



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no
Renovables**

Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

**Caracterización geomecánica de los macizos rocosos ubicados en el tramo
Potrerillos-Sacapalca, de la vía Sunamanga-Sacapalca del cantón
Gonzanamá, provincia de Loja, Ecuador.**

**Trabajo de Titulación, Previo a la
Obtención del Título de Ingeniero en
Geología Ambiental y Ordenamiento
Territorial**

AUTOR:

Freddy Bryan Cueva Domínguez

DIRECTOR:

Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez, Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2024

Certificación

Loja, 18 de julio del 2024

Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez, Mgs. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado **Caracterización geomecánica de los macizos rocosos ubicados en el tramo Potrerillos-Sacapalca, de la vía Sunamanga-Sacapalca del cantón Gonzanamá, provincia de Loja, Ecuador,** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial,** de la autoría del estudiante **Freddy Bryan Cueva Domínguez,** con Nro. de **cédula de identidad: 1104106750,** una vez que el mismo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, Freddy Bryan Cueva Domínguez, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus entidades responsables, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cedula de identidad: 1104106750

Fecha: 18 de julio del 2024

Correo Electrónico: freddy.cueva@unl.edu.ec

Teléfono: 0990681989

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

Yo, **Freddy Bryan Cueva Domínguez**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización geomecánica de los macizos rocosos ubicados en el tramo Potrerillos-Sacapalca, de la vía Sunamanga-Sacapalca del cantón Gonzanamá, provincia de Loja, Ecuador**, como requisito para optar el título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre 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 el contenido 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 por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los diez y ocho días del mes de julio del dos mil veinticuatro.

Firma: 

Cedula de identidad: 1104106750

Dirección: Loja

Correo Electrónico: freddy.cueva@unl.edu.ec

Teléfono: 0990681989

DATOS COMPLEMENTARIOS:

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

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mis seres amados padres Freddy y María y a mis queridos hermanos Jefferson y Paúl por plena confianza hacia mi persona, ellos han sido el motivo fundamental y apoyo incondicional durante la transformación personal y académico. La gratitud que me invades por su esfuerzo, sacrificio y motivación diaria ya que sin ellos no podría haber logrado esta meta.

Freddy Bryan Cueva Domínguez

Agradecimiento

Especialmente a mi ámbito familiar por ser siempre el pilar y apoyo primordial en cada meta alcanzada, sus consejos hacen posible cumplir mis sueños.

Al Ing. Fernando Rengel, Director del Trabajo de Titulación, por su permanecía, constancia, tiempo y paciencia brindada, su asesoramiento fue primordial para el desarrollo de este proyecto de titulación.

A mi claustro docentes de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, sus enseñanzas, su profesionalismo y motivación académica.

A mis amigos, por estar desde un inicio en mi proceso formativo, compartiendo experiencias inolvidables dentro del entorno universitario.

A mi querida alma mater UNL que por medio de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial me brindo una adecuada formación académica, logrando convertirme en un profesional.

Freddy Bryan Cueva Domínguez

Índice de Contenidos

Portada	i.
Certificado	ii.
Autoria	iii.
Carta de autorización	iv.
Dedicatoria	v.
Agradecimiento	vi.
Índice de Contenidos	vii.
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xii
Índice de anexos	xvi
1 Título	1
2 Resumen	2
Abstract.....	3
3 Introducción	4
4 Marco teórico	6
4.1 Drones.....	6
4.1.1 Levantamiento Topográfico con Drones	6
4.2 Caracterización litológica	6
4.3 Remoción en masa.....	6
4.3.1 Caídos	7
4.4 Generalidades de la mecánica de rocas	7
4.5 Macizos Rocosos	8
4.6 Propiedades Físico mecánicas de la matriz rocosa	9
4.6.1 Propiedades físicas	10
4.6.2 Propiedades mecánicas de la matriz rocosa	12
4.7 Discontinuidades	15
4.7.1 Tipos de discontinuidades	15
4.7.2 Características para las discontinuidades.	16
4.8 Clasificación geomecánica de los macizos rocosos	19
4.8.1 RQD (Rock Quality Designation).	19
4.8.2 RMR (Rock Mass Rating).....	20
4.8.3 SMR.....	24
4.9 Estabilidad	26

4.9.1	Criterios de rotura en Macizos Rocosos isótropos	26
4.9.2	Tipos de Rotura	27
4.9.3	Metodologías utilizadas en la estabilidad de taludes.....	28
4.9.4	Software Rocfall 4.0.....	29
5	Metodología.....	36
5.1	Área de estudio	36
5.1.1	Ubicación.....	36
5.1.2	Acceso	37
5.1.3	Clima	38
5.1.4	Hidrología.....	38
5.1.5	Geología regional	39
5.2	Materiales	40
5.3	Procedimiento.....	41
5.3.1	Metodología del primer objetivo	43
5.3.2	Metodología para el segundo objetivo	46
5.3.3	Metodología para el tercer objetivo.....	52
6	Resultados.....	60
6.1	Topografía	60
6.1.1	Pendientes.....	63
6.2	Geología.....	65
6.2.1	Geología Local	65
6.2.2	Zonas de comportamiento Lito-estructurales de los macizos rocosos	72
6.3	Análisis de Discontinuidades.....	75
6.4	Propiedades físicas.	80
6.5	Propiedades mecánicas	86
6.6	RQD.....	88
6.7	RMR	88
6.8	SMR.....	94
6.9	Análisis Cinemático.....	99
6.9.1	Zona Geomecánica 1	99
6.9.2	Zona Geomecánica 2	100
6.9.3	Zona Geomecánica 3	102
6.9.4	Zona Geomecánica 4	104
6.9.5	Zona Geomecánica 5	106

6.9.6	Zona Geomecánica 6	107
6.9.7	Zona Geomecánica 7	109
6.9.8	Zona Geomecánica 8	111
6.10	Modelo de simulación con el software RocFall 4.	113
6.10.1	RocFall Talud 1	113
6.10.2	RocFall Talud 2	116
6.10.3	RocFall Talud 3	120
7	Discusión.....	123
8	Conclusiones.....	125
9	Recomendaciones.....	126
10	Referencias	127
11	Anexos.....	130

Índice de Tablas:

Tabla 1.	Grado de meteorización de la roca.	9
Tabla 2.	Propiedades Físico-Mecánicas de la matriz rocosa.	10
Tabla 3.	Clasificación de las rocas según su resistencia de acuerdo al ISRM.	14
Tabla 4.	Clasificación en base a (R.C.U).	14
Tabla 5.	Clasificación de las rocas de acuerdo al martillo geológico.	15
Tabla 6.	Tipos de discontinuidades	16
Tabla 7.	Terminología de espaciados recomendada por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (SIMR)	16
Tabla 8.	Terminología de continuidad o persistencia recomendada por Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (SIMR) (Brown, 1981)	17
Tabla 9.	Descripción de la abertura de las discontinuidades.....	18
Tabla 10.	Descripción de las filtraciones en discontinuidades.....	18
Tabla 11.	Métodos de clasificación geomecánica de macizos rocosos.	19
Tabla 12.	Índice de la calidad de roca (RQD).	20
Tabla 13.	Parámetros del RMR de la resistencia en roca sana.	21
Tabla 14.	Índice de la calidad de roca (RQD).	21
Tabla 15.	Espaciado de discontinuidades	22
Tabla 16.	Condición de las discontinuidades	22
Tabla 17.	Flujo de agua	22
Tabla 18.	Orientación de las discontinuidades del talud	23
Tabla 19.	Rugosidad de acuerdo al índice JRC	23
Tabla 20.	Valores del RMR básico.....	24
Tabla 21.	Factor de ajuste de las juntas (Romana, 1985).....	25
Tabla 22.	Factor de ajuste según el método de excavación.....	26
Tabla 23.	Clasificación SMR	26
Tabla 24.	Metodologías utilizadas en la modelación de taludes.	29
Tabla 25.	Coordenadas geográficas del tramo vial	36
Tabla 26.	Materiales y Equipos.....	41
Tabla 27.	Descripción del RQD	53
Tabla 28.	Descripción del RMR.....	53
Tabla 29.	Valoración Geomecánica con los métodos de Bieniawski RMR y Romana SMR.	54
Tabla 30.	Coeficientes de restitución	56
Tabla 31.	Área por cada litología.	72

Tabla 32. Descripción por cada zona litológica identificada.	72
Tabla 33. Descripción de las zonas lito-estructurales de interés a partir del abscisado arbitrario.	73
Tabla 34. Área por cada zona lito-estructural	75
Tabla 35. Resultados del peso natural por cada muestra de roca.	80
Tabla 36. Resultados del peso específico aparente por cada muestra de roca.....	81
Tabla 37. Resultados del peso específico real por cada muestra de roca.	82
Tabla 38. Resultados de la porosidad por cada muestra de roca.	82
Tabla 39. Resultados de la porosidad eficaz por cada muestra de roca.	83
Tabla 40. Resultados del coeficiente de absorción por cada muestra de roca.....	84
Tabla 41. Resultados del contenido de humedad por cada muestra de roca.	85
Tabla 42. Resultados de la densidad específica por cada muestra de roca.....	85
Tabla 43. Resultado del ensayo del rebote al martillo de Schmidt.	86
Tabla 44. Resultados de la resistencia a la compresión simple.....	87
Tabla 45. Cálculo del RQD de la zona 1 abs 00+000 - 00+020.....	88
Tabla 46. Resultados del RQD	89
Tabla 47. Cálculo del RMR de la zona 1 abs 00+000 - 00+020	91
Tabla 48. Resultados del RMR.....	91
Tabla 49. Cálculos de rotura planar para la zona 1 abs 00+000-00+020	94
Tabla 50. Cálculos de rotura en vuelco para la zona 1 abs 00+000-00+020.....	94
Tabla 51. Resultados del SMR para rotura planar.....	95
Tabla 52. Resultados del SMR para rotura en vuelco	97
Tabla 53. Puntos GPS de los taludes de estudio.....	113

Índice de Figuras:

Figura 1. Esquema de caído de roca (a) y caído de residuos (b).....	7
Figura 2. Escala según el grado de rugosidad, para observaciones hasta un metro de longitud.	17
Figura 3. Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades.	19
Figura 4. Estimación del JRC por medio del ábaco de Barton y Choubey	23
Figura 5. Parábola descrita por un bloque en RocFall	30
Figura 6. Coeficientes de restitución energética (R_n = Coeficiente de restitución energética normal; R_t = Coeficiente de restitución energética tangencial) y Velocidad (V_n = Componente Normal de la velocidad; V_t = componente Tangencial de la velocidad) 34	
Figura 7. Ubicación del área de estudio (Lugar y tramo vial).....	37
Figura 8. Acceso a la zona de estudio, a) Troncal de la Sierra, b) Troncal de la Costa.....	38
Figura 9. Geología regional del área de estudio.....	40
Figura 10. Diagrama de Flujo de la Metodología.	42
Figura 11. Levantamiento topográfico método por Dron.	43
Figura 12. Identificación microscópica de muestras de roca: a) Muestras de afloramientos de roca, b) Identificación en el microscopio geológico.	45
Figura 13. Campaña de levantamiento de datos en campo: a) Determinación de la línea de escaneo, b) Buzamiento y dirección de Buzamiento (Brújula Burton), c) Separación entre juntas, d) Longitud de la junta, e) Apertura entre juntas, f) Rugosidad (peine de Barton), g) Ensayo de esclerometría hacia la junta natural.	49
Figura 14. Etapa de obtención de cubos 5x5x5 cm: a) Obtención ideal de la muestra a través de martillo y cincel, b) Codificación de la muestra por zona, c) Post proceso de cortado y pulido en cubos de 5x5x5cm.	51
Figura 15. Ensayo del rebote al martillo de bajo impacto en junta pulida.	51
Figura 16. Correlación para el martillo Schmidt entre resistencia a compresión, densidad de la roca y rebote	52
Figura 17. Proyección estereográfica	55
Figura 18. Material Editor del RocFall 4.0	56
Figura 19. Conjunción del proyecto en el RocFall 4.0	58
Figura 20. Cálculo del RocFall	59
Figura 21. Topografía del tramo de estudio	61
Figura 22. Perfil topográfico 1.	62

Figura 23. Perfil topográfico 2.	62
Figura 24. Perfil topográfico 3.	63
Figura 25. Mapa de pendientes.	64
Figura 26. Ubicación de afloramientos levantados	65
Figura 27. Brecha volcánica.....	66
Figura 28. Toba de composición andesítica	67
Figura 29. Toba de composición dacítica.....	68
Figura 30. Coluvios	68
Figura 31. Saprolito de Toba.....	69
Figura 32. Saprolito de Brecha volcánica	70
Figura 33. Geología superficial del área de estudio.	71
Figura 34. Zonificación litológica de los taludes a lo largo del tramo de estudio	74
Figura 35. Análisis estadístico de las familias de discontinuidades.....	75
Figura 36. Representación gráfica de espaciado de las discontinuidades abs 00+000-01+100	76
Figura 37. Representación gráfica de longitud de las discontinuidades abs 00+000-01+100	76
Figura 38. Representación gráfica de apertura de las discontinuidades abs 00+000-01+100.	77
Figura 39. Representación gráfica de rugosidad de las discontinuidades abs 00+000-01+100	77
Figura 40. Representación gráfica del relleno de las discontinuidades abs 00+000-01+100 .	78
Figura 41. Representación gráfica de la meteorización de las discontinuidades abs 00+000- 01+100.....	78
Figura 42. Representación gráfica del flujo de agua de las discontinuidades abs 00+000-01+100	79
Figura 43. Distribución gráfica del peso natural de cada muestra de roca.....	81
Figura 44. Distribución grafica del peso específico aparente.	81
Figura 45. Distribución gráfica del peso específico por cada muestra de roca.	82
Figura 46. Distribución gráfica de la porosidad por cada muestra de roca.	83
Figura 47. Distribución gráfica de la porosidad eficaz por cada muestra de roca	84
Figura 48. Distribución gráfica de la Absorción por cada muestra de roca.	84
Figura 49. Distribución gráfica del Contenido de Humedad por cada muestra de roca.	85
Figura 50. Distribución gráfica de la Densidad Específica por cada muestra de roca.	86
Figura 51. Distribución gráfica de la resistencia a la compresión simple.....	87

Figura 52. Rotura de los cubos de roca a partir del ensayo de compresión simple: a) rotura de la muestra 1 de roca, b) rotura de la muestra 2 de roca, c) rotura de la muestra 3 de roca, d) rotura de la muestra 4 de roca, e) rotura de la muestra 5 de roca, f) rotura de la muestra 6 de roca, g) rotura de la muestra 7 de roca, h) rotura de la muestra 8 de roca.....	88
Figura 53. RQD	90
Figura 54. RMR.....	93
Figura 55. SMR planar	96
Figura 56. SMR vuelco	98
Figura 57. Rotura planar de la zona geomecánica 1	99
Figura 58. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 1	100
Figura 59. Rotura en cuña de la zona geomecánica 1	100
Figura 60. Rotura planar de la zona geomecánica 2	101
Figura 61. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 2	101
Figura 62. Rotura en cuña de la zona geomecánica 2	102
Figura 63. Rotura planar de la zona geomecánica 3	103
Figura 64. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 3	103
Figura 65. Rotura en cuña de la zona geomecánica 3	104
Figura 66. Rotura planar de la zona geomecánica 4	104
Figura 67. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 4	105
Figura 68. Rotura en cuña de la zona geomecánica 4	105
Figura 69. Rotura planar de la zona geomecánica 5	106
Figura 70. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 5	107
Figura 71. Rotura en cuña de la zona geomecánica 5	107
Figura 72. Rotura planar de la zona geomecánica 6	108
Figura 73. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 6	108
Figura 74. Rotura en cuña de la zona geomecánica 6	109
Figura 75. Rotura planar de la zona geomecánica 7	110
Figura 76. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 7	110
Figura 77. Rotura en cuña de la zona geomecánica 7	111
Figura 78. Rotura planar de la zona geomecánica 8	111
Figura 79. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 8	112
Figura 80. Rotura en cuña de la zona geomecánica 8	112
Figura 81. Ubicación de los taludes de estudio	113
Figura 82. Talud 1 Toba Andesítica.....	114

Figura 83. Simulación del talud 1	115
Figura 84. Talud 1 velocidad de traslación (m/s).....	116
Figura 85. Talud 1 Energía cinética (J)	116
Figura 86. Talud 2 Toba Dacítica.....	117
Figura 87. Simulación del talud 2	118
Figura 88. Talud 2 velocidad de traslación (m/s).....	119
Figura 89. Talud 2 Energía cinética (J)	119
Figura 90. Talud 3 Brecha Volcánica.....	120
Figura 91. Simulación del talud 3	121
Figura 92. Talud 3 velocidad de traslación (m/s).....	122
Figura 93. Talud 3 Energía cinética (J)	122

Índice de Anexos:

Anexos 1. Ficha de afloramientos	130
Anexos 2. Ficha de descripción macroscópica de rocas	148
Anexos 3. Ficha de Zonificación	155
Anexos 4. Ficha de caracterización geomecánica.....	163
Anexos 5. Cálculo del ángulo de fricción de la discontinuidad.....	172
Anexos 6. Mapa de Ubicación	176
Anexos 7. Mapa Topográfico.....	176
Anexos 8. Mapa de Pendientes	176
Anexos 9. Mapa Geológico Local.....	176
Anexos 10. Mapa de Zonas de comportamiento Lito-estructural	177
Anexos 11. Mapa de Rock Quality Designation	177
Anexos 12. Mapa Rock Mass Rating	177
Anexos 13. Mapa Planar Slope Mass Rating	177
Anexos 14. Mapa Toppling Slope Mass Rating.....	177
Anexos 15. Certificado de traducción del resumen	178

1. Título

Caracterización geomecánica de los macizos rocosos ubicados en el tramo Potrerillos-Sacapalca, de la vía Sunamanga-Sacapalca del cantón Gonzanamá, provincia de Loja, Ecuador

2. Resumen

La investigación presente trata la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en un tramo de vía de 1,100 m de longitud ubicado en la vía Sunamanga- Sacapalca entre los barrios Potrerillos – Sacapalca del cantón Gonzanamá provincia de Loja, situados en el margen izquierdo en sentido de avance. El trabajo topográfico sobre el terreno se lo realizó mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado (Dron) debido a su bajo costo y menor tiempo, los respectivos puntos de control en superficie fueron levantados por medio de un GPS diferencial RTK, obteniendo una ortofoto u ortomosaico a detalle del área de estudio y la generación de curvas de nivel cada 1m. Para el levantamiento geológico se describió los afloramientos y estructuras presentes en el área de estudio, el entorno litológico se caracterizó por tobas volcánicas, brechas volcánicas, depósitos coluviales y saprolitos. Los parámetros físico-mecánicos fueron analizados para los distintos taludes rocosos en base a una zonificación lito-estructural donde se tomó los parámetros físicos de los macizos con ayuda de los equipos imprescindible como: brújula, cinta métrica, esclerómetro de bajo impacto y peine de Barton (15cm de longitud), junto con ello se optó la toma de una muestra de roca para los respectivos ensayos con el fin de determinar las propiedades físicas-mecánicas de la matriz rocosa y su resistencia a la comprensión simple o uniaxial por la prensa hidráulica. Respecto a la clasificación geomecánica se lo aplicó para cada estación definida, estudiando así cualitativa y cuantitativamente el comportamiento y calidad de los macizos rocosos empleando los parámetros geomecánicos, los cuales se los interpretó por medio de tablas para la automatización de los valores, donde por medio de mapas se representó a las tres clasificaciones principales para la caracterización de taludes rocosos en vía como son: RQD, RMR y SMR. Culminando se identificó los tres posibles mecanismos de rotura que brinda un análisis cinemático a través del software Dips 7.0 aplicados a cada zona lito-estructural tomando en cuenta los datos estructurales y los resultados de los ensayos en laboratorio. Finalmente, con el software RocFall 4.0 se realizó 3 modelos de simulación de caída de rocas en base a los criterios requeridos por el programa en dependencia del tipo de material analizado, se tomó en cuenta los macizos más relevantes en cuanto a su altura y su inestabilidad identificados insitu, con la simulación se representa graficas de distribución tanto de velocidad y de energía que adquiere la roca durante todo el recorrido de caída.

Palabras Clave: Ortomosaico, Macizo rocoso, Clasificación geomecánica, lito-estructural RQD, RMR, SMR.

Abstract

The present investigation deals with the geomechanical characterization of the rock massifs in a 1,100 m long stretch of road located on the Sunamanga - Sacapalca road between the Potrerillos - Sacapalca neighborhoods of the Gonzanamá canton, province of Loja, located on the left margin in the forward direction. The topographic work on the ground was done using an unmanned aerial vehicle (Dron) due to its low cost and less time, the respective surface control points were surveyed by means of a differential GPS RTK, obtaining a detailed orthophoto or orthomosaic of the study area and the generation of contour lines every 1m. For the geological survey, the outcrops and structures present in the study area were described, the lithological environment was characterized by volcanic tuffs, volcanic breccias, colluvial deposits and saprolites. The physical-mechanical parameters were analyzed for the different rock slopes based on a litho-structural zoning where the physical parameters of the massifs were taken with the help of essential equipment such as: compass, tape measure, low impact sclerometer and Barton comb (15cm long), along with this, a rock sample was taken for the respective tests in order to determine the physical-mechanical properties of the rock matrix and its resistance to simple or uniaxial compression by the hydraulic press. Regarding the geomechanical classification, it was applied for each defined station, studying qualitatively and quantitatively the behavior and quality of the rock masses using the geomechanical parameters, which were interpreted by means of tables for the automation of the values, where by means of maps the three main classifications for the characterization of rock slopes on the road were represented, such as RQD, RMR and SMR: RQD, RMR and SMR. Finally, the three possible failure mechanisms were identified through a kinematic analysis using Dips 7.0 software applied to each litho-structural zone, taking into account the structural data and the results of the laboratory tests. Finally, with the RocFall 4.0 software, 3 rock fall simulation models were made based on the criteria required by the program depending on the type of material analyzed, taking into account the most relevant massifs in terms of height and instability identified in situ, with the simulation representing distribution graphs of both velocity and energy acquired by the rock during the entire fall path.

Key words: Orthomosaic, Rock mass, Geomechanical classification, litho-structural, RQD, RMR, SMR.

3. Introducción

El presente trabajo de investigación trata sobre la “Caracterización geomecánica de los macizos rocosos ubicados en el tramo Potrerillos-Sacapalca, de la vía Sunamanga-Sacapalca del cantón Gonzanamá, provincia de Loja, Ecuador”, los taludes rocosos de corte que fueron estudiados se ubican en el margen izquierdo del eje vial en sentido de avance, la principal problemática que presentan dichos taludes es la continua caída de rocas en sus faldas y en la calzada de la vía, que afectan a conductores y transeúntes en la viabilidad, además, de que causa daño a las estructuras y propiedades, por tal motivo se optó en el estudio de los macizos rocosos ubicados entre las barrios Potrerillos – Sacapalca confeccionando con ayuda de datos GPS un abscisado arbitrario 00+000 a 01+100 el cual representa una longitud de 1.100 m con una sección de 60 m a cada lado del eje de la vía, siendo una extensión adecuada para caracterizar geomecánicamente los macizos rocosos, ya que los mismos presentan una extensión u espesor respecto al eje vial menor a 20 m y principalmente por la carencia de taludes de corte fuera de esta faja topográfica, por tanto el principal problema se centra en una estructura lineal donde se encuentran ubicados los macizos rocosos al margen izquierdo en sentido de avance de la vía.

Para indagar la problemática es necesario mencionar los factores de la geología, la litología, la morfología y las condiciones hidrogeológicas que al alterarse interna y externamente pueden originar movimientos en masa principalmente para este caso de caída de rocas, a ello se le suma la actividad humana en las zonas de influencia directa en la vía, que puede definirse como un aumento o disminución de la resistencia al corte, cuyo efecto ipso facto puede ser la inestabilidad de un bloque de roca, generando afectaciones a la calzada vial que es la única forma de transporte terrestre, de comunicación y comercio de la zona.

Los taludes de corte se conforman mayormente por rocas intemperizadas cuya resistencia son mucho menor que la matriz rocosa, debido a la alteración durante su construcción y las condiciones meteorológica que inciden a las rocas donde estas se seguirán degradando, por ello, uno de los principales problemas presentes en los taludes de la vía Potrerillos – Sacapalca son resultado de la carencia de información sobre las características geológicas y geomecánicas, siendo estudios primordiales ante una previa construcción estructural, el desconcierto de las características que presenta el macizo rocoso como su litología, discontinuidades, grado de alteración, entre otros, producen el debilitamiento y como resultado el desprendimiento de rocas, además, la falta de mantenimiento vial, inadecuados procesos constructivos, pendiente desfavorable y escasez de drenajes especialmente en zonas superiores de los taludes. Dado estos antecedentes, el presente trabajo investigativo es una respuesta a la problemática antes difundida.

Por ello la presente investigación conforma una serie de procedimientos siguiendo una estructura sistemática que llegan a dividir al trabajo en tres partes:

La primera consiste en la recopilación de precedentes de información, el levantamiento topográfico con uso de vehículos aéreos no tripulados y la caracterización geológica de la zona de estudio.

La segunda parte, se basa en la ejecución de los ensayos de laboratorio para determinar los parámetros físico-mecánicos de los macizos rocosos, se clasifica a los macizos rocosos mediante el método de Palmstrom (RQD), Bieniawski (RMR), Romana (SMR) y el análisis cinemático para definir los diferentes tipos de mecanismo de rotura por cada zona geomecánica.

Por último, se procede con tres modelamientos de simulación de caída de roca a partir del software RocFall 4.0 para analizar la velocidad de traslacional y energía cinética de los caídos de roca.

Finalmente se organiza y se sintetizan los resultados obtenidos en oficina para el desarrollo de las conclusiones y las correspondientes recomendaciones.

Para otorgar cumplimiento al tema principal y al proceso antes mencionado se ha planteado un objetivo general y tres objetivos específicos que son los siguientes:

Objetivo General

- Caracterizar geomecánicamente los macizos rocosos ubicados en el tramo vial Potrerillos-Sacapalca del cantón Gonzanama, provincia de Loja, a escala 1:1000.

Objetivos Específicos

- Elaborar el levantamiento topográfico y geológico.
- Obtener las propiedades físico-mecánicos de los macizos rocosos en el tramo de estudio.
- Caracterizar los macizos rocosos en base al criterio de clasificación SMR de Romana, y un modelo de simulación de caída de rocas con el uso del software RocFall.

4. Marco Teórico

4.1 Drones

Según la expresión de Ortega (2018, como se citó en Machado y Pertúz, 2020) establece sobre el dron que: “Son estructuras aéreas autónomas o también pueden ser pilotadas a distancia. Poseen diversos usos en distintos ámbitos, como: Fotografía, Topografía, Fotogrametría, Geología, Publicidad, Meteorología, Agricultura, entre otras.” (p.20)

4.1.1. Levantamiento Topográfico con Drones

Acorde a Machado y Pertúz, (2020) expresa lo siguiente con respecto a drones:

Los drones han innovado los trabajos topográficos, siendo la reducción de costes una característica que sobresale en su utilización. Esto ha permitido la realización de nuevos proyectos que antes no eran viables, además, la incorporación de drones mejora la utilidad de tiempo. Por ejemplo, examinar un terreno podía costar días o semanas dependiendo de su extensión. Hoy en día con un dron en menos de una hora puedes examinar unas cien hectáreas, con lo que el avance es muy importante (p.24-25).

4.2 Caracterización litológica

Para García y Prado (2005, como se citó en Cerquera et ál, 2017) el caracterizar un material se define como:

Las rocas se componen de diferentes minerales según el estado y condiciones de formación de estos, se clasifican en tres grandes grupos: ígneas, producidas como consecuencia de procesos magmáticos y eruptivos; sedimentarias, originadas por la acumulación de fragmentos de otras rocas o por precipitación química de minerales; y metamórficas, formadas en el interior de la Tierra, donde son sometidas a fuertes presiones y elevadas temperaturas que hacen cambiar su estructura y composición mineralógica (p.18).

De acuerdo a la Sociedad Colombiana de Geotecnia (1992, como se citó en Cerquera et ál, 2017) para estudiar un agregado se requiere:

Primeramente, el examen físico de un agregado concierne en determinar el aspecto, color, dureza, etc. A continuación, suele procederse a su análisis microscópico, para lo cual se cortan mediante máquinas especiales secciones de espesor mínimo que permitan su análisis al microscopio. Éste revela la forma de los cristales que componen la roca, la relación entre los distintos minerales, la microestructura y toda una serie de magnitudes evaluables (p.18).

4.3 Remoción en masa

Acorde a Morales (2015) expresa lo siguiente:

“Los fenómenos de remoción en masa son procesos de transporte de material definidos como procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores. Estos movimientos tienen carácter descendente ya que están altos controles por la gravedad” (p.1).

4.3.1. Caídos

En 2009, Suárez define a un caído como “el desprendimiento y caída de materiales del talud. 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” (p.8). De hecho “este desplazamiento se produce principalmente por caída libre, a saltos o rodando (figura 1.a). Los caídos de suelo, en escarpes semi-verticales, representan un riesgo importante para los elementos que están debajo del talud (figura 1. b)” (Suárez,2009, p.8).



Figura 1. Esquema de caído de roca (a) y caído de residuos (b).

Nota: Suárez (2009)

4.4 Generalidades de la mecánica de rocas

Comúnmente la mecánica de rocas es la rama esencial en el desarrollo de las industrias principalmente de la minería e ingeniería civil, de ahí que se efectúan excavaciones las cuales necesitan los debidos estudios ya que pueden producir cambios en los campos de fuerza con respecto al ámbito físico de las rocas.

Una definición aceptada de mecánica de rocas por Ramírez Oyanguren y Monge, (2004, p.3) detalla lo siguiente: “Mecánica de rocas es la ciencia teórica y aplicada que estudia el comportamiento geomecánico de las rocas y 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”.

La temática de mecánica de rocas hoy en día es muy necesaria en obras civiles y mineras, sobre todo a gran escala; por tanto, se ha requerido el desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías, con el principal propósito de mejorar la seguridad, consiguiendo una correcta operatividad.

4.5 Macizos Rocosos

“Macizo rocoso 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 anisótropos, discontinuos y heterogéneos” (Velasco, 2022, p.5).

El origen de los macizos rocoso comienza por los procesos dinámicos geológicos en el interior de superficie terrestre, la composición mineralógica tiene mucho que ver con el aspecto y formas que se pueden presentar a superficie, denotando características propias de cada litológica en lo que respecta a los macizos rocosos.

Básicamente presentan una resistencia a la tracción nula, según Velasco, (2022), se pueden manifestar de las siguientes formas:

Anisotropía: según la presencia de sus planos de debilidad de orientaciones preferentes (estratificación, laminación, familias de diaclasas tectónicas) implica diferentes propiedades y comportamiento mecánico en función de la dirección considerada. También la orientación de los esfuerzos que se ejercen sobre el material rocoso puede implicar una anisotropía asociada al estado tensional.

Discontinuidad: según la presencia de discontinuidades (superficies de estratificación, juntas, fallas, diques. etc.) que pueden llegar a romper la continuidad de las propiedades mecánicas de los bloques rocosos, confiriendo al macizo un comportamiento geomecánico e hidráulico discontinuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad.

Heterogeneidad: influyen las zonas con diferente litología, grado de alteración o meteorización, contenido en agua, etc., pueden presentar propiedades diversas. Las discontinuidades y los bloques de matriz constituyen en conjunto la estructura rocosa, y gobiernan el comportamiento global del macizo rocoso, predominando uno u otro componente en función de sus propiedades relativas y de la escala o ámbito de estudio en el macizo (p.5).

Para caracterizar un macizo rocoso se examinan las características generales del mismo, entre las cuales resaltan:

Litología: Se describe el tipo de roca

Resistencia: En campo la resistencia de una toca se determina en relación al número de golpes que son necesarios para fracturar la misma.

Grado de meteorización: es la descomposición física y química de la roca al estar expuesta a agentes atmosféricos, reflejados en la tabla 1.

Condiciones hidrogeológicas: el agua fluye a través del macizo rocoso dependiendo de las fisuras, micro fisuras y porosidad de la roca, este hecho influye en el comportamiento mecánico del macizo rocoso. (González, 2018, p.13).

Tabla 1. Grado de meteorización de la roca.

TERMINO	DESCRIPCIÓN	GRADO
Inalterada o Roca		
Fresca (F)	No presenta signos visibles de meteorización en la roca	I
Levemente Alterada (SW)	La decoloración indica meteorización de la roca y en las superficies de las discontinuidades. la roca en su totalidad puede estar decolorada por la meteorización y puede estar extremadamente algo más débil, que en su condición fresca	II
Moderadamente Alterada (NM)	Menos de la mitad de la toca esta descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como capas o testigos continuos	III
Muy Alterada (HW)	Más de la mitad de la roca esta descompuesta y/o desintegrada como un suelo. la roca fresca o decolorada se puede presentar como capas o testigos discontinuos	IV
Completamente Meteorizada (CW)	Toda la roca esta descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La estructura original del macizo aún se mantiene en gran parte intacta	V
Suelo residual (R)	Toda la roca esta convertida como suelo. La estructura del macizo y la fábrica del material están destruidas. Existe un gran transportado significativamente	VI

Nota: ISRM, 1981.

4.6 Propiedades Físico mecánicas de la matriz rocosa

Las propiedades físicas de las rocas son origen de su composición mineralógica, fábrica y crónica geológica, deformacional y ambiente, incluyendo los procesos de alteración y meteorización. La finalidad de estas propiedades se ven reflejadas en diferentes comportamientos mecánicos frente a las fuerzas que se aplican directamente sobre las rocas, estos serán definidos por el grado de resistencia del material y por su modelo de deformación. Serán por tanto las propiedades físicas de las rocas las que determinen su comportamiento mecánico. La cuantificación de estas propiedades se lleva a cabo mediante técnica específicas y ensayos de laboratorio.

En las propiedades y en el comportamiento mecánico de los macizos rocosos

competentes influye el grado de fracturación y de meteorización, la presencia de agua, la orientación y tipo de discontinuidades, el tamaño de los bloques, etc. (Velasco, 2022, p.8).

González, (2018) manifiesta lo siguiente: “Las propiedades mecánicas dependen de la variabilidad de las propiedades físicas para poder determinar el comportamiento mecánico del macizo rocoso, evaluando por medio de ensayos de laboratorio”, a continuación, se detallan las propiedades a determinarse en el presente trabajo, ver en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades Físico-Mecánicas de la matriz rocosa.

	PROPIEDADES	METODOS DE DETERMINACIÓN
	Tipo de roca	
Propiedades Físicas	Genesis y textura Color Composición mineralógica	Descripción visual (Campo)
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la compresión simple	Ensayo de compresión simple Martillo Schmidt

Nota: González, et ál (2002, como se citó en González, 2018)

4.6.1. Propiedades físicas

Yupanqui, (2004) expone que para obtener las propiedades físicas de la roca se deben establecer los pesos de las rocas, estos en: estado natural, sumergido, seco y saturado, así como la elaboración de probetas simétricas o irregulares de la matriz rocosa o mineral.

Entre los análisis de propiedades físicas tenemos:

- Peso específico

Según la Universidad de los Andes, (2018) el peso específico:

También es llamado peso unitario, se define por el peso de la muestra (W) por unidad de volumen de la muestra (V).

$$Pe(\gamma) = \frac{W}{v}$$

Dónde:

W: Peso.

V= Volumen.

Es posible determinar el peso específico aparente y real a través de las siguientes fórmulas:

Peso específico aparente

$$\rho_a = \frac{W_{seco}}{W_{sat} - W_{sumergido}} * \gamma_w$$

Dónde:

$\gamma_w = \text{densidad del agua expresada en } 1\text{g/cm}^3.$

Peso específico real

$$\rho_r = \frac{W_{\text{pulverizada}}}{W_2 - W_{\text{pulverizada}} - W_1}$$

Dónde:

W pulverizada= muestra pulverizada.

W1= W picnómetro + agua + muestra pulverizada.

W2= W picnómetro + agua.

Porosidad

Según la Universidad de los Andes, (2018) la porosidad:

Se define como la relación entre el volumen ocupado por los huecos o poros en la roca (V_p) y volumen total de la roca (V).

$$n = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}\right) * 100(\%)$$

Dónde:

n= porosidad.

ρ_a = peso específico aparente.

ρ_r = peso específico real

Es posible determinar la porosidad eficaz: Según la Universidad de los Andes, (2018) esta porosidad se define:

Como la relación que existe entre el volumen de poros interconectados y el volumen total de la muestra. Sin embargo, esta porosidad se puede obtener con la siguiente formula:

$$n_e = \frac{(W_{\text{sat}} - W_{\text{seco}})}{(W_{\text{sat}} - W_{\text{sumergido}})} * 100(\%)$$

Para Archie, (1952) los porcentajes de porosidad son los siguientes:

- Muy alta: mayor a 32%.
- Alta: 16 – 32%.
- Media: 8 – 16%.
- Baja: 4 – 8%.
- Muy baja: menor al 4%.

– **Absorción**

Según menciona Feijoo Calle, (2021) expresa lo siguiente:

La absorción se refiere a como el agua llena los vacíos o poros de una muestra de roca sumergida en líquido. Los valores de absorción se determinan en porcentaje y se calcula entre la razón del peso del agua absorbida y el peso de la muestra seca.

$$C_{abs} = \frac{W_{aire} - W_{seco}}{W_{seco}} * 100(\%)$$

Dónde:

C_{abs}= coeficiente de absorción.

W_{aire}= peso natural de la muestra.

W_{seco}= peso en seco.

- **Contenido de humedad**

Ramírez Oyanguren y Monge, (2004) mencionan lo siguiente: la humedad de una muestra se define como la razón entre la masa de agua contenida en la roca y la masa de muestra seca; se expresa netamente en porcentaje

$$C.H. = \frac{W_{sat} - W_{seco}}{W_{seco}} * 100(\%)$$

Dónde:

W_{sat}= peso saturado.

W_{seco}= peso seco.

- **Gravedad específica**

La gravedad específica se refiere a la densidad de un material con respecto al agua. Se deducir con siguiente expresión:

$$G_s = \frac{W_s}{W_w} = \frac{W_s}{W_s + W_{bw} - W_{bws}} * G_w$$

Dónde:

W_s= peso en seco de la muestra.

W_{bw}= peso picnómetro + agua.

W_{bws}= peso picnómetro + agua + muestra pulverizada

4.6.2. Propiedades mecánicas de la matriz rocosa

Se analizan la relación de los esfuerzos a los que está sometida la roca, las deformaciones a lo largo del proceso de carga y la rotura de las rocas (González et ál., 2002).

Para determinar las propiedades mecánicas existen diferentes tipos de ensayos que se realizan en laboratorio mediante una muestra tomada (probeta de roca o cubos de roca), entre estos tenemos: ensayo de compresión simple o uniaxial, triaxial, de tracción indirecta y de carga puntual, también, existe otro método con el cuál se puede estimar la resistencia de la matriz

rocosa con el uso del martillo de Schmidt. Es un proceso práctico donde la roca no es destruida al momento de aplicar un efecto de rebote con fin de conocer la lectura de dureza de la roca.

– **Compresión uniaxial o simple**

En 2007, Rodríguez hace referencia a lo siguiente:

La resistencia a la compresión uniaxial (RCU) es un parámetro que permite determinar y clasificar la matriz rocosa, determina la calidad de la roca para mantener unido todos sus componentes y depende especialmente de la composición mineral y del grado de alteración que posee.

La aplicación del ensayo de compresión uniaxial es necesario al determinar resistencia de la roca; para su ejecución se necesita un probeta o cubo de roca tomada insitu en la zona de estudio, comúnmente obtenidas en los bloques de roca de bloques de roca. Las muestras deben estar en óptimas condiciones, es decir lo menos alteradas posibles sin fisuras o discontinuidades, lo que permitirá tener lecturas más precisas al momento de aplicar la compresión a las muestras.

Según Ramírez Oyanguren y Monge, (2004) expresa:

Aunque el ensayo parezca muy simple, requiere de mucho cuidado la interpretación de los datos, debido principalmente a la heterogeneidad de las muestras de roca. Existen factores de relativa importancia litológica que intervienen en la (RCU) como:

- Tamaño de grano.
- Porosidad.
- Meteorización.
- Grado de microfisuración.
- Presión y temperatura sometida durante su formación

En la determinación del ensayo de compresión uniaxial es necesario de muestra de rocas, ya sea de tipo cilíndrica o cúbica, que debe atender la esbeltez en normativas de este tipo de ensayos entre rangos de 2 a 3; esta relación de esbeltez se refiere a la razón entre la altura y diámetro de la probeta. El equipo a utilizar en este ensayo es una prensa hidráulica, en la cual se coloca la probeta, a la que se le aplica una fuerza axial continua hasta producirse la rotura, siendo esta el máximo esfuerzo la roca llega a soportar.

El cálculo de la resistencia a la compresión uniaxial está expresado por:

$$\sigma_c = \frac{FC}{A}$$

Dónde:

σ_c = Esfuerzo expresado en Kg/cm²; también se puede transformar a MPa.

Fc= Fuerza compresiva aplicada.

A= Área de aplicación.

Según Benavente, (2006) en cuanto al realizar ensayos de compresión:

Las rocas tienden a romperse y esto es debido a dos casos particulares como:

Fractura: infiere las características de la roca y principalmente a la concentración de fisuras que posee; la fractura se da al límite máximo de resistencia que puede soportar la roca.

Fragmentación: se produce cuando no existe interacción entre fisuras y son de carácter homogéneo, principalmente se dan en rocas porosas.

Tabla 3. Clasificación de las rocas según su resistencia de acuerdo al ISRM.

Resistencia (Mpa)	Clasificación
>250	Extremadamente alta
100-250	Muy alta
50-100	Alta
25-50	Media
2-25	Baja
1-5	Muy baja
0.25-1	Extremadamente baja

Nota: Brown (1981)

Otro tipo de clasificación según la resistencia a la compresión uniaxial, ver tabla 4:

Tabla 4. Clasificación en base a (R.C.U).

Descripción	Resistencia a la Compresión Simple (Mpa)	Ejemplo de Roca
Resistencia muy baja	1-25	Yeso, sal de roca
Resistencia baja	25-50	Carbón, limonita, esquisto
Resistencia media	50-100	Arenisca, pizarra, lutitas
Resistencia alta	100-200	Mármol, granito, gneis
Resistencia muy alta	>200	Cuarcita, gabro, basalto

Nota: Agasco (2007)

La clasificación de resistencia de la roca, se realiza mediante el uso de martillo geológico o de Schmidt (tabla 5), se determina cuan resistente es la roca, en dependencia del requerimiento de más de un golpe con el uso del martillo geológico.

Tabla 5. Clasificación de las rocas de acuerdo al martillo geológico.

Grado	Clasificación	Identificación	Rango aproximado de R.C.U (MPa)
R0	Roca extremadamente débil	Se puede marcar con la uña	0.25-1.0
R1	Roca muy débil	Se desmorona al golpear con la punta del martillo.	1.0-5
R2	Roca débil	Se descascarilla con dificultad. Al darle golpes con la punta del martillo se forman pequeñas marcas.	5-25
R3	Roca moderadamente dura	No se puede raspar. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo.	25-50
R4	Roca dura	Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla.	50-100
R5	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes con el martillo para fracturarla.	100-250
R6	Roca extremadamente dura	Al golpear con el martillo saltan esquirlas, tiene sonido metálico al darse el golpe.	>250

Nota: ISRM, 1981

4.7 Discontinuidades

González, et ál (2002) se expresa acorde a discontinuidades: Las superficies o los planos de discontinuidad de los macizos rocoso, son los que condicionan la forma definitiva de sus propiedades y el comportamiento resistente, dictaminan un carácter discontinuo y anisótropo a los macizos, haciéndolos más deformables y poco resistentes. Las discontinuidades se evidencian en los planos preferentes de alteración, meteorización y fractura, y permiten el flujo de agua (p.176).

“Las masas rocosas se presentan en la naturaleza afectadas por una serie de planos de discontinuidad o debilidad que separan bloques de matriz rocosa, formando los macizos rocosos. Para el estudio del comportamiento mecánico del macizo rocoso deben estudiarse las propiedades tanto de la matriz como de las discontinuidades” (Velasco, 2022, p.5).

4.7.1. Tipos de discontinuidades

En la tabla 6, se representan los “tipos de discontinuidades en dependencias a si son sistemáticos cuando aparecen en familias y singulares, y si son singulares cuando se presentan individualizados o existen un solo plano que atraviesa el macizo rocoso” (González et ál, 2002, p.178).

Tabla 6. Tipos de discontinuidades

DISCONTINUIDADES	SISTEMÁTICAS	SINGULARES
Planares	- Diaclasas o juntas	- Fallas
	- Planos de estratificación	- Diques
	- Planos de laminación	- Discordancias
	- Planos de esquistosidad	
Lineales	- Intersección de discontinuidades planares.	- Ejes de pliegues

Nota: González, et ál (2002)

4.7.2. Características para las discontinuidades.

Velasco, (2022) manifiesta la descripción de las diferentes familias de discontinuidades en un macizo rocoso, que incluyen las siguientes características y parámetros geométricos.

Orientación de una discontinuidad: queda definida por su buzamiento y por su dirección de buzamiento. La determinación de la orientación media de cada familia se establece a partir de valores estadísticos representativos.

Espaciado: es la distancia media perpendicular entre los planos de discontinuidad de una misma familia. Influye en el comportamiento global de macizo rocoso y define el tamaño de los bloques de matriz rocosa que forman las diferentes familias. Si lo espaciado son pequeños, la resistencia del macizo rocoso disminuye de forma considerable, véase la tabla 7:

Tabla 7. Terminología de espaciados recomendada por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (SIMR)

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO (mm)
Extremadamente cerrado	< 20
Muy cerrado	20 – 60
Cerrado	60 - 200
Moderado	200 – 600
Abierto	600 – 2000
Muy abierto	2000 – 6000
Extremadamente abierto	>6000

Nota: Ramírez Oyanguren y Monge (2004)

Continuidad o persistencia: se refiere a la extensión que posee el plano de discontinuidad. Define en gran parte si la matriz rocosa va a estar involucrada o no en los procesos de rotura del macizo rocoso, y en qué grado condiciona los parámetros resistentes globales del mismo, como se observa en la tabla 8:

Tabla 8. Terminología de continuidad o persistencia recomendada por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (SIMR) (Brown, 1981)

TÉRMINO	CONTINUIDAD (mm)
Muy pequeña	< 1
Pequeña	1 – 3
Media	3 – 10
Grande	10 – 20
Muy grande	>20

Nota: Ramírez Oyanguren y Monge (2004)

Rugosidad: la rugosidad de un plano de discontinuidad determina su resistencia al corte. A mayor rugosidad mayor es la resistencia. La presencia de irregularidades dificulta el movimiento durante los procesos de desplazamiento tangencial por corte a favor de las discontinuidades. Se puede clasificar en nueve grados de rugosidad (figura 2):

Descripción	Perfil	Jr	JRC	JRC
			200mm	1m
Rugoso		4	20	11
Suave		3	14	9
Espejo de falla		2	11	8
Escalonado				
Rugoso		3	14	9
Suave		2	11	8
Espejo de falla		1,5	7	6
Ondulado				
Rugoso		1,5	2,5	2,3
Suave		1	1,5	0,9
Espejo de falla		0,5	0,5	0,4
Plano				

Figura 2. Escala según el grado de rugosidad, para observaciones de hasta un metro de longitud.

Nota: Barton y Choubey (1997)

Abertura: es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno (tabla 9). Este parámetro puede sufrir gran variación en diferentes zonas del macizo rocoso: mientras que en superficie la abertura puede ser elevada, al aumentar la profundidad ésta se reduce, pudiendo llegar a cerrarse.

Tabla 9. Descripción de la abertura de las discontinuidades.

Abertura	Descripción
< 0,1 mm	Muy cerrada
0,1 – 0,25 mm	Cerrada
0,25 – 0,5 mm	Parcialmente abierta
0,5 – 2,5 mm	Abierta
2,5 – 10 mm	Moderadamente ancha
>10 mm	Ancha
1 – 10 cm	Muy ancha
10 – 100 cm	Extremadamente ancha
>1 m	Cavernosa

Nota: González de Vallejo (2003)

Relleno: en ocasiones las discontinuidades aparecen con relleno de materiales blandos arcillosos o con material roco o de naturaleza distinta a la de las paredes. Las propiedades físicas y mecánicas del relleno, como la resistencia al corte, deformabilidad y permeabilidad, pueden ser muy variables, y controlan el comportamiento de la discontinuidad. (p.22-24).

Resistencia de las paredes de la discontinuidad: es la resistencia a la compresión simple, que depende del tipo de matriz rocosa, de la existencia o no de relleno y del grado de alteración.

Flujo o filtración: es el agua presente en la discontinuidad (González, 2018, p.16).

Tabla 10. Descripción de las filtraciones en discontinuidades.

Clase	Discontinuidad sin relleno	Discontinuidad con relleno
I	Junta muy plana y cerrada. Aparece seca y no parece posible que circule agua.	Relleno muy consolidado y seco. No es posible el flujo de agua.
II	Junta seca sin evidencia de flujo de agua.	Relleno húmedo, pero sin agua libre.
II	Junta seca, pero con evidencia de haber circulado agua.	Relleno mojado con goteo ocasional.
IV	Junta húmeda, pero sin agua libre.	Relleno que muestra señales de lavado, flujo de agua continuo (estimar el caudal 1/min.).
V	Junta con rezume, ocasionalmente goteo, pero sin flujo continuo.	Relleno localmente lavado, flujo considerable según canales preferentes (estimar caudal y presión)
VI	Junta con flujo continuo de agua (estimar el caudal en 1/min. y la presión)	Rellenos completamente lavados, presiones de agua elevadas.

Nota: González, et ál (2002)

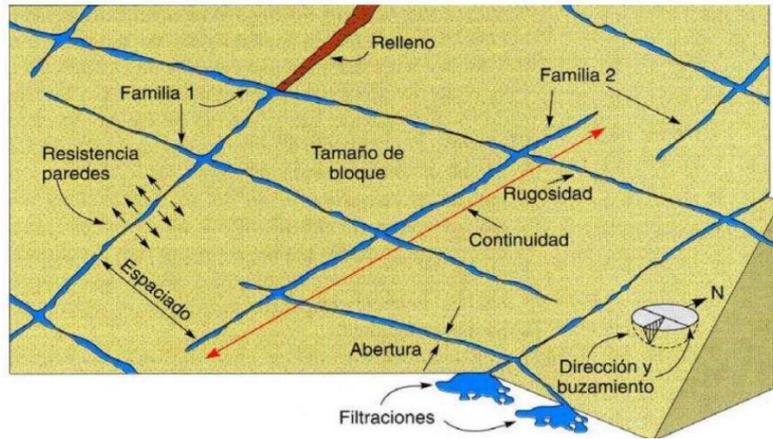


Figura 3. Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades.

Nota: Hudson (1969, como se citó en González, et ál, 2002)

4.8 Clasificación geomecánica de los macizos rocosos

Según González, et ál, (2002) refiere lo siguiente:

Las clasificaciones de los macizos rocosos están basadas en alguno o varios de los factores que determinan su comportamiento mecánico:

- Propiedades de la matriz rocosa
- Frecuencia y tipo de discontinuidades, que define el grado de la fracturación, el tamaño y la forma de los bloques del macizo, sus propiedades hidrogeológicas, etc.
- Grado de meteorización o alteración
- Estado tensional in situ
- Presencia de agua (p. 132)

Los criterios de la clasificación geomecánica en macizos rocos que se va a utilizar en el presente trabajo, se basan en métodos cualitativos y cuantitativos reflejados en la tabla 11:

Tabla 11. Métodos de clasificación geomecánica de macizos rocosos.

Métodos Cualitativos	“RQD” Deere (1989)
Métodos Cuantitativos	“RMR” Bieniawski (1985)
	“SMR” Romana (1985)
	“Q” Barton (1974)
	“GSI” Hoek & Brown (1995)

Nota: González (2018)

4.8.1. RQD (Rock Quality Designation).

Según Belandria y Bongiorno, (2012) refiere:

La calidad de roca R.Q.D se puede a partir:

- Trozos de rocas testigos mayores de 10cm recuperados en sondeos.

- Número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen (1m³) del macizo rocoso, definido mediante el parámetro Jv .
- Teóricamente a partir de la densidad de las discontinuidades o frecuencia de las discontinuidades (λ) por Hudson, 1989 (p. 3).

“El valor del RQD no solo depende de la fracturación del macizo rocoso sino también de otros factores, como la técnica del sondeo, su dirección, diámetro, etc.” (Ramírez Oyanguren y Monge, 2004, p. 148)

Para el primer caso se utiliza la primera fórmula:

$$RQD = \frac{\text{Longitud recuperada en piezas} \geq 0.1m}{\text{longitud del sondeo}} * 100\%$$

Para el segundo caso se utiliza la siguiente fórmula:

$$RQD = 115 - 3.3 Jv$$

Para el tercer caso se utiliza la siguiente fórmula, adecuada a la anterior:

$$RQD = 110 - 2.5 Jv$$

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

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

Donde

Jv : índice volumétrico de fisuras por cada m³

$$Jv = \sum \left(\frac{1}{SMi} \right)$$

SMi: Espaciamiento o separación medio de cada fisura en m (Belandria y Bongiorno, 2012, p.3)

El valor obtenido en las fórmulas anteriores es comparado con la siguiente tabla 12:

Tabla 12. Índice de la calidad de roca (RQD).

Índice de Calidad RQD	Calidad
0 - 25 %	Muy mala
25 - 50%	Mala
50 - 75 %	Regular
75 - 90%	Buena
90 - 100%	Excelente

Nota: Bieniawski (1989)

4.8.2. RMR (Rock Mass Rating)

Según Belandria y Bongiorno, (2012) el RMR:

El parámetro que define la clasificación de macizos rocosos es el denominado índice RMR (Rock mass rating), que muestra la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural.

Para obtener el Índice RMR de Bieniawski se realiza lo siguiente:

- Se suma los 5 variables o parámetros calculados, eso da como resultado un valor índice (RMR básico).
- El parámetro 6 que se refiere a la orientación de las discontinuidades respecto a la excavación.
- El valor del RMR varía entre 0 a 100.

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

Dónde:

1. Parámetro 1: Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa (tabla 13).

Tabla 13. Parámetros del RMR de la resistencia en roca sana.

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	ENSAYO CARGA PUNTUAL (MPa)	VALORACIÓN
Extremadamente dura	>250	>10	15
Muy dura	100 -250	4 – 10	12
Dura	50 – 100	2 – 4	7
Moderadamente dura	25 – 50	1 – 2	4
Blanda	5 - 25		2
Muy blanda	1 - 5	< 1	1
	< 1		0

Nota: Bieniawski (1989)

2. Parámetro 2: R.Q.D. grado de fracturación del macizo rocoso (tabla 14).

Tabla 14. Índice de la calidad de roca (RQD).

Índice de Calidad RQD	Calidad	Valoración
0 - 25 %	Muy mala	3
25 – 50%	Mala	8
50 – 75 %	Regular	13
75 – 90%	Buena	17
90 – 100%	Excelente	20

Nota: Bieniawski (1989)

3. Parámetro 3: Condiciones de las discontinuidades (considera a la abertura. Continuidad, rugosidad, alteración y relleno), ver tabla 15.

Tabla 15. Espaciado de discontinuidades

Descripción	Espacio de las juntas	Tipo de macizo rocoso	Valoración
Muy separadas	>2m	Solido	20
Separadas	0,6-2 m	Masivo	15
Moderadamente juntas	200-600 mm	En bloques	10
Juntas	60-200 mm	Fracturado	8
Muy Juntas	<60 mm	Manchado	5

Nota: Bieniawski (1989)

4. Parámetro 4: condición de las discontinuidades (tabla 16), se debe considera los siguiente:

- Abertura
- Continuidad
- Rugosidad
- Alteración o Relleno

Tabla 16. Condición de las discontinuidades

Parámetro	Rango de valores				
	<1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	>20 m
Longitud de la discontinuidad					
Valor	6	4	2	1	0
Apertura	Nada	<0, mm	0,1 - 1,0 ,,	1 – 5 m	>5 mm
Valor	6	5	3	1	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
Valor	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Relleno duro <5 mm	Relleno duro >5 mm	Relleno blando <5 mm	Relleno blando >5 mm
Valor	6	4	2	2	0
Meteorización	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy Alterada	Muy Alterada
Valor	6	5	3	1	0

Nota: Bieniawski (1989)

5. Parámetro 5: Presencia del Agua, en un macizo rocoso (seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte), condiciones hidrogeológicas (tabla 17).

Tabla 17. Flujo de agua

Caudal 10 m de túnel	Relación presión agua-tensión	Descripción	Valoración
Nulo	0	Seco	15
< 10 litros/min	<0,1	Ligeramente húmedo	10
10 – 25 litros/min	0,1 - 0,2	Húmedo	7
25 – 125 litros/min	0,2 – 0,5	Goteando	4
> 125 litros/min	>0,5	fluyendo	0

Nota: Bieniawski (1989)

Orientación de las discontinuidades (tabla 18).

Tabla 18. Orientación de las discontinuidades del talud

Rumbo perpendicular al eje de la obra						
Dirección según buzamiento		Dirección contra buzamiento		Rumbo paralelo al eje de la obra		Buzamiento 0-20°
Buzam. 45°- 90°	Buzam 20°- 45°	Buzam 45°- 90°	Buzam 20°- 45°	Buzam 45°- 90°	Buzam 20°- 45°	Independiente del rumbo
Muy favorable 0	Favorable -2	Regular -5	Desfavorable -10	Muy desfavorable -12	Regular -5	Desfavorable -10

Nota: Bieniawski (1989)

De acuerdo a Bieniawski (1989), “el Sistema RMR evalúa los rangos de rugosidad en una escala de rugosos a muy rugosos, con términos del índice JRC de 20 a 0” (p.59) (tabla 19).

