



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y
LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y
ORDENAMIENTO TERRITORIAL**

**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN LA VÍA INTERVALLES
DESDE EL TRAMO 6+060 HASTA 9+100, UBICADA EN EL BARRIO LA ERA,
PARROQUIA EL TAMBO, CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA.”**

Tesis de grado previo a la
obtención del título de Ingeniera en
Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial.

AUTORA:

Sandra Fernanda Alvarado Jaramillo

DIRECTOR:

Ing. Diego Israel Castillo Jaramillo. Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2020

CERTIFICACIÓN

Ingeniero.

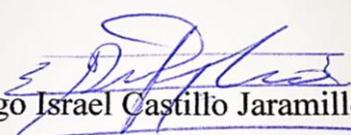
Diego Israel Castillo Jaramillo. Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, realizado por la señorita egresada: **SANDRA FERNANDA ALVARADO JARAMILLO** C.I., 1105638769, en su proceso de investigación denominado “**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN LA VÍA INTERVALLES DESDE EL TRAMO 6+060 HASTA 9+100, UBICADA EN EL BARRIO LA ERA, PARROQUIA EL TAMBO, CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA.**”, previo a la obtención del título de Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, el mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, en consecuencia me permito autorizar para su presentación, sustentación y defensa.

Loja, 10 de febrero de 2020



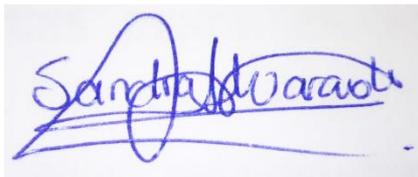
Ing. Diego Israel Castillo Jaramillo. Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **SANDRA FERNANDA ALVARADO JARAMILLO** declaro ser autor del proyecto de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula: 1105638769

Fecha: Loja, 10 de febrero de 2020

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN DEL TEXTO COMPLETO

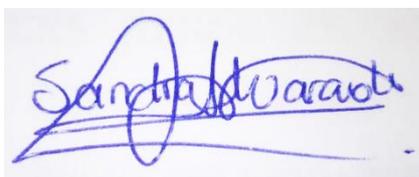
Yo, **SANDRA FERNANDA ALVARADO JARAMILLO**, declaro ser el autor de la tesis titulada: “**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN LA VÍA INTERVALLES DESDE EL TRAMO 6+060 HASTA 9+100, UBICADA EN EL BARRIO LA ERA, PARROQUIA EL TAMBO, CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA.**”, como requisito para optar al grado de: **INGENIERA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

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

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

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

Firma:



Autor: Sandra Fernanda Alvarado Jaramillo

Cédula: 1105638769

Dirección: Calle Hernán Cortez y Porfirio Díaz, Urbanización Zarzas I.

Correo electrónico: fernanda_al_j@hotmail.com

Teléfono: 072109494

Celular: 0980142252

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Diego Israel Castillo Jaramillo, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho, Mg. Sc

Ing. Carlomagno Nixon Chamba Tacuri, Mg. Sc

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado primeramente a Dios por permitirme estar viva, a mi ángel que desde el cielo nos cuidas, a mis padres, Pablo y Sandra por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes porque me motivaron a siempre a perseguir mis sueños, por su amor y apoyo incondicional. Todo este trabajo es por ellos.

A mis hermanas, Hipatia y María Paula, por la unión inigualable que tenemos, por el apoyo incondicional y la motivación continua, las amo. A mis tíos y mis abuelitos, Jorge y Mariela, por el cariño y atención que siempre me brindan, gracias hacerme ver que sin esfuerzo nada es posible.

“El éxito no es la clave de la felicidad. La felicidad es la clave del éxito. Si amas lo que haces, tendrás éxito”-

Albert Schweitzer.

AGRADECIMIENTO

Un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales.

En primer lugar, mi agradecimiento se dirige a Dios, quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el camino correcto, quien guía el destino de mi vida.

A mis padres doy las gracias por todo lo que incondicionalmente me han brindado. Yo sé que el cuidado y educación de un niño no es cosa de juego, se requiere de mucha responsabilidad, la cual ustedes me han sabido inculcar con su ejemplo, al igual les agradezco por ser parte de mi educación constante y el amor incondicional.

A mis hermanas, les agradezco no solo por estar presentes aportando buenas cosas a mi vida, sino por los grandes lotes de felicidad y de diversas emociones que siempre me han causado, porque con ellas compartí una infancia feliz, que guardo en el recuerdo y es un aliento para mi vida. A la Familia Jaramillo Pintado, Jaramillo Benítez y Calé Alvarado, por la motivación y el apoyo incondicional desde siempre.

A mis amigas: Andrea Soto, María Elizalde y Katty Guamán, gracias por los buenos e inolvidables momentos vividos durante estos años de universidad, que sin duda estarán siempre conmigo.

En este caso mi más sincero agradecimiento al Ing. Diego Castillo, por su orientación, atención, por el arduo trabajo de transmitirme sus diversos conocimientos, además por encaminarme por el camino correcto, con cuyo trabajo estaré siempre en deuda. Gracias por su amabilidad y su tiempo

A mi Alma Mater, Universidad Nacional de Loja, especialmente a los docentes de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, por permitirme al final lograr conseguir un título profesional y pues, antes de eso aprender muchas cosas respecto a ese campo; sino también aprender a luchar en la sociedad. Gracias por su paciencia y enseñanza para poder ser una buena profesional.

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN DEL TEXTO COMPLETO	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
TABLA DE CONTENIDOS	vii
1.TÍTULO	1
2.RESUMEN	2
3.INTRODUCCIÓN	6
4.REVISIÓN DE LITERATURA	7
4.1. Topografía	7
4.2. Levantamiento Topográfico	7
4.3. Aplicación topográfica con drones	7
4.3.1. Drones.....	8
4.3.2. Uso de drones en topografía	8
4.3.3. Ventajas de los Drones.....	8
4.3.4. Desventajas de los Drones	9
4.4. Geología.....	9
4.5. Geología estructural	9
4.6. Elementos estructurales	10
4.7. Pliegues.....	10
4.7.1. Clasificación de pliegues por su orientación	11
4.8. Fallas.....	11
4.8.1. Tipos principales de fallas	12
4.9. Geomorfología	14
4.9.1. Geoforma	14
4.9.2. Mapa geomorfológico	14
4.10. Hidrología	15
4.10.1. Hidrogeología	15
4.10.2. Nivel Freático.....	15
4.11. Deslizamientos	16
4.11.1. Clasificación de los movimientos	16
4.12. Marco Geotécnico	19
4.12.1. Geotecnia	19
4.12.2. Estudio Geotécnico	19
4.12.3. Métodos Directos.....	19
4.12.4. Métodos Indirectos	20
4.12.5. Mecánica de Suelos	23
4.12.6. Ensayos de Mecánica de suelos.....	23
4.12.7. Sistema de Clasificación de Suelos	25
4.12.8. Mecánica de rocas	26
4.12.9. Macizo Rocoso	26
4.12.10. Clasificaciones geomecánica de los macizos rocos	27
4.13. Análisis Geotécnico	39
4.13.1. Criterio de rotura de Mohr –Coulomb.....	39
4.13.2. Criterio de Rotura de Hoek & Brown.....	40
4.13.3. Análisis de estabilidad de macizos rocosos	42
4.13.4. Factor de Seguridad	47
5.MATERIALES, MÉTODOS Y METODOLOGÍA	49

5.1.	Materiales	49
5.2.	Metodología.....	50
5.2.1.	Investigación no experimental	50
5.2.2.	Investigación experimental	50
5.2.3.	Levantamiento Topográfico	50
5.2.4.	Levantamiento Geológico-Estructural	52
5.2.5.	Pendientes	54
5.2.6.	Geomorfología.....	54
5.2.7.	Mecánica de Rocas	56
5.2.8.	Ensayo de Penetración Estándar.....	61
5.2.9.	Ensayo de sísmica de refracción	63
5.2.10.	Caracterización del macizo rocoso	67
5.2.11.	Análisis de estabilidad global de taludes.....	70
6.	RESULTADOS.....	71
6.1.	Descripción General del área de estudio	71
6.1.1.	Ubicación administrativa del área de estudio.....	71
6.1.2.	Acceso	72
6.2.	Descripción Biofísica del área de estudio	72
6.2.1.	Clima	72
6.2.2.	Hidrografía.....	73
6.2.3.	Cobertura Vegetal	75
6.2.4.	Topografía	77
6.2.5.	Geomorfología.....	85
6.2.6.	Pendientes	89
6.2.7.	Geología Regional.....	91
6.2.8.	Geología Local	94
6.2.9.	Geología Estructural.....	105
6.2.10.	Inventario de deslizamientos	111
6.3.	Propiedades físicas de las rocas	116
6.3.1.	Resistencia a la compresión simple.....	116
6.3.2.	Propiedades físicas de las rocas	118
6.4.	Método Indirecto: Sísmica de Refracción.....	119
6.4.1.	Sondeo Línea de Refracción Sísmica 1.....	119
6.4.2.	Sondeo Línea de Refracción Sísmica 2.....	121
6.4.3.	Sondeo Línea de Refracción Sísmica 3.....	123
6.5.	Método Directo: Ensayo de Penetración Estándar.....	125
6.5.1.	SPT N° 1	126
6.5.2.	SPT N° 2	127
6.6.	Clasificación de los macizos rocosos.....	129
6.6.1.	RQD, cálculo del índice de calidad de la roca. (Deere, 1967).....	129
6.6.2.	RMR, Rock Mass Rating, (Bienawski, 1973)	135
6.6.3.	Clasificación GSI, Geological strength index. (Hoek, 1994).....	139
6.7.	Análisis Geológico-Geotécnico	140
6.7.1.	Análisis de Resistencia del macizo rocoso mediante el Criterio de rotura de Hoek & Brown	140
6.7.2.	Parámetros generales de estabilidad por método Hoek and Brown ajustado al criterio Mohr-Coulomb.....	145
6.8.	Análisis de estabilidad global.....	145
6.8.1.	Análisis de estabilidad global Talud 4.A.....	145
6.8.2.	Análisis de estabilidad global Talud 4.B.....	146
6.8.3.	Análisis de estabilidad global Talud 6.....	147
6.8.4.	Análisis de estabilidad global Talud 8.....	148
6.8.5.	Análisis de estabilidad global Talud 12.....	149

6.8.6.	Análisis de estabilidad global Talud 14.	150
6.8.7.	Análisis de estabilidad global Talud 18.	151
6.9.	Análisis de estabilidad global Talud D-1.	152
6.10.	Resumen de análisis de estabilidad global.	153
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	154
8.	CONCLUSIONES.....	156
9.	RECOMENDACIONES	159
10.	BIBLIOGRAFÍA	160
11.	ANEXOS	166
	Anexo 1. Fichas de puntos de control.....	167
	Anexo 2: Reporte de procesamiento de datos para topografía	178
	Anexo 3: Ficha de afloramientos	188
	Anexos 4: Ficha de inventario de deslizamientos	208
	Anexo 5: Fichas de caracterización mecánica	211
	Anexo 6: Resultados de Resistencia a la compresión simple	218
	Anexo 7: Resultados de Esclerometría de roca.....	219
	Anexo 8: Propiedades físicas de rocas.....	220
	Anexo 9: Resultados de sísmica de refracción	222
	Anexo 10: Mapas	226
	Mapa de Ubicación y acceso.....	227
	Mapa de Flujos Superficiales.....	228
	Mapa de Cobertura Vegetal.....	229
	Mapa Geomorfológico	230
	Mapa topográfico Abscisa 6+100 a 7+800.....	231
	Mapa topográfico Abscisa 7+800-9+100	232
	Mapa de pendientes.....	233
	Mapa de Geología Regional	234
	Mapa de geología local Abscisa 6+100 a 7+800	235
	Mapa de geología local Abscisa 7+800-9+100	236

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de la calidad del Macizo rocoso según el RQD	28
Tabla 2:	Parámetros de clasificación y sus valores, (Bienaswki, 1989).....	30
Tabla 3:	Orientaciones relativas entre las juntas y el eje de la cavidad.....	31
Tabla 4:	Determinación de la clase del macizo rocoso	31
Tabla 5:	Factores de ajuste de la Clasificación SMR	34
Tabla 6:	Valores del SMR para cada tipo de rotura	35
Tabla 7:	Caracterización del macizo rocoso en función de los bloques basado en el entramamiento y las condiciones de las juntas	37
Tabla 8:	Estimación del GSI para macizos heterogéneos.....	38
Tabla 9:	Guías para estimar el factor de alteración D.	38
Tabla 10:	Materiales y equipos utilizados para proyecto de investigación.....	49
Tabla 11:	Puntos de control para levantamiento de información.....	51
Tabla 12:	Ficha de afloramientos.....	53
Tabla 13:	Clasificación de Pendientes	54
Tabla 14:	Clasificación Geomorfológica	54
Tabla 15:	Clasificación Geomorfológica	55
Tabla 16:	Ubicación de toma de muestras	56
Tabla 17:	Rangos del Coeficiente de Poisson.....	66
Tabla 18:	Parámetros de estabilidad.....	70

Tabla 19: Parámetros de estabilidad 18 y D-1	70
Tabla 20: Coordenadas UTM (WGS84)	71
Tabla 21: Coordenadas de referencia del área de estudio.	72
Tabla 22: Cobertura Superficial del área de estudio.....	75
Tabla 23: Puntos de control para levantamiento de información.	77
Tabla 24: Posiciones de cámara.....	80
Tabla 25: ECM de puntos de apoyo.....	80
Tabla 26: Geomorfología del área de estudio.	85
Tabla 27: Rango de pendiente en el área de estudio.	89
Tabla 28: Ubicación de afloramientos	94
Tabla 29: Inventario de deslizamientos	111
Tabla 30: Inventario de deslizamientos D-2	112
Tabla 31: Ubicación de obtención de muestra para análisis de Laboratorio.	117
Tabla 32: Resultados de Compresión Simple de las muestras.	118
Tabla 33: Resultados de Compresión Simple de las muestras.	118
Tabla 34: Datos estructurales de la zona de estudio.....	119
Tabla 35: Resultados Perfil Estratigráfico L.R.S.1.....	121
Tabla 36: Resultados Perfil Estratigráfico L.R.S.2.....	123
Tabla 37: Resultados Perfil Estratigráfico L.R.S.3.....	125
Tabla 38: Ubicación de ensayo SPT	125
Tabla 39: Numero de Golpes en campo S.P.T. N° 1	126
Tabla 40: Resultados S.P.T. N° 1	126
Tabla 41: Numero de Golpes en campo S.P.T. N° 2.....	127
Tabla 42: Resultados S.P.T. N°2	128
Tabla 43: Taludes caracterizados.	129
Tabla 44: Cálculo RQD del talud N° 4a	130
Tabla 45: Cálculo RQD del talud N° 4	131
Tabla 46: Cálculo RQD del talud N° 6	132
Tabla 47: Cálculo RQD del talud N° 8.....	132
Tabla 48: Cálculo RQD del talud N° 12	133
Tabla 49: Cálculo RQD del talud N° 14	134
Tabla 50: RQD de los taludes.	134
Tabla 51: Parámetros para la clasificación geomecánica RMR del talud 4.1.....	135
Tabla 52: Parámetros para la clasificación geomecánica RMR del talud 4.2.....	136
Tabla 53: Parámetros para la clasificación geomecánica RMR del talud 6	136
Tabla 54: Parámetros para la clasificación geomecánica RMR del talud 8	137
Tabla 55: Parámetros para la clasificación geomecánica RMR del talud 12.	138
Tabla 56: Parámetros para la clasificación geomecánica RMR del talud 14.	138
Tabla 57: Resumen de resultados de RMR	139
Tabla 58: Resumen de resultados de GSI	140
Tabla 59: Datos de entrada para análisis en Roclab, 2019.	140
Tabla 60: Parámetros de estabilidad.....	145
Tabla 61: Resumen de resultados de RMR	153

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Dirección y buzamiento de un estrato rocoso.....	10
Figura 2: Bloque diagrama de tipos de pliegues.....	11
Figura 3: Bloque diagrama de falla Normal.....	12
Figura 4: Bloque diagrama de falla Inversa.....	13
Figura 5: Bloque diagrama de falla transformante.....	13
Figura 6: Distribución del agua subterránea.....	15
Figura 7: Procesos que conducen al Volcamiento o inclinación en materiales residuales.....	16
Figura 8: Esquema de un proceso de reptación.....	17
Figura 9: Desplazamiento de rotación en una ladera.....	17
Figura 10: Desplazamiento de traslación en una ladera.....	18
Figura 11: Flujo de detritos en una ladera.....	18
Figura 12: Esquema simplificado de un Sondeo Eléctrico.....	20
Figura 13: Dispositivos electródicos Schlumberger y Wenner.....	21
Figura 14: Modelo de dos capas, con la velocidad de la primera capa mayor.....	22
Figura 15: Macizo rocoso y su estructura.....	27
Figura 16: Correlaciones entre diferentes métodos para medidas de tamaño de bloque.....	29
Figura 17: Gráfica de valoración Resistencia a la compresión- Bienawski, (1989).....	32
Figura 18: Gráfica de valoración de RQD- Bienawski, (1989).....	32
Figura 19: Gráfica de valoración de Espaciamiento de discontinuidades- Bienawski, (1989).....	33
Figura 20: Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones normal y tangencial.....	40
Figura 21: Representación del criterio de rotura de Hoek & Brown, en el espacio de tensiones normal y tangencial.....	41
Figura 22: Representación de rotura plana.....	44
Figura 23: Representación de rotura en cuña.....	44
Figura 24: Análisis cinemático de la estabilidad de un talud en roca por rotura Cuneiforme.....	45
Figura 25: Representación de rotura en vuelco.....	46
Figura 26: Análisis cinemático de la estabilidad de un talud en roca por rotura en vuelco.....	46
Figura 27: Domocrona LRS2.....	64
Figura 28: Ubicación administrativa de proyecto de estudio.....	71
Figura 29: Flujos superficiales dentro del área de estudio.....	74
Figura 30: Cobertura Vegetal del área de estudio.....	76
Figura 31: Puntos de control para levantamiento de información.....	77
Figura 32: Plan de vuelo tramo vía Intervalles, Sector La Era – Cantón Catamayo.....	78
Figura 33: Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.....	79
Figura 34: Modelo 3D.....	80
Figura 35: Ortofotomosaico.....	81
Figura 36: Topografía del área de estudio desde la abscisa 6+090 a 7+800.....	82
Figura 37: Topografía del área de estudio desde la abscisa 7+800 a 9+100.....	83
Figura 38: Perfil topográfico 1.....	84
Figura 39: Perfil topográfico 2.....	84
Figura 40: Perfil topográfico 3.....	85
Figura 41: Geomorfología del área de estudio.....	86
Figura 42: Mapa de pendientes.....	90
Figura 43: Geología Regional del área de estudio.....	93

Figura 44: Perfil Geológico A-A`	94
Figura 45: Geología local del área de estudio de 6+060 a 7+800.....	103
Figura 46: Geología local del área de estudio de 7+800 a 9100.....	104
Figura 47: Corte geológico A-A´	105
Figura 48: Corte geológico B-B´	105
Figura 49: Corte geológico C-C´	105
Figura 50: Mapa esquemático de falla del norte de la cuenca Malacatos–Vilcabamba.	106
Figura 51: Corte Perpendicular D-1	113
Figura 52: Corte Perpendicular D-2.....	115
Figura 53: Corte Perpendicular D-2.....	116
Figura 54: Puntos de muestreo de roca.....	117
Figura 55: Sismograma LRS1-Golpe 1(30m); Golpe 2(15m); Golpe 3(0m)	119
Figura 56: Domocrona LRS1	120
Figura 57: Perfil Estratigráfico LRS1	120
Figura 58: Sismograma LRS2-Golpe 1(30m); Golpe 2(15m); Golpe 3(0m)	121
Figura 59: Domocrona LRS2.....	122
Figura 60: Perfil Estratigráfico LRS2	122
Figura 61: Sismograma LRS3-Golpe 1(30m); Golpe 2(15m); Golpe 3(0m)	123
Figura 62: Domocrona LRS3.....	124
Figura 63: Perfil Estratigráfico LRS3	124
Figura 64: Análisis de resistencia para el Talud 4.A.	141
Figura 65: Análisis de resistencia para el Talud 4.B.	141
Figura 66: Análisis de resistencia para el Talud 6.	142
Figura 67: Análisis de resistencia para el Talud 8.	143
Figura 68: Análisis de resistencia para el Talud 12.....	143
Figura 69: Análisis de resistencia para el Talud 14.....	144
Figura 70: Diseño del talud 4A para análisis de estabilidad global.	145
Figura 71: Análisis de rotura general para el talud 4.A	146
Figura 72: Diseño del talud 4B para análisis de estabilidad global.	146
Figura 73: Análisis de rotura general para el talud 4.B	147
Figura 74: Diseño del talud 6 para análisis de estabilidad global.....	147
Figura 75: Análisis de rotura general para el talud 6.....	148
Figura 76: Diseño del talud 8 para análisis de estabilidad global.....	148
Figura 77: Análisis de rotura general para el talud 8.....	149
Figura 78: Diseño del talud 12 para análisis de estabilidad global.....	149
Figura 79: Análisis de rotura general para el talud 12.....	150
Figura 80: Diseño del talud 14 para análisis de estabilidad global.....	150
Figura 81: Análisis de rotura general para el talud 14.....	151
Figura 82: Diseño del talud 18 para análisis de estabilidad global.....	151
Figura 83: Análisis de rotura general para el talud 18.....	152
Figura 84: Diseño del talud para análisis de estabilidad global.....	152
Figura 85: Análisis de rotura general para el talud.....	153

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: A) Muestras de roca B) Testigo de roca	57
Fotografía 2: A) Ensayo de compresión a la Muestra 1 (M1) B) Cubos ensayados C) Ensayo de compresión al testigo de roca	58
Fotografía 3: Ensayo de densidad A) Peso de la muestra B) Colocación del material dentro del picnómetro c) Aplicación de la bomba del vacío a la muestra en el	

picnómetro D) Incorporación del agua destilada E) Peso del picnómetro con agua destilada.....	59
Fotografía 4: A) Ensayo SPT 1 B) Ensayo SPT 2	62
Fotografía 5: A) Ensayo refracción sísmica 1 B) Ensayo refracción sísmica 2 C) Ensayo refracción sísmica 3.....	63
Fotografía 6: A-B) Recolección de información para la caracterización del macizo rocoso: Rugosidad con peine de Barton y Resistencia a la compresión simple mediante esclerómetro.....	68
Fotografía 7: Colinas Bajas	87
Fotografía 8: Colinas Medias	87
Fotografía 9: Colinas Altas	88
Fotografía 10: Relieve Montañoso Bajo	88
Fotografía 11: Relieve Montañoso	89
Fotografía 12: Depósitos Coluviales de toba Dacítica	95
Fotografía 13: Vista NW-SE de afloramiento de Toba Dacítica	96
Fotografía 14: Toba Andesítica con medio grado de meteorización. Vista NE-SW.....	97
Fotografía 15: Toba brechosa de composición Andesítica. Vista NW-SE.....	97
Fotografía 16: Rocas Vulcano-sedimentarias: Brechas Volcánicas y aglomerados	98
Fotografía 17: Toba Andesítica con alto grado de meteorización. Vista NE-SW ...	99
Fotografía 18: Lutitas con intercalaciones de arcillas. Vista NE-SW.....	100
Fotografía 19: Depósito Aluvial	101
Fotografía 20: Material de relleno. Vista NE-SW	102
Fotografía 21: Vista NW-SE de afloramiento de Lutitas con intercalaciones de areniscas de la Unidad Huayco.....	107
Fotografía 22: Vista NW-SE del contacto entre Toba Dacítica y Toba Andesítica de la Unidad Huayco. El contacto buza hacia el SE.....	108
Fotografía 23: Vista NW-SE de relleno de contacto entre Toba Dacítica y Toba Andesítica de la Unidad Huayco.....	109
Fotografía 24: Vista N-S de posible contacto de falla El Tambo de la Unidad Huayco.....	110
Fotografía 25: Vista NW-SE del sistema de microfallas del Km 6+650 de la Unidad Huayco.....	111
Fotografía 26: Deslizamiento D-1.....	113
Fotografía 27: Deslizamiento D-2.....	114
Fotografía 28: Deslizamiento D-3.....	115
Fotografía 29: Representación gráfica de juntas en macizo rocoso del talud 4 ...	130
Fotografía 30: Representación gráfica de juntas en macizo rocoso del talud 4 ...	131
Fotografía 31: Representación gráfica de juntas en macizo rocoso del talud 6 ...	131
Fotografía 32: Representación gráfica de juntas en macizo rocoso del talud 8 ...	132
Fotografía 33: Representación gráfica de juntas en macizo rocoso del talud 12 .	133
Fotografía 34: Representación gráfica de juntas en macizo rocoso del talud 14 .	134

1. TÍTULO

**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN LA VÍA INTERVALLES
DESDE EL TRAMO 6+060 HASTA 9+100, UBICADA EN EL BARRIO LA ERA,
PARROQUIA EL TAMBO, CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA”**

2. RESUMEN

La presente investigación “Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.” está enfocado en realizar la caracterización geológico – geotécnica de tres kilómetros de vía con el objeto de conocer las características físico-mecánicas de los geomateriales necesarios para el conocimiento del estado actual de los taludes del tramo de vía. Se inició con el reconocimiento general, dando paso al levantamiento topográfico, implementando un nuevo método mediante el uso de Vehículo aéreo no tripulado (alimentación eléctrica) tipo Fixed Wing con cámara fotográfica de alta resolución (Drone) y GPS Dual integrado para la obtención de un set de fotos aéreas con geolocalización del tramo, generación de la ortofoto, el modelo 3D, así como las curvas nivel, información base para el desarrollo del proyecto.

Se obtuvo información a través del cartografiado geológico y medición de estructuras, pudiendo determinar que el tramo de tres kilómetros consta generalmente de Toba Dacítica, Toba Andesítica, Rocas Vulcano-sedimentarias: Brechas Volcánicas-Aglomerados, Lutitas con intercalaciones de areniscas, incluyendo depósitos Coluviales y depósito Coluvio-aluvial, por lo cual se realizó ensayos geotécnicos normalizados como el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) en la abscisa 6+100 y 8+900, mediante la norma ASTM 1586-67, además de pruebas de laboratorio de acuerdo a las normas ASTM como son: granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg, para las muestras extraídas del ensayo; el ensayo de compresión simple para cinco muestras extraídas de los taludes 4(a-b),6,8,14, y se obtuvo un testigo de roca del talud 12 para su consecuente obtención de las propiedades físicas; considerando la longitud del tramo, se realizó tres líneas de refracción sísmica con 30,00 metros de longitud y una profundidad de 10,00 metros de exploración.

Para la clasificación geomecánica de los macizos rocosos, se realizó el respectivo escaneo de discontinuidades de los taludes para la obtención de caracteres geomecánicos de las discontinuidades, por consiguiente la obtención del RQD (Rock Quality Designation) (Deere, 1989), RMR (Rock Mass Rating) (Bieniawski, 1973. Act. 1989), Y GSI (Clasificación GSI, Geological strength index), Hoek, (1994) a partir del RMR.

Se utilizó el análisis de estabilidad general para determinar la susceptibilidad de rotura de los taludes de Toba Dacítica, Toba andesítica con medio grado de meteorización, Toba brechosa de composición andesítica y lutitas con intercalación de areniscas, estableciendo previamente los puntos críticos para sus análisis mediante la obtención de parámetros del criterio de Hoek & Brown como cohesión y ángulo de fricción calculados con el Software Roclab, distribuido gratuitamente por la empresa Rocscience y por consiguiente el cálculo del factor de seguridad en taludes mediante el método de equilibrio límite (Método Bishop simplified, Janbu simplified y Spencer).

Palabras clave: Topografía con Dron, Mecánica de rocas, Geotecnia, Factor de seguridad, Morh-Coulomb, Análisis de estabilidad.

Abstract

The present investigation “Geological geotechnical characterization on the Intervalles road from 6 +060 to 9 +100, located in La Era, El Tambo parish, Catamayo canton, Loja province.” is focused on making the geological characterization of three-kilometer geotechnical track in order to know the physical-mechanical characteristics of the geomaterials necessary for the knowledge of the current state of the slopes of the track section. It began with the general recognition, giving way to the topographic survey, implementing a new method through the use of unmanned Aerial Vehicle Fixed Wing type with high resolution camera (Drone) and integrated Dual GPS for obtaining a set of aerial photos with geolocation of the section, generation of the orthophoto, the 3D model, as well as the level curves, base information for the development of the project.

The information was obtained through geological mapping and measurement of structures, being able to determine that the three-kilometer section generally consists of Dacitic Tuff, Andesitic Tuff, Vulcannosedimentary Rocks: Breccia and volcanic agglomerate, Shale with sandstone intercalations, including Colluvial deposits and an Alluvial deposit, for which standardized geotechnical tests such as the Standard Penetration Test (SPT) were performed in the abscissa 6 + 100 and 8 + 900, using ASTM 1586-67, in addition to laboratory tests according to ASTM standards such as: granulometry, moisture content, Atterberg limits, for samples taken from the test; the simple compressive strength for five samples extracted from slopes 4 (a-b), 6,8,14, and a rock core from the slope 12 was obtained for its consequent obtaining of the physical properties; considering the length of the section, three lines of seismic refraction with 30.00 meters in length and a depth of 10.00 meters of exploration were performed.

For the geomechanical classification of the rock massifs, the respective scan of slope discontinuities was done to obtain geomechanical characteristics of the discontinuities, therefore obtaining the RQD (Rock Quality Designation) (Deere, 1989), RMR (Rock Mass Rating) (Bieniawski, 1973. Act. 1989), and GSI (GSI Classification, Geological strength index), Hoek, (1994) from RMR.

The general stability analysis was used to determine the slopes susceptibility of Dacitic Tuff, Andesitic Tuff with medium degree of weathering, Breton Tuff of andesitic composition and shales with sandstone intercalation previously establishing the critical points for their analysis by obtaining parameters of Hoek & Brown criterion such as cohesion and friction angle calculated with the Roclab Software, distributed free of

charge by the Rocscience company and, consequently, the calculation of the slope safety factor using the limit equilibrium method (Bishop simplified method, Janbu simplified and Spencer).

Key Words: Drone topography, Rock mechanics, Geotechnics, Safety factor, Morh-Coulomb, Stability analysis

3. INTRODUCCIÓN

La constitución de la República del Ecuador, (2008), en la sección novena, Gestión del Riesgo, artículo 389, indica que “El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad.”

La construcción del proyecto vial se ha realizado con la finalidad de concluir definitivamente la vía: Puente Indiucho-El Tambo-Malacatos, el Gobierno Provincial de Loja, cuya meta final es la de integrar a la Red Vial Provincial a importantes sectores productivos como: El Tambo, La Capilla, San Bernabé, La Era, San Agustín, La Merced, Naranja Dulce y otros, a fin de facilitarles el intercambio comercial, especialmente el transporte de sus productos agropecuarios, para de esta manera mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona por la que atraviesa esta importante vial.

La metodología empleada en la siguiente investigación considera la investigación experimental, este tipo de investigación se basa fundamentalmente en los datos obtenidos de muestras representando la realidad y no experimental basada en la observación.

Por lo tanto la investigación engloba la recopilación de información bibliográfica con referencia al área de estudio como documentos técnico-científicos, información geográfica como cartas topográficas y, demás bibliografía referente. Además del levantamiento topográfico con Drone de 60 Ha de terreno. En segunda instancia, la ejecución de ensayos de compresión simple y la respectiva determinación de sus propiedades físicas, además de métodos directos con ensayos SPT e indirectos como refracción sísmica.

Asimismo, se realiza la caracterización geomecánica de los macizos rocosos elegidos y la clasificación geomecánica RMR y GSI; y cálculo del Factor de Seguridad. Por último, se interpretan los resultados obtenidos y se elaboran las conclusiones y debidas recomendaciones.

Para la siguiente investigación se han planteado los siguientes objetivos:

Objetivo General

- Realizar la caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja

Objetivo Especifico

- Realizar el levantamiento geológico-estructural a detalle de la faja delimitada 100 metros del eje de vía.
- Determinar la caracterización físico-mecánica de los materiales existentes en él, empleando métodos adecuados según el tipo de material.
- Realizar la caracterización geológico-geotécnica en base al Factor de Seguridad.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Topografía

Al definir la topografía según García (2014), la describe como una ciencia que determina las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la Tierra, así como la forma de representar en un plano una porción limitada de la superficie mediante el estudio de métodos y procedimientos para realizar mediciones sobre el terreno con su respectiva representación gráfica o analítica a una escala determinada.

4.2. Levantamiento Topográfico

Dentro de las actividades principales que se realizan dentro de la topografía, se considera el trabajo en campo donde se realizan las mediciones y la respectiva recopilación de datos; y trabajo de oficina (Gabinete) para representar el plano; al conjunto de operaciones mencionadas se las considera como levantamiento topográfico. (García D. A., 2014)

4.3. Aplicación topográfica con drones

De acuerdo al estudio reportado de Fernández Lozano & Gutierrez Alonso (2016), menciona que la topografía mediante el uso de nuevas tecnologías geomáticas como drones para la captura, procesamiento y visualización de datos tridimensionales son de gran importancia en el campo de la geología, ya que permite analizar información y parámetros contenidos en afloramientos y formas del terreno.

4.3.1. Drones

Los autores, Fernández Lozano & Gutierrez Alonso (2016), los definen como drones conocidos por sus siglas VAT o RPAS del inglés Remotely Piloted Aircrafts, son vehículos aéreos no tripulados que permiten la incorporación de GPS precisos y sistemas inerciales parados para la navegación autónoma, con un numeroso campo de aplicaciones en distintas ramas de las ciencias experimentales como geología, física o geodesia proporcionando un soporte en la investigación y transmisión de forma visual.

Permiten obtener ortofotos y modelos digitales de topografía con alta resolución útiles para el conocimiento de los procesos geológicos y trabajos científicos. Incluyendo que, la versatilidad, la reducción del tamaño y peso, permite el fácil transporte siendo útiles para zonas de difícil acceso.

4.3.2. Uso de drones en topografía

Los vehículos aéreos no tripulados brindan una alternativa en el campo de la topografía, ya que es posible aumentar la productividad, la extensión del terreno con menor costo y tiempo. Como menciona Moncayo (2015), estos vehículos cuentan con un programa de vuelo y una cámara fotográfica programada para tomar fotos desde una determinada altitud, por lo cual es recomendable disponer de un vuelo autónomo programado.

La extensa variedad de drones que se han implementado en los últimos años en el mercado lo cual ha permitido establecerlas en función de su uso, peso, dimensiones, entre otros. (Fernández Lozano & Gutierrez Alonso, 2016).

4.3.3. Ventajas de los Drones

Dentro de las ventajas de los drones que menciona Silva (2017), están los costes que necesitamos para poder usar las aplicaciones de los drones siendo inferiores a otras opciones para topografía, incluyendo la reducción del tiempo de trabajo o plazos en la ejecución de una tarea; reducen el riesgo humano, ya que al ser un aparato no tripulado, el riesgo que se corre es mucho más pequeño que en aquellas ocasiones donde el operador, piloto, entre otros tienen que estar en el mismo lugar donde se realizan las tareas.

Los drones son precisos, muchas veces debido a su tamaño, otras a su operatividad y otras a la precisión de sus mandos, pero siempre debemos considerar que los drones nos permitirán un vuelo muy preciso en condiciones estables.

4.3.4. Desventajas de los Drones

Al referirse a las desventajas de los drones se menciona la autonomía escasa de los drones, es comprobable que las baterías eléctricas suelen ser uno de los grandes problemas que tienen los drones debido a su escasa capacidad, y, por tanto, poca duración de vuelo, incluso la consideración de la normativa cambiante que existen en los países, y estas normativas pueden afectar a los requerimientos que se soliciten a los pilotos de drones. (Silva, 2017)

4.4. Geología

Navarrete (2005) define a la geología como la ciencia que concierne a la Tierra y materiales que la constituye, los diversos procesos que la formaron durante el tiempo geológico y el modelado de su superficie tanto en el pasado como en el presente.

Dividida en dos amplias áreas: la geología física y la geología histórica. Al nombrar la Geología física, considera los materiales que componen la Tierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo y encima de la superficie terrestre. El estudio de la Geología física precede lógicamente al estudio de la historia de la Tierra, porque, antes de intentar revelar su pasado, debemos comprender primero cómo funciona la Tierra. (Tarbuck & Lutgens , 2005). En cuanto la Geología histórica tiene como fin comprender el origen de la Tierra y su evolución a lo largo del tiempo. Por tanto, procurar ordenar cronológicamente los múltiples cambios físicos y biológicos que han ocurrido en el pasado geológico.

4.5. Geología estructural

Belousov (1979), la define como parte de la geotectónica por estudiar la estructura y desarrollo de la corteza terrestre relacionada con procesos mecánicos, movimientos y deformaciones. Mientras que Tarbuck & Lutgens (2005), menciona que estudia la arquitectura de la corteza terrestre y cómo consecuencia su deformación, estudiando la orientación de los pliegues y las fallas, de igual forma los rasgos a pequeña escala de las rocas deformadas pudiendo determinar a menudo el ambiente geológico original, y la naturaleza de las fuerzas que produjeron esas estructuras rocosas. De este modo se están descifrando los complejos acontecimientos que constituyen la historia geológica.

4.6. Elementos estructurales

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

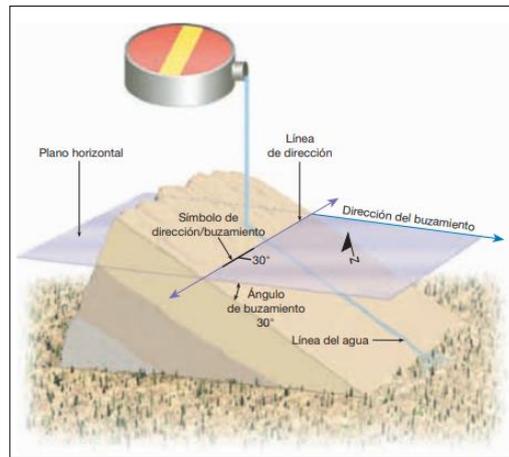


Figura 1: Dirección y buzamiento de un estrato rocoso.

Fuente: (Tarbuck & Lutgens , 2005)

Como se demuestra en la **Figura 1**, se define dirección como el ángulo entre el norte magnético y una línea obtenida mediante la intersección de un estrato inclinado, o falla, con un plano horizontal, se suele expresar como el valor del ángulo en relación con el Norte. Mientras que el buzamiento es el ángulo de inclinación de un plano geológico como por ejemplo una falla, medido desde un plano horizontal, incluyendo tanto el valor del ángulo de inclinación como la dirección hacia la cual la roca está inclinada. La dirección de caída formará un ángulo de 90° con la dirección. Tarbuck & Lutgens , (2005)

4.7. Pliegues

Al definir los pliegues, pueden encontrarse tanto en los estratos sedimentarios son amplias flexuras en las cuales unidades rocosas de centenares de metros de grosor se han doblado ligeramente, mientras que otros son estructuras microscópicas muy apretadas que se encuentran en las rocas metamórficas, la mayoría de los pliegues se produce como consecuencia de esfuerzos compresivos que provocan el acortamiento y engrosamiento de la corteza. (Tarbuck & Lutgens , 2005)

En cambio, Escobar G. D.(2017), les denomina como arrugas producidas en las rocas mientras se encuentran en su estado plástico; sus dimensiones van de centímetros a cientos de km, produciendo preferentemente en los bordes compresivos

de las placas, es decir, en las zonas de subducción, y en general a importante profundidad.

