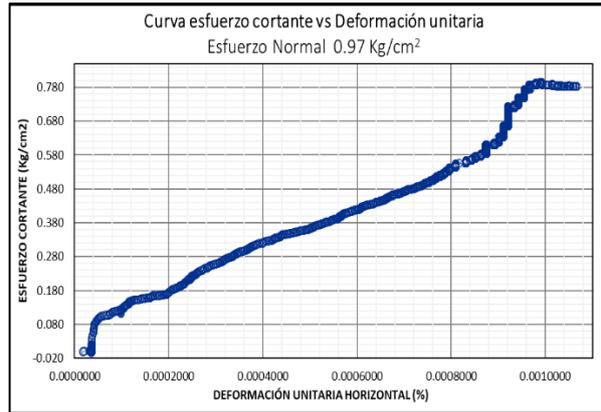
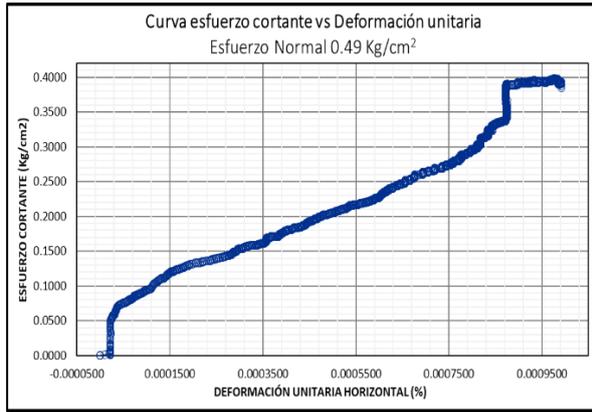
ING. MSC. PABLO JIMÉNEZ VEGA
ESPECIALISTA GEOTECNICO

Anexo 10. Ensayos de corte directo de la muestra de suelo

ENSAYO DE CORTE DIRECTO																	
Proyecto:		Caracterización geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca tramo el Gallo-Naranja del cantón y provincia de Loja															
Localización		Tramo El Gallo-Ilizhapa coordenada x: 698484; y: 9575215; z: 2011							COD muestra		CDMM04						
Descripción del suelo		Limo arenoso							Profundidad:		1.5 m						
Ensayo:		1			Carga aplicada:			1.75 Kg			Esfuerzo normal aplicado kg/cm²:		0.49				
DATOS DEL ENSAYO																	
Peso anillo (gr):		59.50		Altura muestra inicial (cm):		1.50		Diametro (cm):		6.00		W cap		Wcap+5H		Wcap+5S	
Peso anillo + muestra (gr):		167.00		Altura muestra final (cm):		1.70		Area (cm²):		36.00		18.29		81.25		75.36	
Peso muestra inicial (gr):		107.50						Densidad (gr/cm³):		2.61		Humedad W%		7.816			
Cosolidación		Tiempo	Deformación	Tiempo min.	Lect. Deform. Horizontal mm	Lect. Deform. Vertical mm	Deform. Unitaria		Deformación (%)		Fuerza (N)	Esfuerzo Cortante Kgf/cm ²					
							Horiz.	Vertic.	Horiz.	Vertic.							
00.00.00.00	-	0.008	0.000	-0.001	0.00000000	-0.00000067	0.00000000	-0.0000067	0.00	0.0000							
00.00.00.01	-	0.013	0.000	-0.001	0.00000000	-0.00000067	0.00000000	-0.0000067	0.00	0.0000							
00.00.00.01	-	0.018	0.000	-0.001	0.00000000	-0.00000067	0.00000000	-0.0000067	0.00	0.0000							
00.00.00.01	-	0.023	0.000	0.000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00	0.0000							
00.00.00.02	-	0.027	0.006	0.000	0.00000100	0.00000000	0.0000100	0.0000000	0.50	0.0014							
00.00.00.02	-	0.032	0.012	0.002	0.00000200	0.00000133	0.0000200	0.0000133	1.30	0.0037							
00.00.00.02	-	0.037	0.013	0.004	0.00000217	0.00000267	0.0000217	0.0000267	2.40	0.0068							
00.00.00.03	-	0.042	0.013	0.005	0.00000217	0.00000333	0.0000217	0.0000333	3.00	0.0085							
00.00.00.03	-	0.047	0.013	0.006	0.00000217	0.00000400	0.0000217	0.0000400	3.00	0.0085							
00.00.00.03	-	0.052	0.013	0.006	0.00000217	0.00000400	0.0000217	0.0000400	3.00	0.0085							
00.00.00.03	-	0.057	0.013	0.007	0.00000217	0.00000467	0.0000217	0.0000467	4.20	0.0119							
00.00.00.04	-	0.062	0.013	0.009	0.00000217	0.00000600	0.0000217	0.0000600	5.00	0.0142							
00.00.00.04	-	0.066	0.013	0.010	0.00000217	0.00000667	0.0000217	0.0000667	5.50	0.0156							
00.00.00.04	-	0.071	0.013	0.011	0.00000217	0.00000733	0.0000217	0.0000733	5.70	0.0161							
00.00.00.05	-	0.076	0.013	0.011	0.00000217	0.00000733	0.0000217	0.0000733	5.70	0.0161							
00.00.00.05	-	0.081	0.013	0.012	0.00000217	0.00000800	0.0000217	0.0000800	5.20	0.0147							
00.00.00.05	-	0.086	0.013	0.011	0.00000217	0.00000733	0.0000217	0.0000733	3.00	0.0085							
00.00.00.05	-	0.091	0.013	0.010	0.00000217	0.00000667	0.0000217	0.0000667	1.80	0.0051							
00.00.00.06	-	0.096	0.013	0.010	0.00000217	0.00000667	0.0000217	0.0000667	1.80	0.0051							
00.00.00.06	-	0.100	0.013	0.009	0.00000217	0.00000600	0.0000217	0.0000600	1.00	0.0028							
00.00.00.06	-	0.105	0.013	0.009	0.00000217	0.00000600	0.0000217	0.0000600	0.50	0.0014							
00.00.00.07	-	0.110	0.013	0.009	0.00000217	0.00000600	0.0000217	0.0000600	0.30	0.0008							
00.00.00.07	-	0.115	0.013	0.009	0.00000217	0.00000600	0.0000217	0.0000600	0.30	0.0008							
00.00.00.07	-	0.120	0.013	0.009	0.00000217	0.00000600	0.0000217	0.0000600	0.30	0.0008							
00.00.00.07	-	0.125	0.013	0.008	0.00000217	0.00000533	0.0000217	0.0000533	0.50	0.0014							
00.00.00.08	-	0.130	0.013	0.008	0.00000217	0.00000533	0.0000217	0.0000533	0.80	0.0023							
00.00.00.08	-	0.134	0.013	0.008	0.00000217	0.00000533	0.0000217	0.0000533	0.80	0.0023							
00.00.00.08	-	0.139	0.013	0.008	0.00000217	0.00000533	0.0000217	0.0000533	1.70	0.0048							
00.00.00.09	-	0.144	0.013	0.008	0.00000217	0.00000533	0.0000217	0.0000533	2.50	0.0071							
00.00.00.09	-	0.149	0.013	0.009	0.00000217	0.00000600	0.0000217	0.0000600	3.00	0.0085							
00.00.00.09	-	0.154	0.013	0.010	0.00000217	0.00000667	0.0000217	0.0000667	3.00	0.0085							
00.00.00.10	-	0.159	0.013	0.010	0.00000217	0.00000667	0.0000217	0.0000667	3.00	0.0085							
00.00.00.10	-	0.164	0.013	0.010	0.00000217	0.00000667	0.0000217	0.0000667	3.00	0.0085							