Tabla 19. Rugosidad de acuerdo al índice JRC

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

Nota: Bieniawski (1989)

Para la evaluación de la rugosidad se pueden utilizar los perfiles de Barton & Choubey o los perfiles de Barton & Bandis (figura 4). En 2018, González afirma que “El índice de rugosidad se determina por apreciación visual o por comparación con el peine de Barton, el cual es un dispositivo que replica el perfil de rugosidad de una discontinuidad tanto en campo como en muestras en laboratorio” (P.21)

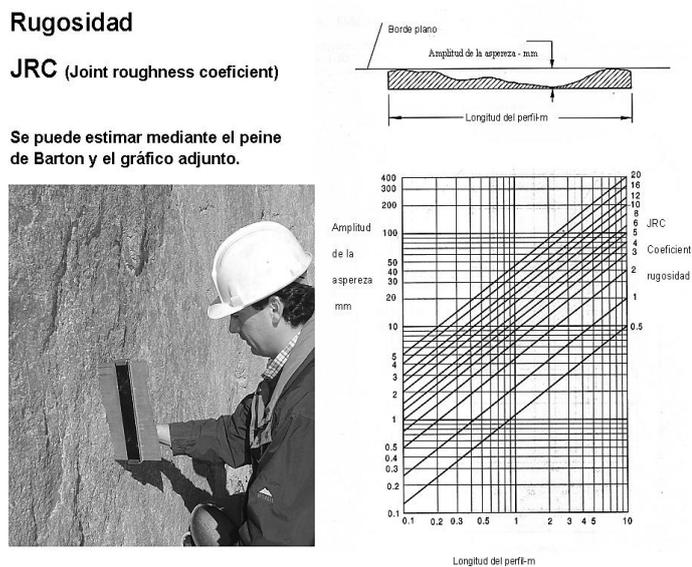


Figura 4. Estimación del JRC por medio del ábaco de Barton y Choubey

Nota: Barton y Bandis (1990)

La relación entre el RMR básico y la calidad de la roca (tabla 20) se obtiene una vez calculado los datos de los cintos parámetros.

Tabla 20. Valores del RMR básico

Clase	Calidad de Roca	RMR	Tiempo de Mantenimiento y Longitud	Cohesión	Ángulo de Rozamiento
I	Muy buena	81 – 100	10 años con 15m de vano	> 4 Kp/cm ²	>45°
II	Buena	61 – 80	6 meses con 8m de vano	3-4 Kp/cm ²	35° - 45°
III	Media	41 – 60	1 semana con 5 m de vano	2-3 Kp/cm ²	25° - 35°
IV	Mala	21 – 40	10 horas con 2.5m de vano	1-2 Kp/cm ²	15° - 25°
V	Muy mala	0 - 20	30 min con 1m de vano	< 1 Kp/cm ²	< 15°

Nota: Bieniawski (1989)

4.8.3. SMR

Belandria y Bongiorno, (2012) aporta lo siguiente:

El índice SMR para la clasificación de taludes se adquiere a partir del índice RMR básico, restando un “factor de ajuste” en función a la orientación de las discontinuidades (y producto de tres subfactores) y esto sumando el “factor de excavación” que es en dependencia al método de excavación utilizado.

$$SMR = RMR_{basico} + (F_1 + F_2 + F_3) + F_4$$

Donde:

Factor de ajuste de las juntas ver en la (Tabla 14)

- **F₁:** Factor de ajuste es en dependencia al ángulo entre la dirección de buzamiento del talud y de la discontinuidad, se asigna un valor de 1 cuando los dos rumbos son paralelos y 0,15 cuando éstos difieren en más de 30° (p.168) (Tabla 16). Empíricamente, ha obtenido la siguiente relación:

$$F_1 = (1 - \text{sen}(\alpha_j - \alpha_s))^2$$

Donde:

α_j es la dirección de buzamiento de las discontinuidades.

α_s es la dirección de buzamiento del talud.

- **F₂:** Factor de ajuste que acata el buzamiento de la discontinuidad si la rotura plana es el mecanismo más probable de fallo del talud. Cuando la discontinuidad buza 45° o superior, al factor F2 se le asigna un valor de 1 y de 0,15 cuando dicho buzamiento es inferior a 20° (Ramírez Oyanguren y Monge, 2004, p. 169) (Tabla 21). Para el cálculo de F2 se utiliza:

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

Donde:

β_j es el buzamiento de la discontinuidad.

Si la rotura por vuelco es el mecanismo más probable, se adopta el valor de 1 para el factor F2

- **F3:** refleja la dirección entre el ángulo de buzamiento de la junta y el talud. En caso de rotura plana, F3 indica la probabilidad de que las juntas afloren en la cara del talud. Se considera normal cuando el buzamiento medio de la familia de discontinuidades es igual al del talud, lo cual pocas juntas estarán descalzadas. Si el buzamiento del plano del talud es 10° mayor que el de las discontinuidades las condiciones serán muy desfavorables. En caso de vuelco, como el proceso de rotura del talud es progresivo, no se consideran en ningún caso condiciones desfavorables (Ramírez Oyanguren y Monge, 2004, p. 169) (tabla 21).

- **F4:** Factor de ajuste según el método de excavación ver en la tabla 22.

RMR se obtiene en dependencia de los coeficientes de Bieniawski, como la suma de las valoraciones correspondientes a 5 parámetros:

- Resistencia a compresión simple de la matriz rocosa,
- RQD,
- Separación de las discontinuidades,
- Condición de las discontinuidades,
- Flujo de agua en las discontinuidades.

El rango del RMR es 0 – 100 (p. 18)

Tabla 21. Factor de ajuste de las juntas (Romana, 1985).

	Caso	Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P	$\alpha_j - \alpha_s$					
T	$\alpha_j - \alpha_s - 180^\circ$	$>30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$<5^\circ$
P/ T	F_1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
	B_j	$<20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$>45^\circ$
P	F_2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	F_2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$>10^\circ$	$10^\circ - 0$	0°	$0 - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
T	$\beta_j + \beta_s$	$<110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$>120^\circ$		-
P/ T	F_3	0	-5	-25	-50	-60

ROTURA: P = Rotura plana; T = Rotura por vuelco; α_s = Dirección de buzamiento del talud; α_j = Dirección de buzamiento de las juntas; β_s = Buzamiento del talud; β_j = Buzamiento de las juntas

Nota: Romana (1985)

Tabla 22. Factor de ajuste según el método de excavación

METODO	TALUD NATURAL	PRECORTE	VOLADURA SUAVE	VOLADURA O MECANICO	VOLADURA DEFICIENTE
F ₄	+15	+10	+8	0	-8

Nota: Romana (1985)

La tabla 23 muestra la clasificación del SMR y las diferentes clases de estabilidad, calidad y los valores límite encontrados en relación al mismo.

Tabla 23. Clasificación SMR

CLASE	V	IV	III	II	I
SMR	0 – 20	21 - 40	41 -60	61 - 80	81 - 100
Calidad	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Probabilidad de Rotura	0.9	0.6	0.4	0.2	0
Tratamientos	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Nota: Romana (1985)

4.9 Estabilidad

Según Suárez, (2009) algunos de los factores fundamentales que afectan la estabilidad de los taludes son: la litología o formaciones geológicas; la estructura geológica; la tectónica y fracturación; la geomorfología; estado de meteorización; la pendiente y el relieve; el clima y la hidrogeología; la sísmica y cobertura vegetal. (p. 39-42).

4.9.1. Criterios de rotura en Macizos Rocosos isótropos

4.9.1.1. Criterio de Hoek y Brown. Es un criterio de rotura validado para macizos rocosos isótropos, los cuales tienen factores para la determinación de su rotura del medio rocoso a gran escala, como son las no lineales con el nivel de tensiones, la influencia del tipo de roca y del estado del macizo rocoso, 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, et al., 2002, p. 193).

La resistencia del macizo rocoso 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 esfuerzos principales efectivos mayor y menor en el momento de la rotura.

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

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

El valor de σ_{ci} se puede obtener a través del ensayo de compresión simple y el valor de m y s se obtiene a través del índice RMR (González de Vallejo, 2003, p. 193).

Para macizos rocosos sin alterar y no afectados por voladuras:

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

4.9.1.2. Criterio de Mohr-Coulomb. Según Mohr-Coulomb (como se citó en Gonzales, et ál, 2002, p.160) El criterio de rotura de Mohr-Coulomb, es un criterio de rotura lineal. Aunque el comportamiento de la roca en un ensayo triaxial no concuerda con un modelo lineal, Mohr-Coulomb se sigue utilizando mucho por su sencillez y comodidad.

Generalmente para el caso del criterio de Mohr-Coulomb, se define el criterio de rotura en función de la tensión tangencial y la tensión normal en un plano. En este caso la superficie de fluencia es de la forma $\tau = f(\sigma)$. La expresión matemática de dicha ecuación es:

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

Donde:

c es la cohesión, constante que representa la tensión cortante que puede ser resistida sin que haya ninguna tensión normal aplicada.

ϕ es el ángulo de fricción.

τ es la tensión tangencial que actúa en el plano de rotura.

4.9.2. Tipos de Rotura

Los tipos de roturas se encuentran condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso, adema, por la orientación y asignación de las discontinuidades con respecto al talud, definiendo la estabilidad por parámetros de resistencia de las discontinuidades y de la matriz rocosa.

A continuación, se describen los tipos de rotura en taludes según lo propuesto por la reseña de González, et al., (2002):

4.9.2.1. Rotura plana. Se produce a favor de una superficie preexistente, que puede ser la estratificación, una junta tectónica, una falla, etc. La condición básica es la presencia de discontinuidades buzando a favor del talud y con su misma dirección (p. 440).

4.9.2.2. Rotura en cuña. Formado por dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección. Para que se produzca este tipo de rotura, los dos planos deben aflorar en la superficie del talud, y se deben cumplir iguales condiciones. Este tipo de rotura suele presentarse en macizos con varias familias de discontinuidades, cuya orientación, espaciado y continuidad determina la forma y el volumen de la cuña. (p. 442).

4.9.2.3. Rotura por vuelco de estratos. Se produce en taludes de macizos rocosos donde los estratos presentan buzamiento contrario a la inclinación del talud y dirección paralela o subparalela al mismo. En general, los estratos aparecen fracturados en bloques a favor de sistemas de discontinuidades ortogonales entre sí. Este tipo de rotura implica un movimiento de rotación de los bloques, y la estabilidad de los mismos no está únicamente condicionada por su resistencia al deslizamiento (p. 443).

4.9.2.4. Rotura circular. Suele tener lugar en macizos rocoso de mala calidad o meteorizados o en suelos. Este caso la rotura por deslizamiento se produce siguiendo una trayectoria circular (p. 144).

4.9.2.5. Roturas que siguen discontinuidades paralelas al talud. Incluyen diversos mecanismos (rotura por cortante en la base, roturas con expulsión de bloque, pandeos), que tienen en común el hecho de que la mayor parte de la inestabilidad va asociada al deslizamiento por discontinuidades antes dichas (p 145).

4.9.3. Metodologías utilizadas en la estabilidad de taludes

Según Suárez (2009), dentro de las metodologías para determinar la estabilidad de los taludes se encuentra los límites de equilibrio, métodos numéricos y métodos dinámicos para el análisis de caídos de rocas y flujos, entre otros (p. 136)

A continuación, se muestra en la tabla 24 las metodologías utilizadas en la modelación de taludes:

Tabla 24. Metodologías utilizadas en la modelación de taludes.

Método	Parámetros Utilizados	Ventajas	Limitaciones
Equilibrio limite	Topografía del talud, estratigrafía, ángulo de fricción, cohesión, peso unitario, niveles freáticos y cargas externas.	Existe gran cantidad de paquetes de software. Se obtiene un numero de factor de seguridad. Analiza superficies curvas, rectas, cuñas, inclinaciones, etc. Análisis en dos y tres dimensiones con muchos materiales, esfuerzos y condiciones de nivel de agua.	Genera un numero 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 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 “creep”.	Es complejo y no lineal. Comúnmente no se tiene conocimiento de 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 deformación y movimiento relativo de los bloques.	Existe poca información disponible sobre propiedades de las juntas. Se presentan problemas de escala, especialmente en los taludes.

Nota: Anaibys Hernández, (2014)

4.9.4. Software Rocfall 4.0

De acuerdo a la corporación de Rocscience Inc. (2002) el análisis de típico de Rocfall, puede realizarse en unos minutos, y consistirá de los siguientes pasos:

1. Definir el talud
2. Definir los materiales del talud
3. Asignar los materiales a los segmentos del talud.
4. Definir los puntos de partida de las rocas (Sembradores/Seeders)
5. Computar el análisis
6. Graficar los resultados

- **Ampliación de los criterios de simulación de caídas de rocas en RocFall**

Para Warren (1998) el algoritmo usado en este programa se denomina el algoritmo parabólico de proyectil, puesto que la roca que se desprende describe una parábola a través del aire debido a la fuerza de la gravedad (figura 5). Al inicio, este algoritmo

asume que el proyectil tiene una cierta velocidad para moverse a través del aire desde su ubicación inicial a una nueva donde la roca golpeará otro objeto. El objetivo principal del algoritmo proyectil es encontrar el punto de intersección entre la parábola que recorre el bloque en cada movimiento y el segmento de la superficie del terreno donde golpea (ya sea un segmento de la ladera o una barrera u otra estructura instalada allí). Una vez encontrado el punto de intersección, el impacto se calcula a través de los coeficientes de restitución.

Si después del impacto, la roca sigue moviéndose lo suficientemente rápido (es decir, por encima de una V_{min}), el proceso comienza de nuevo con la búsqueda del siguiente punto de impacto (punto de intersección). Por lo tanto, la velocidad mínima define el punto de transición entre el estado proyectil y otros estados (que rueda, desliza o se detiene), mediante su energía. Los cambios en la velocidad mínima no producen modificaciones sustantivas del tiempo que el programa de simulación emplea en desarrollar la misma.

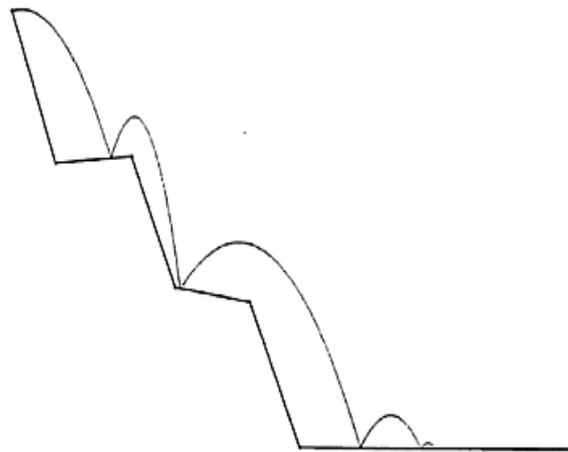


Figura 5. Parábola descrita por un bloque en RocFall

Nota. Warren (1998)

El uso de las ecuaciones en forma paramétrica tanto parabólica como lineal, es útil cuando existen secciones que sobresalen de la ladera a lo largo de la misma cambiando, bruscamente la pendiente. Además, su uso resulta ventajoso ya que la trayectoria parabólica de la roca puede interceptar múltiples segmentos de pendiente en un mismo corredor, y el orden de impacto puede determinarse.

Las ecuaciones utilizadas para los cálculos de proyectil se enumeran a continuación.

La ecuación paramétrica para una línea es:

$$xl = X_1 + (X_2 - X_1) * u$$

$$yl = Y_1 + (Y_2 - Y_1) * u \quad u \in [0,1]$$

Donde:

X_1, Y_1 , es el primer punto de la línea

X_2, Y_2 , es el segundo punto de la línea

La ecuación paramétrica para una parábola es:

$$x_p = V_{X_0} t + X_0$$

$$y_p = \frac{1}{2} g t^2 + V_{Y_0} t + Y_0 \quad t \in [0, \infty]$$

Donde:

g es la aceleración debida a la gravedad (con signo negativo)

X_0, Y_0 es la posición inicial de la roca

V_{X_0}, V_{Y_0} es la velocidad inicial de la roca

La ecuación paramétrica para la velocidad de la partícula es:

$$V_{XB} = V_{X_0}$$

$$V_{YB} = V_{Y_0} + g t$$

Donde:

V_{XB}, V_{YB} , es la velocidad de la roca en cualquier punto a lo largo de la trayectoria, antes del impacto.

Igualando los puntos de las ecuaciones de parábola y de línea (es decir, $x_p = x_l$ y $y_p = y_l$) y la reordenando en la forma $a x^2 + b x + c = 0$ da:

$$\left[\frac{1}{2} g \right] t^2 + [V_{Y_0} - q V_{X_0}] t + [Y_0 - Y_1 + q(X_1 - X_0)] = 0$$

Donde:

$$q = \frac{(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)}, \text{ es la pendiente del segmento lineal}$$

Durante cada cálculo, el algoritmo, posibilita que la parábola formada por la trayectoria de la roca se valide con cada segmento de la pendiente con el que intercepta el bloque.

Todos los segmentos de pendiente que tienen una intersección válida con la parábola se insertan en una lista. La lista se ordena por el valor del parámetro t para determinar la intersección correcta. Una vez definida la intersección correcta, la velocidad se calcula justo antes del impacto mediante las ecuaciones de la paramétrica para velocidad de la partícula, y a continuación, se calculan las componentes normal y tangencial de la velocidad del bloque mediante las siguientes expresiones siguientes:

$$V_{NA} = (V_{YB}) * \cos(\theta) - (V_{XB}) * \sin(\theta)$$

$$V_{TB} = (V_{YB}) * \sin(\theta) - (V_{XB}) * \cos(\theta)$$

Donde:

V_{NB}, V_{TB}

on las componentes de la velocidad de la roca (el subíndice B equivale a antes en inglés: Before), antes del impacto en las direcciones normal y tangencial, respectivamente.

En el momento del impacto también se puede calcular los coeficientes de restitución usando las siguientes ecuaciones:

$$V_{NA} = R_N * V_{NB}$$

$$V_{TA} = R_T * V_{TB}$$

Donde:

V_{NB}, V_{TB} , son las componentes de la velocidad de la roca (el subíndice A equivale a después en inglés: After), tras el impacto, en las direcciones normal y tangencial, respectivamente.

R_N, R_T , son los coeficientes de restitución normal y tangencial, respectivamente.

Tras el impacto, las velocidades se pueden transformar en sus componentes vertical y horizontal de la siguiente forma:

$$V_{XA} = (V_{NA}) * \sin(\theta) - (V_{TA}) * \cos(\theta)$$

$$V_{YA} = (V_{TA}) * \sin(\theta) - (V_{VA}) * \cos(\theta)$$

Donde:

V_{XA}, V_{YA} son las componentes de la velocidad de la roca tras el impacto en las direcciones vertical y horizontal, respectivamente.

Una vez que se determina la intersección correcta y se calculan las velocidades, y la energía cinética de la roca, registrándose todos estos parámetros en la base de datos. Ahora se realiza un nuevo análisis a partir de la comparación de la velocidad de salida con la velocidad min. Si es mayor, el proceso comienza de nuevo con la búsqueda del siguiente punto de intersección. Si la velocidad es inferior, la roca ya no se puede considerar un proyectil, y se envía a otros algoritmos al algoritmo que calculan los movimientos al rodar o deslizar.

El algoritmo de deslizamiento se utiliza para calcular el movimiento de las rocas después de salir del algoritmo de proyectil. Las rocas pueden deslizarse en cualquier tramo de la pendiente. Este algoritmo considera el tramo de pendiente por el que se desliza la roca como un segmento de línea recta única, que tiene como propiedades el ángulo de pendiente (ϕ) y el ángulo de fricción (θ). Este ángulo de fricción puede ser especificado por un valor constante o mediante el muestreo de una distribución aleatoria.

La roca puede comenzar a deslizar en cualquier lugar a lo largo del perfil y puede tener una velocidad inicial dirigiéndose cuesta arriba o cuesta abajo. En estas ecuaciones, Sólo se considera la componente tangencial de la velocidad.

Una vez que se inicia el deslizamiento, el algoritmo utilizado depende de si la velocidad inicial se efectúa cuesta arriba o cuesta abajo. A continuación, se explica el algoritmo utilizado para cuando el bloque desliza cuesta abajo.

Cuando la velocidad inicial de la roca es cuesta abajo (o cero), el comportamiento de la roca depende de las magnitudes relativas del ángulo de fricción (θ) y el ángulo de la pendiente (ϕ).

$\theta = \phi$. Si el ángulo de la pendiente es igual al ángulo de fricción, la fuerza motriz (gravedad) es igual a la fuerza de resistencia (fricción) y la roca se deslizará hasta salirse del tramo considerado, con una velocidad igual a la velocidad inicial (es decir, $V_{EXIT} = V_0$). Por otro lado, para cuando $V_0 = 0$, la roca no se mueve, y termina la simulación.

$\theta > \phi$ Si el ángulo de la pendiente es mayor que el ángulo de fricción, la fuerza de accionamiento es mayor que la fuerza de resistencia y la roca se deslizará fuera del punto final del tramo descendente con un aumento de la velocidad. La velocidad con la que la roca sale del tramo de pendiente se calcula mediante:

$$V_{EXIT} = \sqrt{V_0^2 - 2 * s * g * k}$$

Donde:

V_{EXIT} , es la velocidad de la roca al final del tramo

V_0 , es la velocidad inicial de la roca, tangencial al segmento

s , es la distancia desde el punto inicial hasta el final del segmento

g , es la aceleración debida a la gravedad (-9.81 m/s^2)

k , es $\pm \sin(\vartheta) - \cos(\vartheta) * \tan(\phi)$

Donde:

ϑ , es la pendiente del segmento

ϕ , es el ángulo de fricción

\pm , es + se la velocidad inicial de la roca es cuesta abajo 0 cero; y- si es cuesta arriba

$\theta > \phi$.

Si el ángulo de la pendiente es menor que el ángulo de fricción, la fuerza de resistencia es mayor que la fuerza de conducción y la velocidad de la roca disminuirá. La roca puede llegar a pararse en el segmento en función de la longitud del tramo y la velocidad inicial de la roca.

Para comenzar, los coeficientes de restitución (R_n , R_t) deben definirse para cada material de la superficie de la ladera sobre la que se quiere realizar el estudio, de tal modo que coincidan las energías y saltos observados en campo con los simulados en el modelo construido. Para ello se divide la ladera en distintas unidades homogéneas, que presumiblemente presenten el mismo comportamiento de rebote y rodadura-deslizamiento. La magnitud del rebote viene definida por coeficientes de restitución energética, los cuales indican la cantidad de energía conservada tras el impacto o lo que es lo mismo, la energía no disipada. La velocidad tras el impacto es proporcional a la velocidad que tenía el bloque inicialmente, siendo el coeficiente de proporcionalidad, el denominado coeficiente de restitución energética. Expresando este concepto en forma de ecuaciones, tenemos que:

$$v_2 = R * v_1$$

Donde:

v_2 , es la velocidad tras el impacto

v_1 , es la velocidad inicial

R , es la velocidad inicial

A su vez, el coeficiente de restitución energética, tiene una componente normal y tangencial (perpendicular y paralelo a la superficie de contacto respectivamente), tal y como se muestra en la figura 6.

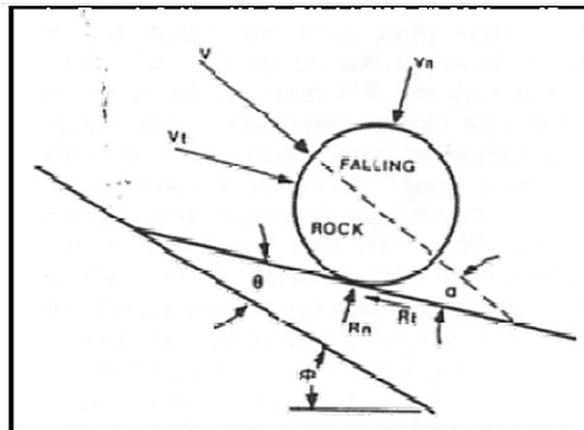


Figura 6. Coeficientes de restitución energética (R_n = Coeficiente de restitución energética normal; R_t = Coeficiente de restitución energética tangencial) y Velocidad (V_n = Componente Normal de la velocidad; V_t = componente Tangencial de la velocidad)

Nota. Pfeiffer (1995)

El coeficiente de restitución normal (R_n) demuestra la relación entre las velocidades normales a la ladera antes y después del impacto. Viene determinado por la rigidez de la superficie de la ladera, cuanto más deformable sea el material, menor será su

coeficiente de restitución normal. El coeficiente de restitución tangencial (R_t) expresa la relación entre las velocidades paralelas a la ladera antes y después del impacto. La vegetación y, en menor grado, los materiales de la ladera influyen en el coeficiente tangencial. Estos coeficientes toman valores comprendidos entre 0 y 1, siendo el valor igual a 1 en el caso ideal en que no se produzca pérdida energética tras producirse el choque, mientras que 0 en el caso en que se disipe toda la energía tras el choque.

Hay que tener presente que los valores de este parámetro deben estar calibrados en función del volumen del bloque a modelar y del tipo de material que lo compone a él y a la superficie de impacto, pues posibilitan que el choque se produzca de manera elástica (con recuperación de su energía) o de manera plástica, con deformación irre recuperable (absorción de parte de la energía debido a fractura y dislocación del material).

Otro parámetro a tener en cuenta es el ángulo de fricción interna. Este valor debe escogerse teniendo en cuenta la forma de los bloques caídos y el tipo movimiento esperado (rueda, desliza, o salta). El valor escogido representará la mínima inclinación del talud para que una roca, que llegue allí, empiece a descender. El programa permite tres opciones a elegir para el de ángulo de fricción. La primera es introducir un valor. La segunda es considerarlo como valor 0, (se aplica a un movimiento de rodar); es el caso más desfavorable en términos de movimiento, dado que implica obtener mayores distancias finales al no existir resistencia por parte del terreno, al movimiento del bloque desprendido.

5. Metodología

La presente investigación es de carácter analítico, se la consideró mixta por tener una parte cualitativa y otra cuantitativa, ante lo expresado se tienen que el tipo de investigación será correlacional al beneficiarse ambas partes una de la otra.

El estudio se enfocó en los macizos rocosos ubicados en el tramo vial Potrerillos-Sacapalca del cantón Gonzanama, provincia de Loja. El recorrido es escogido por interés del investigador referente al tramo vial, en el cual se seleccionarán los macizos rocosos más significativos en referencia a la inestabilidad de los mismos.

5.1 Área de estudio

5.1.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra ubicado en la vía de segundo orden Sunamanga-Sacapalca la cual se despliega de la arteria vial Catamayo-Gonzanamá E69, el tramo de estudio se establece en las parroquias Potrerillos-Sacapalca del cantón Gonzanamá, provincia de Loja ver en figura 7, entre las coordenadas ubicada en la tabla 25, en proyección UTM y DATUM WGS 84, zona 17S. el tramo vial de objeto de estudio corresponde a 1.1 km de longitud, los taludes rocosos se ubican en el margen izquierdo de la vía en sentido de avance, en lo que concierne a la pendiente de los taludes de corte generalmente es de 1H:3V.

Tabla 25. Coordenadas geográficas del tramo vial

Coordenadas Geográficas DATUM WGS 84, zona 17S			
Descripción	X	Y	Z
Inicio del tramo	668058.00 m	9536474.00 m	1952 m.s.n.m
Fin del tramo	665308.00m	9538804.00 m	1667 m.s.n.m

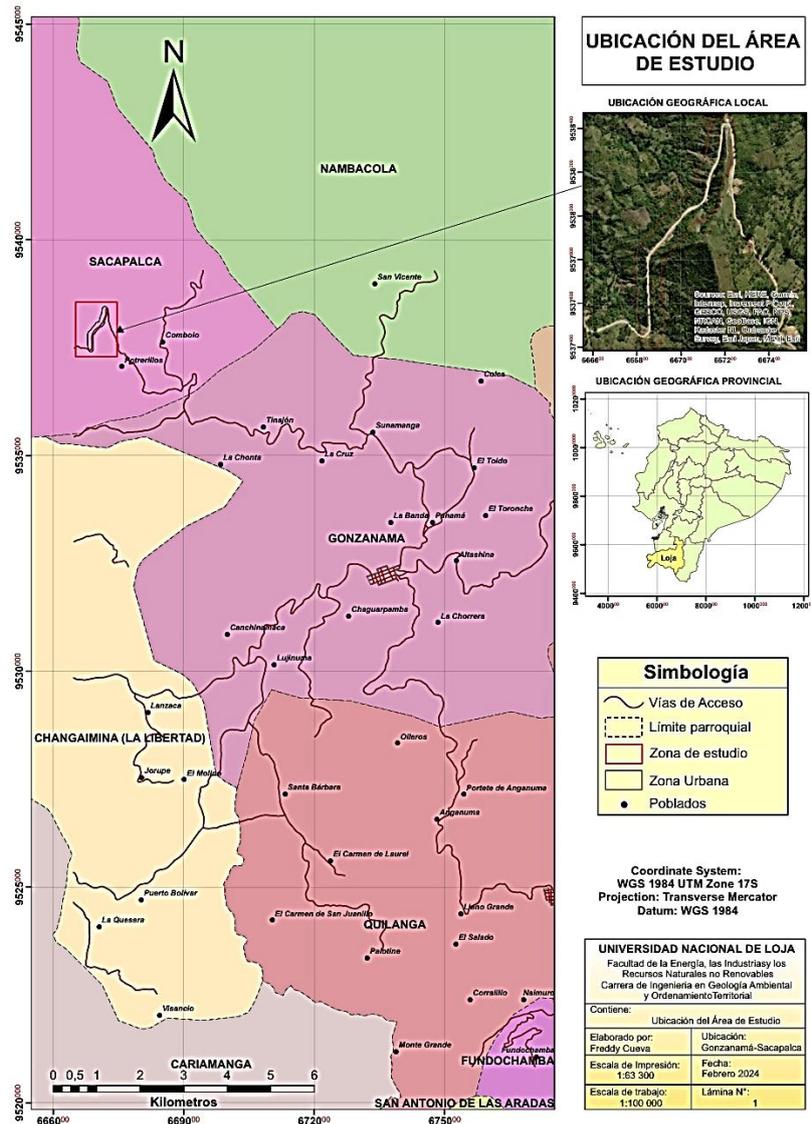


Figura 7. Ubicación del área de estudio (Lugar y tramo vial).

Nota: Infoplan 2012

5.1.2. Acceso

Su principal vía de acceso Inicia desde el Terminal Quitumbe de la ciudad de Quito por la vía de primer orden E35 “Troncal de la Sierra”, atravesando ciudades como: Latacunga, Riobamba, Cuenca, Loja y Catamayo, llegando a la parroquia Sunamanga, cerca del balcón gonzanameño conocido como “El Sueño del Águila”, en la vía Panamericana Sur, antes de llegar a Gonzanamá, la vía conocida como Sunamanga-Sacapalca que pertenece a la arteria vial CATAMAYO-GONZANAMA (E69). El recorrido es de 736 km, con una duración de recorrido en transporte de 12:43 H, ver en la figura 8a. También se lo realiza por la vía de primer orden E25 “Troncal de la Costa”, atravesando ciudades como: Santo Domingo, Milagro, Babahoyo, Santa Rosa y Catamayo en un tiempo de 13:58 H y el recorrido es de 783 km (figura 8b).

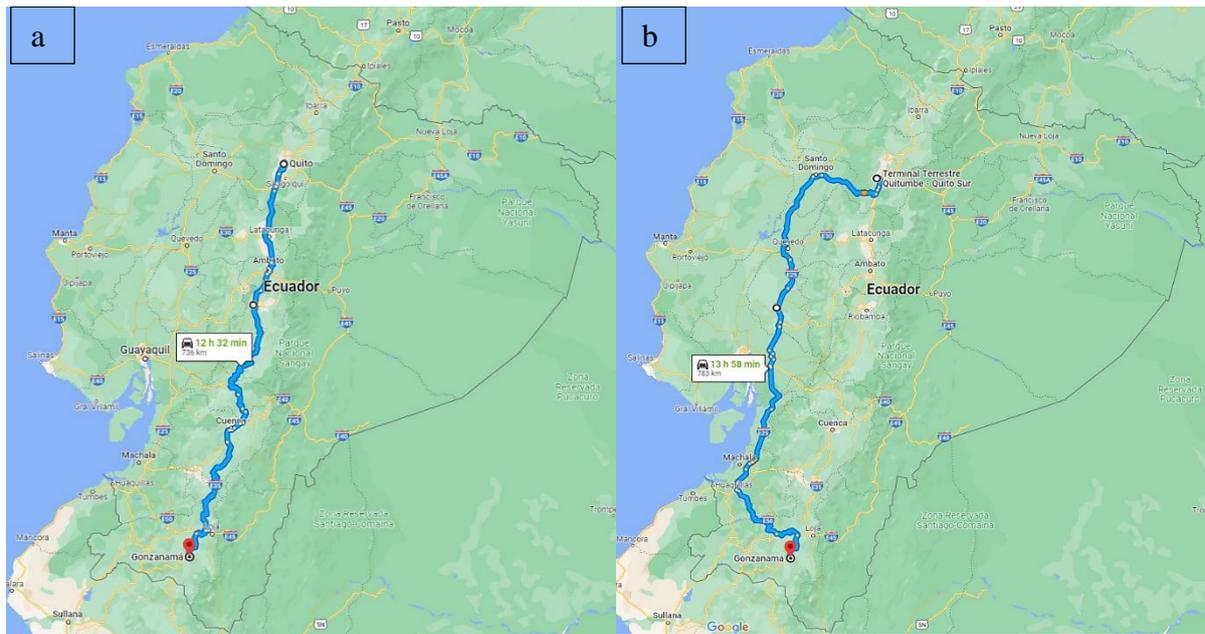


Figura 8. Acceso a la zona de estudio, a) Troncal de la Sierra, b) Troncal de la Costa

Nota: Google Maps, 2023

5.1.3. *Clima*

Conforme al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Gonzanamá (2014) el clima: se encuentra conformado por una importante variedad de climas que van desde el tropical, en los valles de Sacapalca, Nambacola y Changaimina, hasta el templado, en las mesetas y el frío en las estribaciones y montañas de Purunuma y Gonzanamá.

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Gonzanamá (2015) el cantón Gonzanamá:

Se dispone de varios pisos climáticos, la temperatura promedio del Cantón Gonzanamá se sitúa en 19° C, con una oscilación de 0,6° C, los meses más fríos se ubican en el primer trimestre del año (16,5° C) y los meses más cálidos en los meses de agosto a octubre (17° C). Las lluvias se dan en la parte alta de las parroquias: Purunuma, Gonzanamá y Changaimina, con precipitaciones que oscilan entre los 900 a 1200 mm/año. (p.36-37).

5.1.4. *Hidrología*

En conformidad al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Gonzanamá (2014) el principal sistema hídrico del cantón es: la hidrografía de la zona está compuesta por varias microcuencas las cuales aportan la escorrentía del río Catamayo. El cantón Gonzanamá pertenece a la cuenca hidrográfica Catamayo, principal caudal suministrado por las quebradas del lugar. Se encuentran varias quebradas entre ellas, las principales: Surapo, Potrerillos, Santa Rosa, La Vega, Sacairo, Sabaca, Pilancay que son aporte para el río Catamayo.

5.1.5. Geología regional

El tramo de estudio se encuentra representado por la unidad la Cruz, considerando la hoja geológica de Gonzanamá, Edición 2, perteneciente a la serie J62-G, Hoja 57, N VII-B, escala 1: 100 000 se muestran las formaciones correspondientes al tramo de estudio (figura 9).

Deposito aluvial (Q^A), Se encuentran en las márgenes de los ríos Solanda, Malacatos, Zamora Huaycu, Catamayo y Chinguilamaca y en el sector de Quinara. Están constituidos por material poco consolidado con cantos y bloques de rocas metamórficas y volcánicas.

Formación Gonzanamá (Mgz), (Kennerley, 1973) Los principales afloramientos se localizan en la vía Nambacola - Gonzanamá – Quilanga y remanentes aislados en el sector de Sasaco. Se compone de tres miembros no discriminados cartográficamente. El Miembro Inferior está formado por secuencias de brechas andesíticas de color café grisáceo que se intercalan areniscas gruesas amarillentas. El Miembro Intermedio incluye estratos métricos de calizas micríticas, margas y limolitas calcáreas, variando al tope a sedimentos siliciclásticos constituidos por tobas blancas, areniscas finas gris amarillentas y grauvacas finas verdosas. El Miembro Superior está constituido a la base por brechas volcano sedimentarias de color marrón y riolitas. Hungerbühler (1997) reporta edades entre $14,4 \pm 1,8$ a $16,4 \pm 3,8$ Ma y su ambiente depositacional estaría relacionado a sistemas lacustres-palustres con sedimentación carbonatada (Corrochano, 2014).

Unidad la Cruz (PCLC), Consiste de una secuencia volcano clástica con aglomerados, brechas piroclásticas e ignimbritas de composición andesítica; localmente se intercalan capas centimétricas de microconglomerados con clastos metamórficos. Se infiere que la edad es paleocénica por sus relaciones estratigráficas.

Granodiorita (G^{Gd}), Estos cuerpos intrusivos han sido definidos por diferentes autores e identificados como El Tingo, Rodanejo y Palo Blanco. El intrusivo El Tingo de 47 Ma (Kennerley, 1973) se ubica cerca de Nambacola (UTM: 676 774E; 9 556 894N). Es una roca plutónica de color gris claro, con textura fanerítica, a veces con xenolitos de andesitas basálticas que pertenecerían a la Unidad Changaimina. Los minerales principales que presenta son cuarzo, plagioclasa, feldespato alcalino y anfíbol.

Pórfido Andesítico (PA). _ Las principales ocurrencias se localizan al suroeste del área. Pórfidos de composición andesítica (PA) afloran como rocas de color gris marrón, textura porfídica, con hornblenda y plagioclasa.

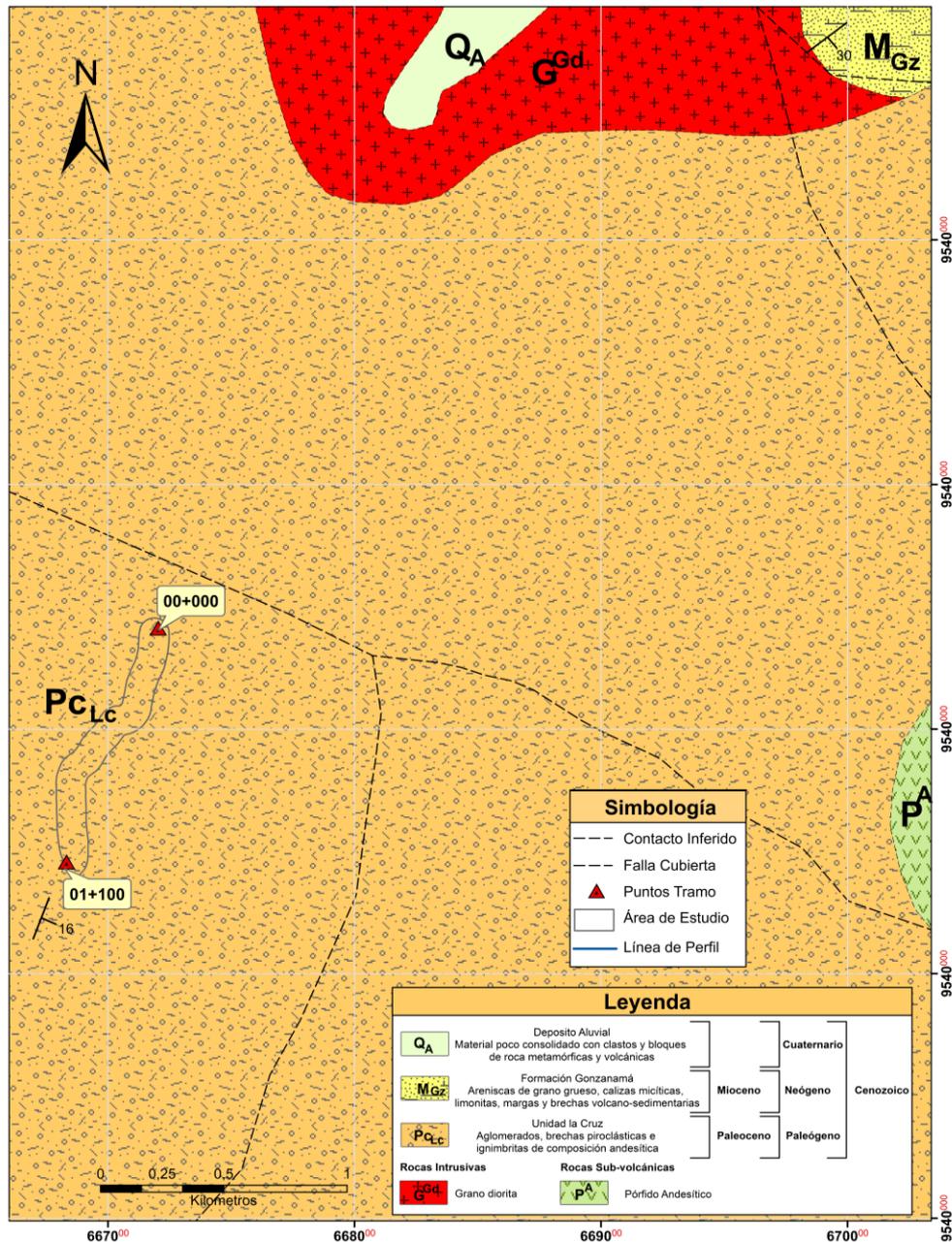


Figura 9. Geología regional del área de estudio.

Nota: Hoja geológica de Gonzanamá (hoja 57, N VII-B) a escala 1:100 000 del año 2017. Adaptado por el autor

5.2 Materiales

De acuerdo a la utilidad de los materiales, estos se clasifican en:

- Materiales de campo
- Materiales de laboratorio
- Materiales de oficina
- Materiales de seguridad

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos en cuanto a la caracterización geomecánica de los macizos rocosos son los siguientes (tabla 26):

Tabla 26. Materiales y Equipos.

Materiales y Equipos				
Campo	Laboratorio	Oficina	Seguridad	Herramientas Informáticas
Vehículo aéreo no tripulado	Microscopio	Computadora	Casco	Software ArcGIS
Libreta de Campo	Muestras de roca	Impresora	Chaleco	Software CAD
Martillo Geológico	Ácido	Flash memory	Reflectivo	Google Earth Pro
Esclerómetro	Clorhídrico		Botas	RocFall 4.0
Lupa 20x			EPP	
Carta geológica de Gonzanamá Esc. 1:100000				
Brújula				
Escalímetro				
GPS				
Cinta Métrica				
Ficha para el análisis de muestras macroscópicas				
Ficha de Zonificación				
Ficha de toma de datos para la caracterización de macizos rocosos				

5.3 Procedimiento

En el presente trabajo acorde al procedimiento se tomó en cuenta los macizos rocoso existentes y comprendidos entre la coordenada (668058; 9536474, 665308;9538804) de inicio y fin del tramo vial, perteneciente a la vía Sunamanga-Sacapalca, el tramo definido correspondió a 1.1 km de longitud. Para el cumplimiento de los objetivos planteados se realizó tanto en campo como en laboratorio, ordenando los resultados sistemáticamente junto con el material necesario para el cumplimiento de las actividades, lo cual se obtuvo:

1. Recopilación de información preliminar y datos preliminares.
2. Visita de reconocimiento del tramo de estudio.
3. Elaboración de fichas de campo:
 - Fichas de descripción de afloramientos ver en anexo 1.
 - Fichas de descripción macroscópica de rocas ver en anexo 2.
 - Fichas para la Zonificación Lito-estructural ver en Anexo 3.

- Fichas para caracterizar geomecánicamente, ver en Anexo 4.

4. Organización de material y equipo de campo.

Se involucró una serie de trabajos ordenados cronológicamente de la siguiente manera: revisión de antecedentes sobre la zona de estudio, búsqueda y recopilación de datos, trabajo de campo, trabajo de laboratorio y trabajo de oficina. Las estrategias y procedimientos ejecutados para lograr los objetivos propuestos en la investigación, los cuales se sintetizan en la figura 10.

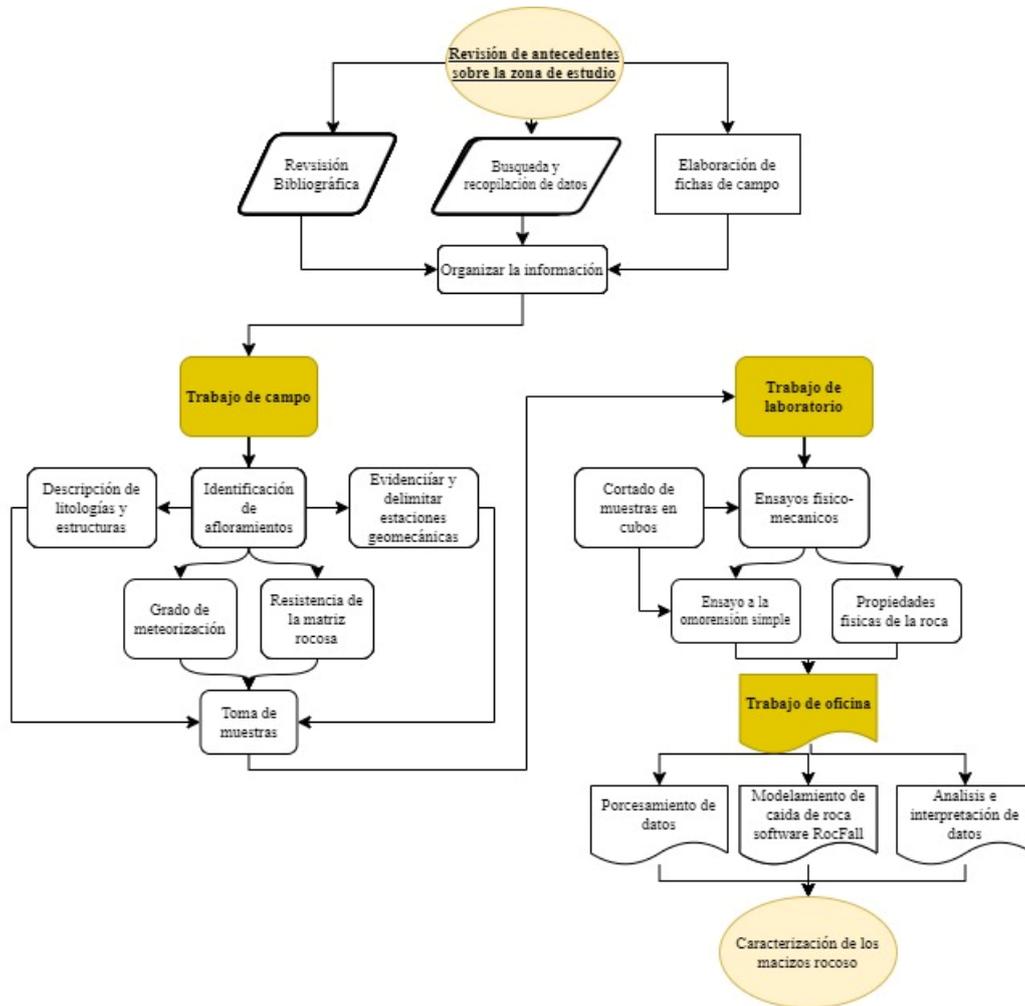


Figura 10. Diagrama de Flujo de la Metodología.

En la etapa preliminar se revisó mapas sobre la zona de estudio y se recopiló datos, basándose en cartas topográfica y geológicas a escala 1:100 000 de Gonzanamá.

El trabajo de campo consistió con el levantamiento topográfico y geológico de afloramientos localizados dentro del tramo de estudio para la respectiva identificación del tipo de roca, además, se evidencio zonas lito-estructurales y estaciones geomecánicas, con las que se obtuvo las características geotécnicas, presencia de fallas y discontinuidades, de los taludes.

El trabajo de laboratorio consistió en el análisis de las propiedades físicas (pesos y densidades) y mecánicas (compresión simple y rebote por el martillo de Schmidt), las físicas

por muestras de mano y las mecánicas por muestras cubicas 5x5x5cm. Una vez recopilados todos los datos, en el trabajo de oficina se integró todos los datos para realizar la valoración y clasificación de los macizos rocosos.

Concluyendo, se realizó el análisis cinemático con ayuda de software Dips 7.0 siendo primordial en la identificación de los distintos mecanismos de rotura del macizo rocosos. Finalmente, se aplicó el diseño del modelamiento de caída de rocas con el uso del programa o software RocFall 4.0, acogiendo todas las variables involucradas en el presente estudio.

5.3.1. Metodología del primer objetivo

“Elaborar el levantamiento topográfico y geológico”

Previo al levantamiento topográfico y geológico se sistematizo la información disponible cerca del área de estudio como información técnica, geográfica, documentos emitidos por los GADs Municipales y demás bibliográfica requerida, lo que sirvió para caracterizar la zona de estudio, se estableció una sección topográfica de 60 metros a cada lado del eje vial, dando como ancho total de la faja topográfica de 120 metros, con una longitud de 1.1 km el cual permitió el estudio de los taludes rocosos asentados en la vía, los cuales no exceden más de 20 metros del eje vial.

5.3.1.1. Levantamiento topográfico: la metodología que se aplicó para el levantamiento topográfico fue el uso de un vehículo aéreo no tripulado (Dron), esta según González de Vallejo et al, (2003) la cual contiene una cámara fotográfica de alta resolución y GPS de alta precisión RTK (Real Time Kinematic), lo que facilito la topografía.

La topografía fue realizada en planificación con SETIAGROUP S.A, a continuación, se detalla el procedimiento realizado para la creación de la ortofoto, curvas de nivel y el mapa topográfico de la zona de estudio:

- Primero, Se planifica el vuelo a través de un polígono y puntos de control establecidos en Google Earth Pro cubriendo el área de estudio, ver figura 11.



Figura 11. Levantamiento topográfico método por Dron.

Nota: SETIA GROUP, 2023

- Con la estación GPS diferencial REACH RS2 mediante enlace RTK se levantó cada punto de control referenciados con planchas de colores de playwood ubicados a lo largo de la vía.
- Seguido con el Dron se realiza las líneas de vuelos establecidas.
- Con los datos topográficos se realizó el cálculo de la escala topografía, en base al documento normativo de bases topográficas del Instituto Geográfico Militar (2008) y cumpliendo las condiciones planteadas por el IGM:

$$\frac{1}{E_t} = \frac{f}{H}$$

Donde:

Et: Escala fotográfica

f: distancia focal de la cámara.

H: altura de vuelo

$$E_t = \frac{H}{f}$$

$$E_t = \frac{130 \text{ m}}{0.013 \text{ m (13 mm)}}$$

$$E_t = 10,000$$

- Las imágenes son descargadas del Dron a un dispositivo de almacenamiento y calibradas para corregir errores de proyección
- Se procesa las imágenes con el uso del software Agisoft Metashape que utilizó algoritmos de fotogrametría para realizar la reconstrucción 3D del terreno, se generó el modelo de elevación digital (DEM), modelo 3D y la ortofoto.
- Aplicando las herramientas de trabajo del Software ArcGIS 10.5, se elaboró el mapa topográfico integrando curvas principales cada 5 metros y las secundarias cada 1 metro georreferenciadas geográficamente en el Datum: WGS 84 Zona 17 Sur.
- Como detalles finales implanto 3 cortes topográficos longitudinales y 3 cortes topográficos transversales.
- Finalmente, se aplicó la clasificación de la pendiente por Demek 1972 donde se considera cinco clases, y ayudados igualmente con el software ArcGIS 10.5.

5.3.1.2. Levantamiento geológico

Para el levantamiento geológico se analizó la zona de estudio con la ayuda de la carta geológica de Gonzanama 1:100 000, en campo mientras se hizo el recorrido se implementó una campaña para recolectar información geológica, que se describe de la siguiente forma:

- Se identifico los taludes asentados en el tramo vial.
- En cada afloramiento se tomó datos estructurales (dip/dip direction) con ayuda de la brújula Burton, así mismo, se obtuvo muestras de los afloramientos de roca (figura 14a), los cuales se describió macroscópicamente in-situ con ayuda de la piqueta, lupa óptica 20x y ácido clorhídrico al 10%.
- En laboratorio, se identificó macroscópicamente cada muestra obtenida en campo en el microscopio geológico (figura 12b), los datos obtenidos fueron plasmadas en la ficha del Anexo 2, denominada ficha de descripción macroscópica de rocas, a fin de determinar la litología presente.

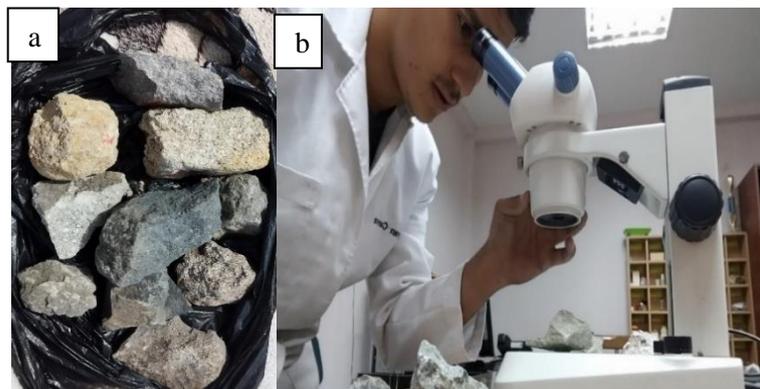


Figura 12. Identificación microscópica de muestras de roca: **a)** Muestras de afloramientos de roca, **b)** Identificación en el microscopio geológico.

El procesamiento en gabinete se describe a continuación:

- Se describió la geología de cada litología resultada de la identificación macroscópica anteriormente mencionada.
- Finalmente, con base del mapa topográfico con Datum UTM WGS 84 zona 17 en el software ArcGIS 10.5 donde se ubicaron los puntos GPS de los afloramientos descritos, se geoprocesó las litologías, datos estructurales (dip/dip direction) y contactos, donde se creó el mapa geológico del tramo de estudio, expresando cada litología de cada material con su estándar de simbología basada del ex Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico de Ecuador 2016 (INIGMME), utilizando la simbología específica para representar diferentes tipos de material en sus mapas geológicos.
- Se realizó tres cortes geológicos abordando toda área de estudio.

- ***Identificación de zonas lito-estructurales***

El procesamiento en campo es descrito a continuación:

- Una vez definida las zonas litológicas en la geología, se procedió a dividir en 3 segmentos los macizos rocosos ubicados en la parte izquierda de la calzada vial en dirección a Sacapalca.
- Con la confección del mapa geológico, en campo se identificó las zonas lito-estructurales ayudados con el Anexo 3 denominada ficha de zonificación lito-estructural, dichas zonas fueron definidas en base al sistema estructural que presentaron las diaclasas en los taludes, este sistema atendió a varios criterios el primero de ellos es el factor litológico, otro factor es el de la aptitud para poder levantar en ellos las estaciones geomecánicas, otro son las características similares de tipo de roca, grado de fracturamiento, dirección y ángulo del talud, dirección de diaclasas, entre otros; así se obtuvo las zonas que sirvieron previo a la ejecución del segundo objetivo.
- Las zonas se definieron con ayuda del GPS, siendo divididos todos los macizos rocosos del tramo vial. Como dato importante los macizos de mayor volumen rocoso aflorante se dividieron en varias zonas y los que no cumplan se las considero como una sola zona.

En gabinete se procede con lo siguiente:

- Se describe la litología que presenta cada zona lito-estructural.
- Con los datos GPS se realizó un abscisado arbitrario con el punto de partida definido, este abscisado referenció a las distintas zonas litológicas identificadas, que abarcaron los 1.1 km de tramo vial.
- Con ayuda de la ortofoto y usando las herramientas del software ArcGIS 10.5, se digitalizo los taludes de corte en la vía, el resultado de aquello fue un mapa litológico que demarca los taludes, con la simbología respectiva del INIGMME, que mostro la forma y área de los taludes rocosos por zonas.

5.3.2. Metodología para el segundo objetivo

“Obtener las propiedades físico-mecánicas de los macizos rocosos en el tramo de estudio”

5.3.2.1. Levantamiento de datos geomecánicos: Con la identificación de las zonas lito-estructurales, se dividió en estaciones geomecánicas a el macizo rocoso, para ello se escogieron en función a las características visuales que presentan las juntas, tamaños, grado de fracturamiento, relleno, grado de meteorización, entre otros, cabe recalcar que se implementó la metodología de línea de escaneo implementada por Nixon López (2023), la cual se adaptó para este caso líneas de escaneo de entre 15 a 20 metros para cada estación geomecánica y a lo largo de los macizos rocosos, este método se basa en capturar datos o imágenes a lo largo de una línea o trayectoria específica para obtener una representación completa y detallada del objeto o área escaneada. Se lo realizó con el fin de obtener datos estructurales como (dip/dip direction) de las diferentes zonas antes definidas, además de la orientación con respecto a estos datos.

La división en tramos o estaciones del macizo se vio facilitada en razón que se usó la zonificación lito-estructural ya definida con anterioridad. Para levantar los datos geomecánicos se utilizó la ficha del Anexo 4 denominada Ficha para la caracterización geomecánica.

