



unl

Universidad
Nacional
de Loja



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDISUTRIAS Y LOS RECURSON NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

*“Caracterización geológica – geotécnica de la vía de acceso al Parque
Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el Refugio N°1, ubicado en el
cantón y provincia de Loja”*

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

Autor:

Michelle Anahí Jara Torres.

Director:

Ing. Ángel Efrén Tamayo Jaramillo.

**Loja – Ecuador
2022**

Certificación

Loja, 09 de diciembre de 2021

Ing. Ángel Efrén Tamayo Jaramillo Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, realizado por la señorita egresada: MICHELLE ANAHÍ JARA TORRES con C.I.; 1104326358, en su proyecto de investigación denominado: “Caracterización geológica – geotécnica de la vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el Refugio N°1, ubicado en el cantón y provincia de Loja”, previo a la obtención del título de Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, el mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, en consecuencia me permito autorizar para su presentación, sustentación y defensa.



Ing. Ángel Efrén Tamayo Jaramillo Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **MICHELLE ANAHI JARA TORRES**, declaro ser autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de esta. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

**MICHELLE
ANAHI JARA
TORRES**
Firma: TORRES
Cédula: 1104326358
Fecha: Loja, 22 de abril del 2021
Correo electrónico: majarat@unl.edu.ec
Teléfono: 0959436141

Digitally signed by MICHELLE ANAHI JARA TORRES
DN: cn=MICHELLE ANAHI JARA TORRES,
c=EC, o=SECURITY DATA S.A. 2,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION,
email=anah9521@hotmail.com
Date: 2022.04.14 14:19:49 -05'00'

Carta de autorización de tesis por parte de la autora, para la consulta, reproducción parcial o total y publicación del texto completo

Yo, **Michelle Anahi Jara Torres**, declaro ser el autor del trabajo de titulación titulado: *“Caracterización geológica – geotécnica de la vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el Refugio N°1, ubicado en el cantón y provincia de Loja”*, como requisito para optar al grado de: **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio 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 veinte y dos días del mes de abril del dos mil veintidós.

Firma: MICHELLE ANAHI JARA TORRES



Digitally signed by MICHELLE ANAHI JARA TORRES
DN: cn=MICHELLE ANAHI JARA TORRES,
c=EC, o=SECURITY DATA S.A. 2,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION,
email=anahi9521@hotmail.com
Date: 2022.04.14 14:19:49 -05'00'

Autor: Michelle Anahi Jara Torres

Cédula: 1104326358

Dirección: Loja, (Barrio Los Molinos de la UTPL)

Correo electrónico: majarat@unl.edu.ec

Teléfono: 2615799

Celular: 0959436141

DATOS COPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Ángel Efrén Tamayo Jaramillo Mg. Sc.

Tribunal de Grado:

Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrio Mg. Sc.

Ing. Ximena Maritza Ochoa Tapia Mg. Sc.

Ing. Diego Israel Castillo Jaramillo Mg. Sc.

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación va dedicado de manera especial a mis padres; Henry Armando Jara y María Teresa Torres que con sus consejos y apoyo tanto moral como económico han sabido alentarme en cada uno de mis sueños y metas, siendo los pilares fundamentales en mi diario vivir; de la misma manera mencionar mis hermanos Alex y Dennise que han inspirado en mí el sentido de superación. A mi sobrina Emilia que me ha enseñado la paciencia y responsabilidad.

A mis abuelitos Víctor y Lorgia que, con sus consejos y estima, me enseñaron a no abandonar mis metas y alcanzar mis propósitos a pesar de las dificultades que se presenten día a día.

A Daniel y mis amigos, quienes de manera incondicional y desinteresada supieron brindarme su ayuda en los momentos difíciles, ya que su presencia no fue únicamente en mis logros si no en mis caídas prestándome su mano amiga para levantarme y continuar.

Michelle Anahí Jara Torres

Agradecimiento

Primeramente, un infinito agradecimiento a Dios, por regalarme la vida y dirigirme por el camino correcto, por brindarme la sabiduría y capacidad de desarrollarme en el ámbito profesional y por ser mi guía y protector.

De manera muy especial mi sincero agradecimiento a mi familia y amigos por día a día brindarme su apoyo incondicional, su cariño y afecto. A mi abuelito Víctor por siempre creer en mí y en mis aspiraciones.

Agradezco al Ministerio de Transporte y Obras Públicas por su apoyo, conocimientos y prácticas impartidas para finalizar con éxito los ensayos propuestos. Además, mi sincero agradecimiento al laboratorio CODICER quienes fueron parte fundamental para la culminación de mis estudios.

De la misma manera mi gratitud con la Universidad Nacional de Loja, el Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables, la carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial y por ende a los docentes de la carrera, por permitirme dar continuidad a mi formación académica, por los conocimientos brindados durante esta grandiosa etapa y contribuir con mi formación profesional.

Michelle Anahi Jara Torres



Índice de Contenidos

Portada.....	i
Certificación	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización de tesis por parte de la autora, para la consulta, reproducción parcial o total y publicación del texto completo.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenidos.....	vii
Índice de Tablas.....	xi
Índice de Figuras.....	xiv
Índice de Fotografías.....	xvi
Índice de Anexos.....	xvii
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
2.1 Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
3.1 Objetivos.....	5
3.1.1 Objetivo General	5
3.1.2 Objetivos Específicos	5
4. Marco teórico.....	6
4.1 Topografía	6
4.1.1 Levantamiento Topográfico	6
4.2 Geología.....	8
4.2.1 Estudios geológicos.....	8
4.2.2 Clasificación de las rocas según su origen	9
4.2.3 Formaciones geológicas	9
4.2.4 Mapeo Geológico	10
4.3 Geología estructural.....	11
4.3.1 Elementos estructurales.....	11
4.3.2 Estructuras Geológicas	12



4.3.3	Movimientos en Masa	16
4.4	Marco Geotécnico.....	18
4.4.1	Geotecnia.....	18
4.4.2	Caracterización Geotécnica del Terreno	18
4.4.3	Análisis de estabilidad.....	41
4.4.4	Método AASHTO-93	42
5.	Metodología.	46
5.1	Materiales	46
5.2	Métodos	46
5.3	Metodología.....	47
5.3.1	Recopilación de información	47
5.3.2	Metodología para el Primer objetivo.....	47
5.4	Metodología para el Segundo objetivo.....	50
5.4.1	Sísmica de Refracción	51
5.4.2	Ensayos para la determinación de las propiedades físico-mecánicas de los geo materiales	55
5.4.3	Calicatas Geotécnicas.....	57
5.4.4	Caracterización del Macizo Rocoso	66
5.4.5	Análisis de estabilidad global de taludes.....	70
5.5	Metodología para el Tercer Objetivo.....	70
5.5.1	Método AASHTO-93	70
6.	Resultados.....	77
6.1	Descripción General del área de estudio	77
6.1.1	Ubicación Administrativa	77
6.1.2	Acceso.	78
6.2	Descripción Biofísica del área de estudio.....	79
6.2.1	Clima	79
6.2.2	Hidrografía	80
6.2.3	Pendientes.....	81
6.2.4	Geomorfología	81
6.3	Topografía del Sector de Estudio	82



6.4	Geología Regional.....	83
6.5	Geología local.....	84
6.6	Geología Estructural.....	92
6.7	Caracterización Geotécnica.....	95
6.7.1	Sísmica de Refracción.....	95
6.7.2	Parámetros físicos – mecánicos de los materiales a partir de las líneas sísmicas 106	
6.7.3	Calicatas.....	107
6.7.4	Propiedades Físicas de las rocas.....	110
6.8	Clasificación de los Macizos Rocosos.....	110
6.8.1	Propiedades Físicas y Mecánicas de los Geo-materiales.....	110
6.8.2	Rock Quality Designation (RQD).....	111
6.8.3	Rock Mass Rating (RMR).....	116
6.8.4	Slope Mass Rating (SMR).....	122
6.8.5	Geological Strength Index (GSI).....	125
6.8.1	Análisis de Estabilidad global.....	125
6.9	Propuestas para la rectificación y mejoramiento de la vía de estudio.....	130
6.9.1	Recomendaciones con respecto al corte de taludes.....	130
6.9.2	Recomendaciones para drenaje.....	130
6.9.3	Recomendación para mejoramiento de la vía.....	131
7.	Discusión de resultados.....	134
8.	Conclusiones.....	136
9.	Recomendaciones.....	137
10.	Bibliografía.....	139
11.	Anexos.....	143
	Anexo 1. Mapa Topográfico de la zona de estudio.....	143
	Anexo 2. Mapa de Pendientes de la zona de estudio.....	145
	Anexo 3. Mapa Geomorfológico de la zona de estudio.....	147
	Anexo 4. Descripción de afloramientos de la zona de estudio.....	149
	Anexo 5. Mapa de Geología Regional de la zona de estudio.....	174
	Anexo 6. Mapa de Geología Local de la zona de estudio.....	176

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional
Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y
Provincia de Loja”



Anexo 7. Ficha de descripción de las propiedades de los geo materiales de la zona de estudio.....	179
Anexo 8. Resultados de ensayos geotécnicos de la zona de estudio	184
Anexo 9. Certificación de traducción	218



Índice de tablas

Tabla 1. Tamaño patrón de tamices ASTM.....	23
Tabla 2. Clasificación de Suelo AASHTO	24
Tabla 3. Clasificación de Suelo S.U.C.S. para Grano Grueso.....	25
Tabla 4. Clasificación de Suelo S.U.C.S. para Grano Fino	26
Tabla 5. Clasificación de macizos rocosos mediante el RQD.....	33
Tabla 6. Criterios para calcular el RMR.	34
Tabla 7. Factores de ajuste de la Clasificación SMR.....	36
Tabla 8. Clases de estabilidad según SMR	36
Tabla 9. Caracterización del macizo rocoso en función de los bloques basado en el entramamiento y las condiciones de las juntas.	38
Tabla 10. Guía para estimar el factor de alteración D.	40
Tabla 11. Índice de Serviciabilidad en función de la calidad de la vía	43
Tabla 12. Niveles de confiabilidad sugeridos para varios tipos de carreteras.	44
Tabla 13. Valores recomendados para la desviación estándar (So).....	44
Tabla 14. Capacidad de drenaje	45
Tabla 15. Materiales y equipos utilizados.....	46
Tabla 16. Fichas de afloramientos.....	49
Tabla 17. Ubicación de las calicatas elaboradas.	57
Tabla 18. Cálculo del número de ejes equivalentes de 8.2 ton (W18).....	72
Tabla 19. Serviciabilidad inicial	72
Tabla 20. Índice de servicialidad final	73
Tabla 21. Factores de desviación normal	74
Tabla 22. Valores de CBR y módulo resiliente.	74
Tabla 23. Coordenadas geográficas de ubicación UTM/WGS84.....	77
Tabla 24. Pendientes del Parque Nacional Podocarpus	81
Tabla 25. Afloramientos principales de la zona de estudio.....	85
Tabla 26. Lista de equipos utilizados	95
Tabla 27. Ubicación de los sondeos de sísmica de refracción	96



Tabla 28. Cuadro de tiempos de llegada para cada geófono, distancias y elevación de cada geófono - línea sísmica 1.....	97
Tabla 29. Interpretación sísmica: línea sísmica 1 (Vp) y línea sísmica 2 (Vs): Km 6+37099	
Tabla 30. Cuadro de tiempos de llegada para cada geófono, distancias y elevación de cada geófono - línea sísmica 3.....	100
Tabla 31. Interpretación Sísmica: línea sísmica 3 (Vp) y línea sísmica 4 (Vs): Km 2+235.....	102
Tabla 32. Cuadro de tiempos de llegada para cada geófono, distancias y elevación de cada geófono - línea sísmica 5.....	103
Tabla 33. Interpretación Sísmica: línea sísmica 5 (Vp) y línea sísmica 6 (Vs): Km 1+425:.....	105
Tabla 34. Parámetros físico - mecánicos abscisa 6+370.....	106
Tabla 35. Parámetros físico – mecánicos abscisa 2+235.....	106
Tabla 36. Parámetros físico - mecánicos abscisa 1+425.....	106
Tabla 37. Clasificación y uso del suelo según el valor del CBR.....	107
Tabla 38. Resumen ensayos de laboratorio de 8 calicatas tomadas a lo largo de la vía de estudio.....	109
Tabla 39. Resultados de las propiedades físicas de las muestras de rocas obtenidas en cada macizo rocoso.....	110
Tabla 40. Resultados de ensayo de compresión simple en laboratorio de las muestras...	111
Tabla 41. Cálculo del RQD para el Macizo Nro. 1.....	112
Tabla 42. Cálculo del RQD para el Macizo Nro. 2.....	114
Tabla 43. Cálculo del RQD para el Macizo Nro. 2.....	115
Tabla 44. Resultados del cálculo de RQD de los macizos rocoso de la zona de estudio.	115
Tabla 45. Resumen datos recolectados en campo y laboratorio del macizo rocoso N°1.	116
Tabla 46. Clasificación geomecánica RMR89 de Bienawski para la Junta 1 del macizo Nro.1.....	117
Tabla 47. Resumen datos recolectados en campo y laboratorio del macizo rocoso N°2.	118
Tabla 48. Clasificación geomecánica RMR89 de Bienawski para la Junta 1 del macizo Nro.1.....	119
Tabla 49. Resumen datos recolectados en campo y laboratorio del macizo rocoso N°3.	120



Tabla 50. Clasificación geomecánica RMR89 de Bienawski para la Junta 1 del macizo Nro.1	121
Tabla 51. SMR para rotura planar y vuelco del macizo rocoso Nro. 1	122
Tabla 52. Clase de estabilidad para el macizo N°1	122
Tabla 53. SMR para rotura planar y vuelco del macizo rocoso Nro. 2	123
Tabla 54. Clase de estabilidad para el macizo N°2	123
Tabla 55. SMR para rotura planar y vuelco del macizo rocoso Nro. 3	124
Tabla 56. Clase de estabilidad para el macizo N°3	124
Tabla 57. Clase de estabilidad SMR para los macizos de estudio.	124
Tabla 58. Resumen de datos a usar para la estabilidad global de los macizos rocosos ...	126
Tabla 59. Resumen de resultados de FS	129
Tabla 60. Parámetros para el cálculo del SN	131
Tabla 61. Espesores finales de mejoramiento para 20 años (CBR =4.5)	133



Índice de figuras

Figura 1. Etapas de un levantamiento topográfico	7
Figura 2. Medición de Dirección y Buzamiento de un estrato rocoso	12
Figura 3. Bloque diagrama de los principales tipos de pliegues	13
Figura 4. Bloque diagrama de falla normal	14
Figura 5. Bloque diagrama de falla inversa	15
Figura 6. Bloque diagrama de falla transformante	15
Figura 7. Esquema de un proceso de deslizamiento rotacional típico	17
Figura 8. Esquema de un proceso de deslizamiento traslacional	17
Figura 9. Curva granulométrica. Definición de D10, D30 y D60	22
Figura 10. Estados del suelo en función del contenido de humedad	27
Figura 11. Esquema del ensayo de refracción sísmica	30
Figura 12. Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones	39
Figura 13. Ubicación de las líneas sísmicas de refracción	52
Figura 14. Dromocronas Línea Sísmica 1 - Vp Km 6+370	54
Figura 15. Gráfica densidad seca máxima vs humedad óptima.	63
Figura 16. Graficas de curvas carga-penetración.	66
Figura 17. Curva de CBR.	66
Figura 18. Puntos de muestreo de roca para ensayo de compresión simple.	68
Figura 19. Elección del tipo de pavimento a implementar - AASHTO-93	75
Figura 20. Introducción de datos para el cálculo del SN	76
Figura 21 . Ubicación de la zona de estudio	78
Figura 22. Hidrografía de la zona de estudio	80
Figura 23. Ubicación de Afloramientos de la zona de estudio	90
Figura 24. Geología local del tramo abs 0+000 a 3+365	91
Figura 25. Geología local del tramo abs 3+365 a 8+000	92
Figura 26. Área para descripción de la geología estructural	93
Figura 27. Propagación de la línea de refracción sísmica N°1-2	97
Figura 28. Dromocronas y Perfil Sísmico Línea Sísmica 1 - Vp Km 6+370	98



Figura 29. Perfil Estratigráfico.....	98
Figura 30. Perfil estratigráfico	99
Figura 31. Propagación de la línea de refracción sísmica N°3-4	100
Figura 32. Dromocronas y perfil sísmico línea sísmica 3: Km 2+235	101
Figura 33. Perfil estratigráfico	101
Figura 34. Perfil estratigráfico.....	102
Figura 35. Propagación de la línea de refracción sísmica N°5-6	103
Figura 36. Dromocronas y perfil sísmico línea sísmica 5: Km 1+425	104
Figura 37. Perfil estratigráfico.....	104
Figura 38. Perfil estratigráfico.....	105
Figura 39. Estaciones de toma de datos del macizo rocoso N°1	112
Figura 40. Estaciones de toma de datos del macizo rocoso N°2.....	113
Figura 41. Estaciones de toma de datos del macizo rocoso N°2.....	115
Figura 42. Diseño del talud para análisis de estabilidad global	126
Figura 43. Análisis de rotura general para el talud	127
Figura 44. Diseño del talud para análisis de estabilidad global	127
Figura 45. Análisis de rotura general para el talud	128
Figura 46. Diseño del talud para análisis de estabilidad global	128
Figura 47. Análisis de rotura general para el talud	129
Figura 48. Cuneta tipo espaldón recomendada para la implementación en el pie de talud.	130
Figura 49. Número estructural requerido para 20 Años (CBR =4.3)	132



Índice de fotografías

Fotografía 1. Realización del levantamiento topográfico	48
Fotografía 2. A) Ensayo refracción sísmica 1 B) Ensayo refracción sísmica 2	52
Fotografía 3. Elaboración de calicatas	58
Fotografía 4. Elaboración del ensayo Proctor.....	62
Fotografía 5. Determinación del CBR	63
Fotografía 6. Colocación de la Probeta en la máquina para CBR y aplicación de las cargas	65
Fotografía 7. Entrada a la vía de estudio	79
Fotografía 8. Clastos metamórficos presentes en el primer afloramiento – primer tramo de la vía de estudio.	86
Fotografía 9. Afloramiento 2: Conglomerados cuyos clastos son medianamente redondeados que van de 2 a 10 cm de diámetro.	87
Fotografía 10. Pizarras con intercalaciones de Filitas. Vista NE-SW.....	88
Fotografía 11. Intercalación de pizarras, filitas y esquistos con mínimas incrustaciones de cuarcita de color blanquecino pardo	89
Fotografía 12. Falla de tipo inversa en el Kilómetro 6; el plegamiento se puede considerar como fuerte y forma una serie de anticlinales y sinclinales en las rocas debido al fallamiento	89
Fotografía 13. Vista E-O de un pliegue presente en las filitas de la Unidad Chigüinda	93
Fotografía 14. Plegamiento producto de la falla Loja	94
Fotografía 15. Macizo Rocoso N°1: Pizarras	111
Fotografía 16. Macizo N° 2: Esquistos	113
Fotografía 17. Macizo N° : Filitas	114



Índice de Anexos

- Anexo 1.** Mapa Topográfico de la zona de estudio; **Error! Marcador no definido.**
- Anexo 2.** Mapa de Pendientes de la zona de estudio.....; **Error! Marcador no definido.**
- Anexo 3.** Mapa Geomorfológico de la zona de estudio ..; **Error! Marcador no definido.**
- Anexo 4.** Descripción de afloramientos de la zona de estudio; **Error! Marcador no definido.**
- Anexo 5.** Mapa de Geología Regional de la zona de estudio; **Error! Marcador no definido.**
- Anexo 6.** Mapa de Geología Local de la zona de estudio; **Error! Marcador no definido.**
- Anexo 7.** Ficha de descripción de las propiedades de los geo materiales de la zona de estudio.....; **Error! Marcador no definido.**
- Anexo 8.** Resultados de ensayos geotécnicos de la zona de estudio; **Error! Marcador no definido.**
- Anexo 9.** Certificación de traducción.....; **Error! Marcador no definido.**

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional
Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y
Provincia de Loja”



1. Título.

**Caracterización geológica – geotécnica de la vía de acceso al Parque Nacional
Podocarpus, desde Cajanuma hasta el Refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de
Loja.**



2. Resumen.

El presente trabajo de investigación “Caracterización geológica – geotécnica de la vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el Refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de Loja.” se enfocó en identificar y determinar las características geológicas y geotécnicas por medio de la aplicación de métodos directos e indirectos los cuales indican la resistencia del suelo, su contenido de humedad, etc.

Se inició con un levantamiento topográfico a detalle del área de estudio que abarca un total de 80 Ha, la topografía característica de la zona de estudio es bastante accidentada, con relieves que varían de 2600-3000 m.s.n.m. en la parte más alta, hasta alturas de 2300 m.s.n.m. en la parte más baja.

La geología se obtuvo a partir de la descripción de afloramientos, en donde se determinó que el área se encuentra constituida mayormente por filitas, pizarras y esquistos de la Unidad Chigüinda y materiales de la Formación Quillollaco (conglomerados). Los datos geotécnicos se obtuvieron mediante el método directo: se realizó 8 calicatas obteniendo así datos in situ y de laboratorio. Además, se obtuvieron tres líneas sísmicas con el fin de corroborar la geología con la observada en superficie y obtener propiedades físicas de los materiales.

Este estudio va encaminado a proponer recomendaciones para la rectificación y mejoramiento de la vía Cajanuma hasta el Primer Refugio del Parque Nacional Podocarpus, posterior a la toma de muestras, desarrollo de ensayos y reconocimientos de parámetros de campo. Así mismo para el caso de los macizos rocosos se realizó la clasificación geomecánica RQD, RMR, GSI y SMR, para determinar la estabilidad de taludes.

Palabras clave: *Sísmica de Refracción, Ensayo de Penetración Estándar, CBR, PROCTOR, clasificación geomecánica.*



2.1 Abstract.

The present investigation work "Geological-geotechnical characterization of the access road to the Podocarpus National Park, from Cajanuma to Refuge N°1, located in the Canton and Province of Loja" focused on identifying and determining the geological and geotechnical characteristics through the application of direct and indirect methods which indicate soil resistance, moisture content, etc.

It began with a detailed topographic survey of the study area, which covers a total of 80 ha. The topography of the study area is quite rugged, with reliefs that vary from 2600-3000 m.a.s.l. in the highest part, to heights of 2300 m.a.s.l. in the lowest part.

The geology was obtained from the description of outcrops, where it was determined that the area is mostly made up of phyllites, shales and schists of the Chigüinda Unit and materials of the Quillollaco Formation (conglomerates). The geotechnical data were obtained by the direct method: 8 test pits were made to obtain in situ and laboratory data. In addition, three seismic lines were obtained in order to corroborate the geology with that observed on surface and to obtain physical properties of the materials.

This study is aimed at proposing recommendations for the rectification and improvement of the Cajanuma road to the First Refuge of the Podocarpus National Park, after sampling, development of tests and field parameter surveys. Likewise, in the case of the rock massifs, the geomechanical classification RQD, RMR, GSI and SMR was carried out to determine slope stability.

Keywords: *Seismic Refraction, Standard Penetration Test, CBR, PROCTOR, geomechanical classification.*



3. Introducción.

La Geología, es entendida como la ciencia que se encarga del estudio de la tierra, detallando el origen, la historia y las estructuras de la tierra, de acuerdo con su registro o datación en las rocas. Los conocimientos teóricos de la geología, combinados con la práctica y la experiencia, tienen una importante aplicación para resolver problemas que se presentan en las grandes obras de ingeniería; es por ello por lo que los estudios geotécnicos se basan inicialmente en su análisis e interpretación. (Tarbuck, 2005)

La ingeniería geotécnica se encarga del estudio de las propiedades mecánicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la Tierra. Un estudio geotécnico es importante porque se investiga el suelo y las rocas por debajo de la superficie, para determinar sus propiedades y diseñar las cimentaciones para estructuras tales como, vías, edificios, puentes, etc. (Sagaseta, Influence of column deformation. Geotecnia I, 2010)

Actualmente la vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus no cuenta con estudios ni una infraestructura vial adecuada por lo que se hace necesaria la caracterización geológica – geotécnica de esta vía de acceso al Parque Podocarpus de 8 Km en el cantón Loja, y así determinar las condiciones presentes en dicha vía y con ello proponer recomendaciones orientadas a brindar información y especificaciones para futuros trabajos en la zona ya sea para rectificación, mejoramiento o asfaltado de dicha vía debido a que la vía se ve afectada por: anchos de calzadas y espaldones insuficientes, malas condiciones de la capa de rodadura, alineamiento crítico en algunos sitios.

La vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus en la provincia de Loja, se ubica en el cantón Loja en la parte Suroriental a 6.00 Km de la cabecera cantonal. El inicio del proyecto es el sector Cajanuma de la vía Loja-Vilcabamba y termina en el campamento del Parque Nacional Podocarpus con un área de 80 Ha.

Para desarrollar la presente investigación se realizó trabajos de campo, laboratorio y oficina, en los cuales se recopiló información bibliografía y de campo, en la cual se realizó una caracterización geología-geotécnica-estructural a detalle mediante la descripción de afloramientos, toma de datos estructurales, realización de calicatas y líneas sísmicas y recolección de muestras para ensayos de laboratorio.



Además, se realizó la caracterización de macizos rocos de la zona mediante la clasificación RQD, RMR, SMR y GSI, así mismo se realizó un análisis global de los taludes para proceder a realizar el factor de seguridad en condiciones secas.

Para la respectiva caracterización Geológica – Geotécnica, se ha establecido los siguientes objetivos:

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivo General

Desarrollar la caracterización geológica – geotécnica de la vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de Loja.

3.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento geológico- estructural a escala 1:5000 de la vía, con una faja de estudio de 100 m.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas de los geo materiales existentes en el sector de estudio.
- Proponer recomendaciones para la rectificación y mejoramiento de la vía Cajanuma hasta el Primer Refugio del Parque Nacional Podocarpus.



4. Marco teórico.

4.1 Topografía

Se la define como “la disciplina que abarca todos los métodos para reunir información de partes físicas de la Tierra, tales como: el relieve, los litorales, los cauces de corrientes hídricas, entre otros” (Rincón Mario, 2017); se le puede considerar como una de las herramientas básicas de la Ingeniería dentro de sus aplicaciones se pueden mencionar la de proyección de obras, proyectar presas, puentes, canales, carreteras, obras de agua potable, construcción de vías de comunicación, acueductos, obras subterráneas, etc.

4.1.1 Levantamiento Topográfico

“Los levantamientos topográficos se realizan con el fin de determinar la configuración del terreno y la posición sobre la superficie de la tierra, de elementos naturales o instalaciones construidas por el hombre” (Matera, 2002).

4.1.1.1 Planimetría

“Es la proyección a escala de puntos reconocidos en el terreno sobre un plano horizontal imaginario. Los puntos medidos, generalmente a partir de coordenadas polares, se plasman en este plano según sus verticales del lugar, es decir mediante ángulos horizontales (acimuts) y distancias horizontales o distancias reducidas al horizonte”. (Echevereste, 2008).

4.1.1.2 Altimetría

“Es la técnica que permitirá obtener para cada punto visado el valor de su cota a partir de un plano horizontal de referencia, normalmente el nivel medio del mar. Para obtener la cota del punto visado la primera condición es conocer la cota del punto estación, entonces, de manera similar a la obtención de la distancia reducida, se puede calcular la diferencia de altura entre el punto estación y el punto visado con la función seno, conocida la distancia inclinada, o tangente conocida la distancia horizontal”. (Echevereste, 2008).

4.1.1.3 Métodos Taquimétricos

Por definición la taquimetría, es el procedimiento topográfico que determina en forma simultánea las coordenadas Norte, Este y Cota de puntos sobre la superficie del terreno.



- Con teodolito y mira vertical: se basa en la determinación de distancias en el paso de coordenadas polares a rectangulares,
- Con estación Total: presenta una gran ventaja dado que permite la toma y registro de datos de manera automática, eliminando errores de lectura, anotación, transcripción y calculo ya que estos son realizados en forma digital por medio de programas de computación integrados a dichas estaciones, generando archivos en diversos formatos para ser leído por programas de topografía, diseño geométrico y sistemas de información geográfica.

Las etapas de un levantamiento topográfico de pueden enumerar en la siguiente Figura 1:



Figura 1. Etapas de un levantamiento topográfico
Fuente: La Autora, 2021

➤ Trabajo de campo

Es el conjunto de operaciones desarrolladas en el terreno y se reduce a la medida de distancias y ángulos, registrando los resultados en la libreta de campo y haciendo un croquis y observaciones necesarias que aclaren las anotaciones numéricas. En el trabajo de campo se crean puntos y líneas de referencia con respecto a los cuales se determina la posición de todos los detalles del terreno.

➤ Trabajo de oficina

En esta etapa se realizan todos los cálculos de los puntos levantados.

➤ Control y entrega

Una parte muy importante en todo proyecto es el control de calidad. En esta fase se revisarán los cálculos, los planos, las bases de datos, los listados y reportes preliminares con la finalidad de corregir cualquier error que se hubiera cometido.



4.2 Geología

La Geología es “la ciencia que estudia el planeta Tierra en su conjunto, describe los materiales que la forman para averiguar su historia y su evolución e intenta comprender la causa de los fenómenos endógenos y exógenos” (Escobar, 2017).

La geología es la “ciencia que concierne a la tierra y las rocas de la que está constituida, los procesos que las formaron durante el tiempo geológico y el modelado de la superficie en el pasado y en el presente” (Btyth, 1995).

De acuerdo con la publicación desarrollada por (Molina, 2008), denominada estudios preliminares para el diseño de puentes, señala que “los objetivos de los estudios geológicos son establecer las características geológicas, tanto local como general de las diferentes formaciones geológicas que se encuentran identificando tanto su distribución como sus características geotécnicas correspondientes. Dichos estudios deberán contener la zonificación geológica, descripción geomorfológica, identificación y características de fallas, así como la descripción de los fenómenos de remoción en masa en caso de existir”.

4.2.1 Estudios geológicos

“El conocimiento de la Tierra es esencial para el desarrollo sostenible y la riqueza de los pueblos. Ecuador es un país montañoso caracterizado por una amplia diversidad de entornos geológicos. Sin embargo, la investigación geológica realizada en nuestro país es pequeña y generalmente ha tenido el carácter de reservado, por lo que no ha podido ser conocida con facilidad” (Paladines Agustín, 2010).

El análisis de los riesgos de origen geológico tiene también gran incidencia en la población y desarrollo de los pueblos, por esta razón en el presente trabajo investigativo es necesario ejecutar el estudio geológico, puesto que la geología precisa las características o propiedades del terreno, así como también determina la presencia de materiales duros y de baja resistencia, como las discontinuidades que pueden facilitar la ocurrencia de movimientos en masa a lo largo de ciertos planos de debilidad.



4.2.2 *Clasificación de las rocas según su origen*

Se entiende por roca a los materiales de la corteza que se presentan como un agregado sólido de uno o más minerales ocupando grandes extensiones, en base a esto se usa una clasificación simple, coherente y comprensiva dividiendo las rocas en tres grandes grupos de acuerdo con su origen así:

Rocas ígneas: Son rocas generadas por el enfriamiento de una masa líquida semi fundida de composición silicatada que procede del interior de la Tierra la cual se solidifica durante su proceso de ascenso hacia la superficie. En ellas se diferencian las rocas intrusivas formadas por la solidificación del magma en el interior de la tierra como: granitos, dioritas, gabros, dunitas y las rocas extrusivas formadas por la solidificación en la superficie de la lava de los volcanes dando como resultado: riolitas, basaltos, andesitas, pómez, obsidianas. (Escobar, 2017).

Rocas sedimentarias: originadas por el transporte, acumulación y consolidación de sedimentos como consecuencia de la acción del viento, el agua, el hielo. También es utilizado el término en sentido más amplio para designar cualquier material de origen sedimentario no consolidado o relativamente suelto; en este último caso se denominan depósitos sedimentarios dentro de este grupo se distinguen: Areniscas, lodolitas y calizas, depósitos de ladera y conglomerados. (Escobar, 2017).

Rocas metamórficas: se generan a partir de rocas preexistentes por cambios mineralógicos, químicos o estructurales, en respuesta a cambios en la presión, temperatura en el interior de la tierra sufriendo un reajuste en sus minerales y composición química de forma transformándose en un nuevo, en este grupo se consideran: las pizarras, los esquistos y los neises, las anfibolitas cornubianas y serpentinitas. (Escobar, 2017).

4.2.3 *Formaciones geológicas*

Según la Comisión Internacional de Estratigrafía define a una formación geológica como una unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por unas propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes. Es la principal unidad de división litoestratigráfica. Pueden asociarse en unidades



mayores (grupos), subdividirse (miembros) o diferenciarse unidades menores significativas (capas) (Escobar, 2017).

4.2.4 Mapeo Geológico

“El mapeo geológico requiere de un cierto grado de conocimiento en las disciplinas más básicas de la geología. La topografía, teledetección, petrología de rocas sedimentarias/ígneas/metamórficas, estratigrafía, geología estructural y geología económica son las más indispensables; mientras que otras como la sedimentología y paleontología pueden llegar a ser menos relevantes según el tipo de rocas que se encuentren en el área a determinar” (Ayala, 2018).

De acuerdo con la página Explorock los pasos a seguir para un mapeo geológico son los siguientes:

- **Observación**

Corresponde a la visualización del afloramiento rocoso. Implica la localización geográfica del afloramiento, detección preliminar de litologías y representación mental de las orientaciones de posibles estructuras.

En el caso del mapeo geológico orientado a la geología estructural o aplicado a la exploración es muy importante tener bien definida la asociación de estructuras. Se observan las primeras relaciones de contacto (Contactos transicionales, discordantes, netos, etc.) con la finalidad de obtener un esquema general del afloramiento.

- **Identificación**

Verificación de los rasgos geológicos observados en el proceso anterior. Se lleva a cabo mediante la determinación litológica en el mismo afloramiento haciendo uso de la piqueta o martillo geológico y una lupa de mano.

La identificación de campo es la más crucial ya que 17 de ella dependerá la cantidad y sobre todo la calidad y coherencia de la información a medir.

- **Medición**

Al tener litología, relaciones de campo y asociación estructural definidas, se procede a determinar las magnitudes y direcciones a las orientaciones de los elementos



planares/lineares; para esto, se hace uso de la brújula la cual entrega los rumbos y buzamientos de la mejor manera posible.

- **Ploteo de datos**

Todos los datos de observación, rumbos y buzamientos además de los trazos de lineamientos/fallas/pliegues se dibujan a mano tomando como referencia las curvas de nivel. Los dibujos se bosquejan de forma manual con identificativos que representen un tipo de roca o edad geológica en especial.

Los afloramientos rocosos quedan representados por polígonos cuyos colores se asignan según su tipo de roca o edad, mientras que las líneas correspondientes a la proyección horizontal de estratos, planos de falla u otros elementos planares se representan como líneas (Ayala, 2018).

4.3 Geología estructural

La geología Estructural es una parte de la geotecnia, es decir, que esta asignatura geológica estudia las particularidades de la estructura y desarrollo de la corteza terrestre relacionadas con los procesos mecánicos, movimientos y deformaciones que en ella tiene lugar (Belousouv, 1979).

La Geología estructural como la rama de la geología que se dedica a estudiar la corteza terrestre, sus estructuras y la relación de las rocas que las forman. Estudia la geometría de las rocas y la posición en que aparecen en superficie. Interpreta y entiende la arquitectura de la corteza terrestre y su relación espacial, determinando las deformaciones que presenta y la geometría subsuperficial de las estructuras rocosas (Rojas, 2011).

4.3.1 Elementos estructurales

Al referirnos a los elementos estructurales que menciona Tarbuck & Lutgens (2005) en el libro “Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física”, los define como un conjunto de elementos geológico-estructurales necesarios para describir la orientación de un plano geológico.

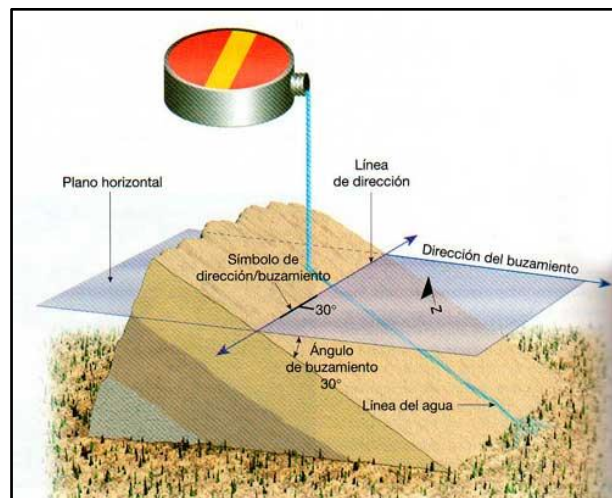


Figura 2. Medición de Dirección y Buzamiento de un estrato rocoso
Fuente: Tarbuck, 2005

4.3.2 Estructuras Geológicas

Las estructuras geológicas determinan el desarrollo del relieve terrestre están relacionadas con accidentes o movimiento tectónicos dando como resultado características distintas como: la forma, tamaño, profundidad, orientación, desplazamiento y tipo de material.

Como se demuestra en la **figura 3**, se define dirección como el ángulo entre el norte magnético y una línea obtenida mediante la intersección de un estrato inclinado, o falla, con un plano horizontal, se suele expresar como el valor del ángulo en relación con el Norte. Mientras que el buzamiento es el ángulo de inclinación de un plano geológico como por ejemplo una falla, medido desde un plano horizontal, incluyendo tanto el valor del ángulo de inclinación como la dirección hacia la cual la roca está inclinada. La dirección de caída formará un ángulo de 90° con la dirección. (Tarbuck, 2005).

4.3.2.1 Discordancias.

Las discordancias consisten en una superficie de erosión o no deposición, que separa las rocas jóvenes de las más antiguas. Representan un tiempo donde no hubo depósitos de sedimentos. Existe discordancia paralela, que es aquella donde los estratos se encuentran paralelos en la parte superior e inferior de la superficie de erosión. Por otro lado, la discordancia de las rocas ígneas o metamórficas se conoce como discordancia litológica, donde las rocas están expuestas a procesos erosivos y después son cubiertas por sedimentos (Chavez, 2006).

4.3.2.2 Pliegues

Al definir los pliegues, pueden encontrarse tanto en los estratos sedimentarios son amplias flexuras en las cuales unidades rocosas de centenares de metros de grosor se han doblado ligeramente, mientras que otros son estructuras microscópicas muy apretadas que se encuentran en las rocas metamórficas, la mayoría de los pliegues se produce como consecuencia de esfuerzos compresivos que provocan el acortamiento y engrosamiento de la corteza. (Tarbuck & Lutgens, 2005) En cambio, Escobar G. D. (2017), les denomina arrugas producidas en las rocas mientras se encuentran en su estado plástico; sus dimensiones van de centímetros a cientos de km, produciendo preferentemente en los bordes compresivos de las placas, es decir, en las zonas de subducción, y en general a importante profundidad.

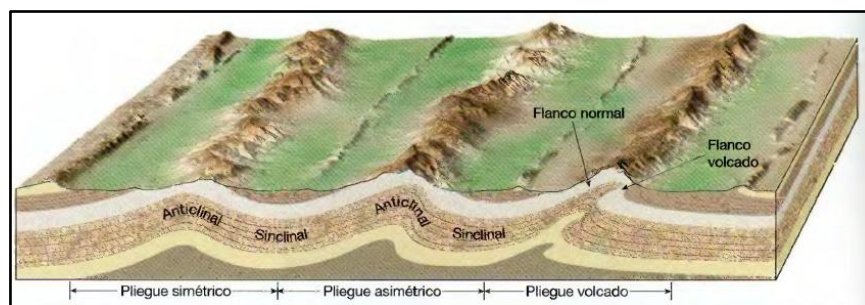


Figura 3. Bloque diagrama de los principales tipos de pliegues

Fuente: Tarbuck, 2005

➤ Simétricos

Cuando los flancos son imágenes especulares el uno del otro, es decir si los pliegues tienen un cierto equilibrio geométrico: equidistantes y al mismo nivel.

➤ Asimétricos

Se define asimétrico cuando el plano axial no divide simétricamente el pliegue en dos partes iguales, se dice que está volcado si uno de los flancos está inclinado más allá de la vertical.

➤ Volcado

Se trata de un pliegue inclinado en el que el plano axial presenta una inclinación próxima a la horizontal. Un pliegue volcado puede también descansar sobre su flanco, de manera que un plano que se extendiera a través del eje del pliegue sería en realidad horizontal. (**figura 4**).



Un pliegue se conforma por varios elementos, estos son:

- Plano axial: es el eje que divide en dos partes iguales al pliegue.
- Eje: es la intersección entre el plano horizontal y el plano axial.
- Charnela: es el punto de mayor curvatura en el pliegue.
- Cresta: el punto más elevado del pliegue.
- Flancos: son las partes laterales del pliegue (Chavez, 2006).

4.3.2.3 Fallas

Se puede definir a las fallas como fracturas en la corteza a lo largo de las cuales ha tenido lugar un desplazamiento apreciable, se suelen poder reconocer pequeñas fallas en los taludes de las carreteras, donde se pueden observar estratos sedimentarios desplazados unos pocos metros. Las fallas de esta escala normalmente aparecen como pequeñas rupturas aisladas. Por el contrario, las grandes fallas, tienen desplazamientos de centenares de kilómetros y consisten en muchas superficies falladas interconectadas. Estas zonas de falla pueden tener una anchura de varios kilómetros y a menudo son más fáciles de identificar (Tarbuck, 2005).

➤ Tipos principales de fallas

Los tipos principales de fallas se denominan fallas normales, fallas inversas y falla transformante.

✓ Fallas normales

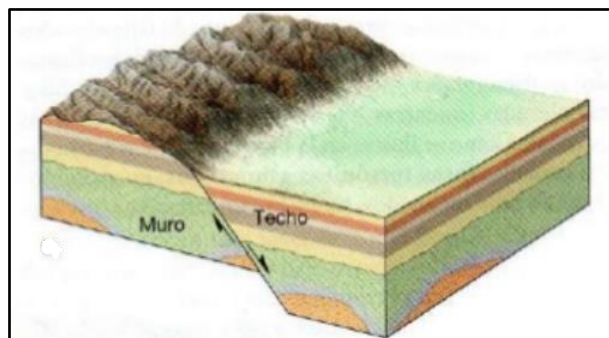


Figura 4. Bloque diagrama de falla normal
Fuente: Tarbuck, 2005

Se denominan fallas normales cuando el bloque de techo se desplaza hacia abajo en relación con el bloque de muro, además tienen buzamientos de unos 60°, que tienden a



disminuir con la profundidad. Sin embargo, también presentan buzamientos mucho menores, aproximándose en algunos casos a la horizontal. Debido al movimiento descendente del techo, las fallas normales acomodan el alargamiento, o la extensión, de la corteza. (figura 5).

✓ **Fallas inversas y cabalgamiento**

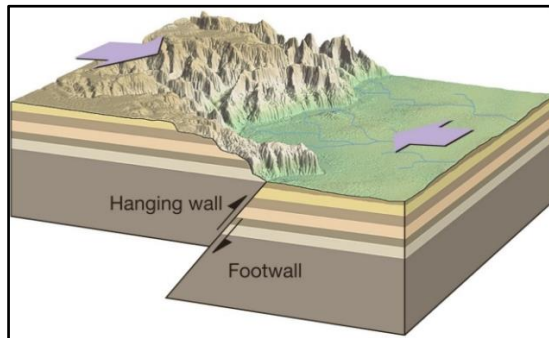


Figura 5. Bloque diagrama de falla inversa
Fuente: Tarbuck, 2005

Se definen como fallas inversas y cabalgamientos a las fallas con desplazamiento vertical en las cuales el bloque de techo se mueve hacia arriba con respecto al bloque de muro, como se observa en la **figura 6**, contando con un buzamiento superior a 45° y que los cabalgamientos tienen buzamientos inferiores a 45° . Las fallas inversas de alto ángulo suelen ser pequeñas y acomodan desplazamientos locales en regiones dominadas por otros tipos de fallas. Los cabalgamientos, por otro lado, existen a todas las escalas. Los cabalgamientos pequeños exhiben desplazamientos que oscilan entre milímetros y unos pocos metros.

✓ **Falla Transformante**

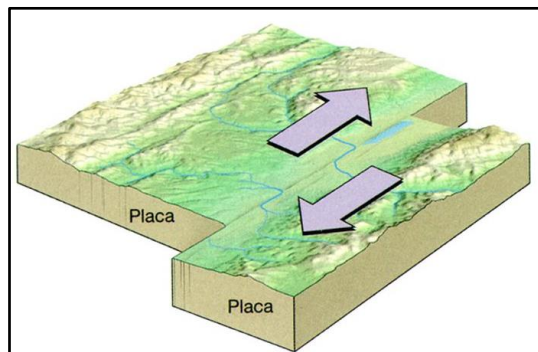


Figura 6. Bloque diagrama de falla transformante
Fuente: Tarbuck, 2005



Se denomina a las fallas transformantes a las que en las que el desplazamiento dominante es horizontal y paralelo a la dirección de la superficie de la falla, se denominan fallas de desplazamiento horizontal o desgarres, por su gran tamaño y a su naturaleza lineal, muchas fallas de desplazamiento horizontal tienen una traza que es visible a lo largo de una gran distancia, existiendo un tipo especial de falla direccional se denomina falla transformante, siendo el claro ejemplo la Falla de San Andrés. **(figura 7)**.

4.3.3 Movimientos en Masa

Los movimientos en masa son aquellos que desplazan grandes volúmenes de material rocosos y/o suelo a lo largo de las pendientes. Estos fenómenos necesitan de un agente externo que lo ponga en marcha como por ejemplo la precipitación. En los términos contextuales, además, se definen varias clasificaciones de estos movimientos en función de mecanismos de rotura, zonas de falla, tipos de material, entre otras (Varnes, 1978).

Es por este efecto que en la presente investigación se sintetiza el desarrollo teórico en clasificar a los movimientos de masa en:

4.3.3.1 Deslizamientos

Los deslizamientos de tierra producen cambios en la morfología del terreno, con diversos daños ambientales, en infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, entre otros. (Suárez D. , 1998). En el término “deslizamiento” se incluyen tanto los procesos de erosión como los procesos denudacionales.

✓ Movimiento Rotacional.

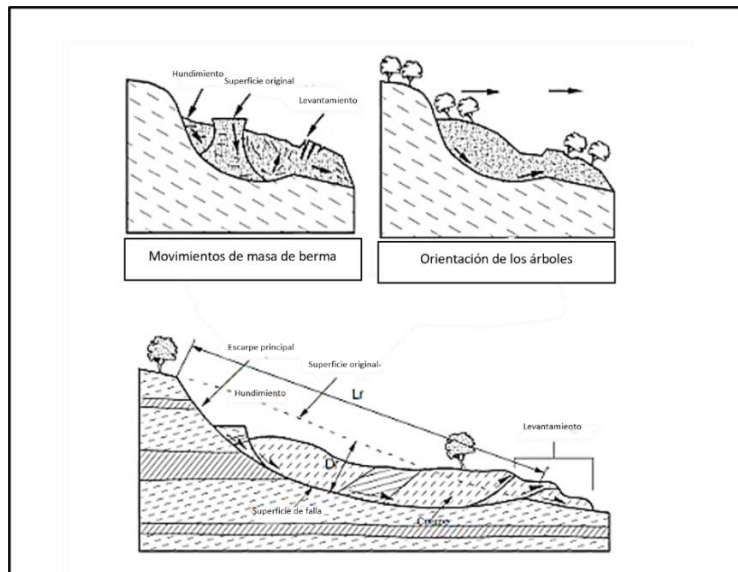


Figura 7. Esquema de un proceso de deslizamiento rotacional típico
Fuente: Suárez J., 2009

El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, lo cual genera, por lo general, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento, la cabeza del movimiento báscula hacia atrás y los árboles se inclinan, de forma diferente, en la cabeza y en el pie del deslizamiento (**figura 8**).

✓ **Movimiento Traslacional.**

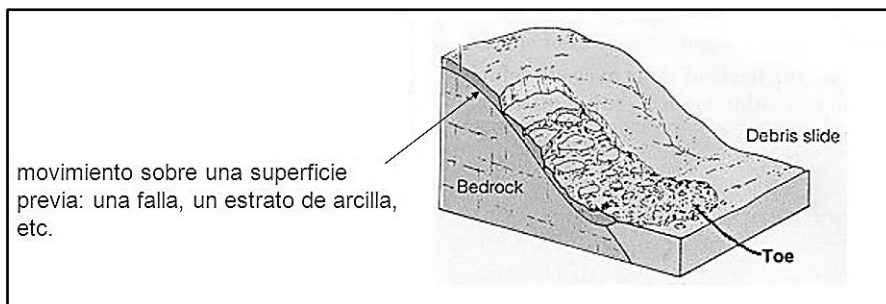


Figura 8. Esquema de un proceso de deslizamiento traslacional
Fuente: Suárez J., 2009

El movimiento traslacional se caracteriza porque la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco movimiento de rotación o volteo. En muchos desplazamientos de traslación, la masa se deforma o se rompe y puede convertirse en flujo, especialmente en las zonas de pendiente fuerte (**figura 9**).



4.4 Marco Geotécnico

4.4.1 Geotecnia

La ingeniería geotécnica es la rama de la ingeniería geológica que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la Tierra. Además, permite entender cabalmente los principios de la mecánica puesto que es importante conocer las condiciones bajo las cuales determinados materiales fueron creados o depositados y los posteriores procesos estructurales o diagenéticos que han sufrido. Ingeniería Geotécnica es la rama de la Ingeniería Geológica que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la Tierra (Sagaseta, Introducción a la Geotecnia: Tipos y Propiedades de los suelos., 2010).

La Geotecnia es la aplicación de métodos científicos y de principios de la ingeniería a la adquisición, interpretación y uso del conocimiento de los materiales de la corteza terrestre y de la tierra para la solución de problemas de ingeniería civil y prevención de riesgos naturales. (Braja M. , 2015).

Algunos ejemplos de la aplicación de la Geotecnia son:

La aplicación de la mecánica de suelos, rocas y aguas subterráneas para:

- a. el diseño de las estructuras en suelos y / o rocas (ej. Presas y puentes);
- b. el diseño de las bases de los puentes carreteras y edificios (cimentaciones);
- c. diseño de túneles;
- d. el diseño de obras para la estabilización de taludes y el control de inundaciones.

La predicción, la prevención o mitigación de daños producidos por fenómenos naturales, tales como: avalanchas, flujos de lodo, deslizamientos, derrumbes, hundimientos, o efectos secundarios por las erupciones volcánicas.

4.4.2 Caracterización Geotécnica del Terreno

La caracterización geotécnica tiene como finalidad “recopilar e interpretar de forma técnica la información obtenida por medio de los estudios geotécnicos, con el propósito de caracterizar el suelo o material del sitio donde se desea realizar un proyecto, y así determinar



mediante una evaluación detallada de los posibles modos de falla y deformaciones que pueden acontecer en el estrato de estudio”. (Ureta, 2017).

4.4.2.1 Método directo

En estos métodos de exploración se obtienen muestras que sirven para conocer las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de los materiales. Las muestras representativas obtenidas pueden ser, alteradas o inalteradas que son necesarias en caso de tipos de obras de infraestructura donde se requiere obtener parámetros mecánicos mediante pruebas especiales de laboratorio, de pruebas índice y pruebas comunes de laboratorio (SIAPA, 2014).

4.4.2.1.1 Calicatas y sondeos geotécnicos

Las calicatas son el método más barato de exploración superficial, proporcionan una visión clara de la estratificación de los suelos y facilitan la toma de muestras de suelo cortadas a mano, evitando la alteración.

Son excavaciones de pozos que proporcionan información fiable para facilitar el reconocimiento geotécnico o estudios edafológicos de un terreno, son útiles a la hora de determinar la cota de aparición de un estrato y poder identificar la sucesión geológica, permiten obtener muestras para realizar ensayos en laboratorio (granulometría y límites de Atterberg) y es el único medio de exploración que se puede realizar en suelos con grava pero su principal inconveniente es que no determinan la capacidad portante del terreno (González de Vallejo, 2002).

A la hora de realizar una calicata se debe proceder a retirar la capa de tierra vegetal, a fin de no contaminar los materiales que se van a recuperar; la sección mínima recomendada es de 0,80 m por 1,00 m, a fin de permitir una adecuada inspección de las paredes; de los materiales recuperados se tomará una muestra una porción de la parte media otra porción de la parte superior y otra de la parte inferior de cada uno de los materiales seleccionados, luego se recogerán en bolsas plásticas para finalmente identificar la muestra mediante etiquetado.

4.4.2.2 Mecánica de Suelos

La mecánica de suelos es la rama de la ciencia que trata el estudio de sus propiedades físicas y el comportamiento de masas de suelos sometidas a varios tipos de fuerzas. La



ingeniería de suelos es la aplicación de los principios de la mecánica de suelos a problemas prácticos. La ingeniería geotécnica es la ciencia y práctica de aquella parte de la ingeniería civil que involucra materiales naturales encontrados cerca de la superficie de la Tierra (Braja M. , 2015).

4.4.2.2.1 Estudio de Suelos

El estudio de suelos se entiendo como el proceso de identificación de los estratos de depósitos que subyacen a una estructura propuesta; sus características físicas se denominan generalmente exploración del subsuelo, cuyo propósito es obtener información que ayude al ingeniero al ingeniero en geotecnia en las siguientes tareas:

- Seleccionar el tipo y profundidad de una cimentación adecuada para una estructura dada y evaluar la capacidad de carga de la cimentación.
- Determinar problemas potenciales de la cimentación (por ejemplo, suelo expansivo, suelo colapsable, rellenos sanitarios, vías, entre otros).
- Establecer métodos de construcción para condiciones cambiantes del subsuelo.

4.4.2.2.2 Ensayos de Mecánica de Suelos

Los ensayos y estudio de las muestras se las realizan de acuerdo con el trabajo que se vaya a realizar, los cuales enuncia a continuación:

- Humedad Natural del Suelo, permite determinar la cantidad de agua que posee un suelo.
- Granulometría del Suelo, se determina el tamaño de los granos del suelo.
- Límite de consistencia del Suelo, permite determinar:
 - a. Límite líquido, es el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra.
 - b. Límite plástico, suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.
- Índice de plasticidad, es la diferencia numérica entre los límites líquidos y plásticos.
- Peso Específico, es la relación entre el peso de la muestra y el volumen de la muestra.
- Compactación, es la eliminación total o parcial de los vacíos del terreno mediante procesos mecánicos.



4.4.2.2.3 *Humedad Natural del Suelo*

La humedad de los suelos se define como del peso del agua contenida en el suelo sobre el peso de los sólidos expresada en porcentaje. Suele variar entre 5-8% en suelos granulares (arenas y gravas) entre 60 - 70 % en suelos arcillosos, aunque en suelos orgánicos alcanzan valores de 300- 400%. El ensayo para encontrar el contenido de humedad se lo realiza mediante la norma ASTM D- 2216. Contenido de humedad (w).

$$W = \frac{W_s}{W_w} \text{ (1)}$$

Dónde:

Ws= Peso de los sólidos

Ww= Peso del agua

4.4.2.2.4 *Granulometría del Suelo*

La granulometría se define como la repartición en promedio de las dimensiones de las partículas constituyentes del suelo, expresada en términos del porcentaje con respecto del peso total del material. Como la variación del peso de las partículas es en general baja, la distribución de los tamaños en función de peso o volumen son prácticamente equivalentes en la práctica (Sáez, 2010).

La granulometría se representa a través de una curva granulométrica (**figura 10**) trazada en las abscisas representan el diámetro medio de las partículas (D), las ordenadas corresponden al porcentaje en peso del material total que posee un diámetro inferior al de la abscisa correspondiente (porcentaje acumulado pasando en peso).

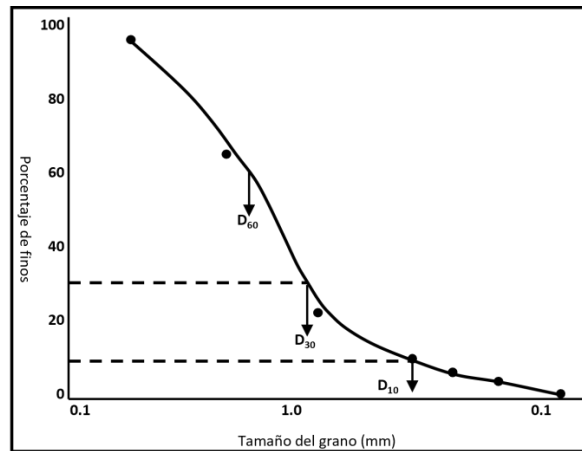


Figura 9. Curva granulométrica. Definición de D_{10} , D_{30} y D_{60}
Fuente: Sáez, 2010

Si D_p corresponden al diámetro de la Ordenada $p\%$ se define: Tamaño Efectivo (D_{10})

Coefficiente de uniformidad o de Hazen:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2)$$

Coefficiente de Curvatura:

$$C_U = \frac{(D_{30})^2}{D_{10}D_{60}} \quad (3)$$

En suelos granulares como gravas y arenas se habla de suelos bien y mal graduados. Se considera bien graduado si tiene bien repartido todos los tamaños de partículas. Se considera mal graduado si faltan partículas de cierto diámetro. Los coeficientes de uniformidad y curvatura de un suelo bien graduado.

Para poder determinar el tamaño de grano se procede con algunos métodos de carácter mecánico, así (Braja, 2011), asegura que el “análisis mecánico es la determinación del rango del tamaño de partículas presentes en un suelo, expresado como un porcentaje del peso (o masa) seco total”. Se usan generalmente dos métodos para encontrar la distribución del tamaño de las partículas del suelo: análisis con cribado, y análisis hidrométrico, refiriéndonos únicamente al primero consiste en sacudir la muestra de suelo a través de un conjunto de mallas que tienen aberturas progresivamente más pequeñas. Los números de las mallas estándar con sus tamaños de aberturas



(usadas en Estados Unidos) se dan en la **tabla 1**. Primero el suelo se seca en horno, y luego todos los grumos se disgregan en partículas pequeñas antes de ser pasados por las mallas. Todos los tamices cumplen con la norma ASTM E11; AASHTO M92.

