



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 de la vía San Vicente – Sunamanga del cantón Gonzanamá, provincia de Loja

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

AUTOR:

José Nixon López Pesantez

DIRECTOR:

Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Educamos para **Transformar**

Certificación

Loja, 02 junio de 2023

Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez, Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización geomecánica de los macizos rocosos ubicados en el tramo de la vía San Vicente – Sunamanga del cantón Gonzanamá, provincial de Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, de la autoría de la estudiante **José Nixon López Pesantez**, con **cédula de identidad Nro. 1900838903**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez, Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

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

Firma:



Cédula de identidad: 1900838903

Fecha: 21 de julio de 2023

Correo electrónico: jose.lopez@unl.edu.ec

Teléfono: 0992428941

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, **José Nixon López Pesantez**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización geomecánica de los macizos rocosos ubicados en el tramo de la vía San Vicente – Sunamanga del cantón Gonzanamá, provincial de Loja**, 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 veintiún días del mes de julio del dos mil veintitrés.

Firma:



Autor: José Nixon López Pesantez

Cedula: 1900838903

Dirección: Los Encuentros, Zamora Chinchipe, Ecuador

Correo electrónico: jose.lopez@unl.edu.ec

Teléfono: 0992428941

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 amados padres Luis y Esther y a mis queridos hermanos Dayana y Luis por depositar su confianza, por haber sido el pilar fundamental y apoyo incondicional durante este proceso formativo personal y académico. Mi gratitud total por sus consejos, sacrificios y esfuerzos ya que sin ellos no hubiera alcanzado esta meta.

José Nixon López Pesantez

Agradecimiento

A mi familia por ser mi soporte incondicional en cada uno de mis sueños, que parecen inalcanzables pero que con apoyo es posible alcanzar.

Al Ing. Fernando Rengel, Director del Trabajo de Titulación, por su paciencia, tiempo y por brindarme su asesoramiento durante el desarrollo de este proyecto de titulación.

A mis docentes de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, por sus consejos, apoyo y motivación académica.

A mis amigos, por haber compartido ideas, experiencias que sin duda serán memorables.

A mi querida alma mater UNL que me ha otorgado a través de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial una adecuada formación académica.

José Nixon López Pesantez

Índice de Contenidos

Portada.....	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de Contenidos.....	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos.....	xvi
1 Título.....	1
2 Resumen.....	2
2.1 Abstract.....	3
3 Introducción.....	4
4 Marco Teórico.....	6
4.1 Topografía.....	6
4.1.1 Levantamiento Topográfico con Drones.....	6
4.2 Caracterización Litológica.....	6
4.3 Remoción en masa.....	7
4.3.1 Caídos.....	7
4.4 Macizo Rocoso.....	8
4.5 Propiedades Físico Mecánicas de la Matriz Rocosa.....	9
4.6 Discontinuidades.....	13
4.6.1 Tipos de Discontinuidades.....	13
4.6.2 Características de discontinuidades.....	13
4.7 Clasificación Geomecánica de los Macizos Rocosos.....	14
4.7.1 RQD.....	15

4.7.2	RMR	16
4.7.3	SMR.....	23
4.7.4	GSI.....	26
5	Metodología.....	28
5.1	Área de estudio	28
5.1.1	Ubicación.....	28
5.1.2	Acceso	29
5.1.3	Clima	29
5.1.4	Hidrología.....	30
5.1.5	Geología Regional	30
5.2	Materiales	32
5.3	Procedimiento.....	32
5.3.1	Metodología para el primer objetivo	34
5.3.2	Metodología para el segundo objetivo	39
5.3.3	Metodología para el tercer objetivo.....	48
6	Resultados	51
6.1	Topografía	51
6.2	Geología	53
6.2.1	Geología Local	53
6.2.2	Geología Estructural	57
6.2.3	Zonas de Comportamiento Litoestructural de los Macizos Rocosos	60
6.3	Análisis de Discontinuidades	61
6.3.1	Espaciado.....	62
6.3.2	Longitud	63
6.3.3	Apertura.....	64
6.3.4	Rugosidad.....	65
6.3.5	Relleno.....	66
6.3.6	Meteorización	67
6.3.7	Flujo de Agua	68
6.4	Ensayo de comprensión uniaxial o simple	70
6.5	Propiedades Físicas	70

6.6	RQD.....	71
6.7	RMR	73
6.8	SMR.....	76
6.9	Análisis Cinemático.....	82
6.9.1	Zona Geomecánica 1	82
6.9.2	Zona Geomecánica 2	84
6.9.3	Zona Geomecánica 3	85
6.9.4	Zona Geomecánica 4	87
6.9.5	Zona Geomecánica 5	88
6.9.6	Zona Geomecánica 6	90
6.9.7	Zona Geomecánica 7	91
7	Discusión.....	95
8	Conclusiones.....	98
9	Recomendaciones.....	100
10	Bibliografía.....	101
11	Anexos.....	105

Índice de Tablas:

Tabla 1. Grado de Meteorización de la roca.	9
Tabla 2. Clasificación de las rocas según su resistencia de acuerdo al ISRM.	12
Tabla 3. Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de rocas a partir de índices de campo.	12
Tabla 4. Propiedades físico-mecánicas de la matriz rocosa.	12
Tabla 5. Tipos de discontinuidades.	13
Tabla 6. Características de las discontinuidades	14
Tabla 7. Métodos de clasificación de los macizos rocosos.	15
Tabla 8. Índice de calidad de la roca (RQD).....	16
Tabla 9. Resistencia a la compresión simple.....	17
Tabla 10. Índice de calidad.....	17
Tabla 11. Espaciado de discontinuidades.....	17
Tabla 12. Condición de las discontinuidades	17
Tabla 13. Flujo de agua	18
Tabla 14. Orientación de las discontinuidades del talud	18
Tabla 15. Rugosidad de acuerdo al índice JRC.....	20
Tabla 16. Valores del RMR básico.	22
Tabla 17. Factor de ajuste para las discontinuidades	24
Tabla 18. Factor de ajuste según el método de excavación.....	25
Tabla 19. Funciones continuas para F1, F2 y F3.....	25
Tabla 20. Clasificación SMR	25
Tabla 21. Lineamientos de soporte de talud de acuerdo al SMR	26
Tabla 22. Estimación del GSI en base a descripciones geológicas in situ	27
Tabla 23. Coordenadas del tramo de estudio	28
Tabla 24. Materiales y Equipos.....	32
Tabla 25. Puntos de control, obtenidos con el GPS Diferencial REACH RS2, Datum WGS 84.	35
Tabla 26. Información sobre el vuelo.....	37
Tabla 27. Corrección de la medida del índice de rebote del martillo de Schmidt cuando no se encuentra en posición vertical.	43
Tabla 28. Resistencia a la compresión simple.....	45
Tabla 29. Descripción del RQD	49
Tabla 30. Descripción del RMR.....	49

Tabla 31. Descripción SMR	50
Tabla 32. Litologías del área de estudio.....	56
Tabla 33. Zonificación litoestructural.	60
Tabla 34. Resultado del ensayo a la compresión simple.....	70
Tabla 35. Resultado de propiedades físicas.....	71
Tabla 36. Resultados de gravedad específica y peso específico real	71
Tabla 37. Cálculo del RQD de la zona 1 abs 34+430-34+440.....	71
Tabla 38. Resultados del RQD	72
Tabla 39. Cálculos de la calidad del macizo rocoso en función del RMR de la zona 1 abs 34+430-34+440	74
Tabla 40. Resultados del RMR.....	74
Tabla 41. Cálculos de rotura planar de la zona 1 abs 34+430-34+440	77
Tabla 42. Cálculos de rotura vuelco de la zona 1 abs 34+430-34+440	77
Tabla 43. Resultados del SMR para rotura planar.....	77
Tabla 44. Resultados del SMR para rotura en vuelco	80

Índice de Figuras:

Figura 1. Esquema de caído de rocas (a) y caído de residuos (b)	7
Figura 2. Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades.	14
Figura 3. Puntaje de acuerdo al esfuerzo de la roca intacta.	18
Figura 4. Puntaje de acuerdo al valor del RQD %	19
Figura 5. Puntaje de acuerdo al espaciamiento de las discontinuidades.	19
Figura 6. Puntaje de acuerdo a la longitud de las discontinuidades.....	19
Figura 7. Puntaje de acuerdo a la abertura.	20
Figura 8. Puntaje de acuerdo a la rugosidad.	20
Figura 9. Perfiles normalizados que propusieron Barton y Choubey	21
Figura 10. Relación entre Jr., sistema Q y JRC para muestras de 200mm y 1m en el sistema RMR.....	21
Figura 11. Medida de amplitud y longitud de la aspereidad de la junta.	22
Figura 12. Gráfico para determinar el JRC en función de la amplitud y longitud de la discontinuidad	22
Figura 13. Zona de estudio.....	28
Figura 14. Acceso a la zona de estudio, a) Troncal de la Sierra, b) Troncal de la Costa.....	29
Figura 15. Geología regional de área de estudio.....	31
Figura 16. Perfil geológico A-A'	31
Figura 17. Metodología de la Investigación.....	33
Figura 18. A) Puntos de control. B) Levantamiento con GPS Diferencial REACH RS2 y ubicación de marcas.	35
Figura 19. A) Plan de vuelo B) Dron MATRICE 300 RTK.....	36
Figura 20. Posicionamiento de las cámaras y solapamiento de imágenes	37
Figura 21. Descripción de afloramientos	38
Figura 22. Macizos Rocosos	38
Figura 23. Línea de muestreo.....	39
Figura 24. Número de familias de diaclasas presentes en el macizo rocoso.....	39
Figura 25. Espaciado de diaclasas.....	40
Figura 26. Medida de abertura	40
Figura 27. Inspección de relleno	41
Figura 28. Medida de rugosidad mediante peine de Barton.....	41
Figura 29. Meteorización de diaclasas	42

Figura 30. Toma de datos estructurales.....	42
Figura 31. Correlación para el martillo Schmidt entre resistencia a compresión, densidad de la roca y rebote.	43
Figura 32. Aplicación del ensayo de esclerometría de bajo impacto.	44
Figura 33. A) Medida de las aristas B) Peso de las muestras cubicas C) Prensa para ensayos de compresión simple. D) Ejecución del ensayo aplicado a probeta cubicas.	45
Figura 34. Determinación del peso natural.	45
Figura 35. A) Toma de datos. B) Horno C) Peso de muestras secas.	46
Figura 36. Muestras saturadas en agua.	46
Figura 37. Peso sumergido.	47
Figura 38. A) Pulverización de muestras. B) Tamizado malla #200. C) Material pasante malla #200.	47
Figura 39. A) Agua destilada en picnómetro. B) Peso de 50 gr de material. C) Material en picnómetro. D) Eliminación de burbujas	48
Figura 40. Proyección estereográfica.....	50
Figura 41. Topografía del área de estudio.....	51
Figura 42. Perfil Topográfico A-A'	52
Figura 43. Perfil Topográfico B-B'	52
Figura 44. Perfil Topográfico C-C'	53
Figura 45. Ubicación de afloramientos del área de estudio	53
Figura 46. Andesita Porfídica	54
Figura 47. Parches de Ox. Fe y Ox. Mn.....	54
Figura 48. Coluvios.....	55
Figura 49. Saprolito Andesítico	55
Figura 50. Limolita.....	56
Figura 51. Meteorización esferoidal	56
Figura 52. Litologías superficiales del área de estudio	57
Figura 53. Vetillas de Qz	58
Figura 54. Vellido de Qz.....	58
Figura 55. Estructura boudinage rectangular	59
Figura 56. Estructura slump	59
Figura 57. Zonas de comportamiento litoestructural de los macizos rocosos.....	61
Figura 58. Análisis estadístico de las familias de discontinuidades.....	62

Figura 59. Representación gráfica de espaciado de las discontinuidades abs 34+430-34+990	62
Figura 60. Representación gráfica de espaciado de las discontinuidades abs 34+990-35+340	63
Figura 61. Representación gráfica de longitud de las discontinuidades abs 34+430-34+990	63
Figura 62. Representación gráfica de longitud de las discontinuidades abs 34+990-35+340	64
Figura 63. Representación gráfica de apertura de las discontinuidades abs 34+430-34+990	64
Figura 64. Representación gráfica de apertura de las discontinuidades abs 34+990-35+340	65
Figura 65. Representación gráfica de la rugosidad de las discontinuidades abs 34+430-34+990	65
Figura 66. Representación gráfica de la rugosidad de las discontinuidades abs 34+990-35+340	66
Figura 67. Representación gráfica del relleno de las discontinuidades abs 34+430-34+990	66
Figura 68. Representación gráfica del relleno de las discontinuidades abs 34+990-35+340	67
Figura 69. Representación gráfica de la meteorización de las discontinuidades abs 34+430-34+990.....	67
Figura 70. Representación gráfica de la meteorización de las discontinuidades abs 34+990-35+340.....	68
Figura 71. Representación gráfica del flujo de agua de las discontinuidades abs 34+430-34+990.....	68
Figura 72. Representación gráfica del flujo de agua de las discontinuidades abs 34+990-35+340.....	69
Figura 73. RQD.....	73
Figura 74. RMR.....	75
Figura 75. Análisis estadístico del RMR.....	76
Figura 76. Dispersión de datos estructurales mostrados en Dips 6.0.....	76
Figura 77. SMR Planar.....	79
Figura 78. Análisis estadístico del SMR planar.....	80
Figura 79. SMR Vuelco.....	81
Figura 80. Análisis estadístico del SMR vuelco.....	82
Figura 81. Rotura planar de la zona geomecánica 1.....	83
Figura 82. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 2.....	83
Figura 83. Rotura en cuña de la zona geomecánica 1.....	84
Figura 84. Rotura planar de la zona geomecánica 2.....	84

Figura 85. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 2	85
Figura 86. Rotura en cuña de la zona geomecánica 2	85
Figura 87. Rotura planar de la zona geomecánica 3	86
Figura 88. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 3	86
Figura 89. Rotura en cuña de la zona geomecánica 3	87
Figura 90. Rotura planar de la zona geomecánica 4	87
Figura 91. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 4	88
Figura 92. Rotura en cuña de la zona geomecánica 4	88
Figura 93. Rotura planar de la zona geomecánica 5	89
Figura 94. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 5	89
Figura 95. Rotura en cuña de la zona geomecánica 5	90
Figura 96. Rotura planar de la zona geomecánica 6	90
Figura 97. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 6	91
Figura 98. Rotura en cuña de la zona geomecánica 6	91
Figura 99. Rotura planar de la zona geomecánica 7	92
Figura 100. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 7	92
Figura 101. Rotura en cuña de la zona geomecánica 7	93
Figura 102. Porcentajes de rotura.....	93
Figura 103. Rotura planar, cuña y vuelco.	94

Índice de Anexos:

Anexo 1. Ortofoto	105
Anexo 2. Fichas de Afloramientos	106
Anexo 3. Ficha de análisis macroscópico	121
Anexo 4. Fichas de Zonificación	130
Anexo 5. Fichas de caracterización geomecánica.....	137
Anexo 6. Peso natural de las muestras	146
Anexo 7. Peso en seco.....	146
Anexo 8. Peso saturado	146
Anexo 9. Peso sumergido.....	146
Anexo 10. Datos del picnómetro.....	147
Anexo 11. Datos de muestra en diferentes condiciones.....	147
Anexo 12. GSI.....	147
Anexo 13. Datos de RocLab	147
Anexo 14. Mapa de Ubicación.....	149
Anexo 15. Mapa Geológico Regional.....	149
Anexo 16. Mapa Topográfico	149
Anexo 17. Mapa Geológico Local	149
Anexo 18. Mapa de Zonas de Comportamiento Litoestructural	149
Anexo 19. Mapa de Rock Quality Designation	149
Anexo 20. Mapa Rock Mass Rating	149
Anexo 21. Mapa Planar Slope Mass Rating	149
Anexo 22. Mapa Toppling Slope Mass Rating	149
Anexo 23. Certificación de traducción del resumen	150

1 Título

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

2 Resumen

El presente trabajo investigativo consiste en la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en un tramo de vía de 940 m de longitud ubicado entre los barrios San Vicente – Sunamanga del cantón Gonzanamá provincia de Loja, en el margen derecho en sentido de avance. La topografía se realizó mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados debido a su menor costo y tiempo, se levantó mediante el uso de un GPS diferencial obteniendo puntos de control terrestre RTK, permitiendo obtener una ortofoto a detalle del área de estudio y la obtención de curvas de nivel cada 1m. El levantamiento geológico se realizó identificando afloramientos y estructuras presentes en la zona de estudio, el ambiente litológico se encuentra caracterizado por andesitas porfídicas, depósitos coluviales, saprolitos y limolitas. Los parámetros físico mecánicos fueron evaluados a los diferentes taludes rocosos, se realizó una zonificación litoestructural en el cual se tomó parámetros físicos de los macizos con el empleo de equipos para dicho fin como: brújula, esclerómetro de bajo impacto y peine de Barton, además se tomó una muestra de roca para determinar las propiedades físicas mecánicas de la matriz rocosa y su resistencia a la comprensión uniaxial. La clasificación geomecánica se realizó para cada estación de estudio, con el objetivo de determinar el comportamiento y evaluar de manera cualitativa y cuantitativa la calidad de los macizos rocosos mediante la obtención de parámetros geomecánicos, se utilizó funciones continuas para la automatización de los cálculos, representando a través de mapas las tres clasificaciones principales como: RQD, RMR y SMR. Finalmente se identificó los posibles mecanismos de rotura mediante un análisis cinemático en el software Dips 6.0 por cada zona litoestructural tomando en cuenta las mediciones estructurales y los resultados de los ensayos ejecutados en la etapa de laboratorio.

Palabras Clave: Taludes, Macizo rocoso, Clasificación geomecánica, RQD, RMR, SMR.

2.1 Abstract

The present research work consists of the geomechanical characterization of the rock massifs in a 940 m long stretch of road located between the San Vicente - Sunamanga neighborhoods of the Gonzanamá canton, Loja province, on the right margin in the forward direction. The topography was carried out using unmanned aerial vehicles due to its lower cost and time, it was surveyed using a differential GPS obtaining RTK ground control points, allowing to obtain a detailed orthophoto of the study area and obtaining contour lines every 1m. The geological survey was carried out identifying outcrops and structures present in the study area, the lithological environment is characterized by porphyritic andesites, colluvial deposits, saprolites and siltstones. The physical-mechanical parameters were evaluated for the different rock slopes, a lithostructural zoning was carried out in which physical parameters of the massifs were taken with the use of equipment for this purpose such as: compass, low impact sclerometer and Barton comb, in addition a rock sample was taken to determine the physical-mechanical properties of the rock matrix and its resistance to uniaxial compression. The geomechanical classification was carried out for each study station, with the objective of determining the behavior and evaluating in a qualitative and quantitative way the quality of the rock masses by obtaining geomechanical parameters, continuous functions were used for the automation of the calculations, representing through maps the three main classifications such as: RQD, RMR and SMR. Finally, the possible failure mechanisms were identified by means of a kinematic analysis in Dips 6.0 software for each lithostructural zone, taking into account the structural measurements and the results of the tests performed in the laboratory stage.

Key words: Slopes, Rock mass, Geomechanical classification, RQD, RMR, SMR.

3 Introducción

La presente investigación trata sobre la “Caracterización geomecánica de los macizos rocosos ubicados en el tramo de la vía San Vicente – Sunamanga del cantón Gonzanamá, provincia de Loja”, los taludes de corte que fueron estudiados se ubican en el margen derecho en sentido de avance respecto al eje vial, la principal problemática que presentan los taludes de corte es la caída de rocas en la calzada de la vía, siendo uno de los problemas presentes que afecta a los transeúntes, la viabilidad y causa daño a las propiedades, por tal motivo se consideró estudiar los macizos rocosos ubicados entre las abscisas 34+400 a 35+340 el cual representa una longitud de 940 m y se definió una distancia de 60 m a cada lado del eje de la vía, siendo una extensión adecuada para definir las características geomecánicas de los macizos rocosos, ya que los macizos presentan una extensión respecto al eje vial menor a 20 m y además no existen taludes de corte fuera de la faja topográfica antes definida por tanto el principal problema se centra en los macizos rocosos ubicados al margen derecho en sentido de avance de la vía.

Para analizar la problemática es necesario mencionar que la geología, la litología, la morfología y las condiciones hidrogeológicas son los factores que al alterarse puede originar movimientos en masa, deslizamientos, caída de rocas, etc., a esto se le adiciona la actividad humana en las zonas de influencia directa de la vía, que puede traducirse en un incremento o disminución de las tensiones o de la resistencia al corte, cuyo efecto inmediato puede ser la inestabilidad de una masa de roca, generando afectaciones a la calzada vial siendo la única red vial existente que permite el transporte, comunicación y comercio de la zona,

Los taludes de corte incluyen rocas intemperizadas cuya resistencia son mucho menor que la matriz rocosa, debido a la alteración durante su construcción y a la acción meteorológica estas rocas se seguirán degradando, por ello, uno de los problemas presentes en los taludes de la vía San Vicente – Sunamanga son el resultado de escasa información sobre las características geológicas y geomecánicas, estos estudios están relacionados directamente con las características que presenta el macizo rocoso como su litología, discontinuidades, entre otros, produciendo el debilitamiento y como resultado el desprendimiento de rocas, además se encuentra asociado a la falta de mantenimiento vial, inadecuada aplicabilidad de los procedimientos constructivos, pendiente desfavorable y falta de obras de drenaje en zonas superiores de los taludes. Dada estas premisas, se requiere de una atención inmediata, siendo el presente trabajo investigativo una respuesta a la problemática antes abordada.

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

La primera parte, se basa en la recopilación bibliográfica, el levantamiento topográfico mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados y la caracterización geológica de la zona de estudio.

La segunda parte, se efectúa los diferentes ensayos del 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 se realiza un análisis cinemático por cada zona geomecánica para identificar los diferentes tipos de mecanismo de rotura.

Finalmente se analizan los resultados obtenidos en oficina para elaborar las conclusiones y las debidas recomendaciones.

Para dar cumplimiento al tema principal y a la sistemática antes mencionada se han propuesto un objetivo general y tres objetivos específicos que son los siguientes:

Objetivo General

- Caracterización geomecánica de los macizos rocosos ubicados entre las abscisas 34+400 a 35+340 metros de la vía San Vicente – Sunamanga del cantón Gonzanamá.

Objetivos Específicos

- Elaborar el levantamiento topográfico y geológico.
- Obtener los parámetros físico mecánicos de los macizos rocosos.
- Determinar la calidad de los macizos rocosos en base al criterio de clasificación RMR de Bieniawski y SMR de Romana.

4 Marco Teórico

4.1 Topografía

Según Montes De Oca (1989) señala que la topografía es:

La ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones de los puntos sobre la superficie de la tierra, por medio de medidas según los 3 elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y una elevación (p. 1).

4.1.1 Levantamiento Topográfico con Drones

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

De acuerdo a Global Mediterránea Geomática (2018, como se citó en Machado y Pertúz, 2020) establece que:

Los drones han supuesto una revolución en el trabajo topográfico. En primer lugar, por la importante reducción de costes que suponen. Esto ha permitido, que proyectos que no eran viables por su elevado coste hoy se puedan realizar sin problemas. Y no estamos hablando solo de los costes económicos o de personal, también 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

De acuerdo a García y Prado (2005, como se citó en Cerquera et ál, 2017) La caracterización de un material se define como:

La determinación de los atributos particulares de modo que permita distinguirlo de los demás. Las rocas se componen de diferentes minerales y, según el estado de éstos y las condiciones de formación, 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:

En primer lugar, el examen físico de la misma en lo que concierne a 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

En 1991, Cruden define a “Los deslizamientos (Landslides) movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” (p.28). De acuerdo a Alcantara (1999) “Los procesos de ladera (slope processes) son igualmente denominados procesos gravitacionales (gravitational processes), procesos de remoción en masa (mass movement processes), o en un sentido general, se conocen también como deslizamientos de tierra (landslides)” (p.5).

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 rocas (a) y caído de residuos (b)

Nota: Suárez (2009)

4.4 Macizo Rocoso

De acuerdo a Plaza (s.f), “Un macizo rocoso es un conjunto constituido por una o varias matrices rocosas que presentan una determinada estructura, está afectado por un cierto grado de alteración y por una serie de discontinuidades” (p. 11).

El manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos define:

Un macizo rocoso es el conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. La presencia de discontinuidades de diverso tipo confiere al macizo rocoso un carácter heterogéneo y un comportamiento no continuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad y condiciona su comportamiento geomecánico e hidráulico (Ferrer y Gonzales, 2007, p. 11).

En 2004, Ramírez y Monges ha definido que “los macizos rocosos en la naturaleza presentan comúnmente un elevado número de discontinuidades. Por ello si se quiere conocer y describir adecuadamente el comportamiento mecánico de los macizos rocosos resulta necesario analizar previamente el comportamiento de las discontinuidades naturales” (p. 82).

Cabe mencionar que en un macizo rocoso según la Catedra de Geotecnia I (2010, como se citó en Guamán y Mendieta, 2013) afirman que:

En un macizo rocoso de acuerdo a su estructura geológica se presentan dos tipos de estructuras denominadas estructura primaria y secundaria. La estructura primaria está dada por la génesis de las rocas. Las estructuras secundarias en cambio son el producto de la acción de esfuerzos desarrollados en la masa rocosa debidas a los esfuerzos tectónicos. Estas estructuras se pueden presentar aisladas o sobrepuestas entre sí. Las estructuras secundarias se manifiestan localmente en discontinuidades y regionalmente como fallas, pliegues, que constituyen planos de debilitamiento en el macizo rocoso (p. 23).

González (2018) afirma que para caracterizar o describir un macizo rocoso se debe considerar las características generales del mismo:

- Litología: Se describe el tipo de roca.
- Resistencia: En terreno la resistencia de una roca se determina en relación al número de golpes que son necesarios para fracturar la roca.
- Grado de meteorización: es la descomposición física y química de la roca al estar expuesta a agentes atmosféricos (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 (p.13).

Tabla 1. Grado de Meteorización de la roca.

Grado de Meteorización		
Termino	Descripción	Grado
Fresca o sana (F)	No se observa rasgos de meteorización en el material rocoso, tal vez ligera decoloración en las superficies de discontinuidades principales	I
Ligeramente meteorizado (SW)	Decoloración es presente y sugiere meteorización del material rocoso y superficies de discontinuidades. Todo el material rocoso puede estar decolorado por meteorización y puede ser algo más débil externamente que en su condición fresca	II
Moderadamente meteorizado (NM)	Menos de la mitad rocosa esta descompuesta en suelo. Roca fresca decolorada esta aún presente, formando un armazón discontinuo o como relictos rocosos	III
Altamente meteorizado (HW)	Mas de la mitad del material rocoso esta descompuesto en suelo. Roca fresca decolorada esta aún presente, formando un armazón discontinuo o como relictos rocosos	IV
Completamente meteorizado (CW)	Todo el material rocoso se halla descompuesto a suelo. La estructura original de la masa es aún preservada	V
Suelo residual (R)	Todo el material rocoso ha sido trasformado a suelo. La estructura, así como la fábrica han sido destruidas. Existe un gran cambio volumétrico, pero el suelo no ha experimentado transporte	VI

Nota: ISRM, 1981

4.5 Propiedades Físico Mecánicas de la Matriz Rocosa

De acuerdo a González (2018), “Para la correcta evaluación de la matriz rocosa, es necesario conocer sus principales características físicas y mecánicas, estas propiedades se obtienen por observación en campo, y por medio de ensayos de laboratorio” (p. 14).

De acuerdo a las propiedades Físicas de las rocas González, et ál (2002) afirmas lo siguiente:

Las propiedades físicas de las rocas son el resultado de su composición mineralógica, fábrica e historia geológica, deformacional y ambiental, incluyendo los procesos de alteración y meteorización. La gran variabilidad de estas propiedades se refleja en comportamientos mecánicos diferente frente a las fuerzas que se aplican sobre las rocas, comportamientos que quedan definidos por la resistencia del material y por su modelo de deformación (p.126).

Algunas de las relaciones matemáticas definidas en determinadas propiedades físicas son tomadas de: Ingeniería geológica de Vallejo (2002) y Fundamentos de ingeniería geotécnica Braja (2012).

Entre las propiedades físicas más comunes tenemos:

- Peso Específico

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

Donde:

W: peso

V: volumen

- Peso específico aparente

$$Ya = \frac{W_{seco}}{W_{sat} - W_{sumergido}} * y_w$$

Donde:

y_w: densidad del agua expresada en 1g/cm³

- Peso específico real

$$Yr = \frac{W_{pulverizada}}{W_2 - W_{pulverizada} - W_1} * y_w$$

Donde:

W pulverizada = muestra pulverizada

W₁ = W picnómetro + agua + muestra pulverizada

W₂ = W picnómetro + agua

- Densidad

$$Pp = \frac{m_p}{v_p}$$

Donde:

p= densidad expresada en g/cm³ o kg/m³

m= masa de la muestra de roca

v= volumen

- Porosidad

$$n = \frac{v_p}{v} * 100 (\%)$$

Donde:

n= porosidad

V_p= volumen de poros

V= volumen total

- Porosidad eficaz

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

- Absorción

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

Donde:

C_{abs}= coeficiente de absorción

W aire= peso natural de la muestra

W seco= peso en seco

- Contenido de humedad

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

Donde:

W_{sat}= peso saturado

W_{seco}= peso seco

- Gravedad específica

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

W_s= peso en seco de la muestra

W_{bw}= peso picnómetro + agua

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

Según González (2018), “Las propiedades mecánicas dependen de la variabilidad de las propiedades físicas para poder determinar el comportamiento mecánico del macizo rocoso, evaluado por medio de ensayos de laboratorio” (p. 14).

Según González, et ál (2002), “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, tipo de discontinuidades, el tamaño de los bloques, etc.” (p. 127).

Existen diferentes tipos de clasificaciones de la roca según la resistencia a la compresión uniaxial, citados por diferentes autores, entre estas tenemos:

Clasificación propuesta por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (Brown, 1981) (Tabla 2), es:

Tabla 2. 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
5-25	Baja
1-5	Muy Baja
0.25-1	Extremadamente baja

Nota: Brown, 1981

Existe un caso muy particular de clasificación de la resistencia de la roca, mediante el uso de martillo geológico (Tabla 3); una particularidad es que se determina a la roca como resistente, cuando requiere más de un golpe con el uso del martillo geológico.

Tabla 3. Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a comprensión simple de rocas a partir de índices de campo.

Grado	Clasificación	Identificación	Rango aproximado 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.	1.0-5.0
R2	Roca débil	Se descascarilla con dificultad. Al darle golpes con la punta del martillo se forman pequeñas marcas.	5.0-25
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

La identificación de las propiedades que presentan las rocas y los métodos de determinación (tabla 4) se detallan a continuación:

Tabla 4. Propiedades físico-mecánicas de la matriz rocosa.

	Propiedades	Métodos de determinación
Propiedades físicas	Color	Descripción visual
	Génesis	
	Textura	
	Estructura	
	Composición mineralógica	
	Litología	

	Propiedades	Métodos de determinación
Propiedades mecánicas	Resistencia a la comprensión simple	Ensayo de compresión simple Martillo Schmid

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

4.6 Discontinuidades

Según González, et ál (2002) “El termino discontinuidad hace referencia a cualquier plano de separación en el macizo rocoso, pudiendo tener origen sedimentario, como las superficies de estratificación o laminación, diagenetico o tectónico, como las diaclasas o las falla” (p. 178).

De acuerdo a lo establecido por González, et ál (2002) afirma que:

Las superficies o planos de discontinuidad de los macizos rocosos condicionan de una forma definitiva sus propiedades y comportamiento resistente, deformacional e hidráulico. Las discontinuidades imprimen un carácter discontinuo y anisótropo a los macizos, haciéndolos más deformables y débiles. Las discontinuidades representan planos preferentes de alteración, meteorización y fractura, y permiten el flujo de agua. Su reconocimiento, descripción y caracterización es fundamental para el estudio del comportamiento mecánico e hidrogeológico del macizo rocoso (p. 176-177).

4.6.1 Tipos de Discontinuidades

Los tipos de discontinuidades se clasifican en sistemáticas y singulares (Tabla 5), de acuerdo a González, et ál (2002) “Las discontinuidades sistemáticas son cuando aparecen en familias, y singulares, cuando aparece un único plano que atraviesa el macizo rocoso estos últimos suelen ser más continuos y persistentes que las discontinuidades sistemáticas” (p. 178).

Tabla 5. Tipos de discontinuidades.

Discontinuidades	Sistemáticas	Singulares
Planares	Planos de estratificación. Planos de laminación. Diaclasas o juntas. Planos de esquistosidad.	Fallas. Diques. Discordancias.
Lineales	Intersección de discontinuidades planares. Lineaciones.	Ejes de pliegues

Nota: González, et ál (2002).

4.6.2 Características de discontinuidades

De acuerdo a lo establecido por González, et ál (2002) afirma que:

En la descripción de las diferentes familias de discontinuidades en un macizo rocoso se incluyen las siguientes características y parámetros geométricos (Tabla 6) (Figura 2): orientación, espaciado, continuidad o persistencia, rugosidad, abertura, relleno, filtraciones y resistencia de las paredes. Algunos de ellos, como la rugosidad, abertura,

relleno y resistencia de las paredes, determinan el comportamiento mecánico y la resistencia de los planos de discontinuidad (p. 180).

Tabla 6. Características de las discontinuidades

Características de discontinuidades	Descripción
Orientación	Se encuentra definida por su buzamiento y por su dirección de buzamiento
Espaciado	Es la distancia media perpendicular entre los planos de discontinuidad de una misma familia.
Continuidad	Es la extensión del plano de discontinuidad.
Rugosidad	La rugosidad de un plano de discontinuidad determina su resistencia al corte. A mayor rugosidad mayor es la resistencia.
Abertura	Es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno.
Relleno	Es el material que se encuentra dentro de las paredes de la discontinuidad, casi siempre más blando que el macizo rocoso.
Resistencia a las paredes de 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	Agua presente en la discontinuidad

Nota: González, et ál (2002) y González (2018).

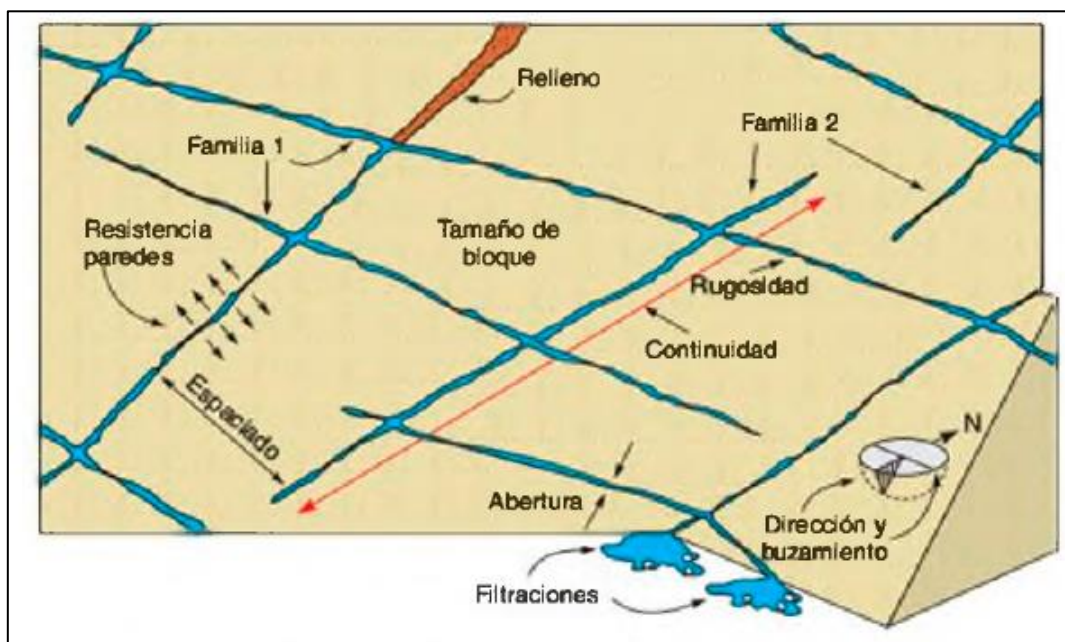


Figura 2. Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades.

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

4.7 Clasificación Geomecánica de los Macizos Rocosos

Bieniawski (2003, como se citó en Ramírez y Monges, 2004) ha definido que:

En lo que se refiere a los taludes, la principal ventaja de las clasificaciones geomecánicas consiste en que permiten obtener, mediante unas correlaciones establecidas, los principales parámetros mecánicos del macizo rocoso: módulo de elasticidad, coeficientes del criterio de rotura Hoek-Brown, etc. La utilización directa

de las clasificaciones para determinar la estabilidad de los taludes puede tener ventajas en fases iniciales del estudio, pero su empleo como única herramienta de decisión a nivel de proyecto es cuestionable (p. 145).

En 2004, Ramírez y Monge ha definido que “Los sistemas de clasificación de los macizos rocosos tienen por objeto evaluar sus características para determinar de forma cuantitativa su calidad” (p. 145).

Para determinar la calidad del macizo rocoso (Tabla 7) se debe tomar en cuenta factores que determinan su comportamiento mecánico, según González (2018), los factores que determinan su comportamiento mecánico son: “Propiedades de la matriz rocosa, frecuencias y tipo de discontinuidades que definen el grado de fracturación, el tamaño, la forma de los bloques, sus propiedades hidrogeológicas, grado de meteorización o alteración y presencia de agua” (p. 17).

Tabla 7. Métodos de clasificación de los macizos rocosos.

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

Nota: González (2018).

4.7.1 RQD

La clasificación del índice RQD según Guamán y Mendieta (2013) afirman que:

La clasificación de Deere o del índice RQD (RQD = Rock Quality Designation) se fundamenta en el grado de fracturación de la roca para valorar la calidad del macizo rocoso. Para obtener el índice RQD, se realizan perforaciones con diámetro mínimo de 54 mm, los tramos de testigo obtenidos de la perforación se miden y se contabilizan para aplicarlos en la fórmula. Para ser contabilizadas la longitud de los tramos debe ser mayor de 10 centímetros.

Es un índice de obtención rápida y forma parte de otras clasificaciones, hay que tener precaución en la calidad del macizo obtenida, debido a que en la perforación influyen factores, como son: la mecánica del sondeo y forma en que se lo ejecutó, que pueden producir roturas en el testigo (p. 27).

La fórmula a aplicar para determinar el RQD es:

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

Palmstrom (1882, como se citó en Guamán y Mendieta, 2013), señala que: “Cuando no se dispone de sondeos, una aproximación del RQD se obtiene por la expresión dada por Palmstrom” (p.27).

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

Palmstrom (2005, como se citó en Ramírez y Monge, 2004), señala que: “a veces hay que estimar el RQD a partir de datos en afloramientos, por tanto, en la formula anterior realiza una nueva corrección” (p. 148), además se debe realizar una relación entre el valor RQD y la calidad de la roca (Tabla 8). En rangos de RQD 4 a 44.

$$RQD = 110 - 2.5J_v$$

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

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

Donde:

J_v : Índice volumétrico de fisuras por cada m³

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

SMi: Espaciamiento o separación medio de cada fisura en metros

Tabla 8. Índice de calidad de la roca (RQD)

RQD	Calidad de la Roca
<25%	Muy Mala
25-50%	Mala
50-75%	Regular
90-100%	Excelente

Nota: Guamán y Mendieta (2013)

4.7.2 RMR

Bieniawski (1973, como se citó Muntazir y Heinz, 2017), señala que: “El sistema RMR o Clasificación Geomecánica fue desarrollado por Bieniawski durante 1972-1973 en Sudáfrica para evaluar la estabilidad y los requisitos de apoyo de túneles” (p.11). La ventaja de este sistema es que se utilizan algunos parámetros básicos relacionados con la geometría y las condiciones mecánicas del macizo rocoso. Bieniawski (1989, como se citó Muntazir y Heinz, 2017), señala que: “Para clasificar un macizo rocoso, el sistema RMR incorpora los siguientes seis parámetros básicos” (p.12).

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

Dónde:

- Parámetro 1: resistencia a la compresión simple (Tabla 9) (Figura 3).