En campo se recolectaron los datos de cada parámetro geomecánicos sobre las familias de juntas esto realizado según la metodología empleada por Bieniawski (1989), adaptada por el autor, los parámetros levantados fueron:

- El espaciado, se lo determinó para cada familia de discontinuidades, obteniendo su valor medio o modal con ayuda de la cinta métrica (3 m de longitud), la medida se realizó en dirección perpendicular al plano de discontinuidad, que fue representado a través de histogramas a escala logarítmica, la descripción y valoración del espaciado va en dependencia del espaciado entre las juntas según la tabla 7. Terminología de espaciados recomendada por la sociedad internacional de Mecánica de Rocas (SIMR).
- La apertura, medida de separación entre las paredes o superficies de roca de una discontinuidad a través de una regla graduada en mm, las medidas fueron tomadas para cada familia, donde se optó por los valores medios o modales, en rango de valores que se estimó según la (tabla 9. Descripción de la abertura de las discontinuidades).
- El relleno, se identificó el tipo material con el cual son rellenadas las fisuras en las discontinuidades, con esto con la utilización de una lupa20x, describiendo el mineral y tamaño de grano, además, el espesor de relleno también llamado anchura esto con ayuda de la regla graduada en mm, este rango de valores se lo determino según la (tabla 16. Condición de las discontinuidades).

- En la Rugosidad, se estimó visualmente mediante perfiles estándar con la ayuda del peine de Barton, según los perfiles de la figura 2, los datos obtenidos se proyectaron en el ábaco de la figura 4 y se obtiene el valor exacto de JRC.
- La meteorización, visualmente se apreció bajo los siguientes términos: fresca, ligeramente meteorizada, moderadamente meteorizada, altamente meteorizada, completamente meteorizada y suelo residual. El grado de meteorización se lo estimó en base a la (tabla 1. Grado de meteorización de la roca).
- La orientación de las discontinuidades en el talud, se lo determinó con el uso de la brújula brunton, se tomó en cuenta dos casos, cuando el rumbo es perpendicular al eje de la vía o el rumbo es paralelo al eje de la vía, que se obtuvo así los datos estructurales de las discontinuidades (dip/dip direction) según la (tabla 18. Orientación de las discontinuidades del talud).
- Ensayo de esclerometría de bajo impacto, con ayuda del esclerómetro y del ángulo del cual se posiciona el esclerómetro con respecto a la junta natural como se encuentra en campo, se obtuvieron los valores de un promedio de 10 rebotes por cada junta.
- Resistencia de las paredes de la discontinuidad, conocida también como la resistencia a la cara de la junta, que depende del tipo de matriz rocosa, de la existencia o no de relleno y del grado de alteración, se lo realizó con ayuda del martillo de Schmidt.
- Las filtraciones en las discontinuidades, se visualizó en dependencia de la existencia de discontinuidades con relleno o sin relleno, se las describió en relación a los siguientes términos, seco, ligeramente húmedo, húmedo, goteando y fluyendo, su valoración se obtuvo según la (tabla 17. Flujo de agua).



Figura 13. Campaña de levantamiento de datos en campo: **a)** Determinación de la línea de escaneo, **b)** Buzamiento y dirección de Buzamiento (Brújula Burton), **c)** Separación entre juntas, **d)** Longitud de la junta, **e)** Apertura entre juntas, **f)** Rugosidad (peine de Barton), **g)** Ensayo de esclerometría hacia la junta natural.

5.3.2.2. Ensayo de propiedades físicas. Se optó por una muestra de mano obtenida en campo por cada zona geomecánica que de igual manera se acogió la metodología mencionada en el apartado (5.3.2.3. Propiedades Mecánicas), las muestras son codificadas y como dato relevante se obtuvo muestras de entre 200 gramos a 300 gramos sin exceder la capacidad de balanza analítica del laboratorio, para ello en campo y con ayuda de una balanza normal se obtuvo la muestra deseada.

Las muestras sirvieron para la obtención de las propiedades físicas en el laboratorio de mecánica de rocas de la carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja, comenzando con el peso natural, peso seco, peso saturado y peso sumergido, además, el peso específico aparente, porosidad normal y eficaz, la capacidad de absorción, contenido de humedad, a través del ensayo del picnómetro, para la realización de dichas propiedades se sigue la metodología implantada en la Norma ASTM D854.

5.3.2.3. Propiedades Mecánicas

- **Resistencia de la matriz rocosa por el martillo de Schmidt:** Se obtuvo muestras de los macizos rocosos por cada zona geomecánica en campo (figura 14a)

transportadas al laboratorio de rocas (figura 14b), estas muestras son codificadas en base a la zona, donde ayudados con materiales y equipos de laboratorio pasaron por una etapa de cortado y pulido en cubos de (5x5x5cm) donde fueron recodificadas, como se observa en la figura 14c.

La metodología para obtener muestras de roca de calidad se describe a continuación:

- Planificación previa al muestreo, ayudados con la litología identificada de la zona.
- Selección del sitio de muestreo, acorde a los puntos potenciales que brinden accesibilidad, seguridad y representatividad de las muestras.
- Preparación del equipo, asegurar todo lo las herramientas necesarias como martillos, cinceles, bolsas, etiquetas, entre otras.
- Inspección visual, antes de tomar la muestra se examina el afloramiento observando sus características como la textura, el color, la estructura y cualquier característica geológica relevante.
- Selección de la muestra, se elige u área específica del afloramiento buscando o más cercano que una roca se encuentra relativamente fresca y no alterada, para ellos se busca zonas sin fracturas excesivas, mineralización excesiva o presencia de material suelto. Utiliza el martillo y el cincel para extraer una muestra de tamaño adecuado, preferiblemente de al menos 10 cm de largo y ancho, y lo suficientemente gruesa para representar la variabilidad de la roca.
- Etiquetado o codificado década muestra, si es necesario se protege la muestra con papel periódico o material de embalaje para evitar daños en el transporte.
- Documentación fotográfica, se toma fotografías del afloramiento, así como de la muestra extraída. Estas imágenes serán útiles para referencia futura y análisis adicional.



Figura 14. Etapa de obtención de cubos 5x5x5 cm: **a)** Obtención ideal de la muestra a través de martillo y cincel, **b)** Codificación de la muestra por zona, **c)** Post proceso de cortado y pulido en cubos de 5x5x5cm.

Ya en el laboratorio, se realizó el ensayo de rebote al martillo de bajo impacto con la ayuda del martillo de Schmidt, primeramente fue el pulido de la superficie de la junta esto implementado para evitar valores erróneos, seguido se optó por 10 rebotes en forma vertical con martillo de Schmidt abordando todas las caras o ásperas del cubo de roca, esta medida de rebote se la relaciona con la Resistencia a la comprensión simple en el gráfico propuesto por Miller (figura 16) en la que toma en cuenta la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto al plano de roca ensayado de acuerdo a la tabla 4.

Para la medición del valor del rebote con martillo Schmidt de bajo impacto (o tipo L) a los cubos de roca, se modificó el método clásico que habitualmente es aplicado a testigos cilíndricos de roca, en este caso se aplicó un método indirecto para cubos de roca, para ello primero opto por asentar el cubo a una superficie plana y resistente, y ayudados con las extremidades inferiores se produjo un agarre firme al cubo para evitar que la muestra se mueva y descartar posibles errores de medida arrojados por el martillo de Schmidt, esta toma de valores se lo realizo a los 8 cubos de rocas obtenidos, ver en figura 15.



Figura 15. Ensayo del rebote al martillo de bajo impacto en junta pulida.

Se obtuvo un total de 10 rebotes abordando todas las aristas de cada cubo de roca, el resultado se lo relaciona con los valores de Miller 1965.

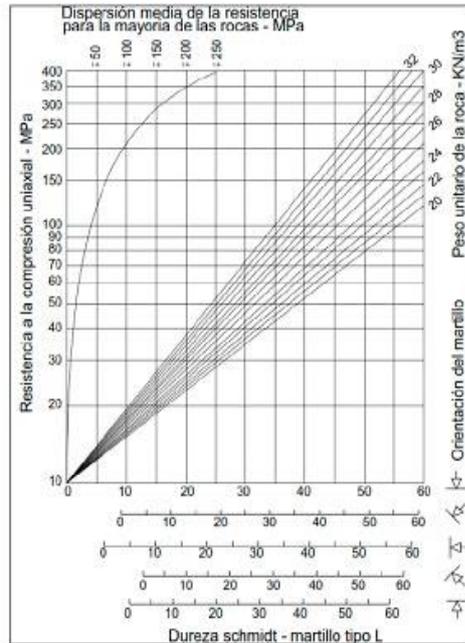


Figura 16. Correlación para el martillo Schmidt entre resistencia a compresión, densidad de la roca y rebote

Nota: Miller 1965

Por conveniencia de símbolos se utiliza “R” cuando el índice de rebote se ha obtenido en una roca inalterada y “r” cuando se ha obtenido sobre la superficie de una discontinuidad, el valor de la compresión simple obtenido representa JCS.

- **Ensayo de compresión simple:** Acorde a este ensayo se lo realizo en base a la metodología implanta en la Norma ASTM D2938, la cual es idónea para este tipo de propiedades.

Para determinar la resistencia a la compresión simple se aplicó la siguiente expresión:

$$\sigma_c = \frac{Ft}{A} = \frac{\text{Fuerza de tracción aplicada}}{\text{Área}} \quad [Mpa]$$

5.3.3. Metodología para el tercer objetivo

“Caracterizar los macizos rocosos en base al criterio de clasificación SMR de Romana y obtener un modelo de simulación de caída de rocas con el uso del software RocFall”

Una vez obtenido los resultados del tipo de roca, las propiedades física-mecánicas y los ensayos de compresión simple, los datos geomecánicos, se definió la calidad que presentan los macizos rocosos (excelente, buena, regular, mala y muy mala) el cual está vinculado con los valores del RQD y de los criterios de clasificación geomecánica RMR y SMR, caracterizando así los macizos rocosos acorde a su calidad en el tramo de estudio. A continuación, se detallan el proceso para obtener dichos parámetros:

RQD

Se lo estimó con la siguiente formula empírica propuesta por Palmstrom (2005):

$$RQD = 110 - 2.5J_v$$

Donde:

Jv: Índice volumétrico de fisuras por cada m³

$$J_v = \sum \frac{1}{SM_i}$$

SMi: Espaciamiento o separación medio de cada fisura en metros

El porcentaje del RQD se plasmará en la tabla 27.

Tabla 27. Descripción del RQD

Zona	Abs	RQD (%)	Clase	Calidad
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

RMR

Para el cálculo del RMR se lo estipuló por el método de Bieniaswski 1989:

Se tomó en cuenta los 5 parámetros que lo contutuyen: la resistencia a la comprensión simple (1), el grado de fracturamiento en términos de RQD (2), la condición de las discontinuidades o espaciado (3), el carácter hidrológico (4) y la naturaleza de las discontinuidades (5), los parámetros (3, 4 y 5) son el resultado de los datos tomados en campo en la ficha denominada Caracterización geomecánica. obteniendo así un valor cuantitativo para realizar la clasificación del RMR en cinco clases bajo los siguientes termino: muy buena, buena, media, mala y muy mala según la tabla 20.

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

Los resultados obtenidos se los describió en la tabla 28.

Tabla 28. Descripción del RMR

Zona	Abs	RMR (%)	Clase	Calidad
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

SMR

Se usó el método propuesto por Romana, conformado por el índice RMR básico sumando un "factor de ajuste" que está dado en función de la orientación de las juntas (producto de tres subfactores) y un "factor de excavación". Según la siguiente formula:

$$SMR = RMR + (F1 * F2 * F3) + F4$$

El valor del RMR se tomó de apartados anteriores, el factor de ajuste (F1) depende de la existencia o no del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y el de la cara del

talud, se determinara mediante una brújula y se asignara un valor de 1 cuando los dos rumbos son paralelos y 0,15 cuando éstos difieren en más de 30°, el factor de ajuste (F2) que depende del buzamiento de la discontinuidad, cuando la discontinuidad tiene un buzamiento de 45° o superior, al factor F2 se le asigna un valor de 1 y de 0,15 cuando dicho buzamiento es inferior a 20° se determinara dichos valores mediante una brújula, el factor de ajuste (F3) evalúa la relación entre el buzamiento de la junta y el del talud, si el buzamiento del plano del talud es 10° mayor que el de las discontinuidades, las condiciones serán muy desfavorables ya que casi todas estarán descalzadas, el factor F1, F2 y F3 se determinaran con una brújula, el factor (F4) es el factor de ajuste según el método de excavación, se estimara visualmente y se le asignara el valor según la tabla 22.

La caracterización de los macizos rocosos es presentada en la tabla 29.

Tabla 29. Valoración Geomecánica con los métodos de Bieniawski RMR y Romana SMR

Zona	Abs	SMR (%)	Clase	Calidad	Estabilidad
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

• **Análisis Cinemático**

Angulo de fricción de la discontinuidad

En base al criterio de Barton y Choubey (1977) se determinó el ángulo de fricción por cada zona geomecánica, para el caso del ángulo de resistencia básico de la roca se lo determinó de forma bibliográfico con ello se calculó el ángulo de fricción de la discontinuidad, mediante las siguientes formulas:

$$\phi_p = \phi_r + i$$

$$\phi_r = (\phi_b - 20^\circ) + 20 \frac{r}{R}$$

En donde:

ϕ_p = ángulo de fricción de la discontinuidad

ϕ_r = ángulo de rozamiento residual de la discontinuidad

i = ángulo de rugosidad

ϕ_b = ángulo de rozamiento básico del material

r = valor de rebote del esclerómetro sobre la pared de la discontinuidad

R = valor de rebote del esclerómetro sobre la matriz rocosa.

Para grandes esfuerzos el ángulo de rugosidad (i) se considera cero y para esfuerzos muy pequeños se debe usar un valor fijo, así:

$$i = 0, \text{ cuando } JCS/\sigma_n \leq 1$$

$i = JRC \log (JCS/\sigma_n)$, cuando $1 > JCS/\sigma_n \leq 50$

$i = 1.7 JRC$ cuando $JCS/\sigma_n > 50$

- **Proyección estereográfica con el software Dips versión 7.0.**

El análisis cinemático se lo realizó para las 8 zonas geomecánicas con ayuda del software Dips 7.0 (figura 17) implementando los 3 casos de rotura planar, cuña y vuelco, tomando en consideración dos direcciones de buzamiento del talud, y a la geometría del talud siendo o no circular,

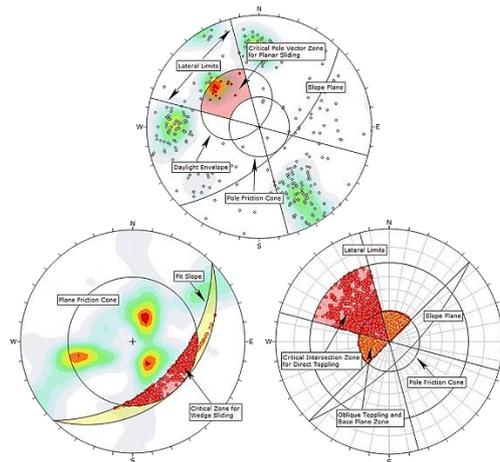


Figura 17. Proyección estereográfica

Fuente: Rocscience, n.d. 2024

- **Modelo de simulación de caída de roca**

Finalmente, con el apoyo del software RocFall 4.0 (ROCSCIENCE, n.d.) se elaboró el modelo de simulación de caída de roca, con el fin de demostrar el alcance y magnitud de energía cinética de fragmentos de roca que caen hacia la vía, este programa fue implementado con los conceptos de Hoek (2008) sobre los modelos de simulación de caída relativas de rocas sueltas, que son capaces de producir razonables predicciones de trayectorias de caída de rocas

Se utilizó los valores del ángulo de fricción por cada zona geomecánica y tipo de roca obtenidos en el análisis cinemático, además, se posicionó los taludes rocosos junto con sus datos GPS en el software Google Earth Pro, con el fin de ubicar los taludes en campo para el análisis de simulación.

Ayudados con la topografía obtenida en el primer objetivo, se obtuvo los datos X,Y de los perfiles topográficos de cada talud escogido con el apoyo del software ArcGIS 10.5.

Proceso del análisis de simulación:

- Dentro del software RocFall 4.0 se procedió a construir el perfil del terreno con los datos topográficos, se asignó el material acorde a lo identificado en campo esto por cada segmento del perfil como se muestra en la figura 18, los valores de

los coeficientes de restitución tanto normal como tangencial se fueron tomados de la tabla 30 conforme a la litología que se tiene en el área de estudio

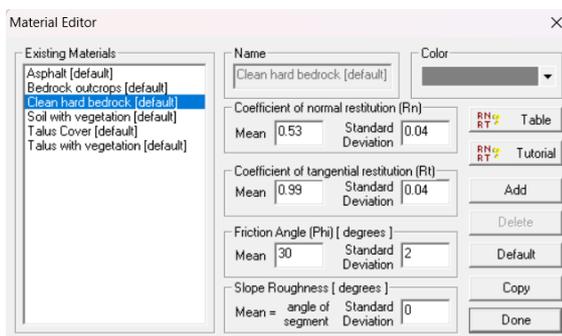


Figura 18. Material Editor del RocFall 4.0

Nota. Rocscience (2002)

Tabla 30. Coeficientes de restitución

RN (Normal)				RT (Tangencial)				Tipo	Verificación	Ubicación	Referencia
Min	Máximo	Significar	Desviación estándar	Min	Máximo	Significar	Desviación estándar				
0.370	0.420			0.870	0.920			Superficie dura pavimentación	Probado Utilizando desprendimientos desde tamaño y forma similares a los de un despiste de rocas anterior. rocas simuladas	Cañón de Glenwood, Colorado, Estados Unidos	Pfeiffer, T.J., y Bowen, T.D., "Simulación por computadora de desprendimientos de rocas". Boletín de la Asociación de Geólogos Ingenieros. Vol. 26, No. 1. 1989. págs. 135-146
0.330	0.370			0.830	0.870			Lecho rocoso o cantos rodados con poco suelo o vegetación			
0.300	0.330			0.830	0.870			Astrágalo con poca vegetación			
0.300	0.330			0.800	0.830			Astrágalo con alguna vegetación			
0.280	0.320			0.800	0.830			Pendiente de suelo blando con poca vegetación			
0.280	0.320			0.780	0.820			Suelo con vegetación cuesta			
		0.315	0.064			0.712	0.116	Cara de piedra caliza	Probado en taludes de restauración-voladura de cuatro tipos de materiales; Fragmentos de roca generados por explosiones, pedregales parcialmente vegetados en bermas, descubiertos pilas de voladura y residuos de cantera con vegetación.	Caliza cantera en Inglaterra	Robotham, M.E., y Wang, H., y Walton, G., "Evaluación del riesgo de caída de rocas de las laderas de las canteras activas y abandonadas". Institución de la minería y Metalurgia, Sección A. 1995.104 (enero-abril), págs. A25-A33
		0.303	0.080			0.615	0.170	Pedregal de piedra caliza con vegetación parcial			
		0.315	0.064			0.712	0.116	Descubierto Pilote de piedra caliza			
		0.251	0.029			0.489	0.141	Vegetación pila de piedra caliza cubierta			
		0.276	0.079			0.835	0.087	Cara de tiza			
		0.271	0.018			0.596	0.085	Tiza con vegetación Scree			
		0.384	0.133			0.687	0.130	La pendiente de la plataforma de madera a 45 grados se utilizó como control para las pruebas de campo que hicieron.	Probado como parámetros de control	Oeste de Carolina del Norte para	Chau, K.T., y Wong, R.H.C., y Lee, C.F. "Problemas de caída de rocas en Hong Kong y algunos nuevos resultados experimentales para los coeficientes de restitución" Revista Internacional de mecánica de rocas y ciencias mineras y geomecánica. Vol. 35, Sección 4-5. 1996. págs. 662-663
		0.393				0.567		Suelo	Probado dejando caer fragmentos de roca granítica cúbica y angular de 3 a 5 cm en las laderas	Hong Kong	Giani, G.P. "Análisis de estabilidad de taludes rocosos" Rotterdam, Balkema 1992.
		0.453				0.737		Hormigón proyectado			
		0.487				0.910		Pendiente de roca			
		0.500				0.950		Lecho de roca	Referencia de las pruebas realizadas por Barbieri et al.	Italcementi en Castellammare di Stabia (vertiente norte de la península de Sorrento), y en la zona de Atrani.	Giani, G.P. "Análisis de estabilidad de taludes rocosos" Rotterdam, Balkema 1992.
		0.350				0.850		Lecho rocoso cubierto por grandes bloques			
		0.300				0.700		Escombros formados por elementos distribuidos uniformemente	Desarrollado por observación y revisión bibliográfica	Colorado, Estados Unidos	Pfeiffer, T.J., y Higgins, J.D., "Análisis de peligro de caída de rocas utilizando el despiste de rocas de Colorado Simulación". Registro de Investigación de
		0.250				0.550		Suelo cubierto por vegetación			
		0.530				0.990		Limpia duro lecho de roca			
		0.400				0.900		Calzada asfaltada			
		0.350				0.850		Afloramientos rocosos con superficie dura, grandes cantos rodados			
		0.320				0.820		Cubierta de astrágalo			
		0.320				0.800		Cubierta de astrágalo con vegetación			
		0.300				0.800		Suelo blando, alguna vegetación			
0.370	0.420							Liso duro Superficies y pavimentos	Desarrollado por observación y revisión bibliográfica	Colorado, Estados Unidos	Pfeiffer, T.J., y Higgins, J.D., "Análisis de peligro de caída de rocas utilizando el despiste de rocas de Colorado Simulación". Registro de Investigación de
0.330	0.370							La mayoría de los lechos rocosos y Campos de cantos rodados			
0.300	0.330							Astrágalo y firmeza Pendientes del suelo			

0.280	0.300			0.870	0.920			Pendientes de suelos blandos			Transporte 1288, TRB, Investigación Nacional Consejo, Washington, D.C., 1990, págs. 117 a 126.
				0.830	0.870			Superficies lisas y duras, como pavimento o superficies lisas de lecho rocoso			
				0.820	0.850			La mayoría de las superficies de lecho rocoso y taludes sin vegetación			
				0.800	0.830			La mayoría de las laderas de taludes con algo de vegetación baja			
				0.780	0.820			Taludes de taludes con vegetación y taludes de suelo con vegetación de repuesto			
								Cepillo cubierto Pendiente del suelo			
		0.530	0.040			0.990	0.040	Limpiar duro Lecho de roca	a) rodó muchas rocas por la ladera para verificar los valores utilizados b) comparación con Eventos históricos de caída de rocas en el sitio	Montaña carretera, cerca de Bolzano, Sothyrol, Italia	retroalimentación del usuario de la versión 3 de RocFall
		0.350	0.040			0.850	0.040	Roca madre saliente			
		0.320	0.040			0.820	0.040	Cubierta de astrágalo			
		0.320	0.040			0.800	0.040	Astrágalo con vegetación			
		0.400	0.040			0.900	0.040	Pavimentación asfáltica			
		0.530	0.040			0.990	0.040	Limpiar duro Lecho de roca	Valores de programa predeterminados utilizados	170m tajo abierto profundo, Tasmania, Australia (ángulo total del tajo entre 55 y 65 grados)	Comentarios del usuario de la versión 3 de RocFall
		0.350	0.040			0.850	0.040	Afloramiento rocoso			
		0.480	0.190			0.530	0.170	Hormigón	inverso Cálculo de rutas: las desviaciones estándar parecían demasiado grandes	Takamatsu Japón	retroalimentación del usuario de la versión 3 de RocFall
		0.470	0.300			0.550	0.230	Roca erosionada			
		0.480	0.000			0.530	0.000	Hormigón	Inverso Cálculo de caminos, rugosidad de 7,9 grados para hormigón, 9,3 para roca inverso Cálculo de rutas		
		0.470	0.000			0.550	0.000	Roca erosionada			
		0.850	0.000			0.530	0.000	Hormigón			
		1.000	0.000			0.550	0.000	Roca erosionada			
		0.530	0.040			0.990	0.040	Lecho de roca	Estimación, bloque diámetros de 10 a 30 cm	Fiordo valle, Estado de Sognog Fjordane, Noruega	Comentarios del usuario de RocFall versión 3
		0.500	0.060			0.700	0.060	Campo de bloques			
		0.500	0.060			0.650	0.060	Blockfield con arbustos y árboles pequeños			
		0.500	0.060			0.500	0.060	Blockfield con bosque			
		0.300	0.060			0.800	0.060	La capa superior del suelo con vegetación			
		0.400	0.040			0.900	0.040	Pavimentación asfáltica			
		0.350	0.040			0.850	0.040	Ripio			
		0.500				0.800		La ladera boscosa de perejil está cubierta por una chapa de muy fina Astrágalo erosionado derivado de unidades de histosa débiles subyacentes a la piedra caliza gorro.	Calculado a partir de desprendimientos de rocas históricos	Sunnybrae, (interior de) Columbia Británica, Canadá	Hungr, O. y Evans, S.G. 1988. Ingeniería Evaluación de riesgos de caída de rocas fragmentarias. Proc. 5º Simposio Internacional en Deslizamientos de tierra, Lusanne. Julio de 1988, Vol. 1, págs. 685-690.
		0.500				0.800		Piedra caliza en talud de talud uniforme y desnudo formado por fragmentos de basalto con un tamaño modal de 5 cm.	Calculado De un desprendimiento de rocas histórico	Hedley, (interior sur de) Columbia Británica, Canadá	
		0.700				0.900		rectangular de toba metamorfoseada sobre roca desnuda y un Plataforma empinada cubierta de nieve.	Calculado De un desprendimiento de rocas histórico	Autopista Squamish, al norte de Vancouver, Columbia Británica, Canadá	

Nota. Rocscience (2002)

- Se signa las líneas sembradoras en función a las zonas de inestabilidad que se observó en el talud de roca, a estos se les incluye la velocidad de caída en horizontal y vertical junto con su desviación estándar, además, el peso de los fragmentos de roca y su respectiva variación. Para el valor de velocidad se aplican las siguientes ecuaciones

Tiempo de caída libre en vertical:

$$h = \frac{g * t^2}{2}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 * h}{g}}$$

Donde:

t , tiempo de caída (s)

h , es la altura de caída de la roca

g , es la gravedad (9.81m/s^2)

Velocidad de caída por la pendiente en horizontal:

$$V_{EXIT} = \sqrt{V_0^2 - 2 * s * g * k}$$

Donde:

V_{EXIT} , es la velocidad de la roca al final del tramo

V_0 , es la velocidad inicial de la roca, tangencial al segmento

s , es la distancia desde el punto inicial hasta el final del segmento

g , es la aceleración debida a la gravedad (-9.81 m/s^2)

k , es $\pm \sin(\vartheta) - \cos(\vartheta) * \tan(\phi)$

Donde:

ϑ , es la pendiente del segmento

ϕ , es el ángulo de fricción

\pm , es + si la velocidad inicial de la roca es cuesta abajo 0 cero; y- si es cuesta arriba

- Se realiza la configuración del proyecto que incluye determinar el promedio de numero de fragmentos de roca que pueden caer hacia la vía (figura 19), se puede definir dicho valor con la observación in-situ de rocas caídas en las faldas del talud y la vía.

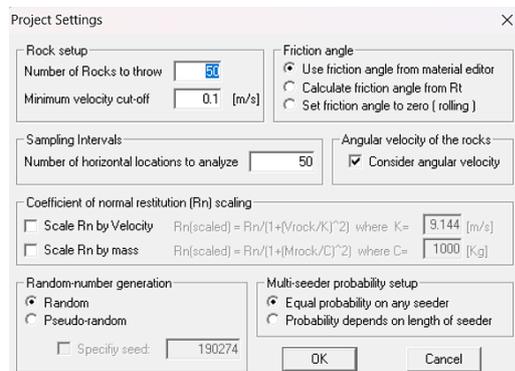


Figura 19. Conjuración del proyecto en el RocFall 4.0

- Finalmente se realiza el cálculo dando la simulación de caída de rocas como se observa en la figura 20.

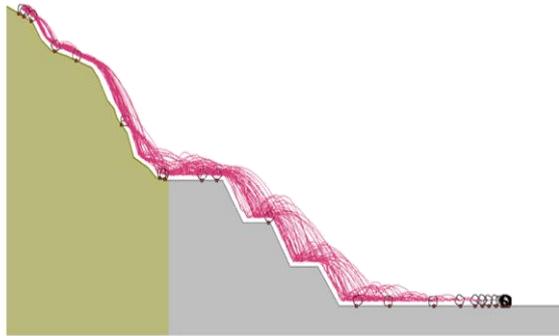


Figura 20. Cálculo del RocFall

Fuente: Rocscience,n.d. 2024

Todas estas variables son fundamentales en el análisis que se realizó en el programa RocFall versión 4.0, siendo importante las características que arrojo el análisis donde interpretó 2 distribuciones graficas como son: traslación de velocidad de caída de la roca (m/s) y el total de la energía cinética de caída de la roca (J).

6. Resultados

El presente proyecto divide los resultados en función a cada objetivo realizado, estos se describen a continuación.

6.1 Topografía

Esta primera fase se procedió con el levantamiento topográfico base, la misma que fue diseñada por trabajos de campo y de oficina.

La topografía local que se aprecia en la figura 21 y se encuentra en el Anexo 7, obtenida a partir del Dron modelo MATRICE 300 RTK con cámara integrada de alta resolución DJI Mavic 2 Pro (Distancia focal de 13 mm, a una duración del vuelo de 18:17 minutos y a una altura de 130 m), con una precisión de 11.0 cm/pix, cuyo resultado fue el mapa topográfico a escala 1:1 000, con curvas de nivel primarias a un metro y secundarias a cinco metros, abarcado el tramo de estudio de 1.1 km de longitud con una sección de 60 metros por cada eje de la vía, cubriendo el área total de 14.8 hectáreas.

Se evidencio la cota mayor de 1952 m.s.n.m en la parte Norte-Este y Sur-Este específicamente donde se identificaron los taludes rocosos de corte, en cuanto a la cota menor que fue de 1819 m.s.n.m ubicada al Norte-Oeste y Sur-Oeste en la parte baja de la topografía, la cual presento 133 metros de desnivel entre cotas.

A partir del mapa topográfico se procedió a realizar tres cortes topográficos longitudinales ubicados en el inicio, centro y final de la zona de estudio y tres cortes topográficos transversales.

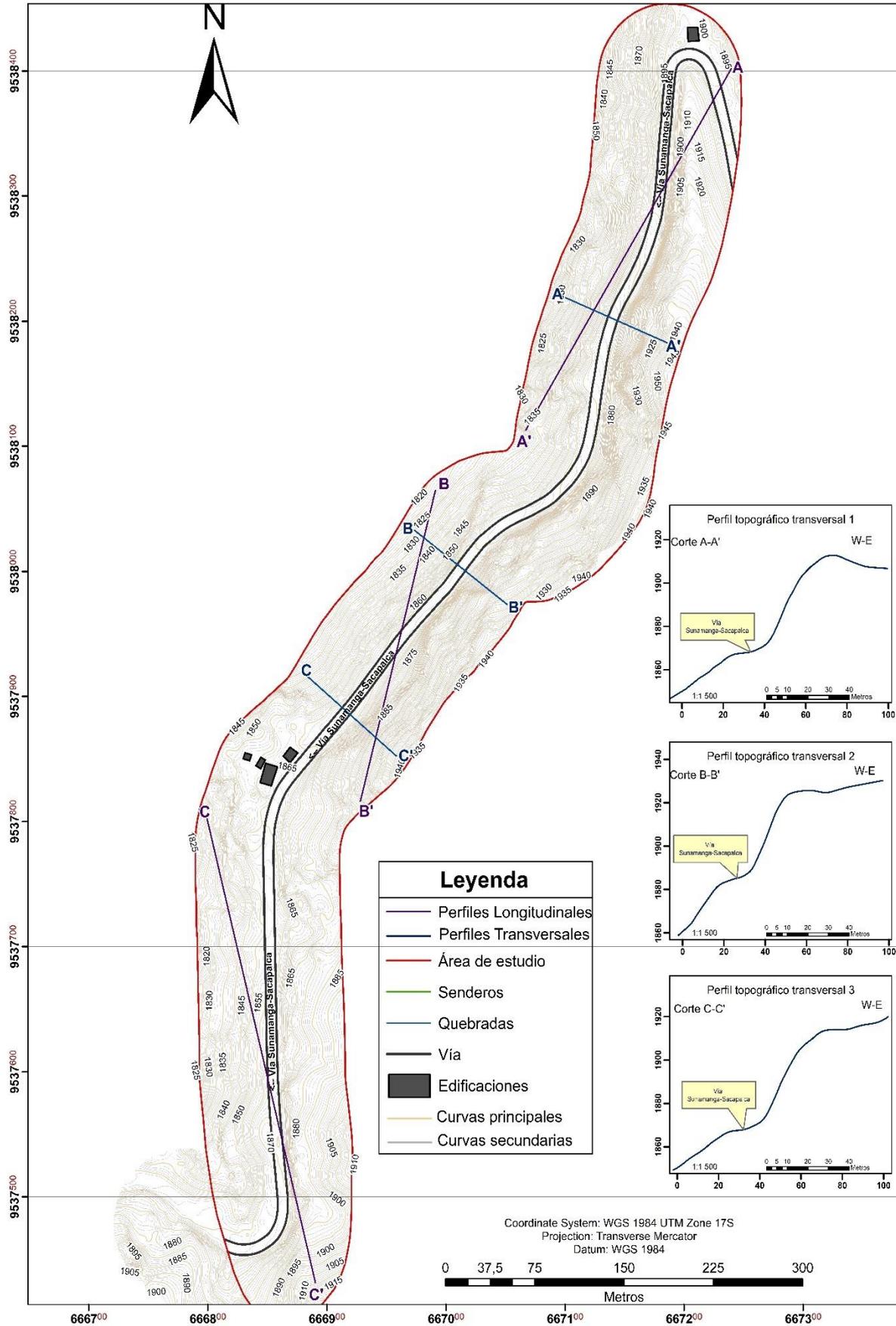


Figura 21. Topografía del tramo de estudio

Se describen los cortes topográficos longitudinales:

- Corte A – A'

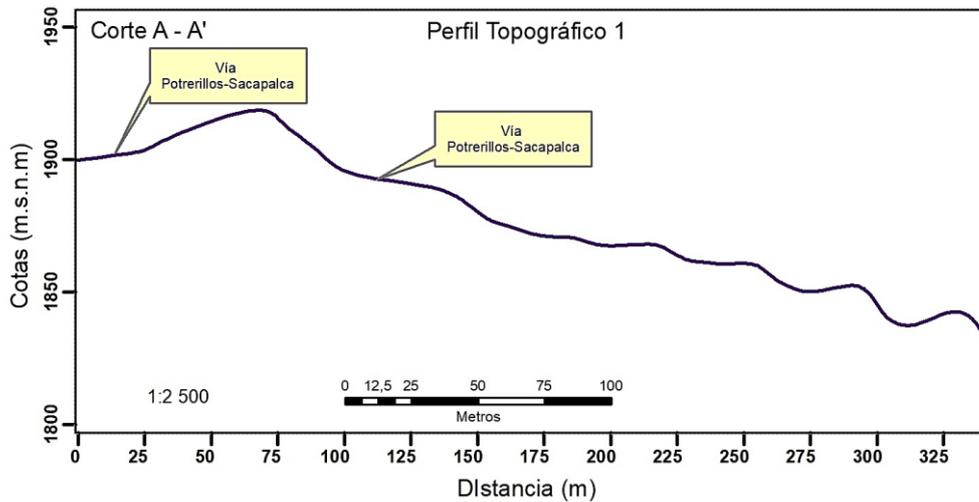


Figura 22. Perfil topográfico 1.

En la figura 22 se muestra el perfil 1 realizado en la parte inicial del tramo de estudio con dirección de NE-SW, tiene una longitud de 300 m, en los primeros 100 m posee una altitud promedio de 1915 m.s.n.m, misma que disminuye hasta una altura de 1840 m en una longitud de 300m. Tomando en consideración la altitud más alta con la altitud más baja tenemos una diferencia de 75 metros.

- Corte B-B'

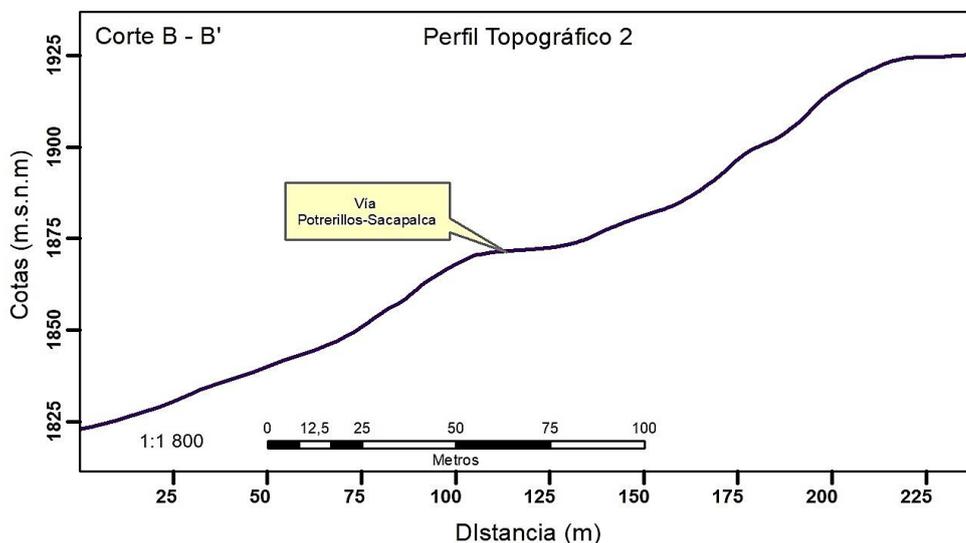


Figura 23. Perfil topográfico 2.

En la figura 23 se muestra el perfil 2 realizado en la parte céntrica del tramo de estudio con dirección de NE-SW, tiene una longitud de 230 m, en los primeros metros posee una altitud promedio de 1825 m.s.n.m, misma que aumenta hasta una altura de 1925 m.s.n.m en una

longitud total de los 230 m. Tomando en consideración la altitud más alta con la altitud más baja tenemos una diferencia de 100 metros.

- Corte C-C'

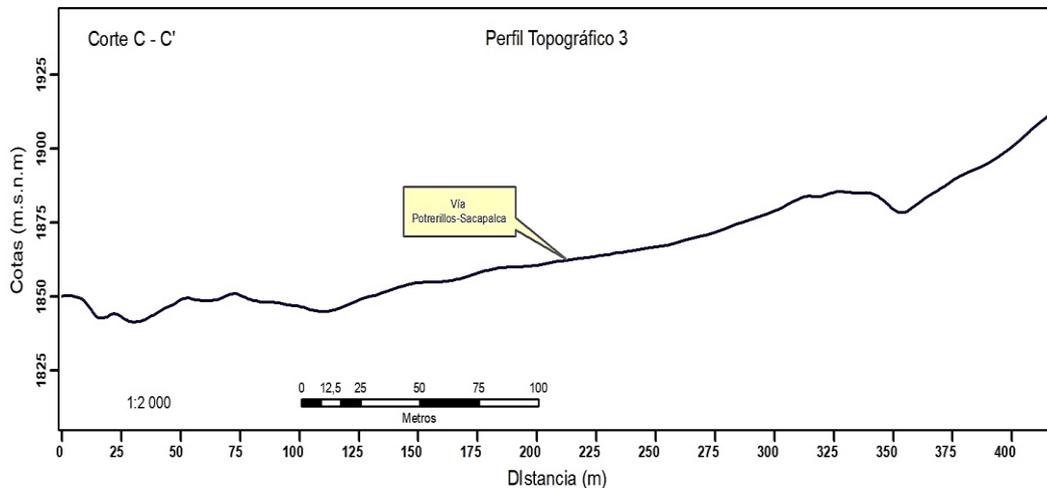


Figura 24. Perfil topográfico 3.

En la figura 24 se muestra el perfil 3 realizado en la parte final del tramo de estudio con dirección de NW-SE, tiene una longitud de 400 m, en los primeros 120m posee una altitud entre de 1845 a 1855 m.s.n.m, misma que aumenta a los 340m a una altitud promedio de 1885 m.s.n.m, en los 20 m continuos de recorrido se denota una depresión a los 1877 m.s.n.m, finalmente la curva asciende a una altitud promedio de los 1910 m.s.n.m abarcando así los 400m totales de recorrido. Tomando en consideración la altitud más alta con la altitud más baja se tiene una diferencia de 65 metros.

6.1.1. Pendientes

Aplicando la metodología propuesta por Demek, (1972) y haciendo uso del software ArcGIS 10.5 se obtuvo la clasificación de las pendientes del área de estudio y se representó en el mapa de pendientes, ver Anexo 8.

De la clasificación se ha considerado cinco clases con valores desde 0° a 90°, pendiente ligeramente inclinada de 0° a 5° localizadas en su mayoría en la vía, pendiente fuertemente inclinada de 5° a 15° ubicados en los costados de la vía, pendiente muy inclinada de 15° a 35° que se encontraron en todo el polígono en su mayoría en las partes bajas dirección Norte-Oeste, pendiente empinada 35° a 55° localizadas en zonas empinadas tanto en la parte alta como baja del área de estudio y pendiente vertical 55° a 90° fueron ubicadas en los taludes de corte. El resultado es el mapa de pendientes de la zona de estudio con su respectiva clasificación, ver en figura 25.

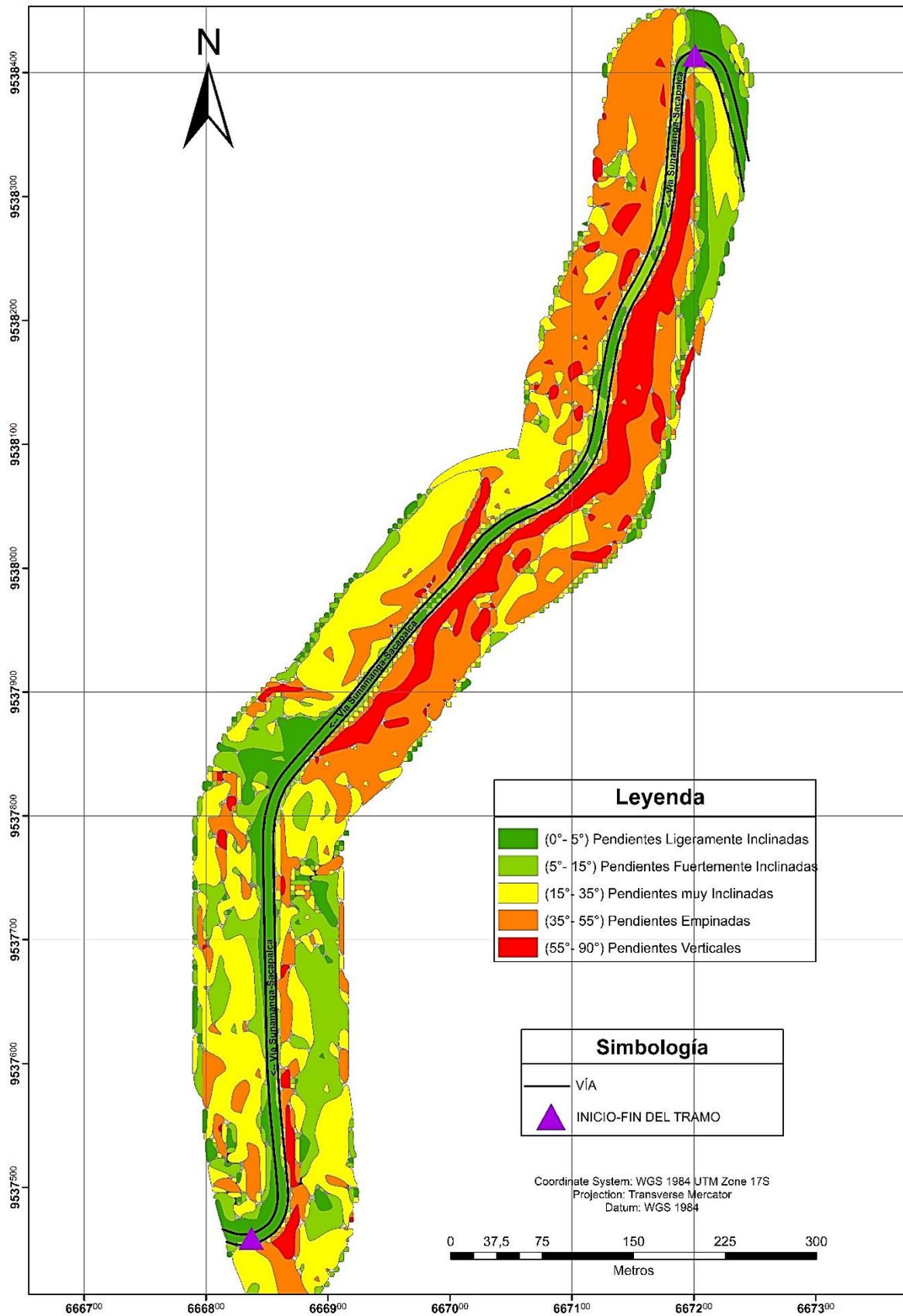


Figura 25. Mapa de pendientes.

6.2 Geología

6.2.1. Geología Local

Con ayuda de herramientas (GPS, brújula, martillo geológico, entre otros), se levantó, identifico y se describió los 17 afloramientos mediante fichas técnicas (Anexo 1) reflejados en un mapa de ubicación de afloramientos, donde se identificó 5 litologías, que abarca toda el área de estudio como se observa en la figura 26.



Figura 26. Ubicación de afloramientos levantados

Con el análisis macroscópico de las muestras procedentes de los taludes rocosos asentados en la calzada vial, se determinó el tipo de material que esta hospedado, así como sus características. Las litologías en el área de estudio se detallan a continuación:

- **Litología de las brechas volcánicas:** Las brechas volcánicas se evidencian en la parte final del tramo de estudio, específicamente en los afloramientos 5 y 7 entre las abscisas 00+595-00+680 y 01+060-01+100, poseen una alteración ligera, sin presencia de agua con familia de discontinuidades, se cataloga como roca volcánica de clastos andesíticos subredondeados, tamaño de clastos métricos a decimétricos de grano medio a gruesos, con mal sorteo, en general son de color grisáceos a oscuros; poseen textura porfídica y contenido mineralógico de plagioclasa, hornblenda, clinopiroxenos, minerales secundarios opacos y biotita; posee una matriz de vidrio volcánico, con una composición andesítica, ver en figura 27.



Figura 27. Brecha volcánica

- **Litología de tobas andesíticas:** afloran en concordancia sobre las brechas volcánicas, las tobas pertenecientes del Cerro Surapo, que se encontraron identificadas en el primer talud rocoso, específicamente en los afloramientos 1, 2, 9, 10, 11 y 12, entre las abscisas 00+000 a 00+420, litología superficial ligeramente alterada sin presencia de agua y con familia de discontinuidades, que exhiben una coloración café grisáceo a oscuras, con textura porfídica, los fenocristales están compuestos de cristales de plagioclasa de color oscuros milimétricos, hornblenda, clinopiroxenos y cuarzo, minerales secundarios opacos y epidota. La matriz de la

toba está compuesta de hornablenda, plagioclasa, vidrio y ceniza volcánica. Ver en figura 28.



Figura 28. Toba de composición andesítica

- **Litología de las tobas dacíticas:** Se evidencia en el segundo talud rocosos, específicamente en el afloramiento 4, entre las abscisas 00+450-00+595, en campo se observa una ligera alteración debido a procesos climáticos, esta litología se ubica estratigráficamente sobre las brechas aflora la unidad compuesta por tobas blancas de grano media a grueso. Estas se describen como depósitos piroclásticos, de color blanco, muy consolidados, con textura porfídica, con fenocristales de clinopiroxeno, anfíbol, plagioclasa y hornablenda; minerales secundarios como opacos, epidota y óxidos. La matriz está compuesta de microcristales de hornablenda, plagioclasa, piroxeno, sericita y hornablenda alterada, ver en figura 29.



Figura 29. Toba de composición dacítica

- **Litología de los Depósitos Coluviales:** ubicados en la sección baja del tramo vial Potrerillos-Sacapalca en dirección Norte-Oeste y Sur-Oeste, en los afloramientos 13, 14, 15, 16 y 17, esta litología predomina en la zona de estudio, los coluviales encontrados se componen de clastos que varían entre 3 a 20 cm con mal sorteo de tobas y brechas volcánicas, se caracterizan por la alta alteración y disgregación de las brechas y tobas volcánicas, presentando una matriz arcillo arenosa soportada de coloración clara, ver en figura 30.

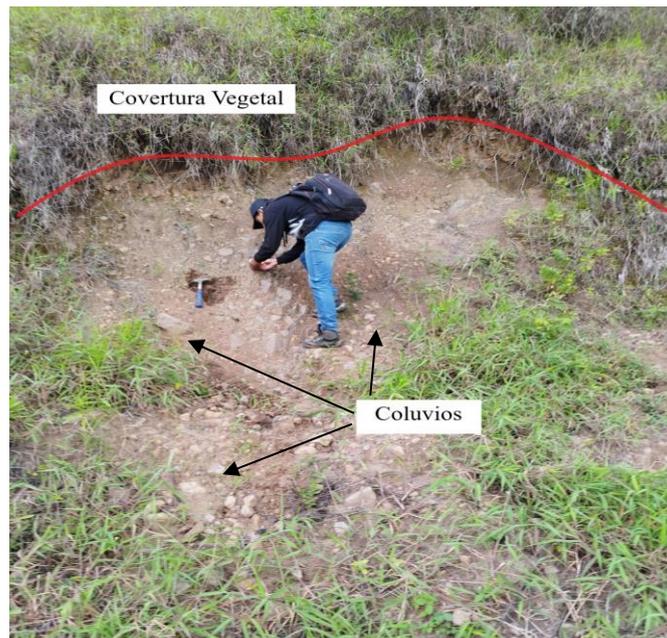


Figura 30. Coluvios

- ***Litología del Saprolito de toba cristalina:*** Aflora en una parte de la toba cristalina de composición andesítica, en el afloramiento 3, esta litología es resultado de la meteorización sin ocurrir procesos de transporte, posee los mismos rasgos texturales y estructurales de la toba, el Saprolito descansa sobre la roca inalterada, posee una coloración pardo clara decolorada y alterada acompañada de fragmentos de roca donde las plagioclasas se alteraron al grado de transformarse en arcillas (figura 31).

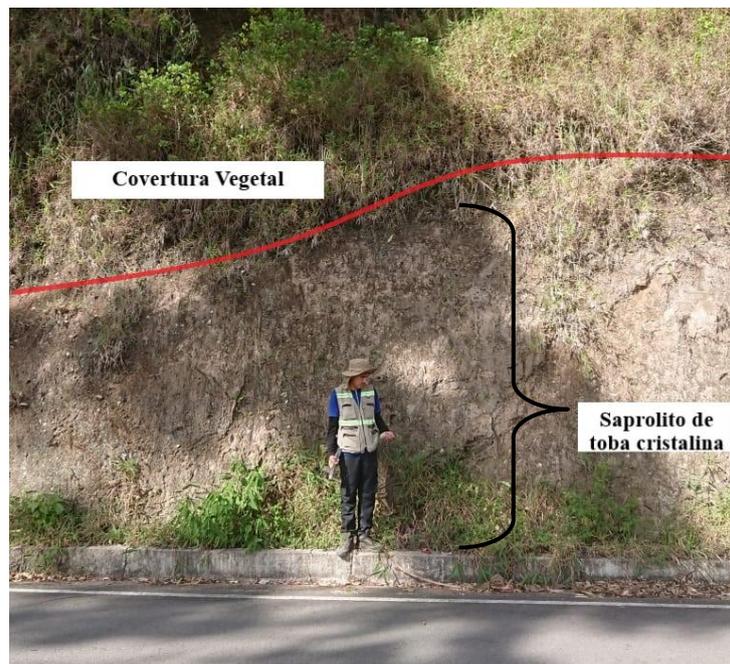


Figura 31. Saprolito de Toba

- ***Litología del Saprolito Brechoso volcánico:*** Aflora en los afloramientos 6 y 8, ubicados in-situ sobre la roca solida inalterada, específicamente entre el segundo y tercer talud rocoso, entre las abscisas 00+680-01+060, esta litología resulta de la meteorización sin ocurrir procesos de transporte, posee los mismos rasgos texturales y estructurales de la brecha volcánica, con una coloración pardo clara decolorada y acompañada de fragmentos pequeños de roca en este caso son los clastos andesíticos completamente alterados internamente, donde las plagioclasas se alteraron al grado de convertirse en arcillas (figura 32).

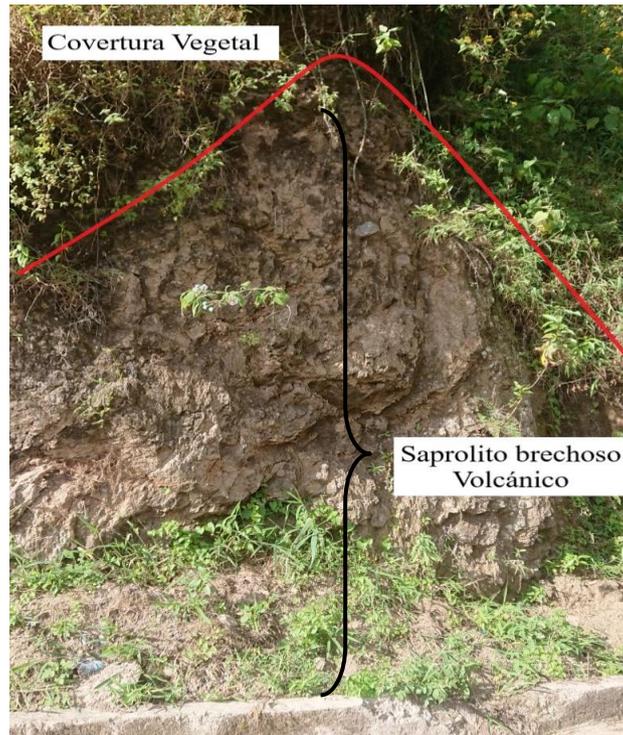


Figura 32. Saprolito de Brecha volcánica

En la figura 33, se muestra las litologías superficiales descritas, que abarcaron las 13.2 ha de área de estudio.

Ver a continuación ...

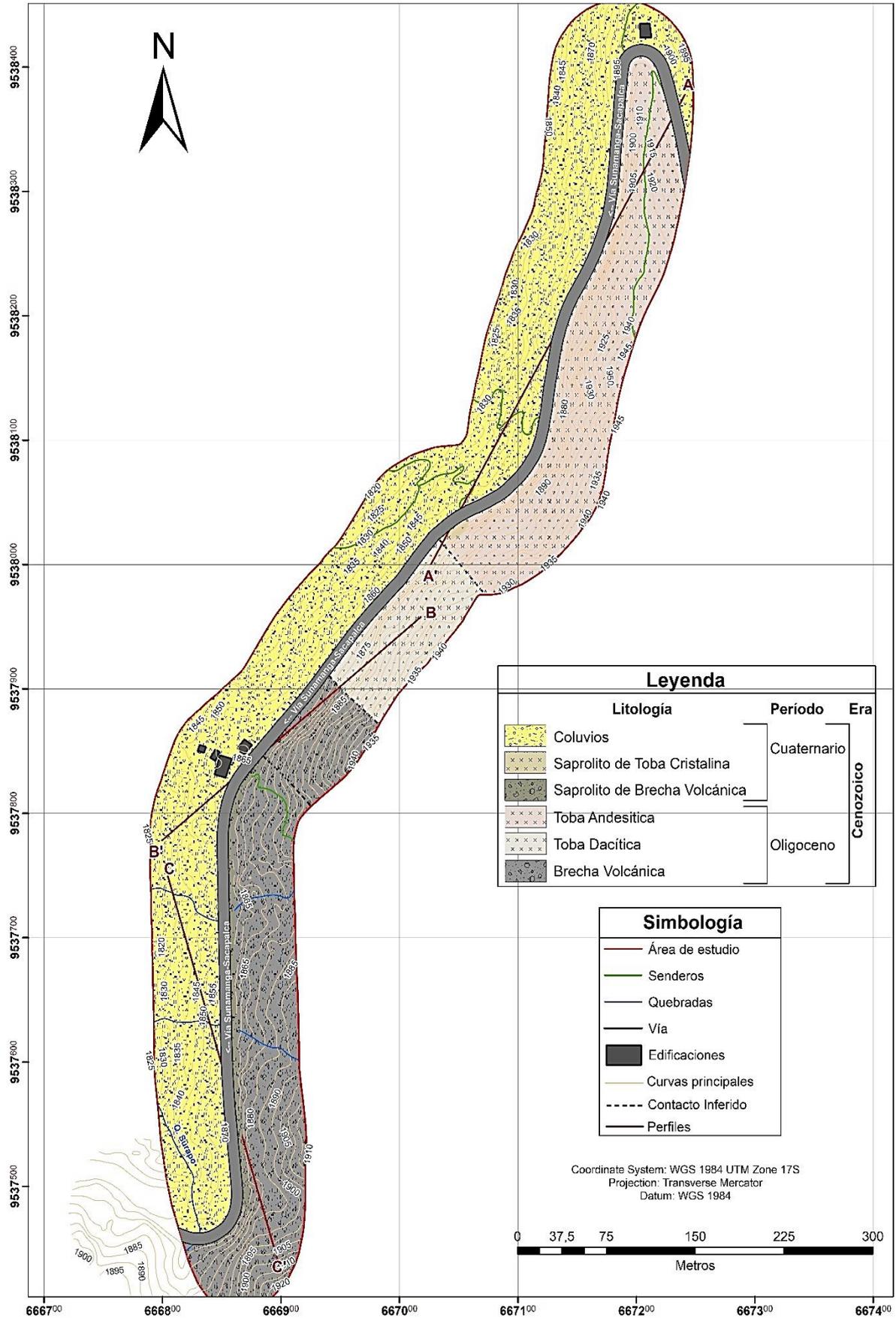


Figura 33. Geología superficial del área de estudio.

Se representó cada litología encontrada en área de estudio, como se demuestra en siguiente tabla 31.

Tabla 31. Área por cada litología.

