



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

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

Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

Caracterización geológica-geotécnica de la vía el Pangui – el Pincho, cantones el Pangui y Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe

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

AUTORA:

Ana Gabriela Jiménez Ramírez

DIRECTOR:

Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez. Mg. Sc

Loja – Ecuador

2022

Certificación

Ingeniero.

Fernando Javier Rengel Jiménez, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de titulación, realizado por la señorita egresada: ANA GABRIELA JIMÉNEZ RAMÍREZ con C.I.: 115029133-2, en su proceso de investigación denominado: “Caracterización geológica-geotécnica de la vía el Pangui – el Pincho, cantones el Pangui y Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe”, previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, el mismo que ha cumplido con el cien por ciento (100%) del trabajo de titulación, por lo que autorizó su presentación para la evaluación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 24 de marzo de 2022



Firmado electrónicamente por:
**FERNANDO JAVIER
RENGEL JIMENEZ**

Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Ana Gabriela Jiménez Ramírez**, declaro ser autora del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma: 

C.I.: 1150291332

Fecha: Loja, 04 de julio del 2022

Correo electrónico: agjimenezr@unl.edu.ec

Teléfono: 0969710461/072724941

Carta de autorización

Yo, **Ana Gabriela Jiménez Ramírez**, declaro ser autora del trabajo de titulación: **Caracterización geológica-geotécnica de la vía el Pangui – el Pincho, cantones el Pangui y Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe**, como requisito para optar el título de **Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**; autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre 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 cuatro días del mes de julio del dos mil veintidós.

Firma: 

Autora: Ana Gabriela Jiménez Ramírez

Cédula: 1150291332

Dirección: Loja (Juan de Salinas y Sucre)

Correo electrónico: agjimenezr@unl.edu.ec

Celular: 0969710461

DATOS COMPLEMENTARIOS:

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

Dedicatoria

Con mucha gratitud y cariño dedico el presente trabajo de titulación:

A mi Mamá, Wilmita después de tantos sacrificios una vida no es suficiente para darte las gracias y expresar lo mucho que te amo.

A mi abuelita Rosa, gracias por su bendición, por acompañarme y cuidarme, gracias por todo su amor y sabiduría que ha sabido guiarme durante toda mi vida.

A mi tío Darwin, eres pilar fundamental en mi vida, gracias por apoyarme incondicionalmente y por motivarme siempre. Gracias a todo su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, he logrado llegar hasta aquí y convertirme en la persona que soy hoy en día, su ejemplo me ha demostrado que nada es imposible.

A mi hermana Marjorie, por haber sido mi fiel compañera, cómplice de mis triunfos y frustraciones, gracias por tus consejos y todo tu amor, no podrás verme concretar un momento tan importante en mi vida, pero estoy segura que desde el cielo estas celebrando, este logro es nuestro mi negrita.

Ana Gabriela Jiménez Ramírez

Agradecimiento

En primer lugar, mi agradecimiento es a Dios por bendecirme con la vida, por ser mi guía espiritual, por protegerme y darme la fortaleza para superar todos los obstáculos a lo largo de mi vida y siempre continuar, quiero expresar mi gratitud a toda mi familia quienes han sido mi constante motivación, infinitas gracias por todo su apoyo, paciencia y comprensión.

A los docentes de la Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, quienes con entrega, cariño y dedicación impartieron sus conocimientos. Agradezco al Ing. Fernando Rengel, por su orientación y observaciones para la culminación de este trabajo de titulación. A los miembros del tribunal grado, integrado por los docentes: Ing. Michael Valarezo, Mg. Sc, Ing. Walter Tambo, Mg. Sc e Ing. Maritza Ochoa, Mg. Sc; mi agradecimiento por las revisiones, guía y asesoramiento en el trabajo de titulación. Gracias por su dedicación y su tiempo.

Mi profunda gratificación al Ing. Alexander González, por su apoyo y conocimiento entregado en estos años.

A Estsuelcon Cía. Ltda., agradecer por el apoyo que brinda para el desarrollo intelectual de futuros profesionales. Al Ing. Diego Castillo, amigo y mentor, que de manera desinteresada me supo brindar todo su apoyo, transmitir sus conocimientos y experiencias.

A los Ingenieros Carlos Collaguazo y Paulina Calderón, les quedo inmensamente gratificada por el ejemplo y la ayuda incondicional, mi admiración y respeto para ustedes.

A Leonardo Rodhen, por su incondicional apoyo y por estar presente en los buenos y malos momentos, dándome una palabra de aliento y cariño.

Finalmente agradezco de manera muy sincera a todas aquellas personas que formaron parte de mi etapa universitaria: Priskha Reyes, Galo López, Stalin Guamán, Cecibel Dávila, Miguel Rojas, Edison Angamarca, Danny Palacios y Fabricio Plaza, su compañía hizo que todo este proceso sea más llevadero, agradezco todo el tiempo compartido, gracias por los buenos e inolvidables momentos.

Ana Gabriela Jiménez Ramírez

Índice de Contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenidos	vii
Índice de tablas	xii
Índice de figuras	xiv
Índice de Anexos	xviii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstrat.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Marco Geológico.....	6
4.1.1. Topografía.....	6
4.1.2. Geomorfología.....	6
4.1.3. Geología.....	6
4.1.4. Geología estructural.....	7
4.1.5. Hidrogeología.....	7
4.1.5.1. Nivel Freático.....	7
4.1.5.2. Nivel Piezométrico.....	7
4.2. Marco Geotécnico.....	8
4.2.1. Geotecnia.....	8
4.2.2. Caracterización Geotécnica.....	8
4.2.2.1. Métodos Directos.....	8
4.2.2.1.1. Calicatas Geotécnicas.....	8
4.2.2.1.2. Ensayo de Penetración Estándar (SPT).....	9
4.2.2.1.3. Perforación con Diamantina.....	10
4.2.2.1.4. Perforación por Rotación Continua con Recuperación de Testigo.....	10

4.2.2.1.5. Perforación por Percusión.....	10
4.2.2.2. Métodos indirectos.	11
4.2.2.2.1. Sondeo Eléctrico Vertical SEV.	11
4.2.2.2.2. Sísmica de refracción.	12
4.2.2.3. Propiedades Físico-Mecánica de los Geomateriales.	15
4.2.2.3.1. Propiedades Físicas.	15
4.2.2.3.2. Propiedades Mecánicas.....	16
4.2.2.4. Granulometría y Clasificación de Suelos.....	18
4.2.2.4.1. Sistema de Clasificación SUCS.....	18
4.2.2.4.2. Sistema de Clasificación AASTHO.	19
4.2.2.4.3. Límites de Atterberg.....	19
4.2.2.5. Caracterización de Macizos Rocosos.	19
4.2.2.5.1. Clasificación RMR.	20
4.2.3. Movimientos en Masa.....	21
4.2.3.1. Clasificación de los Movimientos en Masa.	22
4.2.3.2. Estabilidad de Taludes y Laderas.	22
4.2.4. Análisis de estabilidad	22
4.2.4.1. Métodos Determinísticos.....	23
4.2.4.2. Métodos Probabilísticos.	23
4.2.4.3. Método de Talud Infinito.	23
4.2.4.4. Factor de seguridad.....	23
5. Metodología	25
5.1. Descripción general del área de estudio	25
5.1.1. Ubicación geográfica y acceso	25
5.2. Descripción biofísica del área de estudio	26
5.2.1. Clima y vegetación.....	26
5.2.2. Hidrografía.....	27
5.2.3. Geología Regional.....	28
5.2.3.1. Lito estratigrafía.....	28
5.2.3.1.1. Formación Hollín (K _H).....	28
5.2.3.1.2. Formación Tena (KPCT).....	29

5.2.3.2.	Depósitos Superficiales.....	29
5.2.3.2.1.	Depósito Aluvial (QA).....	29
5.2.3.2.2.	Terrazas Aluviales (QT).....	29
5.2.3.3.	Rocas Intrusivas.....	29
5.2.3.3.1.	Complejo Intrusivo Zamora (JZ).....	29
5.2.4.	Geomorfología.....	29
5.2.4.1.	Glacis de esparcimiento (Pd1).....	30
5.2.4.2.	Coluvión Antiguo (Col2).....	30
5.2.4.1.	Valle Fluvial, llanura de inundación (F1).....	31
5.2.4.2.	Terraza baja y cauce actual (sobre excavación de cauce en llanura de inundación) (F2).....	31
5.3.	Materiales y equipos.....	31
5.4.	Métodos y técnicas.....	32
5.4.1.	Investigación No Experimental.....	32
5.4.2.	Investigación Experimental.....	32
5.5.	Metodología para el primer objetivo.....	33
5.5.1.	Levantamiento Topográfico.....	33
5.5.2.	Fotointerpretación.....	34
5.5.3.	Levantamiento Geológico.....	35
5.5.4.	Mapa de pendientes.....	37
5.6.	Metodología para el segundo objetivo.....	38
5.6.1.	Exploración Geotécnica.....	38
5.6.1.1.	Métodos Directos.....	38
5.6.1.1.1.	Calicatas.....	38
5.6.1.1.2.	Sondeos Geotécnicos.....	39
5.6.1.2.	Método Indirecto.....	42
5.6.1.2.1.	Sísmica de Refracción.....	42
5.6.2.	Laboratorio (Resultados).....	45
5.6.2.1.	Laboratorio Muestras alteradas.....	45
5.6.2.2.	Laboratorio Muestras inalteradas.....	46
5.7.	Metodología para el tercer objetivo.....	47

5.7.1.	Análisis de estabilidad.	47
6.	Resultados	49
6.1.	Topografía	49
6.2.	Geología Local.....	49
6.2.1.	Formación Tena.....	49
6.2.1.1.	Depósito de arcillas abigarradas.	49
6.2.1.1.1.	Arcillas abigarradas cafés.	49
6.2.1.1.2.	Arcillas abigarradas rojizas.....	50
6.2.1.1.3.	Arenas arcillosas.....	51
6.2.2.	Formación Hollín	52
6.2.3.	Depósito aluvial.....	53
6.2.4.	Deposito coluvial.....	54
6.2.4.1.	Depósito coluvial de arenisca.	54
6.2.4.1.1.	Coluvio de arena limos y arcillas.	55
6.2.4.1.2.	Coluvio arena limos y arcillas con bloques frecuentes de arenisca y granodiorita	55
6.2.4.1.3.	Coluvio arena limos y arcillas con bloques esporádicos de arenisca y granodiorita	56
6.2.4.2.	Depósito coluvio –aluvial.	56
6.3.	Geología estructural.....	58
6.4.	Pendientes.....	60
6.5.	Caracterización geológica-geotécnica de los materiales	61
6.5.1.	Método directo.....	61
6.5.1.1.	Calicatas.	61
6.5.1.2.	Sondeos Geotécnicos.....	66
6.5.2.	Método indirecto	72
6.5.2.1.	Sísmica de refracción.	72
6.5.2.1.1.	Sondeo Línea de Refracción Sísmica 1.....	72
6.5.2.1.2.	Sondeo Línea de Refracción Sísmica 2.....	72
6.5.3.	Laboratorio Muestras inalteradas	74
6.5.3.1.	Ensayo de corte directo.	74

6.5.4. Análisis de estabilidad en taludes representativos	75
7. Discusión	84
7.1. Análisis del levantamiento geológico de la vía el Pangui -Pincho	84
7.2. Análisis de las propiedades físico, mecánicas y geotécnicas de los geomateriales	86
7.3. Análisis de estabilidad de los taludes mediante la obtención de un Factor de Seguridad	90
8. Conclusiones	91
9. Recomendaciones.....	94
10. Bibliografía	95
11. Anexos.....	100

Índice de tablas

Tabla 1. Valores típicos o representativos de campo de V_p para varios materiales.	13
Tabla 2. Valores típicos o representativos de campo de v_s para varios materiales.....	14
Tabla 3. Nombres típicos de los materiales.	18
Tabla 4. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)	20
Tabla 5. Clasificación de los movimientos en masa	22
Tabla 6. Factores de seguridad mínimos	24
Tabla 7. Ubicación de los puntos de Inicio y Fin de la vía de estudio.....	25
Tabla 8. Materiales y equipos utilizados	31
Tabla 9. Ficha para descripción de afloramientos.....	36
Tabla 10. Clasificación del ángulo de pendiente.....	37
Tabla 11. Coordenadas de ubicación de líneas sísmicas realizadas.....	42
Tabla 12. Estado de densificación de las arenas a partir del N del SPT	45
Tabla 13. Correlación del valor N y la resistencia a la compresión simple (q_u).....	45
Tabla 14. Número de actividad aplicada a los suelos plásticos.....	45
Tabla 15. Coordenadas de las muestras inalteradas.	46
Tabla 16. Cuadro resumen de los resultados de laboratorio.....	61
Tabla 17. Clasificación SUCS de los suelos, horizonte de muestreo 0.50, 1.00 y 1.50 metros.	66
Tabla 18. Clasificación AASHTO de los suelos, horizonte de muestreo 0.50, 1.00 y 1.50 metros.....	66
Tabla 19. Correlaciones litológicas obtenidas a partir de la línea sísmica 1	72
Tabla 20. Correlaciones litológicas obtenidas a partir de la línea sísmica 2	73
Tabla 21. Parámetros dinámicos de cada línea sísmica	73
Tabla 22. Resultados de los ensayos de corte directo	74
Tabla 23. Resumen de valores de Factor de Seguridad	83
Tabla 24. Distribución litológica.....	85
Tabla 25. Resultados de Ensayos de Granulometría.....	86
Tabla 26. Consistencia relativa.....	88
Tabla 27. Resultados de consistencia relativa (CR).....	88
Tabla 28. Resultado de índice de liquidez (IL)	88

Tabla 29. Clasificación de las arcillas según su comportamiento “A”	89
Tabla 30. Valores típicos del comportamiento “A”	89
Tabla 31. Resultados del comportamiento “A”	89
Tabla 32. Criterios para determinar el cambio de volumen.....	89
Tabla 33. Criterios para determinar el potencial expansivo	89
Tabla 34. Resultados tipo de arcilla	89

Índice de figuras

Figura 1. Equipo de SPT.....	9
Figura 2. Arreglo Schlumberger.	12
Figura 3. Ondas sísmica reflectadas y refractadas.	13
Figura 4. Mecanismo general para prueba de corte directo.....	17
Figura 5. Representación de las curvas en el plano de Mohr.	17
Figura 6. Límites de Atterberg.	19
Figura 7. Nomenclatura de taludes y laderas.	22
Figura 8. Ubicación geográfica de la vía de estudio.	25
Figura 9. Acceso a la vía de estudio.	26
Figura 10. Hidrografía del área de estudio.	27
Figura 11. Geología Regional del área de estudio. Modificado de las Hojas Geológicas de Paquisha y Gualaquiza INIGEMM (2017).	28
Figura 12. Vista panorámica de un glacis de esparcimiento-Absc. 0+000.	30
Figura 13. Vista panorámica de un depósito de coluvión antiguo en la absc. 8+900 limitado por vertientes rectilíneas.....	30
Figura 14. Vista panorámica de la terraza actual y del cauce fluvial.	31
Figura 15. Esquema de la metodología empleada.....	33
Figura 16. Levantamiento Topográfico.	34
Figura 17. Análisis de fotointerpretación.	35
Figura 18. Modelo Builder de obtención de pendientes.....	37
Figura 19. Ubicación para calicatas geotécnicas.....	38
Figura 20. Geología local del sector de estudio; se observa gravas del depósito aluvial y otros bloques de roca en el cauce de la Río Pachicutza	39
Figura 21. Geología local del sector de estudio; se observa la presencia de bloques de arenisca y algunos de granodiorita en el cauce de la quebrada Pincho	40
Figura 22. Sistema de perforación: a) Río Pachicutza, b) Quebrada Pincho	40
Figura 23. Equipo para los sondeos geotécnicos.	41
Figura 24. Ubicación de perforaciones geotécnicas	41
Figura 25. Ubicación de las líneas sísmicas realizadas	42
Figura 26. Equipo de Sísmica PASI GEA24 (Izquierda) y Tendido de cables (Derecha)	43

Figura 27. Domocronica de la LS1, resultado de interpretación.....	43
Figura 28. Proceso para llevar a cabo el ensayo de corte directo	46
Figura 29. Ubicación para muestras para ensayos de corte directo	47
Figura 30. Propiedades del material.....	48
Figura 31. Métodos utilizados para obtener el factor de seguridad.	48
Figura 32. Arcillas abigarradas, absc. 0+000	50
Figura 33. Material antrópico de tipo aluvial (absc. 0+200, margen derecho del tramo vial). 50	
Figura 34. Afloramiento de arcillas abigarradas de tonalidad rojiza.	51
Figura 35. a) Arena limosa café claro, b) Arena limosa de tonalidad marrón con tonalidades grisáceas.....	52
Figura 36. Roca arenisca, altamente meteorizada.....	52
Figura 37. Medida de datos estructurales en afloramiento de areniscas.....	53
Figura 38. a) Potencia de arcilla, b) basamento de arcilla, c) clastos graníticos y d) cauce del Río Pachicutza.	53
Figura 39. Aluvial del Río Zamora.	54
Figura 40. Depósito coluvial de areniscas (1+900).	54
Figura 41. Depósito de arenas, limos y arcillas y con presencia de bloques de arenisca.	55
Figura 42. a) Presencia de bloques granodioríticos, b) Toma de resistencia de un bloque de granodiorita y c) Presencia de bloque de microconglomerado.	55
Figura 43. Depósito de arena, arcillas y limos con presencia de bloques de arenisca.....	56
Figura 44. Depósito aluvial de la quebrada Pincho.	57
Figura 45. Perfil Geológico A-A´	57
Figura 46. Perfil Geológico B-B´	58
Figura 47. Escarpe Filo el Pincho	59
Figura 48. Fotointerpretación del área de estudio.....	60
Figura 49. Análisis estadístico de pendientes.....	61
Figura 50. Clasificación y descripción - PRPCH-MD-S01	68
Figura 51. Clasificación y descripción – PRPCH-MI-S02.....	70
Figura 52. Clasificación y descripción - PQP-MD-S03	71
Figura 53. Clasificación y descripción – PQP-MI-S04	71
Figura 54. Perfil de la línea Sísmica 1	72

Figura 55. Perfil de la línea Sísmica 2.	73
Figura 56. Geometría del talud 1 para análisis de estabilidad global.	75
Figura 57. Análisis de rotura general para el talud 1. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.....	75
Figura 58. Geometría del talud 2 para análisis de estabilidad global.	76
Figura 59. Análisis de rotura general para el talud 2. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.....	76
Figura 60. Geometría del talud 3 para análisis de estabilidad global.	77
Figura 61. Análisis de rotura general para el talud 3. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.....	77
Figura 62. Geometría del talud 4 para análisis de estabilidad global.	78
Figura 63. Análisis de rotura general para el talud 4. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.....	78
Figura 64. Geometría del talud 5 para análisis de estabilidad global.	79
Figura 65. Análisis de rotura general para el talud 5. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.....	79
Figura 66. Geometría del talud 6 para análisis de estabilidad global.	80
Figura 67. Análisis de rotura general para el talud 6. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.....	80
Figura 68. Geometría del talud 7 para análisis de estabilidad global.	81
Figura 69. Análisis de rotura general para el talud 7. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.....	81
Figura 70. Geometría del talud 8 para análisis de estabilidad global.	82

Figura 71. Análisis de rotura general para el talud 8. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.....82

Índice de Anexos

Anexo 1. Fichas de descripción de afloramientos	100
Anexo 2. Resultado de muestras de calicatas.....	100
Anexo 3. Perfil geotécnico de calicatas.....	100
Anexo 4. Sondeos geotécnicos.....	100
Anexo 5. Resultados de Sísmica de refracción (Sismogramas)	100
Anexo 6. Resultados de Sísmica de refracción (Domocronas).....	100
Anexo 7. Parámetros dinámicos en base a la sísmica de refracción absc. 1+790 y 12+990....	100
Anexo 8. Resultados de ensayos de corte directo	100
Anexo 9. Mapa de Ubicación.....	100
Anexo 10. Mapa Topográfico	100
Anexo 11. Mapa de Pendientes.....	100
Anexo 12. Mapa de Geomorfología Regional	100
Anexo 13. Mapa Geomorfológico	100
Anexo 14. Mapa de Geología Regional.....	100
Anexo 15. Mapa de Geología Local	100
Anexo 16. Mapa Geotécnico.....	100
Anexo 17. Registro fotográfico.....	100
Anexo 18. Certificado de traducción del resumen.....	101

1. Título

Caracterización geológica - geotécnica de la vía El Pangui – El Pincho, cantones el Pangui y Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe

2. Resumen

El propósito de la presente investigación ha sido realizar la caracterización geológica y geotécnica de la vía El Pangui – El Pincho, cantones el Pangui y Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe. El trabajo se inició con el levantamiento topográfico a escala 1:1000, el cual sirvió de base para el levantamiento geológico donde se encontró que el sector de estudio está comprendido principalmente por arcillas abigarradas de tonalidades café claro y rojizo de la formación Tena y areniscas de la formación Hollín, además de depósitos superficiales dominado por suelos de tipo arenas, limos y arcillas con presencia de bloques de arenisca y bloques graníticos. Para realizar la caracterización geotécnica se lo hizo mediante la aplicación de métodos directos e indirectos. Dentro de los métodos directos: se realizó 31 calicatas, obteniéndose muestras a 0,50, 1,00 y 1,50 m de profundidad, además se realizó 4 sondeos geotécnicos; dos ubicados en el Rio Pachicutza y otros dos ubicados en la Quebrada El Pincho, tanto en el margen derecho como en el margen izquierdo. A partir de las muestras obtenidas se realizó ensayos en el laboratorio Estsuelcon de acuerdo a las normas ASTM como son: granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg y clasificaciones AASTHO y SUCS. En métodos indirectos: se realizó sísmica de refracción en las Absc. 1+750 y 12+990; determinando así las capas del subsuelo. Para realizar el análisis de estabilidad, se modeló los taludes más representativos del tramo de estudio y se tomó muestras de estos para realizar el ensayo de corte directo; ya obtenidos los datos se calculó el FS mediante el uso del software Slide 6.0. mediante el criterio de rotura de Mohr-Coulomb, determinando que los taludes de la vía en condiciones normales presentan valores de FS mayor a 1; es decir su estado es estable, mientras que en condiciones saturadas presenta valores de FS por debajo de 1; indicando un fallo inminente.

Palabras clave: caracterización geotécnica, análisis de estabilidad, factor de seguridad, Mohr coulomb.

2.1. Abstrat

The purpose of this research was to carry out the geological and geotechnical characterization of the El Panguí - El Pincho road, in the cantons of El Panguí and Yantzaza, province of Zamora Chinchipe. The work began with a topographic survey at a scale of 1:1000, which served as the basis for the geological survey where it was found that the study sector is mainly comprised of light brown and reddish clashing clays of the Tena formation and sandstones of the Hollin formation, in addition to superficial deposits dominated by sand, silt and clay soils with the presence of sandstone blocks and granitic blocks. The geotechnical characterization was carried out by applying direct and indirect methods. Within the direct methods: 31 test pits were made, obtaining samples at 0.50, 1.00 and 1.50 m depth. In addition, 4 geotechnical borings were made; two located in the Pachicutza river and the other two located in the El Pincho gorge, both on the right margin and the left margin. The samples obtained were tested at the Estsuelcon laboratory according to ASTM standards such as granulometry, moisture content, Atterberg limits and AASTHO and SUCS classifications. Based on the indirect methods: refraction seismic was performed at Absc. 1+750 and 12+990; thus determining the subsoil layers. To perform the stability analysis, the most representative slopes of the study section were modelled and samples of these were taken to perform the direct shear test. Once the data was obtained, the FS was calculated using the Slide 6.0 software employing the Mohr-Coulomb rupture criterion, determining that the slopes of the road under normal conditions demonstrate FS values greater than 1; that is, their state is stable, while in saturated conditions they present FS values below 1; indicating an imminent failure.

Keywords: geotechnical characterization, stability analysis, a factor of safety, Mohr-Coulomb.

3. Introducción

Los cantones Yantzaza y el Pangui de la Provincia de Zamora Chinchipe se encuentran ubicados al sur del Ecuador, su topografía es irregular; es decir, ondulada-montañosa con diferentes gradientes ocasionada por la cordillera Oriental y Occidental de los Andes que se estrechan formando nudos y ramificaciones, dando origen a los principales ríos de la provincia y sumado al área geográfica dan como resultado una diversidad de materiales. (Pangui, 2014-2019)

En la provincia de Zamora Chinchipe, dado la complejidad de sus procesos hacen que se deban resolver situaciones donde los factores geológicos son los condicionantes de un proyecto vial. Muchos de estos problemas se originan en una investigación deficiente, inadecuada o escasa, comprometiendo así su funcionalidad, seguridad y calidad.

Las vías, son obras de ingeniería que más requiere de información geológica-geotécnica en las diferentes etapas del proyecto, sobre todo en las iniciales, y en las restricciones asociadas a amenazas geológicas y climáticas propias del entorno donde se desarrolla el proyecto vial, cuya presencia condicionen técnica y económicamente la obra. (López, 2002)

En este contexto, las características geológicas-geotécnicas garantizan la eficiente ejecución de las obras viales, tomando en cuenta aspectos litológicos de un área de interés, y mediante métodos directos e indirectos se conoce las principales propiedades físicas y mecánicas del suelo; a partir de ensayos de campo y de laboratorio.

Actualmente, por el crecimiento a nivel social, económico, poblacional, de salud, y de turismo, el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora Chinchipe, interesado por una mejor planificación y atendiendo a lo que dispone la Constitución de la Republica del Ecuador 2008 y el Código Orgánico de Organización Territorial (COOTAD); en sus artículos 263 y 42, numeral 2; respectivamente: “planificar, construir y mantener el sistema vial de ámbito provincial, que no incluya las zonas urbanas”, pone en evidencia su estrategia de mejorar la vialidad mediante la ejecución de estudios y diseños para la construcción de nuevas vías, así como el mejoramiento de las vías ya existentes, cuya finalidad es integrar a la red vial caminos vecinales que comuniquen a centros poblados que están marginados de las vías principales de la provincia, que permiten la integración de nodos de desarrollo productivo, ganadero y turístico.

Por lo mencionado anteriormente, se ha optado por realizar este trabajo de investigación el cual se refiere a la caracterización geológica-geotécnica de una vía de tercer orden

comprendida entre la vía troncal amazónica en el cantón el Pangui parroquia Pachicutza y el Pincho de la parroquia los Encuentros del cantón Yantzaza, de la provincia de Zamora Chinchipe; abarcando una longitud de 14,8 km y una faja de estudio de 35 m a cada lado del eje vial, comprendiendo una área de estudio de 153,90 ha.

La vía antes mencionada tiene como objetivo conectar a los centros poblados el Pangui, Pachikuts-Tiuchka-Shakay-Pincho y por consiguiente al sistema vial cantonal y provincial, que a más de servir para la comunicación permitiría elevar el nivel de servicio vehicular, una reducción de accidentes y mejorar la administración de la red vial, para de esta manera, reducir la incidencia de los costos de transporte en los precios de mercado, costos de producción, operación y mantenimiento vehicular. En definitiva, se mejorará el desarrollo sostenible de la población fortaleciendo sus capacidades socioeconómicas, lo que se traduce en una buena calidad de vida.

Por lo tanto, en la presente investigación se prevé conocer las características geológicas–geotécnicas de la vía de estudio, solucionando así la carencia de información geológica (características litológicas) y parámetros físico-mecánicos, se utiliza una metodología experimental con información de tipo descriptiva, para lo cual se basó en el conocimiento detallado de la topografía, la geología, la geomorfología, las pendientes, calicatas, sondeos geotécnicos y SPT, así como también líneas sísmicas para conocer las propiedades del subsuelo, y a su vez de los ensayos de suelos, de corte directo en el laboratorio y posteriormente aplicándolos en el análisis de la estabilidad de taludes.

Para dar cumplimiento al tema principal se ha propuesto los siguientes objetivos:

Objetivo General

- Realizar la Caracterización Geológica – Geotécnica de la vía Pangui - Pincho, cantones el Pangui y Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe.

Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento geológico de la vía el Pangui -Pincho, sobre la base topográfica, en un ancho de 35 m a cada lado de su eje.
- Obtener las propiedades físico – mecánicas de los geomateriales que conforman el tramo de estudio.
- Determinar la estabilidad de la vía en el tramo de estudio mediante la obtención de un Factor de Seguridad.

4. Marco teórico

4.1.Marco Geológico

4.1.1. Topografía

Según Alcántara García (2014), define a la Topografía como una ciencia aplicada en la determinación de las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la Tierra, asimismo de la representación en un plano de una porción de la superficie terrestre; en consecuencia, estudia métodos y procedimientos para hacer mediciones sobre el terreno y su representación gráfica o analítica a una escala determinada.

4.1.2. Geomorfología

La geomorfología es una ciencia natural que estudia el relieve de la superficie terrestre, su nombre es derivado de tres palabras griegas: geo-tierra, morfé-forma y logos-estudio.

Las formas del relieve terrestre aparecen gracias a la interacción de los procesos exógenos o de superficie y los procesos endógenos al actuar sobre las rocas que afloran en la superficie terrestre, derivando la formación de rasgos del relieve de diferentes órdenes como son las grandes estructuras planetarias, los océanos y continentes, hasta las pequeñas cárcavas y formas cársticas de carácter local. (Rodríguez Infante, 2005)

4.1.3. Geología

La geología es la ciencia que estudia la tierra, detallando el origen, la historia y las estructuras de la tierra, de acuerdo con su registro o datación en las rocas. La experiencia y los conocimientos teóricos en conjunto tienen una significativa aplicación para solucionar inconvenientes que se presentan en las grandes obras de ingeniería. (PUIG, 2005)

Según Ochoa (2013), menciona que un proyecto lineal como es una carretera, se inicia con la consulta a la información geológica existente, pues ésta es la base fundamental desde la cual se obtienen conclusiones geotécnicas muy importantes, en especial para obras de gran costo o valía en un territorio.

Los estudios geológicos están orientados a la determinación de las características litológicas-estructurales y geomecánicas de los materiales existentes en un sitio de estudio, mediante un conjunto de técnicas y procedimientos que se utilizan para reconstruir la historia geológica.