Tabla 9. Resistencia a la comprensión simple

Descripción	Resistencia a Compresión Simple (MPa)	Ensayo de 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
	5 - 25		2
Blanda Muy blanda	1 - 5		1
	<1	<1	0

Nota: Bieniawski (1989)

- Parámetro 2: grado de fracturamiento en términos del R.Q.D (Tabla 10) (Figura 4).

Tabla 10. Índice de calidad

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)

- Parámetro 3: Espaciado de las discontinuidades (Tabla 11) (Figura 5).

Tabla 11. Espaciado de discontinuidades

Descripción	Espacio de las juntas	Tipo de macizo rocoso	Valoración
Muy separadas	> 2 m	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)

- Parámetro 4: condición de las discontinuidades (Tabla 12), se debe considera los siguiente:
 - Longitud (Figura 6)
 - Apertura (Figura 7)
 - Rugosidad (Figura 8)
 - Relleno
 - Meteorización

Tabla 12. Condición de las discontinuidades

Parámetro	Rango de valores				
Longitud de la discontinuidad	<1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	>20 m
Valor	6	4	2	1	0
Apertura	Nada	<0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	>5 mm
Valor	6	5	3	1	0

Parámetro	Rango de valores				
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	suave
Valor	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Relleno duro <5 mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5 mm	Relleno blando >5mm
Valor	6	4	2	2	0
Meteorización	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy Alterada	Descompuesta
Valor	6	5	3	1	0

Nota: Bieniawski (1989)

- Parámetro 5: Flujo de agua (Tabla 13).

Tabla 13. 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 del talud (Tabla 14).

Tabla 14. Orientación de las discontinuidades del talud

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

Nota: Bieniawski (1989)

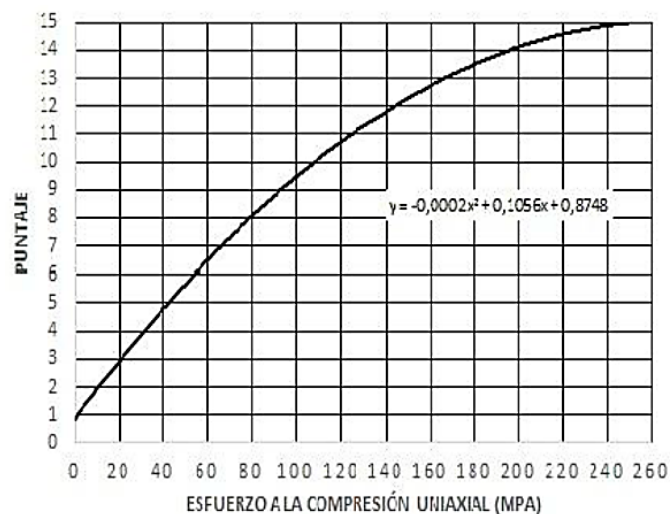


Figura 3. Puntaje de acuerdo al esfuerzo de la roca intacta.

Nota: González (2018)

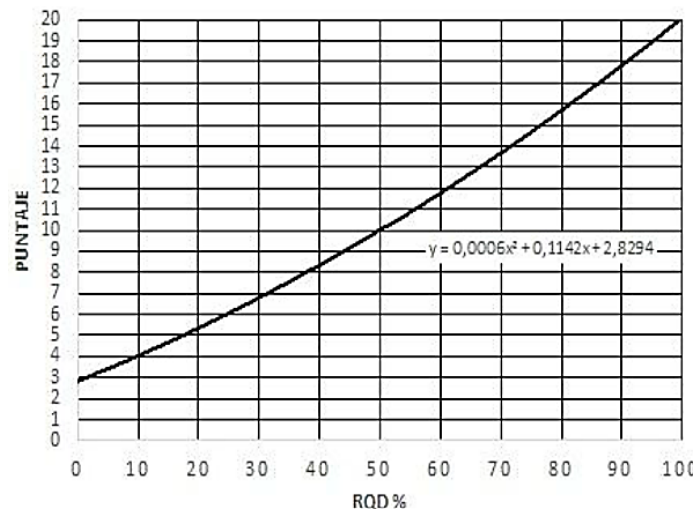


Figura 4. Puntaje de acuerdo al valor del RQD %

Nota: González (2018)

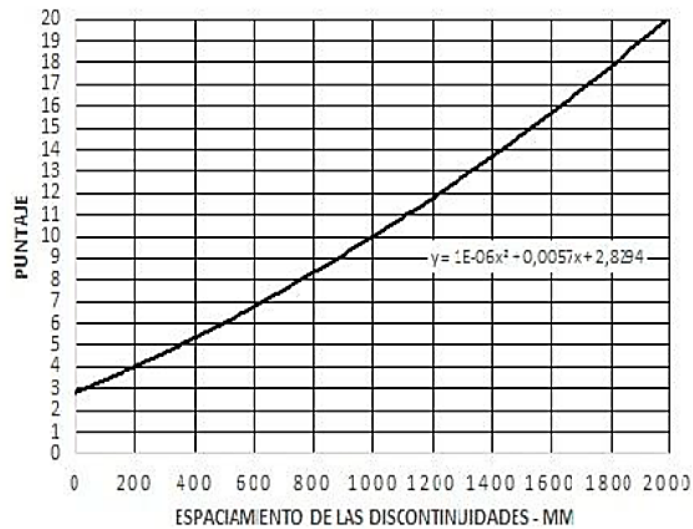


Figura 5. Puntaje de acuerdo al espaciamento de las discontinuidades.

Nota: González (2018)

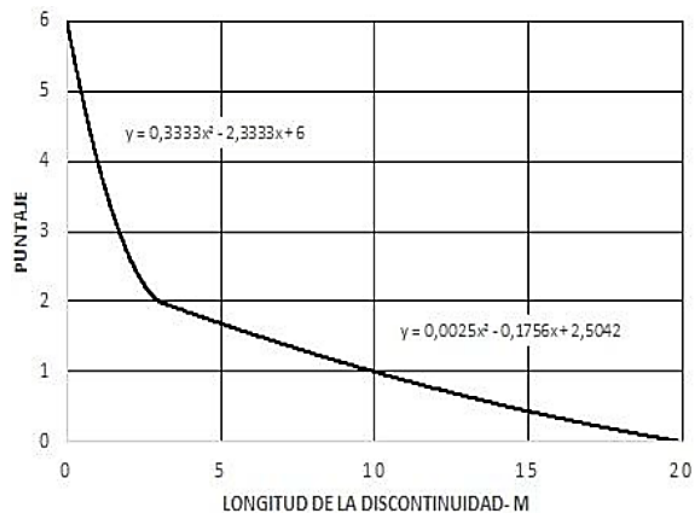


Figura 6. Puntaje de acuerdo a la longitud de las discontinuidades.

Nota: González (2018)

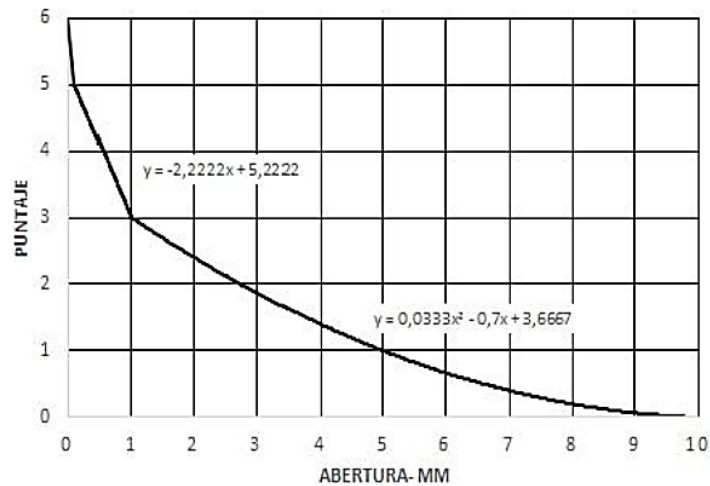


Figura 7. Puntaje de acuerdo a la abertura.

Nota: González (2018)

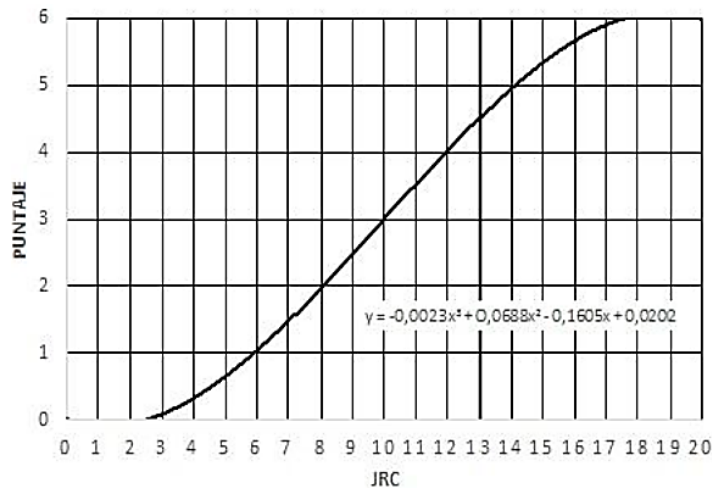


Figura 8. Puntaje de acuerdo a la rugosidad.

Nota: González (2018)

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 15).

Tabla 15. 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 (Figura 9) o los perfiles de Barton & Bandis (Figura 10). 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).

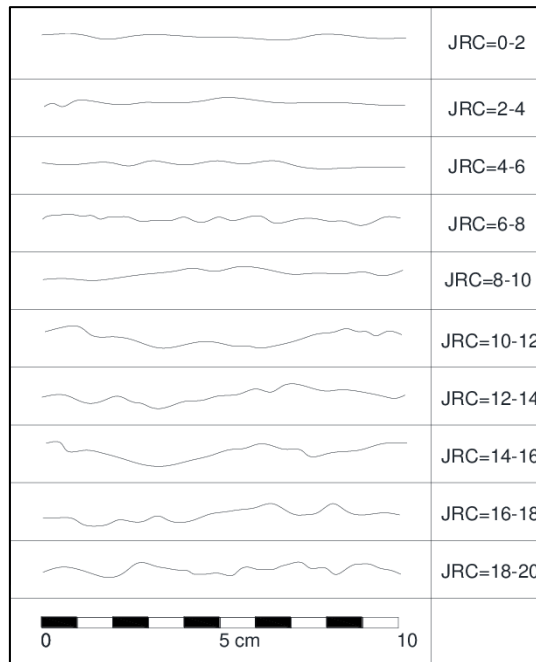


Figura 9. Perfiles normalizados que propusieron Barton y Choubey

Nota: Barton y Choubey (1997)

Descripción	Perfil	Jr	JRC 200mm	JRC 1m
Rugosa		4	20	11
Lisa		3	14	9
Pulida		2	11	8
	Escalonada			
Rugosa		3	14	9
Lisa		2	11	8
Pulida		1.5	7	6
	Ondulada			
Rugosa		1.5	2.5	2.3
Lisa		1.0	1.5	0.9
Pulida		0.5	0.5	0.4
	Plana			

Figura 10. Relación entre Jr., sistema Q y JRC para muestras de 200mm y 1m en el sistema RMR.

Nota: Barton y Choubey (1990)

Según González (2018) “Para la rugosidad, se sigue la metodología de Barton y Bandis (1990), considerándose el efecto de escala y calculándose en forma cuantitativa el valor de la rugosidad JRC” (p.23), por tanto, se debe medir la profundidad de la aspereza de la discontinuidad en función de la longitud de la discontinuidad (figura 11). En la figura 12 se muestra el diagrama de cálculo de JRC en función de la amplitud de la aspereza y la longitud del perfil medio.

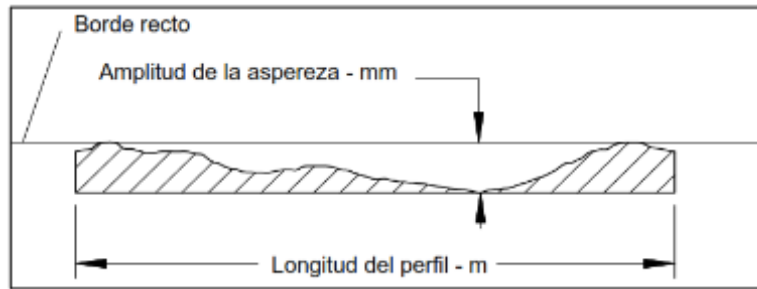


Figura 11. Medida de amplitud y longitud de la aspereza de la junta.

Nota: Barton y Bandis (1990)

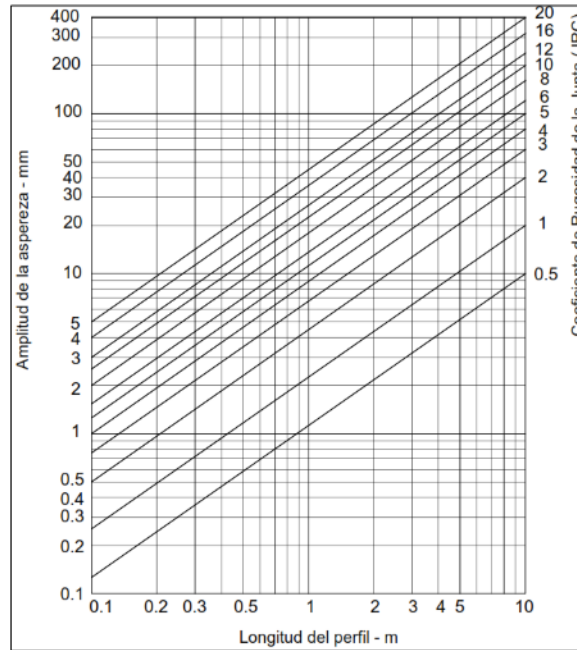


Figura 12. Gráfico para determinar el JRC en función de la amplitud y longitud de la discontinuidad

Nota: Barton y Bandis (1990)

La relación entre el RMR básico y la calidad de la roca (tabla 16) se obtiene una vez calculado los datos de los cintos parámetros.

Tabla 16. 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	< 1Kp/cm ²	<15°

Nota: Bieniawski, 1989

4.7.3 SMR

De acuerdo a Romana et ál (2001) “El índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del índice RMR básico sumando un "factor de ajuste", que es función de la orientación de las juntas (y producto de tres subfactores) y un "factor de excavación" que depende del método utilizado” (p. 394).

Para calcular el SMR se debe tener en cuenta que:

El índice SMR se obtiene restando del RMR primario un factor de ajuste F que depende de la orientación de las discontinuidades y sumando un factor de excavación F4 que es función del método de excavación utilizado. A su vez, el factor F es el producto de tres subfactores que consideran: la orientación relativa del rumbo del plano del talud con respecto al de las discontinuidades, F1, la diferencia entre el buzamiento de las discontinuidades y del talud, F3, y el propio buzamiento de las discontinuidades, F2 (Ramírez y Monge, 2004, p.168)

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

Los factores de ajuste se evalúan tal como se indica a continuación:

Romana (1985, como se citó Ramírez y Monge 2004) “F1 depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y el de la cara del talud. Se le asigna un valor de 1 cuando los dos rumbos son paralelos y 0,15 cuando éstos difieren en más de 30°” (p.168) (Tabla 15). 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 depende del buzamiento de la discontinuidad si la rotura plana es el mecanismo más probable de fallo del talud. 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° (Ramírez y Monge, 2004, p. 169) (Tabla 15). Para el cálculo de F2 se debe utilizar la siguiente expresión:

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

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 evalúa la relación entre el buzamiento de la junta y el del talud. En caso de rotura plana, F3 indica la probabilidad de que las juntas afloren en la cara del talud. Se considera una situación normal cuando el buzamiento medio de la familia de discontinuidades es igual al del talud, con lo cual sólo unas pocas juntas estarán descalzadas. En caso de vuelco, como el proceso de rotura del talud es progresivo, no se consideran en ningún caso condiciones desfavorables (Ramírez y Monge, 2004, p. 169) (Tabla 17).
- F4 es el factor de ajuste según el método de excavación (tabla 18), habiéndose establecido empíricamente los siguientes valores:
 - a. Taludes naturales, $F4 = + 15$, son los más estables, a causa de los procesos de erosión sufridos por el talud y de los mecanismos de protección que muchos de ellos poseen (vegetación, desecación superficial, drenaje torrencial, etc.).
 - b. Excavados mediante precorte, $F4 = + 10$.
 - c. Excavados con técnicas de voladura suave (recorte) bien ejecutadas, $F4 = + 8$.
 - d. Ejecutados por medio de voladuras bien realizadas, $F4 = 0$.
 - e. Excavados mediante voladuras defectuosas que pueden dañar la estabilidad, $F4 = - 8$.
 - f. Excavación mecánica de los taludes por “ripado”, $F4 = 0$. Sólo es posible cuando el macizo rocoso está muy fracturado o la roca es blanda. Con frecuencia se combina con prevoladuras poco cuidadas. Las caras del talud presentan dificultades de acabado. Por ello se considera que el método no mejora ni empeora la estabilidad.

Tabla 17. Factor de ajuste para las discontinuidades

Tipo De Rotura			Muy Favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy Desfavorable
P	A	$ \alpha_j - \alpha_s $					
T	=	$\frac{ \alpha_j - \alpha_s }{180}$	$>30^\circ$	$30-20^\circ$	$20-10^\circ$	$10-5^\circ$	$<5^\circ$
P/ T	F ₁		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P	B	β_j	$<20^\circ$	$20-30^\circ$	$30-45^\circ$	$35-45^\circ$	$>45^\circ$
P	=		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F ₂		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
P	C	$\beta_j - \beta_s$	$>10^\circ$	$10-0^\circ$	0°	$0-(0^\circ)$	$<(-10^\circ)$
T	=	$\beta_j + \beta_s$	$<110^\circ$	$110-120^\circ$	$>120^\circ$	-	-
P/ T	F ₃		0	-6	-25	-50	-60

Tipo De Rotura	Muy Favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy Desfavorable
ROTURA: P planar; T vuelco. DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO: α_j discontinuidad; α_s talud. BUZAMIENTO: β_j discontinuidad; β_s talud					

Nota: Romana (1985)

Tabla 18. Factor de ajuste según el método de excavación

Método	Talud Natural	Precorte	Voladura Suave	Voladura o Mecánico	Voladura Deficiente
F4	+15	+10	+8	0	-8

Nota: Romana (1985)

De acuerdo a Tomas et ál (2007) “propusieron funciones continuas para determinar un valor más propicio a los factores de ajuste F1, F2 y F3 reduciendo la interpretación subjetiva” (p.7-8) (Tabla 19).

Tabla 19. Funciones continuas para F1, F2 y F3

Parámetro	Planar/Cuña	Vuelco
F1	$F1 = \frac{16}{25} - \frac{3}{500} \tan^{-1}(\frac{1}{10} A - 17)$	
F2	$F2 = \frac{9}{16} + \frac{1}{195} \tan^{-1}(\frac{17}{100}B - 5)$	$F2 = 1$
F3	$F3 = -30 + \frac{1}{3} \tan^{-1}C$	$F3 = -13 - \frac{1}{7} \tan^{-1}(C - 120)$

Nota: Romana (1985)

La Tabla 20 muestra la clasificación del SMR y las diferentes clases de estabilidad, calidad y los valores límite encontrados en relación al mismo.

Tabla 20. Clasificación SMR

Clase N°	V	IV	III	II	I
SMR	0 -20	21 -40	41 - 60	61 – 80	81 – 100
Calidad	Muy Mala	Mala	Norma	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masas	Planar o grandes cuñas	Algunas juntas o grandes 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)

La Tabla 21 muestra los lineamientos del soporte del talud de acuerdo al valor del SMR.

Tabla 21. Lineamientos de soporte de talud de acuerdo al SMR

SMR	0	10	15	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100	
Re-excavación		Re-excavación																
		Muros																
Drenaje		Drenaje superficial																
		Drenaje profundo																
Concreto			Concreto lanzado															
			Concreto de relleno															
			Contrafuertes y/o vigas															
			Muros de pie															
Reforzamiento					Bulones													
					Anclajes													
Protección						Zanjas de pie												
						Vallas de pie o de talud												
						Redes												
Sin soporte														Saneo				

Nota: Romana (1985)

4.7.4 GSI

El GSI es un sistema para la estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo (Tabla 22).







La clasificación GSI se basa en una observación cuidadosa del macizo rocoso y, por consiguiente, es esencialmente cualitativa. Este índice incorpora la estructura del mismo y las características geomecánicas de las superficies de discontinuidad existentes en él y se obtiene a partir de un examen visual del macizo rocoso en afloramientos y sondeos. El GSI combina los dos aspectos fundamentales del comportamiento de los macizos rocosos, es decir: su fracturación, o sea, el tamaño y la forma de los bloques, y la resistencia al corte de las discontinuidades (Ramírez y Monge, 2004, p.165)

El valor del índice GSI puede ser estimado directamente de la clasificación de Bieniawski, por la siguiente ecuación:

$$GSI = RMR'_{89} - 5$$

Donde al RMR_{89} se le asigna 15 puntos a la condición de aguas subterráneas y 0 puntos al ajuste por orientación de las discontinuidades, a este valor se lo denomina RMR_{89} .

Tabla 22. Estimación del GSI en base a descripciones geológicas in situ

INDICE DE ESFUERZO GEOLOGICO PARA ROCAS UNIDAS (HOEK & MARINOS, 2000)		CONDICIONES DE SUPERFICIE				
<p>Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una direccion desfavorable con respecto a la excavacion, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteracion como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presion del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.</p>		MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
		Superficie muy rugosas, no meteorizadas, frescas	Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro	Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas	Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos compactos.	Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos de arcillas suave.
ESTRUCTURA		DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE →				
	INTACTA O MASIVA Rocas intactas o masivas in-situ, rocas con discontinuidades amplias y espaciadas	90			N/A	N/A
	FRACTURADA Macizo rocos con bloques enclavados, bloques cubicos formados tres intersecciones de sistemas de dicontinuidades	80	70			
	MUY FRACTURADA Macizo perturbado con bloques entrabados y angulares formados por la interseccion de 4 o mas sistemas		60	50		
	FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA Macizo plegado formado por bloques angulares productos de la interseccion de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificacion			40	30	
	DISGREGADO Pobremente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados				20	
	LAMINADA/FOLIADA Se carece de bloques debido al debil material en los planos de esquistocidad y cizalla	N/A	N/A			10
		← DECRECE EL ENCLAVAMIENTO DE LOS BLOQUES				

Nota: Hoek y Brown (1987)

5 Metodología

5.1 Área de estudio

5.1.1 Ubicación

El área de estudio correspondió a los macizos rocosos ubicados en el eje vial (E69) de la vía Catamayo – Gonzanamá, entre el tramo de la vía San Vicente – Sunamanga del cantón Gonzanamá, el tramo de la vía corresponde a 940 m de longitud comprendido entre las abscisas 34+400 a 35+340 del marcado vial (Figura 13). Los taludes se ubican en el margen derecho de la vía en sentido de avance, la pendiente de los taludes de corte generalmente es de 1H:3V.

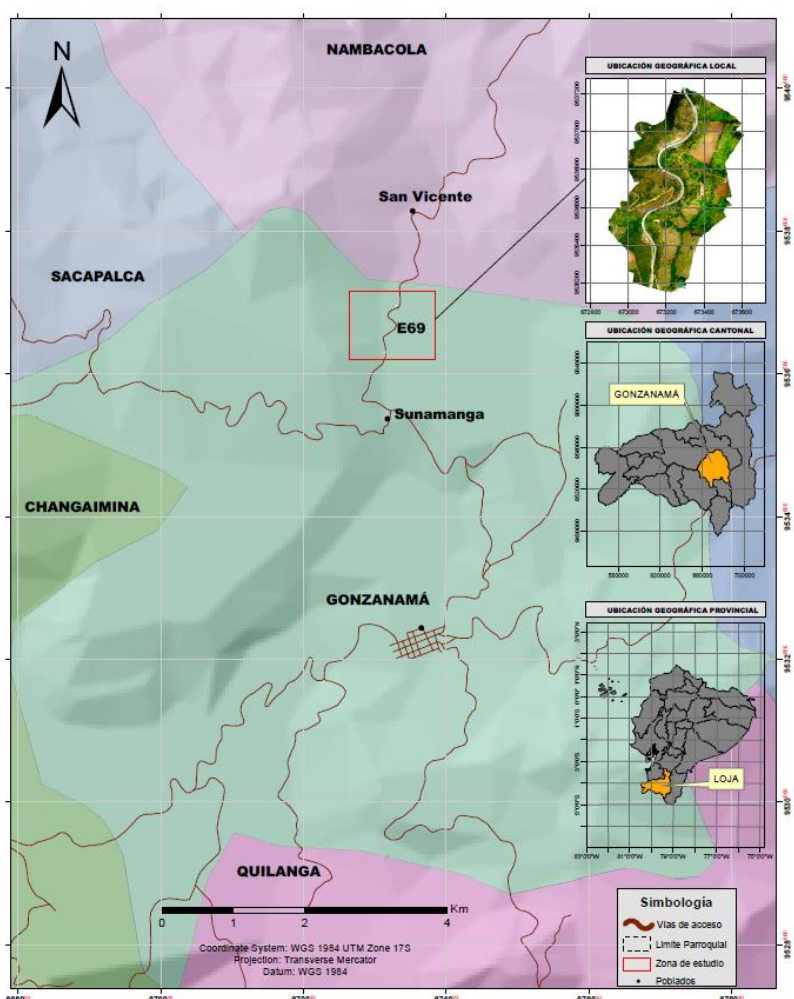


Figura 13. Zona de estudio

Nota: Infoplan 2012

En la tabla 23 se muestra las coordenadas del tramo de estudio en proyección UTM DATUM WGS84 zona 17 Sur.

Tabla 23. Coordenadas del tramo de estudio

Descripción	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m.s.n.m)
Inicio del tramo	673315,717	9536970,041	2132
Fin del tramo	673130,591	9536292,64	2180

5.1.2 Acceso

El acceso al tramo de la vía San Vicente-Sunamanga se lo realiza por vía terrestre.

Inicia desde el Terminal Quitumbe de la ciudad de Quito por la vía de primer orden E35 “Troncal de la Sierra”, atraviesa ciudades como: Latacunga, Riobamba, Cuenca, Loja y Catamayo en un tiempo de 12h43 min y el recorrido es de 708 km (Figura 14a). 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 13h17min y el recorrido es de 766 km (Figura 14b)

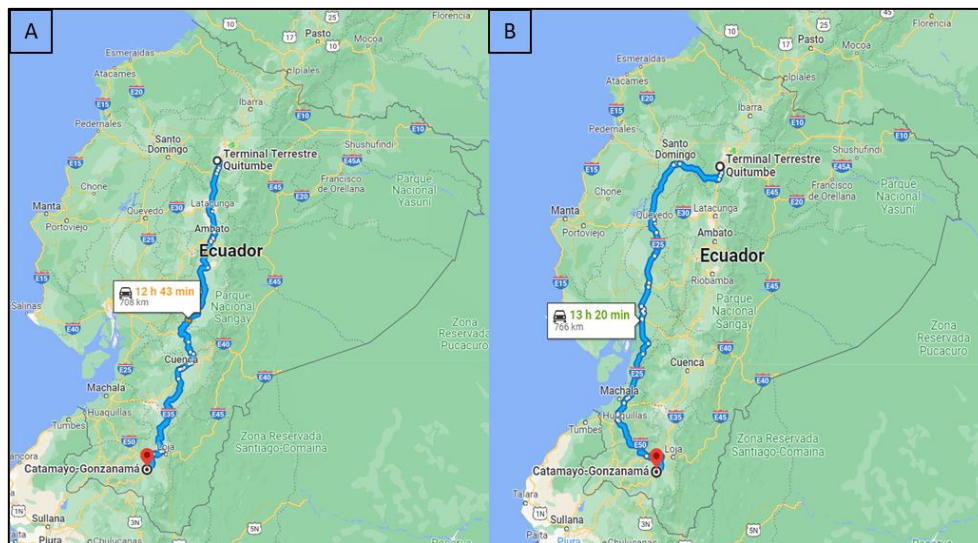


Figura 14. Acceso a la zona de estudio, a) Troncal de la Sierra, b) Troncal de la Costa

Nota: Google Maps, 2023

5.1.3 Clima

De acuerdo al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Gonzanamá (2014) el clima:

En la estimable extensión territorial del cantón Gonzanamá, conformado por valles, mesetas, lomas, cañadas y planicies que convergen en cumbres y montañas, se registra 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:

Posee varios pisos climáticos, la temperatura promedio del Cantón Gonzanamá se ubica 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

De acuerdo al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Gonzanamá (2014) el principal sistema hídrico del cantón es:

El río Catamayo, nace en las estribaciones orientales de la cordillera de Santa Rosa con el nombre de Yacuche. En su recorrido cambia su nombre original por el de Quebrada de la Chonta y posteriormente con el río Chinguilamaca. En la zona baja del cantón, en dirección sureste, el río Catamayo recoge las aguas de la quebrada de la Vega de Sacapalca, que sirve de límite con la parroquia Nambacola.

5.1.5 Geología Regional

El tramo de estudio se encuentra representado por un pórfido andesítico, considerando la hoja geológica de Gonzanamá, Edición 2, perteneciente a la serie J62-G, Hoja 57, N VII-B, escala 1: 100 000 (figura 15) se muestran las formaciones correspondientes al tramo de estudio.

Pórfido Andesítico (P^A). _ 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.

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 volcánico 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 volcánico 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.

Dioritas (D^D). Son rocas masivas, fuertemente diaclasadas, de color gris oscuro, textura alotriomórfica con cristales de plagioclasa y anfíbol, localmente con alteración propilítica.

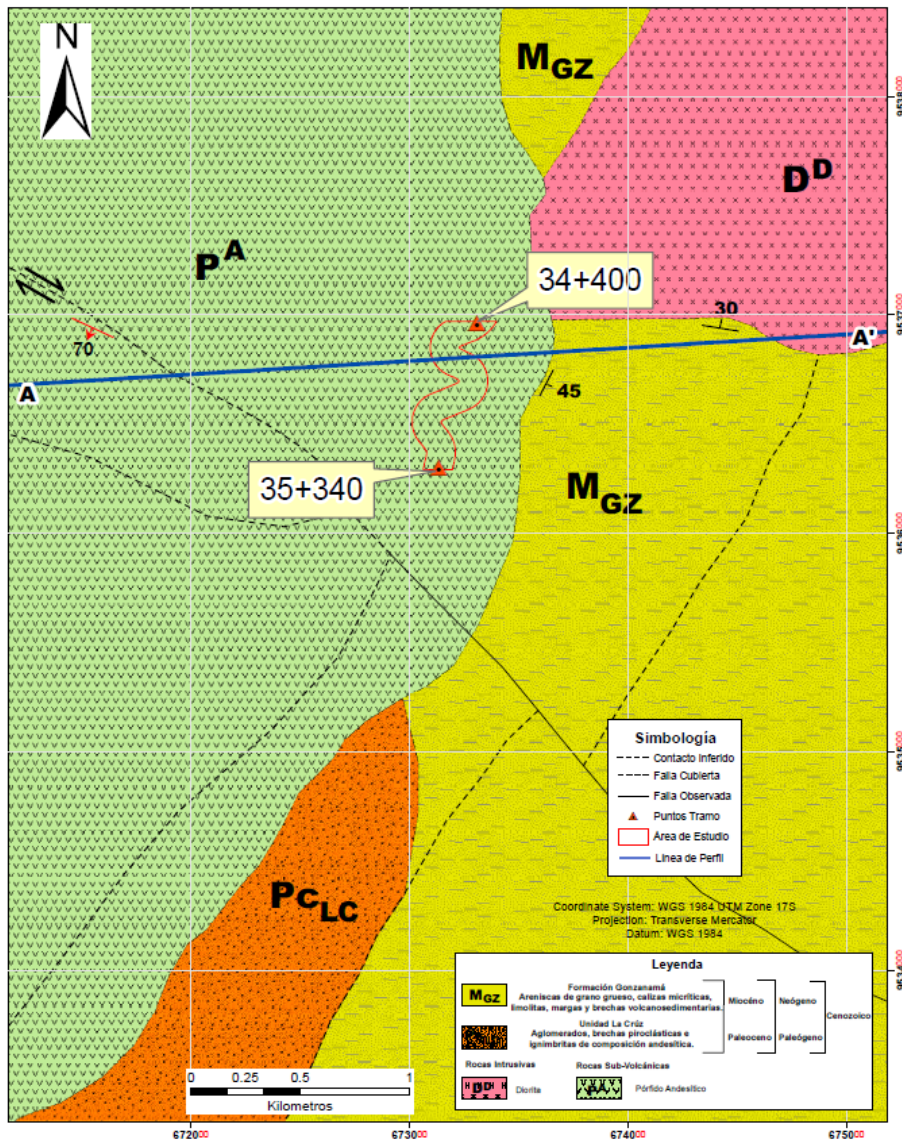


Figura 15. Geología regional de área de estudio.

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

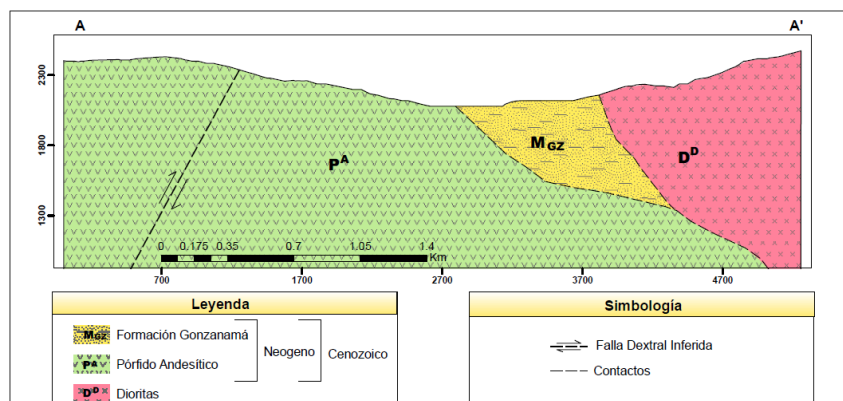


Figura 16. Perfil geológico A-A'

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

Los instrumentos para la recolección de datos, que se utilizó para la caracterización geomecánica de los macizos rocosos fueron los siguientes (Tabla 24):

Tabla 24. Materiales y Equipos

Materiales y Equipos			
Campo	Laboratorio	Oficina	Seguridad
Vehículo aéreo no tripulado	Microscopio	Computadora	Chaleco
Libreta de Campo	Muestras de roca	Impresora	Reflectivo
Martillo Geológico	Ácido Clorhídrico 10%	Flash memory	Botas
Esclerómetro	Picnómetro	Software ArcGIS 10.8	
Lupa 20x	Espátula	Google Earth Pro	
Carta geológica de Gonzanamá Esc. 1:100000	Vasos de precipitación	Software Dips 6.0	
Brújula	Balanza Analítica	Agisoft Metashape 1.8.0	
Escalímetro		AutoCAD 2021	
GPS		RocLab 1.0	
Cinta Métrica			
Ficha de descripción de afloramientos			
Ficha para el análisis de muestras macroscópicas			
Ficha de Zonificación			
Ficha de toma de datos para la caracterización de macizos rocosos			

5.3 Procedimiento

Para la realización del trabajo de investigación se tomó en cuenta los macizos rocosos existentes comprendidos entre las abscisas 34+400 a 35+340 metros en el tramo de la vía San Vicente – Sunamanga, este tramo correspondió a 940 m de longitud. Para el cumplimiento de los objetivos planteados se aplicó una serie de trabajos que implican, ordenados cronológicamente de la siguiente manera:

- Revisión de antecedentes sobre la zona de estudio: búsqueda y recopilación de datos, elaboración de fichas de campo.
- Trabajo de campo: identificación de afloramientos, descripción de litologías y estructuras, delimitación de estaciones geomecánicas, grado de meteorización y toma de muestras (roca).
- Trabajo de laboratorio: Propiedades físicas y mecánicas de la matriz rocosa.
- Trabajo de oficina: Procesamiento de datos y análisis e interpretación de datos.

Las estrategias y procedimientos que se utilizaron para el cumplimiento de los objetivos de la investigación se sintetizan en la figura 17.

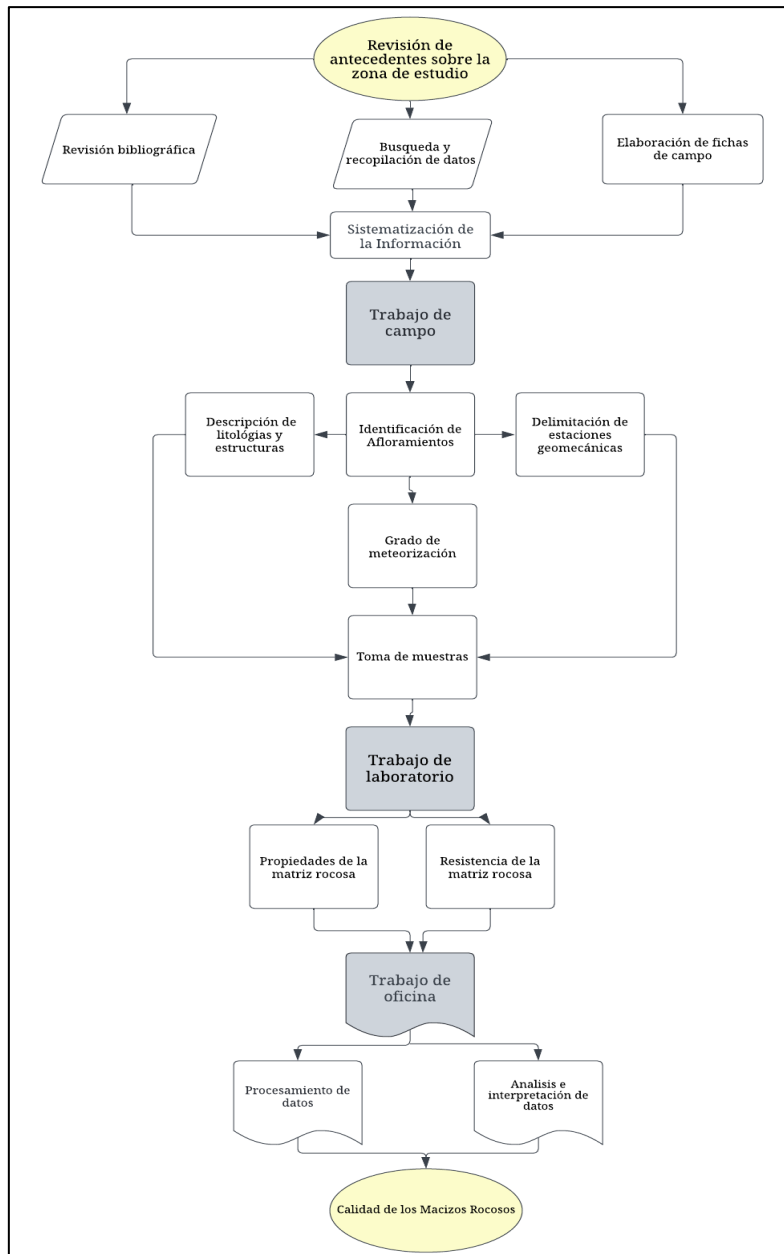


Figura 17. Metodología de la Investigación

Para la revisión de antecedentes sobre la zona de estudio y recopilación de datos se buscó en artículos científicos, trabajos académicos y libros que tratan sobre la unidad y su contexto.

El trabajo de campo consistió en realizar el levantamiento topográfico y geológico de los afloramientos localizados en el tramo vial donde se establecen las zonas geomecánicas, identificando el tipo de roca, características geotécnicas y presencia de discontinuidades.

El trabajo de laboratorio consistió en la realización de ensayos de compresión simple y densidad de las rocas tomadas en cada una de las zonas geomecánicas.

El trabajo de oficina consistió en integrar todos los datos para valorar y clasificar los macizos rocosos.

5.3.1 Metodología para el primer objetivo

“Elaborar el levantamiento topográfico y geológico”

Para el levantamiento topográfico y geológico primeramente se realizó una sistematización de la información disponible acerca del área de estudio como informes de carácter técnico-científico, información geográfica como cartas topográficas, planes de ordenamiento territorial del cantón Gonzanamá y de sus parroquias, infoplan 2012 y demás bibliografía referente, mismas que sirvieron para dar un enfoque y corroborar en campo que la zona de estudio se encuentra caracterizada por un pórfido de composición andesítica presentando un relieve muy irregular sin la evidencia de presencia de fallas geológicas a cada lado del eje vial por tanto se realizó el levantamiento topográfico y geológico a una escala 1:2000 teniendo en cuenta los 940 m de longitud y se definió 60 m a cada lado del eje vial, ya que la extensión de los taludes de corte son menores a 20 m respecto al eje vial, por tanto es una extensión adecuada para definir las características de los taludes rocosos.