Nro.	Litología	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	Toba Andesítica	2.40	19.42
2	Toba Dacítica	0.77	6.23
3	Brecha Volcánica	0.82	6.63
4	Saprolito Brechoso Volcánico	1.85	14.97
5	Saprolito de Toba Cristalina	0.02	0.16
6	Coluvios	6.50	52.59

6.2.2. Zonas de comportamiento Lito-estructurales de los macizos rocosos

En base a la geología del área de estudio, se estableció 8 zonas lito-estructurales y se empleó como punto de clasificación: a la litología, grado de alteración y el sistema estructural, abarcando todo el macizo rocoso del tramo vial, estas zonas fueron detalladas en ficha del Anexo 3, denominada Ficha de zonificación lito-estructural, la localización y delimitación se la realizó con GPS y demás herramientas, la información se muestra en la tabla 32. La ubicación de los Saprolitos fue solamente tomada en cuenta para el abscisado arbitrario.

Tabla 32. Descripción por cada zona litológica identificada.

ZONA	Coordenadas de Inicio		Coordenadas de destino		DESCRIPCIÓN
	X	Y	X	Y	
Zona 1	667195	9538408	667190	9538359	Toba andesítica Alterada
Zona 2	667190	9538359	667167	9538242	Toba andesítica Alterada
Zona 3	667167	9538242	667131	9538139	Toba andesítica
Zona 4	667131	9538139	667058	9538031	Toba andesítica
Sedm 1	667058	9538031	667035	9538016	Saprolito de Toba Cristalina
Zona 5	667035	9538016	666974	9537953	Toba dacítica Alterada
Zona 6	666974	9537953	666937	9537913	Toba dacítica Alterada
Zona 7	666937	9537913	666884	9537844	Brecha volcánica Alterada
Sedm 2	666884	9537844	666859	9537477	Saprolito Brechoso volcánico
Zona 8	666859	9537477	666833	9537448	Brecha volcánica

Del tramo vial estudiado se obtuvo que 700 metros corresponden a macizo rocoso, de esta se identificó 3 taludes rocosos que a continuación se detallan:

- **Macizo rocoso 1.** Con una longitud de 420 m, se optó por dividir en 4 zonas en función a sus características, como se detalla a continuación:
 - Zona 1: de 50 metros de toba con alteración y fracturación moderada.
 - Zona 2: de 110 metros de toba con alteración y fracturación ligera.
 - Zona 3: de 120 metros toba más compacta.
 - Zona 4: de 140 metros de toba poco alterada y compacta.
 - Sedm 1(altamente meteorizada abarca 30 metros)

- **Macizo rocoso 2.** Con una longitud de 230 m, se optó por dividir en 3 zonas que siguen en secuencia de las anteriores con sus respectivas características:
 - Zona 5: de 85 metros toba blanca con alteración y fracturación ligera.
 - Zona 6: de 60 metros toba blanca más compacta.
 - Zona 7: de 85 metros brecha volcánica ligeramente alterada.
 - Sedm 2 (altamente meteorizada abarca 380 metros)
- **Macizo rocoso 3.** Por sus mismas características litológicas se catalogó como una sola zona (Zona 8), que obtuvo un alcance de 40 metros de brecha volcánica.

Acorde a los anteriores datos descritos y como referencia las coordenadas del primer punto (667195; 9538408) ubicado frente a la estructura (Capilla) siendo tomada como abscisado de inicio 00+000, se realizó una adaptación de los alcances de cada zona para obtener un abscisado arbitrario, como se observa en la tabla 33.

Tabla 33. Descripción de las zonas lito-estructurales de interés a partir del abscisado arbitrario.

ZONA	Abscisado (Km)	Tramo (m)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Zona 1	00+000 a 00+050	50	Toba andesítica Alterada
Zona 2	00+050 a 00+160	110	Toba andesítica Alterada
Zona 3	00+160 a 00+280	120	Toba andesítica
Zona 4	00+280 a 00+420	140	Toba andesítica
Zona 5	00+450 a 00+535	85	Toba dacítica Alterada
Zona 6	00+535 a 00+595	60	Toba dacítica Alterada
Zona 7	00+595 a 00+680	85	Brecha volcánica Alterada
Zona 8	01+060 a 01+100	40	Brecha volcánica

En la figura 34, se muestra la zonificación litológica de los taludes donde realza la zona 4 (abscisado: 00+ 280 – 00+420) siendo la de mayor longitud.

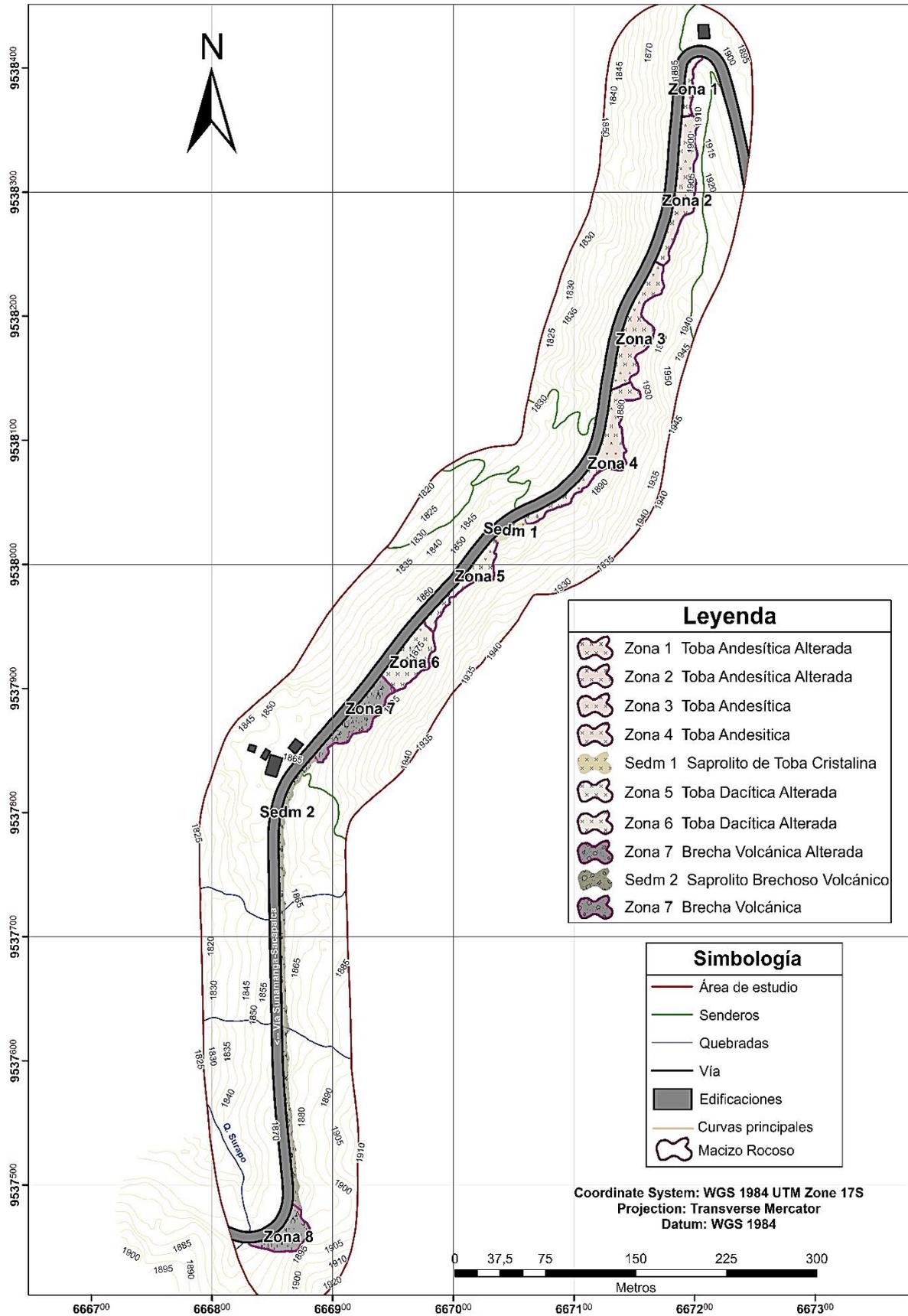


Figura 34. Zonificación litológica de los taludes a lo largo del tramo de estudio

En la Tabla 34 se muestra el área que abarco la forma de cada zona identificada en el tramo de estudio:

Tabla 34. Área por cada zona lito-estructural

Zona	Litología	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	Toba andesítica Alterada	0.034	3,89
2	Toba andesítica Alterada	0.1213	13,89
3	Toba andesítica	0.1362	15,60
4	Toba andesítica	0.1454	16,65
Sedm 1	Saprolito de Toba Cristalina	0.0141	1,61
5	Toba dacítica Alterada	0.0675	7,73
6	Toba dacítica Alterada	0.1097	12,56
7	Brecha volcánica Alterada	0.1059	12,13
Sedm 2	Saprolito Brechoso volcánico	0.0662	7,58
8	Brecha volcánica	0.728	8,34

6.3 Análisis de Discontinuidades

Se definieron 35 estaciones geomecánicas, abarcando las 8 zonas geomecánicas analizadas en la campaña de escaneo.

Las familias de discontinuidades de las 35 estaciones geomecánicas (figura 35), el 20% tiene dos familias de discontinuidades, el 54% tiene 3 familias de discontinuidades, el 17% tiene 4 familias de discontinuidades y el 9% tiene cinco familias de discontinuidades.

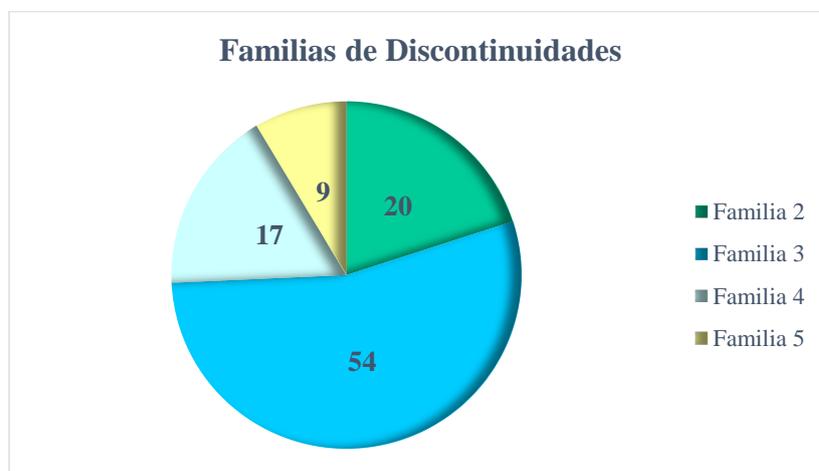


Figura 35. Análisis estadístico de las familias de discontinuidades.

- **Espaciado:** la figura 36, se aprecia el rango de espaciado de las discontinuidades que va desde modernamente juntas (20–200mm) hasta separadas (600–2000mm), se observa que las separaciones en las discontinuidades de las estaciones varían debido a su litología y sistema estructural.

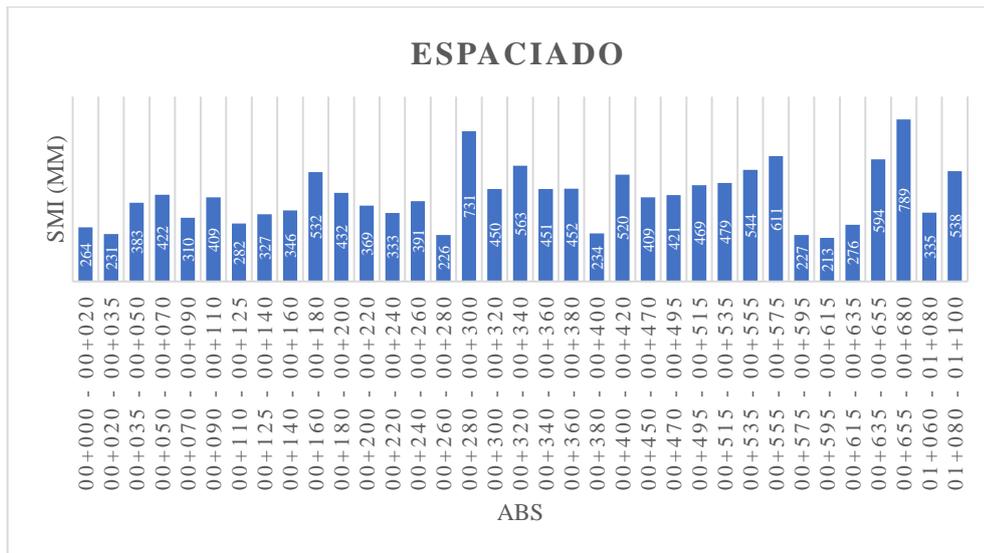


Figura 36. Representación gráfica de espaciado de las discontinuidades abs 00+000-01+100

- **Longitud:** se muestra gráficamente en la figura 37, la longitud es muy baja (<1m) hasta moderada (3m – 10m), en la estación 31 (00+615 a 00+635), se observa el pico que es de 3.15 m, debido a que las juntas disponían de mayor tamaño.

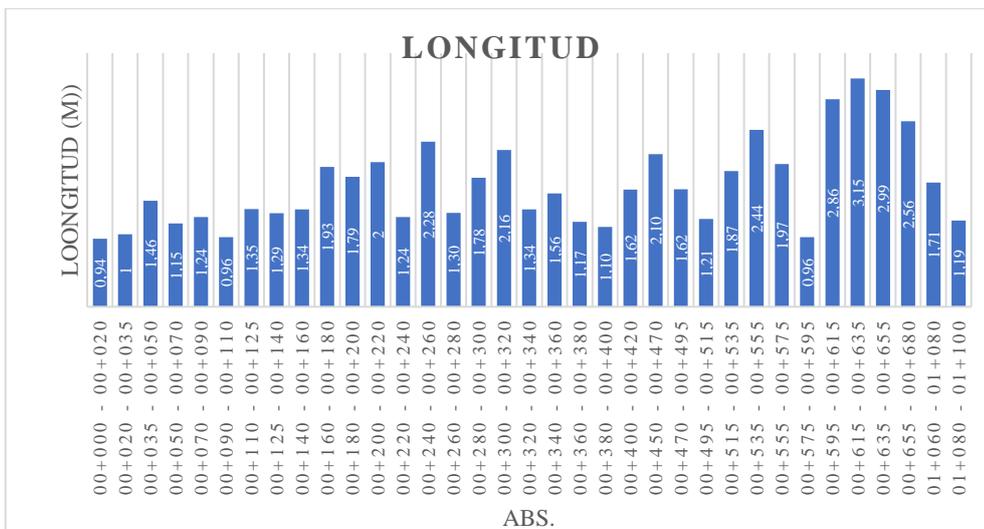


Figura 37. Representación gráfica de longitud de las discontinuidades abs 00+000-01+100

- **Apertura:** la apertura muestra una variación con respecto a las ultimas estaciones con rango de abierta (0.5-2.5 mm) a moderadamente abierta (2.5-10 mm) debido que se trata de brechas volcánicas las cuales por sus características su apertura es mayor, ver en figura 38.

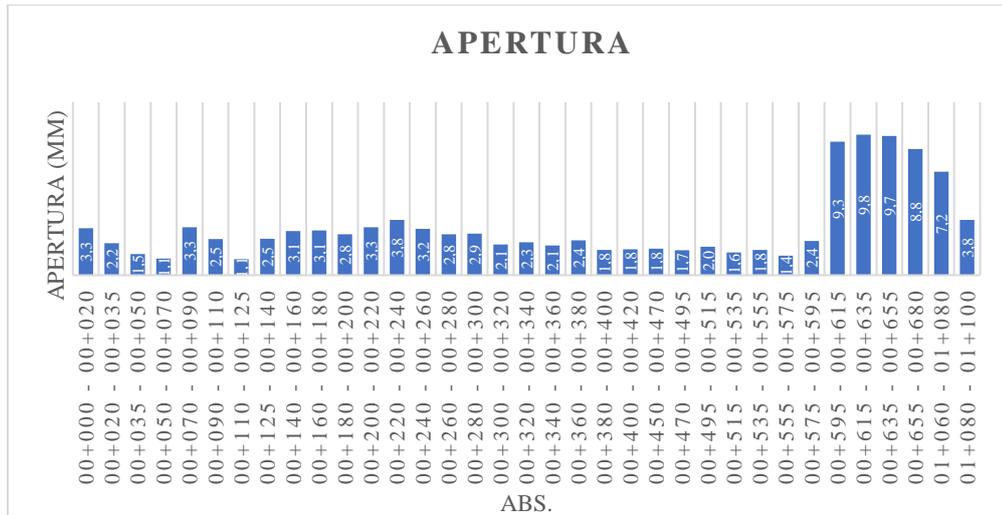


Figura 38. Representación gráfica de apertura de las discontinuidades abs 00+000-01+100

- **Rugosidad:** el rango predominante que se obtuvo en la rugosidad es ondulada rugosa tomando en cuenta los términos de JRC (figura 39), contando en las últimas estaciones con rangos de JRC de 1-16

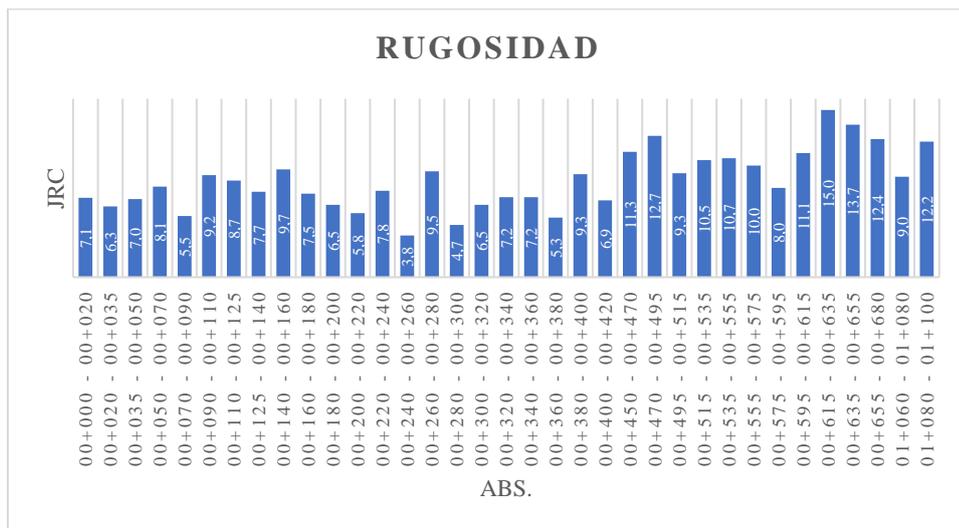


Figura 39. Representación gráfica de rugosidad de las discontinuidades abs 00+000-01+100

- **Relleno:** la figura 40 muestra gráficamente las características del relleno que acorde a los resultados presentan rellenos blandos o ningún tipo de relleno, generalmente se trató de rellenos de arcillas debido a la abertura de la junta que se encontraban.

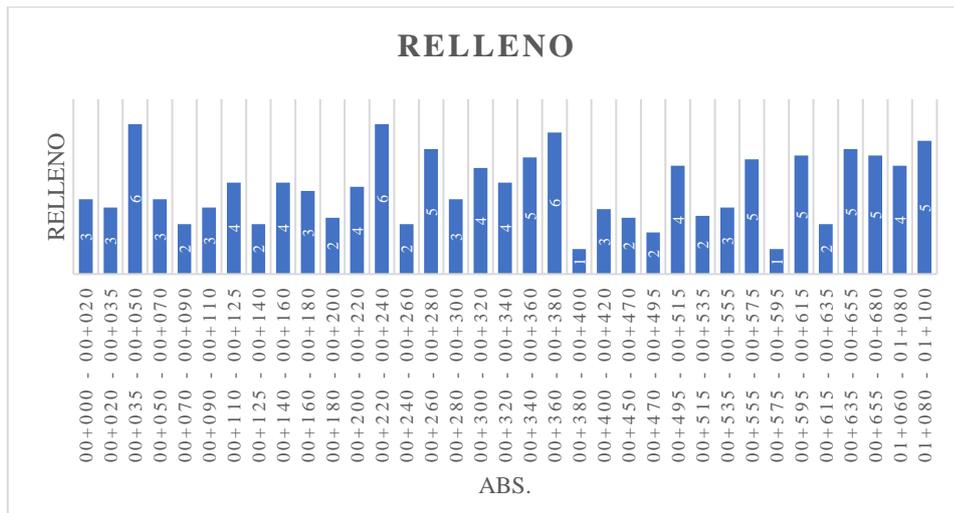


Figura 40. Representación gráfica del relleno de las discontinuidades abs 00+000-01+100

- Meteorización:** la meteorización se encuentra entre muy a ligeramente alterada, ver en figura 41, en campo se evidencia la decoloración en ciertas partes de los taludes rocosos, evidenciando la meteorización continua en todo el tramo de estudio, sin testigos de rocas inalterada debido a la constante exposición a los cambios climáticos.

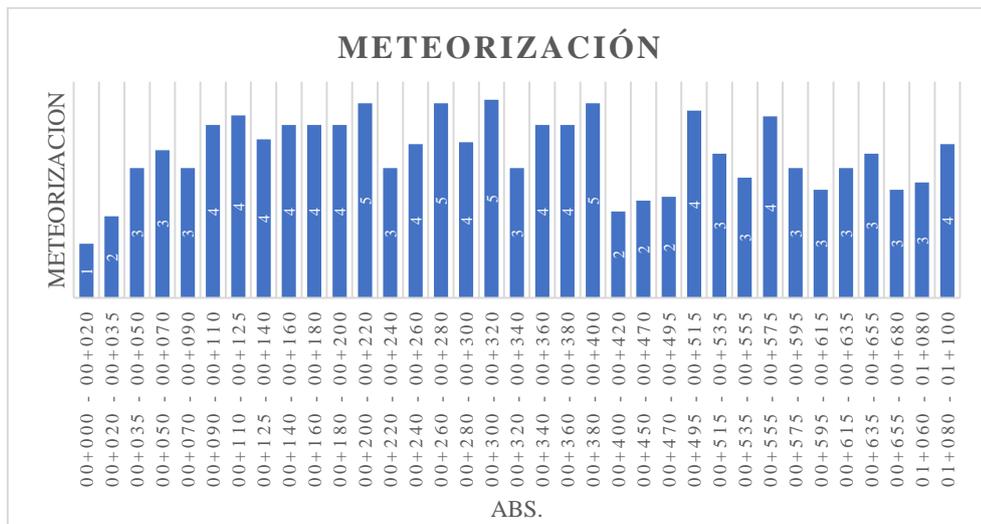


Figura 41. Representación gráfica de la meteorización de las discontinuidades abs 00+000-01+100

- Flujo de agua:** debido a las condiciones climáticas de la zona de estudio, no se evidenció filtraciones relevantes, dando como resultado global estaciones secas, ver en figura 42.

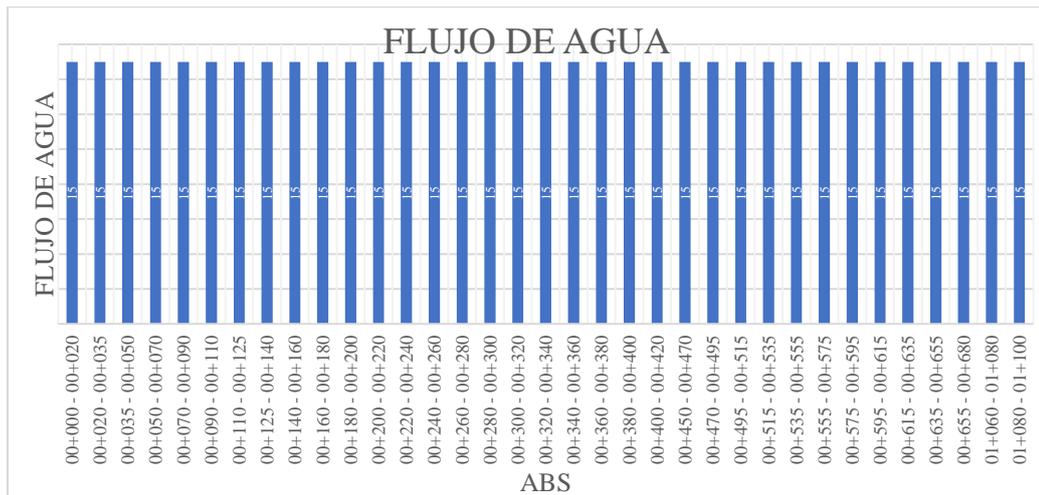


Figura 42. Representación gráfica del flujo de agua de las discontinuidades abs 00+000-01+100

De las 61 estaciones geomecánicas distribuidas a lo largo de las 8 zonas de comportamiento lito-estructural, el análisis de las discontinuidades se representa de la siguiente manera:

- Zona 1: presenta espaciados de las discontinuidades moderadamente juntas (200-600 mm), la longitud entre muy baja (<1m) a baja (1-3 m), la apertura es de abierta (2.5-10 mm) a modernamente abierta (2.5-10 mm), el relleno es blando específicamente compuesto de arcillas y denota una meteorización entre muy a modernamente alterada.
- Zona 2: presenta espaciados de las discontinuidades moderadamente juntas (200-600 mm), la longitud entre muy baja (<1m) a baja (1-3 m), la apertura es de abierta (2.5-10 mm) a modernamente abierta (2.5-10 mm), el relleno es blando específicamente compuesto de arcillas y denota una meteorización entre muy a modernamente alterada.
- Zona 3: presenta espaciados de las discontinuidades moderadamente juntas (200-600 mm), la longitud es baja (1-3 m), la apertura es modernamente abierta (2.5-10 mm), el relleno es blando específicamente compuesto de arcillas y denota una meteorización entre muy a modernamente alterada.
- Zona 4: presenta espaciados de las discontinuidades entre moderadamente juntas (200-600 mm) a separadas (600-2000 mm), la longitud es baja (1-3 m), la apertura es de abierta (2.5-10 mm) a modernamente abierta (2.5-10 mm), el relleno es blando específicamente compuesto de arcillas y denota una meteorización entre muy a modernamente alterada.

- Zona 5: presenta espaciados de las discontinuidades moderadamente juntas (200-600 mm), la longitud es baja (1-3 m), la apertura es abierta (2.5-10 mm), el relleno es blando específicamente compuesto de arcillas y denota una meteorización entre muy a modernamente alterada.
- Zona 6: presenta espaciados de las discontinuidades entre moderadamente juntas (200-600 mm) a separadas (600-2000 mm), la longitud es baja (1-3 m), la apertura es abierta (2.5-10 mm), el relleno es blando específicamente compuesto de arcillas y denota una meteorización entre muy a modernamente alterada.
- Zona 7: presenta espaciados de las discontinuidades entre moderadamente juntas (200-600 mm) a separadas (600-2000 mm), la longitud entre muy baja (<1m) a moderada (3-10 m), la apertura es modernamente abierta (2.5-10 mm), el relleno es blando específicamente compuesto de arcillas y denota una meteorización entre muy a modernamente alterada.
- Zona 8: presenta espaciados de las discontinuidades moderadamente juntas (200-600 mm), la longitud es baja (1-3 m), la apertura es modernamente abierta (2.5-10 mm), el relleno es blando específicamente compuesto de arcillas y denota una meteorización entre muy a modernamente alterada.

6.4 Propiedades físicas.

Previo a los ensayos físicos, se obtuvo 8 muestras de campo (Mn), de entre 200 a 300 gramos.

- **Peso natural:** las muestras pesadas e en laboratorio por la balanza analítica, evidenciándose en la tabla 35, se encuentran entre un rango de 239,92 gramos el más bajo a 258,59 gramos el más alto.

Tabla 35. Resultados del peso natural por cada muestra de roca.

N° de muestra	Peso natural en laboratorio (g)
M1	245.92
M2	242.57
M3	239.19
M4	254.57
M5	248.79
M6	244.38
M7	258.59
M8	254.98

La figura 43 representa los rangos de los valores correspondientes al peso natural, evidenciando a la M3 correspondiente a la toba andesítica con el peso más bajo y a la M7 correspondiente a la brecha volcánica con el peso más alto.

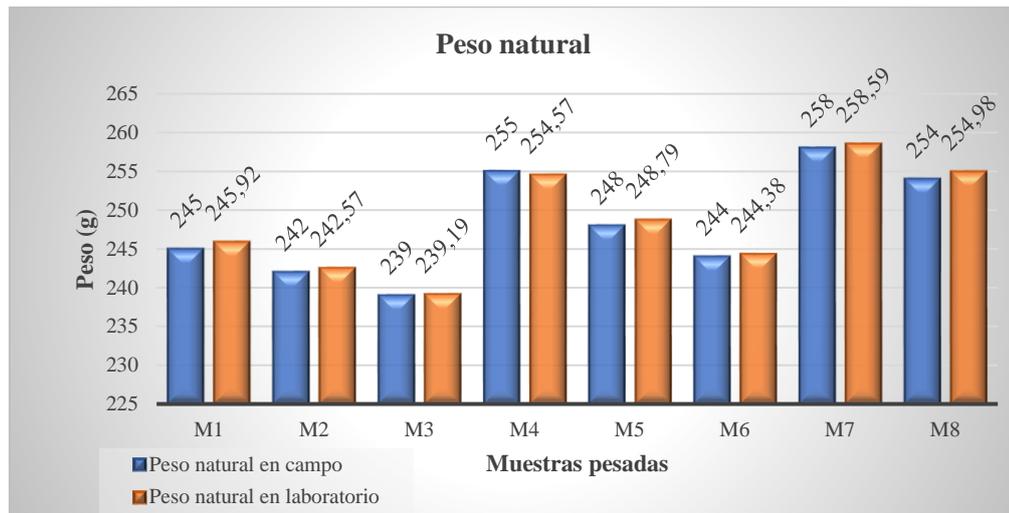


Figura 43. Distribución gráfica del peso natural de cada muestra de roca.

- **Peso específico aparente:** las muestras analizadas disponen valores entre un rango de 2.248 g/cm³ siendo el más bajo y 2.575 g/cm³ que es el más alto, como se plasman en la tabla 36.

Tabla 36. Resultados del peso específico aparente por cada muestra de roca.

Nº de muestra	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	ρ_w agua (g/cm ³)	Peso específico aparente (g/cm ³)
M1	240,48	247,51	146,95	0,9986	2,388
M2	235,2	247,78	145,64		2,299
M3	234,57	247,23	143,015		2,248
M4	251,83	255,61	155,07		2,501
M5	244,73	251,65	147,37		2,344
M6	238,21	245,01	145,02		2,379
M7	256,64	259,04	154,78		2,458
M8	253,26	254,98	156,77		2,575

La figura 44, muestra el valor más alto es el de la brecha volcánica con 2.575 g/cm³, al contrario, la toba andesítica con un valor de 2.248 g/cm³ siendo el más bajo.



Figura 44. Distribución grafica del peso específico aparente.

- **Peso específico real:** Los valores de la densidad por cada muestra ensayada oscilan entre 2.501 g/cm³ y 2.658 g/cm³. La tabla 37, detalla los resultados del peso específico real obtenidos al culminar el ensayo del picnómetro.

Tabla 37. Resultados del peso específico real por cada muestra de roca.

N° de muestra	Peso de la muestra pulverizada (g)	Peso del picnómetro + agua (g)	Peso del del picnómetro + agua + muestra (g)	ρ_w agua (g/cm ³)	Peso específico real (g/cm ³)
M1	30	147,6	165,99	0,9986	2,580
M2	30	147,6	165,65		2,507
M3	30	147,6	165,62		2,501
M4	30	147,6	166,33		2,658
M5	30	147,6	165,77		2,532
M6	30	147,6	165,93		2,567
M7	30	147,6	165,87		2,554
M8	30	147,6	166,16		2,619

La figura 45, representa la distribución grafica correspondiente al peso específico real, siendo la M3 la de menor densidad y M4 ambas muestras (M3 y M4) corresponden a la toba andesítica la de mayor densidad.



Figura 45. Distribución gráfica del peso específico por cada muestra de roca.

- **Porosidad:** La porosidad es resultante de los ensayos físicos anteriormente mencionados, esta presenta valores entre 1.680% a 10.116 %.

Los valores detallados se encuentran en la tabla 38.

Tabla 38. Resultados de la porosidad por cada muestra de roca.

N° de muestra	Peso específico aparente (g/cm ³)	Peso específico real (g/cm ³)	Porosidad (%)
M1	2,388	2,580	7,442
M2	2,299	2,507	8,297
M3	2,248	2,501	10,116
M4	2,501	2,658	5,907
M5	2,344	2,532	7,425
M6	2,379	2,567	7,324
M7	2,458	2,554	3,759
M8	2,575	2,619	1,680

La figura 46, representa la distribución gráfica de la porosidad, donde la M7 y M8 que pertenecen a la brecha volcánica son los valores más bajos, por lo contrario, la M3 y M2 que corresponden a la toba andesítica son los valores más altos.



Figura 46. Distribución gráfica de la porosidad por cada muestra de roca.

- **Porosidad eficaz:** Se obtuvo a partir de los resultados anteriores, la porosidad eficaz arrojó valores entre el más bajo de 1.751 % al más alto de 12.316 %.

La tabla 39, muestra la porosidad eficaz obtenida de cada muestra de roca.

Tabla 39. Resultados de la porosidad eficaz por cada muestra de roca.

N° de muestra	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Porosidad Eficaz (%)
M1	240,48	247,51	146,95	6,991
M2	235,2	247,78	145,64	12,316
M3	234,57	247,23	143,015	12,148
M4	251,83	255,61	155,07	3,760
M5	244,73	251,65	147,37	6,636
M6	238,21	245,01	145,02	6,801
M7	256,64	259,04	154,78	2,302
M8	253,26	254,98	156,77	1,751

Los resultados de la Porosidad eficaz son reflejados en la figura 47, donde la M2 con 12.316 % y M3 con 12.148% pertenecientes a la toba andesítica son los porcentajes más altos, mientras que la M7 con 2.302% y la M8 con 1.751 % que son muestras de la brecha volcánica, son relativamente porcentajes más bajos.



Figura 47. Distribución gráfica de la porosidad eficaz por cada muestra de roca

- **Absorción:** Con los datos anteriores obtenidos de los pesos, se obtiene los resultados de absorción que tiene cada muestra de roca ensayada.

Los valores detallados se encuentran en la tabla 40.

Tabla 40. Resultados del coeficiente de absorción por cada muestra de roca.

N° de muestra	Peso natural en laboratorio (g)	Peso seco (g)	Absorción (%)
M1	245.92	240,48	2,262
M2	242.57	235,2	3,134
M3	239.19	234,57	1,970
M4	254.57	251,83	1,088
M5	248.79	244,73	1,659
M6	244.38	238,21	2,590
M7	258.59	256,64	0,760
M8	254.98	253,26	0,679

Para los resultados de absorción se muestra gráficamente en la figura 48, donde la M2 perteneciente a la toba andesítica con porcentaje de absorción de 3.134 % es el más alto, mientras que la M7 con 0.76 % y M8 con 0.679 %, ambas son de la brecha volcánica con los valores más bajos.



Figura 48. Distribución gráfica de la Absorción por cada muestra de roca.

- **Contenido de humedad:** Los resultados del contenido de humedad se plasman en la siguiente tabla 41.

Tabla 41. Resultados del contenido de humedad por cada muestra de roca.

N° de muestra	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Contenido de humedad (%)
M1	240,48	247,51	2,923
M2	235,2	247,78	5,349
M3	234,57	247,23	5,397
M4	251,83	255,61	1,501
M5	244,73	251,65	2,828
M6	238,21	245,01	2,855
M7	256,64	259,04	0,935
M8	253,26	254,98	0,679

La figura 49, muestra la distribución de los resultados arrojados sobre el contenido de humedad de cada muestra de roca, donde se evidencio la M2 con 5.349% y la M3 con 5.397%, que son tobos tuvieron mayor porcentaje de contenido de humedad, con respecto a la M7 y M8 que pertenecen a las brechas, son las más bajas en cuanto a este parámetro físico.



Figura 49. Distribución gráfica del Contenido de Humedad por cada muestra de roca.

- **Gravedad específica:** se hizo relación con el parámetro del peso real anteriormente obtenidas, los resultados de la gravedad se plasman en la siguiente tabla 42.

Tabla 42. Resultados de la densidad específica por cada muestra de roca.

N° de muestra	Peso seco (g)	Peso del picnómetro + agua (g)	Peso del del picnómetro + agua + muestra (g)	ρ_w agua (g/cm ³)	Densidad específica (g/cm ³)
M1	240,48	147,6	165,99	0,9986	2,794
M2	235,2	147,6	165,65		2,715
M3	234,57	147,6	165,62		2,709
M4	251,83	147,6	166,33		2,872
M5	244,73	147,6	165,77		2,735
M6	238,21	147,6	165,93		2,781
M7	256,64	147,6	259,04		2,750
M8	253,26	147,6	254,98		2,826

La figura 50, muestra gráficamente los resultados de la densidad específica, donde la M4 posee mayor densidad con 2.872 g/cm³ que pertenece a la toba blanca, mientras que la M3 con 2.709 g/cm³ es la más baja de las muestras ensayadas.



Figura 50. Distribución gráfica de la Densidad Específica por cada muestra de roca.

6.5 Propiedades mecánicas

Previo a ejecutar los ensayos geomecánicos se obtuvo las muestras en cubo (5x5x5cm) de rocas por cada zona geológica identificada, en cuanto a las tobas se recogió muestras de calidad, mientras que en las brechas se tomó muestra a partir del clasto que fue identificada como roca andesítica, esto debido que la matriz de la brecha no era soportada, ni tampoco muy consolidada para poder sacar cubos de roca.

- **Rebote al martillo de bajo impacto Schmidt:** la resistencia al rebote por el martillo de Schmidt no tiene mucha variación por zonas, se realizaron 10 rebotes y se obtuvo un valor promediado por cada cubo de roca, como se muestra en la siguiente tabla 43.

Tabla 43. Resultado del ensayo del rebote al martillo de Schmidt.

Zona	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R(promedio)
1	30	32	29	34	36	38	36	40	32	32	34
2	28	31	30	35	37	32	30	38	33	30	32
3	30	38	35	38	36	30	32	29	30	28	33
4	28	30	30	29	28	30	36	36	34	32	31
5	31	36	33	30	35	30	32	29	37	35	33
6	32	40	38	35	42	33	35	35	38	37	37
7	34	42	36	40	39	37	40	38	40	38	39
8	42	38	41	41	40	42	38	37	40	40	40

- **Resistencia a la compresión simple:** Se la obtuvo a través del ensayo de compresión uniaxial a través de la prensa hidráulica, los parámetros obtenidos en la ejecución del presente ensayo son plasmados en la tabla 44.

Se aplicó carga continua entre los 0 y 5 min hasta que se produjo una rotura; la velocidad de carga de la prensa estuvo comprendida entre 500 y 600 N/s.

Tabla 44. Resultados de la resistencia a la compresión simple.

N° muestra	Peso del cubo (g)	Medidas (m)			Esfuerzo (N)	Área del cubo (m ²)	RCS (KN/m ²)	RCS (Mpa)	RCS calculada (Mpa)
		a	b	c					
M1	319	0.51	0.51	0.51	0.130	0.0026	129.7	50.47	50
M2	292	0.51	0.50	0.50	0.129	0.0026	129	50.5	49.62
M3	322	0.51	0.51	0.51	0.148	0.0026	147.5	57.04	56.92
M4	327	0.51	0.51	0.51	0.170	0.0026	170.2	65.57	65.39
M5	320	0.51	0.51	0.51	0.116	0.0026	116.4	44.83	44.61
M6	316	0.51	0.51	0.51	0.121	0.0026	121.1	46.55	46.53
M7	326	0.50	0.51	0.51	0.191	0.0026	191.1	73.52	73.46
M8	325	0.50	0.51	0.51	0.184	0.0026	184.3	70.59	70.77

La figura 51, muestra los valores obtenidos de la compresión simple por cada muestra cubica, tanto la ejecutada como la calculada, notándose que no existe variabilidad significativa de un resultado sobre el otro. Se notó relación similar entre la M1, M2, M3 y M4 que corresponde a la toba andesítica; de igual manera la M5 y M6 poseen valores semejantes, ambas corresponden a la toba dacítica; a su vez la dos últimas M7 y M8 son valores parecidos ya que pertenecen a la brecha volcánica, todas estas ubicadas en diferentes sectores lo largo del tramo de estudio.

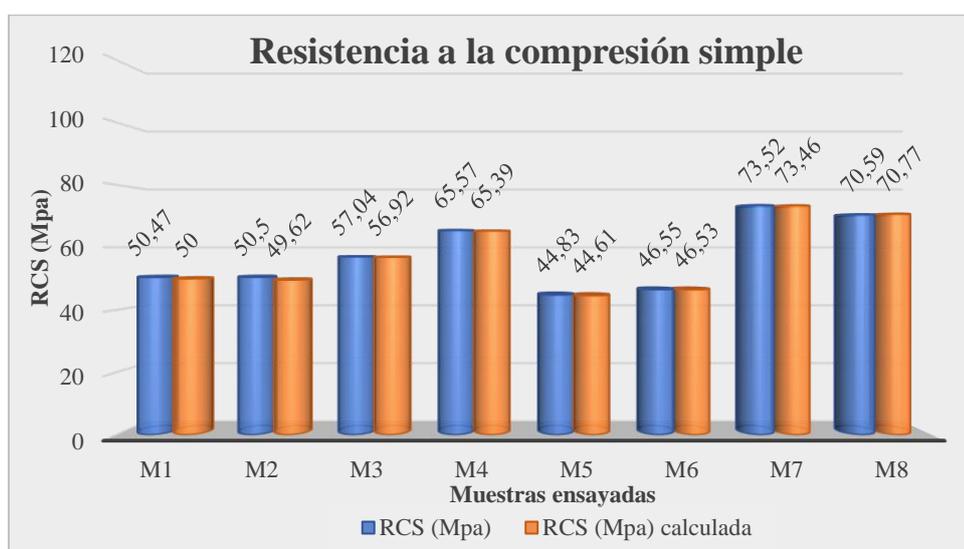


Figura 51. Distribución gráfica de la resistencia a la compresión simple.

En la figura 52, se observa la rotura en los cubos de roca, esto producto del ensayo de compresión simple finalizado.



Figura 52. Rotura de los cubos de roca a partir del ensayo de compresión simple: **a)** rotura de la muestra 1 de roca, **b)** rotura de la muestra 2 de roca, **c)** rotura de la muestra 3 de roca, **d)** rotura de la muestra 4 de roca, **e)** rotura de la muestra 5 de roca, **f)** rotura de la muestra 6 de roca, **g)** rotura de la muestra 7 de roca, **h)** rotura de la muestra 8 de roca

6.6 RQD

El RQD se lo obtuvo a través del cálculo del índice volumétrico de discontinuidades por m³ conocido como J_v , siendo el resultado de la sumatoria total de $1/SM_i$ espaciado medio de cada discontinuidad en m. En la tabla 45 se muestra un ejemplo del RQD obtenido de la zona 1 abs 00+000-00+020 y que son aplicados en todo el tramo vial.

Tabla 45. Cálculo del RQD de la zona 1 abs 00+000 - 00+020

Zona	Abs	Familia	SM _i (mm)	SM _i (m)	1/SM _i (m)	J _v /m ³	RQD (%)	Calidad
1	00+000 - 00+020	J1	171	0.17	5.8	14,6	73,5	Regular
1	00+000 - 00+020	J2	360	0.36	2.8			
1	00+000 - 00+020	J3	260	0.26	3.8			
1	00+000 - 00+020	J4	466.7	0.5	21			

La tabla 46 muestra los resultados del RQD obtenidos a lo largo del tramo vial.

Tabla 46. Resultados del RQD

Zona	Abs	RQD (%)	Calidad	Zona	Abs	RQD (%)	Calidad
1	00+000 - 00+020	73,5	Regular	4	00+340 - 00+360	84,4	Buena
1	00+020 - 00+035	69	Regular	4	00+360 - 00+380	93,3	Muy buena
1	00+035 - 00+050	88,1	Buena	4	00+380 - 00+400	84,2	Buena
2	00+035 - 00+070	84,9	Buena	4	00+400 - 00+420	56,1	Regular
2	00+070 - 00+090	72,9	Regular	5	00+450 - 00+470	74,8	Regular
2	00+090 - 00+110	65,8	Regular	5	00+470 - 00+485	50,0	Regular
2	00+110 - 00+125	71,4	Regular	5	00+485 - 00+505	73,4	Regular
2	00+125 - 00+140	73,3	Regular	5	00+505 - 00+520	86,8	Buena
2	00+140 - 00+160	71,3	Regular	5	00+520 - 00+535	86,2	Buena
3	00+160 - 00+180	90,3	Muy buena	6	00+535 - 00+555	91,7	Muy buena
3	00+180 - 00+200	89,4	Buena	6	00+555 - 00+575	88	Buena
3	00+200 - 00+220	77,9	Buena	6	00+575 - 00+595	85,4	Buena
3	00+220 - 00+240	75,9	Buena	7	00+595 - 00+615	49,7	Mala
3	00+240 - 00+260	87,1	Buena	7	00+615 - 00+635	47,3	Mala
3	00+260 - 00+280	87,8	Buena	7	00+635 - 00+655	40,7	Mala
4	00+280 - 00+300	90,1	Muy buena	7	00+655 - 00+680	43	Mala
4	00+300 - 00+320	83,7	Buena	8	01+060 - 01+080	42,9	Mala
4	00+320 - 00+340	87,1	Buena	8	01+080 - 01+100	45,4	Mala

De acuerdo a los resultados obtenidos la zona 1 presenta una calidad de roca entre regular a buena, la zona 2 presenta una calidad de roca regular, la zona 3 presenta una calidad de roca buena a excelente, la zona 4 presenta una calidad de roca regular a excelente, la zona 5 presenta una calidad de roca de regular a buena, la zona 6 presenta una calidad de roca buena a excelente, la zona 7 presenta una calidad de roca mala, finalmente la zona 8 presenta una calidad de roca mala.

En la figura 53 se muestra la distribución de los valores resultados del cálculo del RQD.

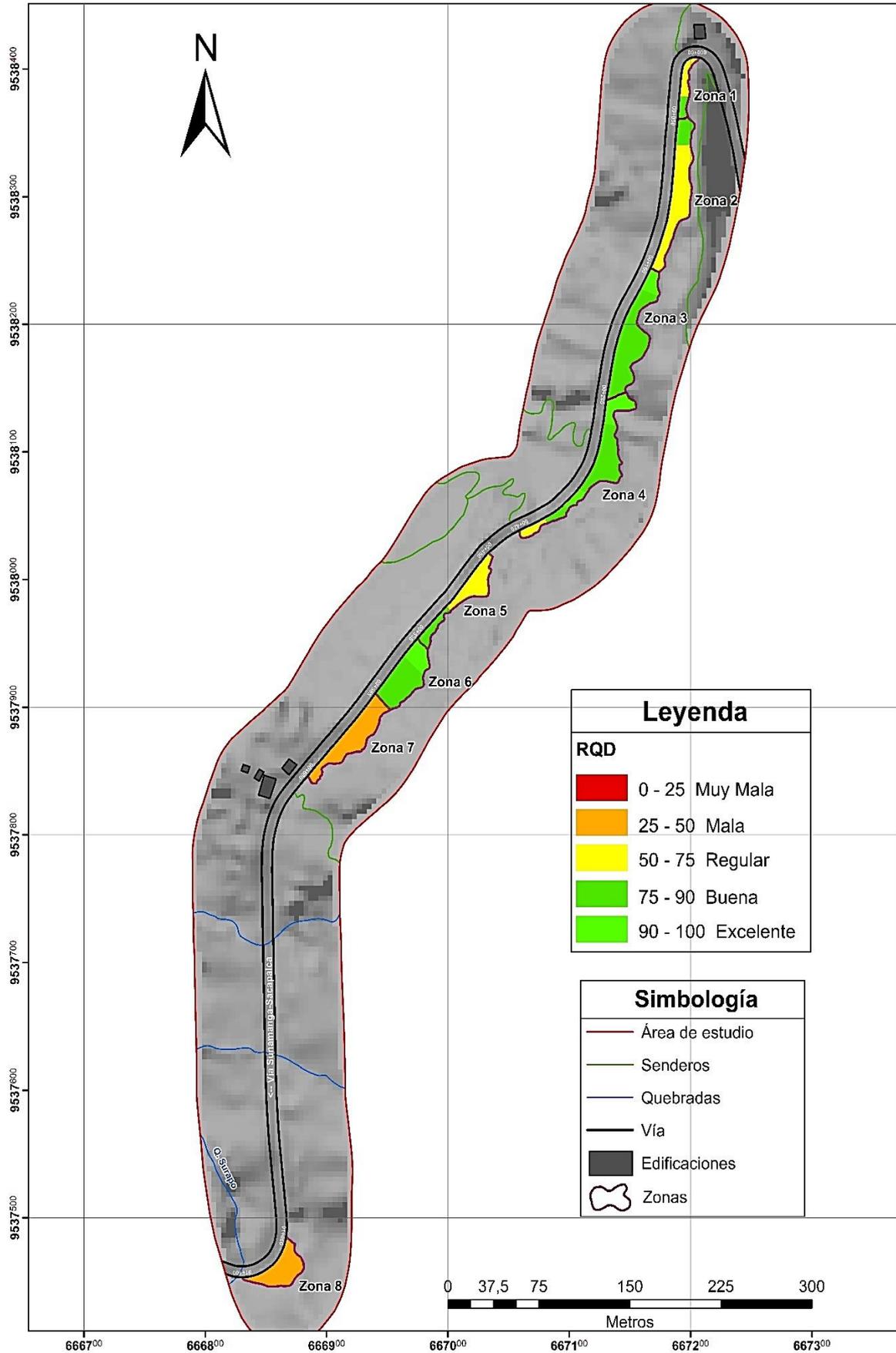


Figura 53. RQD

6.7 RMR

El RMR se lo obtuvo a partir de 5 parámetros como: comprensión simple, índice RQD, espaciamiento, longitud, abertura, rugosidad, meteorización, filtración y relleno de las discontinuidades, la sumatoria de estos parámetros da como resultado el valor del RMR, el cual permitió determinar la clase y calidad del macizo rocoso. En la tabla 47 se muestra un ejemplo de los cálculos realizados para la obtención del RMR correspondientes a la zona 1 abs 00+000-00+020 y que son aplicados en todo el tramo vial.

Tabla 47. Cálculo del RMR de la zona 1 abs 00+000 - 00+020

Zona	Abs	Familia	uc (Mpa)	RQD (%)	SMi (mm)	LD	Aper	Rug.	Rell	Meteo.	Fl. agua	Parám. 1	Parám. 2	Parám. 3	Parám. 4					Parám 5	RMR	CLASE	CALIDAD	
															LD	Aper	Rug.	Rell	Meteo					$\Sigma P4a$
1	00+000-00+020	J1	50	73,5	171	0,9	1,8	7	1	Muy Alt	seco	7	13	8	6	1	1	2	1	11	15	56	Media	III
1	00+000-00+020	J2	50	73,5	360	1,0	3,3	8,5	3	Lig Alt	seco	7	13	10	4	1	3	2	3	13	15	56,6	Buena	II
1	00+000-00+020	J3	50	73,5	260	0,6	3,7	7	3	Muy Alt	seco	7	13	10	6	1	1	2	1	11	15	56	Media	III
1	00+000-00+020	J4	50	73,5	467	1,3	4,2	6	5	Muy Alt	seco	7	13	10	4	1	1	0	1	9	15	60,3	Media	III

Los resultados del RMR del tramo del tramo vial se detallan en la tabla 48.

Tabla 48. Resultados del RMR

Zona	Abs	RMR	CALIDAD	CLASE	Zona	Abs	RMR	CALIDAD	CLASE
1	00+000 - 00+020	57,3	Media	III	4	00+340 - 00+360	64,0	Buena	II
1	00+020 - 00+035	56,8	Media	III	4	00+360 - 00+380	68,5	Buena	II
1	00+035 - 00+050	66,3	Buena	II	4	00+380 - 00+400	60,3	Media	III
2	00+050 - 00+070	61,0	Buena	II	4	00+400 - 00+420	60,1	Media	III
2	00+070 - 00+090	53,7	Media	III	5	00+450 - 00+470	58,2	Media	III
2	00+090 - 00+110	51,3	Media	III	5	00+470 - 00+485	58,4	Media	III
2	00+110 - 00+125	57,5	Media	III	5	00+485 - 00+505	66,4	Buena	II
2	00+125 - 00+140	57,9	Media	III	5	00+505 - 00+520	63,9	Buena	II
2	00+140 - 00+160	58,5	Media	III	5	00+520 - 00+535	60,5	Media	III
3	00+160 - 00+180	65,3	Buena	II	6	00+535 - 00+555	66,7	Buena	II
3	00+180 - 00+200	60,2	Media	III	6	00+555 - 00+575	62,8	Buena	II
3	00+200 - 00+220	61,0	Buena	II	6	00+575 - 00+595	59,7	Media	III
3	00+220 - 00+240	64,5	Buena	II	7	00+595 - 00+615	48,5	Media	III
3	00+240 - 00+260	60,2	Media	III	7	00+615 - 00+635	44,2	Media	III
3	00+260 - 00+280	66,7	Buena	II	7	00+635 - 00+655	47,7	Media	III
4	00+280 - 00+300	66,2	Buena	II	7	00+655 - 00+680	49,0	Media	III
4	00+300 - 00+320	65,9	Buena	II	8	01+060 - 01+080	48,0	Media	III
4	00+320 - 00+340	66,4	Buena	II	8	01+080 - 01+100	50,9	Media	III

Los resultados del RMR muestran en la zona 1 predomina una calidad de macizo rocoso media clase III (tiempo de mantenimiento y longitud de 1 semana con 5 m en vano, cohesión de 2-3 Kp/cm² y un ángulo de rozamiento de 25°-35°), igualmente la zona 2 predomina una calidad de macizo rocoso media clase III (tiempo de mantenimiento y longitud de 1 semana con 5 m en vano, cohesión de 2-3 Kp/cm² y un ángulo de rozamiento de 25°-35°), la zona 3 predomina una calidad de macizo rocoso buena clase II (tiempo de mantenimiento y longitud

de 6 meses con 8 m en vano, cohesión de 3-4 Kp/cm² y un ángulo de rozamiento de 35°-45°), la zona 4 predomina una calidad de macizo rocoso buena clase II (tiempo de mantenimiento y longitud de 6 meses con 8 m en vano, cohesión de 3-4 Kp/cm² y un ángulo de rozamiento de 35°-45°), la zona 5 predomina una calidad de macizo rocoso media clase III (tiempo de mantenimiento y longitud de 1 semana con 5 m en vano, cohesión de 2-3 Kp/cm² y un ángulo de rozamiento de 25°-35°), la zona 6 predomina una calidad de macizo rocoso buena clase II (tiempo de mantenimiento y longitud de 6 meses con 8 m en vano, cohesión de 3-4 Kp/cm² y un ángulo de rozamiento de 35°-45°), la zona 7 predomina una calidad de macizo rocoso media clase III (tiempo de mantenimiento y longitud de 1 semana con 5 m en vano, cohesión de 2-3 Kp/cm² y un ángulo de rozamiento de 25°-35°), y finalmente la zona 8 predomina una calidad de macizo rocoso buena media clase III (tiempo de mantenimiento y longitud de 1 semana con 5 m en vano, cohesión de 2-3 Kp/cm² y un ángulo de rozamiento de 25°-35°).

En la figura 54 se muestra la distribución de los valores resultados del cálculo del RMR.

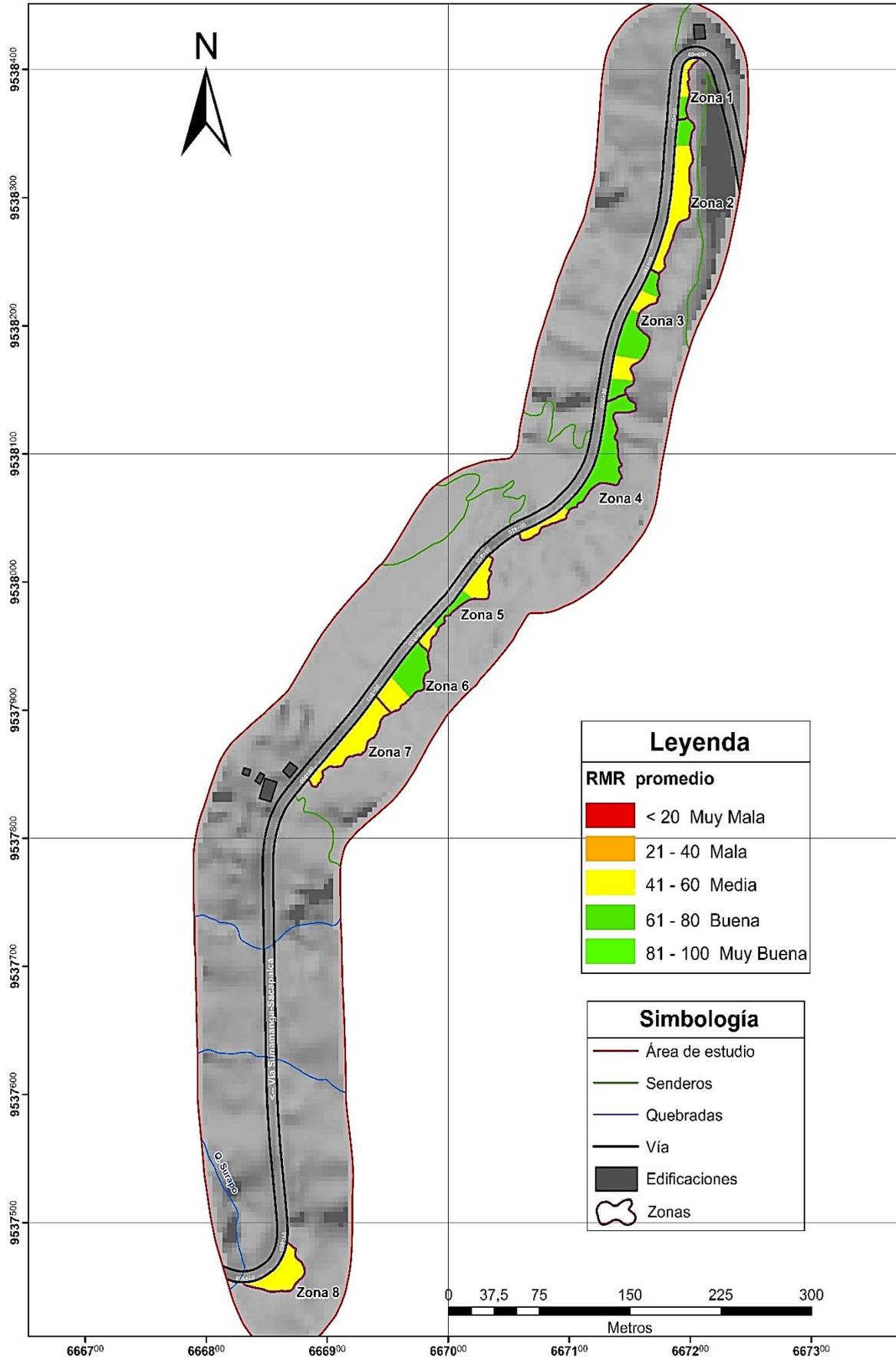


Figura 54. RMR

6.8 SMR

El SMR se obtuvo a partir del análisis hacia las familias de cada estación, y consiguiendo la adición de 3 parámetros que son:

- El índice RMR básico,
- el factor de ajuste que esta dado en función de las orientaciones de las juntas (producto de 3 subfactores)
- y un factor de excavación.