4.7.1. Clasificación de pliegues por su orientación

Según Tarbuck & Lutgens (2005), dependiendo de su orientación, estos pliegues básicos se describen como en la **figura 2**:

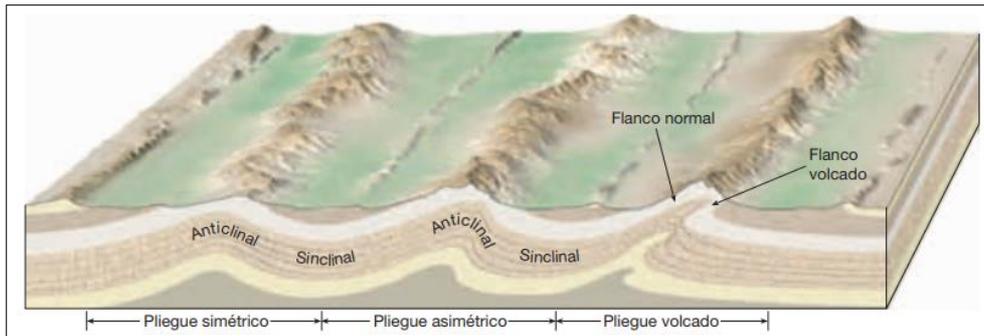


Figura 2: Bloque diagrama de tipos de pliegues
Fuente: (Tarbuck & Lutgens , 2005)

4.7.1.1. Simétricos.

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

4.7.1.2. Asimétricos.

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

4.7.1.3. Volcado.

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

4.8. Fallas

Según Tarbuck & Lutgens (2005) se puede definir a las fallas como fracturas en la corteza a lo largo de las cuales ha tenido lugar un desplazamiento apreciable, se suelen

pueden reconocerse pequeñas fallas en los taludes de las carreteras, donde se pueden observar estratos sedimentarios desplazados unos pocos metros.

Las fallas de esta escala normalmente aparecen como pequeñas rupturas aisladas. Por el contrario, las grandes fallas, tienen desplazamientos de centenares de kilómetros y consisten en muchas superficies falladas interconectadas. Estas zonas de falla pueden tener una anchura de varios kilómetros y a menudo son más fáciles de identificar.

4.8.1. Tipos principales de fallas

Los tipos principales de fallas se denominan fallas normales, fallas inversas y falla transformante. (Tarbuck & Lutgens , 2005)

4.8.1.1. Fallas normales.

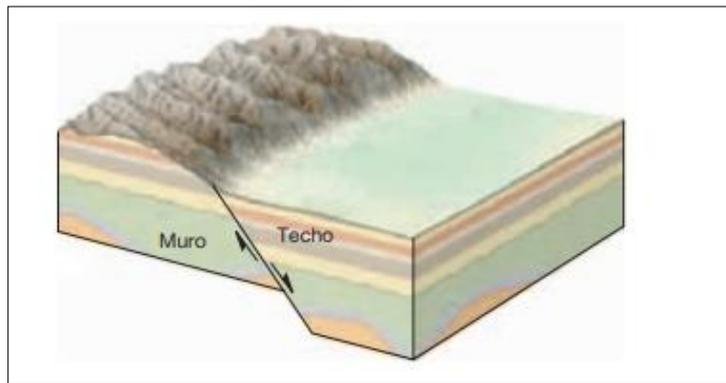


Figura 3: Bloque diagrama de falla Normal.
Fuente: (Tarbuck & Lutgens , 2005)

Se denominan fallas normales (**Figura 3.**) cuando el bloque de techo se desplaza hacia abajo en relación con el bloque de muro, además tienen buzamientos de unos 60° , que tienden a disminuir con la profundidad. Sin embargo, también presentan buzamientos mucho menores, aproximándose en algunos casos a la horizontal. Debido al movimiento descendente del techo, las fallas normales acomodan el alargamiento, o la extensión, de la corteza

4.8.1.2. Fallas inversas y cabalgamiento.

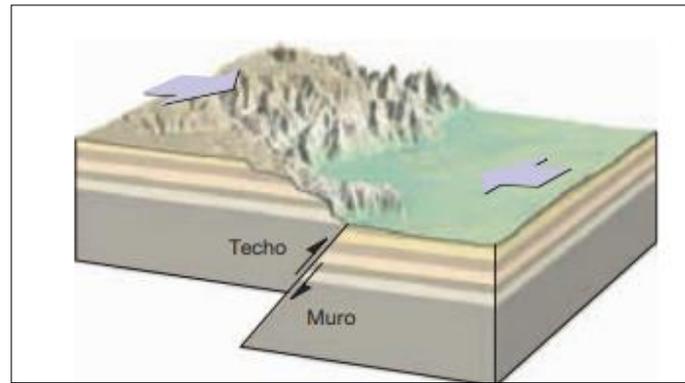


Figura 4: Bloque diagrama de falla Inversa.

Fuente: (Tarbuck & Lutgens , 2005)

Se definen como fallas inversas y cabalgamientos a las fallas con desplazamiento vertical en las cuales el bloque de techo se mueve hacia arriba con respecto al bloque de muro, como se observa en la Figura 4, contando con un buzamiento superior a 45° y que los cabalgamientos tienen buzamientos inferiores a 45° .

Las fallas inversas de alto ángulo suelen ser pequeñas y acomodan desplazamientos locales en regiones dominadas por otros tipos de fallas. Los cabalgamientos, por otro lado, existen a todas las escalas. Los cabalgamientos pequeños exhiben desplazamientos que oscilan entre milímetros y unos pocos metros.

4.8.1.3. Falla Transformante.

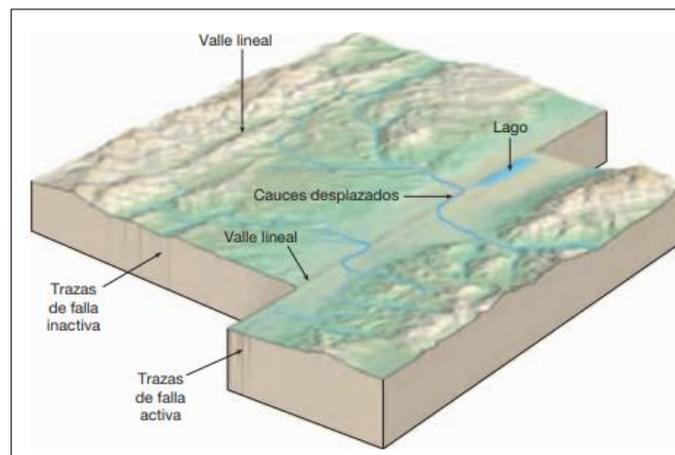


Figura 5: Bloque diagrama de falla transformante.

Fuente: (Tarbuck & Lutgens , 2005)

Se denomina a las fallas transformantes (**Figura 5.**) a las que en las que el desplazamiento dominante es horizontal y paralelo a la dirección de la superficie de la falla, se denominan fallas de desplazamiento horizontal o desgarres, por su gran tamaño y a su naturaleza lineal, muchas fallas de desplazamiento horizontal tienen una traza que es visible a lo largo de una gran distancia, existiendo un tipo especial de falla direccional se denomina falla transformante, siendo el claro ejemplo la Falla de San Andrés.

4.9. Geomorfología

De acuerdo al autor Hubp (2011) del Diccionario Geomorfológico menciona que la geomorfología es una ciencia geológico-geográfica que estudia las formas de la superficie terrestre, es decir el relieve, mismo que incluye la descripción de las formas (morfoloía), su origen (génesis), estructura, historia de desarrollo, dinámica actual, diagnóstico a futuro y su relación con la actividad humana. Y, el autor Escobar D. (2013), la puntualiza como una ciencia que estudia las formas de la Tierra, especializándose en estructural y climática, además de que incorpora las técnicas estadísticas sedimentológicas, en laboratorio y, atiende múltiples factores e inserta el estudio del relieve al conjunto de relaciones naturales que explica globalmente la geografía física.

4.9.1. Geoforma

Escobar D. (2013), la define como un cuerpo tridimensional que tiene forma, tamaño, volumen y topografía, siendo elementos que generan un relieve, compuesta por materiales característicos: como arenas, gravas, arcilla o cuerpos masivos; tiene una génesis y por lo tanto una dinámica que explica los materiales que la forman.

4.9.2. Mapa geomorfológico

De acuerdo con Monné (1997), es un documento gráfico en el que están representadas de forma sintética todas las formas del relieve de una región, debiendo incluir la representación de las formas del relieve, de modo individual o formando unidades territoriales, donde la representación se hará a una escala adecuada con la textura del relieve y con la finalidad concreta de la representación. Mientras que lo reportado por García Á. M (2017), menciona que un mapa geomorfológico muestra la compleja integración del medio ambiente natural, siendo un almacén de información visual que cumplen varias funciones valiosas como constituir uno de los elementos básicos en la preparación de proyectos de desarrollo.

4.10. Hidrología

En su libro Fattorelli & Fernandez (2011), mencionan que es una ciencia que trata los fenómenos naturales involucrados en el ciclo hidrológico con el fin de proporcionar un soporte a estudios, proyectos y obras de ingeniería hidráulica, de infraestructura y de medio ambiente.

4.10.1. Hidrogeología

La hidrología trata sobre las características y el comportamiento del agua subterránea y su relación con el medio ambiente, debiendo considerarse las vinculaciones e incidencias mutuas entre éstas, así como lo menciona Auge, (2004).

4.10.2. Nivel Freático

En su libro, Tarbuck & Lutgens (2005), tal y como se aprecia en la Figura 6, el nivel freático se denomina al límite superior de la zona de saturación, que es un elemento muy significativo del sistema de aguas subterráneas, ya que es importante para predecir la productividad de los pozos y explicar los cambios de flujo de las corrientes y los manantiales, justificando las fluctuaciones del nivel de los lagos. Por otro lado, Fattorelli & Fernandez (2011), mencionan que el nivel freático es la divisoria freática o subterránea, la que establece los límites de los cuerpos de agua subterránea, de donde se deriva el caudal base de la misma cuenca, concretamente el nivel freático, es el nivel que determina el agua subterránea y sobre el que actúa la presión atmosférica

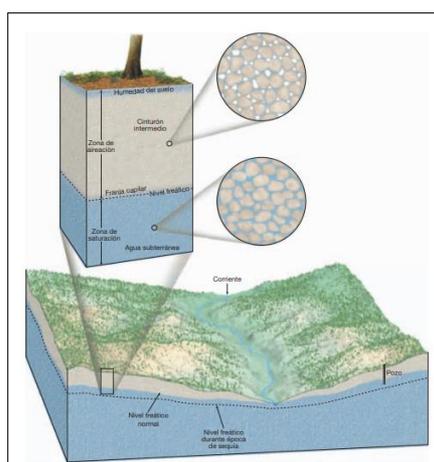


Figura 6: Distribución del agua subterránea
Fuente: (Tarbuck & Lutgens , 2005)

La forma del nivel freático suele ser una réplica suavizada de la topografía superficial. Durante los períodos de sequía, el nivel freático desciende, reduciendo el flujo de corriente y secando algunos pozos.

4.11. Deslizamientos

Los deslizamientos de tierra producen cambios en la morfología del terreno, con diversos daños ambientales, en infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, entre otros. (Suárez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico Vol 1, 2009). En el término “deslizamiento” se incluyen tanto los procesos de erosión como los procesos denudacionales.

4.11.1. Clasificación de los movimientos

Para la clasificación de los deslizamientos se presenta el sistema propuesto por Varnes (1978), el cual presenta los principales tipos de movimiento.

4.11.1.1. Inclinación o Volcamiento.

Como se puede observar en la **Figura 7**, es un tipo de movimiento que consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad.

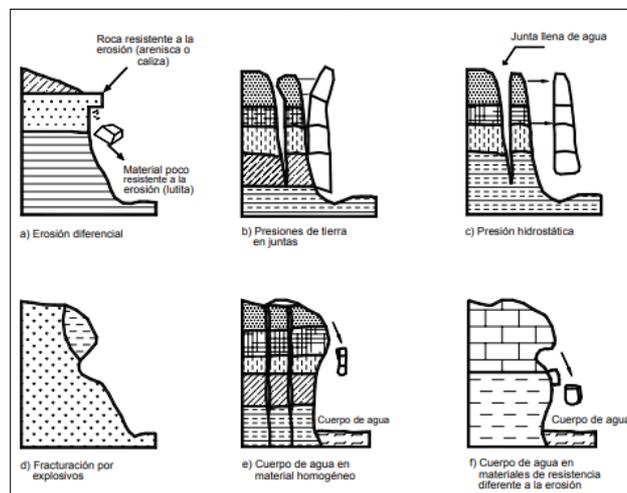


Figura 7: Procesos que conducen al Volcamiento o inclinación en materiales residuales.
Fuente: (Suárez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico Vol 1, 2009)

4.11.1.2. Reptación.

La reptación consiste en movimientos del suelo subsuperficial desde muy lentos a extremadamente lentos sin una superficie definida de falla, donde la profundidad del movimiento puede ser desde pocos centímetros hasta varios metros. **(Figura 8.)**

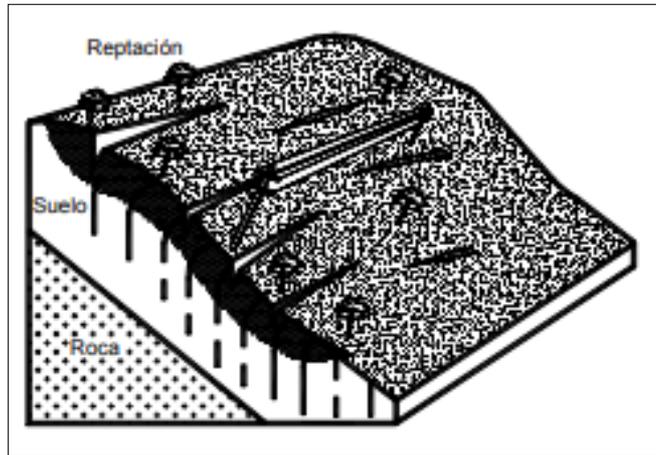


Figura 8: Esquema de un proceso de reptación.

Fuente: (Suárez, *Deslizamientos: Análisis Geotécnico Vol 1, 2009*)

4.11.1.3. Movimiento Rotacional.

El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento **(Figura. 9.)**, lo cual genera, por lo general, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento, la cabeza del movimiento báscula hacia atrás y los árboles se inclinan, de forma diferente, en la cabeza y en el pie del deslizamiento.

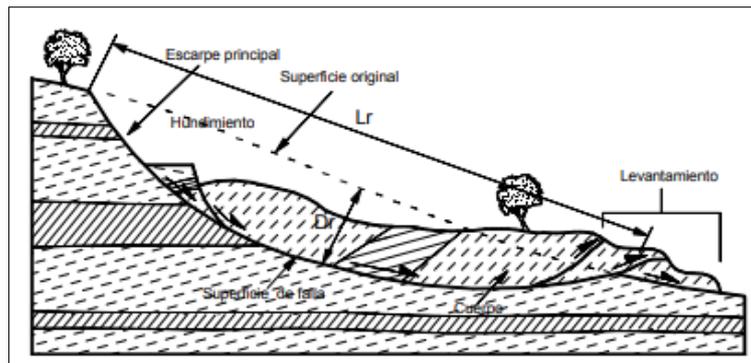


Figura 9: Desplazamiento de rotación en una ladera.

Fuente: (Suárez, *Deslizamientos: Análisis Geotécnico Vol 1, 2009*)

4.11.1.4. Movimiento Traslacional.

De acuerdo con la **Figura 10**, se puede decir que el movimiento Traslacional se caracteriza porque la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco movimiento de

rotación o volteo. En muchos desplazamientos de traslación, la masa se deforma o se rompe y puede convertirse en flujo, especialmente en las zonas de pendiente fuerte. (Suárez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico Vol 1, 2009)

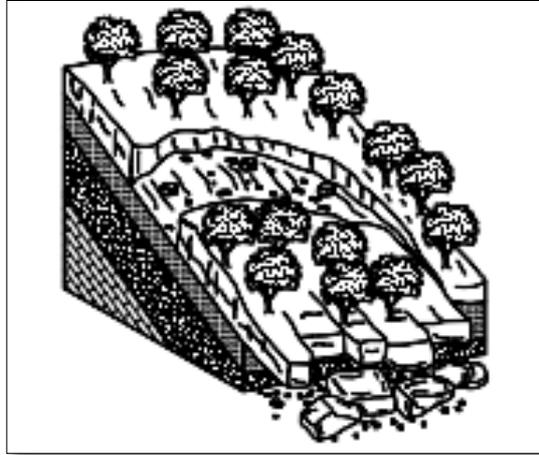


Figura 10: Desplazamiento de traslación en una ladera.
Fuente: (Suárez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico Vol 1, 2009)

4.11.1.5. Flujos.

Este movimiento es espacialmente continuo, en el que las superficies de corte son de corta duración, de espaciamiento corto y usualmente no se preservan; la distribución de velocidades en la masa que se desplaza se compara con la de un fluido viscoso, como se observa en la **Figura 11**.

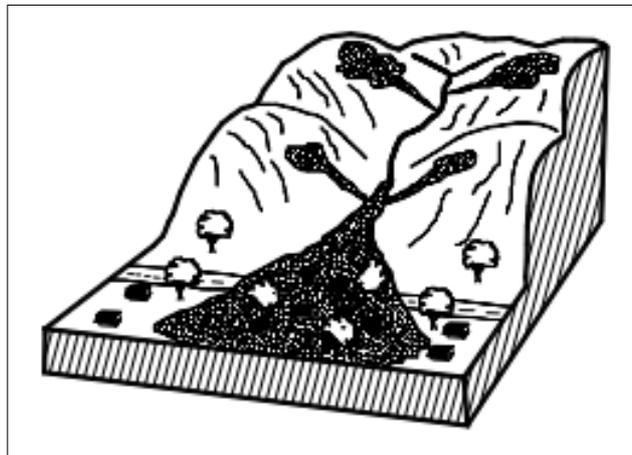


Figura 11: Flujo de detritos en una ladera.
Fuente: (Suárez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico Vol 1, 2009)

4.12. Marco Geotécnico

4.12.1. Geotecnia

Braja D. (2001), puntualiza que la geotecnia es la rama de la ingeniería civil que se enfoca en el estudio de las propiedades mecánicas e hidráulicas de suelos y rocas, tanto como superficie como en subsuelo, además incluye la aplicación de los principios de la mecánica de suelos y rocas en el diseño de los cimientos, estructuras de contención y las estructuras de tierra.

4.12.2. Estudio Geotécnico

De acuerdo a la NEC (2014), menciona que un estudio comprende el reconocimiento de campo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de forma que se garantice un comportamiento adecuado de las estructuras para edificaciones que preserve la vida humana, así como también evite la afectación o daño.

4.12.3. Métodos Directos

Permite observar a gran detalle las características de suelo de forma directa, obtención de muestras y la realización de ensayos in situ.

4.12.3.1. Calicatas Geotécnicas

De acuerdo a Herrera Herbert & Castilla Gómez, (2012), son excavaciones poco profundas de un metro a cuatro metros que se realizan para la observación directa y amplia del terreno, para describir la estratigrafía del suelo superficial, pueden ser manuales o mediante retroexcavadora, de rápida ejecución y de bajo coste

Todas las calicatas serán objeto de testificación geológica, adjuntándose al informe de un corte estratigráfico del terreno, así como el estado del mismo en cuanto a humedad, dureza o compacidad de cada estrato.

4.12.3.2. SPT.

La norma NTE INEN-ISO 22476-3 indica que el ensayo de penetración estándar es quizá el más utilizado en la caracterización geotécnica, consistiendo básicamente en la ejecución de perforaciones mecánicas de suelo en la zonas donde se requiere investigación, donde se requiere contar el número de golpes (N) que se necesitan para introducir un toma-muestras (cuchara partida) dentro un estrato de suelo, utilizándose

para caracterizar depósitos de suelos granulares y arcillas de consistencia rígida. El ensayo consiste en dejar caer de forma repetida un peso de 63.5 kg (140 lbs) de una altura de 76 cm (30”), la longitud de hincado es de 450 mm en tres intervalos de 150 mm, se conoce como NSPT.

4.12.4. Métodos Indirectos

Los métodos indirectos como los geofísicos, tienen una alta aplicabilidad tanto en roca como suelo, tiempo empleado en realizar el ensayo, además que no se altera la muestra, por el contrario, se obtienen los datos de manera indirecta, sin contacto con el material y por ende también no se obtiene muestras.

4.12.4.1. Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's)

En su libro Vallejo, (2004) “Ingeniería Geológica”, menciona que el dispositivo Schlumberger se caracteriza por mantener fijos los electrodos de potencial o lectura (M y N) mientras se alejan los electrodos de corriente (A y B). Este dispositivo es el más adecuado 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. Las profundidades más habituales de investigación están entre 0 y 200 m.

También es adecuado para trabajar a poca profundidad sobre topografías suaves como complemento de las calicatas eléctricas, con el objetivo de decidir la profundidad a la cual realizar el perfil de resistividades, como ocurre por ejemplo en Arqueología. El SEV no es adecuado para contactos verticales, fallas, diques.

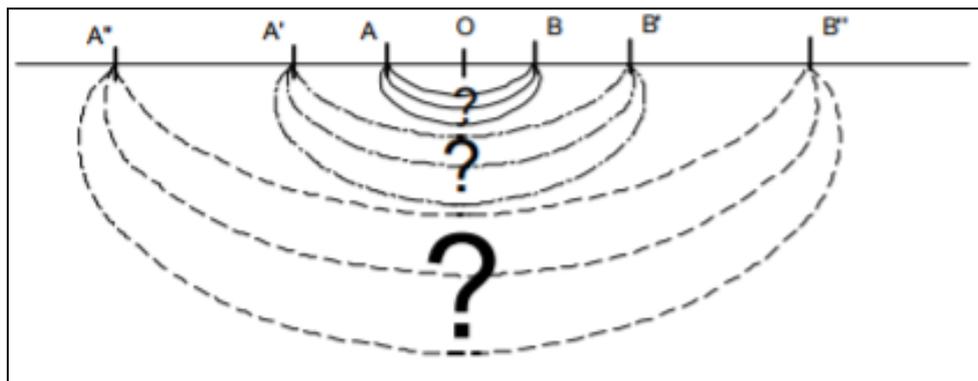


Figura 12: Esquema simplificado de un Sondeo Eléctrico
Fuente: (Román, 2011)

Los métodos geo eléctricos han sido los que tradicionalmente más se han utilizado en las investigaciones medioambientales para obtener información de las propiedades del subsuelo. Se ha calculado que casi el 70 % de los trabajos geofísicos realizados a nivel mundial, tienen que ver con el uso de las técnicas geo eléctricas.

En el dispositivo Schlumberger la distancia MN es pequeña en relación con AB, generalmente $AB/5 > MN > AB/20$. En la práctica MN se mantiene tan pequeño como sea posibles siempre que se puedan conseguir lecturas correctas del voltímetro.

El dispositivo Wenner, $AM= MN=NB$, de modo que, si se mueven A y B, también hay que mover M y N, tal y como se explica en la **Figura 13**.

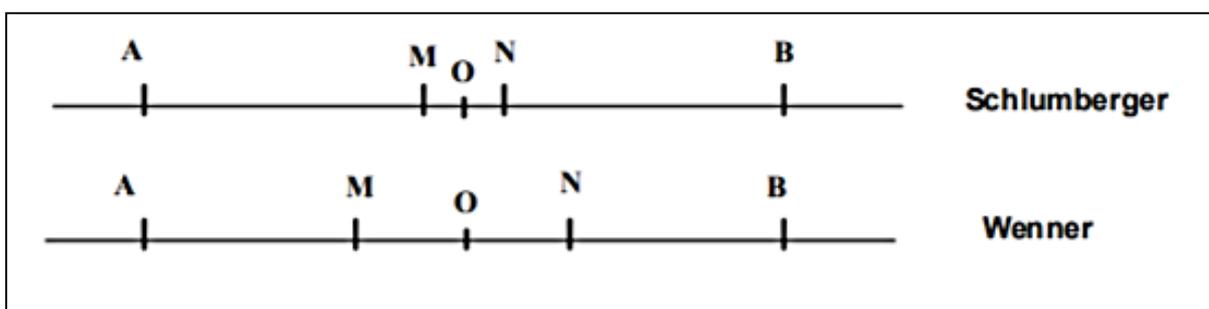


Figura 13: Dispositivos electrónicos Schlumberger y Wenner
Fuente: (Román, 2011)

4.12.4.2. Refracción Sísmica.

En su tesis, Lopez Avalos, Mejía Carrillos, & Vega (2008), denominada “Aplicación del método de refracción sísmica para la determinación de velocidades de ondas p”, mencionan que el ensayo de refracción sísmica se utiliza para la medición de espesores de recubrimiento, profundidad de nivel freático, realización estudios hidrogeológicos, ya que este método permite la localización (profundidad del sustrato), posición del acuífero bajo ciertas condiciones, así como la caracterización de suelos.

Mientras que López Montabán (2016), menciona que es una técnica que se enmarca dentro del estudio de la propagación de ondas sísmicas producidas artificialmente y establece una relación con la configuración del suelo en estudio.

Este procedimiento se fundamenta en la diferente velocidad de propagación de las ondas vibratorias de tipo sísmico a través de diferentes materiales. Estas perturbaciones sísmicas originan los diferentes tipos de ondas: las ondas “P” (longitudinales) y ondas “S” (transversales), que son de interés fundamental en la prospección de refracción sísmica.

Existen un conjunto de principios y leyes los cuales rigen la propagación y la trayectoria de las ondas sísmicas durante el proceso de refracción:

Principio de Huygens: se basa en una construcción geométrica simple que permite calcular a partir de una posición determinada la posición futura del frente de onda. Establece que: “todos los puntos de un frente de onda actúan como puntos de origen para la producción de nuevos frentes de ondas que se extienden en todas las direcciones. El nuevo frente de ondas será la envolvente de todos los pequeños frentes de onda”

Principio de Fermat: establece que: “un rayo luminoso que va de un punto a otro sigue una trayectoria tal que, comparada con otras trayectorias cercanas, el tiempo que requiere para recorrerla es el mínimo”.

Ley de refracción: a partir del principio de Huygens y/o del principio de Fermat, la ley de refracción establece que el seno del ángulo incidente es al seno del ángulo de refracción como la velocidad de la onda incidente es a la velocidad de la correspondiente onda refractada

Para entender mejor este método, se presenta de manera esquemática en la Figura 14, el caso simple de 2 capas que tienen las velocidades de (V_1) y (V_2), respectivamente, con $V_2 > V_1$, separadas por una interface. Cabe indicar que esta suposición ($V_2 > V_1$) es limitante en la utilización del ensayo de sísmica de refracción.

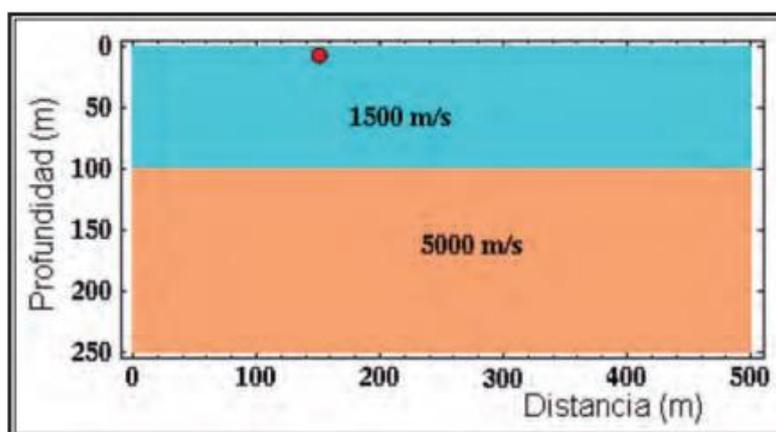


Figura 14: Modelo de dos capas, con la velocidad de la primera capa mayor
Fuente: (Boyd, 1999).adaptado de (Naranjo Aguay & Dranichnikov, 2012)

El sismógrafo al interceptar la llegada de las ondas proporciona los sismogramas, gráficos donde se recogen los tiempos de llegada de la onda a cada geófono. (Naranjo Aguay & Dranichnikov, 2012). En base a este sismograma y distancia entre los geófonos se construye una gráfica (dromocrona) que relaciona esta distancia del geófono al punto donde se originó la perturbación, con el tiempo que tardó en registrarse la onda en ese geófono. Como las ondas directas y refractadas comienzan a llegar al geófono en tiempos diferentes bien determinados se calculan de la dromocrona los valores típicos de V_1 y V_2 . En los geófonos próximos al punto de la explosión las ondas directas llegan antes; en los alejados llegan primero las refractadas. Hay un punto de cruce, en el cual los dos tipos de onda llegan a la vez.

4.12.5. Mecánica de Suelos

El autor Braja D. (2001), en su libro “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”, manifiesta el sentido general de la ingeniería, suelo, se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas. El suelo se usa como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil y sirve para soportar las cimentaciones estructurales. Por esto, los ingenieros civiles deben estudiar las propiedades del suelo, tales como origen, distribución granulométrica, capacidad para drenar agua, compresibilidad, resistencia cortante, capacidad de carga, y otras más.

4.12.6. Ensayos de Mecánica de suelos

El conocimiento de las principales características físicas de los suelos es de fundamental importancia en el estudio de la Mecánica de Suelos, pues mediante su acertada interpretación se puede predecir el futuro comportamiento de un terreno bajo cargas cuando dicho terreno presentes diferentes características.

4.12.6.1. Análisis Granulométrico

Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante los procedimientos planteados tanto por AASHTO o SUCS. El ensayo es importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos son utilizados en bases o sub-bases de carreteras, presas de tierra o diques, drenajes, etc. Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente.

La Norma de la Construcción Ecuatoriana: Geotecnia y Cimentaciones, establece que para el análisis granulométrico se debe aplicar la norma ASTM D 422, donde se cubre la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de las partículas en suelos. La distribución de tamaños de las partículas mayores a $75\mu\text{m}$ (retenidas en la malla 200) es determinado por tamizado, mientras que la distribución de tamaños de partículas menores a $75\mu\text{m}$ es determinado por un proceso de sedimentación usando un hidrómetro para obtener los datos necesarios.

4.12.6.2. Límites de Consistencia.

A principios de 1900, un científico sueco, Albert Mauritz Atterberg, desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con contenidos de agua variables. A muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta más como un sólido frágil. Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido. Por tanto, dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominados sólido, semisólido, plástico y líquido. (Braja D. , 2001)

El contenido de agua, en porcentaje, en el que la transición de estado sólido a semisólido tiene lugar, se define como el límite de contracción. El contenido de agua en el punto de transición de estado semisólido a plástico es el límite plástico, y de estado plástico a líquido es el límite líquido. Esos límites se conocen también como límites de Atterberg. (Braja D. , 2001)

Límite líquido (LL)

La Norma de la Construcción Ecuatoriana: Geotecnia y Cimentaciones, recomienda la aplicación de la Norma INEN NTE 0691, para el cálculo del límite líquido y lo define como, el contenido de agua de un suelo, en el límite entre su comportamiento líquido y plástico, valiéndose de un dispositivo mecánico (Copa de Casagrande) en el que, con un determinado número de golpes, se establece la fluencia del suelo en condiciones normalizadas.

Límite plástico (LP)

El suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe. La NEC-SEGM, recomienda el cálculo aplicando la Norma INEN NTE 0692, donde se establece que este método de ensayo consiste en determinar el contenido de agua de un suelo en el límite

entre su comportamiento plástico y sólido, para lo cual se utiliza el proceso de rolado para evaporar gradualmente el agua que comienza a fisurarse o disgregarse.

Para Braja D. (2001) de forma resumida el límite plástico se define como el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rollitos de 3 mm de diámetro, se desmorona. La prueba es simple y se lleva a cabo enrollando repetidamente a mano sobre una placa de vidrio una masa de suelo de forma elipsoidal

Índice de Plasticidad (IP)

Villalaz Crespo (2004), menciona que el Índice de Plasticidad o Índice Plástico (I.P.) es la diferencia numérica entre los límites líquido y plástico, e indica el margen de humedades dentro del cual el suelo se encuentra en estado plástico. Como apéndice de la Norma INEN NTE 0692, con la cual calculamos el Limite Liquido se encuentra el cálculo del Índice de Plasticidad, estableciendo la siguiente ecuación.

$$(1) \quad LP = W_L - W_p$$

4.12.7. Sistema de Clasificación de Suelos

El autor Braja (2011) en su libro “Fundamentos de la Ingeniería de Cimentaciones”, menciona que la nomenclatura de los límites de los tamaños recomendados está en base a los sistemas de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y del Unified Soil Classification (Corps of Engineers, Department of the Army y Bereau of Reclamation) SUCS.

4.12.7.1. Sistema de clasificación AASHTO

Este sistema se desarrolló en 1929 y lo usan principalmente los departamentos de carreteras. De acuerdo con este sistema, el suelo se clasifica en siete grupos, del A1 al A7 de acuerdo al material granular (35% o menos de material arcilloso o limoso) y materiales limo – arcillosos (35% o más de material arcilloso o limoso), siendo clasificados en grupos de A1 – A3, para el primero y de A4 – A7 para el segundo.

El término limoso se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de I0 o menor. El término arcillosos se utiliza cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de II o mayor.

4.12.7.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

En el año de 1942, Casagrande desarrolló un sistema de clasificación de suelos para el Departamento de Ingeniería de Estados Unidos para utilizarlo en el proyecto de aeropuertos durante la Segunda Guerra Mundial y se le conoce como el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) siendo general y es el más utilizado en la ingeniería geotécnica. La base del SUCS es que los suelos finos se clasifican según su plasticidad y los suelos gruesos de acuerdo con su granulometría. Los suelos de grano grueso que están compuestos de grava y arena pasan menos de 50% la malla núm. 200 (0.075 mm). Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G o S: G significa grava o suelo con grava; y S, arena o suelo arenoso.

Los suelos de grano fino pasan con 50% o más la malla núm. 200. Los símbolos de grupo usan el prefijo M, que significa limo inorgánico; C, arcillas inorgánicas; y O, limos o arcillas orgánicas. El símbolo Pt se usa para turbas y otros suelos orgánicos.

4.12.8. Mecánica de rocas

Según Vallejo (2004), en su libro “Ingeniería Geológica”, la denomina como una ciencia que se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y de su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico.

Las masas rocosas aparecen en la mayoría de los casos afectados por discontinuidades o superficies de debilidad que separan bloques de matriz rocosa o «roca intacta» constituyendo en conjunto los macizos rocosos. La finalidad de la mecánica de rocas es conocer y predecir el comportamiento de los materiales rocosos ante la actuación de las fuerzas internas y extremas que se ejercen sobre ellos.

4.12.9. Macizo Rocoso

El autor Ramírez Oyanguren (2004), menciona que el término macizo rocoso se refiere al conjunto de uno o varios tipos de roca atravesados por plano de discontinuidades en el que se inserta la obra de ingeniería, donde se requiere de resistencia y comportamiento de la roca, familia de discontinuidades existentes, espaciado de los planos de discontinuidad y fracturación del macizo, caracteres geomecánicos de las discontinuidades, condiciones de agua en las juntas y alteraciones producidas en el macizo rocoso.

A partir de la definición del macizo rocoso, Ramírez Oyanguren (2004), puntualiza al acrónimo que Hudson y Harrison (1995) usaron, donde un macizo rocoso es un “DIANE”, acrónimo de Discontinuous, Inhomogeneous, Anisotropic and Non-Elastic (discontinuo, heterogéneo, anisótropo e inelástico) y no un “CHILE”, acrónimo de Continuous, Homogeneous, Isotropic and linear- elastic (Continuo, Homogéneo, Isótropo y linealmente elástico), pues así, son el principal objeto de estudio y material de trabajo en mecánica de rocas, consistiendo en una serie de bloques o elementos de roca intacta y una estructura formada por múltiples discontinuidades. Por lo tanto, su naturaleza y comportamiento dependerá de roca + discontinuidades, como se observa en la **Figura 15**, influye más unas u otras en función de las características del macizo y las propiedades, situación y volumen de las obras que se realicen en ellos.

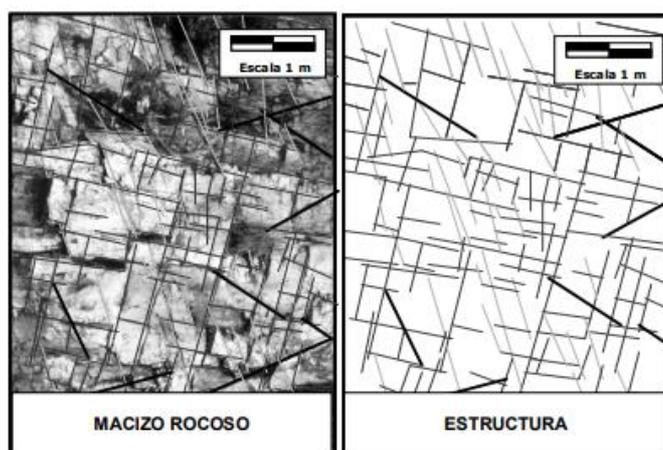


Figura 15: Macizo rocoso y su estructura.

Fuente: (Ramírez Oyanguren, 2004)

4.12.10. Clasificaciones geomecánica de los macizos rocos

Según Ramírez Oyanguren (2004), en su libro “Mecánica de rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes”, los sistemas de clasificación de los macizos rocos tienen por objeto evaluar sus características para determinar de forma cuantitativa su calidad, la principal ventaja de las clasificaciones geomecánicas es obtener mediante unas correlaciones establecidas, los principales parámetros del macizo rocoso: módulo de elasticidad, coeficiente de criterio de rotura Hoek-Brown, entre otros.

En la actualidad las dos clasificaciones geomecánicas más utilizadas son la Clasificación de Bieniawski (1973) y el sistema Q. de Barton, Lien y Lunde (1974), estas clasificaciones fueron creadas originalmente para excavaciones subterráneas, particularmente túneles, aunque el RMR se ha extendido a la minería subterránea, estabilidad de túneles y arranque de rocas; otro campo en el que hay mucho trabajo por

hacer, es el de la estimación de la resistencia y comportamiento mecánico de los macizos rocosos. La obtención de esta información a partir de ensayos realizados en el laboratorio sobre probetas de roca o discontinuidades de reducidas dimensiones.

4.12.10.1. Clasificación RQD, (Deere, 1967)

El RQD fue desarrollado por Deere para proporcionar una estimación cuantitativa de la calidad de la masa rocosa de testigos de perforación, definiéndose como "el porcentaje de piezas de núcleo intactas de más de 100 mm en el total longitud del núcleo"

Por lo cual se considera la siguiente fórmula:

$$(2) \quad RQD = \frac{\text{Suma f10}}{l_{tot}} * 100\%$$

Donde se considera,

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

l_{tot} = Longitud total de sondeo

Con su respectiva clasificación, como se evidencia en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de la calidad del Macizo rocoso según el RQD

RQD	CALIDAD
>25	MUY MALA
25-50	MALA
50-75	MEDIA
75-90	BUENA
90-100	MUY BUENA

Fuente: (D.U. Deere, A.J. Hendron, F.D. Patton, & E.J. Cording, 1967)

Como han mencionado varios autores, el RQD tiene varios límites. Por ejemplo, si el RQD = 0 donde la intersección de la junta es de 10 cm o menos, mientras que RQD = 100 donde la distancia es de 11 cm o más. Otro inconveniente es que el RQD no proporciona información de las piezas centrales <10 cm excluidas, es decir, no importa si las piezas desechadas son piezas de roca fresca de hasta 10 cm de longitud. (Palmstrom, 2005)

Por lo cual se considera la siguiente fórmula:

$$(3) \quad RQD = 110 - 2.5Jv$$

Donde se considera, los siguientes límites:

$$(4) \quad RQD = 0 \text{ para } Jv > 44; \quad RQD = 100 \text{ para } Jv < 4$$

Jv = índice volumétrico de juntas o número de juntas por metro cúbico, se utiliza la siguiente fórmula:

$$(5) \quad Jv = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_3} + \dots + \frac{1}{s_n}$$

S_n = Espacios promedio para los conjuntos de juntas

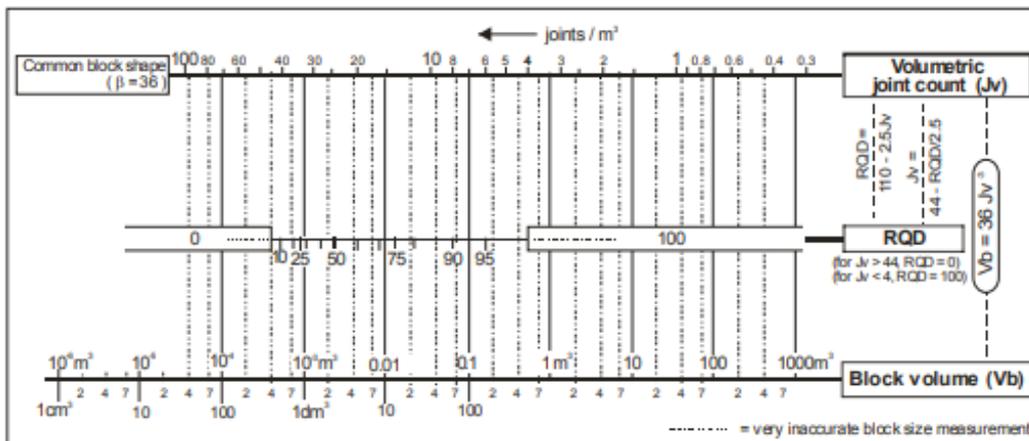


Figura 16: Correlaciones entre diferentes métodos para medidas de tamaño de bloque.