4.1.4. Geología estructural

Según Arellano (2002), señala a la geología estructural como rama de la Geología, encargada del estudio de las características estructurales de las masas rocosas que forman la corteza terrestre, de la distribución geográfica de tales características, del tiempo geológico y de las causas que las originaron; igualmente es importante su identificación, descripción y representación gráfica en mapas y secciones geológicas. Las estructuras geológicas, son estudiadas tanto a nivel microscópico (petrográfico y estereoscópico), en láminas delgadas, en una muestra de mano, en un afloramiento; como a mayor rasgo en una fotografía aérea o en una imagen de satélite.

Una estructura geológica se forma en todos los ambientes geológicos, muestran características distintivas relacionadas con su origen, tiempo de formación y tipo de material, se dividen en estructuras primarias y secundarias.

La Geología Estructural exclusivamente estudia a las estructuras geológicas producto de la deformación, entre las más comunes en el régimen dúctil son los pliegues, mientras que las del régimen frágil son las fallas y fracturas. (Arellano, 2002)

4.1.5. Hidrogeología

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

4.1.5.1. Nivel Freático.

Werner (1996), en su libro introducción a la hidrogeología define a el nivel freático como “El nivel freático es el lugar geométrico de los puntos en los que el agua del subsuelo se encuentra a la presión atmosférica.”

4.1.5.2. Nivel Piezométrico.

Manzano (2008), menciona que, se denomina nivel piezométrico, cuando al perforar un pozo en un acuífero confinado, el agua se descomprime y asciende por la entubación hasta alcanzar una altura (cota absoluta sobre el nivel del mar).

4.2. Marco Geotécnico

4.2.1. Geotecnia

La Geotecnia es una disciplina científica que se forma del vínculo de tres ramas de la ingeniería, dos de ellas pertenecientes a la mecánica aplicada: la Mecánica de Suelos y la Mecánica de Rocas y la geología aplicada a la ingeniería, así mismo se basa en disciplinas complementarias como la geofísica, sísmica estructural, materiales y los sistemas de información (Braja M. Das & Sobhan, 2014)

Otro autor como lo es Borselli (2017), establece que la Geotecnia es la aplicación de métodos científicos y principios de la ingeniería a la adquisición, interpretación y uso del conocimiento de los materiales de la corteza terrestre y de la tierra para dar solución a problemas de ingeniería civil y prevención de riesgos naturales.

Para alcanzar los objetivos de la ingeniería geotécnica: el modelo correcto del subsuelo y la contribución al diseño adecuado de obras y la prevención de riesgo hidro-geológico y naturales es crucial la comprensión de las características físicas y técnicas de los geomateriales, de los procesos de interacción de estos con el agua y las acciones exteriores, por ejemplo, la cargas. (Borselli, 2017)

4.2.2. Caracterización Geotécnica

Según Ureta Chalén (2017), el objetivo de la caracterización geotécnica es recopilar e interpretar técnicamente la información conseguida por medio de los estudios geotécnicos, con la finalidad de caracterizar el suelo o material del sitio donde se desea realizar un proyecto, por ende, establecer los posibles modos de falla y deformaciones que pueden suceder en el estrato de estudio mediante una evaluación a detalle.

4.2.2.1. Métodos Directos.

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)

4.2.2.1.1. Calicatas Geotécnicas.

Según Gonzáles de Vallejo (2002) las calicatas son excavaciones que se ejecutan mediante medios mecánicos convencionales, permitiendo la observación directa del terreno a

cierta profundidad, así como la toma de muestras y la realización del ensayo in situ.

Las calicatas son un método muy empleado dado su bajo coste y rapidez de ejecución. Permiten acceder directamente al terreno, para así observar las variaciones litológicas, estructura, discontinuidades, así como tomar muestras de gran tamaño para la realización de ensayos y análisis.

Aspectos a considerar.

- La profundidad no suele exceder de 4m
- La presencia de agua limita su utilidad
- El terreno debe poderse excavar con medios mecánicos.
- Para su ejecución es imprescindible cumplir con las normas de seguridad frente a derrumbes de las paredes, así como cerciorarse de la ausencia de instalaciones, conducciones, cables, etc. (González de Vallejo, 2002)

4.2.2.1.2. Ensayo de Penetración Estándar (SPT).

El ensayo SPT se realiza in situ, donde se obtiene un valor N.S.P.T. de resistencia a la penetración y se correlaciona con parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de rozamiento, la carga admisible y los asentamientos en los suelos granulares. Conjuntamente, en el ensayo se obtiene una muestra alterada, para realizar ensayos de identificación en laboratorio. (González, Ferrer, & Ortuño, 2002)

En la Figura 1, se observa el equipo utilizado para realizar el ensayo de SPT en este proyecto.

Figura 1. Equipo de SPT.



Nota: Obtenido de (Estsuelcon, 2021).

El valor NSPT se entiende como el número de golpes necesarios para alcanzar una penetración de 30 cm de un toma muestras con dimensiones de 2” de diámetro exterior y 13/8

de diámetro interior. Se coloca en la parte inferior de un varillaje, que es hincado manipulando una masa de 63,5 kg que golpea al extremo superior del varillaje en caída libre desde una altura de 75 cm. (Maldonado, 2018)

4.2.2.1.3. Perforación con Diamantina.

La perforación con extracción de testigos o diamantina es un método de perforación rotatorio, es empleado en extracciones de muestras de núcleo de rocas y suelos. Comúnmente se aplica en investigaciones mineras, geológicas o con fines de cimentación profunda en obras de ingeniería.

La nominación de diamantina se debe a que utiliza una corona (brocas de sección anular) de acero con diamantes industriales integrados a una matriz de carburo de tungsteno para excavar. (Salas, 2016)

4.2.2.1.4. Perforación por Rotación Continua con Recuperación de Testigo.

La perforación a rotación, es la técnica más usada para la obtención de muestras o testigos en investigaciones geotécnicas. Su sistema constituye elementos como cabeza, tubo porta testigo, extractor, manguito porta extractor y corona de corte, este sistema tiene la capacidad de perforar cualquier tipo de suelo o roca hasta profundidades muy elevadas (100 m a 1000 m) y de inclinación variada. La extracción de testigos es continua y el porcentaje de recuperación del testigo suele ser muy alto. (Maldonado, Geología web, 2018)

Mediante estos sondeos se consiguen muestras alteradas e inalteradas en función del tipo de ensayo a realizar y muestras de agua en caso de existencia de nivel freático, al mismo tiempo se pueden realizar ensayos “in situ” específicos, como el ensayo de penetración estándar SPT, presiómetros, ensayos de permeabilidad, entre otros. (GMCEE, 2018)

4.2.2.1.5. Perforación por Percusión.

En este método de perforación se utiliza un útil que avanza por golpes sucesivos, aplicados por la caída de una maza, cuya energía se transmite mediante un varillaje a un útil macizo (puntaza) o a un tubo hueco (toma muestras) situado en el fondo de la perforación. Desde el punto de vista económico esta perforación es lenta y, consecuentemente, tiene un precio caro y poco competitivo. (Herrera & Castilla, 2012)

Este tipo de perforación es utilizado tanto en suelos granulares como en suelos cohesivos, pudiendo atravesar suelos de consistencia firme a muy firme, puede alcanzar profundidades de hasta 30 ó 40 m, aunque las más frecuentes son de 15 a 20 m. Por otro lado,

el sistema de perforación consiste en la hinca de tubos de acero mediante el golpeo de una maza de 120 kg que cae desde una altura de 1 m. Los golpes necesarios para la penetración de cada tramo de 20 cm se cuentan sistemáticamente, así se conoce la compacidad del suelo atravesado. Las tuberías empleadas, que pueden tener diámetros exteriores de 91, 128, 178 y 230 mm, actúan como entibación durante la extracción de muestras mediante cucharas y trépanos. (González, Ferrer, & Ortuño, 2002)

4.2.2.2. Métodos indirectos.

Según Chelotti, Acosta, & Foster (2009), estudia la Tierra mediante métodos de la física, de carácter indirecto, a fin de conocer su evolución y características actuales (geofísica pura) y también como herramienta de prospección de recursos (geofísica aplicada). Consiguen medirse directamente los campos físicos naturales (gravedad, magnetismo, radioactividad, geotermas, etc.) o crear campos artificiales por emisión de electricidad, energía sísmica, etc., para así obtener mediciones más efectivas a los fines exploratorios.

4.2.2.2.1. Sondeo Eléctrico Vertical SEV.

Según, González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo (2002), esta técnica consiste en separar sucesivamente los electrodos de corriente A y B del punto central, siguiendo una línea recta, y medir la resistividad aparente en cada disposición.

La resistividad aparente es un indicador de las resistividades del suelo y de la profundidad de penetración de la corriente, que se obtiene de la siguiente expresión. (Cardenas, 2007)

$$pa = K\Delta U/I$$

Donde:

pa: resistividad aparente (Ωm).

K: coeficiente del arreglo (m).

ΔU : diferencia de potencial, medida entre los electrodos M y N

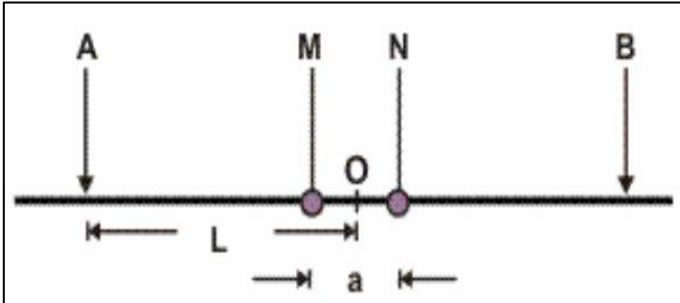
I: corriente eléctrica circulando entre los electrodos A y B

La resistividad aparente calculada será, por tanto, la correspondiente a mayores espesores según se van separando los electrodos. Se emplea generalmente la configuración Schlumberger. El resultado que se obtiene del SEV es la variación de la resistividad aparente p con la profundidad en el punto central del perfil investigado. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

- Arreglo Schlumberger

En la Figura 2 se muestra un esquema del dispositivo Schlumberger, este se caracteriza por mantener fijos los electrodos de potencial o lectura (M y N) mientras se alejan los electrodos de corriente (A y B).

Figura 2. Arreglo Schlumberger.



Nota: En la imagen se observa el arreglo Schlumberger empleado para sondeo eléctrico vertical. Tomado de: (Auge, M. Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Agua Subterránea. 2008).

Este dispositivo es el más conveniente para realizar SEV's debido a su gran variedad de técnicas de interpretación, a su flexibilidad en el trabajo de campo y a su sensibilidad para realizar las correcciones necesarias en terrenos con topografía no completamente plana. (Glezz, 2017)

Las profundidades más habituales de investigación están entre 0 y 200 m. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

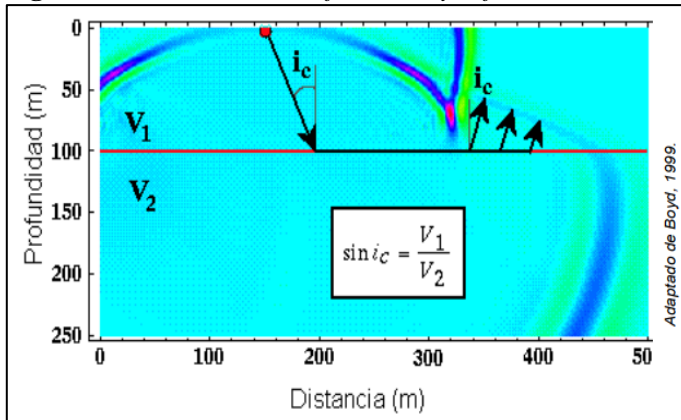
4.2.2.2.2. Sísmica de refracción.

Este método estudia la respuesta del subsuelo ante la propagación de la onda de compresión (P) producida por medios mecánicos desde superficie. La velocidad de propagación de esta onda está en función de la compacidad de los materiales del subsuelo, tal parámetro proporcionara información acerca de las características geomecánicas de la zona de estudio. (GEOTEM, 2016)

Según Cantos (1973), explica que este método radica en producir un sismo artificial, utilizando por lo general una carga explosiva enterrada en el suelo, permitiendo medir los tiempos de llegada de las ondas producidas a unos detectores o geófonos situados sobre la superficie terrestre. Además, se basa en que la explosión se propaga en todas las direcciones, y cuando cambian las condiciones del medio, es decir, cuando la onda sísmica en su recorrido en profundidad encuentra un medio de propagación distinto del anterior, una parte de la energía se ve reflejada, volviendo a la superficie, y otra parte se refracta siguiendo su viaje hacia la profundidad. En este caso los materiales más compactos muestran velocidades altas de ondas

P, en comparación con las velocidades bajas en materiales no consolidados como se ilustra en la Figura 3.

Figura 3. Ondas sísmica reflejadas y refractadas.



Nota: En la imagen se observa el ángulo crítico de refracción i_c . Tomado de: (Gonzales de Vallejo, L. 2004)

Los resultados correspondientes a la velocidad de propagación de las ondas permiten definir áreas de contraste entre materiales de diferente velocidad y densidad; estas velocidades están controladas por los parámetros elásticos que describen el material y pueden correlacionarse con numerosas propiedades geomecánicas. (GEORYS, 2016)

La velocidad de propagación de las ondas sísmicas es distinta, dependiendo del tipo de material, a continuación, en la Tabla 1 y Tabla 2, se presentan algunos valores típicos para velocidades de onda, que son necesarios para correlacionarlos con los obtenidos durante el ensayo.

Tabla 1. Valores típicos o representativos de campo de V_p para varios materiales.

Materiales	Velocidad de onda P (m/s)
Acero	6000
Agua (Dependiendo de la Temperatura y Contenido de Sal)	1430-1680
Agua Fresca Superficial	1430-1490
Aire	330
Arcilla Arenosa Semi-Consolidada (Suelo arcilloso)	381-655
Arcilla Saturada	910-2750
Arcilla, Densa y Húmeda. Dependiendo de la Profundidad	914-1798
Arena	1402-2560
Arena Cementada	853-975
Arena Húmeda o Saturada (incluyendo a la movediza)	610-1830
Arena Seca	450-900
Arena Suelta Saturada	1500
Arenas Compactas	1500-5400
Arenas y Gravas Sueltas	400-900
Arenas y Gravas Sueltas Saturadas	1500-1800
Areniscas y Lutitas	1830-4500
Basalto Inalterado	2600-4300
Caliza	2134-6100

Materiales	Velocidad de onda P (m/s)
Carbón	1500
Dolomita y Caliza	4300-6700
Escombros (Ripio) o Grava	600-793
Esquisto	800-3700
Esquisto, Arcilla Esquistosa (Shale)	800-4270
Granito	4575-5800
Granito Inalterado	4800-6700
Ígnea Alterada y Roca Metamórfica	450-3700
Marga Humedecida	300-750
Margas	2500-4500
Material Superficial (Capa de Alteración de Suelos y Rocas)	305-610
Pizarras	2500-4500
Roca alterada (Intemperizada)	1500
Roca Metamórfica	2400-6000
Roca Sedimentaria Alterada	600-3000
Rocas Ígneas	4500-7500
Rocas Sedimentarias	3500-5500
Sal	4000-5190
Sedimentos no Consolidados	300-2500
Suelo Superficial Húmedo, Lodoso o Cienoso	305-396
Tierra Suelta	250-400
Yeso o Tiza	1830-3970

Nota: Esta tabla muestra valores de velocidades de onda primarias para varios materiales. Tomado de: (López, Mejía, & Vega. 2008)

Tabla 2. *Valores típicos o representativos de campo de vs para varios materiales.*

Material	Velocidad de onda S (m/s)
Agua	0
Arenas movedizas	0
Arenas Compactas	800 – 2000
Areniscas	2150
Basalto	3200
Calizas	1350
Carbón	900
Cieno	50 – 300
Depósitos de Arcilla	900
Granito	3000
Gravas Saturadas (Limpia)	300
Grava Saturada (Sucia)	600
Gravas y Arenas Densas	150 – 200
Limos	2000 – 3000
Roca Alterada (Intemperizada)	600-900
Rocas Ígneas	3500 – 4000
Rocas Metamórficas	2500 – 3500
Rocas Sedimentarias	1500 – 3000
Sedimentos no Consolidados	100 – 500

Nota: Esta tabla muestra valores de velocidades de onda secundarias para varios materiales. Tomado de: (López, Mejía, & Vega. 2008)

4.2.2.3. Propiedades Físico-Mecánica de los Geomateriales.

4.2.2.3.1. Propiedades Físicas.

Densidad

La denominada densidad natural o húmeda es la relación entre la masa de una muestra de roca en su estado natural, ósea, con un cierto contenido de humedad, y el volumen que ocupa (Ramirez Oyabguren & Alejano Monge, 2004):

$$\rho = m / v$$

Donde:

ρ = densidad natural

m = masa de la muestra

v = volumen de la muestra

Contenido de humedad

El contenido de humedad se entiende como la cantidad relativa de agua existente en un suelo respecto a la masa de sólidos o al volumen del suelo analizado. Se expresa en porcentaje (%), y es la relación entre el peso del agua del espécimen, y el peso de los sólidos. (Duque & Escobar, 2016)

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

ω = tanto por ciento de humedad

W_w = peso del agua en la muestra

W_s = peso de sólidos

Peso específico

El peso específico o peso unitario de la roca depende de sus componentes y se define como el peso por unidad de volumen.

El peso específico total o aparente (γ) de una roca es igual al peso total de la roca y el volumen total de la misma: (Duque & Escobar, 2016)

$$\gamma = W / V$$

El peso específico seco γ_d , es el peso seco de las partículas minerales dividido por el volumen total del elemento.

$$\gamma_d = \frac{W_d}{V} = \frac{G}{1 + e} \gamma_w = \frac{1}{1 - w}$$

Donde:

W_d = peso seco de la muestra de roca

V_s = Volumen total de la muestra

G = gravedad específica promedio de la roca

e = relación de vacíos γ_w = peso específico total

γ_w = peso específico del agua (9.8 KN/m³)

Porosidad

La porosidad de una roca es el volumen de poros expresado en tanto por ciento del volumen total. (Ramirez Oyabguren & Alejano Monge, 2004)

$$n = \frac{VP}{V} * 100$$

Donde:

n = porosidad

VP = volumen de poros

V = volumen total

Grado de saturación

Es el porcentaje de poros ocupados por el agua; cuando la roca está seca $S_r=0$ y cuando está saturada $S_r=100$. (Ramirez Oyabguren & Alejano Monge, 2004)

$$S_r = \frac{VH}{Vp} * 100$$

Donde:

S_r = Grado de saturación.

VH = volumen ocupado por el agua.

V_p = volumen total de poros.

Cohesión

La cohesión se utiliza para representar la resistencia a la tensión, es una medida de la adherencia entre las partículas utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación entre las partículas. (Ascuña, 2015).

4.2.2.3.2. Propiedades Mecánicas.

Resistencia cortante del suelo

Según Braja, M. (2015), define a la resistencia cortante de un suelo como la resistencia interna por unidad de área que la masa de suelo puede ofrecer a la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano en su interior. Dentro de la ingeniería es necesario entender los principios de la resistencia al cizallamiento del suelo, ya que se relaciona con problemas, como:

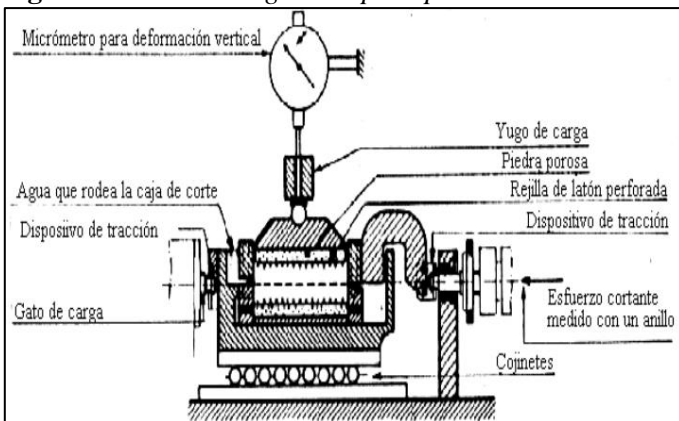
- Capacidad de carga de cimentaciones superficiales
- Estabilidad de taludes naturales o de origen humano

La resistencia al esfuerzo cortante de un suelo está constituida por la resistencia friccionante y cohesiva. (Barton, Lien, & i Lunde, 1977).

Son necesarias muestras cúbicas de 30 cm aproximadamente; la prueba es efectuada aplicando las fuerzas con gatos de carga calibrados, donde primero se confina la muestra hasta un nivel de esfuerzo normal.

En la Figura 4 se muestra un esquema del equipo empelado para realizar el ensayo de corte directo.

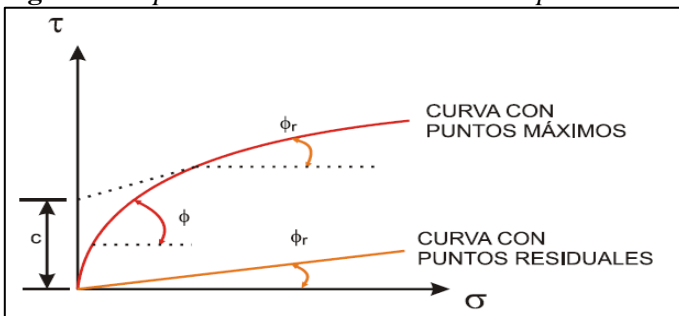
Figura 4. Mecanismo general para prueba de corte directo.



Nota: En la imagen se observa las partes del equipo empleado y su mecanismo para llevar a cabo el ensayo de corte directo. Tomado de: (Jiménez, Alpañes, & Serrano, 1981)

Al alcanzar el máximo esfuerzo cortante, se obtiene la máxima resistencia al corte, mientras que cuando la deformación horizontal aumenta sin variar el esfuerzo cortante, se obtiene el valor del esfuerzo cortante residual.

Figura 5. Representación de las curvas en el plano de Mohr.



Nota: En la imagen se observa los resultados de esfuerzos normales y cortantes (σ, τ) de las pruebas, y su representación gráfica en el plano de Mohr para obtener un valor del ángulo ϕ , y en su caso de cohesión c , representativos del material. Tomado de: (González de Vallejo, 2002)

El ángulo de fricción máximo y el residual, están dados por las expresiones:

$$\phi'_{m\acute{a}x} = \tan^{-1} \left(\frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\sigma'} \right)$$

$$\phi'_{res} = \tan^{-1} \left(\frac{\tau_{res}}{\sigma'} \right)$$

4.2.2.4. Granulometría y Clasificación de Suelos.

El análisis granulométrico se realiza empleando tamices mismos que están normalizados y numerados, y se los dispone en orden decreciente, para obtener la distribución por tamaños del material, permite determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo dada, la misma que debe ser representativa. (Villa, 2018).

De acuerdo a la granulometría a los suelos se los puede clasificar y dividir en tres grandes grupos: gravas, arenas, limos y arcillas.

Existiendo dos sistemas de clasificación de suelos de uso común para propósitos de ingeniería, el primero de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS o USCS) que se utiliza para casi todos los trabajos de ingeniería geotécnica y el otro de acuerdo a la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO) que se usa para la construcción de carreteras y terraplenes.

4.2.2.4.1. Sistema de Clasificación SUCS.

Según la Norma ASTM D2487-11, el sistema de clasificación unificada identifica tres divisiones mayores de suelos: suelos de grano grueso, suelos de grano fino, y suelos altamente orgánicos.

Tabla 3. Nombres típicos de los materiales.

Grupo	Nombres Típicos del material
GW	Grava bien gradada, mezclas gravosas, poco o ningún fino.
GP	Grava mal gradada, mezclas grava – arena, poco o ningún fino.
GM	Grava limosa, mezclas grava, arena, limo.
GC	Grava arcillosa, mezclas grava – arenas arcillosas.
SW	Arena bien gradada.
SP	Arena mal gradada, arenas gravosas, poco o ningún fino.
SM	Arenas limosas, mezclas arena – limo.
SC	Arenas arcillosas, mezclas arena – arcilla.
ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas.
CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras (pulpa)
OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos (ambiente marino, naturaleza orgánica silíceo), suelos elásticos.
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.
OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.
Pt	Turba (carbón en formación) y otros suelos altamente orgánicos.

Nota: En esta tabla se presenta la subclasificación de la clasificación SUCS, en un total de 15 grupos básicos de suelo. Tomado de: (Duque & Escobar, 2016)

4.2.2.4.2. Sistema de Clasificación AASTHO.

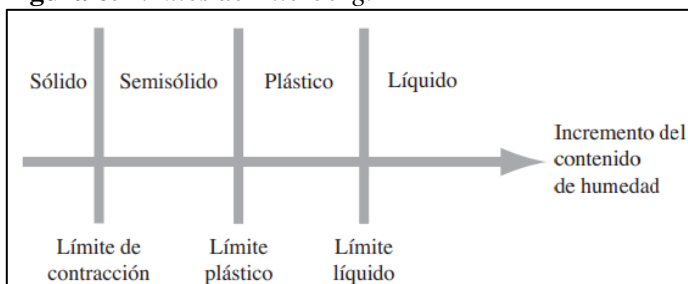
El Sistema de Clasificación AASHTO clasifica el suelo en grupos y subgrupos. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la criba No. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la criba No. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 Y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla. (Braja, 2015)

4.2.2.4.3. Límites de Atterberg.

Según Braja (2015), los límites de Atterberg es un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con diferentes contenidos de humedad. Con un contenido de humedad muy bajo, el suelo se comporta más como un sólido quebradizo. Cuando el contenido de humedad es muy alto, el suelo y el agua pueden fluir como un líquido.

- **Límite Líquido (LL)**, es el punto de paso del estado líquido al estado plástico, y se mide por la cantidad de agua que contiene un material en el momento que pierde la fluidez y la capacidad de escurrir como un líquido denso.
- **Límite Plástico (LP)**, es el punto de paso del estado plástico al estado de semisólido, y se mide por la cantidad de agua que contiene un material en el momento que pierde la plasticidad y que no puede ser modelado.
- **Índice de plasticidad (IP)**, Atterberg definió el índice de plasticidad para describir el rango de contenido de humedad natural sobre el cual el suelo era plástico. El índice de plasticidad IP, es por tanto numéricamente igual a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico: $(IP = LL - LP)$

Figura 6. Límites de Atterberg.



Nota: Esta imagen representa un esquema que, dependiendo del contenido de humedad, la naturaleza del comportamiento del suelo puede ser dividido en cuatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido. Tomado de: (Braja, M. 2015).

4.2.2.5. Caracterización de Macizos Rocosos.

Vallejo (2002), indica que la descripción y caracterización de los macizos rocosos en afloramientos es una labor necesaria en todos los estudios de ingeniería geológica cuyo objetivo

sea el conocimiento de las propiedades y algunas características geotécnicas de los materiales rocosos, estos trabajos se realizan como etapa inicial en una investigación (in situ). Al final lo que se trata es conocer y predecir el comportamiento de los materiales rocosos ante la actuación de las fuerzas internas y externas que se ejercen sobre ellos; ya que cuando se excava un macizo rocoso o se construyen estructuras sobre las rocas se modifican las condiciones iniciales del medio rocoso, lo cual puede deformarlo o romperlo. (Vallejo, 2002)

Las clasificaciones geomecánicas aportan mediante la observación directa de las características de los macizos rocosos y la realización de sencillos ensayos, índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos del macizo y sus características para sostenimientos (túneles, taludes). (EADIC, 2020)

4.2.2.5.1. Clasificación RMR.

La clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), es un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos. Teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturamiento en términos del RQD.
- Espaciamiento de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación

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

Tabla 4. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

1	Resistencia de la matriz	Ensayo de carga puntual	>10	10 – 4	4 – 2	2 – 1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	> 250	250 – 100	100 – 50	50 – 25	25-5	5-1	< 1
PUNTUACIÓN			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25 %		
		PUNTUACIÓN		20	17	13	6	3	
3	Separación entre Diaclasas		>2 m	0,6 – 2m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	<0,06 m		
		PUNTUACIÓN		20	15	10	8	5	

4	Estado de las discontinuidades	<i>Longitud de la discontinuidad</i>	<1m	1 – 3m	3 – 10m	10 – 20m	>20m
		PUNTUACIÓN	6	4	2	1	0
		<i>Abertura</i>	Nada	<0,1 mm	0,1 – 1,0 mm	1 – 5 mm	>5 mm
		PUNTUACIÓN	6	5	3	1	0
		<i>Rugosidad</i>	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave
		PUNTUACIÓN	6	5	3	1	0
		<i>Relleno</i>	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
		PUNTUACIÓN	6	4	2	2	0
		<i>Alteración</i>	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
		PUNTUACIÓN	6	5	3	1	0
5	Agua freática	<i>Caudal por 10 m de túnel</i>	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min
		<i>Relación: Presión de agua/tensión principal mayor</i>	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5
		<i>Estado general</i>	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
		PUNTUACIÓN	15	10	7	4	0

Nota: En esta tabla se sintetiza los parámetros usados para determinar la clasificación del macizo rocoso. Tomado de: (Bieniawski, 1989)

4.2.3. Movimientos en Masa

Los movimientos de masa según Varnes, (1978), son movimientos hacia abajo y/o hacia fuera, de materiales que forman una ladera o talud, debido a la influencia de la gravedad a partir de un factor que sirve de detonante o fuerza natural desencadenante como son: los sísmicos, volcánicos, presión de gases y exceso de humedad.