5.3.1.1 Levantamiento Topográfico. El levantamiento topográfico fue realizado en coordinación con SETIAGROUP S.A el cual consistió en 3 etapas que fueron planificación, vuelo y procesamiento.

Etapas de Planificación

La etapa de planificación consistió en digitalizar la vía de estudio en el software ArcGIS 10.8 con la finalidad de delimitar el área de estudio, posteriormente se realizó el cálculo de la escala de las fotografías para realizar el levantamiento topográfico a escala 1:2 000, para ello se tomó en cuenta la altura de vuelo planificada y la distancia focal de la cámara del dron mediante la siguiente formula:

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

Siendo:

Et: escala fotografía

f: distancia focal de la cámara.

H: altura de vuelo.

$$E_t(\text{Escala a fotografía}) = \frac{H (\text{altura de vuelo})}{f (\text{distancia focal})}$$

$$E_t(f\text{Escala fotografía}) = \frac{280 \text{ m}}{0.028 \text{ m (28 mm)}}$$

$$E_t(\text{Escala fotografía}) = 10\ 000$$

Seguendo las especificaciones técnicas del Instituto Geográfico Militar (2008) para realizar una topografía a escala de trabajo 1:2 000, se debe generar una escala fotográfica de 1:10 000, por tanto, la planificación se adecuó a las condiciones establecidas por el IGM.

Los puntos de control (tabla 25) (figura 18 A) fueron levantados por el GPS diferencial REACH RS2 mediante enlace RTK a una altura de 1.74 m a través del servicio NTRIP del cual se recibió correcciones precisas de la estación de referencia de Loja la misma que pertenece al Instituto Geográfico Militar ubicada en la universidad Técnica Particular de Loja. Para los puntos de control se ubicó planchas coloreadas de playwood (figura 18 B) con la finalidad de que sean visibles en la etapa de vuelo.

Tabla 25. Puntos de control, obtenidos con el GPS Diferencial REACH RS2, Datum WGS 84.

Nombre	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m.s.n.m)
1	673135.7	9536232.87	2169.552
2	673086.832	9536497.09	2152.086
3	673235.449	9536776.61	2131.419
4	673203.746	9536906.64	2125.855
5	673266.527	9536933.06	2119.329
6	673355.822	9537018.54	2113.176

Nota: Setiagroup, 2022

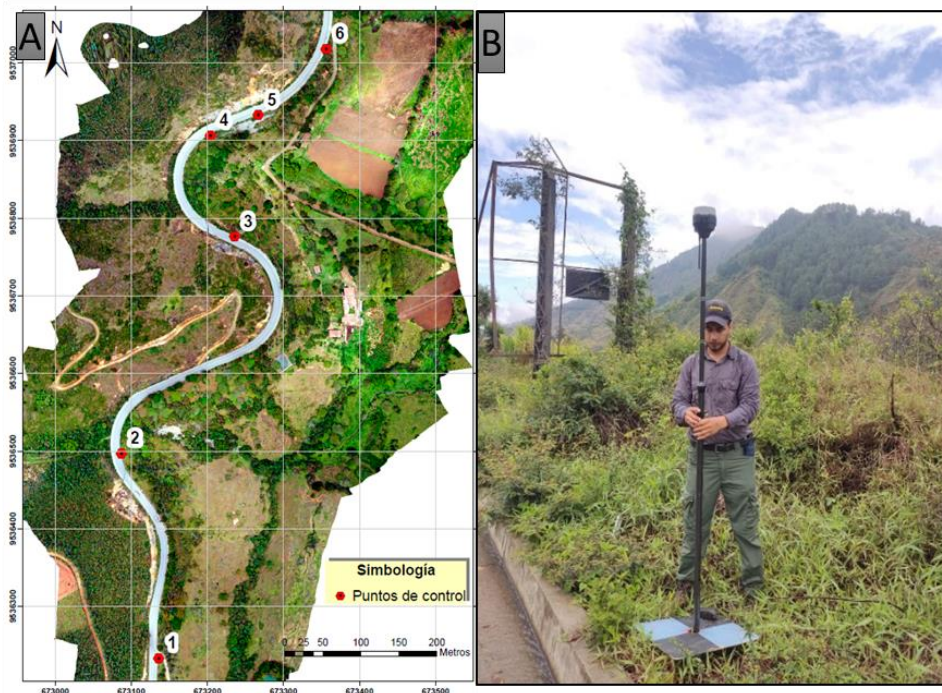


Figura 18. A) Puntos de control. B) Levantamiento con GPS Diferencial REACH RS2 y ubicación de marcas.

Etapa de Vuelo

La etapa de vuelo consistió en establecer los límites de la zona de estudio y definir la altura ideal de vuelo de 280 m, sin embargo la altura de vuelo promedio fue de 212 m debido a que el terreno es irregular por tanto la escala variara a lo largo del formato de la fotografía al

variar continuamente la altura de vuelo sobre el terreno, con la finalidad de minimizar el impacto de deformación de las fotos resultado de la irregularidad de la zona de estudio se tomó en consideración 40 m a 50 m fuera del área de estudio con el objetivo de evitar errores en el traslape del post procesamiento de las fotografías. El plan de vuelo (Figura 19 A) cubrió toda en área de interés realizando un solo vuelo a través de 4 líneas de vuelo, en un tiempo de 13 min mediante el Dron MATRICE 300 RTK con una cámara DJI Mavic 2 Pro con una distancia focal de 28 mm (Figura 19 B), el seguimiento se lo realizó mediante el controlador en el software 3D Pilot.

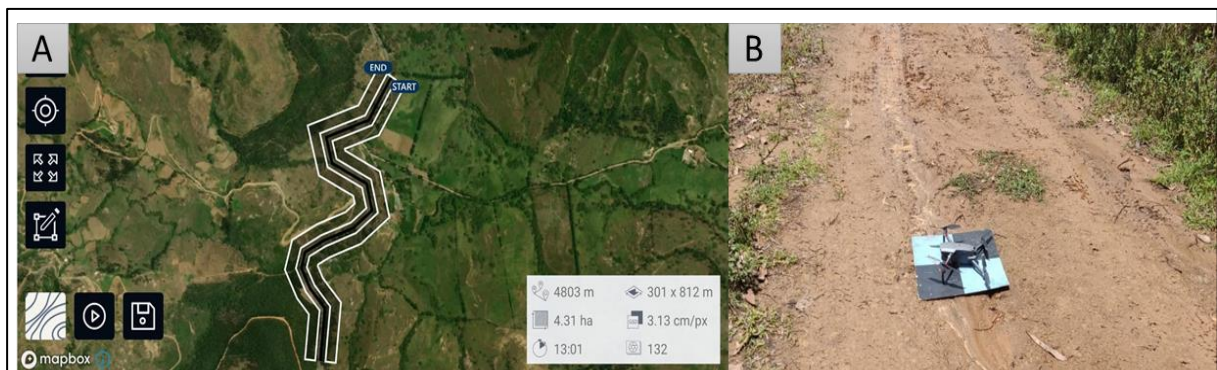


Figura 19. A) Plan de vuelo B) Dron MATRICE 300 RTK

Etapas de Procesamiento

La etapa de procesamiento consistió en descargar los datos almacenados en la aplicación Emlid referente a los puntos e imágenes del dron, para en su posterior procesar las fotografías con el empleo del software Agisoft Metashape Professional 1.8.0, la posición de las cámaras y el traslape se muestran en la figura 20 y en la tabla 26, para ello se procedió a crear un nube de puntos realizando primero la orto rectificación de las imágenes con ayuda de los puntos de control (6 GCPs) se realizó el emparejamiento de las imágenes a partir de los puntos de control y del número de fotos sobre puestas sobre las escenas, se generó el ortomosaico, así también se procedió a generar el modelo digital de superficie (DSM) y un modelo digital del terreno (DTM), cabe mencionar que el MDS representa todos las elevaciones presentes en la superficie por otro lado el MDT filtra todos los elementos como casas, árboles y demás infraestructura, en base al MDT se obtuvieron las curvas de nivel a 1 m. Mediante el software ArcGIS 10.8 se realizó el mapa topográfico a escala 1:2 000 integrando curvas principales cada 5 m y las secundarias cada 1 m georreferenciadas geográficamente en el Datum: WGS 84 Zona 17 Sur.

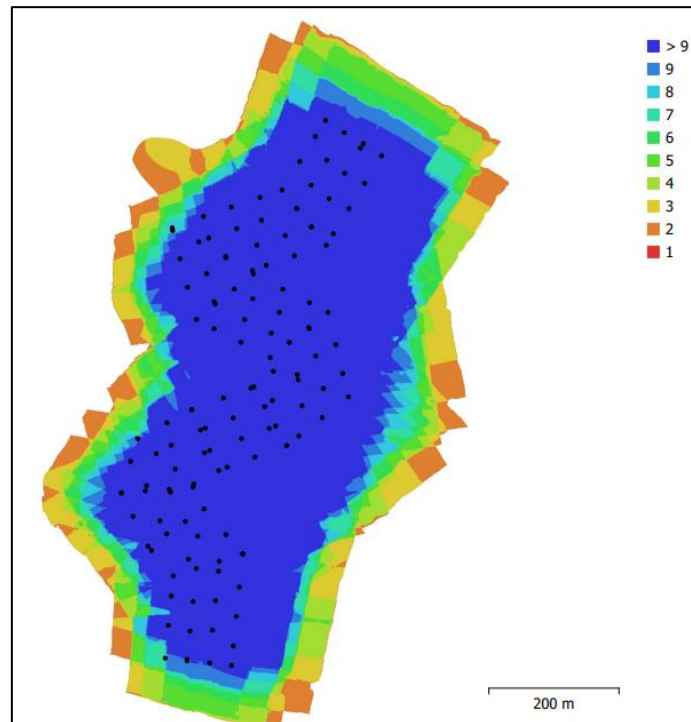


Figura 20. Posicionamiento de las cámaras y solapamiento de imágenes

Nota: Setiagroup, 2022

Tabla 26. Información sobre el vuelo

Posición de cámaras	
Descripción	Datos
Número de imágenes	132
Resolución del terreno	5.07 cm/pix
Área cubierta	0.458 km ²
Imágenes alineadas	132

Nota: Setiagroup, 2022

5.3.1.2 Levantamiento Geológico

Trabajo de Campo

Para el levantamiento geológico se identificó visualmente las zonas de estudio en base a la litología y discontinuidades (figura 21) presentes en cada uno de los afloramientos utilizando la ficha de descripción de afloramientos (Anexo 2), además se tomó como referencia el mapa geológico regional a escala 1:100 000 de la carta geológica de Gonzanamá hoja 57, el cual permitió determinar las formaciones geológicas influyentes directa e indirectamente comprendidos entre las abscisas 34+400 a 35+340 metros en el tramo de la vía San Vicente – Sunamanga. Para determinar el tipo de roca se utilizó la ficha geológica para análisis de muestras macroscópicas (Anexo 3) de las diferentes zonas litológicas.



Figura 21. Descripción de afloramientos

Trabajo de Oficina

Con base a los datos recopilados de los afloramientos presentes en el sector se procedió a elaborar el mapa geológico a escala 1:2 000 mediante el sistema de coordenadas UTM Datum WGS84 zona 17 Sur en el software ArcGis 10.8 donde se ubicaron los puntos GPS de los afloramientos y lugares de los cuales se recogieron muestras de mano, posteriormente se representaron en shapefiles las litologías, datos estructurales y contactos. Una vez definidas las zonas litológicas se procedió a dividir a los 5 macizos rocosos ubicados en el margen derecho de la vía en sentido de avance (figura 22) en diferentes zonas de comportamiento litoestructural empleando la ficha de zonificación de macizos rocosos (Anexo 4).

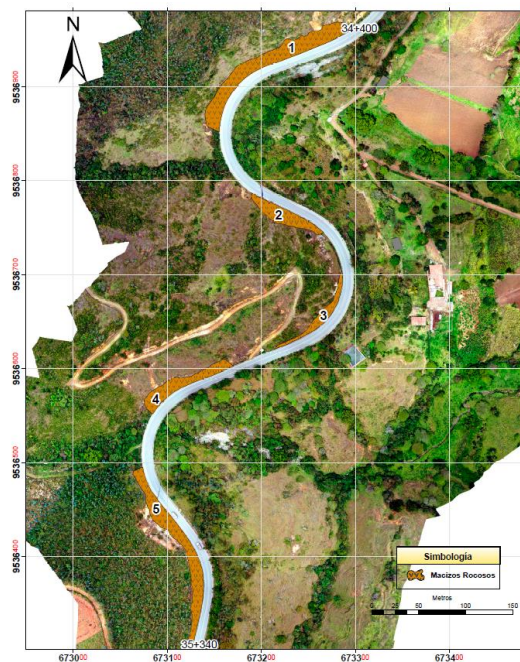


Figura 22. Macizos Rocosos

5.3.2 Metodología para el segundo objetivo

“Obtener los parámetros físico mecánicos de los macizos rocosos”

Una vez identificados los distintos afloramientos rocosos del tramo vial y delimitadas las zonas de estudio se procedió a obtener los datos geomecánicos, para ello se definió una línea de escaneo de 10 m (figura 23), la línea de escaneo estableció los datos a lo largo de los macizos rocosos, para posterior tomar los datos estructurales (dip/dip direction) de las diferentes zonas antes definidas.



Figura 23. Línea de muestreo

Para la caracterización del macizo rocoso se tomó como base la ficha de toma de datos del macizo rocoso el cual se lo llenó en campo (Anexo 5), la toma de datos geomecánicos se realizó mediante una campaña de levantamiento geotécnico, donde se identificó el número de familias de diaclasas presentes en el macizo (figura 24).



Figura 24. Número de familias de diaclasas presentes en el macizo rocoso

Con la recolección continua de datos se obtuvo las medidas de las diaclasas como:

- El espaciado se determinó para cada familia de discontinuidades (figura 25), se obtuvo su valor medio o modal, se ejecutó mediante una cinta métrica calibrada en mm, de 3 m de longitud, la medida se realizó en dirección perpendicular al plano de discontinuidad, se lo estimó según la tabla 11.



Figura 25. Espaciado de diaclasas

- La apertura se midió directamente con la separación entre las paredes o superficies de roca de una discontinuidad a través de una regla graduada en mm, las medidas se realizaron para cada familia, se tomó los valores medios o modales (figura 26), el rango de valores se estimó según la tabla 12.



Figura 26. Medida de abertura

- El relleno: se identificó el material con la utilización de una lupa, el tamaño de grano y el espesor de relleno también llamado anchura el cual se midió con una regla graduada en mm (figura 27) el rango de valores se estimó según la tabla 12.



Figura 27. Inspección de relleno

- La rugosidad (figura 28) se estimó a partir de medidas de amplitud de las asperezas (mediante el peine de Barton) y la longitud de la junta (figura 11), con los datos obtenidos se proyecta en el ábaco de la figura 12 y se obtiene el valor exacto de JRC.



Figura 28. Medida de rugosidad mediante peine de Barton

- La meteorización (figura 29) se estimó bajo los siguientes términos: fresca, ligeramente meteorizada, moderadamente meteorizada, altamente meteorizada, completamente meteorizada y suelo residual. El grado de meteorización se valoró según la tabla 1.



Figura 29. Meteorización de diaclasas

- La orientación se determinó con el uso de una brújula brunton, se tomó los datos estructurales de las discontinuidades (dip/dip direction) (figura 30).



Figura 30. Toma de datos estructurales

- Las filtraciones en las discontinuidades se determinaron visualmente, dependiendo si existen discontinuidades sin relleno o discontinuidades con relleno, se describió en relación a los siguientes términos, seco, ligeramente húmedo, húmedo, goteando y fluyendo, su valoración se determinó según la tabla 13.
- Para estimar la resistencia de la discontinuidad a la compresión simple se utilizó el martillo de Schmidt, se procedió a preparar la superficie con un pulido superficial para evitar cualquier dato erróneo, se realizó 5 rebotes (figura 32) con el esclerómetro, el mismo que debe ser corregido por orientación del martillo (tabla 27), esta medida de rebote se la relaciona con la resistencia a la compresión simple en el gráfico propuesto por Miller

(figura 31) 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 9.

Tabla 27. Corrección de la medida del índice de rebote del martillo de Schmidt cuando no se encuentra en posición vertical.

Rebote R	Hacia abajo		Hacia arriba		Horizontal
	$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = +45^\circ$	$\alpha = +45^\circ$	
10	0	-0.8	-	-	-3.2
20	0	-0.9	-8.8	-6.9	-3.4
30	0	-0.8	-7.8	-6.2	-3.1
40	0	-0.7	-6.6	-5.3	-2.7
50	0	-0.6	-5.3	-4.3	-2.2
60	0	-0.4	-0.4	-3.3	-1.7

Nota: Miller 1965.

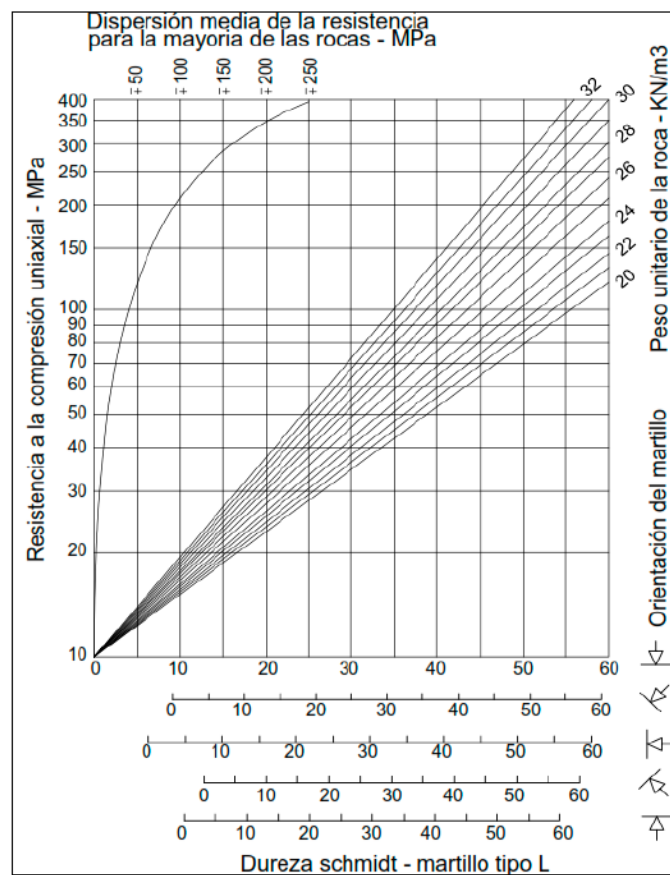


Figura 31. Correlación para el martillo Schmidt entre resistencia a compresión, densidad de la roca y rebote.

Nota: Miller 1965.



Figura 32. Aplicación del ensayo de esclerometría de bajo impacto.

5.3.2.1 Resistencia a la compresión uniaxial. Una vez finalizado la campaña de datos geomecánicos se procedió a tomar 6 muestra de roca, una por cada zona de comportamiento litoestructural distribuidas a lo largo del abscisado vial, las muestras no deben estar expuestas a factores climáticos, alteraciones o algún tipo de fractura, cabe mencionar que en la zona 4 no se pueden tomar una muestra para estimar la resistencia a la compresión simple debido a la intensa meteorización. El procedimiento para la resistencia a la compresión simple se describe a continuación:

- Las muestras se llevaron al laboratorio, se procedió a realizar los trabajos de corte y perfilaciones de tal manera que su tamaño final sea de forma cubica con dimensiones de 5*5*5 cm.
- Seguidamente se procedió a etiquetar cada uno de los cubos con el objetivo de poder diferenciar y así realizar los ensayos de compresión uniaxial, para ello se midió las aristas de cada muestra con la ayuda de un pie de rey (figura 33. a).
- Posteriormente se procedió a pesar cada cubo mediante la implementación de una balanza (figura 33. b) y se anotó los datos obtenidos.
- Luego con el uso de una prensa (figura 33. c), la cual fue provista por el laboratorio de mecánica de rocas de la Universidad Nacional de Loja se colocaron los cubos de roca en la plataforma de la prensa (figura 33. d) para de esta manera poder ejercer una fuerza necesaria hasta que se fracture el cubo.
- Posteriormente se detiene la prensa obteniendo el valor de la fuerza exacta aplicada sobre la misma y así finalizar el ensayo.

Los resultados del ensayo a la compresión simple se los describió según la tabla 28.



Figura 33. A) Medida de las aristas B) Peso de las muestras cubicas C) Prensa para ensayos de compresión simple. D) Ejecución del ensayo aplicado a probeta cubicas.

Tabla 28. Resistencia a la compresión simple

Muestra	Ancho	Alto	Largo	Área	Masa	Volumen	Carga	RCS
Nro.	mm	mm	mm	mm ²	gr	cm ³	KN	MPa
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

5.3.2.2 Propiedades Físicas. La determinación de las propiedades físicas se realizó por cada zona con el uso de una muestra.

La determinación del peso natural, se realizó pesando la capsula y la capsula más muestra (figura 34), los valores obtenidos se muestran en el anexo 6.



Figura 34. Determinación del peso natural.

Para el peso en seco (figura 35. a y c) se requirió que las muestras sean puestas en un horno por un tiempo de 24 horas a una temperatura de 105 °C (figura 35. b), con el objetivo de que la muestra este totalmente seca (anexo 7).



Figura 35. A) Toma de datos. B) Horno C) Peso de muestras secas.

El peso saturado se determinó mediante la adición de agua a cada una de las muestras, estas deben estar sumergidas en su totalidad por un tiempo de 24 horas (figura 36), para así absorber el agua en su totalidad y obtener el peso saturado (anexo 8).



Figura 36. Muestras saturadas en agua.

El peso sumergido se determinó mediante la adición de una balanza analítica el cual se procede a llenar el vaso de precipitación con agua destilada alrededor de 800 ml (figura 37) y se colocó la muestra para así obtener el peso sumergido (anexo 9).



Figura 37. Peso sumergido.

5.3.2.3 Gravedad Específica y Peso Específico. Se determino la gravedad específica y el peso específico real mediante el ensayo del picnómetro, para ello se requiere que las muestras deben ser sometidas a pulverización mediante un mortero (figura 38. A) luego se aplicó el tamiz #200 (figura 38. B) con el objetivo de obtener un material muy fino (figura 38. C)



Figura 38. A) Pulverización de muestras. B) Tamizado malla #200. C) Material pasante malla #200.

Para realizar el ensayo del picnómetro se realizó el siguiente procedimiento:

- Se peso el picnómetro vacío con su respectiva tapa con la ayuda de una balanza analítica.
- Se colocó agua destilada en el picnómetro con la ayuda de una piseta (figura 39. A), debe rebotar cuando se coloca la tapa del picnómetro, seguidamente se procedió a secar el picnómetro y a pesar en la balanza analítica.
- Posteriormente se procedió a dejar a $\frac{1}{2}$ la capacidad del volumen del picnómetro.
- Luego se procedió a pesar el material producto de la conminación, para ello se colocó el recipiente en la balanza analítica y procede a encerrar, por consiguiente, se colocó 50 gr de muestra en el recipiente (figura 39. B).
- Los 50 gr se procedieron a poner en el picnómetro con la ayuda de una espátula y un embudo (figura 39. C), se procedió a agitar y se utilizó una bomba de vacío por

5 minutos para eliminar las burbujas en el picnómetro (figura 39. D), luego se llenó a tope el picnómetro de agua destilada, se dejó reposar la muestra y se procedió a pesar.



Figura 39. A) Agua destilada en picnómetro. B) Peso de 50 gr de material. C) Material en picnómetro. D) Eliminación de burbujas

Los datos del ensayo del picnómetro se describen en el anexo 10.

5.3.3 Metodología para el tercer objetivo

“Determinar la calidad de los macizos rocosos en base al criterio de clasificación RMR de Bieniawski y SMR de Romana”

Una vez obtenidos los parámetros físico mecánicos del macizo rocoso se procedió a ordenar y sumar los parámetros medidos en campo, se realizó un cálculo cuantitativo con el objetivo de valorar la calidad de los macizos rocosos mediante los métodos de Bieniawski RMR (Tabla 16) y Romana SMR (Tabla 20).

RQD

Para el cálculo del RDQ al no existir núcleos de perforación se estimó midiendo la cantidad de discontinuidades presentes por metro cúbico (m^3) del talud, su valor se determinó usando la fórmula empírica propuesta por Palmstrom (2005):

$$RQD = 110 - 2.5J_v$$

Donde:

J_v : Índice volumétrico de fisuras por cada m^3

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

SM_i : Espaciamiento o separación medio de cada fisura en metros

Una vez determinado el valor del RQD se realizó una relación del valor obtenido y la calidad de la roca según la tabla 8, en donde establece el porcentaje de RQD obtenido y la calidad de la roca en términos de: muy mala, mala, regular y excelente. Los resultados obtenidos se los describió en la tabla 29.

Tabla 29. Descripción del RQD

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

RMR

Para el cálculo del RMR se tomó el método propuesto por Bieniawski, tomando en cuenta cinco parámetros: la resistencia a la comprensión simple (1), el grado de fracturamiento en términos de RQD (2), la condición de las discontinuidades (3), las condiciones hidrológicas (4) y la orientación de las discontinuidades (5), todos estos parámetros son el resultado del objetivo 2, una vez ordenados se realizó la suma de los cinco parámetros descritos en el apartado 4.7.2. 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 16.

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

Los resultados obtenidos se los describió en la tabla 30.

Tabla 30. Descripción del RMR

Zona	Abs	RMR	Clase	Calidad
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

SMR

Para el cálculo del SMR se utilizó el método propuesto por Romana conforme se lo establece en el apartado 4.7.3. el cual se obtiene del 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 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 20.

Los resultados obtenidos se los describió en la tabla 31.

Tabla 31. Descripción SMR

Zona	Abs	SMR	Clase	Calidad	Estabilidad
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Una vez obtenido las clasificaciones geomecánicas, se realizó un mapa de índice de calidad de roca (RDQ), un mapa de rock mass rating (RMR) y un mapa de slope mass rating (SMR) por rotura planar y vuelco de cada estación geomecánica a lo largo del tramo vial, estos mapas se realizaron con la ayuda del software ArcGIS 10.8. El procedimiento para la confección de los mapas se describe a continuación:

- Se digitalizo los taludes de corte del tramo de estudio mediante la ortofoto (anexo 1) obtenida en topografía.
- Se realizó 61 archivos shapefile (.shp) de tipo polígono donde se almaceno el valor de cada estación geomecánica.
- Se procedió a reclasificar mediante la clasificación manual por cada estación geomecánica y asignar las clases de macizo rocoso establecidas según Deere, Bieniawski y Romana.

Análisis Cinemático

El análisis cinemático se lo realizó con la ayuda del software Dips 6.0 (figura 40) para los tres casos de rotura: planar, cuña y vuelco de cada zona geomecánica. El ángulo de fricción se obtuvo para cada zona geomecánica con el programa RocLab 1.0 que emplea el criterio de Hoek-Brown (anexo 13), los valores de entrada como el sigci se obtuvo en el laboratorio mediante el ensayo de la resistencia a la comprensión simple, el GSI se obtuvo de la clasificación geomecánica (anexo 12), mi se lo asigno según el tipo de roca y el valor D hace referencia al factor de perturbación valor aplicado por la alteración de los macizos rocosos.

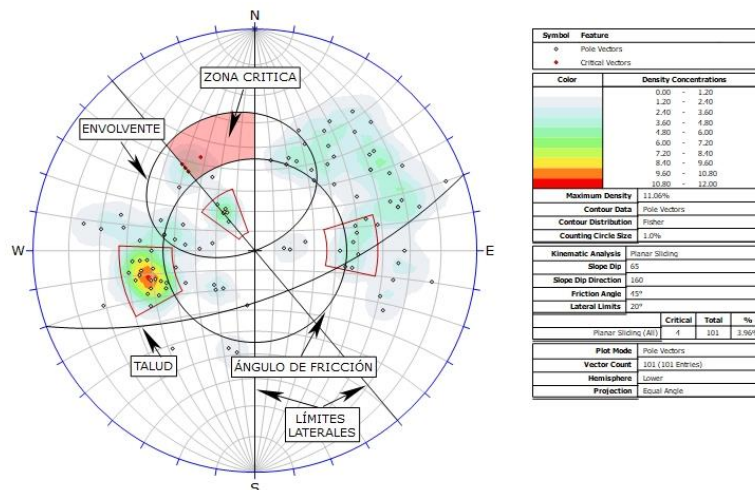


Figura 40. Proyección estereográfica

6 Resultados

6.1 Topografía

Como base del levantamiento topográfico se obtuvo una ortofoto de la zona de estudio de 10.1 cm/pix (Anexo 1). El levantamiento topográfico se realizó a una escala 1:2 000, abarcando un área de 11.28 hectáreas desde las abscisas 34+400 - 35+340 respectivamente con una faja de 940 m de longitud, que es la longitud donde afloran los macizos rocosos y un ancho de 60 m tal que se pueda definir las características del talud (figura 41).

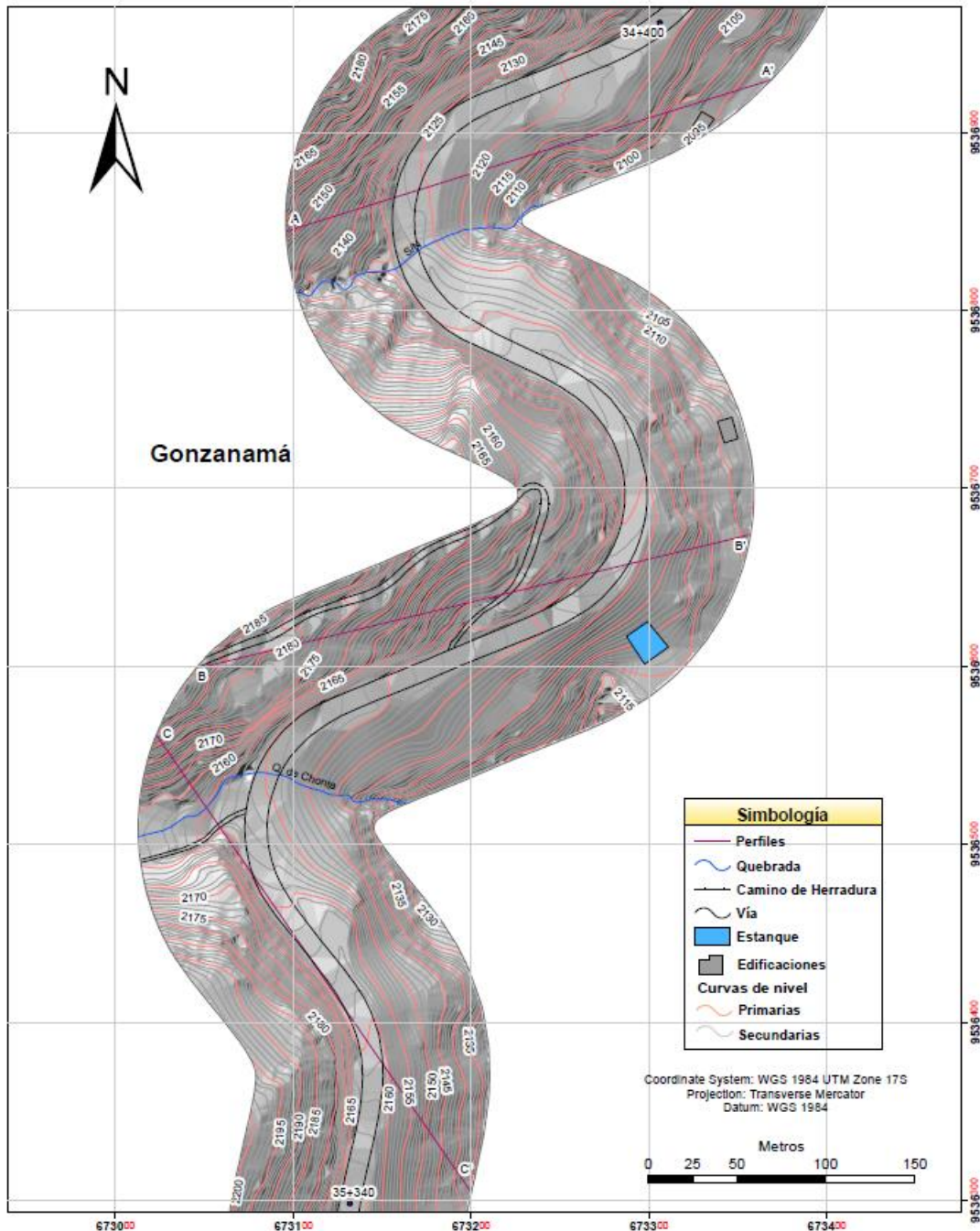


Figura 41. Topografía del área de estudio

La topografía del área de estudio presenta cotas de elevación entre 2091 m.s.n.m (cota más baja) hacia el Nor-Este y 2201 m.s.n.m (cota más alta) hacia el Sur-Oeste presentando un desnivel de 110 m.

La cota más baja se ubica en la zona Norte-Este representando pequeñas elevaciones, dirigiéndose hacia el Sur-Este se presentan terrenos regulares, donde existe viviendas y un estanque de agua. Respecto a la cota más alta se encuentra en la zona Sur-Oeste representada por un relieve irregular. En base a la topografía se elaboraron 3 perfiles topográficos que sirvieron para entender el relieve del área de estudio.

El corte A-A' (figura 42) se lo realizó de Sur-Oeste a Nor-Este en la parte Norte del área de estudio con una extensión de 286 m, la diferencia de cota de mayor relevancia respecto a la menor que existe en el corte topográfico es de 35 m.

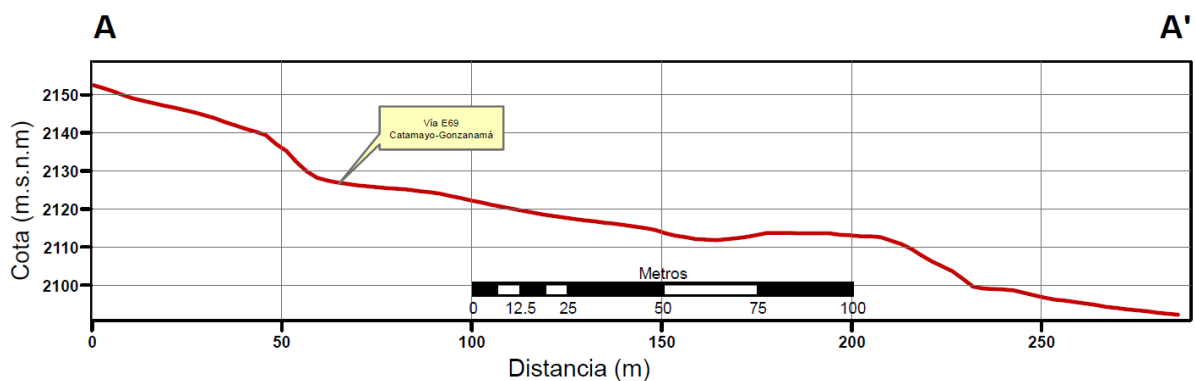


Figura 42. Perfil Topográfico A-A'

El corte B-B' (figura 43) se lo realizó de Sur-Oeste a Nor-Este es el centro del área de estudio con una extensión de 320 m, la diferencia de cota de mayor relevancia respecto a la menor que existe en el corte topográfico es de 73 m.

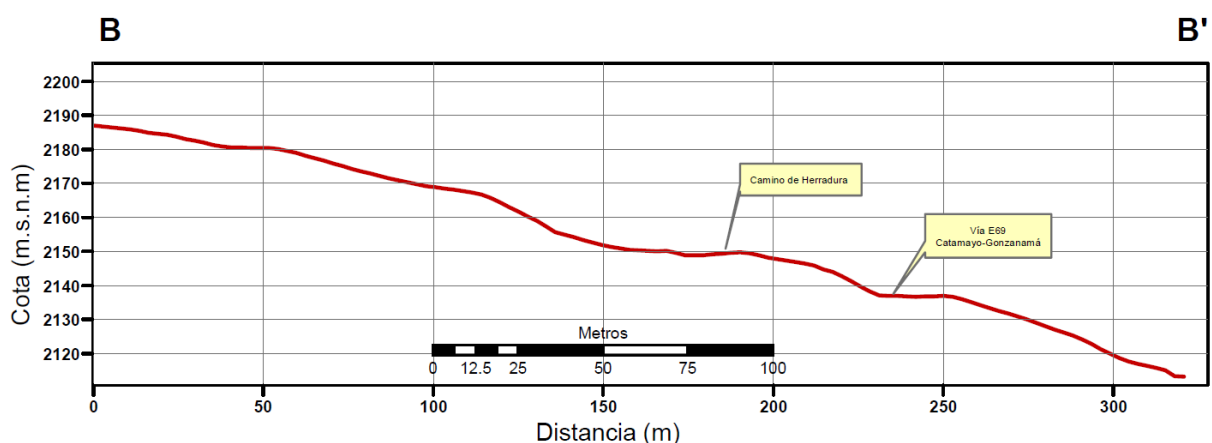


Figura 43. Perfil Topográfico B-B'

El corte C-C' (figura 44) se lo realizó de Nor-Oeste a Sur-Este en la parte Sur del área de estudio con una extensión de 312 m, la diferencia de cota de mayor relevancia respecto a la menor que existe en el corte topográfico es de 47 m.

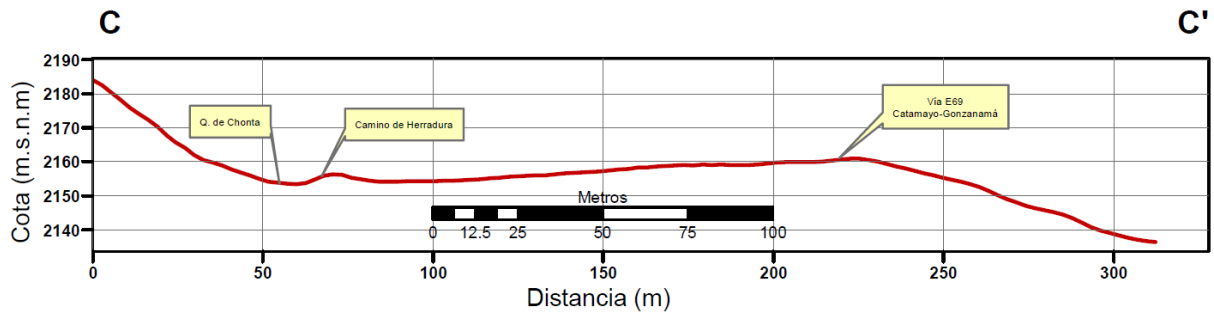


Figura 44. Perfil Topográfico C-C'

6.2 Geología

6.2.1 Geología Local

En la vía San Vicente – Sunamanga entre las abscisas 34+400 a 35+340 metros se evidencian 4 tipos de litologías de las cuales se constató mediante el mapeo de 14 afloramientos (figura 45) de carácter antrópico y natural descritos mediante fichas técnicas (anexo 2).