Fuente: (Palmstrom, 2005)

Se ha demostrado que existe una pobre correlación entre el RQD y otros tipos de medidas de tamaño de bloque. Se ha presentado una nueva correlación entre RQD y Jv como $RQD = 110 - 2.5Jv$ (para Jv entre 4 y 44), lo que puede dar mejores resultados que el RQD comúnmente usado = $115 - 3.3Jv$., tal y como se puede observar en la **Figura 16**.

4.12.10.2. Clasificación RMR- (Bieniawski, 1973. Act. 1989)

Las caracterizaciones geomecánicas determinan la sistemática del diseño empírico en la ingeniería de rocas y relaciona la experiencia práctica ganada en diferentes proyectos con las condiciones existentes en determinado sitio. La obtención del índice RMR, el índice que define la clasificación es el denominado RMR (Rock Mass Rating), que evalúa la calidad del macizo rocoso a partir de los parámetros siguientes, cuyos valores se detallan a continuación:

Tabla 2: Parámetros de clasificación y sus valores, (Bienaswki, 1989)

PARAMETRO		RANGO DE VALORES				
RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA	ENSAYO DE CARGA PUNTUAL	>10	10--4	4--2	2--1	COMPRESION SIMPLE
	RCS (Mpa)	>250	100-250	50-100	25-50	<25 <5 <1
	PUNTUACION	15	12	7	4	2 1 0
	RQD (%)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25
	PUNTUACION	20	17	13	8	3
	SEPARACION DE DIACLASAS	>2	0.6-2	0.2-0.6	0.06-0.2	<0.06
		20	15	10	8	5
ESTADO DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
	PUNTUACION	6	4	2	1	0
	APERTURA	CERRADA	<0.1mm	0.1-1mm	1-5mm	>5mm
	PUNTUACION	6	5	4	1	0
	RELLENO	LIMPIA	DURO <5mm	DURA >5mm	SUAVE <5mm	SUAVE >5mm
	PUNTUACION	6	4	2	1	0
	RUGOSIDAD	MUY RUGOSA	RUGOSA	LIGERAMENTE RUGOSA	ONDULADA	SUAVE
	PUNTUACION	6	5	3	1	0
	ALTERACION	INALTERADA	LIGERAMENTE ALTERADA	MODERADAMENTE ALTERADA	MUY ALTERADA	DESCOMPUESTA
	PUNTUACION	6	5	3	1	0
AGUA	CAUDAL POR 10M DE TUNEL	NULO	<10litros/min	10-25litros/min	25-125litros/min	>125litros/min
	RELACION DE PRESION DE AGUA/TENSION PRINCIPAL MAYOR	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
	ESTADO GENERAL	SECO	LIGERAMENTE HUMEDO	HUMEDO	GOTEANDO	AGUA FLUYENDO
	PUNTUACION	15	10	7	4	0

Fuente: (Bienaswki, 1989)

La clasificación dada por Bienawski referente a orientaciones relativas entre las discontinuidades y el eje de la cavidad, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3: Orientaciones relativas entre las juntas y el eje de la cavidad.

RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DEL TUNEL				RUMBO PARALELO AL EJE DEL TUNEL		BUZAMIENTO 0°-20° (Independiente del rumbo)
Buzamiento 45°-90°		Buzamiento 20°-45°		Buzamiento 45°-90°	Buzamiento 20°-45°	
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	desfavorable

Fuente: (Bienaswki, 1989)

Modificado por: El autor,2019

Dependiendo del RMR, se clasifican los macizos rocosos en cinco categorías:

Tabla 4: Determinación de la clase del macizo rocoso

Valor total del RMR	81-100	61-80	41-60	21-40	<20
Clase Número	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy Bueno	Bueno	Medio	Malo	Muy Malo

Fuente: (Bienaswki, 1989)

Modificado por: El autor, 2019

4.12.10.3. Errores en la aplicación de clasificaciones geomecánicas.

Bieniawski von Preinl, (2011), menciona que los macizos rocosos de mala calidad requieren especial atención y una cuidadosa caracterización geotécnica, puesto que la precisión del RMR, dependiendo de la pericia, puede estar dentro de un rango de 2-3 puntos, pero esto no significa que el RMR no pueda aplicarse para evaluar macizos rocosos de muy mala calidad.

Sin embargo, existían en la literatura gráficas para la valoración de los parámetros, preparadas para facilitar los análisis con ordenadores (**Figura 17-18-19**), que muestran claramente que las curvas comienzan en cero. Por lo tanto, el macizo rocoso de peor calidad tiene un valor de RMR=0, que significa que en tal caso se trata de un suelo y no de una roca.

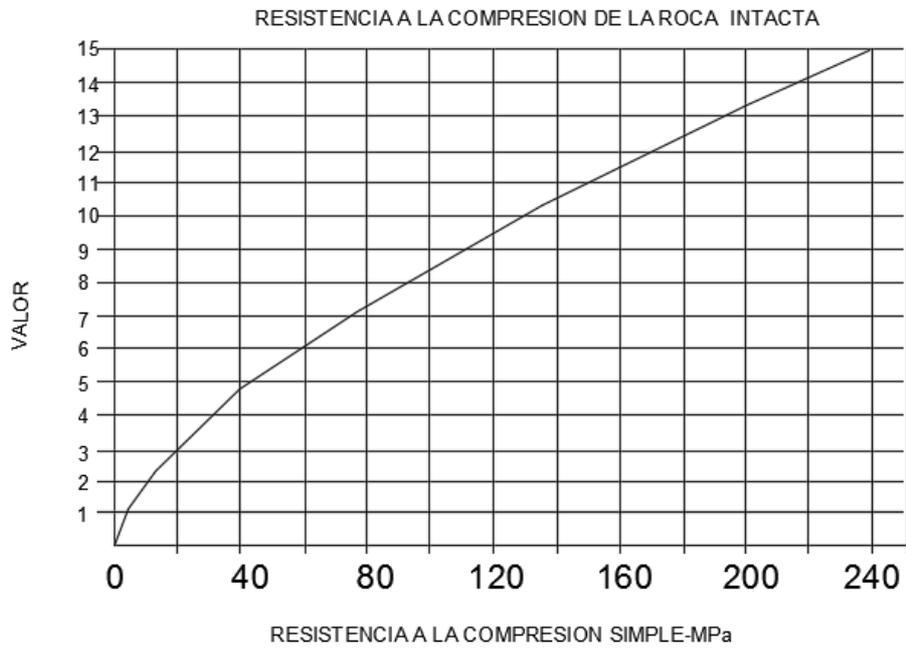


Figura 17: Gráfica de valoración Resistencia a la compresión- Bienawski, (1989)
Fuente: (Bieniawski von Preinl, 2011)

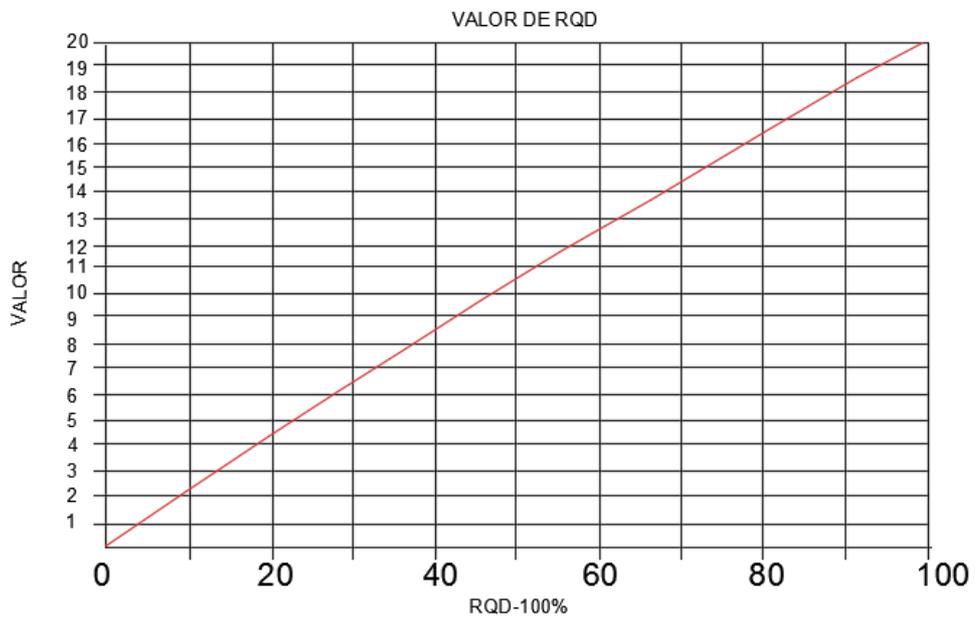


Figura 18: Gráfica de valoración de RQD- Bienawski, (1989)
Fuente: (Bieniawski von Preinl, 2011)

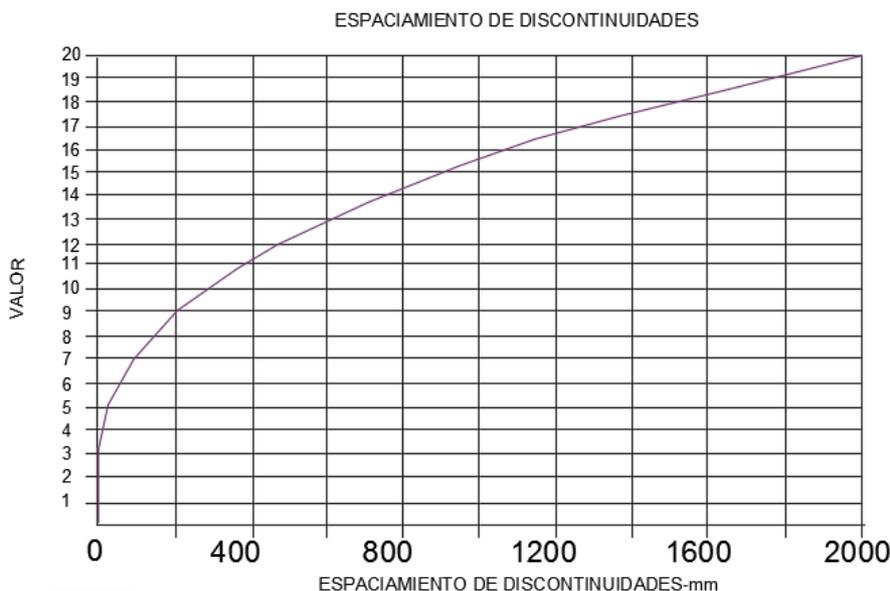


Figura 19: Gráfica de valoración de Espaciamiento de discontinuidades- Bienawski, (1989)
Fuente: (Bieniawski von Preinl, 2011)

4.12.10.4. Clasificación SMR, Slope Mass Rating.

La clasificación SMR de Romana (1985, 1993, 1995) es una adaptación de la clasificación RMR de Bieniawski (1973, 1979, 1989, 1993) a taludes, mediante la aplicación de los factores de corrección adecuados.

El índice SMR, “Slope Mass Rating”, se obtiene sumando al RMR básico un “factor de ajuste”, función de la orientación de las juntas (y producto de tres subfactores, $F1 \cdot F2 \cdot F3$) y un “factor de excavación” ($F4$) que depende del método de excavación. Entre los métodos de protección/sostenimiento sugeridos y los aplicados en la realidad.

El índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del índice RMR básico sumando un “factor de ajuste”, que es función de la orientación de las juntas (y producto de tres subfactores) y un “factor de excavación” que depende del método utilizado:

$$(6) \quad \mathbf{SMR} = \mathbf{RMR} + (\mathbf{F1} \times \mathbf{F2} \times \mathbf{F3}) + \mathbf{F4}$$

Cuando aparecen diferentes familias de juntas en el talud se ha de calcular el SMR para cada familia, tomando el valor más desfavorable. Si el flujo de agua es irregular y/o la roca no está meteorizada en su totalidad, también debe tomarse el valor más desfavorable. En rocas meteorizadas y en las evolutivas la clasificación debe ser aplicada dos veces: para la situación inicial de roca sana y para la situación futura de roca meteorizada. (Romana, Serón, & Montalván, 2001)

El factor de ajuste de las juntas es producto de tres subfactores, señalados en la **Tabla 5:**

Tabla 5: Factores de ajuste de la Clasificación SMR

SMR = RMR_b + (F₁ x F₂ x F₃) + F₄ (ROMANA, 1985)					
FACTORES DE AJUSTE DE LAS JUNTAS (F ₁ , F ₂ , F ₃)			α_j = DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO DE LA JUNTA α_s = DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO DEL TALUD β_j = BUZAMIENTO DE LA JUNTA β_s = BUZAMIENTO DEL TALUD		
	MUY FAVORABLE	FAVORABLE	NORMAL	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE
ROTURA PLANA VUELCO	$ \alpha_j - \alpha_s =$ $ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ =$	> 30° 0.15	30° - 20° 0.40	20° - 10° 0.70	10° - 5° 0.85
AJUSTE ANALÍTICO	VALORES	$F_1 = (1 - \text{sen } \alpha_j - \alpha_s)^2$			
VALORES	ROTURA PLANA VUELCO	$ \beta_j =$	< 20° 0.15	20° - 30° 0.40	30° - 35° 0.70
		AJUSTE ANALÍTICO	$F_2 = \text{tg}^2 \beta_j$		
ROTURA PLANA VUELCO	$\beta_j - \beta_s =$ $\beta_j + \beta_s =$	> 10° < 110°	10° - 0° 110° - 120°	0° > 120°	0° (-10°) -
AJUSTE ANALÍTICO	VALORES	0	-6	-25	-50
F ₃ = (SE MANTIENEN LOS VALORES PROPUESTOS POR BIENIAWSKI, 1976 / 79)					
FACTOR DE AJUSTE POR EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN	F ₄ = VALORES EMPÍRICOS ESTABLECIDOS PARA CADA MÉTODO DE EXCAVACIÓN				
	TALUD NATURAL	PRECORTE	VOLADURA SUAVE	VOLADURA ó MECÁNICO	VOLADURA DEFICIENTE
	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8

Fuente: Romana, 1985, adaptado de (Romana, Serón, & Montalván, 2001)

Factor de ajuste según el método de excavación

F1 depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y el de la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja). Estos valores, establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la expresión:

$$(7) \quad F1 = (1 - \text{sen } (\alpha_j - \alpha_s))$$

F2 depende del buzamiento de la junta en la rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia a esfuerzo cortante de la junta. Varía entre 1,00 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°). Fue establecido empíricamente pero puede ajustarse aproximadamente según la relación:

$$(8) \quad F2 = \text{tg}^2 (\beta_j)$$

β_j es el buzamiento de la junta. F2 vale 1,00 para las roturas por vuelco.

F3 refleja la relación entre los buzamientos de la junta y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por Bieniawski en 1976 / 79 que son siempre negativos. Para roturas planas F3 expresa la probabilidad de que las juntas afloren en el talud.

$$(9) F3 = \beta_j + \beta_s$$

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

- Los taludes naturales son más estables, a causa de los procesos previos de erosión sufridos por el talud, y de los mecanismos internos de protección que muchos de ellos poseen (vegetación, desecación superficial, drenaje torrencial, entre otros).

$$F4 = + 15$$

- El precorte aumenta la estabilidad de los taludes en media clase.

$$F4 = + 10.$$

- Las técnicas de voladura suave (recorte), bien ejecutadas, también aumentan la estabilidad de los taludes.

$$F4 = + 8.$$

- Las voladuras normales, con métodos razonables, no modifican la estabilidad

$$F4 = 0.$$

- Las defectuosas, muy frecuentes, pueden dañar seriamente a la estabilidad.

$$F4 = - 8.$$

- La excavación mecánica de los taludes por ripado sólo es posible cuando el macizo rocoso está muy fracturado o la roca blanda. Con frecuencia se combina con prevoladuras poco cuidadas. Las caras del talud presentan dificultades de acabado. Por ello el método ni mejora ni empeora la estabilidad. $F4 = 0$.

Los valores límites del SMR encontrados empíricamente para cada forma de rotura son los que se presentan en la **Tabla 6**.

Tabla 6: Valores del SMR para cada tipo de rotura

TIPO DE ROTURA	INTERVALOS SMR	FRECUENCIA
PLANAS	SMR >60	Ninguna
	60 > SMR > 40	Importantes
	40 > SMR > 15	Muy grandes
EN CUÑA	SMR > 75	Muy pocas
	75 > SMR > 49	Algunas
	55 > SMR > 40	Muchas
POR VUELCO	SMR > 65	Ninguna

	65 > SMR > 50	Menores
	40 > SMR > 30	Importantes
COMPLETAS	SMR > 30	Ninguna
	30 > SMR > 10	Posible

Fuente: (Romana, Serón, & Montalván, 2001)

4.12.10.5. Clasificación GSI, Geological strength index. (Hoek, 1994)

El GSI es utilizado para la estimación de los parámetros de entrada para el cálculo de la resistencia, solo es una relación empírica y los procesos asociados a las clasificaciones de la ingeniería de rocas, desarrollado por Hoek (1994). Este índice de calidad geotécnica se determina en base a dos parámetros que definen la resistencia y la deformabilidad de los macizos rocosos, considerando el RMR: es la “estructura del macizo rocoso”, y, JC: es la condición de las estructuras (discontinuidades) presentes en el macizo rocoso

La evaluación del índice GSI se hace por comparación del caso que interesa con las condiciones típicas y este índice puede variar de 0 a 100, lo que permite definir 5 clases de macizos rocosos:

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

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

$$(10) \quad \text{Si } \text{RMR}_{76} \geq 18, \text{ GSI} = \text{RMR}_{76}$$

$$(11) \quad \text{Si } \text{RMR}_{89} > 23, \text{ GSI} = \text{RMR}_{89} - 5$$

La determinación del GSI se hace a partir de la Tabla 7 y la Tabla 8 a las que se ingresa desde dos puntos diferentes, uno horizontal: referente al tamaño y entramamiento de bloques, composición y estructura; el ingreso vertical es referente a las condiciones de las discontinuidades, se converge posteriormente en el valor del GSI dispuesto en las líneas diagonales.

Tabla 7: Caracterización del macizo rocoso en función de los bloques basado en el entramamiento y las condiciones de las juntas

Rock Type: <input type="text" value="General"/> <input type="button" value="OK"/>		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
GSI Selection: <input type="text" value="50"/>						
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES		80	70			
			60	50		
				40	30	
					20	
						10
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			

Fuente: Roclab, 2019 adaptado de (Hoek, 2002)

Tabla 8: Estimación del GSI para macizos heterogéneos

Rock Type: <input type="text" value="Flysch"/> GSI Selection: <input type="text"/>		SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
COMPOSITION AND STRUCTURE						
	A. Thick bedded, very blocky sandstone The effect of pelitic coatings on the bedding planes is minimized by the confinement of the rock mass. In shallow tunnels or slopes these bedding planes may cause structurally controlled instability.	70	60			
	B. Sandstone with thin inter-layers of siltstone		50			
	C. Sandstone and siltstone in similar amounts			40		
	D. Siltstone or silty shale with sandstone layers				30	
	E. Weak siltstone or clayey shale with sandstone layers					20
C, D, E and G - may be more or less folded than illustrated but this does not change the strength. Tectonic deformation, faulting and loss of continuity moves these categories to F and H.						
	F. Tectonically deformed, intensively folded/faulted, sheared clayey shale or siltstone with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure					10
	G. Undisturbed silty or clayey shale with or without a few very thin sandstone layers					
	H. Tectonically deformed silty or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces.					

Fuente: Roclab, 2019 adaptado de (Hoek, 2002)

La tabla 9 presenta la relación del parámetro D con el macizo rocoso y el tipo de excavación, este parámetro es empleado por Hoek con el objetivo de considerar los danos ocasionados al macizo por voladura influencia de las voladuras.

Tabla 9: Guías para estimar el factor de alteración D.

Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor D sugerido
	Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel	$D = 0$
	Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante. Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.	$D = 0$ $D = 0,5$ No invert

Continúa en la siguiente...

	<p>Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.</p>	<p>$D = 0.7$ Good blasting</p> <p>$D = 1.0$ Poor blasting</p>
	<p>Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento.</p> <p>En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.</p>	<p>$D = 1.0$ Production blasting</p> <p>$D = 0.7$ Mechanical excavation</p>

Fuente: (Hoek, 2002)

La experiencia en el diseño de taludes en grandes rajas a cielo abierto ha mostrado que el criterio de Hoek-Brown para macizos rocosos in situ no alterados ($D = 0$) da lugar a parámetros de resistencia del macizo rocoso consideradas optimistas. Los efectos de los intensos daños de las voladuras, así como de la relación de esfuerzos debido a la retirada del estéril de recubrimiento, provocan una alteración del macizo rocoso. Para estos macizos rocosos es más apropiado considerar propiedades “alteradas” del macizo es decir $D = 1$.

4.13. Análisis Geotécnico

4.13.1. Criterio de rotura de Mohr –Coulomb

El criterio de rotura de Mohr-Coulomb, introducido por primera vez por Coulomb en el año 1773, inicialmente pensado para el estudio en suelos, es un criterio de rotura lineal, generalmente para el caso del criterio de Mohr-Coulomb, se define el criterio de rotura en función de la tensión tangencial y la tensión normal en un plano, tal y como se muestra en la figura 19.

$$(12) \quad \tau = c + \sigma \tan \theta$$

c = Cohesión

θ = Ángulo de fricción

σ = Esfuerzo normal en la superficie potencial de falla

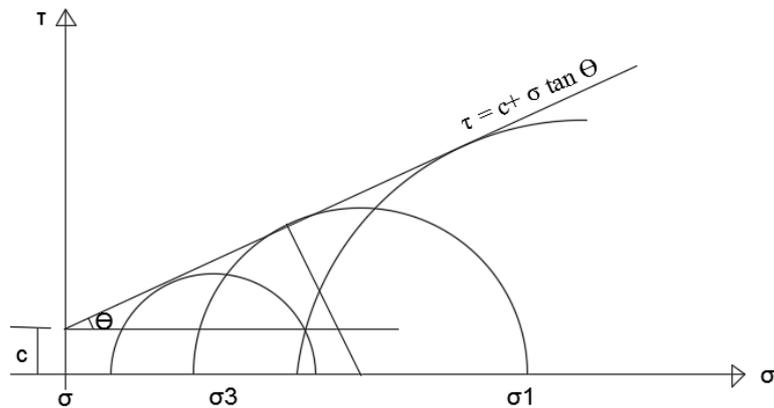


Figura 20: Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones normal y tangencial. .

Modificada por: MELENTIJEVIC, (2005).

4.13.2. Criterio de Rotura de Hoek & Brown.

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

Se trata de un criterio no lineal, puramente empírico, que permite valorar, de manera sencilla, la rotura de un medio rocoso mediante la introducción de las principales características geológicas y geotécnicas. En la Figura 20 se representa las tensiones de rotura para el criterio de rotura de Hoek & Brown; se aprecia que la función que define el dominio elástico es no lineal. Tal y como el criterio de rotura de Mohr-Coulomb, los estados de tensiones encima de la curva están en rotura, mientras que los interiores están en el dominio elástico, y los estados tensionales por encima de la curva son inaccesibles para este determinado caso.

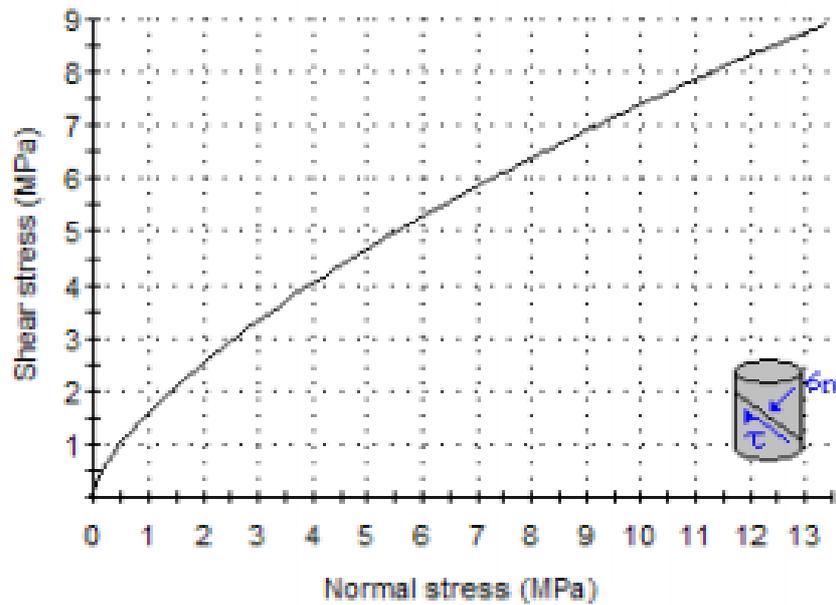


Figura 21: Representación del criterio de rotura de Hoek & Brown, en el espacio de tensiones normal y tangencial.

Fuente: Roclab, 2019

El criterio original, es un criterio empírico para el estudio de macizos rocosos duros. Su expresión es

$$(13) \quad \sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma'_{ci} \left(m \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^{0.5}$$

Donde: σ'_1 y σ'_3 son las tensiones principales mayor y menor en el momento de rotura y, σ'_{ci} es la resistencia a compresión uniaxial del material intacto

m y s son constantes del material, que dependen de las propiedades de la roca y del grado de fracturación de la roca antes de someterla a las tensiones de rotura. El parámetro s es la medida de disminución de la resistencia a compresión simple de la roca debido a la fracturación. Por su parte, m influye en la resistencia al corte del material. Ambos parámetros se pueden obtener a partir de la clasificación geomecánica Rock Mas Rating (RMR), introducida por Bieniawski, 1976

El uso del criterio no solo en macizos rocosos duros, sino también en macizos de rocas débiles, ha supuesto una reformulación del criterio, así como la introducción de nuevos parámetros. Su última versión se expresa

$$(14) \quad \sigma'_{1=3} = \sigma'_3 + \sigma'_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Donde:

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

$$(15) \quad m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI-100}{28-14D} \right),$$

Donde GSI (Geological Strength Index) es una clasificación geomecánica (Hoek, 1994; Hoek, Kaiser y Bawden, 1995), s y a son constantes del macizo rocoso dadas por las siguientes relaciones:

$$(16) \quad s = \exp \left(\frac{GSI-100}{9-3D} \right),$$

$$(17) \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right)$$

Donde, D es un factor que depende sobre todo del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso por los efectos de las excavaciones (mecánicas o por voladuras) o por la relajación de esfuerzos. Varía desde 0 para macizos rocosos in situ inalterados hasta 1 para macizos rocosos muy alterados.

El factor fue introducido en la última versión del criterio de rotura de Hoek & Brown (Hoek, 2002) porque se detectó que para el caso de macizos de rocas no alteradas ($D=0$), el criterio daba parámetros resistentes demasiado optimistas. El factor adopta valores desde 0 para la roca no alterada en condiciones in situ, hasta el valor de 1 para la roca muy alterada.

4.13.3. Análisis de estabilidad de macizos rocosos

De acuerdo a Suárez Díaz (1998), la mayoría de las masas de roca deben ser consideradas como un ensamble de bloques de roca intacta, delimitados en tres dimensiones por un sistema o sistemas de discontinuidades. Estas discontinuidades pueden ocurrir de una forma errática o en forma repetitiva como grupos de discontinuidades. Este sistema de discontinuidades usualmente, se le conoce como fábrica estructural de la masa de roca y puede consistir de orientación de granos, estratificación, juntas, foliaciones y otras discontinuidades de la roca.

En la mayoría de los casos las propiedades ingenieriles de la roca fracturada, tales como resistencia, permeabilidad y deformabilidad, dependen más de la naturaleza de la fábrica estructural, que de las propiedades de la roca intacta.

4.13.3.1. Análisis estereográfico de la rotura planar

El autor Suárez Díaz (1998), en libro “Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales”, capítulo 4, menciona que las fallas planas ocurren a lo largo de una superficie aproximadamente plana y se analizan como un problema en dos dimensiones, aunque pueden existir otras discontinuidades que definen los límites laterales de los movimientos, solo se tiene en cuenta el efecto de la discontinuidad principal. El tamaño de las fallas planares puede ir desde unos pequeños metros cúbicos a montañas enteras.

Mientras que, Herrera Rodríguez (2003), menciona que la rotura planar o plana es aquella en la que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana. Es la más sencilla de las formas de rotura posibles y se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud. Frecuentemente se trata de fallas que interceptan al talud. También puede producirse en terrenos granulares en los que, entre dos terrenos de buenas características resistentes, se intercala un estrato de poco espesor de material con menos resistencia.

Los autores Wyllie & Mah (2004) consideran que el análisis cinemático tiene en cuenta cuatro condiciones estructurales así:

- El rumbo de la discontinuidad planar debe estar 20 grados dentro del rumbo de la cara del talud en ambas direcciones: $\alpha_{zd} = \alpha_{zt} \pm 20^\circ$
- El buzamiento del plano de estratificación debe ser menor que el buzamiento de la cara del talud, además de inclinarse hacia dicha cara: $\beta_d < \beta_t$
- El buzamiento del plano de estratificación debe ser mayor que el ángulo de fricción de la superficie de deslizamiento $\beta_d > \phi_p$

La extensión lateral de la masa potencial de falla debe ser definida por superficies laterales que no contribuyen a la estabilidad. Si las condiciones anteriores se cumplen la estabilidad puede evaluarse por el método del equilibrio límite, tal y como se muestra en la Figura 22. El análisis de estabilidad requiere la solución de fuerzas perpendiculares y paralelas a la superficie de falla potencial.

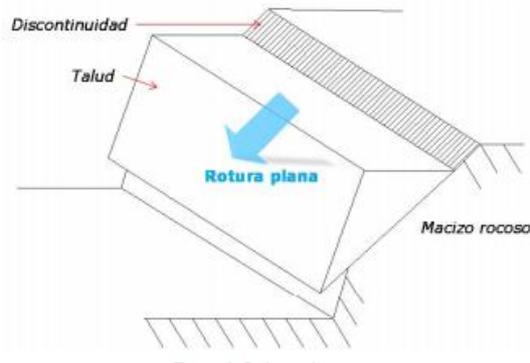


Figura 22: Representación de rotura plana.
Fuente: (Garzón Roca & Torrijo Echarri, 2018)

4.13.3.2. Análisis estereográfico de la rotura en cuña

Garzón Roca & Torrijo Echarri (2018), especifica que la rotura cuneiforme es uno de los tipos de inestabilidad de taludes en roca, en donde el mecanismo de fallo se produce cuando una masa rocosa desliza a lo largo de dos discontinuidades que se intersectan y afloran en el talud de forma que se crea un bloque deslizante en forma de cuña, tal y como se muestra en la Figura 23. Sin embargo, no todas las intersecciones de discontinuidades existentes en un macizo rocoso pueden ocasionar roturas cuneiformes.

Este tipo de inestabilidad tiene lugar cuando una masa rocosa desliza respecto al resto del macizo a través de dos planos de discontinuidad, de forma que la recta intersección resultante buza hacia el exterior del talud, existiendo en todo momento una arista de contacto entre la masa deslizante y el macizo rocoso. Para ello es necesario que se cumplan una serie de condiciones cinemáticas relacionadas con la orientación de las líneas de intersección de las discontinuidades respecto a la orientación del talud y con la rugosidad de los planos de deslizamiento.

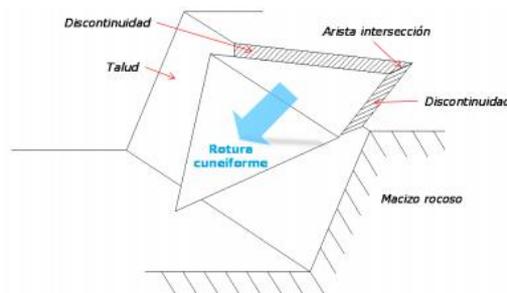


Figura 23: Representación de rotura en cuña.
Fuente: (Garzón Roca & Torrijo Echarri, 2018)

Así, para que una rotura cuneiforme pueda ocurrir tienen que darse los siguientes dos condiciones estructurales, que se recogen en la Figura 23, a continuación:

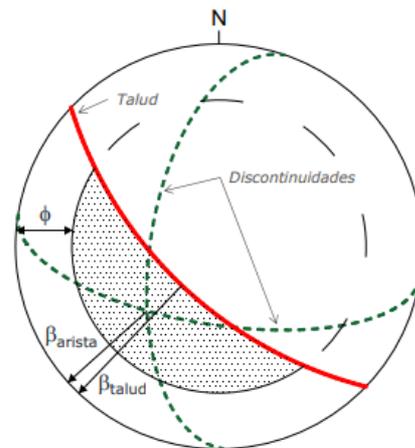


Figura 24: Análisis cinemático de la estabilidad de un talud en roca por rotura Cuneiforme
Fuente: (Garzón Roca & Torrijo Echarri,, 2018)

- La dirección de inclinación del plano debe ser +- igual a la dirección de inclinación del talud (aflorar en el talud)
- Su inmersión (β_{arista}) debe ser menor que el buzamiento del talud (β_{talud}).
- La inmersión de la línea intersección (β_{arista}) debe ser mayor que el ángulo de rozamiento (ϕ) de los planos de deslizamiento (normalmente se toma el ángulo de rozamiento o fricción de las dos discontinuidades; si estos valores son muy diferentes, se puede hacer la media).

4.13.3.3. Análisis estereográfico de la rotura en vuelco

Los autores Garzón Roca & Torrijo Echarri (2018), en su publicación “Análisis cinemático de la estabilidad de taludes en roca por vuelco (toppling)”, mencionan que el vuelco es uno de los tipos de inestabilidad de taludes en roca existentes, en donde el mecanismo de fallo se produce en macizos que están subdivididos por la fracturación del macizo en una serie de bloques o columnas aproximadamente verticales, de forma que es posible el giran alrededor de un punto fijo y el deslizamiento entre los propios bloques de roca. Sin embargo, no todas las discontinuidades existentes en un macizo rocoso pueden ocasionar vuelcos. Para ello es necesario que se cumplan una serie de condiciones cinemáticas relacionadas con la orientación de las discontinuidades respecto a la orientación del talud y la rugosidad del plano de deslizamiento

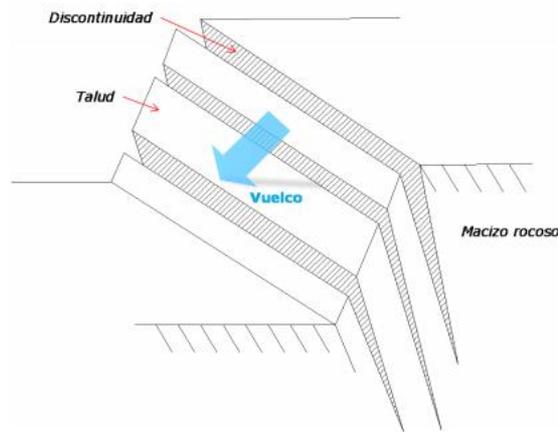


Figura 25: Representación de rotura en vuelco
Fuente: (Garzón Roca & Torrijo Echarri,2018)

Para que se produzca vuelco los planos de discontinuidad deben ser sensiblemente paralelos al talud y aflorar abruptamente y con gran inclinación en él (Figura 26.). Asimismo, el centro de gravedad de los bloques y columnas de roca en que las discontinuidades subdividen el macizo debe caer fuera de la dimensión de su base.

Los vuelcos se caracterizan por tener movimientos horizontales significativos en su parte superior, pero muy reducidos en su pie. Para poder compatibilizar este movimiento diferencial entre el pie y la parte superior, debe darse el movimiento de todo el bloque, por lo que es necesario que se supere la fuerza de rozamiento máxima movilizable por fricción entre bloques.

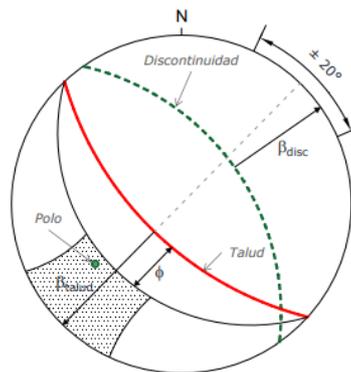


Figura 26: Análisis cinemático de la estabilidad de un talud en roca por rotura en vuelco.
Fuente: (Garzón Roca & Torrijo Echarri, 2018)

Así, para que pueda ocurrir un vuelco tienen que darse los siguientes dos condiciones estructurales, demostradas gráficamente en la Figura 26.

- El plano de rotura debe tener un rumbo aproximadamente paralelo ($\pm 20^\circ$), con relación al plano del talud : $\alpha Z_d = (\alpha Z_t \pm 180^\circ) \pm 20^\circ$
- El ángulo de inclinación del plano con respecto a la vertical, debe ser menor al ángulo de buzamiento del talud menor el ángulo de fricción: $(90 - \beta d) \leq (\beta t < \phi p)$

4.13.3.4. Análisis de Rotura General

El análisis de rotura general resulta de la no probabilidad de ocurrencia de roturas mixtas para las condiciones hidrogeológicas presentes y considerando los parámetros resistentes del material.

Los métodos de análisis convencionales calculados por el equilibrio límite, un análisis detallado de estabilidad considerando los procesos de deformación, podría aportar más datos para la adopción de criterios a tener en cuenta en el diseño de los taludes o para abordar las labores de seguimiento y saneamiento de taludes. Para el análisis de rotura general se considera la densidad del material, el ángulo general del talud, así como su altura.

La rotura global del talud puede producirse por la falta de competencia del material del macizo rocoso, en cuyo caso se desarrollaría una rotura circular, o bien, aun atendiendo la roca suficiente competencia, pueden aparecer marcados planos de discontinuidad que pueden originar roturas de tipo poligonal cuando la cohesión y fricción a los largo de dichos planos es suficientemente baja, comportándose como si no tuviera suficiente competencia. (IGME, 1988)

4.13.4. Factor de Seguridad

El factor de seguridad es un factor “F” por cual deben dividirse las fuerzas tangenciales resistentes para alcanzar el equilibrio estricto.

$$(18) \quad FS_s = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Donde:

FS_s= factor de seguridad con respecto a la resistencia

τ_f = resistencia media del suelo al corte

τ_d = esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de rotura.