Tabla 1. *Tamaño patrón de tamices ASTM*

Tamices serie ASTM											
Nro.	Abertura	Nro.	Abertura	Nro.	Abertura	Nro.	Abertura	Nro.	Abertura	Nro.	Abertura
5"	12700	1 1/2"	38.10	3/8"	9.53	12	1.70	60	0.250	325	0.041
4.24"	107.70	1 1/4"	31.75	5/16"	7.94	14	1.40	70	0.212	400	0.05
4"	101.60	1.06"	26.92	0.265"	6.73	16	1.18	80	0.180	450	0.031
3 1/2"	88.90	1"	25.40	1/4"	6.35	18	1.00	100	0.150	500	0.028
1 3/4"	82.55	7/8"	22.23	4"	4.75	20	0.85	120	0.125	635	0.021
3"	76.20	3/4"	19.05	5"	4.00	25	0.71	140	0.106		
2 1/2"	63.50	5/8"	15.88	6"	3.35	30	0.60	170	0.090		
2.12"	53.85	0.53"	13.46	7"	2.80	35	0.50	200	0.075		
2"	50.80	1/2"	12.70	8"	2.36	40	0.43	230	0.065		
1 3/4	44.45	7/16"	11.11	10"	2.00	50	0.36	270	0.053		

Fuente: ELE International. Testing Equipment for Construction Materials Catalog 2007

4.4.2.2.5 Clasificación del Suelo por los Métodos AASTHO Y SUCS

A partir de los diferentes ensayos que se realizan a muestras determinadas de suelo, se puede desarrollar clasificaciones como la S.U.C.S y AASHTO las cuales permiten definir de manera concreta las características generales que presenta un suelo. Estas clasificaciones utilizan datos fundamentales para emitir un criterio acerca del tipo de suelo y para ello se necesita dos parámetros fundamentales como la granulometría y límites de Atterberg, siendo que estas establecen tanto la distribución de las partículas de suelo, como la cantidad de agua contenida en la muestra escogida de suelo y en función de ello la humedad.

La importancia de poder llegar a la clasificación de suelos no solamente radica en darle una nomenclatura, sino en orientar los datos obtenidos para realizar un buen diseño de cimentación con respecto a un cierto terreno, esto en dependencia de la obra estructural que se pretenda implantar. Los datos de capacidades de carga y posibles asentamientos son fundamentales para el diseño de cimentación.

➤ Clasificación AASHTO



Este método de clasificación considera siete grupos mayores de suelos numerados desde el grupo A-1 hasta el A-7. Los suelos clasificados en los guipes A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por el tamiz No. 200. Los suelos que contienen más del 35% de partículas que pasan por el tamiz No. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 formados mayoritariamente por limo y arcilla (**tabla 2**). Los materiales clasificados en el grupo A-1 son considerados como excelentes para ser usados en la Subestructura de las vías, mientras que los clasificados en A-7 son considerados como los peores materiales (Arizaga, 2014).

Tabla 2. Clasificación de Suelo AASHTO

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz # 200)							Materiales limo arcillosos (más del 35% pasa el tamiz #200)			
Clasificación de grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado % que pasa											
No 10 (2.00mm)	50 máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No 40 (425 m)	30 máx.	50 máx.	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
No 200 (75 m)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min	36 min	36 min
Consistencia											
Límite Líquido	-		-	B				40 máx.	41 min	40 máx.	41 min
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	B				10 máx.	10 máx.	11 min	11 min
Tipos de materiales característico	Cantos, grava y arena		Aren a Fina	Grava y Arena limo arcillosas				Suelo Limosos		Suelos Arcillosos	
Calificación	Excelente a Bueno							Regular a medio			
* La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2											
* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que el LL-30.											

Fuente: Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. AASHTO.

➤ Clasificación S.U.C.S.

El método S.U.C.S. tiene su propia nomenclatura para suelos granulares, las siglas son G (Grava), S (Arena), W (Bien graduado), y P (Mal graduado). Para suelos finos la nomenclatura es, M (Limo), C (Arcilla), H (Alta compresibilidad), L (Baja compresibilidad), y para suelos orgánicos Pt (Turba) (Arizaga, 2014).



Los suelos de partículas gruesas y partículas finas se distinguen mediante el cribado del material por la malla N° 200. Los suelos corresponden a los retenidos en dicha malla y los finos a los que pasan, y así un suelo se considera grueso si más del 50% de las partículas de este son retenidas en la malla N° 200 (**tabla 3**), y fino si más del 50 % de sus partículas son menores que dicha malla, la simbología se detalla en la (**tabla 4**).

Tabla 3. Clasificación de Suelo S.U.C.S. para Grano Grueso

Divisiones mayores		Símbolo de grupo		Nombres típicos	Criterios de clasificación para suelos granulares	
Suelos de Grano grueso (más del 50% del material es mayor en tamaño que el tamiz #200)	Gravas (más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz #4)	GW		Gravas bien gradadas, mezclas gravosas, pocos o ningún fino	Cc= D60/D10 >4. Cc = 1 < D ² 30/D10 * D60 < 3	
		GP		Gravas probablemente gradadas, mezclas grava, arena, pocos o ningún fino	No cumplir todos los requisitos de gradación para GW	
		G M	D U	Gravas limosas, mezclas grava – arena – limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o IP <4	A los materiales está con la línea A con 4 < Ip < 7 se considera de frontera y se les asigna doble símbolo
		GC		Gravas arcillosas, mezclas grava – arena - arcillosas	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o IP >7	
	Arenas (más del 50% de la fracción gruesa es menor que el tamiz #4)	SW		Arenas bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	Cc= D60 / D10 > 6. Cc = 1 < D ² 30/D10 * D60 < 3	
		SP		Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas. Pocos o ningún fino	No cumplir todos los requisitos de gradación para SW	
		S M	D u	Arenas limosas, mezclas arena – limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o IP <4	Si el material está en la zona sombreada con 4 ≤ Ip ≤ 7 se considera de frontera y se les asigna doble símbolo
		SC		Arenas arcillosas, mezclas arena – arcilla	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o IP >7	

Fuente: Clasificación S.U.C.S para suelo granular. Casagrande, 1942, Manual de Carreteras, 2000.



Tabla 4. Clasificación de Suelo S.U.C.S. para Grano Fino

Divisiones mayores	Símbolo de grupo	Nombres típicos	Criterios de clasificación para suelos granulares	
Suelos de grano fino (más del 50% del material pasa el tamiz N° 200)	Limos y arcillas (límite líquido $L_i < 50$)	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad	
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.	
		OL	Limos inorgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	
	Limos y arcillas (límite líquido > 50)	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos	
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas	
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta limos orgánicos	
	Suelos altamente orgánicos	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva granulométrica 2. dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el tamiz N° 200) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos de 5 % = GW, GP, SW, SP Más del 12% = GM, GC, SM, SC. De 5 a 12% = casos de frontera que requieren doble símbolo

Fuente: Clasificación S.U.C.S para suelos finos. Casagrande, 1942, Manual de Carreteras, 2000.

4.4.2.2.6 Límites de Atterberg

En la medida que el contenido de humedad de una muestra de suelo decrece, el material pasa por diversos estados (Sáez, 2010):

Estado líquido (Límite líquido LL): entre el estado líquido y el plástico). El suelo se desparrama cuando se posa sobre una superficie horizontal. No posee prácticamente ninguna resistencia y las partículas están prácticamente separadas por agua.

Estado plástico (Límite plástico LP): entre el estado plástico y el sólido.). El suelo es estable en estado natural, pero sufre grandes deformaciones (en gran parte irreversibles) cuando se le aplica carga sin variar significativamente su volumen, y sin presentar figuración. El suelo está en un estado maleable que conserva la forma luego de imponer deformaciones.

Estado sólido (Límite de contracción W_s): entre el estado sólido con reducción de volumen y el sólido sin contracción). El suelo tiene el comportamiento de un sólido, es decir,

la aplicación de cargas induce pequeñas deformaciones. El paso al estado sólido va acompañado de una reducción de volumen o contracción. (**figura 11**).

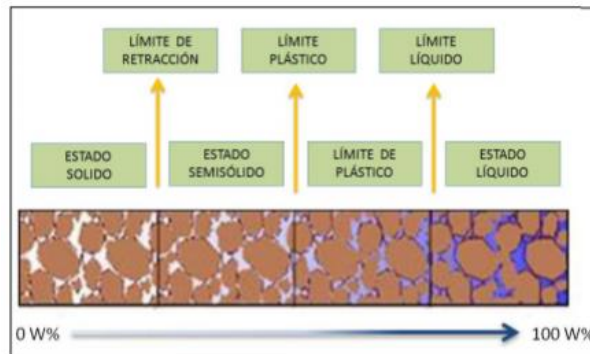


Figura 10. Estados del suelo en función del contenido de humedad
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Sáez, 2010).

4.4.2.2.7 Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad (PI) como lo expresa (Braja. Op. cit, 65) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo, el cual representa la variación de humedad que puede tener un suelo que se conserva en estado plástico. Tanto el límite líquido como el límite plástico dependen de la calidad y tipo de arcilla presente en la muestra, sin embargo, el índice de plasticidad depende generalmente, de la cantidad de arcilla en el suelo. Es determinando con la siguiente ecuación.

$$IP=LL-LP \quad (4)$$

Del cálculo del índice de plasticidad se obtiene parámetros para complementar la clasificación del suelo con lo que se puede conocer el predominio de la fracción arcillosa y limosa (Sáez, 2010).

4.4.2.2.8 Ensayos de compactación

En diversos proyectos el suelo es colocado como relleno en bases de carreteras, terraplenes, rellenos de fundación entre otros, el cual debe ser compactado a un estado denso, para obtener propiedades geotécnicas apropiadas como resistencia al corte, compresibilidad, permeabilidad.



Los ensayos de compactación realizados en el laboratorio proporcionan información necesaria para determinar el porcentaje de compactación y el contenido de agua requerida.

El principal objetivo de la compactación es aumentar la resistencia al corte, mejorando así la estabilidad de los terraplenes y la capacidad de carga de cimentaciones, disminuir la compresibilidad evitando los asentamientos y disminuir la relación de vacíos por consiguiente reducir la permeabilidad.

➤ *Ensayo Proctor*

En mecánica de suelos, el ensayo de compactación Proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, condición que optimiza el inicio de la obra con relación al costo y el desarrollo estructural e hidráulico.

Existen dos tipos de ensayo Proctor normalizados; el "Ensayo Proctor Normal", y el "Ensayo Proctor Modificado". La diferencia entre ambos estriba en la distinta energía utilizada, debido al mayor peso del pisón y mayor altura de caída en el Proctor modificado.

Ambos ensayos se deben al ingeniero que les da nombre, Ralph R. Proctor (1933), y determinan la máxima densidad que es posible alcanzar para suelos o áridos, en unas determinadas condiciones de humedad, con la condición de que no tengan excesivo porcentaje de finos, pues la prueba Proctor está limitada a los suelos que pasen totalmente por la malla No 4, o que tengan un retenido máximo del 10 % en esta malla, pero que pase (dicho retenido) totalmente por la malla 3/8". Cuando el material tenga retenido en la malla 3/8" deberá determinarse la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo con la prueba de Proctor estándar.

El ensayo consiste en compactar una porción de suelo en un cilindro con volumen conocido, haciéndose variar la humedad para obtener el punto de compactación máxima en el cual se obtiene la humedad óptima de compactación:

La Normalización del método es según la norma ASTM D-1557 o UNE 103-501-94

➤ *Ensayo de CBR*



El ensayo de CBR mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, la ASTM denomina a este ensayo, simplemente como —Relación de soportel y está normado con el número ASTM D 1883-73. Este método fue propuesto en 1929 por los ingenieros T. E. Stanton y O. J. Porter del departamento de carreteras de California. Desde esa fecha tanto en Europa como en América, el método CBR se ha generalizado y es una forma de clasificación de un suelo para ser utilizado como subrasante o material de base en la construcción de carreteras. Se aplica para la evaluación de la calidad relativa de suelos de subrasante, algunos materiales de subbases y bases granulares, que contengan solamente una pequeña cantidad de material que pasa por el tamiz de 50 mm, y que es retenido en el tamiz de 20 mm. Se recomienda que la fracción no exceda del 20%.

4.4.2.3 Métodos Indirectos.

También llamados Geofísicos, con estos métodos de exploración se realizan mediciones indirectamente de propiedades físicas de los suelos y rocas. Los principales métodos geofísicos son los siguientes: Sísmico, Eléctrico, Gravimétrico, Magnetométrico.

➤ Prospección Geofísica

La geofísica exploratoria, es en la actualidad un producto de varias disciplinas básicas tales como la física, química y las matemáticas. Las diversas técnicas de la prospección geofísica están basadas en varios principios físicos fundamentales, como son las leyes de la atracción gravitatoria y magnética, las cuales gobiernan en óptica de refracción y la reflexión (tal como se aplica a la prospección sísmica), los elementos de la electricidad y la teoría electromagnética.

Los métodos eléctricos de prospección van adquiriendo creciente importancia en la geología aplicada, en que las técnicas por resistividad son empleadas para determinar la profundidad a que se encuentran los lechos rocosos, al proyectar emplazamientos de presas o cimentaciones para otras obras de ingeniería.

4.4.2.3.1 Sísmica de Refracción

En la tesis denominada “Ensayos Geofísicos para la Exploración de Suelos en estructuras patrimoniales” se señala que la refracción sísmica es una técnica que se enmarca en los

métodos de exploración geofísica que estudian la propagación de ondas sísmicas producidas artificialmente y establece una relación con la configuración del suelo en estudio. Se aplica a estudios geológicos, geotécnicos, hidrológicos, de exploración minera y petrolera y a las investigaciones arqueológicas. Su objetivo es la obtención del perfil geológico, la detección de mantos de roca, nivel freático, estratigrafía, etc. Adicionalmente se la emplea para la medición indirecta de la rigidez de los estratos ensayados (Lopez, 2016).

En este ensayo se calculan los tiempos que toma en propagarse las ondas de compresión generadas en la superficie hacia los distintos sensores alineados con la fuente (martillo) que genera la onda. En los sensores más cercanos a la fuente la primera llegada corresponde a la onda directa, mientras que para los sensores más lejanos la onda refractada podría llegar antes siempre y cuando $V_2 > V_1$ como se lo señala en la **figura 13**.

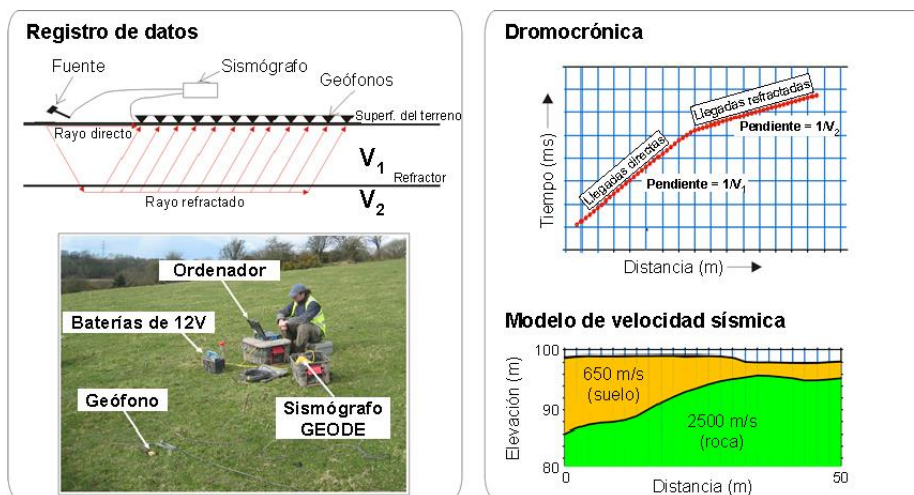


Figura 11. Esquema del ensayo de refracción sísmica
Fuente: López, 2016.

El sismógrafo al interceptar la llegada de las ondas proporciona los sismogramas, gráficos donde se recogen los tiempos de llegada de la onda a cada geófono. En base a este sismograma y distancia entre los geófonos se construye una gráfica (dromocrona) que relaciona esta distancia del geófono al punto donde se originó la perturbación, con el tiempo que tardó en registrarse la onda en ese geófono. Como las ondas directas y refractadas comienzan a llegar al geófono en tiempos diferentes bien determinados se calculan de la dromocrona los valores típicos de V_1 y V_2 . En los geófonos próximos al punto de la explosión las ondas directas llegan antes; en los alejados llegan primero las refractadas. Hay



un punto de cruce, en el cual los dos tipos de onda llegan a la vez. (Naranjo & Dranichnikov, 2012).

El mismo autor menciona que se obtienen así dos rectas que, se cruzan en la abscisa. Si (Xc) es la abscisa de tal punto, puede demostrarse que:

$$H = \frac{X_c}{2} * \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}} \quad (5)$$

Donde:

H: Es el espesor del estrato de suelo homogéneo.

V1 Y V2: Velocidades que se determinan de las pendientes de las 2 rectas.

Al conocer los valores de las velocidades de las ondas “P” y “S” (Vp y Vs), se pueden determinar las propiedades elásticas de las diferentes capas detectadas. Las velocidades Vp y Vs están en función del coeficiente Poisson (η) y del módulo de Young (E), según las ecuaciones:

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\eta)}{\delta(1+\eta)(1-2\eta)}} \quad (6)$$

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{2\delta(1+\eta)}} \quad (7)$$

De donde:

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{(1-\eta)}{(1-2\eta)}} \quad (8)$$

Según se cita en (Naranjo & Dranichnikov, 2012), que De la relación de velocidades Vp y Vs se puede obtener las ecuaciones para el cálculo de las propiedades elásticas del material del terreno; tales como coeficientes de Poisson, módulo de elasticidad y módulo de corte.

➤ **Coefficiente de Poisson (ν)**

Cuando un cuerpo se acorta por efecto de una compresión, se alarga en la dirección perpendicular a la compresión. Un cuerpo alargado por efecto de una tracción disminuye su ancho en la dirección perpendicular a la tensión. La relación entre la deformación transversal



($\epsilon\alpha$) y la deformación longitudinal (ϵl) se denomina coeficiente de Poisson. (Naranjo & Dranichnikov, 2012)

$$\nu = \frac{\epsilon\alpha}{\epsilon l} \quad (9)$$

En función de las velocidades V_p y V_s

$$\nu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (10)$$

Cuando una tensión actúa en un cuerpo en una dirección y el volumen del cuerpo es constante, el coeficiente de Poisson tiene su valor máximo igual a 0.5,

La valoración de las clases de macizos rocosos se aprecia para roca consolidada no alterada 0.2-0.3 y para roca sedimentaria clástica 0.2-0.5.

4.4.2.4 Mecánica de Rocas

4.4.2.4.1 Macizo Rocoso.

Se define Macizo Rocoso como la forma en la que se presentan las rocas en el medio natural. Así pues, un macizo rocoso estará definido por la roca y la estructura, que a su vez contendrá planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales. Los macizos rocosos son por tanto discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisótropas (Alejano, 2004).

4.4.2.4.2 Caracterización del Macizo Rocoso

La caracterización de un macizo rocoso viene a constituir la fase inicial en todo estudio geológico- geotécnico, y está basado en la descripción de las características particulares que influyen en el comportamiento mecánico del macizo, para hacer frente a los procesos de excavación ya sea a cielo abierto o subterráneo. La caracterización de macizos está fundamentada en la descripción de afloramientos y sondajes de perforación, acodadas a ensayos y medidas adicionales de laboratorio (Andrade, 2004)

➤ Rock Quality Designation (RQD).



El Índice RQD es utilizado para caracterizar el grado de fracturación de un macizo rocoso. Este método fue desarrollado por Deere en 1963. Consiste en recolectar muestras de núcleos de perforación con una sección de 100cm, por otro lado, se considera aquellas piezas que tengan un núcleo intacto mayor a 10cm de longitud, se suman y se dividen para la longitud total de la muestra obtenida (Flores, 2019).

La calidad de roca R.Q.D se puede determinar a partir de juntas J_v que indican el número de juntas por m³ observadas en un afloramiento. El RQD hay que tomarlo con las debidas precauciones, ya que su valor depende no sólo de la fracturación del macizo rocoso sino también de otros factores, como la técnica del sondeo, su dirección, diámetro, etc. (Alejano, 2004).

A veces hay que estimar el RQD a partir de datos en afloramientos, al no disponer de sondeos. En estos casos, se puede utilizar la siguiente relación (Palmstrom, 2005):

$$R.Q.D = 110 - 2.5 * J_v \quad (11)$$

$$RQD = 0 \text{ para } J_v > 44 \quad (12)$$

$$RQD = 100 \text{ para } J_v < 44 \quad (13)$$

$$J_v = \sum (1 / SM_i) \quad (14)$$

SM , es el espaciamiento medio de cada fisura en m.

Entonces, se tiene la respectiva clasificación según el RQD en la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de macizos rocosos mediante el RQD.

DESIGNACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ROCA – RQD (%)	DESCRIPCIÓN DE LA CALIDAD DE LA ROCA
0 – 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media/Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente.

Fuente: Deere. Design of Surface and Near-Surface Construction in Rock. 1967

➤ **Rock Mass Rating (RMR).**

El Rock Mass Rating (RMR) desarrollado por Bieniawski (1973) y actualizado en 1989, permite estimar la calidad del macizo rocoso (Ver Tabla 6), a través de la evaluación de discontinuidades y propiedades mecánicas de las rocas.



Tabla 6. Criterios para calcular el RMR.

Valores del RMR (Bieniawski, 1989)							
PARÁMETROS	INTERVALO DE VALORES						
Resistencia de la roca intacta a compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
Valoración	15	12	7	4	2	1	0
RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
Valoración	20	17	13	8	3		
Separación entre juntas	> 2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
Valoración	20	15	10	8	5		
Condición de las juntas	Muy rugosas No continuas Cerradas Bordes sanos y duros	Algo rugosas Separación < 1mm Bordes algo meteorizados	Algo rugosas Separación < 1mm Bordes muy meteorizados	Espejos de falla o Relleno < 5 mm o Separación 1-5 mm Continuas	Relleno blando > 5 mm o Separación >5 mm Continuas		
Valoración	30	25	20	10	0		
Flujo de agua en las juntas	Secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Fluyendo		
Valoración	15	10	7	4	0		
CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN RMR							
Clase	I	II	III	IV	V		
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala		
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20		

Fuente: Bienawski, (1989)

Para la obtención del RMR, primero se determina el RMR básico, el cual se calcula con la fórmula:

$$\text{RMR básico: } F1 + F2 + F3 + F4 + F5 \quad (15)$$

Posteriormente, se obtiene el RMR de la siguiente forma:

$$\text{RMR} = \text{RMR básico} + F6 \quad (16)$$

Dónde: F6: Correcciones por la orientación de las discontinuidades

➤ **Slope Mass Rating (SMR).**

El índice SMR, “Slope Mass Rating”, se obtiene sumando al RMR básico un “factor de ajuste”, función de la orientación de las juntas (y producto de tres subfactores, $F1 \cdot F2 \cdot F3$) y un



“factor de excavación” (F_4) que depende del método de excavación y se determina con la siguiente formula: (M. Romana, 2015).

$$SMR = RMR_{basico} + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \quad (17)$$

Dónde:

F1: depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y el talud. Varía entre 1 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja). Esta establecido por la expresión:

$$F_1 = (1 - \text{sen}(\alpha_j - \alpha_s))^2 \quad (18)$$

F2: En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia a esfuerzo cortante de la junta. Mide el buzamiento de las discontinuidades. Varía entre 1 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°). Puede ajustarse según la relación:

$$F_2 = \tan^2(\beta_j) \quad (19)$$

β_j es el buzamiento de la junta. F_2 vale 1,00 para las roturas por vuelco.

F3 determina la relación entre los buzamientos de la junta y el talud. Se han sostenido los valores planteados por Bieniawski que son siempre negativos. Para roturas planas F_3 enuncia la probabilidad de que las juntas afloren en el talud. Se encuentra dado por:

$$F_3 = \beta_j + \beta_s$$

El factor de ajuste según el método de excavación, **F4**, se estableció empíricamente:

- Taludes naturales: $F_4 = +15$
- Precorte: $F_4 = +10$
- Voladura suave (recorte): $F_4 = +8$
- Voladuras normales: $F_4 = 0$
- Voladuras defectuosas: $F_4 = -8$



Tabla 7. Factores de ajuste de la Clasificación SMR

TIPO DE ROTURA		MUY FAVORABLE	FAVORABLE	NORMAL	DESAVORABLE	MUY DESFAVORABLE	
P	A	$ \alpha_j - \alpha_s $	>30°	30 – 20°	20 – 10°	10 – 5°	
T		$ \alpha_j - \alpha_s - 180 $					
W		$ \alpha_r - \alpha_s $					
P/T/W		F ₁	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P/W	B	$ \beta_j $ ó $ \beta_s $	<20°	20- 30°	30 -35°	35 -45°	>45°
P/W	T	F ₂	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T			1.00				
P	C	$ \beta_j - \beta_s $	>10°	10 – 0°	0°	0 – (-10°)	
W		$ \beta_i - \beta_s $					
T		$ \beta_j - \beta_s $					
P/T/W		F ₃	0	-6	-25	-50	-60
P: rotura plana; T: rotura por vuelco; W: rotura en cuña							
α_j : dirección de buzamiento de la discontinuidad α_s : dirección de buzamiento del talud α_r : dirección de plunge de la línea de intersección de los planos de discontinuidad β_j : buzamiento de la discontinuidad β_s : buzamiento del talud β_i : inmersión de la línea de intersección de los planos de la cuña							
METODO DE EXCAVACIÓN (F₄)							
Talud natural			+15	Voladura normal o excavación mecánica		0	
Precorte			+10				
Voladura suave			+8	Voladura deficiente		-8	

Fuente: Romana, Serón, & Montalván, 2001

Finalmente, obtenido los resultados se determina la clase de estabilidad según el SMR:

Tabla 8. Clases de estabilidad según SMR

CLASES DE ESTABILIDAD SEGÚN EL SMR (ROMANA, 1985)					
Clase	V	IV	III	II	I
SMR	0 - 20	21 – 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Pacialmente estable	Estable	Totalmente estable
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Fuente: González de Vallejo et al., 2002

➤ **Geological strength index. (GSI)**

El GSI es desarrollado para la estimación de los parámetros de entrada para el cálculo de la resistencia, desarrollado por Hoek (1994), para corregir los problemas que se presentan con el



Índice RMR. Este índice de calidad geotécnica se determina en base a dos parámetros que definen la resistencia y la deformabilidad de los macizos rocosos, considerando (Karzulovic, 2006):

RMR: es la “estructura del macizo rocoso”, y,

JC: es la condición de las estructuras (discontinuidades) presentes en el macizo rocoso.

El valor del GSI puede variar entre 0 a 100, lo que permite definir cinco clases de macizos rocosos:

- Macizos de calidad Muy Mala ($0 \leq \text{GSI} \leq 20$)
- Macizos de calidad Mala ($20 < \text{GSI} \leq 40$)
- Macizos de calidad Regular ($40 < \text{GSI} \leq 60$)
- Macizos de calidad Buena ($60 < \text{GSI} \leq 80$)
- Macizos de calidad Muy Buena ($80 < \text{GSI} \leq 100$)

Para valorar al macizo rocoso por el método del GSI se debe suponer que el macizo rocoso está completamente seco y se aplica la relación existente entre GSI y RMR en base al RMR de 1976 o 1989 (Karzulovic, 2006):

- Si $\text{RMR}_{76} \geq 18$ entonces $\text{GSI} = \text{RMR}_{76}$
- Si $\text{RMR}_{76} < 18$ entonces no se puede determinar el valor de GSI
- Si $\text{RMR}_{89} \geq 23$ entonces $\text{GSI} = \text{RMR}_{89} - 5$
- Si $\text{RMR}_{89} < 23$ entonces no se puede determinar el valor de GSI

La determinación del GSI directa en el terreno no se utiliza cálculos, sino que se obtiene de la “Carta para evaluar el índice de resistencia geológica en macizos rocosos fracturados” (Karzulovic, 2006).



Tabla 9. Caracterización del macizo rocoso en función de los bloques basado en el entramamiento y las condiciones de las juntas.

ESTRUCTURA	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES			
	MUY BUENA Superficies muy rugosas, inalteradas y frescas.	BUENA Superficies rugosas, ligeramente intemperizadas, con patinas de óxidos de Hierro.	REGULAR Superficies lisas, moderadamente intemperizadas y/o alteradas.	MUY MALA Superficies lisas y cizalladas, muy intemperizadas con revestimientos o rellenos compactos o fragmentos angulares.
<p>INDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI) PARA ROCAS FRACTURADAS (Hoek & Marinos, 2000)</p> <p>Estimar el valor promedio del GSI para la litología, estructura y condiciones superficiales de las discontinuidades. No intentar ser muy preciso. Citar un rango de 33 a 37 es mas realistico que un GSI de 35. Note que las tablas no se aplican a las fracturas estructuralmente controladas. Cuando los planos estructurales débiles están en una orientación desfavorable con respecto de la cara excavada, estas dominarán el comportamiento de todo el macizo rocoso. La resistencia de cizalla de las superficies de la rocas son propensas a deteriorarse como el resultado de cambios en el contenido de humedad, se reducirá si hay presencia de agua. Cuando se trabaja con rocas en las categorías de débil a muy débil, se debería hacer un desplazamiento hacia la derecha. La presión del agua es tratada con análisis de esfuerzos efectivos.</p>	<p>DECRECE LAS CONDICIONES SUPERFICIALES →</p>			
<p>INTACTA O MASIVA</p> <p>Especimen de roca intacta o roca in-situ masiva con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.</p>	90			N/A
<p>BLOCOSA</p> <p>Macizo rocoso inalterado bien trabado, definido por bloques cúbicos formados por 3 familias de discontinuidades.</p>	80	70		
<p>MUY BLOCOSA</p> <p>Macizo rocoso trabado, parcialmente perturbado, definido por bloques angulares de varias caras formado por 4 o más familias de discontinuidades.</p>		60	50	
<p>BLOCOSA/PERTURBADA/DEFORMADA</p> <p>Plegada, bloques angulares de mucha familias de discontinuidades, persistencia de los planos de estratificación o esquistocidad.</p>			40	30
<p>DESINTEGRADA</p> <p>Pobremente trabada, macizo rocoso muy fracturado con mezcla de fragmentos de roca angulares y redondeados.</p>				20
<p>LAMINADA/ CIZALLADA</p> <p>Ausencia de blocosidad debido a espaciados cercanos de débil esquistocidad o planos de cizalla.</p>	N/A	N/A		10

Fuente: Hoek, 2002

4.4.2.5 Análisis Geotécnico

➤ Criterio de rotura de Mohr –Coulomb

El criterio de rotura de Mohr-Coulomb, introducido por Coulomb en 1773, inicialmente pensado para el estudio en suelos, es un criterio de rotura lineal, se define el criterio de rotura en función de la tensión tangencial y la tensión normal en un plano.

$$s = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (20)$$

Dónde:

σ' = esfuerzo normal efectivo en el plano de corte

c' = cohesión aparente

ϕ' = ángulo de fricción por esfuerzo efectivo



Es importante mencionar que el valor de c' para arcillas y arenas normalmente consolidadas es 0, mientras que para arcillas sobreconsolidadas es, $c' > 0$.

Se determina el estado de esfuerzos al que se somete el material, a través del círculo de Mohr, y se grafica los estados límites para el material: compresión pura, corte y tensión puros, las mismas que son las condiciones de fronteras para la rotura del material (Ramírez, 2000).

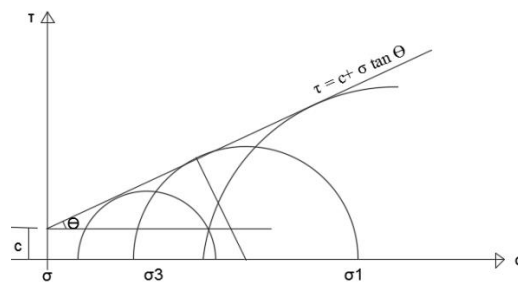


Figura 12. Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones normal y tangencial.

Fuente: Ramírez, 2000

➤ Criterio rotura de Hoek & Brown Generalizado

El criterio de rotura de Hoek & Brown su versión original fue introducida en el 1980 (Hoek y Brown, 1980a; Hoek y Brown, 1980b) desde entonces su uso se ha generalizado en el ámbito de la mecánica de rocas, traspasando los límites para los que fue propuesto (cálculo de la estabilidad en taludes y estados tensionales en el entorno de un túnel, para macizos rocosos duros). Debido a esto, y con el fin de mejorarlo, el criterio ha sufrido varias modificaciones, así como la introducción de nuevos parámetros para definir el estado del material, y nuevas propuestas para obtener la caracterización del macizo (Hoek, 2002).

Se trata de un criterio no lineal, puramente empírico, que permite valorar, de manera sencilla, la rotura de un medio rocoso mediante la introducción de las principales características geológicas y geotécnicas.

Hoek et al. (2002) señala que el criterio de Hoek-Brown generalizado se expresa como:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (21)$$

Donde

m_b es un valor reducido de la constante del material m_i y viene dado por:



$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI-100}{28-14D} \right) \quad (22)$$

Asimismo, s y a son constantes del macizo rocoso, expresadas como:

$$s = \exp \left(\frac{GSI-100}{9-3D} \right) \quad (23)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} (e^{-GSI/15} - e^{-203}) \quad (24)$$

D: factor que depende del grado de alteración del macizo rocoso, sea por efectos de voladuras o por relajación de esfuerzos. Sus valores van desde 0 (macizos rocosos in situ inalterados) hasta 1 (macizos rocosos muy alterados).

A continuación, en la tabla 10 se muestra una guía para estimar dicho factor de alteración.

Tabla 10. Guía para estimar el factor de alteración D .

APARIENCIA DEL MACIZO ROCOSO	DESCRIPCION DEL MACIZO ROCOSO	VALOR SUGERIDO DE D
	Excelente calidad por voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, resultando en la perturbación mínima del macizo alrededor del túnel	D=0
	Excavación mecánica o manual en macizo de mala calidad (sin voladura) resultando en la mínima perturbación en el macizo rocoso circundante Cuando se presentan problemas de fluencia con significantes movimientos en el piso, la perturbación puede ser severa a menos que una solera temporal o contrabóveda se instalada, como muestra la fotografía.	D=0 D=5 sin solera
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2-3m en el macizo circundante.	D=0,8
	Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños en el macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía	D=0,7; buena voladura. D=1 pobre voladura
	Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento. En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cavo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor	D=1; voladura de producción D=0,7; excavación mecánica.

Fuente: Hoek, 2002

Finalmente, la resistencia a la compresión uniaxial se obtiene de $\sigma_3' = 0$ en la ecuación 25, obteniendo:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} s^a \quad (25)$$



4.4.3 *Análisis de estabilidad*

Los análisis de estabilidad se aplican al diseño de taludes o cuando estos presentan problemas de inestabilidad. Se debe elegir el coeficiente de seguridad adecuado, dependiendo de la finalidad de la excavación y del carácter temporal o definitivo del talud, combinando los aspectos de seguridad, costes de ejecución, consecuencias o riesgos que podría causar la rotura, etc. (González de Vallejo, 2002).

4.4.3.1 **Método de Equilibrio Limite y Factor de Seguridad**

Los métodos de equilibrio límite son utilizados para analizar los movimientos de los taludes, este requiere de información de la resistencia del suelo, pero no necesita sobre la relación esfuerzo deformación. El sistema de equilibrio limite supone que, al existir una falla, las fuerzas actuantes y resistentes se manifiestan de la misma forma en toda la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1,0. Dicho análisis, se puede realizar considerando la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en dovelas (Suárez D. , 1998).

El concepto de Factor de Seguridad nace de la necesidad tanto de proveer seguridad a las obras y elementos diseñados y construidos, como de optimizar los mismos. El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña.

El factor de seguridad es la relación entre la resistencia al corte real y los esfuerzos de corte críticos que tratan de generar la falla (Fellenius, 1927):

$$F.S = \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Esfuerzo al cortante}} \quad (26)$$

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

$$F.S = \frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento actuante}} \quad (27)$$

Asimismo, los sistemas de análisis ocupan el equilibrio limite satisfaciendo el criterio de falla de Mohr-Coulomb en una determinada superficie. En caso de dividir la masa de estudio



en dovelas, se analiza cada una y subsiguientemente se analiza las condiciones de equilibrio con la sumatoria de fuerzas o momentos:

$$FS = \frac{\sum \text{Resistencias al corte}}{\sum \text{Esfuerzos al corte}} \quad (28)$$

. La relación de un factor Fs. mayor implica una disminución del riesgo, pero supone en general taludes más acostados o tendidos. El valor Fs=1 señala la frontera en la cual un talud deja de ser estable. (Watson, 2005).

4.4.4 Método AASHTO-93

En el entorno de las vías, la estabilización se hace con el fin de generar capas que sean llevadas a condiciones óptimas de humedad y densidad, el método de diseño AASHTO, originalmente conocido como AASHO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años en el estado de Illinois donde los suelos y climas son típicos para gran parte de Estados Unidos, esto con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las relaciones deterioro-solicitud de las distintas secciones ensayadas.

A partir de la versión del año 1986, y su correspondiente versión mejorada de 1993, el método AASHTO comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original. El método AASHTO-1993 para el diseño de pavimentos flexibles, se basa primordialmente en identificar un “número estructural (SN)”, que hace referencia a la resistencia estructural de un pavimento requerido para una combinación de soporte del suelo (M_r), tránsito total (W18) y de la Serviciabilidad.

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{1094}}{0.40 + \frac{1}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07 \quad (29)$$

4.4.4.1 Variables generales de diseño método AASHTO-93.

Se consideran como "Variables Generales de Diseño" aquellas que deben ser consideradas en el diseño y construcción de cualquier estructura.

4.4.4.1.1 Tránsito

El establecimiento de los espesores mediante este método se fundamenta en la determinación de las cargas equivalentes acumuladas para el periodo de diseño.

4.4.4.1.2 Serviciabilidad

Es la condición necesaria de un pavimento para proveer los Usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento.

Tabla 11. Índice de Serviciabilidad en función de la calidad de la vía

Índice de Serviciabilidad	Calificación
0-1	Muy mala
1-2	Mala
2-3	Regular
3-4	Buena
4-5	Muy buena

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures

❖ Índice de servicio inicial

Es el valor de servicio de un pavimento recién construido o rehabilitado, los valores usuales son 4.2 para pavimentos flexibles y 4.5 para pavimento rígido.

❖ Índice de servicio terminal

Es el valor mínimo del índice de servicio que puede ser aceptado para un pavimento dado los valores usuales están entre 1.5 para vías de muy baja importancia y de 2.5 a 3.0 para vías arterias.

❖ Pérdida o disminución del índice de Serviciabilidad

Los valores anteriormente descritos nos permiten determinar la disminución del índice de servicio, que representa una pérdida gradual de la calidad de servicio de la carretera, originada por el deterioro del pavimento. Por tanto:

$$\Delta\text{PSI} = \text{Po} - \text{Pt}$$



4.4.4.1.3 Confiabilidad

Hace referencia al grado de certidumbre o seguridad de una determinada alternativa de diseño, determinando así la probabilidad de que el pavimento pueda soportar el número de repeticiones de la carga que sea aplicada durante su vida útil.

A medida que se escoja un R (nivel de confiabilidad) mayor, serán necesarios espesores más grandes (**tabla 6**).

Tabla 12. Niveles de confiabilidad sugeridos para varios tipos de carreteras.

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y vías rápidas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-90	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures.

4.4.4.1.4 Desviación estándar del sistema (S_o)

El valor de la desviación estándar (S_o) que se seleccione debe, por otra parte, ser representativo de las condiciones locales. Se recomienda para uso general, pero estos valores pueden ser ajustados en función de la experiencia para uso local (**tabla 7**).

Tabla 13. Valores recomendados para la desviación estándar (S_o)

Condición de diseño	Desviación estándar
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento	0.25
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación del tráfico	0.35-0.50

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures.

4.4.4.1.5 Drenaje

El valor de este coeficiente depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo con el tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año. Dicho porcentaje depende de la



precipitación media anual y de las condiciones de drenaje, la AASHTO define cinco capacidades de drenaje, que se muestran en la **tabla 8**.

Tabla 14. *Capacidad de drenaje*

Calidad del drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	Agua no drena

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures.

4.4.4.1.6 *Módulo resiliente efectivo M_r*

Es el módulo Resiliente promedio que se traduce en un daño del pavimento (U_f) igual al que se alcanzaría si se usaran valores modulares estacionales.

❖ **Módulo resiliente para la subrasante**

Para materiales de subrasante con $CBR \leq 7.2\%$. $MR = 1.500 * CBR$.

Para materiales de subrasante con mayo de $7.2\% \leq CBR \leq 20.0\%$.

$$MR = 3.000 * (CBR)^{0.65}$$

Para materiales de subrasante con valores de $CBR \geq 20.0\%$, se deberán emplear otras formas de correlación, tal como la recomendada por la propia Guía de Diseño AASHTO-93.



5. Metodología.

Este proyecto de tesis se encuentra basado en diferentes métodos de ingeniería geológica, geotécnica y civil; el objetivo es tomar un ambiente multidisciplinar para lograr un objetivo en concreto; el cual implica detallar condiciones geológicas, estructurales– geotécnicas, estimar o correlacionar la capacidad portante de los suelos y proponer recomendaciones de mejoramiento de la vía.

Para fines prácticos se estableció un cronograma de trabajo el cual incluyó el desarrollo de la base metodológica que a continuación se explicará detalladamente.

5.1 Materiales

En la **tabla 10**, se describen los materiales y equipos utilizados para realizar tanto trabajo de campo como de oficina.

Tabla 15. *Materiales y equipos utilizados*

Materiales y equipos	
Trabajo de campo	Trabajo de oficina
GPS Garmin	Computador
Ácido Clorhídrico al 10%	Google Earth
Palas	Software ArcGIS 10.5
Fundas Plásticas	Microsoft Office 2019
Martillo Geológico	
Cinta Métrica	
Barreta	
Carta topográfica de Gonzanamá 1:100000	
Brújula Brunton	
Machete	
Libreta de Campo	
Carta Geológica de Gonzanamá 1:100000	

Fuente: La Autora, 2021

5.2 Métodos

Para llegar a cumplir la finalidad del presente proyecto se discurrió como principal eje el método de campo, científico, analítico, descriptivo y experimental, debido a que se conecta con la objetividad de lo que se desea estudiar los cuales ayudaron a alcanzar los objetivos planteados.



El **método de campo** permite adquirir y medir datos de eventos en el lugar donde ocurren, el investigador realiza una observación directa y recolecta información.

El **método científico** permite llevar un orden que se conecta con la objetividad de lo que se desea estudiar.

El **método analítico** permite llegar a un resultado mediante la disgregación de los elementos de un fenómeno.

El **método descriptivo** se utiliza para evaluar algunas características de una situación en particular. Describe el estado o comportamiento de una serie de variables. (Yanez, 2019).

El **método experimental** ya que su objetivo es describir de qué manera y porque se produce o puede producirse un fenómeno.

5.3 Metodología

5.3.1 Recopilación de información

Como trabajo preliminar, se recopila toda la información de fuentes secundarias y de libre acceso. La cartografía geológica se obtiene de la plataforma virtual del INIGEM a escala 1:100 000 Carta Geológica de Gonzanamá (Serie J62-G; Hoja 57, NVII-B; Edición 2) del año 2017.

5.3.2 Metodología para el Primer objetivo

Para cumplir con el primer objetivo que es: “Realizar el levantamiento geológico-estructural a escala 1:5000 de la vía, en una faja de estudio de 100 m”. Se realizó una serie de actividades, las cuales se detallan de la siguiente manera:

5.3.2.1 Levantamiento topográfico

Para la realización del levantamiento Topográfico, se realizó un recorrido del sector visualizando lugares estratégicos para colocar la estación. Una vez encontrado el lugar más apropiado, se inicia posicionando la estación total TRIMBLE S6, para ello se nivelará y georreferenciará la estación mediante la toma de coordenadas de un punto referencial base o de control en X, Y y Z con DATUM WGS84, por medio del GPS Garmin, así mismo se realizará el levantamiento con la ayuda de prismas.



La estación se colocó al margen derecho de la vía con el fin de no entorpecer el tránsito vehicular existente en la zona (**ver fotografía 1**), el área de estudio presenta gran cantidad de vegetación arbustiva y relieve irregular, por lo que se realizó una variedad de cambios de estación para obtener aspectos del terreno a detalle como las curvas de nivel que permitan una representación del área de estudio lo más clara posible.

Una vez realizado el levantamiento topográfico, se procedió a descargar los datos de la información recopilada en campo de la estación (TRIMBLE S6) a un computador usando el software ForeSight, obteniendo cada punto con su respectivo código y con las proyecciones tanto en Norte (Y), Este (X), y Elevación (Z); mismas que servirán de base para la generación de curvas de nivel mediante el software ArcGIS 10.5; la categorización de las curvas se la dispondrá a cada 25 metros para las curvas principales y cada 5 metros para las secundarias en el Datum WGS 84, Zona 17 Sur. Finalmente se crea el mapa topográfico de la zona de estudio a una escala 1:5000. (**Ver Anexo 1. Mapa Topográfico de la zona de estudio**).



Fotografía 1. Realización del levantamiento topográfico
Fuente: La Autora, 2021

5.3.2.2 Levantamiento Geológico-Estructural

- **Levantamiento Geológico**

Una vez realizado el levantamiento topográfico de la zona de estudio, se procederá a realizar el mapeo geológico. Inicialmente se realizará una planificación de las actividades a desempeñar en el campo, sobre la topografía obtenida a detalle escala 1:5000 mediante la descripción y documentación de los afloramientos de origen natural o antrópico más



representativos mediante las fichas destinadas a ese fin descrita en la **tabla 17 (ver anexo 4. Fichas de Afloramientos)**, , toma de puntos GPS (WGS84) y registro fotográfico; este proceso se realizó a fin de determinar: información litológica, estructuras y características importantes que permitan la confección del mapa geológico a detalle en una franja de estudio de 100 m; 50 m a cada lado de la vía de estudio.

Los instrumentos de apoyo que se utilizó para realizar este trabajo son: Carta geológica de Gonzanamá a escala 1:100 000, brújula, GPS, martillo geológico, ácido clorhídrico al 10%, cinta métrica; el mapeo Geológico se realizó sobre la base del mapa Topográfico.

La generación del mapa geológico local se llevó a cabo mediante el uso de herramientas ArcGIS 10.5 a escala 1:5000 con lo cual se realizó el levantamiento de los afloramientos a lo largo de la vía cada 50 metros siendo un total de 160 afloramientos de los cuales 24 afloramientos se tomaron como principales los cuales ayudarán a definir contactos litológicos y toma de datos estructurales como: rumbo, buzamiento y dirección de los estratos. (**Ver Anexo 5. Mapa Geología Local de la zona de estudio**).

Tabla 16. Fichas de afloramientos

Ficha de descripción de afloramientos						
AFLORAMIENTO N°		UBICACION				
FECHA		DATUM				
COORDENADAS UTM	X	Y	Z			
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO						
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial			
RELIEVE	Llano		De Colinas			
	Bajo		Montañoso			
UNIDAD/FORMACION						
DIMENSIONES	Alto (m):		Ancho (m):			
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB		BZ			
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA						
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria		Metamórfica	
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto		Medio		Bajo	
COLORACION						
NOMBRE DE LA ROCA						
OBSERVACIONES						

Fuente: La Autora, 2021

- Levantamiento Estructural



Los datos estructurales obtenidos fueron obtenidos a partir del mapeo a detalle de las estructuras geológicas que se encuentran en afloramientos (Contactos, Fallas, Diaclasa y Pliegues).

❖ **Toma de datos estructurales y orientación con brújula:**

- La medida de rumbo de los planos de puede realizar tanto en techo como en piso.
- Al medir la inclinación se debe tener la brújula colocada en el plano de manera abierta y vertical en la dirección de máxima inclinación perpendicular al rumbo.

❖ **Tipos de estructuras:**

- Pliegues: al encontrar una estructura de plegamiento debemos identificar el tipo de plegamiento anticlinal o sinclinal.
- Fallas: la presencia del escarpe, el contacto de unidades litológicas que no son adyacentes, el desplazamiento de carreteras, diques, etc. nos ayuda a identificar la presencia de una falla; una vez identificada procedemos a determinar el tipo de falla ya sea normal, inversa o de desgarre.
- Contactos: para el diseño de nuestro mapa geológico estructural los contactos son de gran importancia ya que nos dan guías de dirección y puntos de inmersión que tomaron los estratos y esto nos ayuda también a definir las edades geológicas de cada litología para con ello identificar que estrato es más antiguo.

➤ **Etapas de Oficina**

Una vez recopilada la información de campo de litología, estructuras y elementos de yacencia, se procedió a tabular las características geológicas de cada afloramiento en el software ArcGIS 10.5. En base al mapa topográfico con Datum UTM WGS 84 zona 17 Sur, y datos de afloramientos se procedió a crear el mapa geológico a escala 1:5000, especificando unidades litológicas con sus respectivos datos estructurales.

5.4 Metodología para el Segundo objetivo

Para dar cumplimiento al segundo objetivo que consiste en: “Determinar las propiedades físico-mecánicas de los geo materiales existentes en el sector de estudio”.

Se determinó las propiedades físico-mecánicas en un total 27 de muestras de los geo materiales correspondientes tanto a la formación Quillollaco como a la Unidad Chigüinda;



adicional se tomó para su análisis una muestra de cada litología presente en la vía de la zona de estudio, realizándose en estos diversos ensayos tanto métodos directos como métodos indirectos.

➤ **Métodos Indirectos:**

5.4.1 Sísmica de Refracción

Dentro de los métodos sísmicos de la geofísica aplicada se encuentran los de refracción y reflexión sísmica. En estos métodos se mide el tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y la llegada de éstas a diferentes puntos de observación. Para esto se disponen una serie de sensores a distancias conocidas en línea recta, formando un tendido sísmico o línea de refracción sísmica.

Se realizó en dos fases de trabajo, la primera desarrollada in-situ donde se recolecta la información necesaria; y la segunda fase que corresponde al trabajo de gabinete en donde se procesa la información de campo mediante software para su posterior interpretación.

A una distancia conocida del extremo del tendido, en el punto de disparo, se generan ondas sísmicas, - con la ayuda de un martillo o por la detonación de explosivos -, las cuales inducen vibraciones en el terreno que son detectadas por cada uno de los sensores en el tendido.

El equipo básico consiste en los sensores; la unidad de adquisición, en donde se almacenan los movimientos del terreno detectados por cada sensor; los cables de conexión entre los sensores y la unidad de adquisición; el cable del trigger, que se encarga de marcar el momento de inicio de registro en la unidad de adquisición.

El método de investigación Geofísica estuvo en función de los objetivos, escala de trabajo, accesibilidad, geología de la zona, clima, entre otros.

Se elaboraron 3 sondeos a lo largo del tramo de 8 km de longitud con profundidades promedio de 0.3 metros y máximas de 1.5 metros y sus respectivos ensayos. La ubicación de los sondeos fue a la izquierda y derecha de la carretera. (**fotografía 7**). Usando la clasificación adecuada, para la ingeniería de carreteras como el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), y posteriormente adoptado por la ASTM (American Society of Testing Materials) se determinaron las siguientes clasificaciones de suelos.

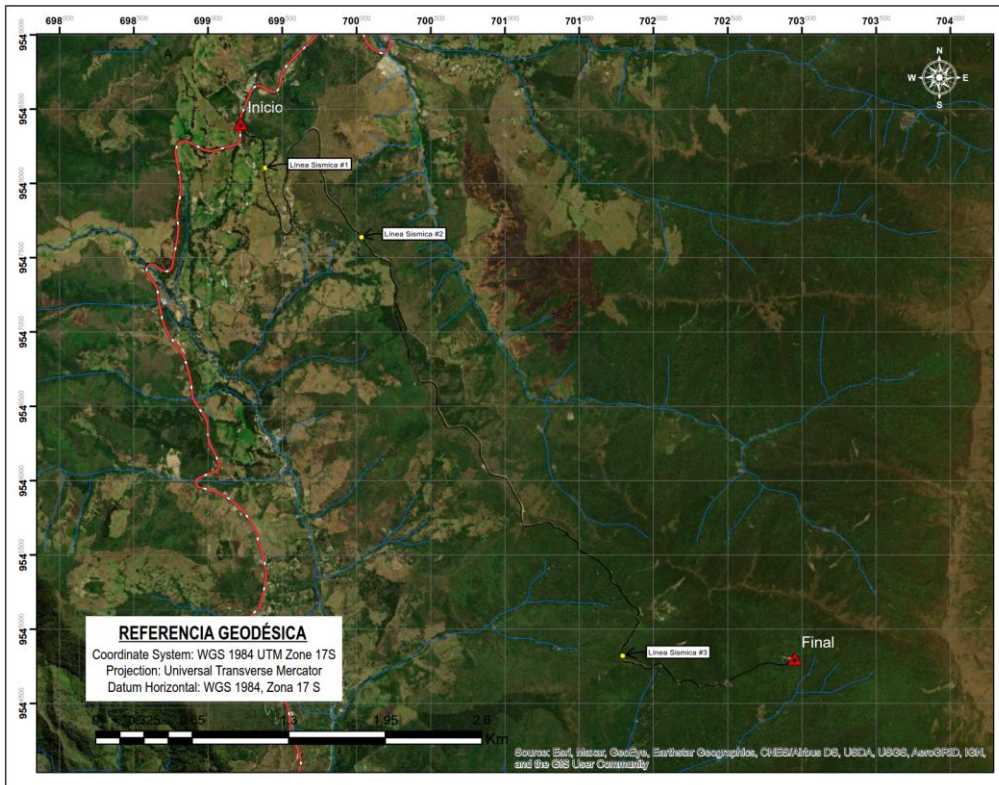


Figura 13. Ubicación de las líneas sísmicas de refracción.
Elaborado por: La Autora, 2021.

Basados en los CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) el cual mide la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, permitió la evaluación de la calidad del terreno para subrasante, subbase y base. Bajo condiciones controladas de humedad y densidad.



Fotografía 2. A) Ensayo refracción sísmica 1 B) Ensayo refracción sísmica 2
Fuente: La Autora, 2021



➤ **Etapas de campo**

El trabajo de campo consistió:

- ❖ Se realiza el Tendido de Refracción Sísmica (TRS), el tendido tiene una longitud de 30 m, donde se utilizan 6 geófonos o hidrófonos, espaciados 5 metros uno con respecto al otro en base a la horizontal, para los tendidos.
- ❖ Los geófonos se disponen sobre una línea recta.
- ❖ Se localizan tres puntos de tiro, dos laterales y uno central, empleando una fuente sísmica.
- ❖ Colocamos una placa metálica a un costado del geófono, la cual no servirá como base para dar el golpe con ayuda del combo, propagando así las ondas hacia el sismógrafo.
- ❖ Este procedimiento se lo realizo en los tres puntos de tiro, si en caso las ondas no llegaran de manera correcta al sismógrafo, se debe repetir el golpe.
- ❖ Una vez obtenidos los valores de campo, en oficina se los analiza por medio del programa ZondIp – 2D, que nos permite obtener resultados, como dromocronas, perfiles estratigráficos, y valores para el cálculo de la capacidad de carga.

➤ **Etapas de oficina**

Una vez obtenidos los valores de campo, en oficina se los analiza por medio del programa WINSISM, de acuerdo con las siguientes etapas:

- ❖ Determinación de las primeras llegadas de las ondas V_p , refractadas en los sismogramas de campo.
- ❖ Elaboración y correlación teórica de los sistemas de dromocronas (**figura 15**).
- ❖ Obtención de los retardos mediante los métodos “delay time”, ABEM, interceptos y paralelismo.
- ❖ Cálculo de espesores y profundidades para el caso de multicapas.

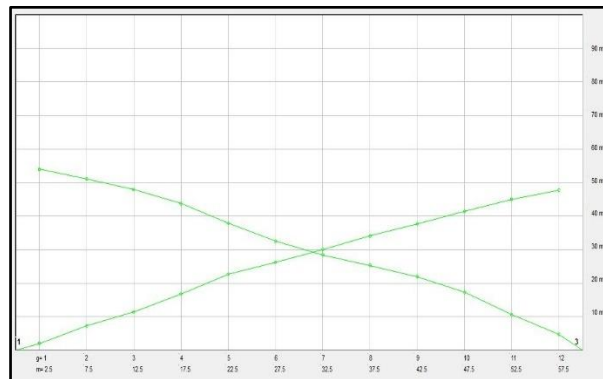


Figura 14. Dromocronas Línea Sísmica I - Vp Km 6+370
Fuente: La Autora, 2021

Para las líneas sísmicas las velocidades de las ondas Vs, se determinaron mediante la metodología establecida por Goriainov N. N. para los suelos y rocas, de origen sedimentario y volcánico-sedimentario, el mismo que estableció las siguientes relaciones:

- ✓ $V_p/V_s = 1.43$ si V_p oscila entre 0 – 999.0 m/s,
- ✓ $V_p/V_s = 1.55$ si V_p oscila entre 1000.0 – 1999.0 m/s,
- ✓ $V_p/V_s = 1.65$ si V_p oscila entre 2000.0 – 2999.0 m/s,
- ✓ $V_p/V_s = 1.73$ si V_p oscila entre 3000.0 – 3999.0 m/s y
- ✓ $V_p/V_s = 1.93$ si V_p es > 4000.0 m/s.

Al conocer los valores de las velocidades de las ondas “P” y “S” (V_p y V_s), se pueden determinar las propiedades elásticas de las diferentes capas detectadas. Las velocidades V_p y V_s están en función del coeficiente Poisson (η) y del módulo de Young (E), según las ecuaciones:

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\eta)}{\delta(1+\eta)(1-2\eta)}} \quad (30)$$

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{2\delta(1+\eta)}} \quad (31)$$

De donde:

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{(1-\eta)}{(1-2\eta)}} \quad (32)$$

De acuerdo con (Oguilbi A, 1990, Savivh A, 1990), citado en (Naranjo & Dranichnikov, 2012), puntualiza que de la relación de velocidades V_p y V_s se puede obtener las ecuaciones



para el cálculo de las propiedades elásticas del material del terreno tales como coeficientes de Poisson, módulo de elasticidad y módulo de corte.