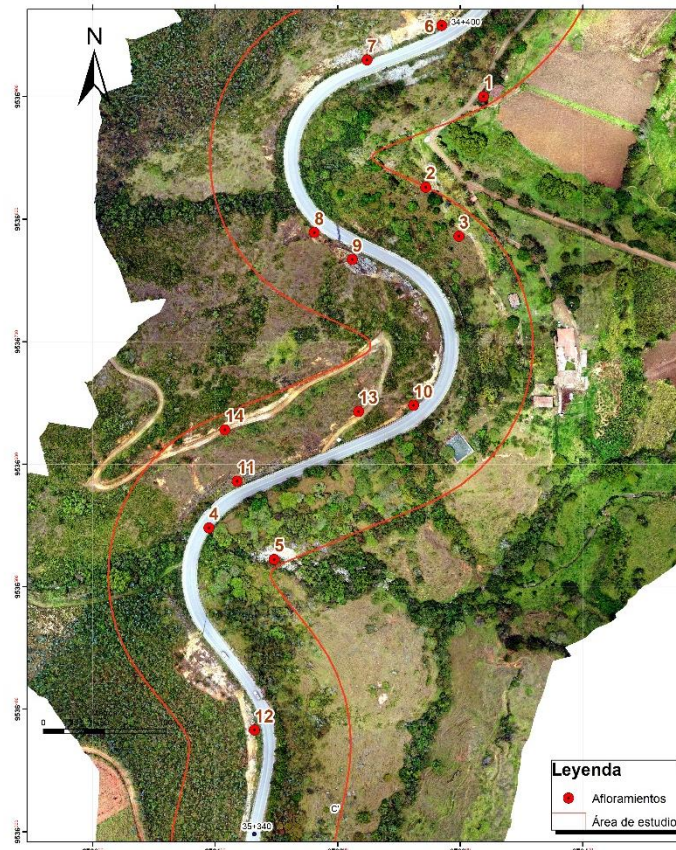


Figura 45. Ubicación de afloramientos del área de estudio

Las litologías presentes en el área de estudio se detallan a continuación:

Andesita Porfídica

Se presenta como roca ígnea subvolcánicas (origen hipabisal) de grano medio a grueso a lo largo del abscisado vial en los afloramientos 7, 9, 11 y 12, entre las abscisas 34+430-34+590; 34+670-34+760 y 34+970-35+340, en general exhiben una coloración gris verdosa, con textura porfídica, los minerales félsicos que se destacan son los fenocristales de plagioclasas

de color blanco con diámetros de 0.2 cm idiomorficos, por otro lado, los minerales máficos subhedrales-anhedrales que se exhiben son los piroxenos de color gris oscuro y hornblendas de color negro con diámetros de 0.1 cm dentro de una matriz porfídica color gris (figura 46).



Figura 46. Andesita Porfídica

Además, se presentan parches de óxidos de manganeso y hierro entre las abscisas 34+520-34+540, sin la presencia de mineralización de sulfuros (figura 47).



Figura 47. Parches de Ox. Fe y Ox. Mn

Depósitos Coluviales

Esta litología predomina en la zona de estudio, se puede evidenciar hacia el Nor-Este y Sur-Este en los afloramientos 1, 2, 3, 4 y 5, se caracteriza por la alteración y disgregación de la andesita porfídica, los clastos son muy variables entre 3 a 20 cm, presentan una matriz arcillo arenosa soportada de tonalidad clara, presentan una mala selección que manifiesta una sedimentación caótica y simultaneidad de bloques finos (figura 48).



Figura 48. Coluvios

Saprolito Andesítico

Esta litología aflora a lo largo del absciado vial en los afloramientos 6, 8, 13 y 14, resulta de la meteorización sin ocurrir procesos de transporte, se caracteriza por tener rasgos texturales y estructurales de la andesita porfídica además que descansa in situ sobre la roca solida inalterada, puntualmente muestra una coloración pardo clara decolorada y alterada con fragmentos pequeños de roca, la mineralogía es igual a la andesita porfídica a diferencia que las plagioclasas poseen una alteración a arcillas (figura 49).

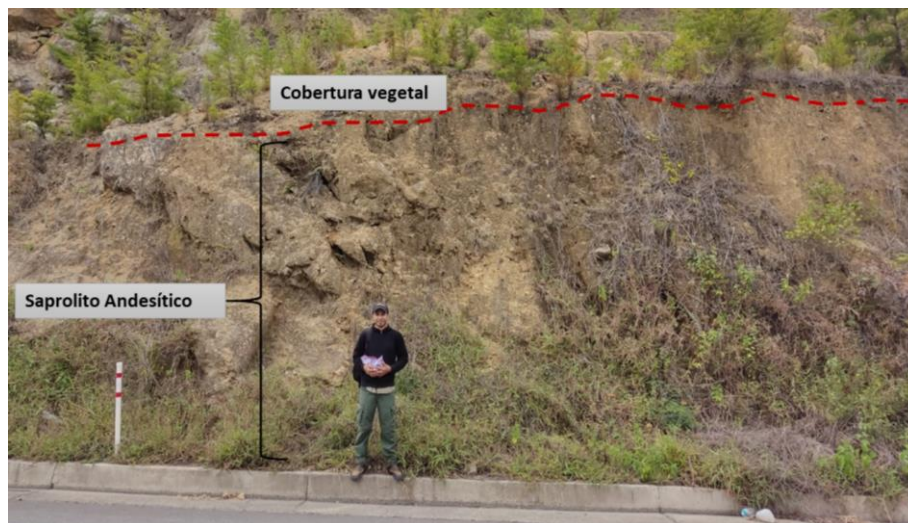


Figura 49. Saprolito Andesítico

Limolita

Las limolitas presentan un alto grado de alteración, se encuentran presentes en el afloramiento 10 entre las abscisas 34+860-34+900, se caracteriza por ser una roca sedimentaria clástica, exhibe una coloración café rojizo con planos de estratificación bien marcados cuyo dato estructural es de $344^{\circ}/40^{\circ}$ (azimutal mano derecha) (figura 50), mineralógicamente se

compone de arcillas, feldspatos y óxidos de hierro, la textura es bien sorteada de grano muy fino entre 0.002 mm a 0.06 mm.



Figura 50. Limolita

Además, presentan meteorización esferoidal generada por la acción de procesos químicos y por fuerzas físicas, produciendo que la roca se degrade en forma redondeada tipo capas de cebolla (figura 51).



Figura 51. Meteorización esferoidal

La descripción de los afloramientos se representa gráficamente en la figura 52, en la tabla 32 se presenta la litología encontrada en el área de estudio.

Tabla 32. Litologías del área de estudio.

Nro	Litología	Área (Ha)	Porcentaje (%)
1	Coluvios	6.96	55.21
2	Andesita porfídica	4.27	33.89
3	Saprolito Andesítico	1.20	9.54
4	Limolita	0.17	1.35

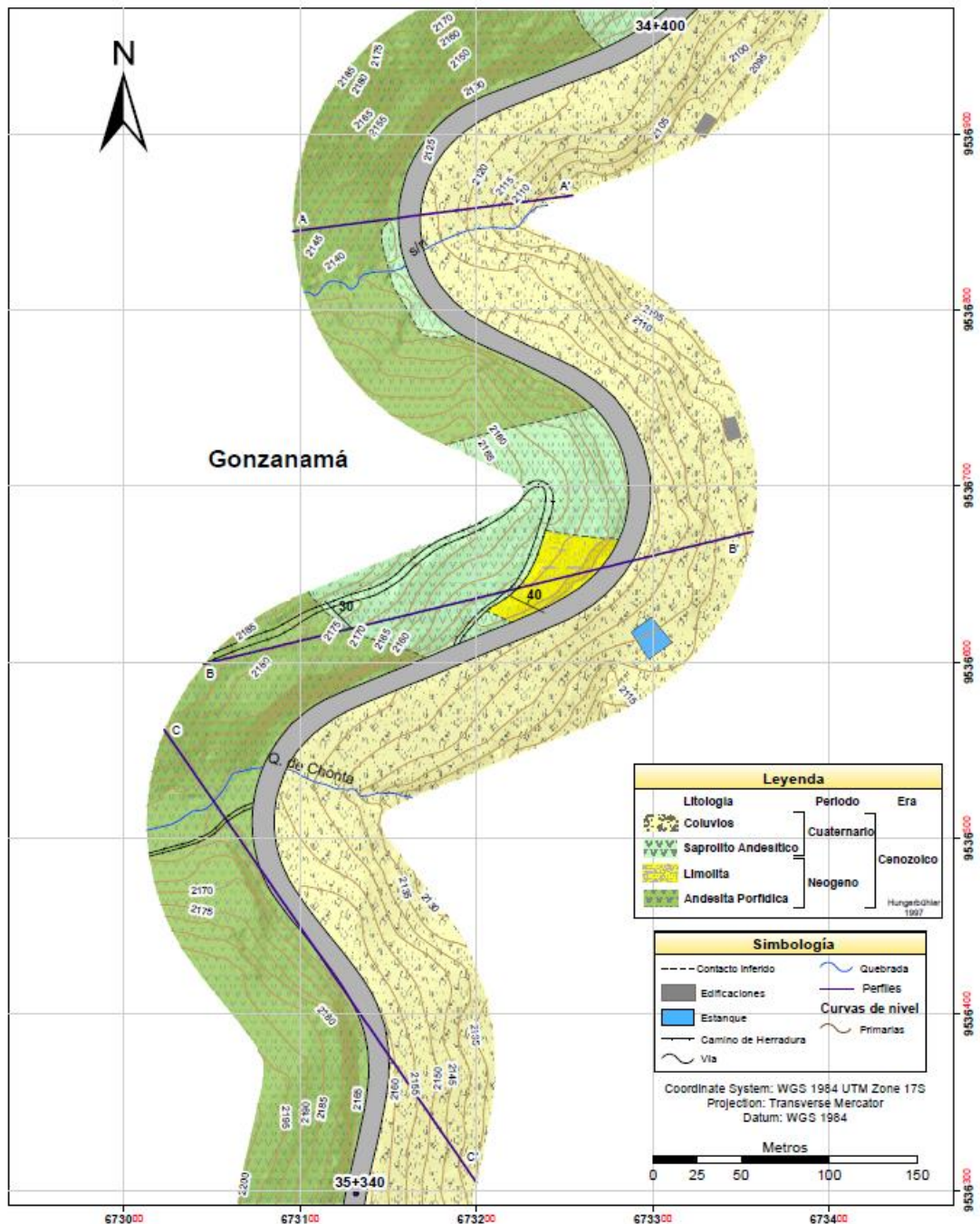


Figura 52. Litologías superficiales del área de estudio

6.2.2 Geología Estructural

En la zona de estudio no se evidencio fallas geológicas, los contactos entre la andesita porfídica y los depósitos coluviales fueron inferidos debido a que no se los puede observar claramente.

Entre las abscisas 34+430- 34+450 existe vetilleo de cuarzo con espesores de 1 a 3 cm (figura 53), cuyo dato estructural es $195^{\circ}/40^{\circ}$ (azimutal mano derecha).



Figura 53. Vetillas de Qz

El macizo rocoso ubicado entre las abscisas 35+320-35+340 presentan vetas de cuarzo con un espesor de 4 cm sin halos de alteración (figura 54) cuyo dato estructural es de $105^{\circ}/35^{\circ}$ (azimutal mano derecha) y estructuras boudinage rectangulares (figura 55) producto de las fuerzas extensionales.



Figura 54. Vetilleo de Qz



Figura 55. Estructura boudinage rectangular

En las abscisas 34+860-34+900 presentan estructuras slump (figura 56), producto de la inestabilidad durante la litificación o compactación de sedimentos, representado por limonitas muy meteorizadas.

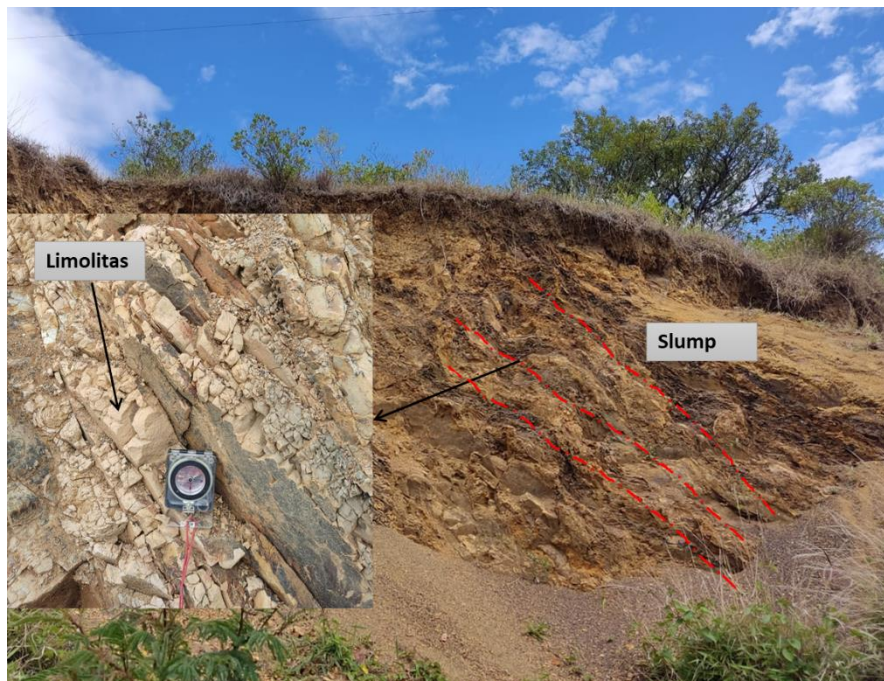


Figura 56. Estructura slump

6.2.3 Zonas de Comportamiento Litoestructural de los Macizos Rocosos

El comportamiento litoestructural de los macizos rocosos (figura 57) se determinó en base a la litología, grado de alteración y el sistema estructural, dando como resultado 7 zonas (tabla 33) desde la abscisa 34+430 a 35+340 del marcado vial.

6.2.3.1 Macizo Rcoso 1. El macizo rocoso ubicado entre las abscisas 34+400 y 34+610 se optó por dividir en 2 zonas en función de las características particulares que presentan cada una de ellas, en la zona 1 se evidencia una andesita porfídica con una alteración y fracturación ligera, la zona 2 representa una andesita porfídica más compacta sin la presencia de meteorización.

6.2.3.2 Macizo Rcoso 2. El macizo rocoso ubicado entre las abscisas 34+670-34+760 corresponde a una andesita porfídica, se optó por dejar en una sola zona, representándola como zona 3, ya que representa las mismas características a lo largo del marcado vial.

6.2.3.3 Macizo Rcoso 3. El macizo rocoso ubicado entre las abscisas 34+860-34+900 se consideró como una sola zona, representándola como zona 4, ya que aflora una limolita muy alterada.

6.2.3.4 Macizo Rcoso 4. El macizo rocoso ubicado entre las abscisas 34+970-35+080 se optó por dejar en una sola zona, representándola como zona 5, ya que representa a una andesita porfídica con las mismas características estructurales.

6.2.3.5 Macizo Rcoso 5. El macizo rocoso ubicado entre las abscisas 35+130-35+340 se dividió en dos zonas litológicas, debido al fracturamiento que posee, la zona 6 aflora una andesita porfídica alterada, y la zona 7 corresponde a una andesita porfídica.

Cabe mencionar que entre las abscisas 35+080-35+130 no existen un talud rocoso para realizar esta zonificación.

Tabla 33. Zonificación litoestructural.

Macizo Rcoso	Zona	Abscisado		Tramo (m)	Litología
		Inicio	Fin		
1	1	34+430	34+540	110	Andesita porfídica alterada
	2	34+540	34+590	50	Andesita porfídica
2	3	34+670	34+760	90	Andesita porfídica
3	4	34+860	34+900	30	Limolita
4	5	34+970	35+080	110	Andesita porfídica
5	6	35+130	35+220	90	Andesita porfídica alterada
	7	35+220	35+340	120	Andesita porfídica

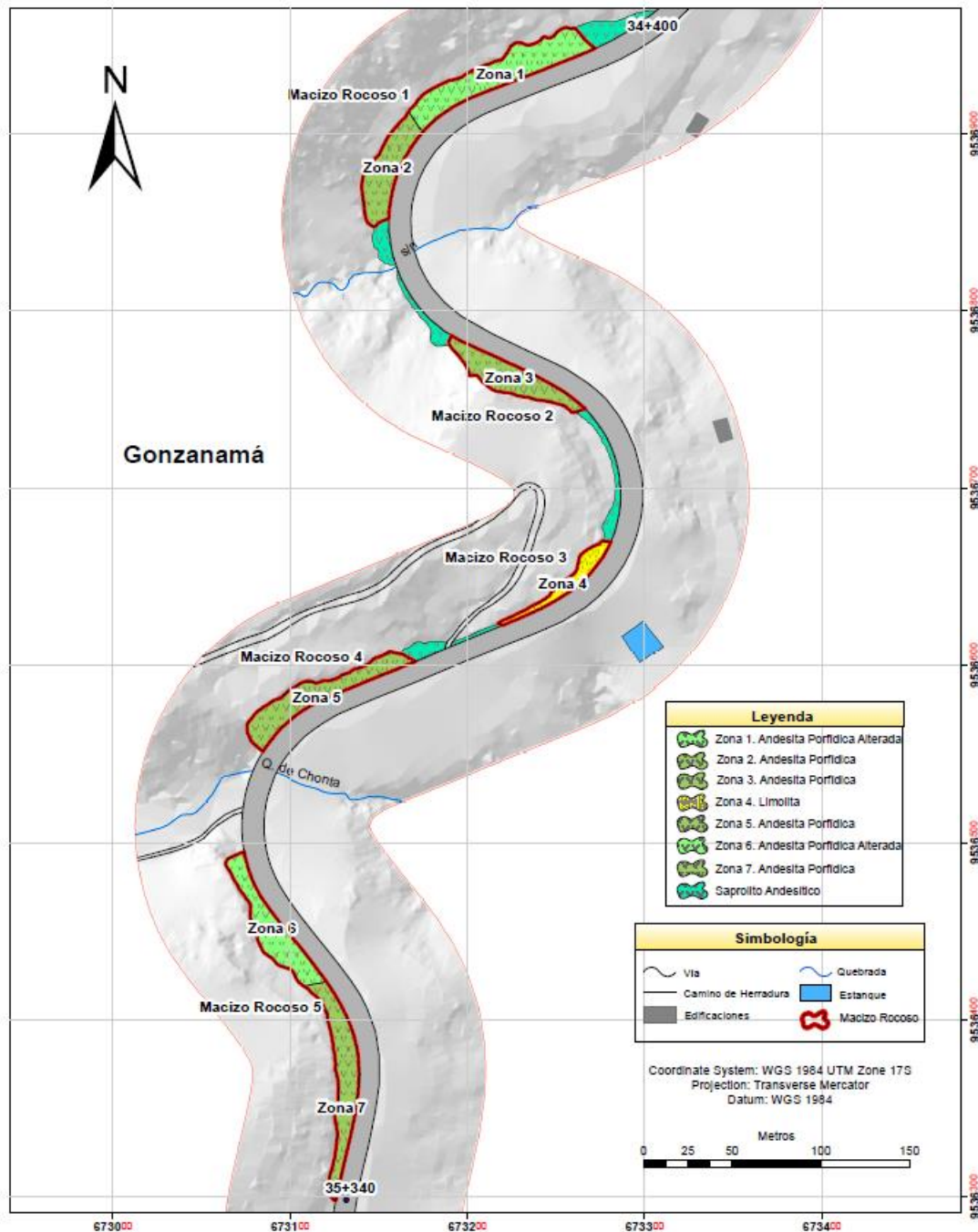


Figura 57. Zonas de comportamiento litoestructural de los macizos rocosos.

6.3 Análisis de Discontinuidades

Las familias de discontinuidades de las 61 estaciones geomecánicas (figura 58), el 47.54% tiene dos familias de discontinuidades, el 22.95% tiene 3 familias de discontinuidades, el 19.67% tiene 4 familias de discontinuidades y el 9.84% tiene cinco familias de discontinuidades.

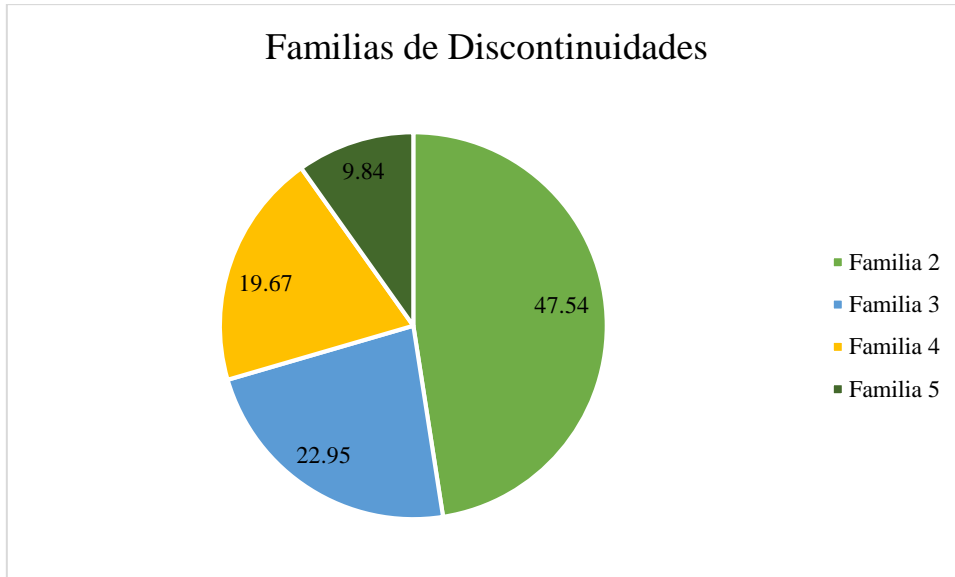


Figura 58. Análisis estadístico de las familias de discontinuidades

6.3.1 Espaciado

Como se puede apreciar en la figura 59 y 60 hay un gran rango de espaciado de las discontinuidades que va desde extremadamente juntas (<20 mm) hasta separadas (600-2000 mm), se observa que las categorías más numerosas corresponden a juntas. Además, se observa un descenso de barras en la estación 34+860-34+870 de 5 mm de separación debido a que se encontraba muy brechificado.

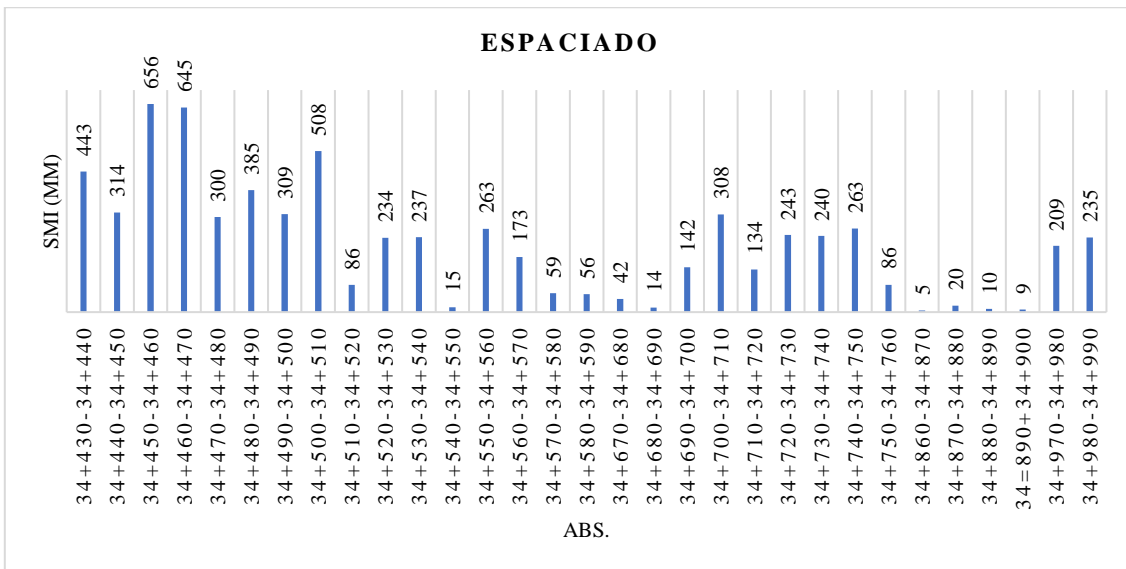


Figura 59. Representación gráfica de espaciado de las discontinuidades abs 34+430-34+990

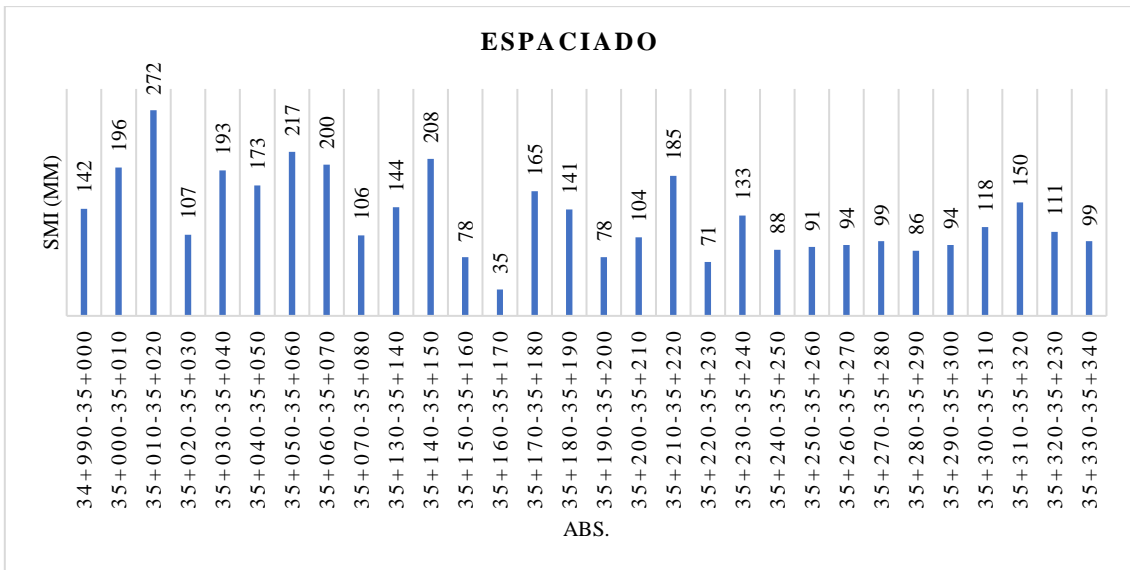


Figura 60. Representación gráfica de espaciado de las discontinuidades abs 34+990-35+340

6.3.2 Longitud

La longitud en términos generales es relativamente muy baja (<1m) (figura 61 y 62), se observa un pico en la estación 34+490-34+500 de 2.3 m que corresponde a una longitud baja (1-3m) debido a que las juntas se disponían de manera subvertical y se observó la continuidad de la misma.

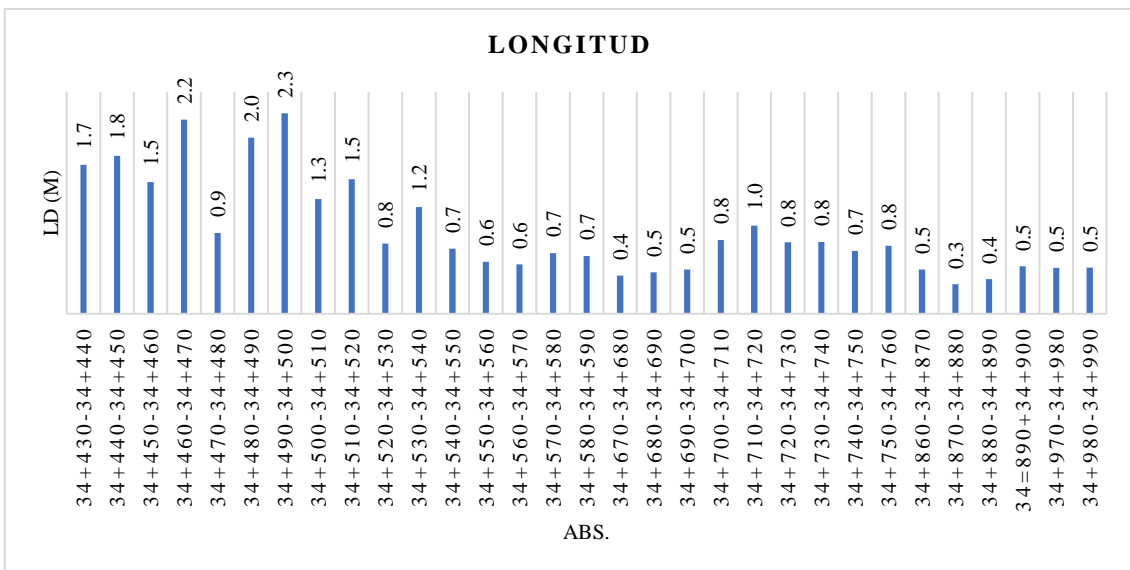


Figura 61. Representación gráfica de longitud de las discontinuidades abs 34+430-34+990

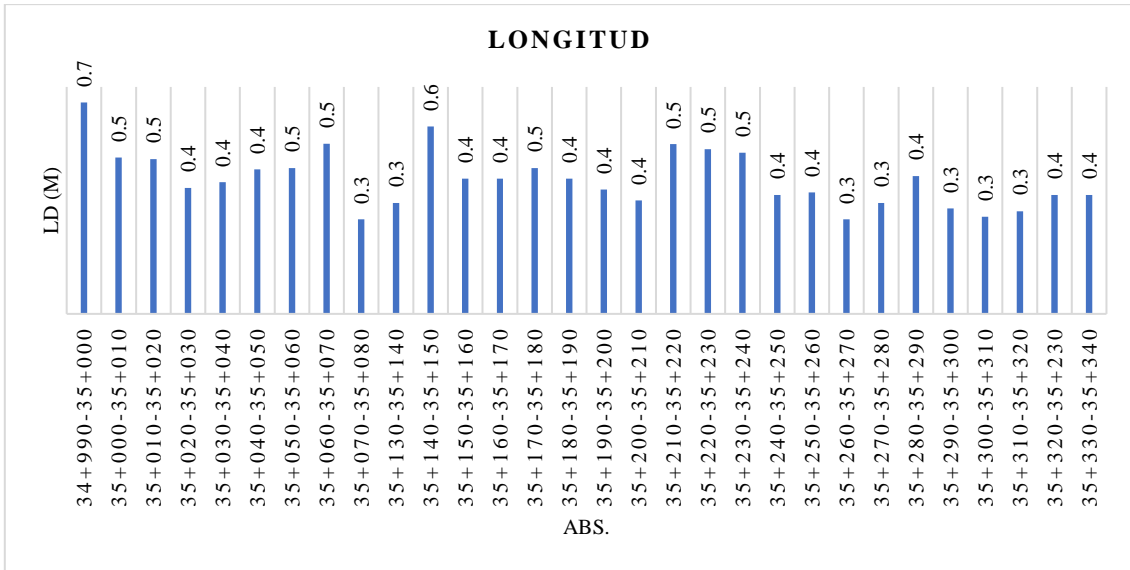


Figura 62. Representación gráfica de longitud de las discontinuidades abs 34+990-35+340

6.3.3 Apertura

Con relación a la apertura, esta muestra un margen en términos generales que se concentran homogéneamente en rangos de parcialmente abierta (0.5-2.5 mm) (figura 63 y 64). Con un descenso en la estación 34+550-34+560 que corresponde a una apertura muy cerrada (0.1-0.5 mm).

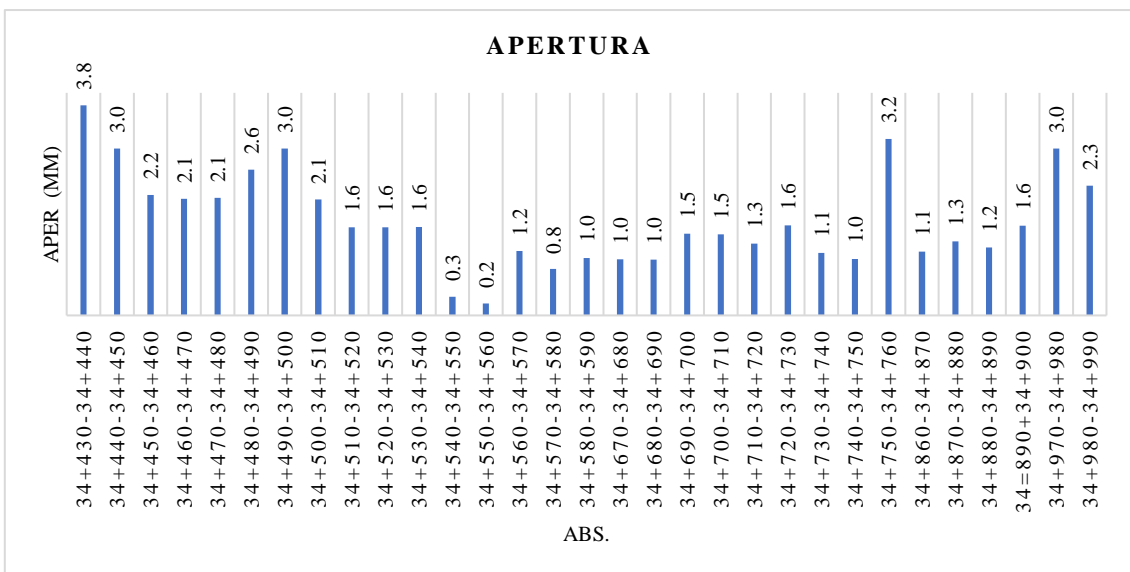


Figura 63. Representación gráfica de apertura de las discontinuidades abs 34+430-34+990

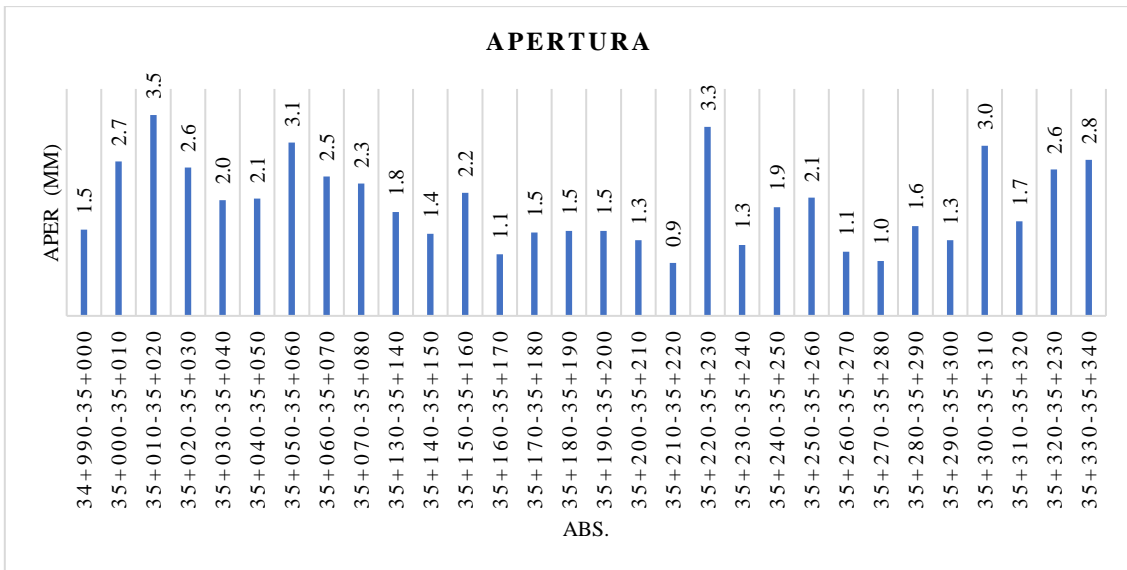


Figura 64. Representación gráfica de apertura de las discontinuidades abs 34+990-35+340

6.3.4 Rugosidad

La rugosidad presenta un rango global de ondulada con valores de 8-4 en términos de JRC (figura 65 y 66). Se puede observar en la estación 34+970-34+980 y 35+130-35+140 que la rugosidad tiene un pico de 13.3 y 12.5 en términos de JRC lo cual corresponde a rugosa con valores de 12-16.

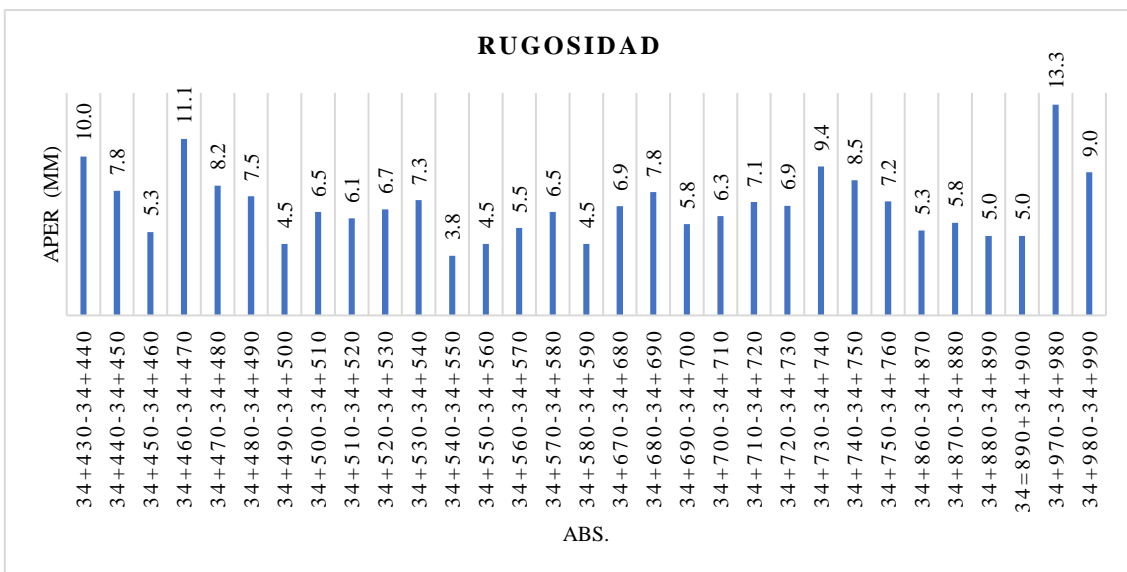


Figura 65. Representación gráfica de la rugosidad de las discontinuidades abs 34+430-34+990

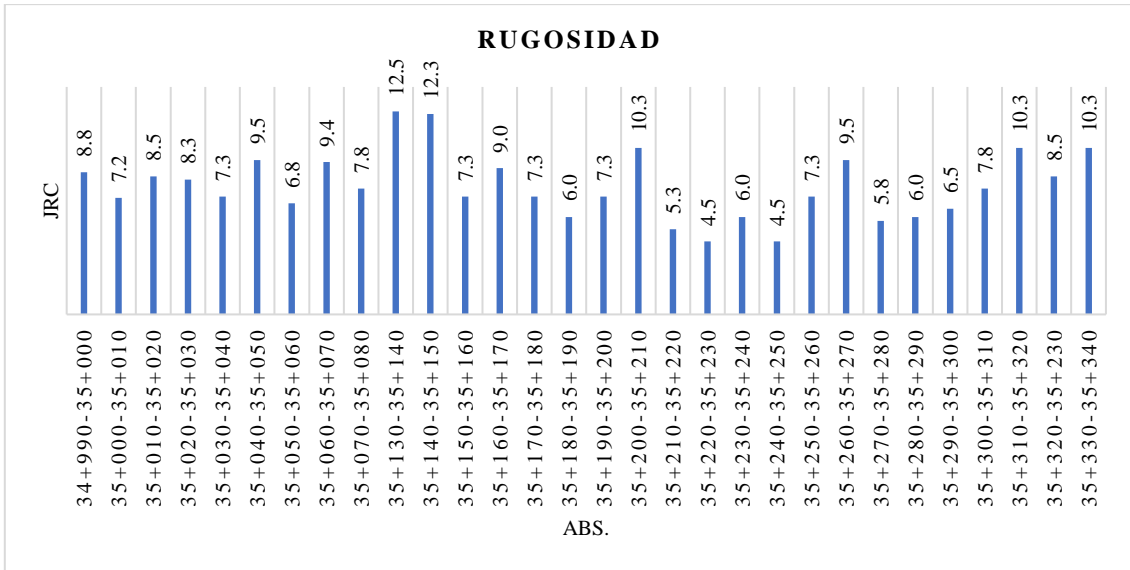


Figura 66. Representación gráfica de la rugosidad de las discontinuidades abs 34+990-35+340

6.3.5 Relleno

Las características de los rellenos se abordan dos cuestiones: su resistencia y el material que le componen. En términos generales se presentó rellenos blandos o sin ninguna clase de relleno (figura 67 y 68), generalmente la clase de relleno eran arcillas blandas debido a la abertura de la junta en la que se encontraban.