La resistencia al corte de un suelo consiste de dos componentes, la cohesión y la fricción, y se puede expresar como

$$(19) \quad \tau_f = c' + \sigma' \tan \theta'$$

Donde:

c' = Cohesión

θ' = Ángulo de fricción

σ' = Esfuerzo normal efectivo en la superficie potencial de falla

De una forma similar, se puede decir:

$$(20) \quad \tau_d = c'_d + \sigma' \tan \theta'_d$$

Donde, c'_d y θ'_d son, respectivamente, la cohesión eficaz y el ángulo de fricción que se desarrollan a lo largo de la superficie potencial de falla, sustituyendo las ecuaciones, se obtiene:

$$(21) \quad FS_s = \frac{c' + \sigma' \tan \theta'}{c'_d + \sigma' \tan \theta'_d}$$

Ahora podemos introducir algunos otros aspectos del factor de seguridad, es decir, el factor de seguridad con respecto a la cohesión, $FS_{c'}$ y el factor de seguridad con respecto a la fricción, $FS_{\theta'}$. Éstos se definen como sigue:

$$(22) \quad FS_{c'} = \frac{c'}{c'_d} \quad \text{Y,} \quad (23) \quad FS_{\theta'} = \frac{\tan \theta'}{\tan \theta'_d}$$

Cuando se comparan las ecuaciones 14-15-16, vemos que cuando $FS_{c'}$ llega a ser igual a $FS_{\theta'}$ que es el factor de seguridad con respecto a la resistencia:

$$(24) \quad \frac{c'}{c'_d} = \frac{\tan \theta'}{\tan \theta'_d}$$

Podemos escribir:

$$(25) \quad FS_s = FS_{c'} = FS_{\theta'}$$

Cuando FS_s 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.

5. MATERIALES, MÉTODOS Y METODOLOGÍA

Para la siguiente investigación se han considerado los siguientes materiales:

5.1. Materiales

Tabla 10: *Materiales y equipos utilizados para proyecto de investigación.*

MATERIALES					
TOPOGRAFIA	GEOLOGIA	GEOTECNIA			OFICINA
		LABORATORIO	ENSAYO SPT	ENSAYO DE REFRACCION SISMICA	
Vehículo aéreo no tripulado tipo Fixed Wing con cámara fotográfica de alta resolución y GPS Dual integrado.	Brújula tipo Brunton,	Prensa Uniaxial	Barras, brazos de perforación y pesa de 63.5 Kg	Sismógrafo de refracción PASI GEA 24	Computador
Multitrotor con cámara fotográfica de alta resolución y GPS integrado.	GPS Garmin	Bomba de vacío	Motor y polea	Cables de geófonos	Google Earth Pro
Workstation para procesamiento de datos	Martillo geológico EP 22Oz	Balanza eléctrica	Trípode de carga	Geófonos y sensores	Software Gis
Software fotogramétrico	Carta geológica Gonzanamá Edición 2, serie J62-G Hoja 57 N VII-B		Llaves inglesas	Combo	Software CAD
Software de planificación de vuelos	Flexómetro			Placa	Programas Office
	Lápices de colores			GPS Garmin	Roclab 2019
	Fundas Plásticas			Brújula tipo Brunton	Slide V.6.0
	Libreta de campo				

Fuente: La autora, 2019

5.2. Metodología

La presente investigación se desarrolló a partir de la investigación experimental y no experimental

5.2.1. Investigación no experimental

Este tipo de investigación se basa fundamentalmente en la observación. En ella las diferentes variables que forman parte de una situación o suceso determinados no son controladas.

5.2.1.1. Recopilación de información

En la presente investigación se tendrá un aproximado de 60Ha de área de estudio, teniendo en cuenta los 100m a cada eje de vía y 3km, para lo cual se elaboró una base de datos mediante la recopilación de información bibliográfica con referencia al área de estudio como documentos técnico-científicos, información geográfica como cartas topográficas y geológicas del cantón Gonzanamá, y demás bibliografía referente.

5.2.2. Investigación experimental

Este tipo de investigación se basa fundamentalmente en los datos obtenidos de muestras aleatorizadas, de manera que se presupone que la muestra de la cual se obtienen es representativa de la realidad.

5.2.3. Levantamiento Topográfico

Para poder obtener la topografía, se trabajó en conjunto con la Empresa SETIA GROUP S.A, la cual mediante el uso de vehículo aéreo no tripulado (alimentación eléctrica) tipo Fixed Wing con cámara fotográfica de alta resolución y GPS Dual integrado, Multirrotor con cámara fotográfica de alta resolución y GPS integrado, se obtendrá un set de fotos aéreas con geolocalización del tramo, generación de la ortofoto, el modelo 3D, así como las curvas nivel, datos base con los que se podrá trabajar posteriormente.

Para realizar el levantamiento aéreo, así como el procesamiento y post procesamiento de información se dividieron las actividades en dos etapas:

5.2.3.1. Trabajo de Campo

Comprende la planificación de vuelos, colocación de puntos de control y toma de fotografías aéreas a través de vehículos aéreos no tripulados, la misma que comprendió los días 29 y 30 de mayo del año 2019.

Puntos de control.

Se definieron 10 puntos de control descritos en la tabla 11, los cuales fueron levantados por los técnicos con GPS de precisión, con el fin de realizar un ajuste en el post-proceso. Los puntos fueron tomados con tableros de color negro con azul colocados sobre el terreno, adicionalmente marcas con pintura azul en la vía, para que el reconocimiento en el proceso fotogramétrico por parte del software sea mucho más eficiente.

Tabla 11: Puntos de control para levantamiento de información.

Marcadores	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Error_(m)
point 1	688401.8411	9545297.5849	1654.6286	0.189
point 2	688388.9180	9544953.0839	1635.0691	0.137
point 3	688562.2662	9544895.7222	1635.2748	0.122
point 4	688784.2044	9544262.6909	1637.3544	0.191
point 5	689057.2379	9544138.2693	1639.3652	0.107
point 6	688905.5108	9543838.3874	1641.7540	0.185
point 7	688911.0561	9543596.8550	1639.2373	0.235
point 8	688691.7626	9543484.2070	1607.9861	0.288
point 9	688901.6202	9543281.9613	1583.6195	0.233
point 10	689087.2301	9543161.9265	1558.4426	0.165
#Total Error				0.193

Fuente: (Guamán , Diaz, & Saritama, 2019)

Generación de plan de vuelo.

En base al tramo proporcionado, se definió en el software del plan de vuelo, el patrón de vuelo para cubrir el área de interés. En este caso se efectuó 1 vuelo automático asistido por telemetría. En la siguiente figura se muestra el plan de vuelo realizado para el área de interés:

Se efectuó un vuelo con un tiempo de 30 minutos. El cual se realizó en horario de las 11:15 am para evitar que las fotografías salgan oscuras y con mucha sombra por la inclinación del sol.

5.2.3.2. Trabajo de Oficina

Comprende en el procesamiento fotogramétrico para la generación de geoinformación debido a la baja capacidad de carga útil de la mayoría de los pequeños vehículos aéreos no tripulados, las imágenes a menudo adquiridas con sistemas de este tipo son cámaras digitales sencillas con pequeñas adaptaciones.

En relación a la altura de vuelo y de los datos de posición de cada una de las fotos, se generó el procesamiento inicial y cálculo de resolución óptima (10 cm/pixel). El procesamiento de los datos se los realizo utilizando el sistema de coordenadas WGS 84 UTM zona 17S.

Con la información recolectada se generó las curvas de nivel, donde se guarda el archivo y mediante el software y herramientas GIS, se realiza el mapa topográfico a escala 1:5000, la categorización de las curvas se la dispuso a cada 5 metros para las curvas principales y cada metro para las secundarias en el Datum WGS 84, Zona 17 Sur

5.2.4. Levantamiento Geológico-Estructural

5.2.4.1. Trabajo de Campo

En esta fase de estudio se lo realizará sobre la base de topografía a detalle realizada, es decir a escala 1:5000, donde consiste en realizar el levantamiento geológico estructural e inventario de deslizamientos, consistiendo en la descripción detallada de los principales afloramientos de origen natural o antrópico distribuidos en el área de estudio en senderos, vía, que nos permitan visualizar la geología del sector, para así poder realizar la descripción litológica de cada afloramiento y a su vez tomar datos estructurales y otras características necesarias para la confección del mapa geológico.

La descripción de afloramientos fue realizada mediante la fichas descrita en la **tabla 12** destinadas a ese fin, para el éxito de este levantamiento se efectuó la observación directa de afloramientos artificiales por el corte de la vía ya existente y afloramientos naturales; también se mapeo en las quebradas, para identificar la composición litológica del sector de estudio.

Tabla 12: *Ficha de afloramientos*

  Universidad Nacional de Loja		AFLORAMIENTO	
FICHA DE AFLORAMIENTOS			
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL			
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”		
AFLORAMIENTO	UBICACIÓN		
FECHA	DATUM		
COORDENADAS UTM	X	Y	Z
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL		ANTROPICO
FORMACION/UNIDAD			
DIMENSIONES	ALTO		ANCHO
MEDIDAS ESTRUCTURALES DB/BZ			
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS			
COLOR			
ESTADO DE ROCAS			
NOMBRE DE LA ROCA			
OBSERVACIONES			

Fuente: La autora, 2019

Durante la/las visitas de campo en la zona de estudio; se describirá el tipo de roca mediante la toma de muestras de mano, representativas de cada roca identificada permitiéndonos un reconocimiento macroscópico preliminar, de ser necesario la recolección de muestras de roca, mismas que se analizarán en el Laboratorio de la carrera de Geología de la Universidad Nacional de Loja.

Cada dato tomado en campo ha sido colocado en la base topográfica, realizando la caracterización con diferentes colores de acuerdo con las diferentes litologías del tramo de vía, así mismo la ubicación de datos estructurales.

5.2.4.2. Trabajo de Oficina

En base al mapa topográfico con Datum UTM WGS 84 zona 17 Sur, y datos de afloramientos se procederá a crear el mapa geológico a escala 1:5000, especificando cada litología con sus respectivos datos estructurales.

Incluye las tareas de dibujo del mapa mediante el uso del software y herramientas Gis, los puntos de afloramientos ayudarán a definir contactos litológicos y ubicar datos estructurales tomados en el campo, como: rumbo, buzamiento y dirección de buzamiento. Finalmente, mediante el uso de herramientas SIG se digitalizó y generó los

respectivos shapefiles correspondientes a puntos y polígonos representados en el campo.

5.2.5. Pendientes

Para realizar el mapa de pendientes se utilizó el software GIS, mismo que hace uso de las curvas de nivel obtenidas en el cual se procedió a crear un Modelo TIN (Red de Triangulación Regular), obteniendo un MDT (Modelo Digital del Terreno) se transformó este a un modelo raster con número de píxeles 250, utilizando herramientas de 3D análisis, luego con la herramienta de análisis espacial se procedió a crear el modelo de pendientes (Slope). Para obtener una clasificación de las pendientes se basa en la metodología de clasificación propuesta por (Demek, 1972), que se muestra en la **Tabla 13**.

Tabla 13: *Clasificación de Pendientes*

RANGO(°)	GRADIENTE (%)	DESCRIPCION
0-5	3.5-8.7	MUY BAJA
5-15	8.7-26.8	BAJA
15-35	26.8-70	MEDIA
35-55	70-143	ALTA
55-90	>143	MUY ALTA

Fuente: (Demek, 1972)

Modificado por: Autor, 2019

5.2.6. Geomorfología

Se consideró la topografía, geología y pendientes presentes en el área de estudio y se realizó fotointerpretación para obtener el Mapa Geomorfológico del área de estudio.

Se consideró una clasificación propuesta por el Ministerio del Ambiente (2013) expuesta en la tabla 14 de la publicación “Modelo de unidades geomorfológicas para la representación cartográfica de ecosistemas del Ecuador continental”, clasificándolos en:

Tabla 14: *Clasificación Geomorfológica*

Relieve General	Representa la primera y más grande categoría de unidades geomorfológicas a escala regional, generalmente corresponde a las regiones naturales del Ecuador, está constituida por conjuntos de unidades de relieve con similares génesis, litología y estructura.
------------------------	---

Macrorelieve	Representa la categoría intermedia de unidades geomorfológicas a escala de paisaje (10–200 km), implica relaciones de relieve de tipo geogenético, litológico y topográficos. Se distinguen relieves menores que los anteriores como: cordilleras, llanuras, valles, montañas, serranía, piedemontes, penillanura.
Mesorelieve	Son las unidades geomorfológicas menores, de escala local (1-10 km) y que representan a un paisaje tridimensional (geoformas) caracterizado por uno o más atributos morfométricos, litológicos y estructurales.

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2013)

Modificado por: El autor, 2019

Considerando la extensión del estudio, se tomará en cuenta la clasificación del Mesorelieve, descrita en la tabla 15, misma que se clasifica en:

Tabla 15: *Clasificación Geomorfológica*

Edificios Volcánicos	En esta unidad genética de relieve se agrupan todos los paisajes geomorfológicos determinados por el vulcanismo, que han sufrido en diverso grado los efectos de la denudación pero que aún conservan rasgos definidos de sus formas iniciales. Estas estructuras volcánicas según sus rasgos morfológicos pueden ser recientes, antiguas y muy antiguas. Poseen materiales geológicos de rocas extrusivas, lavas y piroclastos.
Relieves Montañosos	A este grupo se incluyen las montañas cuya altura y formas se deben a plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en diverso grado por los procesos de denudación fluvio – erosional y glaciárica, respectivamente.
Montañas Bajas:	Son elevaciones debido a procesos orogénicos que van desde: 0- 1000 msnm
Colinas Altas	Son unidades morfológicas con una topografía colinada arrugada con una diferencia de altura relativa de 75-200 m con una pendiente de 14-20 %.

Colinas Medianas	Son unidades morfológicas con una topografía ondulada con una diferencia de altura relativa de 25-75 m con una pendiente de 8-13 %.
Colinas Bajas	Son unidades morfológicas con una topografía suavemente ondulada con una diferencia de altura relativa de 5-25 m con una pendiente 3-7%.
Vertientes	Es una superficie topográfica inclinada situada entre los puntos altos (picos, crestas, bordes de mesetas o puntos culminantes del relieve) y los bajos (pie de vertientes o vaguadas). El perfil de una vertiente puede ser regular, irregular, mixta, rectilínea, convexa y cóncava (es decir, con rupturas de pendiente), dependiendo de la litología y la acción de la erosión.

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2013)

Modificado por: El autor, 2019

5.2.7. Mecánica de Rocas

5.2.7.1. Ensayo de compresión Simple.

Para el ensayo de mecánica de rocas se procedió a elaborar la malla de muestreo del eje principal tomando como referencia el mapa geológico y topográfico. Las muestras se recolectaron de taludes predominantes, para este ensayo, se tomó cinco muestras como se observa en la Fotografía 1, de aproximadamente 25cmx25cm, de las mismas que se obtuvo dos cubos de roca por muestra, y un testigo de roca, en la zona crítica del área de estudio.

Los análisis de roca se realizaron en el laboratorio ESTSUELCON CIA. LTDA (Estudios de suelos, laboratorio, construcción y consultoría), ubicado al Norte de la ciudad de Loja en el Barrio Sauces Norte; el parámetro que se determinó fue la resistencia a la compresión uniaxial o simple.

Tabla 16: *Ubicación de toma de muestras*

DESCRIPCION	X	Y	Z
MUESTRA 1	688398	9544977	1636
MUESTRA 2	688437	9544952	1635
MUESTRA 3	688546	9544785	1635
MUESTRA 4	688556	9544619	1641
MUESTRA 5	688963	9543737	1694
TESTIGO DE ROCA	688899	9543845	1642

Fuente: El autor, 2019



Fotografía 1: A) Muestras de roca B) Testigo de roca
Fuente: La autora, 2019

El procedimiento para obtener los cubos de roca es el siguiente:

- Primero se perfila y nivela la muestra para lograr tener un cubo de aproximadamente 5 cm. por lado. (Fotografía 1)
- Seguidamente se procede a pesar la muestra, y se registra este valor como masa (M)
- A continuación se mide una cara de la muestra para obtener el diámetro que en este caso es la multiplicación de los 2 valores de los lados ($D = l \times l$) y se obtiene el área expresado en cm^2
- Así mismo se mide la altura de la muestra y se multiplica por el área obteniéndose el volumen expresado en cm^3
- Luego, se coloca la muestra en la prensa con caras metálicas, la misma que en su parte superior esta fija y la parte inferior es accionada por un gato hidráulico que realiza el movimiento de subida hasta presar la muestra y apretarla en ese momento se empieza a medir la resistencia que sobrepase los límites y exista la rotura de la misma denominándolo a este valor máximo obtenido como carga o fuerza. (fotografía 2)



Fotografía 2: A) Ensayo de compresión a la Muestra 1 (M1) B) Cubos ensayados C) Ensayo de compresión al testigo de roca

Fuente: La autora, 2019

Entonces tenemos todos los valores necesarios para calcular la resistencia a la compresión uniaxial reemplazando valores en la siguiente fórmula:

$$(26) \sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

σ : Esfuerzo expresado en Kg/cm²

F= Fuerza o carga

A= Área

Este dato de compresión simple o esfuerzo expresado en Kg/cm² es necesario convertirlo a megapascales (MPa) para poder obtener la valoración correspondiente a la resistencia de la matriz rocosa, donde 1Kg/cm² = 0.09807MPa; al obtener dos cubos de roca por cada muestra, se realizará un promedio. El mismo procedimiento se realizará al testigo de roca.

5.2.7.2. Análisis de las propiedades físico-mecánicas de las muestras

El análisis de las propiedades físico- mecánicas de las muestras las realizaremos en el laboratorio ESTSUELCON CIA. LTDA (Estudios de suelos, laboratorio, construcción y consultoría).

Debido a la dureza y consistencia de las muestras pueden ser analizadas las siguientes propiedades, mediante las siguientes fórmulas obtenidas de Braja M. , (2012) y Vallejo, (2002)

5.2.7.3. Peso específico.

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

$$(27) \rho_r = \frac{wPulv}{Wpapulv - wpulv - wpa}$$

Donde:

$W_{pulv} = W$ picnómetro + muestra – W picnómetro

$W_{pa} = W$ picnómetro + agua

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



Fotografía 3: Ensayo de densidad A) Peso de la muestra B) Colocación del material dentro del picnómetro c) Aplicación de la bomba del vacío a la muestra en el picnómetro D) Incorporación del agua destilada E) Peso del picnómetro con agua destilada.

Fuente: La autora, 2019

5.2.7.4. Densidad

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

$$(28) \delta = \frac{m}{v}$$

5.2.7.5. Peso específico aparente

$$(29) \rho_a = \frac{W_s}{W_{sat} - W_{sum}} * \rho_w$$

5.2.7.6. Gravedad Específica

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

$$(30) G_s = \frac{W_s}{W_w} = \frac{W_s}{W_s + W_{bw} - W_{bp}}$$

W_{bs}= peso picnómetro + agua + suelo

W_{bw} = peso picnómetro + agua

5.2.7.7. Contenido de agua

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

$$(31) W = \frac{W_h - W_s}{W_s} * 100\%$$

Donde:

W_h: Peso de roca húmeda

W_s: Peso de roca seca

5.2.7.8. Porosidad eficaz

$$(32) n_e = \frac{W_{sat} - W_{sec}}{W_{sat} - W_{sum}} * 100\%$$

W_{sat}= Peso saturado

W_{sec}= Peso seco

W_{sat}= Peso saturado

W_{sum}= Peso sumergido

5.2.7.9. Porosidad (%)

$$(33) n = \left(1 - \frac{Pa}{Pr}\right) * 100\%$$

5.2.7.10. Porosidad cerrada, n_c (%)

$$(34) n_c = n - n_e$$

5.2.7.11. Coeficiente de absorción, C_{abs} (%)

$$(35) C_{abs} = \frac{W_{sat} - W_{sec}}{W_{sec}} * 100\%$$

5.2.7.12. Compacidad, C (%)

$$(36) C = 1 - n$$

5.2.7.13. Módulo de saturación, M_{sat} (%)

$$(37) M_{sat} = \frac{n_e}{n} * 100\%$$

5.2.8. Ensayo de Penetración Estándar.

El ensayo de penetración estándar es una herramienta que nos permitirá determinar la compacidad relativa de suelos granulares y la consistencia de suelos cohesivos mediante correlaciones, la estratigrafía del sitio y la obtención de muestras alteradas para su uso en laboratorio.

5.2.8.1. Trabajo de campo

En base a la descripción preliminar del terreno se realizó 2 Ensayos de Penetración Estándar (S.P.T.), los mismos que se realizaran de la siguiente manera: un primer ensayo en suelo granular arcilloso al principio del tramo y un segundo S.P.T. en suelo arcilloso al final del tramo, tal y como se muestra en la Fotografía 4.

Cada S.P.T. constó de 5m de profundidad, con la respectiva recuperación de muestras a cada metro explorado, utilizando la herramienta “saca muestras partido” según norma NTE INEN-ISO 22476-3; dichos ensayos se los realizará para determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo.

El equipo utilizado para el ensayo es del Gobierno Provincial de Loja, donde se realizara el análisis de las muestras de campo.



Fotografía 4: A) Ensayo SPT 1 B) Ensayo SPT 2
Fuente: La autora, 2019

Para la ejecución del ensayo se procede a limpiar la zona a perforar de toda cobertura vegetal, por lo menos dejando un espacio libre de 1m².

- Se coloca el trípode y la polea el cual nos ayudara a levantar la pesa.
- El muestreador se enrosca al extremo de la tubería de perforación y se baja hasta la profundidad donde se va a hacer la prueba.
- Se coloca el martillo en posición guiado por la tubería de perforación, elevándolo con un cable accionado mecánica, el cual se encuentra suspendido del trípode con polea.
- Marcar el extremo superior de la tubería de perforación en tres partes, cada una de 15 cm para la posterior observación del avance del muestreador bajo el impacto del martillo.
- Dejar caer el martillo sobre el cabezote de la tubería de perforación y se contabiliza el número de golpes aplicado con la altura de caída especificada, para cada uno de los segmentos de 15cm marcados. No se tienen en cuenta los golpes para el primer segmento puesto que es el de penetración inicial al terreno. Se suman los golpes aplicados para que penetre el tubo en el segundo y tercer segmento, obteniéndose así el valor de “N”
- Sacamos a la superficie el muestreador y se abre; debe registrarse la longitud de la muestra recobrada, su peso y describir sus características en cuanto a color, uniformidad etc. Se repiten los pasos anteriores cuantas veces sea necesario para determinar la variación de los parámetros de resistencia con la profundidad o con el número de estratos.

- Una vez ya obtenidos los resultados de ensayos de laboratorio se procedió a determinar la capacidad admisible del suelo de cada una de las muestras en base a los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos (cohesión y ángulo de fricción) y el número de golpes del ensayo de penetración estándar.

El (S.P.T) nos permitirá realizar los siguientes ensayos, mediante normas estandarizadas:

- Un ensayo para determinar del contenido de humedad mediante la Norma INEN NTE 0691
- Un ensayo para Límites líquido y plástico mediante la Norma INEN NTE 0692
- Ensayo para Análisis granulométrico mediante la Norma ASTM D 422

5.2.9. Ensayo de sísmica de refracción

5.2.9.1. Trabajo de campo

Los sondeos se realizaron utilizando un sismógrafo de refracción PASI GEA 24, como también se emplearon sus respectivos accesorios de cables de geófonos y de extensión, geófonos, batería y detonador (combo). En la zona de estudio se realizó tres sondeos mediante sísmica de refracción. Los sondeos abarcan una extensión de terreno de 30,00 metros de longitud y una profundidad de 10,00 metros de exploración.



Fotografía 5: A) Ensayo refracción sísmica 1 B) Ensayo refracción sísmica 2 C) Ensayo refracción sísmica 3

Fuente: La autora, 2019

- Se realiza el Tendido de Refracción Sísmica, el tendido tiene una longitud de 30 m, donde se utilizan 12 geófonos o hidrófonos, espaciados 2.5 metros uno con respecto al otro en base a la horizontal, para los tendidos.
- Los geófonos o hidrófonos se disponen sobre una línea recta.
- Se localizaron tres puntos de tiro para cada TRS, dos laterales y uno central, empleando una fuente sísmica.
- Colocamos una placa metálica a un costado del geófono, la cual no servirá como base para dar el golpe con ayuda del combo, propagando así las ondas hacía el sismógrafo.
- Este procedimiento se lo realizo en cada uno de los puntos de tiro, si en caso las ondas no llegaran de manera correcta al sismógrafo, se debe repetir el golpe.

5.2.9.2. Trabajo de oficina

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

- Determinación de las primeras llegadas de las ondas V_p , refractadas en los sismogramas de campo.
- Elaboración y correlación teórica de los sistemas de domocronas (Figura 27).
- Obtención de los retardos mediante los métodos “delay time”, ABEM, interceptos y paralelismo.
- Cálculo de espesores y profundidades para el caso de multicapas

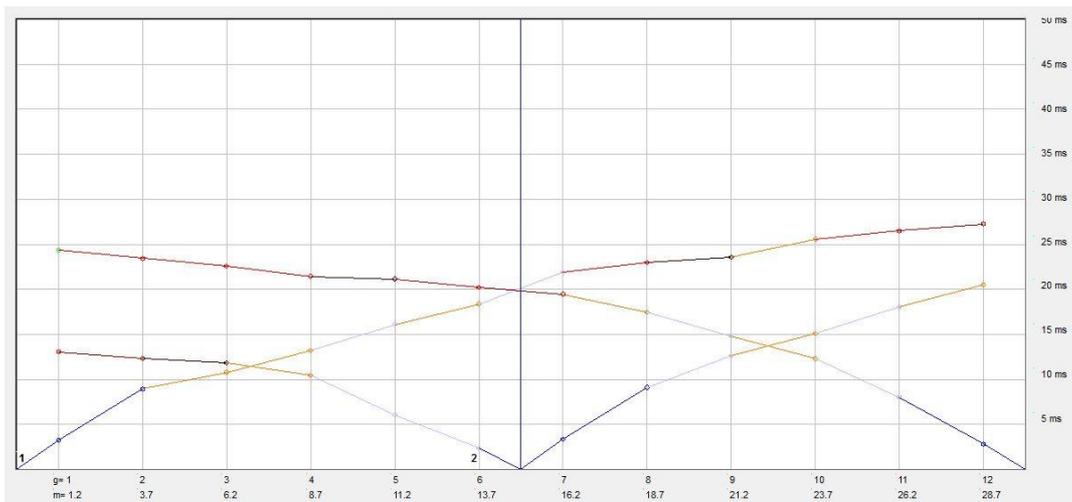


Figura 27: Domocrona LRS2

Fuente: La autora, 2019

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

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

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

$$(38) \quad V_p = \sqrt{\frac{E(1-\eta)}{\delta(1+\eta)(1-2\eta)}}$$

δ = Densidad del material

E = Módulo de Young

η = Coeficiente Poisson

De donde:

$$(39) \quad \frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{(1-\eta)}{(1-2\eta)}}$$

De acuerdo a (Oguilbi A, 1990, Savivh A, 1990), citado en (Naranjo Aguay & Dranichnikov, 2012) , puntualiza que de la relación de velocidades V_p y V_s se puede obtener las ecuaciones para el cálculo de las propiedades elásticas del material del terreno tales como coeficientes de Poisson, módulo de elasticidad y módulo de corte.

Coeficiente de Poisson (η) (Naranjo Aguay & Dranichnikov, 2012)

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

deformación transversal ($\epsilon\alpha$) y la deformación longitudinal (ϵl) se denomina coeficiente de Poisson.

$$(40) \quad \eta = \frac{\epsilon\alpha}{\epsilon l}$$

En función de las velocidades V_p y V_s

$$(41) \quad \eta = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - 2V_s^2)}$$

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

Tabla 17: Rangos del Coeficiente de Poisson

Tipo de Roca	Rango de coeficiente de Poisson
Roca consolidada, no alterada	0,2-0,3
Roca sedimentaria clástica	0,2-0,5

Fuente: (Naranjo Aguay & Dranichnikov, 2012).

Modificado por: La autora, 2019

Peso unitario (δ) (Naranjo Aguay & Dranichnikov, 2012)

$$(42) \quad \delta = 0.01516 \cdot V_p^{1/2} + 1.30 \text{ gr/cm}^3$$

Módulo de Young (E) (Naranjo Aguay & Dranichnikov, 2012)

En el caso de tensiones de compresión o de tracción, que dan origen a una deformación pequeña, la magnitud de esta deformación es proporcional a la tensión (Ley de Hooke).

$$(43) \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

σ = Tensión

ϵ = Deformación

En función de (V_p y V_s):

$$(44) \quad E = \delta V_s^2 \left(\frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2} \right)$$

δ = Densidad del material

Módulo de rigidez o de cizallamiento (E) (Naranjo Aguay & Dranichnikov, 2012)

El esfuerzo de cizallamiento se denomina la tensión, que actúa paralelamente al área dando origen a una deformación por fractura; se expresa por el ángulo de deformación que se forma por la superficie original del área y la superficie deformada por la tensión ejercida paralelamente al área.

En función de velocidad V_s :

$$(45) \quad G = \frac{E}{2(1+\eta)} = \delta V_s^2$$

Angulo de rozamiento propuesto por Dunham (\emptyset) (Naranjo Aguay & Dranichnikov, 2012)

$$(46) \quad \emptyset = (12N)^{1/2} + 15$$

Angulo de rozamiento propuesto por Osaki (\emptyset) (Naranjo Aguay & Dranichnikov, 2012)

$$(47) \quad \emptyset = (20N)^{1/2} + 15$$

Capacidad De Carga Según Uyanick

$$(48) \quad q_{ad} = 0.024 \cdot V_s \delta$$

$$(49) \quad \delta = 3.1 \times V_p^{0.25}$$

δ = Peso unitario del suelo

V_s = Velocidad transversal

5.2.10. Caracterización del macizo rocoso

El análisis de la estabilidad geomecánica de los macizos rocosos está condicionado por un conjunto de limitaciones, por lo que las evaluaciones se efectuarán de acuerdo a una metodología sencilla que proveerá de respuestas razonables. Para este fin la mecánica de rocas ha desarrollado un conjunto de técnicas, basadas en características cualitativas e índices numéricos que inciden en el comportamiento del macizo rocoso, que involucran aspectos de campo, laboratorio y gabinete, que seguidamente se describen.

5.2.10.1. Trabajo de campo

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

La caracterización de los macizos, de acuerdo con el Índice de Calidad RMR se realizará en base a los seis parámetros propuestos por Bieniawski, 1973. Act. 1989): 1) Resistencia a compresión simple de la roca, 2) RQD (Rock Quality Designation), 3) Distancia de separación entre las discontinuidades, 4) Condición de las discontinuidades, 5) Flujo del agua subterránea en las discontinuidades y 6) Orientación de las discontinuidades, considerando de la literatura las gráficas para la valoración de los parámetros, preparadas para facilitar los análisis con ordenadores, expuestas en la Revisión de Literatura en las **Figura 17-18-19**.



Fotografía 6: A-B) Recolección de información para la caracterización del macizo rocoso: Rugosidad con peine de Barton y Resistencia a la compresión simple mediante esclerómetro.

Fuente: La autora, 2019

El índice de calidad RMR varía entre 0 y 100, y define cinco clases de roca designadas con números romanos, que se corresponden con cinco calidades del macizo rocoso: I) Muy buena, II) Buena, III) Media, IV) Mala y V) Muy mala. Estos y los diferentes modos de falla, en la mayor parte de los casos son gobernados por las superficies de las discontinuidades.

5.2.10.2. Trabajo de oficina

Si bien en base de los datos obtenidos según la metodología expresada y con la información geológica, se puede proceder a la clasificación geomecánica de los macizos rocosos que conforman los taludes, son necesarios ciertos ensayos de laboratorio que requieren las metodologías de estudio, además de la identificación petrológica de las muestras.

Índice de Calidad RQD (%)

El cálculo de la calidad de la roca RQD (%) se aplicó para los taludes 4, 6, 8, 12, 14, donde se realizó el conteo de fisuras por m³, luego se utilizó la siguiente ecuación para realizar el respectivo cálculo, considerando la fórmula 3 y 5, expuestas en la Revisión de Literatura, $RQD = 110 - 2.5Jv$, considerando los límites: $RQD = 0$ para $Jv > 44$; $RQD = 100$ para $Jv < 4$

Clasificación RMR- (Bieniawski, 1973. Act. 1989)

Para la caracterización del macizo rocoso en base a la clasificación de Bieniawski, índice RMR, se empleó la versión de 1989. Este sistema se aplica para los taludes 4, 6, 8, 12, 14, se considerará gráficas mencionadas en el apartado 4.12.10.3 para mayor especificación de los valores y RCS, RQD y Espaciamiento de juntas, para los demás valores, se usará interpolación de valores, para en conjunto tener un valor real total de cada macizo, realizando la sumatoria de los parámetros y su respectiva clasificación. Dado que los macizos rocosos, se encuentran de forma masiva, no se realizará clasificación SMR y análisis cinemático.

Clasificación GSI, Geological strength index. (Hoek, 1994)

Para el GSI se consideró las relaciones con el RMR89, aplicándose para el talud 4, 6, 8, 12, 14, utilizando las fórmula 11 del apartado bibliográfico 4.12.10.5, donde

especifica que si el S_i $RMR_{89} > 23$, $GSI = RMR_{89} - 5$, y para los taludes 18 y D-1, se usará la interpretación mediante las tablas 7-8-9 del apartado mencionado.

5.2.11. Análisis de estabilidad global de taludes.

Para el análisis de estabilidad global, se procedió al modelamiento de taludes, cabe recalcar que aquí se incluyen dos nuevos taludes, un deslizamiento D.1 y el talud 18. Para la obtención de los parámetros equivalentes de Morh-Coulomb, se utilizó el programa Roclab, considerando los valores ya obtenidos de los ensayos previamente realizados, como peso específico de la roca, resistencia a la compresión simple para los taludes 4,6,8,12 y 14.

Por lo tanto, se obtienen los siguientes valores:

Tabla 18: *Parámetros de estabilidad.*

Numero de talud	GSI	σ_c (Mpa)	ALTURA (h)	PESO ESPECIFICO (Kn/m3)	PARAMETROS EQUIVALENTES DE MORH COULOMB	
					C (kPa)	ϕ (°)
TALUD 4.A	38.29	38.5	7.5	26.28	85.99	47.2896
TALUD 4.B	43.07	31.49	7.5	26.09	75.2019	45.7121
TALUD 6	46.96	25.56	8.9	25.28	204.773	34.847
TALUD 8	42.08	54.13	13	26.86	258.013	33.7924
TALUD 12	42.03	10.14	110	25.25	184.844	18.0807
TALUD 14	53.03	60.91	1.7	25.26	128.151	59.5849

Fuente: Roclab, 2019.

Modificado por: La Autora, 2019

Y para los taludes 18 y D-1, se utilizó los valores obtenidos en las líneas de refracción sísmica como ángulo de fricción y peso unitario o peso específico y, el valor interpretado de GSI, siendo los siguientes:

Tabla 19: *Parámetros de estabilidad 18 y D-1*

Numero de talud	ALTURA (h)	PESO ESPECIFICO (Kn/m3)	PARAMETROS EQUIVALENTES DE MORH COULOMB	
			C (kPa)	ϕ (°)
TALUD 18	4	18.92	0.1	37
D-1	70	20.20	0.1	41

Fuente: Roclab, 2019.

Modificado por: La Autora, 2019

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

6. RESULTADOS

6.1. Descripción General del área de estudio

6.1.1. Ubicación administrativa del área de estudio

El proyecto se encuentra ubicado entre los cantones Catamayo y Loja, parte desde el puente de Indiucho en la vía Panamericana que une Catamayo con Gonzanamá y concluye en la parroquia de Malacatos, tiene un recorrido norte-sur, el mismo que inicia en el Puente sobre la quebrada de Indiucho, llegando a la cabecera parroquial de El Tambo posteriormente enlaza importantes barrios: La Capilla, San Bernabé, La Era, San Agustín, La Merced, y El Naranjo Dulce, hasta llegar al sector denominado como Santo Domingo (km 17+132), con un total de 42km. Geográficamente en coordenadas UTM, como se observa en la **Tabla 20**, el proyecto enlaza los siguientes puntos:

Tabla 20: Coordenadas UTM (WGS84)

SECTOR	X	Y	ALTITUD (m s.n.m.)
Puente Indiucho	680500	9554037	1593
El Tambo	687926	9549573	1593
Santo Domingo (Km 17+132)	688599	9538580	1552
Malacatos	69.998	9533114	1593

Fuente: El autor, 2019

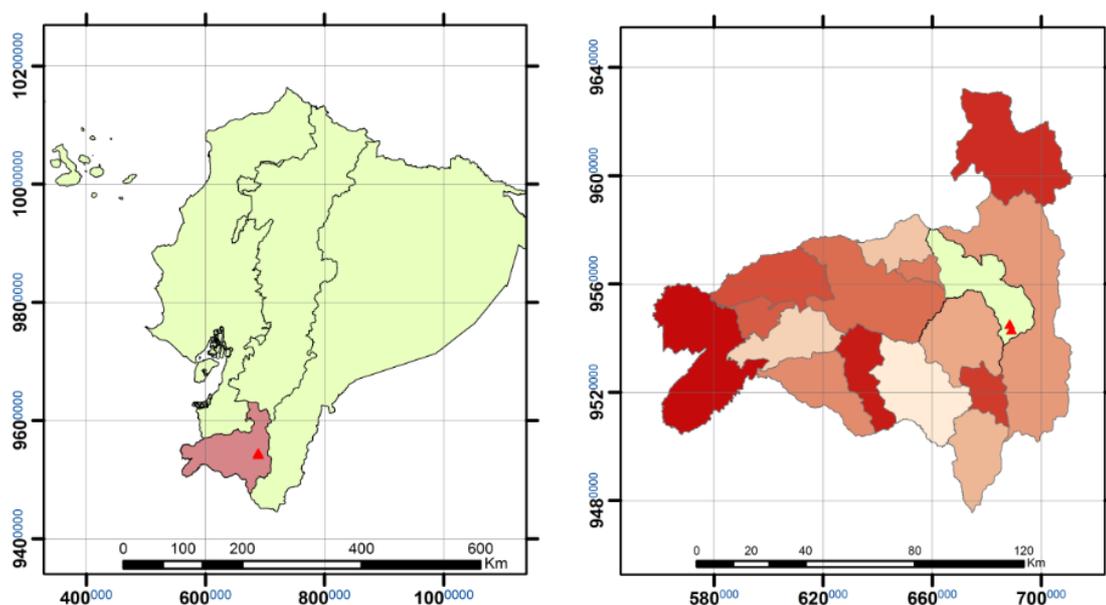


Figura 28: Ubicación administrativa de proyecto de estudio

Fuente: La autora, 2019

6.1.2. Acceso

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

- Por vía aérea desde la capital (Quito) hasta el aeropuerto ciudad de Catamayo del cantón Catamayo en un tiempo estimado de una hora. Una vez en Catamayo, se puede desplazar por vía terrestre hacia la ciudad de Loja recorriendo 35 km., una vez en Loja, se toma la vía a Malacatos con un recorrido de 31.1km, se toma la vía Intervalles Malacatos– el Tambo y del km 6 al Km 9 se llega al tramo de estudio.
- Desde la ciudad de Catamayo en un tiempo estimado de 1 hora. Se puede desplazar mediante vía terrestre por la vía Intervalles Indiucho – el Tambo – Malacatos, y aproximadamente en el Barrio La Era, se llega a la zona de estudio, como se muestra en la **Tabla 21**.

Tabla 21. *Coordenadas de referencia del área de estudio.*

	COORDENADAS DATUM (WGS84)		
	ABSCISA	X	Y
INICIO	6+060	688460	9545180
FIN	9+100	689095	9543159

Fuente: La autora, 2019.