La sumatoria de estos parámetros da como resultado el valor del SMR, que permitió determinar la calidad, clase y estabilidad del macizo rocoso. Se analizó el SMR a partir de los mecanismos de rotura planar y vuelco.

La tabla 49 muestra un ejemplo del cálculo realizado para la determinación del índice SMR para rotura planar, correspondiente a la zona 1 abs 00+000-00+020 y que son aplicados en todo el tramo vial.

Tabla 49. Cálculos de rotura planar para la zona 1 abs 00+000-00+020

Zona	Abs	Familia	RMR	Factor de ajuste α_s/α_j				Factor de ajuste β_j				Factor excavación	SMR	Calidad	Clase	Estabilidad		
				Dirección del talud, α_s	Dirección de la discontinuidad, α_j	$A = \{(\alpha_j - \alpha_s)\}$	F1	Buzamiento de discontinuidad β_j	F2	Buzamiento del talud, β_s	Buzamiento de la discontinuidad, β_j						Factor de ajuste β_j/β_s	$C = \{(\beta_j - \beta_s)\}$
1	00+000 - 00+020	J1	56	355	251	-104	1	75	1	70	75	5	-5	0	51	Normal	III	Parcialmente Estable
1	00+000 - 00+020	J2	56,6	355	91	-264	1	42	0,85	70	42	-28	-60	0	2,6	Muy Mala	V	Totalmente Inestable
1	00+000 - 00+020	J3	56	355	68	-287	1	42	0,85	70	42	-28	-60	0	2	Muy Mala	V	Totalmente Inestable
1	00+000 - 00+020	J4	60,3	355	300	-55	1	37	0,85	70	37	-33	-60	0	9,3	Muy Mala	V	Totalmente Inestable

La tabla 50 muestra un ejemplo del cálculo realizado para la determinación del índice SMR para rotura en vuelco, correspondiente a la zona 1 abs 00+000-00+020 y que son aplicados en todo el tramo vial.

Tabla 50. Cálculos de rotura en vuelco para la zona 1 abs 00+000-00+020

Zona	Abs	Familia	RMR	Factor de ajuste α_s/α_j				Factor de ajuste β_j				Factor	SMR	Calidad	Clase	Estabilidad		
				Dirección del talud, α_s	Dirección de la discontinuidad, α_j	$A = \{(\alpha_j - \alpha_s) \cdot 180\}$	F1	Buzamiento de discontinuidad β_j	F2	Buzamiento del talud, β_s	Buzamiento de la discontinuidad, β_j						Factor de ajuste β_j/β_s	$C = \{(\beta_j - \beta_s)\}$
1	00+000 - 00+020	J1	56	355	251	-284	1	75	1	65	75	145	-25	0	31	Mala	IV	Inestable
1	00+000 - 00+020	J2	56,6	355	91	-444	1	42	1	65	42	-3,3	-50	0	53	Normal	III	Parcialmente estable
1	00+000 - 00+020	J3	56	355	68	-467	1	42	1	65	42	-3,3	-50	0	52	Normal	III	Parcialmente estable
1	00+000 - 00+020	J4	60,3	355	300	-235	1	37	1	65	37	-1,6	-50	0	58	Normal	III	Parcialmente estable

Los resultados del SMR por medio de correcciones de ajuste para rotura planar se detallan en la tabla 51.

Tabla 51. Resultados del SMR para rotura planar

Zona	Abs	SMR	Calidad	Clase	Estabilidad	Zona	Abs	SMR	Calidad	Clase	Estabilidad
1	00+000 - 00+020	34,4	Mala	IV	Inestable	4	00+340 - 00+360	28,2	Normal	III	Parcialmente estable
1	00+020 - 00+035	19,7	Muy Mala	V	Totalmente inestable	4	00+360 - 00+380	20,4	Muy Mala	V	Totalmente inestable
1	00+035 - 00+050	60,2	Mala	IV	Inestable	4	00+380 - 00+400	30,7	Mala	IV	Inestable
2	00+050 - 00+070	40,4	Mala	IV	Inestable	4	00+400 - 00+420	43,6	Normal	III	Parcialmente estable
2	00+070 - 00+090	36,6	Mala	IV	Inestable	5	00+450 - 00+470	24,3	Mala	IV	Inestable
2	00+090 - 00+110	52,1	Normal	III	Parcialmente estable	5	00+470 - 00+485	26,2	Mala	IV	Inestable
2	00+110 - 00+125	16,4	Muy Mala	V	Totalmente inestable	5	00+485 - 00+505	33,0	Mala	IV	Inestable
2	00+125 - 00+140	28,1	Mala	IV	Inestable	5	00+505 - 00+520	32,2	Mala	IV	Inestable
2	00+140 - 00+160	28,7	Mala	IV	Inestable	5	00+520 - 00+535	25,6	Mala	IV	Inestable
3	00+160 - 00+180	53,7	Normal	III	Parcialmente estable	6	00+535 - 00+555	19,7	Muy Mala	V	Totalmente inestable
3	00+180 - 00+200	43,0	Normal	III	Parcialmente estable	6	00+555 - 00+575	21,6	Mala	IV	Inestable
3	00+200 - 00+220	51,5	Normal	III	Parcialmente estable	6	00+575 - 00+595	46,5	Normal	III	Parcialmente estable
3	00+220 - 00+240	51,1	Normal	III	Parcialmente estable	7	00+595 - 00+615	43,4	Normal	III	Parcialmente estable
3	00+240 - 00+260	52,4	Normal	III	Parcialmente estable	7	00+615 - 00+635	27,9	Mala	IV	Inestable
3	00+260 - 00+280	55,8	Normal	III	Parcialmente estable	7	00+635 - 00+655	37,8	Mala	IV	Inestable
4	00+280 - 00+300	32,2	Mala	IV	Inestable	7	00+655 - 00+680	33,9	Mala	IV	Inestable
4	00+300 - 00+320	16,5	Muy Mala	V	Totalmente inestable	8	01+060 - 01+080	25,8	Mala	IV	Inestable
4	00+320 - 00+340	46,6	Normal	III	Parcialmente estable	8	01+080 - 01+100	12,6	Muy Mala	V	Totalmente inestable

Acorde a los resultados obtenidos para la rotura planar en la zona 1 predomina una calidad de macizo rocoso mala clase IV (roturas planares y grandes cuñas, con una probabilidad de rotura de 0.6), la zona 2 predomina una calidad de macizo rocoso mala clase IV (roturas planares y grandes cuñas, con una probabilidad de rotura de 0.6), la zona 3 predomina una calidad de macizo rocoso normal clase III (rotura de algunas juntas y grandes cuñas, con una probabilidad del 0.4), la zona 4 predomina una calidad de macizo rocoso normal clase III (rotura de algunas juntas y grandes cuñas, con una probabilidad de rotura de 0.4), la zona 5 predomina una calidad de macizo rocoso mala clase IV (roturas planares y grandes cuñas, con una probabilidad de rotura de 0.6), la zona 6 predomina una calidad de macizo rocoso mala clase IV (roturas planares y grandes cuñas, con una probabilidad de rotura de 0.6), la zona 7 predomina una calidad de macizo rocoso mala clase IV (roturas planares y grandes cuñas, con una probabilidad de rotura de 0.6), finamente la zona 8 predomina una calidad de macizo rocoso mala clase IV (roturas planares y grandes cuñas, con una probabilidad de rotura de 0.6).

La figura 55 representa la distribución de los valores obtenidos en el cálculo del SMR para mecanismos de rotura planar.

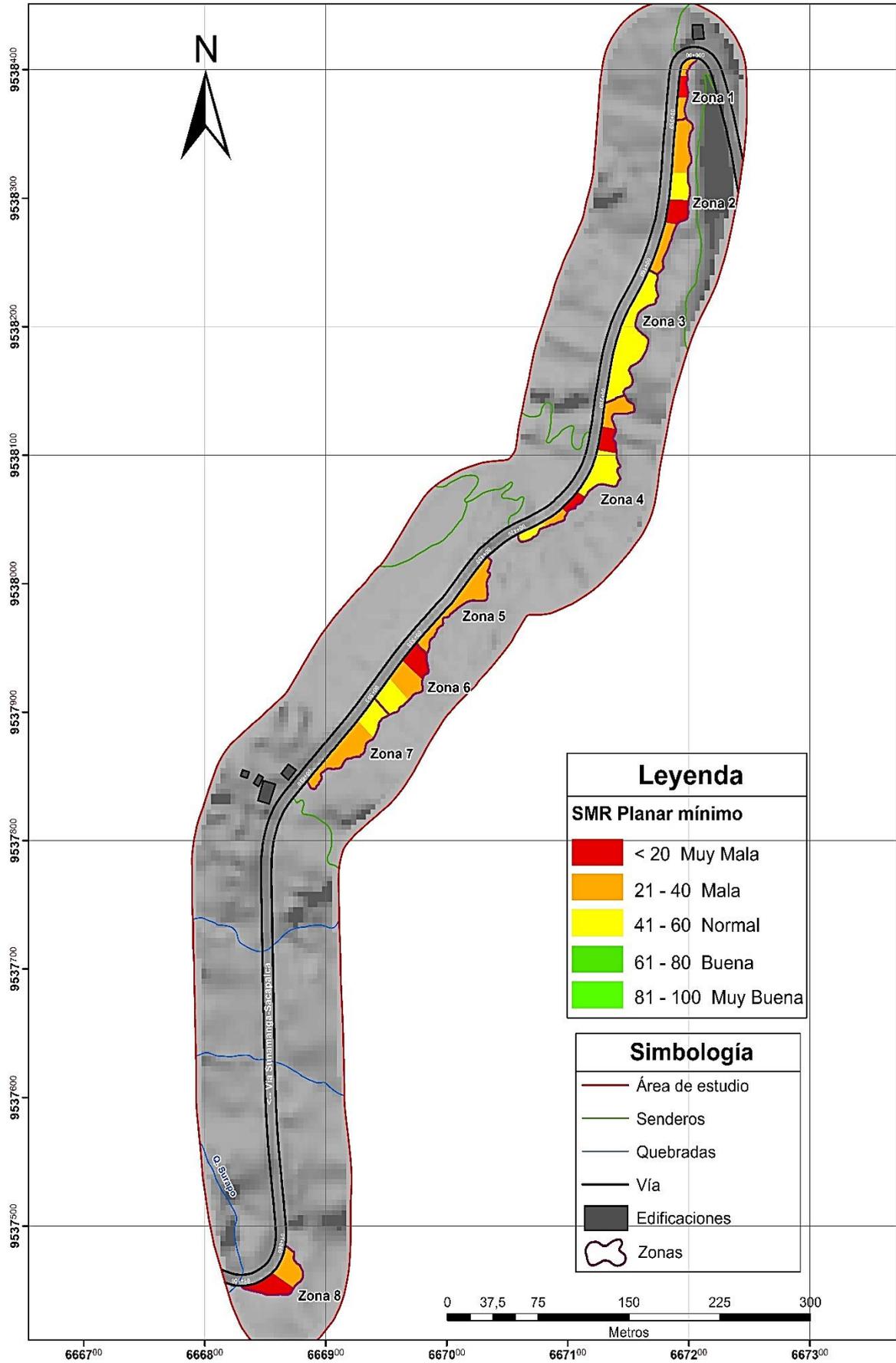


Figura 55. SMR planar

En la tabla 52 se muestran los resultados obtenidos del SMR por medio de correcciones a factores de ajuste para rotura en vuelco.

Tabla 52. Resultados del SMR para rotura en vuelco

Zona	Abs	SMR	Calidad	Clase	Estabilidad	Zona	Abs	SMR	Calidad	Clase	Estabilidad
1	00+000 - 00+020	49,9	Normal	III	Parcialmente estable	4	00+340 - 00+360	44,5	Normal	III	Parcialmente estable
1	00+020 - 00+035	37,2	Mala	IV	Inestable	4	00+360 - 00+380	63,9	Buena	II	Estable
1	00+035 - 00+050	50,4	Normal	III	Parcialmente estable	4	00+380 - 00+400	58,2	Normal	III	Parcialmente estable
2	00+050 - 00+070	40,2	Mala	IV	Parcialmente estable	4	00+400 - 00+420	37,3	Mala	IV	Inestable
2	00+070 - 00+090	30,0	Mala	IV	Inestable	5	00+450 - 00+470	34,6	Mala	IV	Inestable
2	00+090 - 00+110	37,4	Mala	IV	Parcialmente estable	5	00+470 - 00+485	39,7	Mala	IV	Inestable
2	00+110 - 00+125	42,5	Normal	III	Parcialmente estable	5	00+485 - 00+505	37,5	Mala	IV	Inestable
2	00+125 - 00+140	32,4	Mala	IV	Inestable	5	00+505 - 00+520	34,1	Mala	IV	Inestable
2	00+140 - 00+160	53,5	Normal	III	Parcialmente estable	5	00+520 - 00+535	34,4	Mala	IV	Inestable
3	00+160 - 00+180	45,8	Normal	III	Parcialmente estable	6	00+535 - 00+555	51,9	Normal	III	Parcialmente estable
3	00+180 - 00+200	49,8	Normal	III	Parcialmente estable	6	00+555 - 00+575	47,8	Normal	III	Parcialmente estable
3	00+200 - 00+220	31,7	Mala	IV	Inestable	6	00+575 - 00+595	30,8	Mala	IV	Inestable
3	00+220 - 00+240	35,2	Mala	IV	Inestable	7	00+595 - 00+615	26,4	Mala	IV	Inestable
3	00+240 - 00+260	40,3	Mala	IV	Inestable	7	00+615 - 00+635	20,4	Muy Mala	V	Totalmente Inestable
3	00+260 - 00+280	37,4	Mala	IV	Inestable	7	00+635 - 00+655	30,9	Mala	IV	Inestable
4	00+280 - 00+300	50,3	Normal	III	Parcialmente estable	7	00+655 - 00+680	22,0	Mala	IV	Inestable
4	00+300 - 00+320	51,2	Normal	III	Parcialmente estable	8	01+060 - 01+080	32,2	Mala	IV	Inestable
4	00+320 - 00+340	53,6	Normal	III	Parcialmente estable	8	01+080 - 01+100	29,4	Mala	IV	Inestable

De los resultados obtenidos para la rotura en vuelco se tiene en la zona 1 predomina una calidad de macizo rocoso normal clase III (rotura de algunas juntas y grandes cuñas, con una probabilidad de rotura de 0.4), la zona 2 predomina una calidad de macizo rocoso mala clase IV (roturas planares y grandes cuñas, con una probabilidad de rotura de 0.6), la zona 3 predomina una calidad de macizo rocoso mala clase IV (roturas planares y grandes cuñas, con una probabilidad de rotura de 0.6), la zona 4 predomina una calidad de macizo normal clase III (rotura de algunas juntas y grandes cuñas, con una probabilidad de rotura de 0.4), la zona 5 predomina una calidad de macizo rocoso mala clase IV (roturas planares y grandes cuñas, con una probabilidad de rotura de 0.6), la zona 6 predomina una calidad de macizo rocoso normal clase III (rotura de algunas juntas y grandes cuñas, con una probabilidad de rotura de 0.4), la zona 7 predomina una calidad de macizo rocoso mala clase IV (roturas planares y grandes cuñas, con una probabilidad de rotura de 0.6), finalmente la zona 8 predomina una calidad de macizo rocoso mala clase IV (roturas planares y grandes cuñas, con una probabilidad de rotura de 0.6).

En la figura 56 se representa la distribución de los valores obtenidos en el cálculo del SMR para mecanismos de rotura en vuelco.

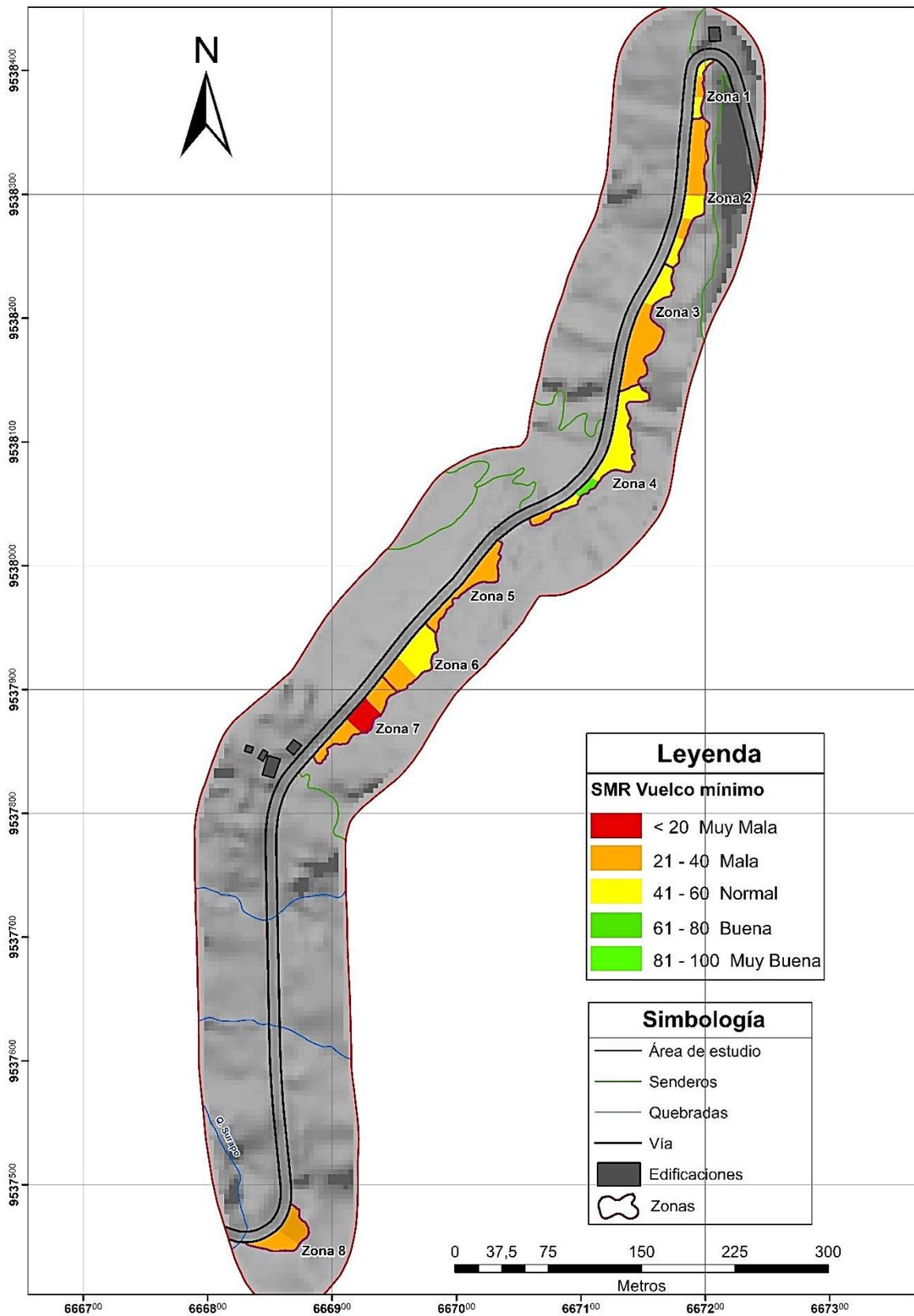


Figura 56. SMR vuelco

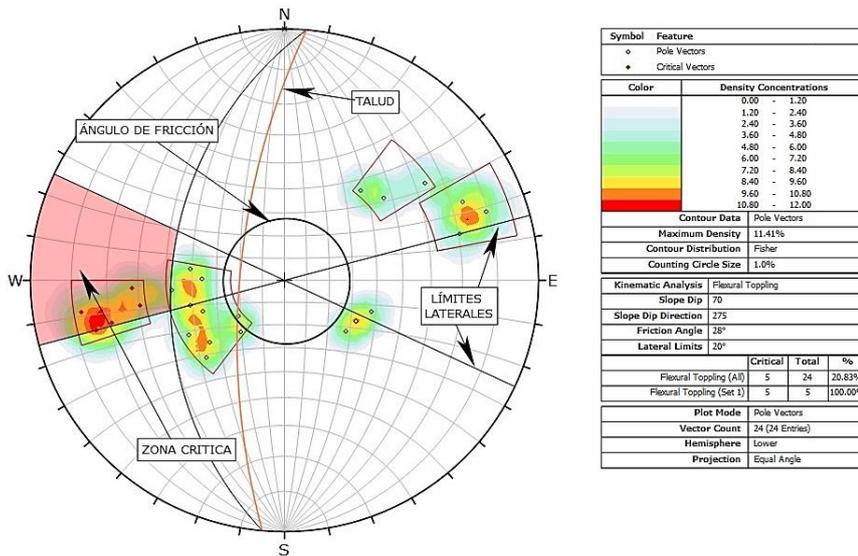


Figura 58. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 1

Rotura en cuña

Los puntos de intersección son todos los que se observan en la figura 59, donde cada plano se intercepta con otro plano para determinar los puntos de intersección, el porcentaje de las intersecciones críticas de un total de 276 cuñas que se forman alrededor del 14,13% son críticas es decir 39 cuñas rompen efectivamente en forma tipo cuña ya que buzan hacia la cara del talud, condición primordial para que se produzca este tipo de rotura.

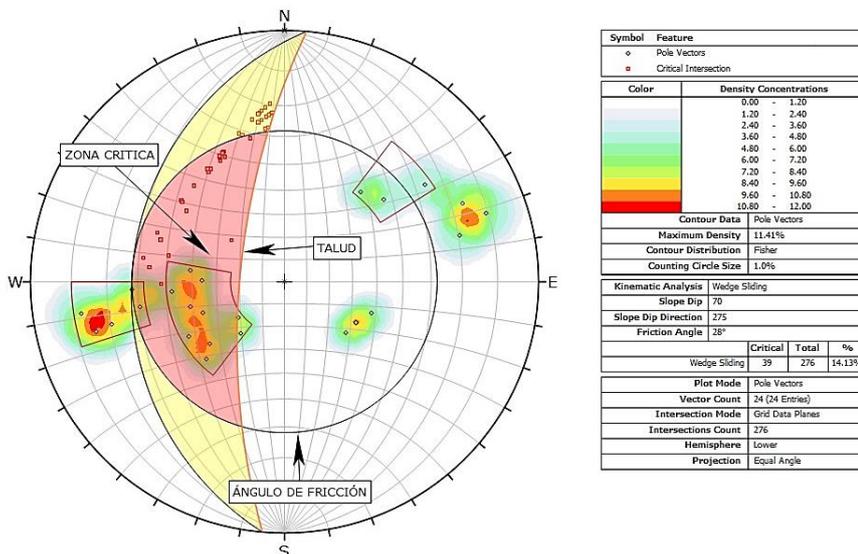


Figura 59. Rotura en cuña de la zona geomecánica 1

6.9.2. Zona Geomecánica 2

La zona geomecánica 2 con un buzamiento y dirección de buzamiento de $66^{\circ}/278^{\circ}$ (dip/dip direction), para esta zona se tomó 54 datos estructurales presentes en las discontinuidades en el talud, con un ángulo de fricción calculado de 33° (Anexo 5).

Rotura planar

Para la zona geomecánica 2 a partir del análisis de las discontinuidades se determinó que el buzamiento es contrario a la inclinación del talud, por ende, ninguna de ellas rompe en forma planar es decir 0% (figura 60).

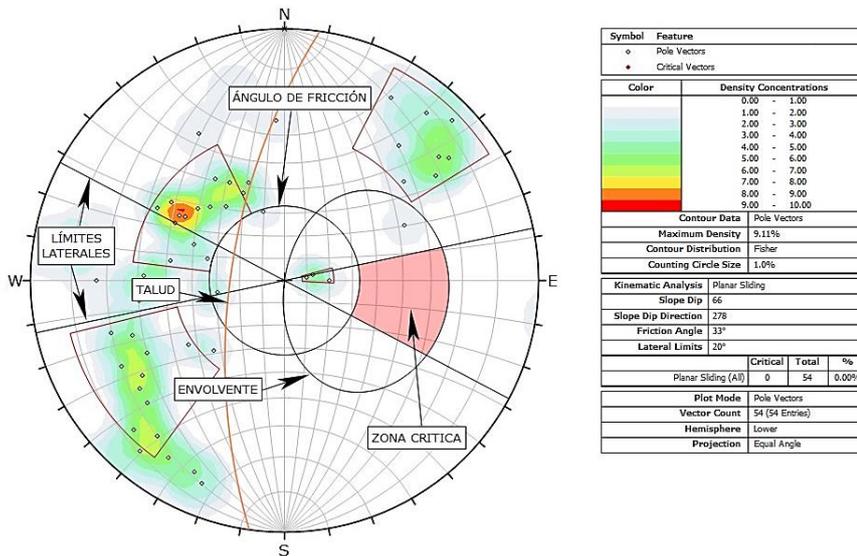


Figura 60. Rotura planar de la zona geomecánica 2

Rotura en vuelco

De las discontinuidades analizadas el 9,26% rompen efectivamente en forma tipo vuelco (figura 61), muchos de los polos son proyectados en zona estable de talud, a excepción de familia 1 en la abscisa 00+070-00+090, familia 2 en la abscisa 00+090-00+110 y familia 1 en la abscisa 00+125-00+140, que pueden llegar a generar un potencial movimiento de tipo vuelco.

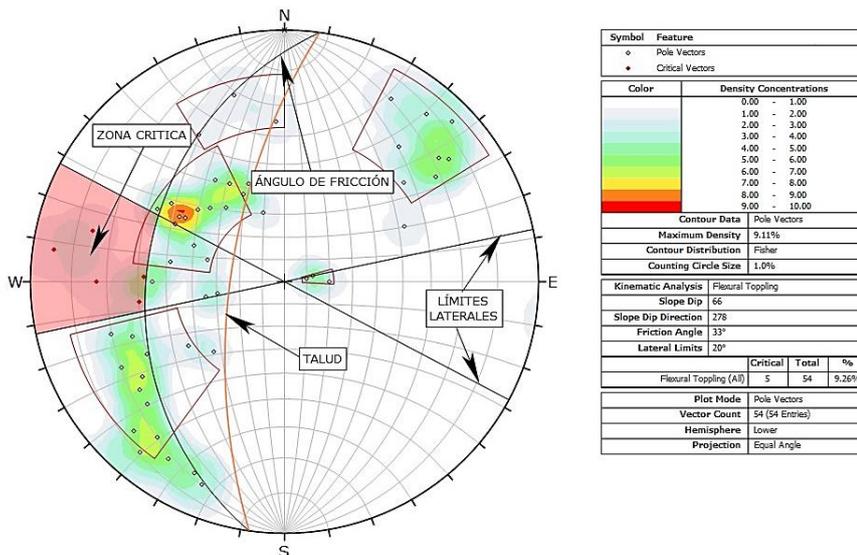


Figura 61. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 2

Rotura en cuña

Los puntos de intersección son todos los que se observan en la figura 62, donde cada plano se intercepta con otro plano para determinar los puntos de intersección, el porcentaje de las intersecciones críticas de un total de 1431 cuñas que se forman alrededor del 2,38% son críticas es decir 34 cuñas rompen efectivamente en forma tipo cuña ya que buzan hacia la cara del talud, condición primordial para que se produzca este tipo de rotura.

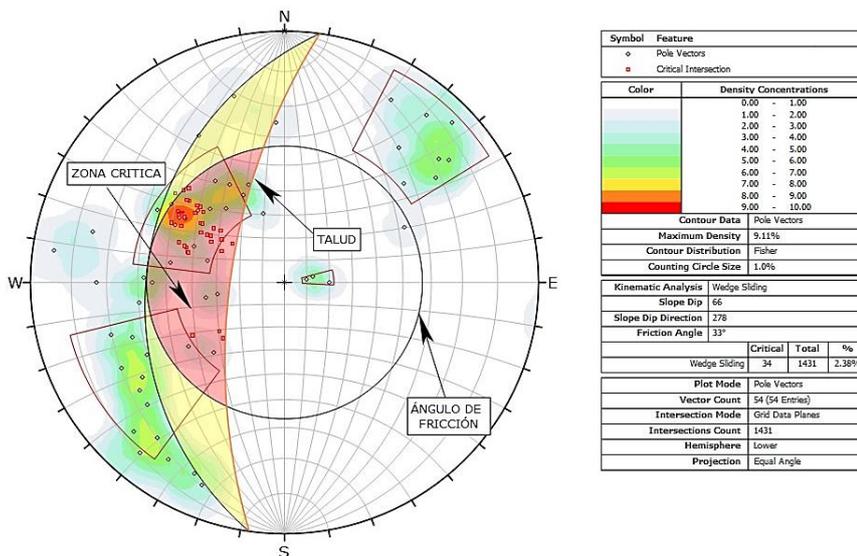


Figura 62. Rotura en cuña de la zona geomecánica 2

6.9.3. Zona Geomecánica 3

La zona geomecánica 3 con un buzamiento y dirección de buzamiento de $74^\circ/295^\circ$ (dip/dip direction), para esta zona se tomó 38 datos estructurales presentes en las discontinuidades en el talud, con un ángulo de fricción calculado de 32° (Anexo 5).

Rotura planar

Para la zona geomecánica 3 a partir del análisis de las discontinuidades se determinó que el buzamiento es contrario a la inclinación del talud, por ende, ninguna de ellas rompe en forma planar es decir 0% (figura 63).

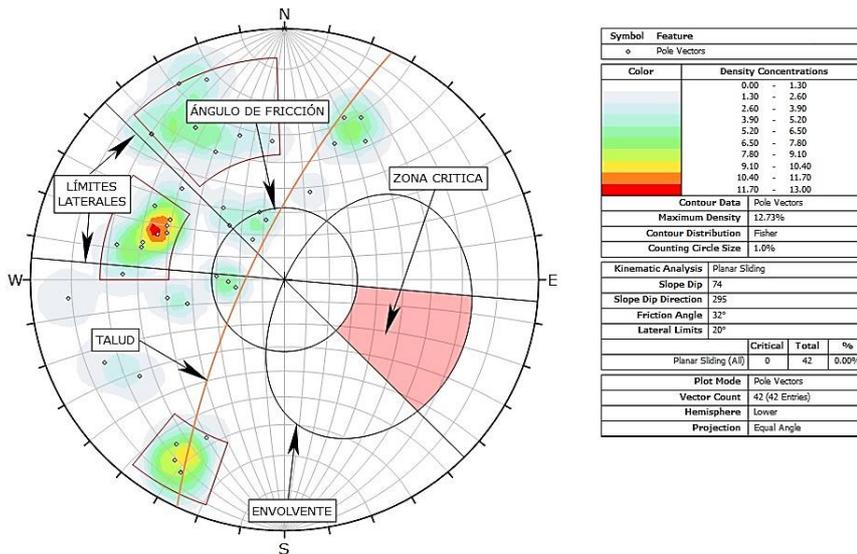


Figura 63. Rotura planar de la zona geomecánica 3

Rotura en vuelco

De las discontinuidades analizadas el 2,63% rompen efectivamente en forma tipo vuelco (figura 64), muchos de los polos son proyectados en zona estable de talud, a excepción de familia 1 en la abscisa 00+180-00+200, familia 1, 2 y 3 en la abscisa 00+200-00+220, que pueden llegar a generar un potencial movimiento de tipo vuelco.

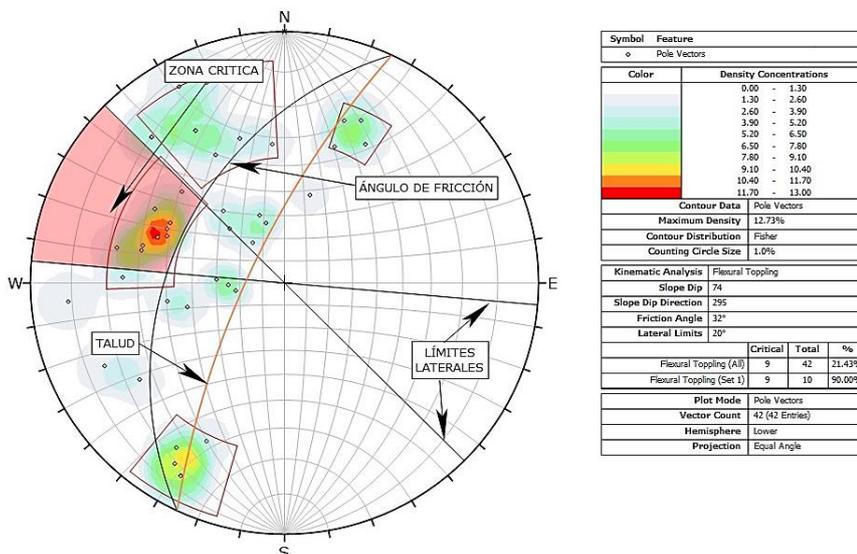


Figura 64. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 3

Rotura en cuña

Los puntos de intersección son todos los que se observan en la figura 65, donde cada plano se intercepta con otro plano para determinar los puntos de intersección, el porcentaje de las intersecciones críticas de un total de 701 cuñas que se forman alrededor del 1,52% son críticas es decir 13 cuñas rompen efectivamente en forma tipo cuña ya que buzan hacia la cara del talud, condición primordial para que se produzca este tipo de rotura.

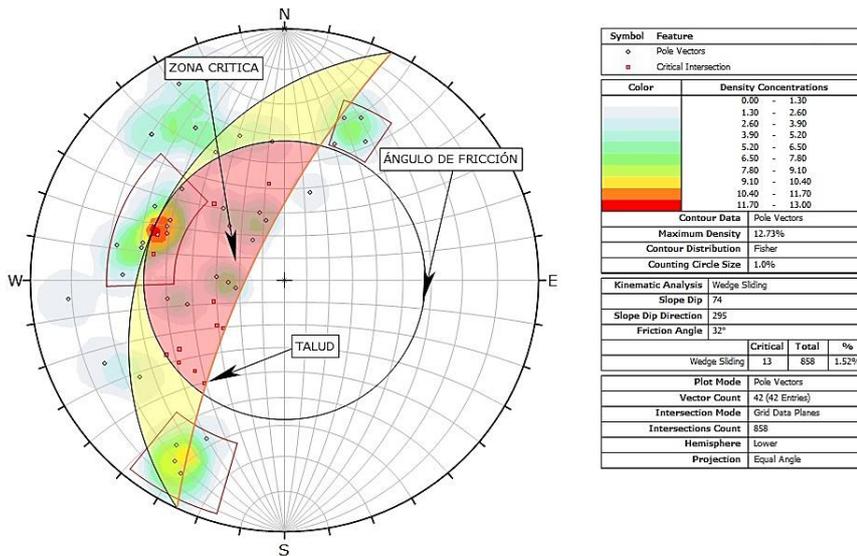


Figura 65. Rotura en cuña de la zona geomecánica 3

6.9.4. Zona Geomecánica 4

La zona geomecánica 4 con un buzamiento y dirección de buzamiento de $71^\circ/301^\circ$ (dip/dip direction), para esta zona se tomó 66 datos estructurales presentes en las discontinuidades en el talud, con un ángulo de fricción calculado de 32° (Anexo 5).

Rotura planar

De las discontinuidades analizadas para la zona geomecánica 4 el 9,09% rompen efectivamente en forma planar (figura 66), muchos de los polos proyectados se encuentran en zona estable, a excepción de la familia 1 y 2 en la abscisa 00+280-00+300 y familia 1 y 3 en la abscisa 00+300-00+320, que pueden llegar a generar un potencial movimiento de tipo planar.

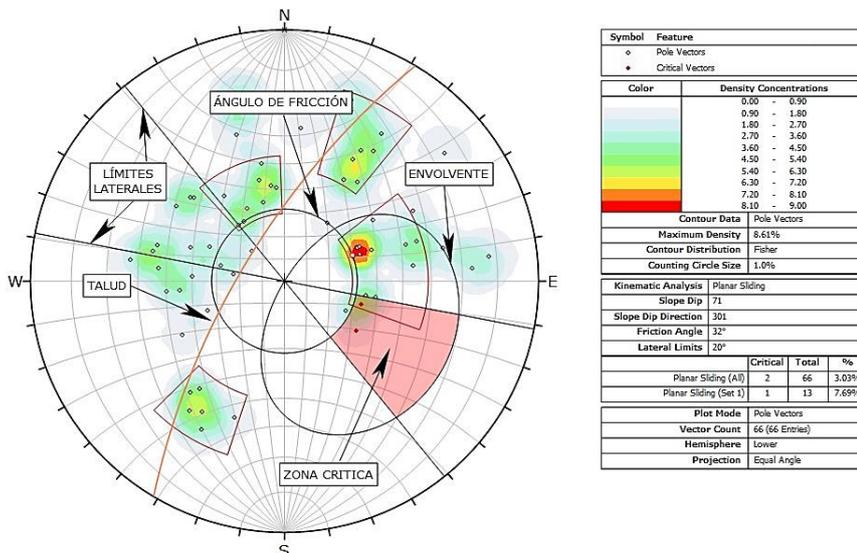


Figura 66. Rotura planar de la zona geomecánica 4

Rotura en vuelco

De las discontinuidades analizadas el 7,58% rompen efectivamente en forma tipo vuelco (figura 67), muchos de los polos son proyectados en zona estable de talud, a excepción de la familia 2 de la abscisa 00+280-00+300, familia 2 abscisa 00+380-00+400 y familia 2 en la abscisa 00+400-00+420, que pueden llegar a generar un potencial movimiento de tipo vuelco.

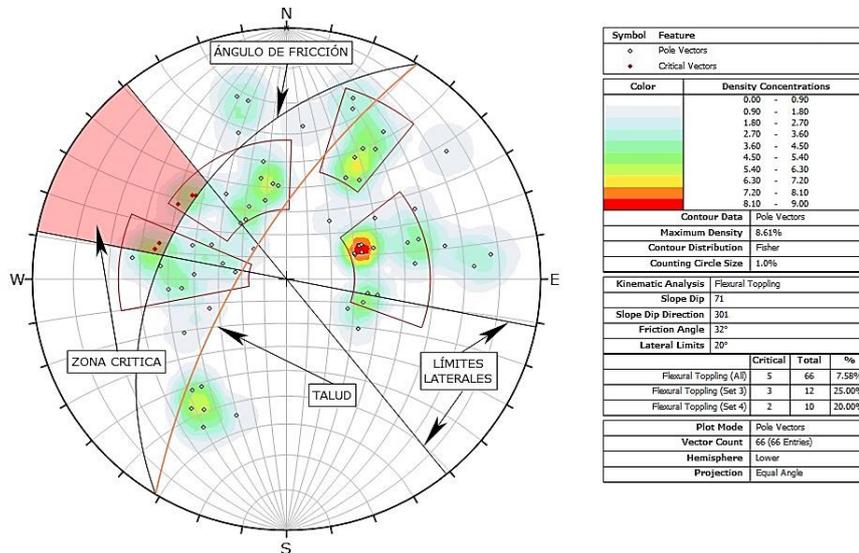


Figura 67. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 4

Rotura en cuña

Los puntos de intersección son todos los que se observan en la figura 68, donde cada plano se intercepta con otro plano para determinar los puntos, el porcentaje de las intersecciones críticas de un total de 362 cuñas que se forman alrededor del 14,46% son críticas es decir 301 cuñas rompen efectivamente en forma tipo cuña ya que buzan hacia la cara del talud, condición primordial para que se produzca este tipo de rotura.

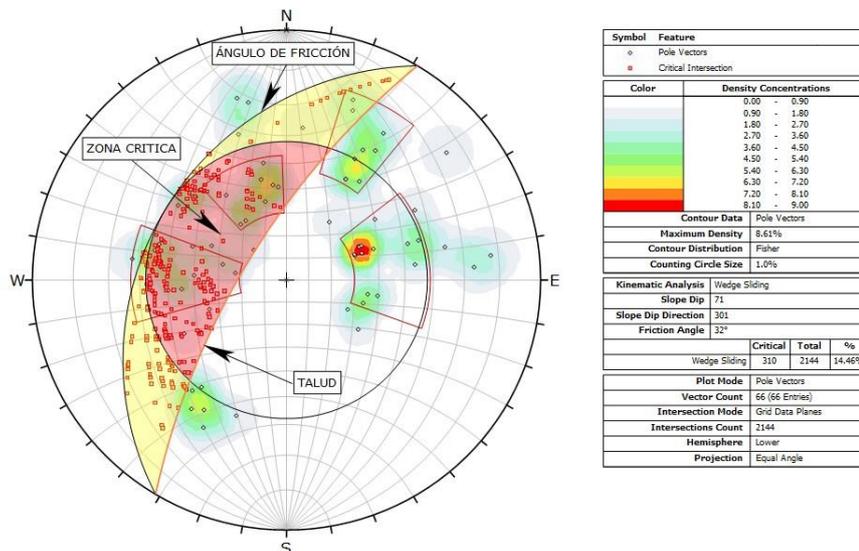


Figura 68. Rotura en cuña de la zona geomecánica 4

6.9.5. Zona Geomecánica 5

La zona geomecánica 5 con un buzamiento y dirección de buzamiento de $84^{\circ}/313^{\circ}$ (dip/dip direction), para esta zona se tomó 35 datos estructurales presentes en las discontinuidades en el talud, con un ángulo de fricción calculado de 31° (Anexo 5).

Rotura planar

De las discontinuidades analizadas para la zona geomecánica 5 el 5,71% rompen efectivamente en forma planar (figura 69), muchos de los polos proyectados se encuentran en zona estable, a excepción de la familia 1 y 2 en la abscisa 00+450-00+470 y en la familia 1, 2 y 3 en la abscisa 00+470-00+485, que pueden llegar a generar un potencial movimiento de tipo planar.

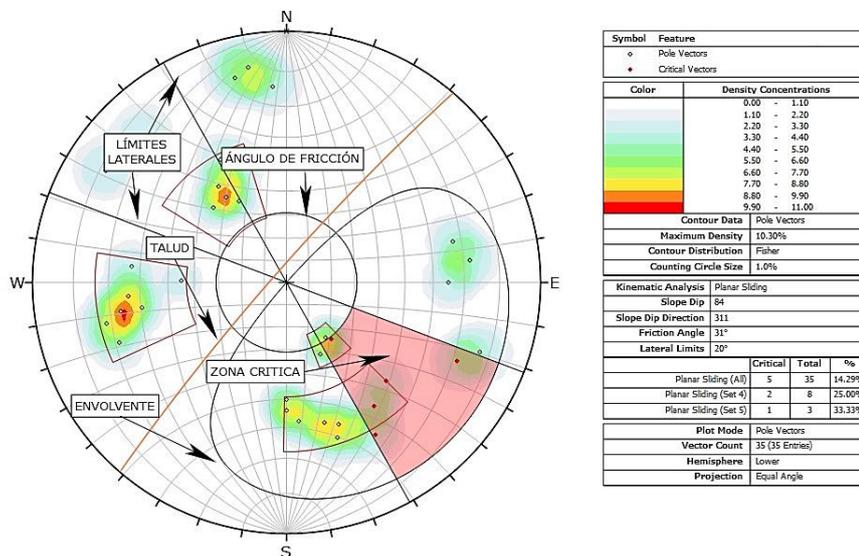


Figura 69. Rotura planar de la zona geomecánica 5

Rotura en vuelco

De las discontinuidades analizadas el 17,14% rompen efectivamente en forma tipo vuelco (figura 70), muchos de los polos son proyectados en zona estable de talud, a excepción de familia 1 y 4 en la abscisa 00+450-00+470 y familia 2 y 3 en la abscisa 00+470-00+485, que pueden llegar a generar un potencial movimiento de tipo vuelco.

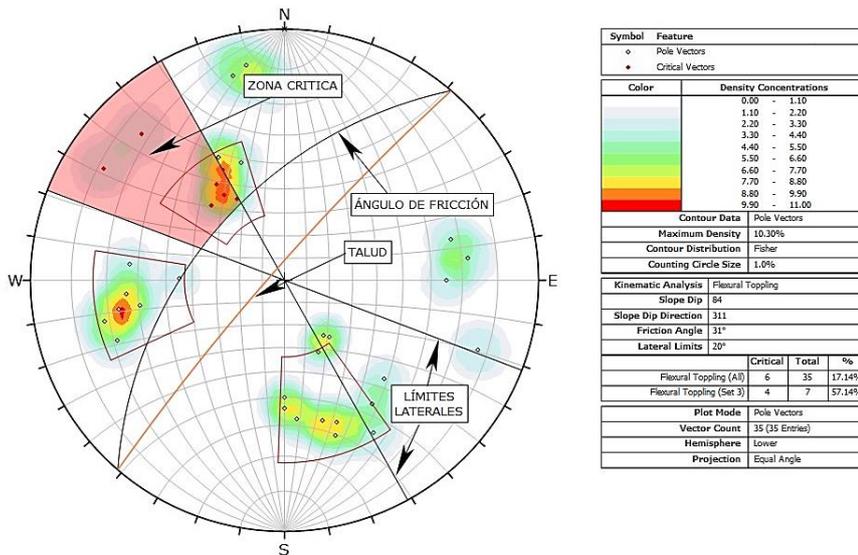


Figura 70. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 5

Rotura en cuña

Los puntos de intersección son todos los que se observan en la figura 71, donde cada plano se intercepta con otro plano para determinar los puntos de intersección, el porcentaje de las intersecciones críticas de un total de 595 cuñas que se forman alrededor del 28,11% son críticas es decir 167 cuñas rompen efectivamente en forma tipo cuña ya que buzan hacia la cara del talud, condición primordial para que se produzca este tipo de rotura.

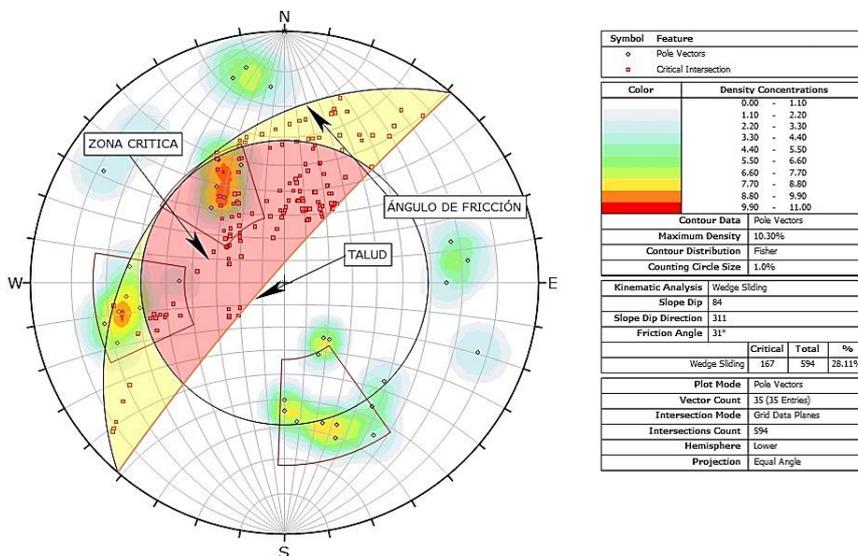


Figura 71. Rotura en cuña de la zona geomecánica 5

6.9.6. Zona Geomecánica 6

La zona geomecánica 6 con un buzamiento y dirección de buzamiento de $82^{\circ}/311^{\circ}$ (dip/dip direction), para esta zona se tomó 27 datos estructurales presentes en las discontinuidades en el talud, con un ángulo de fricción calculado de 30° (Anexo 5).

Rotura planar

De las discontinuidades analizadas para la zona geomecánica 6 el 14,81% rompen efectivamente en forma planar (figura 72), muchos de los polos proyectados se encuentran en zona estable, a excepción de la familia 2 y 3 en la abscisa 00+535-00+555 y en la familia 1, 2 y 3 en la abscisa 00+575-00+595, que pueden llegar a generar un potencial movimiento de tipo planar.

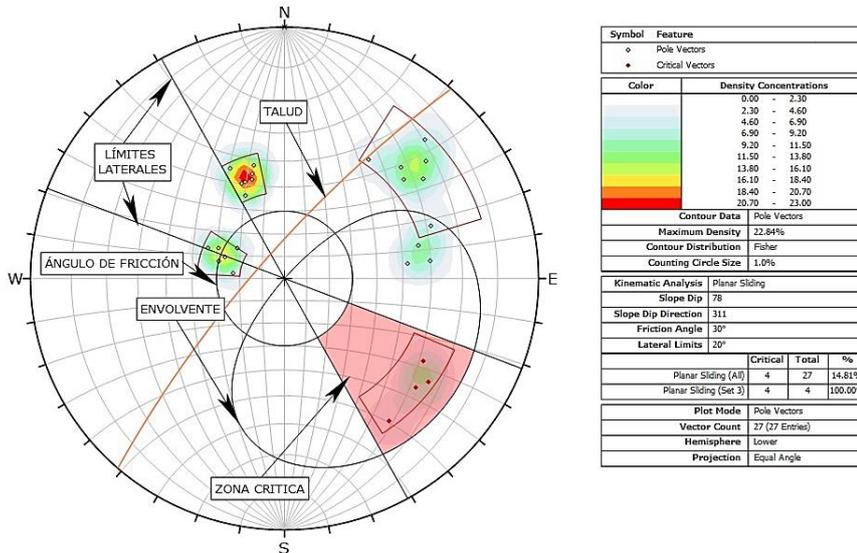


Figura 72. Rotura planar de la zona geomecánica 6

Rotura en vuelco

Para la zona geomecánica 6 a partir del análisis de las discontinuidades se determinó que el buzamiento es contrario a la inclinación del talud, por ende, ninguna de ellas rompe en forma de vuelco, es decir 0%

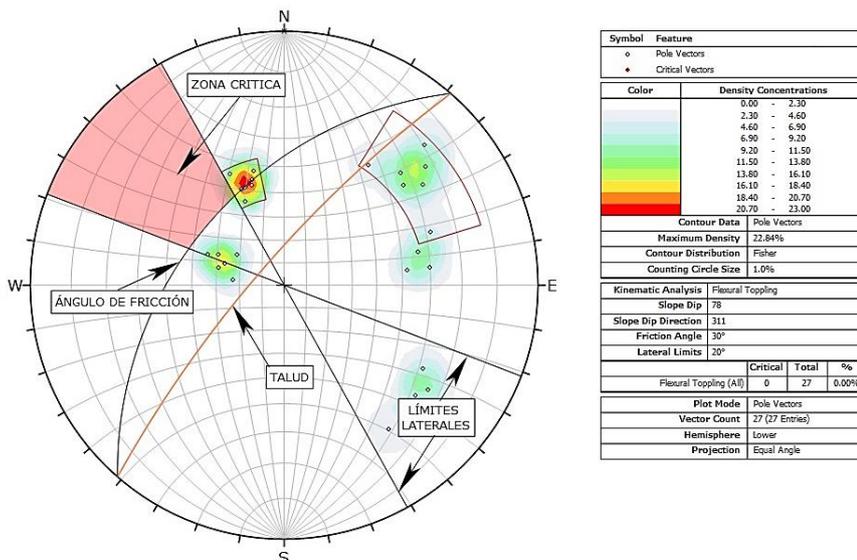


Figura 73. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 6

Rotura en cuña

Los puntos de intersección son todos los que se observan en la figura 74, donde cada plano se intercepta con otro plano para determinar los puntos de intersección, el porcentaje de las intersecciones críticas de un total de 351 cuñas que se forman alrededor del 27,92% son críticas es decir 98 cuñas rompen efectivamente en forma tipo cuña ya que buzan hacia la cara del talud, condición primordial para que se produzca este tipo de rotura.

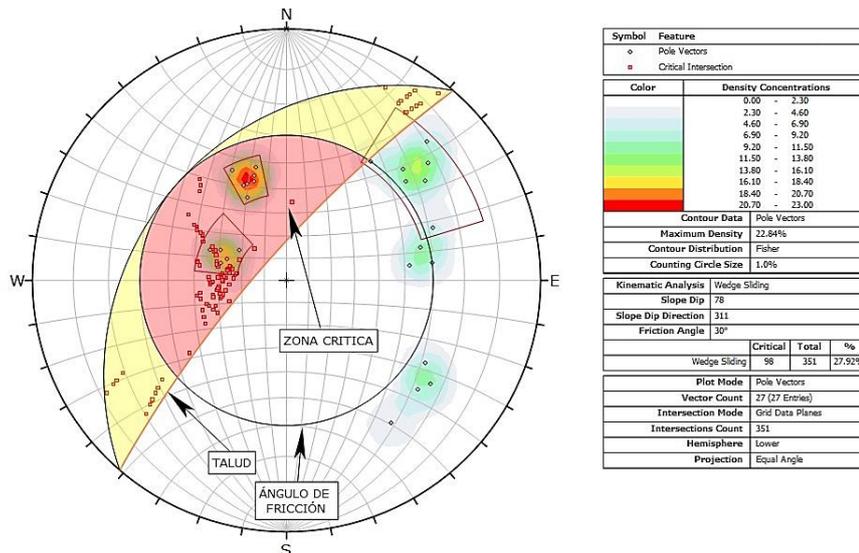


Figura 74. Rotura en cuña de la zona geomecánica 6

6.9.7. Zona Geomecánica 7

La zona geomecánica 7 con un buzamiento y dirección de buzamiento de 70°/323° (dip/dip direction), para esta zona se tomó 23 datos estructurales presentes en las discontinuidades en el talud, con un ángulo de fricción calculado de 38° (Anexo 5).

Rotura planar

Para la zona geomecánica 7 a partir del análisis de las discontinuidades se determinó que el buzamiento es contrario a la inclinación del talud, por ende, ninguna de ellas rompe en forma planar es decir 0% (figura 75).

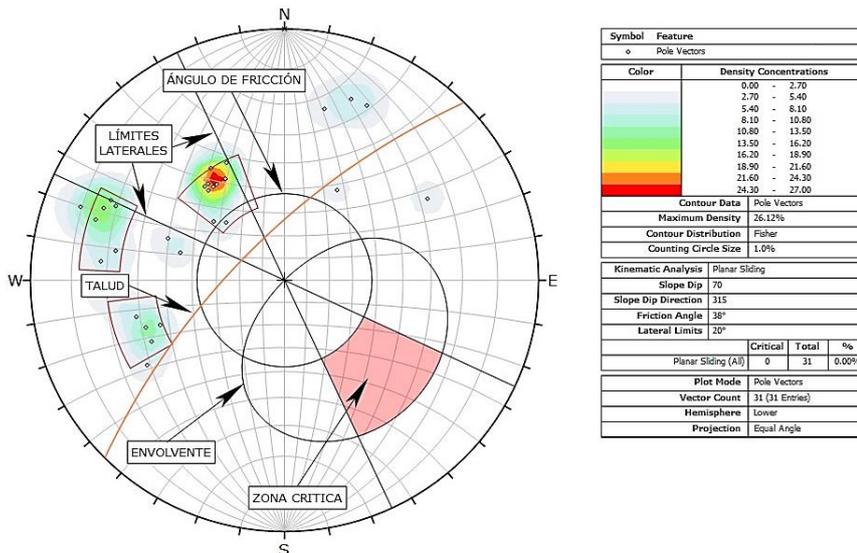


Figura 75. Rotura planar de la zona geomecánica 7

Rotura en vuelco

De las discontinuidades analizadas el 8,7% rompen efectivamente en forma tipo vuelco (figura 76) mismo porcentaje que obtuvo la rotura planar, muchos de los polos son proyectados en zona estable de talud, a excepción de familia 2 en la abscisa 00+615-00+635 y familia 3 en la abscisa 00+655-00+680, que pueden llegar a generar un potencial movimiento de tipo vuelco.