Se aplica, en general, a movimientos rápidos del terreno, éstos suelen estar relacionados principalmente con sismos, aunque también pueden originarse por otras causas. La acción constante de la fuerza de gravedad y el debilitamiento progresivo de los materiales, principalmente por efecto de la meteorización física y química, hacen que los movimientos de masa sean muy abundantes a lo largo del registro geológico. (Ayala, 2003)

4.2.3.1. Clasificación de los Movimientos en Masa.

En la Tabla 5 se presenta el sistema propuesto por Varnes (1978), para la clasificación de los movimientos en masa, emplea como criterio principal el tipo de movimiento y en segundo, el tipo de material. Así, divide en cinco tipos que se detallan a continuación:

Tabla 5. Clasificación de los movimientos en masa

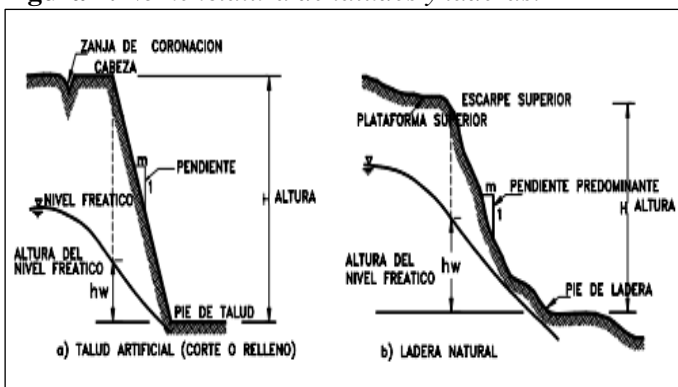
Tipo de movimiento	Tipo de material		
	Roca	Suelo	
		De grano grueso	De grano fino
Caídas	Caída de rocas	Caída de detritos	Caída de suelos
Basculamientos	Basculamiento de rocas	Basculamiento de detritos	Basculamiento de suelos
Deslizamientos	<i>Rotacionales</i>	Deslizamiento rotacional de detritos	Deslizamiento rotacional de suelos
	<i>Traslacionales</i>	Deslizamiento traslacional de rocas	Deslizamiento traslacional de suelos
Separaciones laterales	Separación lateral de roca	Separación lateral de detritos	Separación lateral de suelo
Flujos	Flujos de rocas	Flujos de detritos	Flujos de suelos
Complejos	Combinación de dos o más tipos		

Nota: En esta tabla se observa la clasificación para los movimientos en masa. Tomado de: (Varnes, 1978)

4.2.3.2. Estabilidad de Taludes y Laderas.

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que posee pendiente o cambios de altura significativos, se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente (Suárez, 1998).

Figura 7. Nomenclatura de taludes y laderas.



Nota: En esta imagen se observa la nomenclatura empleada para denominar un a) talud artificial y b) una ladera natural. Tomado de: (Suárez, 1998)

4.2.4. Análisis de estabilidad

Algunas de las metodologías disponibles son los métodos de límite de equilibrio, los métodos numéricos y los métodos dinámicos para el análisis de caídos de roca y flujos.

Los métodos numéricos son la técnica que muestra la mejor aproximación al detalle, de las condiciones de estabilidad en la mayoría de los casos de evaluación de estabilidad de taludes. (Suarez, 2009)

Sin embargo, los métodos de límite de equilibrio, son más sencillos de utilizar y permiten analizar los casos de falla traslacional y de falla rotacional, así como las fallas de inclinación (“Toppling”) y las fallas en cuña.

Dentro de los métodos más generalizados para el análisis, se puede mencionar los siguientes:

4.2.4.1. Métodos Determinísticos.

Se determina el FS de un talud conocido su estado y condiciones a partir de los valores de resistencia y los parámetros físicos que gobiernan el comportamiento de los materiales involucrados.

4.2.4.2. Métodos Probabilísticos.

Establecen la probabilidad de rotura de un talud bajo condiciones determinadas, conocidas las distribuciones de los diferentes valores considerados en el análisis.

4.2.4.3. Método de Talud Infinito.

Es un sistema muy rápido y sencillo para determinar el factor de seguridad de un talud, suponiendo un talud largo con una capa de suelo, en el cual, cualquier tamaño de columna de suelo es representativo de todo el talud. Las suposiciones del método del talud infinito son las siguientes: suelo isotrópico y homogéneo, talud infinitamente largo y superficie de falla paralela al talud. El principal uso del método del talud infinito es la elaboración de planos de amenaza a los deslizamientos mediante el uso de SIGs. (Suarez, 2009).

4.2.4.4. Factor de seguridad.

El Factor de Seguridad (introducido tal vez por primera vez por Rankine en 1858) es el resultado de utilizar uno de estos métodos, usualmente es empleado por los Ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña.

Fellenius (1927) lo define como “la relación entre la resistencia al corte real y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla en un cuerpo libre en equilibrio” y presenta la siguiente ecuación

$$F.S = \frac{\tau f}{\tau d} = \frac{c + \sigma' \tan \varphi}{cd + \sigma' \tan \varphi d}$$

Donde:

τf = Esfuerzo cortante o resistente a la falla.

τd = Esfuerzo cortante actuante o deslizante en la falla.

c y cd = cohesión normal y cohesión deslizante.

σ' = Esfuerzo efectivo.

φ y φd = Ángulo de fricción interno normal y deslizante.

Cuando FS es igual a 1, el talud está en un estado de fallo inminente. En general, un valor de 1,5 para el factor de seguridad con respecto a la resistencia es aceptable para el diseño de un talud estable. Como se estipuló anteriormente, los esfuerzos cortantes se rigen bajo la ley de Mohr-Coulomb donde se define cohesión y esfuerzos totales o efectivos.

En la Tabla 6, se presenta los valores de factores de seguridad mínimos durante diseño y construcción según la Norma Ecuatoriana (NEC - SE - GC, 2014):

Tabla 6. Factores de seguridad mínimos

Condición **	Fs corte Mínimo	
	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Nominal	1.5	1.25
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.1
Carga Muerta + Carga Viva Nominal+ Sismo de diseño Pseudo estático	1.1	1.00*
Taludes – condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.5	1.25
Taludes – condición pseudo estática con agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de diseño	1.05	1.00*

Nota: Esta tabla muestra los factores de seguridad mínimos tanto para diseño y construcción de taludes. Tomado de: (NEC_SE_GC, 2014)

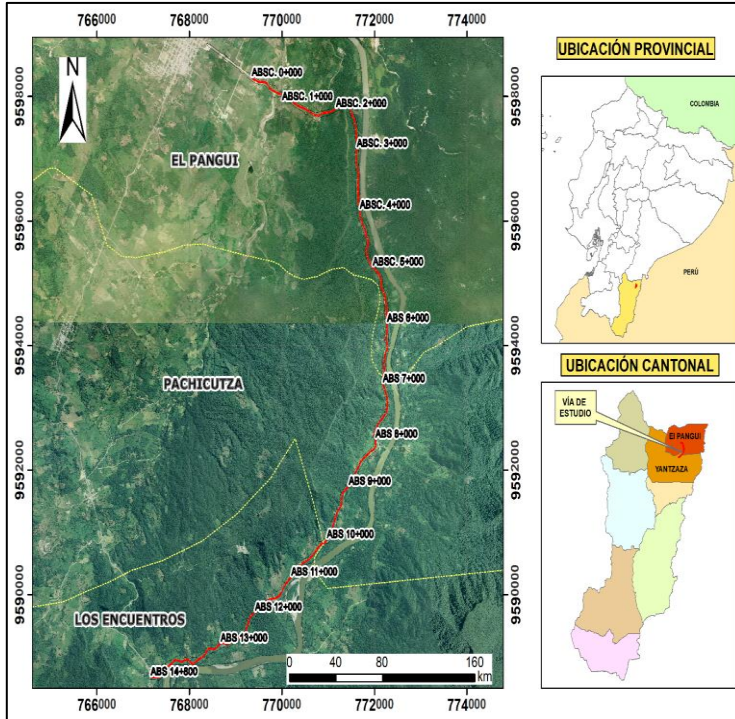
5. Metodología

5.1. Descripción general del área de estudio

5.1.1. Ubicación geográfica y acceso

El tramo vial de estudio se ubica al sur-oriental del territorio ecuatoriano en la provincia de Zamora Chinchipe, en los cantones de El Pangui y Yantzaza, cubriendo así las parroquias Pachicutza y la parroquia los Encuentros respectivamente. (Figura 8)

Figura 8. Ubicación geográfica de la vía de estudio.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Esta vía de tercer orden que parte de la calle Azuay (El Pangui) enlaza centros poblados importantes: Pasckuts, Tiuchka, Shakay, hasta llegar al sector denominado como el Pincho, con una total longitud total de 14.8 km. En la Tabla 7, se detallan las coordenadas geográficas de ubicación (UTM WGS84, Zona 17 Sur):

Tabla 7. Ubicación de los puntos de Inicio y Fin de la vía de estudio

Vía de estudio	DATUM WGS84	
	ESTE	NORTE
Coordenada Inicial (El Pangui)	769348	9598298
Coordenada Final (El Pincho)	767163	9588685

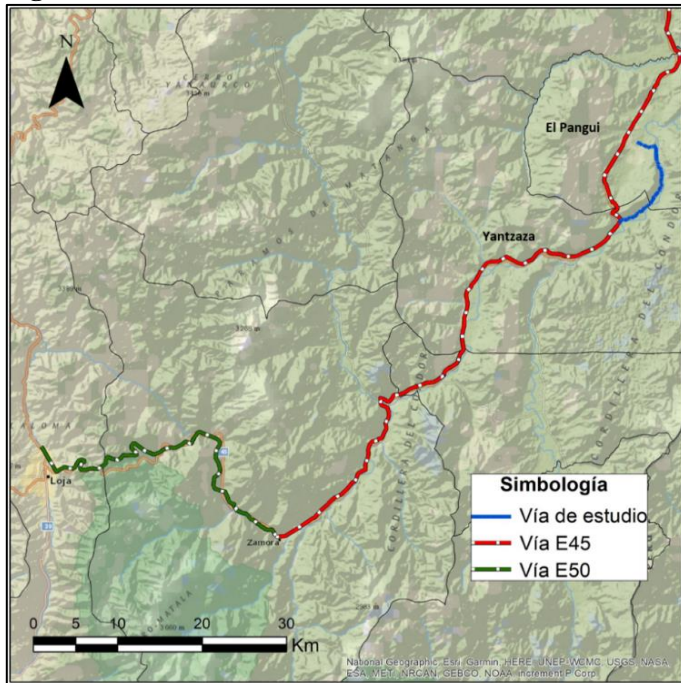
Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Para acceder a la zona de estudio se lo puede realizar de la siguiente manera (Figura 9):

Mediante vía terrestre, si se toma como referencia la ciudad de Loja la cual se encuentra a una distancia de 145 km se puede acceder a la zona a través de la vía de acceso de primer

orden Transversal Sur E50 y siguiendo la ruta se llega a Zamora a través de la vía E45 donde nos queda un recorrido de 85 km más, luego avanzamos al cantón Yantzaza y luego hasta el cantón El Pangui donde con dirección noreste giramos a la derecha con dirección a la calle Azuay hasta llegar a la abscisa 0+000 de la vía de estudio; el recorrido continúa a Shakay y finalmente hasta la vía del sector el Pincho que se conecta con la vía principal. El tiempo estimado de recorrido es de 03h27 min.

Figura 9. Acceso a la vía de estudio.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

5.2. Descripción biofísica del área de estudio

5.2.1. Clima y vegetación

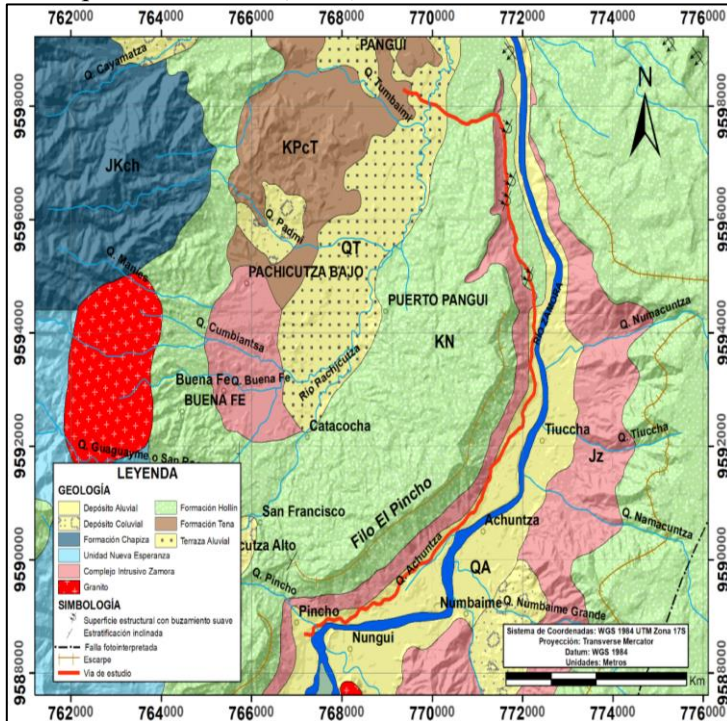
Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón El Pangui 2014-2019, menciona que el sector de estudio presenta un clima cálido húmedo donde su temperatura varía entre los 20°C a 24°C durante todo el año, la máxima temperatura promedio se registra en las partes más bajas con 24°C y la mínima temperatura promedio en las partes más altas con 18°C, el cantón se caracteriza por ser altamente lluvioso, con una precipitación anual que oscila entre 1750 y 2500 mm, una altitud que va desde los 748 msnm, hasta los 2178 msnm.

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Yantzaza 2014-2019, en el cantón el clima predominante es el Tropical Megatérmico Húmedo, este presenta precipitaciones durante todo el año, la media anual es de 1.980 mm, la temperatura media anual es de 23,2 °C y tiene un alto porcentaje de humedad relativa (más del 90%).

5.2.3. Geología Regional

La descripción geológica de la zona permite conocer la litología presente en la zona de estudio. El detalle de este apartado se realiza a una escala regional a partir de la cartografía geológica preliminar de las hojas de Paquisha (Hoja 76) del INIGEMM 2017 y de la hoja de Gualaquiza (Hoja 75) del año 1989, a escala 1:100 000.

Figura 11. Geología Regional del área de estudio. Modificado de las Hojas Geológicas de Paquisha y Gualaquiza INIGEMM (2017).



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

La geología regional del área de estudio se describe a continuación:

5.2.3.1. Lito estratigrafía.

5.2.3.1.1. Formación Hollín (KH).

Se observan afloramientos a lo largo de la vía de estudio comprende areniscas cuarzosas de colores blanquecinos, de grano medio a grueso, su textura es azucarada bien compacta, son producto de alteración hidrotermal y poco material ferruginoso, se presentan con intercalaciones de lutitas muy finas menores a 1cm de espesor, la estratificación es sub-horizontal buzando ligeramente hacia el este. Las rocas de esta formación van del Aptiense medio al Albiense tardío de la edad Cretácico inferior. La potencia de la formación Hollín va de 80 hasta los 240 m. y sobreyace discordantemente sobre la formación Chapiza, en el área de Panguí es posible que se

erosiono la formación Napo, razón por la cual se encuentra en contacto la Formación Hollín con la Formación Tena.

5.2.3.1.2. Formación Tena (KPCT).

Se observa afloramientos en el tramo inicial de la vía de estudio, se caracteriza por el cambio brusco de facies a las margas gris oscuras marinas de la Napo Superior, siguen las arcillas de la Formación Tena, simultáneamente se observa lutitas con intercalaciones de areniscas y escasos conglomerados, la potencia varía desde los 400 hasta los 600 m. Su edad incluye el cretácico terciario y parte del paleoceno inferior.

5.2.3.2. Depósitos Superficiales.

5.2.3.2.1. Depósito Aluvial (QA).

Localizados a orillas del río Zamora, litológicamente se constituye de bloques, cantos rodados, gravas de rocas ígneas intrusivas de composición intermedia a ácida y arenas gruesas y finas.

5.2.3.2.2. Terrazas Aluviales (QT).

Se trata de plataformas sedimentarias, que se constituyen de material arcilloso y arenoso.

5.2.3.3. Rocas Intrusivas.

5.2.3.3.1. Complejo Intrusivo Zamora (JZ).

Se encuentra meteorizado, su litología comprende granodioritas y su composición mineralógica característica es plagioclasa, anfíbol, piroxeno y cuarzo.

5.2.4. Geomorfología

La zona se encuentra incluida íntegramente en la región Amazonía, distinguiéndose los dominios Fisiográficos de la Zona Subandina, da lugar a las cordilleras del Cutucú y del Cóndor, constituida mayoritariamente por granitoides jurásicos del Batolito de Zamora, subyacente a las areniscas cretácicas de la Formación Hollín, Napo y Tena en algunas zonas; y el medio aluvial amazónico, este dominio está definido y representado por los ríos de la cuenca amazónica y sus depósitos asociados. (Val, 2015).

La geomorfología regional de la zona está estructurada por vertientes, superficies de meseta y relieves de la Cordillera en las partes altas y en las partes bajas por coluvios, valles y terrazas considerada como una zona bastante irregular por la morfología que presenta. (Ver Anexo 12)

Localmente, en base a la información generada por SIGTIERRAS a escala 1:25 000 del año 2016, se han identificado las siguientes geoformas con características morfométricas y litológicas propias. (Anexo 13)

5.2.4.1. Glacis de esparcimiento (Pd1).

Esta geoforma se localiza al inicio de la vía, se encuentra en pequeña extensión y, es más evidente en el cantón el Pangui, se identifica por su pendiente la cual es muy suave formado por una cobertera de depósitos de ladera que comprende gravas y bloques de angulosos a sub-angulosos, con proporciones variables de limos, arcillas y arenas.

Figura 12. Vista panorámica de un glacis de esparcimiento-Absc. 0+000.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

5.2.4.2. Coluvión Antiguo (Col2).

Esta morfología se presenta mediante depósitos de ladera (coluvial). Los materiales se originan a partir de la erosión laminar, erosión hídrica y la pendiente, está constituido por fragmentos angulares mal clasificados desde sedimentos hasta roca.

Figura 13. Vista panorámica de un depósito de coluvión antiguo en la absc. 8+900 limitado por vertientes rectilíneas.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

5.2.4.1. Valle Fluvial, llanura de inundación (F1).

Su origen se asocia al río Zamora, presenta pendientes planas y muy suaves entre 0 a 5%. Se caracteriza por la presencia depósitos aluviales transportados y de canales fluviales, su granulometría es diversa y con presencia de variación lateral y horizontal en sus facies, se desarrolla preferentemente en épocas de crecida.

5.2.4.2. Terraza baja y cauce actual (sobre excavación de cauce en llanura de inundación) (F2).

Esta geoforma, se asocia al río Zamora representa las franjas que rodean e incluyen al canal fluvial formando parte de la propia llanura de inundación, se componen de cantos y bloques de tamaño considerable y una baja proporción de finos especialmente arenas y limos, las pendientes son generalmente muy suaves de 2 a 5% y la forma del valle es plana.

Figura 14. Vista panorámica de la terraza actual y del cauce fluvial.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

5.3. Materiales y equipos

Para la presente investigación se han considerado los siguientes materiales y equipos, para cada una de las diferentes actividades a realizarse en el área de estudio, que se detallan a continuación:

Tabla 8. Materiales y equipos utilizados

<i>La información preliminar adquirida corresponde a las cartas geológicas siguientes:</i>	
Materiales de oficina	- Carta geológica de Paquisha (hoja 76, N VI-E) a escala 1:100 000 del año 2017.
	- Carta geológica de Gualaquiza (hoja 75, CT-ÑVI-C-3883) a escala 1:100 000 del año 1989.
	- Ortofotos a escala 1:5000 del año 2011.
	<i>Herramientas y softwares utilizados para el procesamiento de la información:</i>
- Softwares ArcGis 10.5	- Microsoft Office 2016
- Google Earth Pro	- Microsoft Excel 2013
- Google Maps	- Microsoft Power Point
- INFOPLAN 1:50 000	- Computador

	- Slide 6.0 - AutoCAD 2018	- Internet
Materiales de campo	- GPS - Libreta de campo	- Cámara fotográfica - Chaleco - Botas de campo
Topográfico	- Estación Total Sokkia IM- 55 - Trípode - Prismas	- Cinta métrica - Estacas - Machete, combo
Geológico	- Brújula tipo Brunton - Martillo geológico - Ácido clorhídrico (10%) - Cinta métrica de 50 m - Martillo de Schmith - Tablero	- Lápices de colores - Fundas Ziploc - Lápiz - Marcador permanente - Fichas de descripción de afloramientos
Laboratorio	- Juego completo de ensayo de corte directo - Equipo de corte directo	- Cazuela de casa grande - Espátulas - Balanza de precisión - Cápsulas - Ranurador
Geotécnico y Geofísico	- Equipo de S.P.T. - Perforadora - Cajas de sondeos geotécnicos - Tubería, recuperador de testigo (cuchara partida)	- Barreta y pala - Sismógrafo PASI GEA24 - Geófonos

Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

5.4. Métodos y técnicas

El presente trabajo “Caracterización geológica-geotécnica de la vía el Pangui – el Pincho, cantones el Pangui y Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe”, se desarrolló a partir de dos tipos de investigación: no experimental y experimental.

5.4.1. Investigación No Experimental

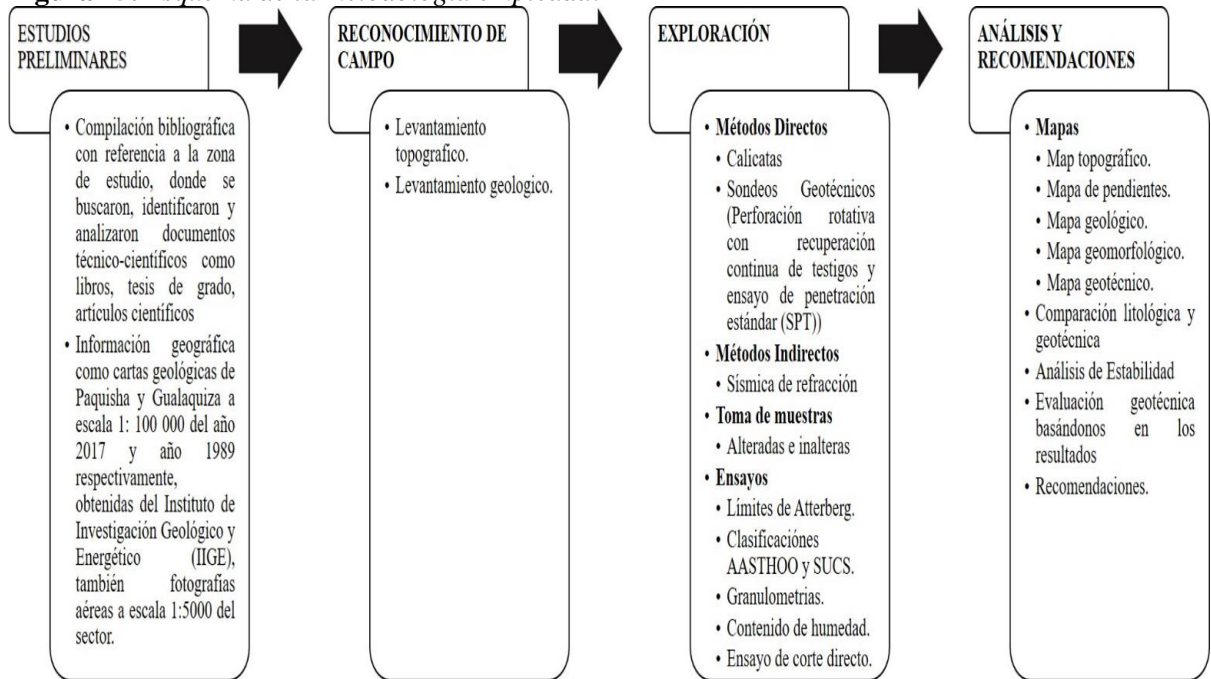
Según Cortés & Iglesias (2004), en la investigación no experimental no se debe manipular intencionadamente las variables a estudiar, únicamente se basará en la observación del proyecto en estudio, tal cual, en su estado natural o situación actual, para posteriormente analizarlo.

Basándose en este tipo de investigación, en el presente proyecto, se efectuó una visita técnica para conocer el área de estudio, conocer accesos, y las condiciones actuales de terreno, con la finalidad de determinar los puntos para llevar a cabo los ensayos.

5.4.2. Investigación Experimental

En la Figura 15 se indica un procedimiento ordenado que se siguió para dar cumplimiento a los objetivos planteados en la presente investigación.

Figura 15. Esquema de la metodología empleada.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

5.5. Metodología para el primer objetivo

Realizar el levantamiento geológico de la vía el Pangui -Pincho, sobre la base topográfica, en un ancho de 35 m a cada lado de su eje.

5.5.1. Levantamiento Topográfico

a) Metodología de campo.

La topografía de la vía se obtuvo a partir de la información digital base brindada por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Zamora Chinchipe a escala 1:1000 en el sistema de coordenadas WGS 84, sin embargo, la metodología para la obtención de la misma se describe a continuación:

Para el levantamiento se utilizó la estación total Sokkia IM- 55 (Figura 16), se ubicó en lugares estratégicos que facilitan la visualización de vías, quebradas, infraestructuras, además otros elementos de importancia y sobre todo el relieve mismo de la zona. Se levantó información consistente en coordenadas en tres dimensiones (Norte (X), Este (Y), y Elevación (Z)), tomando la mayor cantidad de puntos por estación, obteniendo así un valor mínimo de error en la información topográfica.

Figura 16. *Levantamiento Topográfico.*



Nota: Obtenido de: GAD Provincial Zamora Chinchipe, 2021.

b) Metodología de oficina

Terminado el levantamiento de campo se procedió a una fase de oficina donde se realizó la descarga de la información obtenida para la generación de curvas de nivel las cuales fueron generadas a cada 5 metros las curvas principal y a cada metro las curvas secundarias mediante el software Foresight, para luego en formato (.dwg) compatible con ArcGis 10.5, en este software se procede a editar dibujando todas las referencias necesarias que contengan la información total del levantamiento topográfico a detalle a escala 1:1000.

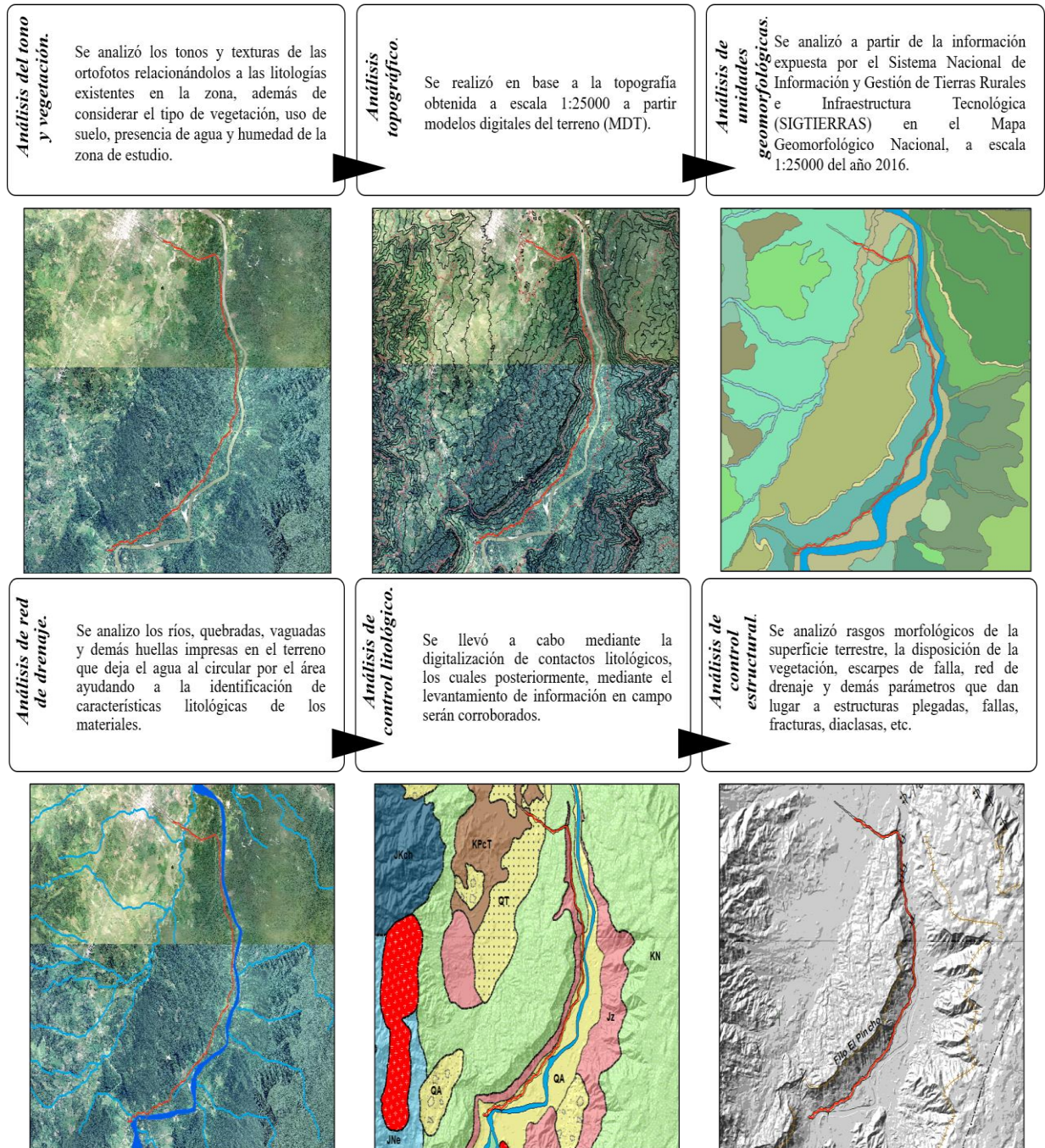
Esta información fue corroborada en campo mediante la toma de puntos de control con el GPS para realizar la descripción de los afloramientos.

5.5.2. Fotointerpretación

Para el desarrollo de la fotointerpretación del presente trabajo de investigación se realizó en base a las ortofotografías del Pangui y Yantzaza solicitadas al Ministerio de Agricultura y Ganadería a través de su programa SIGTIERRAS a escala 1:5.000 con resolución de 0.50 cm por pixel.

Una vez delimitada el área de estudio se procedió a analizar los aspectos fotogeológicos como la morfología, geomorfología, drenaje, vegetación y las estructuras geológicas. En la Figura 17, se muestra un esquema de estos parámetros para realizar el análisis.

Figura 17. Análisis de fotointerpretación.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

5.5.3. Levantamiento Geológico



a) Metodología de campo

En base a la topografía generada a escala 1:1000 y a las cartas geológicas de Paquisha y Gualaquiza a escala 1:100 000, se realizó la descripción detallada de los principales

afloramientos de origen natural o antrópicos distribuidos a lo largo de la vía de estudio, también se mapeo en las quebradas y río para identificar la composición litológica del sector de estudio.

Mediante el empleo de la Ficha de descripción de afloramientos (Tabla 9), este proceso se realizó a fin de determinar: litología, estructuras y otras características necesarias para la confección del mapa geológico. Los instrumentos de apoyo que se utilizó para realizar este trabajo son: brújula, GPS, martillo geológico, martillo de Schmith, ácido clorhídrico (10%), cinta métrica, además de fundas ziploc para la toma de muestras de mano.