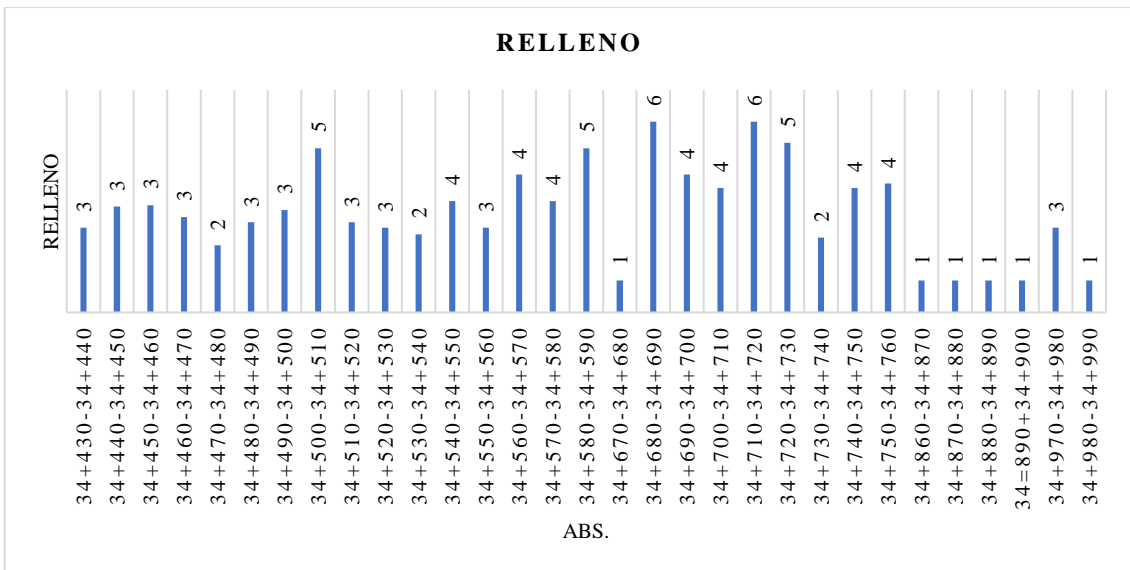


Figura 67. Representación gráfica del relleno de las discontinuidades abs 34+430-34+990

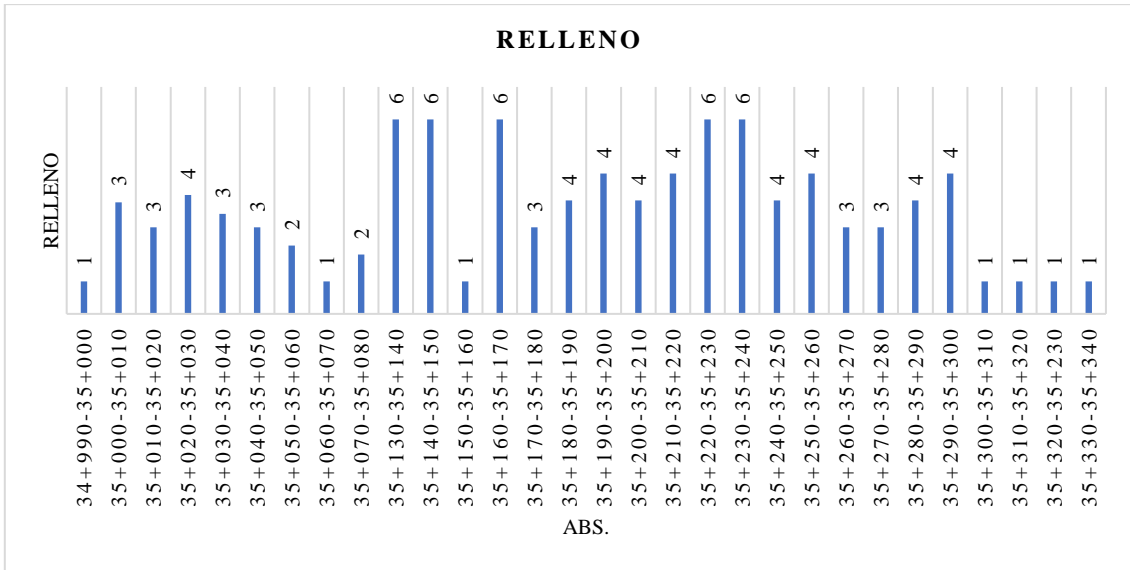


Figura 68. Representación gráfica del relleno de las discontinuidades abs 34+990-35+340

6.3.6 Meteorización

La meteorización en términos globales se encuentra ligeramente alterada (figura 69 y 70), ciertas partes del material rocoso se encuentra decolorado existiendo zonas débiles externamente que en su condición fresca. No se observó rasgos de rocas inalteradas debido a que los macizos se encuentran expuestos constantemente a cambios climáticos.

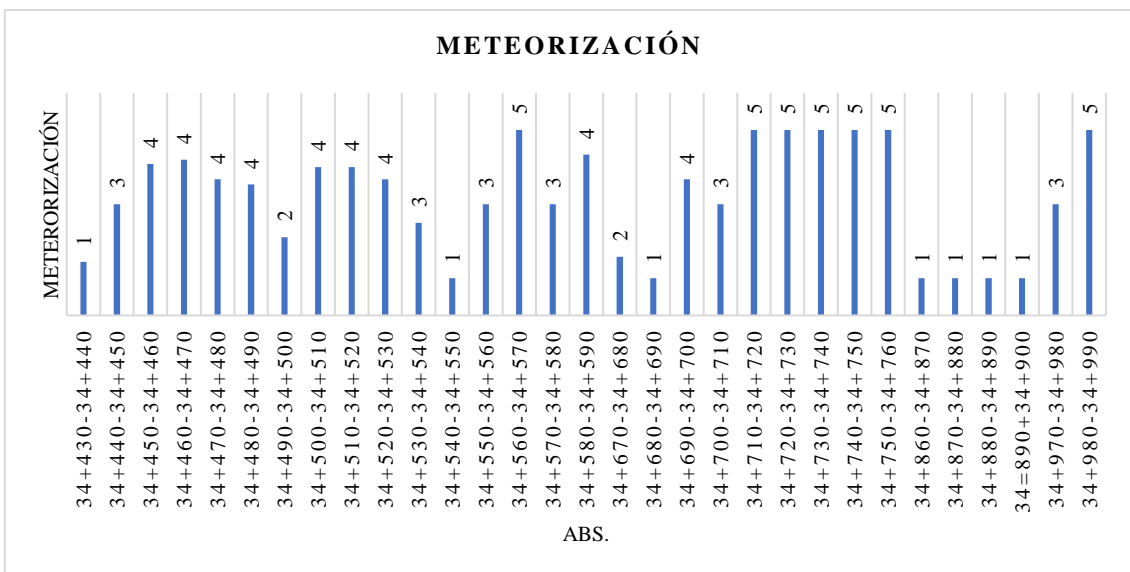


Figura 69. Representación gráfica de la meteorización de las discontinuidades abs 34+430-34+990

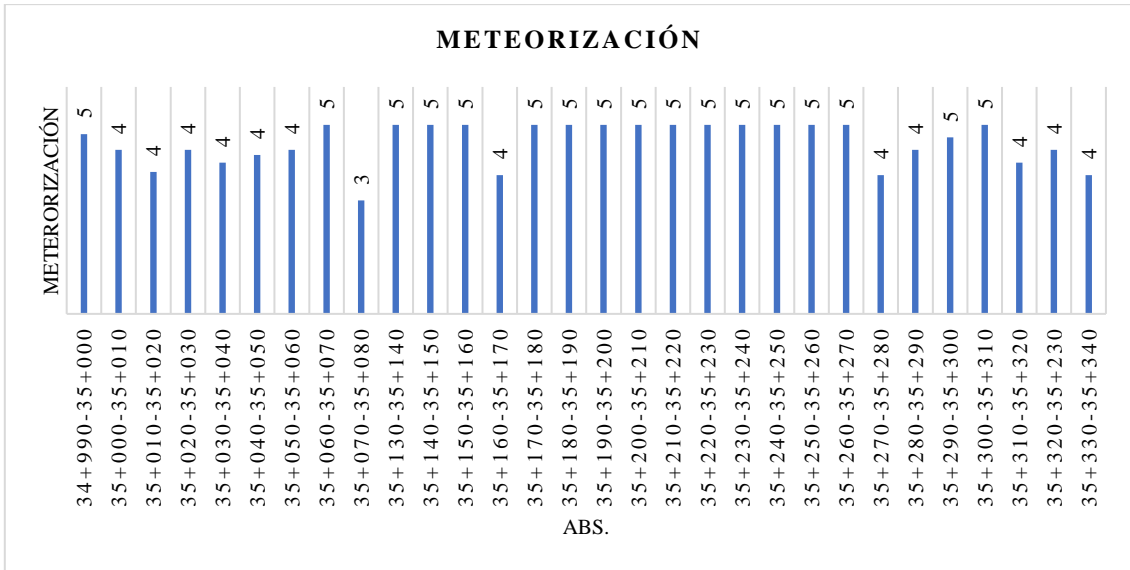


Figura 70. Representación gráfica de la meteorización de las discontinuidades abs 34+990-35+340

6.3.7 Flujo de Agua

En cuanto a las filtraciones la mayoría de estaciones se encontraban secas (figura 71 y 72).

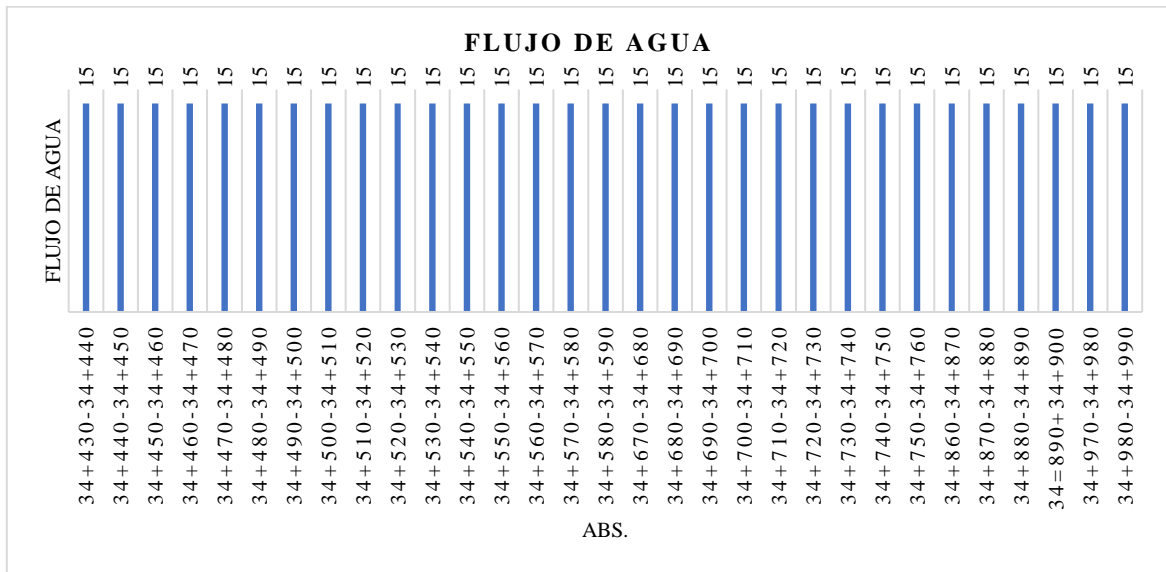


Figura 71. Representación gráfica del flujo de agua de las discontinuidades abs 34+430-34+990

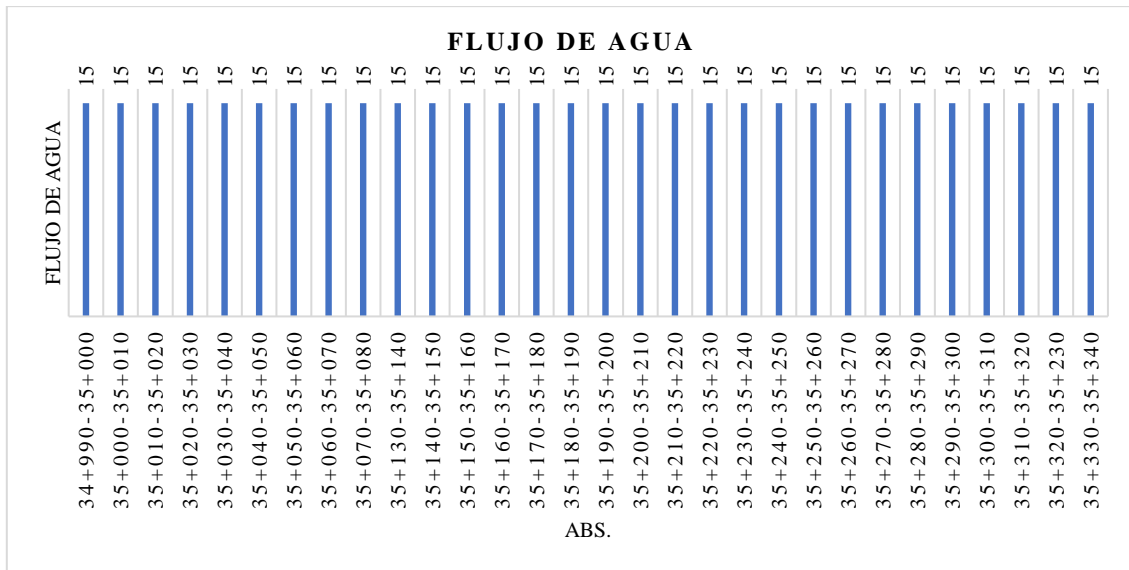


Figura 72. Representación gráfica del flujo de agua de las discontinuidades abs 34+990-35+340

De las 61 estaciones geomecánicas distribuidas a lo largo de las 7 zonas de comportamiento litoestructural, las propiedades físicas se presentan de la siguiente manera:

- Zona 1: presenta espaciados de las discontinuidades entre juntas (60-200 mm) y moderadamente juntas (200-600 mm), la longitud es muy baja (<1 m) a baja (1-3 m), la apertura es parcialmente abierta (0.5-2.5 mm) a moderadamente abierta (2.5-10 mm), el relleno es duro y exhibe una meteorización muy alterada a moderadamente alterada.
- Zona 2: presenta espaciados de las discontinuidades entre muy juntas (<60 mm) a moderadamente juntas (200-600 mm), la longitud es muy baja (<1 m), la apertura cerrada (0.1-0.25 mm) a parcialmente abierta (0.5 a 2.5 mm), el relleno es duro y exhibe una meteorización muy alterada a ligeramente alterada.
- Zona 3: presenta espaciados de las discontinuidades entre juntas (60-200 mm) a moderadamente juntas (200-600 mm), la longitud es muy baja (<1 m), la apertura es parcialmente abierta (0.5 a 2.5 mm), el relleno es blando y exhibe meteorización muy alterada a ligeramente alterada.
- Zona 4: presenta espaciados de las discontinuidades muy juntas (<60 mm), la longitud es muy baja (<1 m), la apertura es parcialmente abierta (0.5 -2.5 mm) a moderadamente abierta (2.5-10 mm), el relleno es blando y exhibe una meteorización muy alterada.
- Zona 5: presenta espaciados de las discontinuidades entre juntas (60-200 mm) a moderadamente juntas (200-600 mm), la longitud es muy baja (<1 m), la apertura es parcialmente abierta (0.5-2.5 mm) a moderadamente abierta (2.5-10 mm), el

relleno es blando a duro y exhibe una meteorización moderada a ligeramente alterada.

- Zona 6: presenta espaciados de las discontinuidades entre muy juntas (<60 mm) a moderadamente juntas (200-600 mm), la longitud es muy baja (<1 m), la apertura es parcialmente abierta (0.5-2.5 mm), el relleno es blando y exhibe una meteorización ligeramente alterada.
- Zona 7: presenta espaciados de las discontinuidades entre juntas (60-200 mm) a moderadamente juntas (200-600 mm), la longitud es muy baja (<1 m), la apertura es parcialmente abierta (0.5-2.5 mm) a moderadamente abierta (2.5-10 mm), el relleno es blando y exhibe una meteorización moderada a ligeramente alterada.

6.4 Ensayo de compresión uniaxial o simple

Luego de haber realizado las pruebas de la resistencia a la compresión a cada una de las muestras por zona geomecánica se llegó a los siguientes resultados (tabla 34):

Tabla 34. Resultado del ensayo a la compresión simple.

Muestra Nro.	Ancho mm	Alto mm	Largo mm	Área mm ²	Masa gr	Volumen cm ³	Carga KN	RCS MPa
Z1	49.93	50.73	50.01	2529.9	308	126.67	114.7	45.33
Z2	50.33	50.19	50.45	2510	311	127.43	142.4	56.73
Z3	50.35	50.06	50.97	2535.5	303.5	128.47	133.5	52.66
Z5	50.36	50.51	50.03	2535.1	309.5	127.26	132.2	52.13
Z6	50.25	50.13	50.52	2510	295	127.26	159.4	63.52
Z7	50.29	50.91	50.22	2555.2	303	128.57	188	73.59

La resistencia a la compresión simple por zona fueron dados de la siguiente manera: para la zona 1 se estableció un valor de 45.33 MPa, para la zona 2 un valor de 56.73 MPa, la zona 3 un valor de 52.66 MPa, la zona 4 no fue posible determinar su resistencia a la compresión simple debido a que el macizo de limolitas se encuentra muy fracturado por ello se determinó mediante la tabla 3 asignándole un valor de 1 MPa, la zona 5 se estableció un valor de 52.13 MPa, la zona 6 un valor de 63.52 MPa y la zona 7 se determinó un valor de 73.59 MPa, según estos valores se puede clasificar a la roca según la tabla 2: la zona 1 como “Clase Media” la zona 2, 3, 5, 6 y 7 como “Clase Alta” y la zona 4 como “Clase Extremadamente Baja”.

6.5 Propiedades Físicas

Las propiedades físicas fueron determinadas según las fórmulas descritas en el apartado 4.5. Los datos obtenidos para cada estado de las muestras se describen en el anexo 11.

Los resultados de las siguientes propiedades físicas: peso específico aparente, porosidad eficaz, absorción, humedad y densidad se detallan en la tabla 35.

Tabla 35. Resultado de propiedades físicas

Descripción	Peso Específico Aparente (g/cm ³)	Porosidad Eficaz (%)	C. Absorción (%)	C. Humedad (%)
Z1	2.35	5.26	2.09	2.23
Z2	2.07	4.10	1.15	1.98
Z3	2.05	5.59	1.82	2.72
Z4	1.75	7.78	4.18	4.44
Z5	2.44	7.72	1.89	3.16
Z6	2.15	10.56	2.90	4.92
Z7	2.37	9.57	2.04	4.05

De acuerdo a resultados obtenidos por las 7 zonas, se determinó que los valores de porosidad varían en un rango de 4-11%, la capacidad de absorción de 1-5% y el contenido de humedad de 1-5%.

Los datos obtenidos a través del picnómetro (anexo 10) se utilizó para determinar la gravedad específica y el peso específico, los resultados se detallan en la tabla 36.

Tabla 36. Resultados de gravedad específica y peso específico real

Descripción	Gravedad específica	Peso específico real (gr/cm ³)
Z1	2.56	2.557
Z2	2.62	2.620
Z3	2.59	2.584
Z4	2.42	2.412
Z5	2.56	2.553
Z6	2.47	2.465
Z7	2.50	2.501

El resultado de la gravedad específica y peso específico es mayor en la zona 2 de 2.62 y 2.620 g/cm³, la zona 4 representa el valor más bajo de gravedad específica y peso específico de 2.42 y 2.412 gr/cm³.

6.6 RQD

El RQD se lo obtuvo realizando el cálculo del índice volumétrico de las discontinuidades por m³ conocido como Jv, siendo el resultado de la sumatoria total de 1/SMi espaciado medio de cada discontinuidad en m. En la tabla 37 se muestra un ejemplo de los cálculos realizados para la obtención del RQD correspondiente a la zona 1 abs 34+430-34+440 y que son aplicados en todo el tramo vial.

Tabla 37. Cálculo del RQD de la zona 1 abs 34+430-34+440

Zona	Abs	Familia	SMi (mm)	SMi (m)	1/SMi (m)	Jv/m ³	RQD (%)	Calidad
1	34+430- 34+440	J1	377.5	0.4	2.6			
1	34+430- 34+440	J2	455.0	0.5	2.2	6.9	92.9	Excelente
1	34+430- 34+440	J3	497.5	0.5	2.0			

Los resultados del RQD del tramo vial se detallan en la tabla 38.

Tabla 38. Resultados del RQD

Zona	Abs	RQD (%)	Calidad	Zona	Abs	RQD (%)	Calidad
1	34+430-34+440	92.9	Muy buena	5	34+990-35+000	21.8	Muy mala
1	34+440-34+450	74.0	Regular	5	35+000-35+010	61.2	Regular
1	34+450-34+460	94.3	Muy buena	5	35+010-35+020	67.7	Regular
1	34+460-34+470	77.2	Buena	5	35+020-35+030	0.0	Muy mala
1	34+470-34+480	83.9	Buena	5	35+030-35+040	57.0	Regular
1	34+480-34+490	65.0	Regular	5	35+040-35+050	19.2	Muy mala
1	34+490-34+500	77.7	Buena	5	35+050-35+060	71.4	Regular
1	34+500-34+510	86.8	Buena	5	35+060-35+070	55.0	Regular
1	34+510-34+520	0.0	Muy mala	5	35+070-35+080	53.3	Regular
1	34+520-34+530	74.9	Regular	6	35+130-35+140	74.6	Regular
1	34+530-34+540	54.1	Regular	6	35+140-35+150	72.7	Regular
2	34+540-34+550	0.0	Muy mala	6	35+150-35+160	45.2	Mala
2	34+550-34+560	90.8	Muy buena	6	35+160-35+170	0.0	Muy mala
2	34+560-34+570	44.7	Mala	6	35+170-35+180	79.4	Buena
2	34+570-34+580	25.0	Mala	6	35+180-35+190	72.3	Regular
2	34+580-34+590	20.7	Muy mala	6	35+190-35+200	45.4	Mala
3	34+670-34+680	0.0	Muy mala	6	35+200-35+210	56.1	Regular
3	34+680-34+690	0.0	Muy mala	6	35+210-35+220	82.6	Buena
3	34+690-34+700	74.3	Regular	7	35+220-35+230	39.6	Mala
3	34+700-34+710	63.0	Regular	7	35+230-35+240	56.1	Regular
3	34+710-34+720	29.5	Mala	7	35+240-35+250	49.7	Mala
3	34+720-34+730	34.7	Mala	7	35+250-35+260	51.2	Regular
3	34+730-34+740	47.9	Mala	7	35+260-35+270	56.2	Regular
3	34+740-34+750	48.3	Mala	7	35+270-35+280	59.3	Regular
3	34+750-34+760	17.3	Muy mala	7	35+280-35+290	51.7	Regular
4	34+860-34+870	0.0	Muy mala	7	35+290-35+300	56.4	Regular
4	34+870-34+880	0.0	Muy mala	7	35+300-35+310	63.9	Regular
4	34+880-34+890	0.0	Muy mala	7	35+310-35+320	69.7	Regular
4	34+890-34+900	0.0	Muy mala	7	35+320-35+330	65.1	Regular
5	34+970-34+980	80.4	Buena	7	35+330-35+340	55.5	Regular
5	34+980-34+990	86.7	Buena				

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

En la figura 73 se representa la distribución de los valores obtenidos en el cálculo del RQD.

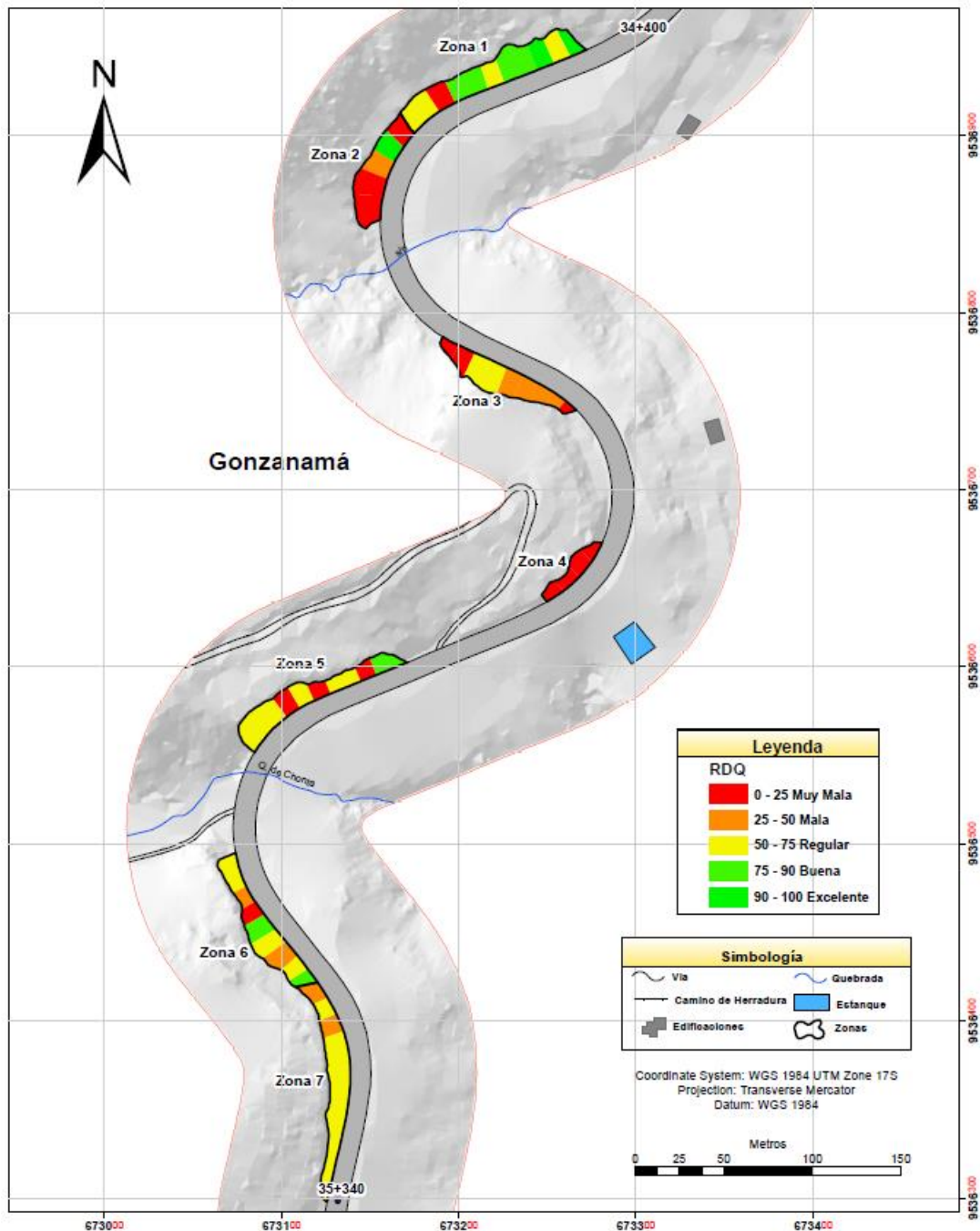


Figura 73. RQD

6.7 RMR

El RMR se obtuvo a partir de 5 parámetros como: comprensión simple, índice RQD, espaciamiento, longitud, abertura, rugosidad (mediante términos JRC), 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 39 se muestra un ejemplo de los cálculos realizados para la obtención del RMR correspondientes a la zona 1 abs 34+430-34+440 y que son aplicados en todo el tramo vial.

Tabla 39. Cálculos de la calidad del macizo rocoso en función del RMR de la zona 1 abs 34+430-34+440

Zona	Abs	Flia	uc (Mpa)	RQD (%)	Smi (mm)	LD	Aper	JRC	Rell	Meteo.	Fl. Agua	Param. 1	Param. 2	Param. 3	Parametro 4					RMR	CLASE	CALIDAD		
															LD	AP	JRC	RELL	MET				2P4	Param. 5
1	34+430-34+440	J1	45	92.9	377.5	2.0	4.7	7.0	4.3	1.7	15.0	5.2	18.6	5.1	2.6	1.1	1.5	4.3	1.7	11.2	15	55.2	Media	III
1	34+430-34+440	J2	45	92.9	455.0	1.9	4.0	14.5	1.0	1.0	15.0	5.2	18.6	5.6	2.7	1.4	5.1	1.0	1.0	11.3	15	55.7	Media	III
1	34+430-34+440	J3	45	92.9	497.5	1.1	2.7	8.5	2.7	1.7	15.0	5.2	18.6	5.9	3.9	2.0	2.2	2.7	1.7	12.5	15	57.2	Media	III

Los resultados del RMR del tramo del tramo vial se detallan en la tabla 40.

Tabla 40. Resultados del RMR

Zona	Abs	RMR	Calidad	Clase	Zona	Abs	RMR	Calidad	Clase
1	34+430-34+440	56.0	Media	III	5	34+990-35+000	45.7	Media	III
1	34+440-34+450	53.1	Media	III	5	35+000-35+010	53.2	Media	III
1	34+450-34+460	60.2	Buena	II	5	35+010-35+020	53.9	Media	III
1	34+460-34+470	58.2	Media	III	5	35+020-35+030	44.5	Media	III
1	34+470-34+480	55.9	Media	III	5	35+030-35+040	52.4	Media	III
1	34+480-34+490	51.4	Media	III	5	35+040-35+050	46.9	Media	III
1	34+490-34+500	50.9	Media	III	5	35+050-35+060	53.7	Media	III
1	34+500-34+510	60.0	Media	III	5	35+060-35+070	51.5	Media	III
1	34+510-34+520	40.4	Mala	IV	5	35+070-35+080	49.2	Media	III
1	34+520-34+530	54.0	Media	III	6	35+130-35+140	63.2	Buena	II
1	34+530-34+540	48.3	Media	III	6	35+140-35+150	62.9	Buena	II
2	34+540-34+550	40.7	Mala	IV	6	35+150-35+160	49.3	Media	III
2	34+550-34+560	59.5	Media	III	6	35+160-35+170	48.0	Media	III
2	34+560-34+570	52.1	Media	III	6	35+170-35+180	58.3	Media	III
2	34+570-34+580	46.3	Media	III	6	35+180-35+190	57.0	Media	III
2	34+580-34+590	47.7	Media	III	6	35+190-35+200	53.1	Media	III
3	34+670-34+680	39.0	Mala	IV	6	35+200-35+210	56.0	Media	III
3	34+680-34+690	43.7	Media	III	6	35+210-35+220	60.6	Buena	II
3	34+690-34+700	55.8	Media	III	7	35+220-35+230	52.4	Media	III
3	34+700-34+710	53.2	Media	III	7	35+230-35+240	57.1	Media	III
3	34+710-34+720	50.7	Media	III	7	35+240-35+250	52.6	Media	III
3	34+720-34+730	51.5	Media	III	7	35+250-35+260	54.7	Media	III
3	34+730-34+740	52.2	Media	III	7	35+260-35+270	55.8	Media	III
3	34+740-34+750	53.8	Media	III	7	35+270-35+280	53.3	Media	III
3	34+750-34+760	46.0	Media	III	7	35+280-35+290	52.8	Media	III
4	34+860-34+870	32.4	Mala	IV	7	35+290-35+300	55.6	Media	III
4	34+870-34+880	32.8	Mala	IV	7	35+300-35+310	53.7	Media	III
4	34+880-34+890	32.4	Mala	IV	7	35+310-35+320	56.0	Media	III
4	34+890-34+900	31.8	Mala	IV	7	35+320-35+230	53.7	Media	III
5	34+970-34+980	57.8	Media	III	7	35+330-35+340	52.0	Media	III
5	34+980-34+990	57.9	Media	III					

De acuerdo a los resultados obtenidos 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°), 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 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 4 predomina una calidad de macizo rocoso mala clase IV (tiempo de mantenimiento y longitud de 10 horas con 2.5 m en vano, cohesión de 1-2 Kp/cm² y un ángulo de rozamiento de 15°-25°), 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 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 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°).

En la figura 74 se representa la distribución de los valores obtenidos en el cálculo del RMR.

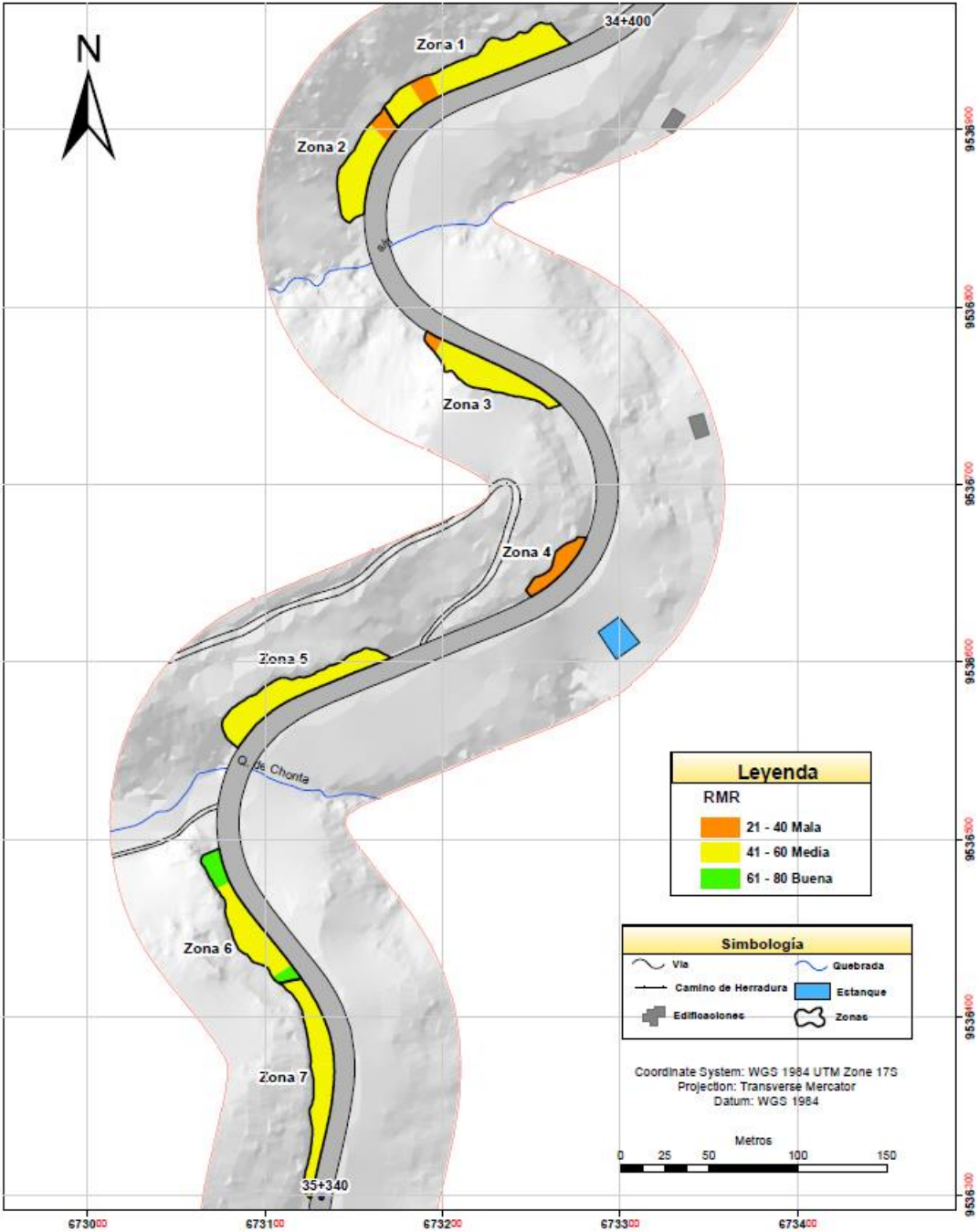


Figura 74. RMR

En la figura 75 se puede observar los valores del RMR de las 61 estaciones geomecánicas, la línea continua representa los valores del RMR de cada estación y la línea entrecortada muestra el valor medio global del RMR de 51.4 con una dispersión estándar de 7.21 representando una clase tipo III o calidad media. La estación 26, 27, 28 y 29 presenta los valores más bajos debido a que estos taludes se encuentran muy fracturados.

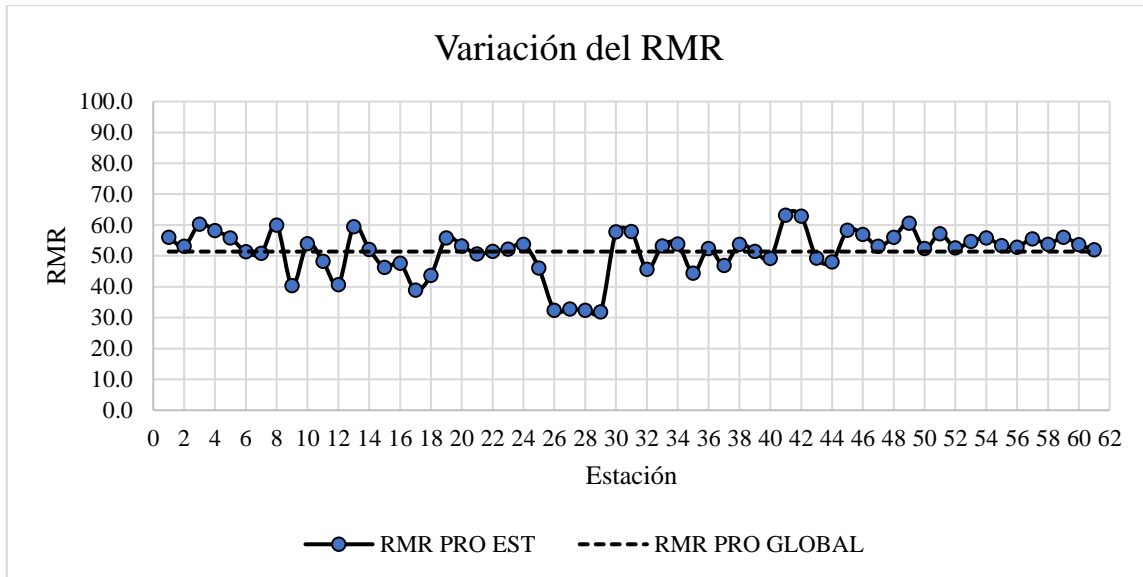


Figura 75. Análisis estadístico del RMR

6.8 SMR

Para la orientación de las discontinuidades se tomaron un total de 446 datos estructurales de las diferentes familias, la dispersión de dichos datos se muestra en la figura 76, observándose que mediante el análisis en el software Dips la nube de puntos en general tiene a agruparse en 4 orientaciones preferenciales, el resto de orientaciones presentan una menor concentración, los datos se presentan de forma difusa lo cual no es representativo en todo el tramo vial.

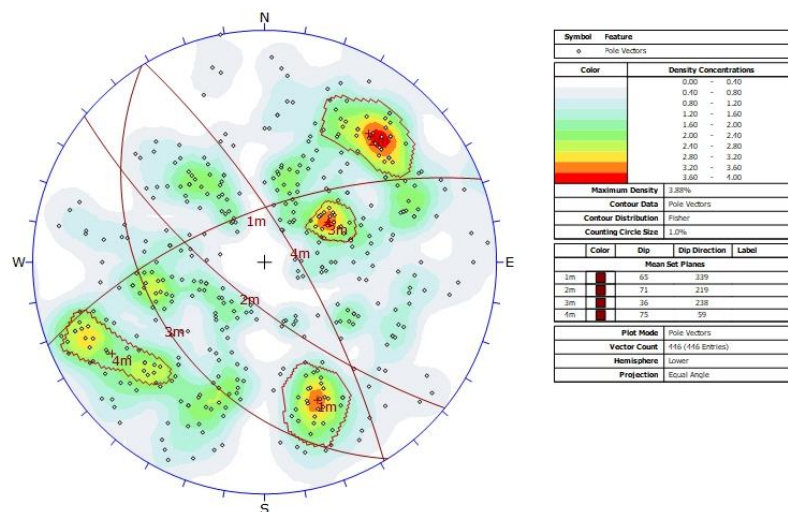


Figura 76. Dispersión de datos estructurales mostrados en Dips 6.0

El análisis del SMR se obtuvo a partir de las familias de cada estación, y la adición de 3 parámetros, el índice RMR básico, el factor de ajuste que esta dado en función de la orientación de las juntas (producto de 3 subfactores) y un factor de excavación, la sumatoria de estos parámetros da como resultado el valor del SMR, el cual permitió determinar la clase, calidad y estabilidad del macizo rocoso.

Se analizo el SMR a partir de mecanismos de rotura planar y vuelco. En la tabla 41 se muestra un ejemplo de los cálculos realizados para la obtención del índice SMR para rotura planar, correspondientes a la zona 1 abs 34+430-34+440 y que son aplicados en todo el tramo vial.