00.00.00.10	-	0.168	0.013	0.010	0.00000217	0.00000667	0.0000217	0.0000667	3.20	0.0091							
00.00.00.10	-	0.173	0.013	0.012	0.00000217	0.00000800	0.0000217	0.0000800	4.40	0.0125							
00.00.00.11	-	0.178	0.013	0.012	0.00000217	0.00000800	0.0000217	0.0000800	4.40	0.0125							
00.00.00.11	-	0.183	0.013	0.013	0.00000217	0.00000867	0.0000217	0.0000867	5.70	0.0161							
00.00.00.11	-	0.188	0.013	0.015	0.00000217	0.00001000	0.0000217	0.0001000	6.70	0.0190							
00.00.00.12	-	0.193	0.013	0.020	0.00000217	0.00001333	0.0000217	0.0001333	7.90	0.0224							
00.00.00.12	-	0.198	0.013	0.020	0.00000217	0.00001333	0.0000217	0.0001333	7.90	0.0224							
00.00.00.12	-	0.203	0.013	0.023	0.00000217	0.00001533	0.0000217	0.0001533	8.70	0.0246							
00.00.00.12	-	0.207	0.013	0.028	0.00000217	0.00001867	0.0000217	0.0001867	9.60	0.0272							
00.00.00.13	-	0.212	0.013	0.033	0.00000217	0.00002200	0.0000217	0.0002200	10.20	0.0289							
00.00.00.13	-	0.217	0.014	0.035	0.00000233	0.00002333	0.0000233	0.0002333	11.10	0.0314							
00.00.00.13	-	0.222	0.014	0.035	0.00000233	0.00002333	0.0000233	0.0002333	11.10	0.0314							
00.00.00.14	-	0.227	0.014	0.037	0.00000233	0.00002467	0.0000233	0.0002467	11.80	0.0334							
00.00.00.14	-	0.232	0.013	0.038	0.00000217	0.00002533	0.0000217	0.0002533	12.30	0.0348							
00.00.00.14	-	0.237	0.013	0.040	0.00000217	0.00002667	0.0000217	0.0002667	12.90	0.0365							
00.00.00.14	-	0.241	0.013	0.040	0.00000217	0.00002667	0.0000217	0.0002667	12.90	0.0365							
00.00.00.15	-	0.246	0.013	0.041	0.00000217	0.00002733	0.0000217	0.0002733	13.40	0.0379							
00.00.00.15	-	0.251	0.013	0.043	0.00000217	0.00002867	0.0000217	0.0002867	14.10	0.0399							
00.00.00.15	-	0.256	0.013	0.046	0.00000217	0.00003067	0.0000217	0.0003067	14.60	0.0413							
00.00.00.16	-	0.261	0.013	0.046	0.00000217	0.00003067	0.0000217	0.0003067	14.60	0.0413							
00.00.00.16	-	0.266	0.013	0.050	0.00000217	0.00003333	0.0000217	0.0003333	15.10	0.0428							
00.00.00.16	-	0.271	0.013	0.053	0.00000217	0.00003533	0.0000217	0.0003533	15.60	0.0442							
00.00.00.17	-	0.275	0.013	0.055	0.00000217	0.00003667	0.0000217	0.0003667	16.10	0.0456							
00.00.00.17	-	0.280	0.013	0.060	0.00000217	0.00004000	0.0000217	0.0004000	16.60	0.0470							
00.00.00.17	-	0.285	0.013	0.060	0.00000217	0.00004000	0.0000217	0.0004000	16.60	0.0470							
00.00.00.17	-	0.290	0.013	0.063	0.00000217	0.00004200	0.0000217	0.0004200	17.00	0.0481							
00.00.00.18	-	0.295	0.013	0.068	0.00000217	0.00004533	0.0000217	0.0004533	17.50	0.0496							
00.00.00.18	-	0.300	0.014	0.072	0.00000233	0.00004800	0.0000233	0.0004800	18.00	0.0510							
00.00.00.18	-	0.305	0.014	0.072	0.00000233	0.00004800	0.0000233	0.0004800	18.00	0.0510							
00.00.00.19	-	0.310	0.014	0.078	0.00000233	0.00005200	0.0000233	0.0005200	18.50	0.0524							
00.00.00.19	-	0.314	0.015	0.083	0.00000250	0.00005533	0.0000250	0.0005533	18.60	0.0527							
00.00.00.19	-	0.319	0.015	0.090	0.00000250	0.00006000	0.0000250	0.0006000	19.10	0.0541							
00.00.00.19	-	0.324	0.015	0.090	0.00000250	0.00006000	0.0000250	0.0006000	19.10	0.0541							
00.00.00.20	-	0.329	0.015	0.097	0.00000250	0.00006467	0.0000250	0.0006467	19.50	0.0552							
00.00.00.20	-	0.334	0.016	0.103	0.00000267	0.00006867	0.0000267	0.0006867	19.80	0.0561							
00.00.00.20	-	0.339	0.016	0.111	0.00000267	0.00007400	0.0000267	0.0007400	20.20	0.0572							
00.00.00.21	-	0.344	0.016	0.111	0.00000267	0.00007400	0.0000267	0.0007400	20.20	0.0572							
00.00.00.21	-	0.348	0.017	0.116	0.00000283	0.00007733	0.0000283	0.0007733	20.30	0.0575							
00.00.00.21	-	0.353	0.018	0.120	0.00000300	0.00008000	0.0000300	0.0008000	20.70	0.0586							
00.00.00.21	-	0.358	0.019	0.123	0.00000317	0.00008200	0.0000317	0.0008200	20.80	0.0589							
00.00.00.22	-	0.363	0.019	0.127	0.00000317	0.00008467	0.0000317	0.0008467	21.30	0.0603							
00.00.00.22	-	0.368	0.019	0.127	0.00000317	0.00008467	0.0000317	0.0008467	21.30	0.0603							
00.00.00.22	-	0.373	0.019	0.133	0.00000317	0.00008867	0.0000317	0.0008867	21.50	0.0609							
00.00.00.23	-	0.378	0.019	0.136	0.00000317	0.00009067	0.0000317	0.0009067	21.80	0.0617							
00.00.00.23	-	0.382	0.020	0.142	0.00000333	0.00009467	0.0000333	0.0009467	22.00	0.0623							