Tabla 9. Ficha para descripción de afloramientos

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						 	
Proyecto: “CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE LA VÍA EL PANGUI – EL PINCHO, CANTONES EL PANGUI Y YANTZAZA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”							
Responsable:				Afloramiento N°			
Sector:				Abscisa			
Localización DATUM WGS84- 17S		Este		Norte		Altura (m.s.n.m)	
Tipo de afloramiento		<i>Natural</i>		Tipo de material		<i>Ígneo</i>	
		<i>Antrópico</i>				<i>Metamórfico</i>	
Medidas (m)		<i>Alto</i>		Tipo de roca		<i>Sedimentario</i>	
		<i>Ancho</i>					
Meteorización				Datos estructurales			
DESCRIPCIÓN							
FOTOGRAFÍA							

Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

b) Metodología de oficina

Una vez recopilada la información de campo se procedió a tabular las características geológicas de cada afloramiento en el software ArcGis 10.5, mismo que permitió generar sobre el mapa topográfico del área los shapefiles correspondientes a puntos y polígonos de las unidades litológicas.

5.5.4. Mapa de pendientes

Para confeccionar el mapa de pendientes se hizo uso del software ArcGis 10.5, tomando como base las curvas de nivel y el polígono del área de estudio. Primero se crea un modelo de elevación TIN (Triangle Regular Network o Red de Triangulación Regular), posterior se hace la conversión desde TIN a RASTER (modelo digital de elevación, DEM), luego haciendo uso de la herramienta de análisis espacial se genera la pendiente. Finalmente, se hace la reclasificación en este caso se empleó la clasificación en grados (°) propuesta por Demek (1972). (Tabla 10). Una vez terminado el mapa reclasificado de pendiente se convierte a formato vector, en donde se calculan los parámetros de área y porcentaje.

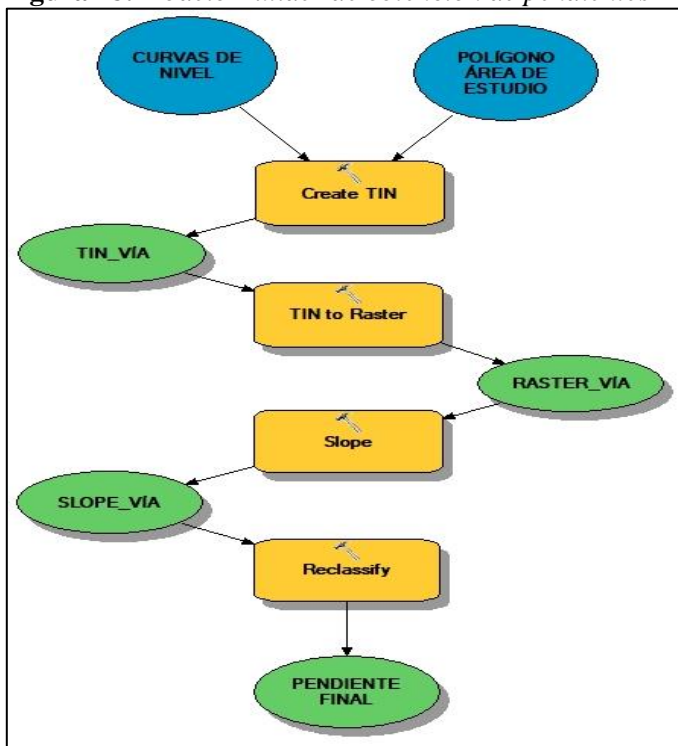
Tabla 10. Clasificación del ángulo de pendiente

Categoría (°)	Término de pendiente	Gradiente en %
0 - 5°	Ligeramente inclinado	3.5 – 8.7
> 5°- 15°	Fuertemente inclinado	8.7 – 26.8
> 15°- 35°	Muy inclinado	26.8 - 70
> 35°- 55°	Empinado	70 - 143
> 55°	Vertical	> 143

Nota: Tomado de: Demek. (1972)

En la Figura 18, se presenta un Modelo Builder, el cual indica los pasos seguidos para el modelo de pendientes.

Figura 18. Modelo Builder de obtención de pendientes



Nota: En esta imagen se observa el procedimiento para la obtención del mapa de pendientes. *Elaborado por:* Autora, 2022.

5.6. Metodología para el segundo objetivo

Obtener las propiedades físico – mecánicas de los geomateriales que conforman el tramo de estudio.

5.6.1. Exploración Geotécnica

La exploración geotécnica permite conocer las características físicas y mecánicas del terreno objeto de estudio, se dividió en: métodos directos e indirectos.

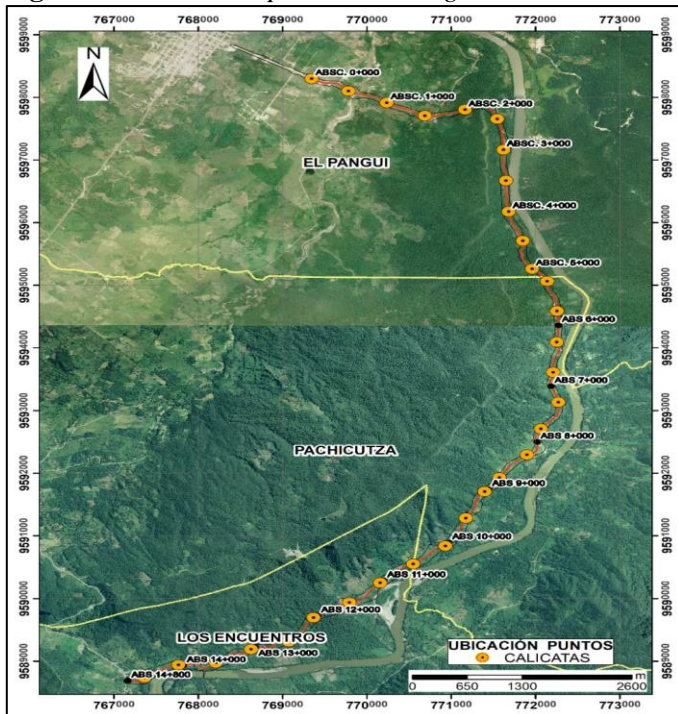
Los métodos directos se realizaron en primera instancia ya que posibilitan el acceso y observación directa al subsuelo, y posterior los métodos indirectos estos se realizaron con la finalidad de obtener propiedades del terreno a mayores profundidades.

5.6.1.1. Métodos Directos.

5.6.1.1.1. Calicatas.

Las calicatas fueron realizadas en zonas accesibles a lo largo de los márgenes de la vía, se realizaron un total de 31 calicatas de 1.50 m. de profundidad y 1 m. de ancho, a cada 500 metros. En las abscisas 0+000, 0+500, 1+000, 1+500, 2+000, 2+500, 3+000, 3+500, 4+000, 4+500, 5+000, 5+500, 6+000, 6+500, 7+000, 7+500, 8+000, 8+500, 9+000, 9+500, 10+000, 10+500, 11+000, 11+500, 12+000, 12+500, 13+000, 13+500, 14+000, 14+500, 15+000. (Figura 19)

Figura 19. Ubicación para calicatas geotécnicas.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

La ejecución de las calicatas fue llevada a cabo mediante medios manuales, es decir, mediante el uso de herramientas como palas, picos y barretas y en algunos casos por medios mecánicos; es decir, fue necesario el empleo de una minipala retroexcavadora, siguiendo el protocolo del laboratorio de la compañía Estsuelcon CIA. LTDA.

Las calicatas sirvieron para la toma de muestras alteradas a cada 50 cm. hasta la profundidad de 1.50 metros; es decir se tomó 3 muestras por calicata. A partir de las muestras tomadas se realizó ensayos de contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de Atterberg y clasificación de suelos según la AASHTO y SUCS. (Anexo 2)

5.6.1.1.2. Sondeos Geotécnicos.

Para determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo, y considerando parámetros como la pendiente, geomorfología y en función litología superficial, se definió dos puntos para la ubicación de los ensayos.

El primer punto en el Río Pachicutza (abcs. 0+560) situado a pocos metros del inicio de la vía en estudio, se evidencia depósitos aluviales de poca potencia constituidos por gravas subredondeadas de tamaño uniforme y algunos bloques de roca, seguido por terrazas aluviales de baja potencia con una matriz de suelo arcilloso y con un basamento constituido por lutita compacta (arcillas abigarradas) de coloración café clara. (Figura 20)

Figura 20. Geología local del sector de estudio; se observa gravas del depósito aluvial y otros bloques de roca en el cauce de la Río Pachicutza



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

El otro punto se consideró a la altura de la Quebrada Pincho (abcs. 14+460) al final de la vía de estudio, la litología aquí se encuentra conformada por depósitos coluvio-aluviales compuestos por suelos areno limosos y areno arcillosos con presencia de fragmentos y bloques de roca de arenisca y granodiorita. (Figura 21)

Figura 21. Geología local del sector de estudio; se observa la presencia de bloques de arenisca y algunos de granodiorita en el cauce de la quebrada Pincho



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

En estos puntos se realizó ensayos de perforación rotativa con recuperación continua de testigos con máquina de perforación y ensayos SPT a cada metro o hasta donde el material permita realizarlo. La profundidad de exploración fue de 20 metros. El equipo de perforación utilizado constó de una perforadora GXY-2C de 8 velocidades, un trípode de acero, tubería helicoidal de 1.5 m (Figura 22). Este ensayo brinda información necesaria para determinar tanto la litología del subsuelo, la profundidad a la que se encuentra el nivel freático de los estratos.

Figura 22. Sistema de perforación: a) Río Pachicutza, b) Quebrada Pincho



Nota: Obtenido de: Estsuelcon, 2022.

El ensayo de penetración estándar (SPT) es una herramienta que nos permitirá determinar el comportamiento del terreno, especialmente respecto a la capacidad de carga, consiste en hincar un muestreador de tubo partido con el fin de obtener el índice de resistencia a la penetración que ofrecen los suelos al ser ensayados por un penetrómetro, el cual es hincado a percusión mediante un martinete de 63.5 Kg bajo la caída libre de 75 cm a través de un tubo guía. El equipo utilizado para los SPT's estuvo conformado por un motor de combustión interna con 8 HP de potencia, un trípode a una altura aproximada de 1,30 m, pesa de seguridad de 140 \pm 2 lb, tubos de 1.5 m, tubo bipartido con punta de acero (Figura 23).

Los ensayos de penetración estándar (S.P.T) son ejecutados de acuerdo a la norma ASTM-1586. Además, para la realización de estos ensayos se utilizaron otras herramientas como flexómetro, hojas de campo, marcadores, fundas, etiquetas.

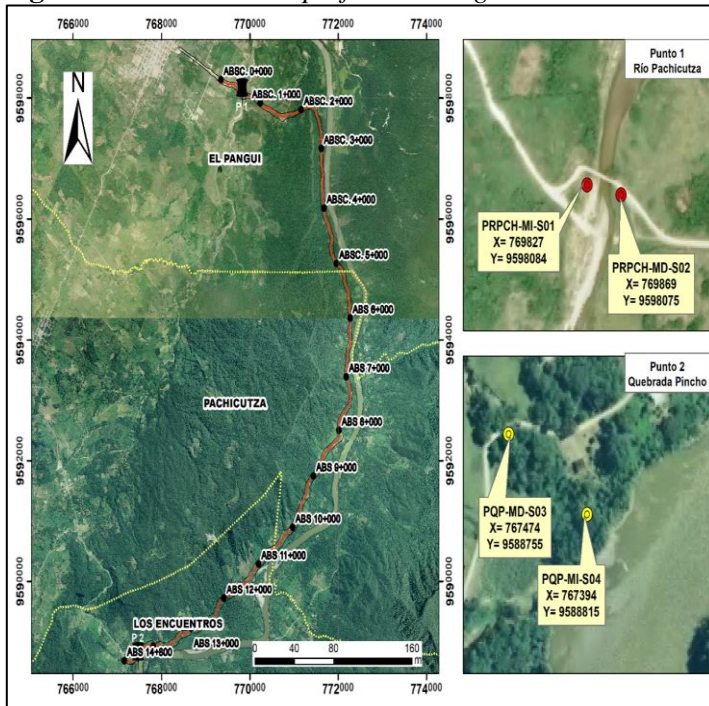
Figura 23. *Equipo para los sondeos geotécnicos.*



Nota: Obtenido de: Estsuelcon, 2022.

Se realizaron 4 ensayos, y se hicieron de la siguiente manera: dos ensayos a la altura del Río Pachicutza tanto al margen derecho como al margen izquierdo y en la Quebrada Pincho del mismo modo se distribuyó dos perforaciones tanto al margen derecho e izquierdo (Figura 24). Estos ensayos estuvieron a cargo de la compañía Estsuelcon CIA. LTDA.

Figura 24. *Ubicación de perforaciones geotécnicas*



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

5.6.1.2. Método Indirecto

5.6.1.2.1. Sísmica de Refracción.

a) Metodología de campo

La prospección sísmica se realizó con los equipos del Laboratorio Estsuelcon y consistió en la ejecución de dos líneas sísmicas de 60.00 m para la recepción de las ondas Vp.

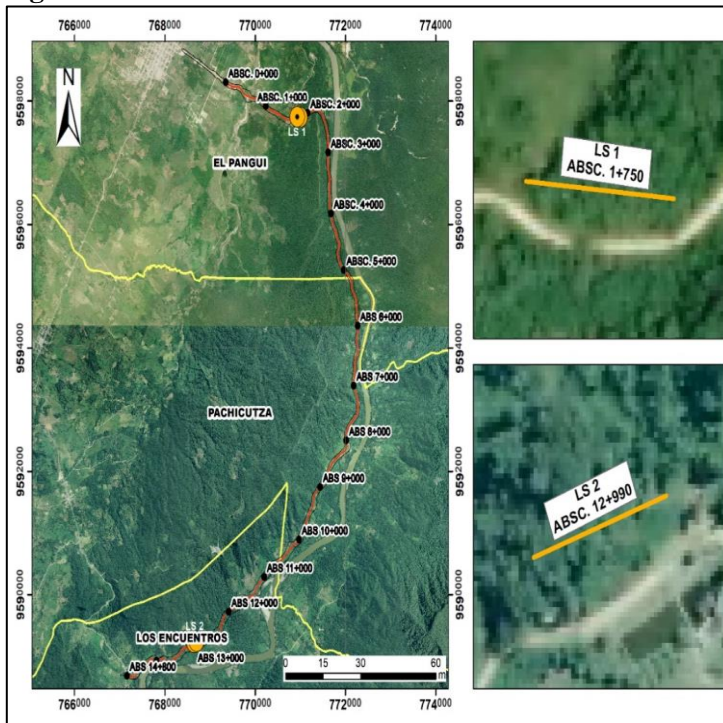
En la Tabla 11 se definen sus coordenadas de ubicación, la cual fue en base a las condiciones del terreno, su localización se indica en la Figura 25.

Tabla 11. Coordenadas de ubicación de líneas sísmicas realizadas.

Línea Sísmica	ABCS.	Coordenadas WGS84 17S			
		INICIO		FINAL	
		Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)
LS 1	1+750	770991	9597735	770932	9597740
LS 2	12+990	768650	9589222	768703	9589240

Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Figura 25. Ubicación de las líneas sísmicas realizadas



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

El equipo utilizado para la sísmica de refracción, fue el sismógrafo PASI GEA24, tiene 24 canales y cuenta con el registro de ondas longitudinales y transversales, mediante geófonos horizontales y verticales respectivamente de 60.0 m y 14 Hz. (Figura 26). Entre otros accesorios varios tales como: detonantes, dinamita, mecha, mazo, cinta métrica, machete, fósforos, sombrilla, etc.

Figura 26. Equipo de Sísmica PASI GEA24 (Izquierda) y Tendido de cables (Derecha)



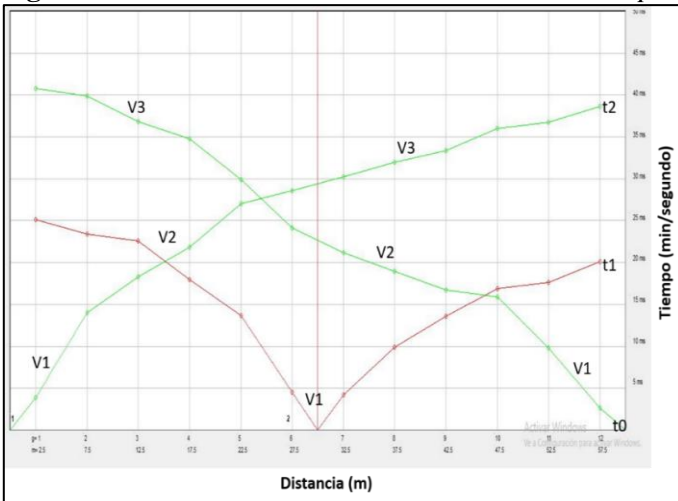
Nota: Obtenido de: Estsuelcon, 2022.

Durante la prospección sísmica se utilizó la metodología Z-Z, dicho de otra manera, se empleó geófonos verticales con disparos en sentido vertical. Se realizaron tres disparos y/o detonaciones: dos disparos en los extremos de la base a 1.25 m de distancia de los geófonos 1-12 y uno entre los geófonos 6 - 7 (detonación intermedia), la separación entre geófonos es de 2.5 metros.

b) Metodología en oficina

Con los registros obtenidos en el campo (Sismogramas), el proceso de interpretación constó de correlacionar facies y la determinación de las primeras llegadas de las ondas refractadas en los sismogramas de campo, se procedió a la utilización del Software WinSism, el mismo que permite realizar gráficos de la distancia Vs tiempo, (Dromocrona) (Figura 27)

Figura 27. Domocronica de la LS1, resultado de interpretación.



Nota: Obtenido de: Estsuelcon, 2022.

Las ondas Vs, se determinaron de acuerdo a la metodología establecida por Kramer S.L., para los suelos y rocas, mismo que recomienda que para estudios geotécnicos se tome la relación

$V_p/V_s=1.75$. Las ondas V_p de las diferentes capas de suelo, se obtuvieron de la sismica de refracción.

Una vez conocidas las velocidades V_p y V_s podemos calcular en forma aproximada los parámetros dinámicos-elásticos; módulo de Poisson, módulo dinámico de Young, módulo de deformación y establecer una correlación con los parámetros estáticos.

El laboratorio Estsuelcon obtuvo los parámetros dinámicos y estáticos empleando las siguientes ecuaciones tomadas de un Simposio de autores rusos, japoneses, americanos y europeos y las mismas son las siguientes:

Ecuación 1. Relación de Poisson

$$v = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

Ecuación 2. Peso unitario

$$\delta = \delta_0 + 0.002V_p$$

Ecuación 3. Módulo de Young

$$E_{din} = \delta V_s^2 \left(\frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2} \right)$$

Ecuación 4. Módulo estático

$$E_{sta} = \alpha \left(\frac{E_{dinamico}}{E_{dinamico\acute{m}ax}} \right)^\beta \times E_{dinamico}$$

Ecuación 5. Módulo de deformación

$$E_{def} = 0.045 \times \text{ModuloEstatico} + 70 \text{ Kg/cm}^2$$

Ecuación 6. Módulo dinámico de corte

$$G = \delta \times V_s^2$$

Ecuación 7. Capacidad de carga según Mayerhoff

$$q_a = \frac{exRp}{40}$$

$$q_a = \frac{1'' \times 4N}{40} = \frac{N}{10}$$

$$N = (0.0284V_p - 7.6)$$

N-Golpes.

qa- Capacidad de carga.

Ecuación 8. Ángulo de rozamiento interno (DUNHAM)

$$\phi = (12N)^{0.5} + 25$$

>1.25	Activa	Montmorillonita	Alto
-------	--------	-----------------	------

Nota: Tomado de: Skempton & Macdonald (1956)

5.6.2.2. Laboratorio Muestras inalteradas.

A partir de la caracterización geológica se determinó 10 sitios para la extracción de muestras inalteradas. Sobre las muestras inalteradas obtenidas se realizó el ensayo de corte directo de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM 3080 – 11, en el cual a una muestra inalterada tallada se la coloca en un anillo de corte de 36 cm², le aplicamos una fuerza de corte a diferentes cargas (0,5, 1, 2 Kg/cm²), para determinar la cohesión y el ángulo de fricción, el desplazamiento mínimo es de 0,6 mm, una velocidad de 0,05 mm/min y un tiempo mínimo de ensayo de 15 minutos para suelos cohesivos.

El ensayo para las muestras en función del drenaje es el propuesto en la norma ASTM que en este caso es UU (sin consolidar sin drenaje), para lo cual se usó la máquina de corte directo del laboratorio de suelos Estsuelcon CIA. LTDA. (Figura 28)

Figura 28. Proceso para llevar a cabo el ensayo de corte directo



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

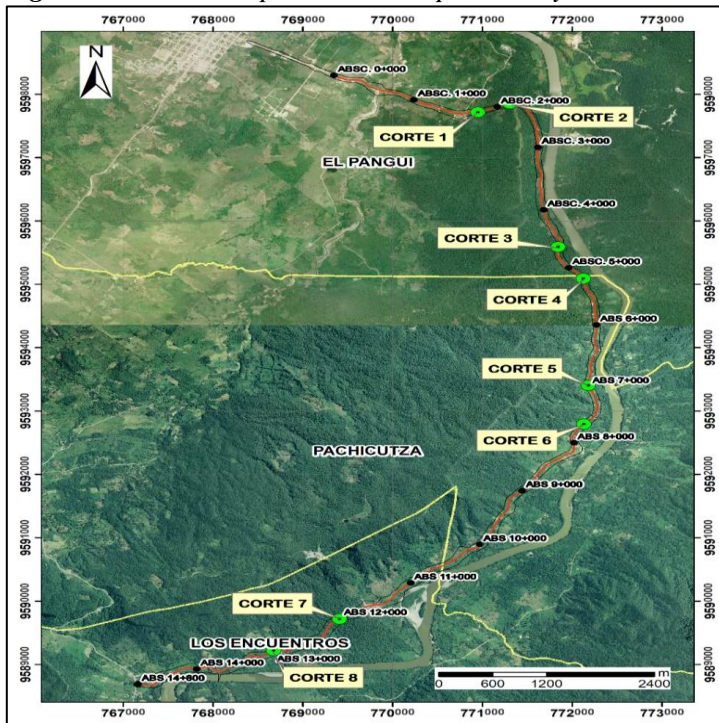
En la Figura 29 se detalla su ubicación y en la Tabla 15 se detalla sus coordenadas:

Tabla 15. Coordenadas de las muestras inalteradas.

Ensayos	Coordenadas		Absc. Referencia
	ESTE	NORTE	
Muestra 1	770952	9597714	1+880
Muestra 2	771306	9597850	2+150
Muestra 3	771843	9595590	4+630
Muestra 4	772127	9595087	5+245
Muestra 5	772180	9593401	6+985
Muestra 6	772131	9592790	7+640
Muestra 7	769412	9589714	12+050

Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Figura 29. Ubicación para muestras para ensayos de corte directo



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

5.7. Metodología para el tercer objetivo

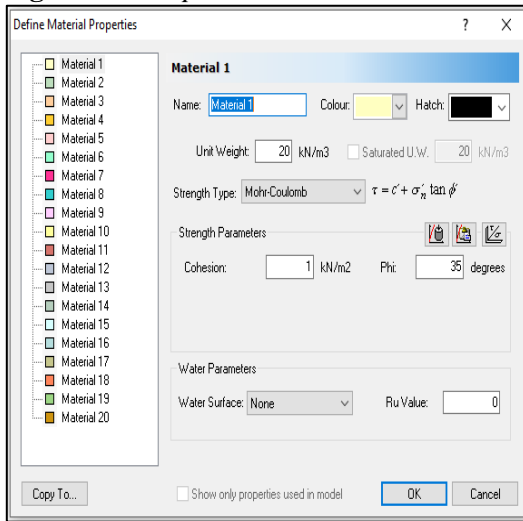
Determinar la estabilidad de la vía en el tramo de estudio mediante la obtención de un Factor de Seguridad.

5.7.1. Análisis de estabilidad.

Para este análisis de estabilidad, primeramente, se procedió al modelamiento de taludes, los cuales se eligieron en base a su altura, su litología y topografía en este caso se consideró aquellos taludes que van a ser cortados y representan amenaza de desestabilización que pueda afectar a la vía.

Para el cálculo del factor de seguridad se realizó un análisis mediante el software Slide 6.0. desarrollado por Rocscience In., aquí se procedió a importar la geometría del talud y el tipo de material, mismos que fueron realizados previamente en el Software AutoCAD. Posterior se ingresaron valores de peso específico, ángulo de fricción y cohesión. (Figura 30)

Figura 30. Propiedades del material.

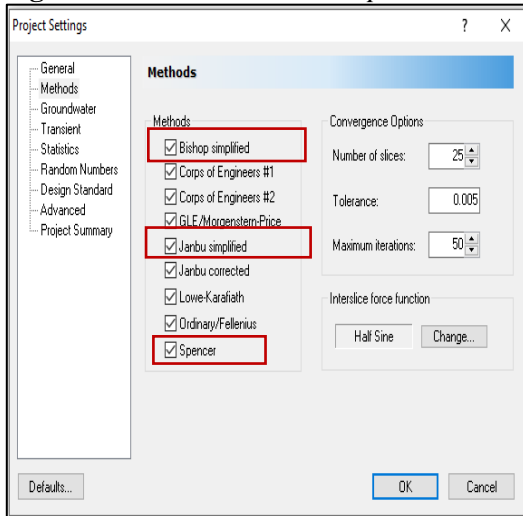


Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Se genera una cuadrícula de 20 x 20 y consecutivamente el programa computacional realiza el cálculo aleatorio de las posibles superficies de falla y arroja como resultado final el Factor de Seguridad mínimo más probable con su respectiva superficie de falla, mediante el criterio de rotura de Mohr-Coulomb.

Además, se ha considerado para esta investigación determinar el factor de seguridad tanto para condiciones normales y condiciones saturadas por medio de los métodos de Bishop Simplified, Janbu Simplified y el método de Spencer (Figura 31) debido a la disponibilidad de datos y su precisión.

Figura 31. Métodos utilizados para obtener el factor de seguridad.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

6. Resultados

6.1. Topografía

La topografía del área de estudio es irregular, se obtuvo en base al levantamiento realizado por parte del Gobierno Autónomo Descentralizado de Zamora Chinchipe.

El levantamiento fue realizado a lo largo de la vía en estudio de 14.8 km, comprende cotas de elevación que van desde los 760 hasta 818 m.s.n.m, existiendo un desnivel de 58 m. Las curvas de nivel secundarias se representan a cada metro, y las principales a 5 m.

Además, se consideró la infraestructura presente en el sector, refiriéndose a muros, casetas y casas cuya distribución se encuentra en mayor parte en el centro poblado Shakay; se complementó con la red hídrica; se representó también sistemas de alcantarillado y postes de alumbrado público.

Con todo esto se elaboró el mapa topográfico a escala 1: 1000, el mapa está referenciado con un sistema de coordenadas con proyección UTM WGS 84, Zona 17 Sur. (Ver Anexo 10)

6.2. Geología Local

Para la elaboración del mapa geológico a detalle se hizo la descripción en base a cuarenta afloramientos encontrados a lo largo del tramo vial en la zona de estudio, estos han sido referenciados con sus respectivas coordenadas, en el Anexo 1, se describe cada uno de estos afloramientos.

El área de estudio se evidencian 4 tipos de litologías: arcillas abigarradas, arenisca cuarzosa, y en gran parte una serie de depósitos superficiales que se acumulan en las vertientes y partes bajas que han sido transportados principalmente por la acción del agua (depósitos aluviales) y por gravedad (depósitos coluviales).

A continuación, se describe cada una de ellas:

6.2.1. Formación Tena

6.2.1.1. Depósito de arcillas abigarradas.

6.2.1.1.1. Arcillas abigarradas cafés.

Al iniciar el tramo vial en las abscisas 0+000 – 1+495 (Figura 32), se encuentran arcillas abigarradas de tonalidades café claro y tonos grisáceos con presencia de cobertura de aluviales que están depositados sobre la Formación Tena.

En la abscisa 0+200 (Figura 33), en el margen derecho del tramo vial existe un relleno con material antrópico tipo aluvial, que es común en la zona para la formación de plataformas.

Figura 32. Arcillas abigarradas, absc. 0+000



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Figura 33. Material antrópico de tipo aluvial (absc. 0+200, margen derecho del tramo vial).

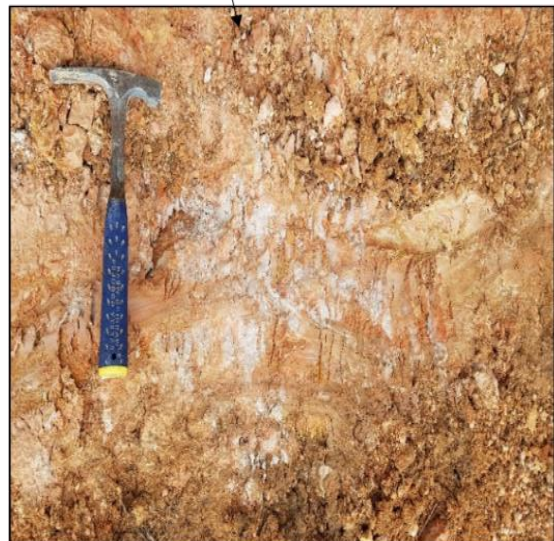
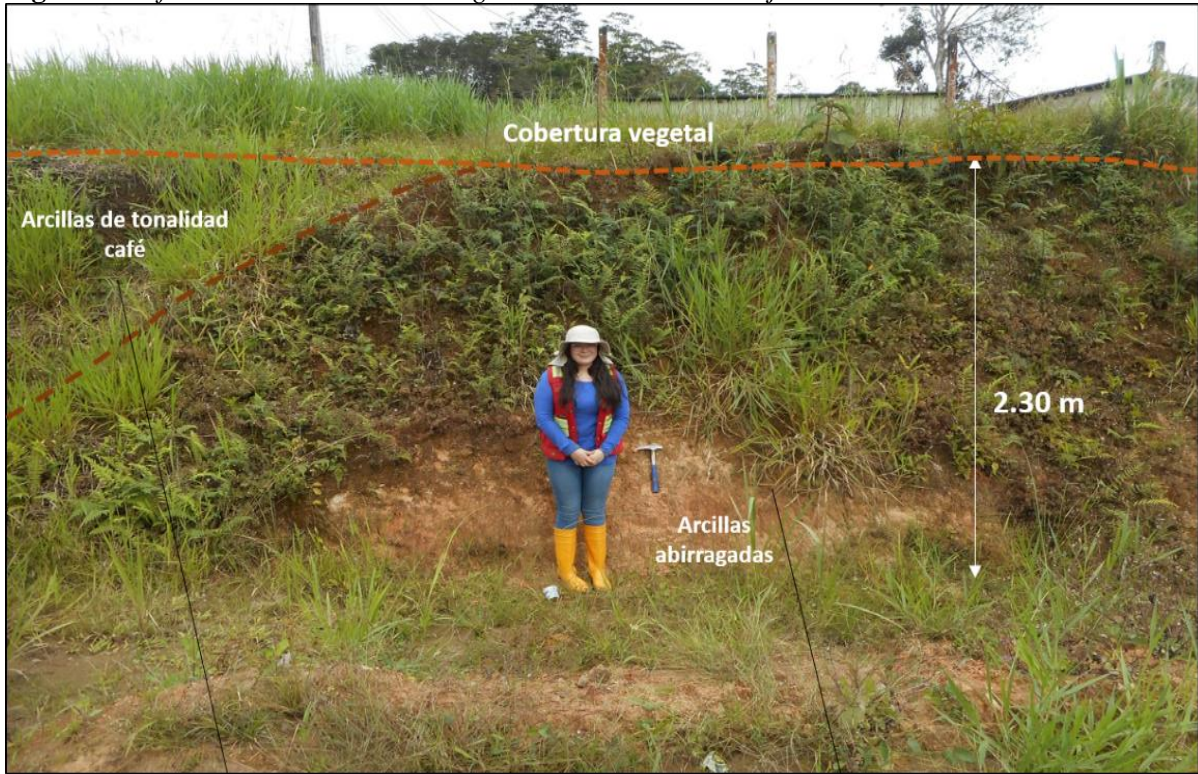


Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

6.2.1.1.2. Arcillas abigarradas rojizas.

Las arcillas abigarradas de tonalidad rojizas se hallan a lo largo del tramo en las abscisas 1+495 - 1+755, aflora en el sector de la comunidad Pachikuts, se encuentran intercaladas con arcillas de tonalidad grisáceas de la formación Tena. Tiene una potencia de 2.30 metros, está cubierto por una capa vegetal de 9 centímetros.