Tabla 41. Cálculos de rotura planar de la zona 1 abs 34+430-34+440

Zona	Abs	Flia	RMR	Factor de ajuste as/aj				Factor de ajuste β_j		Factor de ajuste β_j/β_s			Factor de Excavación		SMR	Clase	Calidad	Estabilidad
				as (Direc. Buz. Talud)	aj (Direc. Buz. Discontinuidad)	$A = (aj-as) $	F1	$B = \beta_j$ (Buzamiento de la discontinuidad)	F2	β_s (Buz. Talud)	β_j (Buz. Discontinuidad)	$C = (\beta_j-\beta_s)$	F3	F4				
1	34+430-34+440	J1	55.19	160	89	71.0	0.2	38	0.97	65	38	-27.3	-59.3	0	45.8	III	Normal	Parcialmente Estable
1	34+430-34+440	J2	55.74	160	235	75.0	0.2	69	0.97	65	69	4.3	-4.3	0	55.1	III	Normal	Parcialmente Estable
1	34+430-34+440	J3	57.22	160	264	104.3	0.1	20	0.97	65	20	-45.3	-59.6	0	49.2	III	Normal	Parcialmente Estable

En la tabla 42 se muestra un ejemplo de los cálculos realizados para la obtención del índice SMR para rotura en vuelco, correspondientes a la zona 1 abs 34+430-34+440 y que son aplicados en todo el tramo vial.

Tabla 42. Cálculos de rotura vuelco de la zona 1 abs 34+430-34+440

Zona	Abs	Flia	RMR	Factor de ajuste as/aj				Factor de ajuste β_j		Factor de ajuste β_j/β_s			Factor de Excavación		SMR	Clase	Calidad	Estabilidad
				as (Direc. Buz. Talud)	aj (Direc. Buz. Discontinuidad)	$A = (aj-as) \cdot 180$	F1	$B = \beta_j$ (Buzamiento de la discontinuidad)	F2	β_s (Buz. Talud)	β_j (Buz. Discontinuidad)	$C = (\beta_j-\beta_s)$	F3	F4				
1	34+430-34+440	J1	55.2	160	89	-109	0.13	37.67	1	65	38	102.7	-0.61	0	55.1	III	Normal	Parcialmente estable
1	34+430-34+440	J2	55.7	160	235	-105	0.13	69.33	1	65	69	134.3	-25.29	0	52.5	IV	Mala	Inestable
1	34+430-34+440	J3	57.2	160	264	-75.67	0.14	19.67	1	65	20	84.7	-0.37	0	57.2	III	Normal	Parcialmente estable

Los resultados del SMR por medio de ecuaciones continuas para rotura planar se detallan en la tabla 43.

Tabla 43. Resultados del SMR para rotura planar

Zona	Abs	SMR	Clase	Calidad	Estabilidad	Zona	Abs	SMR	Clase	Calidad	Estabilidad
1	34+430-34+440	50.0	III	Normal	Parcialmente Estable	5	34+990-35+000	25.2	IV	Mala	Inestable
1	34+440-34+450	39.7	IV	Mala	Inestable	5	35+000-35+010	43.5	III	Normal	Parcialmente Estable
1	34+450-34+460	47.5	III	Normal	Parcialmente Estable	5	35+010-35+020	46.7	III	Normal	Parcialmente Estable
1	34+460-34+470	52.0	III	Normal	Parcialmente Estable	5	35+020-35+030	35.6	IV	Mala	Inestable
1	34+470-34+480	49.9	III	Normal	Parcialmente Estable	5	35+030-35+040	38.7	IV	Mala	Inestable
1	34+480-34+490	34.4	IV	Mala	Inestable	5	35+040-35+050	30.9	IV	Mala	Inestable
1	34+490-34+500	45.0	III	Normal	Parcialmente Estable	5	35+050-35+060	43.8	III	Normal	Parcialmente Estable
1	34+500-34+510	52.7	III	Normal	Parcialmente Estable	5	35+060-35+070	30.7	IV	Mala	Inestable
1	34+510-34+520	28.1	IV	Mala	Inestable	5	35+070-35+080	40.8	IV	Mala	Inestable
1	34+520-34+530	44.8	III	Normal	Parcialmente Estable	6	35+130-35+140	53.4	III	Normal	Parcialmente Estable
1	34+530-34+540	30.9	IV	Mala	Inestable	6	35+140-35+150	59.9	III	Normal	Parcialmente Estable
2	34+540-34+550	33.0	IV	Mala	Inestable	6	35+150-35+160	38.5	IV	Mala	Inestable
2	34+550-34+560	51.2	III	Normal	Parcialmente Estable	6	35+160-35+170	25.2	IV	Mala	Inestable
2	34+560-34+570	43.3	III	Normal	Parcialmente Estable	6	35+170-35+180	54.1	III	Normal	Parcialmente Estable
2	34+570-34+580	38.6	IV	Mala	Inestable	6	35+180-35+190	47.4	III	Normal	Parcialmente Estable
2	34+580-34+590	39.8	IV	Mala	Inestable	6	35+190-35+200	49.1	III	Normal	Parcialmente Estable

Zona	Abs	SMR	Clase	Calidad	Estabilidad	Zona	Abs	SMR	Clase	Calidad	Estabilidad
3	34+670-34+680	32.3	IV	Mala	Inestable	6	35+200-35+210	47.8	III	Normal	Parcialmente Estable
3	34+680-34+690	40.0	IV	Mala	Inestable	6	35+210-35+220	56.5	III	Normal	Parcialmente Estable
3	34+690-34+700	52.2	III	Normal	Parcialmente Estable	7	35+220-35+230	43.0	III	Normal	Parcialmente Estable
3	34+700-34+710	47.7	III	Normal	Parcialmente Estable	7	35+230-35+240	52.0	III	Normal	Parcialmente Estable
3	34+710-34+720	46.4	III	Normal	Parcialmente Estable	7	35+240-35+250	45.1	III	Normal	Parcialmente Estable
3	34+720-34+730	46.2	III	Normal	Parcialmente Estable	7	35+250-35+260	47.2	III	Normal	Parcialmente Estable
3	34+730-34+740	47.1	III	Normal	Parcialmente Estable	7	35+260-35+270	41.2	III	Normal	Parcialmente Estable
3	34+740-34+750	48.8	III	Normal	Parcialmente Estable	7	35+270-35+280	36.7	IV	Mala	Inestable
3	34+750-34+760	39.3	IV	Mala	Inestable	7	35+280-35+290	47.3	III	Normal	Parcialmente Estable
4	34+860-34+870	26.3	IV	Mala	Inestable	7	35+290-35+300	46.7	III	Normal	Parcialmente Estable
4	34+870-34+880	19.3	V	Muy mala	Totalmente Inestable	7	35+300-35+310	43.1	III	Normal	Parcialmente Estable
4	34+880-34+890	18.9	V	Muy mala	Totalmente Inestable	7	35+310-35+320	54.0	III	Normal	Parcialmente Estable
4	34+890-34+900	12.1	V	Muy mala	Totalmente Inestable	7	35+320-35+230	45.4	III	Normal	Parcialmente Estable
5	34+970-34+980	48.4	III	Normal	Parcialmente Estable	7	35+330-35+340	41.5	III	Normal	Parcialmente Estable
5	34+980-34+990	49.2	III	Normal	Parcialmente Estable						

De acuerdo a los resultados obtenidos para rotura planar en la zona 1 predomina una calidad de macizo rocoso normal clase III (rotura de algunas juntas y grandes cuñas y una probabilidad de rotura del 0.4%), la zona 2 predomina una calidad de macizo rocoso mala clase IV (roturas planares y grandes cuñas y 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 y una probabilidad de rotura de 0.4), la zona 4 predomina una calidad de macizo rocoso muy mala clase V (grandes roturas por planos continuos o por masas y una probabilidad de rotura de 0.9), la zona 5 predomina una calidad de macizo rocoso mala clase IV (roturas planares y grandes cuñas y una probabilidad de rotura de 0.6), la zona 6 predomina una calidad de macizo rocosos normal clase III (rotura de algunas juntas y grandes cuñas y una probabilidad de rotura de 0.4), y finalmente la zona 7 predomina una calidad de macizo rocoso normal clase III (rotura de algunas juntas y grandes cuñas y una probabilidad de rotura de 0.4).

En la figura 77 se representa la distribución de los valores obtenidos en el cálculo del SMR para rotura planar.

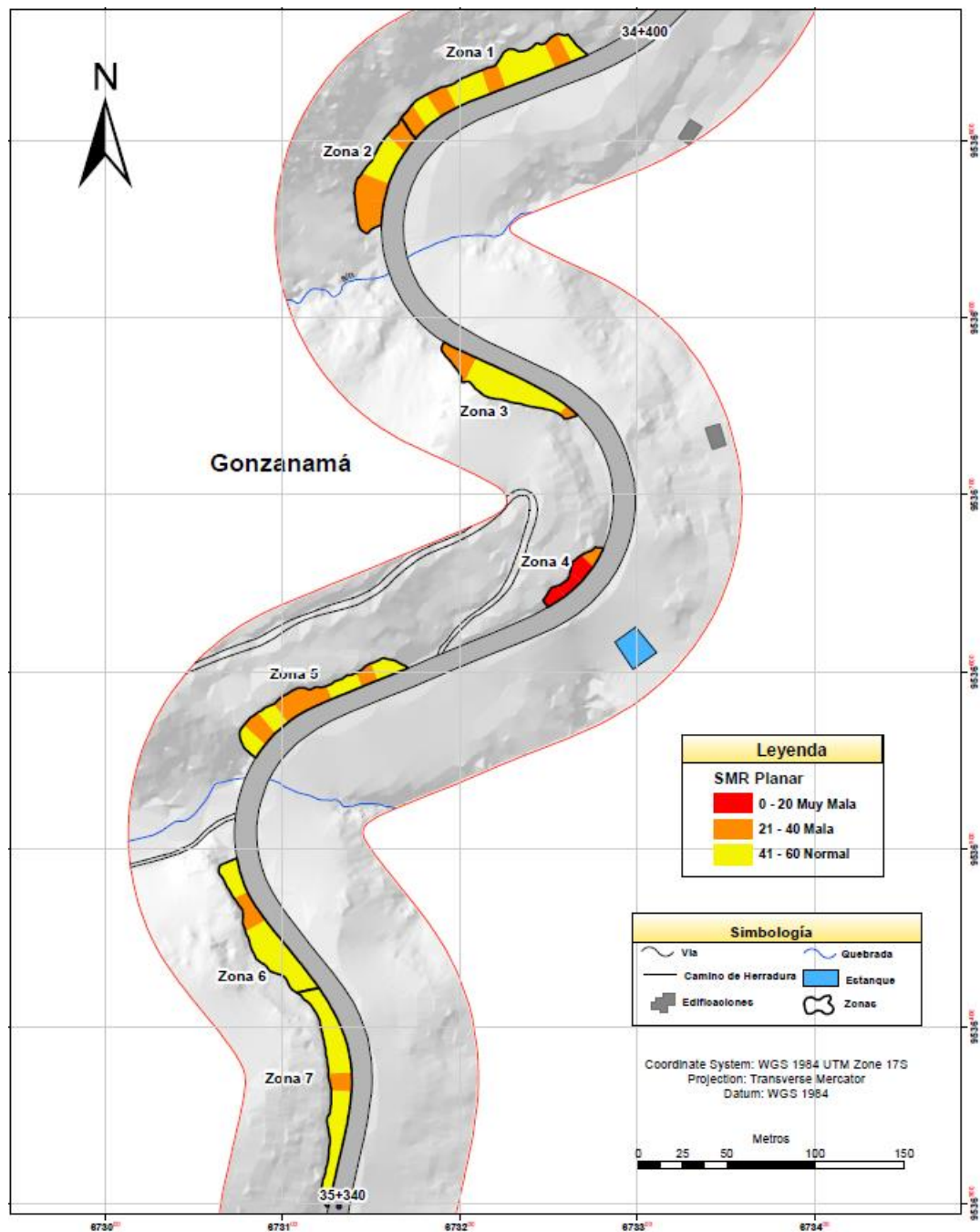


Figura 77. SMR Planar

En la figura 78 se puede observar los valores del SMR planar de las 61 estaciones geomecánicas, la línea continua representa los valores del SMR planar de cada estación y la línea entrecortada muestra el valor medio global del SMR planar de 42.1 con una dispersión estándar de 9.82 representando un SMR planar normal parcialmente estable con rotura de algunas juntas o grandes cuñas y una probabilidad del 40%. Como se observa en los datos, la zona que más se aleja de la media global se encuentra en el abscisado 34+890+34+900 (estación 29), con un valor del SMR por planar de 12.1 es decir una calidad muy mala completamente inestable, debido a la variación de dirección de buzamiento de la discontinuidad.

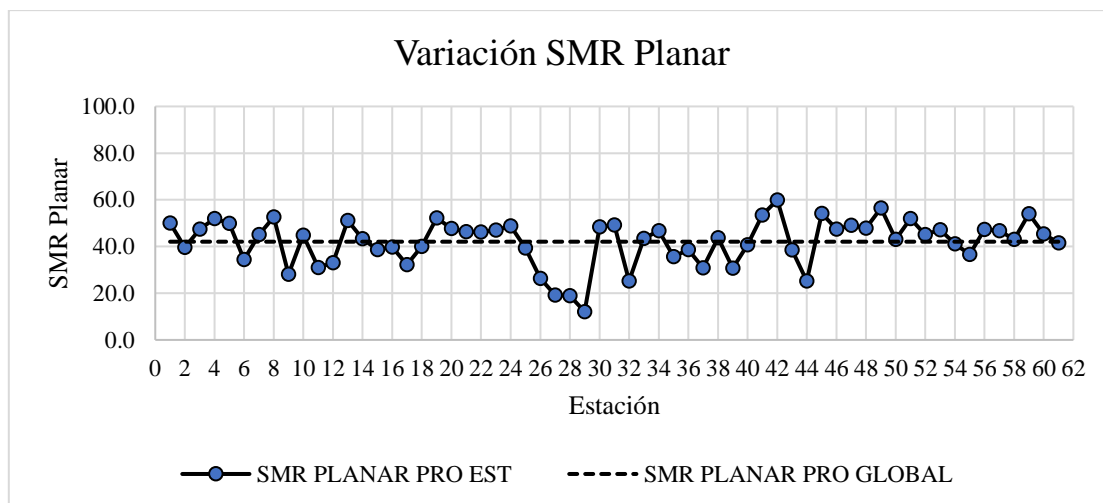


Figura 78. Análisis estadístico del SMR planar

En la tabla 44 se muestran los resultados del SMR por medio de ecuaciones continuas para rotura en vuelco.

Tabla 44. Resultados del SMR para rotura en vuelco

Zona	Abs	SMR	Clase	Calidad	Estabilidad	Zona	Abs	SMR	Clase	Calidad	Estabilidad
1	34+430-34+440	54.9	III	Normal	Parcialmente estable	5	34+990-35+000	42.3	III	Normal	Parcialmente estable
1	34+440-34+450	50.8	III	Normal	Parcialmente estable	5	35+000-35+010	49.9	III	Normal	Parcialmente estable
1	34+450-34+460	57.7	III	Normal	Parcialmente estable	5	35+010-35+020	50.6	III	Normal	Parcialmente estable
1	34+460-34+470	56.8	III	Normal	Parcialmente estable	5	35+020-35+030	40.9	III	Normal	Parcialmente estable
1	34+470-34+480	54.7	III	Normal	Parcialmente estable	5	35+030-35+040	49.0	III	Normal	Parcialmente estable
1	34+480-34+490	50.6	III	Normal	Parcialmente estable	5	35+040-35+050	42.6	III	Normal	Parcialmente estable
1	34+490-34+500	48.6	III	Normal	Parcialmente estable	5	35+050-35+060	50.5	III	Normal	Parcialmente estable
1	34+500-34+510	58.8	III	Normal	Parcialmente estable	5	35+060-35+070	48.9	III	Normal	Parcialmente estable
1	34+510-34+520	39.6	IV	Mala	Inestable	5	35+070-35+080	47.4	III	Normal	Parcialmente estable
1	34+520-34+530	53.4	III	Normal	Parcialmente estable	6	35+130-35+140	61.3	II	Buena	Estable
1	34+530-34+540	47.7	III	Normal	Parcialmente estable	6	35+140-35+150	60.6	II	Buena	Estable
2	34+540-34+550	38.8	IV	Mala	Inestable	6	35+150-35+160	47.4	III	Normal	Parcialmente estable
2	34+550-34+560	59.4	III	Normal	Parcialmente estable	6	35+160-35+170	44.6	III	Normal	Parcialmente estable
2	34+560-34+570	50.9	III	Normal	Parcialmente estable	6	35+170-35+180	54.4	III	Normal	Parcialmente estable
2	34+570-34+580	44.4	III	Normal	Parcialmente estable	6	35+180-35+190	53.9	III	Normal	Parcialmente estable
2	34+580-34+590	45.9	III	Normal	Parcialmente estable	6	35+190-35+200	48.7	III	Normal	Parcialmente estable
3	34+670-34+680	38.7	IV	Mala	Inestable	6	35+200-35+210	55.6	III	Normal	Parcialmente estable
3	34+680-34+690	41.9	III	Normal	Parcialmente estable	6	35+210-35+220	56.6	III	Normal	Parcialmente estable
3	34+690-34+700	54.0	III	Normal	Parcialmente estable	7	35+220-35+230	49.0	III	Normal	Parcialmente estable
3	34+700-34+710	52.3	III	Normal	Parcialmente estable	7	35+230-35+240	53.0	III	Normal	Parcialmente estable
3	34+710-34+720	47.6	III	Normal	Parcialmente estable	7	35+240-35+250	50.7	III	Normal	Parcialmente estable
3	34+720-34+730	48.6	III	Normal	Parcialmente estable	7	35+250-35+260	52.8	III	Normal	Parcialmente estable
3	34+730-34+740	48.5	III	Normal	Parcialmente estable	7	35+260-35+270	52.7	III	Normal	Parcialmente estable
3	34+740-34+750	48.8	III	Normal	Parcialmente estable	7	35+270-35+280	50.2	III	Normal	Parcialmente estable
3	34+750-34+760	44.8	III	Normal	Parcialmente estable	7	35+280-35+290	47.6	III	Normal	Parcialmente estable
4	34+860-34+870	29.1	V	Mala	Inestable	7	35+290-35+300	52.5	III	Normal	Parcialmente estable
4	34+870-34+880	32.7	IV	Mala	Inestable	7	35+300-35+310	49.7	III	Normal	Parcialmente estable
4	34+880-34+890	32.3	IV	Mala	Inestable	7	35+310-35+320	52.7	III	Normal	Parcialmente estable
4	34+890-34+900	31.8	IV	Mala	Inestable	7	35+320-35+330	52.0	III	Normal	Parcialmente estable
5	34+970-34+980	54.5	III	Normal	Parcialmente estable	7	35+330-35+340	48.0	III	Normal	Parcialmente estable
5	34+980-34+990	54.7	III	Normal	Parcialmente estable						

De acuerdo a los resultados obtenidos para rotura en vuelco la zona 1 predomina una calidad de macizo rocoso normal clase III (rotura de algunas juntas y grandes cuñas y una probabilidad de rotura de 0.4), la zona 2 predomina una calidad de macizo rocoso normal clase III (rotura de algunas juntas y grandes cuñas y una probabilidad de rotura de 0.4), la zona 3 predomina una calidad de macizo normal clase III (rotura de algunas juntas y grandes cuñas y una probabilidad de rotura de 0.4), la zona 4 predomina una calidad de macizo rocoso mala clase IV (roturas planares y grandes cuñas y una probabilidad de rotura de 0.6), la zona 5 predomina una calidad de macizo rocoso normal clase III (rotura de algunas juntas y grandes

cuñas y una probabilidad de rotura de 0.4), la zona 6 predomina una calidad de macizo rocoso normal clase III (rotura de algunas juntas y grandes cuñas y una probabilidad de rotura de 0.4), y finalmente la zona 7 predomina una calidad de macizo rocoso normal clase III (rotura de algunas juntas y grandes cuñas y una probabilidad de rotura de 0.4)

En la figura 79 se representa la distribución de los valores obtenidos en el cálculo del SMR para rotura en vuelco.

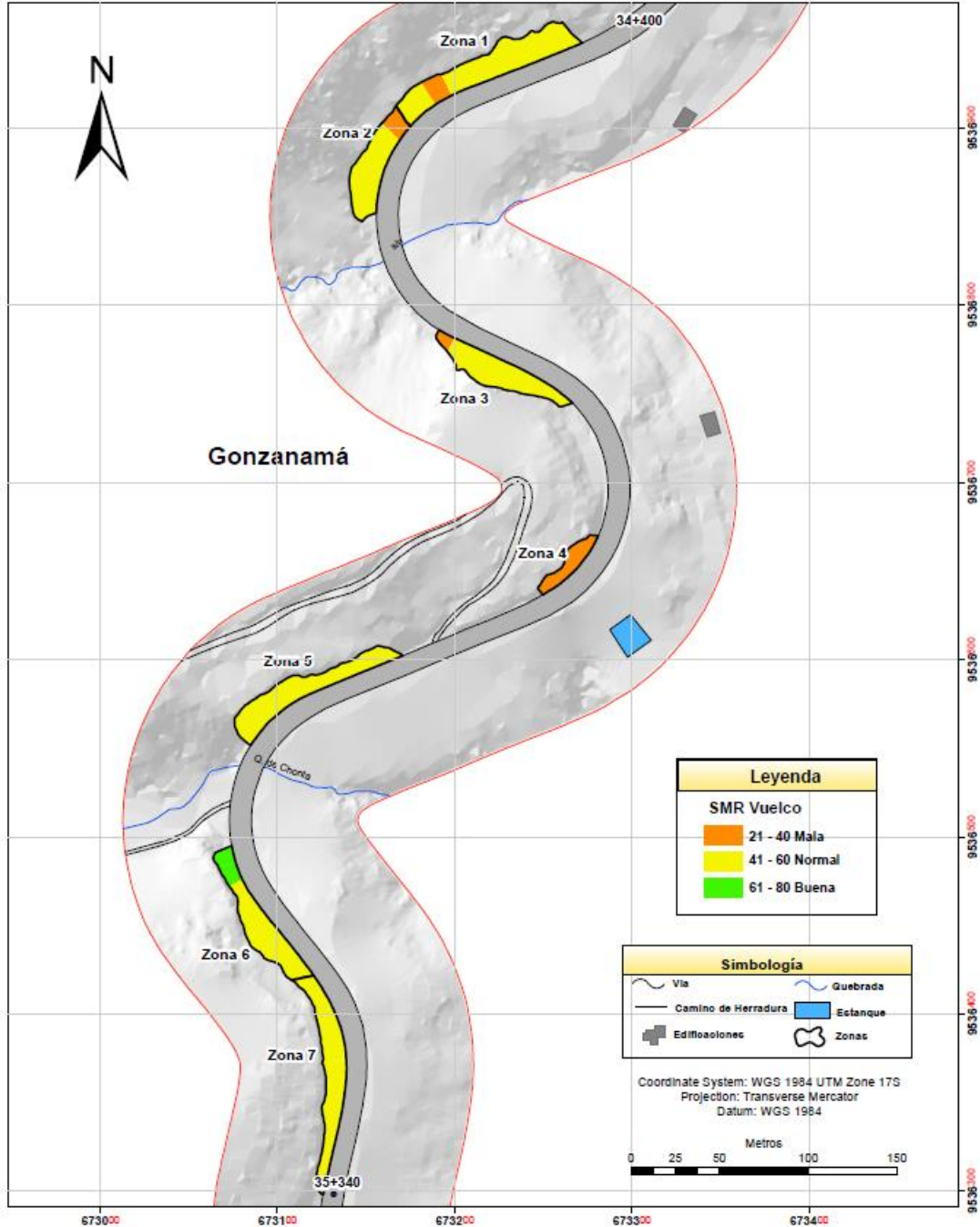


Figura 79. SMR Vuelco

En la figura 80 se puede observar los valores del SMR por vuelco de las 61 estaciones geomecánicas, la línea continua representa los valores del SMR por vuelco de cada estación y

la línea entrecortada muestra el valor medio global del SMR por vuelco de 42.1 con una dispersión estándar de 9.8 representando un SMR por vuelco de calidad normal lo cual significa taludes parcialmente estables con una probabilidad de rotura del 40%. Como se observa en los datos la zona que más se aleja de la media global se encuentra en el abscisado 34+860-34+870 (estación 26) con un valor del SMR por vuelco de 26.3 es decir una calidad normal y talud parcialmente estable, debido a la variación del buzamiento de la discontinuidad.

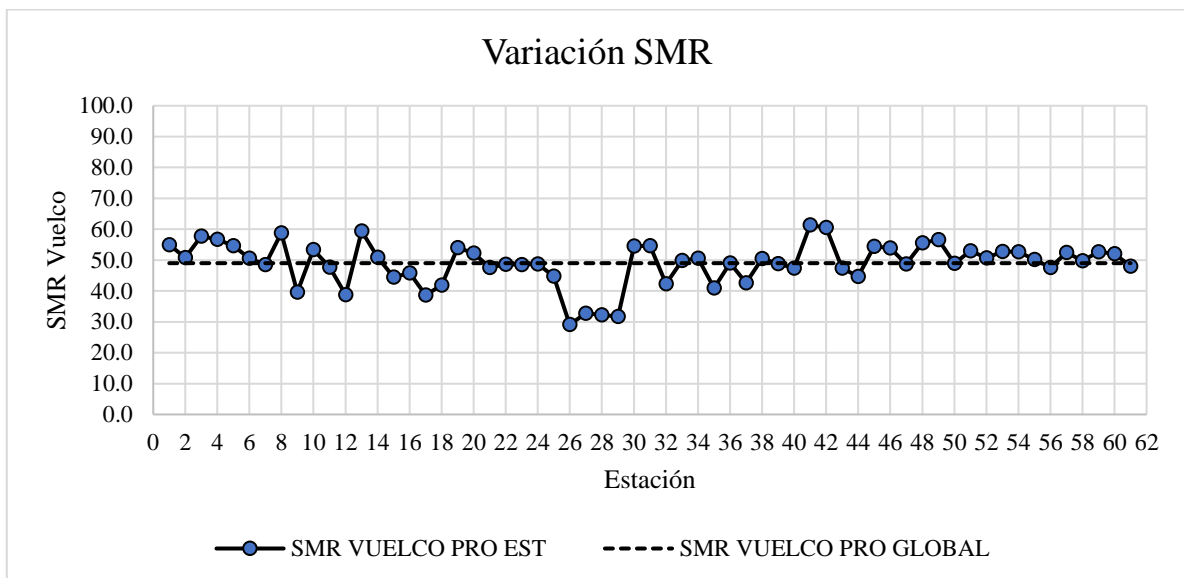


Figura 80. Análisis estadístico del SMR vuelco

6.9 Análisis Cinemático

En base a los datos obtenidos en campo se procedió a generar un análisis cinemático a rotura planar, cuña y vuelco para cada zona geomecánica de los taludes.

6.9.1 Zona Geomecánica 1

El buzamiento y dirección del talud de la zona geomecánica 1 es de $65^{\circ}/160^{\circ}$ (dip/dip direction), en esta zona se tomaron 101 datos estructurales de las discontinuidades medidas en el macizo rocoso. El ángulo de fricción de 45° calculado en el software RocLab 1.0 (anexo 13), la delineación de la envolvente y los límites laterales $\pm 20^{\circ}$ han definido la zona crítica del talud.

Rotura Planar

De las discontinuidades analizadas el 3.96% rompen efectivamente en forma planar (figura 81), muchos de los polos son proyectados en zona estable del talud, a excepción de la familia 3 en la abscisa 34+450-34+460, la familia 4 en la abscisa 34+480-34+490 y la familia 5 en la abscisa 34+510-34+520 que pueden generar un potencial movimiento de tipo planar.

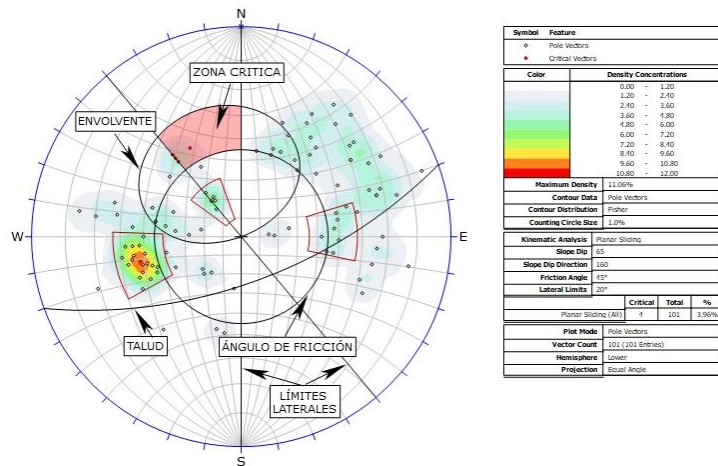


Figura 81. Rotura planar de la zona geomecánica 1

Rotura en Vuelco

Las discontinuidades no presentan un buzamiento contrario a la inclinación del talud, por ende, la probabilidad de rotura es del 0% (figura 82).

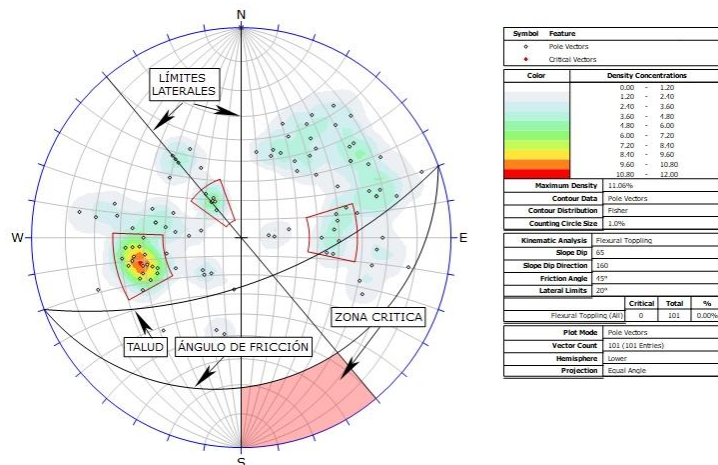


Figura 82. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 2

Rotura en Cuña

Todos los puntos que se observan en la figura 83 son puntos de intersección, donde cada punto trazado representa dos puntos de articulación, es decir, cada plano se intercepta con otro plano para determinar los puntos de intersección, el porcentaje de las intersecciones críticas de un total de 5017 cuñas que se forman alrededor del 10,09% son críticas es decir 509 cuñas rompen efectivamente en forma tipo cuña ya que buzanan hacia la cara del talud, condición para que se produzca este tipo de rotura.

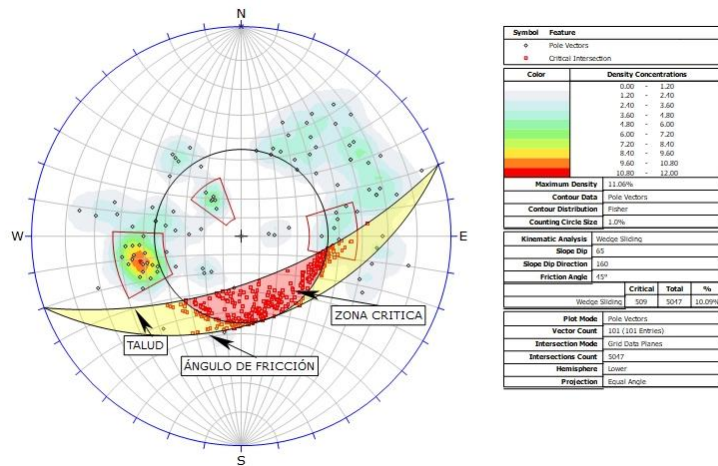


Figura 83. Rotura en cuña de la zona geomecánica 1

6.9.2 Zona Geomecánica 2

El buzamiento y dirección del talud de la zona geomecánica 2 es de $70^{\circ}/135^{\circ}$ (dip/dip direction), en esta zona se tomaron 33 datos estructurales de las discontinuidades medidas en el macizo rocoso. El ángulo de fricción de 48° calculado en el software RocLab 1.0 (anexo 13), la delineación de la envolvente y los límites laterales $\pm 20^{\circ}$ han definido la zona crítica del talud.

Rotura Planar

De las discontinuidades analizadas se muestran que las familias de discontinuidades no buzanan a favor del talud, su ángulo de inclinación no es menores al del talud y no presentan la misma dirección, por ende, la probabilidad de rotura es del 0% para este caso (figura 84).

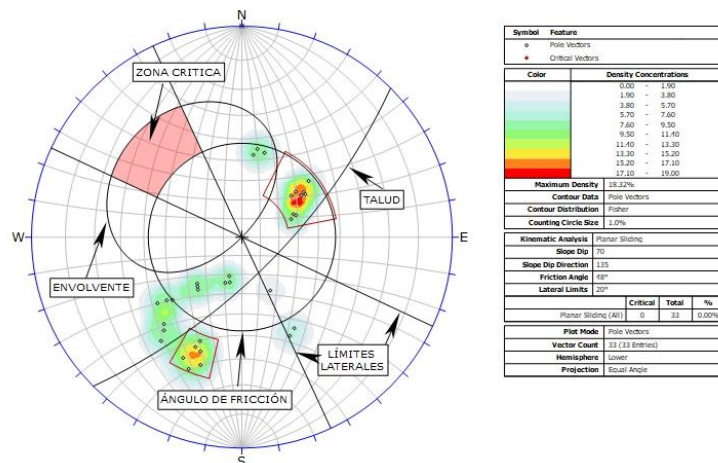


Figura 84. Rotura planar de la zona geomecánica 2

Rotura en Vuelco

Las discontinuidades no presentan un buzamiento contrario a la inclinación del talud, por ende, la probabilidad de rotura es del 0% (figura 85).

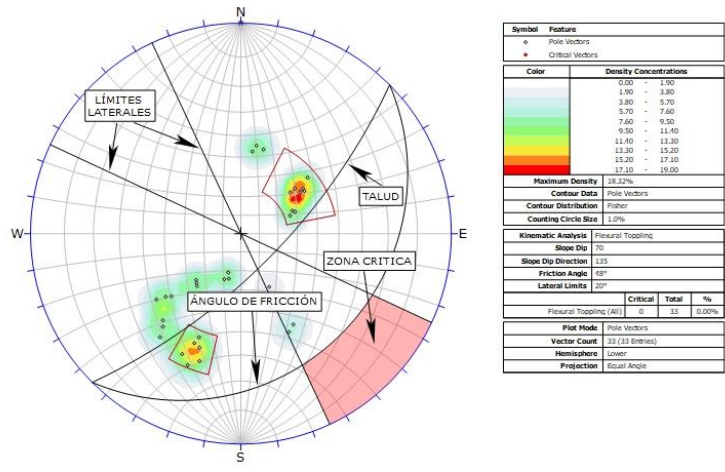


Figura 85. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 2

Rotura en Cuña

Todos los puntos que se observan en la figura 86 son puntos de intersección, donde cada punto trazado representa dos puntos de articulación, es decir, cada plano se intercepta con otro plano para determinar los puntos de intersección, el porcentaje de las intersecciones críticas de un total de 528 cuñas que se forman alrededor del 1,52% son críticas es decir 8 cuñas rompen efectivamente en forma tipo cuña ya que buzan hacia la cara del talud, condición para que se produzca este tipo de rotura.

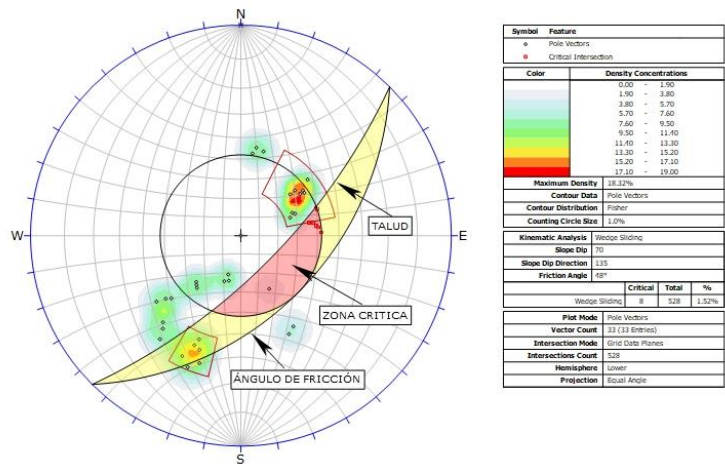


Figura 86. Rotura en cuña de la zona geomecánica 2

6.9.3 Zona Geomecánica 3

El buzamiento y dirección del talud de la zona geomecánica 3 es de 68°/040° (dip/dip direction), en esta zona se tomaron 72 datos estructurales de las discontinuidades medidas en el macizo rocoso. El ángulo de fricción de 46° calculado en el software RocLab 1.0 (anexo 13), la delineación de la envolvente y los límites laterales $\pm 20^\circ$ han definido la zona crítica del talud.

efectivamente en forma tipo cuña ya que buzan hacia la cara del talud, condición para que se produzca este tipo de rotura.

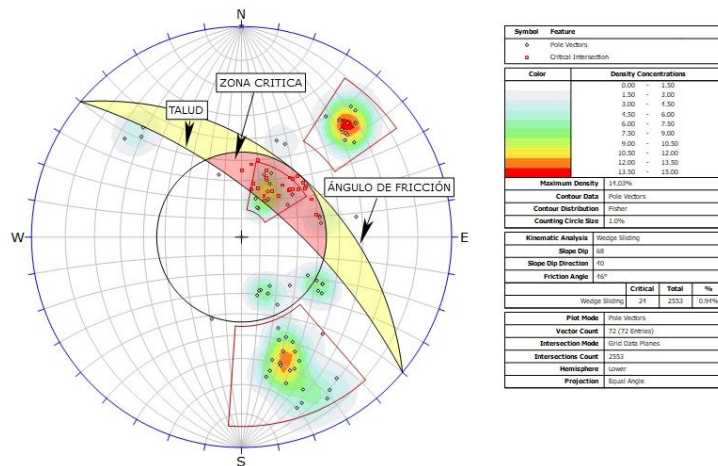


Figura 89. Rotura en cuña de la zona geomecánica 3

6.9.4 Zona Geomecánica 4

El buzamiento y dirección del talud de la zona geomecánica 4 es de 70°/160° (dip/dip direction), en esta zona se tomaron 24 datos estructurales de las discontinuidades medidas en el macizo rocoso. El ángulo de fricción de 16° calculado en el software RocLab 1.0 (anexo 13), la delineación de la envolvente y los límites laterales $\pm 20^\circ$ han definido la zona crítica del talud.

Rotura Planar

De las discontinuidades analizadas el 16.67% rompen efectivamente en forma planar (figura 90), muchos de los polos son proyectados en zona estable de talud, a excepción de la familia 2 en la abscisa 34+880-34+890 y la familia 2 en la abscisa 34+890-34+900 que pueden generar un potencial movimiento de tipo planar.

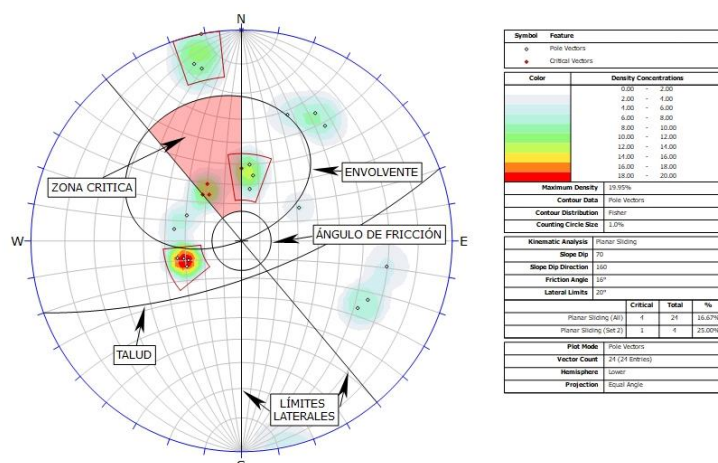


Figura 90. Rotura planar de la zona geomecánica 4

Rotura en Vuelco

Las discontinuidades no presentan un buzamiento contrario a la inclinación del talud, por ende, la probabilidad de rotura es del 0% (figura 91).