➤ **Métodos Directos:**

5.4.2 Ensayos para la determinación de las propiedades físico-mecánicas de los geo materiales

El análisis de las propiedades físico- mecánicas de las muestras de afloramiento y suelos se las realizó en el laboratorio CODICER. Debido a la dureza y consistencia de las muestras pueden ser analizadas las siguientes propiedades, mediante las fórmulas obtenidas de Braja M., (2012) y Vallejo, (2002) (**Anexo 7. Fichas de descripción de propiedades de los materiales.**).

5.4.2.1 Peso específico.

Para la obtención de los valores de peso específico de cada muestra, se usó los restantes de testigos de roca. Teniendo la siguiente fórmula para el cálculo del peso específico:

$$\rho_r = \frac{w_{Pulv}}{W_{papulv} - w_{pulv} - w_{pa}} \quad (33)$$

Donde:

$W_{pulv} = W \text{ picnómetro} + \text{muestra} - W \text{ picnómetro}$

$W_{pa} = W \text{ picnómetro} + \text{agua}$

$W_{papulv} = W \text{ picnómetro} + \text{agua} + \text{muestra pulverizada}$

5.4.2.2 Densidad

Una vez comprendido el proceso de determinar el peso específico, procedemos a calcular la densidad del material bajo la siguiente expresión:

$$\delta = \frac{m}{v} \quad (34)$$

5.4.2.3 Peso específico aparente

$$\rho_a = \frac{W_s}{W_{sat} - W_{sum} * \rho_w} \quad (35)$$



5.4.2.4 Gravedad Específica

Para obtener la gravedad específica, se considerará la siguiente expresión:

$$G_s = \frac{W_s}{W_w} = \frac{W_s}{W_s + W_{bw} - W_{bp}} \quad (36)$$

W_{bw}= peso picnómetro + agua + suelo

W_{bw} = peso picnómetro + agua

5.4.2.5 Contenido de agua

Para calcular la humedad, se obtuvo datos de muestras de roca, donde se procedió a pesarla en estado natural, y luego a secarla, para obtener un valor referente. Se obtuvo con la siguiente expresión:

$$W = \frac{W_h - W_s}{W_s} * 100\% \quad (37)$$

Donde:

W_h: Peso de roca húmeda

W_s: Peso de roca seca

5.4.2.6 Porosidad eficaz

$$n_e = \frac{W_{sat} - W_{sec}}{W_{sat} - W_{sum}} * 100\% \quad (38)$$

Donde:

W_{sat}= Peso saturado

W_{sec}= Peso seco

W_{sat}= Peso saturado

W_{sum}= Peso sumergido

5.4.2.7 Porosidad (%)

$$n = \left(1 - \frac{P_a}{P_r}\right) * 100\% \quad (39)$$

Donde:

P_a= peso específico aparente



Pr= peso específico real

5.4.2.8 Coeficiente de absorción, *Cabs* (%)

$$Cabs = \frac{W_{sat} - W_{sec}}{W_{sec}} * 100\% \quad (40)$$

5.4.3 Calicatas Geotécnicas

Para la obtención de las muestras de las calicatas se las realizó por métodos manuales convencionales, se procedió de conformidad con la excavación de calicatas de 1,50 metros de profundidad, tomando muestras cada 50 cm y a un promedio de 1000 metros de espaciamiento entre cada calicata a lo largo de la ruta sumando en total 8 sitios investigados. De esta manera se garantiza que la toma de muestra contenga los diferentes tipos de estratos que se puedan presentar en la vía. El material excavado se lo deposita en la superficie separado de acuerdo con la profundidad y horizonte correspondientes. Se debe rechazar todo el material contaminado.

La ubicación de las calicatas realizadas se muestra en la tabla 18:

Tabla 17. *Ubicación de las calicatas elaboradas.*

Elaboración de Calicatas				
N°	Coordenadas UTM WGS 84			Profundidad (m)
	X	Y	Z	
1	699378	9548198	2407	1.50
2	699545	9548178	2484	
3	699915	9547778	2515	
4	700375	9546775	2543	
5	700901	9546045	2606	
6	701585	9545491	2647	
7	701799	9544823	2677	
8	702363	9544629	2725	

Elaborado por: La Autora, 2021



Fotografía 3. *Elaboración de calicatas*
Fuente: La Autora, 2021

Este método directo se utilizó para dar cumplimiento al segundo objetivo, en la obtención de los parámetros geológicos-geotécnicos mediante la obtención de muestras, se recolectó tres muestras de suelo a diferentes profundidades (0.50 m, 1.00m y 1.50m) de cada calicata, y se las trasladó hacia el laboratorio CODICER.

Los resultados de laboratorio comprenden granulometría, plasticidad, clasificación AASHTO, SUCS, Proctor de densidad estándar y modificada y CBR (**Anexo 8. Resultados de ensayos geotécnicos**).

➤ **Etapas de Laboratorio**

Una vez obtenidas las muestras, se las procedió a analizar en el laboratorio CODICER, en donde se realizarán los siguientes ensayos de Mecánica de Suelos, por cada calicata realizada:

- Ensayo para determinar del contenido de humedad (Norma ASTM D-2216).
- Ensayo para Límites líquido (Norma ASTM D-4318).
- Límite plástico (Norma ASTM D-4318).
- Índice de plasticidad (Norma ASTM D-4318).
- Ensayo para Análisis granulométrico (Norma ASTM D421 – 58 y D422 – 63).
- Clasificación de suelos (Métodos AASHTO y S.U.C.S.)
- Ensayo compactación Proctor (Norma ASSHTO T-180).
- Ensayo de Relación Soporte California CBR (Norma ASTM D1883-73).

➤ **Contenido de Humedad Natural de los Suelos**

Determina el contenido de agua o humedad natural de un suelo. El equipo necesario para realizar el ensayo consta de:



- a) Pesa filtros tarados.
- b) Estufa.
- c) Balanza

Procedimiento

- ❖ Obtener el peso de la muestra W_m .
- ❖ Colocar la muestra en estufa de 18 a 24 horas a una temperatura de 110°C , hasta lograr pesadas consecutivas constantes.
- ❖ Retornar a pesar la muestra para obtener W_s

$$W = \frac{W_h - W_s}{W_s} * 100\% \quad (23)$$

➤ **Limite líquido:**

Es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se encuentra entre el estado plástico y líquido.

Procedimiento

- ❖ Se coloca la muestra en el plato de evaporación agregándole suficiente cantidad de agua destilada, mezclando con la espátula hasta lograr una pasta homogénea. Esta muestra debe curarse durante el tiempo que sea necesario para lograr una adecuada distribución de la humedad.
- ❖ Se pone el aparato de límite líquido sobre una base firme y se deposita en la taza unos 50 a 70 grs. del material preparado previamente, para luego alisar la superficie con la espátula, de modo que la altura obtenida en el centro sea de 10 mm. y la masa ocupe un volumen de 16 cm^3 aproximadamente. Una vez igualado, se pasa el acanalador para dividir la pasta en dos partes, a través de un surco de 63 mm. de longitud. Si se presentan desprendimientos de la pasta en el fondo de la taza, se debe retirar todo el material y reiniciar el procedimiento.
- ❖ Cuando se tiene el surco, se gira la manivela del aparato con una frecuencia de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes necesarios para que la ranura cierre en 10 mm. de longitud en el fondo de ella.
- ❖ Finalmente, se toman aproximadamente 10 grs. del material que se junta en el



fondo del surco para determinar la humedad.

- ❖ El material excesivo se traslada al plato de evaporación para mezclarlo nuevamente con agua destilada y repetir el procedimiento por lo mínimo 2 veces más, de modo de obtener tres puntos que varíen en un rango de 15 a 35 golpes (ideal es tomar 5 puntos). Es importante señalar que el ensayo se debe realizar desde la condición más húmeda a la más seca. (Veintimilla, 2019).

➤ **Limite plástico**

Es el contenido de humedad, en porcentaje respecto del peso de suelo seco, por el cual el suelo deja de tener consistencia plástica, según se determina en el correspondiente ensayo:

Procedimiento

- ❖ Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.
 - ❖ Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro (Veintimilla, 2019).
- **Análisis Granulométrico:**

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total.

Procedimiento

- ❖ Secar la muestra de arena a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, con una precisión del 0.1% de la masa de la muestra de ensayo. Después de secado la muestra y determinada la masa, coloque la muestra de ensayo en el recipiente y adicione suficiente agua para cubrirla. Agité la muestra con suficiente vigor para que resulte



en la separación completa de las partículas más finas que la malla N° 200 de las partículas gruesas, y así llevar el material fino en suspensión.

- ❖ Ajustar el tamiz N° 16 sobre la malla N° 200. Inmediatamente vaciar el agua de lavado. Tener cuidado para evitar, la decantación de las partículas gruesas de la muestra.
- ❖ Adicionar una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente, agite y decante como antes. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado sea clara. Regresar todo el material retenido en la serie de mallas echando agua para limpiar la muestra lavada.
- ❖ Debemos secar el agregado lavado a masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C y se determinó la masa con una precisión de 0.1% de la masa original de la muestra (Veintimilla, 2019).

➤ **Ensayo de Compactación Proctor**

El ensayo de compactación Proctor se lo realizo siguiendo la metodología Asshton2 T-180, para lo cual se necesitó una cantidad de 8 kg para el suelo granular (calicata 2), y una cantidad de 6 kg para suelo finos (calicata 1) ubicada al inicio de la vía.

Preparación de la Muestra

- ❖ Extender la muestra y dejar secar al aire o en estufa < 60 °C.
- ❖ Cuartear por el tamiz #3/4 al material granular y por el tamiz #4 al material fino.
- ❖ Cuartear porciones hasta obtener una masa de 5 kg para el suelo granular y una masa de 2kg para el suelo fino.

Procedimiento

- ❖ Determinar la masa del molde con la base: t
- ❖ Mezclar la masa de suelo con 250 ml de cantidad de agua.
- ❖ Poner el collar en el molde.
- ❖ Llenar el molde con el collar en 5 capas y 56 golpes al trabajar con el material granular (calicata 1) y 25 golpes al trabajar con suelos finos (Calicata 2), se realizan los golpes por cada una de las capas. La última capa debe entrar aproximadamente 1 cm en el collar (**ver fotografía 4A**).

- ❖ Quitamos el collar y enrasamos con ayuda de regla metálica (**ver fotografía 4B**).
- ❖ Determinar la masa del molde con la base y el material compactado:

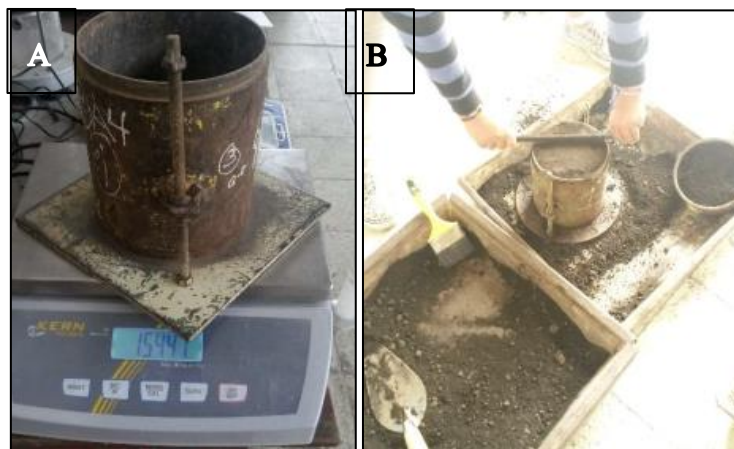
$$=t+s+a \quad (41);$$

donde:

t = Masa del molde

s = suelo

a = agua



Fotografía 4. *Elaboración del ensayo Proctor*

Fuente: CODICER. La Autora, 2021

- ❖ Extraemos el material del molde, lo partimos por la mitad y tomamos de la parte central una pequeña cantidad para determinar la humedad.
- ❖ Cálculo de la humedad ASTM D-2216
 - Pesar recipiente vacío (tarro) = t.
 - Pesar recipiente con la muestra tomada del molde = t+s+a.
 - Pesar recipiente con muestra después de secar en estufa a 105° C = t+s.
 - %Humedad = $[(t+s+a) - (t+s)] / ((t+s) - t) \times 100$.
- ❖ Con todo esto obtenemos una pareja de valores (densidad, humedad) que representa uno de los cuatro puntos.
- ❖ Se repite 4 veces con distintas cantidades de agua (Veintimilla, 2019).

Cálculo de Resultados

- ❖ Realizamos los cálculos obteniendo 4 pares de humedad y densidad seca.

- ❖ Se representa gráficamente los puntos obtenidos, tomando en cuenta que en el eje x se representa la humedad en porcentaje y en el eje y se representa la densidad seca Kg/m^3 .
- ❖ Se dibuja una curva suave y se determina las coordenadas del punto máximo, que serán la densidad seca máxima y la humedad óptima (**figura 14**).

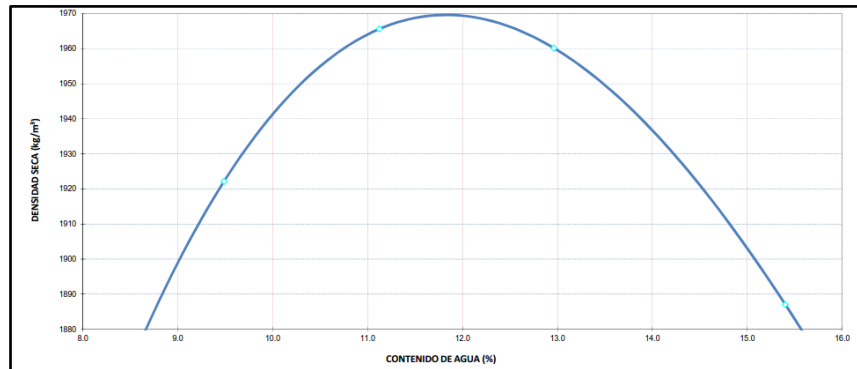
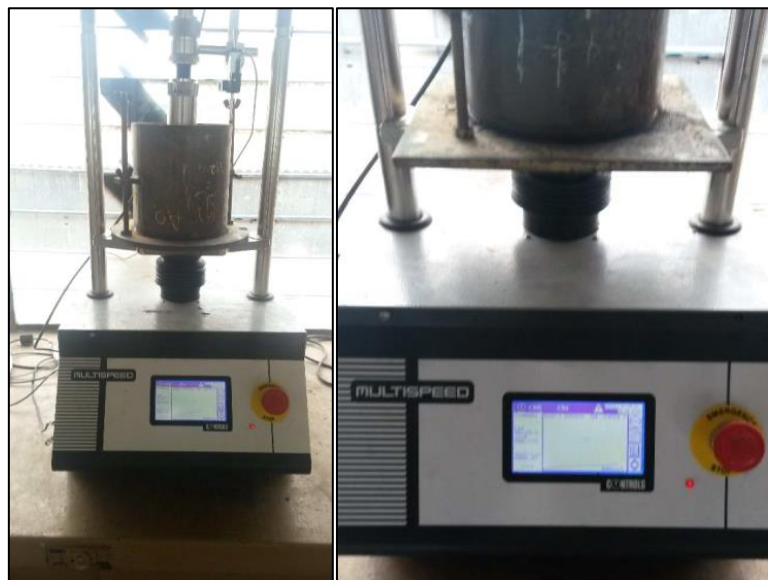


Figura 15. Gráfica densidad seca máxima vs humedad óptima.
Fuente: CODICER

➤ Ensayo de Relación Soporte California “CBR”

El ensayo de Relación Soporte California “CBR”, se lo realizo siguiendo la metodología ASTM D1883 – 73, para lo cual se necesitó una cantidad de 15 Kg para el suelo granular (calicata 2), y una cantidad de 9 Kg para suelo finos (calicata 1) (**fotografía 5**).



Fotografía 5. Determinación del CBR
Fuente: CODICER. La Autora, 2021



Preparación de la Muestra

- ❖ Preparar una muestra de suelo secándola al aire libre, pasarla por el tamiz $\frac{3}{4}$, se toma una cantidad de 15 kg para suelo granular (Calicata 1), y otra de 9 Kg para suelos finos (calicata 1) de grano fino.
- ❖ Para agregar el agua a la muestra nos basamos en el contenido de humedad óptima del suelo determinado con el ensayo de Proctor.
- ❖ Antes de compactar el suelo en los moldes, tomar una muestra representativa para determinar su contenido de humedad (por lo menos 100 g si el suelo es de grano fino).

Procedimiento

- ❖ Pesar los moldes sin su base ni el collar. Para cada molde ajustar el molde a la base, insertar el disco espaciador en el molde y cubrirlo con un disco de papel filtro.
- ❖ Fabricar 3 probetas de 5 capas cada una: 1 de 12 golpes por capa, 1 de 25 golpes por capa y una última de 61 golpes por capa. Con ayuda de regla metálica enrasar las probetas y pesarlas. Se les colocan sobrecargas, con una presión equivalente a la que soportará el suelo en el firme; la sobrecarga será de 10 libras.
- ❖ Se sumergen las probetas en el tanque de agua; las superficies inferior y superior deben estar en contacto con el agua.
- ❖ Se coloca el comparador en la parte superior de las probetas, el cual ayuda a medir el hinchamiento del suelo.
- ❖ Se toma la primera lectura para calcular el hinchamiento de la probeta durante el tiempo de inmersión.
- ❖ Se mantienen sumergidas durante 96 horas; en suelos granulares puede ser menos.
- ❖ Se toma las medidas con el comparador cada 24 horas.
- ❖ Se saca la probeta, se vierte el agua retenida en el molde y se deja escurrir durante 15 minutos en posición normal. Pasados los 15 minutos se retira la sobrecarga y la placa perforada, para proceder a pesarla.
- ❖ Se coloca la probeta en la máquina de compresión de CBR, con las sobrecargas. Se aplica una carga de 50 N para asentar el pistón y se ponen en cero los comparadores. Aplicamos la carga de tal forma que el pistón penetre a una velocidad uniforme de 1,2 mm por minuto (**ver fotografía 6**).

- ❖ La penetración se lleva hasta una profundidad de penetración de 0, 5 pulgadas y los rangos de registros se toman de la siguiente forma: 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 8 y 10 minutos. Entre más registros se tomen, la curva será mucho mejor definida.
- ❖ Finalizada la penetración se tomó una muestra de suelo de la zona próxima a la penetración para determinar la humedad; también se puede tomar una muestra de toda la altura de la probeta para determinar un valor medio de la humedad (Veintimilla, 2019).



Fotografía 6. Colocación de la Probeta en la máquina para CBR y aplicación de las cargas
Fuente: La Autora, 2021

Cálculo de Resultados

- ❖ Se dibujan las curvas carga-penetración, tomando en consideración que en el eje de las x colocamos la penetración 10-3 pulg. Y en el eje de las y colocamos la carga lbs/pulg² (**figura 13**).

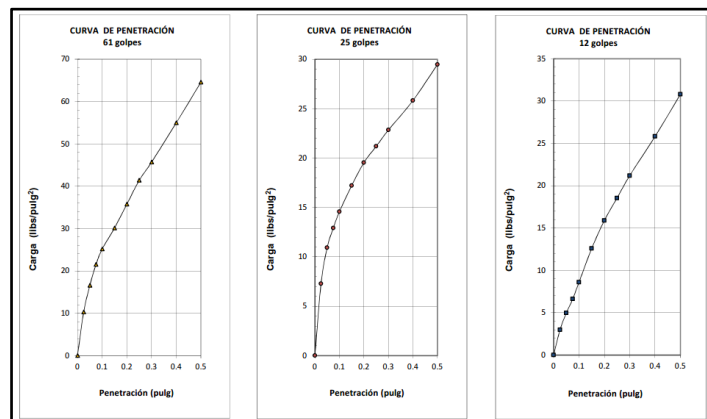


Figura 16. *Graficas de curvas carga-penetración.*
Fuente: CODICER

- ❖ Finalmente se representó gráficamente la Densidad seca vs CBR, teniendo en el eje de abscisas la densidad seca y en el eje de las ordenadas en valor del CBR en porcentaje.

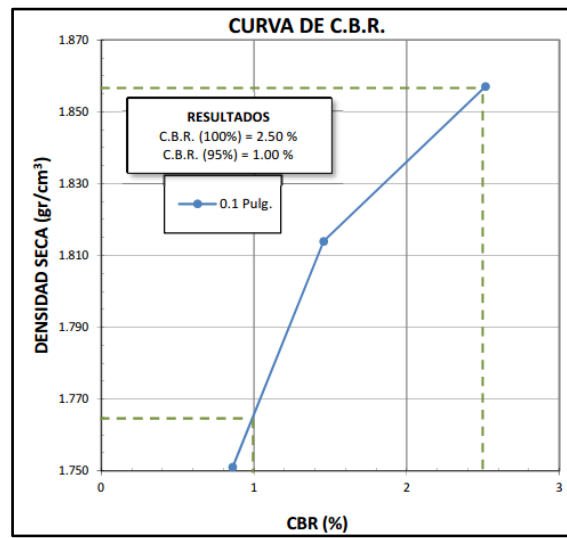


Figura 17. *Curva de CBR.*
Fuente: CODICER

5.4.4 Caracterización del Macizo Rocoso

El análisis de la estabilidad geomecánica de los macizos rocosos está condicionado por un conjunto de limitaciones, por lo que las evaluaciones se efectuarán de acuerdo con una metodología sencilla que proveerá de respuestas razonables.

Se ejecutó la caracterización de los macizos rocosos encontrados en la vía de estudio y que representan puntos de interés, se lo hizo siguiendo el “Manual de Campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos” de Luis Vallejo & Mercedes Ferrer (2007).

➤ **Etapa de campo**

Se llevó a cabo de acuerdo con las técnicas de campo tradicionales de la geología aplicada, empleando brújula geológica, GPS, Martillo de Schmidt, Peine de Barton, cinta métrica, entre otros elementos necesarios.

• **Etapa de oficina**

➤ **Ensayo de Compresión Simple**



Para este ensayo se obtuvieron cuatro muestras de rocas en función de los cambios litológicos, con dimensiones de 30cm x 30cm aproximadamente, con el fin de que la muestra sea representativa para realizar los ensayos necesarios por el laboratorio.

Se procede a pesar la muestra y se registra el valor de masa, se continua con la medida de una cara de la muestra para obtener el diámetro que en este caso es la multiplicación de los 2 valores de los lados ($D = l \times l$) y se obtiene el área expresado en cm^2 . De igual forma se mide la altura de la muestra y se multiplica por el área lográndose el volumen expresado en cm^3 .

Se ubica la muestra en la prensa, la misma que en su parte superior esta fija y la parte inferior es accionada por un gato hidráulico el cual realiza el movimiento de subida hasta pensar la muestra, en ese momento se empieza a medir la resistencia, cuando sobrepasa los límites y existe la rotura de esta se denomina a este valor máximo obtenido como fuerza.

Entonces teniendo todos los valores necesarios para calcular la resistencia a la compresión uniaxial se aplica la siguiente fórmula:

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

Donde:

σ : esfuerzo expresado en Kg/cm^2

F= fuerza o carga

A= Área

Al ser dos cubos por muestra, se conseguirá un valor promedio de la resistencia a la compresión simple, para consecutivamente trabajar con dicho valor en los cálculos necesarios de la presente investigación.

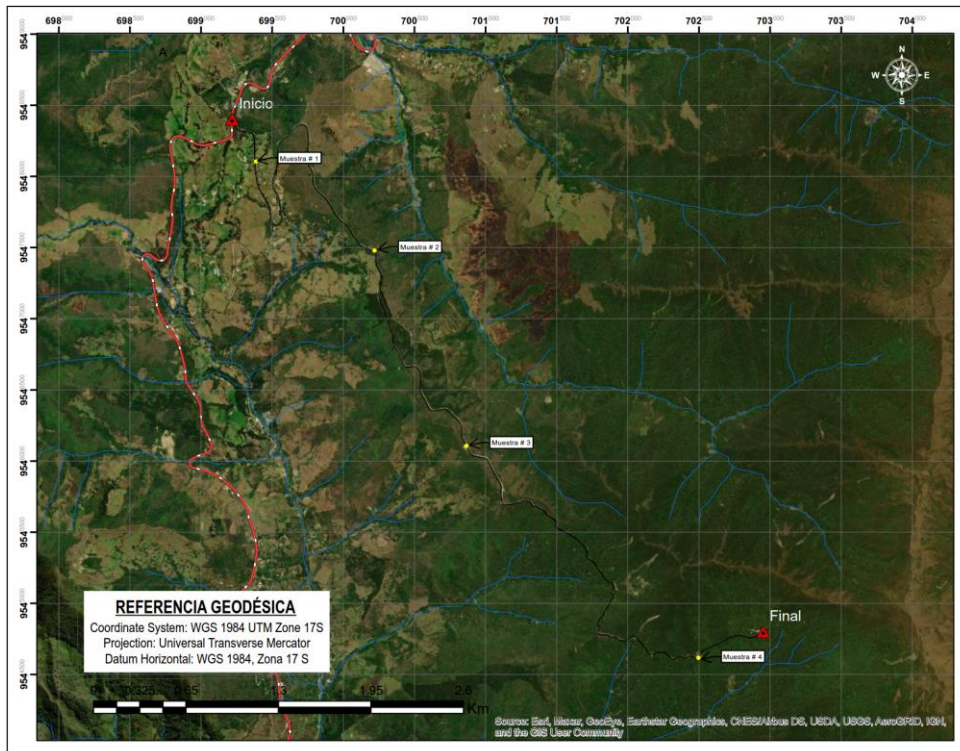


Figura 18. Puntos de muestreo de roca para ensayo de compresión simple.
 Elaborado por: La Autora; 2021.

➤ **Rock Quality Designation (RQD).**

Se inició con un recorrido de los 8 km de la vía y mediante observación directa y minuciosa se establecieron puntos para la toma de datos en cuanto a calidad del macizo rocoso como: ubicación geográfica, número de fisuras por metro cuadrado y la manera en que se presentan las fisuras.

El cálculo de RQD se aplicó para los taludes donde se realizó por ventanas, lo que consistió en el conteo de fisuras por m^2 , luego se utilizó las respectivas ecuaciones para realizar el respectivo cálculo.

➤ **Rock Mass Rating (RMR).**

La caracterización de los macizos rocosos con el Índice de Calidad RMR se realizaron en base a seis parámetros propuestos por Bieniawski, versión 1989 de los 3 macizos en estudio, para lo cual se utilizó la información tomada en campo y los resultados realizados en laboratorio.

- 1) Resistencia a compresión simple de la roca,



- 2) RQD (Rock Quality Designation),
- 3) Distancia de separación entre las discontinuidades,
- 4) Condición de las discontinuidades,
 - a. Longitud
 - b. Abertura
 - c. Rugosidad
 - d. Relleno
 - e. Alteración
- 5) Flujo del agua subterránea en las discontinuidades y
- 6) Orientación de las discontinuidades.

➤ **Slope Mass Rating (SMR).**

Se realizó la clasificación SMR que se obtuvo a partir del índice de calidad RMR, factor de ajuste de las discontinuidades. Además, se estableció el valor SMR de cada familia de juntas que conformaban los 3 macizos rocosos en estudio, y se acoge el valor menor de los resultados.

Finalmente, se determina la puntuación de cada factor de la tabla 7, posteriormente se utiliza la fórmula para obtener el valor del SMR y determinar la clase de estabilidad de la tabla 8.

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

➤ **Geological strength index. (GSI)**

Para el GSI se consideró las relaciones con el RMR_{89} de los macizos rocosos en estudio, utilizando las fórmulas donde especifica que si el $RMR_{89} > 23$, $GSI = RMR_{89} - 5$, Si $RMR_{89} < 23$ entonces no se puede determinar el valor de GSI; una vez se obtiene el resultado se realiza la respectiva clasificación del GSI el cual varía de 0 a 100 donde:

- Macizos de calidad Muy Mala ($0 \leq GSI \leq 20$)
- Macizos de calidad Mala ($20 < GSI \leq 40$)
- Macizos de calidad Regular ($40 < GSI \leq 60$)



- Macizos de calidad Buena ($60 < \text{GSI} \leq 80$)
- Macizos de calidad Muy Buena ($80 < \text{GSI} \leq 100$)

5.4.5 Análisis de estabilidad global de taludes

Para el análisis de estabilidad se procedió al modelamiento de taludes donde se utilizó los valores obtenidos en las líneas de sísmica de refracción como cohesión, ángulo de fricción y peso específico.

Una vez realizado el procedimiento, los valores obtenidos se utilizan en el programa Slide v.6.0, para la obtención del FS, mediante la modelación de cada talud.

5.5 Metodología para el Tercer Objetivo

Para dar cumplimiento al tercer objetivo que consiste en “Proponer recomendaciones para la rectificación y mejoramiento de la vía Cajanuma hasta el Primer Refugio del Parque Nacional Podocarpus.”. Se ejecuta un trabajo de gabinete, una vez obtenidos los datos del levantamiento geológico y de la exploración geotécnica se determina recomendaciones con el fin de generar alternativas que permitan, desde el punto de vista geológico geotécnico la rectificación y mejoramiento de la vía de estudio.

5.5.1 Método AASHTO-93

5.5.1.1 Zonas de estudio para el cálculo con el método AASHTO a partir del CBR

➤ Zona 1

La zona 1 inicia en el abscisa 0+000 a la abscisa 3+365 conformada por la Formación Quillollaco (0+000-1+000) y la Unidad Chiguinda (1+000-3+365) integrada por conglomerados mal clasificados con matriz poco cementante y por rocas metamórficas (pizarras y esquistos) respectivamente. Medianamente alteradas y fragmentadas.

➤ Zona 2

La zona 2 se encuentra en las abscisas 3+635 a 8+000 conformadas por filitas, esquistos y pizarras alterados y tectonizadas pertenecientes a la Unidad Chiguinda, unidad predominante de la zona de estudio.

➤ Método AASHTO-93



Para determinar el mejoramiento de las zonas de estudio se realiza 8 calicatas geotécnicas a lo largo de la vía, con las cuales se realizaron ensayos de laboratorio que nos proporcionaran datos para la aplicación del método la cual incluye parámetros geológicos-geotécnicos y civiles.

El método AASHTO-93, describe con detalle los procedimientos para la determinación de los espesores de los tramos de la estructura vial a ser intervenidos.

El método AASHTO-1993 se basa primordialmente en identificar un “número estructural (SN)”, que pueda soportar un nivel de carga. .Para determinar el número estructural, el método se apoya en una ecuación que relaciona coeficientes, con sus respectivos números estructurales, los cuales se calculan con ayuda del software (ecuación AASHTO 93).

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}}{\frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Dónde:

W18 = número de aplicaciones de cargas de 80.00 KN

ZR = desviación estándar normal

So = desviación o error estándar

SN = número estructural

ΔPSI = pérdida de Serviciabilidad prevista en el diseño

MR = módulo resiliente de la subrasante

5.5.1.2 Cálculo de tráfico (W18)

El factor de carga equivalente W18 calculado para un periodo de diseño de 20 años es W18= 60016.12, calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$\mathbf{W18\ Parcial = T.P.D.A*n*FD}$$

Donde:

W18= Ejes simples equivalentes de 8.20 toneladas



TPDA= tráfico promedio diario anual

FD= factor de daño

Para n= 20 años (2041)

Los datos de la tabla 13 fueron proporcionados por el ministerio de transporte y obras públicas de los cuales se realizó el cálculo de tráfico con la fórmula antes mencionada.

Tabla 18. Cálculo del número de ejes equivalentes de 8.2 ton (W18)

Año/2021	Buses busetas	Camión 2DA	Camión 2DB
Tpda	16	30	14
Factor daño	1.04	1.308	4.50365371
W18 parcial	6073.6	14323.2	23013.6705
W18 total	43410.47		
AÑO/2031 (10años)	Buses busetas	Camión 2DA	Camión 2DB
Tpda	19	36	16
Factor daño	1.04	1.308	4.50365371
W18 parcial	7212.4	17187.8	26301.3377
W18 total	50701.58		
AÑO/2041 (20 años)	Buses busetas	Camión 2DA	Camión 2DB
Tpda	23	42	19
Factor daño	1.04	1.308	4.50365371
W18 parcial	8730.8	20052.5	31232.8385
W18 total	60016.12		

Elaborado por: La Autora, 2021

5.5.1.3 Serviciabilidad inicial (Po):

La Serviciabilidad se evalúa a través de un índice de servicio inicial, el cual varía entre 0.00 y 5.00, considerando la idoneidad del pavimento y que las condiciones que va a brindar la vía para el tráfico serán excelentes.

Tabla 19. Serviciabilidad inicial

Función de la carretera	Po	Psi	ΔPSI
Corredores arteriales (malla esencial)	4.20	2.50	2.00
Colectores (Autopistas RI – RI1, Clase I – II)	5.00	2.00	2.50
Otros	4.50	2.00	2.20

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures

✓ Para el presente proyecto se ha tomado un valor de Po de 4.20



5.5.1.4 Serviciabilidad final (Pt):

Según la guía AASHTO, la selección del índice de servicio final Pt, se debe basar en el índice más bajo que pueda ser tolerado antes de que sea necesario efectuar una rehabilitación o una reconstrucción.

Tabla 20. Índice de servicialidad final

Índice de servicialidad final (Pt)	
2.5 o 3.0	carretas principales
2	Carreteras con clasificación menor
1.5	carreteras relativamente menores, donde las condiciones económicas determinan que gastos iniciales deben ser mantenidos bajos

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures

5.5.1.5 Perdida o diferencia entre índices de Serviciabilidad inicial y final:

Un valor de 5 para la serviciabilidad inicial indica un pavimento en condiciones totalmente perfectas lo cual es imposible de encontrar en la práctica, y un valor de 0 para una serviciabilidad final indica un pavimento totalmente destruido. En este caso se tomará una serviciabilidad inicial de 4.20 y una serviciabilidad final de 2.0, por lo que el índice de serviciabilidad será.

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t = 4.20 - 2.0 = 2.2$$

5.5.1.6 Desviación estándar global o total (So):

La guía AASHTO-93 recomienda adoptar para la desviación estándar S_o , valores comprendidos dentro de los siguientes intervalos:

- ✓ Pavimentos flexibles: 0.40 – 0.50
- ✓ 0.45 = construcción nueva
- ✓ 0.50 = sobre capas

La vía en estudio realizará una construcción nueva, por lo que se adopta como desviación estándar el valor de 0.45. }



5.5.1.7 Desviación estándar normal (ZR):

El valor de la desviación normal está determinado en función de la confiabilidad (80.00 %), considerando que la vía es una carretera colectora interurbana.

Tabla 21. Factores de desviación normal

Confiabilidad	Zr	Confiabilidad	Zr
50	0	92	-1.405
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	5	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures

De acuerdo con el método de diseño AASHTO-93, para el valor de confiabilidad indicado, el valor de ZR es – 0.841

5.5.1.8 Modulo resiliente:

Para cada valor de CBR's de las calicatas realizadas a lo largo de la vía se calculó el módulo resiliente el cual representa la capacidad que tendrá para absorber los esfuerzos producidos por las condiciones geológicas, climáticas y antrópicas.

Para materiales en la vía en estudio

$$Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241 \quad (20)$$

Tabla 22. Valores de CBR y módulo resiliente.

Abscisas		Tipo de suelo	CBR de diseño %	Módulo resiliente
0+000	1+425	F	1	1500.00
1+425	2+335	G	9.8	23899.66
2+335	3+500	G	9.4	23892.76
3+500	4+530	G	8.5	23877.18
4+530	5+530	G	12	23937.44
5+530	6+370	G	8.1	23870.24
6+370	7+056	G	4.3	23803.74
7+056	8+000	G	9.5	23894.48

Fuente: La Autora, 2021

Para el desarrollo del método de AASTHO, se cuenta con un software que calcula el SN (número estructural), a partir de datos obtenidos a lo largo del estudio.

5.5.1.9 Numero estructural (SN):

Las propiedades físicas y mecánicas de las diferentes capas de suelo se calculan con ensayos normalizados en laboratorio y también a través de correlaciones de valores típicos. Este material debe cumplir con un CBR mínimo de 6%, si el material se encuentra por debajo de este valor se deberá realizar mejoramiento.

Procedimiento:

- ❖ Al introducir los datos al software AASTHO93, se obtienen los valores de los números estructurales para cada capa.
- ❖ Primero se debe elegir el tipo de pavimento a implementar, en este caso, flexible (figura 19).

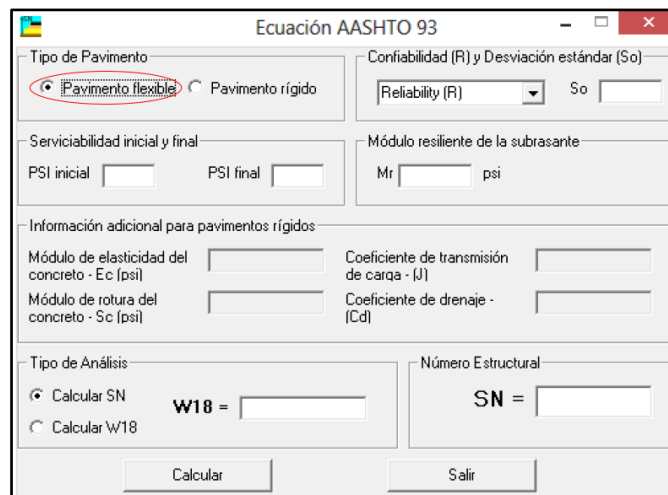


Figura 19. Elección del tipo de pavimento a implementar - AASHTO-93

Fuente: La Autora, 2021

- ❖ Seleccionar la confiabilidad (R), escogida para el diseño, para el caso de carreteras de segundo orden se escoge un valor de 80%.
- ❖ Introducir los valores de modulo resiliente, desviación estándar del sistema, índice de servicio inicial/final y tránsito. (figura 20).

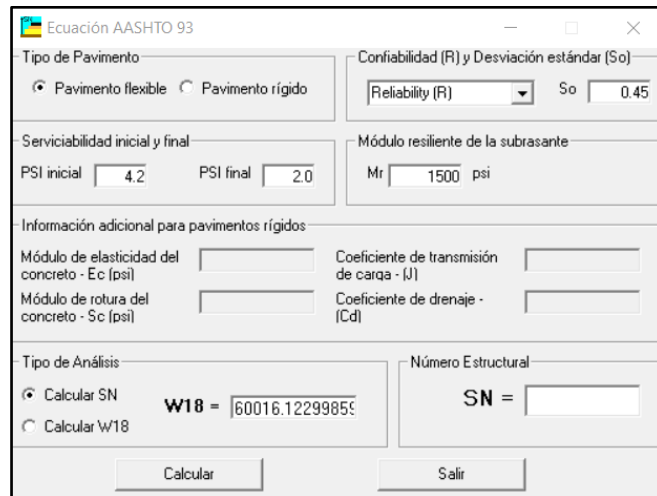


Figura 20. Introducción de datos para el cálculo del SN

Fuente: La Autora, 2021

- ❖ Finalmente se analiza los resultados obtenidos mediante la ecuación AASHTO-93 que determina los espesores de las diferentes capas del suelo de los tramos a intervenir y con ello se propone recomendaciones de rectificación y mejoramiento.



6. Resultados.

6.1 Descripción General del área de estudio

6.1.1 Ubicación Administrativa

El cantón Loja se encuentra ubicado en la parte oriental de la provincia de Loja, cuenta con 19 parroquias, 13 parroquias rurales y 6 parroquias urbanas “Ciudad de Loja” (Valle, Sagrario, San Sebastián, Sucre, Punzara y Carigán).

La ciudad de Loja y su entorno suburbano se encuentran ubicados al Sur de la Región Interandina (Sierra) de la república del Ecuador, en el valle de Cuxibamba, a 4° de latitud Sur. Limita con las provincias de El Oro al Noroeste; con la provincia de Zamora Chinchipe al Este; con la provincia del Azuay al Norte; al Sur con el Departamento de Piura y al Oeste con el Departamento de Tumbes, estos últimos pertenecientes al país vecino de Perú, la ciudad cuenta con una extensión de 5.186,58 ha (52 km²).

La vía de estudio se encuentra ubicado en la parte Suroriental de la ciudad de Loja, a 6.00 Km de la cabecera cantonal, con una longitud de 8 km desde Cajanuma hasta el refugio N°1 del Parque Nacional Podocarpus con área de 80 Ha. (**figura 21**). Las coordenadas geográficas de ubicación (UTM WGS84 17S) se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 23. *Coordenadas geográficas de ubicación UTM/WGS84*

Acceso	Norte	Este	Altitud	Abscisa
Inicio	9548403.86	699214.71	2386	0+000.00
Fin	9544775.30	702974.81	2816.62	8+000.00

Elaborado por: La autora, 2021



Figura 21 . Ubicación de la zona de estudio
Fuente: La Autora, 2021

6.1.2 Acceso.

Para acceder a la zona de estudio se lo puede realizar de la siguiente manera:

- Por vía aérea desde la capital (Quito) o Guayaquil hasta el aeropuerto “Ciudad de Catamayo” del cantón Catamayo en un tiempo estimado de 1 hora. Una vez en Catamayo, se puede desplazarse por vía terrestre hacia la ciudad de Loja recorriendo 35 km y tiempo de viaje 40 min; se toma la vía a Malacatos con un recorrido de 14.5km y un tiempo de 24min.
- Por vía terrestre a través de la vía Panamericana E35, que cruza todo el valle interandino desde la capital a una distancia aproximada de 700 km. Otra vía de acceso a la ciudad de Loja es desde la costa ecuatoriana, por la carretera que comunica las ciudades de Guayaquil-Machala-Loja, con una distancia aproximada de unos 550 km **(fotografía 8)**.



Fotografía 7. Entrada a la vía de estudio
Fuente: La Autora, 2021

6.2 Descripción Biofísica del área de estudio

6.2.1 Clima

El clima de la ciudad de Loja es templado ecuatorial subhúmedo, puesto que se asienta en la cuenca alta del Zamora, influenciado por el clima tipo amazónico y los vientos alisios, cuyos pequeños valles y mesetas se encuentran sobre los 2000 m.s.n.m.

De acuerdo con datos registrados la región andina del Parque Nacional Podocarpus en el sector de Cajanuma recibe entre 2000 - 4000 mm de precipitación anual. El clima que presenta la zona está caracterizado por vientos intensos que vienen desde el este y por una neblina persistente, la temperatura varía diariamente entre 10° C a 3° C (Espinosa H. R., 2013). Ecológicamente el área de estudio según la clasificación de L. Holdridge, corresponde a la zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh – MB).

Según la propuesta del Sistema de Clasificación para el Ecuador Continental realizada por (Sierra R, 1999), el sector de estudio pertenece a la formación vegetal de bosque de neblina montano, entre 1800 - 3000 m.s.n.m.

La humedad relativa del 75%, siendo de diciembre a junio los meses de mayor humedad. Por otro lado, los vientos se desplazan en velocidades de 1 y 4.3 m/s y su dirección es desde el Noreste. El viento es una variable que tiene gran influencia en procesos hidrometeorológicos, por ejemplo, aumenta o disminuye la tasa de evaporación y transpiración, transporta las nubes y causa las precipitaciones.

6.2.2 Hidrografía

La hidrología del sector de estudio se basa en el sistema lacustre conocido como las “Lagunas del Compadre”, la cual se ubican sobre los 3000 m.s.n.m., con extensiones que llegan hasta 20 ha. De este sistema se originan una red hidrográfica muy importante para la provincia de Loja.

Se pueden encontrar 27 microcuencas definidas por la clasificación del Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2011) de estas 27 microcuencas, de las cuales 3 se encuentran en el área de estudio las cuales son: Rio Malacatos, Quebrada Cristal, Quebrada Curitroje y Quebrada el Monje.

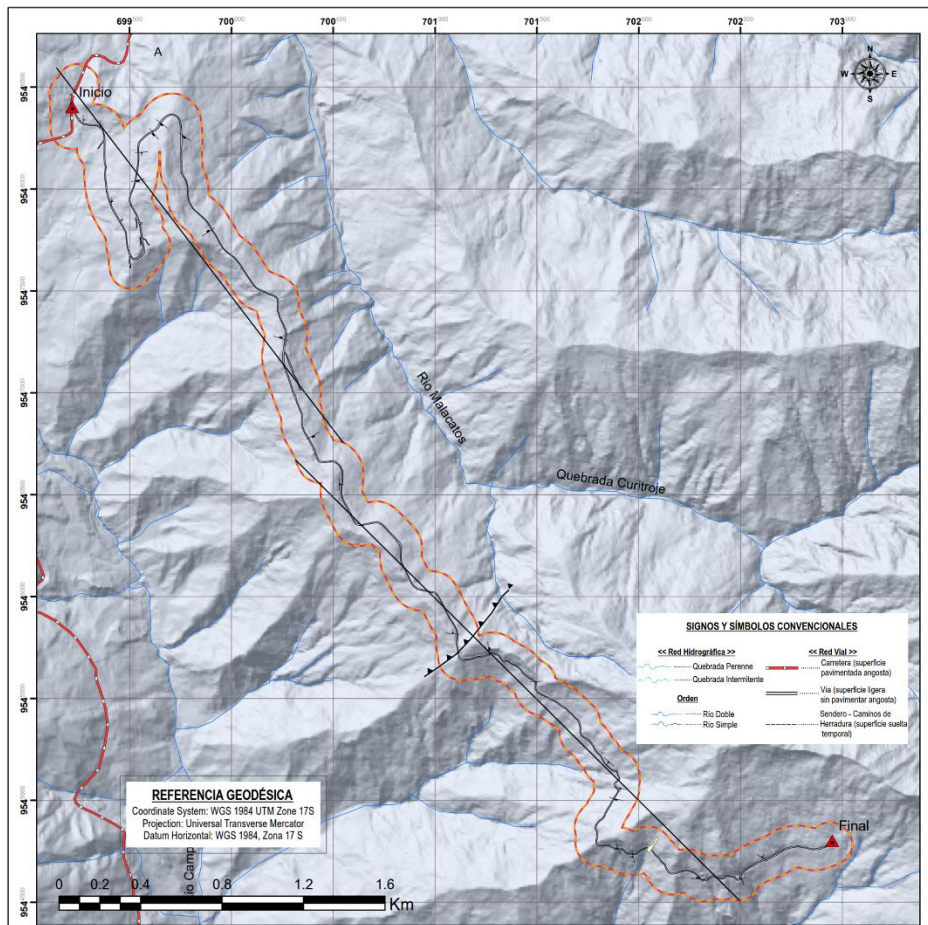


Figura 22. Hidrografía de la zona de estudio






Elaborado por: La Autora, 2021



6.2.3 Pendientes

Para realizar el mapa de Pendientes, se utilizó la valoración de acuerdo con la clasificación propuesta por DEMEK, 1972. En la **tabla 18**, se detalla los resultados obtenidos:

Tabla 24. Pendientes del Parque Nacional Podocarpus

Inclinación de pendiente						
N°	Clase	Rangos	Simbología	Área (km ²)	Perímetro (km)	Porcentaje (%)
1	Ligeramente inclinado	0° - 5°		0,03	14,58	1,60
2	Fuertemente inclinado	5° - 15°		0,18	54,82	11,11
3	Muy inclinado	15° - 35°		0,95	100,73	58,46
4	Empinado	35° - 55°		0,45	60,77	27,41
5	Vertical	> 55°		0,02	6,16	1,41

Fuente: La Autora, 2021

Al realizar la clasificación de Demek, se obtiene como resultado un total de 5 clases que tienen valores desde <1° como valor mínimo, y valores hasta >55° como valor máximo. Estos valores nos indican que el lugar de estudio presenta pendientes muy inclinadas hasta Pendientes empinadas.

Prevalcen las pendientes muy Inclinadas con un total de 0.95 km², lo que nos da un porcentaje de 58.46%, seguidamente tenemos pendientes empinadas con un total de 0.45 km², lo que nos da un porcentaje de 27.41%. Seguidamente tenemos las pendientes fuertemente inclinadas con un total de 0.18 km², y un porcentaje de 11.11%, pendientes ligeramente inclinadas con un total de 0.03 km² y un porcentaje de 1.60% y en menor proporción pendientes verticales con un total de 0.02 km², obteniendo un porcentaje individual de 1.41%. (ver Anexo 2. Pendientes de la zona de estudio).

6.2.4 Geomorfología

En el Parque Nacional Podocarpus se describen tres grandes grupos de formas de relieve. De oeste a este hay vertientes irregulares, seguidas por los relieves montañosos y los relieves de colinas al oriente. En el área del Parque Podocarpus se han diferenciado conjuntos geomorfológicos que reflejan ambientes geológicos y ecológicos bien definidos.

La cordillera oriental de los Andes presenta un relieve montañoso muy accidentado con pendientes dominantes mayores al 50 %, conformada por un sistema hidrográfico que



desciende la mayoría a la cuenca Amazónica muy encajonada, formando gargantas profundas sin dar lugar a valles.

Vertientes Irregulares: vertientes de ejes montañosas fuertemente ramificadas, con drenaje muy denso representado por quebradas y torrenteras afluentes a ríos principales, localizadas en la parte más oriental del área de estudio. En ellas hay bosques de gran interés para su conservación.

Relieves montañosos: en este grupo se incluyen las montañas cuya altura y formas se deben a plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en diverso grado por los procesos de denudación fluvio – erosional y glaciár, respectivamente.

Colinas: elevación natural y aislada del terreno con un desnivel desde la línea de base hasta la cumbre menor a 300 m, cuyas laderas presentan una inclinación promedio superior al 16% y divergen en todas direcciones a partir de la cima relativamente estrecha, siendo su base aproximadamente circular (Rubio, 2011). En el Parque Nacional Podocarpus se distinguen colinas altas, medias y bajas.

Finalmente, todas estas geoformas se presentan en un mapa geomorfológico. (**ver Anexo 3. Geomorfología de la zona de estudio**).

6.3 Topografía del Sector de Estudio

La topografía característica de la zona de estudio es bastante accidentada y pendientes pronunciadas, forma una serie de ramales bajos y nudos propios de la zona, con relieves que varían de 2600-3000 m.s.n.m. que es la parte más alta, hasta alturas de 2300 m.s.n.m. que es la parte más baja.

El terreno por donde se implanta el proyecto es de tipo montañoso con pendientes transversales que superan el 100% y acantilados especialmente en el tramo comprendido entre el Km 4+900 y Km 7+500; y las gradientes longitudinales mayores al 17.00%.

Las características topográficas entre el Km 0+000.00 y Km 4+900 son de tipo montañoso con pendientes transversales moderadas, en tramo de vía existe presencia de agricultura a baja escala y la mayor parte de los terrenos son usados como invernadas; la vía se desarrolla por la



parte alta de la montaña por lo que no existe presencia de cauces permanentes de agua. El proyecto atraviesa la parte baja y alta de las montañas en tramos de cortos de longitud lo que genera grandes pendientes longitudinales.

En el tramo comprendido entre el Km 4+900 hasta el final del proyecto las características topográficas es de tipo montañoso con presencia de acantilados existe presencia de gran cantidad de roca la misma que se observa a simple vista en los taludes de la vía actual; este tramo de vía ya es parte del Parque Nacional Podocarpus, la vegetación no ha sufrido alteraciones a pesar de haber sido intervenido en años anteriores cuando se construyó el camino de acceso; en este sector existe presencia de varias vertientes de agua las mismas que son evacuadas por alcantarillas existentes. **(ver Anexo 1. Topografía de la zona de estudio).**

6.4 Geología Regional.

La Hoya de Loja, está conformada por una secuencia sedimentaria muy variada, donde el esquema estratigráfico de deposición, se desarrollaron en dos áreas diferentes con edades similares Cenozoico (Oligoceno – Mioceno). Está depositada discordantemente sobre el basamento metamórfico de la Unidad Chigüinda de edad Devoniano a Perniano se encuentra conformada por las siguientes formaciones, (Tamay, 2004).

Unidad Chigüinda (paleozoico). - Conformada el basamento de la hoya de Loja; comprende cuarcitas, filitas, esquistos, y pizarras, se desconoce su espesor, pero se supone que es de varios kilómetros, aflora en la parte occidental de la cuenca y en la parte oriental en la vía Loja-Zamora.

Formación Trigal (Mioceno Medio). - Consiste en arcillas, lutitas, areniscas de grano grueso con láminas de finas de conglomerados y capas menores de limolitas. La potencia varía de 50-150 m.

Formación La Banda (Mioceno Medio-Tardío). - Constituida por intervalos de calizas blancas las cuales contienen moluscos y ostrácodos; escasa laminas finas de lutitas carbonatadas, capas de cherts (sílices) y areniscas amarillas de grano fino, tiene un espesor aproximado de 10-20 m.



Formación Belén (Mioceno Medio-Tardío). - Descansa concordantemente sobre la Formación La Banda, se caracteriza por gruesas capas de areniscas de color marrón granuladas que contienen lentes de conglomerados de clastos de rocas metamórficas, horizontalmente estratificados, se estima un espesor de 300 m.

Formación San Cayetano (Mioceno Tardío-Último). - Aflora en el barrio San Cayetano en la parte centro-oriental de la cuenca de Loja y está presente en su mayor parte al este del río Zamora. La formación está dividida en tres miembros con límites transicionales. Litológicamente está compuesto por areniscas, conglomerado y lutitas; capas de carbón, diatomitas y algunos piroclastos horizontales. Existen también gasterópodos, hojas y esqueletos de peces estratificados. Debido al fuerte plegamiento la estimación del espesor de esta formación es difícil, pero su potencia total puede llegar a 800 m.

Formación Quillollaco (Mioceno Tardío). - Sobreyace a la Formación San Cayetano, está dominada por conglomerados muy granulados con pocas intercalaciones de arenisca. Los conglomerados están compuestos por clastos redondeados de rocas metamórficas; también hay intervalos menores de areniscas interestratificadas, Su espesor varía entre 600 m al sur de la cuenca, 100 m en la parte central y 500 m en la parte este de la cuenca.

Formación Salapa (Plioceno-Último). - Descansa discordantemente sobre el metamórfico que bordea la cuenca, contiene líticos y tobas ricas en vidrio. Las tobas son fuertemente alteradas, también a veces transformadas en caolinita y no se observan estructuras primarias, se estima una potencia aproximada de 10 m (Tamay, 2004).

Esta información está plasmada en el mapa geológico regional (**ver Anexo 5. Geología Regional de la zona de estudio**).

6.5 Geología local

El levantamiento geológico, está enfocado a la descripción de los principales afloramientos, en base a la geología de las Formaciones existentes en la zona de estudio; sin embargo, las características geológicas y geomorfológicas del área, no están documentadas a mayor detalle por lo que fue necesario el levantamiento de información geológica de la zona. (**ver Anexo 6. Geología Local de la zona de estudio**).



En cuanto a la geología encontrada a lo largo del tramo de la vía acceso al Parque Nacional Podocarpus se evidenciaron características y litologías que corresponden a dos unidades o formaciones geológicas presentes en la Carta geológica de Gonzanamá a escala 1:100000, como son: Quillollaco y Unidad Chigüinda, mismas que se describen a continuación y se detallan en el **Anexo 4. Fichas de Afloramientos**, al igual que sus propiedades se encuentran en el **Anexo 7. Fichas de descripción de propiedades de los materiales**.

Tabla 25. Afloramientos principales de la zona de estudio.

Localización Geográfica de Afloramientos					
N° Afloramiento	Este	Norte	Altitud	Tipo	Tipo de material
1	699279	9548327	2390	Artificial	Conglomerados
2	699361	9548301	2374	Artificial	Conglomerados
3	699416	9547923	2426	Artificial	Conglomerados y pizarras
4	699523	9548034	2473	Artificial	Filitas
5	699543	9548168	2483	Artificial	Pizarras y Filitas
6	699605	9548283	2489	Artificial	Pizarras
7	699641	9548327	2483	Artificial	Esquistos
8	699752	9548264	2484	Artificial	Pizarras
9	699901	9547804	2504	Artificial	Pizarras
10	700261	9547265	2523	Artificial	Pizarras
11	700386	9546775	2541	Artificial	Pizarras
12	700539	9546535	2566	Artificial	Pizarras y esquistos
13	701106	9545826	2625	Artificial	Filitas
14	701270	9545725	2644	Artificial	Esquistos
15	701481	9545574	2637	Artificial	Filitas y pizarras
16	701834	9545193	2635	Artificial	Pizarras y esquistos
17	701891	9545054	2662	Artificial	Filitas y pizarras
18	701869	9545005	2663	Artificial	Filitas
19	701882	9544779	2670	Artificial	Pizarras, filitas y esquistos
20	701960	9544738	2687	Artificial	Filitas y pizarras
21	702295	9554462	2721	Artificial	Esquistos y pizarras
22	702310	9544617	2700	Artificial	Esquistos
23	702494	9544635	2736	Artificial	Filitas
24	702626	9544719	2754	Artificial	Pizarras y filitas

Elaborado por: La Autora, 2021

Descripción geológica

- **Formación Quillollaco.**

Tiene una secuencia de estratificación de conglomerados masivos, limos, micro conglomerados. Los conglomerados se conforman de clastos metamórficos como filitas y pizarras esquistos y cuarcitas, estos clastos van de decímetros a centímetros de diámetro los mismos que están en una matriz limo arenoso, (**fotografía 9**) presentándose pizarras con limos e intercalaciones de conglomerado de origen metamórfico en la zona de estudio.



Fotografía 8. Clastos metamórficos presentes en el primer afloramiento – primer tramo de la vía de estudio.

Fuente: La Autora, 2021

A esta formación se le atribuyen los afloramientos N.º 1, 2 y 3 en el tramo de abscisa 0+000 a 1+000 (Afloramientos Artificiales), de los cuales se detalla a continuación su litología:

En la entrada del área de estudio encontramos este afloramiento (**fotografía 9**), atribuido al Mioceno Tardío el cual está constituida principalmente por pizarras con limos e intercalaciones de conglomerados de color gris verdoso con alta presencia de meteorización física (fracturación), química (oxidación) y biológica (presencia de vegetación).