Figura 34. Afloramiento de arcillas abigarradas de tonalidad rojiza.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

6.2.1.1.3. Arenas arcillosas.

Esta litología se presenta en las abscisas 0+330 a la 0+390 se compone de arena limosa con tonalidades de café claro a grisáceo con presencia de clastos mal sorteados graníticos y granodioríticos sub-angulosos.

Figura 35. a) Arena limosa café claro, b) Arena limosa de tonalidad marrón con tonalidades grisáceas



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

6.2.2. Formación Hollín

Las areniscas cuarzosas son rocas sedimentarias de la Formación Hollín, afloran a lo largo del tramo en las abscisas 1+755 - 1+830, se presentan en forma de rocas altamente meteorizadas, cubierta en su totalidad por una capa vegetal constituida de árboles y arbustos de baja altura.

Figura 36. Roca arenisca, altamente meteorizada.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Se obtuvo orientaciones de $343/30^\circ$ (Dip.Buz/Buz) en promedio con variación del buzamiento entre 25 a 35 grados.

Figura 37. Medida de datos estructurales en afloramiento de areniscas

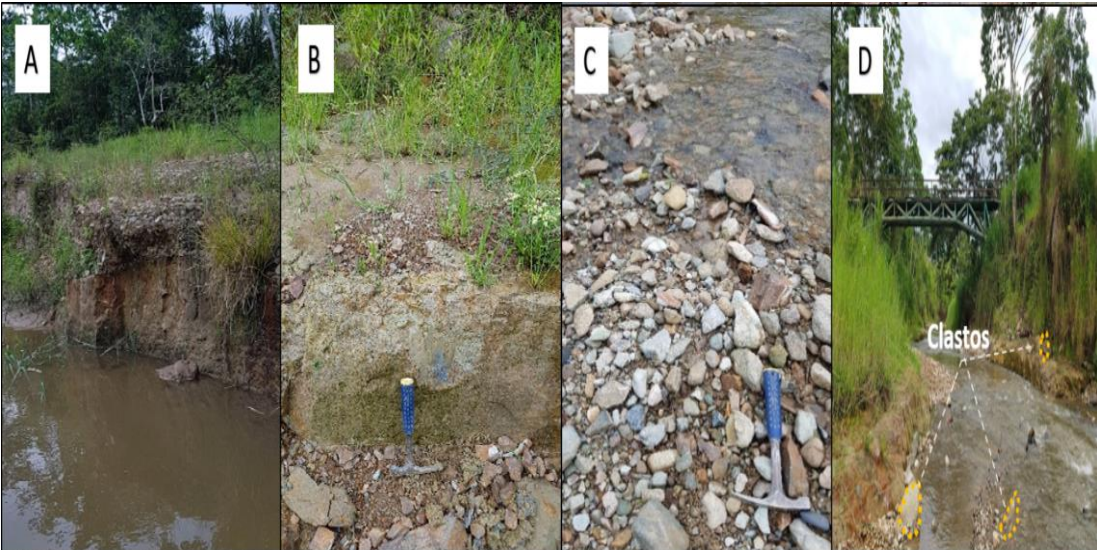


Nota. Elaborado por: Autora, 2022.

6.2.3. Depósito aluvial

Este tipo de litología son depósitos poco consolidados en forma de terrazas aluviales que se encuentran a las riberas de río Pachicutza (0+552 - 0+630) y de la quebrada Pincho en los tramos: 1+830 - 1+835 y 14+469 - 14+478, están constituidos por clastos predominantemente graníticos de diferentes tamaños, pertenecientes a las litologías cercanas, se debe destacar que en la mayor parte de estos depósitos se encuentran en contacto con depósitos coluviales.

Figura 38. a) Potencia de arcilla, b) basamento de arcilla, c) clastos graníticos y d) cauce del Río Pachicutza.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Al margen del río Zamora (abscisa 3+460) está el aluvial que se encuentra gobernado por material arenoso, sin afloramiento de gravas visibles.

Figura 39. *Aluvial del Río Zamora.*



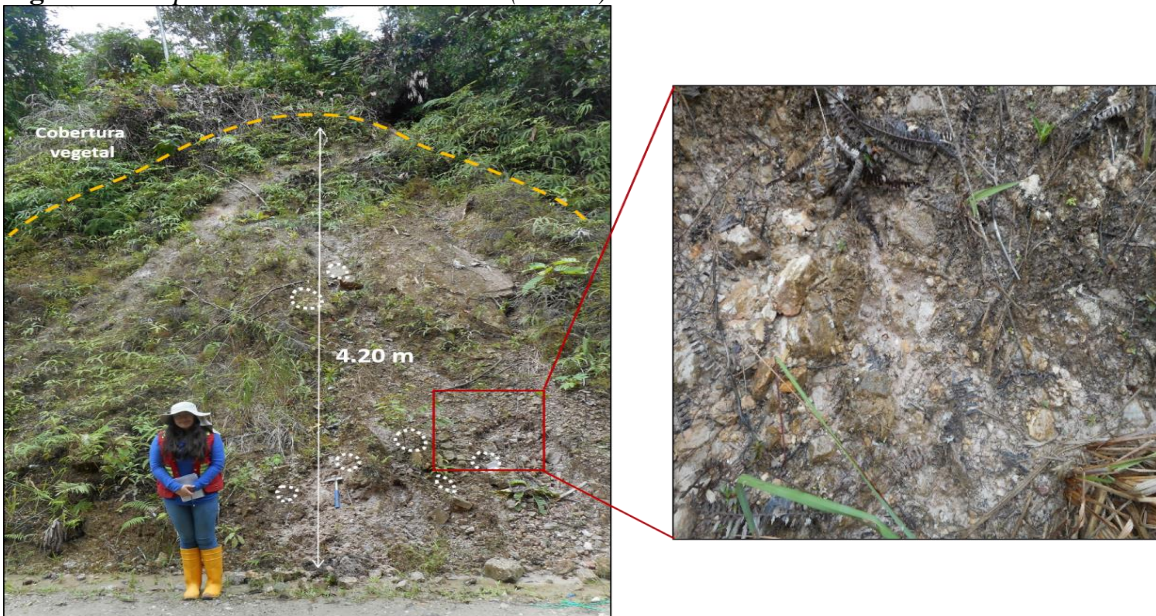
Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

6.2.4. Depósito coluvial

6.2.4.1. Depósito coluvial de arenisca.

Son acumulaciones locales sin mucho transporte de materiales como bloques y gravas angulosas a sub-angulosas con una matriz por lo general conformada por arena, limos y arcillas, este afloramiento tiene una potencia de 4.20 metros, hay presencia de humedad. Este material se encuentra en las abscisas 1+833 a la 2+264.

Figura 40. *Depósito coluvial de areniscas (1+900).*



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

En base a la geología de la zona se ha podido definir tres tipos de depósitos:

6.2.4.1.1. Coluvio de arena limos y arcillas.

Figura 41. Depósito de arenas, limos y arcillas y con presencia de bloques de arenisca.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

En las abscisas 2+265 a la 3+320 son acumulaciones de depósito de coluvios de arena, limos y arcillas de tonalidades cafés y en las abscisas 11+780 a la 14+800 hay presencia de bloques esporádicos centimétricos a métricos de arenisca con una matriz de arena, limos y arcillas.

6.2.4.1.2. Coluvio arena limos y arcillas con bloques frecuentes de arenisca y granodiorita

Figura 42. a) Presencia de bloques granodioríticos, b) Toma de resistencia de un bloque de granodiorita y c) Presencia de bloque de microconglomerado.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Los bloques que predominan dentro del material coluvial son del tipo arenisca; sin embargo, también podemos encontrar bloques aislados de rocas graníticas procedentes de la meteorización del complejo intrusivo de Zamora, en campo mediante el martillo de Smith se obtuvo una resistencia de 32MPa, así mismo se pudo observar presencia de un bloque de micro conglomerado de clastos cuarcíticos relacionado con la formación Hollín. Estos materiales se encuentran en los tramos: 3+320 - 6+745.

6.2.4.1.3. Coluvio arena limos y arcillas con bloques esporádicos de arenisca y granodiorita

Figura 43. Depósito de arena, arcillas y limos con presencia de bloques de arenisca



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

En las abscisas comprendidas del km 6+740 al km 11+195 se encuentra depósito de arenas, arcillas y limos con bloques de arenisca de tamaños centimétricos a métricos y esporádicos bloques granodioríticos.

6.2.4.2. Depósito coluvio –aluvial.

Son materiales que se originan a partir del aporte de sedimentos coluviales de las vertientes y los transportados por el drenaje de quebradas.

Están constituidos por bloques angulosas a subangulosas distribuidas en forma caótica, sin selección ni estratificación aparente, con regular a pobre consolidación además de arenas que están sujetos a cambios de volumen de material, ya sea por aporte de materiales nuevos o erosión de los ya existentes, durante el aumento de caudal del drenaje. Estos depósitos lo encontramos en las abscisas: 11+200 a la 11+660.

Figura 44. Depósito aluvial de la quebrada Pincho.



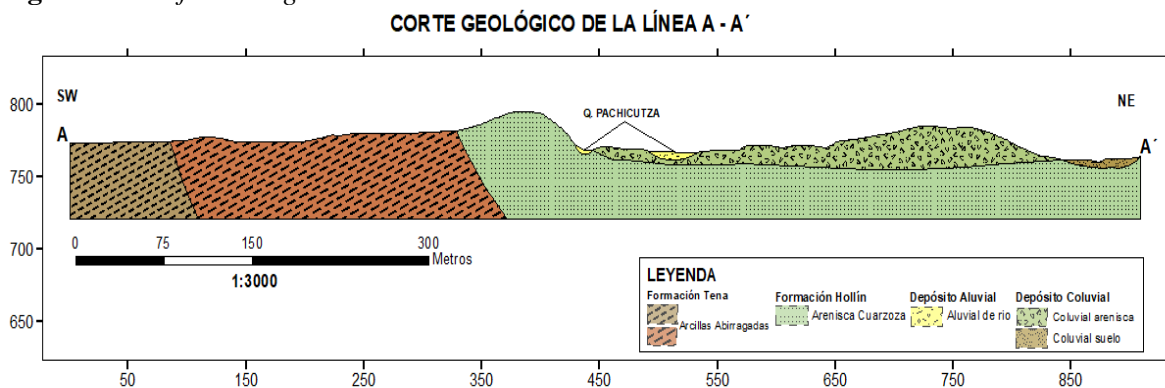
Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

En el Anexo 15, se muestra el mapa de geología local a detalle, con sus respectivos cortes geológicos, que se describen a continuación:

➤ **Corte Geológico A-A'**

En la Figura 45 se presenta el corte geológico A-A', con una longitud topográfica de 906.18 m y una orientación SW-NE. El corte geológico A-A' atraviesa contactos inferidos entre la formación Tena que se constituye de arcillas abigarradas de tonalidad cafés y rojizas con una potencia de 327 metros y la formación Hollín constituida de areniscas cuarzosas tiene una estratificación sub-horizontal con buzamiento de 35°, la potencia es de 557 m. Además, se evidencia depósitos aluviales de la quebrada Pachicutza, constituido de cantos, gravas redondeados y arenas y hacia el flanco derecho se han depositado coluvios de arenisca con una matriz de arena, limos y arcillas.

Figura 45. Perfil Geológico A-A'

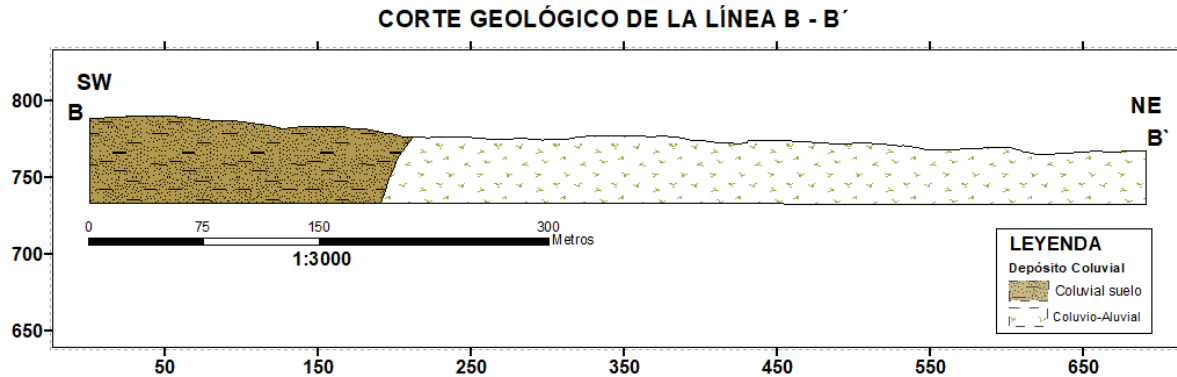


Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

➤ Corte Geológico B-B'

En la Figura 46 se presenta el corte geológico B-B', con una longitud topográfica de 693 m y una orientación SW-NE. El corte geológico B-B' atraviesa depósitos coluviales constituido de arena, limos y arcillas con presencia de clastos de arenisca con una potencia inferida de 201 m y deposito coluvio-cialuviales producto de la acumulación de material proveniente de vertientes de las partes altas, con una potencia de 492 m.

Figura 46. Perfil Geológico B-B'



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

6.3. Geología estructural

Localmente por las condiciones geológicas, geomorfológicas y climáticas gran superficie del área de estudio está cubierta por depósitos superficiales (aluviales, coluviales y suelos de variada afinidad), por ende, no se ha podido identificar rasgos estructurales importantes.

Mediante la fotointerpretación de dos ortofotografías del Pangui y Yantzaza a escala 1:5000, se observó evidencias de estructuras regionales asociadas al área de estudio (Figura 48), las cuales no afectan directamente a la vía de estudio. A continuación, se describe lo identificado:

Evidencia 1: *Estructura de escarpe erosionado*

La presencia de zonas escarpadas se asocia a eventos geológicos donde se presentó un levantamiento tectónico que genera una superficie con un gradiente en el cual se facilita la ocurrencia de procesos de erosión. En campo se lo pudo evidenciar (Figura 47), está constituido por roca sedimentaria estratificada de la Formación Hollín, con un rumbo general hacia el NE de la fotografía con una dirección de buzamiento hacia el SE y aparentemente tiene un ángulo de buzamiento alto.

Figura 47. *Escarpe Filo el Pincho*



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Evidencia 2: *Fallas paralelas*

Las evidencias de estas fallas, esta determinados por la alineación topográfica que están interrumpiendo la estratificación de la roca del área de estudio misma que presenta un desplazamiento lateral.

Evidencia 3: *Faceta triangular*

Las facetas Triangulares son estructuras geomorfológicas generalmente triangulares, son indicativas de la presencia de falla sobre todo de su movimiento, se observó dos de estas estructuras; una de ellas posiblemente pertenezca a una falla que controla el curso del río en ese sector y la otra esta erosionada, pero se denota su presencia.

Evidencia 4: *Falla asociada al Río Zamora*

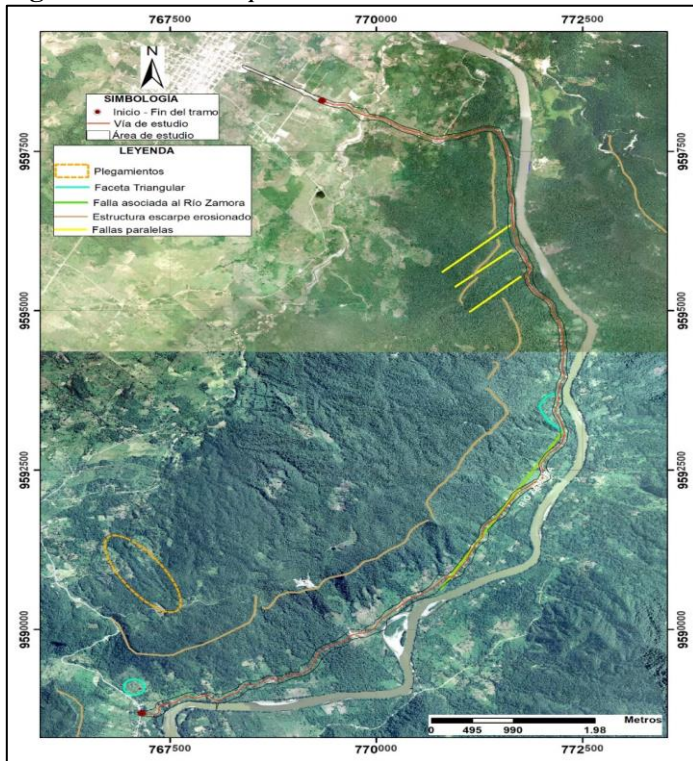
Su presencia se refiere a la observación de la geoforma erosionada, posiblemente se refiere al control del cauce del río, hay un control topográfico rectilíneo posiblemente indique una falla localizada que generalmente puede estar fosilizada por los sedimentos del río.

Evidencia 5: *Plegamientos*

Presenta geoformas características de plegamientos, posibles anticlinales y sinclinales alargados con exposición del eje axial.

Además, se ha podido diferenciar las litologías especialmente el contacto entre los sedimentos del río y las rocas sedimentarias por la presencia de vegetación observando el cambio de coloración.

Figura 48. Fotointerpretación del área de estudio



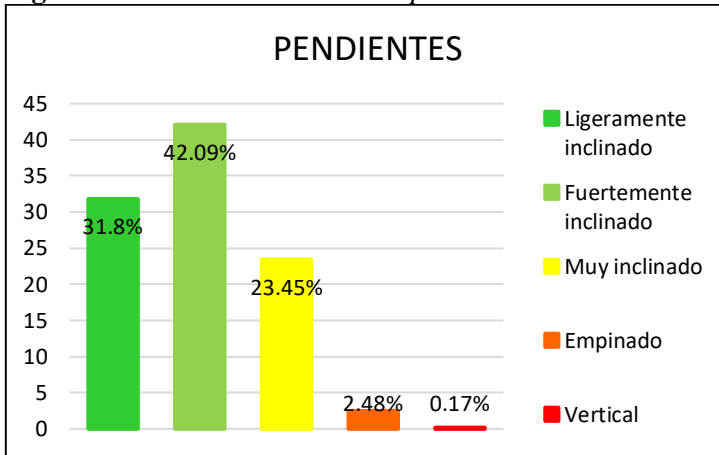
Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

6.4. Pendientes

Las pendientes en el área de estudio se calcularon mediante el software ArcGIS 10.5, utilizando la clasificación propuesta por Demeck (1972), donde se ha considerado cinco clases: ligeramente inclinado, fuertemente inclinado, muy inclinado, empinado y vertical, con valores desde $<1^\circ$ hasta 78° . Obteniéndose así lo siguiente:

Se analizó 153.90 Ha. de terreno correspondiendo al 100% de tramo de estudio, donde se obtuvo que el área de estudio se caracteriza por tener mayormente una pendiente fuertemente inclinada que va de 5° a 15° , ocupando el 42.09% del total del área de estudio que equivale a 64.72 Ha. Las pendientes con un rango de grado de 0° a 5° siendo las más bajas representan el 31.80% pertenece a la clase de ligeramente inclinado ocupando 48.90 Ha. de la totalidad del área de estudio. Las pendientes con un rango de 15° a 35° , que son de tipo muy inclinado ocupan una superficie de 36.06 Ha. siendo el 23.45%. Las pendientes de rango de 35° a 55° abarcan 4.08 Ha. resaltándose en un 2.48% representan a un tipo de pendiente empinado. Finalmente, la pendiente vertical con un rango de pendiente de 55° a 78° , ocupa un área de 0.25 Ha. es decir un 0.17%. El mapa de pendiente consta en el Anexo 11.

Figura 49. Análisis estadístico de pendientes



Nota: En esta imagen se muestra los análisis estadísticos de la clasificación de pendientes en toda el área de estudio. Elaborado por: Autora, 2022.

6.5. Caracterización geológica-geotécnica de los materiales

6.5.1. Método directo

6.5.1.1. Calicatas.

Para realizar el análisis geotécnico de los suelos se elaboraron 31 calicatas, obteniendo 3 muestras de cada calicata y se tomaron muestras a 0.50, 1.00 y 1.50 metros de profundidad.

A continuación, en la Tabla 16 se presenta los resultados de los ensayos realizados en forma resumida y en el Anexo 2, se presentan de forma amplia.

Tabla 16. Cuadro resumen de los resultados de laboratorio

Calicata 1 – Abscisa 0+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	18.64	Grava mal graduada con limo y arena	GP-GM	Fragmentos de Roca, Grava y Arena	A-1-a
1.00	24.11	Grava limosa con arena	GM	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-4
1.50	22.87	Grava limosa con arena	GM	Fragmentos de Roca, Grava y Arena	A-1-b
Calicata 2 – Abscisa 0+500					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	42.16	Arena mal graduada con grava	SP	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-7
1.00	84.04	Arena arcillosa	SC	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-4
1.50	13.66	Grava bien graduada con arena	GW	Fragmentos de Roca, Grava y Arena	A-1-a
Calicata 3 – Abscisa 1+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	37.64	Limo con arena	ML	Suelos limosos	A-5
11.00	36.98	Arcilla de baja plasticidad con arena	CL	Suelos arcillosos	A-6
1.50	33.71	Arcilla de baja plasticidad con arena	CL	Suelos arcillosos	A-6
Calicata 4 – Abscisa 1+500					

Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	38.20	Limo arenoso	ML	Suelos arcillosos	A-7-6
1.00	36.85	Limo arenoso	ML	Suelos limosos	A-4
1.50	32.66	Arcilla de baja plasticidad arenosa	CL	Suelos arcillosos	A-6
Calicata 5 – Abscisa 2+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	17.22	Arena arcillosa	SC	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-4
1.00	26.35	Arena arcillosa	SC	Suelos limosos	A-4
1.50	14.30	Grava mal graduada con arcilla y limo	GP- GC- GM	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-4
Calicata 6 – Abscisa 2+500					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	31.15	Limo arenoso	ML	Suelos arcillosos	A-6
1.00	12.83	Arena mal graduada	SP	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-4
1.50	28.56	Grava mal graduada con limo y arena	GP- GM	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-4
Calicata 7 – Abscisa 3+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	34.92	Arcilla de baja plasticidad con arena	CL	Suelos arcillosos	A-6
1.00	37.21	Limo con arena	ML	Suelos limosos	A-4
1.50	31.45	Arcillas de baja plasticidad	CL	Suelos arcillosos	A-6
Calicata 8 – Abscisa 3+500					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	29.24	Arcilla de baja plasticidad arenosa	CL	Suelos arcillosos	A-6
1.00	40.75	Limo con arena	ML	Suelos arcillosos	A-7-5
1.50	29.60	Limo con arena	ML	Suelos limosos	A-4
Calicata 9 – Abscisa 4+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	35.16	Limo elástico con arena	MH1	Suelos arcillosos	A-7-5
1.00	33.00	Arcilla de baja plasticidad arenosa	CL	Suelos arcillosos	A-6
1.50	40.75	Arcilla de baja plasticidad arenosa	CL	Suelos arcillosos	A-6
Calicata 10 – Abscisa 4+500					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	27.51	Arcilla de baja plasticidad arenosa	CL	Suelos arcillosos	A-6
1.00	21.33	Limo arenoso	ML	Suelos limosos	A-4
1.50	23.13	Limo arenoso	ML	Suelos limosos	A-4
Calicata 11 – Abscisa 5+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	28.83	Arcilla de baja plasticidad con arena	CL	Suelos arcillosos	A-7-6

1.00	28.47	Arcilla de baja plasticidad con arena	CL	Suelos arcillosos	A-7-6
1.50	29.15	Arcilla de baja plasticidad arenosa	CL	Suelos arcillosos	A-7-6
Calicata 12 – Abscisa 5+500					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	36.04	Limo arenoso con grava	ML	Suelos arcillosos	A-7-5
1.00	28.58	Limo arenoso	ML	Suelos arcillosos	A-7-5
1.50	29.31	Limo arenoso	ML	Suelos arcillosos	A-7-6
Calicata 13 – Abscisa 6+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	39.73	Arcilla de baja plasticidad con arena	CL	Suelos arcillosos	A-7-6
1.00	40.15	Limo con arena	ML	Suelos arcillosos	A-7-5
1.50	39.73	Limo con arena	ML	Suelos arcillosos	A-7-6
Calicata 14 – Abscisa 6+500					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	35.92	Arena limosa	SM	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-4
1.00	12.06	Limo	ML	Suelos limosos	A-4
1.50	32.94	Limo elástico arenoso	MH1	Suelos arcillosos	A-7-5
Calicata 15 – Abscisa 7+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	27.47	Arena arcillosa	SC	Suelos arcillosos	A-6
1.00	26.34	Arena limosa	SM	Suelos arcillosos	A-6
1.50	28.33	Arena arcillosa	SC	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-6
Calicata 16 – Abscisa 7+500					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	26.64	Suelo arcilloso	CL	Suelos arcillosos	A-6
1.00	27.48	Arena arcillosa	SC	Suelos arcillosos	A-6
1.50	36.16	Grava mal graduada con arena	GP	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-6
Calicata 17 – Abscisa 8+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	30.16	Arcilla de baja plasticidad arenosa	CL	Suelos arcillosos	A-6
1.00	29.68	Arcilla de baja plasticidad arenosa	CL	Suelos arcillosos	A-6
1.50	27.49	Arcilla de baja plasticidad arenosa	CL	Suelos arcillosos	A-6
Calicata 18 – Abscisa 8+500					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	36.82	Arcilla de baja plasticidad arenosa	CL	Suelos arcillosos	A-6
1.00	24.04	Arcilla de baja plasticidad arenosa	CL	Suelos arcillosos	A-6
1.50	22.78	Arena arcillosa	SC	Suelos arcillosos	A-6
Calicata 19 – Abscisa 9+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.

0.50	35.93	Arcilla de alta plasticidad arenosa	CH1	Suelos arcillosos	A-7-6
1.00	27.15	Arcilla de baja plasticidad arenosa	CL	Suelos limosos	A-4
1.50	24.81	Arcilla de baja plasticidad arenosa	CL	Suelos arcillosos	A-7-6
Calicata 20 – Abscisa 9+500					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	23.65	Arena arcillosa	SC	Suelos arcillosos	A-6
1.00	33.79	Arena arcillosa	SC	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-6
1.50	23.45	Arena arcillosa	SC	Suelos arcillosos	A-6
Calicata 21 – Abscisa 10+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	30.73	Grava arcillosa con arena	GC	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-7
1.00	28.35	Arcilla de baja plasticidad arenosa	CL	Suelos arcillosos	A-7-6
1.50	23.97	Arcilla de alta plasticidad arenosa	CH1	Suelos arcillosos	A-7-6
Calicata 22 – Abscisa 10+500					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	17.36	Arena limosa	SM	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-4
1.00	16.77	Arena limosa	SM	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-4
1.50	14.12	Arena limosa	SM	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-4
Calicata 23 – Abscisa 11+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	26.90	Arena limosa	SM	Suelos limosos	A-5
1.00	33.38	Arena mal graduada	SP	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-7
1.50	31.94	Limo	ML	Suelos arcillosos	A-7-5
Calicata 24 – Abscisa 11+500					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	27.70	Limo con arena	ML	Suelos arcillosos	A-7-5
1.00	29.41	Limo con arena	ML	Suelos arcillosos	A-7-5
1.50	29.27	Limo con arena	ML	Suelos limosos	A-5
Calicata 25 – Abscisa 12+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	14.57	Limo arenoso	ML	Suelos limosos	A-4
1.00	13.19	Arena limosa	SM	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-4
1.50	14.35	Arena limosa	SM	Fragmentos de Roca, Grava y Arena	A-1-b
Calicata 26 – Abscisa 12+500					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	32.22	Limo	ML	Suelos arcillosos	A-7-6
1.00	32.50	Limo	ML	Suelos arcillosos	A-7-6
1.50	27.57	Limo arenoso	ML	Suelos arcillosos	A-7-5
Calicata 27 – Abscisa 13+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	20.26	Arena limosa	SM	Grava o Arena limosa o arcillosa	A-2-4
1.00	26.31	Limo arenoso	ML	Suelos limosos	A-4
1.50	27.57	Limo elástico arenoso	MH1	Suelos arcillosos	A-7-5
Calicata 28 – Abscisa 13+500					

Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	20.34	Arcilla de baja plasticidad arenosa	CL	Suelos arcillosos	A-6
1.00	16.38	Limo arenoso	ML	Suelos arcillosos	A-6
1.50	18.93	Limo arenoso	ML	Suelos arcillosos	A-7-6
Calicata 29 – Abscisa 14+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	31.15	Limo elástico arenoso	MH1	Suelos arcillosos	A-7-5
1.00	35.75	Limo elástico arenoso	MH1	Suelos arcillosos	A-7-5
1.50	28.48	Arcilla de alta plasticidad arenosa	CH1	Suelos arcillosos	A-7-5
Calicata 30 – Abscisa 14+500					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	34.13	Limo elástico	MH1	Suelos arcillosos	A-7-5
1.00	27.57	Limo elástico con arena	MH1	Suelos arcillosos	A-7-5
1.50	24.96	Limo elástico con grava	MH1	Suelos arcillosos	A-7-5
Calicata 31 – Abscisa 15+000					
Prof.	C.H	Clasificación SUCS	Símb.	Clasificación AASTHO	Símb.
0.50	12.42	Grava mal graduada con limo y arena	GP-GM	Fragmentos de Roca, Grava y Arena	A-1-a
1.00	7.61	Grava mal graduada con arena	GP	Fragmentos de Roca, Grava y Arena	A-1-a
1.50	10.93	Arena limosa	SM	Suelos arcillosos	A-7-6

Nota: Obtenido de: Laborado Estsuelcon. Elaborado por: Autora, 2022.