ENSAYO DE CORTE DIRECTO											
Proyecto:	Caracterización geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca tramo el Gallo-Naranja del cantón y provincia de Loja										
Localización	Tramo El Gallo-Illizhapa coordenada x: 698484; y: 9575215; z: 2011							COD muestra	CDMM04		
Descripción del suelo	Limo arenoso							Profundidad:	1.5 m		
Ensayo:	2	Carga aplicada:				3.5 Kg		Esfuerzo normal aplicado kg/cm ² : 0.97			
DATOS DEL ENSAYO											
Peso anillo (gr):	59.50	Altura muestra inicial (cm):		1.50	Diámetro (cm):		6.00	W cap	Wcap+SH	Wcap+SS	
Peso anillo + muestra (gr):	174.00	Altura muestra final (cm):		1.70	Área (cm ²):		36.00	18.29	81.25	75.36	
Peso muestra inicial (gr):	114.50				Densidad (gr/cm ³):		2.61	Humedad W%		7.816	
Cosolidación		Tiempo min.	Lect. Deform. Horizontal mm	Lect. Deform. Vertical mm	Deform. Unitaria		Deformación (%)		Fuerza (N)	Esfuerzo Cortante Kg/cm ²	
Tiempo	Deformación				Horiz.	Vertic.	Horiz.	Vertic.			
00.00.00.00	-	0.007	0.010	0.001	0.0000167	0.0000067	0.0000167	0.000067	0.00	0.0000	
00.00.00.01	-	0.013	0.011	0.002	0.0000183	0.0000133	0.0000183	0.0000133	0.20	0.0006	
00.00.00.01	-	0.019	0.011	0.002	0.0000183	0.0000133	0.0000183	0.0000133	0.00	0.0000	
00.00.00.01	-	0.024	0.011	0.002	0.0000183	0.0000133	0.0000183	0.0000133	0.00	0.0000	
00.00.00.02	-	0.029	0.013	0.002	0.0000217	0.0000133	0.0000217	0.0000133	0.20	0.0006	
00.00.00.02	-	0.033	0.019	0.002	0.0000317	0.0000133	0.0000317	0.0000133	0.20	0.0006	
00.00.00.02	-	0.038	0.021	0.002	0.0000350	0.0000133	0.0000350	0.0000133	0.00	0.0000	
00.00.00.03	-	0.043	0.020	0.002	0.0000333	0.0000133	0.0000333	0.0000133	0.00	0.0000	
00.00.00.03	-	0.048	0.020	0.001	0.0000333	0.0000067	0.0000333	0.000067	0.20	0.0006	
00.00.00.03	-	0.053	0.020	0.001	0.0000333	0.0000067	0.0000333	0.000067	0.50	0.0014	
00.00.00.04	-	0.059	0.020	0.001	0.0000333	0.0000067	0.0000333	0.000067	1.50	0.0042	
00.00.00.04	-	0.065	0.020	0.002	0.0000333	0.0000133	0.0000333	0.0000133	2.20	0.0062	
00.00.00.04	-	0.071	0.020	0.002	0.0000333	0.0000133	0.0000333	0.0000133	1.70	0.0048	
00.00.00.05	-	0.076	0.020	0.002	0.0000333	0.0000133	0.0000333	0.0000133	1.50	0.0042	
00.00.00.05	-	0.080	0.020	0.002	0.0000333	0.0000133	0.0000333	0.0000133	1.50	0.0042	
00.00.00.05	-	0.085	0.020	0.003	0.0000333	0.0000200	0.0000333	0.0000200	1.50	0.0042	
00.00.00.05	-	0.090	0.020	0.003	0.0000333	0.0000200	0.0000333	0.0000200	1.50	0.0042	
00.00.00.06	-	0.095	0.021	0.003	0.0000350	0.0000200	0.0000350	0.0000200	1.70	0.0048	
00.00.00.06	-	0.100	0.021	0.003	0.0000350	0.0000200	0.0000350	0.0000200	1.70	0.0048	
00.00.00.06	-	0.105	0.021	0.004	0.0000350	0.0000267	0.0000350	0.0000267	1.70	0.0048	
00.00.00.07	-	0.110	0.021	0.003	0.0000350	0.0000200	0.0000350	0.0000200	1.70	0.0048	
00.00.00.07	-	0.115	0.021	0.003	0.0000350	0.0000200	0.0000350	0.0000200	1.70	0.0048	
00.00.00.07	-	0.120	0.021	0.003	0.0000350	0.0000200	0.0000350	0.0000200	1.70	0.0048	
00.00.00.07	-	0.124	0.022	0.002	0.0000367	0.0000133	0.0000367	0.0000133	1.50	0.0042	
00.00.00.08	-	0.129	0.021	0.002	0.0000350	0.0000133	0.0000350	0.0000133	1.70	0.0048	
00.00.00.08	-	0.134	0.021	0.002	0.0000350	0.0000133	0.0000350	0.0000133	1.70	0.0048	
00.00.00.08	-	0.139	0.021	0.002	0.0000350	0.0000133	0.0000350	0.0000133	1.70	0.0048	
00.00.00.09	-	0.144	0.021	0.002	0.0000350	0.0000133	0.0000350	0.0000133	1.50	0.0042	
00.00.00.09	-	0.149	0.021	0.002	0.0000350	0.0000133	0.0000350	0.0000133	1.30	0.0037	
00.00.00.09	-	0.154	0.021	0.002	0.0000350	0.0000133	0.0000350	0.0000133	1.20	0.0034	
00.00.00.10	-	0.158	0.021	0.002	0.0000350	0.0000133	0.0000350	0.0000133	0.70	0.0020	
00.00.00.10	-	0.163	0.021	0.002	0.0000350	0.0000133	0.0000350	0.0000133	0.70	0.0020	
00.00.00.10	-	0.168	0.021	0.003	0.0000350	0.0000200	0.0000350	0.0000200	0.00	0.0000	
00.00.00.10	-	0.173	0.021	0.003	0.0000350	0.0000200	0.0000350	0.0000200	-0.20	-0.0006	
00.00.00.11	-	0.179	0.021	0.003	0.0000350	0.0000200	0.0000350	0.0000200	0.00	0.0000	
00.00.00.11	-	0.184	0.021	0.003	0.0000350	0.0000200	0.0000350	0.0000200	0.00	0.0000	
00.00.00.11	-	0.189	0.021	0.003	0.0000350	0.0000200	0.0000350	0.0000200	0.00	0.0000	
00.00.00.12	-	0.194	0.022	0.003	0.0000367	0.0000200	0.0000367	0.0000200	-0.20	-0.0006	
00.00.00.12	-	0.199	0.022	0.003	0.0000367	0.0000200	0.0000367	0.0000200	-0.20	-0.0006	
00.00.00.12	-	0.204	0.022	0.002	0.0000367	0.0000133	0.0000367	0.0000133	-0.50	-0.0014	
00.00.00.13	-	0.209	0.022	0.002	0.0000367	0.0000133	0.0000367	0.0000133	-0.50	-0.0014	
00.00.00.13	-	0.214	0.022	0.002	0.0000367	0.0000133	0.0000367	0.0000133	-0.50	-0.0014	
00.00.00.13	-	0.219	0.022	0.002	0.0000367	0.0000133	0.0000367	0.0000133	-0.70	-0.0020	
00.00.00.13	-	0.224	0.021	0.001	0.0000350	0.0000067	0.0000350	0.0000067	-0.70	-0.0020	
00.00.00.14	-	0.229	0.021	0.001	0.0000350	0.0000067	0.0000350	0.0000067	-0.70	-0.0020	
00.00.00.14	-	0.234	0.021	0.001	0.0000350	0.0000067	0.0000350	0.0000067	-0.70	-0.0020	
00.00.00.14	-	0.239	0.021	0.001	0.0000350	0.0000067	0.0000350	0.0000067	-0.70	-0.0020	
00.00.00.15	-	0.244	0.021	0.002	0.0000350	0.0000133	0.0000350	0.0000133	-0.50	-0.0014	
00.00.00.15	-	0.249	0.021	0.002	0.0000350	0.0000133	0.0000350	0.0000133	0.00	0.0000	
00.00.00.15	-	0.254	0.021	0.003	0.0000350	0.0000200	0.0000350	0.0000200	0.80	0.0023	
00.00.00.16	-	0.259	0.021	0.003	0.0000350	0.0000200	0.0000350	0.0000200	0.80	0.0023	
00.00.00.16	-	0.264	0.021	0.003	0.0000350	0.0000200	0.0000350	0.0000200	1.80	0.0051	
00.00.00.16	-	0.269	0.021	0.004	0.0000350	0.0000267	0.0000350	0.0000267	2.40	0.0068	
00.00.00.16	-	0.274	0.022	0.004	0.0000367	0.0000267	0.0000367	0.0000267	2.70	0.0076	
00.00.00.17	-	0.279	0.022	0.004	0.0000367	0.0000267	0.0000367	0.0000267	2.70	0.0076	
00.00.00.17	-	0.283	0.022	0.005	0.0000367	0.0000333	0.0000367	0.0000333	3.90	0.0110	
00.00.00.17	-	0.289	0.022	0.006	0.0000367	0.0000400	0.0000367	0.0000400	4.00	0.0113	
00.00.00.18	-	0.294	0.022	0.005	0.0000367	0.0000333	0.0000367	0.0000333	4.00	0.0113	
00.00.00.18	-	0.299	0.022	0.005	0.0000367	0.0000333	0.0000367	0.0000333	4.00	0.0113	
00.00.00.18	-	0.304	0.022	0.004	0.0000367	0.0000267	0.0000367	0.0000267	4.00	0.0113	
00.00.00.19	-	0.309	0.022	0.004	0.0000367	0.0000267	0.0000367	0.0000267	4.00	0.0113	
00.00.00.19	-	0.314	0.022	0.004	0.0000367	0.0000267	0.0000367	0.0000267	4.00	0.0113	
00.00.00.19	-	0.319	0.022	0.004	0.0000367	0.0000267	0.0000367	0.0000267	4.00	0.0113	
00.00.00.19	-	0.324	0.022	0.004	0.0000367	0.0000267	0.0000367	0.0000267	4.00	0.0113	
00.00.00.20	-	0.329	0.022	0.004	0.0000367	0.0000267	0.0000367	0.0000267	4.00	0.0113	
00.00.00.20	-	0.333	0.022	0.005	0.0000367	0.0000333	0.0000367	0.0000333	4.00	0.0113	
00.00.00.20	-	0.338	0.021	0.005	0.0000350	0.0000333	0.0000350	0.0000333	4.00	0.0113	
00.00.00.21	-	0.343	0.021	0.006	0.0000350	0.0000400	0.0000350	0.0000400	4.00	0.0113	
00.00.00.21	-	0.348	0.021	0.006	0.0000350	0.0000400	0.0000350	0.0000400	4.00	0.0113	
00.00.00.21	-	0.353	0.021	0.006	0.0000350	0.0000400	0.0000350	0.0000400	4.40	0.0125	
00.00.00.22	-	0.359	0.022	0.007	0.0000367	0.0000467	0.0000367	0.0000467	5.70	0.0161	
00.00.00.22	-	0.364	0.022	0.008	0.0000367	0.0000533	0.0000367	0.0000533	6.40	0.0181	
00.00.00.22	-	0.369	0.022	0.009	0.0000367	0.0000600	0.0000367	0.0000600	6.70	0.0190	
00.00.00.22	-	0.374	0.022	0.009	0.0000367	0.0000600	0.0000367	0.0000600	6.70	0.0190	
00.00.00.23	-	0.378	0.022	0.009	0.0000367	0.0000600	0.0000367	0.0000600	6.70	0.0190	
00.00.00.23	-	0.383	0.022	0.009	0.0000367	0.0000600	0.0000367	0.0000600	6.50	0.0184	
00.00.00.23	-	0.388	0.022	0.009	0.0000367	0.0000600	0.0000367	0.0000600	6.50	0.0184	
00.00.00.24	-	0.393	0.022	0.009	0.0000367	0.0000600	0.0000367	0.0000600	6.50	0.0184	
00.00.00.24	-	0.398	0.022	0.009	0.0000367	0.0000600	0.0000367	0.0000600	6.50	0.0184	
00.00.00.24	-	0.403	0.022	0.008	0.0000367	0.0000533	0.0000367	0.0000533	6.70	0.0190	