Conglomerados. - Los afloramientos ubicados a la entrada de la zona de estudio están compuestos de conglomerado con matriz de arena y arcilla, poco cementante, medianamente seleccionados; presenta coloración gris verdosa y un alto grado de meteorización. Además, dichos clastos se encuentran de manera sub angulosos a sub redondeados con tamaños que van desde 2 a 10 cm grano decrecientes. No presenta estratificación ni fracturas evidentes.



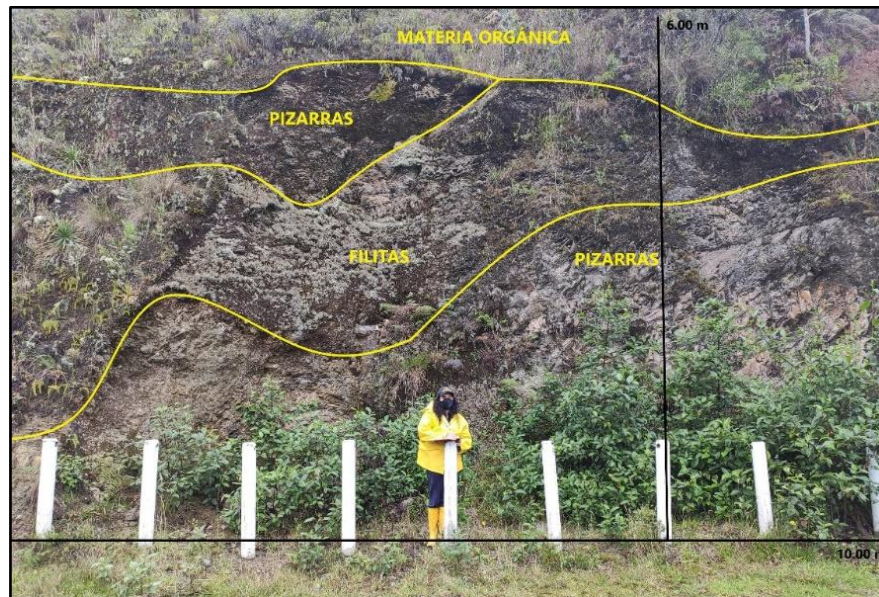
Fotografía 9. Afloramiento 2: Conglomerados cuyos clastos son medianamente redondeados que van de 2 a 10 cm de diámetro.

Fuente: La Autora, 2021

En esta formación encontramos conglomerados compuestos de clastos metamórficos medianamente angulosos a sub redondeados (**fotografía 10**), esto se debe al transporte que han sufrido los clastos hasta su deposición. Además, tienen una matriz arenosa poco cementante, de coloración gris con relieve bajo y vegetación escasa; presencia de fracturación, oxidación elevada en zonas.

- **Unidad Chigüinda.**

Corresponde a todo el basamento metamórfico de la cuenca de Loja. Entre las rocas principales y representativas de esta formación tenemos en general rocas metamórficas de edad paleozoica, que contienen filitas, cuarcitas, pizarras y meta-cuarcitas, y esquistos; siendo filitas, pizarras y esquistos encontradas en la zona de estudio. La **fotografía 11** muestra intercalaciones de filitas y pizarras con textura lepidoblástica y coloraciones que van desde tonos grises a marrón amarillento, estas rocas se caracterizan por tener un metamorfismo de grado bajo a medio, en algunos casos se encuentran intercaladas y deformadas.



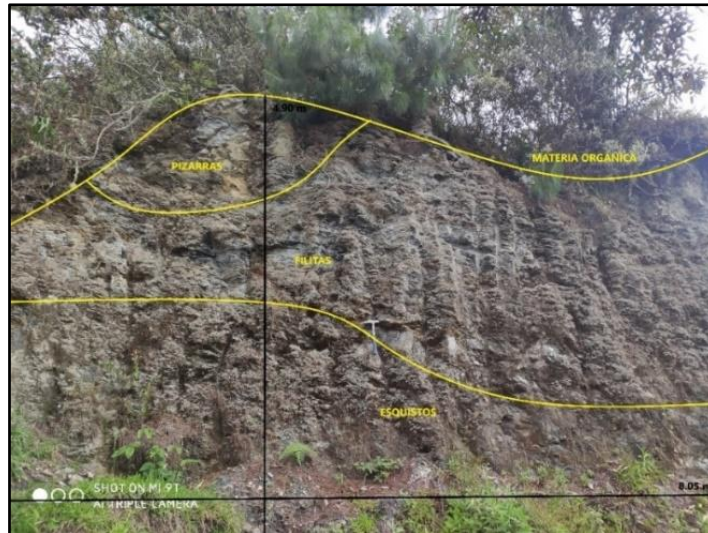
Fotografía 10. Pizarras con intercalaciones de Filitas. Vista NE-SW
Fuente: La Autora, 2021

Filitas. - Se encuentran predominando en toda el área de estudio, pero siempre están intercaladas con capas de potencias milimétricas a centimétricas de cuarcitas, pizarras y esporádicamente con esquistos. Es de color gris oscuro y con brillo satinado, su granulometría es de grano fino a medio debido a que sus contactos concordantes son progresivo gradual e intercalado con cuarcitas. Los granos están dentro de una matriz fina. En su mineralogía presentan un porcentaje de sílice en 80%, óxidos de hierro y manganeso 2%. La filita presenta una foliación definida con una dirección de buzamiento 85° y un buzamiento de 30° .

Pizarras. - Estas rocas se presentan en potencias de 2 m hasta los 5 m, aproximada y generalmente están en contacto concordante intercalado con filitas, son de color café amarillentas con tonalidades negras debido a la presencia de óxido de hierro. Su estructura es maciza (fuertemente consolidada) muy tenaz y se rompe con fractura plana. Estas rocas son de grano fino dentro de una matriz fina sin la presencia de fenocristales, se observa una mayor meteorización en estas rocas, así mismo contienen minerales de sílice 20%, sericita 30% y magnetita 0.4%.

Esquistos. - Son rocas compactas que no son muy abundantes en la zona de influencia y al parecer son el resultado de un cambio de granulometría. Así también posee potencia baja de aproximadamente 3 m dificultando ser mapeadas a la escala propuesta de trabajo, todo el miembro presenta una foliación plana, son de color gris verdosas, de grano grueso, y

contienen principalmente minerales de biotita, cuarzo, sericita, magnetita. La foliación tiene una dirección de buzamiento alta y con buzamientos de entre 30° a 70°.



Fotografía 11. Intercalación de pizarras, filitas y esquistos con mínimas incrustaciones de cuarcita de color blanquecino pardo

Fuente: La Autora, 2021

Dentro del Sector de estudio este afloramiento (**fotografía 11**), presenta rocas metamórficas de bajo grado desde pizarras y filitas hasta esquistos $162^{\circ}/60^{\circ}$, intercaladas con cuarcitas del Devónico al Pérmico siendo una secuencia derivada de una fuente continental. Se constata en pequeña proporción la presencia de vetillas de cuarcita. Meteorización física, química (presencia de óxidos) y biología (escasa presencia de vegetación).



Fotografía 12. Falla de tipo inversa en el Kilómetro 6; el plegamiento se puede considerar como fuerte y forma una serie de anticlinales y sinclinales en las rocas debido al fallamiento

Fuente: La Autora, 2021

La litología del presente afloramiento (**fotografía 12**) es semejante a la del afloramiento anterior, coincidiendo así con la presencia de pizarras y filitas con coloraciones que tienden a ser un gris claro; en su composición se evidenció cuarcita en pequeñas cantidades. Además, el

afloramiento presenta plegamiento debido a la falla inversa que pasa por la zona. En cuanto al diaclasamiento del macizo no es notorio debido a que el número de discontinuidades es mínimo o casi inexistente, lo que si presenta es un grado medio de rugosidad, meteorización física y biológica.

La descripción de los afloramientos se representó gráficamente en el Anexo 7. Geología local de la zona de estudio; donde finalmente se obtuvieron 9 litologías diferentes dentro del área de estudio, mismas que constituyen dos Formaciones o Unidades geológicas propias del sector (**figura 23**).

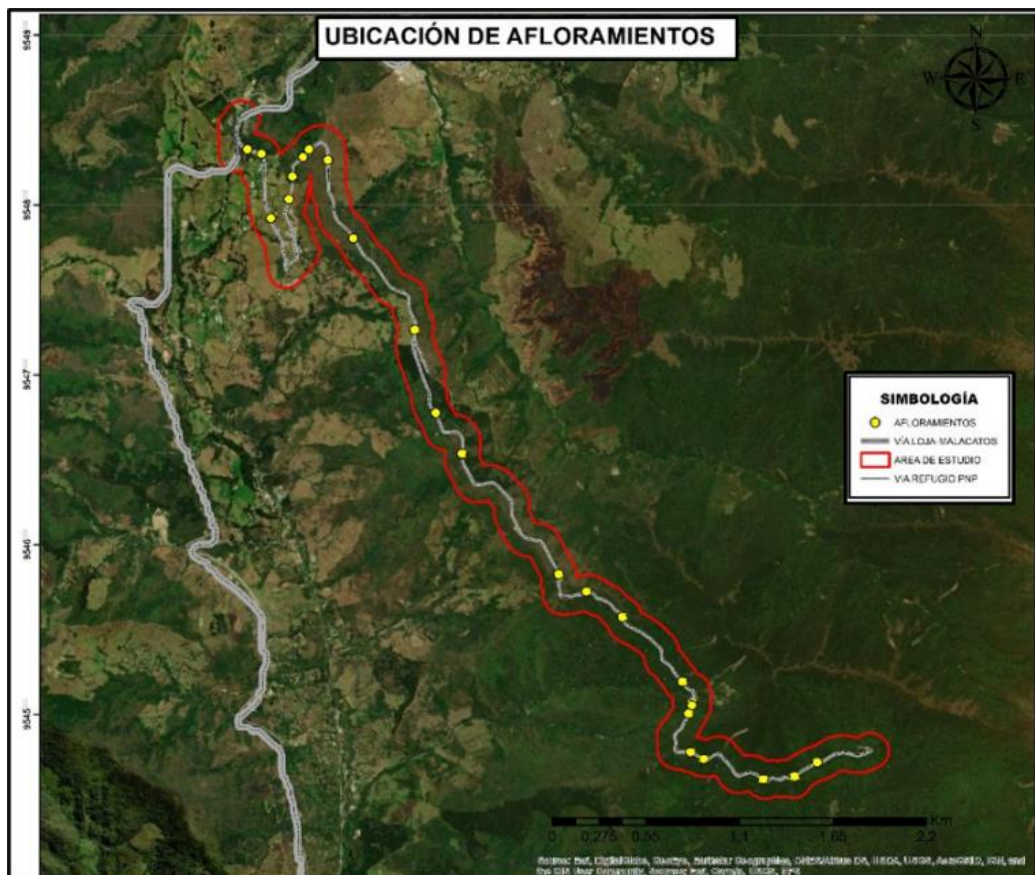


Figura 23. Ubicación de Afloramientos de la zona de estudio
Fuente: La Autora, 2021

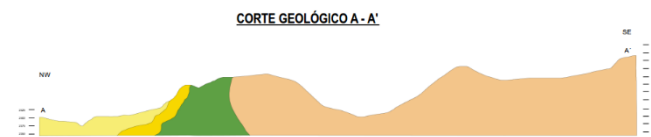
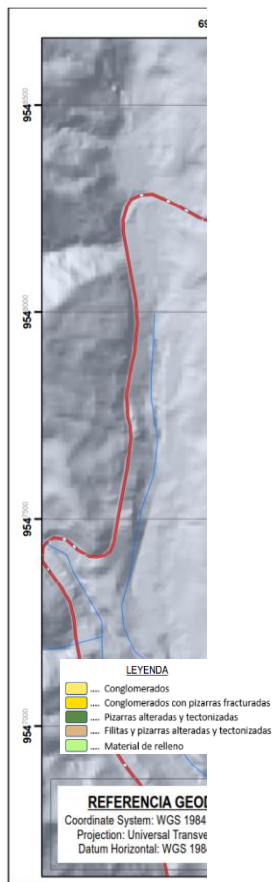


Figura 24. Geología local del tramo abs 0+000 a 3+365
Elaborado por: La Autora, 2021

En la figura 24 se presenta el corte geológico A- A’ del tramo 0+000 a 3+365 y una orientación NW-SE. Este corte atraviesa un contacto inferido entre la formación Quillollaco y Unidad Chiguinda. La potencia inferida del perfil es de 300 m en el punto más alto donde se presentan filitas y pizarras alteradas y tectonizadas.

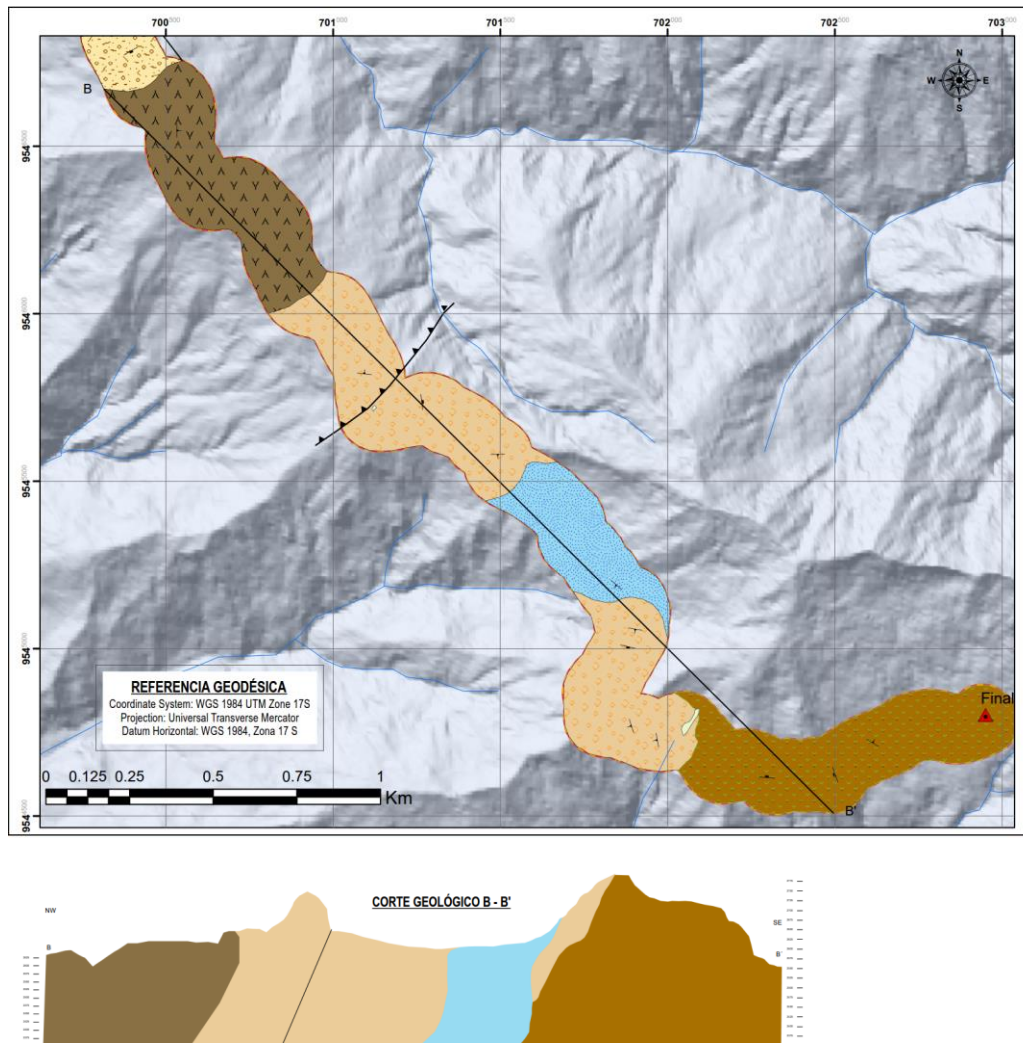


Figura 25. Geología local del tramo abs 3+365 a 8+000
Elaborado por: La Autora, 2021

En la figura 25 se presenta el corte geológico B-B', con orientación NW-SE. Este corte atraviesa una falla inversa la cual se caracteriza principalmente por afectar a la Unidad Chigüinda y presenta estructuras asociadas a ellas como pliegues, micropliegues que se generan por la acumulación de energía al encontrarse en un ambiente de metamorfismo regional continuo.

6.6 Geología Estructural

La zona de estudio en su mayoría esta compuesto por filitas y pizarras en menor proporcion por esquistos, se ha logrado la identificacion de una falla y contacto inferido. Se deduce que la falla de tipo inversa por su direccion N-S con buzamiento al Este, se encuentra

relacionada a la falla regional identificada como la falla Loja la cual forma parte de un sistema de fallas inversas que cruza la Cordillera Andina formando relieves con pendientes abruptas.

Por otro lado, con respecto al contacto inferido se lo ubica en la abscisa 1+000 en la parte Nor Oeste de la vía que corresponden a la Formación Quillollaco, constituida de conglomerados tipo clastos soportados en una matriz areno-limosa abarcando 1 km de la vía de estudio y a la Unidad Chigüinda abarcando los 7 km restantes de la vía en estudio, constituido en su mayoría por filitas, pizarras, esquistos y en menor proporción cuarcitas.

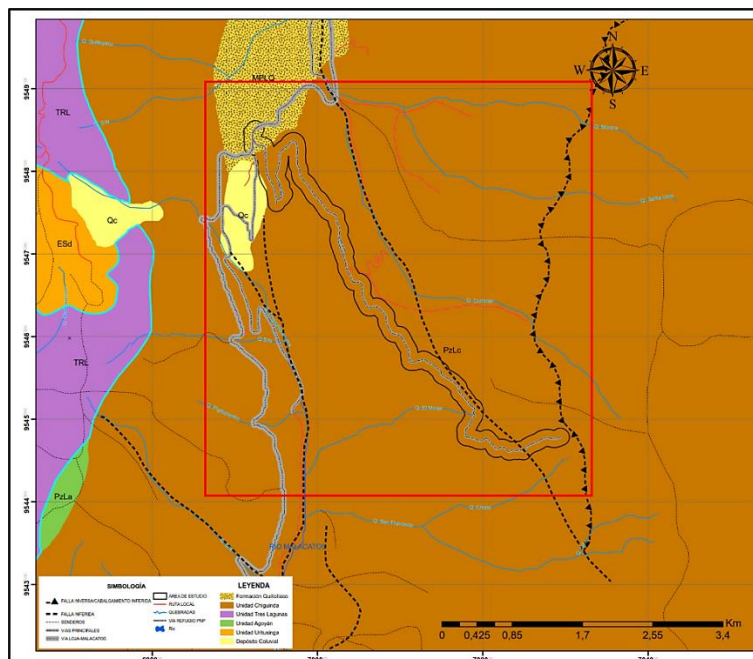


Figura 26. Área para descripción de la geología estructural
Fuente: La Autora, 2021

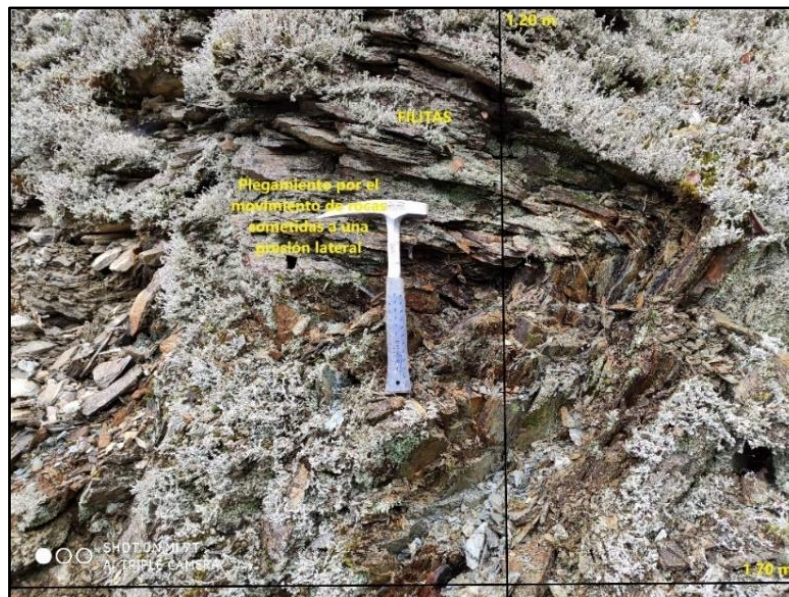


Fotografía 13. Vista E-O de un pliegue presente en las filitas de la Unidad Chigüinda
Fuente: La Autora, 2021

La formación de estas se debe a fuerzas tectónicas. (UTM 701106; 9545826) En la **fotografía 13** el afloramiento se encuentra sometidas a esfuerzos, formando plegamientos.

Mediante el levantamiento de información realizada en campo se tomó datos estructurales de cada afloramiento (rumbo y buzamiento). Así mismo se adquirió información de discontinuidades presentes en los macizos rocosos, teniendo así 3 macizos rocosos de los cuales se identificó las condiciones de las discontinuidades. Las discontinuidades geológicas que afectan en su mayoría a las rocas metamórficas, su longitud varia entre 0.6 a 1.5m, con aberturas que varían desde 0.03 a 1 m, la rugosidad que presenta de ondulados a rugosos, de ondulados a lisos y en otros casos rugosos.

Los planos de foliación se hallan bien definidos en algunos lugares, mientras en otros es dificultosa su identificación debido a que la roca se encuentra deformada, sobre todo en zonas cerca de a la falla en donde se observa plegamiento.



Fotografía 14. Plegamiento producto de la falla Loja
Fuente: La Autora, 2021

En el afloramiento ubicado en las coordenadas (UTM 702626; 9544719) presenta un pliegue tumbado y micropliegues producto de la falla Loja, que afecta a la Unidad Chigiúinda la cual se identifica de edad paleozoica con horizontes de origen volcánico de edad desconocida. Posiblemente esta unidad fue depositada en el Carbonífero, no obstante, el control tectónico de esta secuencia depositada no ha sido determinado.



6.7 Caracterización Geotécnica

Dentro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), sugiere que para esta clase de estudios es necesario presentar todas las actividades que comprenden el reconocimiento en el campo, la investigación del subsuelo, los análisis y las recomendaciones ingenieriles tanto para el diseño como la construcción de las obras que están en contacto con el suelo, de tal manera que se garantice que esta infraestructura tenga un comportamiento adecuado sean estas grandes edificaciones, puentes, así como pequeñas infraestructuras como vías, evitando el daño a las mismas y se preserve la vida humana. (NEC, 2014).

6.7.1 Sísmica de Refracción

Los sondeos se realizaron utilizando un sismógrafo de refracción, este equipo tiene la particularidad de registrar las ondas longitudinales y transversales. Además, facilita el sismograma directamente mediante la pantalla táctil y realiza la verificación automáticamente, así mismo establece las características de los materiales y su tipo según base de datos de más de 5000 ensayos realizados en distintos tipos de suelos y ubicaciones geográficas.

Tabla 26. *Lista de equipos utilizados*

Nombre	Especificación	Fabricante	Cantidad
Sismógrafo	Seistronic ras 24	Geometrics	1
Geófonos	Verticales 14 Hz ondas p	Oyo geospace	12
Geófonos	Horizontales 14 Hz ondas s	Oyo geospace	12
Detonador	Blaster alto voltaje	Geometrics	1
Cable geófonos	12 tomas c/10m	Geometrics	1
Computador	Laptop	Toshiba	1
Batería	12v 24a	Bosch	1
Equipo comunicación	Mj270r	Motorola	4

Fuente: La Autora, 2021

En la zona de estudio se realizó 3 sondeos mediante sísmica de refracción. Los sondeos abarcan una extensión de terreno de 60.00 metros de longitud. Su ubicación geográfica se detalla en la **tabla 32**.

Tabla 27. Ubicación de los sondeos de sísmica de refracción

Línea sísmica no.	Longitud (m)	Latitud (n)	Longitud (e)	Altitud
1 (Vp) Km 6+370	60	9544877	701793	2674
2 (Vs) Km 6+370	60	9544877	701793	2674
3 (Vp) Km 2+235	60	9547865	699885	2512
4 (Vs) Km 2+235	60	9547865	699885	2512
5 (Vp) Km 1+425	60	9548136	699396	2485
6 (Vs) Km 1+425	60	9548136	699396	2485

Fuente: La Autora, 2021

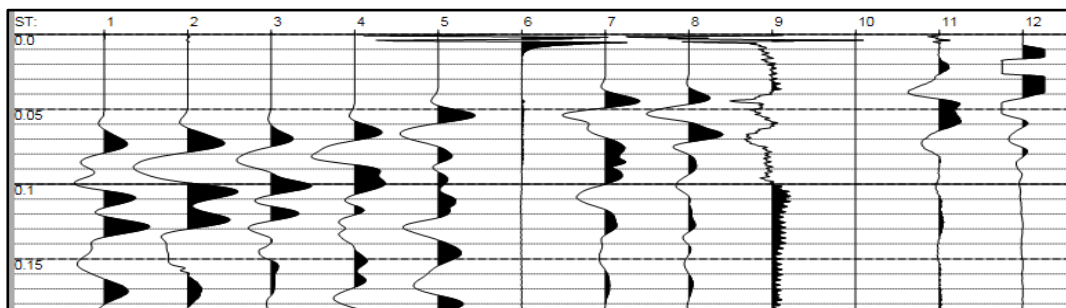
Los sectores investigados corresponden a los Km: 1+425, 2+235 Y 6+370 de la vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus en la provincia de Loja se efectuaron 3 perfiles sísmicos de 60 m cada uno; para determinar las velocidades longitudinales (Vp) y la velocidad transversal (Vs).

El principal objetivo de esta investigación fue el de identificar los diferentes horizontes sísmicos con los resultados del método aplicado y con el levantamiento geológico de superficie poder obtener modelos geológicos – geofísicos que sirvan de base para el cálculo de los parámetros geotécnicos característicos del substrato.

Los resultados obtenidos de los sondeos de Sísmica de Refracción se detallan a continuación:

➤ **Sondeo Línea de Refracción Sísmica 1**

Realizando las detonaciones o golpes para impulsar el movimiento de ondas, se obtienen los siguientes sismogramas del sondeo N° 1



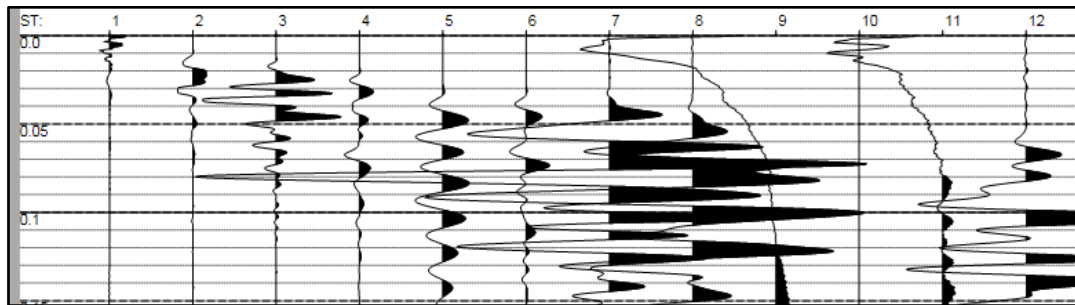


Figura 27. Propagación de la línea de refracción sísmica N°1-2
Fuente: CODICER

En la **figura 27** se muestra la propagación de ondas que se registran en el sismógrafo al realizar la detonación (Golpe con Martillo) en cada una de las estaciones 30 y 15 metros de distancia del sismógrafo para la Línea de Refracción Sísmica N°1. Como resultado se obtiene la siguiente dromocrona.

Tabla 28. Cuadro de tiempos de llegada para cada geófono, distancias y elevación de cada geófono - línea sísmica 1

Shot 1	Shot 2	Shot 3	Distance	Elevation
2.06	0.00	53.97	02.50	2675
7.29	0.00	51.06	07.50	2675
11.43	0.00	47.93	12.50	2675
16.76	0.00	43.68	17.50	2675
22.64	0.00	37.86	22.50	2674
26.22	0.00	32.50	27.50	2674
30.04	0.00	28.46	32.50	2674
34.06	0.00	25.34	37.50	2674
37.63	0.00	21.97	42.50	2673
41.45	0.00	17.28	47.50	2673
45.02	0.00	10.64	52.50	2673
47.70	0.00	4.73	57.50	2673

Fuente: La Autora, 2021

A continuación, en la **figura 28** se muestra los resultados obtenidos de las Dromocronas a partir de los sismogramas de la Línea Refracción Sísmica N°1.

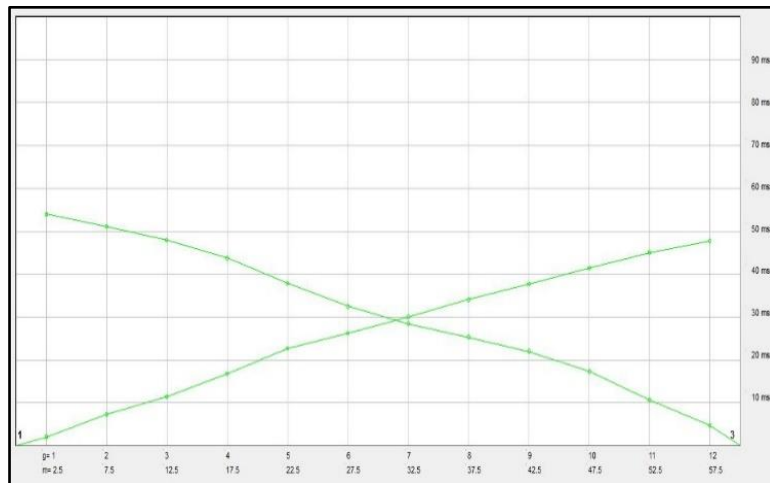


Figura 28. Dromocronas y Perfil Sísmico Línea Sísmica 1 - Vp Km 6+370
Fuente: CODICER

En la **figura 28** se puede apreciar 2 líneas de dromocronas las cuales nos permiten identificar la cantidad de estratos que se presentan en la Línea de Refracción Sísmica N°1 con lo que obtenemos el siguiente perfil estratigráfico (**figura 29 y 30**).

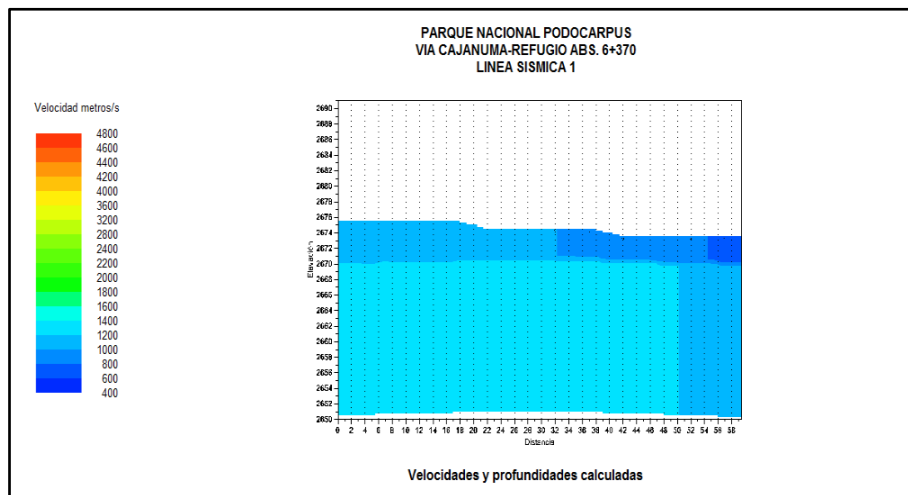


Figura 29. Perfil Estratigráfico
Fuente: CODICER

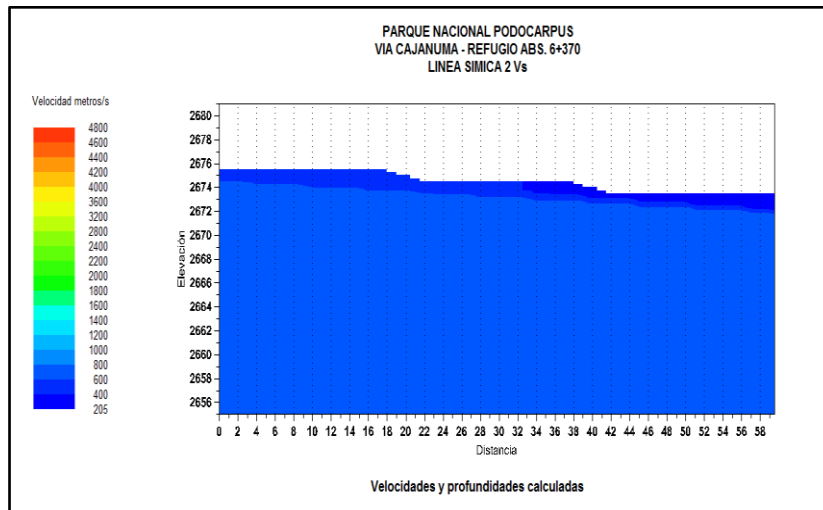


Figura 30. Perfil estratigráfico
Fuente: CODICER

Descripción Litológica. - Litológicamente esta vía en el Km 6+370 están conformados por suelos de baja compacidad tipo arena limos arcillosos depositados sobre rocas fracturadas y meteorizadas tipo filitas, cuarcitas y esquistos.

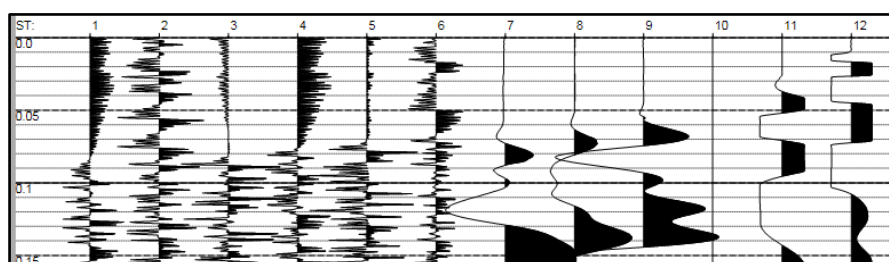
Tabla 29. Interpretación sísmica: línea sísmica 1 (Vp) y línea sísmica 2 (Vs): Km 6+370

Capa	Velocidad Sísmica Vp (m/s)	Velocidad Sísmica Vs(m/s)	Espesores (m)	Tipo de material Estimado
1	400 - 1000	205 - 400	3.90 - 6.60	Cobertura de suelos arcillo arenosos sueltos con clastos de tipo pizarras, filitas.
2	1200 - 1600	600 - 800	> 20	Estrato de rocas tipo filitas y cuarcita muy fracturada y meteorizada de mediana compacidad.

Fuente: La Autora, 2021

➤ **Sondeo Línea de Refracción Sísmica 3-4**

Realizando las detonaciones o golpes para impulsar el movimiento de ondas, se obtienen los siguientes sismogramas del sondeo N° 3-4



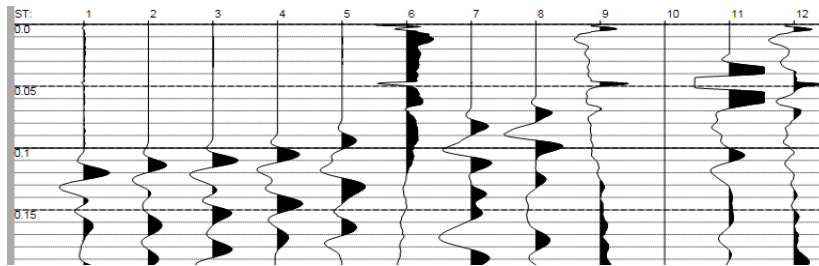


Figura 31. Propagación de la línea de refracción sísmica N°3-4
Fuente: CODICER

En la **figura 31** se muestra la propagación de ondas que se registran en el sismógrafo al realizar la detonación (Golpe con Martillo) en cada una de las estaciones en cada una de las estaciones en cada una de las estaciones 30 y 15 metros de distancia del sismógrafo para la Línea de Refracción Sísmica N°1. Como resultado se obtiene la siguiente dromocrona.

Tabla 30. Cuadro de tiempos de llegada para cada geófono, distancias y elevación de cada geófono - línea sísmica 3

Shot 1	Shot 2	Shot 3	Distance	Elevation
7.43	0.00	90.73	02.50	2513
22.28	0.00	87.18	07.50	2513
29.21	0.00	84.66	12.50	2512
37.13	0.00	79.71	17.50	2512
46.04	0.00	73.77	22.50	2512
54.96	0.00	65.85	27.50	2512
63.87	0.00	55.95	32.50	2512
66.84	0.00	48.02	37.50	2511
71.79	0.00	43.00	42.50	2511
75.75	0.00	33.53	47.50	2511
78.72	0.00	20.32	52.50	2510
82.68	0.00	7.43	57.50	2510

Fuente: La Autora, 2021

A continuación, en la **figura 32** se muestra los resultados obtenidos de las Dromocronas a partir de los sismogramas de la Línea Refracción Sísmica N°1.

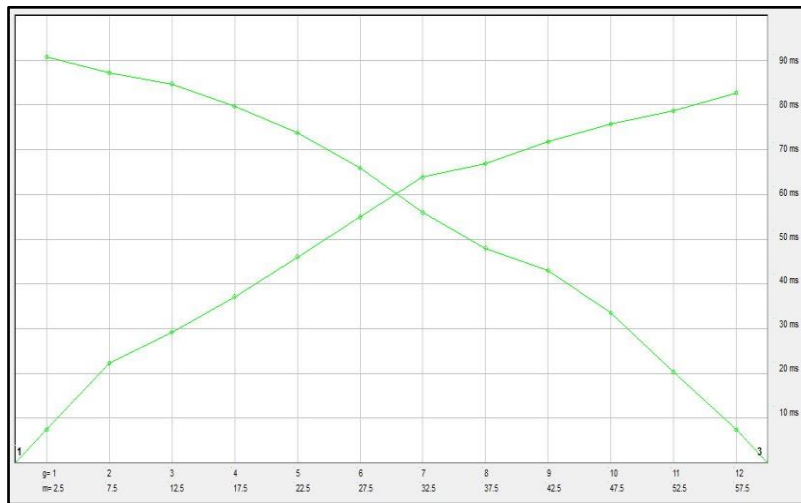


Figura 32. Dromocronas y perfil sísmico línea sísmica 3: Km 2+235
Fuente: CODICER

En la **figura 32** se puede apreciar 2 líneas de dromocronas las cuales nos permiten identificar la cantidad de estratos que se presentan en la Línea de Refracción Sísmica N°1 con lo que obtenemos el siguiente perfil estratigráfico (**figura 33 y 34**).

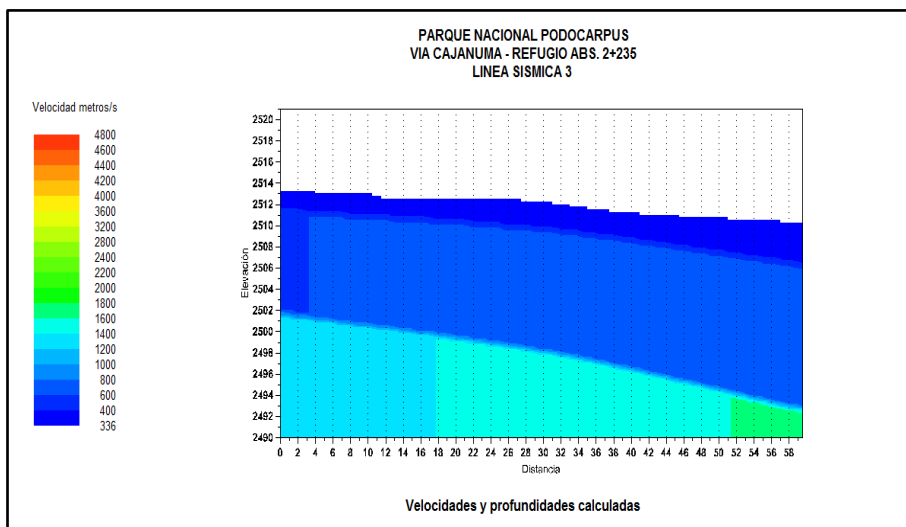


Figura 33. Perfil estratigráfico
Fuente: CODICER

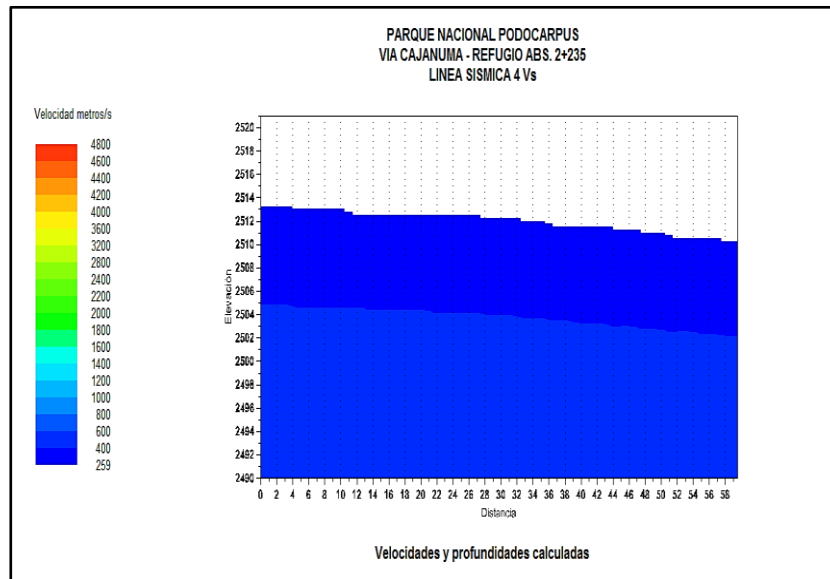


Figura 34. Perfil estratigráfico
Fuente: CODICER

Descripción Litológica. - Litológicamente esta vía en el Km 2+235 están conformados por suelos de mediana compacidad tipo areno limos arcillosos depositados sobre rocas fracturadas y meteorizadas tipo filitas, cuarcitas.

Tabla 31. Interpretación Sísmica: línea sísmica 3 (V_p) y línea sísmica 4 (V_s): Km 2+235

Capa	Velocidad Sísmica V_p (m/s)	Velocidad Sísmica V_s (m/s)	Espesores (m)	Tipo de material Estimado
1	500 - 800	259 - 400	12.90 - 16.60	Cobertura de suelos arcillo arenosos sueltos con clastos de rocas tipo filitas y cuarcita muy fracturada.
2	1200 - 1800	600 - 800	> 20	Estrato de rocas tipo filitas y cuarcita muy fracturada y meteorizada de mediana compacidad.

Fuente: La Autora, 2021

➤ **Sondeo Línea de Refracción Sísmica 5-6**

Realizando las detonaciones o golpes para impulsar el movimiento de ondas, se obtienen los siguientes sismogramas del sondeo N° 5.

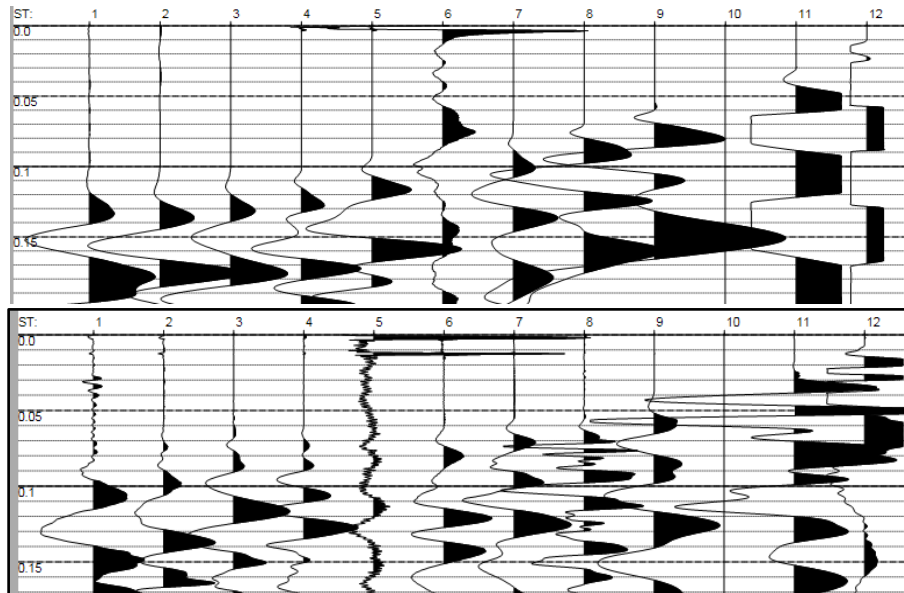


Figura 35. Propagación de la línea de refracción sísmica N°5-6
Fuente: CODICER

En la **figura 35** se muestra la propagación de ondas que se registran en el sismógrafo al realizar la detonación (Golpe con Martillo) en cada una de las estaciones en cada una de las estaciones en cada una de las estaciones 30 y 15 metros de distancia del sismógrafo para la Línea de Refracción Sísmica N°1. Como resultado se obtiene la siguiente dromocrona.

Tabla 32. Cuadro de tiempos de llegada para cada geófono, distancias y elevación de cada geófono - línea sísmica 5

Shot 1	Shot 2	Shot 3	Distance	Elevation
6.11	0.00	58.92	02.50	2020
17.33	0.00	59.91	07.50	2021
27.23	0.00	57.93	12.50	2021
31.19	0.00	55.95	17.50	2021
34.16	0.00	51.68	22.50	2021
37.13	0.00	50.00	27.50	2022
39.45	0.00	45.05	32.50	2022
41.81	0.00	39.64	37.50	2023
43.98	0.00	34.16	42.50	2024
45.56	0.00	24.46	47.50	2024
48.92	0.00	15.78	52.50	2024
51.68	0.00	5.52	57.50	2025

Fuente: La Autora, 2021

A continuación, en la **figura 32** se muestra los resultados obtenidos de las Dromocronas a partir de los sismogramas de la Línea Refracción Sísmica N°5.

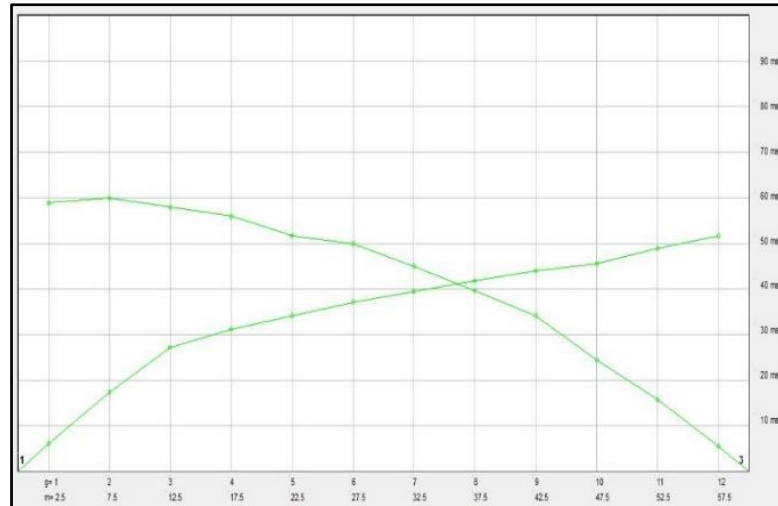


Figura 36. Dromocronas y perfil sísmico línea sísmica 5: Km 1+425
Fuente: CODICER

En la **figura 36** se puede apreciar 2 líneas de dromocronas las cuales nos permiten identificar la cantidad de estratos que se presentan en la Línea de Refracción Sísmica N°4 con lo que obtenemos el siguiente perfil estratigráfico (**figura 37 y 38**).

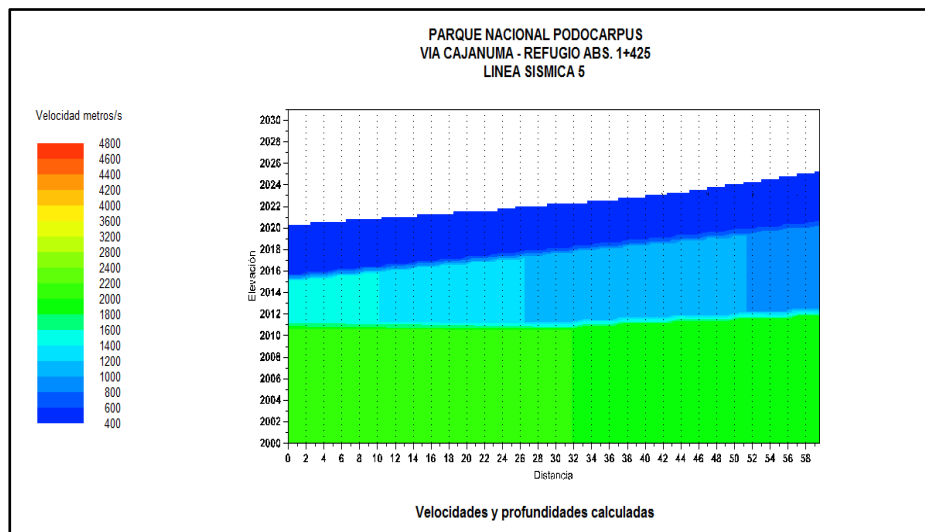


Figura 37. Perfil estratigráfico
Fuente: CODICER

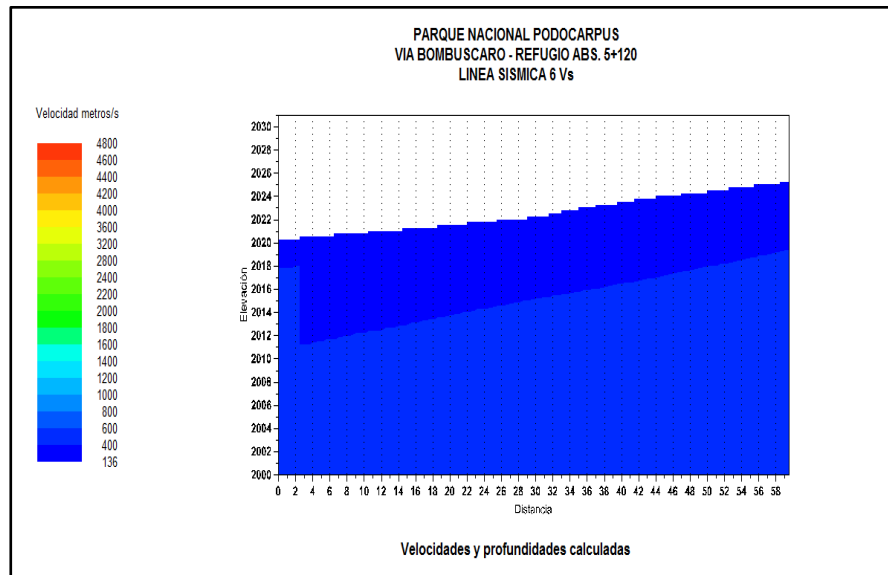


Figura 38. Perfil estratigráfico
Fuente: CODICER

Descripción Litológica. - Litológicamente esta vía en los Km 1+425 están conformados por suelos de mediana a baja compacidad tipo arena limos arcillosos depositados sobre rocas fracturadas y meteorizadas tipo filitas, cuarcitas y esquistos y estos a su vez descansan sobre rocas metamórficas sanas.

Tabla 33. Interpretación Sísmica: línea sísmica 5 (V_p) y línea sísmica 6 (V_s): Km 1+425:

Capa	Velocidad Sísmica V_p (m/s)	Velocidad Sísmica V_s (m/s)	Espesores (m)	Tipo de material Estimado
1	400 - 600	121 - 400	3.90 - 5.60	Cobertura de suelos arcillo arenosos sueltos con clastos de pizarras, esquistos y filitas.
2	1200 - 1600	800 - 1000	4.30 - 5.90	Estrato de rocas tipo filitas y esquistos y pizarras muy fracturadas y meteorizada de mediana compacidad.
3	1800 - 2000		> 20	Sub-estrato de rocas metamórficas compactos.

Fuente: La Autora, 2021



6.7.2 Parámetros físicos – mecánicos de los materiales a partir de las líneas sísmicas

Para calcular las propiedades físico-mecánicas de los materiales de la primera capa, referente a los parámetros de resistencia: cohesión (c), ángulo de fricción interna (ϕ) y el peso volumétrico (γ), del primer horizonte sísmico que está conformado por suelos arcillo limos arenosos intercalados con clastos de rocas metamórficas; se toman las velocidades de las ondas transversales (V_s) y longitudinales (V_p), cuyos resultados de cada sitio son los siguientes:

Tabla 34. Parámetros físico - mecánicos abscisa 6+370

Capa	Velocidad sísmica V_p (m/s)	Velocidad sísmica V_s (m/s)	Espesores (m)	Parámetros Físico-mecánicos		
				c(Kg/cm ²)	ϕ (Grados)	γ (gr/cm ³)
1	400	205	3.90 - 6.60	0.68	28.56	1.38

Fuente: La Autora, 2021

Tabla 35. Parámetros físico – mecánicos abscisa 2+235

Capa	Velocidad sísmica V_p (m/s)	Velocidad sísmica V_s (m/s)	Espesores (m)	Parámetros Físico-mecánicos		
				c(Kg/cm ²)	ϕ (Grados)	γ (gr/cm ³)
1	500	259	12.90 - 16.60	0.69	28.73	1.32

Fuente: La Autora, 2021

Tabla 36. Parámetros físico - mecánicos abscisa 1+425

Capa	Velocidad sísmica V_p (m/s)	Velocidad sísmica V_s (m/s)	Espesores (m)	Parámetros Físico-mecánicos		
				c(Kg/cm ²)	ϕ (Grados)	γ (gr/cm ³)
1	400	121	12.90 - 16.60	0.33	22.69	1.2

Fuente: La Autora, 2021

Es necesario subrayar que la finalidad y utilidad de la sísmica de refracción en el presente proyecto se basa en la necesidad de conocer las características litológicas de la subrasante. Los horizontes sísmicos obtenidos no reflejan en su totalidad los contactos de las formaciones geológicas existentes; estos ayudan a determinar el grado de compacidad de estos. El presente ensayo reporta la existencia de dos y tres capas en el subsuelo que corresponden a suelos de baja, mediana y alta compacidad.



6.7.3 Calicatas

Para el presente trabajo se realizó un trabajo in situ con la apertura de 8 calicatas de manera convencional con dimensiones de 1m² por 1.50m de profundidad y distancias promedio de 1000m, lo que ayudo a la descripción de las características del subsuelo; las muestras fueron aprovechadas para la realización de ensayos de laboratorio con la finalidad de determinar el tipo de suelo al que corresponde mediante ensayos estándar de clasificación de suelos y de propiedades físicas consistentes en: Análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg, (Límite líquido y límite plástico), humedades naturales, California Bearing Ratio (CBR), Proctor Modificado, Clasificaciones SUCS, Clasificaciones AASHTO, presentados a continuación.

Con el fin de obtener datos in situ se realizó el registro de información relevante como dimensiones, litología, color, etc.

En la tabla 38 se identifica los resultados obtenidos de cada muestra a diferente profundidad de las 8 calicatas realizadas en la zona de estudio. Se obtiene una humedad que varía entre 11 a 38%; existiendo mayor porcentaje de humedad a 0.5m de profundidad y disminuye a profundidad. Se ha podido examinar el estado de consistencia de los suelos en funcionalidad del crecimiento del contenido de humedad.

La obtención de los límites de Atterberg (LL y LP) permitió el cálculo del Índice de Plasticidad y tener un reconocimiento de la cantidad de material arcilloso presente en los suelos, obteniendo la clasificación de suelos se puede determinar que son suelos que van de suelo gravoso con cierto grado de contenido de limo inorgánico a arenas limosas o arcillosas.

Tabla 37. Clasificación y uso del suelo según el valor del CBR

CBR	Clasificación cuantitativa del suelo	Uso
2 a 5	MUY MALA	Subrasante
5 a 8	MALA	Subrasante
8 a 20	REGULAR - BUENA	Subrasante
20 a 30	EXCELENTE	Subrasante
30 a 60	BUENA	Sub - base
60 a 80	BUENA	Base
80 a 100	EXCELENTE	Base

Fuente: AssisA., 1988

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional
Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y
Provincia de Loja”



De la interpretación de las tablas con datos estadísticos se puede describir cuantitativamente que la vía de estudio presenta un CBR con el 7.82%.

Con la determinación de estos resultados se puede evidenciar que la vía presenta un terreno con condiciones regulares a buenas a excepción del tramo 6+370 que presenta CBR de campo y laboratorio de 4.

Tabla 38. Resumen ensayos de laboratorio de 8 calicatas tomadas a lo largo de la vía de estudio.