A continuación, en la Tabla 17 y Tabla 18 se obtiene un resumen de los datos de acuerdo a las granulometrías de cada horizonte en base a la clasificación SUCS y AASTHO respetivamente.

Para el horizonte de profundidad 0.50 metros o superficial, de acuerdo clasificación SUCS hay predominancia de arcillas en un porcentaje del 29.03%, el suelo se ubica en el grupo CL que son arcillas de baja plasticidad arenosas y por otro lado de acuerdo clasificación AASTHO los suelos corresponden al grupo A-6 que son suelos arcillosos en un total de 32.26%.

Con relación al horizonte de profundidad 1.00 metro o intermedio, los resultados de la clasificación SUCS muestra un valor predominante que es del 35.48% representando al grupo ML que son suelos limo arenosos, con respecto a la clasificación AASTHO en este horizonte predominan los suelos A-4 y A-6 que corresponden a suelos limosos y arcillosos respetivamente.

Finalmente, en el horizonte de profundidad 1.50 metros, de acuerdo a la clasificación SUCS igualmente como en el horizonte de 1 metro son suelo preferentemente limo arenosos grupo ML con un porcentaje de 25.81 y según los resultados de la clasificación AASTHO predominan con un 22.58% los suelos A-6 que corresponden a suelos arcillosos.

Tabla 17. Clasificación SUCS de los suelos, horizonte de muestreo 0.50, 1.00 y 1.50 metros.

		Clasificación SUCS			
Grupo	Suelo	Profundidad			
		0.5 m (%)	1 m (%)	1.5 m (%)	
Grava	GC	Grava arcillosa con arena	3.23	-	-
	GP-GM	Grava mal graduada con limo y arena	6.45	-	3.23
	GM	Grava limosa con arena	-	3.23	3.23
	GP	Grava mal graduada con arena	-	3.23	3.23
	GW	Grava bien graduada con arena	-	-	3.23
	GP-GC-GM	Grava mal graduada con arcilla y limo	-	-	3.23
Arena	SP	Arena mal graduada	3.23	6.45	-
	SC	Arena arcillosa	9.68	12.90	9.68
	SM	Arena limosa	12.90	9.68	9.68
Limo	ML	Limo arenoso	22.58	35.48	25.806
	MH1	Limo elástico con arena	9.68	6.45	9.68
Arcilla	CL	Arcilla de baja plasticidad arenosa	29.032	22.58	22.581
	CH1	Arcilla de alta plasticidad arenosa	3.23	-	6.45

Nota: Obtenido de: Laborado Estsuelcon. Elaborado por: Autora, 2022.

Tabla 18. Clasificación AASHTO de los suelos, horizonte de muestreo 0.50, 1.00 y 1.50 metros.

		Clasificación AASHTO			
Grupo	Constituyentes principales	Profundidad			
		0.5 m (%)	1 m (%)	1.5 m (%)	
A-1	A-1-a	Fragmentos de Roca, Grava y Arena	6.45	3.23	3.23
	A-1-b	Fragmentos de Roca, Grava y Arena	-	-	6.45
A-2	A-2-4	Grava o Arena limosa o arcillosa	12.90	16.13	9.68
	A-2-6	Grava o Arena limosa o arcillosa	-	3.23	6.45
	A-2-7	Grava o Arena limosa o arcillosa	6.45	3.23	-
	A-4	Suelos limosos	3.23	22.58	6.45
	A-5	Suelos limosos	6.45	-	3.23
	A-6	Suelos arcillosos	32.26	22.58	22.58
A-7	A-7-5	Suelos arcillosos	16.13	19.35	19.35
	A-7-6	Suelos arcillosos	16.13	9.68	22.58

Nota: Obtenido de: Laborado Estsuelcon. Elaborado por: Autora, 2022.

6.5.1.2. Sondeos Geotécnicos.

Los ensayos de Perforación Rotativa con Recuperación Continua de Testigos y Ensayo de Penetración Estándar (S.P.T. por sus siglas en inglés) realizados por el laboratorio de suelos Estsuelcon CIA. LTDA., bajo la normativa ASTM D-1586 y según la metodología descrita anteriormente, se realizaron 4 perforaciones ubicados en dos puntos según lo indica la Figura 24. Los resultados de campo y laboratorio se muestran en el Anexo 4, los mismos que se describen a continuación:

Punto 1 - Río Pachicutza

Sondeo 1 (PRPCH-MD-S01)

Desde el nivel actual del terreno hasta una profundidad de 1.00 m corresponden limos arenosos con grava con un N_{SPT} de 62 golpes, con una carga admisible de 4.65 Kg/cm^2 es un material muy compacto, con un contenido de humedad de 4.5%, un peso específico de 1.90 Tn/m^3 , no cohesivo, y con un ángulo de fricción de 45° .

La segunda capa corresponde a grava bien graduada con arcilla, limo y arena con un N_{SPT} de 102 golpes, con una carga admisible de 7.65 Kg/cm^2 es un material muy compacto, con un contenido de humedad de 4.5%, un límite líquido del 20%, un peso específico de 1.90 Tn/m^3 , tiene una cohesión de 3.43 kg/cm^2 .

La tercera capa corresponde a grava limosa con arena con un N_{SPT} de 66 golpes, con una carga admisible de 4.95 Kg/cm^2 es un material muy compacto, con un contenido de humedad de 5.85%, un límite líquido del 18%, un peso específico de 1.90 Tn/m^3 , no cohesivo y con un ángulo de fricción de 46° .

La cuarta capa corresponde a grava mal graduada con limo y arena con un N_{SPT} de 113 golpes, con una carga admisible de 9.61 Kg/cm^2 es un material muy compacto, con un contenido de humedad de 15.29%, un límite líquido del 20%, y un peso específico de 1.80 Tn/m^3 y tiene una cohesión de 4.31 kg/cm^2 .

A los 5 metros de profundidad se halla el nivel freático, esta capa corresponde a grava bien graduada con arcilla y arena con un N_{SPT} de 20 golpes, con una carga admisible de 1.70 Kg/cm^2 es un material compacto, con un contenido de humedad de 22.18%, un límite líquido del 31%, y un peso específico de 1.80 Tn/m^3 , no cohesivo y con un ángulo de fricción de 33° .

La sexta capa corresponde a grava mal graduada con arcilla y arena con un N_{SPT} de 50 golpes, con una carga admisible de 4.75 Kg/cm^2 es un material muy compacto, con un contenido de humedad de 14.69%, un límite líquido del 35%, y un peso específico de 1.80 Tn/m^3 y tiene una cohesión de 2.13 kg/cm^2 .

La séptima capa corresponde a arena limosa con grava con un N_{SPT} de 82 golpes, con una carga admisible de 4.61 Kg/cm^2 es un material muy compacto, con un contenido de humedad de 22.05%, un límite líquido del 18%, y un peso específico de 1.80 Tn/m^3 , no cohesivo y con un ángulo de fricción de 45° .

suelto, con un contenido de humedad de 13.7%, un peso específico de 1.80 Tn/m^3 , no cohesivo y con un ángulo de fricción de 25° .

A los 2 metros se encuentra el nivel freático, esta capa corresponde a arenas mal graduadas con un N_{SPT} de 13 golpes, con una carga admisible de 0.98 Kg/cm^2 es un material con una compacidad media, con un contenido de humedad de 39.6% y un peso específico de 1.75 Tn/m^3 , no cohesivo y con un ángulo de fricción de 29° .

A 3 metros de profundidad corresponde a arenas arcillosas con un N_{SPT} de 12 golpes, con una carga admisible de 0.9 Kg/cm^2 es un material con una compacidad media, con un contenido de humedad de 28.42%, un límite líquido de 31% y un peso específico de 1.70 Tn/m^3 , no cohesivo y con un ángulo de fricción de 28° .

A 4 metros de profundidad corresponde a arcillosas de baja plasticidad de consistencia firme con un N_{SPT} de 15 golpes, con una carga admisible de 1.28 Kg/cm^2 , con un contenido de humedad de 40.19%, un límite líquido de 44% y un peso específico de 1.70 Tn/m^3 presenta una cohesión de 0.57 kg/cm^2 .

A 5 metros de profundidad corresponde a arcillosas de alta plasticidad de consistencia muy firme con un N_{SPT} de 24 golpes, con una carga admisible de 2.04 Kg/cm^2 , con un contenido de humedad de 44.26%, un límite líquido de 55% y un peso específico de 1.70 Tn/m^3 presenta una cohesión de 0.91 kg/cm^2 .

A 6 metros de profundidad corresponde a arcillosas de baja plasticidad de consistencia firme con un N_{SPT} de 15 golpes, con una carga admisible de 1.43 Kg/cm^2 , con un contenido de humedad de 18.07%, un límite líquido de 47% y un peso específico de 1.70 Tn/m^3 presenta una cohesión de 0.64 kg/cm^2 .

A 7 metros de profundidad corresponde a arenas mal graduadas con un N_{SPT} de 21 golpes, con una carga admisible de 2 Kg/cm^2 es un material con una compacidad media, con un contenido de humedad de 86.01%, un límite líquido de 32% y un peso específico de 1.75 Tn/m^3 , no cohesivo y con un ángulo de fricción de 35° .

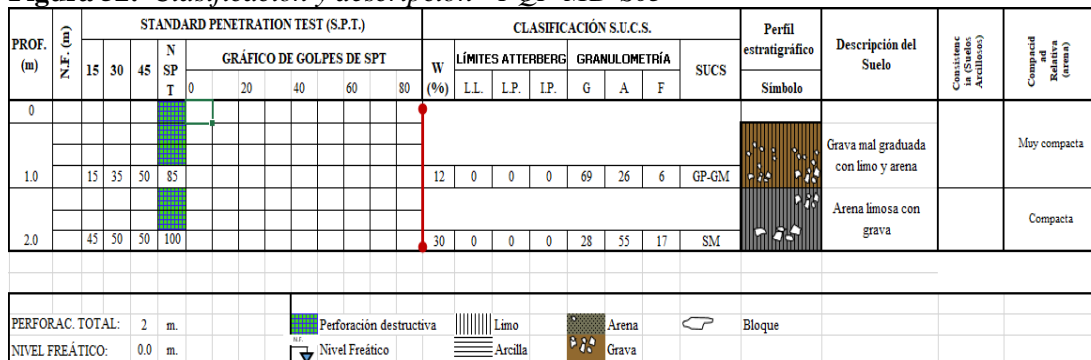
A 8 metros de profundidad corresponde a arenas limosas con un N_{SPT} de 15 golpes, con una carga admisible de 1.43 Kg/cm^2 es un material con una compacidad media, con un contenido de humedad de 15.30%, un límite líquido de 34% y un peso específico de 1.75 Tn/m^3 , no cohesivo y con un ángulo de fricción de 32° .

Punto 2 - Quebrada Pincho

Sondeo 3 (PQP-MD-S03)

Al encontrarse en una zona de depósitos aluviales no es conveniente realizar ensayos de SPT, por la presencia de bloques y clasto mayores a 6 cm de diámetro ya que da rebote rechazo al ensayo, en este caso se pudo realizar el ensayo en el metro 2, por ser un pequeño estrato de arena limosa con gravas con un NSPT de 100 golpes, con una carga admisible de 7.50 Kg/cm² es un material compacto, con un contenido de humedad de 29.60%, no cohesivo y con un ángulo de fricción de 54 °.

Figura 52. Clasificación y descripción - PQP-MD-S03

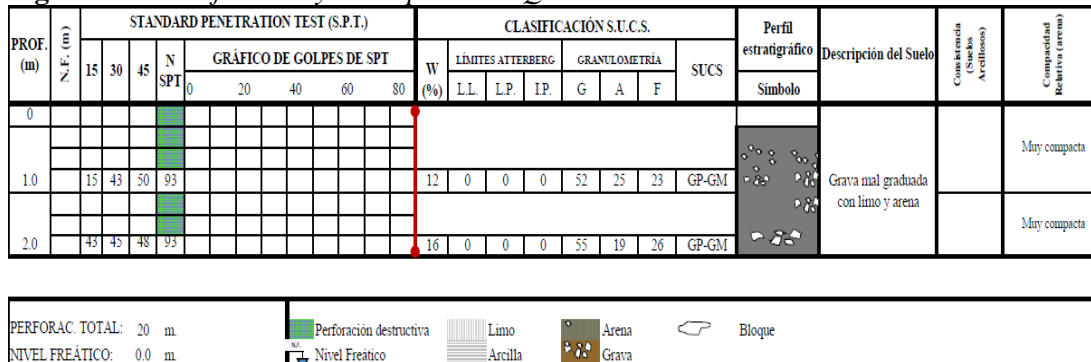


Nota: Obtenido de: Estsuelcon CIA. LTDA, 2022.

Sondeo 4 (PQP-MI-S04)

Dado que se trata de una zona de depósitos aluviales no es conveniente realizar ensayo de SPT, por la presencia de bloques y clastos. En la perforación se obtiene que la capa comprende grava mal graduada con limo y arena muy compacta con un contenido de humedad de 14.3%.

Figura 53. Clasificación y descripción - PQP-MI-S04



Nota: Obtenido de: Estsuelcon CIA. LTDA, 2022.

6.5.2. Método indirecto

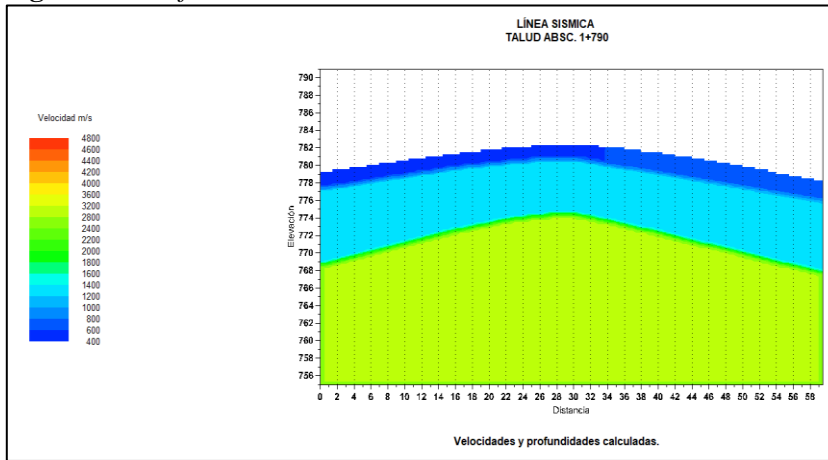
6.5.2.1. Sísmica de refracción.

Se realizaron dos líneas sísmicas de 60 m de longitud, la primera con 9 m de profundidad y la segunda con 2.60 m de profundidad, su ubicación geográfica se muestra en la Tabla 11 y Figura 25. Los resultados obtenidos de los sondeos de Sísmica de Refracción se detallan a continuación:

6.5.2.1.1. Sondeo Línea de Refracción Sísmica 1.

En la Figura 54 se aprecia los horizontes geosísmicos obtenidos a través de la interpretación de la dromocroma.

Figura 54. Perfil de la línea Sísmica 1.



Nota: Obtenido de: Estsuelcon CIA. LTDA, 2022.

En la Tabla 19 se detalla los valores obtenidos a partir del perfil y sus correlaciones litológicas.

Tabla 19. Correlaciones litológicas obtenidas a partir de la línea sísmica 1

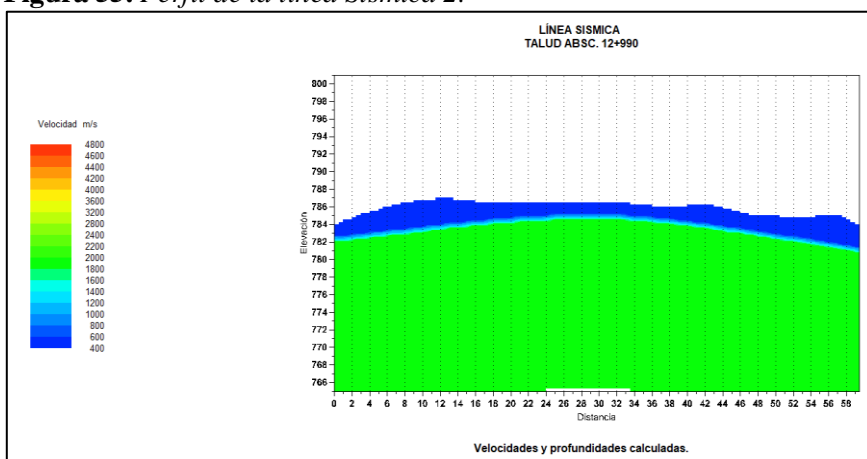
Capa	Velocidad Sísmica Ondas P (m/s)	Velocidad Sísmica Ondas S (m/s)	Espesores (m)	Tipo de material estimado
1	577	330	1.50-2.60	Arenisca Cuarzosa
2	1350	771	6.00-9.00	Roca altamente fracturada y meteorizada
3	2800	1600	-	Roca muy fracturada

Nota: Adaptado de Estsuelcon CIA. LTDA, 2022.

6.5.2.1.2. Sondeo Línea de Refracción Sísmica 2.

En la Figura 55 se aprecia los horizontes geo sísmicos obtenidos a través de la interpretación de la dromocroma.

Figura 55. Perfil de la línea Sísmica 2.



Nota: Obtenido de: Estsuelcon CIA. LTDA, 2022.

En la Tabla 20 se detalla los valores obtenidos a partir del perfil y sus correlaciones litológicas.

Tabla 20. Correlaciones litológicas obtenidas a partir de la línea sísmica 2

Capa	Velocidad Sísmica, Ondas P(m/s)	Velocidad Sísmica, Ondas S(m/s)	Espesores (m)	Tipo de material estimado
1	450	257	1.50-2.60	Depósito de arena limos y arcillas con bloques esporádicos de arenisca
2	1920	1097	-	Roca altamente fracturada y meteorizada

Nota: Adaptado de Estsuelcon CIA. LTDA, 2022.

Para cada velocidad o rango de velocidad interpretado también se calculan los parámetros dinámicos y elásticos para cada uno de los complejos geofísicos, dichos parámetros se resumen en la Tabla 21. En el Anexo 7, se encuentran estos resultados a detalle.

Tabla 21. Parámetros dinámicos de cada línea sísmica

CAPA SÍSMICA		LS 1 - MD			LS 2 - MI	
		1	2	3	1	2
γ	gr/cm ³	1.85	2.11	2.41	1.82	2.23
Edin	Kg/cm ²	5158	32195	157899	3093	68708
Eest	Kg/cm ²	2297	18563	113941	1282	44088
Edef	Kg/cm ²	133	857	5101	88	1993
Gdin	Kg/cm ²	2051	12800	62779	1230	27318
(Mindel) N	Golpes	9	31	72	5	47
Qa, (Mayerhoff)	Kg/cm ²	0.88	3.07	7.19	0.52	4.69
Qn (Dunham) Ø	Kg/cm ²	2.64	9.21	21.57	1.56	14.07
	°	35	44	54	33	49

Nota: Adaptado de Estsuelcon CIA. LTDA, 2022.

6.5.3. Laboratorio Muestras inalteradas

6.5.3.1. Ensayo de corte directo.

Para obtener el valor de factor de seguridad se procedió a la preparación de muestras inalteradas para realizarles el ensayo de corte directo, de acuerdo a la Norma ASTM D-3080-11 y así obtener los parámetros de peso específico, cohesión y ángulo de fricción para posteriormente poder hacer uso del software Slide 6.0.

En la Figura 29, se muestra la ubicación de dichos puntos para las muestras inalteradas, y en la Tabla 15 sus coordenadas y abscisa de referencia.

A continuación, en la Tabla 22 se muestran los resultados de los ensayos de corte directo obtenidos, y en el Anexo 8 las hojas de laboratorio.

Tabla 22. Resultados de los ensayos de corte directo

N.º de muestra	Abscisa	Litología	Ensayo N.º	Peso específico		Angulo de Fricción (ϕ)	Cohesión (c) kg/cm^2
				gr/cm^3	kN/m^3		
<i>Muestra 1</i>	1+880	Arenisca Cuarzosa	1	1.96	19.32	29	0.8896
			2	2.05			
			3	1.90			
<i>Muestra 2</i>	2+150	Arenisca Cuarzosa	1	1.98	18.83	26	0.2823
			2	1.91			
			3	1.87			
<i>Muestra 3</i>	4+630	Depósito de arena limos y arcillas con bloques frecuentes de arenisca y granodiorita	1	0.98	15.10	17	0.4426
			2	1.83			
			3	1.81			
<i>Muestra 4</i>	5+245	Depósito de arena limos y arcillas con bloques frecuentes de arenisca y granodiorita	1	1.80	17.00	14	0.3019
			2	1.7			
			3	1.7			
<i>Muestra 5</i>	6+985	Depósito de arena limos y arcillas con bloques frecuentes de arenisca y esporádicos de granodiorita	1	1.64	15.56	34	0.1930
			2	1.59			
			3	1.53			
<i>Muestra 6</i>	7+640	Depósito de arena limos y arcillas con bloques esporádicos de arenisca	1	1.64	17.03	15	0.2511
			2	1.72			
			3	1.85			
<i>Muestra 7</i>	12+050	Depósito de arena limos y arcillas con bloques esporádicos de arenisca	1	1.88	17.95	26	0.3014
			2	1.81			
			3	1.8			
<i>Muestra 8</i>	13+280	Depósito de arena limos y arcillas con bloques esporádicos de arenisca	1	1.86	17.72	17	0.3190
			2	1.83			
			3	1.73			

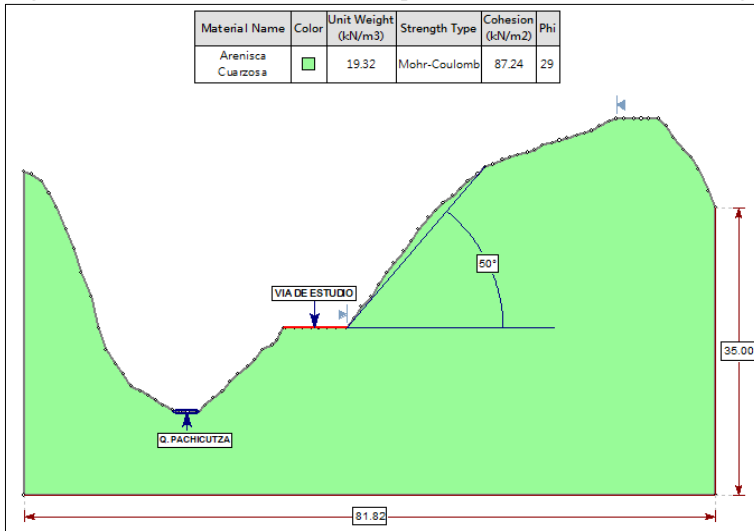
Nota: Obtenido de: Laboratorio Estsuelcon. Elaborado por: Autora, 2022.

6.5.4. Análisis de estabilidad en taludes representativos

Talud 1: Arenisca Cuarzosa

En la Figura 56 se muestra la geometría del talud número 1, obtenida a partir del levantamiento topográfico y su litología a partir del levantamiento geológico, mismo que se encuentra ubicado en la abscisa 1+880.

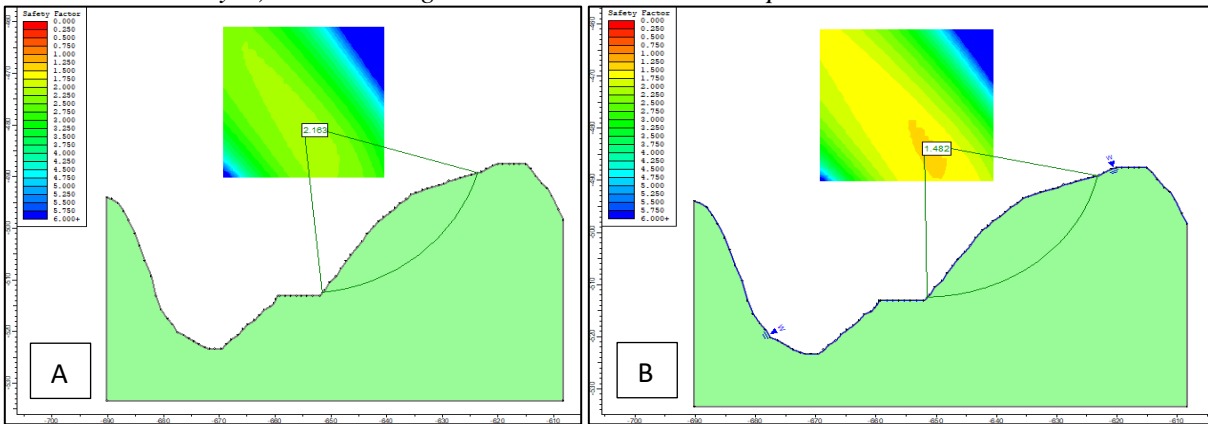
Figura 56. Geometría del talud 1 para análisis de estabilidad global.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para este talud, constituido por un depósito de areniscas cuarzosas con un bajo grado de meteorización, se calcula un FS de 2.163 en condiciones normales, y un FS de 1.482 en condiciones saturadas, esto indica que el talud se encuentra actualmente estable. (Figura 57)

Figura 57. Análisis de rotura general para el talud 1. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.

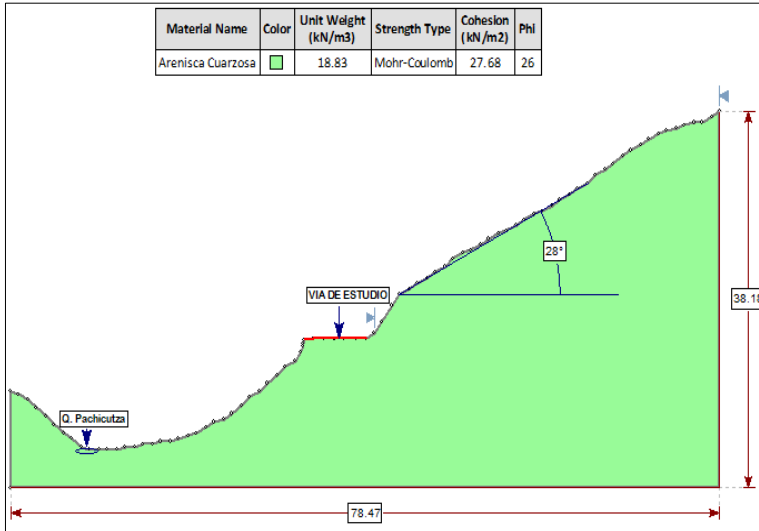


Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Talud 2: Arenisca Cuarzosa

En la Figura 58 se muestra la geometría del talud número 2, obtenida a partir del levantamiento topográfico y su litología a partir del levantamiento geológico, mismo que se encuentra ubicado en la abscisa 2+150.

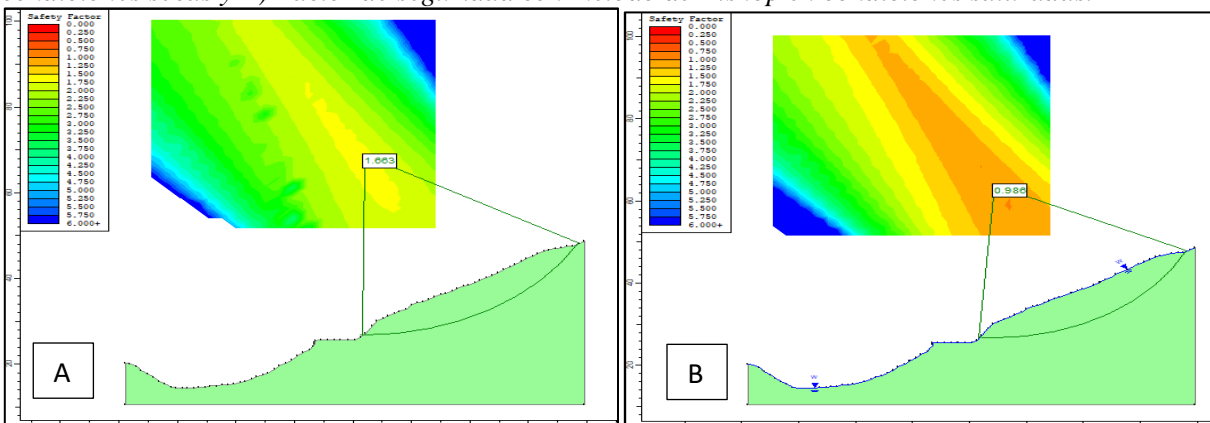
Figura 58. Geometría del talud 2 para análisis de estabilidad global.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para este talud, constituido por un depósito de areniscas cuarzosas con un grado medio de meteorización, se calcula un FS de 1.669 en condiciones normales esto indica que el talud se encuentra actualmente estable, y un FS de 0.986 en condiciones saturadas. (Figura 59)

Figura 59. Análisis de rotura general para el talud 2. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.