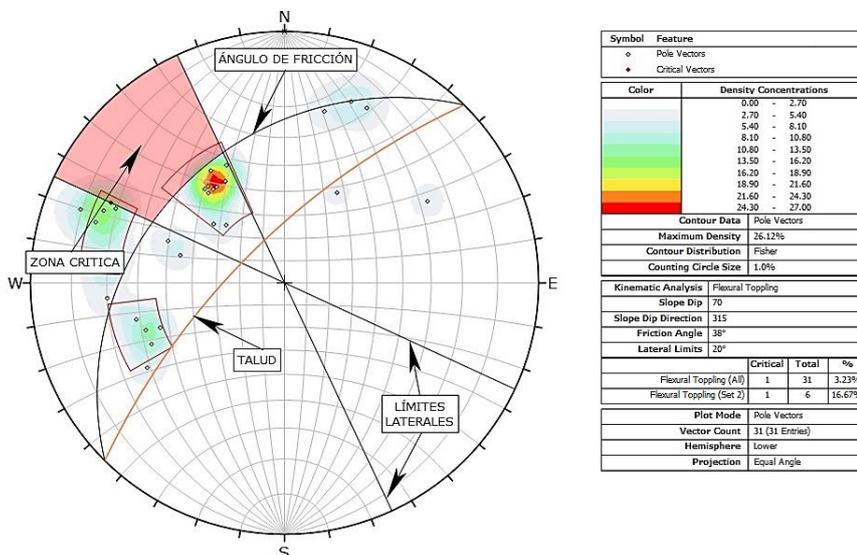


Figura 76. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 7

Rotura en cuña

Los puntos de intersección son todos los que se observan en la figura 77, donde cada plano se intercepta con otro plano para determinar los puntos de intersección, el porcentaje de las intersecciones críticas de un total de 464 cuñas que se forman alrededor del 0,43% son críticas es decir 2 cuñas rompen efectivamente en forma tipo cuña ya que buzan hacia la cara del talud, condición primordial para que se produzca este tipo de rotura.

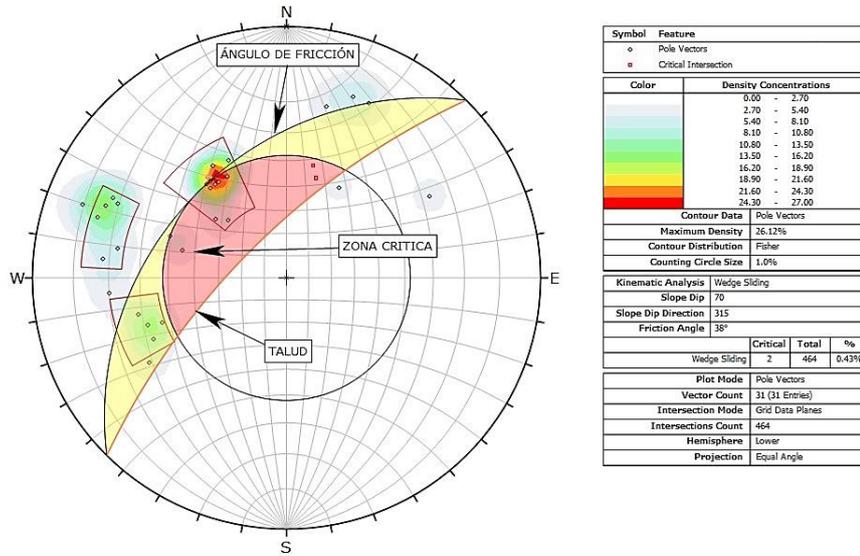


Figura 77. Rotura en cuña de la zona geomecánica 7

6.9.8. Zona Geomecánica 8

La zona geomecánica 8 con un buzamiento y dirección de buzamiento de $72^\circ/055^\circ$ (dip/dip direction), para esta zona se tomó 19 datos estructurales presentes en las discontinuidades en el talud, con un ángulo de fricción calculado de 38° (Anexo 5).

Rotura planar

Para la zona geomecánica 8 a partir del análisis de las discontinuidades se determinó que el buzamiento es contrario a la inclinación del talud, por ende, ninguna de ellas rompe en forma planar es decir 0% (figura 78).

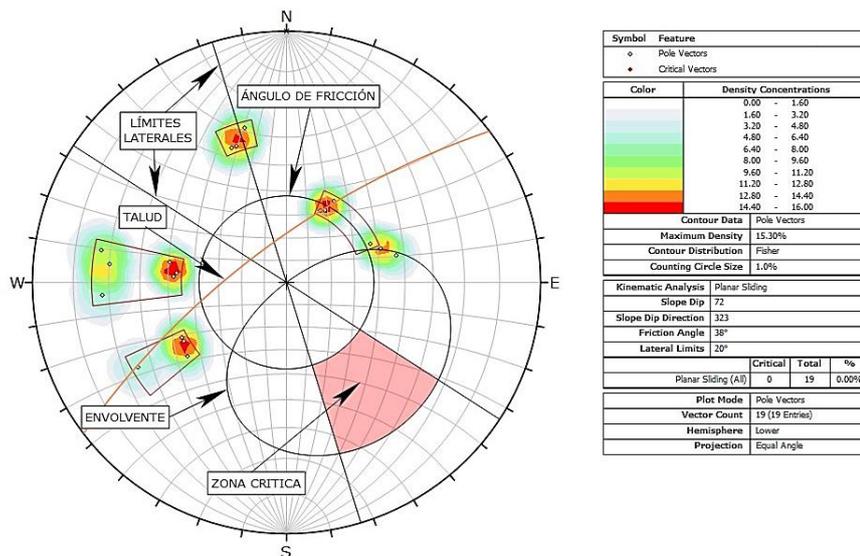


Figura 78. Rotura planar de la zona geomecánica 8

Rotura en vuelco

De las discontinuidades analizadas el 8,7% rompen efectivamente en forma tipo vuelco (figura 79) mismo porcentaje que obtuvo la rotura planar, muchos de los polos son proyectados en zona estable de talud, a excepción de familia 3 en la abscisa 01+060-01+080 y familia 3 en la abscisa 01+080-01+100, que pueden llegar a generar un potencial movimiento de tipo vuelco.

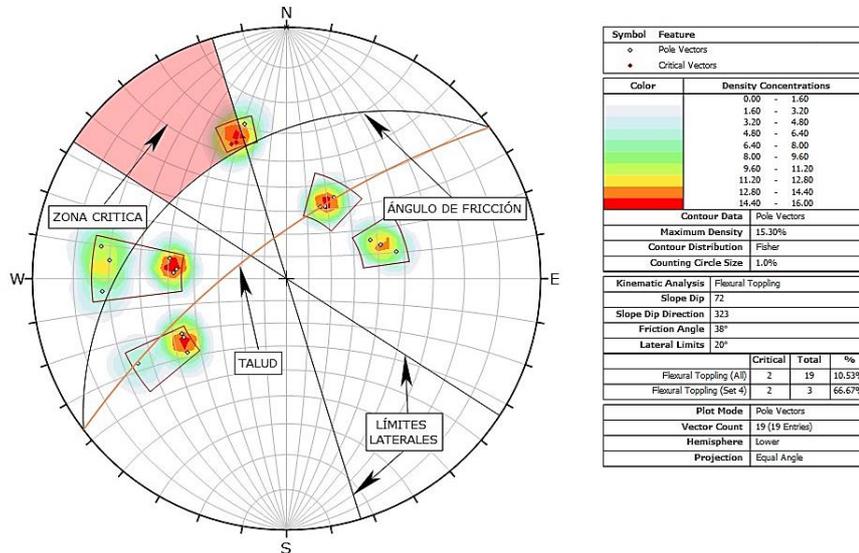


Figura 79. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 8

Rotura en cuña

Los puntos de intersección son todos los que se observan en la figura 80, donde cada plano se intercepta con otro plano para determinar los puntos de intersección, el porcentaje de las intersecciones críticas de un total de 171 cuñas que se forman alrededor del 37,43% son críticas es decir 64 cuñas rompen efectivamente en forma tipo cuña ya que buzan hacia la cara del talud, condición primordial para que se produzca este tipo de rotura.

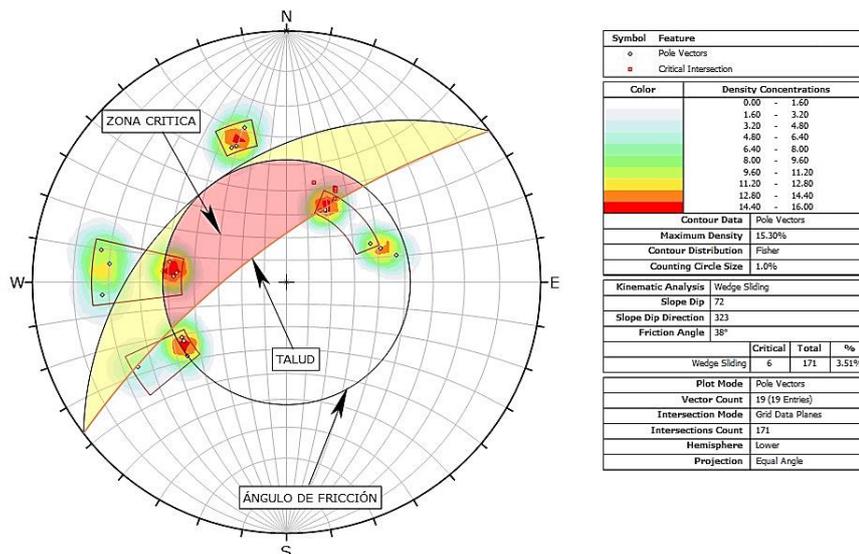


Figura 80. Rotura en cuña de la zona geomecánica 8

6.10 Modelo de simulación con el software RocFall 4.0

Se analizó en total 3 taludes rocosos los cuales son escogidos en base a la importancia de las zonas de inestabilidad, también el grado de fracturamiento y por la presencia de caída de fragmentos de roca en las faldas del talud y en la vía, para que la información englobe la litología presente en la zona de estudio, se optó por elegir de distinta litología a los taludes que se analizan, es decir, el primer talud corresponde a la toba andesítica, el segundo talud a la toba dacítica y el tercer corresponde a la brecha volcánica.

Los puntos GPS donde se tomaron los datos para los taludes y perfiles topográficos se observan en la siguiente tabla 53:

Tabla 53. Puntos GPS de los taludes de estudio

COORDENADAS UTM WGS84			
Talud	X	Y	Z
1	667164	9538229	1888
2	666983	9537957	1876
3	666928	9537888	1870

En la figura 81 se representa la ubicación de los taludes en el software Google Earth Pro que se tomó para realizar la simulación de caída de rocas.



Figura 81. Ubicación de los taludes de estudio

6.10.1. RocFall Talud 1

El primer talud artificial corresponde a la toba andesítica con una altura de 11 metros, ubicada en la zona lito-estructural 3 abscisa 00+200-00+220, se aloja en la parte izquierda de la vía en sentido de avance, insitu se observó una relevante caída de fragmentos de roca debido a el grado de alteración y fracturamiento que existe en la estructura rocosa, como se observa en la figura 82.

Se evidencia dos principales zonas inestables donde se producen la mayor caída de fragmentos de roca con un rango de masa entre 1 kg a 40 kg, la primera zona a una altura de 10 metros y la segunda zona a 5 metros de altura.

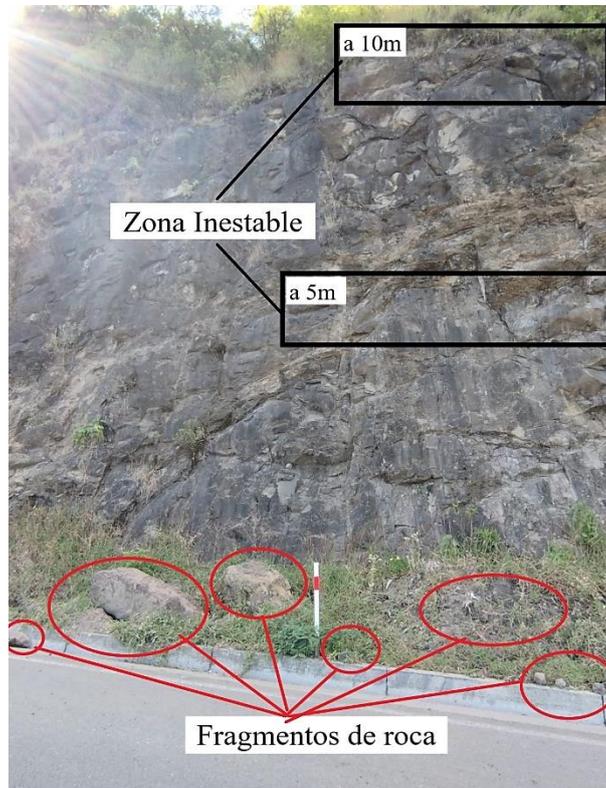


Figura 82. Talud 1 Toba Andesítica

Se realizó un conteo visual insitu de los fragmentos de roca alrededor del primer talud principalmente en las faldas del talud y vía asfaltada, con el fin de adquirir el promedio de fragmentos de roca que caen dándonos un valor promediado de 50 caídos de roca, el resultado del análisis de simulación RocFall para el primer talud se observa en la figura 83, donde el perfil realizado posee un total de 48 metros de horizontal y 59 metros de vertical.

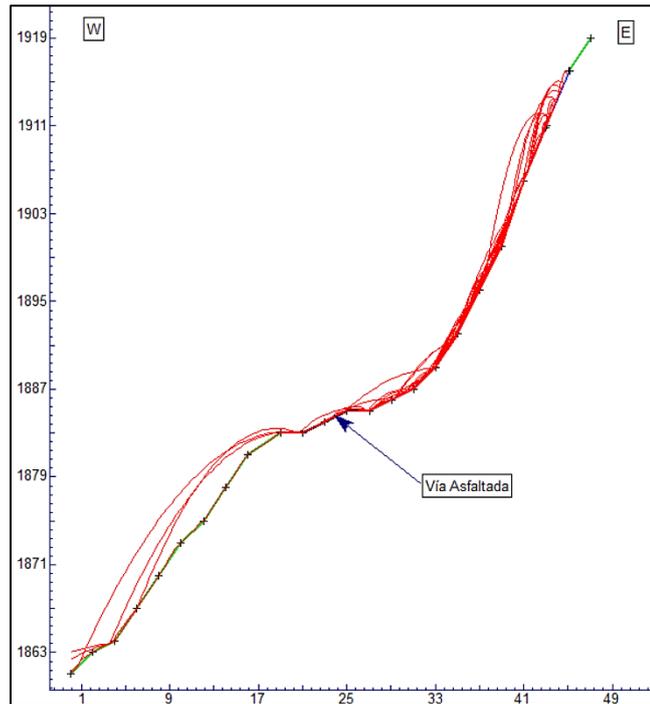


Figura 83. Simulación del talud 1

Junto con la simulación se representa gráficamente la velocidad de traslación y energía que adquieren dichos fragmentos al inicio y final de recorrido.

En la figura 84 se representa gráficamente la velocidad de traslación (metro/segundo) de los caídos con un recorrido que se desarrolla de derecha a izquierda, posee una velocidad de 0m/s entre los 45m a 48m debido que se trata de cobertura vegetal el cual carece de factores condicionantes, continuando se nota una variación de velocidad de traslación entre un rango de 0m/s a 16.85m/s entre la distancia de 27m a 45m siendo el talud de toba andesítica, seguido se tiene la carretera asfaltada entre las distancia de 19m a 27m donde la velocidad esta entre 9.07m/s a 12.7m/s, finalmente entre la distancia de 0m a 19m la velocidad de traslación esta entre 9.07m/s a 22.1m/s donde alcanza su punto más alto de 22.1 m/s en el primer metro de distancia horizontal.

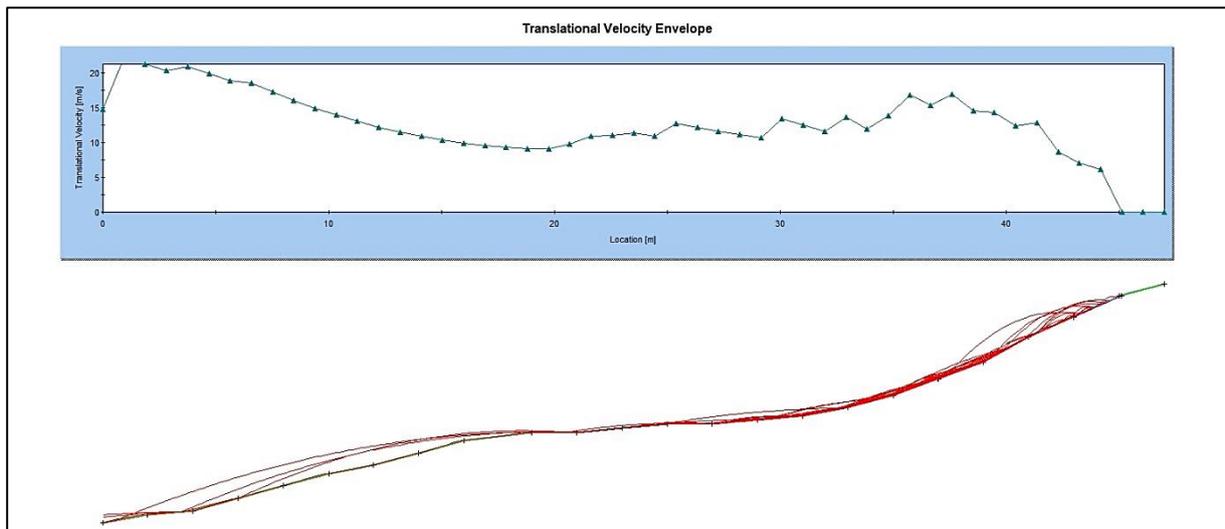


Figura 84. Talud 1 velocidad de traslación (m/s)

De la misma manera la figura 85 representa gráficamente la energía cinética (Julios) de los caídos de roca en la simulación, la energía cinética de 0J se encuentra entre los 45m a 48m debido que se trata de cobertura vegetal el cual carece de factores condicionantes, continuando se nota una variación importante de energía cinética entre un rango de 0J a 5817.9J entre la distancia de 27m a 45m donde se aloja el talud de toba andesítica, seguido se tiene la carretera asfaltada entre las distancia de 19m a 27m donde la energía cinética se encuentra entre un rango de 2447.8J a 1366.2J, finalmente se tiene entre la distancia de 0m a 19m donde la energía cinética se encuentra entre valores de 1366.2J a 6770.3J donde alcanza su punto más alto de 6770.3J en los 4m de distancia horizontal.

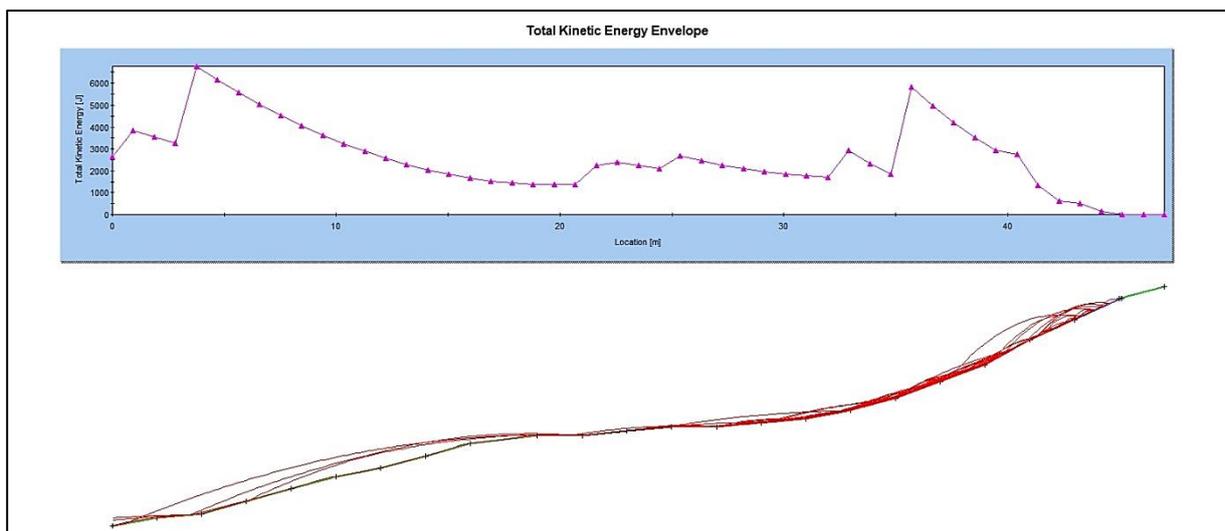


Figura 85. Talud 1 Energía cinética (J)

6.10.2. RocFall Talud 2

El segundo talud artificial corresponde a la toba dacítica con una altura de 9 metros, se ubica en la zona lito-estructural 5 abscisa 00+470-00+485, se aloja en la parte izquierda de la

vía en sentido de avance, in-situ se observó fragmentos de roca caídos debido a el grado de alteración y fracturamiento que existe en la estructura rocosa, como se observa en la figura 86.

Se evidencia dos principales zonas inestables donde se producen la mayor caída de fragmentos de roca con un rango de masa entre 1 kg a 30 kg, la primera zona a una altura de 9 metros y la segunda zona a 2.3 metros de altura.

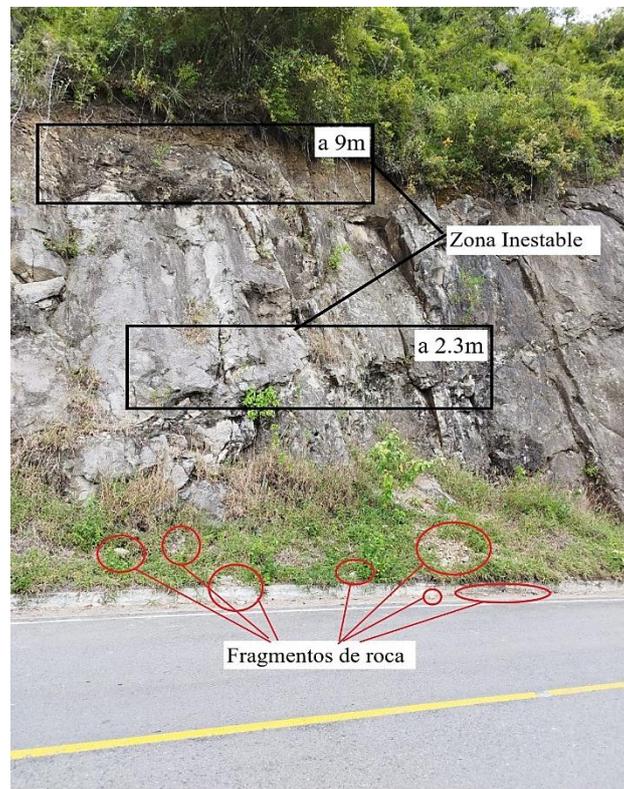


Figura 86. Talud 2 Toba Dacítica

Se realizó un conteo visual insitu de los fragmentos de roca alrededor del segundo talud principalmente en las faldas del talud y vía asfaltada, con el fin de adquirir el promedio de fragmentos de roca que caen dándonos un valor promediado de 50 caídos de roca, el resultado del análisis de simulación RocFall para el primer talud se observa en la figura 87, donde el perfil realizado posee un total de 49 metros de horizontal y 53 metros de vertical.

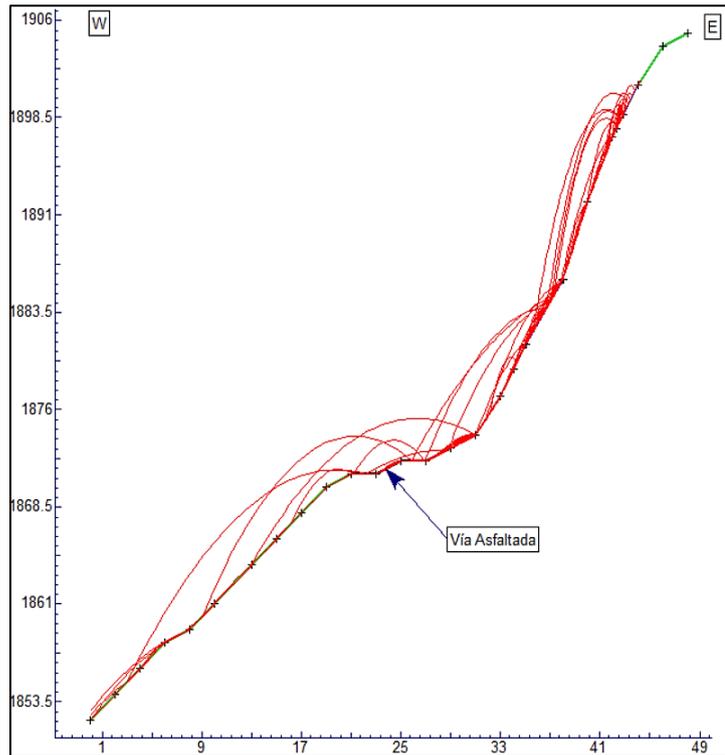


Figura 87. Simulación del talud 2

Junto con la simulación se representa gráficamente la velocidad de traslación y energía que adquieren dichos fragmentos al inicio y final de recorrido.

En la figura 88 se representa gráficamente la velocidad de traslación(metro/segundo) de los caídos con un recorrido que se desarrolla de derecha a izquierda, donde posee una velocidad de 0m/s entre los 44m a 49m debido que se trata de cobertura vegetal el cual carece de factores condicionantes, continuando se nota una variación de velocidad de traslación entre un rango de 0m/s a 16m/s entre la distancia de 29m a 44m siendo el talud de toba dacítica, seguido se tiene la carretera asfaltada entre las distancia de 21m a 26m donde la velocidad se mantiene similar entre 11.3m/s a 18.3m/s, finalmente se tiene entre la distancia de 0m a 21m la velocidad de traslación va en aumento entre valores de 12.6m/s a 19.3m/s donde alcanza su punto más alto de 19.3m/s en los 4m de distancia horizontal, lo que se interpreta que seguirá aumentando la velocidad de los fragmentos de roca conforme sigan su recorrido cuesta abajo.

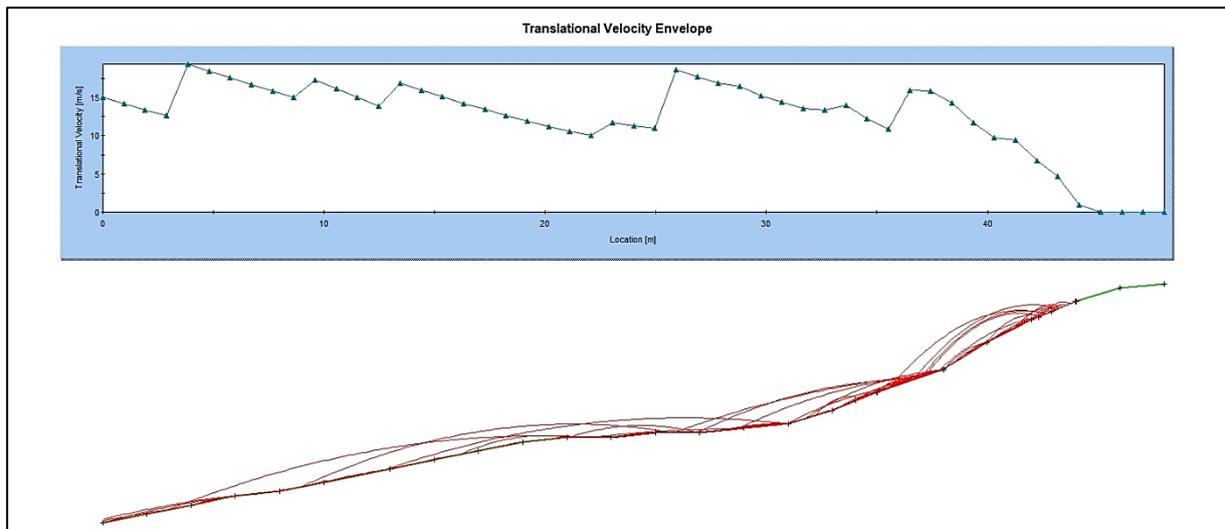


Figura 88. Talud 2 velocidad de traslación (m/s)

La figura 89 representa gráficamente la energía cinética (Julios) de los caídos de roca en la simulación, la energía cinética de 0J se encuentra entre los 44m a 49m debido que se trata de cobertura vegetal en la cabecera del talud, continuando se nota una variación importante de energía cinética entre un rango de 0J a 1921.5J entre la distancia de 29m a 44m donde se aloja el talud de toba dacítica, seguido se tiene la carretera asfaltada entre las distancia de 21m a 29m donde la energía cinética se encuentra con valores entre los 674.1J a 2539.1J obteniendo el punto más alto en los 26m de distancia horizontal, finalmente entre la distancia de 0m a 21m donde la energía cinética presenta valores entre 6484.63J a 2214.3J, dando como entendido que la energía seguirá en aumento conforme los fragmentos de roca sigan su recorrido cuesta abajo.

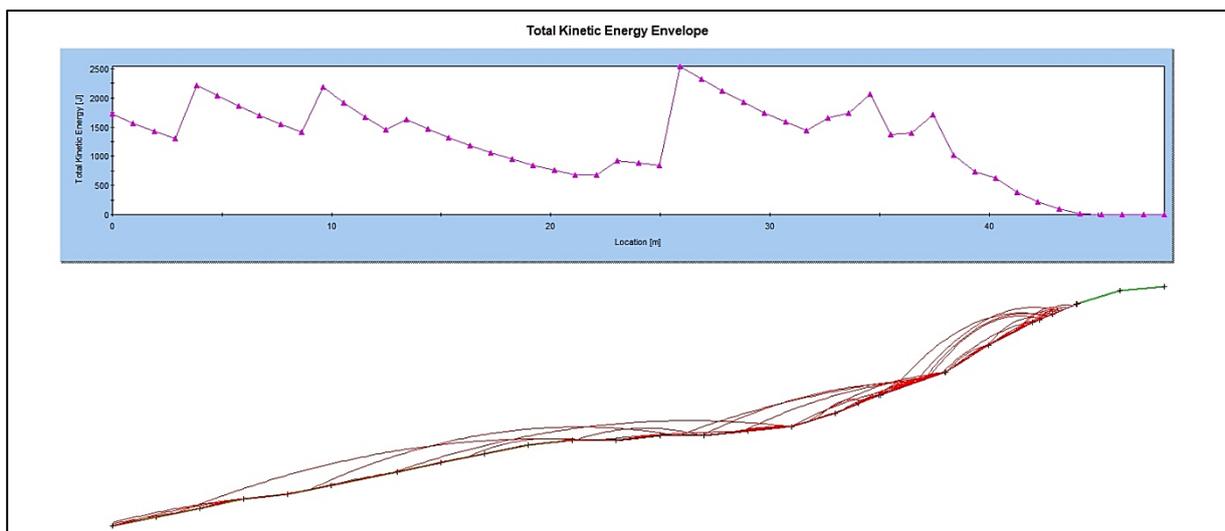


Figura 89. Talud 2 Energía cinética (J)

6.10.3. RocFall Talud 3

El tercer talud artificial corresponde a la brecha volcánica con una altura de 11 metros, se ubica en la zona lito-estructural 7 abscisa 00+615-00+635, se aloja en la parte izquierda de la vía en sentido de avance, in-situ se observó fragmentos de roca caídos debido a el grado de alteración y fracturamiento que existe en la estructura rocosa, como se observa en la figura 90.

Se evidencia dos principales zonas inestables donde se producen la mayor caída de fragmentos de roca con un rango de masa entre 1 kg a 100 kg, la primera zona a una altura de 10m y la segunda zona a 5m de altura.

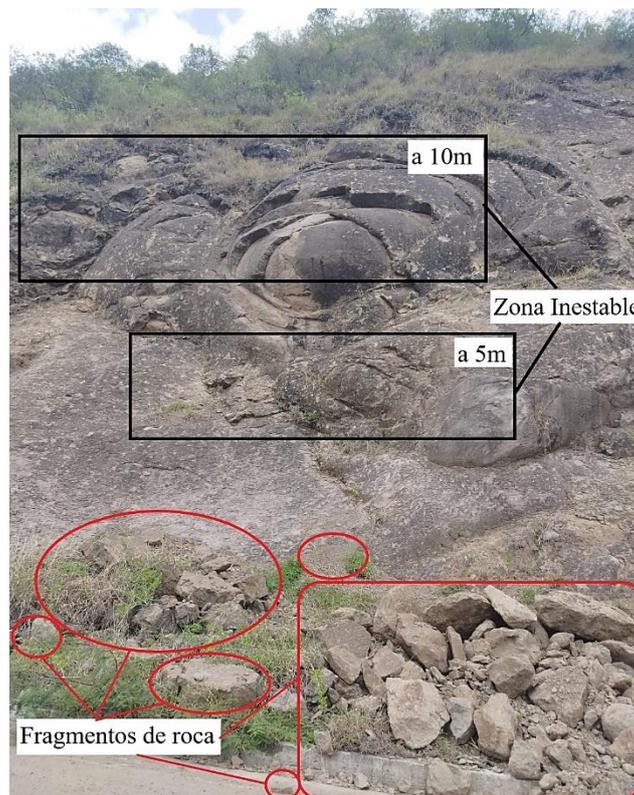


Figura 90. Talud 3 Brecha Volcánica

Se realizó un conteo visual insitu de los fragmentos de roca alrededor del tercer talud principalmente en las faldas del talud y vía asfaltada, con el fin de adquirir el promedio de fragmentos de roca que caen dándonos un valor promediado de 80 caídos de roca, el resultado del análisis de simulación RocFall para el primer talud se observa en la figura 91, donde el perfil realizado posee un total de 67 metros de horizontal y 51 metros de vertical.

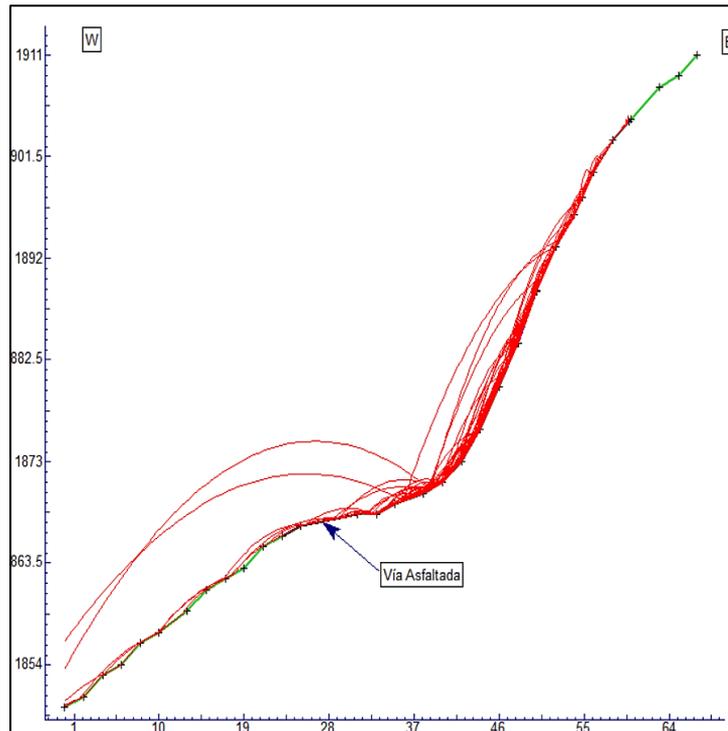


Figura 91. Simulación del talud 3

Junto con la simulación se representa gráficamente la velocidad de traslación y energía que adquieren dichos fragmentos al inicio y final de recorrido.

La figura 92 representa gráficamente la velocidad de traslación(metro/segundo) de los caídos con un recorrido que se desarrolla de derecha a izquierda, donde posee una velocidad de 0m/s entre los 60m a 67m debido que se trata de cobertura vegetal el cual carece de factores condicionantes, continuando se nota una variación de velocidad de traslación entre un rango de 0 m/s a 21.6 m/s entre la distancia de 32m a 60m siendo el talud de brecha volcánica, seguido se tiene la carretera asfaltada entre las distancia de 24m a 32m donde la velocidad de traslación es similar en un rango de 14.3m/s a 15m/s, finalmente se tiene entre la distancia de 0m a 24m una velocidad de traslación en aumento que varía entre un rango de 15m/s a 24m/s donde el los primeros metros alcanza su valor más alto de 24m/s, lo que se interpreta que los fragmentos de roca aumentaran de velocidad conforme sigan su recorrido cuesta abajo.

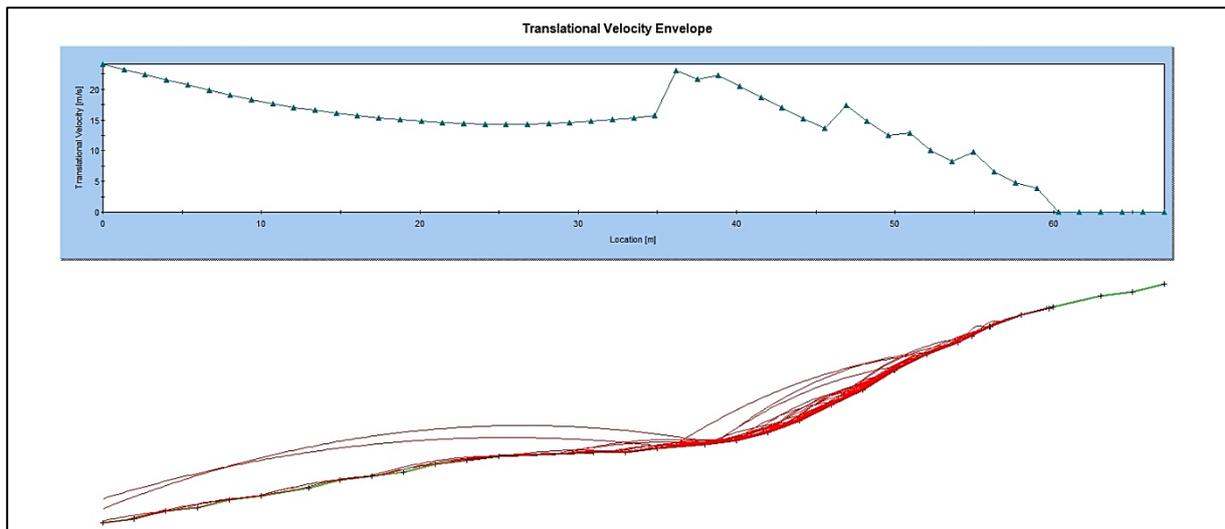


Figura 92. Talud 3 velocidad de traslación (m/s)

La figura 93 representa gráficamente la energía cinética (Julios) de los caídos de roca en la simulación, la energía cinética de 0J se encuentra entre los 60m a 67m debido que se trata de cobertura vegetal en la cabecera del talud, continuando se nota una variación importante de energía cinética entre un rango de 0J a 28019.2J entre la distancia de 32m a 60m donde se aloja el talud de toba dacítica, seguido se tiene la carretera asfaltada entre las distancia de 24m a 32m donde la energía cinética se encuentra entre valores de 12951.8J a 13979.3J, finalmente entre la distancia de 0m a 24m donde la energía cinética varía entre un rango de 13979.3J a 28489.5J, dando como entendido que la energía seguirá en aumento conforme los fragmentos de roca sigan su recorrido cuesta abajo.

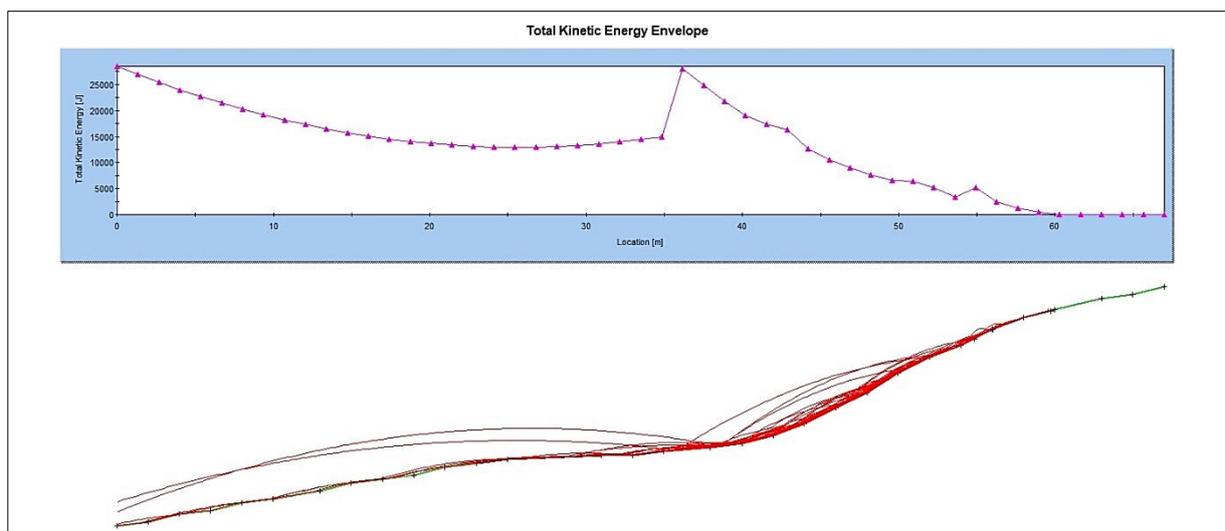


Figura 93. Talud 3 Energía cinética (J)

7. Discusión

La presente investigación para la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en el tramo de la vía Sunamanga-Sacapalca, se basa en tres puntos principales: la elaboración de la topografía y geología de zona de estudio, la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los macizos rocosos y la caracterización geomecánica y modelamiento de caída de roca.

La topografía según Ayala (2018) se obtiene una mejor calidad al trabajar con vehículos aéreos no tripulados, esto conforme con las especificaciones técnicas del Instituto Geográfico Militar (2008) para la determinación de la adecuada escala topográfica, donde se obtuvo en la presente una información topográfica realizada con un vehículo aéreo no tripulado (Dron) de alta calidad a escala 1:1 000 con errores de ± 0.002 m. Los estudios geológicos más renombrados son según Hungerbühler (1997) y del mismo Hungerbühler (2002) en la hoja geológica de Gonzanamá (hoja 57, N VII-B) a escala 1:100 000 que expone la litología de la zona de estudio la cual se encuentra caracterizada por una secuencia volcánica con brechas piroclásticas e ignimbritas de composición andesítica y flujos de lava, donde diverso a la investigación realizada se evidencio taludes rocosos de composición volcánica tobas y brechas volcánicas, saprolitos y en la parte baja depósitos coluviales producto de la alteración y desprendimiento de los diferentes macizos.

Debido al estudio hacia la comprensión simple según González Vallejo et ál. (2002) las tobas presentan un rango de valores entre 10 – 46 Mpa y las andesitas rango entre 100 – 500 Mpa, no obstante los datos de la presente investigación obtenidos en laboratorio poseen cierta similitud, la toba andesítica presenta rangos mayores entre 50 – 66 Mpa según el rango del ISMR se cataloga como roca dura, la toba dacítica presenta valores dentro del rango entre 44 – 47 Mpa catalogada por ISMR como roca moderadamente dura y sobre las brechas volcánicas se realiza el ensayo a partir de la composición de sus clastos andesíticos los cuales presenta valores de rango entre 70 – 73 Mpa donde el ISMR lo cataloga como roca dura, según Salinas (2018) estos valores de rangos pueden variar debido a su composición y el lugar donde se realizaron los estudios es decir pueden presentar rangos distintos a otras zonas.

El autor Deere (1964) propuso un índice cuantitativo de la calidad de la roca (RQD), sin embargo, en el presente trabajo investigativo no realizó dicha propuesta, si no que se recurrió al método propuesto por Palmstrom (2005) que al observar la cantidad de fisuras en las discontinuidades entre una unidad de volumen se estimó el RQD en rangos de calidades mala a buena. El R.M.R de Bieniawski (1989) clasifica a los macizos rocosos entre un rango de calidades Media (clase III) a calidades buenas (clase II), por otro lado, al clasificar los macizos

mediante el S.M.R de Romana (1985) para los dos mecanismos de rotura para tipo planar y vuelco analizados, se obtuvo un S.M.R planar de un rango de calidades muy malas (clase V) a calidades Normales (clase III) y para un S.M.R en vuelco presento un rango de calidades malas (clase IV) a calidades buenas (clase II), dichas clasificaciones geomecánicas son correspondidas por el análisis cinemático analizada por el programa dips 7.0. En las zonas aptas para el estudio de caída de rocas establecida por los criterios de Hook (2008) implantadas en el software RocFall 4.0, en cuanto a la presente investigación en se realizó dicho análisis con el acoplo del estudio realizado por Rosales Garzón et al. (2011) sobre el análisis de la amenaza de caída de rocas a partir del estudio de huellas de impacto sobre carreteras, teniendo en cuenta que los escenarios y las condiciones de trabajo no son los mismos, se evidencio in-situ los daños en la carpeta asfáltica en diferentes zonas ocasionados por la caída de fragmentos de roca.

8. Conclusiones

Producto de la caracterización geomecánica de los macizos rocosos ubicados en el tramo de la vía Sunamanga-Sacapalca entre los barrios Potrerillos-Sacapalca se concluye lo siguiente:

- Topográficamente el área de estudio presenta un relieve irregular con un desnivel de 133 metros de cotas, logrando obtener la topografía a escala 1:1 000. Geológicamente el área de estudio se encuentra constituido por un evento antiguo de conjunto de lavas de composición andesíticas y piroclastos, localmente se ha evidenciado 6 tipos de litologías como: toba andesítica ocupando un 19.42%, toba dacítica ocupando un 6.23%, brecha volcánica ocupando un 6.63% saprolitos de brecha volcánica ocupando un 14.96%, saprolito de toba ocupando un 0.16% y depósitos coluviales ocupando un 52.59% de la superficie total.
- En base a los ensayos de comprensión simple por cada zona de compartimiento lito-estructural se clasifica según el ISMR (1981) el macizo en: zona 1,2,3,4 como roca dura de clase media ya que presento valores entre 50-66 Mpa, la zona 5,6 se clasifica como roca moderadamente dura de clase baja ya que presento valores entre 44-47 Mpa y la zona 7,8 al igual que las primeras zonas presento una roca dura de clase media con valores entre 70-73 Mpa.
- De acuerdo a los valores del R.Q.D con el 50% predomina una calidad buena. El valor del R.M.R de los macizos rocosos corresponde a calidad media clase III y el valor máximo corresponde a calidad buena. Referente a los valores del S.M.R a rotura planar el 33% corresponden a calidad normal, el 50% a calidad mala y el 17% a calidad muy mala. En cuanto a los valores del S.M.R a rotura por vuelco el 3% corresponde a calidad buena, 36% a calidad normal y el 61 % a calidad mala dicho porcentaje referencia los taludes que presentaran caída de fragmentos de roca en las faldas y carpeta asfáltica. El análisis cinemático determinó la correlación que tiene con el SMR donde predominó con un 45% el SMR en vuelco. Por medio del análisis de simulación de caída de rocas se dictaminó las dos distribuciones graficas de velocidad de traslación y del total de energía cinética donde se relacionó con la información con la investigación de Rosales, et ál (2017), los estudios son aplicados a los tres taludes de roca los cuales fueron: primer talud que corresponde a la toba andesítica, segundo talud de toba dacítica y finalmente el tercer talud de brecha volcánica, teniendo de energía cinética en el tramo de carretera un valor máximo de 13979.3 kJ que provoca daños en la carpeta asfáltica como huellas de penetración o rayaduras.

9. Recomendaciones

Al concluir la presente investigación de caracterización geomecánica de taludes rocosos, se puede realizar las siguientes recomendaciones.

- Orientarse en los autores renombrados y reputados como Hungerbühler para definir mejor la geológica local.
- Para valorar los parámetros del R.M.R se puede utilizar las curvas de valoración que facilitan el manejo e interpolación de miles de datos de manera automática.
- Según el análisis RocFall se puede implementar medidas de mitigación hacia la infraestructura vial o local.
- Para nuestro tramo de estudio según lo recomendado por Romana (1985), se tiene las siguientes medidas de mitigación en los taludes rocosos: re-excavación, drenaje superficial, concreto lanzado y concreto de relleno.

En futuros estudios a realizarse se recomienda lo siguiente:

- Realizar trabajos de estabilización aplicando nuevas tecnologías como el GeoRock 3D que realiza un análisis espacial de caída de rocas.
- Desarrollar a futuro un análisis mecánico de estabilidad con fin de determinar el factor de seguridad del talud, aplicando los procedimientos habituales como es el empleo de métodos de equilibrio límite o el uso de modelos de elementos finitos.
- Prever la caída de grandes volúmenes de fragmentos de roca en futuros trabajos ingenieriles de corrección a partir de la información obtenida del software RocFall 4.0 especialmente en temporadas lluviosas.
- Efectuar labores de limpieza por el volumen desprendido de rocas y colocar las debidas señaléticas de caída de rocas para prevenir accidentes.

10. Referencias

- Anaibys Hernandez, J. (2014). Metodología para el análisis de estabilidad de taludes. [Archivo PDF]. Obtenido de: <https://1library.co/document/y4wx2d9q-metodologia-para-el-analisis-de-estabilidad-de-taludes.html>
- Ayala, M., (2018) Evaluación de levantamientos Topográficos con Drone (Dji Phantom 4 Pro) y Estacion Total, quebrada señor de Quinuapata del distrito de Ayacucho Perú 2018.
- Archie, G. E. (1952). Clasificación de rocas de yacimiento de carbonato y consideraciones petrofísicas. Boletín de la Asociación Estadounidense de Geólogos del Petróleo.
- Agasco, R. (2007). Propiedades de las Rocas de Construcción y Ornamentación. Universidad de Granada, España.
- Barton, N., y Bandis, S., (1990). Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice (Archivo PDF). https://www.researchgate.net/publication/260822266_Review_of_predictive_capabilities_of_JRC-JCS_model_in_engineering_practice
- Barton, N., y Choubey, V., (1977). The shear strength of rock joints in theory and practice (Archivo PDF). https://www.researchgate.net/publication/227011689_The_shear_strength_of_rock_joints_in_theory_and_practice
- Benavente, D. (2006). Propiedades físicas y utilización de rocas ornamentales. Universidad de Alicante, Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente.
- Belandria, N., y Bongiorno F. (2012). Clasificaciones geomecánica de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown. y romana [Archivo PDF]. ga
- Bieniawsky, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Classifications
- Brown, E.T. (1981). Rock Characterization Testing and Monitoring. -ISMR Suggested Methods. (Feijoo Calle, E. P. trad): Pergamon Press, Oxford.
- Cerquera, Araujo, A., Rodriguez, Machado, C, A. Ruano, Fonseca, D, F., (2017) Analisis mineralógico, químico y porosimétrico de los agregados pétreos de una cantera perteneciente a la formación geológica de la sabána en el municipio de Soacha - Cundinamarca [Trabajo de grado, Ingeniería de Pavimentos]. Universidad Católica de Colombia. Repositorio institucional Universidad Cuenca. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/15337>
- Cruden, D.M y Varnes, D. J. (1996). Landslide Types and Processes. (M. O. Rodríguez Naranjo, trad). Universidad Central del Ecuador. (Trabajo original publicado en 2016).

- Feijoo Calle, E. P. (2021). Análisis geomecánico del macizo rocoso que conforma los taludes del sector la Era-San Bernabé, Catamayo-Loja [Trabajo de titulación, Ingeniería en Minas]. Tomado de: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/11146/1/16684.pdf>
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuno, Luis., Oteo, C., (2002). Ingeniería Geológica. Pearson.
- González Maldonado, A. G. (2018). Caracterización geomecánica del macizo rocoso, para su aplicación en geotécnia, en el sector Lacuarqui, Loja-Ecuador [Trabajo de titulación, Ingeniería en Geología y Minas]. Universidad Técnica Particular de Loja. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica Particular de Loja. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/21959>.
- Hoek, E., Carranza, Torres, C., Corkum, B., (2002). El criterio de rotura de Hoek-Brown (Archivo PDF). <https://www.researchgate.net/publication/255644086> El criterio de rotura de Hoek -Brown - Edicion 2002 Hoek-Brown failure criterion - 2002 Edition
- Hoek, E., y Brown, E, T., (1987). Practical estimates of rock mass strength. (Archivo PDF). <https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/1997-Practical-Estimatesof-Rock-Mass-Strength.pdf>
- Hungerbühler, D., (1997). Neogene basins in the Andes of southern Ecuador: Evolution, deformation and regional tectonic impliations.
- Instituto Geográfico Militar (2008). Especificaciones Técnicas para Ortofotos Digitales.
- ISRM, (1981). Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring (ISRM). (M. O. Rodríguez Naranjo, trad). Suggested methods. Ed. E.T. Brown. Pergamon Press.
- Machado, M., y Pertúz, J. (2020) Análisis de la utilización de drones para el levantamiento topográfico en sitios habitados donde se presentan aguas estancadas en el municipio de Ciénaga Magdalena. [Trabajo de grado de Ingeniería Civil]. Universidad Cooperativa de Colombia. Repositorio institucional Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/32568>
- Morales, A. F. (2015). Remoción en masa. Academia.edu. https://www.academia.edu/17962845/Remoci%C3%B3n_en_masa
- Pfeiffer, T. J. H. J. A. D., 1995. Colorado Rockfall Simulation Program, s.l.: Colorado School of Mines.
- Ramírez Oyanguren, P., y Alejano Monge, L. (2004) Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes. E.T.S.I Minas (UPM).
- Rodríguez, J. A. (2007). Caracterización de macizos rocosos.

- Rosales Garzón et al. (2011). Análisis de la amenaza de caída de rocas a partir del estudio de huellas de impacto sobre carreteras. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/33412>
- Suárez Díaz, J. (2009). Análisis Geotécnico (1ra. ed.)
- Universidad de los Andes. (2018). Propiedades físicas mecánica de las rocas. [Diapositiva de PowerPoint]. Tomado de: <https://fdocuments.ec/document/propiedades-de-la-matriz-rocosa.html>.
- Universidad Politécnica de Caralunya. (s.f). Introducción al macizo rocoso, clasificaciones geomecánicas. [Diapositiva de power point]. Deca. <https://deca.upc.edu/es/el-departamento/secciones/itcg/docencia/asignaturas/gmcp>
- Varnes, J. D. (1978). Slope Movement Types and Processes. (M. O. Rodríguez Naranjo, trad). Universidad Central del Ecuador. (Trabajo original publicado en 2016).
- Velasco, J. (2022). Tema de mecánica de rocas. Academia.edu. https://www.academia.edu/35681286/TEMA_DE_MECANICA_DE_ROCAS
- Warren, D. S.(1998). ROCKFALL: A TOOL FOR PROBABILISTIC ANALYSIS, DESIGN OF REMEDIAL MEASURES AND PREDICTION OF ROCKFALLS. Departamento de ingeniería Civil, Universidad de Toronto. https://static.rocscience.cloud/assets/verification-and-theory/RocFall/thesis_body.pdf
- Yupanqui, I. L. T. (2004). Determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas y monitoreo de la masa rocosa.