Sondeo	Abscisa	Prof. (m)	LÍMITES			W Lab.(%)	GRANULOMETRÍA						CLASIFICACIÓN		COMPACTACIÓN		CBR CAMPO		CBR LABORATORIO		
			LL (%)	LP (%)	IP		N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	GRAVA	ARENA	FINOS	SUCS	AASHTO	DSM (Kg/m ³)	OCH (%)	Penetración por golpe (mm)	CBR (DCP)	CBR (95%)	CBR (100%)
C-01	0+300	0.5	27	15	12	11%	95	91	86	68	5	27	68	CL	A-6	1857	11.83	20	9.00	1.0	2.5
C-01	0+300	1	26	15	11	13%	93	87	80	63	7	30	63	CL	A-6						
C-01	0+300	1.5	31	18	13	12%	88	86	82	67	12	21	67	CL	A-6						
C-02	1+425	0.5	NP	NP	NP	26%	75	57	41	29	25	46	29	SM	A-2-4	1970	11.83	67	2.0	9.8	17.1
C-02	1+425	1	NP	NP	NP	23%	31	19	12	8	69	23	8	GP GM	A-1-a						
C-02	1+425	1.5	NP	NP	NP	23%	67	52	42	28	33	39	28	SM	A-2-4						
C-03	2+335	0.5	40	29	11	38%	48	31	19	13	52	35	13	GM	A-2-6	2019	21.95	30	5	9.4	15.9
C-03	2+335	1	NP	NP	NP	35%	78	55	35	26	22	52	26	SM	A-2-4						
C-03	2+335	1.5	36	27	9	30%	78	55	32	21	22	57	21	SM	A-2-4						
C-04	3+500	0.5	39	31	8	26%	70	60	50	44	30	26	44	GM	A-4	1987	18.31	8	32.0	8.5	16.7
C-04	3+500	1	31	23	8	20%	83	67	45	36	17	47	36	SM	A-4						
C-04	3+500	1.5	33	23	10	18%	71	53	37	27	29	44	27	SC	A-2-4						
C-05	4+530	0.5	NP	NP	NP	25%	62	52	45	25	38	37	25	GM	A-1-b	2019	12.08	19	9.0	12.0	19.0
C-05	4+530	1	25	19	6	24%	52	42	35	26	48	26	26	GC-GM	A-2-4						
C-05	4+530	1.5	NP	NP	NP	15%	25	16	12	8	75	17	8	GP GM	A-1-a						
C-06	5+530	0.5	59	39	20	28%	52	39	27	22	48	30	22	GM	A-2-7	2008	12.71	13	16.0	8.1	15.0
C-06	5+530	1	59	39	20	27%	65	51	40	34	35	31	34	GM	A-2-7						
C-06	5+530	1.5	47	34	13	23%	38	27	19	15	62	23	15	GM	A-2-7						
C-07	6+370	0.5	34	25	9	17%	83	74	67	55	17	28	55	ML	A-4	1863	14.72	38	4.0	4.3	7.2
C-07	6+370	1	NP	NP	NP	36%	65	52	39	29	35	36	29	SM	A-2-4						
C-07	6+370	1.5	NP	NP	NP	29%	51	38	27	20	49	31	20	GM	A-1-b						
C-08	7+056	0.5	27	21	6	18%	33	23	18	13	67	20	13	GC-GM	A-1-a	2066	9.27	15	13.0	9.5	17.1
C-08	7+056	1	28	20	8	18%	36	31	26	23	64	13	23	GC	A-2-4						

ROCA

Fuente: La Autora, 2021

6.7.4 Propiedades Físicas de las rocas

Las propiedades físicas de las rocas se determinaron según las fórmulas explicadas en el apartado 5.4.2. las muestras fueron elegidas acorde a la litología de la zona de estudio.

Tabla 39. Resultados de las propiedades físicas de las muestras de rocas obtenidas en cada macizo rocoso

Propiedades físicas	Simbología	Unidad	Nro. de Macizo rocoso		
			1	2	3
Peso Específico	ρ_r	g/cm ³	2.66	2.74	2.39
Peso Específico Aparente	ρ_a	g/cm ³	2.39	2.26	2.68
Densidad	δ	g/cm ³	2.4	2.26	2.18
Gravedad Específica	G_s	-	2.7	2.6	2.7
Contenido de Agua	w	%	4.1	2.4	1.49
Porosidad	n	%	16.25	17.55	10.53
Porosidad eficaz	n_e	%	9.26	5.43	3.58
Coefficiente de absorción	C_{abs}	%	4.15	2.4	1.49

Elaborado por: La Autora, 2021

6.8 Clasificación de los Macizos Rocosos

Para llevar a cabo la caracterización del macizo rocoso se recolecto información in situ y de laboratorio siguiendo la metodología del apartado 5.4.4 con la finalidad de llegar a determinar la clasificación geomecánica del macizo. Por lo tanto, se inició con los ensayos de compresión simple en tres puntos de acuerdo con la litología de la zona de estudio, seguidamente se realiza el cálculo de RQD, índice RMR, SMR y GSI.

6.8.1 Propiedades Físicas y Mecánicas de los Geo-materiales

En trabajo de campo se recolecto muestras de los tres macizos rocosos para su respectivo análisis y obtención de los datos, las muestras fueron elegidas acorde a la litología de la zona de estudio y posteriormente se lleva al laboratorio.

Se obtuvo los resultados presentados en la tabla 40.

Tabla 40. Resultados de ensayo de compresión simple en laboratorio de las muestras

Nro. Muestra	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Area (m ²)	Volumen (m ³)	Carga (kg)	RCS (kg/m ²)	Promedio
1A	5.00	5.35	5.20	26.75	139.10	5,020.4	187.679	159.88
1B	5.20	5.35	5.20	27.82	144.66	3,674.4	132.081	
2A	5.20	5.15	5.21	26.78	139.52	9,285.7	120.407	125.74
2B	5.20	5.00	5.14	26.00	133.64	8,979.5	131.083	
3A	5.10	5.10	5.00	26.01	130.05	14,271.1	548.679	475.00
3B	5.10	5.10	5.10	26.01	132.65	10,438.3	401.320	

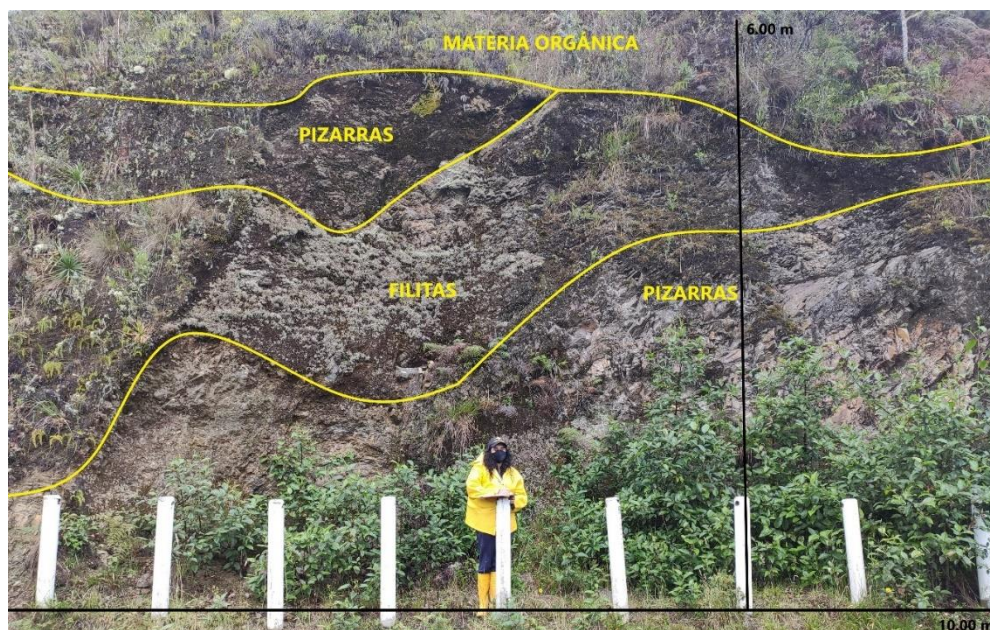
Fuente: CODICER Modificado por: La Autora, 2021

6.8.2 Rock Quality Designation (RQD).

Se determino el RQD para los 3 macizos de la zona de estudio, los resultados se muestran a continuación.

6.8.2.1 Macizo N° 1: Pizarras

Este talud se encuentra constituido mayormente por pizarras oxidadas y en menor proporción filitas, con presencia de diaclasas. Se establecieron dos estaciones con el propósito de conseguir la mayor suma de datos representativos para el análisis del macizo rocoso (**Fotografía 15**). Seguidamente se presenta las estaciones consideradas para la toma de datos de juntas (Figura 39) y los resultados del cálculo del RQD. (Tabla 42)



Fotografía 15. Macizo Rocos N°1: Pizarras
Elaborado por: La Autora



Figura 39. Estaciones de toma de datos del macizo rocoso N°1
Elaborado por: La Autora, 2021

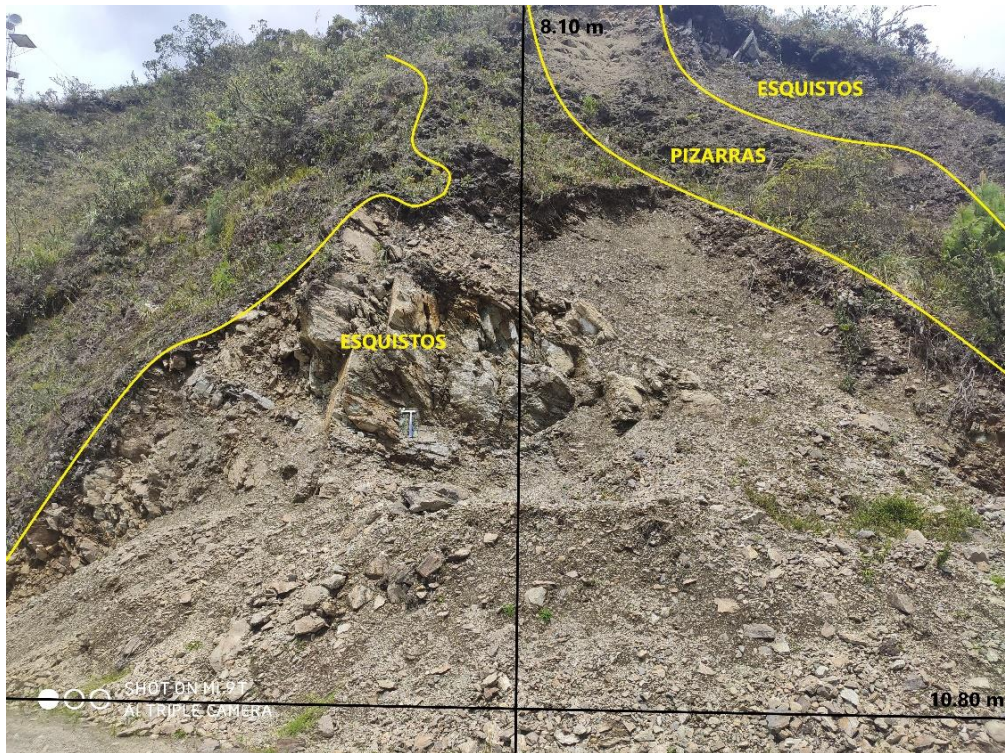
Tabla 41. Cálculo del RQD para el Macizo Nro. 1

Junta	SMi (m)	1/SMi (m)	Jv/m ³	RQD	Calidad de la Roca
J1	0.13	7.692	13.882	75.295	Buena
J2	0.3	3.333			
J3	0.35	2.857			

Elaborado por: La Autora, 2021

6.8.2.2 Macizo N° 2: Esquistos

El macizo rocos 2 se encuentra conformado por esquistos en el cual se determinó una estación de estudio para la toma de datos. (Fotografía 16). Seguidamente se presenta la estación para la toma de datos (Figura 40) al igual que la tabla de resultados (tabla 43).



Fotografía 16. Macizo N° 2: Esquistos
Elaborado por: La Autora, 2021

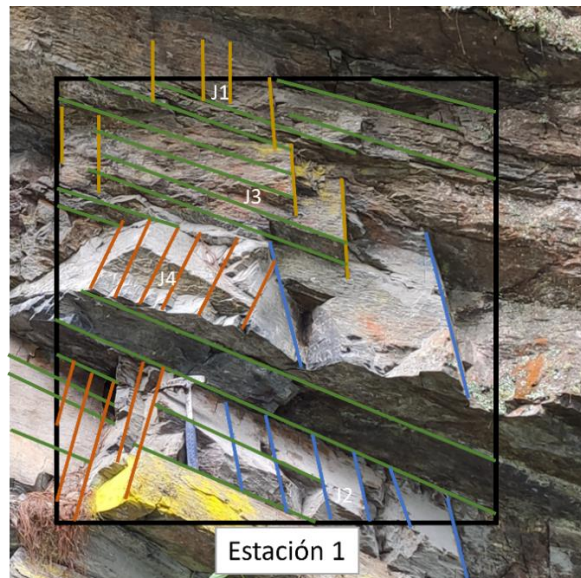


Figura 40. Estaciones de toma de datos del macizo rocoso N°2
Elaborado por: La Autora, 2021

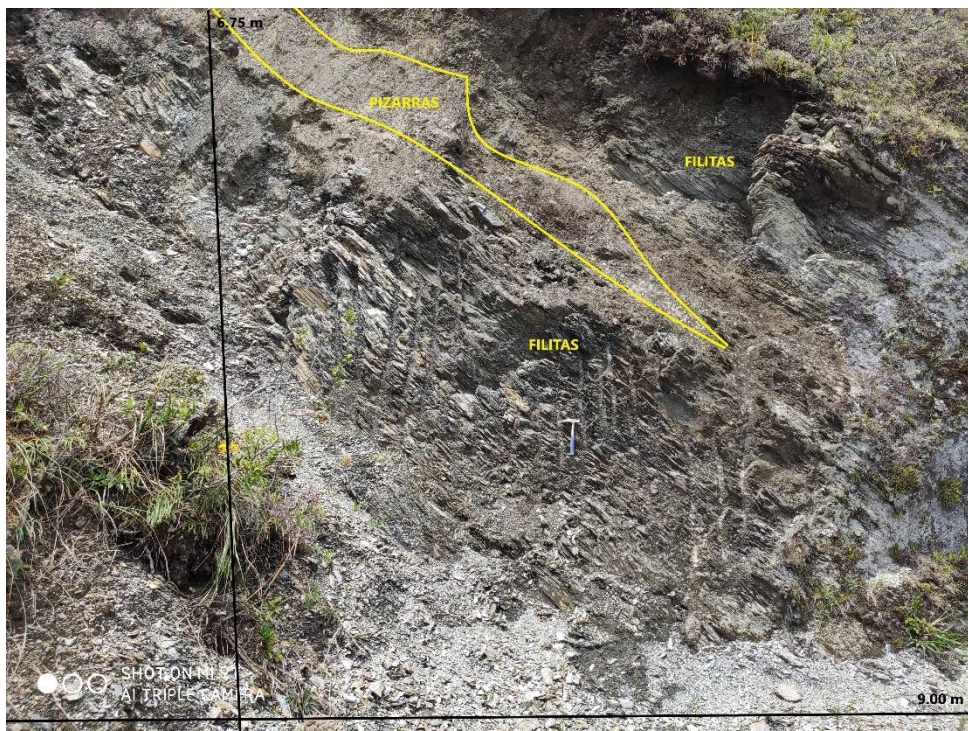
Tabla 42. Cálculo del RQD para el Macizo Nro. 2

Junta	SMi (m)	1/SMi (m)	Jv/m3	RQD	Calidad de la Roca
J1	0.386	2.717	15.918	70.21	Media / Regular
J2	0.516	1.938			
J3	0.28	3.571			
J4	0.13	7.692			

Elaborado por: La Autora, 2021

6.8.2.3 Macizo N° 3: Filitas

El presente macizo rocoso se encuentra conformado en mayor proporción por filitas oxidadas y pizarras. (Fotografía N°17). A este macizo se le realizó únicamente una estación para la toma de datos. Seguidamente se presenta la estación para la toma de datos (Figura 41) al igual que la tabla de resultados (Tabla 44).



Fotografía 17. Macizo N° : Filitas
Elaborado por: LA Autora, 2021

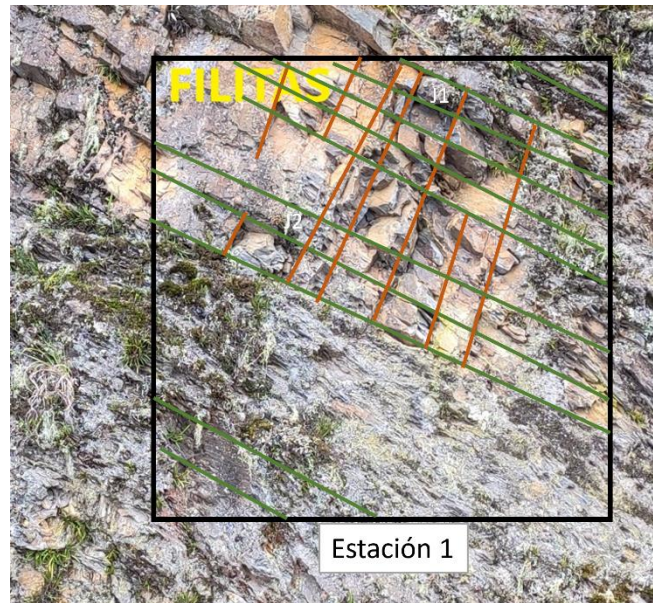


Figura 41. Estaciones de toma de datos del macizo rocoso N°2
Elaborado por: La Autora, 2021

Tabla 43. Cálculo del RQD para el Macizo Nro. 2

Junta	SMi (m)	1/SMi (m)	Jv/m3	RQD	Calidad de la Roca
J1	0.32	3.125	6.514	93.715	Buena
J2	0.295	3.389			

Elaborado por: La Autora, 2021

A continuación, se presenta en la tabla 45 los resultados resumen del cálculo de RQD para cada uno de los macizos de la zona de estudio.

Tabla 44. Resultados del cálculo de RQD de los macizos rocoso de la zona de estudio.

N° Macizo	Abscisa	RQD	Calidad de la Roca
1	1+500	75.295	Buena
2	6+940	70.21	Media /Regular
3	5+650	93.715	Excelente

Elaborado por: La Autora, 2021

Con los datos obtenidos se puede decir que los macizos rocosos presentan una calidad del macizo que va de Regular a Excelente. Para llegar a dichos resultados fue necesario el conteo de las juntas cabe tener en consideración que mientras mayor número de juntas existan el Jv será mayor, por lo tanto, el RQD tiene a disminuir su calidad como es el caso del macizo N°2 con una calidad de la roca regular.

6.8.3 Rock Mass Rating (RMR)

6.8.3.1 Macizo N° 1: Pizarras

El RMR se determina para las tres familias de juntas que presenta el macizo rocoso. (Tabla 47) luego se procede a realizar la puntuación para cada parámetro para con ello determinar el índice RMR.

A continuación, se presenta la tabla resumen del macizo rocoso N°1:

Tabla 45. Resumen datos recolectados en campo y laboratorio del macizo rocoso N°1

RCS	159.88 Kg/cm² = 15.679 MPa
RQD	75.30 %
SMi (m)	0.78 m
Estado de las discontinuidades	
Longitud	0.60 m
Abertura	0.3 m
Rugosidad	Rugosa
Relleno	Ninguno
Alteración	Moderadamente alterada
Condición de infiltración de agua	Completamente secas

Elaborado por: La Autora

Tabla 46. Clasificación geomecánica RMR89 de Bienawski para la Junta 1 del macizo Nro.1

Clasificación Geomecánica RMR89 de Bienawski							
1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (Mpa)
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25 5- < 1 1
		Puntuación	15	12	7	4	2 1 0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%
		Puntuación	20	17	13	6	3
3	Separación entre diaclasas		>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	0,06-0,2m	<0,06m
		Puntuación	20	15	10	8	5
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
		Puntuación	6	4	2	1	0
		Abertura	Nada	<0,1mm	0,1-1,0mm	1-5mm	>5mm
		Puntuación	6	5	3	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
		Puntuación	6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
		Puntuación	6	4	2	2	0
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
		Puntuación	6	5	3	1	0
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25-125litros/min	>125litros/min
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
		Puntuación	15	10	7	4	0
VALOR RMR						72	
Clase	I	II	III	IV	V		
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala		
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20		

Fuente: González de Vallejo et al., 2002. Modificado por: La Autora, 2021.

6.8.3.2 Macizo N° 2: Esquistos

El RMR se ha determinado para las 4 familias de juntas determinadas en el macizo rocoso de estudio y se procede a realizar la puntuación de acuerdo con la clasificación RMR89 de Bienawski. (tabla 49).

A continuación, se presenta la tabla resumen del macizo rocoso N°2:

Tabla 47. Resumen datos recolectados en campo y laboratorio del macizo rocoso N°2

RCS	125.74 Kg/cm ² = 12.331 MPa
RQD	70.21 %
SMi (m)	1.312 m
Estado de las discontinuidades	
Longitud	3.00 m
Abertura	0.2 m
Rugosidad	Rugosa
Relleno	Ninguno
Alteración	Moderadamente alterada
Condición de infiltración de agua	Completamente secas

Elaborado por: La Autora

Tabla 48. Clasificación geomecánica RMR89 de Bienawski para la Junta 1 del macizo Nro.1

Clasificación Geomecánica RMR89 de Bienawski							
1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (Mpa)
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5 5-1 <1
		Puntuación	15	12	7	4	2 1 0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%
		Puntuación	20	17	13	6	3
3	Separación entre diaclasas		>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	0,06-0,2m	<0,06m
		Puntuación	20	15	10	8	5
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
		Puntuación	6	4	2	1	0
		Abertura	Nada	<0,1mm	0,1-1,0mm	1-5mm	>5mm
		Puntuación	6	5	3	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
		Puntuación	6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
		Puntuación	6	4	2	2	0
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
		Puntuación	6	5	3	1	0
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/m in
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
		Puntuación	15	10	7	4	0
VALOR RMR							64
Clase	I	II	III	IV	V		
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala		
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20		

Fuente: González de Vallejo et al., 2002. Modificado por: La Autora, 2021.

6.8.3.3 Macizo N° 3: Filitas

El RMR se ha determinado para las 2 familias de juntas encontradas en el macizo rocoso de estudio y se procede a realizar la puntuación de acuerdo con la clasificación RMR89 de Bienawski. (tabla 51).

A continuación, se presenta la tabla resumen del macizo rocoso N°3:

Tabla 49. Resumen datos recolectados en campo y laboratorio del macizo rocoso N°3

RCS	475.00 Kg/cm ² = 46.58 MPa
RQD	93. 715 %
SMi (m)	0.615 m
Estado de las discontinuidades	
Longitud	2.90 m
Abertura	0.25
Rugosidad	Rugosa
Relleno	Ninguno
Alteración	Moderadamente alterada
Condición de infiltración de agua	Completamente secas

Elaborado por: La Autora

Tabla 50. Clasificación geomecánica RMR89 de Bienawski para la Junta 1 del macizo Nro.1

Clasificación Geomecánica RMR89 de Bienawski							
1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (Mpa)
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5-1-1
		Puntuación	15	12	7	4	2-1-0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%
		Puntuación	20	17	13	6	3
3	Separación entre diaclasas		>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	0,06-0,2m	<0,06m
		Puntuación	20	15	10	8	5
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
		Puntuación	6	4	2	1	0
		Abertura	Nada	<0,1mm	0,1-1,0mm	1-5mm	>5mm
		Puntuación	6	5	3	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
		Puntuación	6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
		Puntuación	6	4	2	2	0
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
		Puntuación	6	5	3	1	0
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25-125litros/min	>125litros/m in
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
		Puntuación	15	10	7	4	0
VALOR RMR							75
Clase	I	II	III	IV	V		
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala		
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20		

Fuente: González de Vallejo et al., 2002. Modificado por: La Autora, 2021.



6.8.4 Slope Mass Rating (SMR)

Se realiza la clasificación SMR esto debido a que su enfoque lo hace a taludes, esto se realiza a los tres macizos rocosos de la zona de estudio que se presentan a continuación:

6.8.4.1 Macizo N° 1: Pizarras

Se estableció la clasificación SMR para cada familia de juntas presente en el macizo rocoso y se toma el menor valor obtenido. Posteriormente, se determinó el análisis para la rotura planar y por vuelco con los datos de la tabla 52:

No se realizó el análisis para la rotura por vuelco ya que esta se facilita según las condiciones geológicas, como cuando se presenta una disyunción columnar (diaclasado que forman hexágonos) que en este caso no se pudo evidenciar.

Tabla 51. SMR para rotura planar y vuelco del macizo rocoso Nro. 1

Clasificación geomecánica SMR									
Rotura Planar y vuelco									
JUNTAS	α_s	α_j	F1	β_j	F2	β_s	F3	F4	SMR
J1	85	226	0.15	60	1	43	0	+8	79
J2	85	320	0.15	22	0.40	43	-60	+8	75.4
J3	85	314	0.15	10	0.15	43	-60	+8	77.65
SMR: 75.4			Clase: II			Estabilidad: Estable			

Elaborado por: La Autora, 2021

$$SMR = RMR_{basico} + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Tabla 52. Clase de estabilidad para el macizo N°1

CLASES DE ESTABILIDAD					
CASO	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Completamente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Elaborado por: La Autora, 2021

6.8.4.2 Macizo N° 2: Esquistos

Se estableció la clasificación SMR para cada familia de juntas presente en el macizo rocoso y se toma el menor valor obtenido. Posteriormente, se determinó el análisis para la rotura planar y por vuelco con los datos de la tabla 54:

Tabla 53. SMR para rotura planar y vuelco del macizo rocoso Nro. 2

Clasificación geomecánica SMR									
Rotura Planar y vuelco									
JUNTAS	α_s	α_j	F1	β_j	F2	β_s	F3	F4	SMR
J1	85	140	0.15	90	1	60	0	+8	72
J2	85	292	0.15	84	1	60	0	+8	72
J3	85	310	0.15	24	0.40	60	-60	+8	68.4
J4	85	95	0.85	72	1	60	0	+8	72
SMR: 68.4			Clase: II			Estabilidad: Estable			

Elaborado por: La Autora, 2021

$$SMR = RMR_{basico} + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Tabla 54. Clase de estabilidad para el macizo N°2

CLASES DE ESTABILIDAD					
CASO	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Completamente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Elaborado por: La Autora, 2021

6.8.4.3 Macizo N° 3: Filitas

Se estableció la clasificación SMR para cada familia de juntas presente en el macizo rocoso y se toma el menor valor obtenido. Posteriormente, se determinó el análisis para la rotura planar y por vuelco con los datos de la tabla 56:

Tabla 55. SMR para rotura planar y vuelco del macizo rocoso Nro. 3

Clasificación geomecánica SMR									
Rotura Planar y vuelco									
JUNTAS	α_s	α_j	F1	β_j	F2	β_s	F3	F4	SMR
J1	5	290	0.15	60	1	70	-50	+8	75.5
J2	5	108	0.15	32	0.40	70	-60	+8	79.4
SMR: 75.5			Clase: II			Estabilidad: Estable			

Elaborado por: La Autora, 2021

$$SMR = RMR_{basico} + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Tabla 56. Clase de estabilidad para el macizo N°3

CLASES DE ESTABILIDAD					
CASO	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Completamente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Elaborado por: La Autora, 2021

A manera de resumen (tabla 56) se muestra las clases de estabilidad de los macios rocos de nuestra zona de estudio:

Tabla 57. Clase de estabilidad SMR para los macizos de estudio.

SMR					
Caso	Clase	SMR	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
Macizo N° 1: Pizarras					
Rotura planar	III	75.4	Estable	Algunos bloques	Ocasional
Rotura por vuelco	III	75.4	Estable	Algunos bloques	Ocasional
Macizo N° 2: Esquistos					
Rotura planar	III	68.4	Estable	Algunos bloques	Ocasional
Rotura por vuelco	III	68.4	Estable	Algunos bloques	Ocasional
Macizo N° 3: Filitas					
Rotura planar	III	75.5	Estable	Algunos bloques	Ocasional
Rotura por vuelco	III	75.5	Estable	Algunos bloques	Ocasional

Elaborado por: La Autora, 2021



6.8.5 *Geological Strength Index (GSI)*

Se utilizo la metodología indicada en el punto 5.4.4.

6.8.5.1 **Macizo N° 1: Pizarras**

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

$$GSI = 72 - 5$$

$$GSI = 67 \text{ (Macizo de calidad buena)}$$

6.8.5.2 **Macizo N° 2: Esquistos**

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

$$GSI = 64 - 5$$

$$GSI = 59 \text{ (Macizo de calidad media/regular)}$$

6.8.5.3 **Macizo N° 3: Filitas**

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

$$GSI = 75 - 5$$

$$GSI = 70 \text{ (Macizo de calidad buena)}$$

A modo de resumen se puede determinar que los macizos rocosos en estudio presentan buena calidad.

6.8.1 *Análisis de Estabilidad global*

El método general de equilibrio limite se lo realizó en 3 taludes dado que este considera superficies circulares-rotura general y con ello el análisis de factor de seguridad. Cuando el $FS \leq 1$ el talud presenta condiciones inestable por lo cual existe fallo inminente, $FS > 1.5$ se determina un talud estable.

Es común utilizar el análisis de estabilidad global para condiciones estáticas y condiciones secas.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de los datos a usar para la estabilidad global de los macizos rocosos.



Tabla 58. Resumen de datos a usar para la estabilidad global de los macizos rocosos

Macizo rocoso	σ_c (Mpa)	Abscisa	Peso específico (kN/m ³)	Parámetros equivalentes de Mohr Coulomb	
				C (kPa)	ϕ (°)
Pizarras	342.14	1+500	11.76	32.362	22.69
Esquistos	346.05	6+940	13.53	66.68	28.56
Filitas	144.57	5+650	12.94	67.66	28.73

Elaborado por: La Autora, 2021

6.8.1.1 Macizo N° 1: Pizarras

De acuerdo con el análisis de estabilidad realizado al siguiente macizo, siendo el material pizarras y ubicado en 1+500, se calculó un FS= 4.264 esto indica que el macizo se encuentra en condiciones estables.

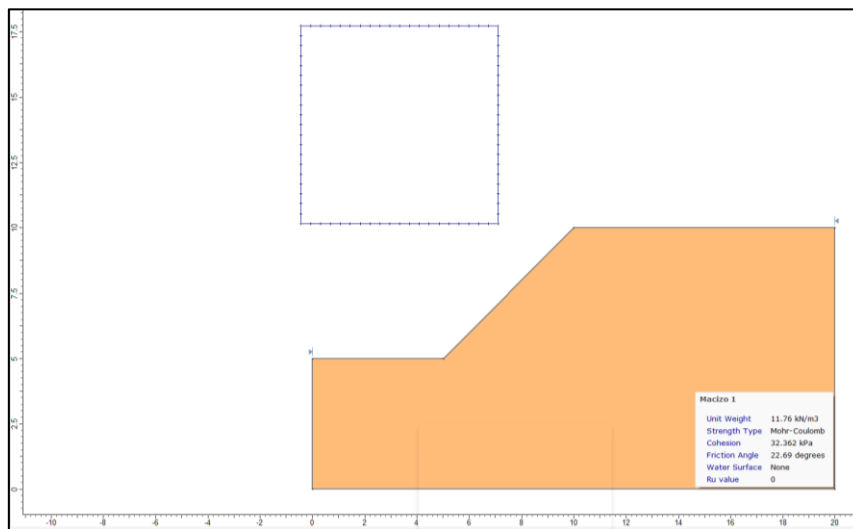


Figura 42. Diseño del talud para análisis de estabilidad global

Elaborado por: La Autora

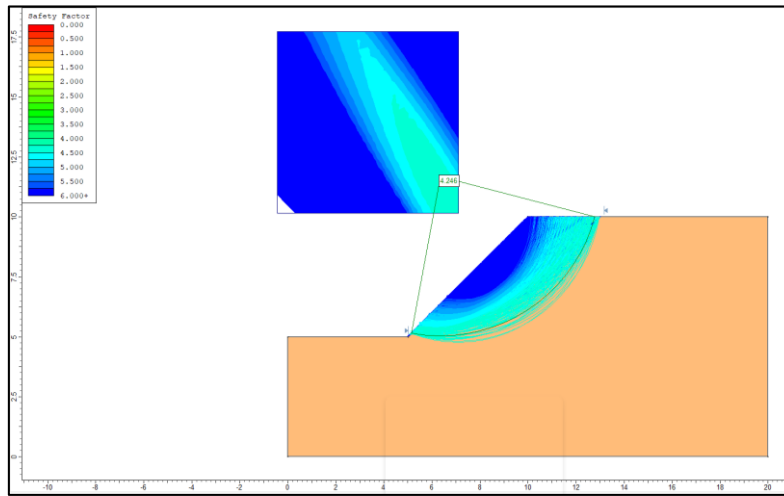


Figura 43. Análisis de rotura general para el talud
Elaborado por: La Autora

6.8.1.2 Macizo N° 2: Esquistos

De acuerdo al análisis de estabilidad global que se realizó al macizo N°2 en la abscisa 6+940, se calcula un factor de seguridad $FS=3.564$, lo cual indica que el talud se encuentra en condiciones estables.

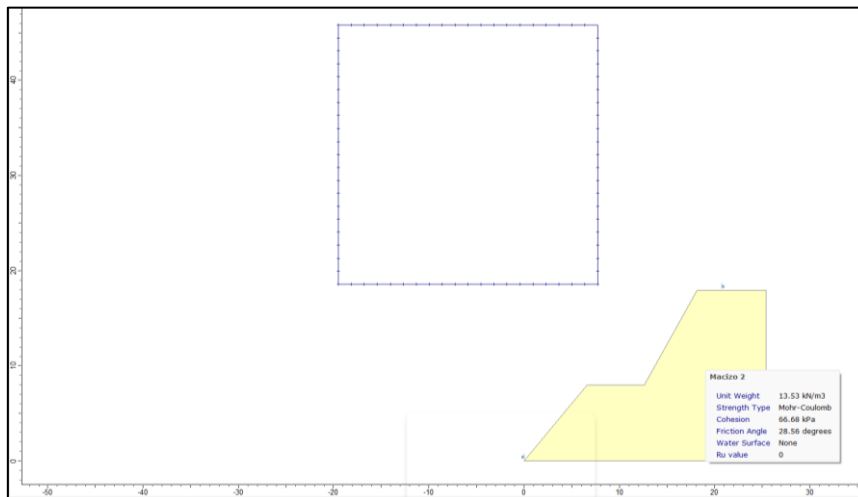


Figura 44. Diseño del talud para análisis de estabilidad global
Elaborado por: La Autora

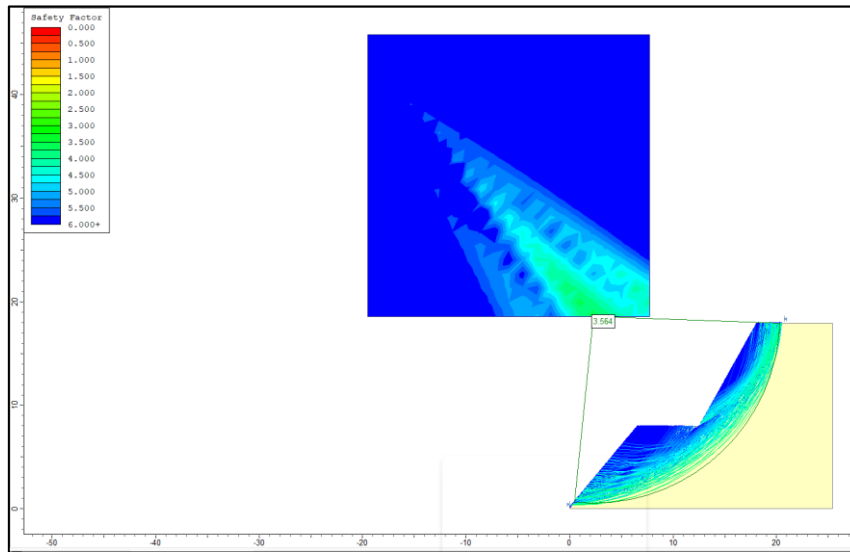


Figura 45. Análisis de rotura general para el talud
Elaborado por: La Autora

6.8.1.3 Macizo N° 3: Filitas

De acuerdo al análisis de estabilidad del talud ubicado en la abscisa 5+650 que está compuesto por filitas meteorizadas, presenta un $FS = 4.360$ lo cual indica que el talud se encuentra dentro de las condiciones estables.

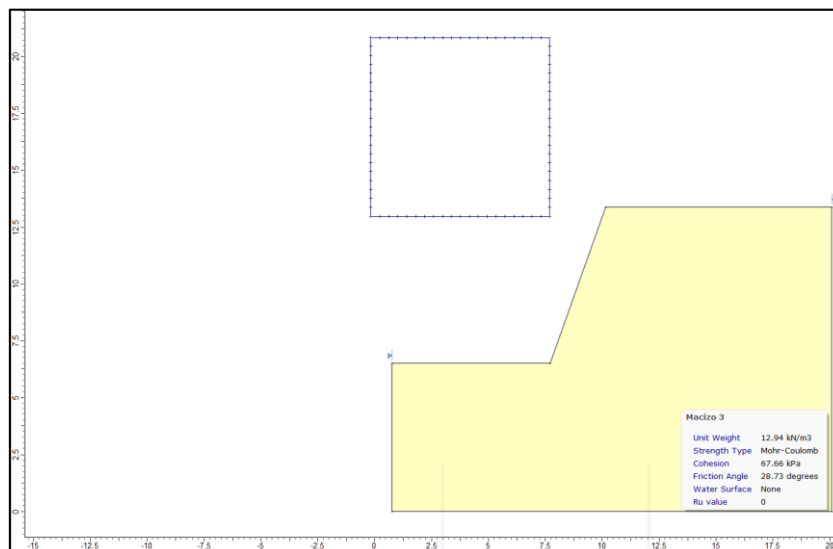


Figura 46. Diseño del talud para análisis de estabilidad global
Elaborado por: La Autora

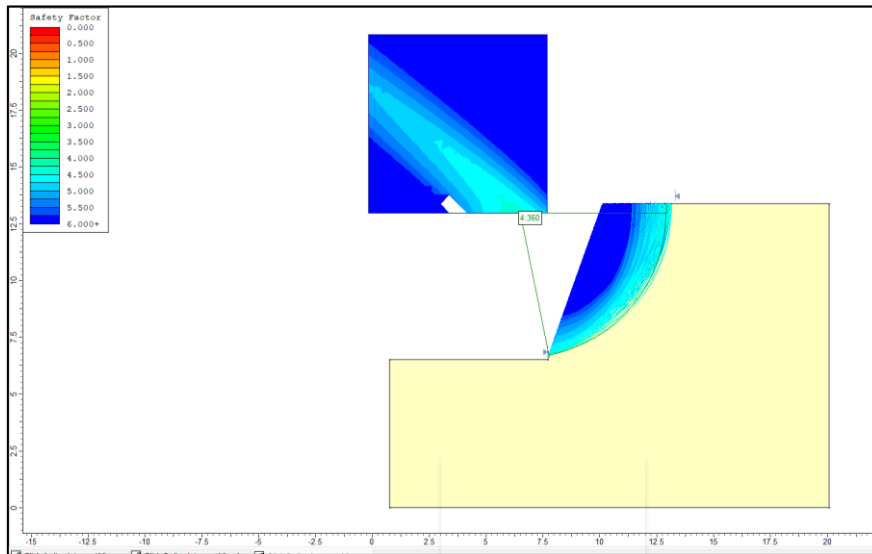


Figura 47. Análisis de rotura general para el talud
Elaborado por: La Autora

6.8.1.4 Resumen de análisis de estabilidad global.

En la tabla 60 se muestra un resumen de resultados del FS para todos los Macizos rocos analizados en condiciones secas. Se determino el método de Bishop Simplificado, ya que considera el equilibrio de momentos; y el método de Jambú Simplificado que considera el equilibrio de fuerzas todo esto se lo realizo en el programa Slide

Tabla 59. Resumen de resultados de FS

Talud	Bishop simplified	Janbu simplified
Macizo 1	4.246	4.287
Macizo 2	3.564	3.694
Macizo 3	4.360	5.940

Elaborado por: La Autora

Se logra determina mediante el criterio de Mohr-Coulomb que para el caso de los tres macizos rocosos en condiciones secas de la zona de estudio se encuentran por encima de los rangos de estabilidad.

Se observa que existe una relación entre los resultados SMR y GSI con respecto al factor de seguridad encontrándose en condiciones buenas y estables.

6.9 Propuestas para la rectificación y mejoramiento de la vía de estudio.

6.9.1 Recomendaciones con respecto al corte de taludes.

Los taludes en la vía presentan un diseño $\frac{3}{4} H: 1V$ tratándose de material metamórfico con diversas características de alteración; considerando lo visualizado y el análisis de estabilidad de los taludes más representativos de la zona de estudio, se sugiere se mantenga la configuración de dichos taludes y se realice el debido mantenimiento a estos, ya que por el espaciamiento de las discontinuidades presentes en los taludes se requiere pendientes con ángulos moderados, y con alturas entre bermas no mayor a 5 metros y anchos de berma de mínimo 2 metros, capaz de garantizar estabilidad, destacando además que por constituir una zona protegida se debe restringir al máximo la remoción de suelo o roca presente en dichos taludes.

6.9.2 Recomendaciones para drenaje

Los drenajes se encuentran presentes en casi todos los métodos para evitar el colapso o daño de taludes debido a que son una forma de preservar las propiedades iniciales de diseño, de no ser así el agua puede aumentar la presión de poro incurriendo en la inestabilidad y provocando que el talud no sea funcional.

Actualmente en la zona de estudio presenta cunetas con medidas variables a lo largo de la vía las cuales no son funcionales, por esta razón se recomienda cunetas tipo espaldón de 1.00 m de ancho y 0.45 m de profundidad (figura 48), Además de realizar limpieza y mantenimiento de la misma con la finalidad de ayudar a conducir la escorrentía superficial generada en épocas de lluvias en los límites del camino.

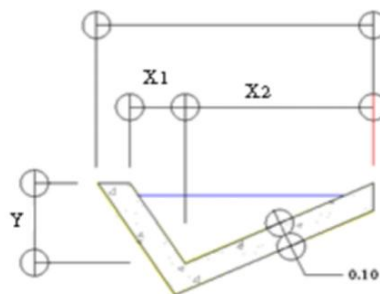


Figura 48. Cuneta tipo espaldón recomendada para la implementación en el pie de talud.

Elaborado por: La Autora

6.9.3 Recomendación para mejoramiento de la vía.

Una vez analizada la geología, estabilidad de taludes, líneas sísmicas y los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio de las calicatas geotécnicas, se determina que la subrasante de la zona 2 tiene una capacidad portante muy baja, en la cual los CBR de laboratorio y campo de la abscisa 6+370 presentan valores de 4.3 y 4.0% respectivamente. Y de acuerdo con la normativa establecida por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas se necesita valores de CBR superiores al 6%. Por esta razón se recomienda el uso del método AASHTO 93 para la rectificación y mejoramiento de la vía.

6.9.3.1 Parámetros para el cálculo del número estructural

Basado en los ensayos a las calicatas y los datos proporcionados por el MTOP como el tráfico promedio diario anual y factor de daño para el cálculo de tráfico, se presenta de modo resumido los parámetros a utilizar para realizar el cálculo del número estructural el cual nos servirá para el cálculo del espesor de la estructura. (tabla 36).

Tabla 60. Parámetros para el cálculo del SN

Datos de entrada método AASHTO	
Desviación estándar normal (ZR)	-0.841
Desviación estándar global o total (So)	0.45
Serviciabilidad inicial (Po)	4.2
Serviciabilidad final (Pt)	2.0
Δ PSI	2.2
Cálculo de tráfico (W18) 20 años	60016.12
Módulo de resiliencia (depende del tramo a intervenir)	

Fuente: La Autora, 2021

Con la obtención de todos los datos necesarios para el cálculo del número estructural se procedió a colocar los valores en el software a utilizar para 10 años, como se indica en las figuras 41 y 43; y para 20 años se indica en las figuras 42 y 44.

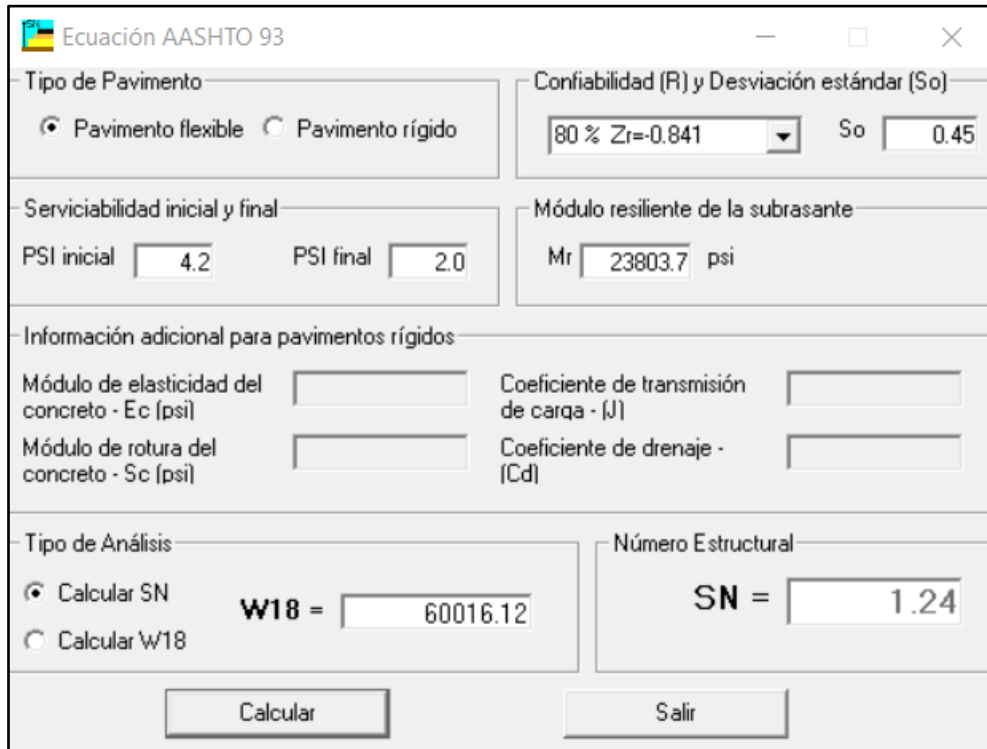


Figura 49. Número estructural requerido para 20 Años (CBR =4.3)

Fuente: Ecuación AASHTO-93. La Autora, 2021

Los números estructurales requeridos en la subrasante para 20 años son de 3.56 respectivamente; este cálculo se lo realizo con el mínimo valor CBR de la Zona 2 que presentan el tramo 3+365 a 8+000 de la vía de estudio siendo este un CBR de laboratorio igual 4.3 y un CBR de campo igual a 4.0.

6.9.3.2 Determinación de los espesores para 20 Años.


Analizando cada una de las características de los geo materiales que componen la estructura vial, a continuación, se evidencian los espesores correspondientes para dicha estructura.

Aplicando la ecuación de la AASHTO los parámetros definidos para el diseño son:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Tabla 61. *Espesores finales de mejoramiento para 20 años (CBR =4.5)*

ABSCISAS		Distancia (m)	w18			
1+200	4+920	3720	60016.12			
	CBR DE DISEÑO %	Módulo Resiliente	Número Estructural	Número Estructural calculado	Espesor de la capa pulg	Espesor de la capa cm
SUBRASANTE	4.3	23803.7	1.24			
MEJORAMIENTO					6	15
	SN	1.24		<=2.54		



Distribución en Altura de las Capas

Fuente: La Autora, 2021

Bajo consideraciones directas e indirectas me he permitido plantear la mejor opción para realizar la rectificación y mejoramiento de la zona 2 de la vía de estudio, lo cual sería realizar el cambio del estrato de por lo menos 3 veces el valor del agregado a compactar, teniendo en cuenta que el material de mejoramiento tiene que ser granular con plasticidades menores al 9%, que presente características similares a la zona de estudio, dicho material puede ser utilizado de zonas aledañas dado que al ser una zona protegida se debe evitar producir el menor impacto de dicha zona, y aumentando así la densidad del estrato, para dar una mayor capacidad portante donde se debe realizar la rectificación y mejoramiento.

7. Discusión de resultados.

La presente investigación indica un levantamiento topográfico a detalle, considerando que el área de estudio presenta una variación de alturas que oscilan entre 2365 m.s.n.m (cota más baja) y 2840 m.s.n.m (cota más alta), indicando un relieve bastante irregular con un área total de 80 Ha, siendo un terreno bastante accidentado y pendientes pronunciadas que forma una serie de ramales bajos y nudos propios de la zona.

De acuerdo con la geología local revela que el 1 km de la vía acceso al Parque Nacional Podocarpus se encuentra únicamente dentro de la Formación Chigüinda constituida por conglomerados mal clasificados poco consolidados y alterados con clastos bien redondeados que varía de 2 a 10 cm de diámetro. Los 7 km restantes pertenecen a la Unidad Chigüinda constituido por filitas, esquistos, pizarras y en menor proporción cuarcitas.

Según la información levantada en campo mediante la descripción de 24 afloramientos y la toma de datos estructurales se determinó que la zona de estudio posee un dominio metamórfico en su mayoría filitas. En diferentes sectores se observa intercalaciones de las rocas metamórficas entre capas centimétricas de pizarras, filitas, esquistos y cuarcitas; además en cuanto a la geología estructural se determinó la presencia de una falla de tipo inversa de dirección N – S, esta falla posee una baja influencia en la generación de movimientos en masa, y se identificó la presencia de un contacto inferido en el primer kilómetro de la vía; la litología del área de estudio coincide con la memoria técnica de la hoja Geológica Gonzanamá escala 1:100.000 del INIGEMM.

Para el análisis geotécnico la presente investigación se basó en la norma ecuatoriana de construcción NEC 2014: Geotecnia y Cimentaciones. Métodos permitidos para la exploración de campo, donde se consideró un método directo y un método indirecto con la finalidad de aportar información geotécnica que permita determinar y analizar las propiedades físico – mecánicas de los materiales geológicos del subsuelo ya que en la vía acceso al Parque Nacional Podocarpus no se cuenta con ningún estudio geotécnico.

El sector de estudio, de acuerdo con los ensayos realizados a las calicatas geotécnicas se determinó que no existe la presencia de nivel freático a la profundidad propuesta, además se obtuvo según la clasificación SUCS y la AASHTO, que el área de estudio está

comprendida por suelos que van de suelo gravoso con cierto grado de contenido de limo inorgánico a arenas limosas o arcillosas. Su contenido de humedad que varía desde 11% a 38% a lo largo de la vía de estudio. Y un índice plástico que determina que la zona de estudio presenta baja plasticidad.

Los ensayos indirectos consienten obtener características físicas del suelo a mayor profundidad, es por ello por lo que se consideró realizar la sísmica de refracción, determinando así la potencia de capas y correlacionándola los resultados con la geología observada en campo.

De la interpretación de los resultados se puede describir que la vía de estudio presenta un CBR general de 7.32% de condiciones regulares, taludes de características estables; encontrándose el 75% de la vía en buenas condiciones y el 25% en condiciones deficientes debido a que en la zona 2 abscisa 6+370 de la vía de estudio presenta valores bajos en cuanto a CBR de laboratorio y campo con estas determinaciones se realizó la propuesta de recomendaciones para la rectificación y mejoramiento de la vía.

Con respecto a la clasificación de los macizos rocosos se determinó el RQD donde presenta que la calidad de la roca para los tres macizos rocosos en estudio es Regular a Excelente. De igual manera se realizó la clasificación RMR donde los resultados determinaron una calidad de roca en buenas condiciones debido a que esta clasificación se considera más detallada debido al número de parámetros a analizar. Al igual que se realizó la clasificación SMR y GSI donde determina que la calidad del macizo se encuentra en condiciones buenas y estables.

Con la información recolectada se determina el factor de seguridad para los taludes en estudio los cuales se encuentran por encima de los rangos de estabilidad donde se constata la relación existente entre las clasificaciones de calidad del macizo y dicho factor obteniéndose condiciones estables a lo largo de la vía y con ello mantener la configuración actual de los taludes.

Como recomendación para el mejoramiento de la vía se determinó el acondicionamiento de la subrasante con el cambio de estrato de 15 cm el valor determinado de acuerdo con el método AASHTO-93 (15 cm) teniendo en cuenta que dicho material tiene que ser granular con una plasticidad menor al 9%,%, que presente

características similares a la zona de estudio.

8. Conclusiones.

A partir de los resultados obtenidos mediante trabajo de campo, laboratorio y de gabinete se presentan las conclusiones de acuerdo con los objetivos planteados para el desarrollo del presente proyecto investigativo.

- ❖ Topográficamente el área de estudio presenta alturas que oscilan entre 2300 m.s.n.m y 3000 m.s.n.m, indicando un relieve bastante irregular con un área total de 80 Ha.
- ❖ En la geología local se puede evidenciar la presencia de un ambiente sedimentario perteneciente a la formación Quillollaco compuestos de conglomerado con matriz de areno-limosa y arcilla que varían de 2 a 10 cm correspondiente al 1° km de la vía siendo el 18.75 %, y un ambiente metamórfico el cual se encuentra predominado por filitas intercaladas con capas centimétricas de cuarcitas, pizarras y esporádicamente con esquistos y cuarcitas, altamente meteorizadas correspondiente al 7 km restantes de la vía correspondiente al 81.25%.
- ❖ La geología estructural se caracteriza por la existencia de pliegues tumbados e inclinados y una falla de tipo inversa con dirección preferencial N-S con buzamiento al Este caracterizadas por afectar directamente a la unidad Chigiüinda; se evidencia un proceso de geodinámica, fenómenos que se originan lejanamente los cuales no afectan al proyecto de manera puntual. Al igual que se determinó un contacto inferido en la parte Nor Oeste de la vía que corresponden a la Formación Quillollaco y la Unidad Chigiüinda.
- ❖ Se realizó 8 calicatas geotécnicas que permitieron la clasificación y tipo de suelo según la SUCS los suelos se determinan como GM y SM siendo un suelo gravoso con cierto grado de contenido de limos inorgánicos; o A-1-a y A-2-4 según la AASHTO indicando la presencia de gravas y arenas limosas o arcillosas; determinando así que los suelos presentes en la zona son suelos de grano grueso con un 24% en límite líquido; 16% en límite plástico; 25% en humedad óptima.
- ❖ Los sondeos de sísmica de refracción realizados a lo largo de la vía determinan que los suelos están conformados por suelos de mediana a baja compacidad tipo areno limos arcillosos depositados sobre rocas fracturadas y meteorizadas tipo



filitas, cuarcitas y esquistos.

- ❖ Mediante los ensayos de laboratorio realizados a los geo materiales se determinó que la zona 2 en la abscisa 6+370 presenta condiciones deficientes tales como para una humedad optima de 21.85% y un CBR de laboratorio de 4.3% y un CBR de campo de 4.0%.
- ❖ Mediante la clasificación RQD, RMR, SMR y GSI se determina la calidad de los tres macizos rocosos de la zona de estudio los cuales determina una calidad del macizo con condiciones buenas y estables. Además, presenta un factor de seguridad por encima del rango de estabilidad determinando taludes en condiciones estables.
- ❖ Analizando los resultados obtenidos a partir de los ensayos de mecánica de suelos y rocas se determina la mejor propuesta para el mejoramiento de la vía: realizar un cambio de la subrasante que ayuden a mejorar la estabilidad, compactación y mejoramiento de la capacidad de soporte.

9. Recomendaciones.

Mediante el desarrollo del presente proyecto se logra un análisis general de la zona de estudio, que para llevar a cabo el mejoramiento de la vía acceso al Parque Nacional Podocarpus es necesario la aplicación de las siguientes recomendaciones:

- ❖ Se debe considerar para proyectos futuros de la zona, los fenómenos climatológicos como las precipitaciones, debido a que en temporada invernal estas presentan una afectación al área de estudio.
- ❖ Se recomienda aprovechar las propiedades físico – mecánicas de los materiales característicos de la zona de estudio presentes en esta investigación al momento de llevar a cabo la rectificación y mejoramiento de la vía.
- ❖ Con respecto al corte de taludes se recomienda mantener la configuración actual $\frac{3}{4}$ H: 1V con alturas entre bermas no mayor a 5 metros y anchos de berma de mínimo 2 metros. Así como la restauración de cunetas tipo espaldón al pie del talud.
- ❖ Se recomienda realizar un estudio hidrológico a detalle el cual permitirá definir y diseñar obras de drenaje que permitan controlar y eliminar el exceso de agua superficial que afecte directamente a los taludes y a la vía, evitando así que



puedan comprometer la estabilidad o daños en la estructura.

- ❖ Debido a la baja capacidad portante de la zona 2 abscisa 6+370 con condiciones deficientes se recomienda el cambio del estrato de 3 veces el valor del agregado a colocar obtenido mediante el método AASHTO-93 con material granular de plasticidades menores al 9% de zonas aledañas al área de estudio.
- ❖ En cuanto a construcciones de carácter civil en la vía de estudio, se recomienda aumentar el número de líneas sísmicas, para obtener una correlación de datos más exacta y tomando en consideración las propiedades físico-mecánicas de los suelos y rocas presentes en la vía de estudio.
- ❖ Finalmente se recomienda realizar la rectificación y mejoramiento de la vía, con la implementación de las propuestas de la presente investigación sin causar afectaciones considerando que por constituir una zona protegida se debe restringir al máximo la remoción de suelo o roca.

10. Bibliografía.

- Alejano, P. R. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. .
- Ambiente., M. d. (2013). *Modelo de Unidades Geomofológicas para la representación cartográfica de ecosistemas del Ecuador continental*. Obtenido de <http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PDOT/NIVEL%20NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/G>
- Andrade, H. G. (2004). *Introducción a la Ingeniería de Túneles. Caracterización, Clasificación y Análisis Geomecánico de Macizos Rocosos*. Quito, Ecuador: Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador (AIME).
- Arizaga, J. (2014). *Análisis Geotécnico de la Causas por las Cuales Ocurrió el Colapso de la Losa de Piso de la cancha del Pabellon de Comunidad Terapeutica*. Cuenca.
- Ascuña, M. (2015). *PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE ROCAS*.
- Ayala, L. (2018). *Explorock*. Obtenido de <https://www.explorock.com/notas-esenciales-sobre-mapeo-geologico/>
- Belousouv, V. (1979). *GEOLOGIA ESTRUCTURAL*. Moscú: MIR.
- Bongiorno, F. (2016). *CLASIFICACIONES GEOMECHANICAS SEGUN: LOS MACIZOS ROCOSOS DE BIENLAWSKI, BARTON, BROWN, HOEK Y ROMANA*. Universidad de los Andes.
- Braja, M. (2011). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*,. Sacramento: California State University.
- Braja, M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Sacramento: California State University.
- Btyth, F. &. (1995). *Geología para ingenieros*. Cuba.
- Cantos, J. (1973). *Tratado de geofísica aplicada*. Madrid: Litoprint.
- Chavez, J. M. (2006). *Geotécnica (C. federal de Electricidad. Primera edición*.