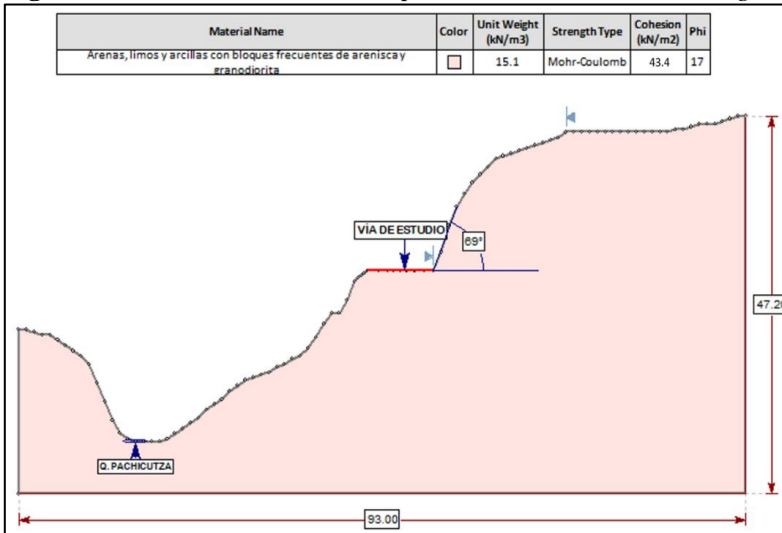


Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Talud 3: Depósito de arena limos y arcillas con bloques frecuentes de arenisca y granodiorita

En la Figura 60 se muestra la geometría del talud número 3, obtenida a partir del levantamiento topográfico y su litología a partir del levantamiento geológico, mismo que se encuentra ubicado en la abscisa 4+630.

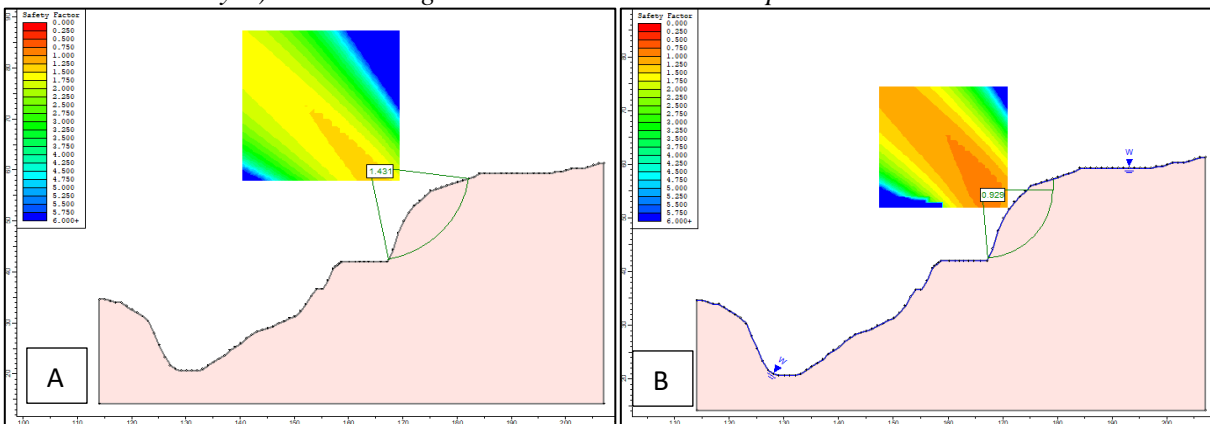
Figura 60. Geometría del talud 3 para análisis de estabilidad global.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para este talud, constituido por un depósito de arenas, limos y arcillas con bloques frecuentes de arenisca y granodiorita, se calcula mediante el método de Bishop un FS de 1.431 para condiciones normales, es decir el talud actualmente se encuentra estable y un FS de 0.929 en condiciones saturadas, es decir que este talud en estas condiciones perdería la estabilidad (Figura 61)

Figura 61. Análisis de rotura general para el talud 3. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.

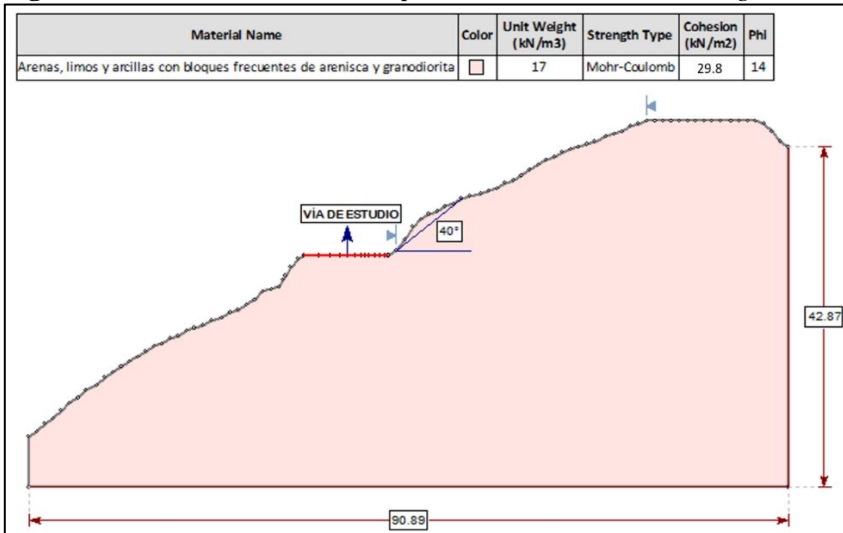


Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Talud 4: Depósito de arena limos y arcillas con bloques frecuentes de arenisca y granodiorita

En la Figura 62 se muestra la geometría del talud número 4, obtenida a partir del levantamiento topográfico y su litología a partir del levantamiento geológico, mismo que se encuentra ubicado en la abscisa 5+245.

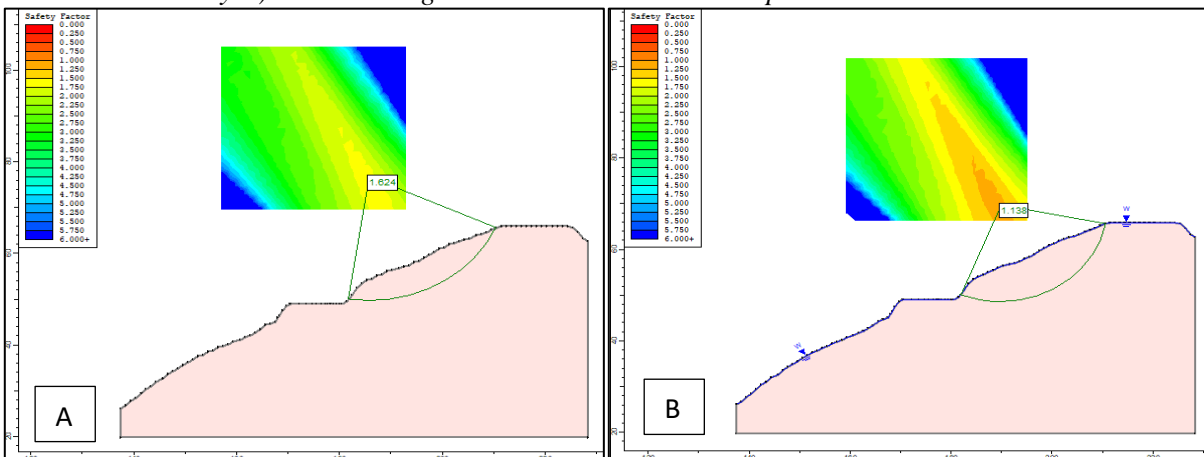
Figura 62. Geometría del talud 4 para análisis de estabilidad global.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para este talud, constituido un depósito de arenas, limos y arcillas con bloques frecuentes de arenisca y granodiorita, se calcula mediante el método de Bishop un FS de 1.624 en condiciones normales y un FS de 1.138 en condiciones saturadas, lo cual indica que el talud se encuentra dentro de los rangos estables. (Figura 63)

Figura 63. Análisis de rotura general para el talud 4. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.

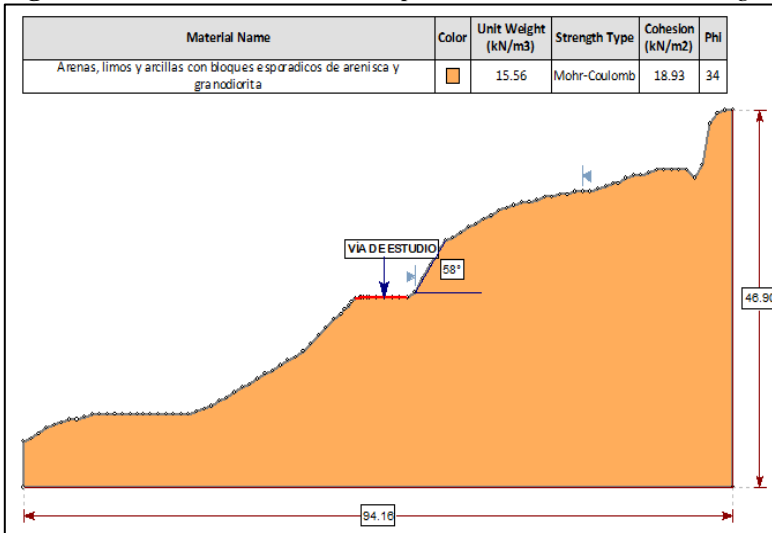


Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Talud 5: Depósito de arena limos y arcillas con bloques esporádicos de arenisca

En la Figura 64 se muestra la geometría del talud número 5, obtenida a partir del levantamiento topográfico y su litología a partir del levantamiento geológico, mismo que se encuentra ubicado en la abscisa 6+985.

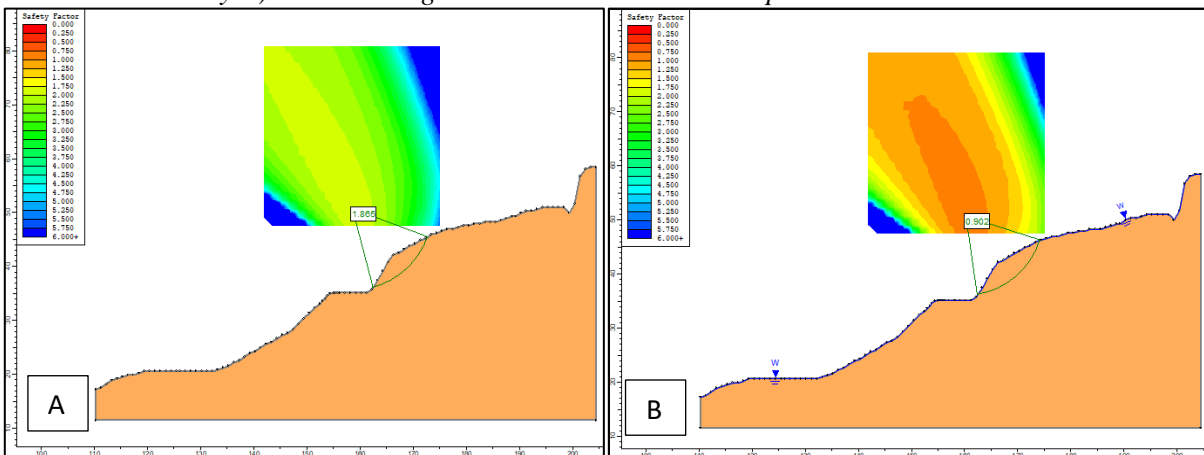
Figura 64. Geometría del talud 5 para análisis de estabilidad global.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para este talud, constituido por un depósito de arena, limos y arcillas con bloques esporádicos de arenisca, se calcula un FS de 1.865 en condiciones normales, indicando que actualmente el talud se encuentra estable y un FS de 0.902 para condiciones saturadas, lo cual indica que el talud va a presentar inestabilidad. (Figura 65)

Figura 65. Análisis de rotura general para el talud 5. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.

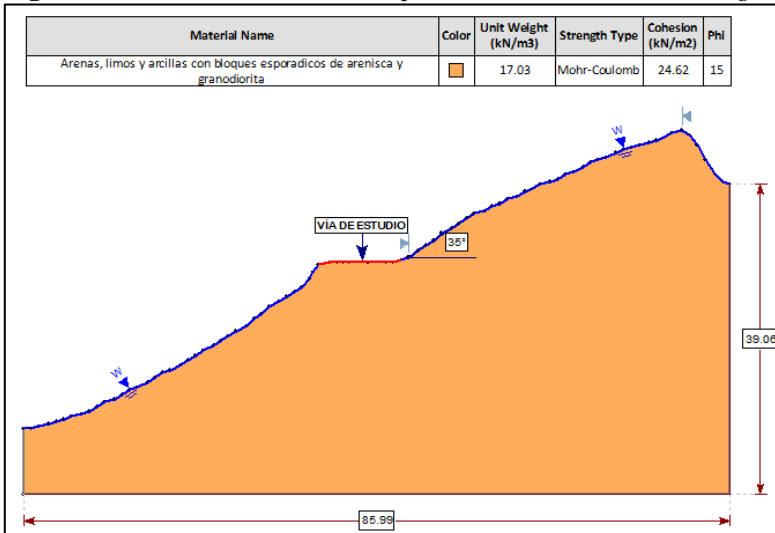


Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Talud 6: Depósito de arena limos y arcillas con bloques esporádicos de arenisca

En la Figura 66 se muestra la geometría del talud número 6, obtenida a partir del levantamiento topográfico y su litología a partir del levantamiento geológico, mismo que se encuentra ubicado en la abscisa 7+640.

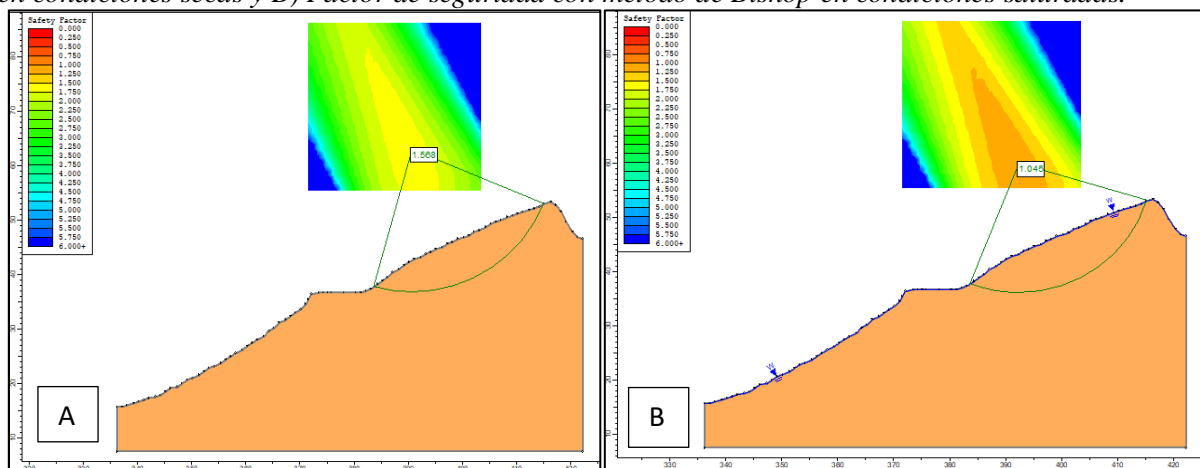
Figura 66. Geometría del talud 6 para análisis de estabilidad global.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para este talud, siendo de un depósito de arena, limos y arcillas con bloques esporádicos de arenisca, se calcula para condiciones normales un FS de 1.568 y para condiciones saturadas un FS de 1.045, lo cual indica que el talud se encuentra en un rango estable. (Figura 67)

Figura 67. Análisis de rotura general para el talud 6. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.

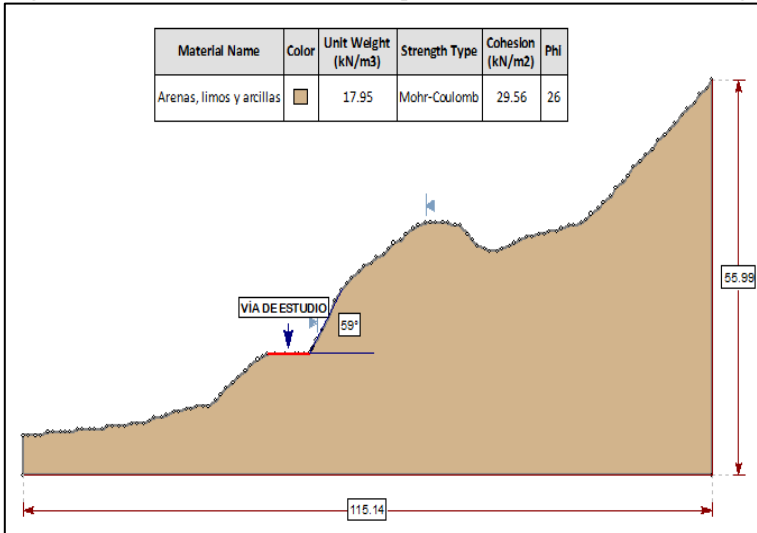


Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Talud 7: Depósito de arena limos y arcillas

En la Figura 68 se muestra la geometría del talud número 7, obtenida a partir del levantamiento topográfico y su litología a partir del levantamiento geológico, mismo que se encuentra ubicado en la abscisa 12+050.

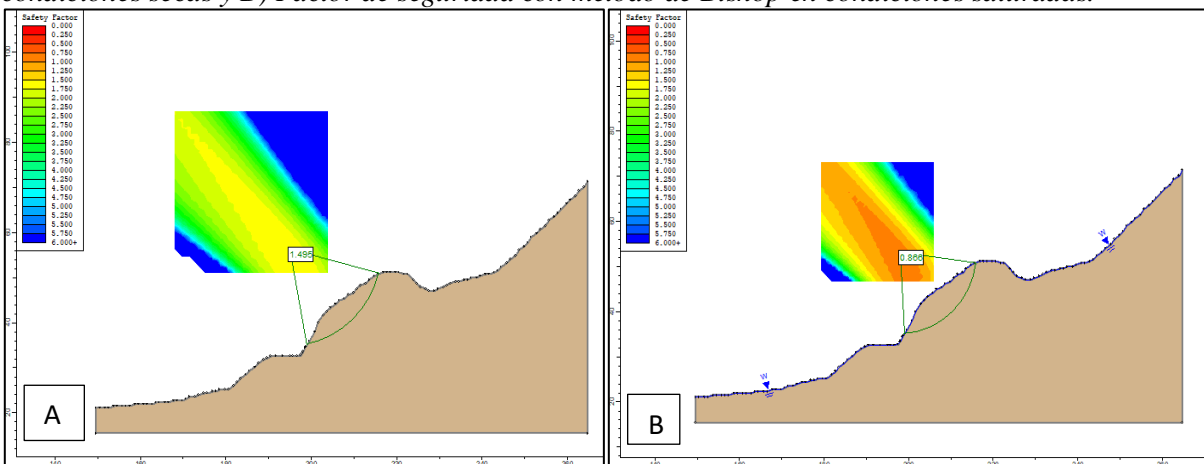
Figura 68. Geometría del talud 7 para análisis de estabilidad global.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para este talud, constituido por un depósito de arena, limos y arcillas, se calcula un FS de 1.495 en condiciones normales, es decir el talud actualmente se encuentra estable y un FS para condiciones saturadas da un valor de 0.866, es decir que este talud en estas condiciones perdería la estabilidad. (Figura 69)

Figura 69. Análisis de rotura general para el talud 7. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.

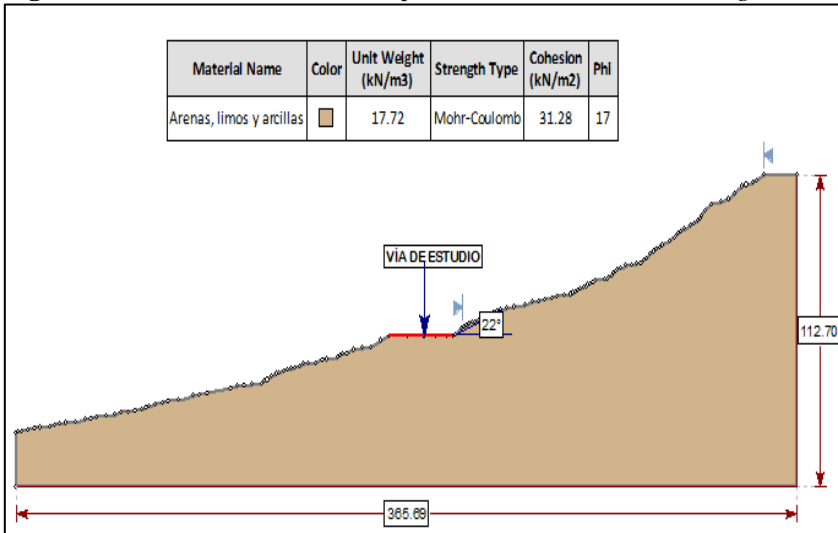


Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Talud 8: Depósito de arena limos y arcillas

En la Figura 70 se muestra la geometría del talud número 8, obtenida a partir del levantamiento topográfico y su litología a partir del levantamiento geológico, mismo que se encuentra ubicado en la abscisa 13+280.

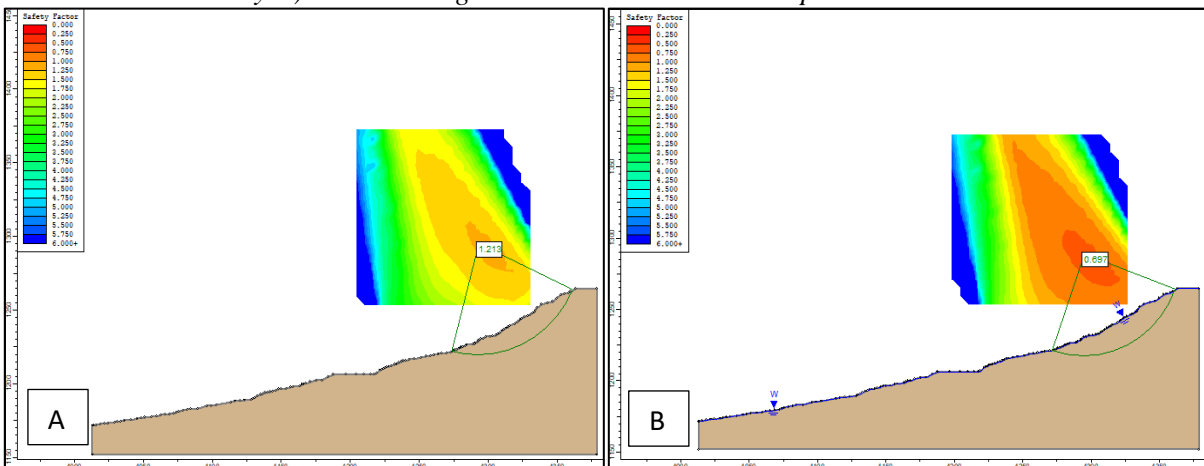
Figura 70. Geometría del talud 8 para análisis de estabilidad global.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para este talud, siendo de un depósito de arena, limos y arcillas, se calcula un FS de 1.213 en condiciones normales, lo cual indica que el talud se encuentra en un equilibrio estricto y en condiciones saturadas un FS da un valor de 0.697, es decir que este talud en estas condiciones perdería la estabilidad (Figura 71)

Figura 71. Análisis de rotura general para el talud 8. A) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones secas y B) Factor de seguridad con método de Bishop en condiciones saturadas.



Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

En la siguiente tabla se muestra un resumen con los resultados del FS para todos los taludes analizados, de acuerdo a los métodos utilizados.

Tabla 23. Resumen de valores de Factor de Seguridad

Talud N.º	Abscisa	Método	FS	
			Condiciones normales	Condiciones saturadas
<i>Talud 1</i>	1+880	Bishop Simplified	2.163	1.482
		Janbu Simplified	2.169	1.462
		Spencer	2.165	1.487
<i>Talud 2</i>	2+150	Bishop Simplified	1.669	0.986
		Janbu Simplified	1.565	0.879
		Spencer	1.663	0.988
<i>Talud 3</i>	4+630	Bishop Simplified	1.431	0.929
		Janbu Simplified	1.543	0.905
		Spencer	1.723	0.928
<i>Talud 4</i>	5+245	Bishop Simplified	1.624	1.138
		Janbu Simplified	1.535	1.056
		Spencer	1.623	1.139
<i>Talud 5</i>	6+985	Bishop Simplified	1.865	0.902
		Janbu Simplified	1.847	0.847
		Spencer	1.865	0.906
<i>Talud 6</i>	7+640	Bishop Simplified	1.568	1.045
		Janbu Simplified	1.455	0.943
		Spencer	1.566	1.044
<i>Talud 7</i>	12+050	Bishop Simplified	1.495	0.866
		Janbu Simplified	1.490	0.781
		Spencer	1.493	0.871
<i>Talud 8</i>	13+280	Bishop Simplified	1.213	0.697
		Janbu Simplified	1.098	0.592
		Spencer	1.209	0.702

Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

7. Discusión

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de determinar los tipos de geomateriales y sus propiedades físicas-mecánicas y geotécnicas presentes a lo largo de la vía de estudio, los cuales han permitido identificar el estado actual y las condiciones que presenta para un futuro mejoramiento y/o ampliación.

El desarrollo del presente estudio conlleva trabajos de campo, gabinete y de laboratorio, de los cuales se desprende los siguientes resultados:

7.1. Análisis del levantamiento geológico de la vía el Pangui -Pincho

La vía de estudio el Pangui- el Pincho es una vía de tercer orden de 14.8 kilómetros de longitud que conecta los poblados Pachikuts, Tiuchka y Shakay de la parroquia Pachicutza, del cantón el Pangui hasta el poblado el Pincho de la parroquia los Encuentros del cantón Yantzaza, en la provincia de Zamora Chinchipe, facilitándoles el intercambio comercial, es una vía alterna a la troncal amazónica. El clima predominante del sector de estudio es el tropical megatérmico húmedo, que presenta temperaturas promedio de 20°C y precipitaciones medias de 1750 mm.

Este trabajo de investigación se inició con el levantamiento topográfico realizado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora Chinchipe, en el cual se analizó una franja de estudio de 35 metros para cada lado del eje de la vía, atendiendo a las especificaciones de la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 MTOP: Volumen N°1 “Procedimientos para proyectos viales”, apartado 1.304.4.1(11) Aparatos y Ancho de la faja topográfica, donde se establece que de acuerdo a la topografía del terreno cuando esta presenta pendientes bajas a medias (0% a 40%) la longitud mínima de levantamiento no debe ser mayor a 40 metros, manteniendo un margen de 10 metros.

Es importante mencionar, que esta faja de estudio se vio reducida ya que la vía se encuentra colindando al margen izquierdo con el río Zamora, el mismo que forma un valle plano a través de una red de drenaje meándrico. Además, en esta franja topográfica se comprenden los taludes más significativos para llevar a cabo el análisis para este estudio. A partir del levantamiento topográfico se obtuvo que el área de estudio presenta cotas que van desde los 760 m.s.n.m hasta 818 m.s.n.m, abarcando un área total de 153.90 Ha., considerándolo como un relieve irregular.

Con respecto a la geología local a través de la descripción de cuarenta afloramientos y mediante el análisis de las muestras recolectadas, la vía de estudio geológicamente se compone

por una serie de depósitos superficiales que se acumulan en las vertientes y partes bajas que han sido transportados principalmente por la acción del agua llamados depósitos aluviales los cuales se evidencian poco consolidados en forma de terrazas aluviales que se encuentran a las riberas de río Pachicutza y de la quebrada Pincho, estos depósitos aluviales se constituyen principalmente por clastos predominantemente graníticos de diferentes tamaños, pertenecientes a las litologías cercanas, destacando que estos depósitos se encuentran en contacto con depósitos coluviales, los cuales a su vez se han formado por la gravedad, evidenciándose como acumulaciones locales con presencia de bloques y gravas angulosas a sub-angulosas de arenisca con una matriz de arena, limos y arcillas de tonalidades cafés. También se encontró depósitos coluvio-aluviales originados por sedimentos coluviales de las vertientes y los transportados por el drenaje de quebradas, están constituidos por bloques angulosos a subangulosos distribuidos en forma caótica. De la misma manera en los primeros metros hasta la abscisa 1+700 se evidencia la presencia de arcillas abigarradas de tonalidades cafés y rojizas que constituyen a la Formación Tena, se trata de intercalaciones de arcillas con presencia de cobertura de aluviales. También se encontró arenas limosas con tonalidades de café claro a grisáceo con presencia de clastos sub-angulosos mal sorteados graníticos y granodioríticos. A partir de la abscisa 1+700 hasta la 1+830 se infirió el contacto con la formación Hollín donde se encontró areniscas cuarzosas, las cuales estaban altamente meteorizadas cubiertas por una capa vegetal en su totalidad. Si bien el Complejo intrusivo de Zamora (Granodiorita) forma parte de la geología regional no se pudo evidenciar en la zona de estudio ya que por causa de la meteorización de en el proceso de hidrólisis, donde interviene el agua como reactivo, este ha transformando los feldespatos en arcillas, convirtiendo la granodiorita en un material arenoso y poco consistente, que se erosiona fácilmente. A continuación, en la Tabla 24, se presenta la distribución litológica encontrada a lo largo de la vía de estudio, con su respectiva área y porcentaje:

Tabla 24. *Distribución litológica*

Era	Período	Litología	Área (Ha)	Porcentaje (%)	
Cenozoico	Cuaternario	Deposito Aluvial	Aluvial	2.95	1.92
			Coluvio Aluvial	8.66	5.63
			Coluvial (areniscas)	2.78	1.81
		Deposito Coluvial	Coluvial de arena, limos y arcillas	44.68	29.03
			Coluvio de arenas, limos y arcillas con bloques frecuentes de arenisca y granodiorita	29.51	19.18

Mesozoico	Cretáceo		Coluvio de arenas, limos y arcillas con bloques esporádicos de arenisca y granodiorita	43.83	28.48
			Arenas Arcillosas	0.42	0.27
		Formación Tena	Arcillas abigarradas color café claro	17.45	11.34
			Arcillas abigarradas café rojizo	2.57	1.67
		Formación Hollín	Arenisca cuarzosa	0.98	0.64
Total			153.90	100	

Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

En cuanto a la geología estructural el área de estudio por sus condiciones geológicas, geomorfológicas y climáticas, no es posible identificar rasgos importantes, sin embargo, en las rocas sedimentarias se obtuvo orientaciones de 343/30° (Dip.Buz/Buz) en promedio con variación del buzamiento entre 25 a 35 grados.

Mediante fotointerpretación se definió la existencia de evidencias estructurales notando la existencia de un escarpe erosionado el cual está relacionada a la acción de fallas geológicas que generan desplazamiento vertical diferencial de las masas rocosas, generando escarpados. Este escarpe a su vez se encuentra interrumpido por la presencia de fallas laterales que provocan el desplazamiento lateral de la estratificación. Por otro lado, mediante el análisis de vegetación se ha podido diferenciar las litologías especialmente el contacto entre los sedimentos del río y las rocas sedimentarias.