6.2. Descripción Biofísica del área de estudio

6.2.1. Clima

Según el Plan de Ordenamiento Territorial de Catamayo (2014), en el Cantón Catamayo predominan los climas tropical y subtropical, con temperaturas mínimas de 12 a 14°C, se presentan sobre la cúspide la cordillera de los Andes, en la parte alta del Cantón, en las cotas de 2600 a 2800 msnm, mientras que en la cabecera cantonal las temperaturas son mayores a 22°C, correspondiente a la cota 1200 msnm.

Según el Plan de Ordenamiento de El Tambo 2014-2019, menciona que posee un clima subtropical seco donde su temperatura varía entre los 14°C y 21°C, la máxima temperatura promedio se registra en el mes de diciembre con 31,4°C y la mínima temperatura promedio en julio con 14,1°C, su humedad se divide en dos periodos de enero a abril y de noviembre a diciembre, la nubosidad varía en relación directa con la precipitación.

6.2.2. Hidrografía

La red hidrográfica presente en la parroquia el Tambo se ubica en la zona alta de cuenca hidrográfica del Río Catamayo, en las estribaciones de la Cordillera Occidental. La parroquia es parte integral de la cuenca principal que es la de Catamayo-Chira en una extensión de 20.441,28 ha. Además se halla conformada por siete micro cuencas, la más importante es la que conforma la quebrada Indiucho que comprende el 35,88% del territorio es decir una extensión de 7.335 hectáreas; la segunda es la que forma la quebrada San Agustín que abarca el 23,50% del territorio en un área de 4.843,84 ha; la quebrada El Huayco cubre el 18,94% de la parroquia y, un porcentaje de 18,12% son drenajes menores.

La vía Tambo-Santo Domingo, corre paralela al drenaje natural correspondiente al río Catamayo, al cual confluyen una serie de drenajes naturales pequeños. Estos hacen referencia a quebradas de bajo caudal en temporadas de veranos como la Quebrada San Agustín y Quebradas intermitentes en épocas de invierno, como se puede observar a continuación en la **Figura 29**.

Continúa en la siguiente...

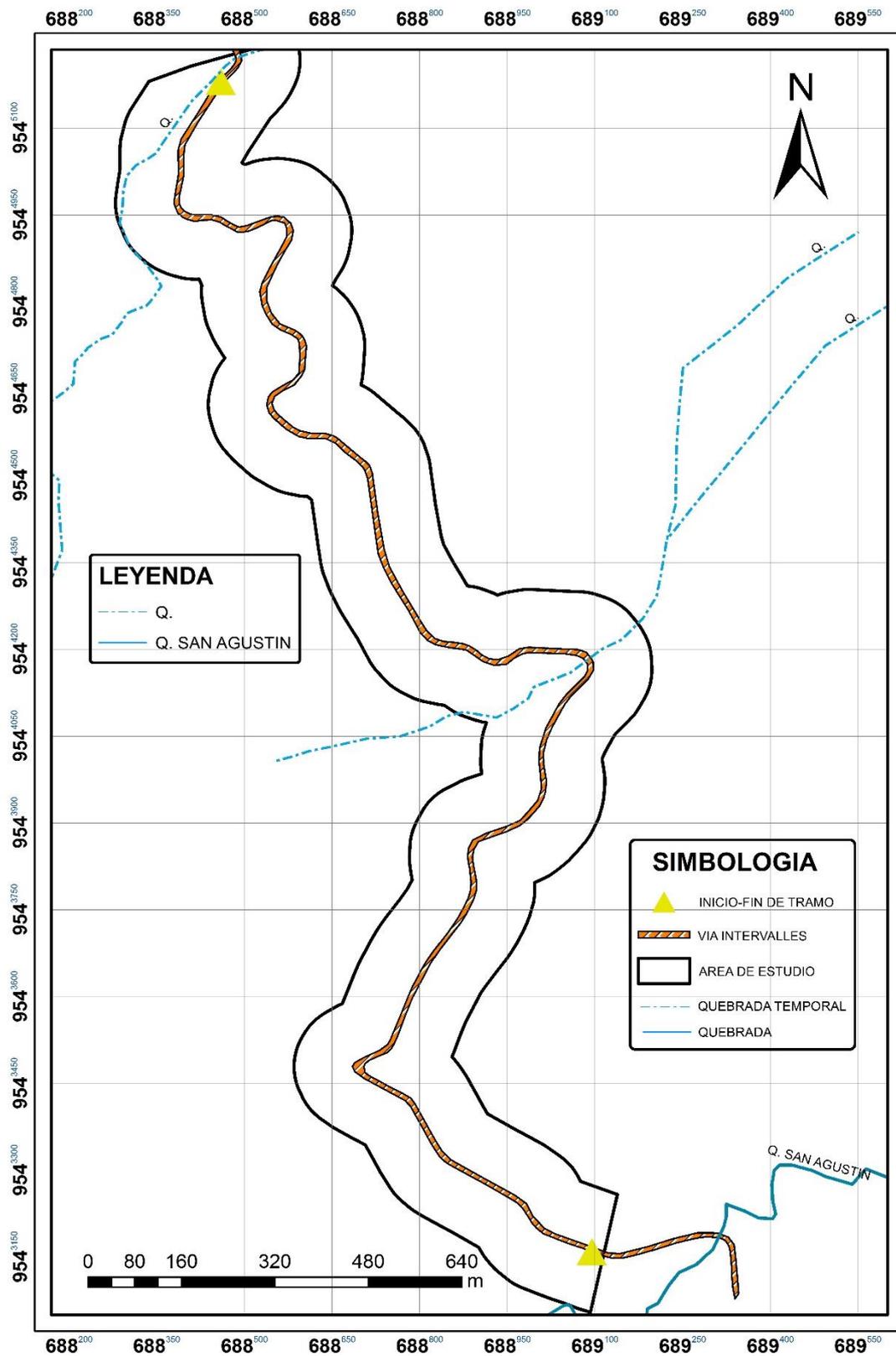


Figura 29: Flujos superficiales dentro del área de estudio

Fuente: La autora, 2019

6.2.3. Cobertura Vegetal

En la parroquia El Tambo el principal tipo de cobertura vegetal es el matorral húmedo alto, que se presenta en el 26,1% del territorio es decir 5.337,6 ha, en el predominan especies achaparradas de poco valor forestal. La siguiente cobertura en importancia es el Bosque Abierto que comprende 20,9% del total parroquial es decir 4.276,24 ha; seguido por el Matorral Seco alto que se presenta en el 19,9% y Pasto Natural 12,9%.

En el área de investigación, se logró identificaron tres tipos de cobertura vegetal, donde está en mayor porcentaje Pastizales-Cultivos y Matorral Alto Seco.

Tabla 22. Cobertura Superficial del área de estudio.

TIPO DE COBERTURA VEGETAL	
Bosque Libre	
Matorral Alto Seco	
Pastizales-Cultivos	

Fuente: PDOT El Tambo 2014-2019

Modificado por: La autora, 2019

Continúa en la siguiente...

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

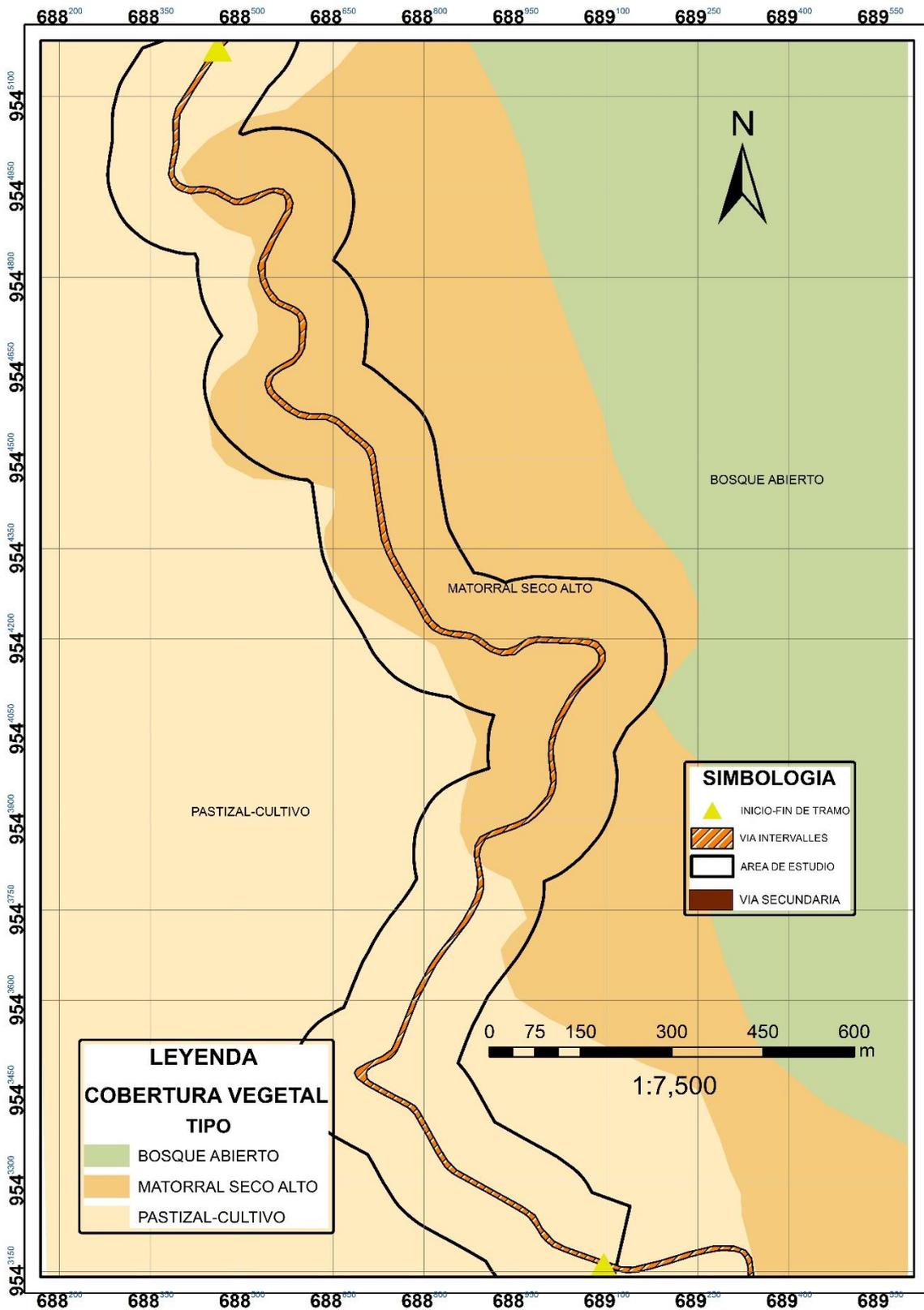


Figura 30: Cobertura Vegetal del área de estudio

Elaboración: La autora, 2019

6.2.4. Topografía

El Tambo se encuentra segmentada en tres zonas: baja desde una altura de 1.200 hasta los 1.500 m s.n.m, donde se encuentra los sistemas productivos más relevantes; la media: hasta los 1.700 m s.n.m y, la alta entre los 2.100 - 3.200 m s.n.m. La zona de estudio presenta una configuración de terreno tipo montañoso, de topografía irregular y fuertes pendientes transversales. La vía Intervalles presenta pendientes mayores a 12%.

Se realizó el levantamiento, lo que en un inicio comprende la planificación de vuelos, colocación de puntos de control y toma de fotografías aéreas a través de vehículos aéreos no tripulados, la misma que comprendió los días 29 y 30 de mayo del año 2019.

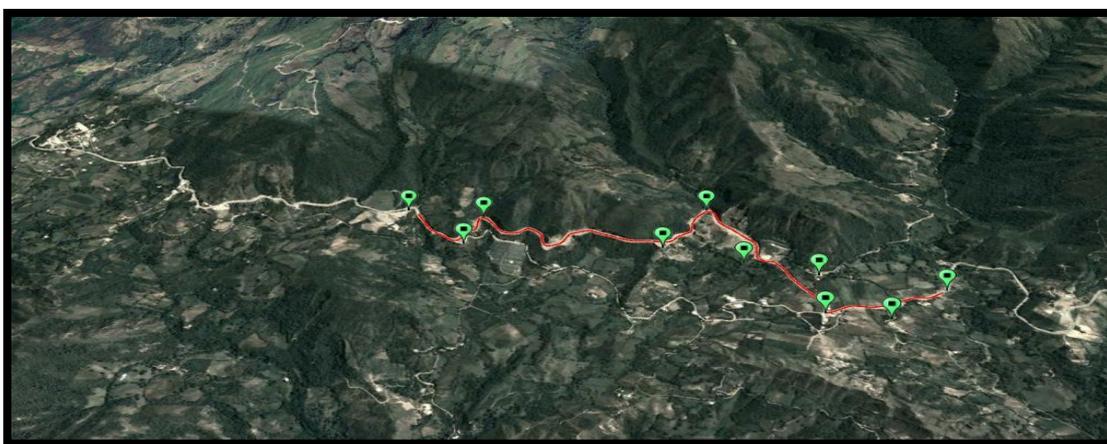


Figura 31: Puntos de control para levantamiento de información.

Fuente: SETIA GROUP, 2019

Se definieron 10 puntos de control en total, los cuales fueron levantados por los técnicos con GPS de precisión, con el fin de realizar un ajuste en el post-proceso. Los puntos fueron tomados con tableros de color negro con azul colocados sobre el terreno, adicionalmente marcas con pintura azul en la vía, para que el reconocimiento en el proceso fotogramétrico por parte del software sea mucho más eficiente.

Tabla 23: Puntos de control para levantamiento de información.

Marcadores	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Error_(m)
point 1	688401.8411	9545297.5849	1654.6286	0.189
point 2	688388.9180	9544953.0839	1635.0691	0.137
point 3	688562.2662	9544895.7222	1635.2748	0.122
point 4	688784.2044	9544262.6909	1637.3544	0.191
point 5	689057.2379	9544138.2693	1639.3652	0.107
point 6	688905.5108	9543838.3874	1641.7540	0.185

point 7	688911.0561	9543596.8550	1639.2373	0.235
point 8	688691.7626	9543484.2070	1607.9861	0.288
point 9	688901.6202	9543281.9613	1583.6195	0.233
point 10	689087.2301	9543161.9265	1558.4426	0.165
#Total Error				0.193

Fuente: (Guamán , Diaz, & Saritama, 2019)

Generación de plan de vuelo.

En base al tramo proporcionado, se definió en el software del plan de vuelo, el patrón de vuelo para cubrir el área de interés. En este caso se efectuó 1 vuelo automático asistido por telemetría. En la siguiente figura se muestra el plan de vuelo realizado para el área de interés:

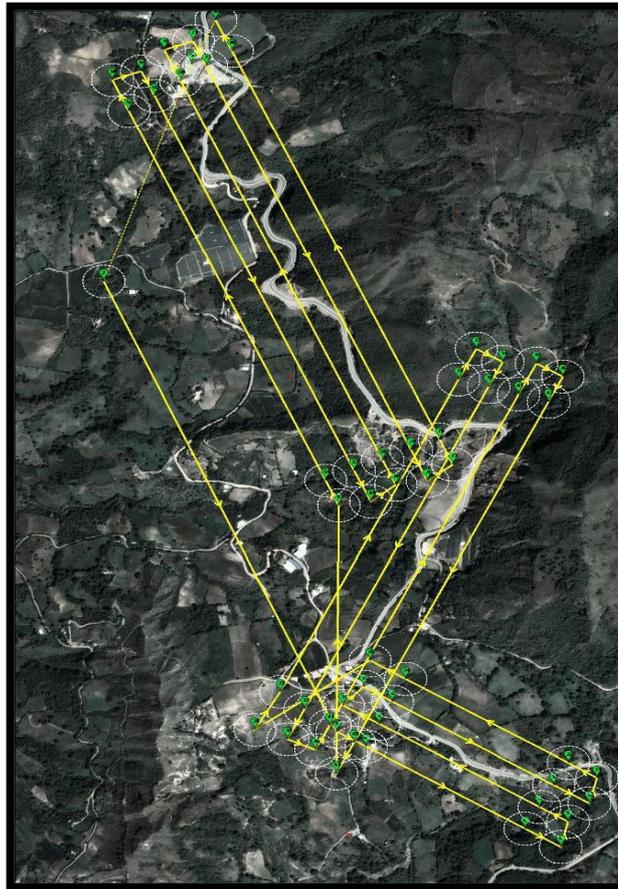


Figura 32: Plan de vuelo tramo vía Intervalles, Sector La Era – Cantón Catamayo.
Fuente: (Guamán , Diaz, & Saritama, 2019)

6.2.4.1. Trabajo de Oficina

Control de calidad de fotos.

Debido a la baja capacidad de carga útil de la mayoría de los pequeños vehículos aéreos no tripulados, las imágenes a menudo adquiridas con sistemas de este tipo son cámaras digitales sencillas con pequeñas adaptaciones. En relación a la altura de vuelo y de los datos de posición de cada una de las fotos, se generó el procesamiento inicial y cálculo de resolución óptima (10 cm/píxel). El procesamiento de los datos se los realizo utilizando el sistema de coordenadas WGS 84 UTM zona 17S.

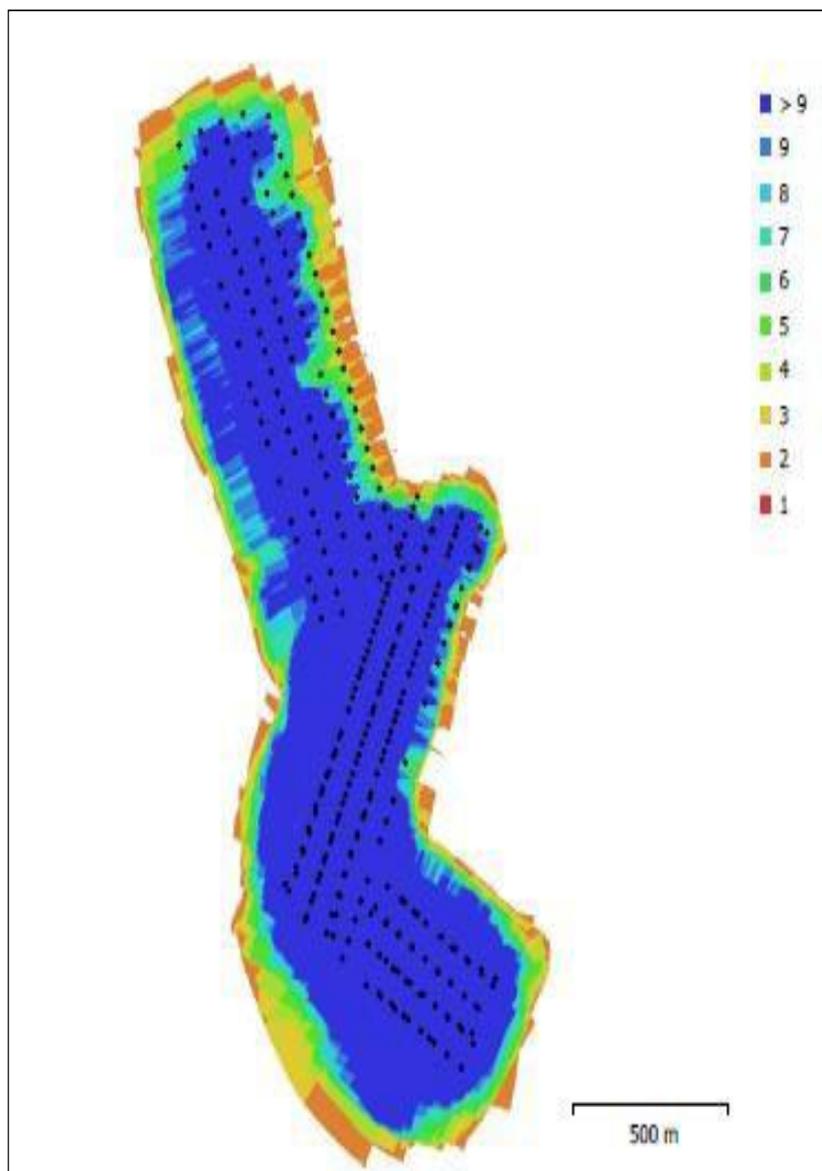


Figura 33: Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes
Fuente: (Guamán , Diaz, & Saritama, 2019)

Tabla 24: Posiciones de cámara.

Numero de imágenes	310	Posiciones de cámara	310
Altitud media de vuelo	248 m	Puntos de enlace	304,790
Resolución en terreno	6.92 cm/pix	Proyecciones	953,080
Superficie cubierta	1.73 km ²	Error de reproyeccion	1.06 pix

Fuente: (Guamán , Diaz, & Saritama, 2019)

Tabla 25: ECM de puntos de apoyo

Numero	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Total (cm)
10	2.23733	1.22581	0.890617	2.55113	2.70212

Fuente: (Guamán , Diaz, & Saritama, 2019)

Generación de Nube de Puntos Densa y Modelo 3D.

Con las fotos calibradas y realizada la construcción de la malla, se procede a la construcción de la nube de puntos densa de cada talud para generar el modelo 3D de cada uno de ellos.

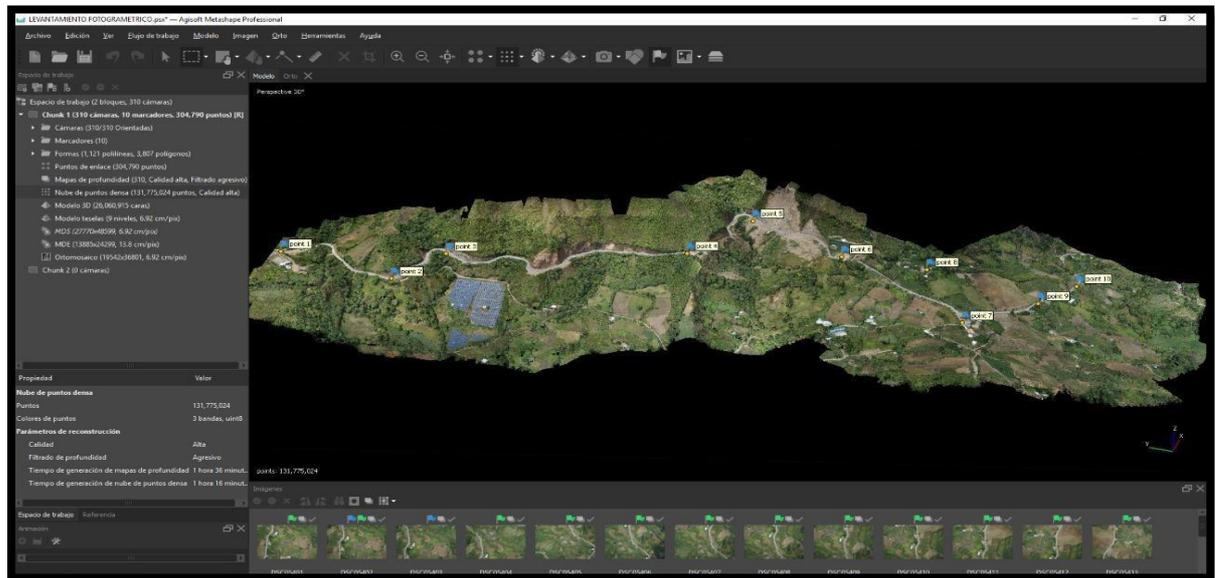


Figura 34: Modelo 3D
Fuente: (Guamán , Diaz, & Saritama, 2019)

A partir del set de fotos calibradas y la construcción de la nube de puntos densa, se realizó el proceso de orto rectificación de las imágenes con ayuda de los puntos de control en tierra (10 GCPs). Se estableció el emparejamiento o matching de las

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

imágenes a partir de los puntos de control y del número de fotos sobre puestas sobre las escenas. (Guamán , Diaz, & Saritama, 2019)

Una vez validados los GCP se puede realizar la orto rectificación y por lo tanto el empate final de imágenes para la generación del ortofotomosaico.



Figura 35: Ortofotomosaico
Fuente: (Guamán , Diaz, & Saritama, 2019)

Localmente, se ha obtenido curvas de nivel cada metro y las curvas principales cada cinco metros, donde las alturas van de 1680 m s.n.m a 1720 m s.n.m. Obteniendo los resultados expuestos en las figuras 36 y 37:

Continúa en la siguiente...

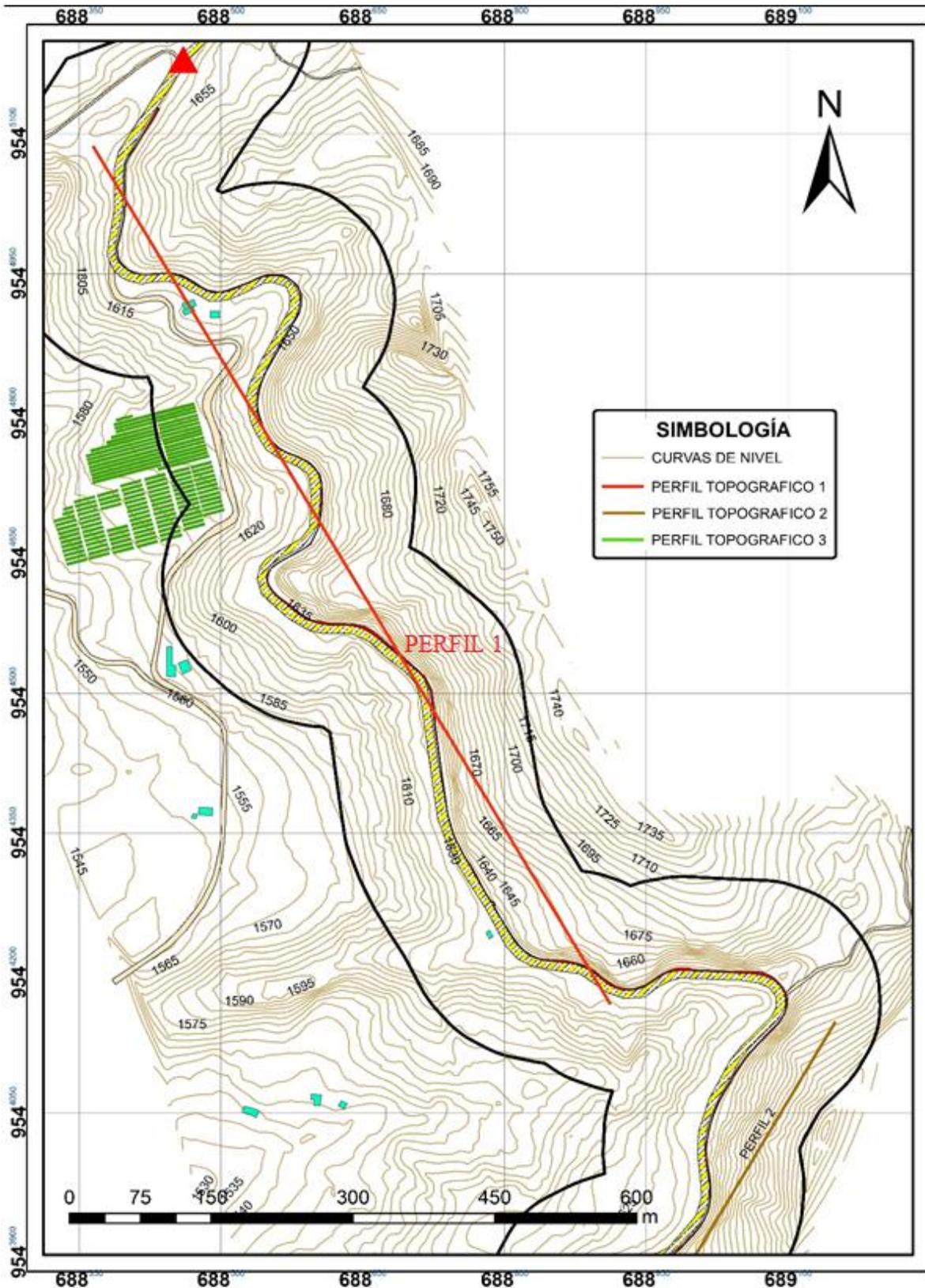


Figura 36: Topografía del área de estudio desde la abscisa 6+090 a 7+800

Fuente: (Guamán, Díaz, & Saritama, 2019)

Modificado por: La autora, 2019

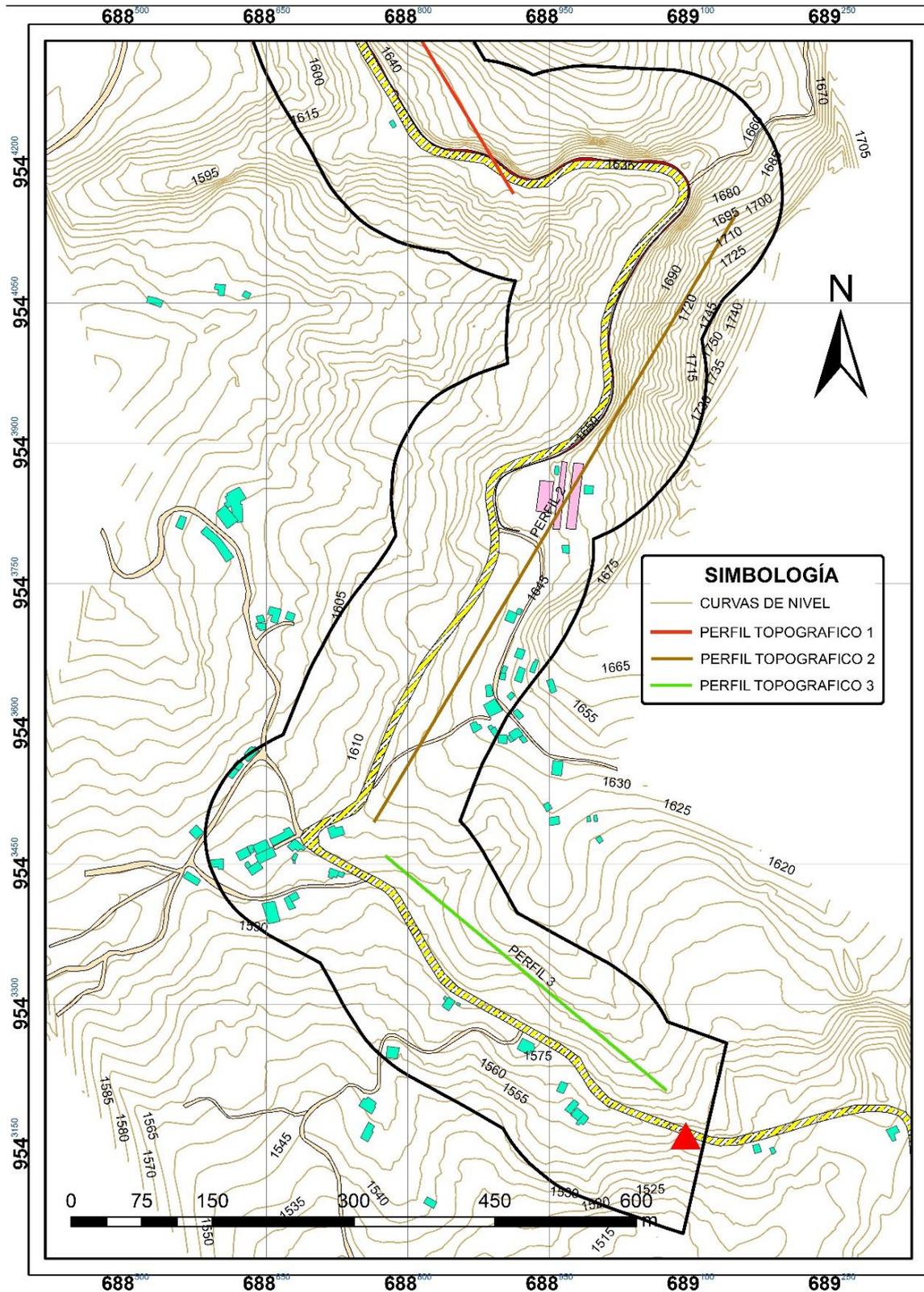


Figura 37: Topografía del área de estudio desde la abscisa 7+800 a 9+100.

Fuente: (Guamán, Díaz, & Saritama, 2019)

Modificado por: La autora, 2019

A partir del mapa topográfico se procedió a realizar tres cortes topográficos ubicados en el inicio, centro y final de la zona de estudio, mismos que se detallan a continuación:

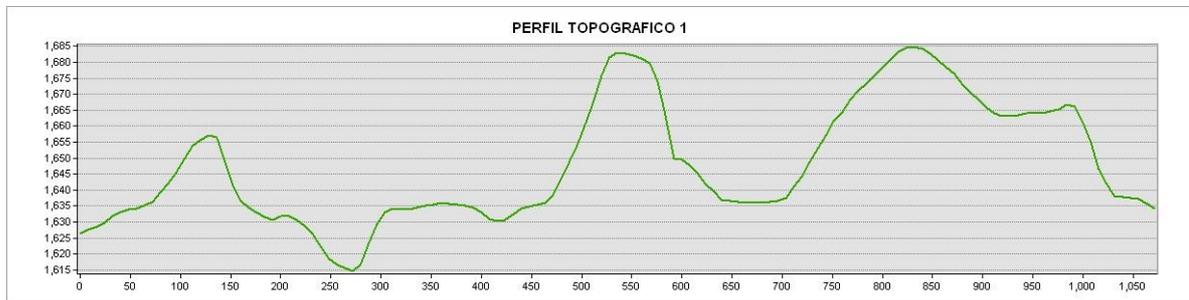


Figura 38: Perfil topográfico 1
Fuente: La autora, 2019

En la figura 38 se muestra el perfil realizado en la parte inicial del tramo de estudio con dirección de NW-SE, tiene una longitud de 1050m, en los primeros 150m posee una altitud de 1655, misma que disminuye hasta una altura de 1615m en una longitud de 270m, luego la distancia de 400m se eleva hasta una altitud de 1635m, desde este punto vuelve a ascender hasta una altitud de 1680m en una longitud de 550m, luego asciende a 1685 en una longitud de 800m, y en la parte final del corte desciende a 1635m. Tomando en consideración la altitud más alta con la altitud más baja tenemos una diferencia de 70 metros.

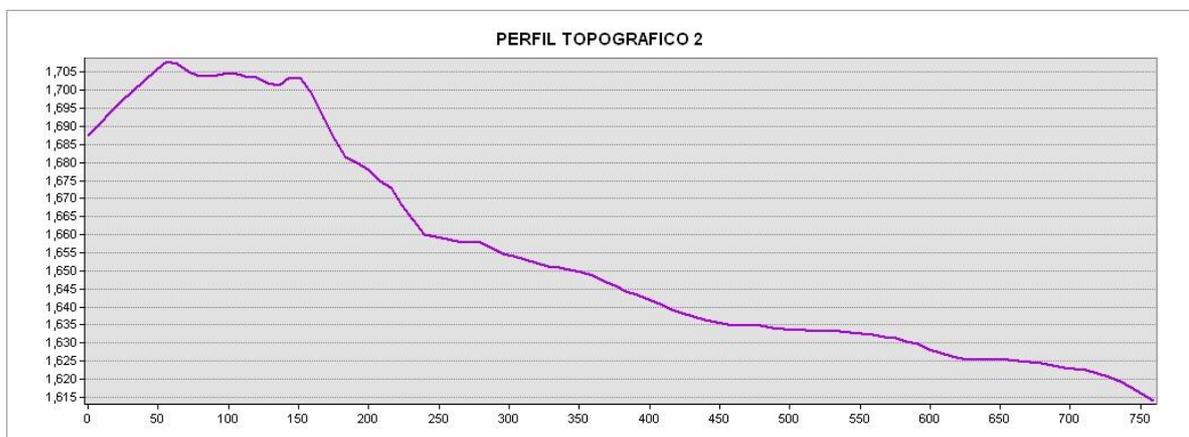


Figura 39: Perfil topográfico 2
Fuente: La autora, 2019

En la figura 39 se muestra un perfil realizado en la parte media del tramo de estudio con dirección de NE-SW, tiene una longitud de 750m, en los primeros 100m posee una altitud promedio de 1705m, misma que disminuye hasta una altura de 1660m en una longitud de 2500m, luego sigue disminuyendo a 1615 en el final del corte. Tomando en

consideración la altitud más alta con la altitud más baja tenemos una diferencia de 90 metros.

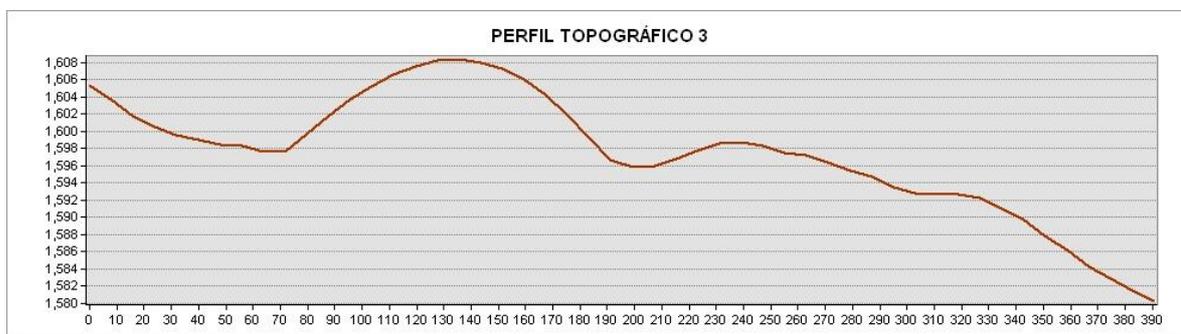


Figura 40: Perfil topográfico 3
Fuente: La autora, 2019

En la figura 40 se muestra un perfil realizado en la parte final del tramo de estudio con dirección de NW-SE, tiene una longitud de 390m, en los primeros 70m posee una altitud promedio de 1600m, misma que asciende hasta una altura de 1608m en una longitud de 140m, luego la altura disminuye hasta una altitud de 1590m en una longitud de 200m, luego asciende a 1560 a una longitud de 240m, y en el final del corte la altura disminuye a 1580m. Tomando en consideración la altitud más alta con la altitud más baja tenemos una diferencia de 28 metros.

6.2.5. Geomorfología

De forma general el relieve predominante en El Tambo es de tipo montañoso, ya que se presenta en el 71,26% del territorio y corresponde a 14.566,37 ha; los siguientes en importancia son los relieves colinado muy alto que se presenta en el 8,29% y la vertiente de cuesta que abarca el 6,30% del total parroquial. Este relieve ondulado y quebrado, consiste en terrenos escarpados y colinas pronunciadas. Por lo que, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 26. Geomorfología del área de estudio.