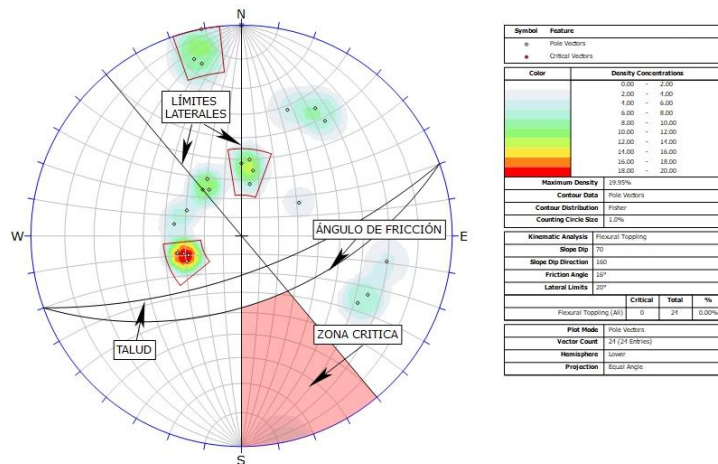


Figura 91. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 4

Rotura en Cuña

Todos los puntos que se observan en la figura 92 son puntos de intersección, donde cada punto trazado representa dos puntos de articulación, es decir, cada plano se intercepta con otro plano para determinar los puntos de intersección, el porcentaje de las intersecciones críticas de un total de 275 cuñas que se forman alrededor del 57,45% son críticas es decir 158 cuñas rompen efectivamente en forma tipo cuña ya que buzan hacia la cara del talud, condición para que se produzca este tipo de rotura.

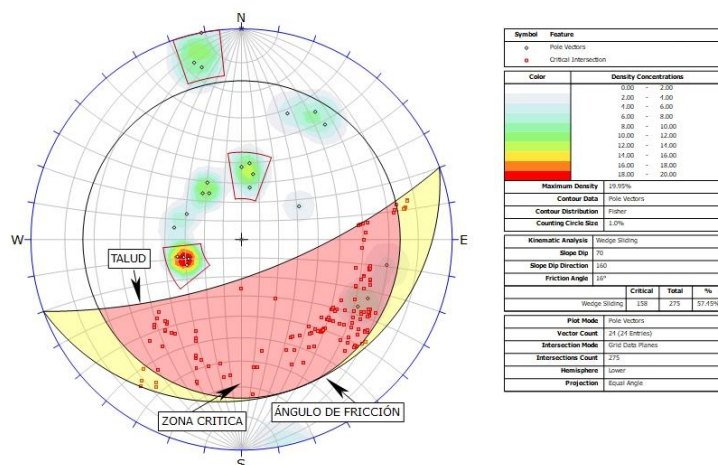


Figura 92. Rotura en cuña de la zona geomecánica 4

6.9.5 Zona Geomecánica 5

El buzamiento y dirección del talud de la zona geomecánica 5 es de 80°/150° (dip/dip direction), en esta zona se tomaron 87 datos estructurales de las discontinuidades medidas en el macizo rocoso. El ángulo de fricción de 45° calculado en el software RocLab 1.0 (anexo 13), la delineación de la envolvente y los límites laterales $\pm 20^\circ$ han definido la zona crítica del talud.

Rotura Planar

De las discontinuidades analizadas el 4.60% rompen efectivamente en forma planar (figura 93), muchos de los polos son proyectados en zona estable de talud, a excepción de la

familia 4 en la abscisa 35+030-35+040, la familia 5 en la abscisa 35+040-35+050 y la familia 4 en la abscisa 35+990-35+000 que pueden generar un potencial movimiento de tipo planar.

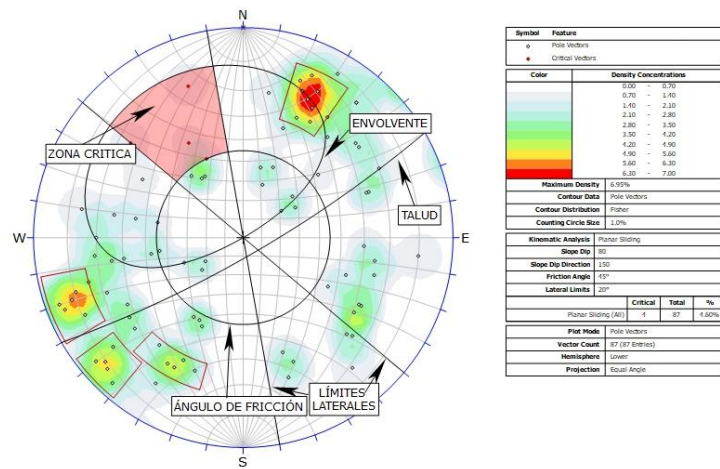


Figura 93. Rotura planar de la zona geomecánica 5

Rotura en Vuelco

De las discontinuidades analizadas el 6.90% rompen efectivamente en forma tipo vuelco (figura 94), muchos de los polos son proyectados en zona estable de talud, a excepción de familia 2 en la abscisa 34+990-35+000 y la familia 1 en la abscisa 35+040-35+050 que pueden generar un potencial movimiento de tipo vuelco.

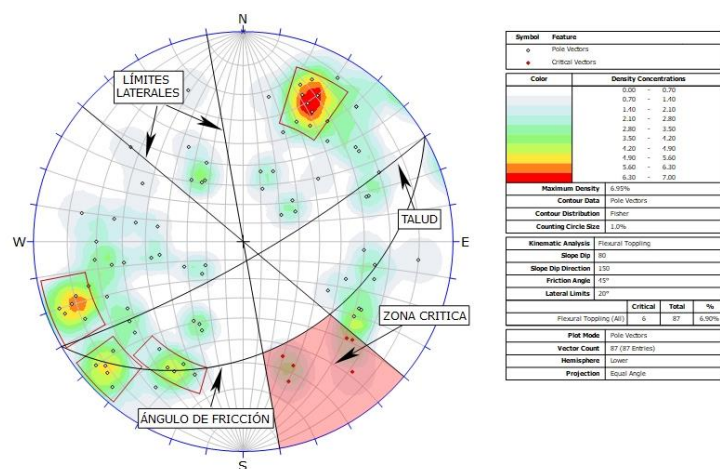


Figura 94. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 5

Rotura en Cuña

Todos los puntos que se observan en la figura 95 son puntos de intersección, donde cada punto trazado representa dos puntos de articulación, es decir, cada plano se intercepta con otro plano para determinar los puntos de intersección, el porcentaje de las intersecciones críticas de un total de 3740 cuñas que se forman alrededor del 18,16% son críticas es decir 679 cuñas rompen efectivamente en forma tipo cuña ya que buzan hacia la cara del talud, condición para que se produzca este tipo de rotura.

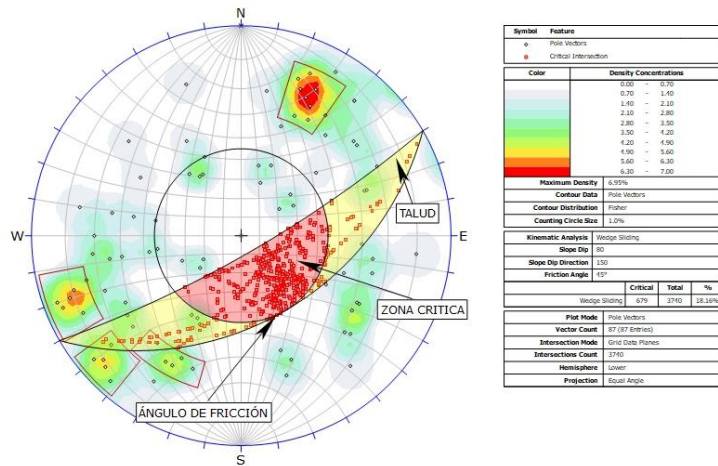


Figura 95. Rotura en cuña de la zona geomecánica 5

6.9.6 Zona Geomecánica 6

El buzamiento y dirección del talud de la zona geomecánica 6 es de $73^{\circ}/065^{\circ}$ (dip/dip direction), en esta zona se tomaron 45 datos estructurales de las discontinuidades medidas en el macizo rocoso. El ángulo de fricción de 53° calculado en el software RocLab 1.0 (anexo 13), la delineación de la envolvente y los límites laterales $\pm 20^{\circ}$ han definido la zona crítica del talud.

Rotura Planar

De las discontinuidades analizadas el 6.67% rompen efectivamente en forma planar (figura 96), muchos de los polos son proyectados en zona estable de talud, a excepción de la familia 2 en la abscisa 35+160-35+170 y la familia 2 en la abscisa 35+180-35+190 que pueden generar un potencial movimiento de tipo planar.

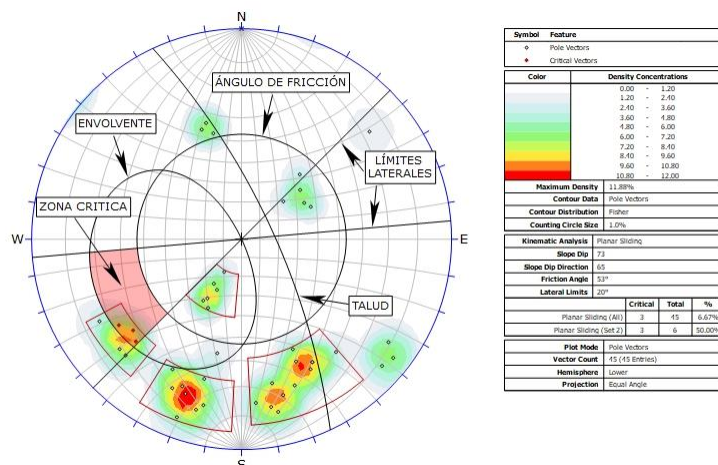


Figura 96. Rotura planar de la zona geomecánica 6

Rotura en Vuelco

De las discontinuidades analizadas el 2.22% rompen efectivamente en forma tipo vuelco (figura 97), muchos de los polos son proyectados en zona estable de talud, a excepción de la familia 2 en la abscisa 35+190-35+200 que pueden generar un potencial movimiento en masa en roca tipo vuelco. Se puede observar que existen diaclasas que se encuentran en condiciones

de borde es decir que una variación en el ángulo de fricción o inclinación del talud podría generar una rotura en vuelco.

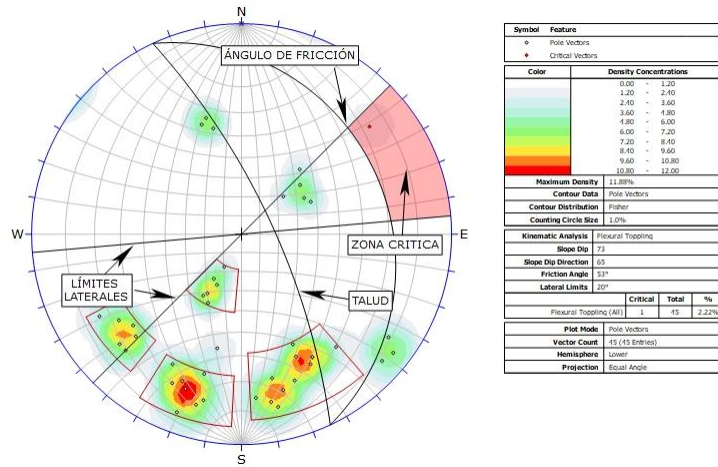


Figura 97. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 6

Rotura en Cuña

Todos los puntos que se observan en la figura 98 son puntos de intersección, donde cada punto trazado representa dos puntos de articulación, es decir, cada plano se intercepta con otro plano para determinar los puntos de intersección, el porcentaje de las intersecciones críticas de un total de 989 cuñas que se forman alrededor del 9,50% son críticas es decir 94 cuñas rompen efectivamente en forma tipo cuña ya que buzan hacia la cara del talud, condición para que se produzca este tipo de rotura.

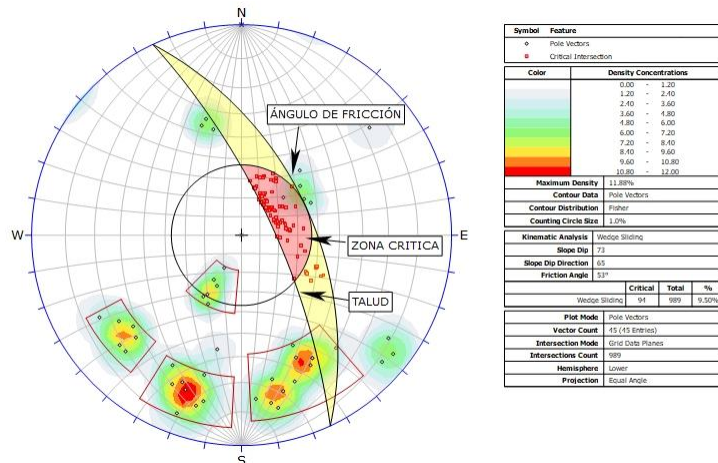


Figura 98. Rotura en cuña de la zona geomecánica 6

6.9.7 Zona Geomecánica 7

El buzamiento y dirección del talud de la zona geomecánica 7 es de 80°/085° (dip/dip direction), en esta zona se tomaron 84 datos estructurales de las discontinuidades medidas en el macizo rocoso. El ángulo de fricción de 54° calculado en el software RocLab 1.0 (anexo 13), la delineación de la envolvente y los límites laterales $\pm 20^\circ$ han definido la zona crítica del talud.

Rotura Planar

De las discontinuidades analizadas el 3.57% rompen efectivamente en forma planar (figura 99), muchos de los polos son proyectados en zona estable de talud, a excepción de la familia 1 en la abscisa 35+210-35+220 y la familia 1 en la abscisa 35+270-35+280 que pueden generar un potencial movimiento de tipo planar.

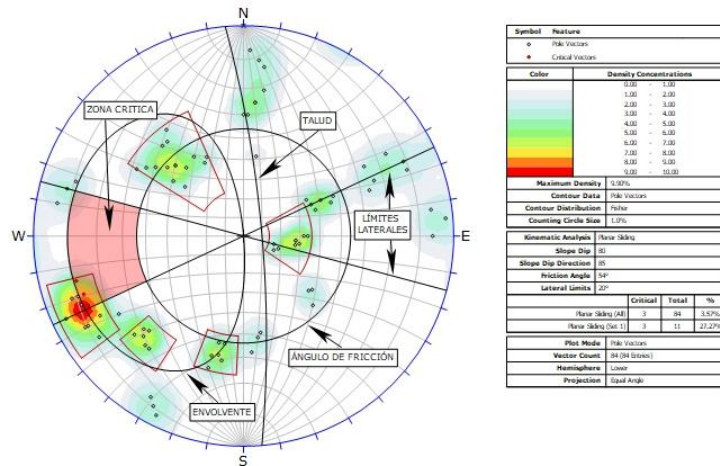


Figura 99. Rotura planar de la zona geomecánica 7

Rotura en Vuelco

De las discontinuidades analizadas el 8.33% rompen efectivamente en forma tipo vuelco (figura 100), muchos de los polos son proyectados en zona estable de talud, a excepción de la familia 2 en la abscisa 35+210-35+220, la familia 2 en la abscisa 35+280-35+290 y la familia 1 en la abscisa 35+300-35+310 que pueden generar un potencial movimiento en masa en roca tipo vuelco. Se puede observar que existen diaclasas que se encuentran en condiciones de borde es decir que una variación en el ángulo de fricción o inclinación del talud podría generar una rotura en vuelco.

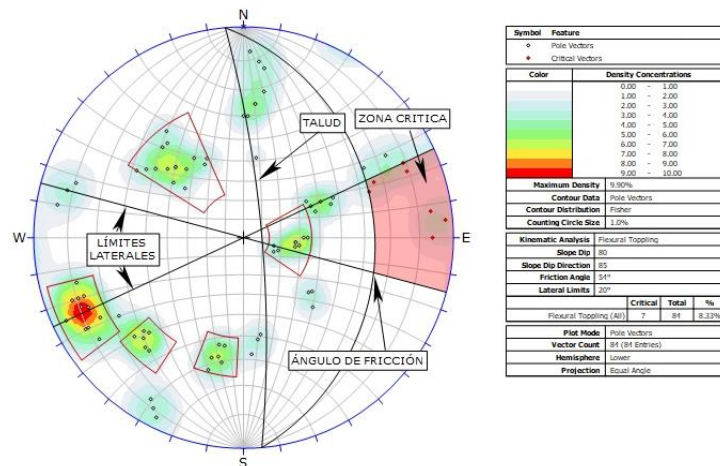


Figura 100. Rotura en vuelco de la zona geomecánica 7

Rotura en Cuña

Todos los puntos que se observan en la figura 101 son puntos de intersección, donde cada punto trazado representa dos puntos de articulación, es decir, cada plano se intercepta con otro plano para determinar los puntos de intersección, el porcentaje de las intersecciones críticas de un total de 3483 cuñas que se forman alrededor del 12,23% son críticas es decir 426 cuñas rompen efectivamente en forma tipo cuña ya que buzan hacia la cara del talud, condición para que se produzca este tipo de rotura.

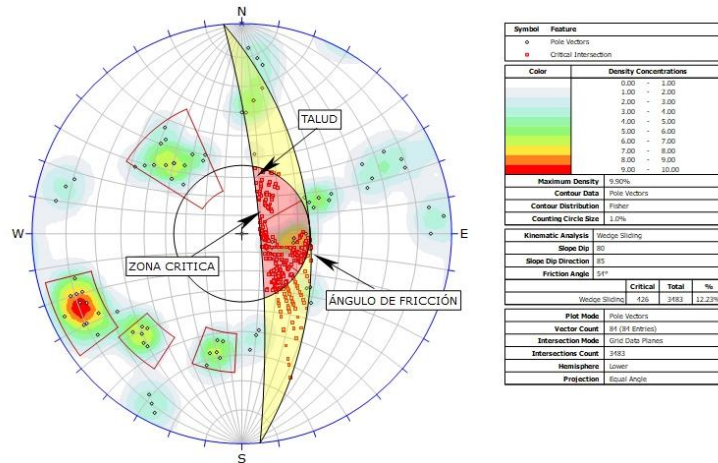


Figura 101. Rotura en cuña de la zona geomecánica 7

El análisis precedente mediante la evaluación geométrica y cinemática de las estabilidades para los distintos mecanismos de rotura se muestran en la figura 102 y 103, la cual se encuentra cuantificada por el porcentaje de los planos críticos por rotura planar, cuña y vuelco. Se puede observar que la zona 4 presenta el mayor porcentaje para que se produzca la rotura tipo cuña, debido a que la intersección de los planos aflora en la superficie del talud y su intersección buza hacia la cara del talud.

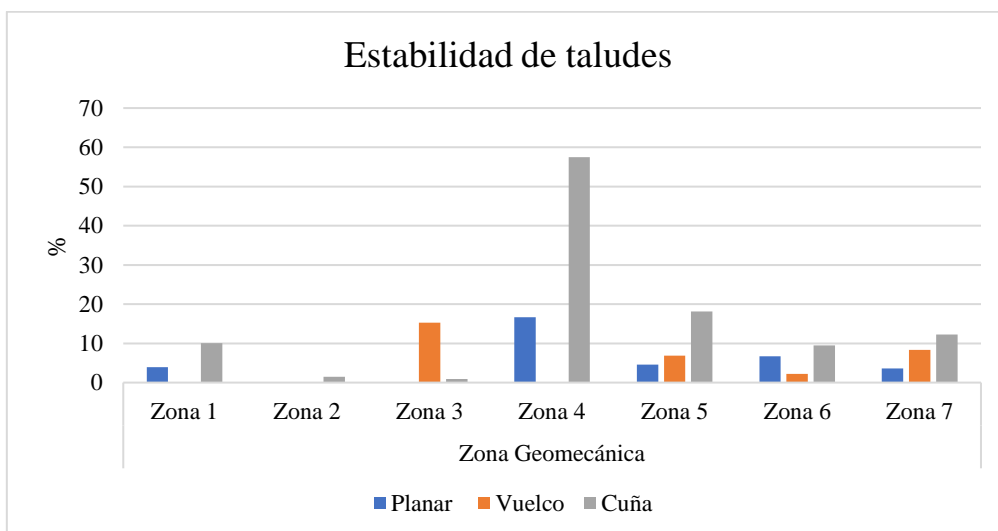


Figura 102. Porcentajes de rotura

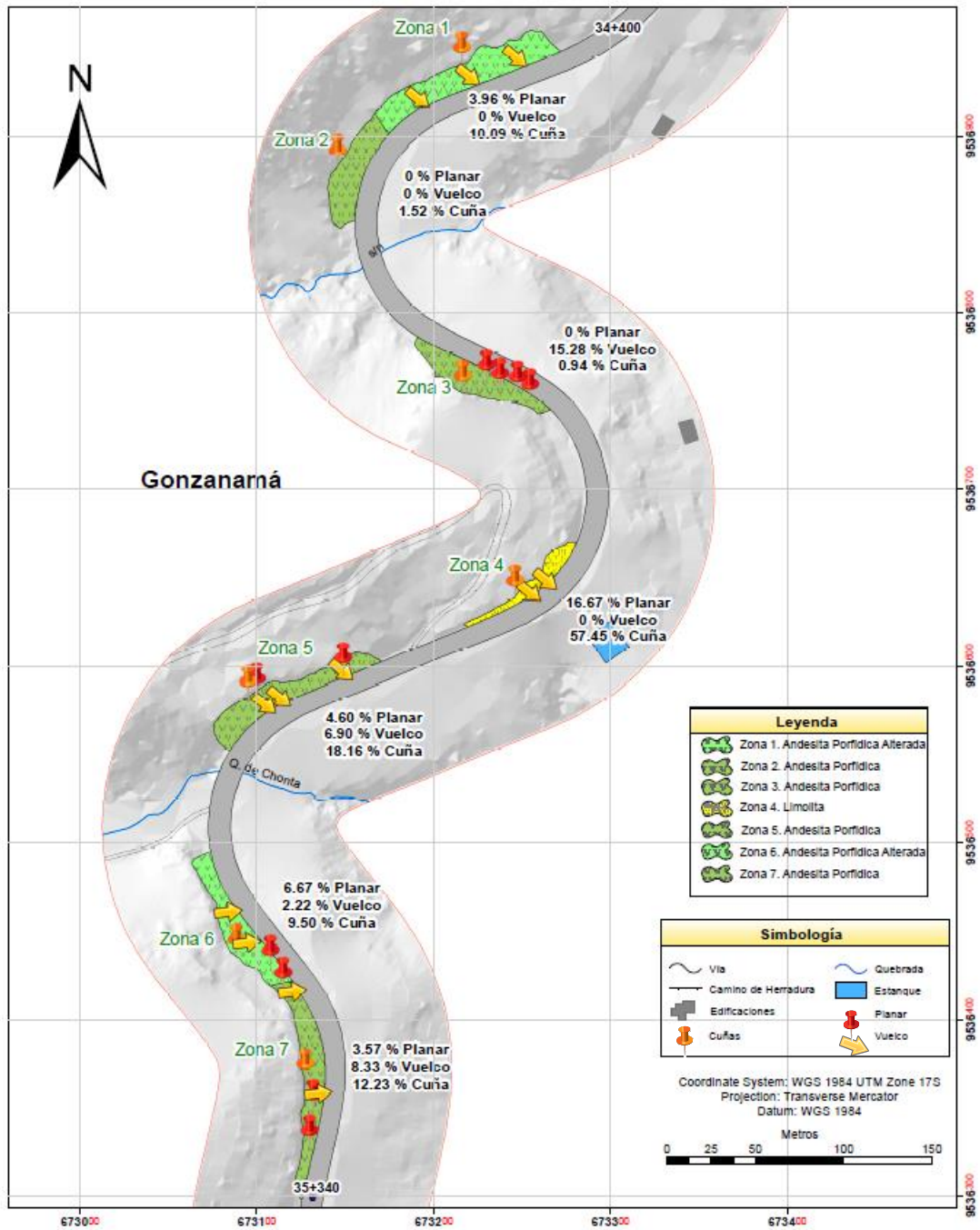


Figura 103. Rotura planar, cuña y vuelco.

7 Discusión

La discusión se enfocó en el análisis de los resultados obtenidos mediante la metodología planteada para la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en el tramo de la vía San Vicente-Sunamanga.

Respecto a la topografía según Ayala (2018) menciona que con el empleo de vehículos aéreos no tripulados se obtiene la información topográfica de alta calidad, en el presente trabajo investigativo se obtuvo la información topográfica de alta calidad del área de estudio con errores de ± 0.002 m, estos errores son accidentales es decir son errores inevitables que están directamente relacionado con las condiciones de trabajo como el viento, reverberación e incluso errores instrumentales, según las especificaciones técnicas del Instituto Geográfico Militar (2008) establece que para una escala 1:2 000 se debe obtener un tamaño de píxel de 0.20 m sin embargo en la presente investigación se obtuvo un tamaño de píxel de 0.101 m, debido a que según Quispe (2016) recomienda obtener un menor tamaño de píxel para generar una cartografía a detalle.

Referente a la litología según Hungerbühler (1997) y la hoja geológica de Gonzanamá (hoja 57, N VII-B) a escala 1:100 000 la zona de estudio se encuentra caracterizada por un pórfido andesítico de color gris marrón con textura porfídica y con la presencia de hornblendas y plagioclasas además se atribuye a la formación Gonzanamá que según la hoja geológica reposan materiales sedimentarios como areniscas de grano grueso, calizas micriticas, limolitas, margas y brechas volcano sedimentarias sin embargo en el área de estudio solo se pudo evidenciar las limolitas y taludes rocosos de composición subvolcánica (andesita porfídica), saprolitos y en la parte baja depósitos coluviales producto de la alteración y desprendimiento de los diferentes macizos.

En cuanto a la resistencia a la comprensión simple según González Vallejo et al. (2002) las andesitas presentan un rango de valores entre 100–500 Mpa no obstante los datos obtenidos en laboratorio la andesita porfídica presenta rangos menores entre 45–74 Mpa, según Salinas (2018) estos rangos pueden variar debido a su composición y el lugar donde se hayan hecho los estudios es decir pueden presentar rangos distintos a otras zonas. Las limolitas según el mismo autor presentan un rango de valores entre 35-250 Mpa sin embargo en este tipo de roca no se pudo obtener una muestra para realizar este tipo de ensayo debido a su intenso fracturamiento por lo que se la estimo según la tabla de clasificación de resistencia a comprensión simple de rocas a partir de índices de campo asignándole un valor de 1 Mpa debido a que se desmorona al golpear con la punta del martillo motivo por el cual no se pudo estimar con el uso del esclerómetro.

Si bien es cierto el esclerómetro mide la resistencia de la roca a través del número de rebotes y estos datos son proyectados en un abanico propuesto por Miller (1965) (figura 31) que toma en cuenta el índice de rebote y la densidad de la roca, sin embargo, los valores obtenidos son adecuados para la resistencia de las discontinuidades (r) aplicados en los planos de las discontinuidades (roca alterada), mientras que el ensayo a la comprensión simple presenta datos de resistencia de la matriz rocosa (JCS) más acercados a la realidad dado que no existe el microfisuramiento en las muestras, por tanto los valores obtenidos difieren moderadamente ya que para el caso de las discontinuidades los valores van a ser menores respecto a los valores de la matriz rocosa ejecutada en el laboratorio, por ello en las discontinuidades no se puede realizar ensayos mecánicos, se debe recurrir a métodos indirectos como el índice de rebote del martillo de Schmidt de bajo impacto proporcionando resultados rápidos en el campo.

Deere (1964) propuso un índice cuantitativo de la calidad de la roca basado en la recuperación de testigos mayor a 10 cm de longitud (en su eje) otorgando una mejor perspectiva del interior del macizo para conocer el grado de fracturación, no obstante en el presente trabajo investigativo no se realizó recuperación de testigos por lo que fue imposible realizar el método propuesto por Deere, sin embargo se recurrió al método propuesto por Palmstrom (2005) que al observar las discontinuidades se estimó el RQD por la cantidad de fisuras obtenidas en una unidad de volumen en rangos de RQD de 4 a 44, obteniendo resultados muy asertivos a las condiciones reales del terreno, por ende la utilización del método de Palmstrom es más factible debido al tiempo empleado en comparación con el de recuperación de testigos propuesto por Deere sin mencionar el costo de perforación.

Barton y Choubey (1977) presentaron perfiles normalizados para obtener el índice de rugosidad de la junta (JRC) en valores de cero a veinte (0-20), sin embargo, en el presente trabajo investigativo se recurrió al método propuesto por Barton y Bandis (1990) ya que toma en cuenta la amplitud de las asperezas mediante la utilización de un peine de Barton y la longitud de la junta, con estos datos se estima en un ábaco (figura 12) y se obtiene el valor exacto del JRC, siendo esta la mejor alternativa al obtener los valores de la rugosidad, dado que la superficie de discontinuidad no se compara visualmente como es el caso de los perfiles estándares publicados.

El R.M.R clasifica a los macizos rocosos entre un rango de 31-64 es decir calidades malas (clase IV) a calidades buenas (clase III) siendo la zona 4 específicamente la estación 34+890-34+900 la que presenta una menor calidad debido a su meteorización y gran fracturamiento, por otro lado al clasificar los macizos mediante el S.M.R los valores son más bajos entre un rango de 12-60 para un S.M.R planar y 29-62 para un S.M.R vuelco es decir

presentan calidades muy malas (clase V) a calidades buenas (clase III), por tanto los resultados de las clasificaciones ejecutadas en el tramo vial muestran valores diferentes a excepción del S.M.R en vuelco y el R.M.R que comparten un rango de valores similares, sin embargo cabe aclarar que estas clasificaciones no son directamente ni inversamente proporcionales en virtud de que los parámetros de evaluación son diferentes por ello se deben analizar por separado.

Teniendo en cuenta la calidad real de los macizos a partir de observaciones visuales, parámetros evaluados y mapas realizados, se estima que la clasificación que más se adecua a situaciones reales in situ es el R.M.R de Bieniawski ya que su método toma en cuenta varios parámetros físico mecánicos de los macizos rocosos como: la resistencia a la compresión simple, grado de fracturamiento, espaciamiento de discontinuidades, características de las discontinuidades (abertura, continuidad, rugosidad, alteración y relleno) y las condiciones hidrogeológicas. Cabe mencionar que con el método R.M.R se pueden derivar otras clasificaciones como el S.M.R y el G.S.I.

Los valores de las clasificaciones geomecánicas a lo largo del abscisado vial fueron muy conservadores ya que los resultados no presentaron valores muy altos o se sobrevaloran por tal motivo para el caso del R.M.R y S.M.R no se obtuvo calidades muy buenas o excelentes (clase I) debido a que los macizos rocosos presentaban rangos de meteorización entre ligeramente alterada a muy alterada y las orientaciones de las familias de discontinuidades no presentaron direcciones preferenciales, por tanto los valores se adecua a las condiciones reales del terreno, sin embargo, se debe considerar la presencia de fallas o discontinuidades que no se observaron ya sea porque no afloran de manera superficial.

Acorde a los resultados obtenidos del análisis cinemático mediante el software Dips 6.0 y corroborados en campo se comprueba que para el caso de una rotura planar la discontinuidad debe presentar un buzamiento a favor del talud y una dirección similar al talud. Si existen más de dos familias de discontinuidades puede producir una rotura en cuña siempre y cuando la discontinuidad presenta dirección oblicua respecto a la dirección del talud. Si las discontinuidades presentan buzamientos contrarios a la inclinación del talud y dirección paralela o subparalela al mismo puede generar rotura tipo vuelco.

Cabe enfatizar que el presente trabajo investigativo se analizó en condiciones secas, por tanto, una de los factores desencadenantes es la época invernal aumentando significativamente la probabilidad de rotura de los diferentes macizos.

8 Conclusiones

De la caracterización geomecánica de los macizos rocosos ubicados en el tramo de la vía San Vicente-Sunamanga se concluye lo siguiente:

- Topográficamente el área de estudio presenta un relieve irregular con cotas de elevación entre 2091 m.s.n.m (cota más baja) hacia el Nor-Este hasta 2201 m.s.n.m (cota más alta) hacia el Sur-Oeste existiendo un desnivel de 110 metros, además el método aplicado permitió obtener la topografía con un error de ± 0.002 m y una ortofoto de 10.1 cm/pix.
- Geológicamente el área de estudio se encuentra emplazada por un pórfido de composición andesítica y textura porfídica con hornblendas y plagioclasas, localmente se ha evidenciado 4 tipos de litologías como: andesita porfídica ocupando un 33.89% de la superficie total, limolitas ocupando un 1.35%, saprolitos ocupando un 9.54% y depósitos coluviales ocupando un 55.21% de la superficie total.
- En base a los ensayos de compresión simple por cada zona de compartimiento litoestructural la roca se clasifica en la zona 1 como clase media ya que presento un valor de 45 Mpa, la zona 2,3,4,5,6 se clasifica como clase alta ya que presento valores entre 52-74 Mpa y la zona 4 según la estimación aproximada a partir del índice de campo se clasifica como clase extremadamente baja ya que presento un valor de 1 Mpa
- De los 446 datos estructurales la orientación de las familias de discontinuidades que gobiernan en las 61 estaciones de estudio no poseen direcciones preferenciales es decir se presentan de manera difusa por ello se debe discretizar a valores medios por cada estación.
- El 51% de los valores del espaciado de las discontinuidades de los macizos rocosos corresponden a juntas comprendidas entre 60-200 mm, el 30% de los valores corresponden a moderadamente juntas entre 200-600 mm, el 16% de los valores corresponden a muy juntas <60 mm y el 3% de los valores corresponde a separadas entre 0.6 a 2 m. El 85% de los valores de longitud de las discontinuidades son <1m y el 15% corresponden a valores entre 1-3 m. De la apertura de las discontinuidades el 90% corresponden a un rango de valores entre 1-5 mm y el 10% entre 0.1-1 mm.

- De acuerdo a los valores del R.Q.D el 43% pertenecen a calidad regular, el 23% a calidad muy mala, el 16% a calidad mala, el 13% a calidad buena y el 5% a calidad muy buena.
- El valor mínimo del R.M.R de los macizos rocosos corresponde a calidad mala, clase IV con un tiempo de mantenimiento de 10 horas para 2.5 m, además con una cohesión entre 1-2 Kp/cm² y un ángulo de rozamiento de 15° a 25° y el valor máximo corresponde a calidad buena, clase II con un tiempo de mantenimiento de 6 meses para 8 m, además con una cohesión entre 3-4 Kp/cm² y un ángulo de rozamiento de 35° a 45° según lo establecido por Bieniawski (1989).
- Acorde a los valores del S.M.R a rotura planar el 62% corresponden a calidad normal es decir presentan una estabilidad parcialmente estable con algunas juntas o grandes cuñas y una probabilidad de rotura del 40%, el 33% de los valores del S.M.R corresponden a calidad mala es decir presentan inestabilidad con roturas planares o grandes cuñas con una probabilidad de rotura del 60% y el 5% de los valores del S.M.R corresponden a calidad muy mala es decir taludes completamente inestables con grandes roturas por planos continuos o por masas con una probabilidad de rotura del 90% según lo establecido por Romana (1985).
- Conforme los valores del S.M.R a rotura por vuelco el 11% corresponden a calidad mala lo que significa taludes inestables con roturas planares o grandes cuñas con una probabilidad de rotura del 60% , el 85% de los valores del S.M.R corresponden a calidad normal es decir presentan una estabilidad parcialmente estable con algunas juntas o grandes cuñas con una probabilidad de rotura del 40% y el 3% de los valores del S.M.R corresponden a calidad buena es decir taludes estables con algunas roturas en bloque con una probabilidad de rotura del 20% según lo establecido por Romana (1985).
- Los valores de cohesión obtenidos en el programa RocLab varían entre 0.010 Mpa y 0.204 Mpa, y los ángulos de fricción fluctúan entre 16.22° y 54.03°.
- Mediante el análisis cinemático se determinó los tipos de roturas que pueden presentarse en la zona de estudio los cuales fueron: planar en un 20%, vuelco en un 18% y cuña en un 62%, siendo esta última la más predominante.

9 Recomendaciones

- Para valorar los parámetros del R.M.R se debe utilizar curvas de valoración ya que estas facilitan el manejo de miles de datos de manera automática además realizan una interpolación del rango de valores obteniendo así un valor exacto sin la necesidad de manejar tablas debido a que estas necesitan un análisis minucioso para su interpretación.
- Utilizar funciones continuas para el cálculo del S.M.R ya que facilita la valoración cuando se trabaja con de miles de datos, utilizando fórmulas que permiten obtener el valor exacto y en menor tiempo.
- Realizar trabajos de estabilización acorde a lo que se establece en las clasificaciones geomecánicas hacienda uso de la presente investigación para optar por las medidas de sostenimiento necesarias.
- Realizar perforaciones para determinar de una mejor manera el índice RQD.
- Aplicar métodos de clasificaciones diferentes para los macizos rocosos que ayuden a estimar la estabilización de los taludes en futuras obras civiles.
- Ejecutar labores de limpieza debido al desprendimiento de rocas y colocar señaléticas de caída de rocas para prevenir accidentes.