- Comunicaciones, M. d. (2008). *Manual de diseño para carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. Lima-Perú.
- Demek. (1972). *Manual of Detailed Geomorphological Mapping*.
- Echevereste, H. (2008). *Manual de Levantamiento Geológico*. Universidad Nacional de la Plata (ed.).
- Escobar, C. D. (2017). *MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS*. U. N. de Colombia (ed.).
- Espinosa, G. (2010). *INGENIERIA DE PRESAS DE ESCOLLERA*. Ex-Libris.
- Espinosa, H. R. (2013). *Base de Datos de especies colectadas en el Parque Nacional Podocarpus*.
- Flores, J. (2019). *Clasificación de macizos rocosos con base en el RQD en la ciudad de Puebla*. Puebla, Mexico: Universidad Autonoma de Puebla.
- Gavilanes, H. (2004). *INTRODUCCION A LA INGENIERIA EN TUNELES*. Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador.
- González de Vallejo, L. F. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Guerrero, M., & Valle, D. (2010). *Plan de Manejo Actualizado y Priorizado del Parque*. Loja: Ministerio del Ambiente, Fundación Ecológica.
- Hoek, E. (2002). *El criterio de rotura de Hoek-Brown*. Madrid.
- Hungerbühler, D. S. (2001). *Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador*. Earth-Science .
- INTERNATIONAL, A. (1996). *Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils*. New York: ASTM.
- Karzulovic, A. (2006). *Sistemas de clasificación y clasificación geotécnica de macizos rocosos*.
- Lien, R. (2018). *RESISTENCIA AL CORTE*.
<https://es.slideshare.net/RenatoRicardoLiendoS/resistencia-al-corte-de-suelos>.



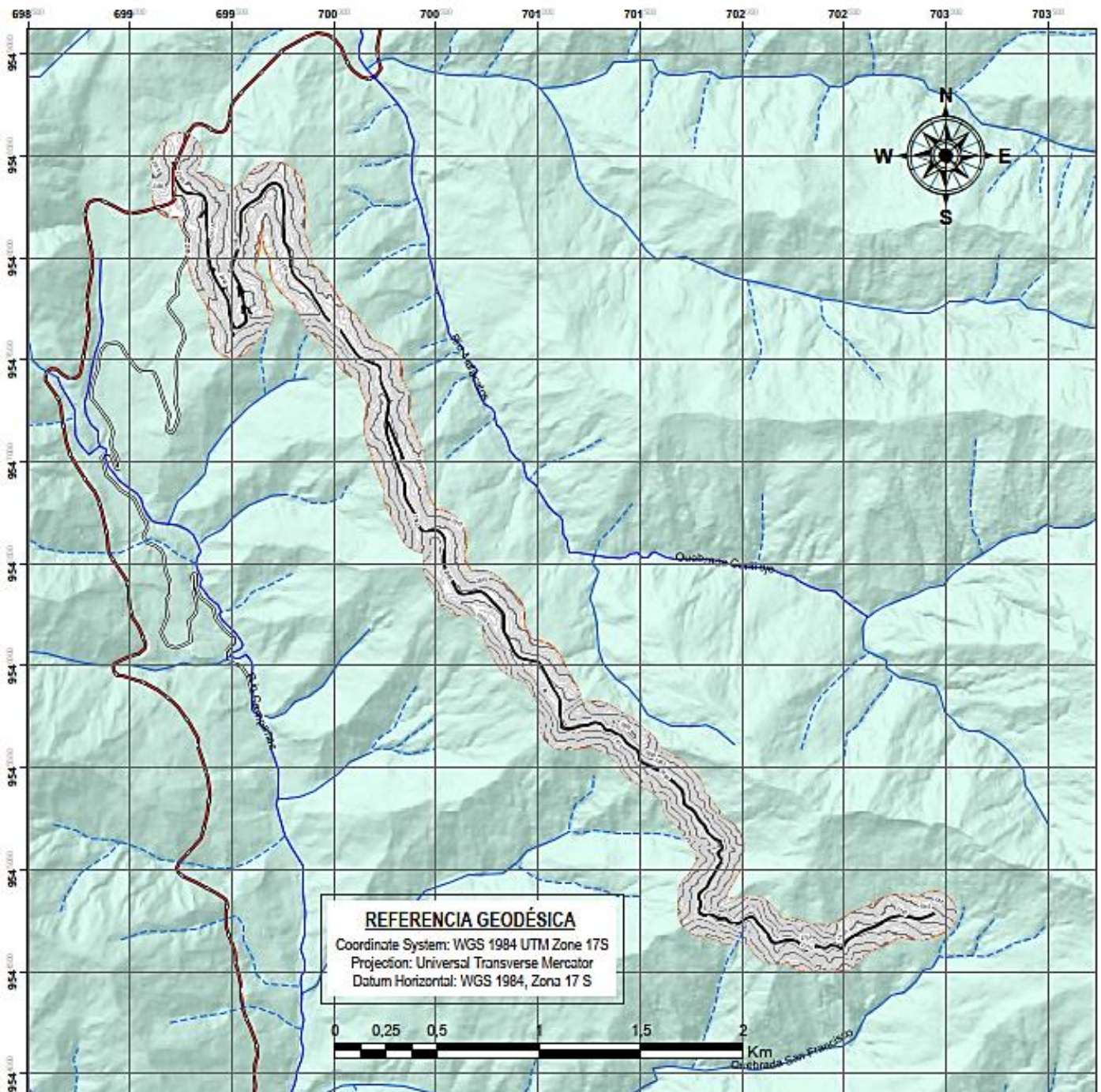
- Lopez. (2016). *Ensayos geofísicos para la Exploración de Suelos en estructuras patrimoniales*.
- M. Romana, R. T. (2015). *Slope Mass Rating (SMR) geomechanics classification: Thirty years review*. 13th ISRM International Congress of Rock Mechanics.
- Matera, L. C. (2002). *Topografía Plana*. Merida: Taller de Publicaciones de Ingeniería, ULA.
- Molina, F. T. (2008). *Estudios Preliminares para el Diseño de Puentes*.
- MTOP. (2003). *Normas de diseño geométrico, Especificaciones*.
- Naranjo, H., & Dranichnikov, T. (2012). *Cálculo de capacidad Portante Basado en Geofísica y Método Convencional*. Azuay: ABYA-YALA.
- NEC. (2014). *Geotécnica y cimentaciones*. Quito.
- Ospina, J. J. (2002). *DISEÑO GEOMETRICO DE VÍAS*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Oyanguren, R. A. (2004). *MECANICA DE ROCAS: FUNDAMENTOS DE INGENIERIA DE TALUDES*. Red DESIR.
- Paladines Agustín, J. S. (2010). *Geología y Yacimientos Minerales del Ecuador*. Quito.
- Palmstrom, A. (2005). *Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD)*.
- Ramírez, O. (2000). *Apuntes de Geotecnia Basica*.
- Rincón Mario, V. W. (2017). *Topografía: Conceptos y Aplicaciones*. Bogotá: ECOE Ediciones.
- Rojas, G. (2011). *Introducción a la Geología Estructural*.
- Romana, M. (1995). *La Clasificación Geomecánica: Aplicación, Experiencias y Validación*. Valencia: Departamento de Ingeniería del Terreno.
- Sáez, E. (2010). *Fundamentos de Geotecnia ICE-1603*.
- Sagaseta, C. (2010). *Influence of column deformation. Geotecnia I*. Cantabria, España.
- Sagaseta, C. (2010). *Introducción a la Geotecnia: Tipos y Propiedades de los suelos*.

- SIAPA, U. D. (2014). *LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA FACTIBILIDAD*.
- Sierra R, V. R. (1999). *Los Sistemas de clasificación de la Vegetación propues-*. Quito: Sierra.
- Suárez, D. (1998). *DESLIZAMIENTO. ANÁLISIS GEOTÉCNICO. Cap. 1. Nomenclatura y Clasificación de los Movimientos*.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico Vol 1*. Santander, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Tamay, I. J. (2004). *MAPA GEOLÓGICO P RELIM INAR DE LA HOYA DE LOJA*. Loja: Ediloja Cia. Ltda.
- Tarbuck, E. &. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física*. Madrid: PEARSON EDUCATION S.A.
- Thomas, J. (1977). *An introduction to geological maps*. Boston: George Allen & Unwin Ltd.
- Ureta, C. (2017). *Aplicación de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15*. Guayaquil.
- Vallejo, L. G. (2004). *Ingeniería Geológica Cap II: Mecanica de suelos, Cap III: Mecánica de Rocas*. Madrid.
- Varnes, D. J. (1978). *"Slope movements types and processes", "Landslides: Analysis and control, transportation research board"*. Washington: National Academy of Science.
- Watson, R. (2005). *Geotecnia Aplicada*. Cuba: ISMM Moa.
- Yanez, d. (2019). *Método descriptivo: características, etapas y ejemplos*.



11. Anexos.

Anexo 1. Mapa Topográfico de la zona de estudio



REFERENCIA GEODÉSICA
 Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Universal Transverse Mercator
 Datum Horizontal: WGS 1984, Zona 17 S



SIGNOS Y SÍMBOLOS CONVENCIONALES

<< Curvas de Nivel >>

- Principal
- Secundaria

<< Red Hidrográfica >>

- Quebrada Perenne
- Quebrada Intermittente

Orden

- Río Doble
- Río Simple

<< Red Vial >>

- Carretera (superficie pavimentada angosta)
- Vía (superficie ligera sin pavimentar angosta)
- Sendero - Caminos de Herradura (superficie suelta temporal)

LEYENDA

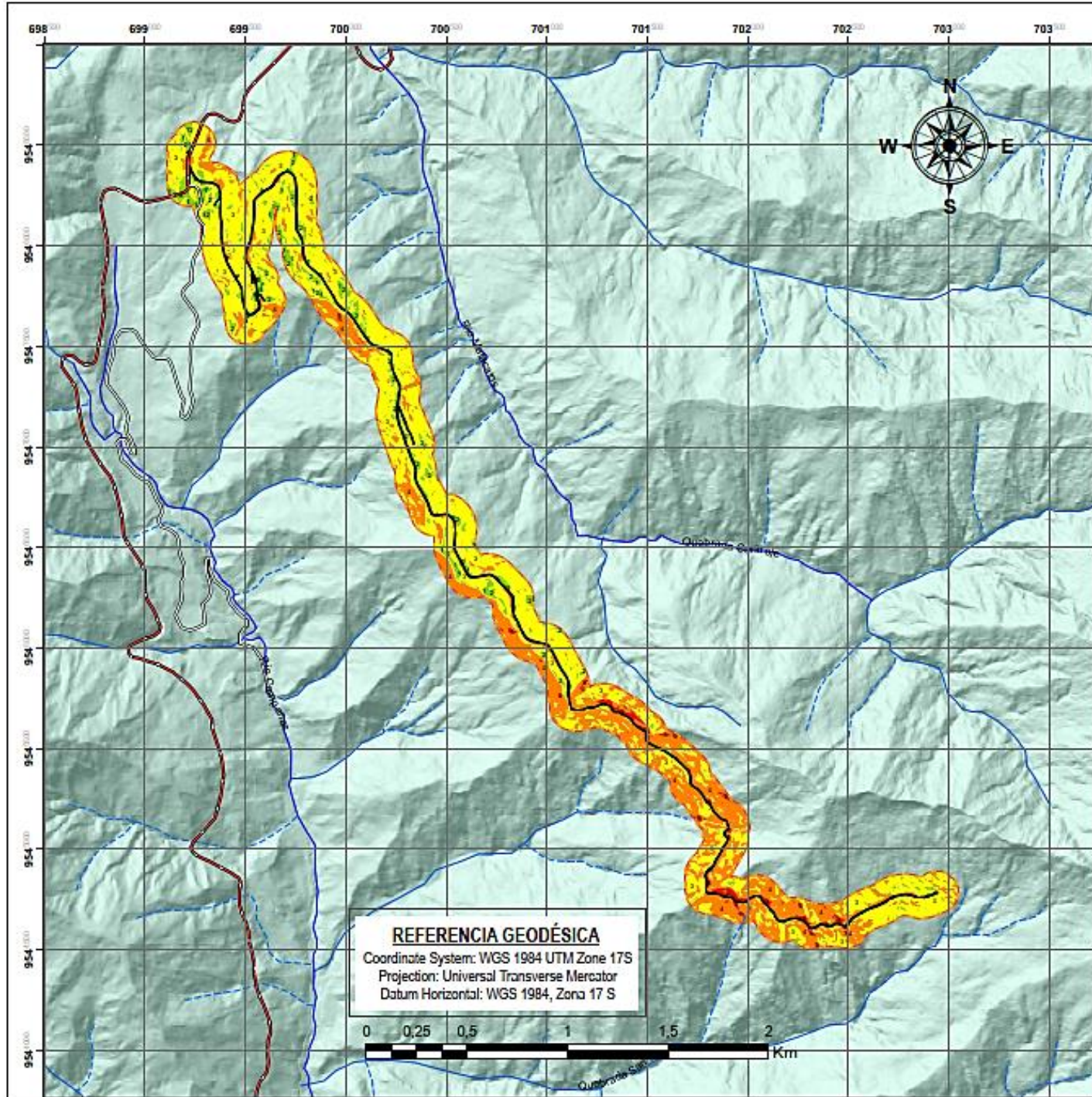
- Área de Estudio
- Zona de Estudio

Curvas de nivel principales cada 25 m
 Curvas de nivel secundarias cada 5 m
 1:20.000

 Universidad Nacional de Loja Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial			
Título: Mapa Topográfico de la vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus Loja		Escala de Trabajo: 1:5.000 Escala Gráfica: 1:20.000	
Autor: Michello Anahí Jara Torres		N° de Plano	Firma Electrónica:
Director: Ing. Ángel Tamayo Mq Sc		N° 1	



Anexo 2. Mapa de Pendientes de la zona de estudio



REFERENCIA GEODÉSICA
 Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Universal Transverse Mercator
 Datum Horizontal: WGS 1984, Zona 17 S



SIGNOS Y SÍMBOLOS CONVENCIONALES

<< Red Hidrográfica >>

- Quebrada Perenne
- Quebrada Intermittente

Orden

- Río Doble
- Río Simple

<< Red Vial >>

- Carretera (superficie pavimentada angosta)
- Vía (superficie ligera sin pavimentar angosta)
- Sendero - Caminos de Herradura (superficie suelta temporal)

LEYENDA

- Ligeramente inclinado
- Fuertemente inclinado
- Muy inclinado
- Empinado
- Vertical

Descripción General

Nº	Mesorelieve	Rango	Simbología	Área (Km ²)	Porcentaje (%)
1	Ligeramente Inclinado	0° - 5°	Green	0,026	1,60
2	Fuertemente Inclinado	5° - 15°	Light Green	0,181	11,11
3	Muy Inclinado	15° - 35°	Yellow	0,562	58,48
4	Empinado	35° - 55°	Orange	0,448	27,41
5	Vertical	> 55°	Red	0,023	1,41

Universidad Nacional de Loja
 Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables
 Cámara de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

Título: Mapa de Pendientes de la vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus Loja

Escala de Trabajo: 1:5.000
Escala Gráfica: 1:20.000

Autor: Michelle Anahi Jara Torres

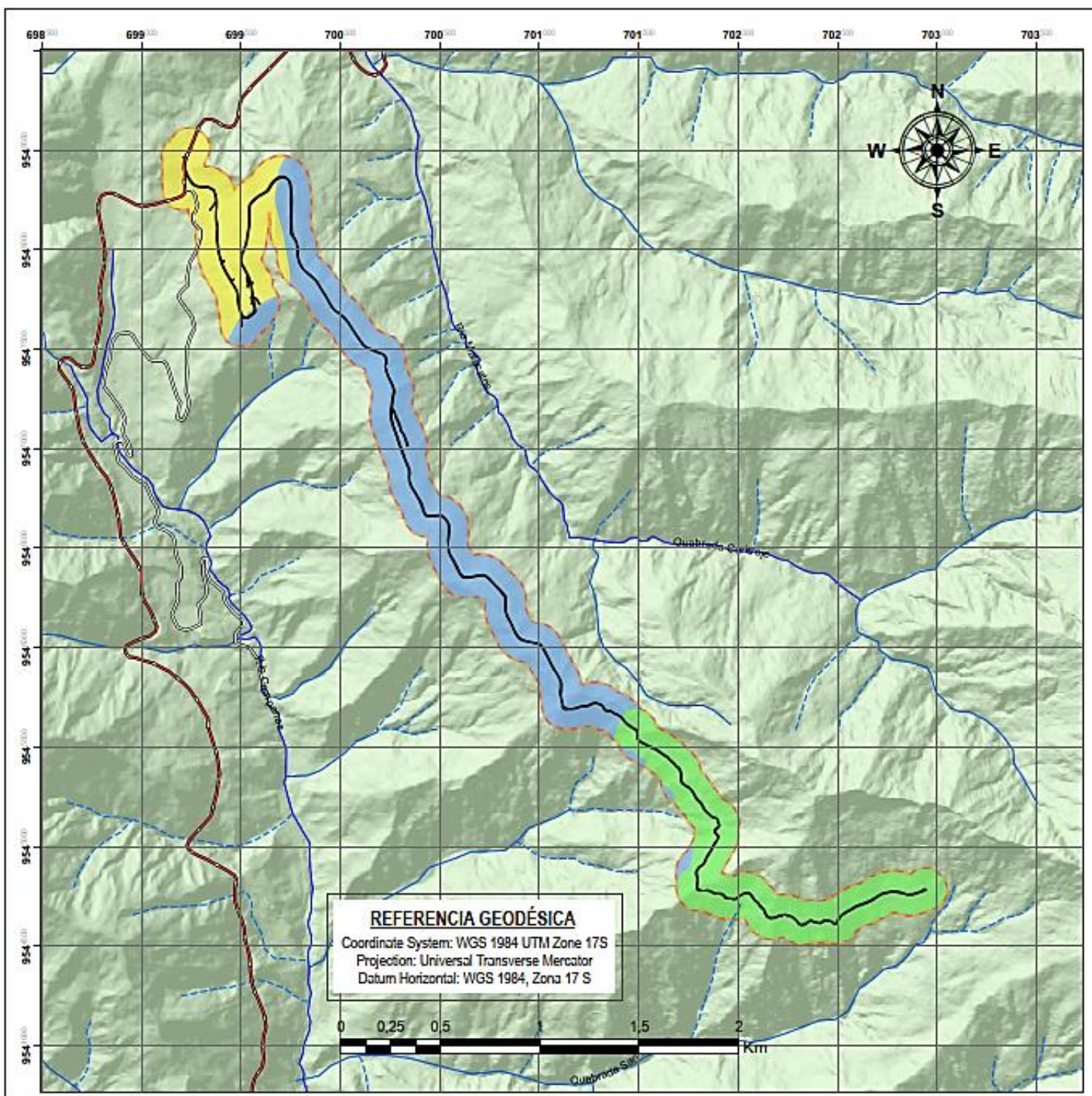
Nº de Plano: N° 4

Director: Ing. Ángel Tamayo Mj Sc

Firma Electrónica:



Anexo 3. Mapa Geomorfológico de la zona de estudio



SIGNOS Y SÍMBOLOS CONVENCIONALES

<< Red Hidrográfica >>		<< Red Vial >>	
	Quebrada Perenne		Carretera (superficie pavimentada angosta)
	Quebrada Intermitente		Vía (superficie ligera sin pavimentar angosta)
Orden			Sendero - Caminos de
	Río Doble		Herradura (superficie suelta temporal)
	Río Simple		

LEYENDA

	Relieve Montañoso
	Vertiente Irregular
	Terraza Baja

Descripción General

Nº	Mesorelieve	Simbología	Área (Km ²)	Perimetro (Km)	Porcentaje (%)
1	Terraza Baja		0,35	3,93	21,56
2	Vertiente Irregular		0,78	9,70	48,13
3	Relieve Montañoso		0,49	5,18	30,31

Universidad Nacional de Loja
 Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables
 Cámara de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

Título: Mapa Geomorfológico de la vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus Loja

Autor: Michello Anahi Jara Torres

Director: Ing. Ángel Tamayo Mg.Sc.

Escala de Trabajo: 1:5.000
Escala Gráfica: 1:20.000

Nº de Plano: N° 3

Firma Electrónica:



Anexo 4.

Descripción de afloramientos de la zona de estudio

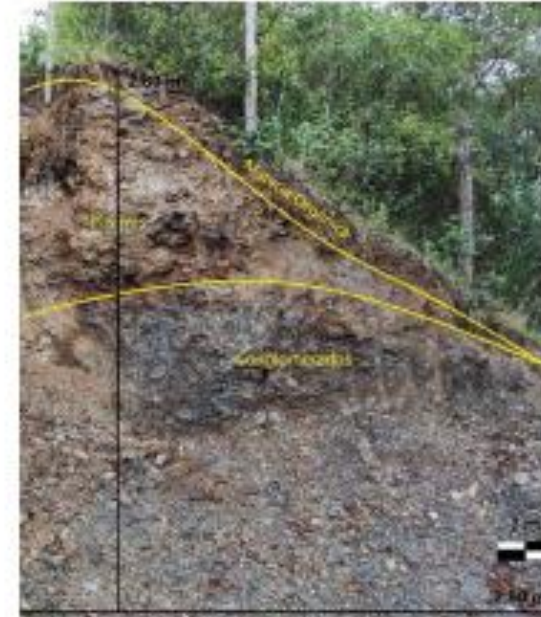
Ficha de descripción de afloramientos					
AFLORAMIENTO N°	1	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus		
DATUM			WGS84		
COORDENADAS UTM	X	Y	Z		
	699279	9548327	2390		
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO					
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X	
RELIEVE	Llano		De Colinas		
	Bajo	X	Montañoso		
UNIDAD/FORMACION	FORMACION QUILLOLLACO				
DIMENSIONES	Alto (m):	3.30	Ancho (m):	6.50	
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	-	BZ	-	
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA					
TIPO DE ROCA	Ignea		Sedimentaria	X	Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto		Medio	X	Bajo
COLORACION	Gris verdoso				
NOMBRE DE LA ROCA	Conglomerados				
OBSERVACIONES	El presente afloramiento es un corte de vía ubicado en la entrada de la vía Cajanuma hasta el refugio N°1. Se pueden distinguir una capa de suelo de 90 cm, seguido de conglomerados de color amarillento hasta gris verdoso producto de la oxidación. También se pudo encontrar la presencia de láminas de pizarras 0.3 cm de espesor. Gran presencia de vegetación herbácea.				



<u>Ficha de descripción de afloramientos</u>				
AFLORAMIENTO N°	2	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	699361	9548301	2374	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	
	Bajo	X	Montañoso	
UNIDAD/FORMACION	FOMACION QUILLOLLACO			
DIMENSIONES	Alto (m):	3.30	Ancho (m):	3.20
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	-	BZ	-
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ignea		Sedimentaria	X
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto		Medio	X
COLORACION	Gris oscuro a marrón			
NOMBRE DE LA ROCA	Conglomerados			
OBSERVACIONES	El presente afloramiento es un corte de vía, en el cual se encuentran estratos inclinados. Se pueden distinguir rocas sedimentarias como los conglomerados de coloración gris oscuro a marrón. Presencia de clasto de origen metamorfoico con matriz de areniscas.			



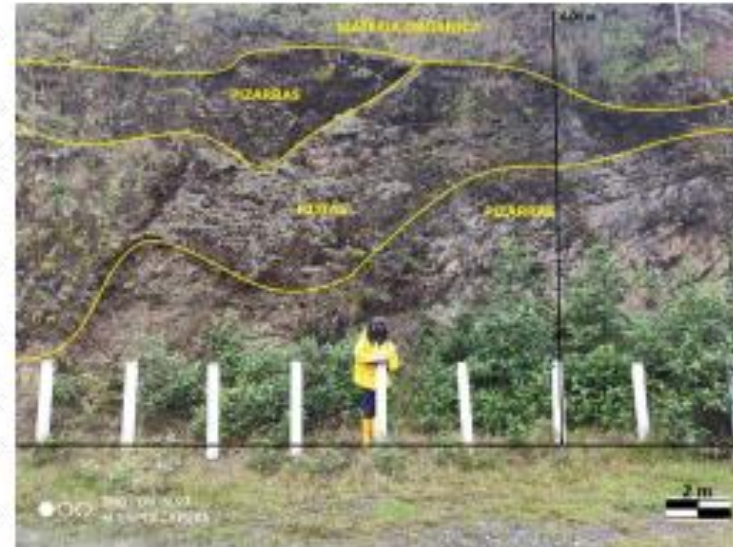
Ficha de descripción de afloramientos					
AFLORAMIENTO N°	3	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus		
DATUM			WGS84		
COORDENADAS UTM	X	Y	Z		
	699416	9547923	2426		
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO					
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X	
RELIEVE	Llano		De Colinas		
	Bajo	X	Montañoso		
UNIDAD/FORMACION	FORMACION QUILLOLLACO			2.80	
DIMENSIONES	Alto (m):	2.80	Ancho (m):	2.	
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	-	BZ	-	
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA					
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	X	Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto		Medio	X	Bajo
COLORACION	Gris oscuro a marrón				
NOMBRE DE LA ROCA	Conglomerados y pizarras				
OBSERVACIONES	El presente afloramiento presenta una discordancia angular entre la formación Quillollaco y la unidad Chiguinda; constituida de conglomerados tipo clastos soportados en una matriz areno-limosa.				



<u>Ficha de descripción de afloramientos</u>				
AFLORAMIENTO N°	4	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	699523	9548034	2473	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	X
	Bajo		Montañoso	
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	4.10	Ancho (m):	11.80
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	76	BZ	60
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	
				Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	
COLORACION	Marrón			
NOMBRE DE LA ROCA	Filitas			
OBSERVACIONES	Se pueden distinguir una capa vegetal de un espesor considerable, presenta alto grado de erosión, estratos inclinados con un buzamiento de 60° y una dirección de buzamiento de 76°, filitas de coloración café a marrón producto de la oxidación.			



Ficha de descripción de afloramientos					
AFLORAMIENTO N°	5	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus		
DATUM			WGS84		
COORDENADAS UTM	X	Y	Z		
	699543	9548168	2483		
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO					
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X	
RELIEVE	Llano		De Colinas	X	
	Bajo		Montañoso		
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA				
DIMENSIONES	Alto (m):	4.80	Ancho (m):	9.20	
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	85	BZ	43	
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA					
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria		Metamórfica X
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto		Medio	X	Bajo
COLORACION	Gris oscuro a marrón				
NOMBRE DE LA ROCA	Pizarras; filitas				
OBSERVACIONES	El presente afloramiento presenta intercalaciones de pizarras y filitas; las pizarras presentan textura lepidoblástica con coloraciones que van de gris oscuro a marrón producto de la oxidación presente en el área de estudio.				



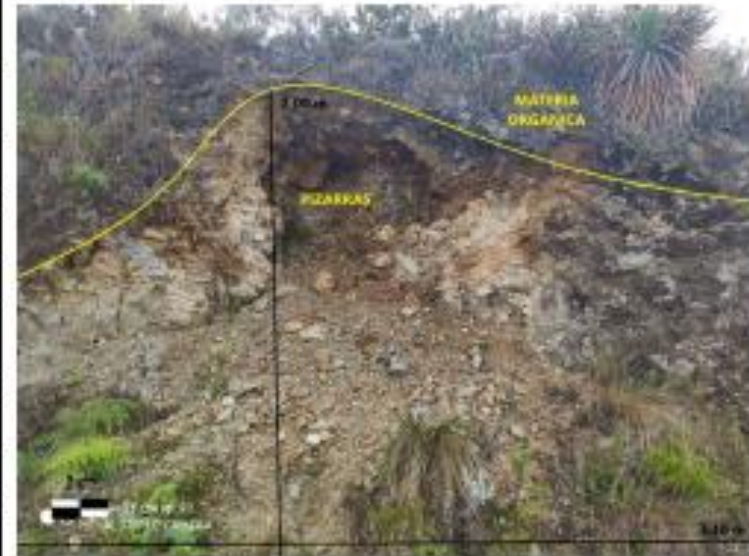
Ficha de descripción de afloramientos				
AFLORAMIENTO N°	6	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM		WGS84		
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	699605	9548283	2489	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural I		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	
	Bajo	X	Montañoso	
UNIDAD/FORMACION N	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	1.25	Ancho (m):	1.68
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	141	BZ	25
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto		Medio	X
COLORACION	Marrón			
NOMBRE DE LA ROCA	Pizarras			
OBSERVACIONES	El presente afloramiento presenta abundante vegetación Herbácea al pie del talud, además de contar con una alteración media producto de vientos, lluvias y el sol.			



Ficha de descripción de afloramientos				
AFLORAMIENTO N°	7	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	699641	9548327	2483	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	
	Bajo	X	Montañoso	
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	2.91	Ancho (m):	13.6
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	127	BZ	30
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ignea		Sedimentaria	
				Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	
				Bajo
COLORACION	Gris oscuro a marrón			
NOMBRE DE LA ROCA	Esquistos			
OBSERVACIONES	El presente afloramiento es un corte de vía, presenta una capa de materia orgánica de 25 cm y su parte superior gran presencia de bosque, se caracteriza por encontrarse el esquistos con un alto grado de alteración; óxidos de hierro y manganeso.			



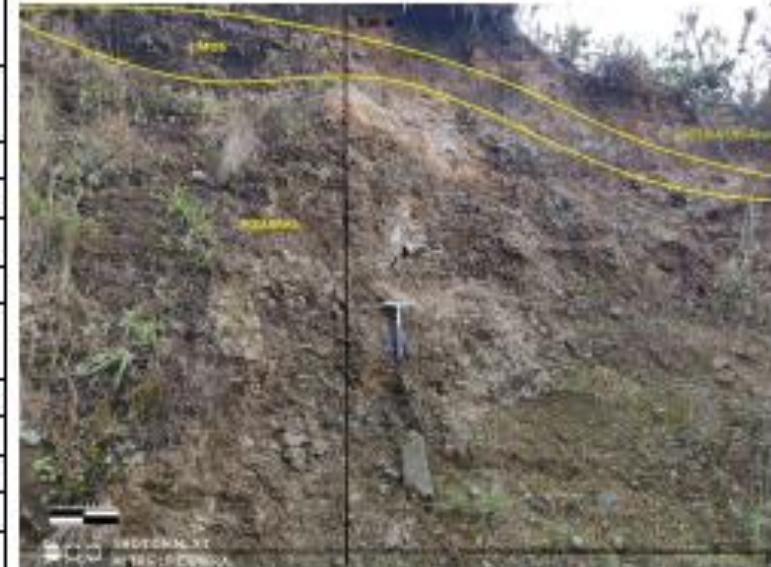
Ficha de descripción de afloramientos				
AFLORAMIENTO N°	8	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	699752	9548264	2484	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	
	Bajo	X	Montañoso	
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	2.00	Ancho (m):	3.10
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	125	BZ	23
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	
				Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	
				Bajo
COLORACION	Crema a marrón			
NOMBRE DE LA ROCA	Pizarras			
OBSERVACIONES	Se presenta estructurada en hojas planas por una esquistosidad bien desarrollada.			



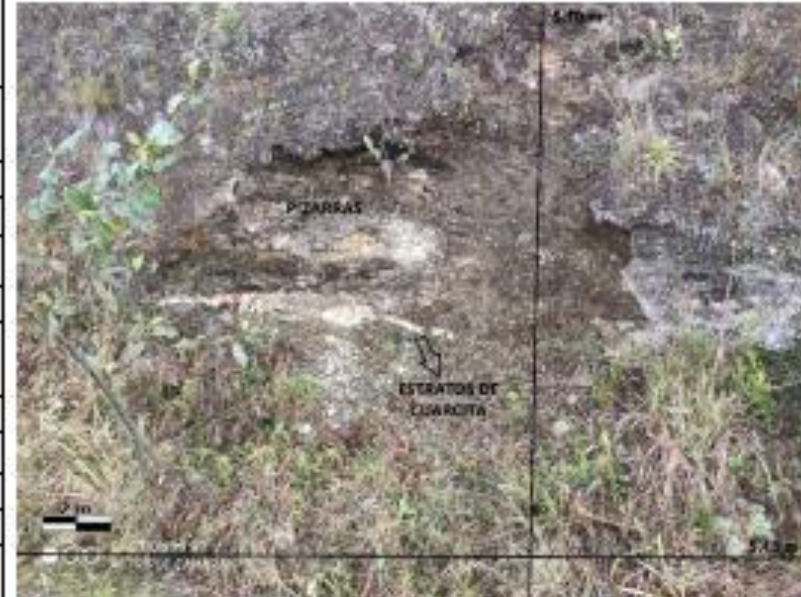
Ficha de descripción de afloramientos				
AFLORAMIENTO N°	9	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	699901	9547804	2504	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	X
	Bajo		Montañoso	
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	3.60	Ancho (m):	5.95
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	236	BZ	48
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ignea		Sedimentaria	
				Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	
				Bajo
COLORACION	Gris verdoso a marrón			
NOMBRE DE LA ROCA	Pizarras			
OBSERVACIONES	El color gris verdoso de la muestra indica que el mineral dominante es la clorita, mientras que los tonos marrones que se observan en las caras laterales responden a los procesos de oxidación superficiales a favor de diaclasas.			



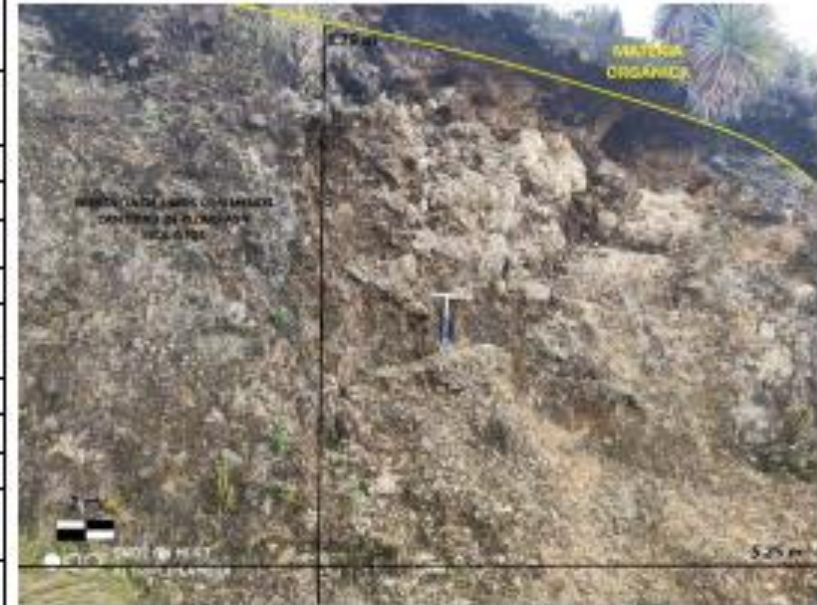
Ficha de descripción de afloramientos				
AFLORAMIENTO N°	10	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	700261	9547265	2523	
DESCRIPCION AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	X
	Bajo		Montañoso	
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	4.20	Ancho (m):	6.30
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	288	BZ	48
DESCRIPCION DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	
				Metamórfica
ESTADO DE ALTERACION	Alto	X	Medio	
				Bajo
COLORACION	Gris a marrón			
NOMBRE DE LA ROCA	Pizarras			
OBSERVACIONES	La muestra de mano parece masiva, si se observa detalladamente se pueden apreciar los planos de foliación.			



Ficha de descripción de afloramientos				
AFLORAMIENTO N°	11	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	700386	9546775	2541	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	
	Bajo		Montañoso	
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):		Ancho (m):	
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	60	BZ	5
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	
				Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	
				Bajo
COLORACION	Gris a marron			
NOMBRE DE LA ROCA	Pizarras			
OBSERVACIONES	Presencia de estratos de cuarcita e intercalaciones de limos con pizarras muy meteorizadas; no se puede realizar una mejor limpieza debido a que pertenece a un área protegida.			



Ficha de descripción de afloramientos				
AFLORAMIENTO N°	12	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	700539	9546535	2566	
DESCRIPCION AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	
	Bajo		Montañoso	
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	3.79	Ancho (m):	5.25
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	-	BZ	-
DESCRIPCION DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	
				Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	
				Bajo
COLORACION	Marrón			
NOMBRE DE LA ROCA	Pizarras y Esquistos			
OBSERVACIONES	Los esquistos presentan mayor clivaje que las pizarras; el tamaño de grano en muestra de mano de los esquistos ya se puede apreciar a simple vista.			



<u>Ficha de descripción de afloramientos</u>				
AFLORAMIENTO N°	13	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	701106	9545826	2625	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	
	Bajo	X	Montañoso	
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	1.20	Ancho (m):	1.70
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	276	BZ	70
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ignea		Sedimentaria	
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	
COLORACION	Gris a marrón			
NOMBRE DE LA ROCA	Pizarras y Filitas			
OBSERVACIONES	Presencia se caracteriza por la presencia de la falla regional Loja y de plegamientos tumbados debido a procesos de geodinámica externa, filitas de coloración gris con presencia de óxidos de hierro debido a ello se presenta una coloración marrón.			



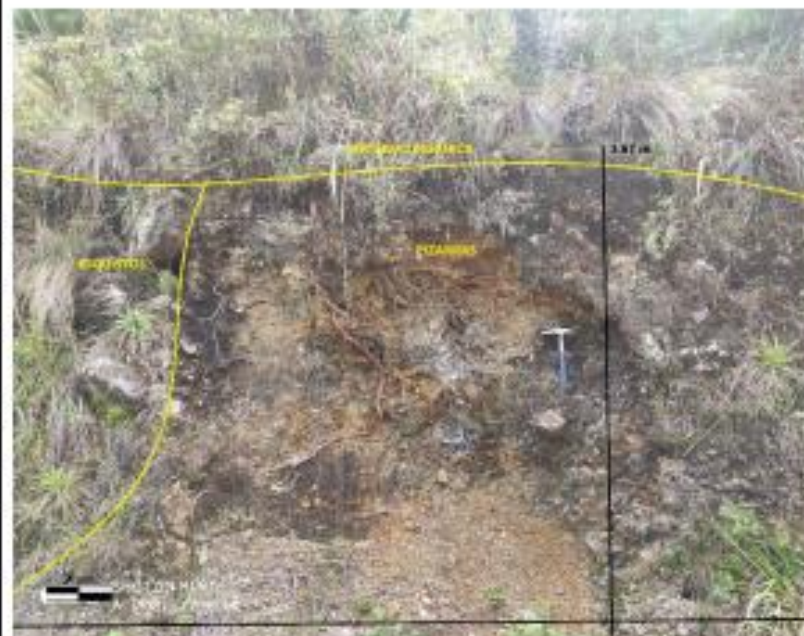
Ficha de descripción de afloramientos					
AFLORAMIENTO N°	14	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus		
DATUM		WGS84			
COORDENADAS UTM	X	Y	Z		
	701270	9545725	2644		
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO					
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X	
RELIEVE	Llano		De Colinas		
	Bajo		Montañoso	X	
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA				
DIMENSIONES	Alto (m):	7.70	Ancho (m):	12.25	
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	353	BZ	40	
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA					
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	Metamórfica	X
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	Bajo	
COLORACION	Grias a marrón				
NOMBRE DE LA ROCA	Esquistos				
OBSERVACIONES	Presencia de vegetación exuberante en la zona, inclinación de 40° con presencia de óxidos y altamente alterados.				



<u>Ficha de descripción de afloramientos</u>				
AFLORAMIENTO N°	15	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	701481	9545574	2637	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	
	Bajo		Montañoso	X
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	6.75	Ancho (m):	9.00
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	88	BZ	60
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	
				Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	
				Bajo
COLORACION	Gris oscuro			
NOMBRE DE LA ROCA	Filitas y pizarras			
OBSERVACIONES	Este característico por ser de tipo montañoso con presencia de filitas con un dique de pizarras, vegetación escasa y altamente alterada.			



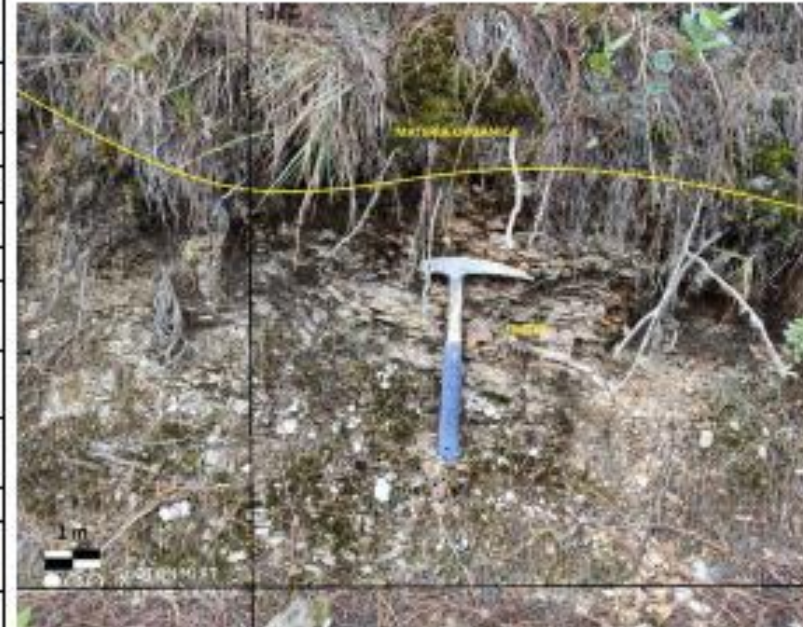
<u>Ficha de descripción de afloramientos</u>				
AFLORAMIENTO N°	16	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	701834	9545193	2635	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	X
	Bajo		Montañoso	
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	3.67	Ancho (m):	6.30
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	130	BZ	-
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	
				Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	
COLORACION	Marrón			
NOMBRE DE LA ROCA	Pizarras y esquistos			
OBSERVACIONES	El esquistos está característicamente foliado, lo que quiere decir que los granos de minerales individuales pueden separarse fácilmente en escamas o láminas.			



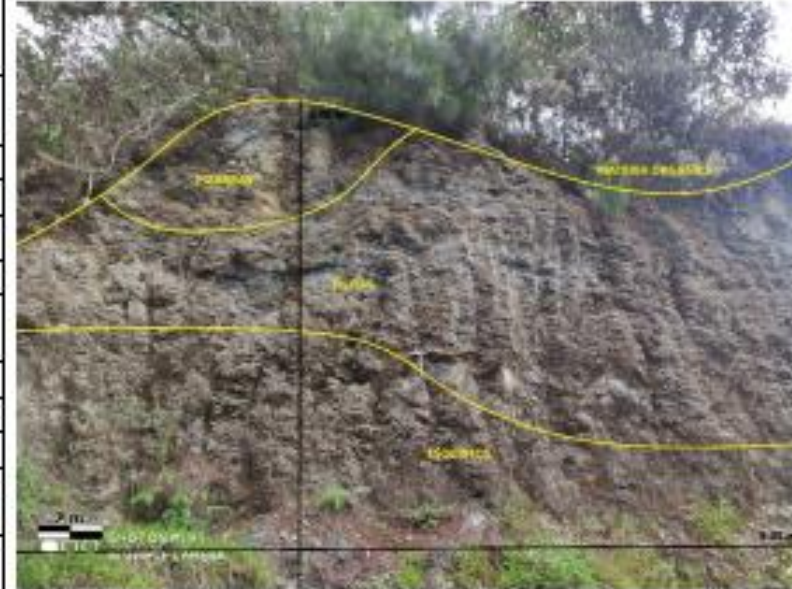
<u>Ficha de descripción de afloramientos</u>				
AFLORAMIENTO N°	17	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	701891	9545054	2662	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial 1	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	X
	Bajo		Montañoso	
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	2.06	Ancho (m):	7.87
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	100	BZ	5
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	
COLORACION	Marrón a gris			
NOMBRE DE LA ROCA	Filitas y pizarras			
OBSERVACIONES	Presencia de intercalaciones de pizarras y filitas; las pizarras presentan textura lepidoblástica con coloración gris oscuro a marrón producto de la oxidación presente en el área de estudio.			



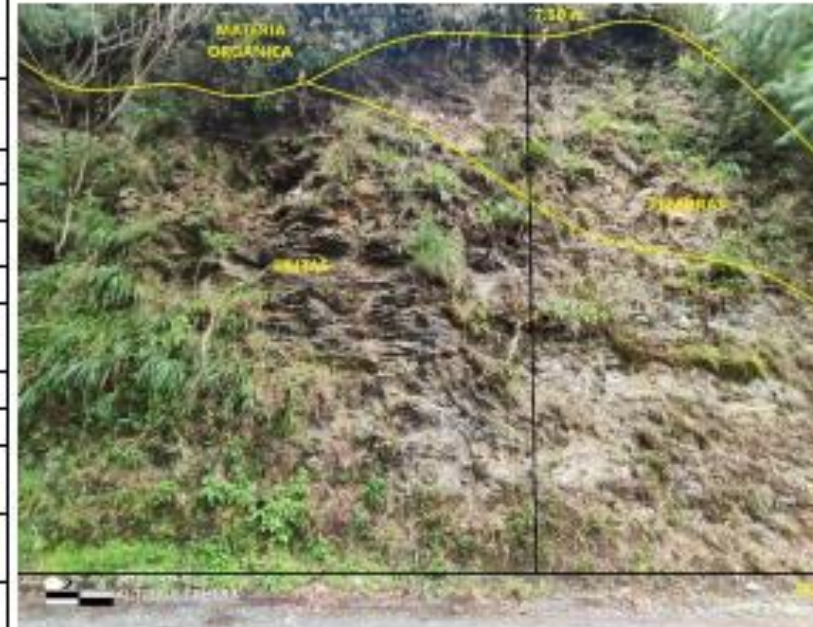
<u>Ficha de descripción de afloramientos</u>				
AFLORAMIENTO N°	18	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	701869	9545005	2663	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano	X	De Colinas	
	Bajo		Montañoso	
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	1.25	Ancho (m):	1.70
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	103	BZ	20
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	
				Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	
				Bajo
COLORACION	Gris claro			
NOMBRE DE LA ROCA	Filitas			
OBSERVACIONES	Los planos de foliación son ahora observables a simple vista debido al aumento del tamaño de los cristales micáceos que los componen. Los mencionados planos poseen un aspecto terso y brillante, presentando suaves ondulaciones en su superficie.			



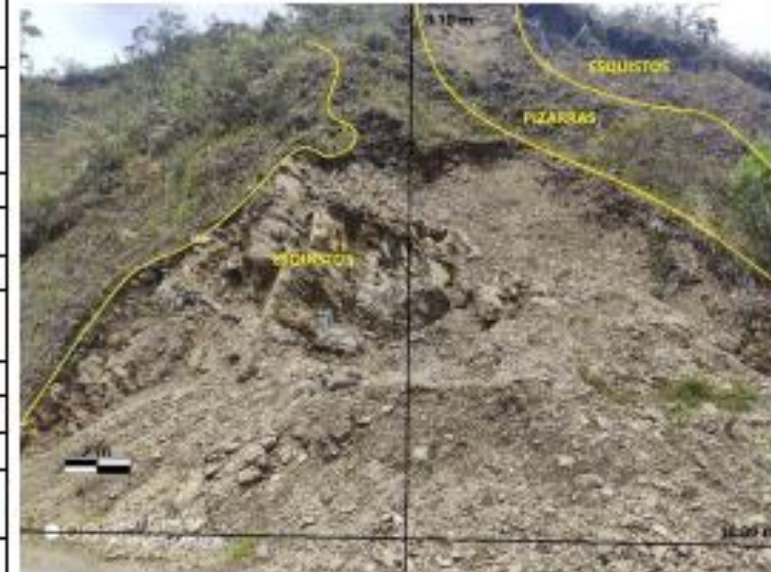
Ficha de descripción de afloramientos				
AFLORAMIENTO N°	19	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	701882	9544779	2670	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	
	Bajo		Montañoso	X
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	4.90	Ancho (m):	8.05
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	162	BZ	60
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	
				Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	
				Bajo
COLORACION	Gris oscuro			
NOMBRE DE LA ROCA	Pizarras, filitas y esquistos			
OBSERVACIONES	Se observan los planos de foliación, muy evidentes. Además, a diferencia de las filitas, los minerales micáceos son visibles a simple vista.			



Ficha de descripción de afloramientos				
AFLORAMIENTO N°	20	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM		WGS84		
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	701960	9544738	2687	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	
	Bajo		Montañoso	X
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	7.50	Ancho (m):	11.40
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	169	BZ	3
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	
				Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto		Medio	X
				Bajo
COLORACION	Gris a marrón			
NOMBRE DE LA ROCA	Filitas y pizarras			
OBSERVACIONES	La filita se caracteriza por presentar brillo satinado y una superficie ondulada, mientras que la pizarra se caracteriza por la apreciación de los planos de foliación.			



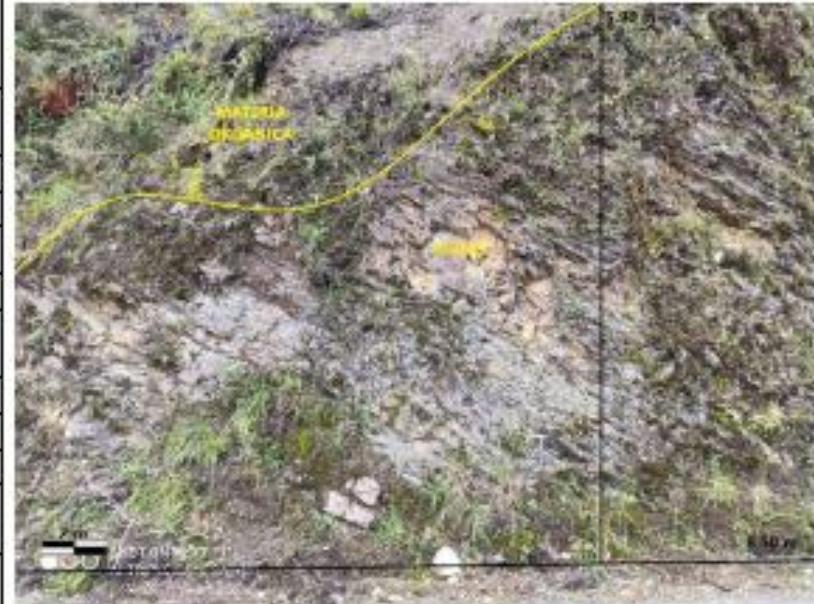
Ficha de descripción de afloramientos				
AFLORAMIENTO N°	21	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	702295	9544462	2721	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	
	Bajo		Montañoso	X
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	8.10	Ancho (m):	10.80
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	97	BZ	65
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	
				Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	
				Bajo
COLORACION	Gris a marrón			
NOMBRE DE LA ROCA	Esquistos y pizarras			
OBSERVACIONES	Cristales visibles a simple vista, su tamaño de grano es grueso, mucho mayor que el de los minerales de las filitas			



Ficha de descripción de afloramientos				
AFLORAMIENTO N°	22	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	702310	9544617	2700	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	
	Bajo		Montañoso	X
UNIDAD/FORMACION N	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	6.50	Ancho (m):	9.50
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	275	BZ	70
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ígnea		Sedimentaria	
				Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto		Medio	X
COLORACION	Gris claro			
NOMBRE DE LA ROCA	Esquistos			
OBSERVACIONES	Exhibe un color plateado brillante, gris, marrón con excelente foliación.			



<u>Ficha de descripción de afloramientos</u>				
AFLORAMIENTO N°	23	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus	
DATUM			WGS84	
COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
	702494	9544635	2736	
DESCRIPCIÓN AFLORAMIENTO				
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X
RELIEVE	Llano		De Colinas	
	Bajo		Montañoso	X
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA			
DIMENSIONES	Alto (m):	5.90	Ancho (m):	8.50
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	161	BZ	50
DESCRIPCIÓN DE LA ROCA				
TIPO DE ROCA	Ignea		Sedimentaria	
				Metamórfica
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	
				Bajo
COLORACION	Gris a marrón			
NOMBRE DE LA ROCA	Filitas			
OBSERVACIONES	Tiene un estilo de capas, en ocasiones arrugadas, presenta reducida porosidad, lo que la hace impermeable.			

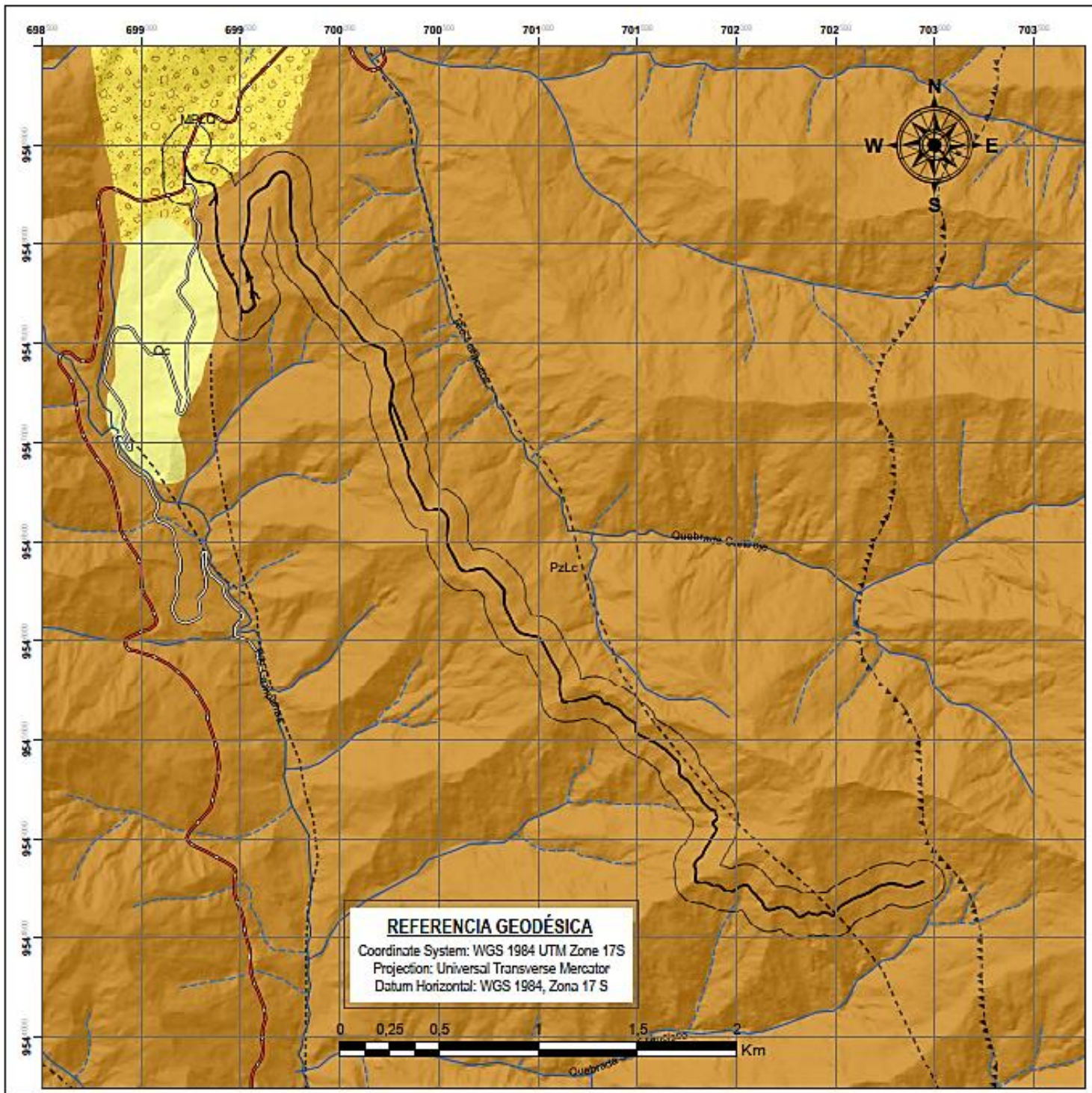


Ficha de descripción de afloramientos					
AFLORAMIENTO N°	24	UBICACION	Parque Nacional Podocarpus		
DATUM			WGS84		
COORDENADAS UTM	X	Y	Z		
	702626	9544719	2754		
DESCRIPCION AFLORAMIENTO					
TIPO DE AFLORAMIENTO	Natural		Artificial	X	
RELIEVE	Llano		De Colinas		
	Bajo		Montañoso	X	
UNIDAD/FORMACION	UNIDAD CHIGUINDA				
DIMENSIONES	Alto (m):	8.65	Ancho (m):	12.60	
MEDIDAS ESTRUCTURALES	DB	301	BZ	60	
DESCRIPCION DE LA ROCA					
TIPO DE ROCA	Ignea		Sedimentaria	Metamórfica	X
ESTADO DE ALTERACIÓN	Alto	X	Medio	Bajo	
COLORACION	Marrón a gris				
NOMBRE DE LA ROCA	Pizarras y filitas				
OBSERVACIONES	Material metamórfico con diversas características de alteración.				