ENSAYO DE CORTE DIRECTO											
Proyecto:	Caracterización geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca tramo el Gallo-Naranjo del cantón y provincia de Loja										
Localización	Tramo El Gallo-Illizhapa coordenada x: 698484; y: 9575215; z: 2011							COD muestra		CDMM04	
Descripción del suelo	Limo arenoso							Profundidad:		1.5 m	
Ensayo:	3	Carga aplicada:		7 Kg				Esfuerzo normal aplicado kg/cm ² :		1.98	
DATOS DEL ENSAYO											
Peso anillo (gr):	59.50	Altura muestra inicial (cm):	1.50	Diametro (cm):	6.00	W cap	18.29	Wcap+SH	81.25	Wcap+SS	75.36
Peso anillo + muestra (gr):	174.00	Altura muestra final (cm):	1.70	Area (cm ²):	36.00						
Peso muestra inicial (gr):	114.50			Densidad (gr/cm ³):	2.61			Humedad W%		7.816	
Cosolidación		Tiempo min.	Lect. Deform. Horizontal mm	Lect. Deform. Vertical mm	Deform. Unitaria		Deformación (%)		Fuerza (N)	Esfuerzo Cortante Kg/cm ²	
Tiempo	Deformación				Horiz.	Vertic.	Horiz.	Vertic.			
00.00.00.01	-	0.010	0.015	-0.001	0.00000250	-0.00000067	0.0000250	-0.0000067	-0.20	-0.0006	
00.00.00.01	-	0.016	0.015	-0.002	0.00000250	-0.00000133	0.0000250	-0.0000133	-0.20	-0.0006	
00.00.00.01	-	0.022	0.015	-0.002	0.00000250	-0.00000133	0.0000250	-0.0000133	-0.20	-0.0006	
00.00.00.02	-	0.028	0.015	-0.002	0.00000250	-0.00000133	0.0000250	-0.0000133	-0.20	-0.0006	
00.00.00.02	-	0.034	0.016	-0.002	0.00000267	-0.00000133	0.0000267	-0.0000133	0.00	0.0000	
00.00.00.02	-	0.040	0.023	-0.001	0.00000383	-0.00000067	0.0000383	-0.0000067	0.20	0.0006	
00.00.00.03	-	0.046	0.029	-0.001	0.00000483	-0.00000067	0.0000483	-0.0000067	0.50	0.0014	
00.00.00.03	-	0.052	0.030	0.000	0.00000500	0.00000000	0.0000500	0.0000000	1.30	0.0037	
00.00.00.03	-	0.058	0.030	0.001	0.00000500	0.00000067	0.0000500	0.0000067	1.70	0.0048	
00.00.00.04	-	0.064	0.030	0.001	0.00000500	0.00000067	0.0000500	0.0000067	1.70	0.0048	
00.00.00.04	-	0.070	0.030	0.001	0.00000500	0.00000067	0.0000500	0.0000067	1.70	0.0048	
00.00.00.05	-	0.076	0.030	0.001	0.00000500	0.00000067	0.0000500	0.0000067	1.70	0.0048	
00.00.00.05	-	0.082	0.030	0.002	0.00000500	0.00000133	0.0000500	0.0000133	1.70	0.0048	
00.00.00.05	-	0.088	0.030	0.002	0.00000500	0.00000133	0.0000500	0.0000133	1.80	0.0051	
00.00.00.06	-	0.094	0.030	0.002	0.00000500	0.00000133	0.0000500	0.0000133	1.70	0.0048	
00.00.00.06	-	0.100	0.031	0.002	0.00000517	0.00000133	0.0000517	0.0000133	1.70	0.0048	
00.00.00.06	-	0.106	0.031	0.002	0.00000517	0.00000133	0.0000517	0.0000133	1.70	0.0048	
00.00.00.07	-	0.111	0.031	0.002	0.00000517	0.00000133	0.0000517	0.0000133	1.70	0.0048	
00.00.00.07	-	0.117	0.031	0.001	0.00000517	0.00000067	0.0000517	0.0000067	1.50	0.0042	
00.00.00.07	-	0.123	0.031	0.001	0.00000517	0.00000067	0.0000517	0.0000067	1.50	0.0042	
00.00.00.08	-	0.129	0.031	0.001	0.00000517	0.00000067	0.0000517	0.0000067	1.30	0.0037	
00.00.00.08	-	0.135	0.031	0.001	0.00000517	0.00000067	0.0000517	0.0000067	1.50	0.0042	
00.00.00.08	-	0.141	0.031	0.000	0.00000517	0.00000000	0.0000517	0.0000000	1.50	0.0042	
00.00.00.09	-	0.146	0.031	0.000	0.00000517	0.00000000	0.0000517	0.0000000	1.30	0.0037	
00.00.00.09	-	0.152	0.031	0.000	0.00000517	0.00000000	0.0000517	0.0000000	0.80	0.0023	
00.00.00.09	-	0.158	0.030	0.000	0.00000500	0.00000000	0.0000500	0.0000000	-0.30	-0.0008	
00.00.00.10	-	0.164	0.030	0.000	0.00000500	0.00000000	0.0000500	0.0000000	-0.70	-0.0020	
00.00.00.10	-	0.170	0.030	0.000	0.00000500	0.00000000	0.0000500	0.0000000	-0.70	-0.0020	
00.00.00.11	-	0.176	0.030	0.000	0.00000500	0.00000000	0.0000500	0.0000000	-0.50	-0.0014	
00.00.00.11	-	0.182	0.030	0.000	0.00000500	0.00000000	0.0000500	0.0000000	-0.70	-0.0020	
00.00.00.11	-	0.188	0.030	0.000	0.00000500	0.00000000	0.0000500	0.0000000	-0.70	-0.0020	
00.00.00.12	-	0.194	0.030	0.001	0.00000500	0.00000067	0.0000500	0.0000067	-0.20	-0.0006	
00.00.00.12	-	0.199	0.030	0.001	0.00000500	0.00000067	0.0000500	0.0000067	1.50	0.0042	
00.00.00.12	-	0.205	0.030	0.002	0.00000500	0.00000133	0.0000500	0.0000133	3.00	0.0085	
00.00.00.13	-	0.211	0.030	0.003	0.00000500	0.00000200	0.0000500	0.0000200	4.50	0.0127	
00.00.00.13	-	0.217	0.030	0.004	0.00000500	0.00000267	0.0000500	0.0000267	4.90	0.0139	
00.00.00.13	-	0.223	0.030	0.004	0.00000500	0.00000267	0.0000500	0.0000267	4.90	0.0139	
00.00.00.14	-	0.229	0.031	0.004	0.00000517	0.00000267	0.0000517	0.0000267	5.00	0.0142	
00.00.00.14	-	0.235	0.031	0.004	0.00000517	0.00000267	0.0000517	0.0000267	5.00	0.0142	
00.00.00.14	-	0.241	0.031	0.004	0.00000517	0.00000267	0.0000517	0.0000267	5.00	0.0142	
00.00.00.15	-	0.246	0.031	0.004	0.00000517	0.00000267	0.0000517	0.0000267	5.00	0.0142	
00.00.00.15	-	0.252	0.031	0.004	0.00000517	0.00000267	0.0000517	0.0000267	4.90	0.0139	
00.00.00.15	-	0.258	0.032	0.004	0.00000533	0.00000267	0.0000533	0.0000267	4.90	0.0139	
00.00.00.16	-	0.264	0.032	0.003	0.00000533	0.00000200	0.0000533	0.0000200	4.70	0.0133	
00.00.00.16	-	0.270	0.032	0.003	0.00000533	0.00000200	0.0000533	0.0000200	4.70	0.0133	
00.00.00.17	-	0.275	0.032	0.003	0.00000533	0.00000200	0.0000533	0.0000200	4.70	0.0133	
00.00.00.17	-	0.281	0.032	0.003	0.00000533	0.00000200	0.0000533	0.0000200	4.70	0.0133	
00.00.00.17	-	0.287	0.031	0.003	0.00000517	0.00000200	0.0000517	0.0000200	4.70	0.0133	
00.00.00.18	-	0.293	0.031	0.003	0.00000517	0.00000200	0.0000517	0.0000200	4.70	0.0133	
00.00.00.18	-	0.299	0.031	0.003	0.00000517	0.00000200	0.0000517	0.0000200	4.70	0.0133	
00.00.00.18	-	0.304	0.031	0.003	0.00000517	0.00000200	0.0000517	0.0000200	4.70	0.0133	
00.00.00.19	-	0.310	0.031	0.003	0.00000517	0.00000200	0.0000517	0.0000200	4.50	0.0127	
00.00.00.19	-	0.316	0.031	0.004	0.00000517	0.00000267	0.0000517	0.0000267	4.70	0.0133	
00.00.00.19	-	0.322	0.031	0.004	0.00000517	0.00000267	0.0000517	0.0000267	4.50	0.0127	
00.00.00.20	-	0.328	0.032	0.004	0.00000533	0.00000267	0.0000533	0.0000267	4.70	0.0133	
00.00.00.20	-	0.334	0.032	0.004	0.00000533	0.00000267	0.0000533	0.0000267	4.50	0.0127	
00.00.00.20	-	0.339	0.032	0.004	0.00000533	0.00000267	0.0000533	0.0000267	4.50	0.0127	
00.00.00.21	-	0.345	0.032	0.004	0.00000533	0.00000267	0.0000533	0.0000267	4.50	0.0127	
00.00.00.21	-	0.351	0.032	0.004	0.00000533	0.00000267	0.0000533	0.0000267	4.70	0.0133	
00.00.00.21	-	0.357	0.032	0.004	0.00000533	0.00000267	0.0000533	0.0000267	4.50	0.0127	
00.00.00.22	-	0.363	0.032	0.004	0.00000533	0.00000267	0.0000533	0.0000267	4.50	0.0127	
00.00.00.22	-	0.368	0.033	0.004	0.00000550	0.00000267	0.0000550	0.0000267	4.50	0.0127	
00.00.00.22	-	0.374	0.033	0.004	0.00000550	0.00000267	0.0000550	0.0000267	4.50	0.0127	
00.00.00.23	-	0.380	0.033	0.004	0.00000550	0.00000267	0.0000550	0.0000267	4.40	0.0125	
00.00.00.23	-	0.386	0.033	0.004	0.00000550	0.00000267	0.0000550	0.0000267	4.40	0.0125	
00.00.00.24	-	0.392	0.033	0.004	0.00000550	0.00000267	0.0000550	0.0000267	4.20	0.0119	
00.00.00.24	-	0.398	0.034	0.004	0.00000567	0.00000267	0.0000567	0.0000267	4.20	0.0119	
00.00.00.24	-	0.403	0.034	0.003	0.00000567	0.00000200	0.0000567	0.0000200	4.20	0.0119	
00.00.00.25	-	0.409	0.034	0.004	0.00000567	0.00000267	0.0000567	0.0000267	4.40	0.0125	
00.00.00.25	-	0.415	0.034	0.004	0.00000567	0.00000267	0.0000567	0.0000267	4.40	0.0125	
00.00.00.25	-	0.421	0.034	0.003	0.00000567	0.00000200	0.0000567	0.0000200	4.20	0.0119	
00.00.00.26	-	0.427	0.034	0.003	0.00000567	0.00000200	0.0000567	0.0000200	4.20	0.0119	
00.00.00.26	-	0.432	0.033	0.004	0.00000550	0.00000267	0.0000550	0.0000267	4.20	0.0119	
00.00.00.26	-	0.438	0.033	0.004	0.00000550	0.00000267	0.0000550	0.0000267	4.20	0.0119	
00.00.00.27	-	0.444	0.033	0.004	0.00000550	0.00000267	0.0000550	0.0000267	4.20	0.0119	
00.00.00.27	-	0.450	0.034	0.004	0.00000567	0.00000267	0.0000567	0.0000267	4.20	0.0119	
00.00.00.27	-	0.456	0.034	0.004	0.00000567	0.00000267	0.0000567	0.0000267	4.00	0.0113	
00.00.00.28	-	0.461	0.034	0.004	0.00000567	0.00000267	0.0000567	0.0000267	4.20	0.0119	
00.00											