11. Anexos

Anexos 1. Ficha de afloramientos

	Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial			
FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
Afloramiento No.			Datum	
Ubicación:			Fecha:	
Coordenadas UTM	X:	Y:	Z:	
Formación/Unidad				
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>		<i>Artificial</i>	
Relieve:	Llano		De colinas	
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales		
Dimensiones:				
Muestra				
Estado de alteración				
Observaciones:				
Fotografía:				



Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos
Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	1		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 667195	Y: 9538380	Z: 1921 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Formación la Cruz/ Unidad Sacapalca			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>		<i>Artificial</i>	X
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	140°/60°	
Dimensiones:	5,5 m x 100 m			
Muestra	Si (MA-01)			
Estado de alteración	Ligeramente alterada			
Observaciones:	<i>Afloramiento artificial producto del corte de vía., presenta escasa cobertura vegetal y una ligera meteorización, la litología se trata de una toba volcánica de composición andesítica, conformado por varias familias de juntas</i>			

Fotografía:





Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos
Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	2		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 667137	Y: 9538147	Z: 1925 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Formación la Cruz/ Unidad Sacapalca			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>		<i>Artificial</i>	X
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	228°/70°	
Dimensiones:	12 m x 150 m			
Muestra	Si (MA-02)			
Estado de alteración	Ligeramente alterada			
Observaciones: <i>Afloramiento artificial producto del corte de vía., presenta escasa cobertura vegetal y una ligera meteorización, la litología se trata de una toba volcánica de composición andesítica, conformado por varias familias de juntas.</i>				
Fotografía:				



Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos
Naturales No Renovables Carrera de Geología
Ambiental y Ordenamiento Territorial

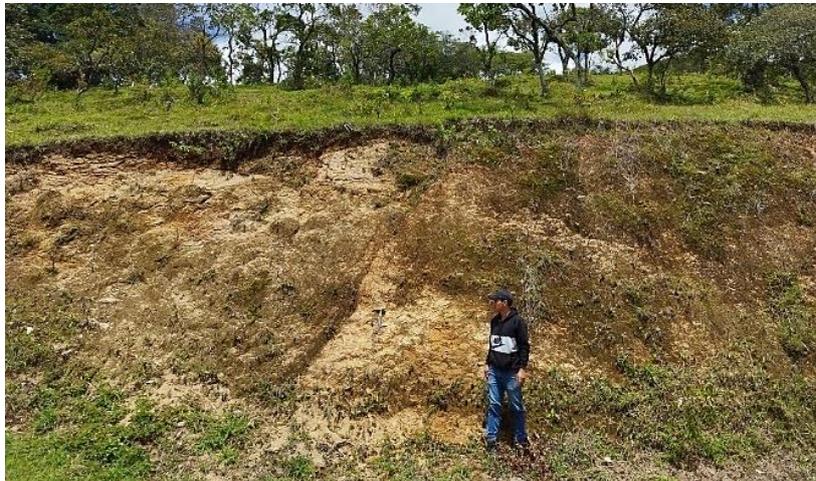


FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	3		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 667051	Y: 9538024	Z: 1912 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Formación la Cruz/ Unidad Sacapalca			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>		<i>Artificial</i>	X
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	152°/50°	
Dimensiones:	3.5 m x 10 m			
Muestra	No			
Estado de alteración	Completamente alterada			

Observaciones: *Afloramiento artificial producto del corte de vía, con moderada presencia de cobertura vegetal de pastizales y arbustos en lo alto del afloramiento, se trata de Saprolito de toba cristalina volcánico de clastos andesíticos con matriz de arcilla volcánica soportada, presenta meteorización química completa debido a la exposición original de la roca, esta litología reposa sobre el macizo rocoso de litología toba cristalina de composición andesítica.*

Fotografía:





Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos
Naturales No Renovables Carrera de Geología
Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	4		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 667463	Y: 9537973	Z: 1901 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Formación la Cruz/ Unidad Sacapalca			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>		<i>Artificial</i>	X
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	180°/71°	
Dimensiones:	10 m x 50 m			
Muestra	Si (MA-03)			
Estado de alteración	Ligeramente alterada			

Observaciones: *Afloramiento artificial producto del corte de vía, con presencia de cobertura vegetal de pastizales y arbustos en lo alto y bajo del afloramiento, la litología se trata de una toba blanca volcánica de composición dacítica, conformado por varias familias de juntas.*

Fotografía:





Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos
Naturales No Renovables Carrera de Geología
Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	5		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 666922	Y: 9537873	Z: 1885 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Formación la Cruz/ Unidad Sacapalca			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>		<i>Artificial</i>	X
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	90°/62°	
Dimensiones:	12 m x 40 m			
Muestra	Si (MA-04)			
Estado de alteración	Ligeramente alterada			
Observaciones:	<i>Afloramiento artificial originado por el corte de la vía, con poca presencia de cobertura vegetal, la litología pertenece a una brecha volcánica de clastos de composición andesíticos con matriz de arenisca volcánica soportada, se encuentra ligeramente meteorizada y la presencia de varias familias de juntas</i>			
Fotografía:				



Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos
Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	6		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 666862	Y: 9537609	Z: 1880 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Formación la Cruz/ Unidad Sacapalca			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>		<i>Artificial</i>	X
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	129°/48°	
Dimensiones:	3.4 m x 80 m			
Muestra	Si (MA-05)			
Estado de alteración	Completamente alterada			

Observaciones: *Afloramiento artificial producto del corte de vía, con moderada presencia de cobertura vegetal de pastizales, se trata de Saprolito Brechoso volcánico de clastos andesíticos con matriz de arcilla volcánica soportada alterada, presenta meteorización química completa debido a la exposición original de la roca, esta litología reposa sobre el macizo rocoso de litología Brecha volcánica.*

Fotografía:





Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos
Naturales No Renovables Carrera de Geología
Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	7		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 666863	Y: 9537457	Z: 1878 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Formación la Cruz/ Unidad Sacapalca			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>		<i>Artificial</i>	X
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	282°/68°	
Dimensiones:	12.6 metros de altura; 40 metros de longitud			
Muestra	Si (MA-06)			
Estado de alteración	Ligeramente alterada			

Observaciones: *Afloramiento artificial originado por el corte de la vía, con poca presencia de cobertura vegetal, la litología pertenece a una brecha volcánica de clastos andesíticos con matriz de arenisca volcánica soportada, se encuentra ligeramente meteorizada y la presencia de varias familias de juntas.*

Fotografía:





Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos
Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	8		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 667061	Y: 9537989	Z: 1918 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Formación la Cruz/ Unidad Sacapalca			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>		<i>Artificial</i>	X
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	252°/65°	
Dimensiones:	3 m x 25 m			
Muestra	No			
Estado de alteración	Completamente alterada			

Observaciones: *Afloramiento artificial producto del corte de vía, con moderada presencia de cobertura vegetal de pastizales, se trata de Saprolito Brechoso volcánico de clastos andesíticos con matriz de arcilla volcánica soportada alterada, presenta meteorización química completa debido a la exposición original de la roca, esta litología reposa sobre el macizo rocoso de litología Brecha volcánica. Ubicado en la sección superior de la faja vial.*

Fotografía:





Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos
Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	9		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 666886	Y: 9537531	Z: 1842 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Formación la Cruz/ Unidad Sacapalca			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>		<i>Artificial</i>	X
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	246°/50°	
Dimensiones:	6 m x 9 m			
Muestra	No			
Estado de alteración	Moderadamente alterada			
Observaciones:	<i>Presenta cobertura vegetal de pastizales, arbustos alrededor de todo el afloramiento, se trata de una brecha volcánica con clastos de composición andesíticos, se encuentra muy meteorizado.</i>			
Fotografía:				



Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos
Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	10		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 667196	Y: 9538205	Z: 1940 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Formación la Cruz/ Unidad Sacapalca			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>		<i>Artificial</i>	X
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	286°/ 60°	
Dimensiones:	5 m x 12 m			
Muestra	No			
Estado de alteración	Moderadamente alterada			
Observaciones:	<i>Presenta cobertura vegetal de pastizales, arbustos en lo alto del afloramiento, se trata de una toba volcánica de composición andesítica, alojado en el eje superior del tramo de estudio.</i>			

Fotografía:





Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos
Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	11		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 667220	Y: 9538308	Z: 1915 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Formación la Cruz/ Unidad Sacapalca			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>	X	<i>Artificial</i>	
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	150°/55°	
Dimensiones:	3.25 m x 6 m			
Muestra	No			
Estado de alteración	Altamente alterada			

Observaciones: *Presenta cobertura vegetal de pastizales, arbustos en lo alto y bajo del afloramiento, se trata de una toba volcánica de composición andesítica, alojado en el eje superior del tramo de estudio.*

Fotografía:





Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos
Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	12		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 667225	Y: 9538373	Z: 1909 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Formación la Cruz/ Unidad Sacapalca			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>		<i>Artificial</i>	X
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	115°/60°	
Dimensiones:	9 m x 18 m			
Muestra	No			
Estado de alteración	Altamente alterada			
Observaciones:	<i>Presenta cobertura vegetal de pastizales, arbustos en lo alto del afloramiento, se trata de una toba volcánica de composición andesítica, alojado en el eje superior del tramo de estudio.</i>			
Fotografía:				



Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales
No Renovables Carrera de Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	13		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 667043	Y: 9538074	Z: 1836 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Formación la Cruz/ Unidad Sacapalca			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	Natural	X	Artificial	
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	144°/60°	
Dimensiones:	3 m x 4 m			
Muestra	No			
Estado de alteración	Completamente alterada			

Observaciones: Afloramiento natural, con vegetación moderada y una completa meteorización, la litología corresponde a depósito coluvial compuesto por cantos angulosos mal sorteados, producto de la erosión de la las tobas y brechas volcánicas envuelto en una matriz arenosa cuyo espesor no supera los 3 metros, ubicado en la sección baja de la faja vial.

Fotografía:





Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales
No Renovables Carrera de Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	14		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 666794	Y: 9537692	Z: 1834 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Formación la Cruz/ Unidad Sacapalca			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>	X	<i>Artificial</i>	
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	210°/60°	
Dimensiones:	1.5 x 2.5 m			
Muestra	No			
Estado de alteración	Completamente alterada			

Observaciones: Afloramiento natural, con vegetación moderada y una completa meteorización, la litología corresponde a depósito coluvial compuesto por cantos angulosos mal sorteados, producto de la erosión de las tobas y brechas volcánicas envuelto en una matriz arenosa cuyo espesor no supera los 3 metros, ubicado en la sección baja de la faja vial.

Fotografía:





Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos
Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

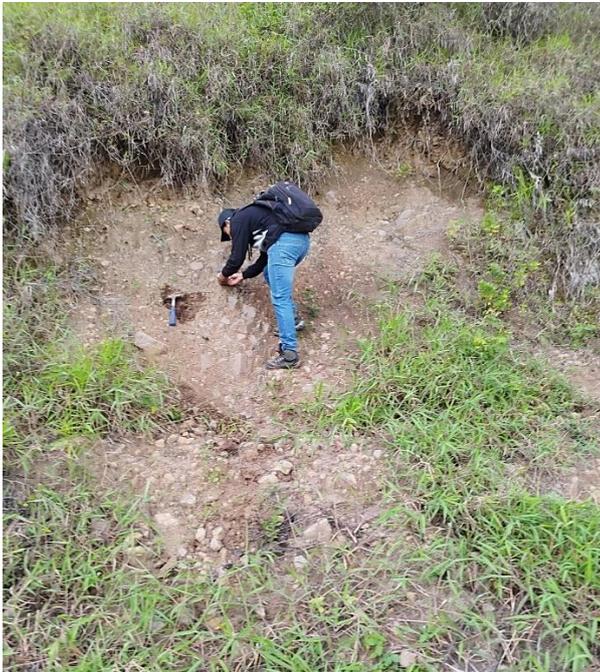
Afloramiento No.	15		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 666832	Y: 9537495	Z: 1846 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Formación la Cruz/ Unidad Sacapalca			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>	X	<i>Artificial</i>	
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo		Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	170°/70°	
Dimensiones:	2 m x 2.5 m			
Muestra	No			
Estado de alteración	Completamente alterada			

Observaciones: *Afloramiento natural, con vegetación moderada y una completa meteorización, la litología corresponde a depósito coluvial compuesto por cantos angulosos mal sorteados, producto de la erosión de la las tobas y brechas volcánicas envuelto en una matriz arenosa cuyo espesor no supera los 3 metros, ubicado en la sección baja de la faja vial.*

Fotografía:



	Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial			
	FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS			
Afloramiento No.	16		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 667094	Y: 9538176	Z: 1825 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Equivalente lateral de la Fm. Loma Blanca; Miembro Volcano-clástico Brechas volcánicas, tobas			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>	X	<i>Artificial</i>	
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo	X	Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	184°/72°	
Dimensiones:	3 m x 5 m			
Muestra	No			
Estado de alteración	Completamente alterada			
Observaciones: <i>Afloramiento natural, con vegetación moderada y una completa meteorización, la litología corresponde a depósito coluvial compuesto por cantos angulosos mal sorteados, producto de la erosión de la las tobas y brechas volcánicas envuelto en una matriz arenosa cuyo espesor no supera los 3 metros, ubicado en la sección baja de la faja vial.</i>				
Fotografía: 				

	Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial			
	FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS			
Afloramiento No.	17		Datum	WGS-84
Ubicación:	Cerro Surapo, vía Sunamanga-Sacapalca		Fecha:	3 de abril del 2023
Coordenadas UTM	X: 667149	Y: 9538373	Z: 1852 m.s.n.m	
Formación/Unidad	Equivalente lateral de la Fm. Loma Blanca; Miembro Volcano-clástico Brechas volcánicas, tobas			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	<i>Natural</i>	X	<i>Artificial</i>	
Relieve:	Llano		De colinas	X
	Bajo	X	Montañoso	
Medidas estructurales		Datos estructurales	146°/60°	
Dimensiones:	3 m x 4.5 m			
Muestra	No			
Estado de alteración	Completamente alterada			
Observaciones: <i>Afloramiento natural, con vegetación moderada y una completa meteorización, la litología corresponde a depósito coluvial compuesto por cantos angulosos mal sorteados, producto de la erosión de la las tobas y brechas volcánicas envuelto en una matriz arenosa cuyo espesor no supera los 3 metros, ubicado en la sección baja de la faja vial.</i>				
Fotografía: 				

Anexos 2. Ficha de descripción macroscópica de rocas

Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial			
			
FICHA DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS			
Elaborado por:			Nro.
Tipo de la muestra			Código:
Información geográfica	X:	Y:	Z:
Coordenadas UTM	Ubicación / Sitio		
Descripción petrográfica			
Características de los componentes			
<i>Color</i>			
<i>Textura</i>			
<i>Estructura</i>			
<i>Tamaño de grano</i>			
<i>% fenocristales</i>			
<i>% matriz</i>			
Contenido de minerales			
<i>Minerales principales</i>			
<i>Minerales secundarios</i>			
<i>Mineralización</i>			
<i>Alteración mineralógica</i>			
<i>Grado de meteorización</i>			
<i>Observaciones</i>			
<i>Nombre de la roca</i>			

Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología
Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS



Elaborado por:	Cueva Domínguez Freddy Bryan	Nro. 1	
Tipo de la muestra	-	Código: MA-01	
Información geográfica Coordenadas UTM	X: 667137	Y: 9538147	
	Ubicación / Sitio: Gonzanamá-Loja / Potrerillos-Sacapalca (Cerro Surapo)		
Descripción petrográfica			
Características de los componentes			
Color	Gris oscuro		
Textura	Porfirítica		
Estructura	Masiva		
Tamaño de grano	Fino a medio		
% fenocristales	45%		
% matriz	65%		
Contenido de minerales			
Minerales principales	Plagioclasa Hornblenda Clinopiroxeno		
Minerales secundarios	Epidota, ceniza, vidrio volcánico, opacos		
Mineralización	Baja		
Alteración mineralógica	-		
Grado de meteorización	Baja		
Observaciones	-		
Nombre de la roca	Toba andesítica		

Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología
Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS



Elaborado por:	Cueva Domínguez Freddy Bryan	Nro. 2
Tipo de la muestra	-	Código: MA-02
Información geográfica Coordenadas UTM	X: 667137	Y: 9538147
	Ubicación / Sitio: Gonzanamá-Loja / Potrerillos-Sacapalca (Cerro Surapo)	
Descripción petrográfica		
Características de los componentes		
Color	Gris oscuro	
Textura	Porfírica	
Estructura	Masiva	
Tamaño de grano	Fino a medio	
% fenocristales	45%	
% matriz	65%	
Contenido de minerales		
Minerales principales	Plagioclasa Hornblenda Clinopiroxeno	
Minerales secundarios	Epidota, ceniza, vidrio volcánico, opacos	
Mineralización	Baja	
Alteración mineralógica	-	
Grado de meteorización	Baja	
Observaciones	-	
Nombre de la roca	Toba andesítica	

Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología
Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS



Elaborado por:	Cueva Domínguez Freddy Bryan	Nro. 3
Tipo de la muestra	-	Código: MA-03
Información geográfica Coordenadas UTM	X: 667463	Y: 9537973
	Ubicación / Sitio: Gonzanamá-Loja / Potrerillos-Sacapalca (Cerro Surapo)	
Descripción petrográfica		
Características de los componentes		
Color	Grís claro a blanco	
Textura	Porfídica	
Estructura	Masiva	
Tamaño de grano	Fino a medio	
% fenocristales	55%	
% matriz	45%	
Contenido de minerales		
Minerales principales	Plagioclasa Anfibol Piroxeno Hornblenda	
Minerales secundarios	Epidota Opacos Óxidos	
Mineralización	Baja	
Alteración mineralógica	-	
Grado de meteorización	Media	
Observaciones	-	
Nombre de la roca	Toba blanca de composición dacítica	

Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología
Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS



Elaborado por:	Cueva Domínguez Freddy Bryan	Nro. 4
Tipo de la muestra	-	Código: MA-05
Información geográfica Coordenadas UTM	X: 666922	Y: 9537873
	Ubicación / Sitio: Gonzanamá-Loja / Potrerillos-Sacapalca (Cerro Surapo)	
Descripción petrográfica		
Características de los componentes		
Color	Gris claro	
Textura	Porfídica	
Estructura	Masiva	
Tamaño de grano	Fino a medio	
% fenocristales	40%	
% matriz	60%	
Contenido de minerales		
Minerales principales	Plagioclasa andesina Piroxenos	
Minerales secundarios	Hornblenda opacos	
Mineralización	Baja	
Alteración mineralógica	-	
Grado de meteorización	Baja	
Observaciones	La muestra fue obtenida de clasto de la brecha que es roca de composición andesítica	
Nombre de la roca	Brecha volcánica	

Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología
Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS



Elaborado por:	Cueva Domínguez Freddy Bryan	Nro. 5
Tipo de la muestra	-	Código: MA-06
Información geográfica Coordenadas UTM	X: 666862	Y: 9537609
	Ubicación / Sitio: Gonzanamá-Loja / Potrerillos-Sacapalca (Cerro Surapo)	
Descripción petrográfica		
Características de los componentes		
Color	Café claro	
Textura	Porfídica	
Estructura	Masiva	
Tamaño de grano	Fino a medio	
% fenocristales	35%	
% matriz	65%	
Contenido de minerales		
Minerales principales	Plagioclasa	
Minerales secundarios	Hornblenda, Arcilla, caolinita, opacos	
Mineralización	Muy Baja	
Alteración mineralógica	Argílica	
Grado de meteorización	Muy Alto	
Observaciones	Completamente alterada	
Nombre de la roca	Brecha volcánica alterada (Saprolito)	

Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología
Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS



Elaborado por:	Cueva Domínguez Freddy Bryan	Nro. 6	
Tipo de la muestra	-	Código: MA-07	
Información geográfica Coordenadas UTM	X: 666863	Y: 9537457	
	Ubicación / Sitio: Gonzanamá-Loja / Potrerillos-Sacapalca (Cerro Surapo)		
Descripción petrográfica			
Características de los componentes			
Color	Gris		
Textura	Porfídica		
Estructura	Masiva		
Tamaño de grano	Fino a medio		
% fenocristales	40%		
% matriz	60%		
Contenido de minerales			
Minerales principales	Plagioclasa andesina Piroxenos		
Minerales secundarios	Hornblenda opacos		
Mineralización	Baja		
Alteración mineralógica	-		
Grado de meteorización	Baja		
Observaciones	La muestra fue obtenida de clasto de la brecha que es roca de composición andesítica		
Nombre de la roca	Brecha volcánica		

Anexos 3. Ficha de Zonificación

 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							
PROYECTO:	CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS UBICADOS EN EL TRAMO POTRERILLOS-SACAPALCA, DE LA VÍA SUNAMANGA-SACAPALCA DEL CANTÓN GONZANAMÁ, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR.	UBICACIÓN GEOGRAFICA:	667195; 9538408	HOJA/PLANO:	1/1		
REALIZADO POR:	Freddy Bryan Cueva Domínguez	LOCALIZACIÓN:	00+000 A 00+050	Nro. FICHA:	1		
LITOLOGÍA:	NATURALEZA: Volcano clásico	POTENCIA:	50 m	FORMACIÓN Y EDAD: Formación equivalente lateral a la Fm. Loma Blanca (OLIGOCENO)			
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA: Toba volcánica de composición andesítica, textura cinerítica porfirítica, con poca presencia de cobertura vegetal	MORFOLOGÍA:	Afloramiento vertical artificial, erosionado				
ESTRUCTURA	PLIEGUES	FALLAS	Micro fallas con relleno calco alcalino	OTROS: Familia de juntas			
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv juntas/m3	Muy Grandes < 1	Grandes X 1 - 3	Medios 3 - 10	Pequeños 10 - 30	Muy Pequeños >30	Muy Brechificado >60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe de martillo) 3	Dura (+1 golpe de martillo) 4	Muy dura X (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Solo raya con martillo)
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Inalterada (6)	II Ligeramente alterada (5)	III X Moderadamente alterada (3)	IV Muy alterada (1)	V Completamente Meteorizada (0)	IV Suelo residual (0)	
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco (sin señales de agua) X	Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO:	
MUESTRAS	Una muestra de mano	OBSERVACIONES: en algunas juntas existe la presencia en las fracturas de relleno calco alcalino					
FOTO N° 1				FOTO N° 2			
							



PROYECTO:	CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS UBICADOS EN EL TRAMO POTRERILLOS-SACAPALCA, DE LA VÍA SUNAMANGA-SACAPALCA DEL CANTÓN GONZANAMÁ, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR.			UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	667190; 9538408	HOJA/PLANO:	2/2
REALIZADO POR:	Freddy Bryan Cueva Domínguez			LOCALIZACIÓN:	00+050 A 00+160	Nro. FICHA:	2
LITOLOGÍA:	NATURALEZA: Volcano clástico			POTENCIA:	110 m	FORMACIÓN Y EDAD: Formación equivalente lateral a la Fm. Loma Blanca (OLIGOCENO)	
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA: Toba volcánica de composición andesítica, textura porfírica, con poca presencia de cobertura vegetal			MORFOLOGÍA: Afloramiento vertical artificial, erosionado			
ESTRUCTURA	PLIEGUES			FALLAS		OTROS: Familia de juntas	
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv juntas/m ³	Muy Grandes < 1	Grandes X 1 - 3	Medios 3 -10	Pequeños 10 - 30	Muy Pequeños >30	Muy Brechificado >60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe de martillo) 3	Dura (+1 golpe de martillo) 4	Muy dura X (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Solo raya con martillo)
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Inalterada (6)	II Ligeramente alterada (5)	III X Moderadamente alterada (3)	IV Muy alterada (1)	V Completamente Meteorizada (0)	IV Suelo residual (0)	
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco (sin señales de agua) X	Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO:	
MUESTRAS	Una muestra de mano			OBSERVACIONES: No se evidencia presencia de relleno en las fracturas o en juntas			
FOTO N° 1				FOTO N° 2			
							



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



PROYECTO:	CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS UBICADOS EN EL TRAMO POTRERILLOS-SACAPALCA, DE LA VÍA SUNAMANGA-SACAPALCA DEL CANTÓN GONZANAMÁ, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR.			UBICACIÓN GEOGRAFICA:	667167; 9538242	HOJA/PLANO:	3/3
REALIZADO POR:	Freddy Bryan Cueva Domínguez			LOCALIZACIÓN:	00+160 A 00+280	Nro. FICHA:	3
LITOLOGÍA:	NATURALEZA: Volcano clástico			POTENCIA: 140 m		FORMACIÓN Y EDAD: Formación equivalente lateral a la Fm. Loma Blanca (OLIGOCENO)	
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA: Toba volcánica de composición andesítica, textura porfírica, con poca presencia de cobertura vegetal			MORFOLOGÍA: Afloramiento vertical artificial, erosionado			
ESTRUCTURA	PLIEGUES			FALLAS			OTROS: Familia de juntas
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv juntas/m3	Muy Grandes < 1	Grandes X 1 - 3	Medios 3 - 10	Pequeños 10 - 30	Muy Pequeños >30	Muy Brechificado >60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe de martillo) 3	Dura (+1 golpe de martillo) 4	Muy dura X (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Solo raya con martillo)
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Inalterada (6)	II Ligeramente alterada (5)	III X Moderadamente alterada (3)	IV Muy alterada (1)	V Completamente Meteorizada (0)	IV Suelo residual (0)	
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco (sin señales de agua) X	Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO:	
MUESTRAS	Una muestra de mano			OBSERVACIONES: No se evidencia presencia de relleno en las fracturas o en juntas			

FOTO N° 1



FOTO N° 2





PROYECTO:	CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS UBICADOS EN EL TRAMO POTRERILLOS-SACAPALCA. DE LA VÍA SUNAMANGA-SACAPALCA DEL CANTÓN GONZANAMÁ, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR.			UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	667131; 9538139	HOJA/PLANO:	4/4
REALIZADO POR:	Freddy Bryan Cueva Domínguez			LOCALIZACIÓN:	00+280 A 00+420	Nro. FICHA:	4
LITOLOGÍA:	NATURALEZA: Volcano clástico			POTENCIA:	85 m	FORMACIÓN Y EDAD: Formación equivalente lateral a la Fm. Loma Blanca (OLIGOCENO)	
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA: Toba volcánica de composición andesítica, textura porfirítica, con poca presencia de cobertura vegetal			MORFOLOGÍA: Afloramiento vertical artificial, erosionado			
ESTRUCTURA	PLIEGUES			FALLAS			OTROS: Familia de juntas
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv juntas/m3	Muy Grandes < 1	Grandes X 1 - 3	Medios 3 -10	Pequeños 10 - 30	Muy Pequeños >30	Muy Brechificado >60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe de martillo) 3	Dura (+1 golpe de martillo) 4	Muy dura X (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Solo raya con martillo)
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)	III X Moderadamente alterada (3)	IV Muy alterada (1)	V Completamente Meteorizada (0)	IV Suelo residual (0)
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua		Seco (sin señales de agua) X	Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO:
MUESTRAS	Una muestra de mano			OBSERVACIONES: No se evidencia presencia de relleno en las fracturas o en juntas			

FOTO N° 1



FOTO N° 2





PROYECTO:	CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS UBICADOS EN EL TRAMO POTRERILLOS-SACAPALCA, DE LA VÍA SUNAMANGA-SACAPALCA DEL CANTÓN GONZANAMÁ, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	667035; 9538016	HOJA/PLANO:	5/5		
REALIZADO POR:	Freddy Bryan Cueva Domínguez	LOCALIZACIÓN:	00+450 A 00+535	Nro. FICHA:	5		
LITOLOGÍA:	NATURALEZA: Volcano clásico	POTENCIA:	85 m	FORMACIÓN Y EDAD: Formación equivalente lateral a la Fm. Loma Blanca (OLIGOCENO)			
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA: Toba volcánica de composición dacítica, textura porfírica, con poca presencia de cobertura vegetal, de color gris a blanco		MORFOLOGÍA: Afloramiento vertical artificial, erosionado				
ESTRUCTURA	PLIEGUES		FALLAS		OTROS: Familia de juntas		
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv juntas/m3	Muy Grandes < 1	Grandes X 1 - 3	Medios 3 - 10	Pequeños 10 - 30	Muy Pequeños >30	Muy Brechificado >60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe de martillo) 3	Dura (+1 golpe de martillo) 4	Muy dura X (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Solo raya con martillo)
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Inalterada (6)	II Ligeramente alterada (5)	III X Moderadamente alterada (3)	IV Muy alterada (1)	V Completamente Meteorizada (0)	IV Suelo residual (0)	
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco (sin señales de agua) X	Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO:	
MUESTRAS	Una muestra de mano		OBSERVACIONES: No se evidencia presencia de relleno en las fracturas o en juntas				

FOTO N° 1



FOTO N° 2





PROYECTO:	CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS UBICADOS EN EL TRAMO POTRERILLOS-SACAPALCA, DE LA VÍA SUNAMANGA-SACAPALCA DEL CANTÓN GONZANAMÁ, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR.			UBICACIÓN GEOGRAFICA:	666974; 9537953	HOJA/PLANO:	6/6
REALIZADO POR:	Freddy Bryan Cueva Domínguez			LOCALIZACIÓN:	00+535 A 00+595	Nro. FICHA:	6
LITOLOGÍA:	NATURALEZA: Volcano clásico			POTENCIA: 60 m	FORMACIÓN Y EDAD: Formación equivalente lateral a la Fm. Loma Blanca (OLIGOCENO)		
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA: Toba volcánica de composición dacítica, textura porfírica, con poca presencia de cobertura vegetal, de color gris a blanco			MORFOLOGÍA: Afloramiento vertical artificial, erosionado			
ESTRUCTURA	PLIEGUES			FALLAS		OTROS: Familia de juntas	
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv juntas/m3	Muy Grandes < 1	Grandes X 1 - 3	Medios 3 - 10	Pequeños 10 - 30	Muy Pequeños >30	Muy Brechificado >60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe de martillo) 3	Dura (+1 golpe de martillo) 4	Muy dura X (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Solo raya con martillo)
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Inalterada (6)	II Ligeramente alterada (5)	III X Moderadamente alterada (3)	IV Muy alterada (1)	V Completamente Meteorizada (0)	IV Suelo residual (0)	
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco (sin señales de agua) X	Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO:	
MUESTRAS	Una muestra de mano			OBSERVACIONES: No se evidencia presencia de relleno en las fracturas o en juntas			

FOTO N° 1



FOTO N° 2





PROYECTO:	CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS UBICADOS EN EL TRAMO POTRERILLOS-SACAPALCA, DE LA VÍA SUNAMANGA-SACAPALCA DEL CANTÓN GONZANAMÁ, PROVINCIA DE LOJA, ECUADOR.			UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	666937; 9537477	HOJA/PLANO:	7/7
REALIZADO POR:	Freddy Bryan Cueva Domínguez			LOCALIZACIÓN:	00+595 A 00+680	Nro. FICHA:	7
LITOLOGÍA:	NATURALEZA: Volcano clástico			POTENCIA: 85 m	FORMACIÓN Y EDAD: Formación equivalente lateral a la Fm. Loma Blanca (OLIGOCENO)		
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA: Brecha volcánica de clastos Andesíticos, textura Brechificada, con poca presencia de cobertura vegetal, de color gris a café, sus clastos son andesitas de color oscuro.			MORFOLOGÍA: Afloramiento vertical artificial, erosionado			
ESTRUCTURA	PLIEGUES			FALLAS		OTROS: Familia de juntas	
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv juntas/m3	Muy Grandes < 1	Grandes X 1 - 3	Medios 3 -10	Pequeños 10 - 30	Muy Pequeños >30	Muy Brechificado >60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe de martillo) 3	Dura (+1 golpe de martillo) 4	Muy dura X (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Solo raya con martillo)
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Inalterada (6)	II Ligeramente alterada (5)	III X Moderadamente alterada (3)	IV Muy alterada (1)	V Completamente Meteorizada (0)	IV Suelo residual (0)	
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco (sin señales de agua) X	Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO:	
MUESTRAS	Una muestra de mano			OBSERVACIONES: No se evidencia presencia de relleno en las fracturas o en juntas			

FOTO N° 1



FOTO N° 2





PROYECTO:		Caracterización geomecánica de los macizos rocosos ubicados en el tramo vial poterillos-Sacapalca		UBICACIÓN GEOGRÁFICA:		666859; 9537953		HOJA/PLANO:		8/8			
REALIZADO POR:		Freddy Bryan Cueva Domínguez		LOCALIZACIÓN:		01+60 A 01+100		Nro. FICHA:		8			
LITOLOGÍA:		NATURALEZA: Volcano clástico				POTENCIA: 40 m		FORMACIÓN Y EDAD: Formación equivalente lateral a la Fm. Loma Blanca (OLIGOCENO)					
FORMACIONES SUPERFICIALES		NATURALEZA Y TEXTURA: Brecha volcánica de clastos Andesíticos, textura Brechificada, con poca presencia de cobertura vegetal, de color gris a café, sus clastos son andesitas de color oscuro.				MORFOLOGÍA: Afloramiento vertical artificial, erosionado							
ESTRUCTURA		PLIEGUES				FALLAS				OTROS: Familia de juntas			
FRACTURACIÓN		BLOQUES Jv juntas/m3	Muy Grandes < 1	Grandes X 1 - 3	Medios 3 -10	Pequeños 10 - 30	Muy Pequeños >30	Muy Brechificado >60					
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA		Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe de martillo) 3	Dura (+1 golpe de martillo) 4	Muy dura X (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Solo raya con martillo)					
GRADOS DE METEORIZACIÓN		I Inalterada (6)	II Ligeramente alterada (5)	III X Moderadamente alterada (3)		IV Muy alterada (1)	V Completamente Meteorizada (0)		IV Suelo residual (0)				
HIDROGEOLOGÍA		Sin presencia de agua		Seco (sin señales de agua) X	Húmedo		Goteos	Flujo		CAUDAL ESTIMADO:			
MUESTRAS		Una muestra de mano				OBSERVACIONES: No se evidencia presencia de relleno en las fracturas o en juntas							
FOTO N° 1						FOTO N° 2							
													

Anexos 5. Cálculo del ángulo de fricción de la discontinuidad

Zona	Familias	Abs	Valor de rebote sobre discontinuidad (r)	Valor de rebote a la matriz rocosa (R)	Angulo de rozamiento básico del material (ob)	Angulo de rozamiento residual de la discontinuidad (or)	Angulo de rugosidad (í)	Angulo de fricción de la discontinuidad (op)	Zona	Familias	Abs	Valor de rebote sobre discontinuidad (r)	Valor de rebote a la matriz rocosa (R)	Angulo de rozamiento básico del material (ob)	Angulo de rozamiento residual de la discontinuidad (or)	Angulo de rugosidad (í)	Angulo de fricción de la discontinuidad (op)
1	J1	00+000 - 00+020	20	34	35	27	0	27	4	J1	00+340 - 00+360	26	31	35	32	0	32
1	J1	00+000 - 00+020	20	34	35	27	0	27	4	J1	00+340 - 00+360	29	31	35	34	0	34
1	J1	00+000 - 00+020	20	34	35	27	0	27	4	J1	00+340 - 00+360	29	31	35	34	0	34
1	J2	00+000 - 00+020	24	34	35	29	0	29	4	J2	00+340 - 00+360	29	31	35	34	0	34
1	J2	00+000 - 00+020	24	34	35	29	0	29	4	J2	00+340 - 00+360	29	31	35	34	0	34
1	J2	00+000 - 00+020	24	34	35	29	0	29	4	J3	00+340 - 00+360	29	31	35	34	0	34
1	J3	00+000 - 00+020	19	34	35	26	0	26	4	J3	00+340 - 00+360	28	31	35	33	0	33
1	J3	00+000 - 00+020	19	34	35	26	0	26	4	J3	00+340 - 00+360	28	31	35	33	0	33
1	J3	00+000 - 00+020	19	34	35	26	0	26	4	J3	00+340 - 00+360	28	31	35	33	0	33
1	J4	00+000 - 00+020	22	34	35	28	0	28	4	J1	00+360 - 00+380	28	31	35	33	0	33
1	J4	00+000 - 00+020	22	34	35	28	0	28	4	J1	00+360 - 00+380	28	31	35	33	0	33
1	J4	00+000 - 00+020	22	34	35	28	0	28	4	J1	00+360 - 00+380	28	31	35	33	0	33
1	J1	00+020 - 00+035	17	34	35	25	0	25	4	J1	00+360 - 00+380	28	31	35	33	0	33
1	J1	00+020 - 00+035	17	34	35	25	0	25	4	J2	00+360 - 00+380	28	31	35	33	0	33
1	J1	00+020 - 00+035	17	34	35	25	0	25	4	J2	00+360 - 00+380	29	31	35	34	0	34
1	J2	00+020 - 00+035	23	34	35	29	0	29	4	J2	00+360 - 00+380	29	31	35	34	0	34
1	J2	00+020 - 00+035	23	34	35	29	0	29	4	J3	00+360 - 00+380	29	31	35	34	0	34
1	J2	00+020 - 00+035	23	34	35	29	0	29	4	J1	00+380 - 00+400	30	31	35	34	0	34
1	J3	00+020 - 00+035	26	34	35	30	0	30	4	J1	00+380 - 00+400	18	31	35	27	0	27
1	J3	00+020 - 00+035	26	34	35	30	0	30	4	J1	00+380 - 00+400	18	31	35	27	0	27
1	J1	00+035 - 00+050	28	34	35	31	0	31	4	J2	00+380 - 00+400	18	31	35	27	0	27
1	J1	00+035 - 00+050	28	34	35	31	0	31	4	J2	00+380 - 00+400	18	31	35	27	0	27
1	J2	00+035 - 00+050	27	34	35	31	0	31	4	J2	00+380 - 00+400	18	31	35	27	0	27
1	J2	00+035 - 00+050	27	34	35	31	0	31	4	J1	00+400 - 00+420	18	31	35	27	0	27
2	J1	00+050 - 00+070	28	32	35	33	0	33	4	J1	00+400 - 00+420	18	31	35	27	0	27
2	J1	00+050 - 00+070	28	32	35	33	0	33	4	J1	00+400 - 00+420	18	31	35	27	0	27
2	J1	00+050 - 00+070	28	32	35	33	0	33	4	J2	00+400 - 00+420	18	31	35	27	0	27
2	J1	00+050 - 00+070	28	32	35	33	0	33	4	J2	00+400 - 00+420	16	31	35	25	0	25
2	J2	00+050 - 00+070	27	32	35	32	0	32	4	J2	00+400 - 00+420	16	31	35	25	0	25
2	J2	00+050 - 00+070	27	32	35	32	0	32	4	J3	00+400 - 00+420	16	31	35	25	0	25

2	J2	00+050 - 00+070	27	32	35	32	0	32	4	J3	00+400 - 00+420	20	31	35	28	0	28
2	J3	00+050 - 00+070	29	32	35	33	0	33	4	J3	00+400 - 00+420	20	31	35	28	0	28
2	J3	00+050 - 00+070	29	32	35	33	0	33	4	J4	00+400 - 00+420	20	31	35	28	0	28
2	J3	00+050 - 00+070	29	32	35	33	0	33	4	J4	00+400 - 00+420	24	31	35	30	0	30
2	J4	00+050 - 00+070	29	32	35	33	0	33	4	J5	00+400 - 00+420	24	31	35	30	0	30
2	J1	00+070 - 00+090	29	32	35	33	0	33	4	J5	00+400 - 00+420	27	31	35	32	0	32
2	J1	00+070 - 00+090	26	32	35	31	0	31	5	J1	00+450 - 00+470	27	31	35	32	0	32
2	J1	00+070 - 00+090	26	32	35	31	0	31	5	J1	00+450 - 00+470	23	33	35	29	0	29
2	J1	00+070 - 00+090	26	32	35	31	0	31	5	J1	00+450 - 00+470	23	33	35	29	0	29
2	J2	00+070 - 00+090	26	32	35	31	0	31	5	J2	00+450 - 00+470	23	33	35	29	0	29
2	J2	00+070 - 00+090	24	32	35	30	0	30	5	J2	00+450 - 00+470	25	33	35	30	0	30
2	J2	00+070 - 00+090	24	32	35	30	0	30	5	J2	00+450 - 00+470	25	33	35	30	0	30
2	J3	00+070 - 00+090	24	32	35	30	0	30	5	J3	00+450 - 00+470	25	33	35	30	0	30
2	J3	00+070 - 00+090	29	32	35	33	0	33	5	J3	00+450 - 00+470	20	33	35	27	0	27
2	J1	00+090 - 00+110	29	32	35	33	0	33	5	J4	00+450 - 00+470	20	33	35	27	0	27
2	J1	00+090 - 00+110	30	32	35	34	0	34	5	J1	00+470 - 00+495	22	33	35	28	0	28
2	J1	00+090 - 00+110	30	32	35	34	0	34	5	J1	00+470 - 00+495	24	33	35	30	0	30
2	J1	00+090 - 00+110	30	32	35	34	0	34	5	J1	00+470 - 00+495	24	33	35	30	0	30
2	J2	00+090 - 00+110	32	32	35	35	0	35	5	J2	00+470 - 00+495	24	33	35	30	0	30
2	J2	00+090 - 00+110	32	32	35	35	0	35	5	J2	00+470 - 00+495	27	33	35	31	0	31
2	J2	00+090 - 00+110	32	32	35	35	0	35	5	J2	00+470 - 00+495	27	33	35	31	0	31
2	J3	00+090 - 00+110	32	32	35	35	0	35	5	J3	00+470 - 00+495	27	33	35	31	0	31
2	J3	00+090 - 00+110	29	32	35	33	0	33	5	J3	00+470 - 00+495	25	33	35	30	0	30
2	J3	00+090 - 00+110	29	32	35	33	0	33	5	J3	00+470 - 00+495	25	33	35	30	0	30
2	J1	00+110 - 00+125	29	32	35	33	0	33	5	J1	00+495 - 00+515	25	33	35	30	0	30
2	J1	00+110 - 00+125	29	32	35	33	0	33	5	J1	00+495 - 00+515	25	33	35	30	0	30
2	J1	00+110 - 00+125	29	32	35	33	0	33	5	J1	00+495 - 00+515	25	33	35	30	0	30
2	J2	00+110 - 00+125	29	32	35	33	0	33	5	J2	00+495 - 00+515	25	33	35	30	0	30
2	J2	00+110 - 00+125	27	32	35	32	0	32	5	J2	00+495 - 00+515	30	33	35	33	0	33
2	J2	00+110 - 00+125	27	32	35	32	0	32	5	J2	00+495 - 00+515	30	33	35	33	0	33
2	J3	00+110 - 00+125	27	32	35	32	0	32	5	J3	00+495 - 00+515	30	33	35	33	0	33
2	J3	00+110 - 00+125	30	32	35	34	0	34	5	J3	00+495 - 00+515	31	33	35	34	0	34
2	J1	00+125 - 00+140	30	32	35	34	0	34	5	J1	00+515 - 00+535	31	33	35	34	0	34
2	J1	00+125 - 00+140	28	32	35	33	0	33	5	J1	00+515 - 00+535	28	33	35	32	0	32
2	J1	00+125 - 00+140	28	32	35	33	0	33	5	J1	00+515 - 00+535	28	33	35	32	0	32
2	J2	00+125 - 00+140	28	32	35	33	0	33	5	J2	00+515 - 00+535	28	33	35	32	0	32
2	J2	00+125 - 00+140	27	32	35	32	0	32	5	J2	00+515 - 00+535	26	33	35	31	0	31
2	J2	00+125 - 00+140	27	32	35	32	0	32	5	J2	00+515 - 00+535	26	33	35	31	0	31
2	J3	00+125 - 00+140	27	32	35	32	0	32	5	J3	00+515 - 00+535	26	33	35	31	0	31
2	J3	00+125 - 00+140	30	32	35	34	0	34	5	J3	00+515 - 00+535	28	33	35	32	0	32
2	J1	00+140 - 00+160	30	32	35	34	0	34	5	J3	00+515 - 00+535	28	33	35	32	0	32

2	J1	00+140 - 00+160	28	32	35	33	0	33		J1	00+535 - 00+555	28	33	35	32	0	32
2	J1	00+140 - 00+160	28	32	35	33	0	33	6	J1	00+535 - 00+555	27	37	35	30	0	30
2	J2	00+140 - 00+160	28	32	35	33	0	33	6	J1	00+535 - 00+555	27	37	35	30	0	30
2	J2	00+140 - 00+160	28	32	35	33	0	33	6	J2	00+535 - 00+555	27	37	35	30	0	30
2	J2	00+140 - 00+160	28	32	35	33	0	33	6	J2	00+535 - 00+555	26	37	35	29	0	29
2	J3	00+140 - 00+160	28	32	35	33	0	33	6	J2	00+535 - 00+555	26	37	35	29	0	29
2	J3	00+140 - 00+160	28	32	35	33	0	33	6	J3	00+535 - 00+555	26	37	35	29	0	29
3	J1	00+160 - 00+180	28	32	35	33	0	33	6	J3	00+535 - 00+555	27	37	35	30	0	30
3	J1	00+160 - 00+180	28	33	35	32	0	32	6	J3	00+535 - 00+555	27	37	35	30	0	30
3	J1	00+160 - 00+180	28	33	35	32	0	32	6	J1	00+555 - 00+575	27	37	35	30	0	30
3	J2	00+160 - 00+180	28	33	35	32	0	32	6	J1	00+555 - 00+575	26	37	35	29	0	29
3	J2	00+160 - 00+180	30	33	35	33	0	33	6	J1	00+555 - 00+575	26	37	35	29	0	29
3	J2	00+160 - 00+180	30	33	35	33	0	33	6	J2	00+555 - 00+575	26	37	35	29	0	29
3	J3	00+160 - 00+180	30	33	35	33	0	33	6	J2	00+555 - 00+575	28	37	35	30	0	30
3	J3	00+160 - 00+180	30	33	35	33	0	33	6	J2	00+555 - 00+575	28	37	35	30	0	30
3	J3	00+160 - 00+180	30	33	35	33	0	33	6	J3	00+555 - 00+575	28	37	35	30	0	30
3	J1	00+180 - 00+200	30	33	35	33	0	33	6	J3	00+555 - 00+575	30	37	35	31	0	31
3	J1	00+180 - 00+200	29	33	35	33	0	33	6	J3	00+555 - 00+575	30	37	35	31	0	31
3	J1	00+180 - 00+200	29	33	35	33	0	33	6	J4	00+555 - 00+575	30	37	35	31	0	31
3	J2	00+180 - 00+200	29	33	35	33	0	33	6	J5	00+555 - 00+575	29	37	35	31	0	31
3	J2	00+180 - 00+200	25	33	35	30	0	30	6	J1	00+575 - 00+595	32	37	35	32	0	32
3	J2	00+180 - 00+200	25	33	35	30	0	30	6	J1	00+575 - 00+595	24	37	35	28	0	28
3	J1	00+200 - 00+220	25	33	35	30	0	30	6	J1	00+575 - 00+595	24	37	35	28	0	28
3	J1	00+200 - 00+220	29	33	35	33	0	33	6	J1	00+575 - 00+595	24	37	35	28	0	28
3	J1	00+200 - 00+220	29	33	35	33	0	33	6	J2	00+575 - 00+595	24	37	35	28	0	28
3	J2	00+200 - 00+220	29	33	35	33	0	33	6	J2	00+575 - 00+595	27	37	35	30	0	30
3	J2	00+200 - 00+220	29	33	35	33	0	33	6	J2	00+575 - 00+595	27	37	35	30	0	30
3	J1	00+220 - 00+240	29	33	35	33	0	33	7	J1	00+595 - 00+615	27	37	35	30	0	30
3	J1	00+220 - 00+240	27	33	35	31	0	31	7	J1	00+595 - 00+615	20	39	45	35	0	35
3	J1	00+220 - 00+240	27	33	35	31	0	31	7	J1	00+595 - 00+615	20	39	45	35	0	35
3	J2	00+220 - 00+240	27	33	35	31	0	31	7	J2	00+595 - 00+615	20	39	45	35	0	35
3	J2	00+220 - 00+240	32	33	35	34	0	34	7	J2	00+595 - 00+615	27	39	45	39	0	39
3	J2	00+220 - 00+240	32	33	35	34	0	34	7	J3	00+595 - 00+615	27	39	45	39	0	39
3	J1	00+240 - 00+260	32	33	35	34	0	34	7	J3	00+595 - 00+615	23	39	45	37	0	37
3	J1	00+240 - 00+260	29	33	35	33	0	33	7	J4	00+595 - 00+615	23	39	45	37	0	37
3	J1	00+240 - 00+260	29	33	35	33	0	33	7	J1	00+615 - 00+635	25	39	45	38	0	38
3	J2	00+240 - 00+260	29	33	35	33	0	33	7	J1	00+615 - 00+635	26	39	45	38	0	38
3	J2	00+240 - 00+260	27	33	35	31	0	31	7	J1	00+615 - 00+635	26	39	45	38	0	38
3	J2	00+240 - 00+260	27	33	35	31	0	31	7	J2	00+615 - 00+635	26	39	45	38	0	38
3	J3	00+240 - 00+260	27	33	35	31	0	31	7	J2	00+615 - 00+635	26	39	45	38	0	38
3	J3	00+240 - 00+260	24	33	35	30	0	30	7	J2	00+615 - 00+635	26	39	45	38	0	38

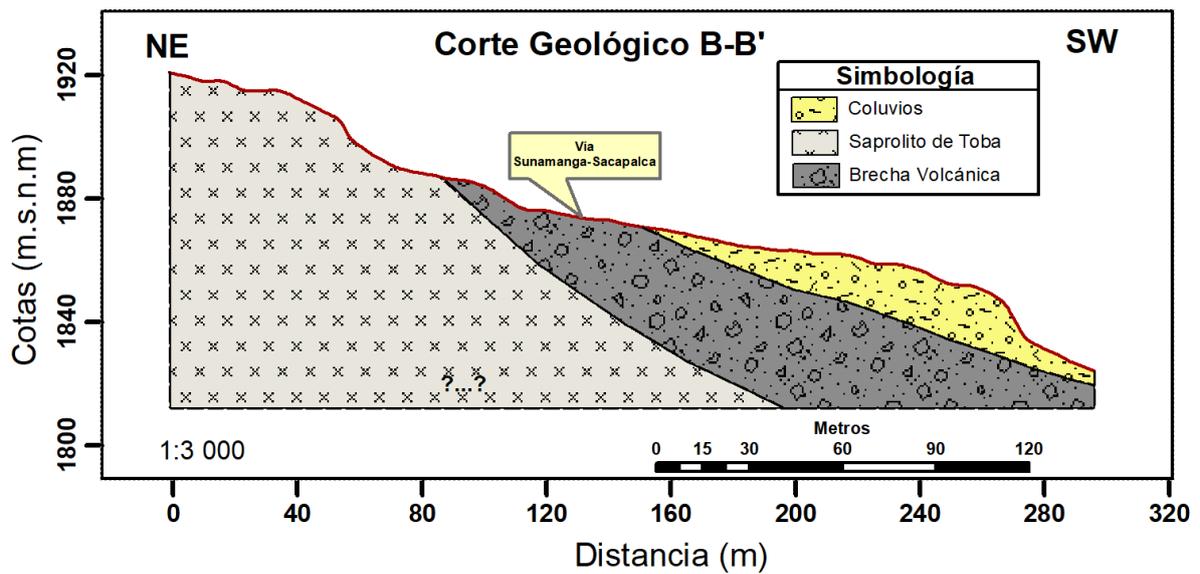
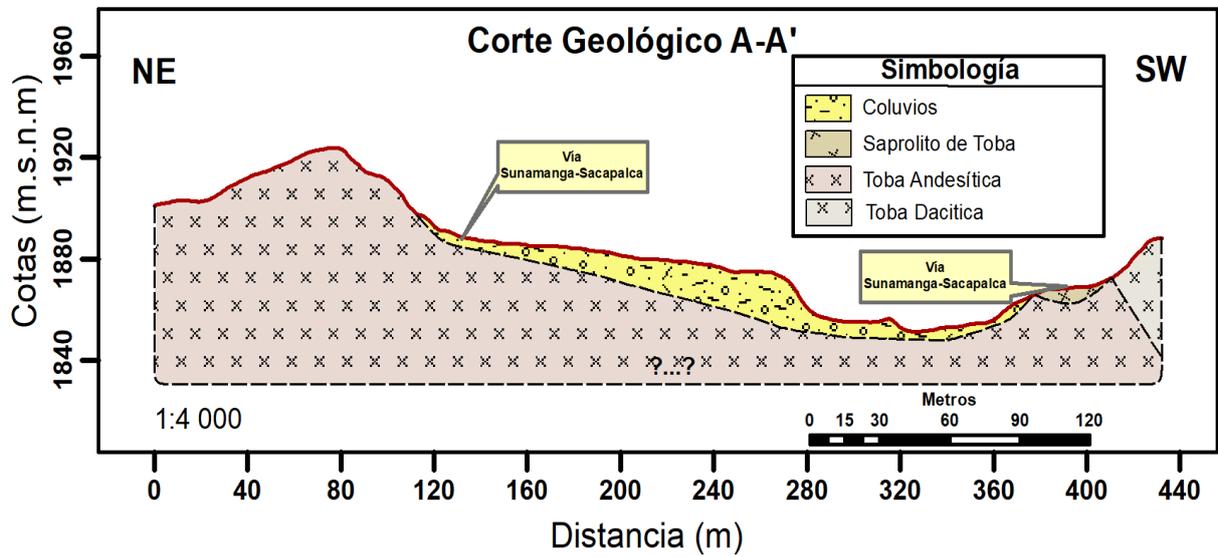
3	J3	00+240 - 00+260	24	33	35	30	0	30	7	J1	00+635 - 00+655	26	39	45	38	0	38
3	J1	00+260 - 00+280	24	33	35	30	0	30	7	J1	00+635 - 00+655	25	39	45	38	0	38
3	J1	00+260 - 00+280	31	33	35	34	0	34	7	J2	00+635 - 00+655	25	39	45	38	0	38
3	J1	00+260 - 00+280	31	33	35	34	0	34	7	J2	00+635 - 00+655	24	39	45	37	0	37
3	J2	00+260 - 00+280	31	33	35	34	0	34	7	J3	00+635 - 00+655	24	39	45	37	0	37
3	J2	00+260 - 00+280	27	33	35	31	0	31	7	J3	00+635 - 00+655	27	39	45	39	0	39
3	J2	00+260 - 00+280	27	33	35	31	0	31	7	J3	00+635 - 00+655	27	39	45	39	0	39
4	J1	00+280 - 00+300	27	33	35	31	0	31	7	J1	00+655 - 00+680	27	39	45	39	0	39
4	J1	00+280 - 00+300	32	31	35	36	0	36	7	J1	00+655 - 00+680	25	39	45	38	0	38
4	J1	00+280 - 00+300	32	31	35	36	0	36	7	J1	00+655 - 00+680	25	39	45	38	0	38
4	J2	00+280 - 00+300	32	31	35	36	0	36	7	J2	00+655 - 00+680	25	39	45	38	0	38
4	J2	00+280 - 00+300	27	31	35	32	0	32	7	J2	00+655 - 00+680	27	39	45	39	0	39
4	J2	00+280 - 00+300	27	31	35	32	0	32	7	J2	00+655 - 00+680	27	39	45	39	0	39
4	J3	00+280 - 00+300	27	31	35	32	0	32	7	J3	00+655 - 00+680	27	39	45	39	0	39
4	J3	00+280 - 00+300	27	31	35	32	0	32	7	J3	00+655 - 00+680	26	39	45	38	0	38
4	J3	00+280 - 00+300	27	31	35	32	0	32	7	J3	00+655 - 00+680	26	39	45	38	0	38
4	J4	00+280 - 00+300	27	31	35	32	0	32	7	J4	00+655 - 00+680	26	39	45	38	0	38
4	J4	00+280 - 00+300	31	31	35	35	0	35	8	J1	01+060 - 01+080	25	39	45	38	0	38
4	J5	00+280 - 00+300	31	31	35	35	0	35	8	J1	01+060 - 01+080	26	40	45	38	0	38
4	J5	00+280 - 00+300	31	31	35	35	0	35	8	J1	01+060 - 01+080	26	40	45	38	0	38
4	J1	00+300 - 00+320	31	31	35	35	0	35	8	J2	01+060 - 01+080	26	40	45	38	0	38
4	J1	00+300 - 00+320	27	31	35	32	0	32	8	J2	01+060 - 01+080	27	40	45	39	0	39
4	J1	00+300 - 00+320	27	31	35	32	0	32	8	J2	01+060 - 01+080	27	40	45	39	0	39
4	J2	00+300 - 00+320	27	31	35	32	0	32	8	J3	01+060 - 01+080	27	40	45	39	0	39
4	J2	00+300 - 00+320	27	31	35	32	0	32	8	J3	01+060 - 01+080	26	40	45	38	0	38
4	J2	00+300 - 00+320	28	31	35	33	0	33	8	J3	01+060 - 01+080	26	40	45	38	0	38
4	J3	00+300 - 00+320	28	31	35	33	0	33	8	J3	01+060 - 01+080	26	40	45	38	0	38
4	J3	00+300 - 00+320	26	31	35	32	0	32	8	J1	01+080 - 01+100	26	40	45	38	0	38
4	J3	00+300 - 00+320	26	31	35	32	0	32	8	J1	01+080 - 01+100	26	40	45	38	0	38
4	J4	00+300 - 00+320	26	31	35	32	0	32	8	J1	01+080 - 01+100	26	40	45	38	0	38
4	J1	00+320 - 00+340	29	31	35	34	0	34	8	J2	01+080 - 01+100	26	40	45	38	0	38
4	J1	00+320 - 00+340	29	31	35	34	0	34	8	J2	01+080 - 01+100	28	40	45	39	0	39
4	J2	00+320 - 00+340	29	31	35	34	0	34	8	J2	01+080 - 01+100	28	40	45	39	0	39
4	J2	00+320 - 00+340	30	31	35	34	0	34	8	J3	01+080 - 01+100	28	40	45	39	0	39
4	J2	00+320 - 00+340	30	31	35	34	0	34	8	J3	01+080 - 01+100	24	40	45	37	0	37
4	J3	00+320 - 00+340	30	31	35	34	0	34	8	J3	01+080 - 01+100	24	40	45	37	0	37
4	J3	00+320 - 00+340	26	31	35	32	0	32	8	J3	01+080 - 01+100	24	40	45	37	0	37

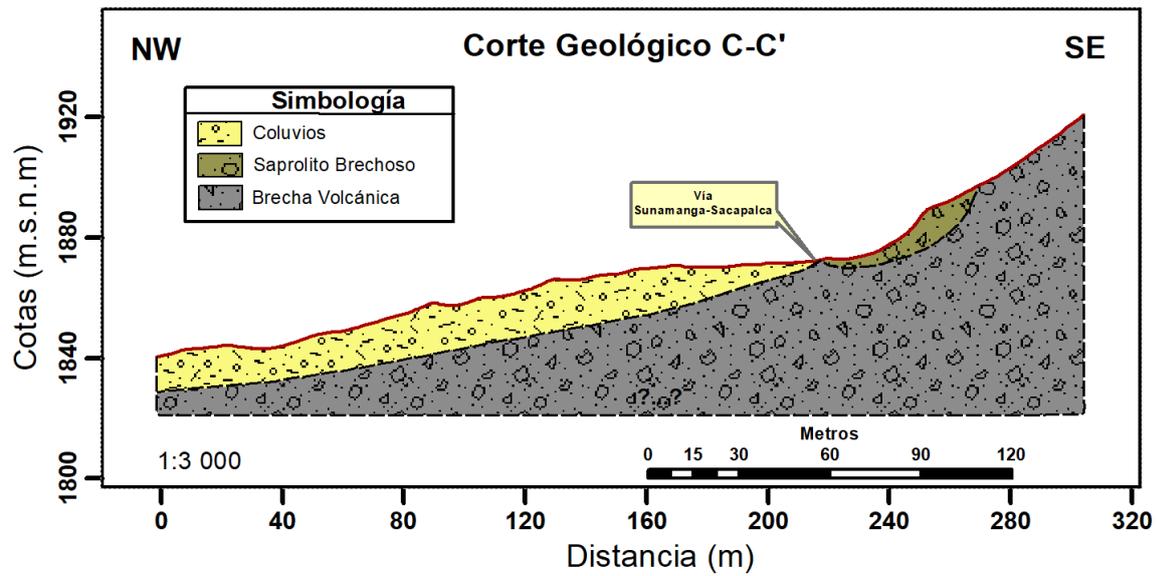
Anexos 6. Mapa de Ubicación

Anexos 7. Mapa Topográfico

Anexos 8. Mapa de Pendientes

Anexos 9. Mapa Geológico Local





Anexos 10. Mapa de Zonas de comportamiento Lito-estructural

Anexos 11. Mapa de Rock Quality Designation

Anexos 12. Mapa Rock Mass Rating

Anexos 13. Mapa Planar Slope Mass Rating

Anexos 14. Mapa Toppling Slope Mass Rating

Loja, 15 de julio del 2024

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, **Andrea Ivanova Carrión Jaramillo**, con cédula **1104691108**, con el “**Certificate of Proficiency in English**” otorgado por Fine Tuned English.