	Rango	Código	Descripción	Área(Ha)	Porcentaje (%)
	<7°	CB	Colinas Bajas	2.13	3.43
	7-13°	CM	Colinas Medias	11.39	18.31
	14-20°	CA	Colinas Altas	13.93	22.39
	20-35°	MB	Montañas bajas	22.70	36.5
	>35°	RM	Relieve Montañoso	12.03	19.35

Fuente: La autora, 2019

Por lo tanto, mediante la interpretación se obtuvo el siguiente resultado:

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

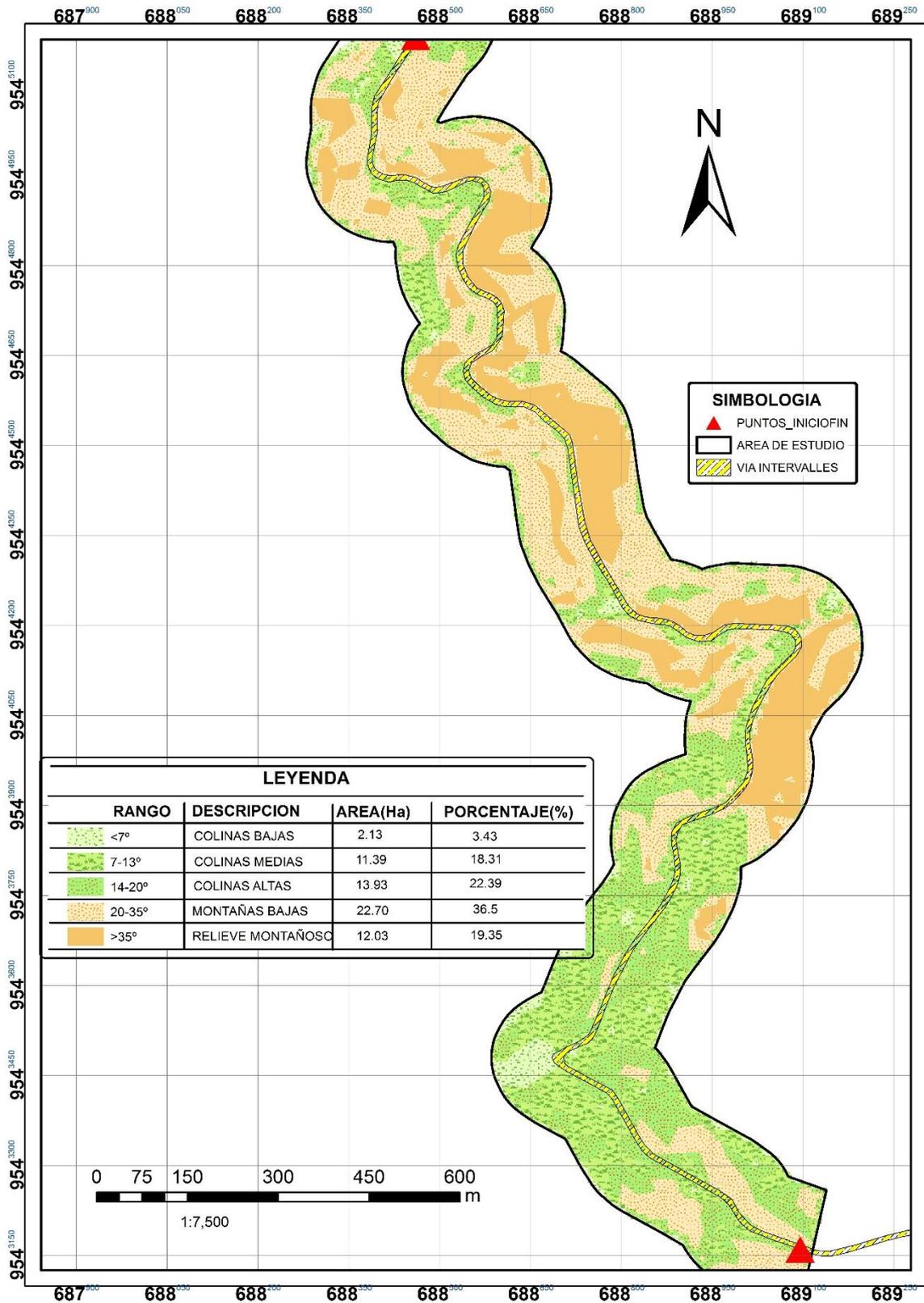


Figura 41: Geomorfología del área de estudio
Fuente: La autora, 2019

6.2.5.1. Colinas Bajas (CB)

La superficie de esta unidad geomorfológica es de 2.13 Ha. Se encuentra en el centro del área de estudio, en las cotas más bajas, presentando materiales volcánicos de la Unidad Huayco. La pendiente predomina a ser $<7^{\circ}$.



Fotografía 7: Colinas Bajas

Fuente: La autora, 2019

6.2.5.2. Colinas Medias (CM)

La superficie de esta unidad geomorfológica es de 11.39 Ha. Se encuentra a lo largo del área de estudio, en las cotas más bajas, presentando materiales volcánicos de la Unidad Huayco. La pendiente predomina a ser de $7-13^{\circ}$.



Fotografía 8: Colinas Medias

Fuente: La autora, 2019

6.2.5.3. Colinas Altas (CA)

La superficie de esta unidad geomorfológica es de 22.70 Ha. Se encuentra al sur del área de estudio, presentando materiales volcánicos de la Unidad Huayco. La pendiente predomina a ser de hasta 20°.

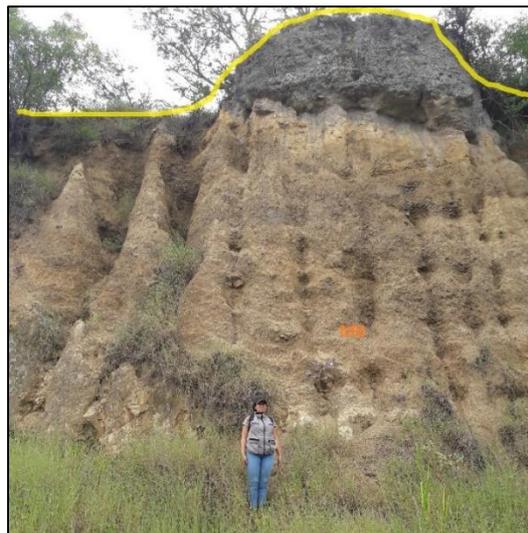


Fotografía 9: Colinas Altas

Fuente: La autora, 2019

6.2.5.4. Montañas Bajas (MB)

La superficie de esta unidad geomorfológica es de 2.13 Ha. Se encuentra en el centro-norte del área de estudio, presentando materiales volcánicos de la Unidad Huayco. La pendiente predomina a ser <35°.



Fotografía 10: Relieve Montañoso Bajo

Fuente: La autora, 2019

6.2.5.5. Relieve Montañoso (RM)

La superficie de esta unidad geomorfológica es de 12.03 Ha. Se encuentra en el centro y norte del área de estudio, en las cotas más altas, presentando materiales volcánicos de la Unidad Huayco, siendo rocas duras, la erosión es menor. La pendiente predomina a ser $>35^\circ$.



Fotografía 11: Relieve Montañoso
Fuente: La autora, 2019

6.2.6. Pendientes

Se ha realizado la clasificación de pendientes por Demek, 1972, donde se ha considerado cinco clases: pendiente muy baja, pendiente baja, pendiente media, pendiente fuerte y muy fuerte, con valores desde $<1^\circ$ hasta $>55^\circ$. En el área de estudio, se ha realizado la clasificación de pendientes mediante Demek (1972), por lo que se ha obtenido lo siguiente

Tabla 27. Rango de pendiente en el área de estudio.

RANGO	DESCRIPCION	AREA(Ha)	PORCENTAJE (%)
0°-5°	MUY BAJA	0.962	1.54
5°-15°	BAJA	16,78	26.858
15°-35°	MEDIA	31.48	50.38
35°-55°	ALTA	12.39	19.83
55°90°	MUY ALTA	0,86	1.377

Fuente: Demek, 1972

Modificado por: La autora, 2019

Continúa en la siguiente...

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

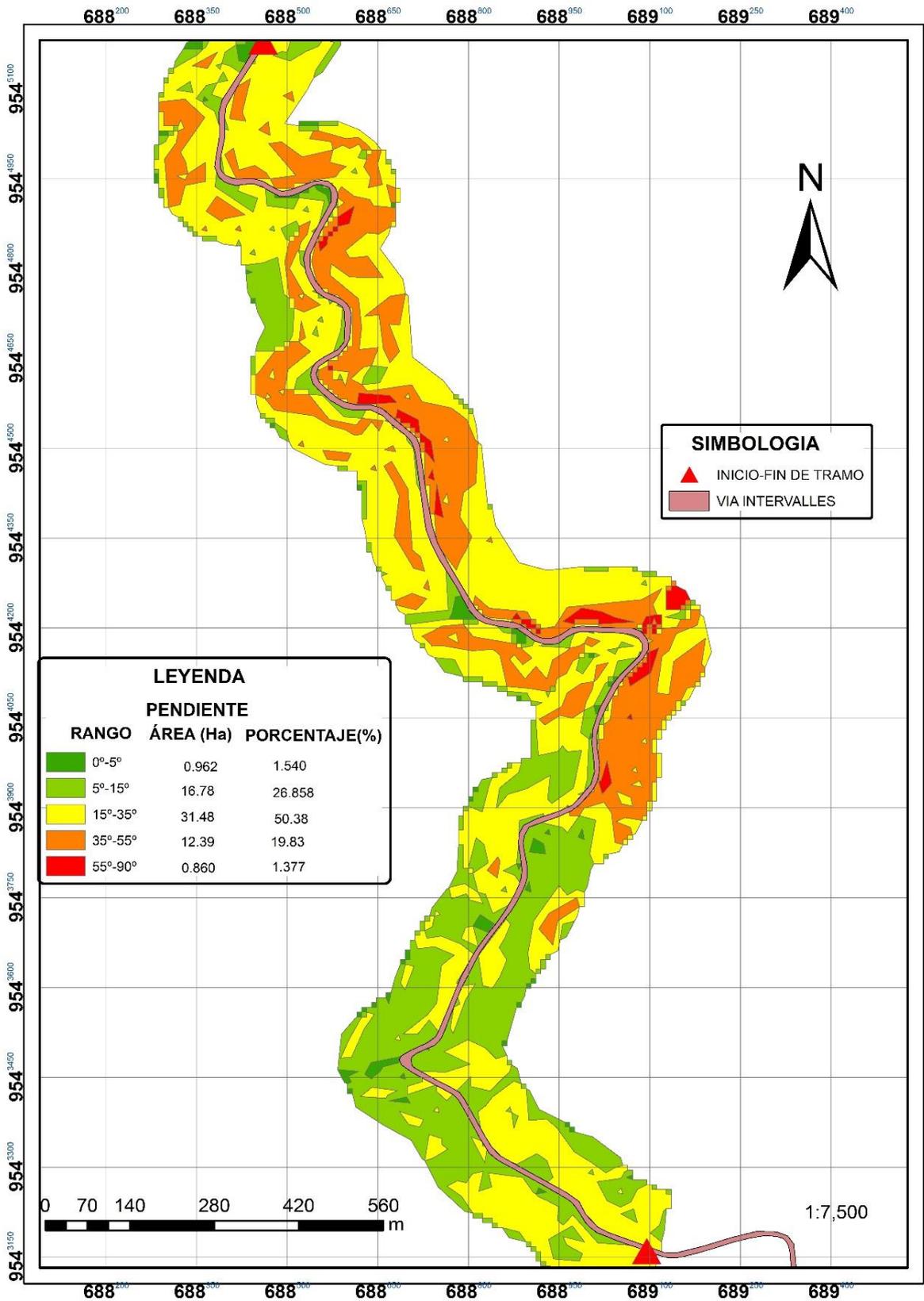


Figura 42: Mapa de pendientes
Fuente: La autora, 2019

En el área de estudio como se observa en la figura 42, prevalece la clase de pendiente media abarcando un área de 31.48Ha, con un porcentaje de 50.38%, ubicándose a lo largo del tramo de estudio, el 26.858% corresponde a Pendiente Baja con 16,7Ha, ubicándose en la parte sur de tramo, luego con el 19.8% que corresponde a Pendiente Alta con un área de 12.39Ha, ubicándose en la parte Norte-Centro del tramo, luego pendiente Muy Baja con un 1.54% que corresponde a 0.96 Ha, que se ubica al final de tramo y por último Pendiente Muy Alta que abarca 0,86Ha con un 1,37%. Se analizó 60Ha de terreno correspondiendo al 100% de tramo de estudio.

6.2.7. Geología Regional

El cantón de Catamayo se encuentra en la Sierra Austral del Ecuador con altitudes que varían entre 1200 y 3700 m s.n.m, se encuentra constituido por rocas metamórficas y volcánicas intruídas por cuerpos graníticos, considerando la hoja geológica Gonzanamá, Edición 2, perteneciente a la serie J62-G, Hoja 57, N VII-B, a escala 1: 100000, misma que cubre una superficie aproximada de 2000km²

Incluye los dominios geomorfológicos del macizo metamórfico de la Cordillera Real y las cuencas sedimentarias intramontañosas de Gonzanamá, Malacatos, Vilcabamba, Nambacola y la parte sur de la cuenca de Loja. El área se encuentra enmarcada con las siguientes unidades y/o formaciones:

6.2.7.1. Unidad Tres Lagunas

Perteneciente a la edad Mesozoica, específicamente al Triásico. Consiste en rocas graníticas de grano medio a grueso, variablemente metamorfizadas y cizalladas, con plagioclasas, feldespato alcalino, moscovita, biotita y fenocristales de cuarzo azul.

6.2.7.2. Unidad Capilla

Definida dentro de la era Cenozoica, al periodo Paleoceno, definida por los afloramientos en la parte alta del poblado Capilla, constituida por andesitas y andesitas basálticas de color verde oscuro, junto con brechas volcánicas con líticos andesíticos y flujos aglomeráticos, se asume de edad Paleocénica.

6.2.7.3. Formación Santo Domingo

Data de la era Cenozoica, al periodo Mioceno. Los afloramientos tipo se presentan a lo largo de la vía Malacatos-El Tambo y en los Sectores Santo Domingo y La Merced, formada por una asociación de facies interior formada en su mayor parte por niveles

lutíticos y evaporíticos graduando lateralmente a una asociación de facies con lutitas, areniscas, capa de turba y carbón.

6.2.7.4. Unidad Huayco

Consiste de aglomerados con clastos de andesitas porfírica en matriz arenosa, con intercalaciones de flujos de brechas volcánicas, su edad se estima como Miocénica.

6.2.7.5. Depósito Coluvial

Data del Cuaternario perteneciente al Cenozoico, consta de flujos de detritos y deslizamientos, incluyen material poco consolidado con componentes de las fuentes metamórficas y volcánicas.

6.2.7.6. Depósitos Aluviales

Data del Cuaternario perteneciente al Cenozoico, se encuentran en los márgenes de los ríos, constituidos por material poco consolidado, cantos y bloques de rocas metamórficas y volcánicas.

Continúa en la siguiente...

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

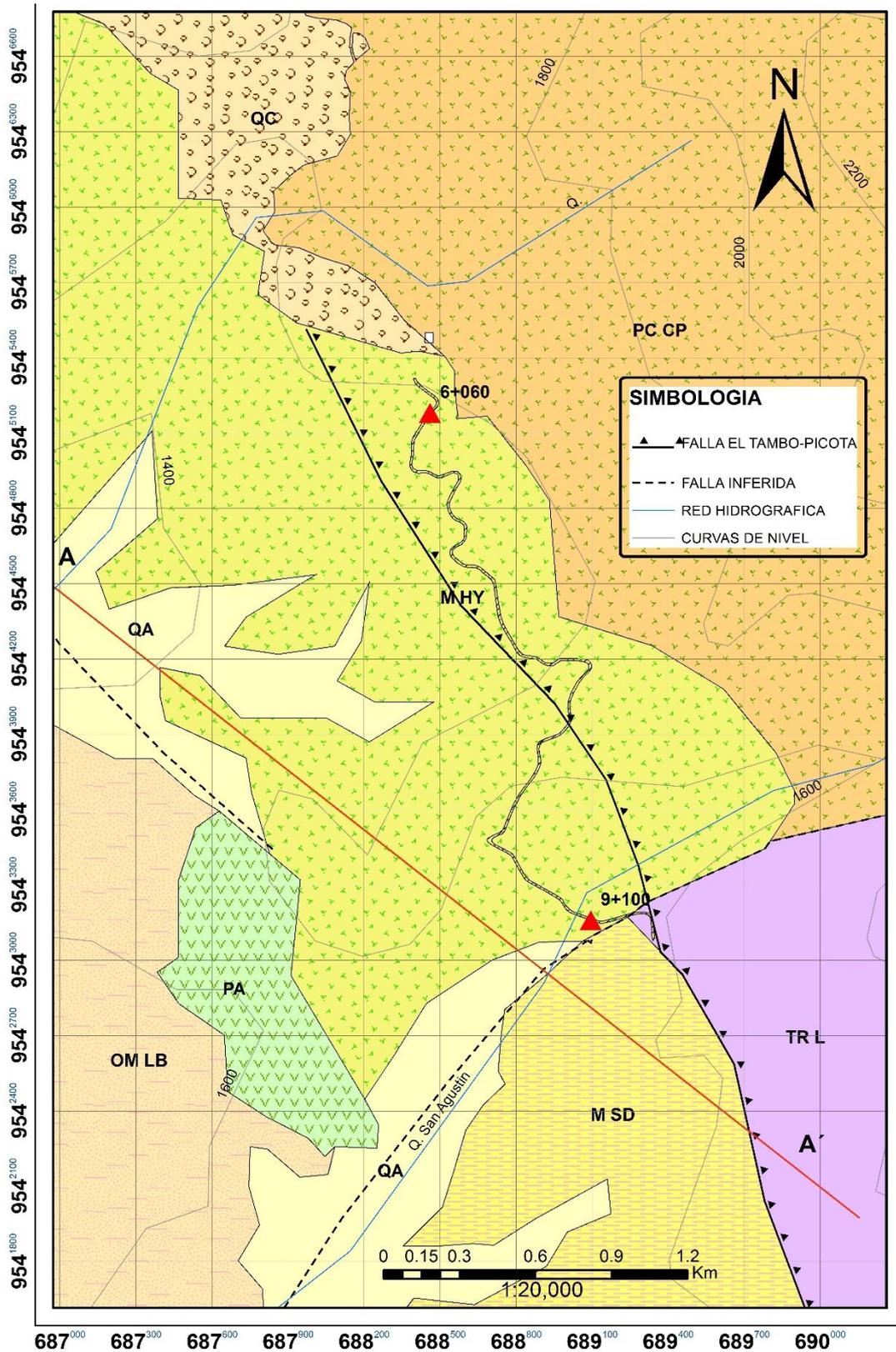


Figura 43: Geología Regional del área de estudio.

Fuente: Gonzanamá, Edición 2, perteneciente a la serie J62-G, Hoja 57, N VII-B adaptado por La autora, 2019

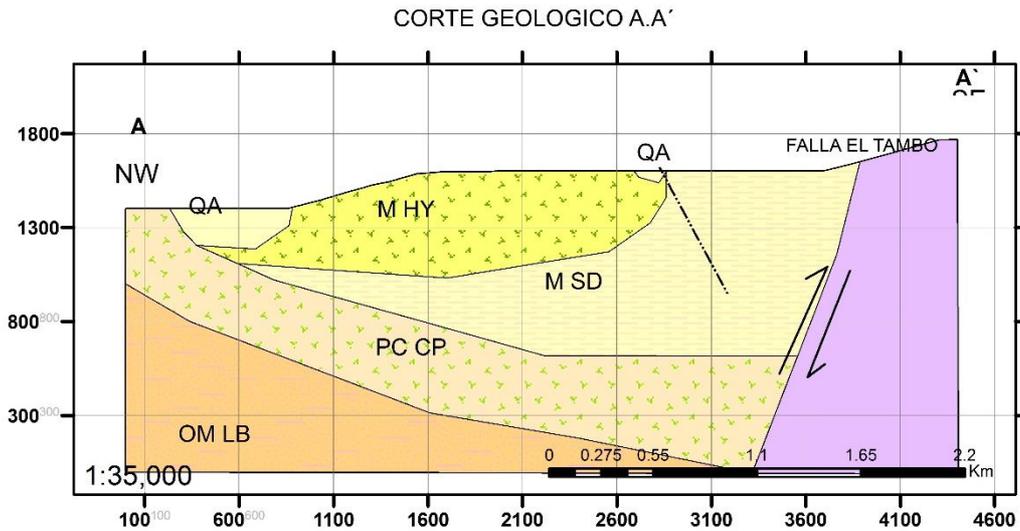


Figura 44: Perfil Geológico A-A`.

Fuente: Gonzanamá, Edición 2, perteneciente a la serie J62-G, Hoja 57, N VII-B adaptado por La autora, 2019

6.2.8. Geología Local

Para la elaboración del mapa geológico se ha realizado la descripción de afloramientos ubicados dentro de la zona de estudio, los cuales han sido referenciados con sus respectivas coordenadas. Se procedió a describir un total de 19 afloramientos, cada uno con sus respectivas fichas de los cuales, 12 de ellos son producto de cortes de vía principal (Intervalles), y 3 son de origen natural. También se tomó muestras de mano para la identificación correcta del tipo de roca, así como la descripción de la misma mediante fichas descriptivas.

Tabla 28. Ubicación de afloramientos

AFLORAMIENTO	X	Y	TIPO DE AFLORAMIENTO
1	688474	9545245	ANTROPICO
2	688299	9545096	ANTROPICO
3	688403	9545066	ANTROPICO
4	688405	9544960	ANTROPICO
5	688527	9544939	ANTROPICO
6	688545	9544822	ANTROPICO
7	688490	9544813	NATURAL
8	688553	9544621	ANTROPICO
9	688739	9544413	ANTROPICO
10	688847	9544216	ANTROPICO
11	688898	9544186	ANTROPICO
12	689027	9544063	ANTROPICO
13	688988	9543908	ANTROPICO

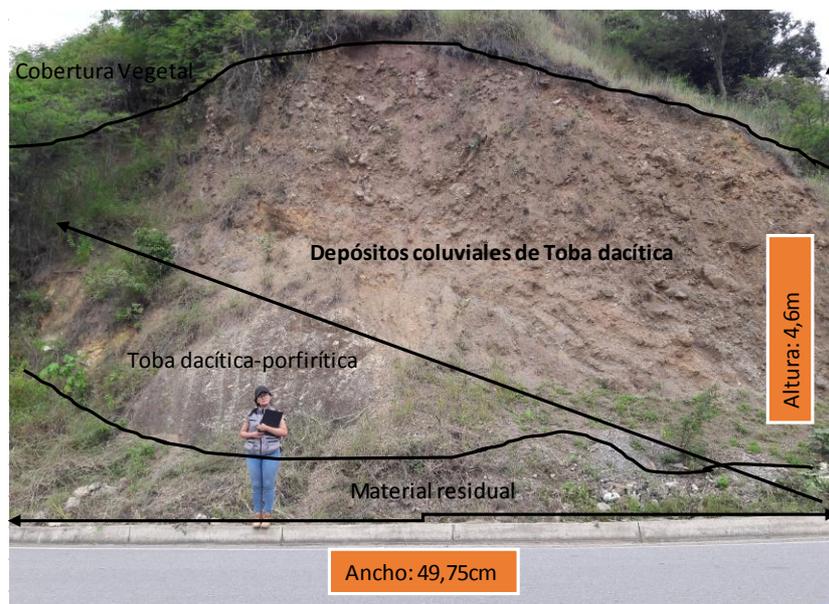
14	688896	9543858	ANTROPICO
15	688965	9543739	NATURAL
16	688829	9543669	ANTROPICO
17	688820	9543372	ANTROPICO
18	689020	9543198	ANTROPICO
19	689086	9544207	NATURAL

Fuente: La autora, 2019

El área de estudio se encuentra dentro de la Unidad Huayco, que principalmente consiste de aglomerados con clastos de andesitas porfirítica en matriz arenosa, con intercalaciones de flujos de brechas volcánicas, considerando el estudio a detalle, se han detallado las siguientes litologías:

6.2.8.1. Depósitos Coluviales de Toba Dacítica

Depósitos formados por fragmentos de roca de toba Dacítica, ubicados al norte del tramo, se caracterizan por su forma subangular, no presentar selección y pobre consolidación, con alto grado de meteorización, tamaño de grano heterogéneo conteniendo fenocristales. Presenta mayor alteración y su coloración es café-oscuro. El material claro consta de minerales siálicos, pudiendo ser feldespatos potásicos y/o sódico-cálcicos; mientras que los minerales máficos se presentan en mínima cantidad. Se puede observar la estructura masiva en el afloramiento y cobertura vegetal en la parte superior e inferior del mismo.



Fotografía 12: Depósitos Coluviales de toba Dacítica

Fuente: La autora, 2019

6.2.8.2. Toba Dacítica y Aglomerados

Se ubican al Norte del tramo de vía, donde el afloramiento 1 y 2 presenta intercalaciones de aglomerado y toba dacítica, la cual posee una textura entre afanítica y pórfida con cuarzo en forma de cristales de tamaño considerable redondeados, además que presenta mayor alteración y su coloración es blanco-amarillenta. Presenta una dureza media y se puede observar la acumulación de material erosionado además de vegetación en la parte superior e inferior.

En la parte superior presenta aglomerado, siendo una roca ígnea volcánica formada casi totalmente de trozos angulares o redondeados de lava, presentando tamaños de grano diferentes, de coloración grisácea.



Fotografía 13: Vista NW-SE de afloramiento de Toba Dacítica
Fuente: La autora, 2019

6.2.8.3. Toba Andesítica con medio grado de meteorización

En el afloramiento 12 se observa que la litología se constituye de toba volcánica de composición andesítica cuyo componente químico-mineralógico es mayormente para los máficos. Con composición químico-mineralógica máfica en mayor porcentaje y siálica en menor respectivamente. La coloración es roca fresca es café grisácea, y además presenta planos de diaclasamiento en su estructura. La meteorización es moderada por lo que se observa material erosionado al pie del talud. Los datos estructurales de la toba con medio grado de meteorización son N42°E/65°NW



Fotografía 14: Toba Andesítica con medio grado de meteorización. Vista NE-SW
Fuente: La autora, 2019

6.2.8.4. Toba brechosa de composición Andesítica

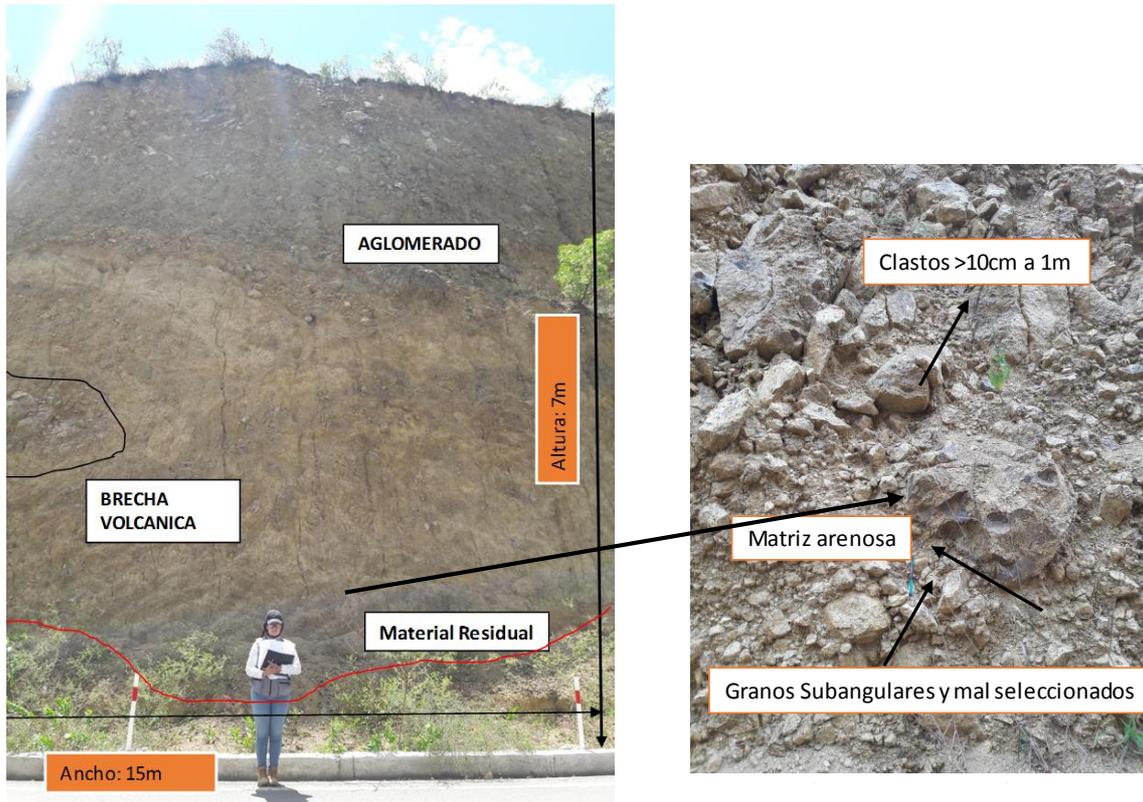
En el afloramiento 8 se observa que presenta alto grado de meteorización, constituyéndose como una toba volcánica brechosa de composición andesítica cuyo componente químico-mineralógico es mayormente máficos como piroxeno, hornblenda y epidotas. Visiblemente el afloramiento tiene la presencia de hidróxido de hierro; la composición de minerales síalicos (feldespatos potásicos) en menor proporción. Presenta una dureza media, un sistema de diaclasas y material residual al pie del afloramiento. Los datos estructurales del afloramiento son: $N5^{\circ}W/78^{\circ}SW$.



Fotografía 15: Toba brechosa de composición Andesítica. Vista NW-SE
Fuente: La autora, 2019

6.2.8.5. Rocas Vulcano-sedimentarias: Brechas Volcánicas y aglomerados

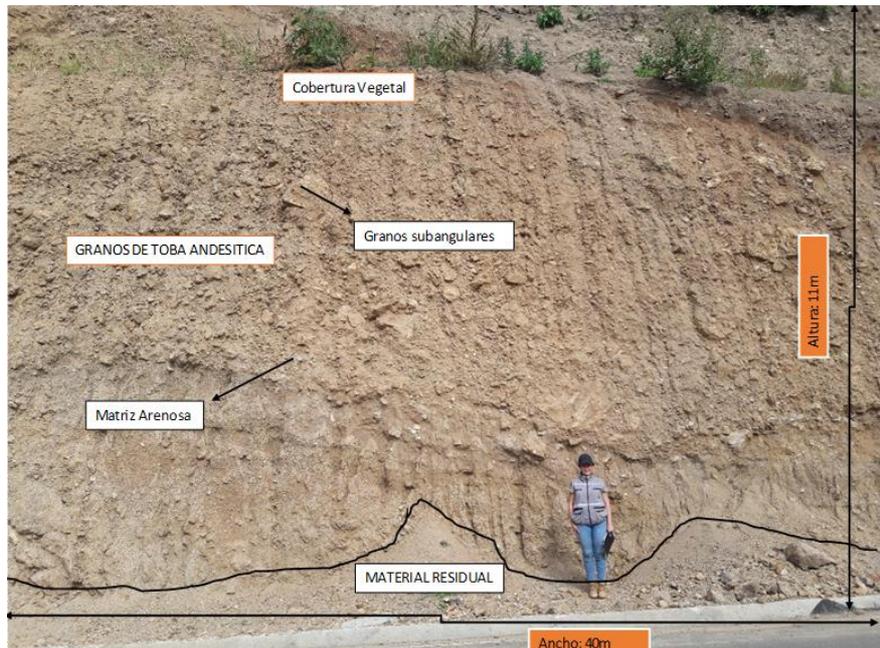
En los afloramientos 11 y 12, la litología corresponde a intercalaciones de Brechas volcánicas y Aglomerados. En los Aglomerados constituye aproximadamente un 50 % de clastos angulares de roca con diámetros de 10cm hasta 1m, granos mal seleccionados y subangulares con matriz arenosa >5%, los granos se encuentran de forma inestable en el afloramiento, además de que presenta alto grado de meteorización.



Fotografía 16: Rocas Vulcano-sedimentarias: Brechas Volcánicas y aglomerados
Fuente: La autora, 2019

Continúa en la siguiente...

6.2.8.6. Toba Andesítica con alto grado de meteorización



Fotografía 17: Toba Andesítica con alto grado de meteorización. Vista NE-SW
Fuente: La autora, 2019

El afloramiento 13, la litología corresponde a una toba volcánica de composición Andesítica, cuyo componente químico-mineralógico mayormente para máficos en un 60% aproximadamente y para minerales siálicos 40% respectivamente. Los clastos de toba Andesítica tienen un diámetro menor a 50cm, además de una matriz arenosa en un 15%, mal seleccionado y de forma subangulosa. Presenta erosión y alto grado de meteorización. La coloración de roca fresca de café grisáceo. Se observa el material residual al pie del mismo, además de cobertura vegetal. Los datos estructurales de Toba Andesítica con alto grado de meteorización son: N62°E/60°NW

6.2.8.7. Lutitas con intercalaciones de arenisca.

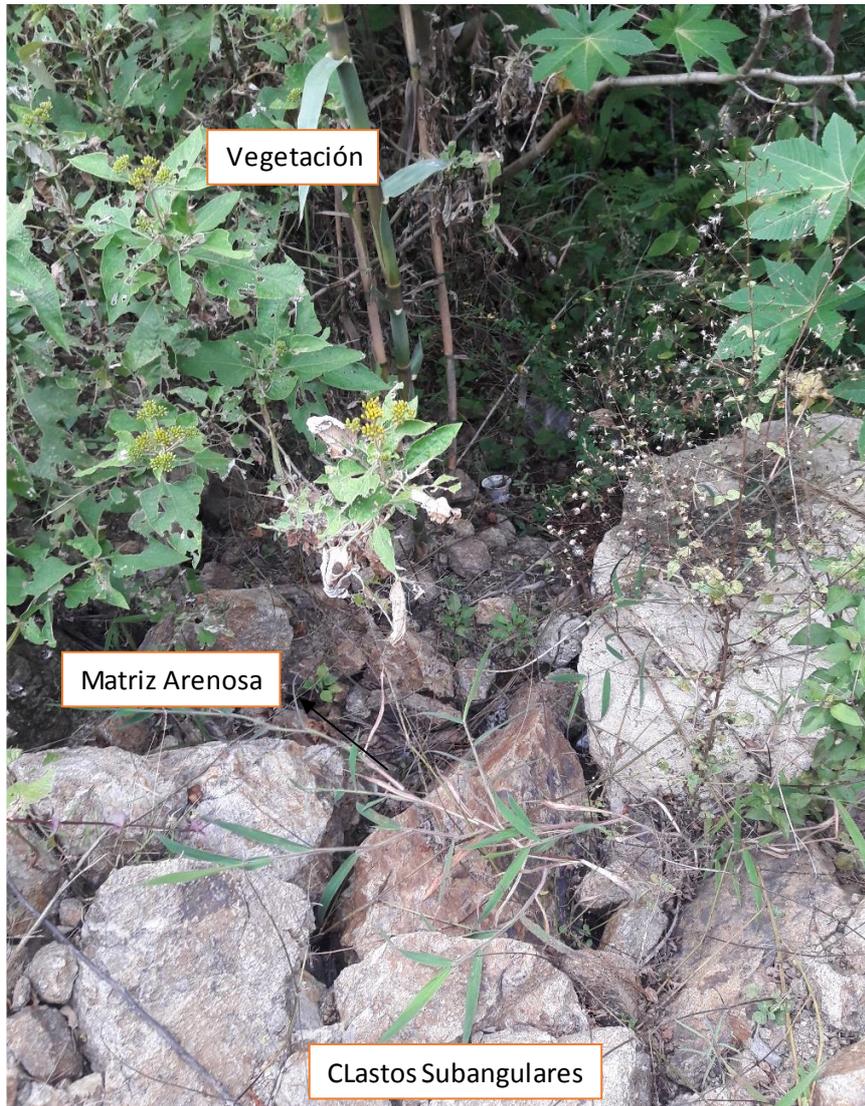
La lutita es una roca sedimentaria clástica de grano muy fino, textura pelítica, es decir, integrada por detritos clásticos constituidos por partículas de los tamaños de la arcilla y del limo; se presenta al sur del tramo de vía en los afloramientos intercalados con areniscas siendo una roca clástica de grano fino (0,2 mm), se presenta con una coloración café-rojiza y una dureza media por el grado de meteorización existente.

Los datos estructurales de las Lutitas con intercalaciones de arenisca son:
N40°E/45°NW



Fotografía 18: Lutitas con intercalaciones de areniscas. Vista NE-SW
Fuente: La autora, 2019

6.2.8.8. Depósito Aluvial



Fotografía 19: Depósito Aluvial
Fuente: La autora, 2019

Son acumulaciones ubicadas al norte y centro del tramo, están constituidas por materiales de diverso tamaño, englobados en una matriz arenosa que se distribuye irregularmente en las vertientes del terreno habiéndose formado por alteración y desintegración in situ de las rocas ubicadas en las laderas superiores adyacentes y la acción de la gravedad. Se caracterizan por contener gravas angulosas a subangulosas distribuidas sin selección ni estratificación aparente, con regular a pobre consolidación. Los datos estructurales del depósito coluvio-aluviales N60°W/13°SW.

6.2.8.9. Material de Relleno



Fotografía 20: Material de relleno. Vista NE-SW
Fuente: La autora, 2019

Se le ha clasificado ya que el material que se han usado para el relleno ha sido tomado del propio lugar de forma de mantener una cota en el terreno, el material presenta un alto grado de compactación.

Se obtuvo el siguiente mapa geológico local del área de estudio, como se puede observar en la **Figura 45 y 46**.

Continúa en la siguiente...

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

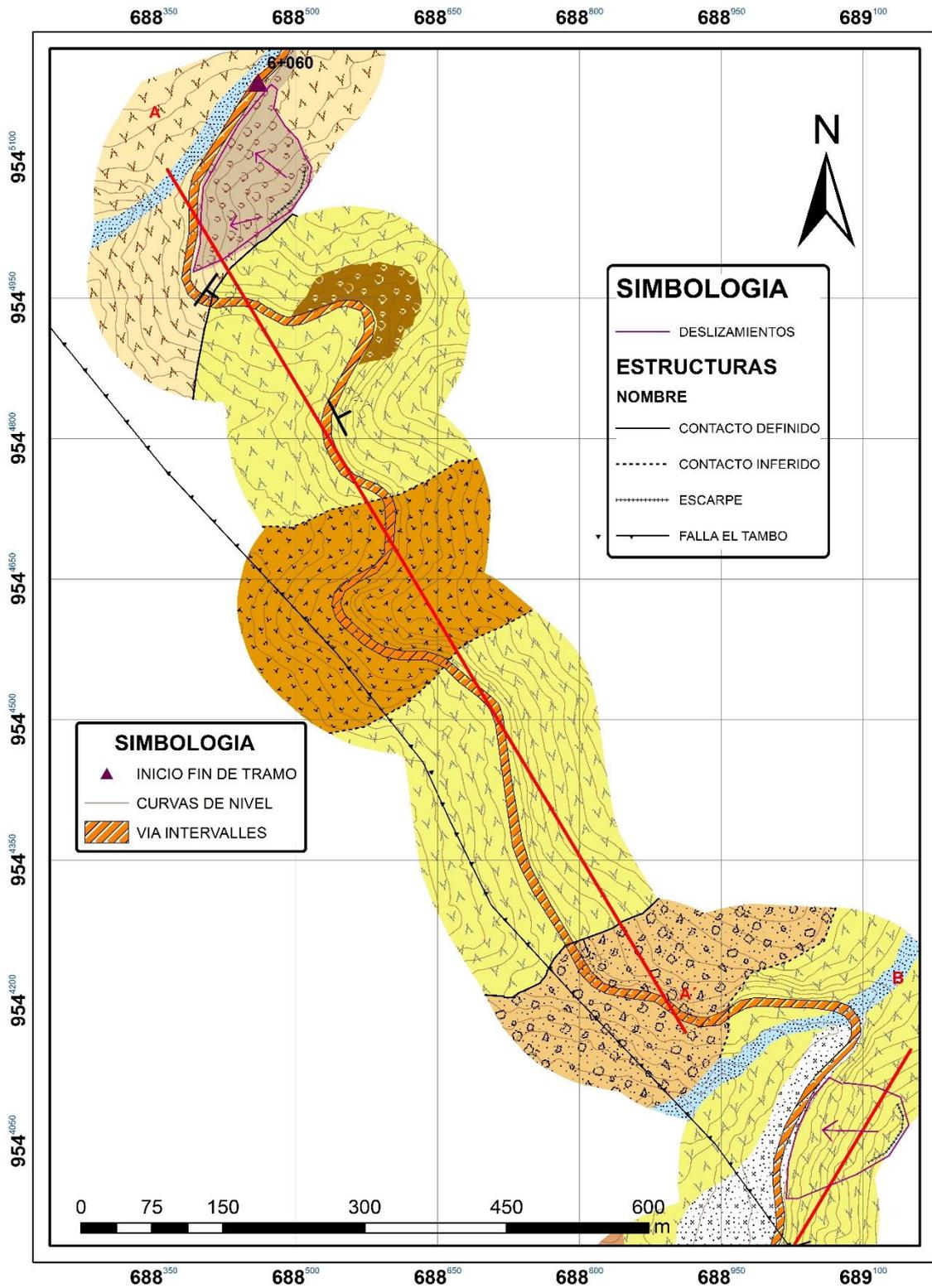


Figura 45: Geología local del área de estudio de 6+060 a 7+800.