Corte Totales			
Pastilla No.	Esfuerzo Normal σ_n (Kg/cm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo Cortante σ_c (Kg/cm ²)
1	0.49	140.6	0.3981
2	0.97	280.3	0.7937
3	1.98	538.0	1.5234

Φ de Fricción:	36.87723
Cohesión (Kg/cm²):	0.0449

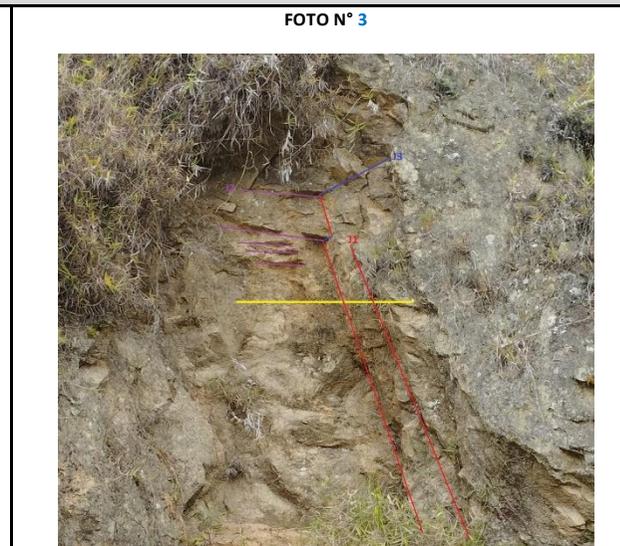
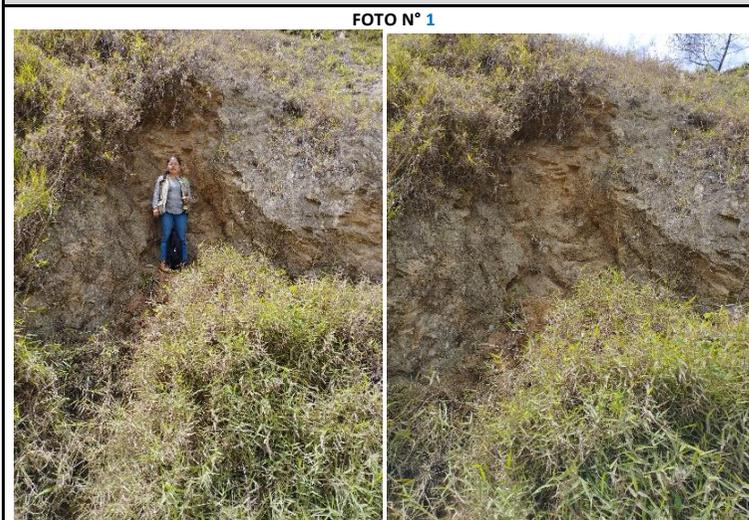
Nota. Autora,2023

Anexo 11. Fichas de caracterización geomecánica de macizos rocosos

PROYECTO:		Caracterización geológica geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo el Gallo-Naranjo.					ZONA: <u>P1</u>		HOJA/PLANO: <u>1/1</u>	
REALIZADO POR:		Maritza Fernanda Cevallos Valencia					LOCALIZACIÓN: Entrada al barrio Jesús María		FOTO: <u>1-2-3</u>	
FECHA:		Enero 2023								
LITOLOGÍA	NATURALEZA:	IGNEO INTRUSIVO					POTENCIA:	3.60 m	FORMACIÓN Y EDAD:	Batolito de San Lucas
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA:	GRANODIORITAS METEORIZADAS CON TEXTURA FANERÍTICA				MORFOLOGÍA:	AFLORAMIENTO HORIZONTAL ARTIFICIAL, METEORIZADO		ESPESOR:	5.50 m
ESTRUCTURA	PLIEGUES	FALLAS				OTROS: FAMILIA DE JUNTAS				
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m ³	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeño >30	Muy brechificado >60			
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente blanda (Uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo) 4	Muy dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo) 6			
GRADOS DE METEORIZACION	I Inalterada (6)	II Ligeramente alterada (5)		III Moderadamente 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	M1							OBSERVACIONES:		
FOTO N° 1		FOTO N° 2				FOTO N° 3				
										