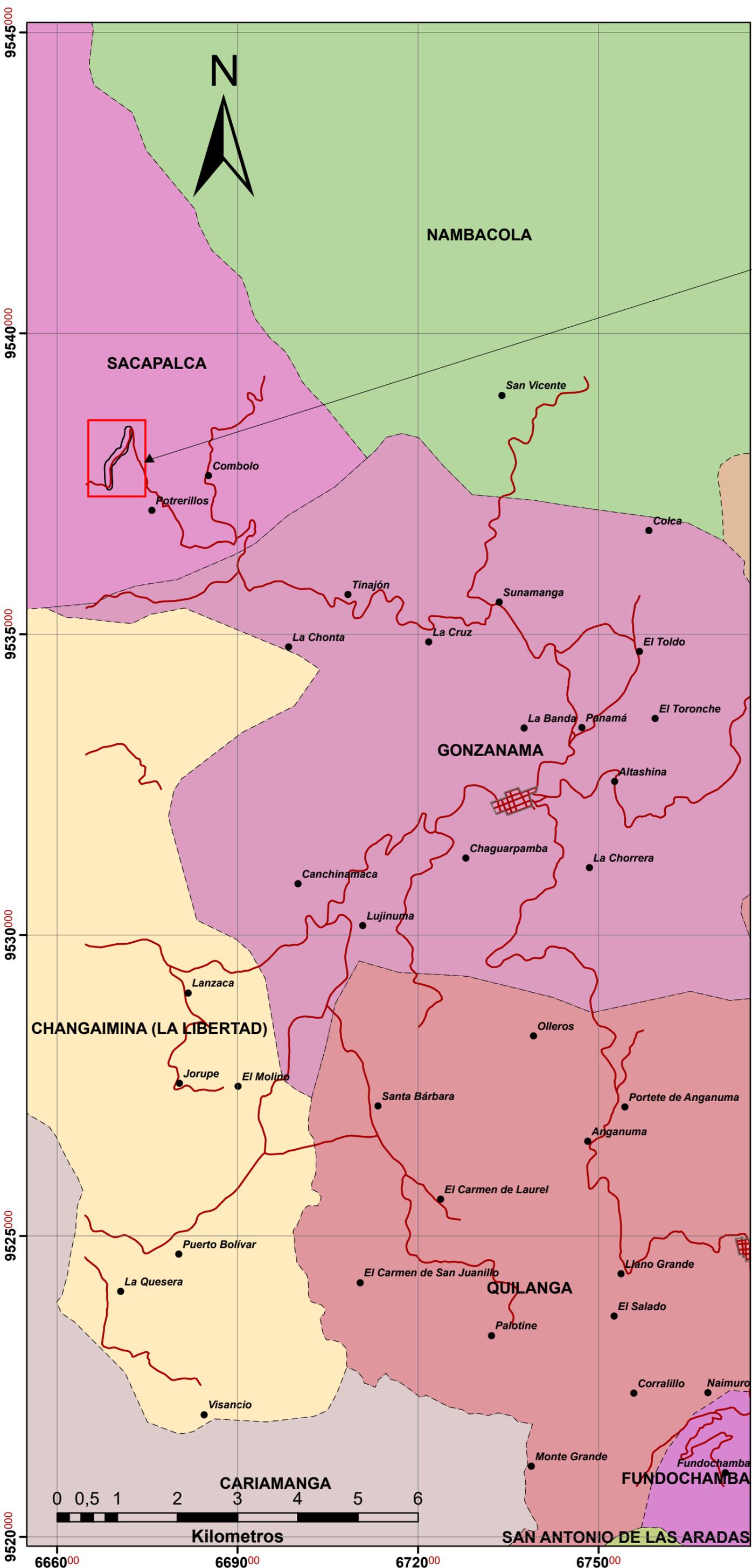
CERTIFICO:

Que he realizado la traducción de español al idioma inglés del resumen del presente estudio investigativo denominado "**Caracterización geomecánica de los macizos rocosos ubicados en el tramo Potrerillos-Sacapalca, de la vía Sunamanga-Sacapalca del cantón Gonzanamá, provincia de Loja, Ecuador**" de autoría de **Freddy Bryan Cueva Domínguez**, portador de la cédula de identidad número **1104106750**, estudiante de la carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja. Dicho estudio se encontró bajo la dirección del **Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez Mg. Sc.**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que este creyera conveniente.

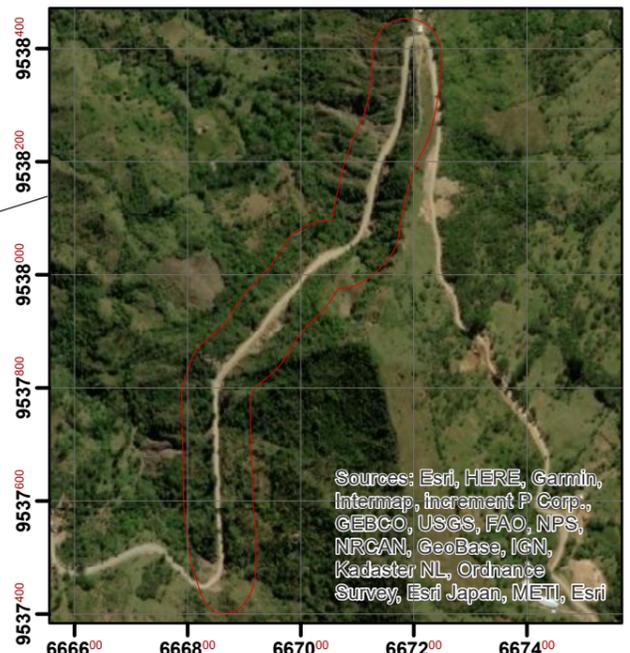


Andrea Ivanova Carrión Jaramillo
C.I.: 1104691108

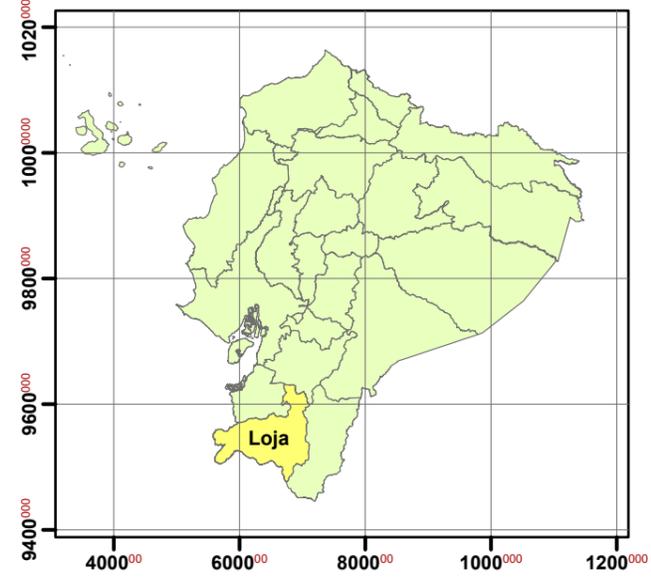


UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

UBICACIÓN GEOGRÁFICA LOCAL



UBICACIÓN GEOGRÁFICA PROVINCIAL



Simbología

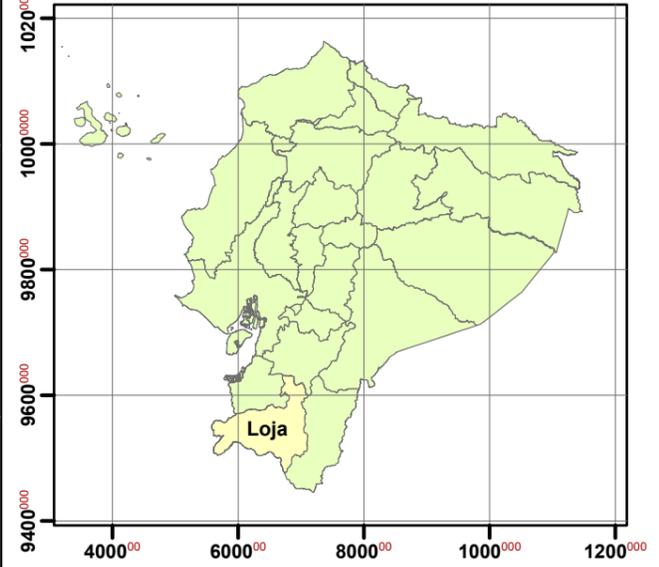
- Vías de Acceso
- Límite parroquial
- Zona de estudio
- Zona Urbana
- Poblados

Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

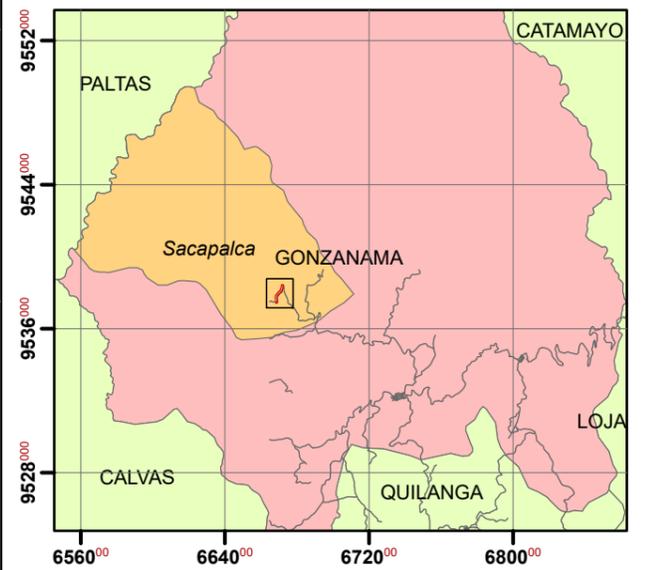
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial	
Contiene: Ubicación del Área de Estudio	
Elaborado por: Freddy Cueva	Ubicación: Gonzanamá-Sacapalca
Escala de Impresión: 1:63 300	Fecha: Febrero 2024
Escala de trabajo: 1:100 000	Lámina N°: 1

TOPOGRAFÍA DEL AREA DE ESTUDIO

UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN CANTONAL



Leyenda

- Perfiles Longitudinales
- Perfiles Transversales
- Área de estudio
- Senderos
- Quebradas
- Vía
- Edificaciones
- Curvas principales
- Curvas secundarias

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

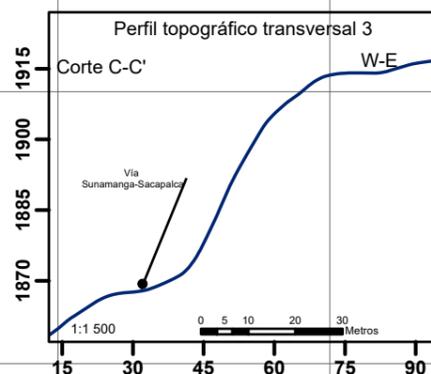
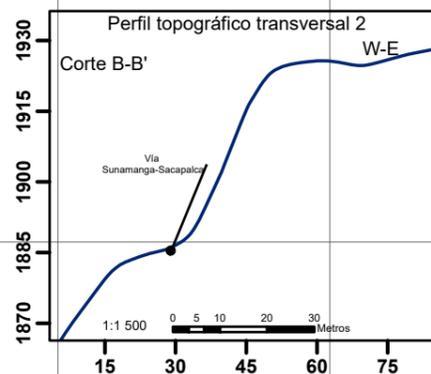
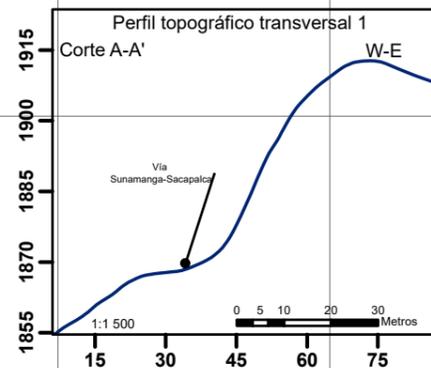
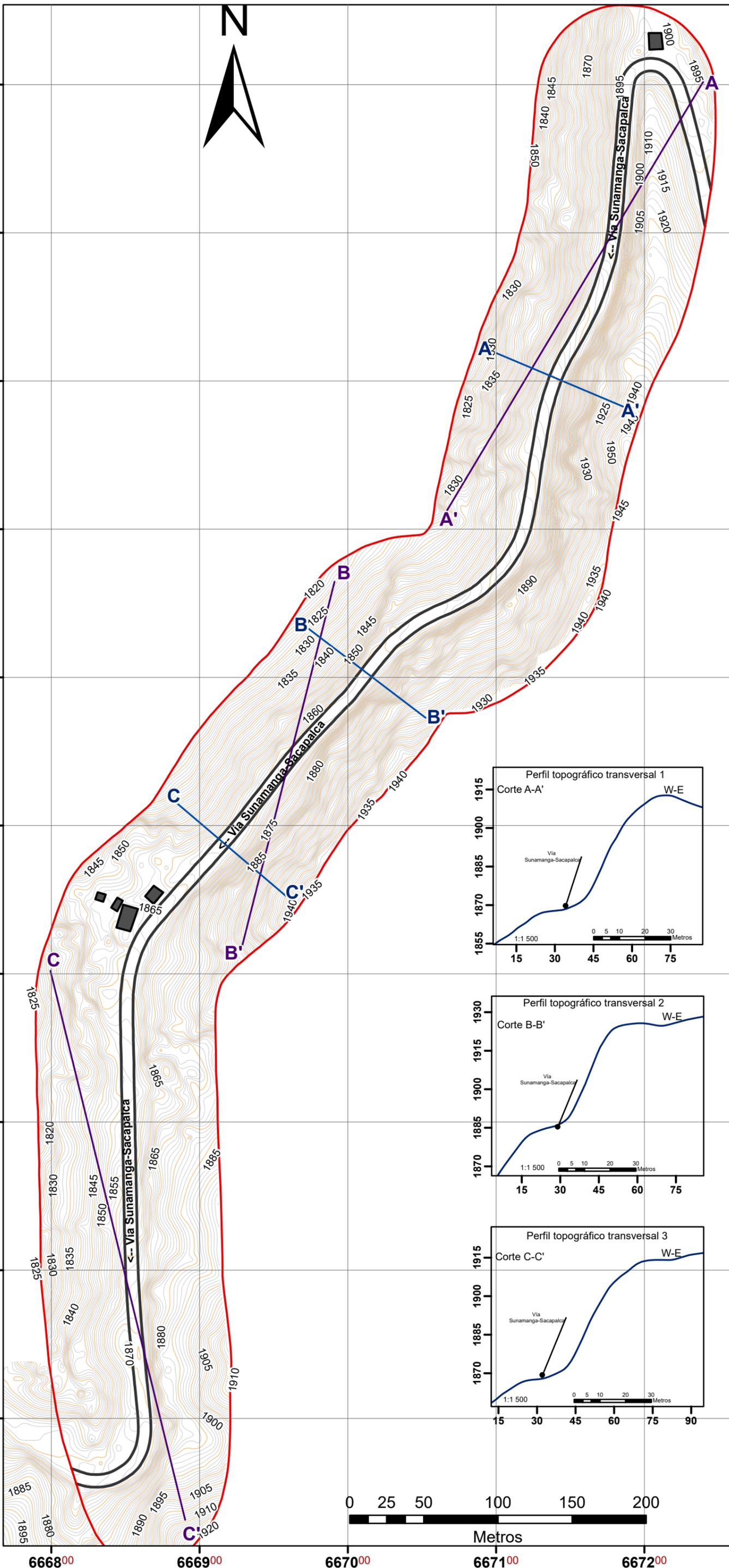
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables
 Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

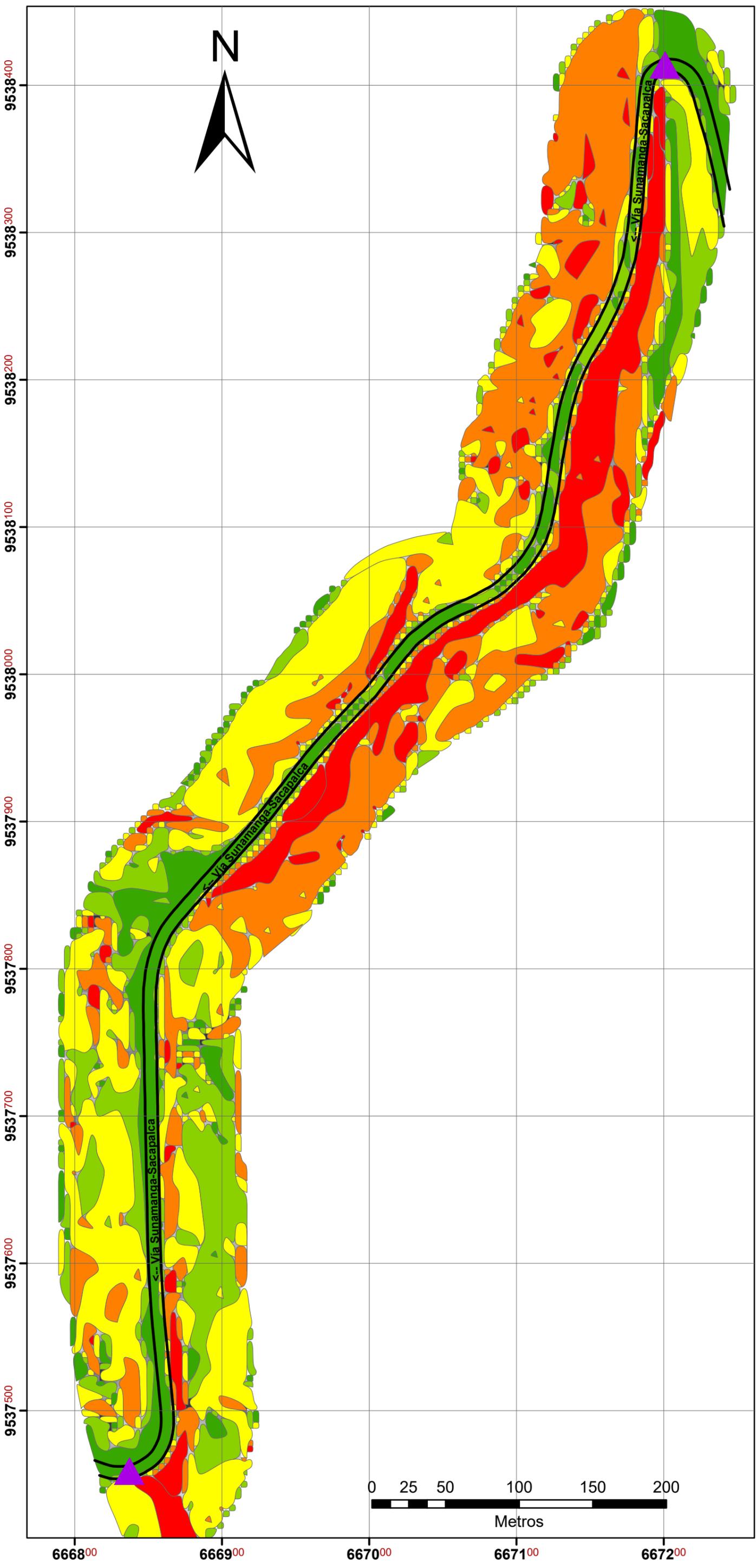
Contiene:
 Topografía del área de estudio

Elaborado por: Freddy Cueva	Ubicación: Gonzanamá-Sacapalca
--------------------------------	-----------------------------------

Escala de Impresión: 1:2 600	Fecha: Febrero 2024
---------------------------------	------------------------

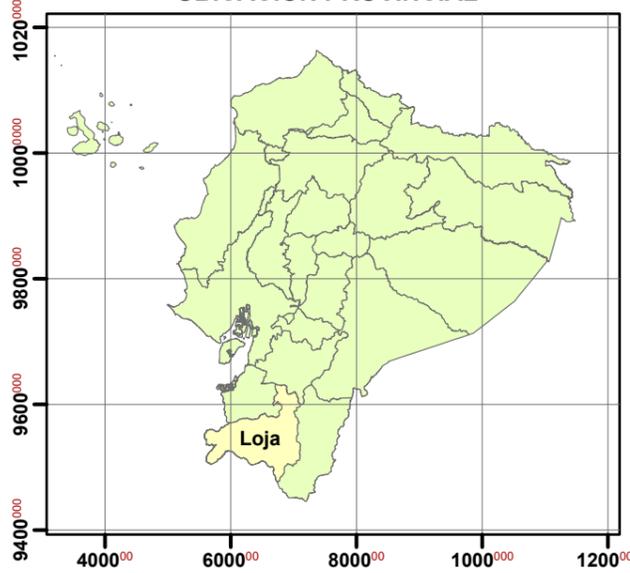
Escala de trabajo: 1:1 000	Lámina N°: 2
-------------------------------	-----------------



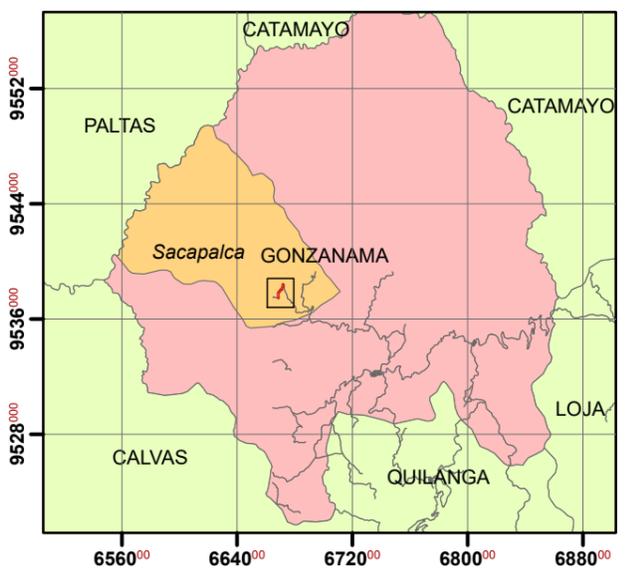


PENDIENTES DEL AREA DE ESTUDIO

UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN CANTONAL



Legenda

- (0° - 5°) Pendientes Ligeramente Inclinadas
- (5° - 15°) Pendientes Fuertemente Inclinadas
- (15° - 35°) Pendientes muy Inclinadas
- (35° - 55°) Pendientes Empinadas
- (55° - 90°) Pendientes Verticales

Simbología

- Vía
- INICIO-FIN DEL TRAMO

Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

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

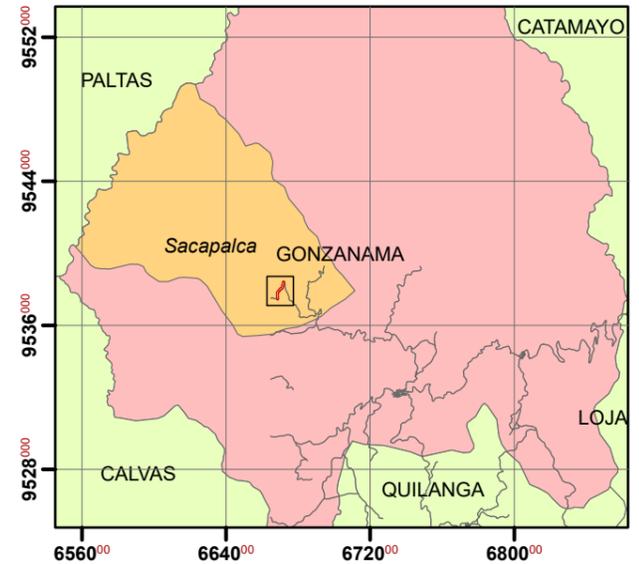
Contiene: Pendientes del área de estudio	
Elaborado por: Freddy Cueva	Ubicación: Gonzanamá-Sacapalca
Escala de Impresión: 1:2 600	Fecha: Febrero 2024
Escala de trabajo: 1:1 000	Lámina N*: 3

GEOLOGÍA DEL AREA DE ESTUDIO

UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN CANTONAL



Simbología

- Área de estudio
- Senderos
- Quebradas
- Vía
- Edificaciones
- Curvas principales
- - - Contacto Inferido
- Perfiles

Leyenda

Litología		Período	Era
	Coluvios	Cuaternario	Cenozoico
	Saprolito de Toba Cristalina		
	Saprolito de Brecha Volcánica		
	Toba Andesítica	Oligoceno	
	Toba Dacítica		
	Brecha Volcánica		

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

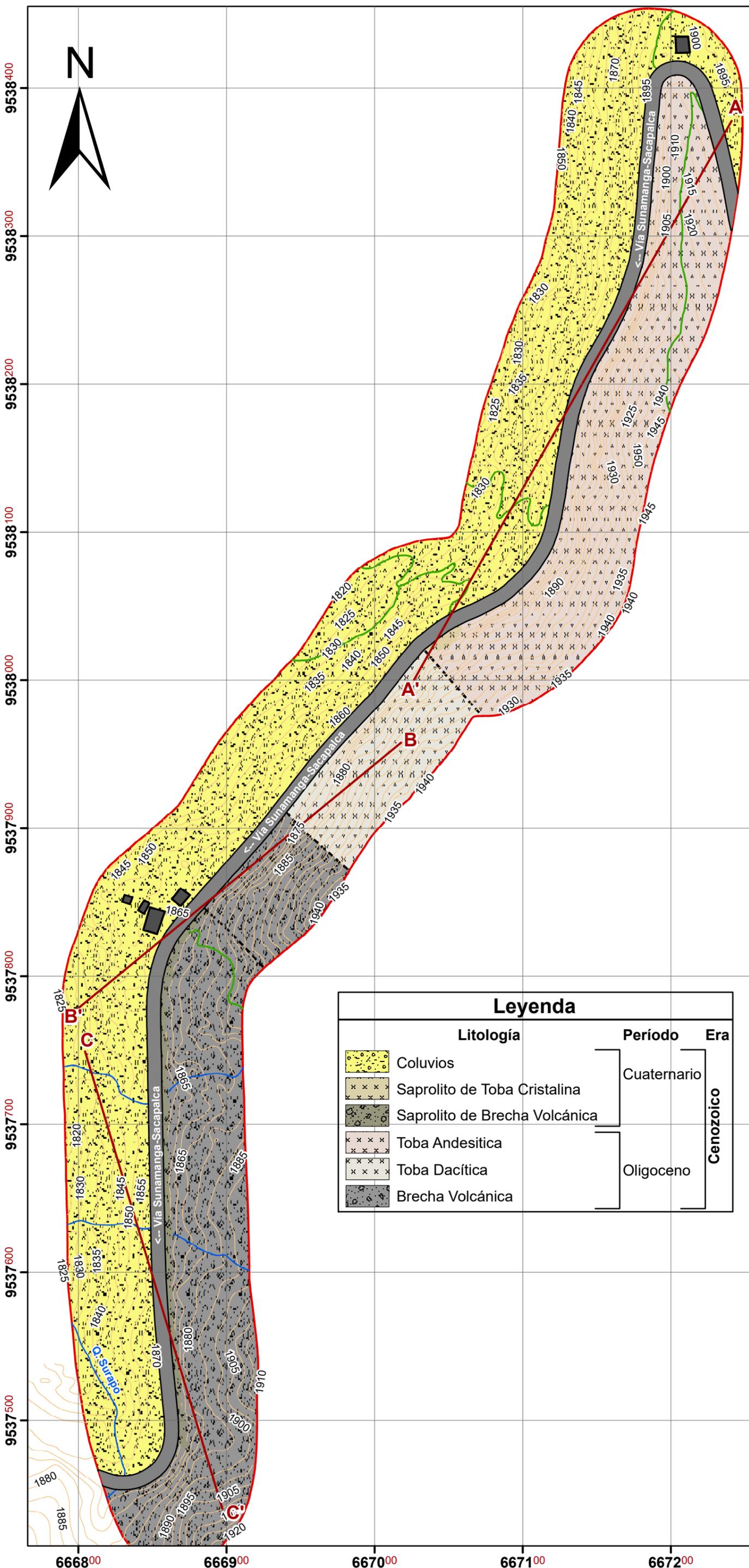
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables
 Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

Contiene: Geología del área de estudio

Elaborado por: Freddy Cueva Ubicación: Gonzanamá-Sacapalca

Escala de Impresión: 1:2 600 Fecha: Febrero 2024

Escala de trabajo: 1:1 000 Lámina N°: 4

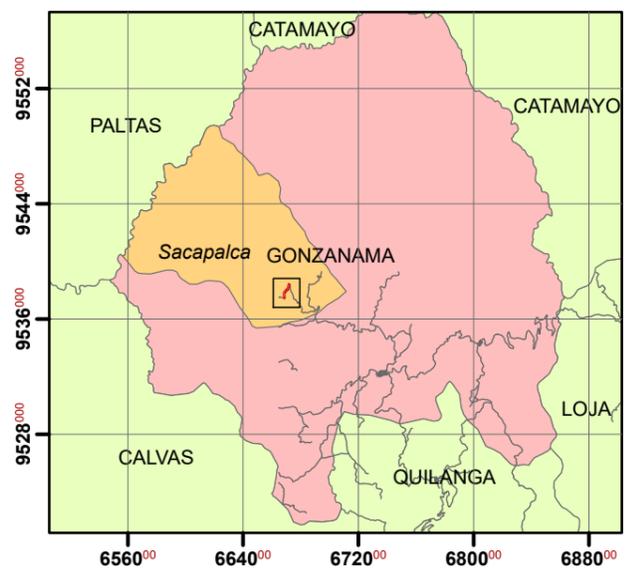


ZONAS DE COMPORTAMIENTO LITOSTRUCTURAL

UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN CANTONAL



Simbología



Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

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

Contiene:
 Zonas de comportamiento litoestructural

Elaborado por:
 Freddy Cueva

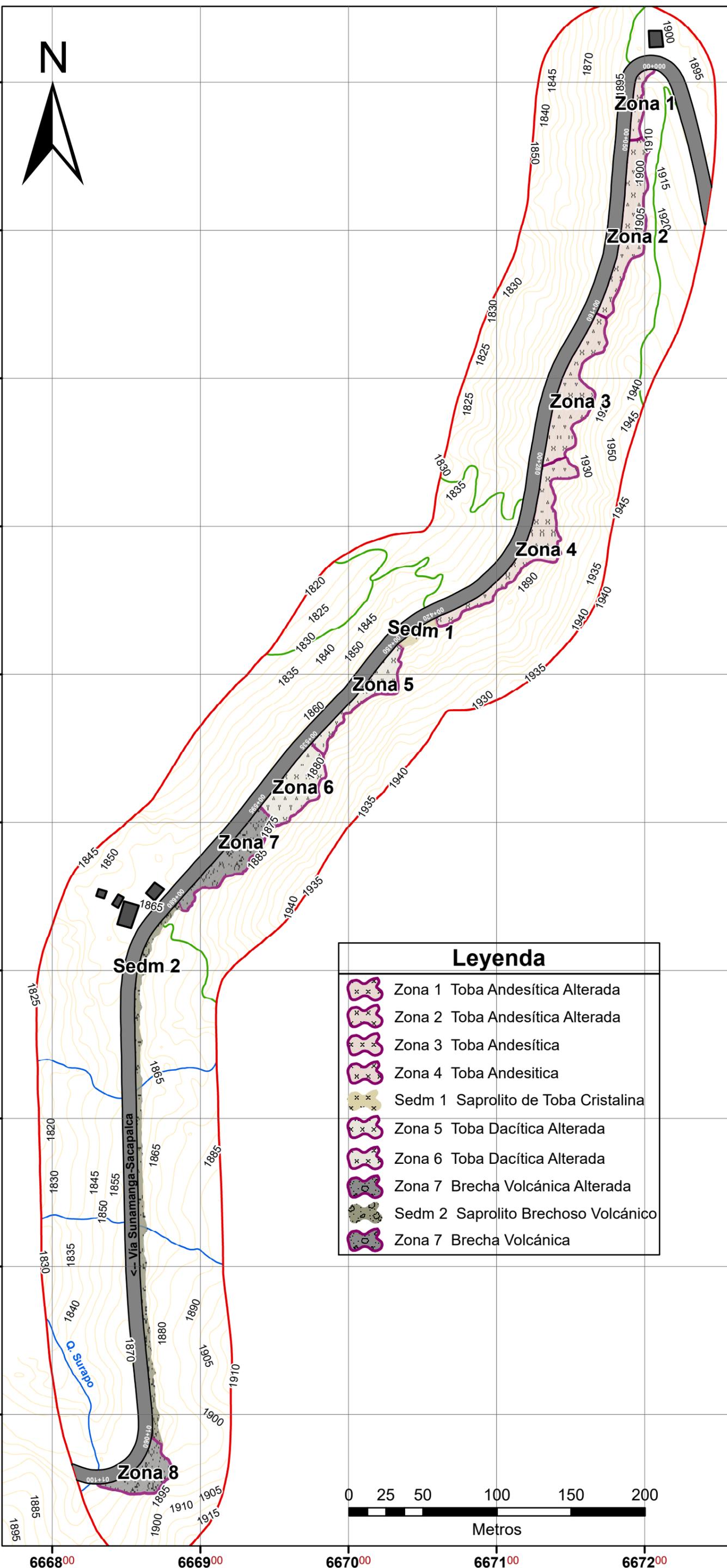
Ubicación:
 Gonzanamá-Sacapalca

Escala de Impresión:
 1:2 600

Fecha:
 Febrero 2024

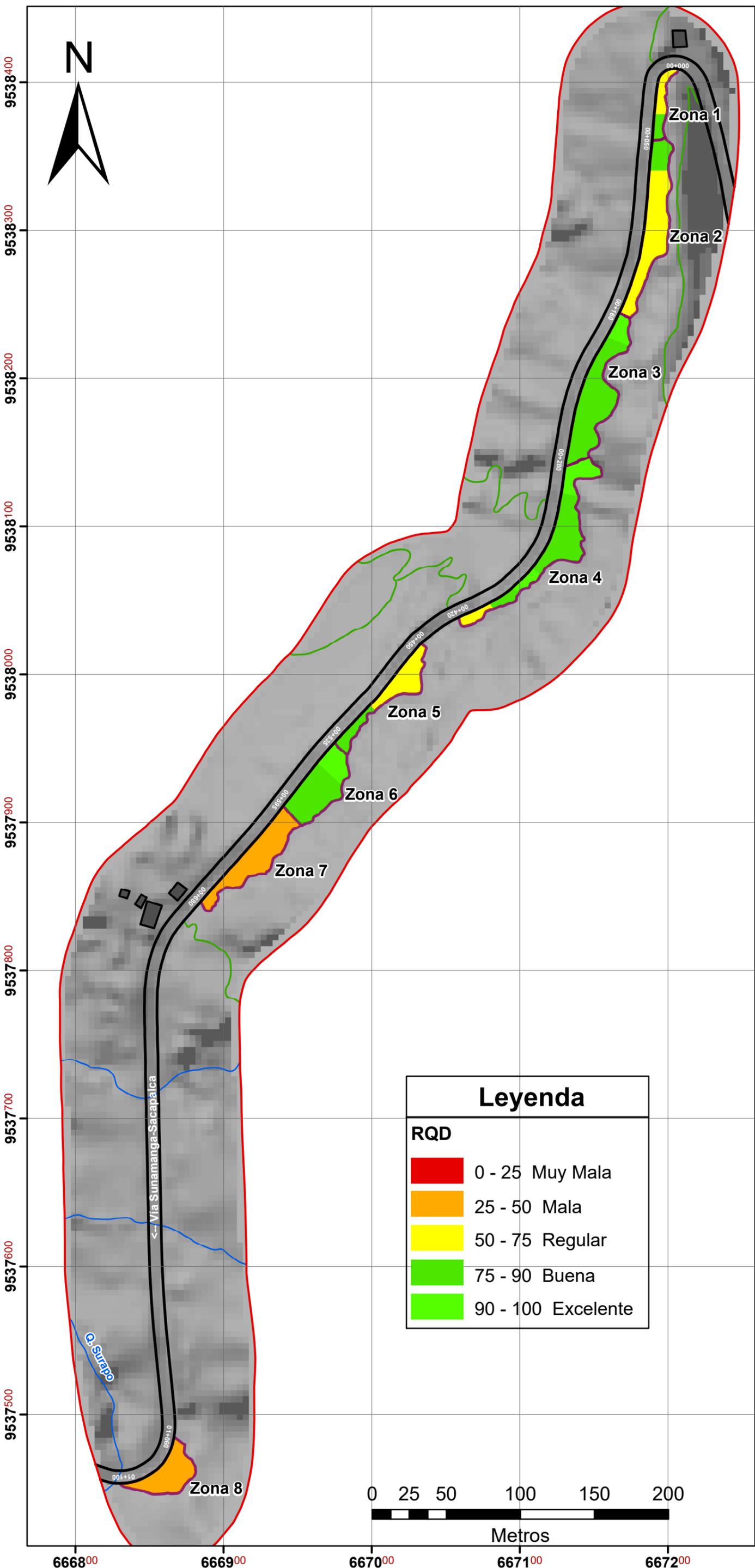
Escala de trabajo:
 1:1 000

Lámina N°:
 5



Leyenda

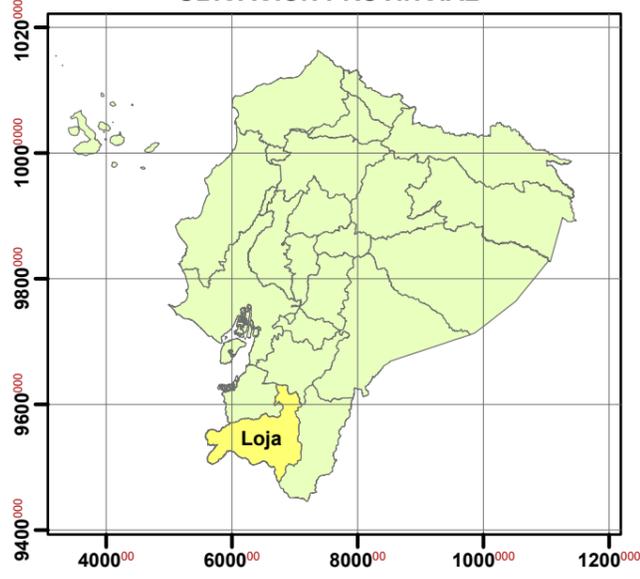
	Zona 1 Toba Andesítica Alterada
	Zona 2 Toba Andesítica Alterada
	Zona 3 Toba Andesítica
	Zona 4 Toba Andesítica
	Sedm 1 Saprolito de Toba Cristalina
	Zona 5 Toba Dacítica Alterada
	Zona 6 Toba Dacítica Alterada
	Zona 7 Brecha Volcánica Alterada
	Sedm 2 Saprolito Brechoso Volcánico
	Zona 7 Brecha Volcánica



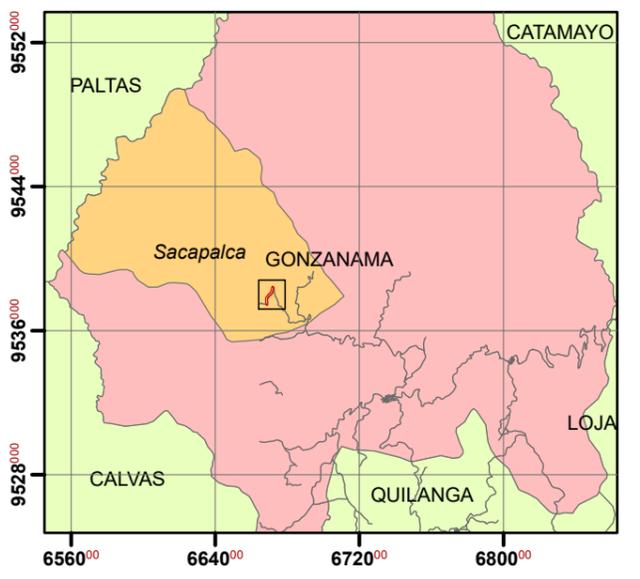
Leyenda	
RQD	
	0 - 25 Muy Mala
	25 - 50 Mala
	50 - 75 Regular
	75 - 90 Buena
	90 - 100 Excelente

ROCK QUALITY DESIGNATION

UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN CANTONAL

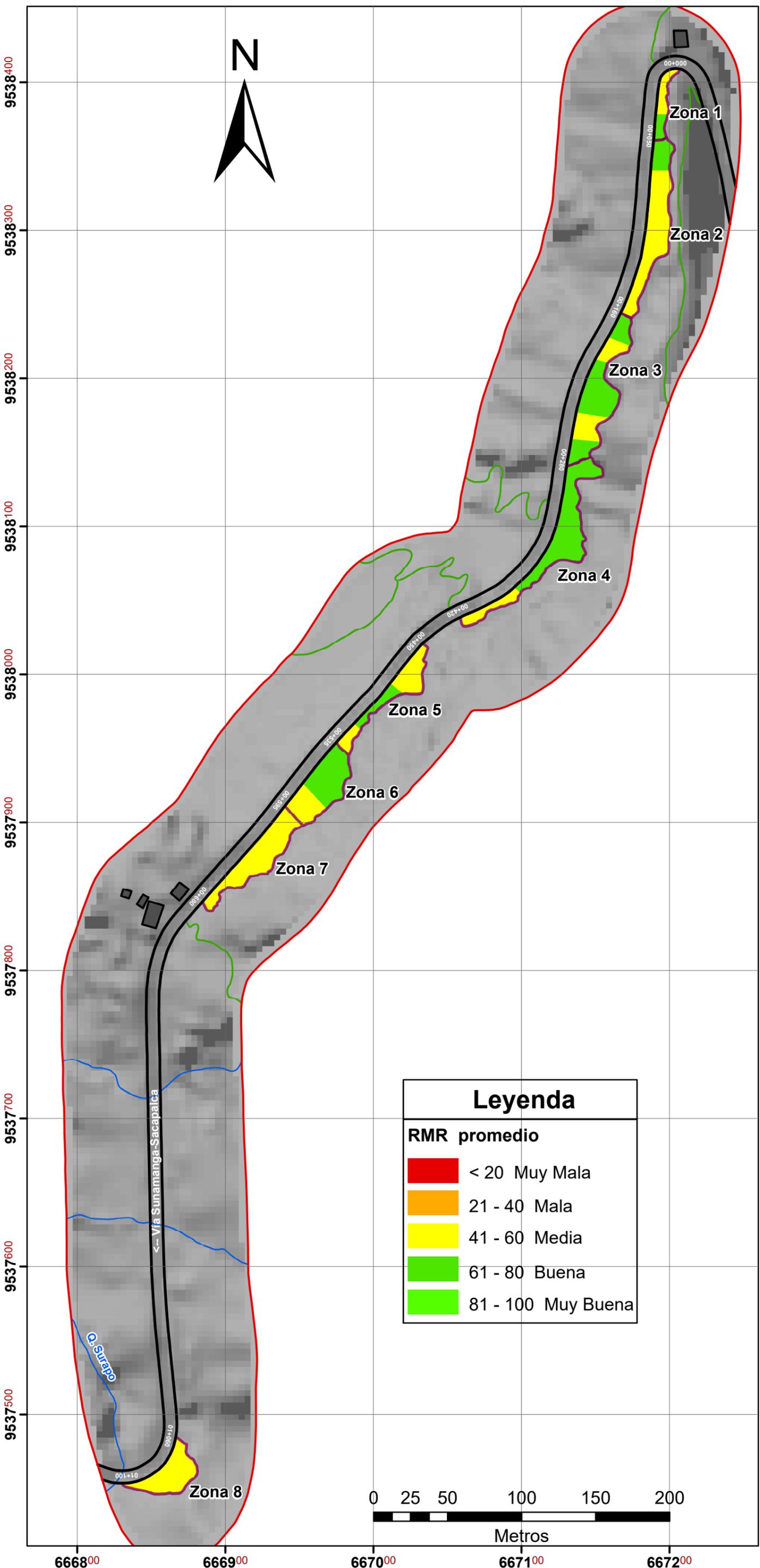


Simbología

	Área de estudio
	Senderos
	Quebradas
	Vía
	Edificaciones
	Zonas

Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

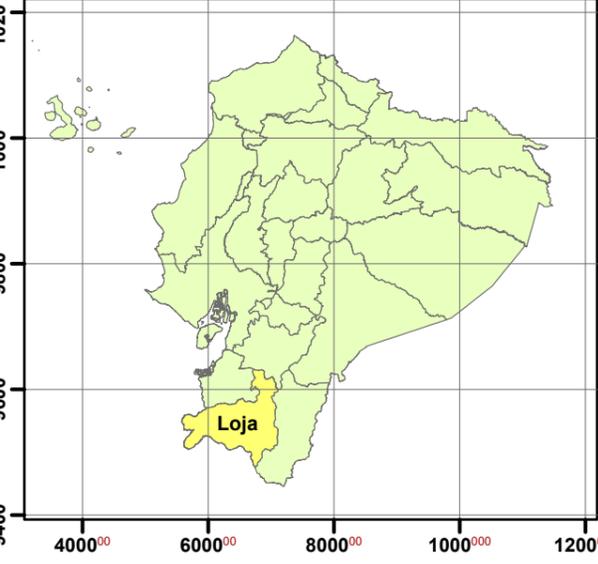
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial	
Contiene: Rock Quality Designation	
Elaborado por: Freddy Cueva	Ubicación: Gonzanamá-Sacapalca
Escala de Impresión: 1:2 600	Fecha: Febrero 2024
Escala de trabajo: 1:1 000	Lámina N°: 6



Leyenda	
RMR promedio	
■	< 20 Muy Mala
■	21 - 40 Mala
■	41 - 60 Media
■	61 - 80 Buena
■	81 - 100 Muy Buena

ROCK MASS RATING

UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN CANTONAL

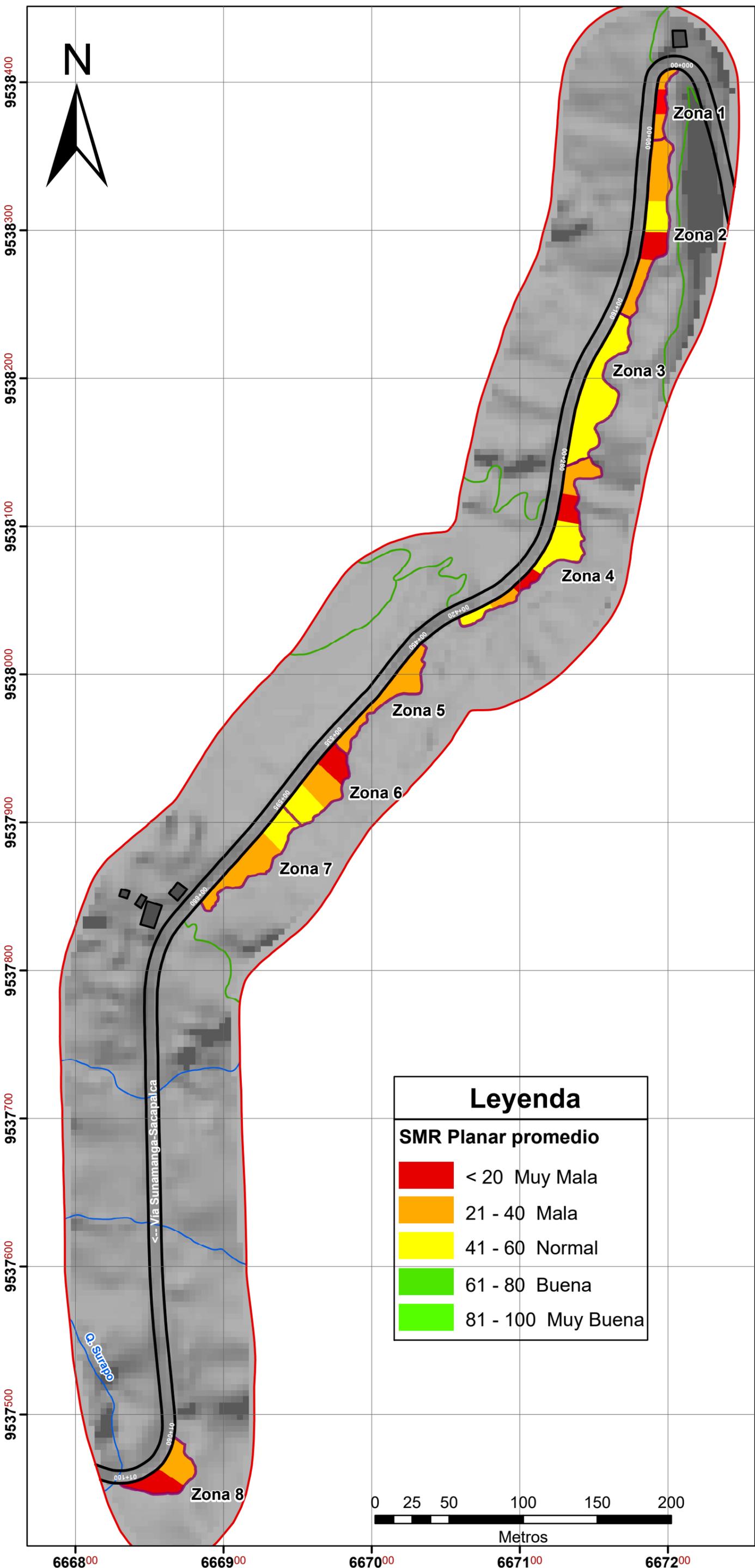


Simbología

—	Área de estudio
—	Senderos
—	Quebradas
—	Vía
	Edificaciones
	Zonas

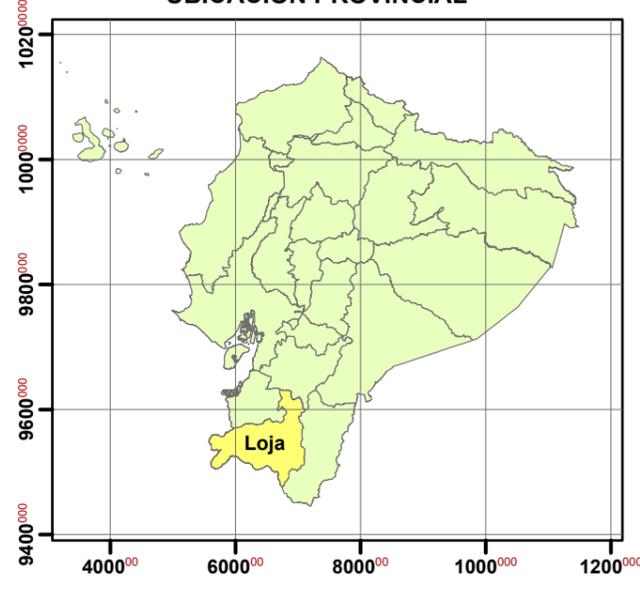
Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

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	
Contiene: Rock Mass Rating	
Elaborado por: Freddy Cueva	Ubicación: Gonzanamá-Sacapalca
Escala de Impresión: 1:2 600	Fecha: Febrero 2024
Escala de trabajo: 1:1 000	Lámina N°: 7

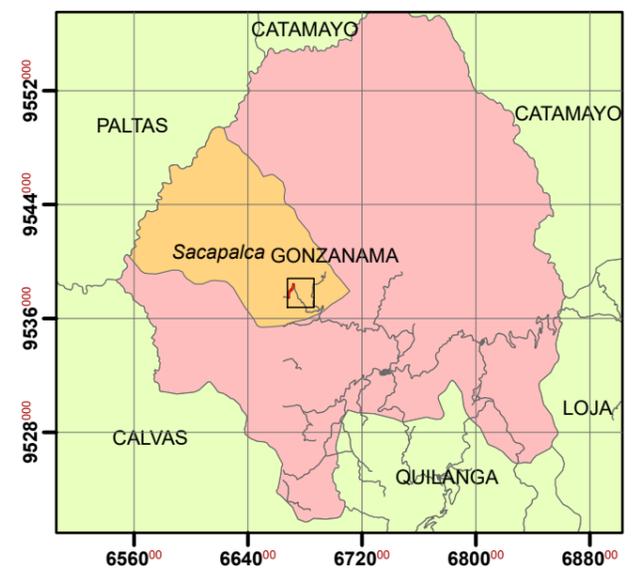


PLANAR SLOPE MASS RATING

UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN CANTONAL



Simbología

- Área de estudio
- Senderos
- Quebradas
- Vía
- Edificaciones
- Zonas

Leyenda

SMR Planar promedio

- < 20 Muy Mala
- 21 - 40 Mala
- 41 - 60 Normal
- 61 - 80 Buena
- 81 - 100 Muy Buena

Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

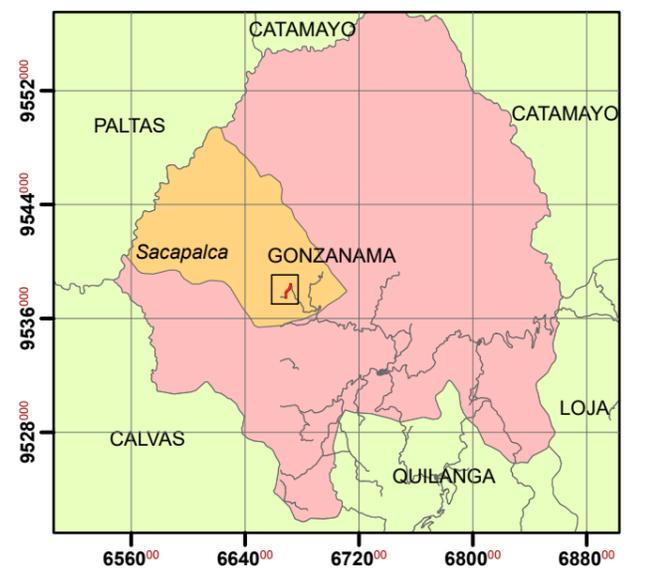
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial	
Contiene: Planar Slope Mass Rating	
Elaborado por: Freddy Cueva	Ubicación: Gonzanamá-Sacapalca
Escala de Impresión: 1:2 600	Fecha: Febrero 2024
Escala de trabajo: 1:1 000	Lámina N°: 8

TOPPLING SLOPE MASS RATING

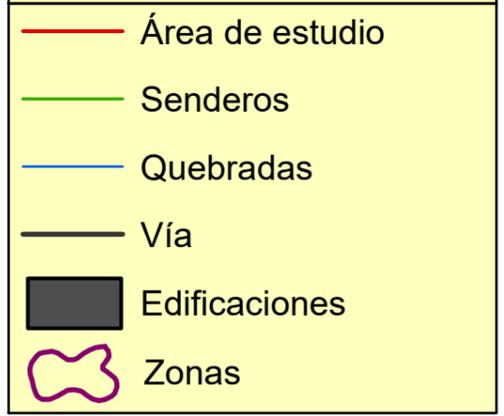
UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN CANTONAL



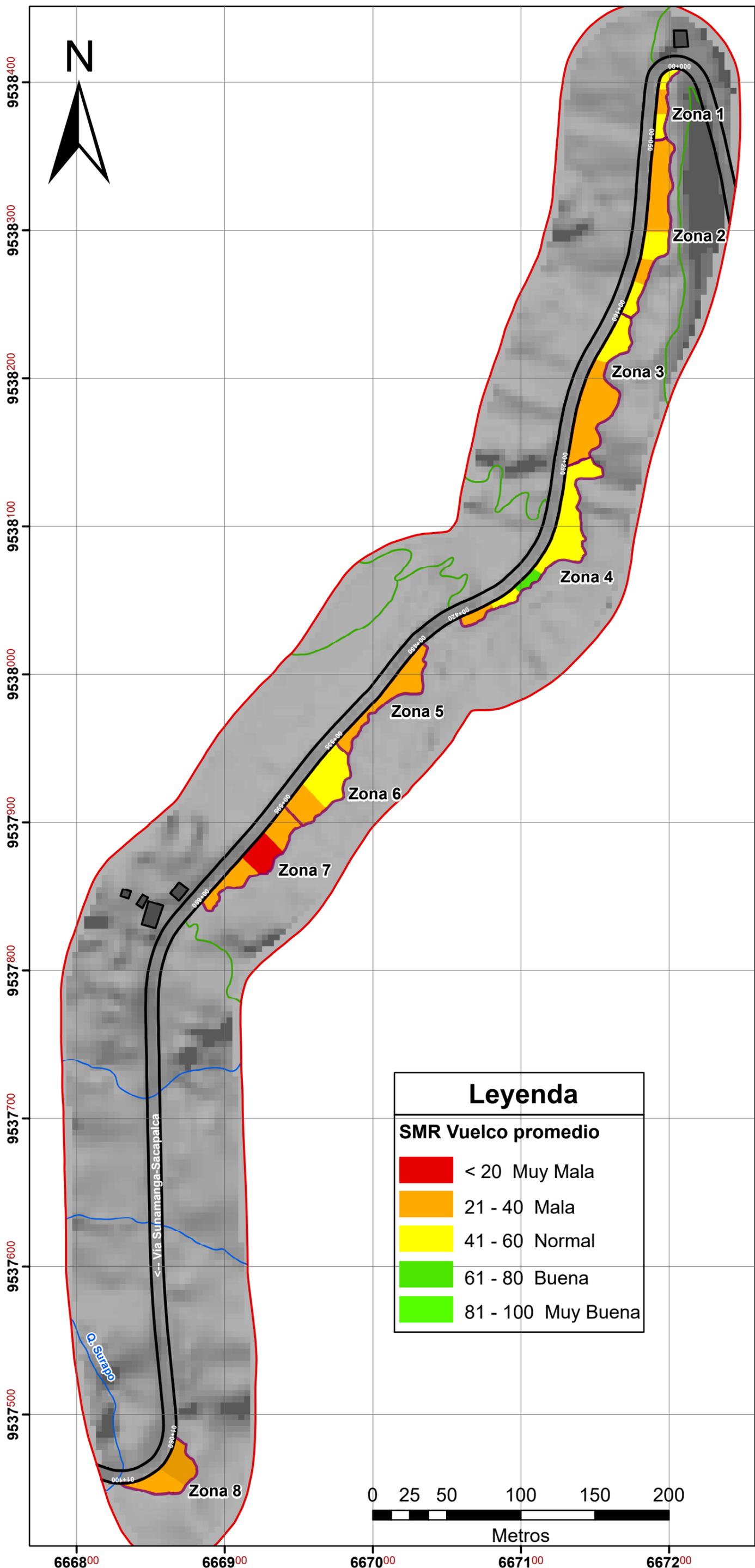
Simbología



Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

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

Contiene: Toppling Slope Mass Rating	
Elaborado por: Freddy Cueva	Ubicación: Gonzanamá-Sacapalca
Escala de Impresión: 1:2 600	Fecha: Febrero 2024
Escala de trabajo: 1:1 000	Lámina N°: 9



Leyenda