Elaboración: La autora, 2019

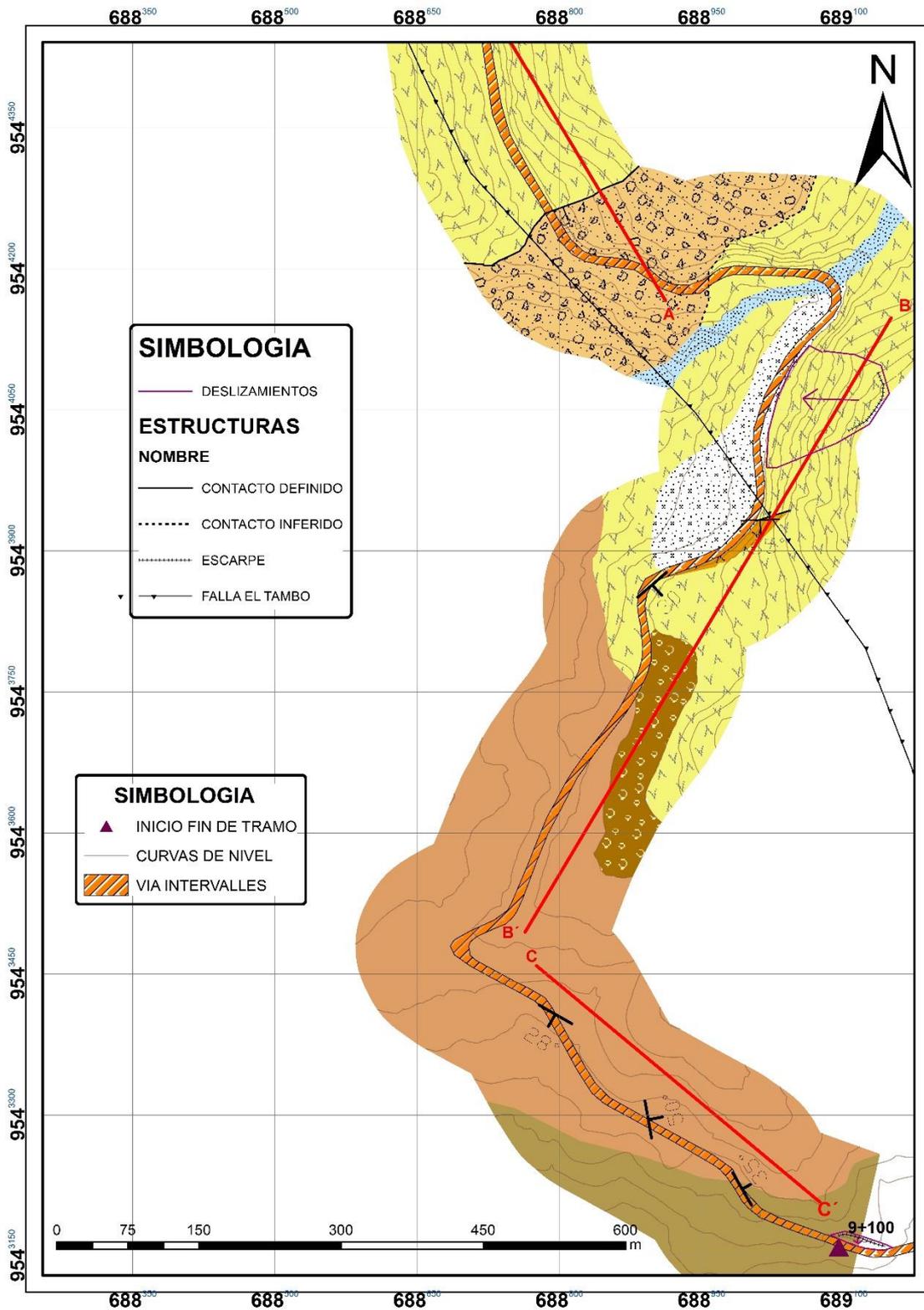


Figura 46: Geología local del área de estudio de 7+800 a 9100
Elaboración: La autora, 2019

Se procedió a realizar tres cortes geológicos, uno por cada kilómetro, obteniendo los siguientes:

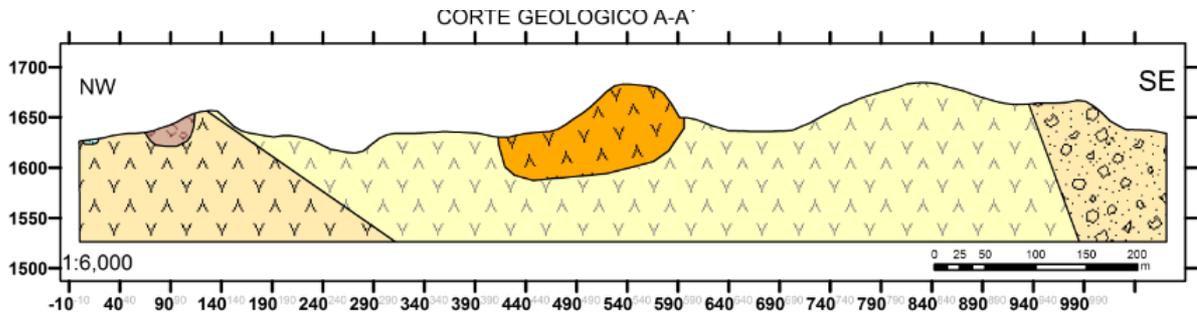


Figura 47: Corte geológico A-A'

Fuente: La autora, 2019

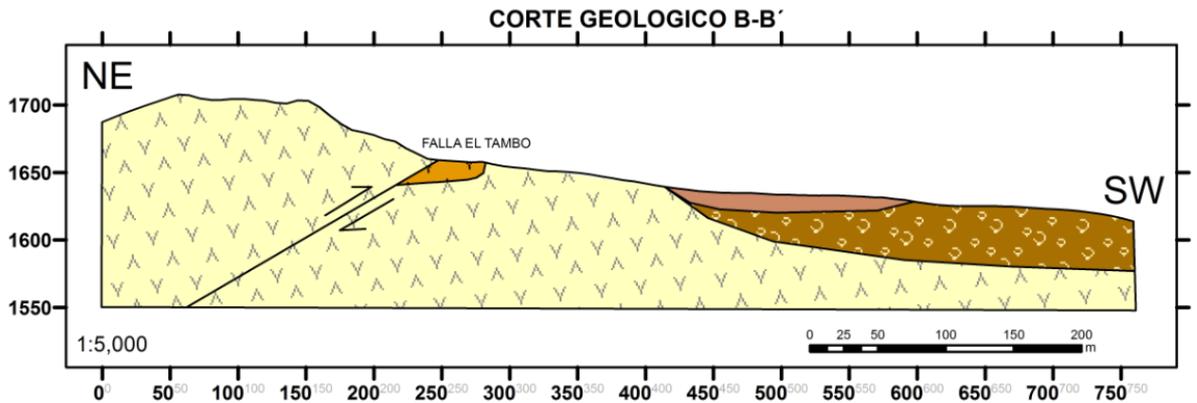


Figura 48: Corte geológico B-B'

Elaboración: La autora, 2019

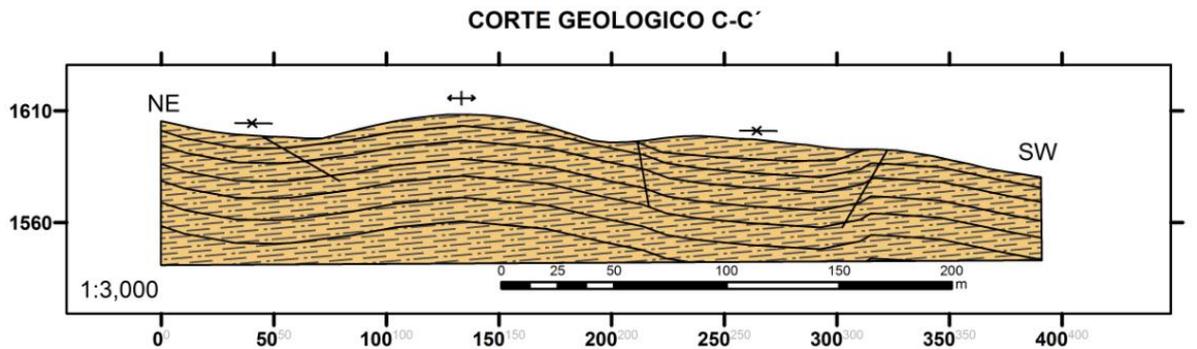


Figura 49: Corte geológico C-C'

Elaboración: La autora, 2019

6.2.9. Geología Estructural

La zona de estudio se encuentra al noroeste dentro del bloque La Merced, que está limitado al norte por la falla San Agustín, al este por las fallas El Tambo y San Francisco y al oeste y al suroeste por la falla Solanda. Al nororiente la falla inversa El Tambo,

con dirección variable entre N–S y ENE–WSW y buzamiento entre este y noreste. Su prolongación sur al ingresar en la cuenca muestra una dirección NW–SE y buzamiento al noreste, donde toma el nombre de Picota. El plano representativo obtenido tiene $N7^{\circ}W/41^{\circ}NE$

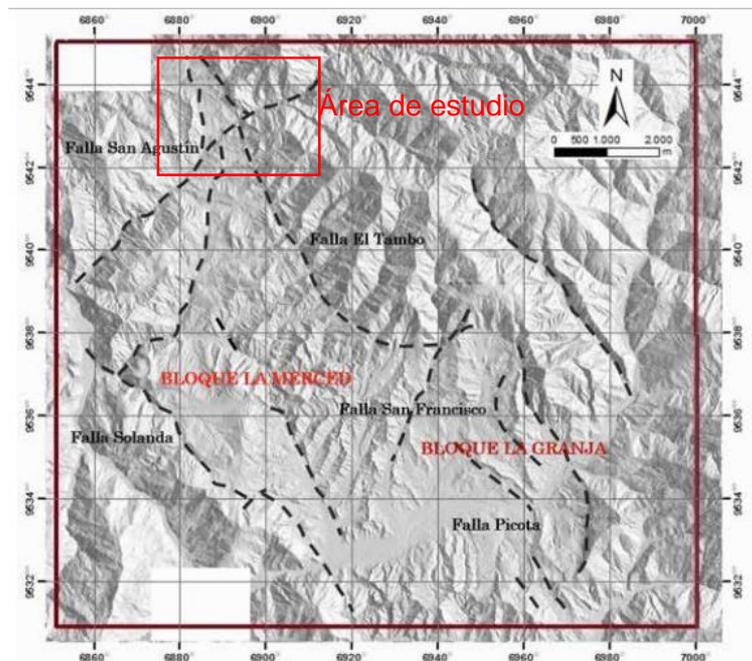


Figura 50: Mapa esquemático de falla del norte de la cuenca Malacatos–Vilcabamba.
Elaboración: (Solís, Reyes, & Corrochano, 2017)

Parte de los límites entre las formaciones sedimentarias y las unidades del basamento metamórfico y/o volcánico, está constituida por las fallas San Agustín, Vilcabamba, El Tambo y Solanda. En el área de estudio se recolectó datos estructurales de la unidad Huayco, además de elementos estructurales de Lutitas y Lutitas con intercalaciones de areniscas.

En la Fotografía 24 del afloramiento se puede apreciar la presencia de lutitas alteradas de coloración blanquecina a café claro, con bajo grado de compacidad superficialmente, se encuentra ubicado en el kilómetro 8+700 del sector de estudio, tiene la siguiente medida de yacencia $N60^{\circ}W/28^{\circ}SW$. Ubicación: 688819mE – 9543371mN (Datum WGS84 UTM 17S).



Fotografía 21: Vista NW-SE de afloramiento de Lutitas con intercalaciones de areniscas de la Unidad Huayco.

Fuente: La autora, 2019

En la fotografía 25, se puede observar un contacto litológico entre toba dacítica y toba andesítica se encuentra ubicado en el kilómetro 7+370 del sector de estudio, tiene la siguiente medidas de yacencia N35°E/42°SE. Ubicación: 688405mE – 9544822mN (Datum WGS84 UTM 17S).

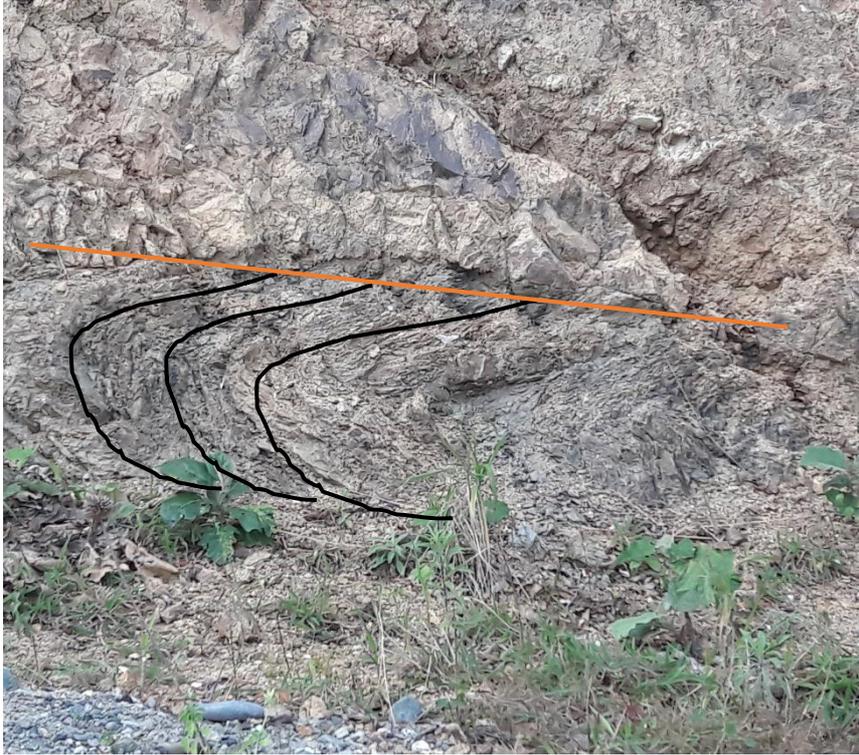
Continúa en la siguiente...



Fotografía 22: Vista NW-SE del contacto entre Toba Dacítica y Toba Andesítica de la Unidad Huayco. El contacto buza hacia el SE.

Fuente: La autora, 2019

Cabe recalcar que existe la presencia de lutitas de color grisáceo como relleno de contacto, con una longitud de separación entre toba dacítica y toba andesítica de 9cm, además de la notoria presencia de micropliegues que buzan hacia el NW, en el pie del afloramiento, su disposición es perpendicular a la superficie terrestre, Los pliegues inclinados representan una reducción del área ocupada inicialmente por los estratos.



Fotografía 23: Vista NW-SE de relleno de contacto entre Toba Dacítica y Toba Andesítica de la Unidad Huayco.

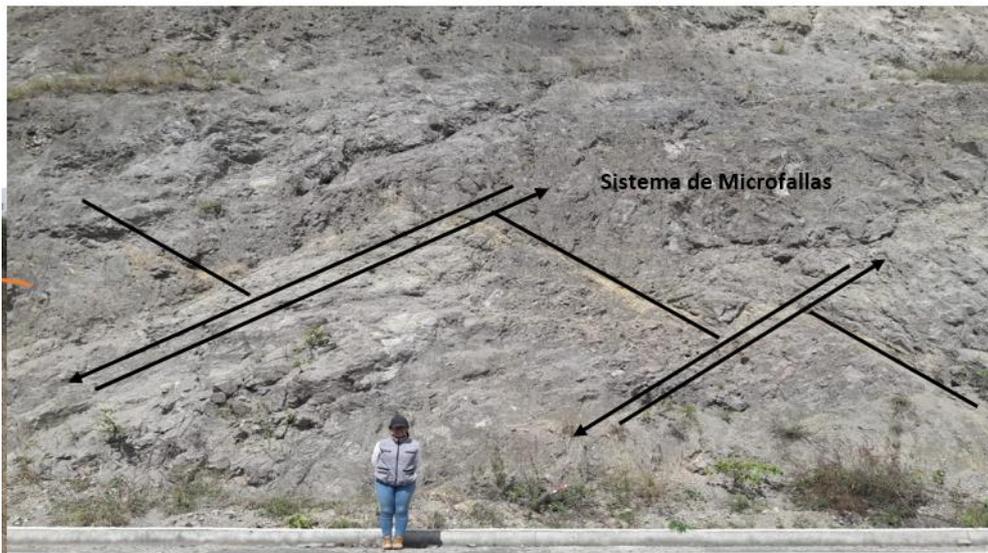
Fuente: La autora, 2019

En la fotografía 27, se puede observar la falla El tambo ubicada en el kilómetro 8+000 del sector de estudio, tiene la siguiente medidas de yacencia $N88^{\circ}E/65SE$. Ubicación: 688405mE – 9544822mN (Datum WGS84 UTM 17S).



Fotografía 24: Vista N-S de posible contacto de falla El Tambo de la Unidad Huayco.
Fuente: La autora, 2019

En la fotografía 28 se pudo observar un sistema de microfallas (4) paralelas que buzcan hacia el NE, ubicada en el kilómetro 6+650 del sector de estudio, tiene la siguiente medidas de yacencia $N27^{\circ}W/54NE$. Ubicación: 688528mE – 9544819mN (Datum WGS84 UTM 17S).



Fotografía 25: Vista NW-SE del sistema de microfallas del Km 6+650 de la Unidad Huayco.
Fuente: La autora, 2019

6.2.9.1. Contactos Inferidos

Se ha encontrado dos contactos inferidos en el área de estudio:

Ubicado en las coordenadas $x= 688652$; $y= 9544569$, el mismo que se encuentra entre toba brechosa de composición andesítica y toba andesítica con medio grado de meteorización, por la complejidad de la obtención de los datos estructurales, se ha inferido el contacto.

6.2.9.2. Contacto Definido

Ubicado en las coordenadas $x= 688954$; $y= 9544189$, el mismo que se encuentra entre Rocas Vulcano-sedimentarias: brechas volcánicas y aglomerados y toba andesítica con medio grado de meteorización, con $N70^{\circ}E/55^{\circ}SE$.

6.2.10. Inventario de deslizamientos

Dentro del área de estudio se pudieron identificar tres deslizamientos, siendo los detallados a continuación:

Tabla 29. Inventario de deslizamientos

UBICACIÓN			ABSCISA	CODIGO	AREA(m ²)	VOLUMEN(m ³)
X	Y	Z				
688402	9545064	1634	6+200	D-1	30298.025	129416.54
689021	9544055	1638	7+900	D-2	15243.021	97216.56
689055	9543185	1565	9+100	D-3	4075.6	7016.06

Fuente: La autora, 2019

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

Se realizaron mediante el formato de la siguiente ficha:

Tabla 30. Inventario de deslizamientos D-2

							
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL							
Proyecto		Sector		Coordenadas UTM WGS84			Código
“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”		LA ERA		X	Y	Z	D_2
				689021	9544055	1638	
Tipo de Movimiento		Estilo		Actividad		Forma General	
	Deslizamiento rotacional		Unico		Activo		Plano
x	Deslizamiento traslacional		Multiple	x	Latente		Flujo
	Propagación lateral		Estado		Estabilizado	X	Frontal
	Flujo	X	Reciente		Antiguo		Irregular
	Caida		Antiguo	Datos estructurales		200°/65°	
	Reptación						
Superficie		Escarpe Principal				Pie de Movimiento	
		altitud (m): 1748m.snm				altitud (m): 1638 m.snm	
X	Formas recientes	x	Bien evidente		Abovedado		Abollado
	Cubierta vegetal parcial		Poco evidente		Lanceolado(Forma de lanza)		Plano
	Cubierta vegetal total		Parcial evidente		Rectilíneo	x	Empuje. Alrededor
	Oculto/erosion		No evidente		Desigual		Mult. Amontonado
	Oculto/actividad humana		Grietas				Indistinto
Intensidad de forma		Márgenes		Morfología		Superficie	
X	Fuerte	X	Evidente	x	Escalonada	X	Seca
	Clara		Parcial evidentes		Ondulada		Loc. Húmeda
	Leve		Leves		Concava		Sobresaturada
Origen de la pendiente		Indistintos			Indistinta		Manantiales
	Natural				Plana		Flujos de agua
X	Artificial						Laguna
Litología		Observaciones: Deslizamiento de tobas andesíticas, ubicado en el Km 7+900, en la parte central del tramo, de gran extensión.					
X	Rocas						
	Cambio Roca/Suelo						
	Suelo arenoso						
	Suelo limoso						
	Suelo arcilloso						



Fuente: La autora, 2019

6.2.10.1. Deslizamiento D-1



Fotografía 26: Deslizamiento D-1

Fuente: La autora, 2019

El Deslizamiento es de tipo rotacional, es un depósito Coluvial de tobas dacítica, es antiguo y se encuentra activo. Se observa cobertura vegetal sobre la masa deslizada. Tiene una distancia desde el pie del movimiento al escarpe principal de 70m. Tiene una forma de escarpe principal desigual y parcialmente evidente, ya que se encuentra cubierto por vegetación. Tiene una morfología escalona y se encuentra localmente húmedo. En cuanto a sus dimensiones aproximadas tiene un volumen de 129416,54m³, con un área de 30298.025m².

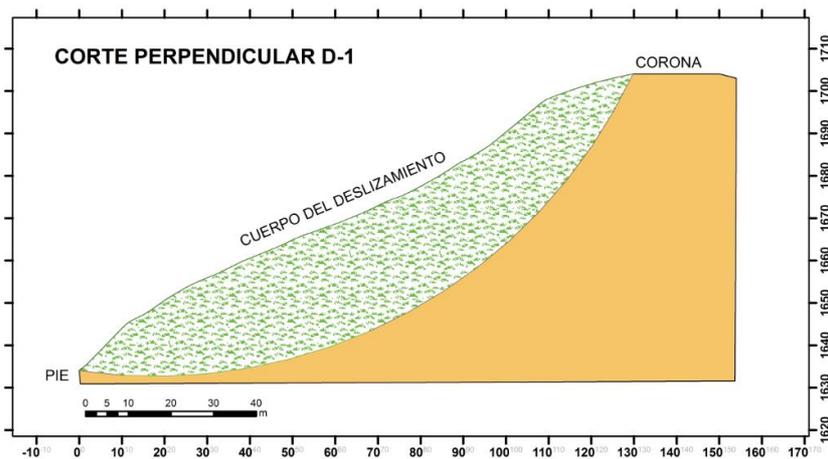


Figura 51: Corte Perpendicular D-1

Fuente: La autora, 2019

Continúa en la siguiente...

6.2.10.2. Deslizamiento D-2



Fotografía 27: Deslizamiento D-2
Fuente: La autora, 2019

El Deslizamiento es de tipo Traslacional, se conforma por suelo residual de toba andesítica, es reciente y se encuentra latente. Se observan las formas recientes del deslizamiento. Tiene una distancia desde el pie del movimiento al escarpe principal de 110m. Tiene una forma de escarpe principal no evidente y tiene forma lanceolada (forma de lanza), Tiene una morfología escalona y se encuentra localmente seco. En cuanto a sus dimensiones aproximadas tiene un volumen de 9 7216.56m³, con un área de 15243.021m².

Continúa en la siguiente...

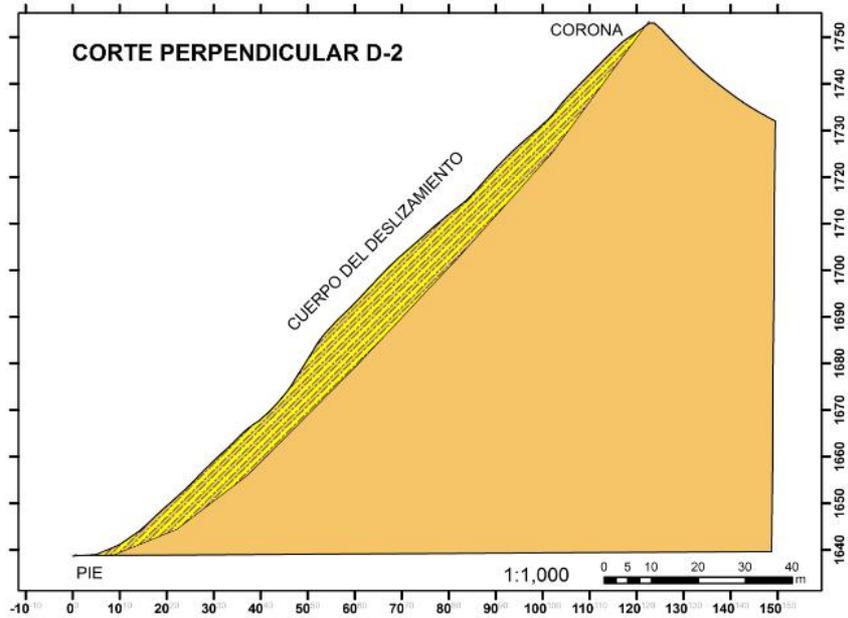


Figura 52: Corte Perpendicular D-2
Fuente: La autora, 2019

6.2.10.3. Deslizamiento D-3



Fotografía 28: Deslizamiento D-3
Fuente: La autora, 2019

El Deslizamiento es de tipo rotacional, está conformado por suelo residual de lutitas con intercalaciones de areniscas, es reciente y se encuentra activo. Se observa cobertura vegetal. Tiene una distancia desde el pie del movimiento al escarpe principal de 17m. Tiene una forma de escarpe principal parcialmente evidente y tiene forma rectilínea, Tiene una morfología escalona y se encuentra localmente húmedo. En cuanto a sus dimensiones aproximadas tiene un volumen 7016.06m^3 , con un área de 4075.6m^2 .

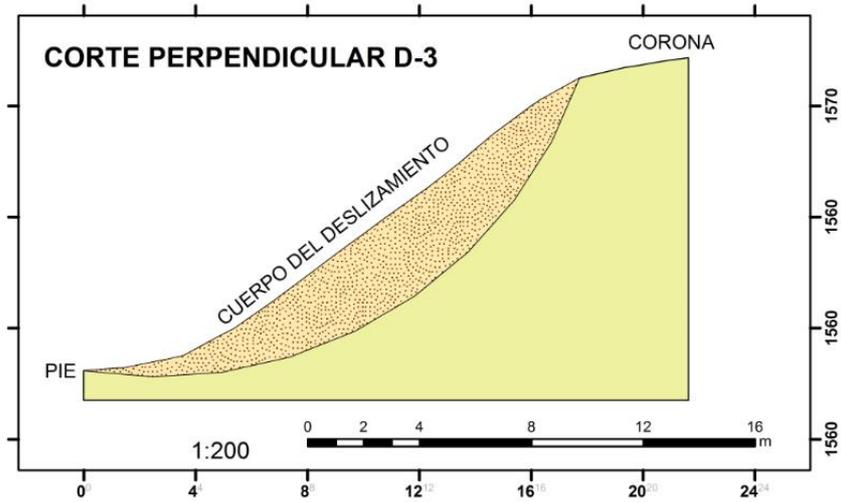


Figura 53: Corte Perpendicular D-2
Fuente: La autora, 2019

6.3. Propiedades físicas de las rocas

6.3.1. Resistencia a la compresión simple

Se tomó en campo las muestras necesarias para su respectivo análisis, los puntos donde se recogió la muestra se observa en la Tabla 31, estos puntos fueron elegidos de acuerdo a la litología del área de estudio, para luego ser trasladadas al Laboratorio ESTSUELCON CIA. LTDA., en donde se obtuvo los resultados mediante el análisis de las mismas.

Continúa en la siguiente...

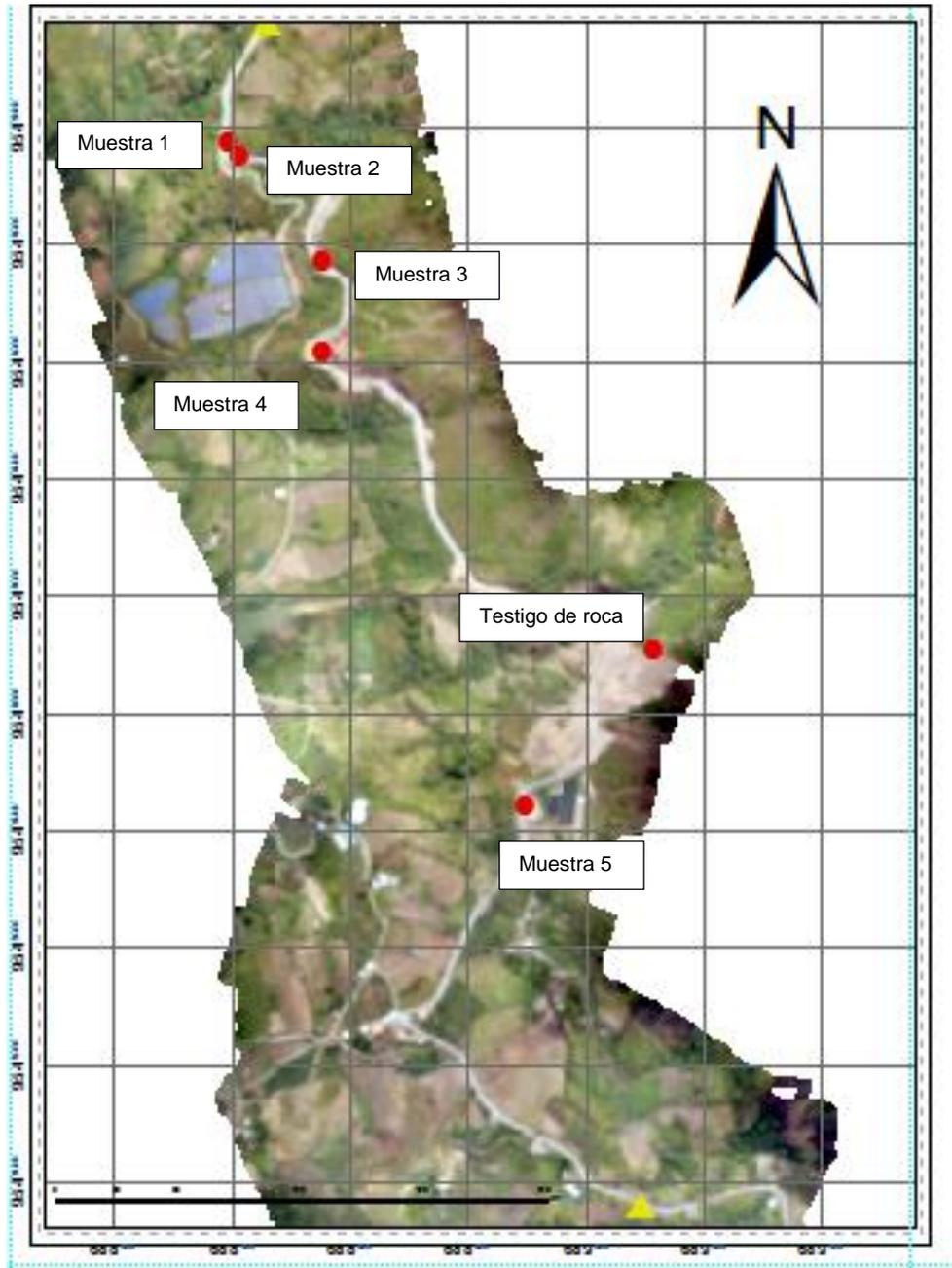


Figura 54: Puntos de muestreo de roca
Fuente: La autora, 2019

Tabla 31: Ubicación de obtención de muestra para análisis de Laboratorio.

DESCRIPCION	X	Y	Z
MUESTRA 1	688398	9544977	1636
MUESTRA 2	688437	9544952	1635
MUESTRA 3	688546	9544785	1635
MUESTRA 4	688556	9544619	1641
MUESTRA 5	688963	9543737	1694
TESTIGO DE ROCA	688899	9543845	1642

Fuente: La autora, 2019

De donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 32: Resultados de Compresión Simple de las muestras.

N ^o	DESCRIPCIÓN	PESO NORMAL (gr)	VOLUMEN (cm ³)	AREA (CM ²)	CARGA (Kn)	RCS (MPa)	RCS MPa PROM
1	MUESTRA	356.3	145.49	28.08	75.1	26.73	38.51
	MUESTRA	347.2	145.23	28.03	141	50.29	
2	MUESTRA	343.17	144.88	27.08	83.8	30.94	31.49
	MUESTRA	340.18	148.49	27.49	88.1	32.03	
3	MUESTRA	317.83	134.40	25.55	42	16.43	25.56
	MUESTRA	310.01	130.30	25.4	88.1	34.68	
4	MUESTRA	322.12	141.14	27.24	90.7	33.28	54.13
	MUESTRA	320.57	138.39	26.26	196.9	74.98	
5	MUESTRA	319.35	143.60	27.45	152.6	55.57	60.91
	MUESTRA	319.2	137.25	26.91	178.3	66.24	
6	TESTIGO	515.56		50.38	51.1	10.14	10.14

Fuente: ESTSUELCON, 2019

Modificado por: El autor, 2019

6.3.2. Propiedades físicas de las rocas

Las propiedades se obtuvieron mediante las fórmulas mencionadas en el apartado 6.2.7, obteniendo lo siguiente:

Tabla 33: Resultados de Compresión Simple de las muestras.

PROPIEDADES	MUESTRAS					TESTIGO DE ROCA
	1	2	3	4	5	
Densidad δ	2.39	2.22	2.33	2.26	2.28	2.5
Peso específico Real (pr)	2.68	2.66	2.58	2.74	2.58	2.65
Peso específico aparente (pa)	2.4	2.23	2.34	2.26	2.29	2.27
Gravedad Especifica (Gs)	2.7	2.7	2.6	2.7	2.6	2.6
Humedad (W)	1.49	4.15	2.34	2.4	2.02	1.89
Porosidad Eficaz (ne)	3.58	9.26	5.48	5.43	4.62	4.28
Porosidad (n)	10.53	16.25	9.46	17.55	11.29	14.41
Porosidad cerrada (nc)	6.95	6.99	3.98	12.12	6.68	10.13
Coefficiente de absorción (Cabs)	1.49	4.15	2.34	2.4	2.02	1.89
Compacidad (C)	89.47	83.75	90.54	82.45	88.71	85.59
Módulo de Saturación (Msat)	33.97	56.97	57.9	30.96	40.88	29.68

Fuente: El autor, 2019

6.4. Método Indirecto: Sísmica de Refracción

Los sondeos se realizaron utilizando un sismógrafo de refracción PASI GEA 24 CANALES, este equipo tiene la particularidad de registrar las ondas longitudinales y transversales. En la zona de estudio se realizó dos sondeos mediante sísmica de refracción. Los sondeos abarcan una extensión de terreno de 30,00 metros de longitud y una profundidad de 10,00 metros de exploración, ubicada las líneas a continuación:

Tabla 34: Datos estructurales de la zona de estudio

Líneas Nº	Coordenadas UTM WSG 84			Cota	Amplitud (m)
	Ubicación	Norte	Este		
1	Inicio	688452	9545115	1650	
	Medio	688461	9545126		
	Fin	688471	9545138		
2	Inicio	689019	9544034	1640	30
	Medio	689024	9544048		
	Fin	688471	9544062		
3	Inicio	689005	9543229	1580	
	Medio	688995	9543240		
	Fin	688471	9543252		

Fuente: La autora, 2019

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

6.4.1. Sondeo Línea de Refracción Sísmica 1.

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

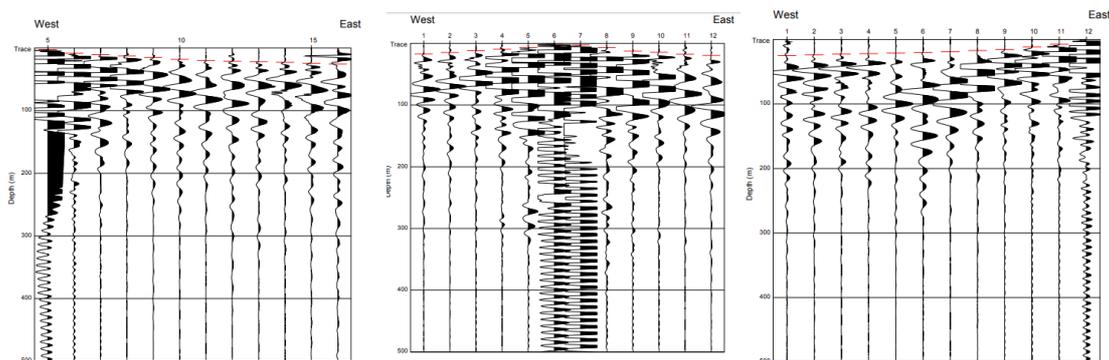


Figura 55: Sismograma LRS1-Golpe 1(30m); Golpe 2(15m); Golpe 3(0m)

Fuente: ESTSUELCON, 2019

En la figura 55 se muestra la propagación de ondas que se registran en el sismógrafo al realizar la detonación (Golpe con Martillo) en cada una de las estaciones a 30, 15 y 0 metro de distancia del sismógrafo para la Línea de Refracción Sísmica N°1.