PROYECTO:	Caracterización geológica geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo el Gallo-Naranjo.	ZONA:	<u>P2</u>	HOJA/PLANO:	<u>1/2</u>
REALIZADO POR:	Maritza Fernanda Cevallos Valencia	LOCALIZACIÓN:	<u>El Gallo</u>	FOTO:	<u>1-2-3</u>
FECHA:	<u>Enero 2023</u>				

LITOLOGÍA	NATURALEZA:	IGNEO INTRUSIVO				POTENCIA:	6.20 m	FORMACIÓN Y EDAD:	Batolito de San Lucas	
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA:	GRANODIORITAS METEORIZADAS CON TEXTURA FANERÍTICA			MORFOLOGÍA:	AFLORAMIENTO VERTICAL ARTIFICIAL EROSIONADO		ESPESOR:	4.10 m	
ESTRUCTURA	PLIEGUES			FALLAS		OTROS: FAMILIA DE JUNTAS				
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m ³ 12/ 1m ³		Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeño >30	Muy brechificado >60		
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente blanda (Uña) 0		Muy blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo) 4	Muy dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo) 6		
GRADOS DE METEORIZACION	I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)		III Moderadamente 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	M1								OBSERVACIONES:	



PROYECTO:	Caracterización geológica geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo el Gallo-Naranja.	ZONA:	<u>P3-Talud 1</u>	HOJA/PLANO:	<u>1/2</u>
REALIZADO POR:	Maritza Fernanda Cevallos Valencia	LOCALIZACIÓN:	<u>Illizhapa</u>	FOTO:	<u>1-2-3</u>
FECHA:	<u>Enero 2023</u>				

LITOLOGÍA	NATURALEZA:	IGNEO INTRUSIVO				POTENCIA:	37.61 m	FORMACIÓN Y EDAD:	Batolito de San Lucas		
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA:	GRANODIORITAS METEORIZADAS CON TEXTURA FANERÍTICA			MORFOLOGÍA:	AFLORAMIENTO HORIZONTAL ARTIFICIAL EROSIONADO		ESPESOR:	45 m		
ESTRUCTURA	PLIEGUES		FALLAS		OTROS: FAMILIA DE JUNTAS						
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m ³	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeño >30	Muy brechificado >60				
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente blanda (Uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo) 4	Muy dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo) 6				
GRADOS DE METEORIZACION	I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)		III Moderadamente 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	M1									OBSERVACIONES:	

FOTO N° 1



FOTO N° 2



FOTO N° 3



PROYECTO:	Caracterización geológica geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo el Gallo-Naranja.	ZONA:	<u>P4</u>	HOJA/PLANO:	<u>1/2</u>
REALIZADO POR:	Maritza Fernanda Cevallos Valencia	LOCALIZACIÓN:	<u>Illizhapa</u>	FOTO:	<u>1-2-3</u>
FECHA:	<u>Enero 2023</u>				

LITOLOGÍA	NATURALEZA:	IGNEO INTRUSIVO				POTENCIA:	8.5 m	FORMACIÓN Y EDAD:	Batolito de San Lucas		
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA:	GRANODIORITAS METEORIZADAS CON TEXTURA FANERÍTICA			MORFOLOGÍA:	AFLORAMIENTO HORIZONTAL ARTIFICIAL		ESPESOR:	19 m		
ESTRUCTURA	PLIEGUES			FALLAS			OTROS: FAMILIA DE JUNTAS				
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m ³	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeño >30	Muy brechificado >60				
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente blanda (Uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo) 4	Muy dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo) 6				
GRADOS DE METEORIZACION	I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)		III Moderadamente 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	M1								OBSERVACIONES:		

FOTO N° 1



FOTO N° 2

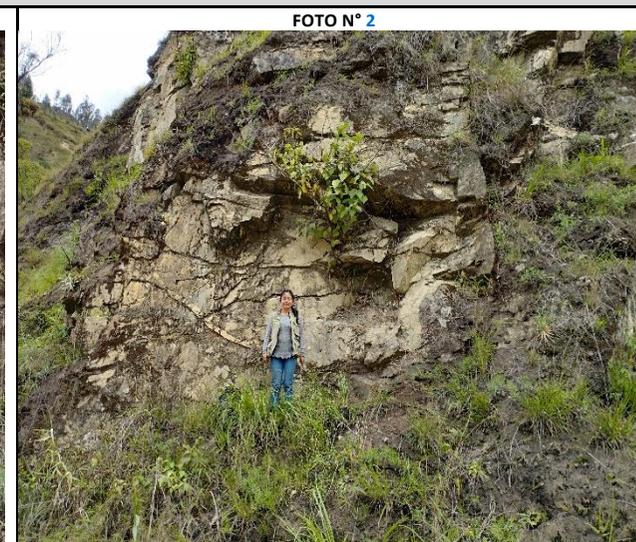
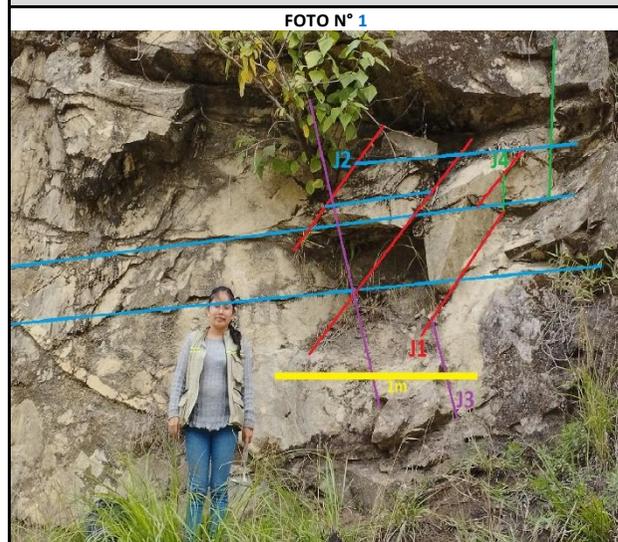


FOTO N° 3



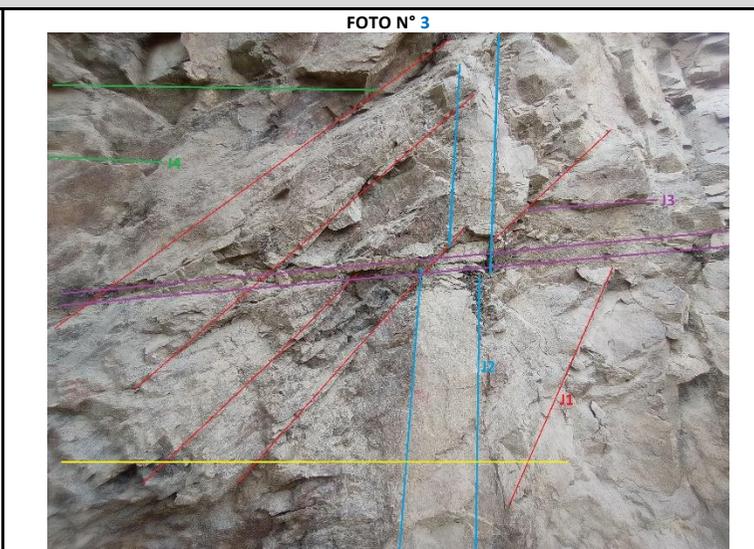
PROYECTO:	<u>Caracterización geológica geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo el Gallo-Naranjo.</u>	ZONA:	<u>P5-Talud 2</u>	HOJA/PLANO:	<u>1/2</u>
REALIZADO POR:	<u>Maritza Fernanda Cevallos Valencia</u>	LOCALIZACIÓN:	<u>Illizhapa</u>	FOTO:	<u>1-2-3</u>
FECHA:	<u>Enero 2023</u>				

LITOLOGÍA	NATURALEZA:	IGNEO EXTRUSIVO				POTENCIA:	63.19 m	FORMACIÓN Y EDAD:	Batolito de San Lucas		
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA:	ANDESITAS CON TEXTURA AFANÍTICA			MORFOLOGÍA:	AFLORAMIENTO VERTICAL ARTIFICIAL		ESPESOR:	45 m		
ESTRUCTURA	PLIEGUES	FALLAS			OTROS: FAMILIA DE JUNTAS						
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeño >30	Muy brechificado >60				
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente blanda (Uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo) 4	Muy dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo) 6				
GRADOS DE METEORIZACION	I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)		III Moderadamente 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	M1								OBSERVACIONES:		