10 Bibliografía

- 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.
- Barton, N., Lien, R., y Lunde, J., (1974). Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. (Archivo PDF). https://www.researchgate.net/publication/226039636_Engineering_Classification_of_Rock_Masses_for_the_Design_of_Tunnel_Support
- 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
- Bieniawsky, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Classifications
- Castillo, D., (2017) Análisis de la estabilidad de macizos rocosos mediante el uso de SIG y su aplicación al sector Lucarqui (Loja, Ecuador) [Trabajo de titulación, Título de magister en ingeniería vial]. Universidad Técnica Particular de Loja. Repositorio institucional Universidad Técnica Particular de Loja. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/20360>
- Cerquera, Araujo, A., Rodriguez, Machado, C, A., Ruano, Fonseca, D, F., (2017) Análisis 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>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2014). Manual para la evaluación de desastres https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35894/1/S2013806_es.pdf
- Cruden, D, M., (1991). A simple definition of a landslide. (Archivo PDF). https://www.researchgate.net/publication/257144374_A_simple_definition_of_a_landslide

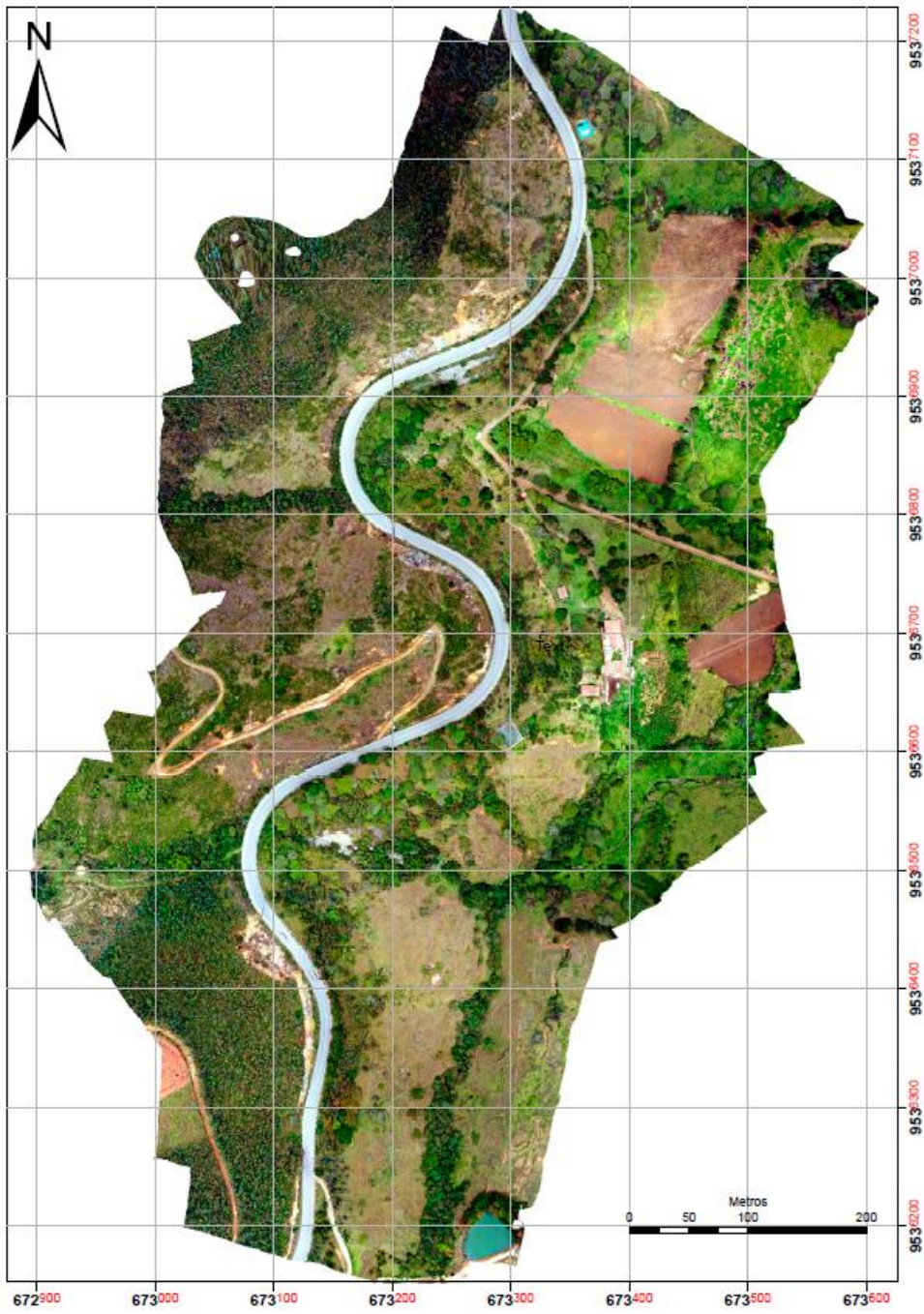
- Diario Crónica (2022, 19 de Marzo) Vías y casas afectadas por la etapa invernal en Gonzanamá [Comunicado de prensa]. <https://cronica.com.ec/2022/03/19/vias-y-casas-afectadas-por-la-etapa-invernal-en-gonzanama/>
- Ferrer, M., y Conzales, L., (2007). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/geologia-aplicada-a-la-ingenieria-civil.pdf>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Gonzanamá,. (2014). <https://gonzanama.gob.ec/>
- González de Vallejo, L, I., Ferrer, M., Ortuno, Luis., Oteo, C,. (2002). Ingeniería Geológica. Peerson.
- González Maldonado, A, G,. (2018). Caracterización geomecánica del macizo rocoso, para su aplicación en geotécnia, en el sector Lucarqui, Loja-Ecuador (Trabajo de grado, Ingeniería en Geología y Minas). Universidad de Técnica Particular de Loja. Repositorio Institucional Universidad de Técnica Particular de Loja. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/21959>
- Guamán García, V. E., y Mendieta Giron, F. A. (2013). Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la cantera de materiales de construcción “Las Victorias” (Trabajo de grado, Ingeniería Civil). Universidad de Cuenca. Repositorio Institucional Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4312>
- 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-Estimates-of-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.
- Montes De Oca, M. (1989). Topografía (Cuarta ed.). México: Ediciones Alfaomega, S.A.
- Morales, B,. (2012) Metodología de estabilización de taludes de carreteras. [Tesis de maestría, Ingeniería Vial]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Repositorio

- institucional Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/7878>
- Muntazir Abbas, S., y Heinz Konietzky, H., (2017) Rock Mass Classification Systems.
- Ortega, Cáceres, D., (2019) Factor de seguridad y análisis de estabilidad del talud en roca, en la carretera Sarhua – Porta Cruz, progresiva km 35+000 – 2018 [Trabajo de grado, Ingeniería Geotécnica y Geomecánica Aplicada a la Minería]. Universidad Nacional de Huancavelica. Repositorio institucional Universidad Nacional de Huancavelica. <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3259>
- Pinzón, N., y Ruda, E., (2021) Los objetivos de desarrollo sostenible (ODS – ONU) en la oportunidad de la ingeniería civil para el desarrollo de la infraestructura vial en Colombia. [Trabajo de grado, Ingeniería Civil]. Universidad Católica de Colombia. Repositorio institucional Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/26882>
- Plaza, O., (s.f.). Geología Aplicada. El solucionario <https://www.elsolucionario.org/geologia-aplicada-a-la-ingenieria-civil-oscar-plaza-diez-1ra-edicion/>
- Quispe, O., (2016). Propuesta metodológica para la generación de ortofotomapas desde imágenes aéreas obtenidas con microdron – multirrotor, área de estudio: playas distrito de Barranco, Lima-Perú.
- Ramírez, P., y Monges, L., (2004). Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes (Archivo PDF). <https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1ZG6G6P1xQeeuY226NCIhnludoGZwD2I>
- Rivera, L., (2001). Informe proyecto mizav identificación y el establecimiento de zonas de alta vulnerabilidad a deslizamientos e inundaciones. Universidad Tecnológica de Panamá.
http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/CD_Agua/pdf/spa/doc14625/doc14625.pdf
- Rocscience (s.f). <http://www.rocscience.com>.
- Romana Ruiza, M., Serón Gáñez, J, B., Montalar Yago, E., (2001). La clasificación geomecánica SMR: aplicación, experiencias y validación.
- Romana, M., (1985). New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes.
- Ros, Avila, J., (2008). Análisis comparativo de los criterios de rotura de Hoek&Brown y Mohr-Coulomb en el estudio de estabilidad en macizos rocosos. (Archivo PDF). <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6529?locale->

- Salinas, E. (2018) Análisis de propiedades geotécnicas de algunas rocas comunes en Chile. [Trabajo de Grado, Geólogo] Universidad de Chile. Repositorio académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2745>
- Sánchez, M. (2009) Modelo de aplicaciones tecnológicas para la protección de taludes desestabilizados por exceso de humedad en el distrito metropolitano de Quito a fin de disminuir la accidentalidad y congestión vehicular. [Tesis de maestría, Vías Terrestres]. Universidad Técnica de Ambato. Repositorio institucional Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2745>
- Secretaría Nacional de Planificación. Plan de creación de oportunidades 2021-2025. <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-de-creacion-de-oportunidades-2021-2025deecuador#:~:text=El%20Plan%20de%20Creaci%C3%B3n%20de,en%20el%20Plan%20de%20Gobierno>
- Sedano, M., Pari, R., (2018) Ventajas en los levantamientos topográficos con el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV).
- Suárez Díaz, J., (2009). Análisis Geotécnico (1^{ra}. ed.)
- Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., y Tasa, D., (2005) Ciencias de la Tierra. Pearson.
- Tomas, R., Delgado, J., Serón, J, B., (2007) Modification of slope mass rating (SMR) by continuous functions (Archivo PDF). https://www.researchgate.net/publication/39437429_Modification_of_slope_mass_rating_SMR_by_continuous_functions
- Vanegas, C., (2010) Estudio sobre criterios de rotura mediante métodos tenso deformacionales y métodos de equilibrio límite para un macizo rocoso con aplicación al talud izquierdo del cuenco dissipador del proyecto hidroeléctrico Mazar. [Trabajo de grado de magister, Geología Aplicada y Geotecnia]. Universidad de Cuenca. Repositorio institucional Universidad Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2577>

11 Anexos

Anexo 1. Ortofoto



Anexo 2. Fichas de Afloramientos

<p style="text-align: center;">Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial</p>				
				
FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
Afloramiento No.		Datum:		
Ubicación:				Fecha:
Responsable:				
Coordenadas UTM	X:	Y:	Z:	
Formación/Unidad				
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	Natural		Artificial	
Relieve:	Llano		De colinas	
	Bajo		Montañoso	
Dato estructural:				
Dimensiones:				
Muestra:				
Estado de alteración:				
Foto				
Observaciones:				



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:	Gonzanamá			
Responsable:	José Nixon López Pesantez			
Coordenadas UTM	X: 673319	Y: 9536900	Z: 2114	
Formación/Unidad	Formación Gonzanamá			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	Natural	x	Artificial	
Relieve:	Llano	x	De colinas	
	Bajo		Montañoso	
Dato estructural:	055°/60°			
Dimensiones:	3m x 6m			
Muestra:	No			
Estado de alteración:	Completamente Meteorizada			

Foto:



Observaciones: Afloramiento natural, con vegetación moderada y una completa meteorización, la litología corresponde a intercalaciones de andesita porfídica, producto de la erosión se encuentra distribuida en una matriz clasto soportada de color amarillo, considerando como depósitos coluviales.

<p style="text-align: center;">Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial</p>				
				
FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
Afloramiento No.	2	Datum:	WGS-84	
Ubicación:	Gonzanamá			
Responsable:	José Nixon López Pesantez			
Coordenadas UTM	X: 673272	Y: 9536826	Z: 2112	
Formación/Unidad	Formación Gonzanamá			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	Natural	x	Artificial	
Relieve:	Llano	x	De colinas	
	Bajo		Montañoso	
Dato estructural:	004°/70°			
Dimensiones:	4m x 6m			
Muestra:	No			
Estado de alteración:	Completamente Meteorizada			
Foto:				
Observaciones:	Afloramiento natural, con vegetación moderada y una completa meteorización, la litología corresponde a intercalaciones de andesita porfídica, producto de la erosión considerando como depósito coluvial en un arreglo heterométrico compuesto por cantos angulosos.			

<p style="text-align: center;">Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial</p>						
		FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
Afloramiento No.	3	Datum:	WGS-84			
Ubicación:	Gonzanamá					
Responsable:	José Nixon López Pesantez					
Coordenadas UTM	X: 673299	Y: 9536786	Z: 2124			
Formación/Unidad	Formación Gonzanamá					
DESCRIPCIÓN						
Tipo:	Natural	x	Artificial			
Relieve:	Llano	x	De colinas			
	Bajo		Montañoso			
Dato estructural:	014°/75°					
Dimensiones:	2m x 5m					
Muestra:	No					
Estado de alteración:	Completamente Meteorizada					
Foto:						
Observaciones:	Afloramiento natural, con vegetación moderada y una completa meteorización, la litología corresponde a depósito coluvial compuesto por cantos angulosos en una matriz limoarcillosa cuyo espesor no supera los 3 metros.					



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:	Gonzanamá			
Responsable:	José Nixon López Pesantez			
Coordenadas UTM	X: 673095	Y: 9536548	Z: 2118	
Formación/Unidad	Formación Gonzanamá			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	Natural	x	Artificial	
Relieve:	Llano		De colinas	x
	Bajo		Montañoso	
Dato estructural:	315°/80°			
Dimensiones:	3m x 4m			
Muestra:	No			
Estado de alteración:	Completamente Meteorizada			

Foto:



Observaciones: Afloramiento natural, con vegetación moderada y una completa meteorización, la litología corresponde a depósito coluvial compuesto por cantos angulosos en una matriz areosa cuyo espesor no supera los 3 metros.



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:	Gonzanamá			
Responsable:	José Nixon López Pesantez			
Coordenadas UTM	X: 673162	Y: 9536517	Z: 2166	
Formación/Unidad	Formación Gonzanamá			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	Natural	x	Artificial	
Relieve:	Llano		De colinas	x
	Bajo		Montañoso	
Dato estructural:	333°/70°			
Dimensiones:	3m x 4m			
Muestra:	No			
Estado de alteración:	Completamente Meteorizada			

Foto:



Observaciones: Afloramiento natural, con vegetación moderada y una completa meteorización, la litología corresponde a depósito coluvial compuesto por cantos angulosos producto de la erosión de la andesita porfídica envuelto en una matriz arenosa cuyo espesor no supera los 3 metros.

<p style="text-align: center;"> Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial </p>						
		FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
Afloramiento No.	6	Datum:	WGS-84			
Ubicación:	Gonzanamá					
Responsable:	José Nixon López Pesantez					
Coordenadas UTM	X: 673285	Y: 9536958	Z: 2115			
Formación/Unidad	Porfido Andesítico					
DESCRIPCIÓN						
Tipo:	Natural		Artificial	x		
Relieve:	Llano		De colinas	x		
	Bajo		Montañoso			
Dato estructural:	073°/65°					
Dimensiones:	5m x 7m					
Muestra:	Si (MA-01)					
Estado de alteración:	Completamente Meteorizada					
Foto:						
Observaciones:	Afloramiento artificial producto del corte de vía, presenta una vegetación escasa y una completa meteorización, la litología corresponde a un saprolito andesítico producto de la meteorización de la roca original, reposa sobre el macizo rocoso de litología de andesita porfídica.					



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:	Gonzanamá			
Responsable:	José Nixon López Pesantez			
Coordenadas UTM	X: 673224	Y: 9536930	Z: 2123	
Formación/Unidad	Porfido Andesitico			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	Natural		Artificial	x
Relieve:	Llano		De colinas	x
	Bajo		Montañoso	
Dato estructural:	045°/70°			
Dimensiones:	25m x 160m			
Muestra:	Si (MA-02) (MA-03)			
Estado de alteración:	Ligeramente Meteorizada			

Foto:



Observaciones: Afloramiento artificial producto del corte de vía, presenta una vegetación moderada y una ligera meteorización, la litología corresponde a una andesita porfídica conformado con varias familias de juntas, presenta grandes fracturaciones de 1-3 jv/m³



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:	Gonzanamá			
Responsable:	José Nixon López Pesantez			
Coordenadas UTM	X: 673181	Y: 9536789	Z: 2150	
Formación/Unidad	Porfido Andesitico			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	Natural		Artificial	x
Relieve:	Llano		De colinas	x
	Bajo		Montañoso	
Dato estructural:	305°/60°			
Dimensiones:	2m x 6m			
Muestra:	No			
Estado de alteración:	Completamente Meteorizada			

Foto:



Observaciones: Afloramiento artificial producto del corte de vía, presenta una vegetación escasa y una completa meteorización, la litología corresponde a un saprolito andesítico producto de la meteorización de la roca original, reposa sobre el macizo rocoso de litología de andesita porfídica

<p style="text-align: center;"> Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial </p>						
		FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
Afloramiento No.	9	Datum:	WGS-84			
Ubicación:	Gonzanamá					
Responsable:	José Nixon López Pesantez					
Coordenadas UTM	X: 673212	Y: 9536767	Z: 2136			
Formación/Unidad	Porfido Andesítico					
DESCRIPCIÓN						
Tipo:	Natural		Artificial	x		
Relieve:	Llano		De colinas	x		
	Bajo		Montañoso			
Dato estructural:	310°/68°					
Dimensiones:	18m x 90m					
Muestra:	Si (MA-04)					
Estado de alteración:	Ligeramente Meteorizada					
Foto:						
Observaciones:	Afloramiento artificial producto del corte de vía, presenta una vegetación escasa y una ligera meteorización, la litología corresponde a un porfido andesítico conformado con varias familias de juntas, presenta medias fracturaciones de 3-10 jv/m ³					



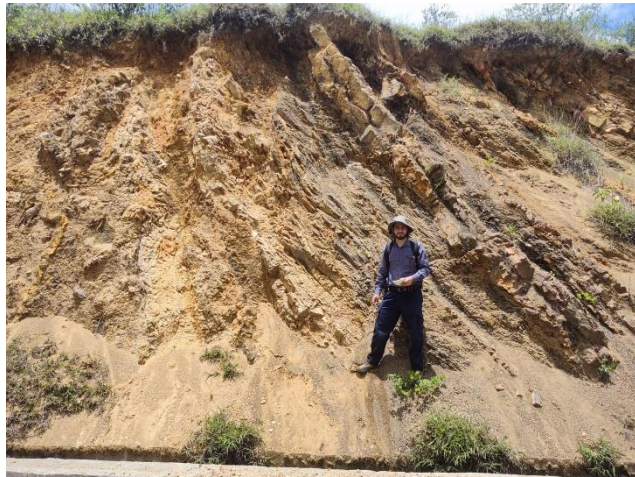
Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de
Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	10	Datum:	WGS-84	
Ubicación:	Gonzanamá			
Responsable:	José Nixon López Pesantez			
Coordenadas UTM	X: 673262	Y: 9536648	Z: 2139	
Formación/Unidad	Formación Gonzanamá			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	Natural		Artificial	x
Relieve:	Llano		De colinas	x
	Bajo		Montañoso	
Dato estructural:	070°/70°			
Dimensiones:	8m x 40m			
Muestra:	Si (MA-05)			
Estado de alteración:	Muy Meteorizada			

Foto:



Observaciones: Afloramiento artificial producto del corte de vía, presenta una vegetación moderada y un estado de alteración muy meteorizada, la litología corresponde a limolitas con una coloración café rojizo con planos de estratificación bien marcados conformando estructuras tipo slump.

<p style="text-align: center;"> Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial </p>						
		FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
Afloramiento No.	11	Datum:	WGS-84			
Ubicación:	Gonzanamá					
Responsable:	José Nixon López Pesantez					
Coordenadas UTM	X: 673118	Y: 9536586	Z: 2160			
Formación/Unidad	Andesita porfídica					
DESCRIPCIÓN						
Tipo:	Natural		Artificial	x		
Relieve:	Llano		De colinas	x		
	Bajo		Montañoso			
Dato estructural:	060°/80°					
Dimensiones:	25 m x 110m					
Muestra:	Sí (MA-06)					
Estado de alteración:	Ligeramente Meteorizada					
Foto:						
Observaciones:	Afloramiento artificial producto del corte de vía, presenta una vegetación escasa y una ligera meteorización, la litología corresponde a una andesita porfídica conformado con varias familias de juntas, presenta medias fracturaciones de 3-10 jv/m ³					

<p style="text-align: center;"> Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial </p>						
		FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
Afloramiento No.	12	Datum:	WGS-84			
Ubicación:	Gonzanamá					
Responsable:	José Nixon López Pesantez					
Coordenadas UTM	X: 673132	Y: 9536383	Z: 2160			
Formación/Unidad	Andesita porfídica					
DESCRIPCIÓN						
Tipo:	Natural		Artificial	x		
Relieve:	Llano		De colinas	x		
	Bajo		Montañoso			
Dato estructural:	355°/80°					
Dimensiones:	25 m x 110m					
Muestra:	Si (MA-07) (MA-08)					
Estado de alteración:	Ligeramente Meteorizada					
Foto:						
Observaciones:	Afloramiento artificial producto del corte de vía, presenta una vegetación escasa y una ligera meteorización, la litología corresponde a una andesita porfídica conformado con varias familias de juntas.					



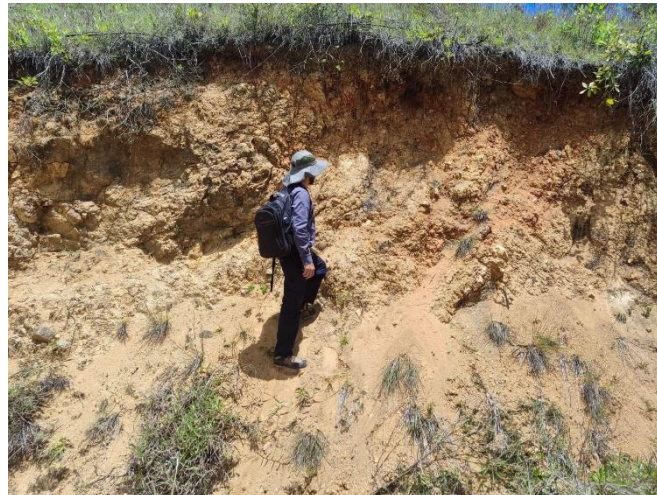
Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de
Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Afloramiento No.	13	Datum:	WGS-84	
Ubicación:	Gonzanamá			
Responsable:	José Nixon López Pesantez			
Coordenadas UTM	X: 673217	Y: 9536643	Z: 2160	
Formación/Unidad	Andesita porfídica			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	Natural		Artificial	X
Relieve:	Llano		De colinas	
	Bajo		Montañoso	x
Dato estructural:	134°/60°			
Dimensiones:	4 m x 6m			
Muestra:	No			
Estado de alteración:	Completa Meteorizada			

Foto:



Observaciones: Afloramiento artificial producto del corte de vía, presenta una vegetación moderada y una completa meteorización química debido a la exposición original de la roca, la litología corresponde a un saprolito andesítico producto de la meteorización de la roca original, reposa sobre el macizo rocoso de litología de andesita porfídica.



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:	Gonzanamá			
Responsable:	José Nixon López Pesantez			
Coordenadas UTM	X: 673108	Y: 9536628	Z: 2191	
Formación/Unidad	Andesita porfídica			
DESCRIPCIÓN				
Tipo:	Natural		Artificial	X
Relieve:	Llano		De colinas	
	Bajo		Montañoso	x
Dato estructural:	162°/65°			
Dimensiones:	2 m x 4m			
Muestra:	No			
Estado de alteración:	Completa Meteorizada			

Foto:



Observaciones: Afloramiento artificial producto del corte de vía, presenta una vegetación moderada y una completa meteorización química debido a la exposición original de la roca, la litología corresponde a un saprolito andesítico producto de la meteorización de la roca original, reposa sobre el macizo rocoso de litología de andesita porfídica.

Anexo 3. Ficha de análisis macroscópico

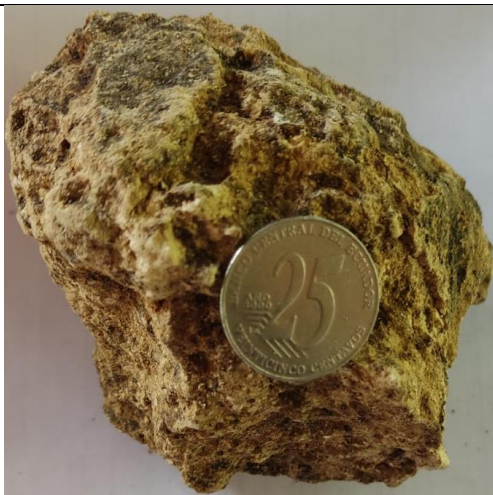
<p style="text-align: center;">Universidad Nacional de Loja Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial</p>			
			
FICHA PARA ANALISIS MACROSCÓPICO			
Elaborado por:		Ficha No	
Tipo de la muestra:		Código de la muestra	
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica:		Características de los componentes	
Sitio:		Color	
		Textura	
		Estructura	
		Tamaño del grano	
		% Fenocristales	
		% matriz	
		Contenido de Minerales	
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección WGS 84)		Minerales Principales	
		Minerales Secundarios	
X		Mineralización	
Y		Alteración mineralógica	
Z		Grado de meteorización	
Observaciones		Nombre de la roca	



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



FICHA PARA ANALISIS MACROSCOPICO


Elaborado por:	López Pesantez José Nixon	Ficha No	01
Tipo de la muestra:	-	Código de la muestra	MA-01
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica: Gonzanamá-Loja		Características de los componentes	
Sitio: San Vicente-Sunamanga		Color	Marrón claro
		Textura	Porfídica
		Estructura	Masiva
		Tamaño del grano	Medio a grueso
		% Fenocristales	% 40
		% matriz	% 60
		Contenido de Minerales	
		Minerales Principales	Plagioclasa
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección WGS 84)		Minerales Secundarios	Hornblenda, Limonita, Caolinita, Cuarzo
X	673287	Mineralización	Muy Baja
Y	9536959	Alteración mineralógica	Argílica
Z	2115	Grado de meteorización	Muy Alto
Observaciones	-	Nombre de la roca	Andesita 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 PARA ANALISIS MACROSCOPICO


Elaborado por:	López Pesantez José Nixon	Ficha No	02
Tipo de la muestra:		Código de la muestra	MA-02
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica: Gonzanamá-Loja		Características de los componentes	
Sitio: San Vicente-Sunamanga		Color	Gris verdosos
		Textura	Porfídica
		Estructura	Masiva
		Tamaño del grano	Medio a grueso
		% Fenocristales	% 55
		% matriz	% 45
		Contenido de Minerales	
		Minerales Principales	Plagioclasa, Hornblenda,
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección WGS 84)		Minerales Secundarios	Piroxeno, Cuarzo, biotitas, ox. Fe
X	673240	Mineralización	Baja
Y	9536941	Alteración mineralógica	-
Z	2115	Grado de meteorización	Media
Observaciones	-	Nombre de la roca	Andesita porfídica



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



FICHA PARA ANALISIS MACROSCOPICO

Elaborado por:	López Pesantez José Nixon	Ficha No	03
Tipo de la muestra:		Código de la muestra	MA-03
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica: Gonzanamá-Loja		Características de los componentes	
Sitio: San Vicente-Sunamanga		Color	Gris verdoso oscuro
		Textura	Porfídica
		Estructura	Masiva
		Tamaño del grano	Fino
		% Fenocristales	% 30
		% matriz	% 70
		Contenido de Minerales	
		Minerales Principales	Anfibol, plagioclasa
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección WGS 84)		Minerales Secundarios	Cuarzo, feldespatos, piroxenos, olivino
X	673156	Mineralización	Nula
Y	9536884	Alteración mineralógica	-
Z	2131	Grado de meteorización	Baja
Observaciones	-	Nombre de la roca	Andesita porfídica



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



FICHA PARA ANALISIS MACROSCOPICO


Elaborado por:	López Pesantez José Nixon	Ficha No	04	
Tipo de la muestra:		Código de la muestra	MA-04	
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA		
Ubicación geográfica: Gonzanamá-Loja		Características de los componentes		
Sitio: San Vicente-Sunamanga		Color	Gris verdoso	
	Textura	Porfídica		
	Estructura	Masiva		
	Tamaño del grano	Fino a Medio		
	% Fenocristales	% 40		
	% matriz	% 60		
	Contenido de Minerales			
	Minerales Principales	Plagioclasa, anfíbol		
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección WGS 84)		Minerales Secundarios	Piroxenos, cuarzo	
X	673223	Mineralización	Baja	
Y	9536774	Alteración mineralógica	-	
Z	2136	Grado de meteorización	Media	
Observaciones	-	Nombre de la roca	Andesita porfídica	



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



FICHA PARA ANALISIS MACROSCOPICO


Elaborado por:	López Pesantez José Nixon	Ficha No	05
Tipo de la muestra:		Código de la muestra	MA-05
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica: Gonzanamá-Loja		Características de los componentes	
Sitio: San Vicente-Sunamanga		Color	Café claro
		Textura	Sorteada
		Estructura	Masiva
		Tamaño del grano	Muy fino
		% Fenocristales	-
		% matriz	-
		Contenido de Minerales	
		Minerales Principales	Arcilla, feldspatos
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección WGS 84)		Minerales Secundarios	Cuarzo, mica, óxidos de hierro
X	673280	Mineralización	Baja
Y	9536716	Alteración mineralógica	-
Z	2139	Grado de meteorización	Alta
Observaciones	-	Nombre de la roca	Limolita



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



FICHA PARA ANALISIS MACROSCOPICO


Elaborado por:	López Pesantez José Nixon	Ficha No	06
Tipo de la muestra:	Zona 5	Código de la muestra	MA-06
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica: Gonzanamá-Loja		Características de los componentes	
Sitio: San Vicente-Sunamanga		Color	Gris oscuro verdoso
		Textura	Porfídica
		Estructura	Masiva
		Tamaño del grano	Medio a Grueso
		% Fenocristales	% 45
		% matriz	% 55
		Contenido de Minerales	
		Minerales Principales	Plagioclasa, piroxenos
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección WGS 84)		Minerales Secundarios	Cuarzo, biotita, limonita
X	673147	Mineralización	Baja
Y	9536598	Alteración mineralógica	-
Z	2141	Grado de meteorización	Media
Observaciones	-	Nombre de la roca	Andesita porfídica



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



FICHA PARA ANALISIS MACROSCOPICO


Elaborado por:	López Pesantez José Nixon	Ficha No	07
Tipo de la muestra:	Zona 6	Código de la muestra	MA-07
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica: Gonzanamá-Loja		Características de los componentes	
Sitio: San Vicente-Sunamanga		Color	Café claro
		Textura	Porfídica
		Estructura	Masiva
		Tamaño del grano	Grueso
		% Fenocristales	% 65
		% matriz	% 35
		Contenido de Minerales	
		Minerales Principales	Plagioclasas, piroxenos, anfíboles
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección WGS 84)		Minerales Secundarios	Cuarzo, limonita, biotita
X	673097	Mineralización	Baja
Y	9536450	Alteración mineralógica	-
Z	2158	Grado de meteorización	Alta
Observaciones	-	Nombre de la roca	Andesita porfídica



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






FICHA PARA ANALISIS MACROSCOPICO

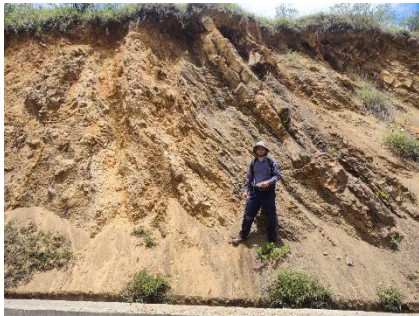

Elaborado por:	López Pesantez José Nixon	Ficha No	8
Tipo de la muestra:	Zona 7	Código de la muestra	MA-8
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica: Gonzanamá-Loja		Características de los componentes	
Sitio: San Vicente-Sunamanga		Color	Marrón claro
		Textura	Porfídica
		Estructura	Masiva
		Tamaño del grano	Medio a grueso
		% Fenocristales	% 45
		% matriz	% 55
		Contenido de Minerales	
		Minerales Principales	Plagioclasas, hornblendas
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección WGS 84)		Minerales Secundarios	Feldespato, cuarzo
X	673133	Mineralización	Baja
Y	9536396	Alteración mineralógica	-
Z	2160	Grado de meteorización	Media
Observaciones	-	Nombre de la roca	Porfido Andesítico



Anexo 4. Fichas de Zonificación



PROYECTO:		CACRATERIZACIÓN GEOMECANICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS UBICADOS EN EL TRAMO DE LA VÍA SAN VICENTE- SUNAMANGA DEL CANTÓN GONZANAMÁ PROVINCIA DE LOJA				ZONA: <u>1</u>		HOJA/PLANO: <u>1/7</u>			
REALIZADO POR:		LÓPEZ PESANTEZ JOSÉ NIXON				LOCALIZACIÓN: <u>34+430-34+540</u>		FOTO: <u>SI</u>			
FECHA:		NOVIEMBRE, 2021									
LITOLOGÍA	NATURALEZA: <u>SUB-VONCÁNICA</u>				POTENCIA: <u>25m</u>		FORMACIÓN Y EDAD: <u>Andesita porfídica</u>				
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA: <u>PORFIDO ANDESÍTICO ALTERADO</u>				MORFOLOGÍA: <u>AFLORAMIENTO VERTICAL ARTIFICIAL</u>			ESPESOR: <u>110M</u>			
ESTRUCTURA	PLIEGUES		FALLAS			OTROS: <u>FAMILIA DE JUNTAS</u>					
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy brechificado >60				
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente blanda (Uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo) 4	Muy dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo) 6				
GRADOS DE METEORIZACION	I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)		III Moderadamente alterada (3)		IV Muy alterada (1)		V Compl meteorizada (0)	VI Suelo residual (0)	
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua		Seco (sin señales de agua)		Húmedo		Goteos		Flujo	CAUDAL ESTIMADO:	
MUESTRAS										OBSERVACIONES:	
FOTO 1					FOTO 2						
											

PROYECTO:		CACRATERIZACIÓN GEOMECANICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS UBICADOS EN EL TRAMO DE LA VÍA SAN VICENTE- SUNAMANGA DEL CANTÓN GONZANAMÁ PROVINCIA DE LOJA					ZONA: 2		HOJA/PLANO: 2/7	
REALIZADO POR:		LÓPEZ PESANTEZ JOSÉ NIXON					LOCALIZACIÓN: 34+540-34+590		FOTO: SI	
FECHA:		NOVIEMBRE, 2021								
LITOLOGÍA		NATURALEZA: SUB-VONCÁNICA					POTENCIA: 15m		FORMACIÓN Y EDAD: Andesita porfídica	
FORMACIONES SUPERFICIALES		NATURALEZA Y TEXTURA: PORFIDO ANDESÍTICO					MORFOLOGÍA: AFLORAMIENTO VERTICAL ARTIFICIAL		ESPESOR: 50M	
ESTRUCTURA		PLIEGUES			FALLAS			OTROS: FAMILIA DE JUNTAS		
FRACTURACIÓN		BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy 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 martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo)4	Muy dura (Varios golpes)5	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo)6		
GRADOS DE METEORIZACION		I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)		III Moderadamente alterada (3)	IV Muy alterada (1)	V Compl meteorizada (0)	VI Suelo residual (0)	
HIDROGEOLOGÍA		Sin presencia de agua			Seco (sin señales de agua)		Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO:
MUESTRAS										OBSERVACIONES:
FOTO 1					FOTO 2					
										

PROYECTO:		CACRATERIZACIÓN GEOMECANICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS UBICADOS EN EL TRAMO DE LA VÍA SAN VICENTE- SUNAMANGA DEL CANTÓN GONZANAMÁ PROVINCIA DE LOJA				ZONA: 3		HOJA/PLANO: 3/7		
REALIZADO POR:		LÓPEZ PESANTEZ JOSÉ NIXON				LOCALIZACIÓN: 34+670-34+760		FOTO: -		
FECHA:		NOVIEMBRE, 2021								
LITOLOGÍA		NATURALEZA: SUB-VONCÁNICA				POTENCIA: 18m		FORMACIÓN Y EDAD: Andesita porfídica		
FORMACIONES SUPERFICIALES		NATURALEZA Y TEXTURA: PORFIDO ANDESÍTICO				MORFOLOGÍA: AFLORAMIENTO VERTICAL ARTIFICIAL			ESPESOR: 90M	
ESTRUCTURA		PLIEGUES		FALLAS			OTROS: FAMILIA DE JUNTAS			
FRACTURACIÓN		BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy 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 martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo) 4	Muy dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo) 6		
GRADOS DE METEORIZACION		I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)		III <u>Moderadamente alterada (3)</u>	IV Muy alterada (1)	V Compl meteorizada (0)	VI Suelo residual (0)	
HIDROGEOLOGÍA		Sin presencia de agua		<u>Seco (sin señales de agua)</u>		Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO:	
MUESTRAS										OBSERVACIONES:
FOTO 1					FOTO 2					
										

PROYECTO:		CACRATERIZACIÓN GEOMECANICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS UBICADOS EN EL TRAMO DE LA VÍA SAN VICENTE- SUNAMANGA DEL CANTÓN GONZANAMÁ PROVINCIA DE LOJA				ZONA:		4		HOJA/PLANO:		4/7	
REALIZADO POR:		LÓPEZ PESANTEZ JOSÉ NIXON				LOCALIZACIÓN:		34+860-35+900		FOTO:		SI	
FECHA:		NOVIEMBRE, 2021											
LITOLOGÍA		NATURALEZA: CLÁSTICA				POTENCIA: 8M		FORMACIÓN Y EDAD: FORMACIÓN GONZANAMÁ					
FORMACIONES SUPERFICIALES		NATURALEZA Y TEXTURA: LIMOLITA				MORFOLOGÍA: AFLORAMIENTO VERTICAL ARTIFICIAL				ESPESOR: 30M			
ESTRUCTURA		PLIEGUES		FALLAS				OTROS: ESTRATIFICACIÓN					
FRACTURACIÓN		BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy Grandes <1		Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy brechificado >60				
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA		Extremadamente blanda (Uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1		Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo) 4	Muy dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo) 6				
GRADOS DE METEORIZACION		I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)		III Moderadamente alterada (3)		IV Muy alterada (1)	V Compl meteorizada (0)		VI Suelo residual (0)		
HIDROGEOLOGÍA		Sin presencia de agua		Seco (sin señales de agua)		Húmedo		Goteos	Flujo		CAUDAL ESTIMADO:		
MUESTRAS												OBSERVACIONES:	
FOTO 1						FOTO 2							
													

PROYECTO:		CACRATERIZACIÓN GEOMECANICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS UBICADOS EN EL TRAMO DE LA VÍA SAN VICENTE- SUNAMANGA DEL CANTÓN GONZANAMÁ PROVINCIA DE LOJA					ZONA:	5	HOJA/PLANO:	5/7
REALIZADO POR:		LÓPEZ PESANTEZ JOSÉ NIXON					LOCALIZACIÓN:	34+970-35+080	FOTO:	SI
FECHA:		NOVIEMBRE, 2021								
LITOLOGÍA	NATURALEZA: SUB-VONCÁNICA					POTENCIA:	25M	FORMACIÓN Y EDAD:		Andesita porfídica
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA: PORFIDO ANDESÍTICO					MORFOLOGÍA: AFLORAMIENTO VERTICAL ARTIFICIAL			ESPESOR: 110M	
ESTRUCTURA	PLIEGUES			FALLAS			OTROS: FAMILIA DE JUNTAS			
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy 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 martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo) 4	Muy dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo) 6			
GRADOS DE METEORIZACION	I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)		III <u>Moderadamente alterada (3)</u>	IV Muy alterada (1)	V Compl meteorizada (0)		VI Suelo residual (0)	
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua		<u>Seco (sin señales de agua)</u>		Húmedo	Goteos	Flujo		CAUDAL ESTIMADO:	
MUESTRAS										OBSERVACIONES:
FOTO 1					FOTO 2					
										

PROYECTO: CACRATERIZACIÓN GEOMECANICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS UBICADOS EN EL TRAMO DE LA VÍA SAN VICENTE- SUNAMANGA DEL CANTÓN GONZANAMÁ PROVINCIA DE LOJA		ZONA: 7		HOJA/PLANO: 7/7				
REALIZADO POR: LÓPEZ PESANTEZ JOSÉ NIXON		LOCALIZACIÓN: 35+220-35+340		FOTO: 51				
FECHA: NOVIEMBRE, 2021								
LITOLOGÍA	NATURALEZA: SUB-VONCÁNICA			POTENCIA: 13M	FORMACIÓN Y EDAD: Andesita porfídica			
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA: PORFIDO ANDESITICO ALTERADO			MORFOLOGÍA: AFLORAMIENTO VERTICAL ARTIFICIAL		ESPESOR: 120M		
ESTRUCTURA	PLIEGUES		FALLAS		OTROS: FAMILIA DE JUNTAS			
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy 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 martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo) 4	Muy dura (Varios golpes) 5	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo) 6	
GRADOS DE METEORIZACION	I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)		III Moderadamente alterada (3)	IV Muy alterada (1)	V Compl meteorizada (0)	VI Suelo residual (0)
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua		Seco (sin señales de agua)		Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO:
MUESTRAS								
								OBSERVACIONES:
FOTO 1					FOTO 2			
								

Anexo 6. Peso natural de las muestras

Muestra	Peso cápsula (g)	Peso cápsula + muestra (g)	Peso natural (g)
Z1	29.76	209.79	180.04
Z2	30.91	236.24	205.33
Z3	20.69	222.28	201.59
Z4	28.03	202.82	174.79
Z5	29.50	159.17	129.67
Z6	29.23	170.65	141.42
Z7	30.31	194.71	164.4

Anexo 7. Peso en seco

Muestra	Peso Seco (g)
Z1	176.35
Z2	202.99
Z3	197.98
Z4	167.78
Z5	127.26
Z6	137.43
Z7	161.12

Anexo 8. Peso saturado

Muestra	Peso Saturado (g)
Z1	180.287
Z2	207.012
Z3	203.372
Z4	175.232
Z5	131.278
Z6	144.191
Z7	167.642

Anexo 9. Peso sumergido

Muestra	Peso Sumergido (g)
Z1	105.394
Z2	108.995
Z3	106.859
Z4	79.452
Z5	79.214
Z6	80.184
Z7	99.523

Anexo 14. Mapa de Ubicación

Anexo 15. Mapa Geológico Regional

Anexo 16. Mapa Topográfico

Anexo 17. Mapa Geológico Local

Anexo 18. Mapa de Zonas de Comportamiento Litoestructural

Anexo 19. Mapa de Rock Quality Designation

Anexo 20. Mapa Rock Mass Rating

Anexo 21. Mapa Planar Slope Mass Rating

Anexo 22. Mapa Toppling Slope Mass Rating

(Ubicados en el Cd-R Nro. 1)

Anexo 23. Certificación de traducción del resumen



**FINE-TUNED ENGLISH
LANGUAGE INSTITUTE**
Líderes en la Enseñanza del Inglés

Ing. María Belén Novillo Sánchez.

ENGLISH TEACHER- FINE TUNED ENGLISH CIA LTDA.

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del resumen de tesis "Caracterización geomecánica de los macizos rocosos ubicados en el tramo de la vía San Vicente – Sunamanga del cantón Gonzanamá, provincia de Loja", autoría de José Nixon López Pesantez con número de cédula 1900838903, egresado de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifico en honor a la verdad y autorizo al interesado hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Loja, 19 de julio del 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'María Belén Novillo Sánchez'.

Ing. María Belén Novillo Sánchez.

ENGLISH TEACHER- FINE TUNED ENGLISH CIA LTDA.

Matriz - Loja: Macará 205-51 entre Rocafuerte y Miguel Riofrío - Teléfono: 072578899
Zamora: García Moreno y Pasaje 12 de Febrero - Teléfono: 072608169
Yantzaza: Jorge Mosquera y Luis Bastidas - Edificio Sindicato de Choferes - Teléfono: 072301329

www.fte.edu.ec