7.2. Análisis de las propiedades físico, mecánicas y geotécnicas de los geomateriales

Esta investigación se basó en la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC 2014: apartado Geotecnia y Cimentaciones, donde se consideró dos métodos directos (calicatas y sondeos geotécnicos) y un método indirecto (sísmica de refracción), aportando con mayor cantidad de datos geotécnicos que sirvió para analizar, correlacionar y describir las propiedades físico-mecánicas de los geomateriales mediante estos métodos.

Con la apertura de calicatas, se obtuvo características preliminares; se determinó el contenido de humedad, límite líquido, límite plástico, granulometría, clasificación SUCS y AASHTO, lo cual dio como resultado que la vía tiene mayor cantidad de finos es decir se trata de suelos limosos y arcillosos. De los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio se exponen los siguientes:

Tabla 25. *Resultados de Ensayos de Granulometría*

Horizontes	Grava	Arena	Finos	C.H	LL	LP	IP
Horizonte 1	8.02	38.65	53.34	29.06	37.00	23.23	13.77

Horizonte 2	5.80	42.11	52.08	28.98	34.90	23.16	11.65
Horizonte 3	12.28	37.36	50.36	26.35	38.48	23.71	14.77

Nota: Obtenido de: Laborado Estsuelcon. Elaborado por: Autora, 2022.

El ensayo de granulometría fue realizado con el objetivo de determinar las proporciones de los distintos tamaños de grano existentes en la vía El Pincho - El Pangui, dado que conocer estas fracciones granulométricas en el suelo permiten determinar la cohesión y resistencia de las partículas, al estar bien graduado da una mayor estabilidad y capacidad portante. Según los datos de laboratorio de las calicatas ensayadas tanto para los horizontes de 0.50, 1.00 y 1.50 metros de profundidad hay mayor cantidad de finos es decir se trata de suelos limosos y arcillosos.

Con respecto a los ensayos de Perforación Rotativa con Recuperación Continua de Testigos y Ensayo de Penetración Estándar (S.P.T), se determinó que para el punto del Rio Pachicutza la perforación del margen derecho se obtuvo un rango de 62-159 golpes, correspondiendo a grava bien graduada con arcilla, limo y arena muy compacta, con porcentajes de humedad entre 4 y 10% y baja plasticidad, tiene una capacidad portante promedio de 8.28 kg/cm², a los cinco metros se encuentra el nivel freático y para la perforación del margen izquierdo se obtuvo un rango de 8-17 golpes, correspondiendo a gravas y arenas limosas de baja plasticidad de compacidad media y arcillas de consistencia firme, con un porcentaje de humedad de 14 y 86%, tienen una capacidad portante de 1.32 kg/cm², a los dos metros se encuentra el nivel freático. Es necesario señalar que, dado que el nivel freático apareció a los 2 y 5 metros de profundidad en la perforación, indicando que la saturación del suelo es agresiva, se la debe considerar como zona inestable. Por otro lado, para el punto de la quebrada Pincho los materiales encontrados en las perforaciones corresponden depósitos de carácter aluvial, identificadas como: grava mal graduada con limo y arena y arena limosa con grava muy compacta, con porcentajes de humedad entre 13 y 25 %, sin plasticidad. La información obtenida con los ensayos de SPT, es irrelevante. Con base en los resultados obtenidos, se realizan las correlaciones con tablas estandarizadas.

Correlación de Resultados

Comportamiento geotécnico de los suelos (arcillas)

- Consistencia Relativa

Permite determinar la firmeza y la solides del suelo.

$$CR = \frac{LL - W_n}{IP}$$

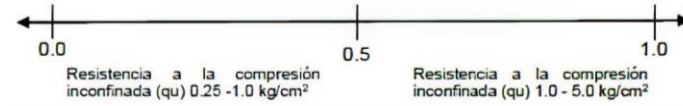


Tabla 26. *Consistencia relativa*

Intervalos	Descripción del suelo
0.00 – 0.25	Suelo muy blando
0.25 – 0.50	Suelo blando
0.50 – 0.75	Suelo consistencia media
0.75 – 1.00	Suelo consistencia rígida

Nota: Obtenido de: Vallejo (2002)

Tabla 27. *Resultados de consistencia relativa (CR)*

N° SPT	Consistencia relativa	Interpretación
PRPCH-MD-S01	1.09	Se determina que son suelos de consistencia rígida y tienen una resistencia a la compresión inconfiada (qu) de 1.0 - 5.0 kg/cm ² .
PRPCH-MD-S02	0.47	Se determina que son suelos de consistencia rígida y tienen una resistencia a la compresión inconfiada (qu) de 0.25 - 1.0 kg/cm ² .

Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

- **Índice de Liquidez (IL)**

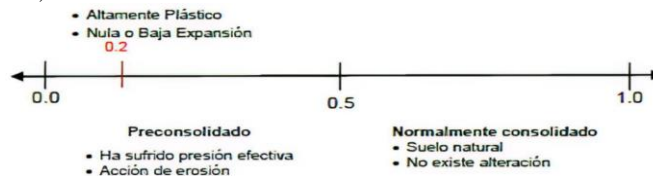
Este permite valorar el comportamiento plástico de los depósitos (suelos) y así tener idea de la historia de esfuerzos a la que están sometidos.

$$IL = \frac{Wn - LP}{IP}$$

Tabla 28. *Resultado de índice de liquidez (IL)*

N° SPT	Índice de liquidez	Interpretación
PRPCH-MD-S01	0.08	Se determina que son suelos preconsolidados, han sufrido presiones efectivas (T') y acción de erosión.
PRPCH-MD-S02	0.53	Se determina que son suelos normalmente consolidados, es suelo natural que no ha sufrido alteración.

Nota: Elaborado por: Autora, 2022.



- **Comportamiento de arcillas (A)**

Es un valor adimensional que permite determinar el comportamiento, actividad, potencial de cambio de volumen y el tipo de arcillas.

$$A = \frac{IP}{\text{Fracción de arcillas (\% < 2mm)}}$$

Tabla 29. Clasificación de las arcillas según su comportamiento “A”

Actividad	Clasificación	Tipo de arcilla	Potencial cambio de volumen
<0.75	Inactiva	Caolinita	Bajo
0.75 – 1.25	Normal	Lilita	Medio
>1.25	Activa	Montmorillonita	Alto

Nota: Obtenido de: Skempton & Macdonald (1956)

Tabla 30. Valores típicos del comportamiento “A”

Tipo de Arcilla	Valor del Parámetro A de Skempton
Altamente sensitiva	0.75 a 1.5
Normalmente consolidada	0.5 a 1.0
Arcilla arenosa compacta	0.25 a 0.75
Arcilla ligeramente sobreconsolidada	0.0 a 0.5
Arcillas gravosas compactas	-0.25 a +0.25
Arcillas muy sobreconsolidadas	-0.5 a 0.0

Nota: Obtenido de: Skempton & Macdonald (1956)

Tabla 31. Resultados del comportamiento “A”

N° SPT	Comportamiento de arcillas (A)	Interpretación
PRPCH-MD-S01	0.54	Se determina que son suelos inactivos, también estos suelos entran dentro del grupo la caolinita con un bajo potencial cambio de volumen, y se establece que este tipo de arcilla está normalmente consolidada.
PRPCH-MD-S02	0.57	Se determina que son suelos inactivos, también estos suelos entran dentro del grupo la caolinita con un bajo potencial cambio de volumen, y se establece que este tipo de arcilla está normalmente consolidada.

Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

Tabla 32. Criterios para determinar el cambio de volumen

Cambios de volumen de las arcillas (Δv)	Límites de contracción (LC)	IP
Bajo	>12	0 – 15
Moderado	10 – 12	15 – 30
Alto	0 – 10	>30

Nota: Obtenido de: Holtz & Gibbs (1956)

Tabla 33. Criterios para determinar el potencial expansivo

Potencial expansivo	Potencial (%)	LL (%)	IP (%)
Bajo	<0.5	<50	<25
Moderado	0.5 – 1.5	50 – 60	25-35
Alto	≥ 1.5	>60	>35

Nota: Obtenido de: Holtz & Gibbs (1956)

Tabla 34. Resultados tipo de arcilla

N° SPT	Interpretación
PRPCH-MD-S01	Corresponde a las caolinitas, estas tienen un cambio de volumen bajo y un potencial expansivo bajo.
PRPCH-MD-S02	Corresponde a las caolinitas, estas tienen un cambio de volumen moderado y un potencial expansivo bajo

Nota: Elaborado por: Autora, 2022.

En lo referente a métodos indirectos, la sismica determinó potencias de estratos con cambio de velocidad, estas velocidades de los estratos relacionadas con las velocidades de los materiales bibliográficos son muy bajas. Respecto a los módulos elásticos y dinámicos principalmente la relación de Poisson y el módulo de Young se obtuvo mediante la aplicación de fórmulas que relacionan las velocidades de cada capa.

Se definió el tipo de suelo considerando el criterio de velocidad de onda promedio para la LS1 un valor de 1045 m/s y para la LS2 un valor de 897 m/s, obteniendo un promedio de 970.5 m/s definiendo al suelo Tipo B, el cual se caracteriza por estar compuesto por rocas de rigidez media que cumplan con el siguiente criterio $1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$, según la NEC 2014.

7.3. Análisis de estabilidad de los taludes mediante la obtención de un Factor de Seguridad

Para el ensayo de corte directo los resultados obtenidos fueron a partir de suelos superficiales, siendo suelos, arenas y arcillas de baja plasticidad, y con una cohesión baja para las ocho muestras inalteradas, para futuras investigaciones es necesario la toma de muestras inalteradas a una mayor profundidad teniendo datos del suelo y su comportamiento en estratos más profundos.

Para determinar el factor de seguridad se lo hizo en base a taludes altos que puedan presentar amenaza cuando sean cortados para la ampliación de la vía, su geometría fue modelada a partir de la topografía y mediante el programa Slide 6.0 se procedió a calcular el factor de seguridad mínimo, se aplicó el criterio de Mohr-Coulomb.

El análisis de estabilidad global para los taludes se lo realizó para condiciones normales y en condiciones saturadas, obteniendo así valores que se acercan a la realidad. De acuerdo al análisis de equilibrio límite los taludes analizados se encuentran normalmente estables bajo condiciones normales siendo el FS en la mayoría de los casos mayor a 1.5, sin embargo, el talud N.º 8 presenta un FS de 1.2 indicando inestabilidad, mientras que el valor de FS obtenido en condiciones saturadas se encuentra por debajo de 1.5, indicando un fallo inminente.

El trabajo de investigación realizado presenta un alto nivel de confiabilidad, ya que al haber aplicado los métodos para conocer el estado actual del terreno y los resultados obtenidos; nos da un enfoque direccionado a los parámetros físico – mecánicos de la vía el Panguí – el Pincho; factores fundamentales en los estudios geológicos-geotécnicos.

8. Conclusiones

Del análisis y culminación del presente trabajo titulado Caracterización Geológica-Geotécnica de la vía el Pangui - el Pincho, cantones el Pangui y Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe, se ha podido obtener las siguientes conclusiones:

- La topografía de la vía de estudio comprende altitudes que van desde los 760 m.s.n.m a 818 m.s.n.m., abarca una superficie de 153.90 hectáreas. Las pendientes predominantes pertenecen a terrenos de tipo fuertemente inclinadas con el 42.09%, seguido de terrenos ligeramente inclinados con un 31.80%, terrenos muy inclinados con 23.45%, terrenos empinados con 2.48% y finalmente terrenos con una pendiente vertical con un 0.17%.
- Regionalmente la vía se ubica sobre el intrusivo granodiorítico de Zamora, en donde se han depositado arcillas y margas de la Formación Tena y areniscas cuarzosas de la Formación Hollín del periodo cretácico de la era del Mesozoico, y por depósitos y terrazas aluviales del periodo Cuaternario de la era del Cenozoico. Localmente la geología corresponde a arcillas abigarradas de la Fm. Tena y areniscas de la Fm. Hollín, y en su mayoría se han depositado materiales tipo coluvio-aluviales producto de la meteorización, erosión y transporte de materiales de la formación Hollín originando depósitos de suelos areno-limosos y areno-arcillosos con presencia de fragmentos y bloques de roca tipo areniscas y granodioritas. En la geología estructural se evidenció la estructura de un escarpe erosionado constituido de rocas sedimentarias estratificadas de la formación Hollín.
- Las muestras alteradas obtenidas mediante la apertura de calicatas, permitieron clasificar y determinar el tipo de suelo mediante las clasificaciones AASTHO y SUCS, dando como resultado para el Horizonte 1 (0.50 metros); un suelo A-6 que corresponde a suelos arcillosos y un suelo CL que corresponde a arcillas de baja plasticidad arenosa, presenta un contenido de humedad de 29.06%. Para las muestras del Horizonte 2 (1.00 metro); se obtienen un suelo A-4 que corresponde a suelos limosos y un suelo ML que corresponde a un suelo limo arenoso, presenta un contenido de humedad de 28.98%. Finalmente, para las muestras del Horizonte 3 (1.50 metros); se tiene un suelo A-7-6 que corresponde a suelos arcillosos y un suelo ML que son suelos limo arenosos, presenta una humedad de 26.35%.

- Mediante los sondeos geotécnicos realizados se determinó que para el punto del Rio Pachicutza, donde se ejecutó perforaciones a 20 metros de profundidad, para el margen derecho desde el nivel actual del terreno hasta una profundidad de 1.00 m corresponden limos arenosos con grava, del metro 1.00 al 6.00 son suelos granulares de color café con clastos que van de redondeados a sub-redondeados de diámetros entre 1.00 a 5.00 centímetros. De 6.00 a 7.00 metros, se encontró un estrato de arena limosa con grava. De 6.00 a 7.00, se encontró un estrato de arena limosa de color gris. Y de 7.00 a 9.00 metros se encontró grava con matriz arena arcillosa de color gris. De 9.00 a 11.50 metros se encontró arena mal graduada; y de 11.50 a 20 metros se encontró gravas limosas. Las compacidades van de compacta a muy compacta, tiene una capacidad portante promedio de 8.28 kg/cm^2 . Mientras que para el margen izquierdo desde el nivel actual del terreno hasta una profundidad de 1.00 m corresponde a gravas limosas. De 1.00 a 3.00; y de 7.00 10.00 metros hay arenas mal graduadas con arcillas. De 3.00 a 7.00 metros, se encontró un estrato de arcillas que van de plásticas a no plásticas. De 10 a 13 metros hay un estrato de arenas con gravas y desde 13 hasta 20 metros se tiene arenas limosas. Las compacidades van de suelta a media a compacta y muy compacta, tienen una capacidad portante de 1.32 kg/cm^2 . Para el otro punto a los márgenes de la quebrada el Pincho se realizaron dos perforaciones: una rotativa de 20.0 metros de profundidad, y una a percusión hasta 9.00 en cada margen, donde se obtuvo que tanto para el margen derecho e izquierdo no es conveniente realizar ensayos de SPT dado que se encuentra en una zona de depósitos aluviales, por la presencia de clastos y bloques ya que da rebote (rechazo) al ensayo, en este caso se pudo realizar el ensayo del metro 4.50 a 5.00, por ser un pequeño estrato de arenas con gravas.
- En cuanto a la sísmica de refracción para la LS1-Abcs. 1+790, se determinó 3 capas: la primera capa se trata de arenisca cuarzosa con un espesor de 1.50 a 2.60 metros y velocidades de onda $V_p=577 \text{ m/s}$ y $V_s=330 \text{ m/s}$, la segunda capa es roca altamente fracturada y meteorizada con un espesor de 6.00 a 9.00 metros y velocidades de onda $V_p=1350 \text{ m/s}$ y $V_s=771 \text{ m/s}$, la tercera capa se trata de roca muy fracturada con velocidades de $V_p=2800 \text{ m/s}$ y $V_s=1600 \text{ m/s}$. Para la LS2-Abcs. 12+990, se obtuvo 2 capas: la primera capa de depósito de arena, limos y arcillas con bloques esporádicos de arenisca con un espesor de 1.50 a 2.60 metros y velocidad de onda $V_p=450 \text{ m/s}$ y

$V_s=257$ m/s, la segunda capa con velocidades de onda $V_p=1920$ m/s y $V_s=1097$ m/s tratándose de una roca altamente fracturada y meteorizada.

- En el ensayo de corte directo, se analizó 8 muestras las cuales fueron tomadas considerando los taludes más altos para su posterior cálculo de factor de seguridad, con las muestras obtenidos se determinó densidad, ángulo de fricción y cohesión obteniendo los siguientes datos: en la primera muestra, tienen un ángulo de fricción de 29° y una cohesión de 0.8896 Kg/cm^2 , la segunda muestra tiene un ángulo de fricción de 26° y la cohesión de 0.2823 Kg/cm^2 , la tercer muestra tiene un ángulo de fricción de 17° y la cohesión de 0.4426 Kg/cm^2 , la cuarta muestra tiene un ángulo de fricción de 14° y la cohesión de 0.3019 Kg/cm^2 , la quinta muestra tiene un ángulo de fricción de 34° y la cohesión de 0.1930 Kg/cm^2 , la sexta muestra tiene un ángulo de fricción de 15° y la cohesión de 0.2511 Kg/cm^2 , la séptima muestra tiene un ángulo de fricción de 26° y la cohesión de 0.3014 Kg/cm^2 y la octava muestra tiene un ángulo de fricción de 17° y la cohesión de 0.3190 Kg/cm^2 .
- En cuanto al análisis de estabilidad de la vía de estudio; se calculó el factor de seguridad de ocho taludes tanto en condiciones normales como en condiciones saturadas, obteniendo que en condiciones normales todos los taludes analizados presentan un FS mayor a 1 indicando que se encuentran estables, mientras que en condiciones saturadas y dado que la vía se encuentra en una zona de lluvia el FS en todos los taludes está por debajo de 1 por lo tanto están en condición de fallo.

9. Recomendaciones

- Se recomienda la ampliación de la faja topográfica, abarcando una zona de influencia aproximada de 200 m a cada lado del eje central de la vía, para obtener mayor información de la variabilidad geológica-geotécnica.
- Considerar la construcción de muros en aquellos tramos con escaso pie de talud o donde debido a que la vía se encuentra muy cerca del cauce del río pueda existir riesgo de erosión.
- Realizar obras de drenaje para protección de superficies; tales son cunetas de coronación y de drenaje en bermas las cuales intercepten aguas provenientes de escorrentías superficiales, esto con finalidad de conservar y garantizar la estabilidad global de los taludes.
- Implementar alcantarillas que garanticen la durabilidad de la infraestructura dado el caso de existir zonas de anegamiento en épocas invernales.
- Construcción de sub-drenes en todo el margen derecho de la vía desde la abcs. 1+800 hasta el final de la vía para recoger el escurrimiento subsuperficial que viene desde el frente de cuesta al pie del escarpe denominado filo del pincho y va hacia el río Zamora.
- Para futuros estudios, complementar el estudio de taludes realizando ensayos de corte directo además de ensayos de sísmica de refracción y analizar el factor de seguridad de los taludes Modelo Pseudo-estático.
- Se recomienda incrementar la profundidad de prospección para determinar la variabilidad de las propiedades de los geomateriales
- Hacer ensayos geofísicos en la quebrada Pincho ya que los datos obtenidos del ensayo SPT son irrelevantes, para poder obtener valores de densidad, módulo de deformación, capacidad portante, ángulos de fricción, entre los más importante.

10. Bibliografía

- Alcántara García, D. A. (2014). *Topografía y sus aplicaciones* (Primera ed.). México: Ed. Continental.
- Arellano, J. (2002). *Ejercicios de Geología Estructural* (Primera Edición ed.). México: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ascuña, M. (26 de octubre de 2015). *Resistencia y deformabilidad de roca*. Obtenido de Resistencia y deformabilidad de roca: <https://es.slideshare.net/MIRIANASCUAQUIROGA/resistencia-y-deformabilidad-de-roca#:~:text=INTRODUCCION%20El%20comportamiento%20mec%C3%a1nico%20de,u>
- Ayala, A. (2003). *Mapas de susceptibilidad a movimientos de ladera con técnicas SIG*. Madrid.
- ASTM D422. (2007). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. *Astm, D422-63*(Reapproved), 1–8. <https://doi.org/10.1520/D0422-63R07E02.2>
- ASTM. (2015). Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils. *ASTM International, D2850 – 15*(2015), 1–6. <https://doi.org/10.1520/D2850-03AR07>. Copyright
- ASTM-D-2216-98. (1998). Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. *ASTM International, January*, 1–5. <https://doi.org/10.1520/D2216-10.N>
- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1977). *Engineering classification of rock masses for the desing of tunnel support. .*
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*.
- Borselli, L. (2017). *Geotecnia I*.
- Braja M, D. (1985). *Fundamentos de Ingeniería Geoténica*. Sacramento: Brooks/Cole.
- Braja M. Das, D. E., & Sobhan, K. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering* (Octava Edición ed.). USA.
- Braja, D. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geoténica* (Cuarta ed.). Santa Fe: Cengage Learning.
- Cantos. (1973). Obtenido de <https://www.osso.org.co/docu/tesis/2001/comportamiento/refraccion.pdf>
- Cardenas, M. V. (2007). *Fundamentos e Ingeniería de las puestas a tierra*.

- Carranza, R., & Yacelga, E. (2016). *Análisis comparativo de la zona de confinamiento para la conformación de la rótula plástica en vigas de hormigón armado*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6600/1/T-UCE-0011-217.pdf>
- Chelotti, L., Acosta, N., & Foster, M. (2009). *Cátedra de Geofísica Aplicada*. Chubut, Argentina.
- COOTAD. (2019). Código Orgánico de Organización Territorial Descentralizado, COOTAD. *Registro Oficial Suplemento 303 de 19-oct.-2010*, 1–180. <Http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/COOTAD.pdf>
- Chinchipe, G. A. (2019). *Pdot*. Obtenido de <http://zamora-chinchipe.gob.ec/wp-content/uploads/2020/08/PDOT-2019-2023-ZAMORA-CHINCHIPE.pdf>
- Cortés, M., & Iglesias, M. (2004). *Generalidades sobre la Metodología de la Investigación*. México: Universidad Autónoma del Carmen.
- Duque, G., & Escobar, C. (2016). *Universidad Nacional de Colombia*.
- EADIC. (2020). *Clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos*. Obtenido de *Clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos*: <https://www.eadic.com/clasificaciones-geomecanicas-de-macizos-rocosos/>
- Fellenius, W. (1927). *Esdstatiche Bereshnungen mit Reibung und Kohasion*. Berlin, Alemania.
- GAD Provincial Zamora Chinchipe. (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Zamora Chinchipe 2019-2023. *Gobierno Provincial Zamora Chinchipe*, 247. <https://bit.ly/3ubs9yh>
- GEORYS. (marzo de 2016). *Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)*. Obtenido de *Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)*: <http://www.georys.com/wp-content/uploads/2020/05/Presentacion-masw.pdf>
- GEOTEM. (2016). *GEOTECNIA*. Obtenido de *GEOTECNIA*: <http://www.geotem.com.mx/sismico4.php>
- Gil Montes, J. (2011). *Recursos Hidrogeológicos*. Venezuela.
- Glezz, S. (2017). *Informe de un sondeo Eléctrico*. Obtenido de *Informe de un sondeo Eléctrico*: <https://es.scribd.com/document/340009744/Informe-de-un-Sondeo-electrico-vertical>
- GMCEE. (2018). *Sondeos mecánicos a rotación con recuperación de testigos*. Obtenido de *Sondeos mecánicos a rotación con recuperación de testigos*.: <https://www.gmcee.com/sondeos-mecanicos-a-rotacion-con-recuperacion-de-testigos>

<https://www.gmcingenieria.com/servicios/geotecnia-en-madrid/sondeos-mecanicos-a-rotacion-con-recuperacion-de-testigos/>

González de Vallejo, L. (2002). *INGENIERÍA GEOLÓGICA*. Prentice Hall.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *INGENIERIA GEOLÓGICA*.

González, L., Ferrer, M., & Ortuño, L. &. (2002). *INGENIERÍA GEOLÓGICA*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN. Obtenido de https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod_resource/content/1/Livro%20.pdf

Gobierno Autónomo Descentralizado de Yantzaza. (2011). Actualización del Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Yantzaza. *Gobierno Autónomo Descentralizado de Yantzaza*. <https://bit.ly/2qewvrz>

Herrera, J., & Castilla, J. (2012). *Utilización de Técnicas de Sondeos en estudios geotécnicos*. Madrid: Atlas Copco. Obtenido de https://oa.upm.es/10517/1/20120316_Utilizacion-tecnicas-sondeos-geotecnicos.pdf

Jiménez, J., Alpañes, J., & Serrano, A. (1981). *Geotecnia y Cimientos II*. Madrid: Rueda.

López, J., Mejía, J., & Vega, N. (marzo de 2008). *UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR*. Obtenido de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4379/1/Aplicaci%C3%b3n%20del%20m%C3%a9todo%20de%20refracci%C3%b3n%20sismica%20para%20la%20dterminaci%C3%b3n%20de%20velocidades%20de%20ondas%20%20P.pdf>

LÓPEZ AVALOS, J. M., MEJÍA CARRILLOS, J. A., & VEGA, N. D. (marzo de 2008). Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4379/1/Aplicaci%C3%b3n%20del%20m%C3%a9todo%20de%20refracci%C3%b3n%20sismica%20para%20la%20dterminaci%C3%b3n%20de%20velocidades%20de%20ondas%20%20P.pdf>

Maldonado, Y. (01 de 01 de 2018). *Geología web*. Recuperado el 08 de 11 de 2021, de <https://geologiaweb.com>

Maldonado, Y. (01 de 01 de 2018). *Geología web*. Obtenido de <https://geologiaweb.com>

- Manzano, M. (10 de noviembre de 2008). *Trazado e Interpretación de Superficies Piezométricas*. Obtenido de Trazado e Interpretación de Superficies Piezométricas: https://www.upct.es/~minaees/practica2_explicacion.pdf
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), & Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR). (2015). Guía práctica para la ejecución de estudios geotécnicos y trabajos de cimentación. *Norma Ecuatoriana de La Construcción*, 200. MIDUVI.GOB.EC
- NEC - SE - GC. (2014). *Geotécnia y Cimentaciones*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). NEC-SE-GC Geotecnia y cimentaciones. In *Design and Optimization of Metal Structures*.
- NEVI-12-MTOP. (2013). Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. *Ministerio de Transporte y Obras Públicas Del Ecuador*, 3, 1028.
- NEVI. (2013). Norma Ecuatoriana Vial. *Norma Ecuatoriana Vial - NEVI 12, 1(00598)*, 83. Http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_1.pdf
- La, S., & Desastres, R. D. E. (2005). *Republica del ecuador*. 653, 1–17. Http://repositorio.iaen.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/24000/3845/TESIS_RICAURTE_2016_FINAL.pdf?Sequence=1&isallowed=y
- PUIG, J. (2005). *Geología Aplicada a la ingeniería civil y fotointerpretación*. Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ramírez Oyabguren, P., & Alejano Monge, L. (2004). *Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*. Madrid: Red DESIR.
- Rodríguez Infante, A. (2005). *Estudio Morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica* (Vol. 21). Holguín, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr Antonio Nuñez Jiménez". Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?Id=223516051004>
- Salas, A. T. (2016). *Análisis y mejora de la calidad en el proceso de perforación en diamantina utilizando la metodología DMAIC*. Santiago de Chile: Universidad Andrés Bello.

- SALVADOR, I. C. (2009). *INGENIERO CIVIL EN EL SALVADOR*. Obtenido de INGENIERO CIVIL EN EL SALVADOR: <http://ingenieriasalva.blogspot.com/2009/05/ensayo-penetracion-estandar.html>
- SAPA. (febrero de 2014). *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades en la A.M.G.* Obtenido de Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades en la A.M.G.: https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_7._geotecnia.pdf
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Colombia.
- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos: Analisis Geotécnico* (Vol. Volumen 1).
- Ureta Chalén, C. G. (2017). *Aplicación de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 para un suelo tipo F. Caso específico de cálculo de asentamientos utilizando el método de Asaoka*. Guayaquil, Ecuador.
- Val, J. D. (mayo de 2015). *Sigtierras.gob.ec*. Obtenido de http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria_tecnica_Geomorfologia_EL_PANGUI_20151117.pdf
- Vallejo, L. G. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Varnes, D. (1978). *Tipos y procesos de movimiento de pendientes*. . Washington, Dc.: Academia Nacional de Ciencias.
- Villa, A. (2018). *Ensayo Granulometría*. Obtenido de Ensayo Granulometría: https://es.slideshare.net/aydeepeavillacorta?Utm_campaign=profiletracking&utm_medium=ssssite&utm_source=ssslideview
- Werner, J. (1996). *Introducción a la Hidrogeología* (Primera Edición ed.). México: Universidad Autónoma de Nuevo León.

11. Anexos

Anexo 1. *Fichas de descripción de afloramientos*

Anexo 2. *Resultado de muestras de calicatas*

Anexo 3. *Perfil geotécnico de calicatas*

Anexo 4. *Sondeos geotécnicos*

Anexo 5. *Resultados de Sísmica de refracción (Sismogramas)*

Anexo 6. *Resultados de Sísmica de refracción (Domocronas)*

Anexo 7. *Parámetros dinámicos en base a la sísmica de refracción absc. 1+790 y 12+990*

Anexo 8. *Resultados de ensayos de corte directo*

Anexo 9. *Mapa de Ubicación.*

Anexo 10. *Mapa Topográfico*

Anexo 11. *Mapa de Pendientes*

Anexo 12. *Mapa de Geomorfología Regional*

Anexo 13. *Mapa Geomorfológico*

Anexo 14. *Mapa de Geología Regional*

Anexo 15. *Mapa de Geología Local*

Anexo 16. *Mapa Geotécnico*

Anexo 17. *Registro fotográfico*

(Ubicado en CD-R, N°1)

Anexo 18. Certificado de traducción del resumen

María Eduarda Ludeña Piedra

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN IDIOMA INGLES

Certifico. -

Que la traducción del documento adjunto por la señorita **Ana Gabriela Jiménez Ramírez** con numero de cédula de ciudadanía **1150291332**, cuyo tema de investigación se titula "**Caracterización geológica-geotécnica de la vía el Panguí – el Pincho, cantones el Panguí y Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe**", ha sido realizado por mi persona en calidad de licenciada en pedagogía del idioma inglés.

Esta es una traducción textual del documento adjunto, y el traductor es competente para realizar traducciones.

Lo certifico en honor a la verdad, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.



María Eduarda Ludeña Piedra

Licenciada De Inglés

C.I: 1105333825

Número de registro: 1031-2020-2199488