Anexo 5. Mapa de Geología Regional de la zona de estudio



REFERENCIA GEODÉSICA
 Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Universal Transverse Mercator
 Datum Horizontal: WGS 1984, Zona 17 S



SIGNOS Y SÍMBOLOS CONVENCIONALES

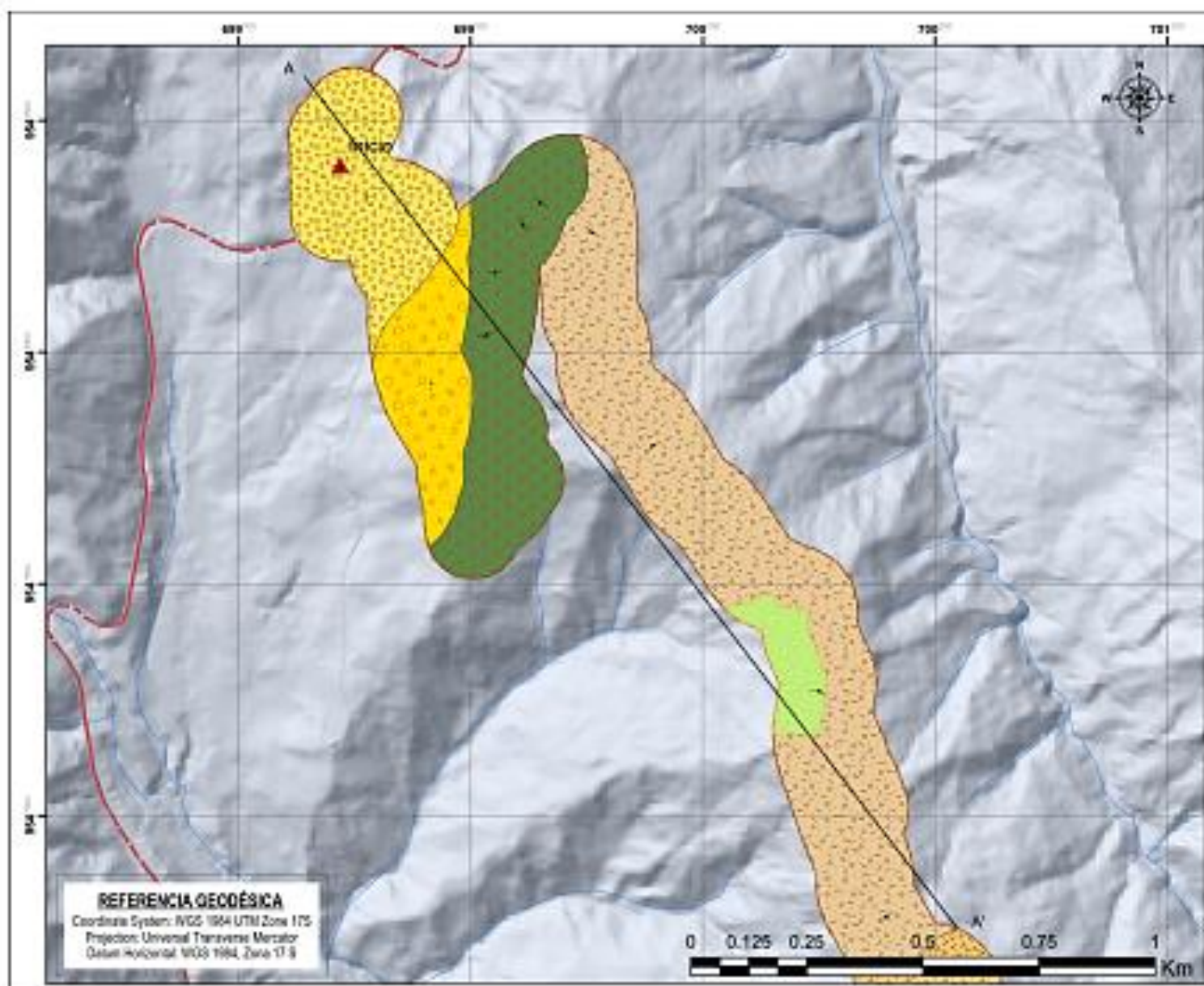
- << Red Hidrográfica >>**
- Quebrada Perenne
 - Quebrada Intermitente
- Orden**
- Río Doble
 - Río Simple
- << Red Vial >>**
- Carretera (superficie pavimentada angosta)
 - Vía (superficie ligera sin pavimentar angosta)
 - Sendero - Caminos de Herradura (superficie suelta temporal)
- << Símbolos Geológicos >>**
- Falla Inversa/ Cabalgamiento inferida
 - Falla Inferida
- LEYENDA**
- Unidad Chiguinda
 - Formación Quillolaco
 - Depósito Coluvial

MAPA DE REFERENCIA
 Hoja Geológica Gonzanmá Hoja 57, N VII - B
 Escala de referencia 1:100.000
 Segunda Edición
 Año 2017

<p>Universidad Nacional de Loja Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial</p>		
Título: Mapa de Geología Regional de la vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus Loja	Escala de Referencia: 1:100.000 Escala Gráfica: 1:20.000	
Autor: Michelle Anahí Jara Torres	N° de Plano Firma Electrónica: N° 2.1	
Director: Ing. Ángel Tamayo Mg.Sc.		



Anexo 6. Mapa de Geología Local de la zona de estudio



SIGNOS Y SIMBOLOS CONVENCIONALES

Red Hidrográfica

- Cauce Perenne
- Cauce Intermitente

Cursos

- Río Doble
- Río Simple

Red Vial

- Carretera (superficie pavimentada angosta)
- Via (superficie ligera sin pavimentar angosta)
- Sendero - Caminos de Herradura (superficie suelta temporal)

Simbolos Geológicos

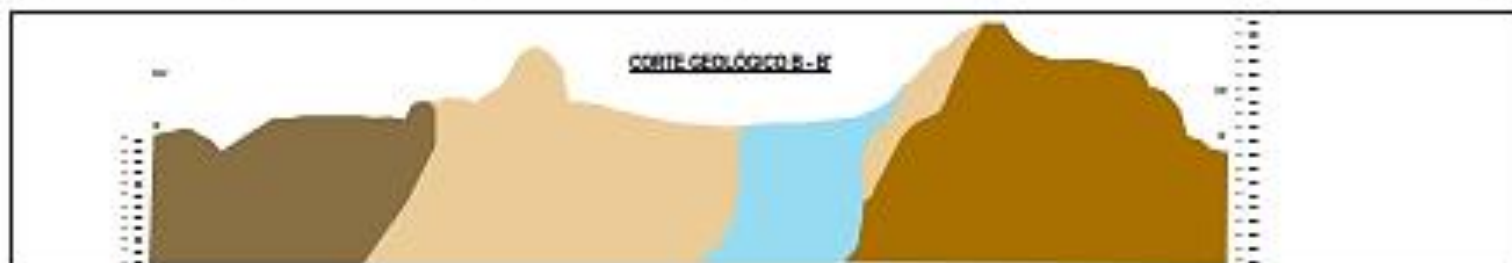
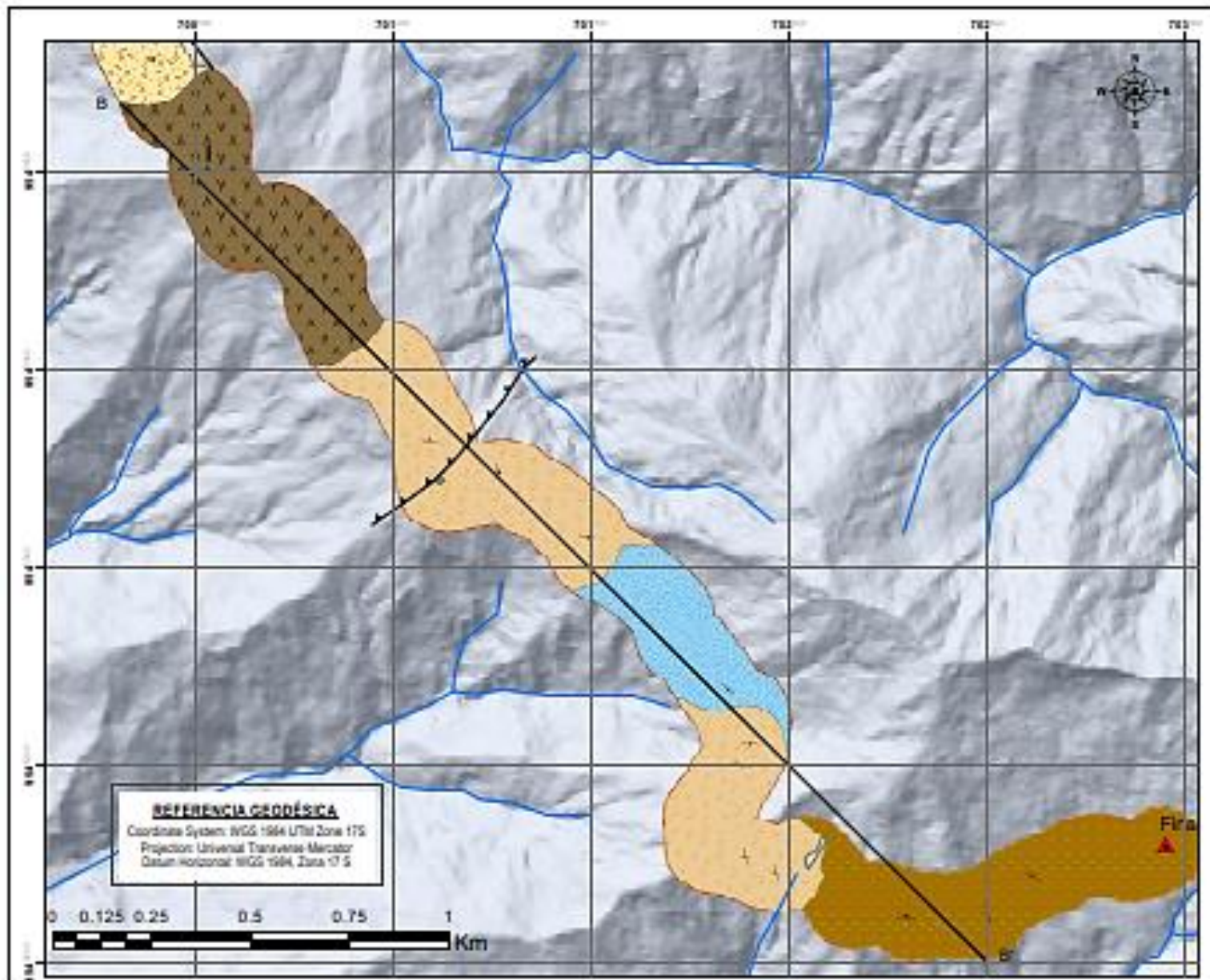
- Falla Inversa
- Ductina
- Estratificación
- Límite de Via

LEYENDA

- Conglomerados
- Conglomerados con pizarras fracturadas
- Pizarras alteradas y tectonizadas
- Filitas y pizarras alteradas y tectonizadas
- Material de relleno



 Universidad Nacional de Loja Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial			
Título: Mapa de Geología Local de la vía de acceso al Parque Nacional Polonarón Loja		Escala de Referencia: 1:100.000 Escala Gráfica: 1:10.000	
Autor: Gabriela Anahí Jara Torres		N° de Plano: N° 2.2 Forma Electrónica:	
Director: Ing. Ángel Toranzo Big Da			



 Universidad Nacional de Loja Facultad de Ingeniería, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial			
Título: Mapa de Geología Local de la vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus Loja		Escala de Referencia: 1:100.000 Escala Gráfica: 1:11.067	
Autor: Mabel Anahí Jara Torres		Nº de Plano: N° 2.3	
Director: Ing. Angel Toranzo Biga		Firma Geocrónica:	



Anexo 7. Ficha de descripción de las propiedades de los geo materiales de la zona de estudio

Tabla 1. Ficha de las Propiedades Físicas de los conglomerados


“Caracterización geológica – geotécnica de la vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el Refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de Loja.”								
FICHA DE ROCAS METAMORFICAS								
Responsable:	Michelle Jara	Tipo de Muestra:	Afloramiento	Código	001			
Información Coordenadas UTM	X: 700261							
	Y: 9547265							
	Z: 2523							
Descripción Petrográfica								
Imagen de la Muestra			Características de los componentes					
			Estructura:	Masiva				
			Color	Grisés y cafés				
			Textura	Fanerítica				
			Tamaño Granos	Fino				
			Forma Granos	Anhedrales				
			Contenido de Minerales					
			M. Principales					
			M. Secundarios					
			M. Accesorios					
			Mineralización			N/C		
Tipo de alteración			N/C					
Nombre de la Roca	Conglomerado		Grado Meteorización	Bajo				
Propiedades Físicas								
Peso Específico (ρ_r)			2.58					
Densidad (δ)			2.33					
Peso Específico Aparente (ρ_a)			2.34					
Gravedad Específica (G_s)			2.6					
Contenido de Agua (W)			2.34					
Porosidad (n)			9.46					
Porosidad eficaz (n_e)			3.98					
Coeficiente de absorción (Cabs)			2.34					

Tabla 2. Ficha de las Propiedades Físicas del Esquisto


“Caracterización geológica – geotécnica de la vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el Refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de Loja.”					
FICHA DE ROCAS METAMORFICAS					
Responsable:	Michelle Jara	Tipo de Muestra:	Afloramiento Código 002		
Información	X: 700261				
Coordenadas	Y: 9547265				
UTM	Z: 2523				
Descripción Petrográfica					
Imagen de la Muestra		Características de los componentes			
		Estructura:	Foliada		
		Color	Grises y cafés		
		Textura	Esquistosa		
		Tamaño Granos	Medio a Grueso		
		Forma Granos	Anhedrales		
		Contenido de Minerales			
		M. Principales	Micas		
M. Secundarios					
M. Accesorios	Clorita				
Mineralización	N/C				
Tipo de alteración	Cloritización				
Nombre de la Roca	Esquisto	Grado Meteorización	Medio		
Propiedades Físicas					
Peso Específico (ρ_r)		2.66			
Densidad (δ)		2.39			
Peso Específico Aparente (ρ_a)		2.4			
Gravedad Específica (G_s)		2.7			
Contenido de Agua (W)		4.1			
Porosidad (n)		16.25			
Porosidad eficaz (n_e)		9.26			
Coefficiente de absorción (C_{abs})		4.15			

Tabla 3. Ficha de las Propiedades Físicas de la Pizarra



<i>“Caracterización geológica – geotécnica de la vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el Refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de Loja.”</i>					
FICHA DE ROCAS METAMORFICAS					
Responsable:	Michelle Jara	Tipo de Muestra:	Afloramiento Código 003		
Información Coordenadas UTM	X: 701481				
	Y: 9545574				
	Z: 2637				
Descripción Petrográfica					
Imagen de la Muestra		Características de los componentes			
		Estructura:	Lepidoblástica.		
		Color	Gris verdosa		
		Textura	Pizarrosa		
		Tamaño Granos	< 0.5 mm		
		Forma Granos	Anhedrales		
		Contenido de Minerales			
		M. Principales	Moscovita-Sericita		
		M. Secundarios	Biotita		
		M. Accesorios	Clorita		
		Mineralización	N/C		
Tipo de alteración	Cloritización				
Nombre de la Roca	Pizarra	Grado Meteorización	Bajo		
Propiedades Físicas					
Peso Específico (ρ_r)		2.74			
Densidad (δ)		2.26			
Peso Específico Aparente (ρ_a)		2.26			
Gravedad Específica (G_s)		2.6			
Contenido de Agua (W)		2.4			
Porosidad (n)		17.55			
Porosidad eficaz (n_e)		5.43			
Coeficiente de absorción (Cabs)		2.4			

Tabla 4. Ficha de las Propiedades Físicas de la Filita

“Caracterización geológica – geotécnica de la vía de acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el Refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de Loja.”								
FICHA DE ROCAS METAMORFICAS								
Responsable:	Michelle Jara	Tipo de Muestra:	Afloramiento	Código	004			
Información Coordenadas UTM	X: 699543							
	Y: 9548168							
	Z: 2483							
Descripción Petrográfica								
Imagen de la Muestra			Características de los componentes					
			Estructura:	Laminar				
			Color	Gris Oscuro				
			Textura	Pizarrosa				
			Tamaño Granos	Fino a Medio				
			Forma Granos	Anhedrales				
			Contenido de Minerales			M. Principales	Micas	
			M. Secundarios	Albita				
			M. Accesorios	Clorita				
			Mineralización	N/C				
			Tipo de alteración	Seritizacion				
Nombre de la Roca	Filita		Grado Meteorización	Bajo				
Propiedades Físicas								
Peso Específico (ρ_r)			2.68					
Densidad (δ)			2.39					
Peso Específico Aparente (ρ_a)			2.4					
Gravedad Específica (G_s)			2.7					
Contenido de Agua (W)			1.49					
Porosidad (n)			10.53					
Porosidad eficaz (n_e)			3.58					
Coefficiente de absorción (Cabs)			1.49					



Anexo 8.

Resultados de

ensayos geotécnicos

de la zona de


estudio

Estudio: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
Localiz.: Cajanuma - Loja
Ubicación: Abs. 0+300

Calicata: C-01
Profundidad (m): 1.50 m
Fecha de ejecución: 07-jun-15

COORDENADAS

N: 9548198
E: 699378
Z: 2407


Prof. (m)	Cotas	N.F.	Perfil	Descripción	W(%)	Grava	Arena	Finos	LL	IP	ASSHT O	SUCS	FOTOGRAFÍA
0.1	2406.90			Material de mejoramiento									
0.2													
0.3													
0.4													
0.5	2406.50				11%	5	27	68	27	12	A-6	CL	
0.6													
0.7													
0.8				Arcilla inorgánica arenosa con algo de grava, plasticidad baja a media, poco húmeda, color café grisáceo.									
0.9													
1	2406.00				13%	7	30	63	26	11	A-6	CL	
1.1													
1.2													
1.3													
1.4													
1.5	2405.50				12%	12	21	67	31	13	A-6	CL	
1.6													
1.7													
1.8													
1.9													
2													

Observaciones: Las cotas son aproximadas.

Estudio: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
Localiz.: Cajanuma - Loja
Ubicación: Abs. 1+425

Calicata: C-02
Profundidad (m): 1.50 m
Fecha de ejecución: 07-jun-15

N: 9548178
COORDENADAS E: 699545
Z: 2484


Prof. (m)	Cotas	N.F.	Perfil	Descripción	W(%)	Grava	Arena	Finos	LL	IP	ASSHT O	SUCS	FOTOGRAFÍA
0.1	2483.90			Material de mejoramiento									
0.2													
0.3				Arena limosa con grava, no plástica, húmeda, color café.									
0.4													
0.5	2483.50				26%	25	46	29	NP	NP	A-2-4	SM	
0.6													
0.7													
0.8				Grava mal graduada con limo con arena, no plástica, húmeda, color café.									
0.9													
1	2483.00				23%	69	23	8	NP	NP	A-1-a	GP GM	
1.1													
1.2													
1.3				Arena limosa con grava, no plástica, húmeda, color café claro.									
1.4													
1.5	2482.50				23%	33	39	28	NP	NP	A-2-4	SM	
1.6													
1.7													
1.8													
1.9													
2													

Observaciones: Las cotas son aproximadas.

Estudio: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
Localiz.: Cajanuma - Loja
Ubicación: Abs. 2+335

Calicata: C-03
Profundidad (m): 1.50 m
Fecha de ejecución: 07-jun-15

COORDENADAS
N: 9547778
E: 699915
Z: 2515


Prof. (m)	Cotas	N.F.	Perfil	Descripción	W(%)	Grava	Arena	Finos	LL	IP	ASSHT O	SUCS	FOTOGRAFÍA
0.1	2514.90			Material de Mejoramiento									
0.2													
0.3				Grava limosa con arena, de plasticidad media, muy húmeda, color café grisáceo.	38%	52	35	13	40	11	A-2-6	GM	
0.4													
0.5	2514.50												
0.6													
0.7				Arena limosa con grava, de baja plasticidad, húmeda, color café grisáceo.	35%	22	52	26	NP	NP	A-2-4	SM	
0.8													
0.9													
1	2514.00												
1.1													
1.2													
1.3													
1.4													
1.5	2513.50												
1.6					30%	22	57	21	36	9	A-2-4	SM	
1.7													
1.8													
1.9													
2													

Observaciones: Las cotas son aproximadas.

Estudio: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
Localiz.: Cajanuma - Loja
Ubicación: Abs. 3+500

Calicata: C-04
Profundidad (m): 1.50 m
Fecha de ejecución: 07-jun-15

COORDENADAS N: 9546775
 E: 700375
 Z: 2543


Prof. (m)	Cotas	N.F.	Perfil	Descripción	W(%)	Grava	Arena	Finos	LL	IP	ASSHT O	SUCS	FOTOGRAFÍA
0.1	2542.90			Material de mejoramiento									
0.2													
0.3				Grava limosa con arena, de baja plasticidad, húmeda, color café grisácea.	26%	30	26	44	39	8	A-4	GM	
0.4													
0.5	2542.50												
0.6													
0.7				Arena limosa con grava, de baja plasticidad, húmeda, color grisácea.	20%	17	47	36	31	8	A-4	SM	
0.8													
0.9													
1	2542.00												
1.1				Arena arcillosa con grava, de baja plasticidad, húmeda, color café.	18%	29	44	27	33	10	A-2-4	SC	
1.2													
1.3													
1.4													
1.5	2541.50												
1.6													
1.7													
1.8													
1.9													
2													

Observaciones: Las cotas son aproximadas.

Estudio: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
Localiz.: Cajanuma - Loja
Ubicación: Abs. 4+530

Calicata: C-05
Profundidad (m): 1.50 m
Fecha de ejecución: 07-jun-15

N: 9546045
COORDENADAS E: 700901
Z: 2606


Prof. (m)	Cotas	N.F.	Perfil	Descripción	W(%)	Grava	Arena	Finos	LL	IP	ASSHT O	SUCS	FOTOGRAFÍA
0.1	2605.90			Material de mejoramiento									
0.2													
0.3				Grava limosa con arena, no plástica, húmeda, color café grisácea.	25%	38	37	25	NP	NP	A-1-b	GM	
0.4													
0.5	2605.50												
0.6				Grava arcillosa - limosa con arena, de baja plasticidad, húmeda, color café grisácea.	24%	48	26	26	25	6	A-2-4	GC-GM	
0.7													
0.8													
0.9				Grava mal graduada con limo con arena, no plástica, húmeda, color grisácea.	15%	75	17	8	NP	NP	A-1-a	GP GM	
1	2605.00												
1.1													
1.2													
1.3													
1.4													
1.5	2604.50												
1.6													
1.7													
1.8													
1.9													
2													

Observaciones: Las cotas son aproximadas.

Estudio: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
Localiz.: Cajanuma - Loja
Ubicación: Abs. 5+530

Calicata: C-06
Profundidad (m): 1.50 m
Fecha de ejecución: 07-jun-15

N: 9545491
COORDENADAS E: 701585
Z: 2647


Prof. (m)	Cotas	N.F.	Perfil	Descripción	W(%)	Grava	Arena	Finos	LL	IP	ASSHT O	SUCS	FOTOGRAFÍA
0.1	2646.90			Material de mejoramiento									
0.2													
0.3													
0.4													
0.5	2646.50				28%	48	30	22	59	20	A-2-7	GM	
0.6													
0.7													
0.8													
0.9				Grava limosa con arena, de alta a media plasticidad, húmeda, color grisácea.									
1	2646.00				27%	35	31	34	59	20	A-2-7	GM	
1.1													
1.2													
1.3													
1.4													
1.5	2645.50				23%	62	23	15	47	13	A-2-7	GM	
1.6													
1.7													
1.8													
1.9													
2													

Observaciones: Las cotas son aproximadas.

Estudio: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
Localiz.: Cajanuma - Loja
Ubicación: Abs. 6+370

Calicata: C-07
Profundidad (m): 1.50 m
Fecha de ejecución: 08-jun-15

N: 9544823
COORDENADAS E: 701799
Z: 2677

Prof. (m)	Cotas	N.F.	Perfil	Descripción	W(%)	Grava	Arena	Finos	LL	IP	ASSHT O	SUCS	FOTOGRAFÍA	
0.1	2676.90			Material de mejoramiento										
0.2														
0.3				Limo inorgánico arenoso con grava, de baja plasticidad, húmedo, color grisáceo.	17%	17	28	55	34	9	A-4	ML		
0.4														
0.5	2676.50													
0.6				Arena limosa con grava, no plástica, muy húmeda,color grisácea.	36%	35	36	29	NP	NP	A-2-4	SM		
0.7														
0.8														
0.9	2676.00													
1				Grava limosa con arena, no plástica, húmeda, color grisácea.	29%	49	31	20	NP	NP	A-1-b	GM		
1.1														
1.2														
1.3														
1.4	2675.50													
1.5														
1.6														
1.7														
1.8														
1.9														
2														

Observaciones: Las cotas son aproximadas.

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de Loja”



Estudio: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus

Calicata: C-08

N: 9544629

Localiz.: Cajanuma - Loja


Profundidad (m): 1.00 m

COORDENADAS E: 702363

Ubicación: Abs. 7+056

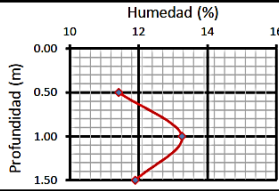
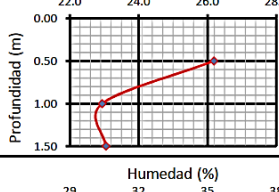
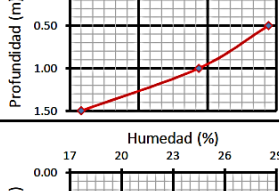
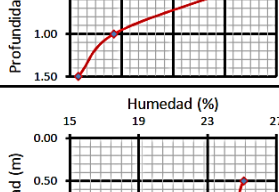
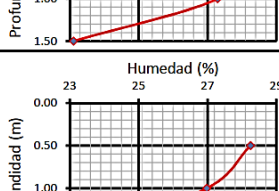
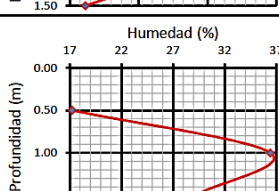
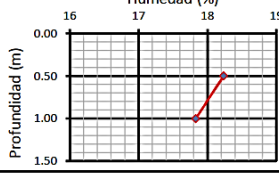

Fecha de ejecución: 08-jun-15

Z: 2725

Prof. (m)	Cotas	N.F.	Perfil	Descripción	W(%)	Grava	Arena	Finos	LL	IP	ASSHT O	SUCS	FOTOGRAFÍA	
0.1	2724.90			Material de mejoramineto										
0.2														
0.3				Grava arcillosa - limosa con arena, de baja plasticidad, húmeda, color grisácea.	18%	67	20	13	27	6	A-1-a	GC-GM		
0.4														
0.5	2724.50													
0.6														
0.7				Grava arcillosa con arena, de baja plasticidad, húmeda, color grisácea.	18%	64	13	23	28	8	A-2-4	GC		
0.8														
0.9														
1	2724.00													
1.1														
1.2														
1.3														
1.4														
1.5														
1.6														
1.7														
1.8														
1.9														
2														

Observaciones: Las cotas son aproximadas.

VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD - PROFUNDIDAD

Calicata	Abscisa	Prof. (m)	Fecha	Peso Cap. + suelo húmedo	Peso Cap. + suelo seco	Peso cápsula	w (%)	W Promedio (%)	Humedad - Profundidad
C-01	0+300	0.50		157.60	143.80	23.30	11.45	11.42	
				150.20	137.10	22.10	11.39		
C-01	0+300	1.00		149.90	134.70	21.30	13.40	13.26	
				151.80	136.80	22.40	13.11		
C-01	0+300	1.50		152.30	138.30	21.40	11.98	11.90	
				157.10	142.80	21.90	11.83		
C-02	1+425	0.50		132.50	110.00	22.70	25.77	26.18	
				132.90	109.50	21.50	26.59		
C-02	1+425	1.00		134.20	113.40	23.00	23.01	22.94	
				130.00	109.80	21.50	22.88		
C-02	1+425	1.50		132.30	111.60	21.60	23.00	23.05	
				134.70	113.50	21.70	23.09		
C-03	2+335	0.50		108.80	84.90	21.70	37.82	37.66	
				113.20	88.00	20.80	37.50		
C-03	2+335	1.00		134.00	105.30	22.50	34.66	34.62	
				125.00	98.10	20.30	34.58		
C-03	2+335	1.50		138.40	111.70	21.10	29.47	29.50	
				135.00	109.10	21.40	29.53		
C-04	3+500	0.50		137.40	113.30	22.20	26.45	26.16	
				134.20	110.80	20.30	25.86		
C-04	3+500	1.00		143.00	123.10	22.00	19.68	19.57	
				140.20	121.00	22.30	19.45		
C-04	3+500	1.50		154.40	134.80	22.60	17.47	17.50	
				154.90	135.00	21.50	17.53		
C-05	4+530	0.50		128.40	106.80	20.30	24.97	25.10	
				129.50	107.70	21.30	25.23		
C-05	4+530	1.00		136.70	114.60	20.80	23.56	23.59	
				134.10	112.60	21.60	23.63		
C-05	4+530	1.50		148.70	132.30	22.30	14.91	15.21	
				148.80	131.90	23.00	15.52		
C-06	5+530	0.50		128.10	104.60	22.60	28.66	28.25	
				129.40	105.90	21.50	27.84		
C-06	5+530	1.00		125.00	103.20	22.00	26.85	26.98	
				123.90	101.80	20.30	27.12		
C-06	5+530	1.50		131.90	111.10	21.50	23.21	23.45	
				140.70	118.00	22.20	23.70		
C-07	6+370	0.50		131.20	115.60	22.60	16.77	17.21	
				130.70	114.60	23.40	17.65		
C-07	6+370	1.00		126.30	98.40	21.50	36.28	36.42	
				154.50	118.90	21.50	36.55		
C-07	6+370	1.50		154.60	124.40	22.30	29.58	29.13	
				149.40	121.10	22.40	28.67		
C-08	7+056	0.50		145.70	126.70	21.10	17.99	18.23	
				138.40	120.20	21.70	18.48		
C-08	7+056	1.00		145.40	126.50	21.10	17.93	17.83	
				148.90	129.70	21.40	17.73		
ROCA									

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional
Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y
Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-01
UBICACIÓN: Abs. 0+300

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO ASSHTO T-180

1. DATOS DEL MOLDE

MOLDE N°	404	GOLPES/CAPA:	56
DIAMETRO:	15.25 cm.	No. DE CAPAS:	5
ALTURA:	11.66 cm.	PESO MARTILLO:	4.54 Kg.
VOLUMEN :	2,133 cm ³	ALT. DE CAIDA:	45.72 cm.
PESO:	6,536 gr		

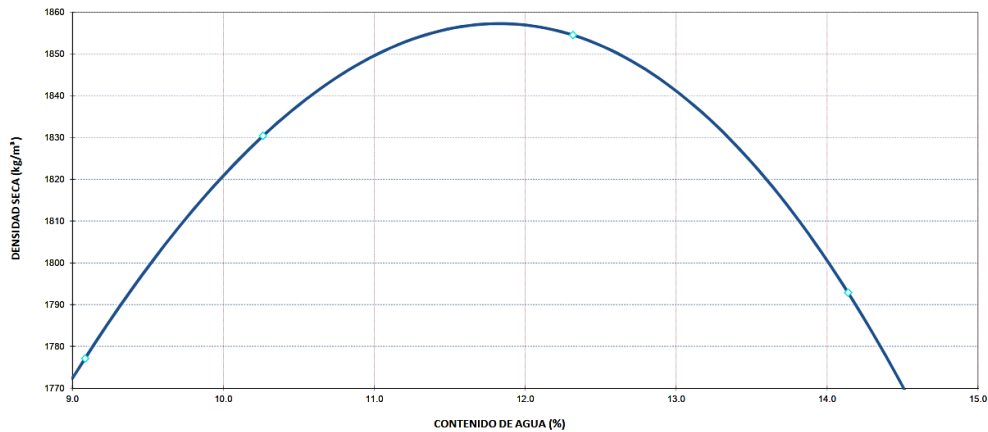
2. DATOS DE COMPACTACIÓN:

Ensayo:	1	2	3	4
Peso comp.:	10,670	10,840	10,978	10,900
Peso suelo:	4,134	4,304	4,442	4,364
Dens. Hum :	1,939	2,018	2,083	2,046

3. CONTENIDO DE HUMEDAD:

W. hum.:	243.70	230.00	251.40	218.00	240.60	226.60	213.30	201.00
W. seco:	226.10	213.50	230.90	200.90	217.90	205.30	190.50	180.40
W. caps:	32.60	31.60	34.60	31.30	34.10	31.90	31.40	32.70
w (%) :	9.10	9.07	10.44	10.08	12.35	12.28	14.33	13.95
Humedad:	9.08		10.26		12.32		14.14	
Dens. Seca:	1,777		1,830		1,855		1,793	

4. CURVA DE COMPACTACIÓN:



4. RESULTADOS:

DENSIDAD SECA MÁXIMA = 1,857 kg/m³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD = 11.83 %

Jorge Espejo Orellana
Responsable Laboratorio

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional
Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y
Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-01
UBICACIÓN: Abs. 0+300

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASSHTO T-193

Página 1 de 2

1. DATOS INICIALES

MOLDE N°		F		A		P	
DIÁMETRO DEL MOLDE	cm	15.45		15.4		15.21	
ALTURA DEL MOLDE	cm	17.82		17.83		17.89	
ALTURA DEL DISCO	cm	6.13		6.13		6.13	
ALTURA DE LA MUESTRA	cm	11.69		11.70		11.76	
N° DE GOLPES POR CAPA		61		25		12	
CONDICIÓN DE MUESTRA		ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	gr.	11530	11816	11440	11876	9984	10305
PESO DEL MOLDE + BASE	gr.	6968	6968	7010	7010	5790	5790
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	gr.	4562	4848	4430	4866	4194	4515
VOLUMEN DE MUESTRA	cm ³	2191.60	2191.60	2179.30	2179.30	2136.76	2136.76
DENSIDAD HÚMEDA	gr/cm ³	2.082	2.212	2.033	2.233	1.963	2.113

2. HUMEDAD

DATOS	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
RECIPiente N°	75	98	556	68	96	VIII	201	78-P	Z-5	III	86	202
PESO DEL RECIPiente.	gr.	31.70	31.60	31.20	32.50	30.50	31.40	32.60	31.50	33.60	34.70	34.00
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + REC.	gr.	244.70	217.20	197.70	211.30	228.10	262.00	228.50	228.00	215.40	202.40	234.10
PESO DE LA MUESTRA SECA + REC.	gr.	221.70	197.20	175.50	187.00	206.80	237.20	199.40	198.50	195.80	184.30	201.40
PESO DE AGUA.	gr.	23	20	22.2	24.3	21.3	24.8	29.1	29.5	19.6	18.1	32.7
PESO DE MUESTRA SECA.	gr.	190	165.6	144.3	154.50	176.3	205.8	166.8	167	162.2	149.6	167.7
CONTENIDO DE HUMEDAD.	gr.	12.11	12.08	15.38	15.73	12.08	12.05	17.45	17.66	12.08	12.10	19.27
HUMEDAD PROMEDIO.	%	12.09		15.56		12.07		17.56		12.09		19.32
DENSIDAD SECA.	gr/cm ³	1.857		1.914		1.814		1.899		1.751		1.771

3. PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA

MOLDE N°	F	A	P
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE DESPUÉS DE SATURACIÓN.	11816	11876	10305
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE ANTES DE SATURACIÓN.	11530	11440	9984
PESO DE AGUA ABSORBIDA	286	436	321
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA	6.27%	9.84%	7.65%

4. DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA Y HORA	TIEMPO EN DÍAS	F			A			P		
		LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %
17-jun	1	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
18-jun	2	124	4.60	2.69	184	4.61	3.99	126	4.63	2.72
19-jun	3	231	4.60	5.02	264	4.61	5.73	185	4.63	4.00
20-jun	4	232	4.60	5.04	265	4.61	5.75	186	4.63	4.02

5. DATOS ENSAYO DE PENETRACIÓN

PENETR. EN plg.	CARGAS TIPO lb/plg	F			A			P		
		LECTURA DIAL lb	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO
0		0	0		0	0		0	0	
0.025		31	10.26		22	7.28		9	2.98	
0.050		50	16.56		33	10.93		15	4.97	
0.075		65	21.52		39	12.91		20	6.62	
0.100	1000	76	25.17	2.52	44	14.57	1.46	26	8.61	0.86
0.150		91	30.13		52	17.22		38	12.58	
0.200	1500	108	35.76		59	19.54		48	15.89	
0.250		125	41.39		64	21.19		56	18.54	
0.300	1900	138	45.70		69	22.85		64	21.19	
0.400	2300	166	54.97		78	25.83		78	25.83	
0.500	2600	195	64.57		89	29.47		93	30.79	

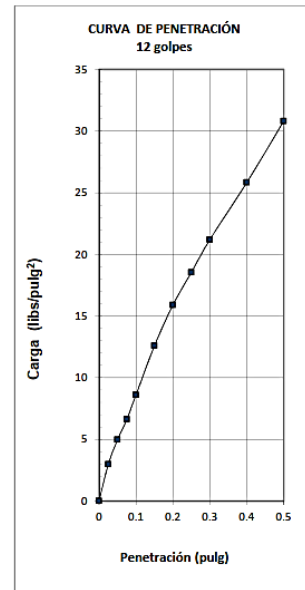
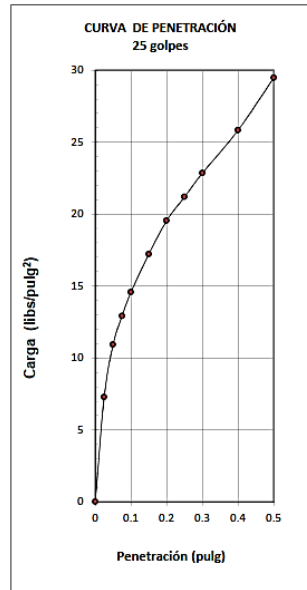
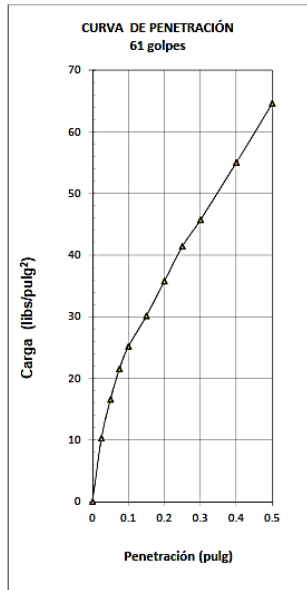
ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
 SONDEO: CP-01
 UBICACIÓN: Abs. 0+300

PROFUNDIDAD: 0.50 m
 SOLICITA: MTOP
 FECHA:

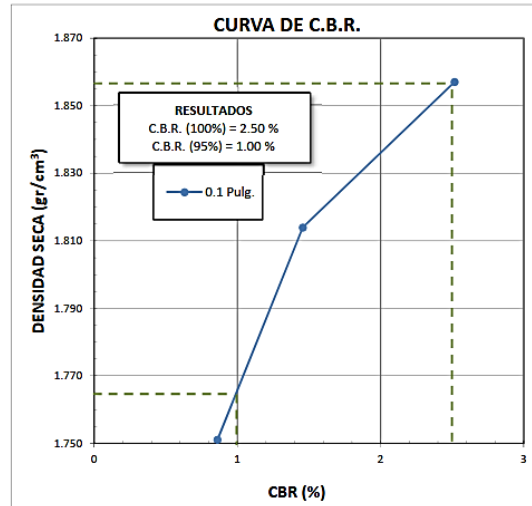
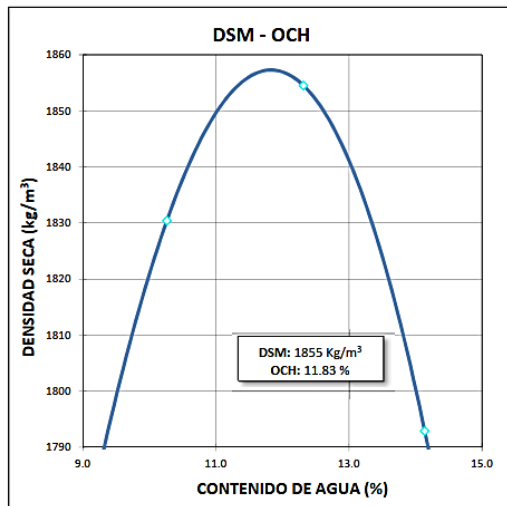
ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASSHTO T-193

Página 2 de 2

6. ESFUERZO - DEFORMACIÓN



7. CBR DE DISEÑO



Jorge Espejo Orellana
 Responsable Laboratorio



Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-02
UBICACIÓN: Abs. 1+425

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO ASSHTO T-180

1. DATOS DEL MOLDE

MOLDE N°	404		
DIAMETRO:	15.26 cm.	GOLPES/CAPA:	56
ALTURA:	11.66 cm.	No. DE CAPAS:	5
VOLUMEN :	2,133 cm ³	PESO MARTILLO:	4.54 Kg.
PESO:	6,536 gr	ALT. DE CAIDA:	45.72 cm.

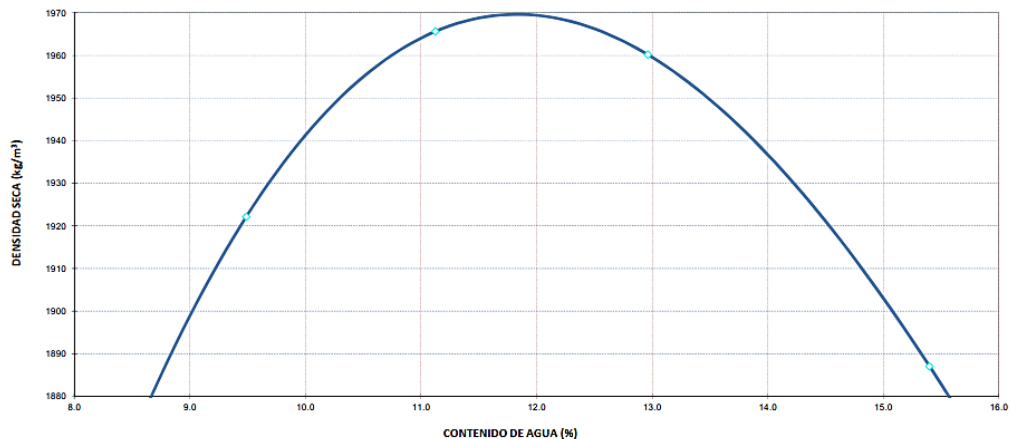
2. DATOS DE COMPACTACIÓN:

Ensayo:	1	2	3	4
Peso comp.:	11,024	11,194	11,258	11,180
Peso suelo:	4,488	4,658	4,722	4,644
Dens. Hum :	2,105	2,184	2,214	2,178

3. CONTENIDO DE HUMEDAD:

W. hum.:	273.50	302.60	300.50	292.80	286.30	287.70	218.50	205.80
W. seco:	254.40	281.50	276.50	268.60	260.70	260.50	194.40	182.30
W. caps:	56.00	55.80	54.40	57.10	57.00	56.90	32.90	34.30
w (%) :	9.63	9.35	10.81	11.44	12.57	13.36	14.92	15.88
Humedad:	9.49	11.12	12.96	15.40				
Dens. Seca:	1,922	1,966	1,960	1,887				

4. CURVA DE COMPACTACIÓN:



4. RESULTADOS:

DENSIDAD SECA MÁXIMA = **1,970 kg/m³**
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD = **11.83 %**

Jorge Espejo Orellana
Responsable Laboratorio

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional
Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y
Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-02
UBICACIÓN: Abs. 1+425

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASSHTO T-193

Página 1 de 2

1. DATOS INICIALES

MOLDE N°		K		I		H	
		ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.
DIÁMETRO DEL MOLDE	cm	15.28		15.27		15.3	
ALTURA DEL MOLDE	cm	17.76		17.76		17.77	
ALTURA DEL DISCO	cm	6.13		6.13		6.13	
ALTURA DE LA MUESTRA	cm	11.63		11.63		11.64	
N° DE GOLPES POR CAPA		61		25		12	
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	gr.	10612	10744	10390	10562	10296	10516
PESO DEL MOLDE + BASE	gr.	5910	5910	5900	5900	5978	5978
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	gr.	4702	4834	4490	4662	4318	4538
VOLUMEN DE MUESTRA	cm ³	2132.63	2132.63	2129.84	2129.84	2140.06	2140.06
DENSIDAD HÚMEDA	gr/cm ³	2.205	2.267	2.108	2.189	2.018	2.121

2. HUMEDAD

DATOS	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	
RECIPIENTE N°	HU	AE	75	69-P	XXX	AA	73-P	1	AD	AC	9	15	
PESO DEL RECIPIENTE.	gr.	57.30	57.00	31.70	33.00	55.90	55.70	31.40	31.40	57.00	57.00	31.60	31.40
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + REC.	gr.	278.80	294.10	203.70	204.00	295.20	295.40	211.50	213.30	269.70	272.40	215.10	208.10
PESO DE LA MUESTRA SECA + REC.	gr.	255.20	269.20	182.40	184.00	270.00	270.00	187.40	189.80	246.90	249.90	189.90	183.60
PESO DE AGUA.	gr.	23.6	24.9	21.3	20	25.2	25.4	24.1	23.5	22.8	22.5	25.2	24.5
PESO DE MUESTRA SECA.	gr.	197.9	212.2	150.7	151.00	214.1	214.3	156	158.4	189.9	192.9	158.3	152.2
CONTENIDO DE HUMEDAD.	gr.	11.93	11.73	14.13	13.25	11.77	11.85	15.45	14.84	12.01	11.66	15.92	16.10
HUMEDAD PROMEDIO.	%	11.83		13.69		11.81		15.14		11.84		16.01	
DENSIDAD SECA.	gr/cm ³		1.972		1.994		1.885		1.901		1.804		1.828

3. PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA

MOLDE N°	K	I	H
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE DESPUÉS DE SATURACIÓN.	10744	10562	10516
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE ANTES DE SATURACIÓN.	10612	10390	10296
PESO DE AGUA ABSORBIDA	132	172	220
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA	2.81%	3.83%	5.09%

4. DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA Y HORA	TIEMPO EN DÍAS	K			I			H		
		LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %
17-jun	1	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
18-jun	2	8	4.58	0.17	8	4.58	0.17	16	4.58	0.35
19-jun	3	8	4.58	0.17	8	4.58	0.17	17	4.58	0.37

5. DATOS ENSAYO DE PENETRACIÓN

PENETR. EN plg.	CARGAS EN lb/plg	K			I			H		
		LECTURA DIAL lb	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO
0		0	0		0	0		0	0	
0.025		9	2.98		11	3.64		12	3.97	
0.050		35	11.59		45	14.90		45	14.90	
0.075		113	37.42		127	42.05		87	28.81	
0.100	1000	249	82.45	17.20	216	71.52	10.90	128	42.38	5.20
0.150		511	169.21		362	119.87		199	65.89	
0.200	1500	719	238.08		479	158.61		255	84.44	
0.250		879	291.06		579	191.72		303	100.33	
0.300	1900	1015	336.09		661	218.87		345	114.24	
0.400	2300	1203	398.34		778	257.62		417	138.08	
0.500	2600	1309	433.44		851	281.79		479	158.61	

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de Loja”



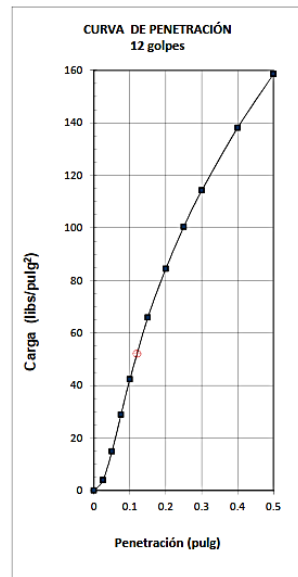
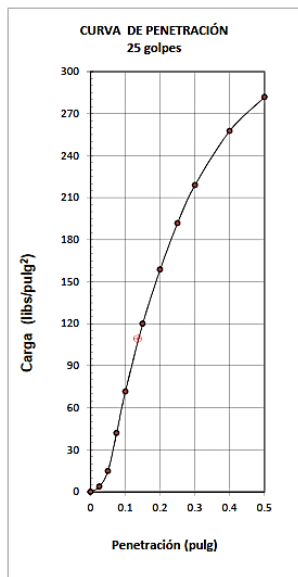
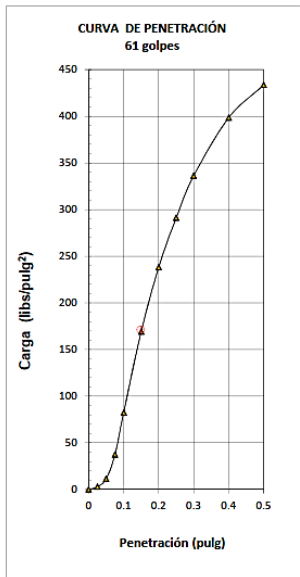
ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
 SONDEO: CP-02
 UBICACIÓN: Abs. 1+425

PROFUNDIDAD: 0.50 m
 SOLICITA: MTOP
 FECHA:

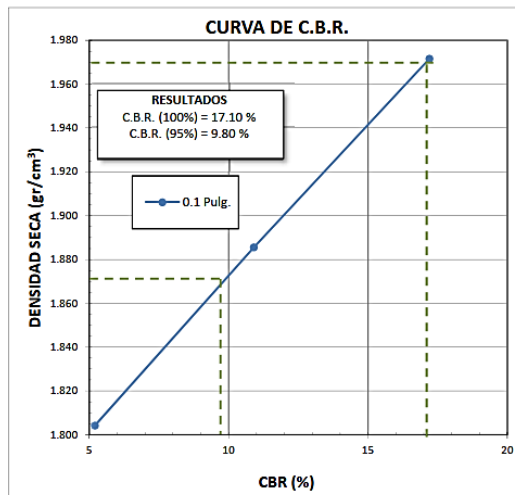
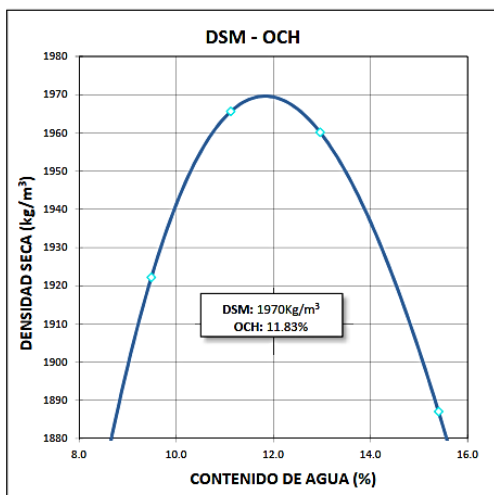
ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASSHTO T-193

Página 2 de 2

6. ESFUERZO - DEFORMACIÓN



7. CBR DE DISEÑO



Jorge Espejo Orellana
 Responsable Laboratorio

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-03
UBICACIÓN: Abs. 2+335

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO ASSHTO T-180

1. DATOS DEL MOLDE

MOLDE N°	404		
DIAMETRO:	15.26 cm.	GOLPES/CAPA:	56
ALTURA:	11.66 cm.	No. DE CAPAS:	5
VOLUMEN :	2,133 cm ³	PESO MARTILLO:	4.54 Kg.
PESO:	6,536 gr	ALT. DE CAIDA:	45.72 cm.