PROYECTO:	Caracterización geológica geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo el Gallo-Naranja.	ZONA:	<u>P6</u>	HOJA/PLANO:	<u>1/2</u>
REALIZADO POR:	Maritza Fernanda Cevallos Valencia	LOCALIZACIÓN:	<u>Bunque</u>	FOTO:	<u>1-2-3</u>
FECHA:	<u>Enero 2023</u>				

LITOLOGÍA	NATURALEZA:	METAMÓRFICO				POTENCIA:	8.5 m	FORMACIÓN Y EDAD:	Formación Tres Lagunas	
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA:	ESQUISTOS METEORIZADOS			MORFOLOGÍA:	AFLORAMIENTO HORIZONTAL ARTIFICIAL		ESPESOR:	21 m	
ESTRUCTURA	PLIEGUES	FALLAS			OTROS: FAMILIA DE JUNTAS Y DIQUE					
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m ³	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeño >30	Muy brechificado >60			
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente blanda (Uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo) 4	Muy dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo) 6			
GRADOS DE METEORIZACION	I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)		III Moderadamente 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	M1								OBSERVACIONES:	



PROYECTO: <u>Caracterización geológica geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo el Gallo-Naranja.</u>	ZONA: <u>P7-Talud 3</u>	HOJA/PLANO: <u>1/2</u>
REALIZADO POR: <u>Maritza Fernanda Cevallos Valencia</u>		FOTO: <u>1-2-3</u>
FECHA: <u>Enero 2023</u>	LOCALIZACIÓN: <u>Bunque</u>	

LITOLOGÍA	NATURALEZA:	METAMÓRFICO				POTENCIA:	9.79 m	FORMACIÓN Y EDAD:	FORMACIÓN TRES LAGUNAS	
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA:	ESQUISTOS ALTERADOS			MORFOLOGÍA:	AFLORAMIENTO HORIZONTAL ARTIFICIAL METEORIZADO Y EROSIONADO		ESPESOR:	12 m	
ESTRUCTURA	PLIEGUES	FALLAS			OTROS: ESQUISTOSIDAD					
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m ³	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeño >30	Muy brechificado >60			
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente blanda (Uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo) 4	Muy dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo) 6			
GRADOS DE METEORIZACION	I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)		III Moderadamente 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	M1								OBSERVACIONES:	

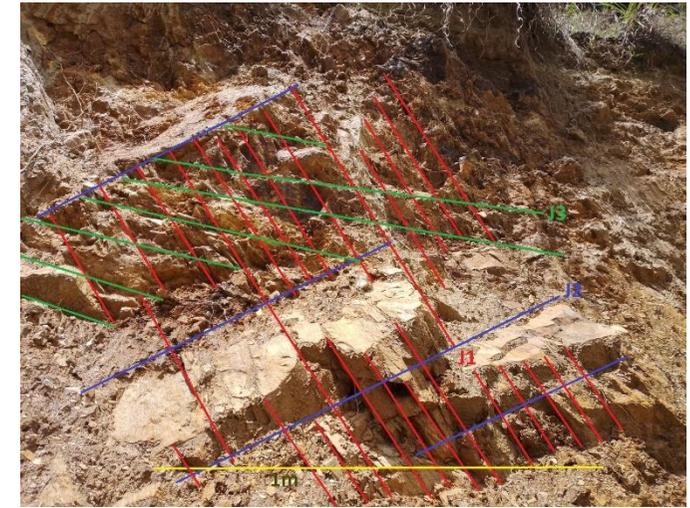
FOTO N° 1



FOTO N° 2

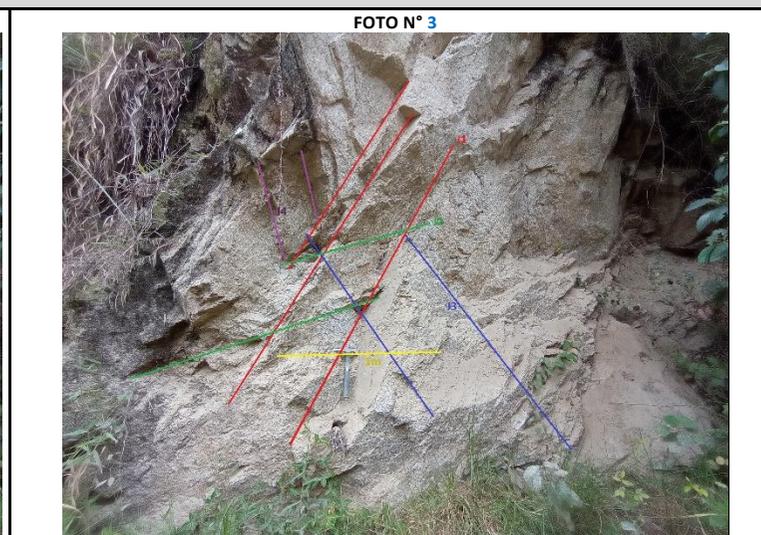
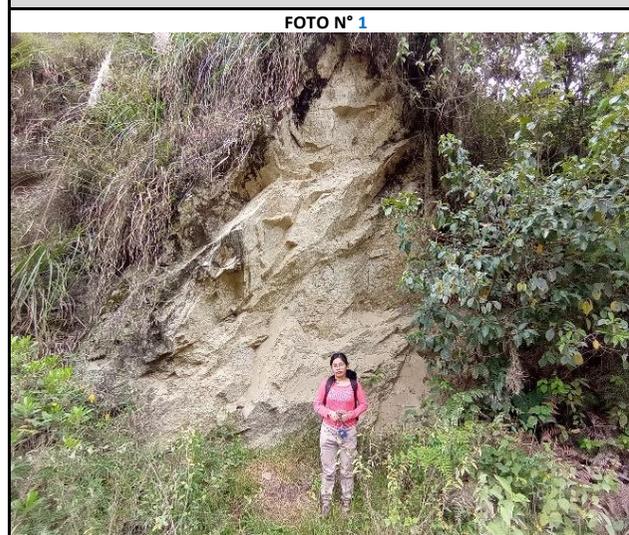


FOTO N° 3



PROYECTO:	Caracterización geológica geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo el Gallo-Naranja.	ZONA	<u>P8</u>	HOJA/PLANO:	<u>1/2</u>
REALIZADO POR:	Maritza Fernanda Cevallos Valencia	LOCALIZACIÓN:	<u>Naranja</u>	FOTO:	<u>1-2-3</u>
FECHA:	<u>Enero 2023</u>				

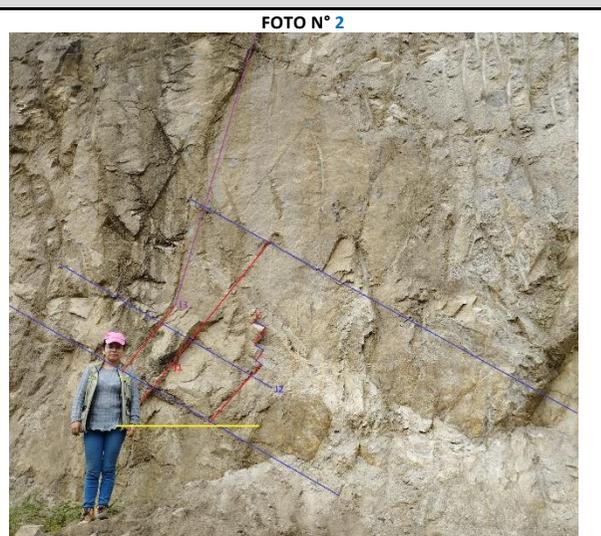
LITOLOGÍA	NATURALEZA:	IGNEO INTRUSIVO				POTENCIA:	4.75 m	FORMACIÓN Y EDAD:	BATOLITO DE SAN LUCAS		
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA:	GRANODIORTA CON TEXTURA FANERÍTICA			MORFOLOGÍA:	AFLORAMIENTO HORIZONTAL ARTIFICIAL METEORIZADO			ESPESOR:	5 m	
ESTRUCTURA	PLIEGUES		FALLAS		OTROS: FAMILIA DE JUNTAS						
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m ³ 11/1m ³	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeño >30	Muy brechificado >60				
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente blanda (Uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo) 4	Muy dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo) 6				
GRADOS DE METEORIZACION	I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)		III Moderadamente 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	M1									OBSERVACIONES:	