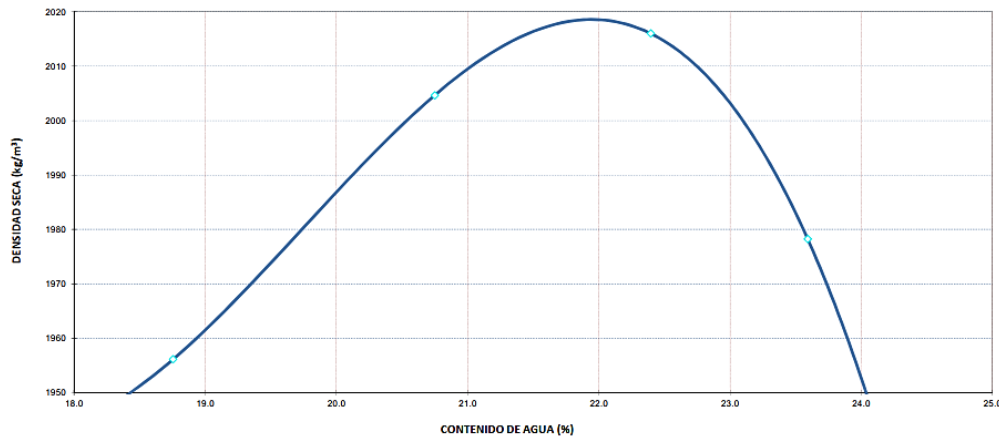
2. DATOS DE COMPACTACIÓN:

Ensayo:	1	2	3	4
Peso comp.:	11,490	11,698	11,798	11,750
Peso suelo:	4,954	5,162	5,262	5,214
Dens. Hum :	2,323	2,421	2,467	2,445

3. CONTENIDO DE HUMEDAD:

W. hum.:	245.20	234.30	233.90	220.40	208.70	209.80	208.10	215.00
W. seco:	209.70	200.10	196.40	186.60	173.80	175.30	172.30	177.30
W. caps:	18.90	19.20	20.10	19.50	19.60	19.60	19.10	19.00
w (%) :	18.61	18.91	21.27	20.23	22.63	22.16	23.37	23.82
Humedad:	18.76		20.75		22.40		23.59	
Dens. Seca:	1,956		2,005		2,016		1,978	

4. CURVA DE COMPACTACIÓN:



4. RESULTADOS:

DENSIDAD SECA MÁXIMA = 2,019 kg/m³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD = 21.95 %

Jorge Espejo Orellana
Responsable Laboratorio

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional
Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y
Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-03
UBICACIÓN: Abs. 2+335

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASSHTO T-193

Página 1 de 2

1. DATOS INICIALES

MOLDE N°		X		Y		U	
DIÁMETRO DEL MOLDE	cm	15.26		15.24		15.22	
ALTURA DEL MOLDE	cm	17.77		17.78		17.76	
ALTURA DEL DISCO	cm	6.13		6.13		6.13	
ALTURA DE LA MUESTRA	cm	11.64		11.65		11.63	
N° DE GOLPES POR CAPA		61		25		12	
CONDICIÓN DE MUESTRA		ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	gr.	12407	12483	12262	12395	12074	12253
PESO DEL MOLDE + BASE	gr.	7154	7154	7174	7174	7174	7174
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	gr.	5253	5329	5088	5221	4900	5079
VOLUMEN DE MUESTRA	cm ³	2128.88	2128.88	2125.13	2125.13	2115.92	2115.92
DENSIDAD HÚMEDA	gr/cm ³	2.467	2.503	2.394	2.457	2.316	2.400

2. HUMEDAD

DATOS	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
RECIPIENTE N°	86	30	73-P	99	73-P	78-P	59	92	203	JI	50	400
PESO DEL RECIPIENTE.	gr.	31.90	31.10	31.20	33.30	31.40	31.80	34.40	31.30	34.30	32.40	30.40
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + REC.	gr.	200.90	207.70	203.30	202.80	183.00	191.10	194.90	198.20	218.50	187.10	198.20
PESO DE LA MUESTRA SECA + REC.	gr.	170.60	176.00	171.90	172.40	155.80	162.50	164.30	166.60	185.50	159.30	165.00
PESO DE AGUA.	gr.	30.3	31.7	31.4	30.4	27.2	28.6	30.6	31.6	33	27.8	33.2
PESO DE MUESTRA SECA.	gr.	138.7	144.9	140.7	139.10	124.4	130.7	129.9	135.3	151.2	126.9	134.6
CONTENIDO DE HUMEDAD.	gr.	21.85	21.88	22.32	21.85	21.86	21.88	23.56	23.36	21.83	21.91	24.56
HUMEDAD PROMEDIO.	%	21.86		22.09		21.87		23.46		21.87		24.61
DENSIDAD SECA.	gr/cm ³	2.025		2.050		1.964		1.990		1.900		1.926

3. PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA

MOLDE N°	X	Y	U
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE DESPUÉS DE SATURACIÓN.	12483	12395	12253
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE ANTES DE SATURACIÓN.	12407	12262	12074
PESO DE AGUA ABSORBIDA	76	133	179
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA	1.45%	2.61%	3.65%

4. DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA Y HORA	TIEMPO EN DÍAS	X			Y			U		
		LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %
24-jun	1	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
25-jun	2	0	4.58	0.00	5	4.59	0.11	2	4.58	0.04
26-jun	3	1	4.58	0.02	5	4.59	0.11	2	4.58	0.04

5. DATOS ENSAYO DE PENETRACIÓN

PENETR. EN plg.	CARGAS TIPO lb/plg	X			Y			U		
		LECTURA DIAL lb	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO
0		0	0		0	0		0	0	
0.025		22	7.37		24	7.95		27	8.86	
0.050		71	23.43		89	29.55		82	27.07	
0.075		173	57.37		201	66.47		150	49.50	
0.100	1000	314	103.89	16.20	323	106.87	14.20	208	68.87	7.60
0.150		518	171.52		504	166.89		281	93.13	
0.200	1500	678	224.42		667	220.78		353	116.80	
0.250		809	267.80		794	263.00		406	134.44	
0.300	1900	941	311.59		894	295.86		455	150.50	
0.400	2300	1172	388.08		1063	351.90		543	179.64	
0.500	2600	1391	460.51		1212	401.16		627	207.70	

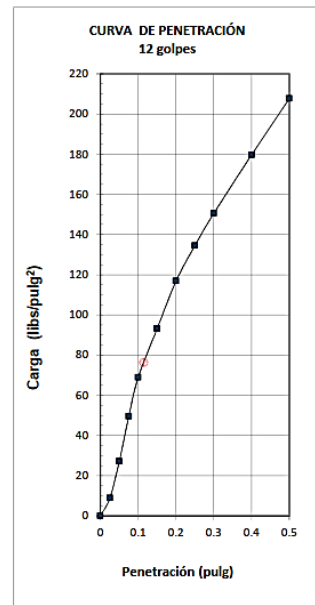
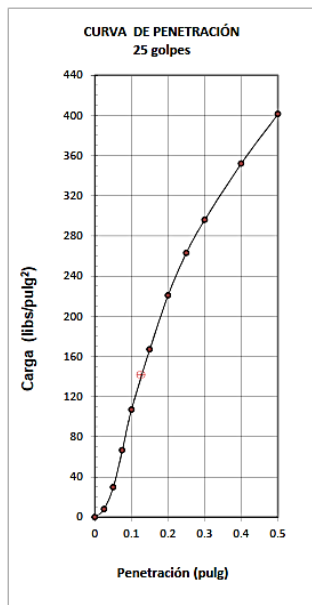
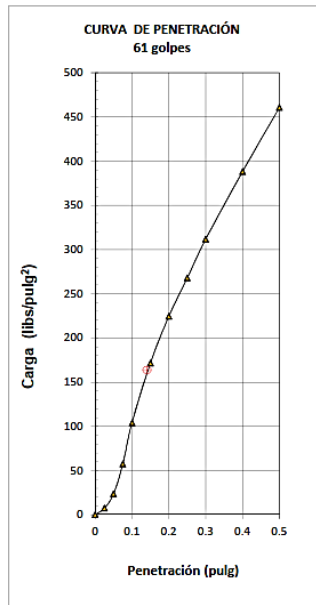
ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
 SONDEO: CP-03
 UBICACIÓN: Abs. 2+335

PROFUNDIDAD: 0.50 m
 SOLICITA: MTOP
 FECHA:

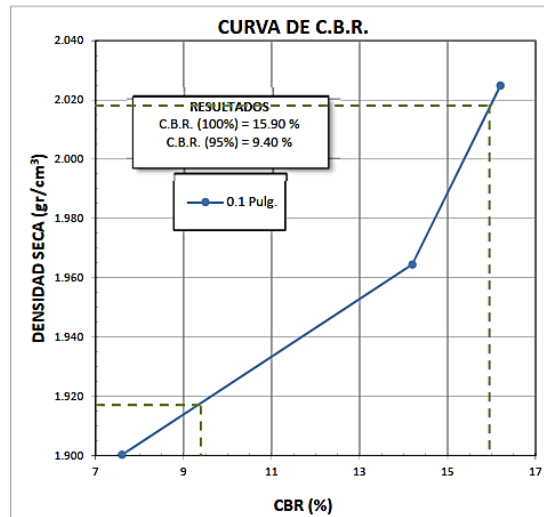
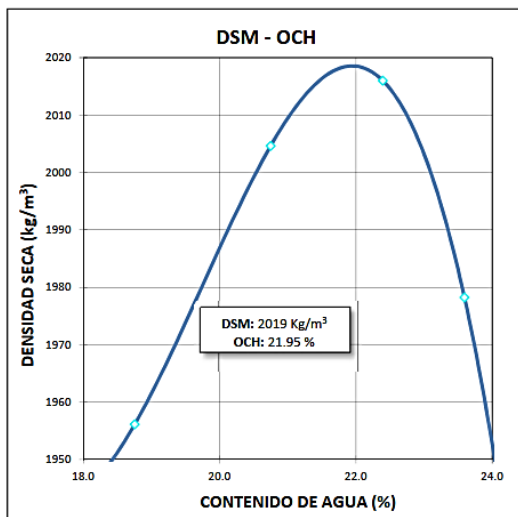
ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASSHTO T-193

Página 2 de 2

6. ESFUERZO - DEFORMACIÓN



7. CBR DE DISEÑO



Jorge Espejo Orellana
 Responsable Laboratorio

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-04
UBICACIÓN: Abs. 3+500

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO ASSHTO T-180

1. DATOS DEL MOLDE

MOLDE N°	B	GOLPES/CAPA:	56
DIAMETRO:	15.20 cm.	No. DE CAPAS:	5
ALTURA:	11.66 cm.	PESO MARTILLO:	4.54 Kg.
VOLUMEN :	2,116 cm ³	ALT. DE CAIDA:	45.72 cm.
PESO:	6,568 gr		

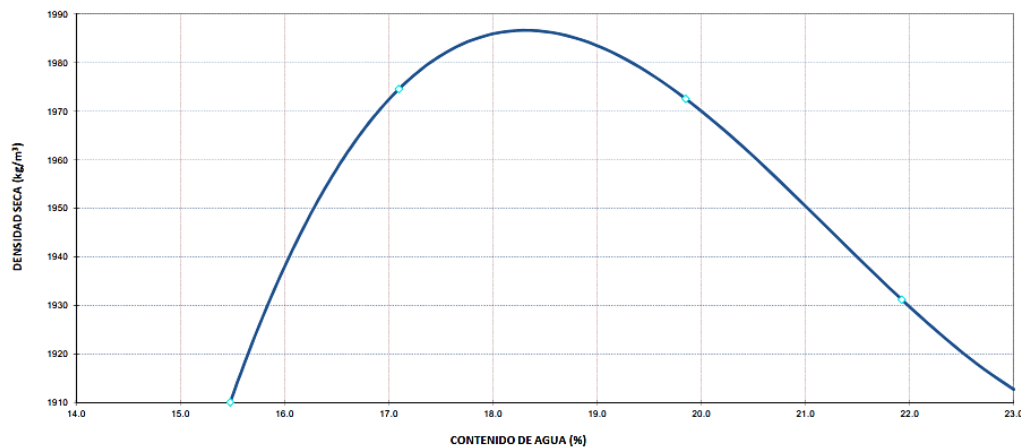
2. DATOS DE COMPACTACIÓN:

Ensayo:	1	2	3	4
Peso comp.:	11,235	11,460	11,570	11,550
Peso suelo:	4,667	4,892	5,002	4,982
Dens. Hum :	2,206	2,312	2,364	2,355

3. CONTENIDO DE HUMEDAD:

W. hum.:	157.10	162.60	191.40	184.00	167.80	159.80	164.60	180.60
W. seco:	140.30	145.10	168.60	161.70	145.70	139.10	140.90	153.80
W. caps:	31.80	32.00	34.60	31.90	34.60	34.60	32.70	31.70
w (%) :	15.48	15.47	17.01	17.18	19.89	19.81	21.90	21.95
Humedad:	15.48		17.10		19.85		21.93	
Dens. Seca:	1,910		1,975		1,973		1,931	

4. CURVA DE COMPACTACIÓN:



4. RESULTADOS:

DENSIDAD SECA MÁXIMA = 1,987 kg/m³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD = 18.31 %

Jorge Espejo Orellana
Responsable Laboratorio

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional
Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y
Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-04
UBICACIÓN: Abs. 3+500

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASHTO T-193

Página 1 de 2

1. DATOS INICIALES

MOLDE N°		C		B		G	
DIÁMETRO DEL MOLDE	cm	15.34		15.42		15.2	
ALTURA DEL MOLDE	cm	17.8		17.83		17.77	
ALTURA DEL DISCO	cm	6.13		6.13		6.13	
ALTURA DE LA MUESTRA	cm	11.67		11.70		11.64	
N° DE GOLPES POR CAPA		61		25		12	
CONDICIÓN DE MUESTRA		ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	gr.	12222	12350	12006	12248	10458	10718
PESO DEL MOLDE + BASE	gr.	7134	7134	7062	7062	5768	5768
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	gr.	5088	5216	4944	5186	4690	4950
VOLUMEN DE MUESTRA	cm ³	2156.81	2156.81	2184.97	2184.97	2112.18	2112.18
DENSIDAD HÚMEDA	gr/cm ³	2.359	2.418	2.263	2.373	2.220	2.344

2. HUMEDAD

DATOS	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
RECIPIENTE N°	99	203	13	78	95	69-P	71	2	66	Z-4	77	11
PESO DEL RECIPIENTE.	33.30	34.50	19.00	19.20	32.50	33.00	19.10	19.60	32.90	32.70	19.60	19.60
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + REC.	208.90	218.70	228.30	241.10	216.70	225.40	208.30	205.00	229.70	204.80	234.80	227.90
PESO DE LA MUESTRA SECA + REC.	181.20	190.40	193.10	203.90	188.10	195.80	171.90	170.50	199.10	178.40	191.30	187.10
PESO DE AGUA.	27.7	28.3	35.2	37.2	28.6	29.6	36.4	34.5	30.6	26.4	43.5	40.8
PESO DE MUESTRA SECA.	147.9	155.9	174.1	184.70	155.6	162.8	152.8	150.9	166.2	145.7	171.7	167.5
CONTENIDO DE HUMEDAD.	18.73	18.15	20.22	20.14	18.38	18.18	23.82	22.86	18.41	18.12	25.33	24.36
HUMEDAD PROMEDIO.	18.44		20.18		18.28		23.34		18.27		24.85	
DENSIDAD SECA.	1.992		2.012		1.913		1.924		1.878		1.877	

3. PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA

MOLDE N°	C	B	G
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE DESPUÉS DE SATURACIÓN.	12350	12248	10718
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE ANTES DE SATURACIÓN.	12222	12006	10458
PESO DE AGUA ABSORBIDA	128	242	260
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA	2.52%	4.89%	5.54%

4. DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA Y HORA	TIEMPO EN DÍAS	C			B			G		
		LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %
17-jun	1	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
18-jun	2	32	4.59	0.70	34	4.61	0.74	31	4.58	0.68
19-jun	3	32	4.59	0.70	35	4.61	0.76	31	4.58	0.68

5. DATOS ENSAYO DE PENETRACIÓN

PENETR. EN plg.	CARGAS TIPO lb/plg	C			B			G		
		LECTURA DIAL lb	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO
0		0	0		0	0		0	0	
0.025		49	16.23		106	35.10		11	3.64	
0.050		134	44.37		182	60.26		37	12.25	
0.075		267	88.41		279	92.38		84	27.81	
0.100	1000	412	136.42	17.00	356	117.88	11.79	144	47.68	7.30
0.150		613	202.98		469	155.30		241	79.80	
0.200	1500	790	261.59		539	178.48		319	105.63	
0.250		914	302.65		589	195.03		382	126.49	
0.300	1900	1009	334.11		632	209.27		423	140.07	
0.400	2300	1136	376.16		711	235.43		500	165.56	
0.500	2600	1241	410.93		800	264.90		566	187.42	

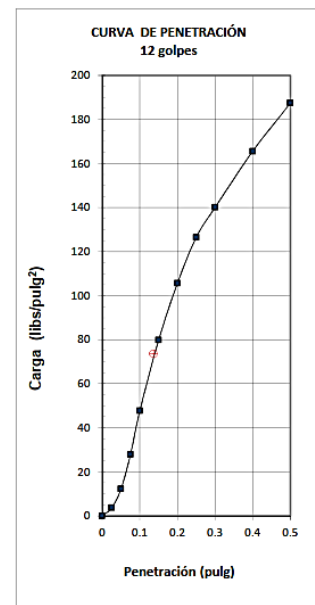
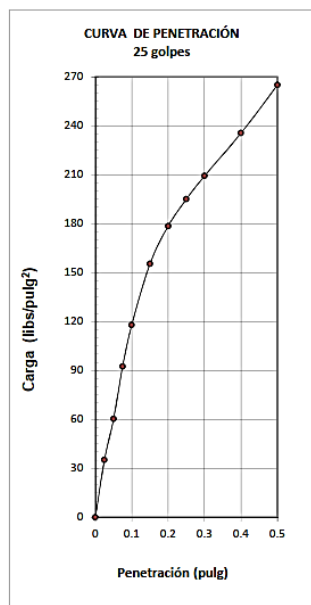
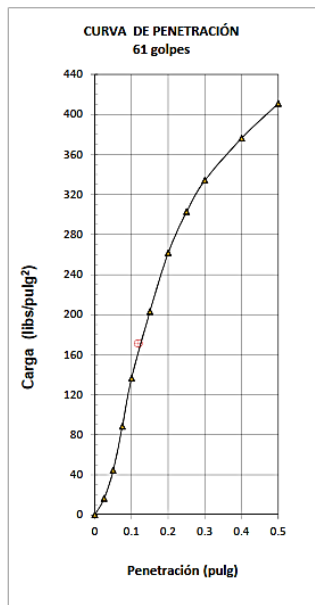
ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-04
UBICACIÓN: Abs. 3+500

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

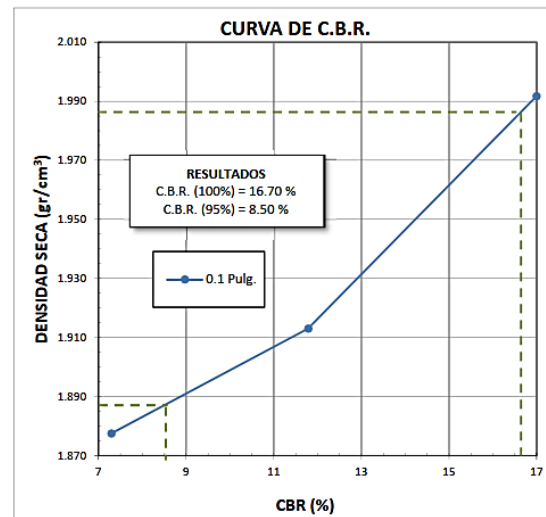
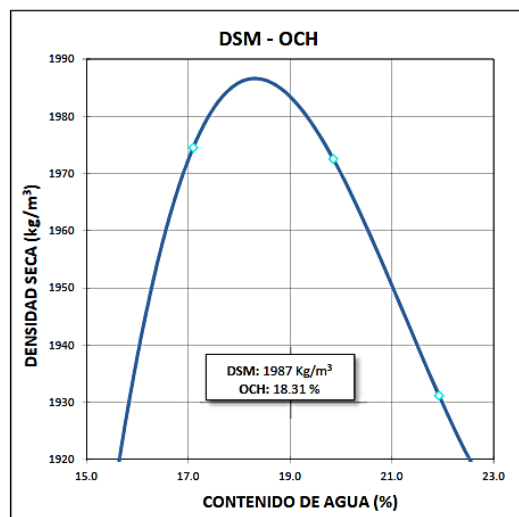
ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASSHTO T-193

Página 2 de 2

6. ESFUERZO - DEFORMACIÓN



7. CBR DE DISEÑO



Jorge Espejo Orellana
Responsable Laboratorio

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-05
UBICACIÓN: Abs. 4+530

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO ASSHTO T-180

1. DATOS DEL MOLDE

MOLDE N°	B		
DIAMETRO:	15.20 cm.	GOLPES/CAPA:	56
ALTURA:	11.66 cm.	No. DE CAPAS:	5
VOLUMEN :	2,116 cm ³	PESO MARTILLO:	4.54 Kg.
PESO:	6,568 gr	ALT. DE CAIDA:	45.72 cm.

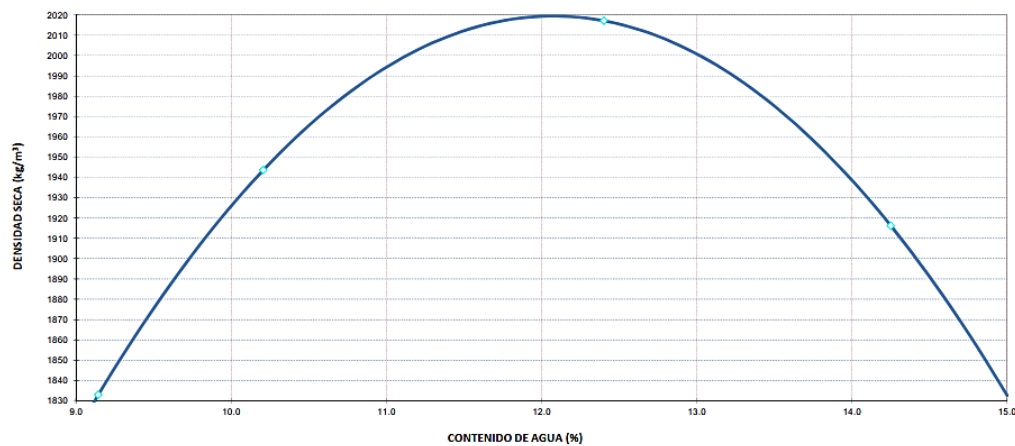
2. DATOS DE COMPACTACIÓN:

Ensayo:	1	2	3	4
Peso comp.:	10,801	11,100	11,365	11,200
Peso suelo:	4,233	4,532	4,797	4,632
Dens. Hum :	2,001	2,142	2,267	2,189

3. CONTENIDO DE HUMEDAD:

W. hum.:	209.10	198.50	208.00	207.90	231.60	238.60	256.30	253.90
W. seco:	193.40	183.30	190.50	190.40	208.30	214.40	226.80	224.60
W. caps:	19.00	19.60	18.90	19.10	20.10	19.60	19.60	19.20
w (%) :	9.00	9.29	10.20	10.22	12.38	12.42	14.24	14.26
Humedad:	9.14		10.21		12.40		14.25	
Dens. Seca:	1,833		1,944		2,017		1,916	

4. CURVA DE COMPACTACIÓN:



4. RESULTADOS:

DENSIDAD SECA MÁXIMA = **2,019 kg/m³**
 ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD = **12.08 %**

Jorge Espejo Orellana
Responsable Laboratorio

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-05
UBICACIÓN: Abs. 4+530

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASSHTO T-193

Página 1 de 2

1. DATOS INICIALES

MOLDE N°		X		U		Y	
DIÁMETRO DEL MOLDE	cm	15.26		15.22		15.24	
ALTURA DEL MOLDE	cm	17.77		17.76		17.78	
ALTURA DEL DISCO	cm	6.13		6.13		6.13	
ALTURA DE LA MUESTRA	cm	11.64		11.63		11.65	
N° DE GOLPES POR CAPA		61		25		12	
CONDICIÓN DE MUESTRA		ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	gr.	11983	12042	11842	11942	11718	11903
PESO DEL MOLDE + BASE	gr.	7154	7154	7174	7174	7200	7200
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	gr.	4829	4888	4668	4768	4518	4703
VOLUMEN DE MUESTRA	cm ³	2128.88	2128.88	2115.92	2115.92	2125.13	2125.13
DENSIDAD HÚMEDA	gr/cm ³	2.268	2.296	2.206	2.253	2.126	2.213

2. HUMEDAD

DATOS	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	
RECIPIENTE N°	92	201	2	77	Z-3	86	11	71	202	J1	78	13	
PESO DEL RECIPIENTE.	gr.	31.30	32.80	19.60	19.50	32.80	31.90	19.50	19.00	34.20	32.40	19.10	18.90
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + REC.	gr.	223.30	210.20	207.20	222.40	218.90	210.50	195.40	228.90	224.60	225.00	249.60	253.40
PESO DE LA MUESTRA SECA + REC.	gr.	202.00	190.70	184.00	198.00	198.40	190.70	173.30	204.00	203.40	203.90	218.20	221.40
PESO DE AGUA.	gr.	21.3	19.5	23.2	24.4	20.5	19.8	22.1	24.9	21.2	21.1	31.4	32
PESO DE MUESTRA SECA.	gr.	170.7	157.9	164.4	178.50	165.6	158.8	153.8	185	169.2	171.5	199.1	202.5
CONTENIDO DE HUMEDAD.	gr.	12.48	12.35	14.11	13.67	12.38	12.47	14.37	13.46	12.53	12.30	15.77	15.80
HUMEDAD PROMEDIO.	%	12.41	12.41	13.89		12.42		13.91		12.42		15.79	
DENSIDAD SECA.	gr/cm ³		2.018		2.016	1.962		1.978		1.891		1.911	

3. PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA

MOLDE N°		X		U		Y	
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE DESPUÉS DE SATURACIÓN.		12042		11942		11903	
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE ANTES DE SATURACIÓN.		11983		11842		11718	
PESO DE AGUA ABSORBIDA		59		100		185	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA		1.22%		2.14%		4.09%	

4. DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA Y HORA	TIEMPO EN DÍAS	X			U			Y		
		LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %
19-jun	1	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
20-jun	2	3	4.58	0.07	6	4.58	0.13	7	4.59	0.15
21-jun	3	3	4.58	0.07	6	4.58	0.13	7	4.59	0.15

5. DATOS ENSAYO DE PENETRACIÓN

PENETR. EN plg.	CARGAS lb/plg	X			U			Y		
		LECTURA DIAL lb	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO
0		0	0		0	0		0	0	
0.025		18	5.96		21	6.95		11	3.64	
0.050		59	19.54		60	19.87		44	14.57	
0.075		142	47.02		146	48.34		102	33.77	
0.100	1000	282	93.38	19.00	282	93.38	16.90	172	56.95	9.00
0.150		573	189.74		528	174.83		310	102.65	
0.200	1500	826	273.51		741	245.36		425	140.73	
0.250		1062	351.66		924	305.96		531	175.83	
0.300	1900	1272	421.19		1094	362.25		620	205.30	
0.400	2300	1635	541.39		1457	482.45		785	259.93	
0.500	2600	1976	654.30		1808	598.68		933	308.94	

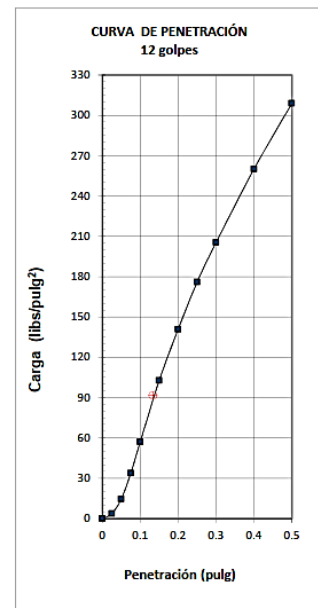
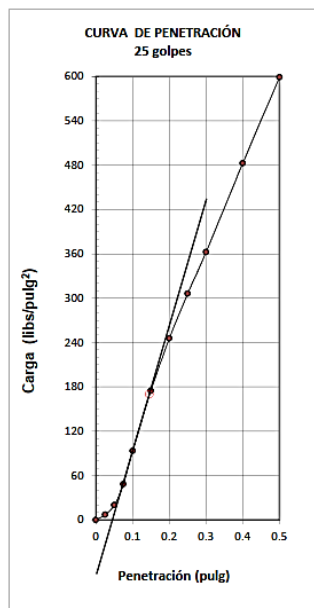
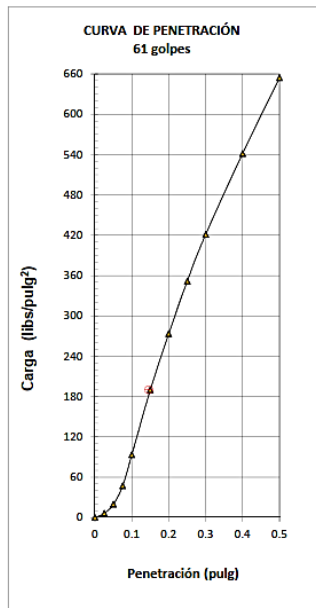
ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
 SONDEO: CP-05
 UBICACIÓN: Abs. 4+530

PROFUNDIDAD: 0.50 m
 SOLICITA: MTOP
 FECHA:

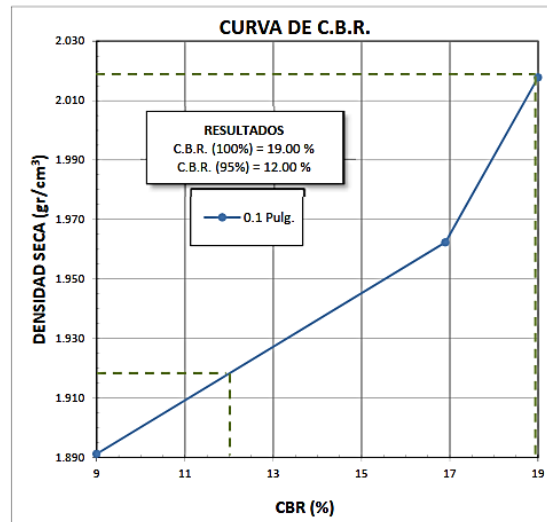
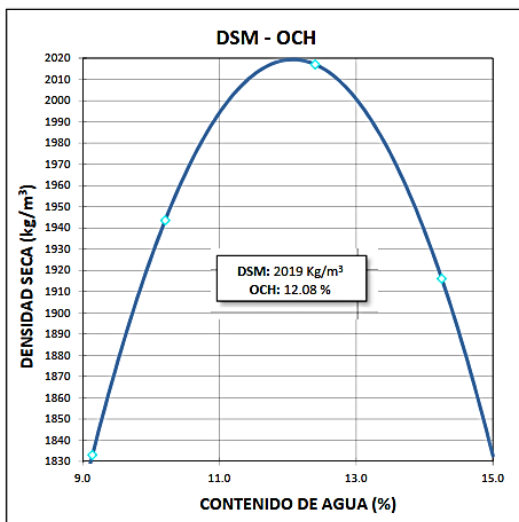
ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASSHTO T-193

Página 2 de 2

6. ESFUERZO - DEFORMACIÓN



7. CBR DE DISEÑO



Jorge Espejo Orellana
 Responsable Laboratorio

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-06
UBICACIÓN: Abs. 4+530

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO ASSHTO T-180

1. DATOS DEL MOLDE

MOLDE N°	404	GOLPES/CAPA:	56
DIAMETRO:	15.26 cm.	No. DE CAPAS:	5
ALTURA:	11.66 cm.	PESO MARTILLO:	4.54 Kg.
VOLUMEN :	2,133 cm ³	ALT. DE CAIDA:	45.72 cm.
PESO:	6,536 gr		

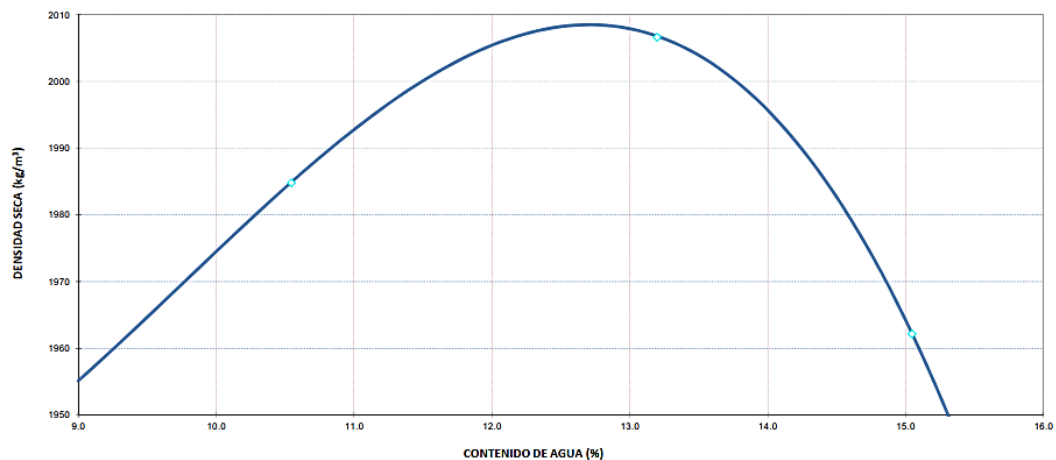
2. DATOS DE COMPACTACIÓN:

Ensayo:	1	2	3	4
Peso comp.:	11,080	11,215	11,380	11,350
Peso suelo:	4,544	4,679	4,844	4,814
Dens. Hum :	2,131	2,194	2,271	2,257

3. CONTENIDO DE HUMEDAD:

W. hum.:	282.40	283.70	267.50	265.40	301.70	303.40	264.50	280.80
W. seco:	263.80	264.90	247.40	245.30	273.50	274.40	237.10	251.40
W. caps:	57.10	55.80	57.10	54.40	57.10	57.40	55.00	56.00
w (%) :	9.00	8.99	10.56	10.53	13.03	13.36	15.05	15.05
Humedad:	8.99		10.55		13.20		15.05	
Dens. Seca :	1,955		1,985		2,007		1,962	

4. CURVA DE COMPACTACIÓN:



4. RESULTADOS:

DENSIDAD SECA MÁXIMA = 2,008 kg/m³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD = 12.71 %

Jorge Espejo Orellana
Responsable Laboratorio



Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional
Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y
Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-06
UBICACIÓN: Abs. 4+530

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASSHTO T-193

Página 1 de 2

1. DATOS INICIALES

MOLDE N°		G		D		C	
DIÁMETRO DEL MOLDE	cm	15.2		15.27		15.34	
ALTURA DEL MOLDE	cm	17.77		17.78		17.8	
ALTURA DEL DISCO	cm	6.13		6.13		6.13	
ALTURA DE LA MUESTRA	cm	11.64		11.65		11.67	
N° DE GOLPES POR CAPA		61		25		12	
CONDICIÓN DE MUESTRA		ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	gr.	10556	10906	10800	11239	11728	12368
PESO DEL MOLDE + BASE	gr.	5771	5771	6116	6116	7140	7140
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	gr.	4785	5135	4684	5123	4588	5228
VOLUMEN DE MUESTRA	cm ³	2112.18	2112.18	2133.51	2133.51	2156.81	2156.81
DENSIDAD HÚMEDA	gr/cm ³	2.265	2.431	2.195	2.401	2.127	2.424

2. HUMEDAD

DATOS	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	
RECIPIENTE N°	89	Z4	AD	AA	84	203	AE	JH	30	JI	AB	WG	
PESO DEL RECIPIENTE.	gr.	33.20	33.90	57.00	55.60	31.70	34.30	57.00	54.30	31.10	32.30	56.80	54.80
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + REC.	gr.	210.30	210.40	254.00	249.90	211.80	191.90	272.00	247.50	191.00	204.70	242.90	226.70
PESO DE LA MUESTRA SECA + REC.	gr.	190.30	190.50	221.10	217.20	191.50	174.10	233.80	212.20	175.50	182.60	204.40	192.10
PESO DE AGUA.	gr.	20	19.9	32.9	32.7	20.3	17.8	38.2	35.3	15.5	22.1	38.5	34.6
PESO DE MUESTRA SECA.	gr.	157.1	156.6	164.1	161.60	159.8	139.8	176.8	157.9	144.4	150.3	147.6	137.3
CONTENIDO DE HUMEDAD.	gr.	12.73	12.71	20.05	20.24	12.70	12.73	21.61	22.36	10.73	14.70	26.08	25.20
HUMEDAD PROMEDIO.	%	12.72		20.14		12.72		21.98		12.72		25.64	
DENSIDAD SECA.	gr/cm ³	2.010		2.024		1.948		1.969		1.887		1.929	

3. PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA

MOLDE N°		G	D	C
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE DESPUÉS DE SATURACIÓN.		10906	11239	12368
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE ANTES DE SATURACIÓN.		10556	10800	11728
PESO DE AGUA ABSORBIDA		350	439	640
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA		7.31%	9.37%	13.95%

4. DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA Y HORA	TIEMPO EN DÍAS	G			D			C		
		LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %
23-jun	1	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
24-jun	2	29	4.58	0.63	38	4.59	0.83	30	4.59	0.65
25-jun	3	30	4.58	0.65	42	4.59	0.92	33	4.59	0.72
26-jun	4	31	4.58	0.68	43	4.59	0.94	34	4.59	0.74
27-jun	5	32	4.58	0.70	44	4.59	0.96	35	4.59	0.76

5. DATOS ENSAYO DE PENETRACIÓN

PENETR. EN plg.	CARGAS EN lb/plg	G			D			C		
		LECTURA DIAL lb	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO
0		0	0		0	0		0	0	
0.025		18	5.96		65	21.52		25	8.28	
0.050		44	14.57		151	50.00		62	20.53	
0.075		91	30.13		252	83.44		107	35.43	
0.100	1000	155	51.32	15.00	353	116.89	12.90	151	50.00	5.90
0.150		337	111.59		526	174.17		226	74.83	
0.200	1500	557	184.44		639	211.59		288	95.36	
0.250		739	244.70		735	243.38		333	110.26	
0.300	1900	904	299.34		826	273.51		377	124.83	
0.400	2300	1173	388.41		979	324.17		455	150.66	
0.500	2600	1401	463.91		1113	368.54		522	172.85	

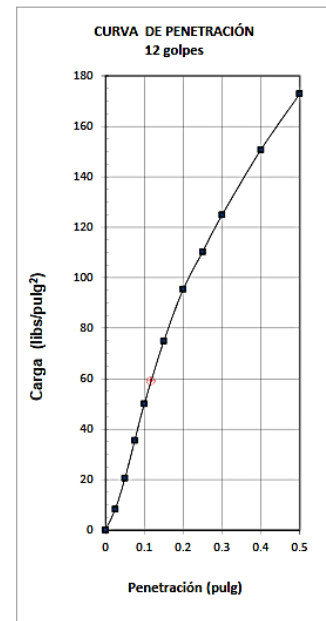
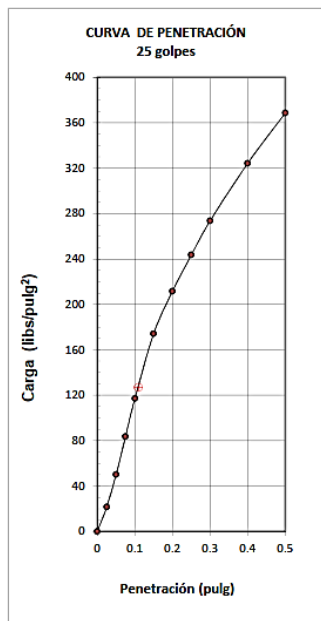
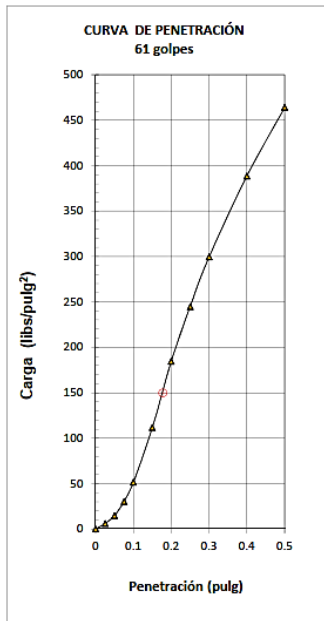
ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
 SONDEO: CP-06
 UBICACIÓN: Abs. 4+530

PROFUNDIDAD: 0.50 m
 SOLICITA: MTOP
 FECHA:

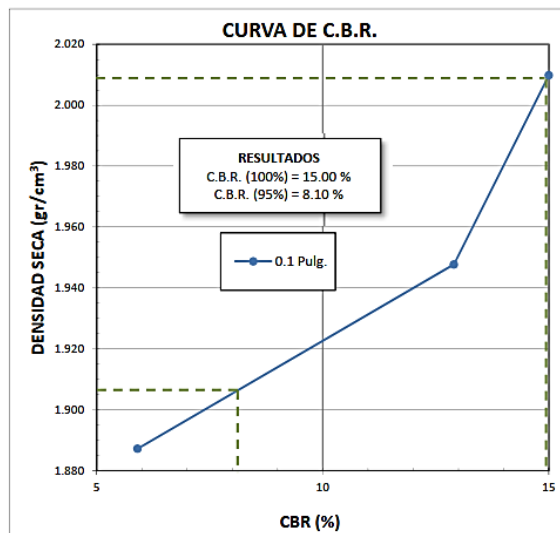
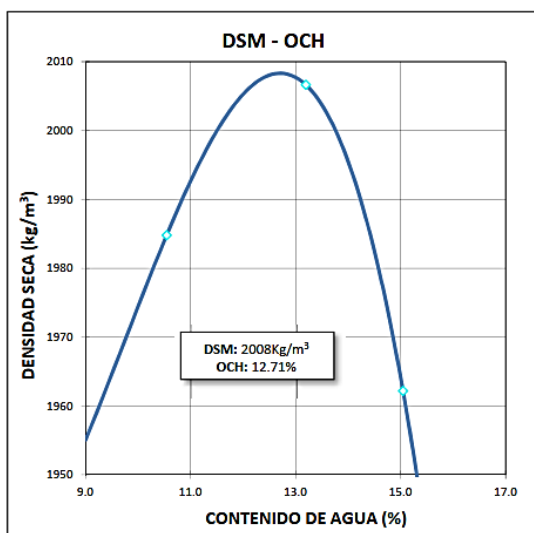
ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASSHTO T-193

Página 2 de 2

6. ESFUERZO - DEFORMACIÓN



7. CBR DE DISEÑO



Jorge Espejo Orellana
 Responsable Laboratorio

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional
Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y
Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-07
UBICACIÓN: Abs. 6+370

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO ASSHTO T-180

1. DATOS DEL MOLDE

MOLDE N°	404	GOLPES/CAPA:	56
DIAMETRO:	15.26 cm.	No. DE CAPAS:	5
ALTURA:	11.66 cm.	PESO MARTILLO:	4.54 Kg.
VOLUMEN :	2,133 cm ³	ALT. DE CAIDA:	45.72 cm.
PESO:	6,536 gr		

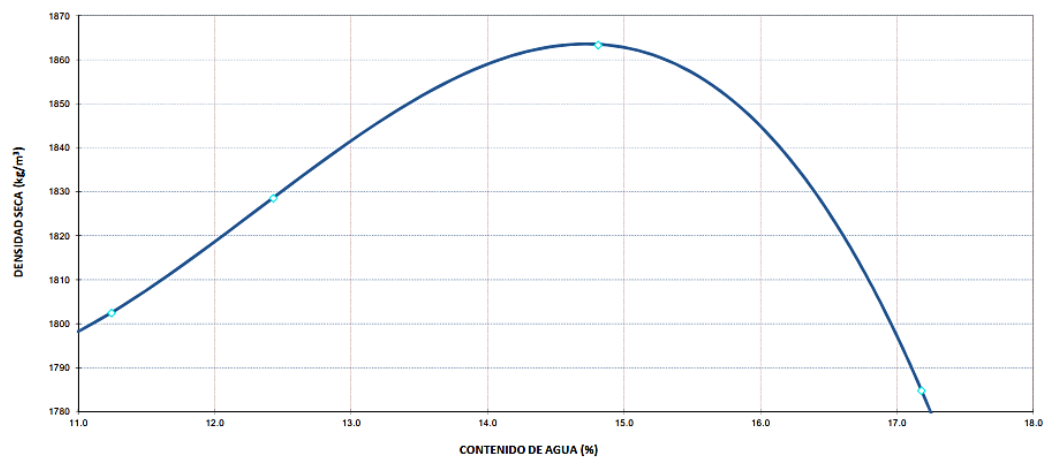
2. DATOS DE COMPACTACIÓN:

Ensayo:	1	2	3	4
Peso comp.:	10,812	10,920	11,098	10,996
Peso suelo:	4,276	4,384	4,562	4,460
Dens. Hum :	2,005	2,056	2,139	2,091

3. CONTENIDO DE HUMEDAD:

W. hum.:	180.90	176.80	207.90	213.60	213.00	208.80	209.60	204.70
W. seco:	165.40	162.70	188.90	193.10	189.70	186.00	183.90	179.70
W. caps:	31.40	33.60	31.80	32.50	31.60	32.80	34.50	34.00
w (%) :	11.57	10.92	12.09	12.76	14.74	14.88	17.20	17.16
Humedad:	11.24	12.43	14.81	17.18				
Dens. Seca:	1,802	1,828	1,863	1,785				

4. CURVA DE COMPACTACIÓN:



4. RESULTADOS:

DENSIDAD SECA MÁXIMA = **1,863 kg/m³**
 ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD = **14.72 %**

Jorge Espejo Orellana
Responsable Laboratorio

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional
Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y
Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-07
UBICACIÓN: Abs. 6+370

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASSHTO T-193

Página 1 de 2

1. DATOS INICIALES

MOLDE N°		K		H		I	
DIÁMETRO DEL MOLDE	cm	15.28		15.3		15.27	
ALTURA DEL MOLDE	cm	17.76		17.77		17.76	
ALTURA DEL DISCO	cm	6.13		6.13		6.13	
ALTURA DE LA MUESTRA	cm	11.63		11.64		11.63	
N° DE GOLPES POR CAPA		61		25		12	
CONDICIÓN DE MUESTRA		ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	gr.	10473	10586	10392	10616	10124	10466
PESO DEL MOLDE + BASE	gr.	5910	5910	5980	5980	5900	5900
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	gr.	4563	4676	4412	4636	4224	4566
VOLUMEN DE MUESTRA	cm ³	2132.63	2132.63	2140.06	2140.06	2129.84	2129.84
DENSIDAD HÚMEDA	gr/cm ³	2.140	2.193	2.062	2.166	1.983	2.144

2. HUMEDAD

DATOS		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
RECIPiente N°		HU	JH	2	61	AC	WG	5	78	AD	AE	71	11
PESO DEL RECIPIENTE.	gr.	57.20	54.20	19.50	19.20	56.90	54.90	19.90	19.10	57.10	57.00	19.00	19.50
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + REC.	gr.	274.90	266.20	248.10	246.20	263.80	266.90	227.40	230.60	301.70	283.20	232.20	234.40
PESO DE LA MUESTRA SECA + REC.	gr.	247.70	238.30	215.10	214.80	237.40	239.50	193.40	196.90	270.50	253.90	195.00	196.40
PESO DE AGUA.	gr.	27.2	27.9	33	31.4	26.4	27.4	34	33.7	31.2	29.3	37.2	38
PESO DE MUESTRA SECA.	gr.	190.5	184.1	195.6	195.60	180.5	184.6	173.5	177.8	213.4	196.9	176	176.9
CONTENIDO DE HUMEDAD.	gr.	14.28	15.15	16.87	16.05	14.63	14.84	19.60	18.95	14.62	14.88	21.14	21.48
HUMEDAD PROMEDIO.	%	14.72		16.46		14.73		19.28		14.75		21.31	
DENSIDAD SECA.	gr/cm ³	1.865		1.883		1.797		1.816		1.728		1.767	

3. PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA

MOLDE N°		K		H		I	
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE DESPUÉS DE SATURACIÓN.		10586		10616		10466	
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE ANTES DE SATURACIÓN.		10473		10392		10124	
PESO DE AGUA ABSORBIDA		113		224		342	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA		2.48%		5.08%		8.10%	

4. DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA Y HORA	TIEMPO EN DÍAS	K			H			I		
		LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL plg x 10 ⁻³	ALTURA DE LA MUESTRA (plg)	ESPONJAM. %
23-jun	1	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
24-jun	2	6	4.58	0.13	34	4.58	0.74	82	4.58	1.79
25-jun	3	7	4.58	0.15	35	4.58	0.76	87	4.58	1.90
26-jun	4	8	4.58	0.17	36	4.58	0.79	88	4.58	1.92

5. DATOS ENSAYO DE PENETRACIÓN

PENETR. plg.	CARGAS lb/plg	K			H			I		
		LECTURA DIAL lb	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO
0		0	0		0	0		0	0	
0.025		9	2.98		10	3.31		9	2.98	
0.050		30	9.93		27	8.94		15	4.97	
0.075		64	21.19		58	19.21		25	8.28	
0.100	1000	111	36.75	7.20	100	33.11	6.00	36	11.92	1.55
0.150		222	73.51		189	62.58		61	20.20	
0.200	1500	336	111.26		265	87.75		83	27.48	
0.250		432	143.05		329	108.94		104	34.44	
0.300	1900	516	170.86		383	126.82		124	41.06	
0.400	2300	669	221.52		468	154.97		157	51.99	
0.500	2600	813	269.21		564	186.75		187	61.92	

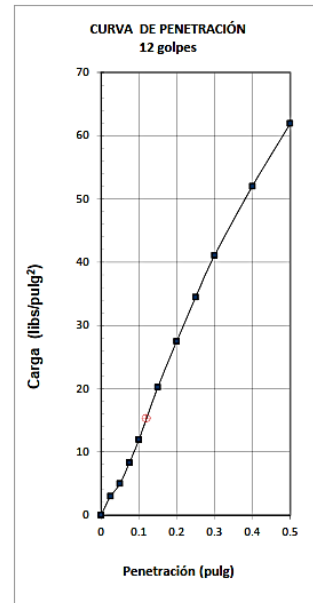
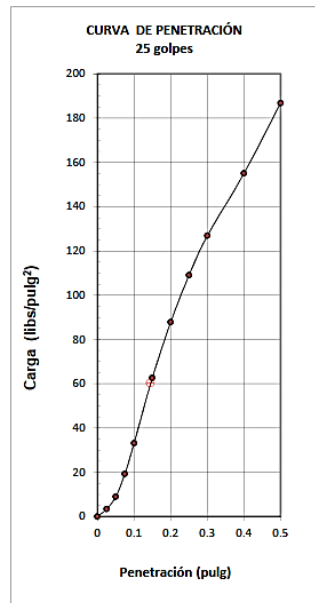
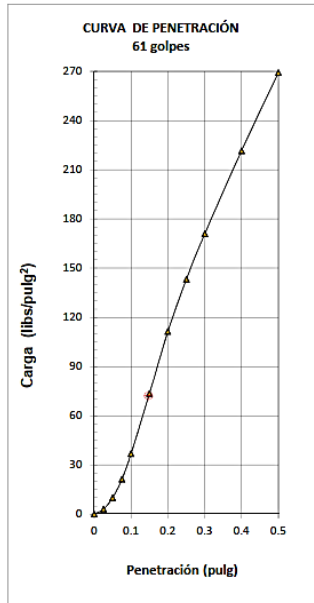
ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
 SONDEO: CP-07
 UBICACIÓN: Abs. 6+370

PROFUNDIDAD: 0.50 m
 SOLICITA: MTOP
 FECHA:

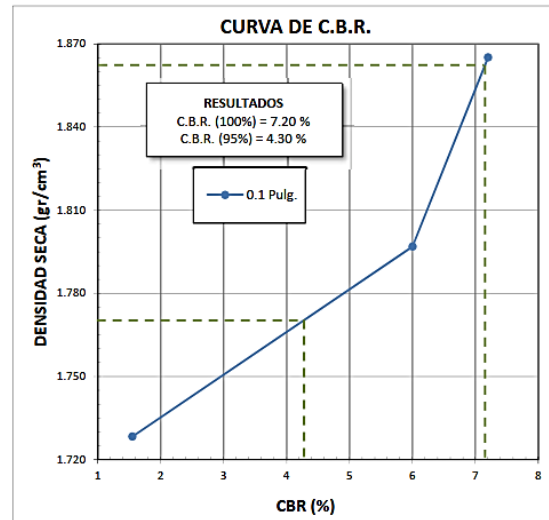
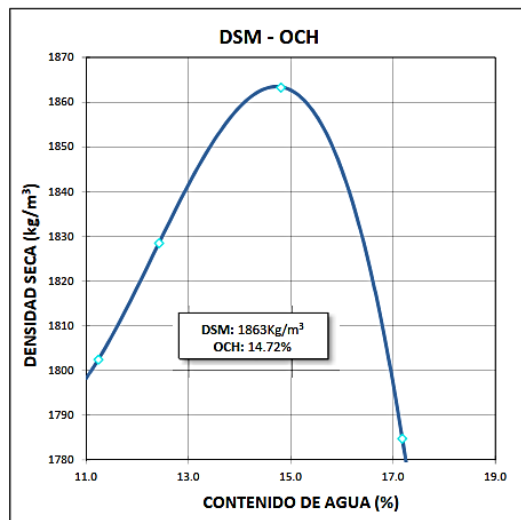
ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASSHTO T-193

Página 2 de 2

6. ESFUERZO - DEFORMACIÓN



7. CBR DE DISEÑO



Jorge Espejo Orellana
 Responsable Laboratorio

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-08
UBICACIÓN: Abs. 7+056

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO ASSHTO T-180

1. DATOS DEL MOLDE

MOLDE N°	404	GOLPES/CAPA:	56
DIAMETRO:	15.26 cm.	No. DE CAPAS:	5
ALTURA:	11.66 cm.	PESO MARTILLO:	4.54 Kg.
VOLUMEN :	2,133 cm ³	ALT. DE CAIDA:	45.72 cm.
PESO:	6,536 gr		

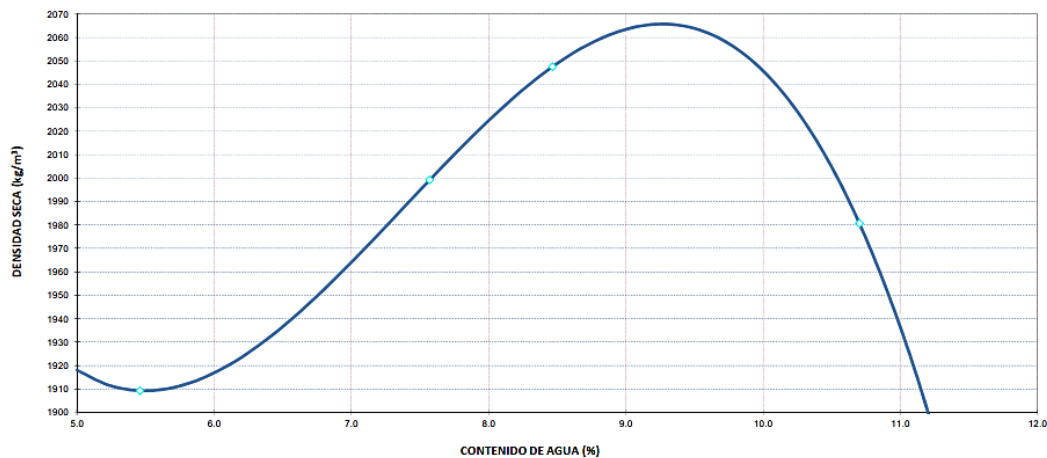
2. DATOS DE COMPACTACIÓN:

Ensayo:	1	2	3	4
Peso comp.:	10,830	11,122	11,272	11,212
Peso suelo:	4,294	4,586	4,736	4,676
Dens. Hum :	2,014	2,150	2,221	2,193

3. CONTENIDO DE HUMEDAD:

W. hum.:	261.20	250.50	272.70	253.20	288.10	278.90	301.10	280.80
W. seco:	250.40	240.60	257.30	239.40	269.20	262.40	276.90	259.30
W. caps:	54.80	57.20	57.00	54.20	56.90	56.90	53.60	55.80
w (%) :	5.52	5.40	7.69	7.45	8.90	8.03	10.84	10.57
Humedad:	5.46		7.57		8.47		10.70	
Dens. Seca:	1,909		1,999		2,047		1,981	

4. CURVA DE COMPACTACIÓN:



4. RESULTADOS:

DENSIDAD SECA MÁXIMA = 2,066 kg/m³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD = 9.27 %

Jorge Espejo Orellana
Responsable Laboratorio

Caracterización geológica – geotécnica de la vía acceso al Parque Nacional
Podocarpus, desde Cajanuma hasta el refugio N°1, ubicado en el Cantón y
Provincia de Loja”



ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
SONDEO: CP-08
UBICACIÓN: Abs. 7+056

PROFUNDIDAD: 0.50 m
SOLICITA: MTOP
FECHA:

ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASSHTO T-193

Página 1 de 2

1. DATOS INICIALES

MOLDE N°		A		F		P	
		ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.	ANTES SATUR.	DESP. SATUR.
DIÁMETRO DEL MOLDE	cm	15.4		15.45		15.21	
ALTURA DEL MOLDE	cm	17.83		17.82		17.89	
ALTURA DEL DISCO	cm	6.13		6.13		6.13	
ALTURA DE LA MUESTRA	cm	11.7		11.69		11.76	
N° DE GOLPES POR CAPA		61		25		12	
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	gr.	11936	12021	11580	11767	10156	10353
PESO DEL MOLDE + BASE	gr.	7010	7010	6964	6964	5786	5786
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	gr.	4926	5011	4616	4803	4370	4567
VOLUMEN DE MUESTRA	cm ³	2179.30	2179.30	2191.60	2191.60	2136.76	2136.76
DENSIDAD HÚMEDA	gr/cm ³	2.260	2.299	2.106	2.192	2.045	2.137

2. HUMEDAD

DATOS	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
RECIPiente N°	30	66	86	J1	73-P	30	30	500	Z-3	99	202	30
PESO DEL RECIPiente.	31.10	32.80	31.90	32.40	31.30	31.20	31.20	32.00	32.80	33.60	34.30	31.10
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + REC.	211.60	226.00	216.80	225.80	218.80	226.80	197.30	222.50	224.00	233.50	233.40	203.80
PESO DE LA MUESTRA SECA + REC.	196.30	209.60	200.40	208.80	202.80	210.30	180.30	204.00	208.00	216.20	211.30	186.10
PESO DE AGUA.	15.3	16.4	16.4	17	16	16.5	17	18.5	16	17.3	22.1	17.7
PESO DE MUESTRA SECA.	165.2	176.8	168.5	176.40	171.5	179.1	149.1	172	175.2	182.6	177	155
CONTENIDO DE HUMEDAD.	9.26	9.28	9.73	9.64	9.33	9.21	11.40	10.76	9.13	9.47	12.49	11.42
HUMEDAD PROMEDIO.	9.27		9.69		9.27		11.08		9.30		11.95	
DENSIDAD SECA.	2.069		2.096		1.928		1.973		1.871		1.909	

3. PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA

MOLDE N°	A	F	P
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE DESPUÉS DE SATURACIÓN.	12021	11767	10353
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE ANTES DE SATURACIÓN.	11936	11580	10156
PESO DE AGUA ABSORBIDA	85	187	197
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA	1.73%	4.05%	4.51%

4. DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA Y HORA	TIEMPO EN DÍAS	A			F			P		
		LECTURA DIAL pligx10 ³	ALTURA DE LA MUESTRA (plig)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL pligx10 ³	ALTURA DE LA MUESTRA (plig)	ESPONJAM. %	LECTURA DIAL pligx10 ³	ALTURA DE LA MUESTRA (plig)	ESPONJAM. %
23-jun	1	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
24-jun	2	5	4.61	0.11	8	4.60	0.17	3	4.63	0.06
25-jun	3	5	4.61	0.11	9	4.60	0.20	3	4.63	0.06

5. DATOS ENSAYO DE PENETRACIÓN

PENETR. EN plg.	CARGAS lb/plg	A			F			P		
		LECTURA DIAL lb	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO	LECTURA DIAL Kg	PRESIÓN lb/plg ²	C.B.R. CORREGIDO
0		0	0		0	0		0	0	
0.025		11	3.64		18	5.96		13	4.30	
0.050		47	15.56		65	21.52		44	14.57	
0.075		147	48.68		125	41.39		89	29.47	
0.100	1000	277	91.72	17.30	172	56.95	7.00	132	43.71	5.80
0.150		528	174.83		257	85.10		219	72.52	
0.200	1500	746	247.02		359	118.87		303	100.33	
0.250		947	313.58		470	155.63		374	123.84	
0.300	1900	1122	371.52		591	195.70		433	143.38	
0.400	2300	1445	478.48		777	257.28		540	178.81	
0.500	2600	1747	578.48		962	318.54		650	215.23	

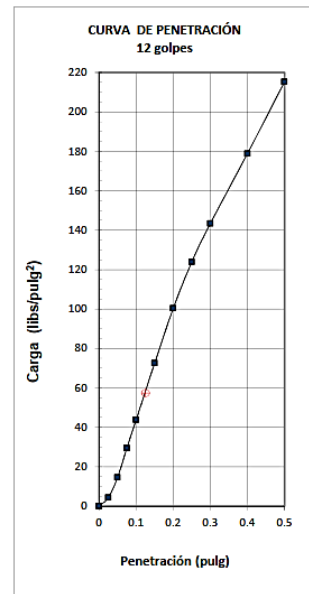
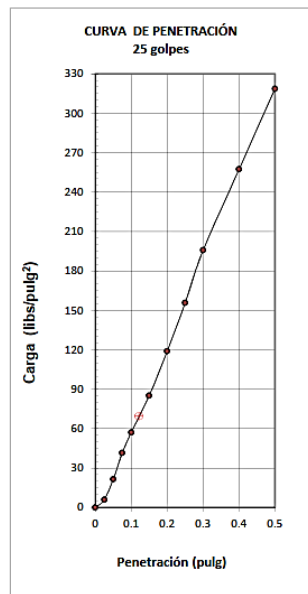
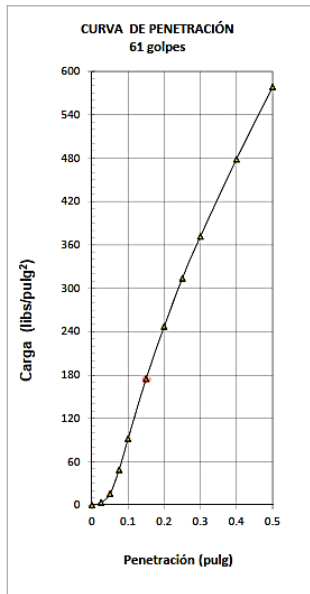
ESTUDIO: Subrasante Tramo Cajanuma - Podocarpus
 SONDEO: CP-08
 UBICACIÓN: Abs. 7+056

PROFUNDIDAD: 0.50 m
 SOLICITA: MTOP
 FECHA:

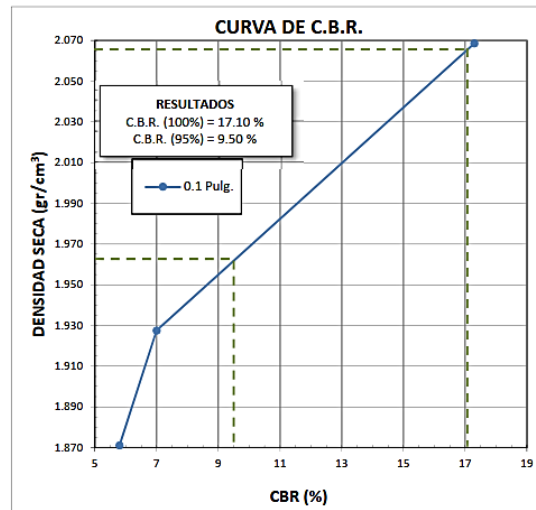
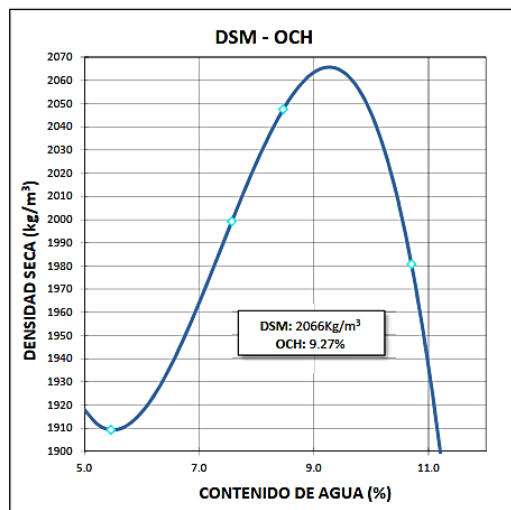
ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA - C.B.R. ASSHTO T-193

Página 2 de 2

6. ESFUERZO - DEFORMACIÓN



7. CBR DE DISEÑO



Jorge Espejo Orellana
 Responsable Laboratorio



Anexo 9.

Certificación de

traducción



Quito de 20 de abril de 2022

CERTIFICADO

Por medio de la presente certifico que la traducción del documento adjunto solicitado por la Michelle Anahí Jara Torres con cedula de ciudadanía numero 1104326358 cuyo tema de investigación se titula: “CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA – GEOTÉCNICA DE LA VÍA ACCESO AL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS, DESDE CAJANUMA HASTA EL REFUGIO N°1, UBICADO EN EL CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA”, ha sido realizado por el Centro de Capacitación y Certificación Internacional “NOVA ENGLISH ACADEMY”.

Esta es una traducción textual del documento adjunto, y el traductor es competente para realizar traducciones.




Lic. Ana Belén Morejón

171827724-5

Dirección Académica

0992867672

 nova-academy.live

 Av. Mariana de Jesús Oe2 -39 entre Jorge
Juan y Hernando de la Cruz. Quito - Ecuador

 novaenglishacademyecuador@gmail.com

 +593 99 517 5288 / +593 99 286 7672