N°	HOJA N°		SEPARACION EN m		LONGITUD EN m				APERTURA EN mm		RUGOSIDAD											Meteorización						Filtración				Relleno					OBSERVACIONES																										
	8				RUMBO - BUZAMIENTO																																																										
	TIPO DE PLANO	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO (°)	BUZAMIENTO (°)	Extremadamente Juntas <0.02		Muy baja <1				Muy cerrada <0.1		Escalonada	Ondulada	Plana																																																	
				Muy juntas 0.02-0.06		Baja 1-3				Cerrada 0.1-0.25																																																					
				Juntas 0.06-0.2		Moderada 3-10				Prácticamente Abierta 0.5-2.5																																																					
Moderadamente juntas 0.2-0.6				Alta 10-20				Moderadamente abierta 2.5-10																																																							
Separadas 0.6-2		Muy alta >20				Muy ancha 10-100		I Rugosa	II Lisa	III Slickensidad	IV Rugosa	V Lisa	VI Slickensidad	VII Rugosa	VIII Lisa	IX Slickensidad	Apertura mm / longitud m	RCh	α (Hacia abajo -90°, -45°; Hacia arriba +90°, +45°; Horizontal, 0°)	r (rebote)																																											
Muy separadas 2-6		R	B	Extremadamente ancha 100-1000																																																											
Extremadamente separadas >6				Cavernosa >1000																																																											
1	J1	9	74	0.2-0.6	0.45																																	1-3	2.10	2.5-10	5																						
2	J1	9	70	0.06-0.2	0.16			1-3	2.05	0.5-2.5	2																													9576091																							
3	J1	9	72	0.06-0.2	0.16			1-3	1.36	0.5-2.5	2																																																				
4	J2	101	33	0.2-0.6	0.40	<1	0.94			2.5-10	4																																																				
5	J2	101	35	0.2-0.6	0.40	1-3	1.60			2.5-10	3																																																				
6	J3	214	46	0.2-0.6	0.52			1-3	1.66	0.5-2.5	1																																																				
7	J3	214	40	0.2-0.6	0.52			1-3	1.34	0.5-2.5	2																																																				
8	J4	350	72	0.2-0.6	0.26	<1	0.42			0.5-2.5	2																																																				
9	J4	350	70	0.2-0.6	0.26	<1	0.62			2.5-10	3																																																				
TIPO DE PLANO		S0- Estratificación		J1...Jn- Juntas		RELLENO		S- Arena		B- Brecha		Q- Cuarzo						O- Oxidos						CONTINUIDA				Totalmente X																																			
		S1-Esquistosidad		F1...Fn- Fallas		G- Gravas		A- Arcillas		M- Milonita		C- Calcita						F- Feldespato										Parcialmente >																																			

PROYECTO:	Caracterización geológica geotécnica de la vía antigua a Cuenca, tramo el Gallo-Naranja.	ZONA:	<u>P9-Talud 4</u>	HOJA/PLANO:	<u>1/2</u>
REALIZADO POR:	Maritza Fernanda Cevallos Valencia	LOCALIZACIÓN:	<u>Naranja</u>	FOTO:	<u>1-2-3</u>
FECHA:	<u>Enero 2023</u>				

LITOLOGÍA	NATURALEZA:	IGNEO INTRUSIVO				POTENCIA:	18.06 m	FORMACIÓN Y EDAD:	BATOLITO DE SAN LUCAS		
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA:	GRANODIORITA CON TEXTURA FANERÍTICA			MORFOLOGÍA:	AFLORAMIENTO HORIZONTAL ARTIFICIAL METEORIZADO			ESPESOR:	37 m	
ESTRUCTURA	PLIEGUES		FALLAS		OTROS: FAMILIA DE JUNTAS						
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m ³ 14/1m ³	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeño >30	Muy brechificado >60				
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente blanda (Uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo) 4	Muy dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo) 6				
GRADOS DE METEORIZACION	I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)		III Moderadamente 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	M1									OBSERVACIONES:	



Anexo 12. Resultados de propiedades físicas determinadas en laboratorio

RESULTADOS DE PESO NATURAL, SECO, SATURADO Y SUMERGIDO

Nº	Cód. Cápsula	Peso de Cápsula (gr)	Peso Cápsula+Muestra (gr)	Peso en estado natural (gr)	Peso Cápsula+Muestra seca (gr)	Peso seco (gr)	Peso Saturado (gr)	Peso Sumergido (gr)
Muestra 1	265	29.5	196.88	167.38	195.74	166.24	168.221	103.982
	221	29.22	215.18	185.96	213.95	184.73	186.505	116.135
Muestra 2	252	30.31	106.48	76.170	106.30	75.990	76.244	48.963
	253	30.92	165.31	134.39	164.89	133.97	134.695	86.643
Muestra 3	11	32.95	195.35	162.40	194.58	161.63	162.967	102.945
	220	29.78	77.91	48.130	77.680	47.900	48.329	28.058
Muestra 4	256	28.70	162.93	134.23	162.37	133.67	134.618	84.656
	289	28.05	121.25	93.20	120.85	92.80	93.763	56.897

RESULTADOS DEL PICNÓMETRO PARA EL CÁLCULO DEL PESO ESPECÍFICO

Parámetro	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
# Picómetro	-	5	5	5	5
# Tapa	-	25	25	25	25
Volumen del picnómetro	ml	100	100	100	100
Peso Picnómetro seco	gr	48.110	48.110	48.110	48.110
Peso Picnómetro + agua (Wbw)	gr	147.729	147.729	147.729	147.729
Peso de la muestra (Ws)	gr	50.001	50.001	50.002	50.002
Peso Picnómetro + muestra	gr	98.111	98.111	98.112	98.112
Peso Picnómetro+agua+muestra (Wbws)	gr	179.019	180.764	179.522	178.618
Ww = Ws+Wbw-Wbws	gr	18.711	16.966	18.209	19.113
Gravedad específica	gr/cm3	2.672	2.947	2.746	2.616
Peso específico	-	2.672	2.947	2.746	2.616
Densidad	gr/cm3	2.664	2.938	2.738	2.609

RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS

Nº	Contenido de humedad (%)	Contenido de humedad promedio (%)	Peso específico aparente (g/cm3)	Peso específico aparente promedio (g/cm3)	Porosidad eficaz (%)	Porosidad eficaz promedio (%)	Porosidad (%)	Coefficiente de absorción (%)	Coefficiente de absorción promedio (%)	Módulo de Saturación (%)
Muestra 1	0.686	0.676	2.580	2.599	3.084	2.803	2.672	1.192	1.076	104.911
	0.666		2.617		2.522					
Muestra 2	0.237	0.275	2.777	2.778	0.931	1.220	5.497	0.334	0.438	22.191
	0.314		2.780		1.509					
Muestra 3	0.476	0.478	2.685	2.520	2.228	2.172	8.017	0.827	0.861	27.091
	0.480		2.356		2.116					
Muestra 4	0.419	0.425	2.667	2.589	1.897	2.255	1.201	0.709	0.873	187.780
	0.431		2.510		2.612					

Anexo 13. Mapa de ubicación y acceso

Anexo 14. Mapa topográfico de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo-Naranjo

Anexo 15. Mapa geológico regional de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo-Naranjo

Anexo 16. Mapa geológico local de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo-Naranjo

Anexo 17. Mapa de pendientes de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo-Naranjo

Anexo 18. Mapa geomorfológico de la vía antigua a Cuenca, tramo El Gallo-Naranjo

Anexo 19. Mapa de ubicación de macizos rocosos y deslizamientos estudiados

Anexo 20. Mapa de caracterización geotécnica de los taludes estudiados en la presente investigación

(Ubicados en el CD-R Nro. 1)

Anexo 21. Certificado de traducción del resumen

Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar
Certified English Teacher

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés, del resumen del trabajo de titulación, titulado: **Caracterización Geológica y Geotécnica de la vía antigua a Cuenca tramo el Gallo-Naranjo del cantón y provincia de Loja.**, de autoría de la estudiante Maritza Fernanda Cevallos Valencia, con número de cédula 1105434813, egresada de la carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifica en honor a la verdad y autoriza a la interesada, hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Loja, 12 de septiembre del 2023



Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS
Numero de registro: 1031-2022-2463645
C.I.: 1105165672