Como resultante se obtiene la siguiente Domocrona:

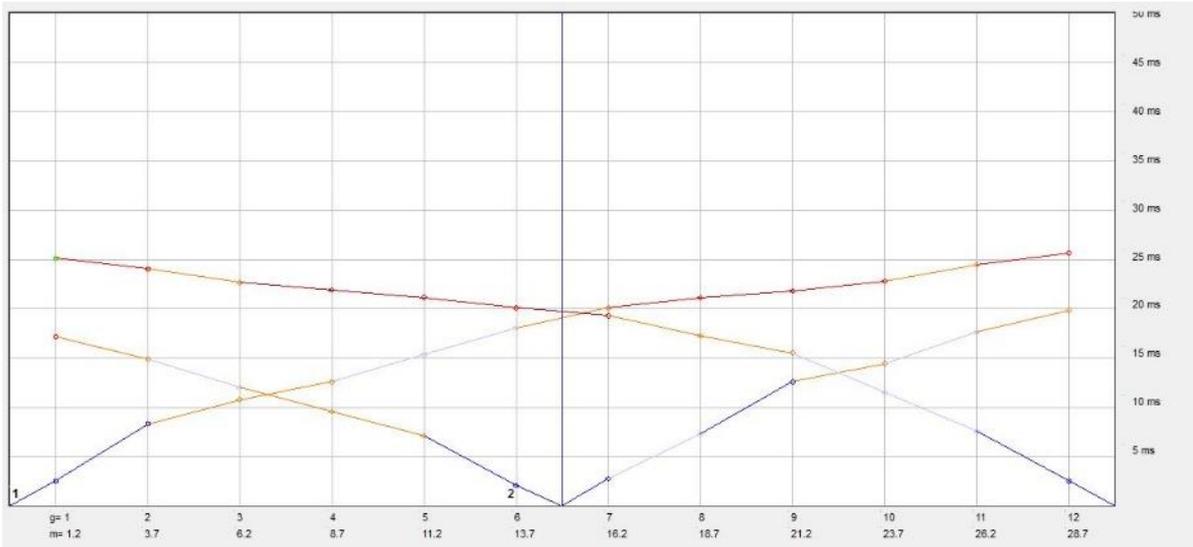


Figura 56: Domocrona LRS1
Fuente: ESTSUELCON, 2019

En la figura 56 se puede apreciar 3 líneas de domocronas las cuales nos permiten identificar la cantidad de estratos que se presentan en la Línea de Refracción Sísmica N°1 con lo que obtenemos el siguiente perfil estratigráfico:

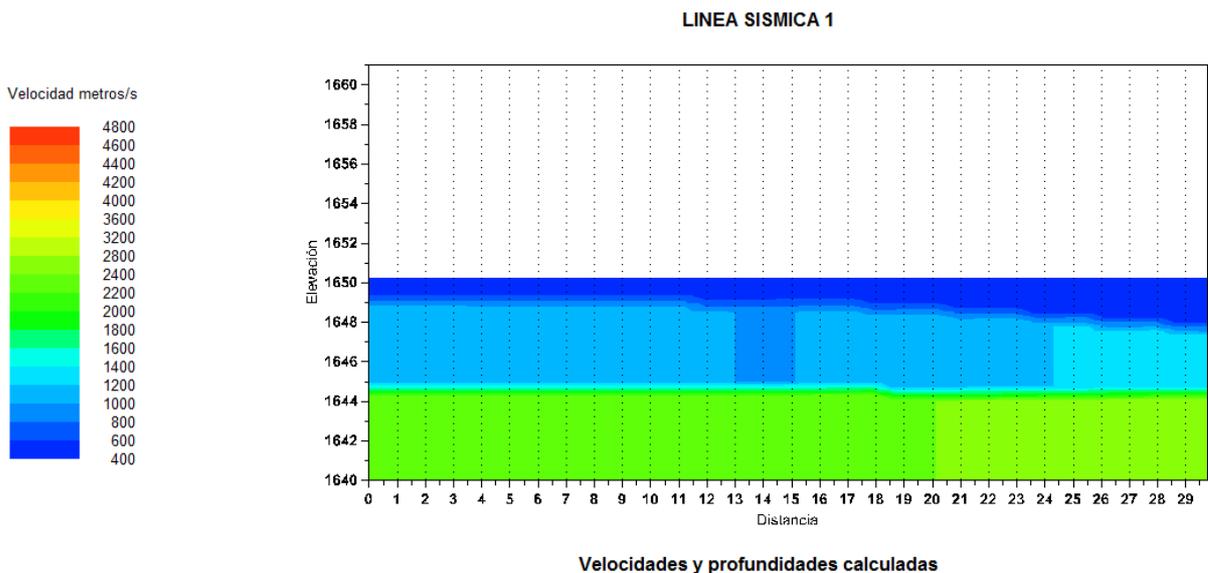


Figura 57: Perfil Estratigráfico LRS1
Fuente: ESTSUELCON, 2019

Como resultante del perfil estratigráfico detallamos los valores obtenidos:

Tabla 35: Resultados Perfil Estratigráfico L.R.S.1

CAPA SISMICA	1	2	3
Potencia de la capa (m)	1.16-2.63	3.37-4.51	∞
Vp m/s	512	1119	2379
Vs m/s	358	722	1442
γ (gr/cm³)	1.84	2.06	2.52
Edin (Kg/cm²)	4818	24575	126936
Eest (Kg/cm²)	2125	13639	88820
Edef (Kg/cm²)	166	684	4067
Gdin (Kg/cm²)	2358	10745	52465
N golpes	7	24	60
Mayerhoff qa (Kg/cm²)	0.7	2.42	6
Uyanick qa (Kg/cm²)	1.29	3.17	7.64
Dunham Ø°	34	42	52
Osaki Ø°	27	37	50

Fuente: ESTSUELCON, 2019

Modificado por: La Autora ,2019

6.4.2. Sondeo Línea de Refracción Sísmica 2.

Realizando las detonaciones o golpes para impulsar el movimiento de ondas, se obtienen los siguientes sismogramas del sondeo N° 2

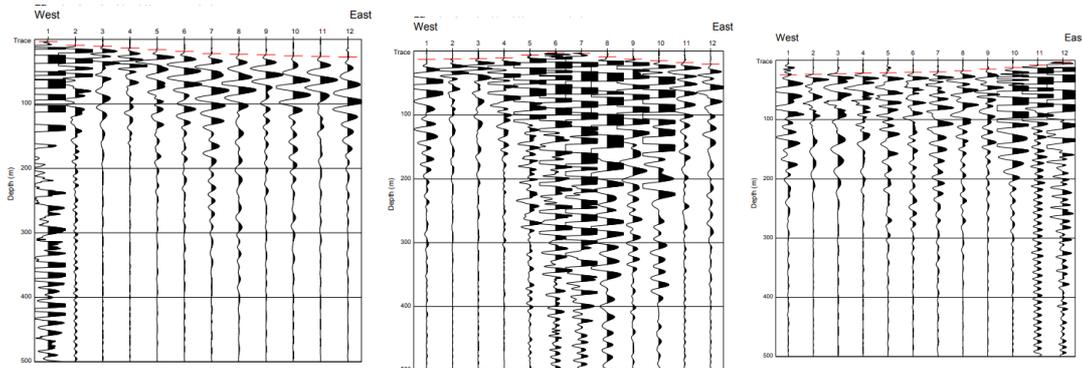


Figura 58: Sismograma LRS2-Golpe 1(30m); Golpe 2(15m); Golpe 3(0m)

Fuente: ESTSUELCON, 2019

En las figura 58 se muestra la propagación de ondas que se registran en el sismógrafo al realizar la detonación (Golpe con Martillo) en cada una de las estaciones a 30, 15 y 0 metro de distancia del sismógrafo para la Línea de Refracción Sísmica N°2.

Como resultante se obtiene la siguiente Domocrona:

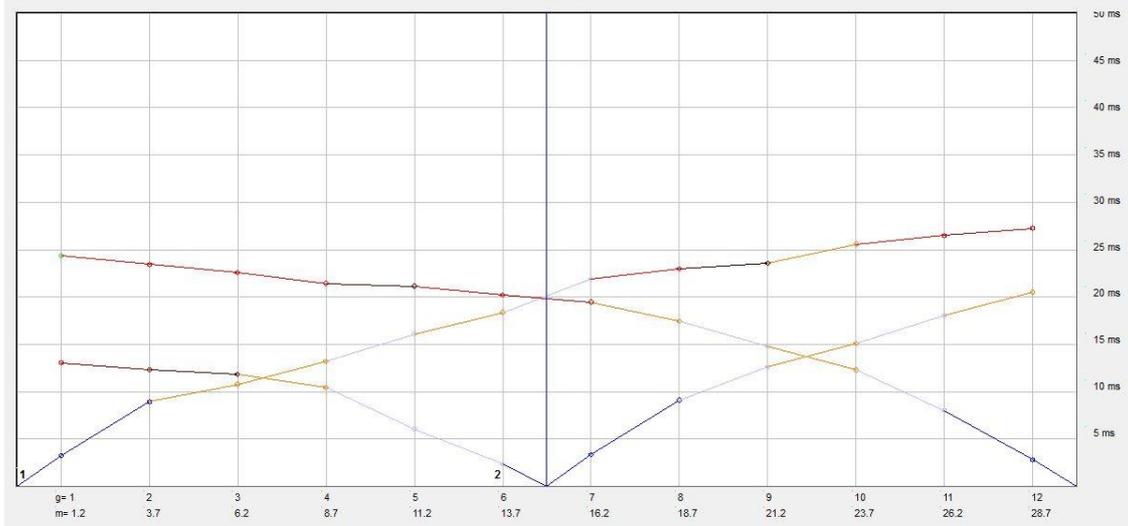


Figura 59: Domocrona LRS2
Fuente: ESTSUELCON, 2019

En la figura 59 se puede apreciar 3 líneas de domocronas las cuales nos permiten identificar la cantidad de estratos que se presentan en la Línea de Refracción Sísmica N°2 con lo que obtenemos el siguiente perfil estratigráfico

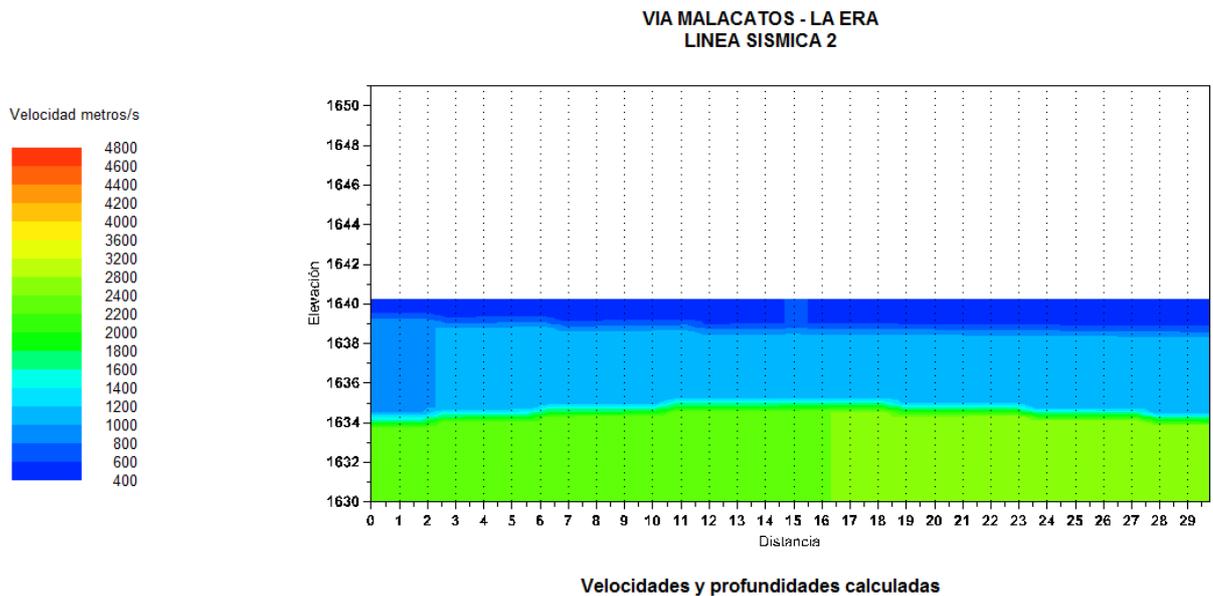


Figura 60: Perfil Estratigráfico LRS2
Fuente: ESTSUELCON, 2019

Como resultante del perfil estratigráfico detallamos los valores obtenidos:

Tabla 36: Resultados Perfil Estratigráfico L.R.S.2

CAPA SISMICA	1	2	3
Potencia de la capa (m)	1.03-1.77	3.87-5.15	∞
Vp m/s	504	1056	2432
Vs m/s	352	681	1474
γ (gr/cm³)	1.84	2.05	2.43
Edin (Kg/cm²)	4652	21763	127864
Eest (Kg/cm²)	2042	11873	89562
Edef (Kg/cm²)	162	604	4100
Gdin (Kg/cm²)	2277	9516	52849
N golpes	7	22	61
Mayerhoff qa (Kg/cm²)	0.67	2.24	6.15
Uyanick qa (Kg/cm²)	1.27	2.95	7.85
Dunham Ø°	34	41	52
Osaki Ø°	27	36	50

Fuente: ESTSUELCON, 2019

Modificado por: La Autora, 2019

6.4.3. Sondeo Línea de Refracción Sísmica 3.

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

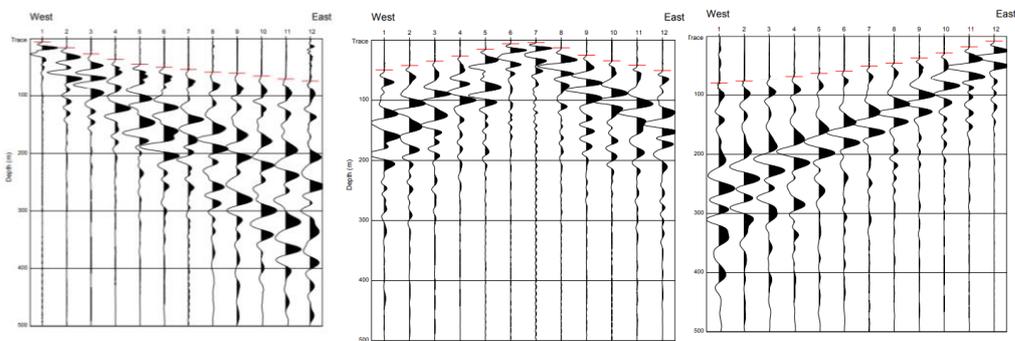


Figura 61: Sismograma LRS3-Golpe 1(30m); Golpe 2(15m); Golpe 3(0m)

Fuente: ESTSUELCON, 2019

En las figura 61 se muestra la propagación de ondas que se registran en el sismógrafo al realizar la detonación (Golpe con Martillo) en cada una de las estaciones a 30, 15 y 0 metro de distancia del sismógrafo para la Línea de Refracción Sísmica N°3.

Como resultante se obtiene la siguiente Domocrona:

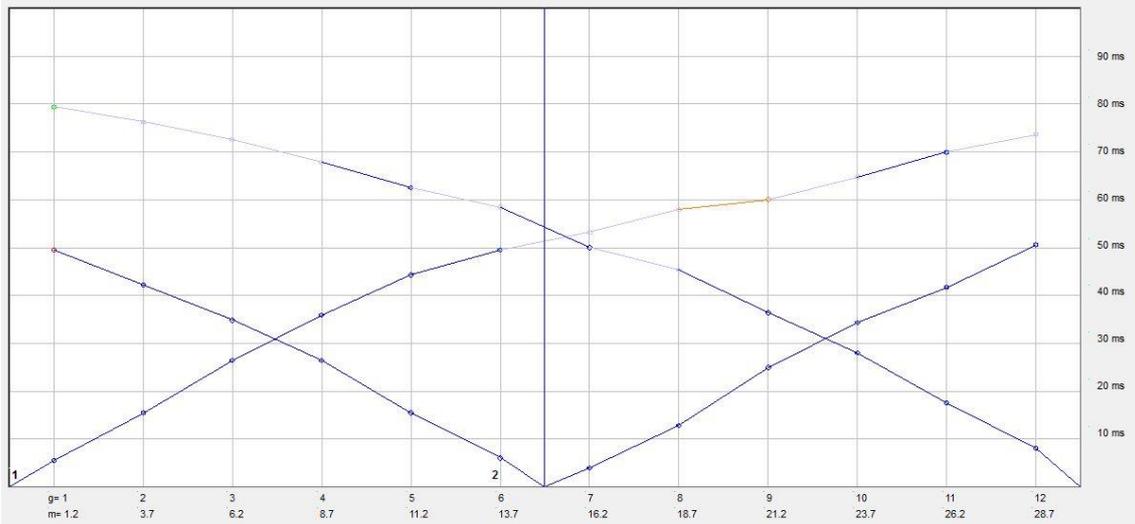


Figura 62: Domocrona LRS3
Fuente: ESTSUELCÓN, 2019

En la figura 62 se puede apreciar 3 líneas de domocronas las cuales nos permiten identificar la cantidad de estratos que se presentan en la Línea de Refracción Sísmica N°3 con lo que obtenemos el siguiente perfil estratigráfico

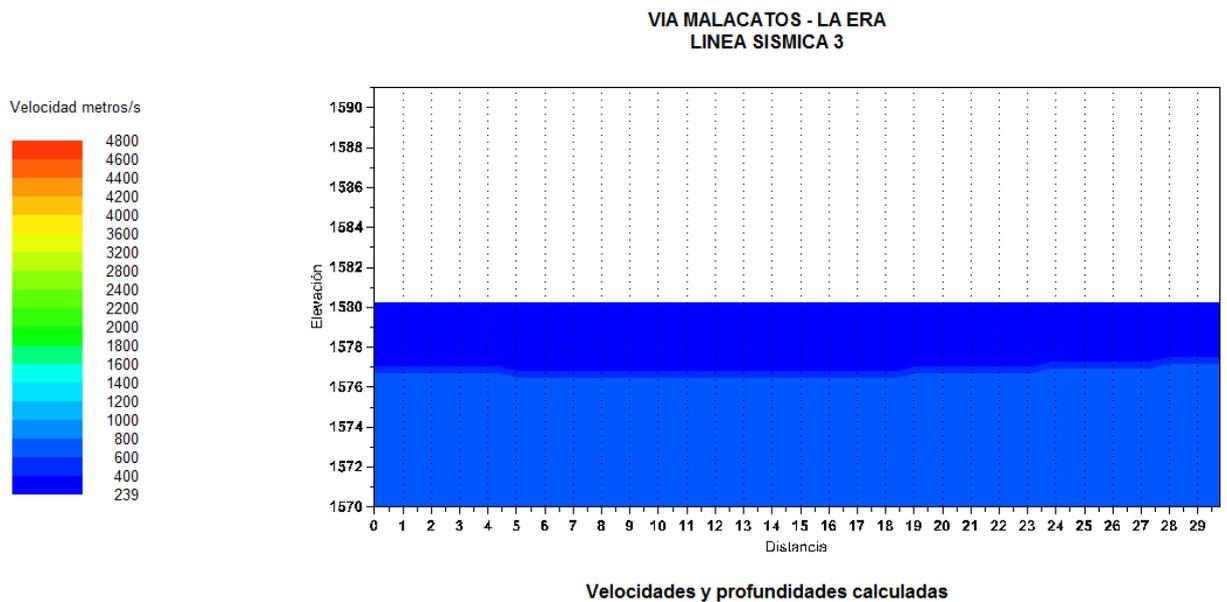


Figura 63: Perfil Estratigráfico LRS3
Fuente: ESTSUELCÓN, 2019

Como resultante del perfil estratigráfico detallamos los valores obtenidos:

Tabla 37: Resultados Perfil Estratigráfico L.R.S.3

CAPA SISMICA	1	2
Potencia de la capa (m)	3.09-3.63	∞
Vp m/s	250	706
Vs m/s	175	494
γ (gr/cm³)	1.73	1.93
Edin (Kg/cm²)	1085	9609
Eest (Kg/cm²)	388	4672
Edef (Kg/cm²)	87	280
Gdin (Kg/cm²)	531	4704
N golpes	1	12
Mayerhoff qa (Kg/cm²)	0.1	1.25
Uyanick qa (Kg/cm²)	0.53	1.93
Dunham Ø°	28	37
Osaki Ø°	19	31

Fuente: ESTSUELCON, 2019

Modificado por: La Autora, 2019

6.5. Método Directo: Ensayo de Penetración Estándar

El Ensayo de penetración estándar (S.P.T.) se la realizó con la finalidad de determinar la resistencia al esfuerzo de corte del suelo mediante el número de golpes necesarios para hincar el penetrómetro estándar y obtener muestras alteradas para identificar los suelos en estudio. Para el desarrollo del presente estudio se realizó dos sondeos, los cuales para su ubicación se basó en las condiciones geológicas del sector de estudio se realizaron en:

Tabla 38: Ubicación de ensayo SPT

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR				
Nº	PROFUNDIDAD(m)	COORDENADAS		
		X	Y	Z
1	5.00	688081	9543228	1653
2	5.00	688563	9545221	1583

Fuente: La Autora, 2019

Los resultados de campo y laboratorio se muestran a continuación, se describe los parámetros principales obtenidos:

6.5.1. SPT N° 1

Tabla 39: Numero de Golpes en campo S.P.T. N° 1

Nº SON-DEO	PROFUNDIDAD (m)	Nº DE GOLPE	COMPACIDAD O CONSISTENCIA	Gc (Grado de compacidad)	Rp (Resistencia a la penetración) Kg/Cm2	σ_{adm} (Carga admisible)(Kg/cm2)
SPT 1	1-1.45	13	Compacidad Compacta	0.43	52	1.30
	2-2.45	16	Compacidad Compacta	0.46	64	1.60
	3-3.45	38	Compacidad Densa	0.68	152	3.80
	4-4.45	42	Compacidad Densa	0.72	168	4.20
	5-5.45	60	Compacidad Muy Densa	0.9	240	6.00

Fuente: Gobierno Descentralizado de la provincia de Loja, 2019

Modificado por: La Autora, 2019

Tabla 40: Resultados S.P.T. N° 1

PROFUNDIDAD (m)	GRANULOMETRIA			LIMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL SUELO
	GRAVAS	ARENAS	FINOS	C. H	L.L	L.P	I.P	SUCS	AA SH TO	
	%	%	%	%	%	%	%			
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	4.88	16.4	78.65	13.45	42.0	37.40	4.6	ML-OL	A-5	LIMO ARENOSO
2	13.9	22.7	63.3	13.67	37.7	19.32	18.3	CL	A-6	ARCILLA ARENOSA
3	8.04	6.2	85.6	7.94	32.0	15.23	16.7	CL	A-6	ARCILLA ARENOSA
4	4.86	13.2	81.9	14.99	37.2	20.69	16.5	CL	A-6	ARCILLA ARENOSA
5	2.90	18.9	78.1	18.59	31.4	23.41	8.01	ML-OL	A-4	LIMO ARENOSO

Fuente: Gobierno Descentralizado de la provincia de Loja, 2019

Modificado por: La Autora, 2019

El ensayo se realizó hasta una profundidad de 5m, donde a la profundidad de 1m corresponde a limo arenoso del tipo “ML-OL” y “A-5” con un NSPT de 13 golpes, con una carga admisible de 1.30 Kg/cm2, con un grado de compacidad de 0.43,

correspondiente a ser compacto, con un contenido de humedad de 13.45%, un LL de 42%, LP de 37% y un IP de 5%.

A los dos metros corresponde a unas arenas arcillosas del tipo “CL” y “A-6” con un NSPT de 16 golpes, con una carga admisible de 1.60 Kg/cm², con un grado de compacidad de 0.46, correspondiente a ser compacto, con un contenido de humedad de 14%, un LL de 38%, LP de 19% y un IP de 18%.

En cuanto a los tres metros corresponde a unas arenas arcillosas del tipo “CL” y “A-6” con un NSPT de 38 golpes, con una carga admisible de 3.80 Kg/cm², con un grado de compacidad de 0.68, correspondiente a ser denso, con un contenido de humedad de 8%, un LL de 32%, LP de 15% y un IP de 17%.

A los cuatro metros corresponde a unas arenas arcillosas del tipo “CL” y “A-6” con un NSPT de 42 golpes, con una carga admisible de 4.2 Kg/cm², con un grado de compacidad de 0.72, correspondiente a ser denso, con un contenido de humedad de 15%, un LL de 37%, LP de 21% y un IP de 17%. Y, por último, a los cinco metros corresponde a unas arenas arcillosas del tipo “ML-OL” y “A-4” con un NSPT de 60 golpes, con una carga admisible de 6.00 Kg/cm², con un grado de compacidad de 0.9, correspondiente a ser muy denso, con un contenido de humedad de 18%, un LL de 31%, LP de 23% y un IP de 8%.

6.5.2. SPT N° 2

Tabla 41: Numero de Golpes en campo S.P.T. N° 2

N° SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	N GOLPES	COMPACIDAD O CONSISTENCIA	qu(Kg/cm ²)	Rp (Kg/cm ²)	σ _{adm} (Carga admisible)(Kg/cm ²)
SPT 1	1-1.45	20	Consistencia muy compacta	2.50	80	2.00
	2-2.45	15	Consistencia muy compacta	2	60	1.50
	3-3.45	30	Consistencia dura	4	120	3.00
	4-4.45	28	Consistencia muy compacta	3.8	112	2.80
	5-5.45	35	Consistencia dura	4.5	140	3.50

Fuente: Gobierno Descentralizado de la provincia de Loja, 2019.

Modificado por: La Autora, 2019

Tabla 42: Resultados S.P.T. N°2

PRO-FUNDIDAD (m)	GRANULOMETRIA			LIMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL SUELO
	GRAVAS	ARENAS	FINOS	C.H	L.L	L.P	I.P	SUCS	AASHTO	
	%	%	%	%	%	%	%			
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	6.30	15.27	78.41	14.53	79.8	26.70	53.09	CH	A-7-6	ARCILLAS DE ALTA PLASTICIDAD
2	6.17	11.68	82.13	20.96	81.00	27.90	54.29	CH	A-7-6	ARCILLAS DE ALTA PLASTICIDAD
3	9.269	11.18	79.55	11.58	82.2	29.10	55.49	CH	A-7-6	ARCILLAS DE ALTA PLASTICIDAD
4	0	33.33	66.6	31.37	80.2	28.49	51.72	CH	A-7-6	ARCILLAS DE ALTA PLASTICIDAD
5	16	6	78	32.32	83.7	36.60	47.16	MH-OH	A-7-5	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CON GRAVA

Fuente: Gobierno Descentralizado de la provincia de Loja, 2019

Modificado por: La Autora, 2019

El ensayo se realizó hasta una profundidad de 5m, donde a la profundidad de 1m corresponde a arcillas de alta plasticidad "CH" y "A-7-6" con un NSPT de 20 golpes, con una carga admisible de 2.0 Kg/cm², de consistencia muy compacta, con un contenido de humedad de 14.5%, un LL de 79%, LP de 26.7% y un IP de 53.09%.

A los dos metros corresponde a arcillas de alta plasticidad "CH" y "A-7-6" con un NSPT de 15 golpes, con una carga admisible de 1.5 Kg/cm², de consistencia muy compacta, con un contenido de humedad de 20%, un LL de 81%, LP de 27% y un IP de 54.29%.

En cuanto a los tres metros corresponde a arcillas de alta plasticidad "CH" y "A-7-6" con un NSPT de 30 golpes, con una carga admisible de 3.00 Kg/cm², de consistencia dura, con un contenido de humedad de 11%, un LL de 82%, LP de 29% y un IP de 55%.

A los cuatro corresponde a arcillas de alta plasticidad "CH" y "A-7-6" con un NSPT de 28 golpes, con una carga admisible de 2.80 Kg/cm², de consistencia dura, con un contenido de humedad de 31.3%, un LL de 80%, LP de 28% y un IP de 51%. Y, por último, a los cinco metros corresponde a unas arenas de alta plasticidad con contenido de grava del tipo "MH-OH" y "A-7-5" con un NSPT de 35 golpes, con una carga admisible

de 3.50 Kg/cm², de consistencia dura, con un contenido de humedad de 32%, un LL de 83%, LP de 36% y un IP de 47%.

6.6. Clasificación de los macizos rocosos

Se realizó la caracterización mediante RQD, RMR Y GSI, a seis taludes, mismos que cinco son de tipo rocoso y uno Lutita, se considera que el talud 4, se lo clasificará en dos, por presentar un contacto litológico.

Tabla 43: Taludes caracterizados.

Talud	X	Y	Z	Litología
4	688405	9544822	1630	Contacto entre toba Andesítica y toba Andesítica con medio grado de meteorización.
6	688528	9544819	1636	Toba Andesítica con medio grado de meteorización.
8	688553	9544621	1629	Toba brechosa de composición Andesítica
12	689023	9544064	1638	Toba Andesítica con medio grado de meteorización
14	688896	9543858	1637	Toba Andesítica con medio grado de meteorización

Fuente: La Autora, 2019

6.6.1. RQD, cálculo del índice de calidad de la roca. (Deere, 1967)

6.6.1.1. Talud 4: Contacto de Toba Dacítica

Este talud presenta un contacto entre toba dacítica y toba andesítica, por lo que se realizará una clasificación para ambas partes, por lo que se obtiene que la toba dacítica presenta tres familias de discontinuidades.





Fotografía 29: Representación gráfica de juntas en macizo rocoso del talud 4
Fuente: La autora, 2020

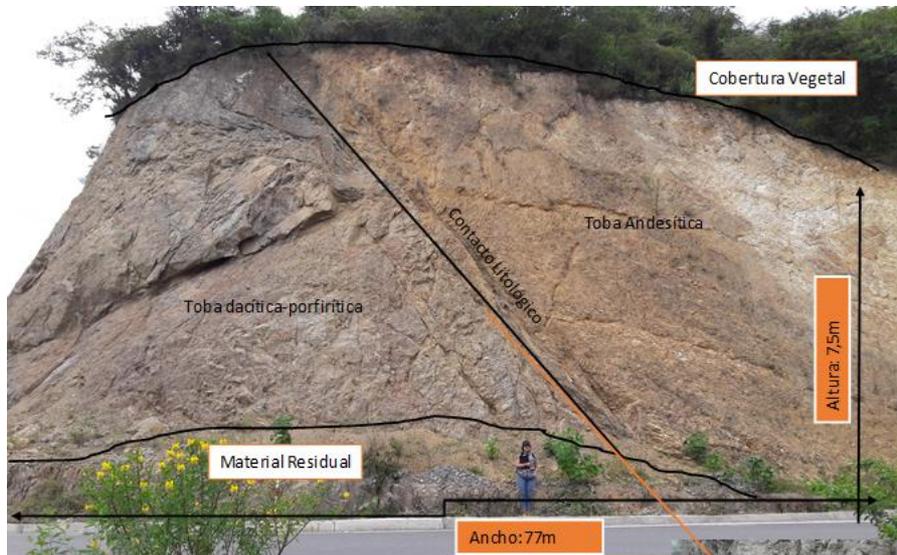
Tabla 44: Cálculo RQD del talud N° 4a

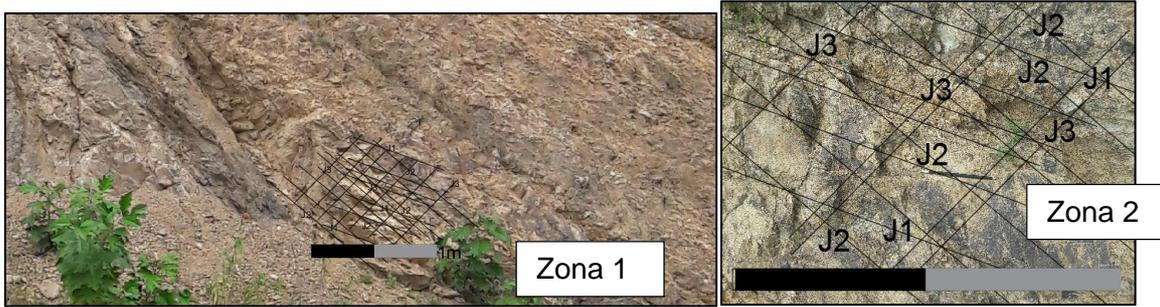
JUNTA	PROM ESP (m)	1/SM	1/Jv3	RQD	CALIDAD DE ROCA
J1	0.111	9.02	27.06	42.35	MALA
J2	0.10	9.77			
J3	0.121	8.27			

Fuente: La autora, 2020

6.6.1.2. Talud 4: Toba Andesítica con medio grado de meteorización

La Toba Andesítica con medio grado de meteorización presenta tres familias de discontinuidades.





Fotografía 30: Representación gráfica de juntas en macizo rocoso del talud 4
Fuente: La autora, 2020

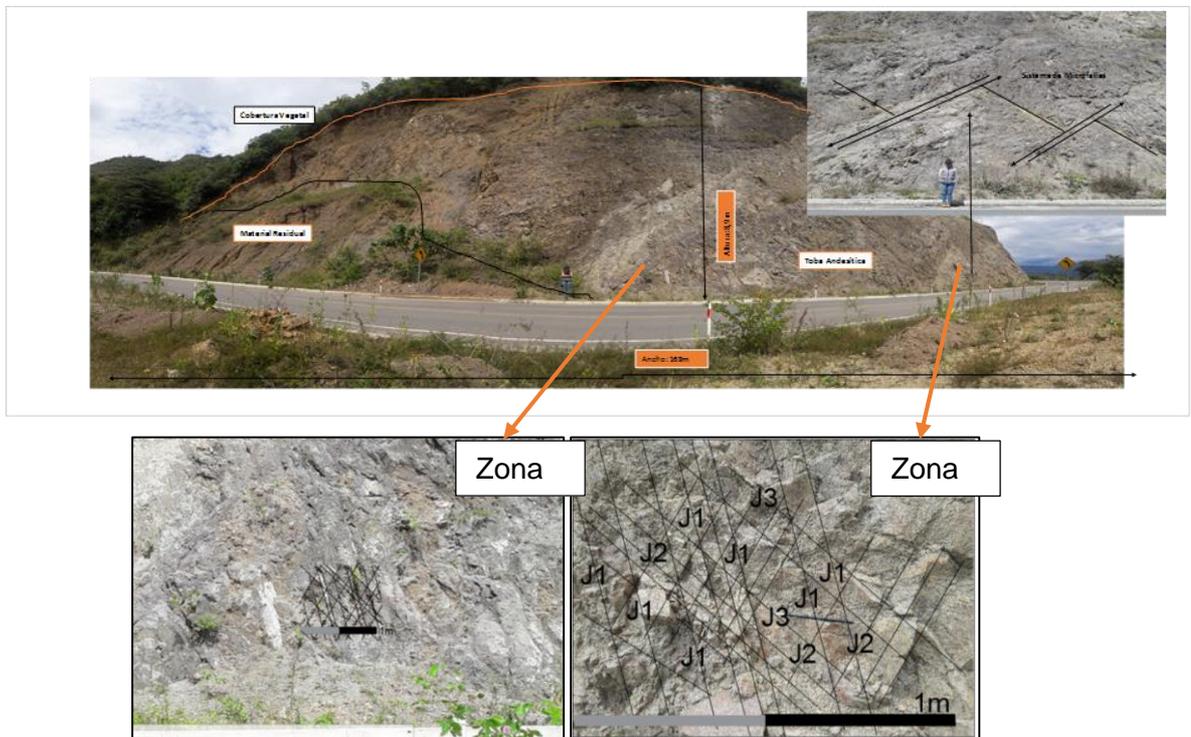
Tabla 45: Cálculo RQD del talud N° 4

JUNTA	PROM ESP (m)	1/SM	1/Jv3	RQD	CALIDAD DE ROCA
J1	0.109	9.14	24.39	49.03	MALA
J2	0.14	7.34			
J3	0.127	7.90			

Fuente: La autora, 2020

6.6.1.3. Talud 6: Toba Andesítica con medio grado de meteorización

La Toba Andesítica con medio grado de meteorización presenta tres familias de discontinuidades.



Fotografía 31: Representación gráfica de juntas en macizo rocoso del talud 6
Fuente: La autora, 2020

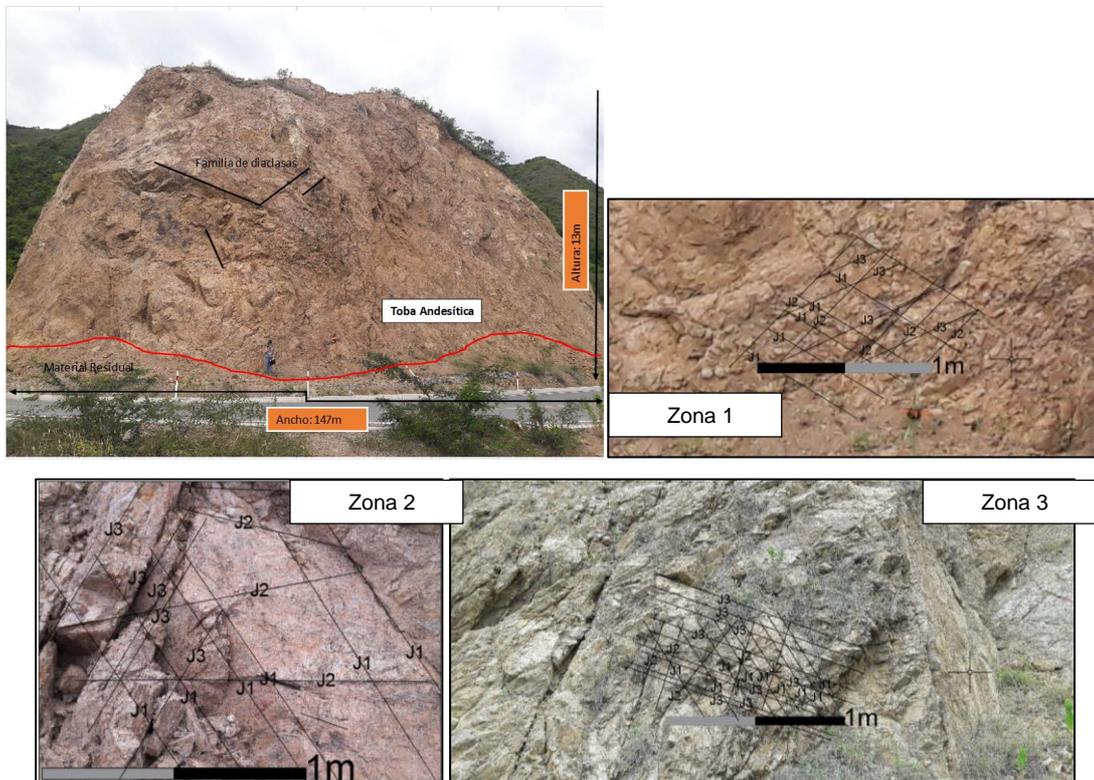
Tabla 46: Cálculo RQD del talud N° 6

JUNTA	PROM ESP (m)	1/SM	1/Jv3	RQD	CALIDAD DE ROCA
J1	0.111	9.01	24.61	48.46	MALA
J2	0.131	7.64			
J3	0.126	7.96			

Fuente: La autora, 2020

6.6.1.4. Talud 8: Toba brechosa de composición Andesítica

La Toba brechosa de composición Andesítica presenta tres familias de discontinuidades.



Fotografía 32: Representación gráfica de juntas en macizo rocoso del talud 8

Fuente: La autora, 2020

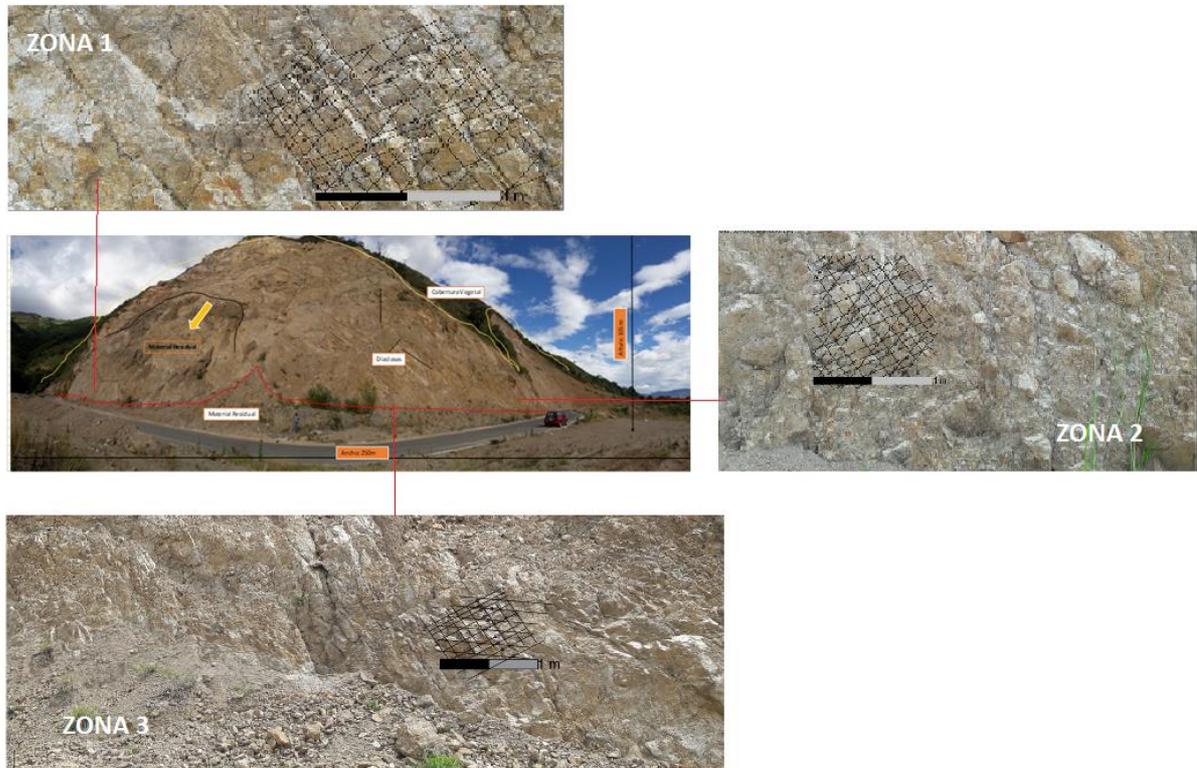
Tabla 47: Cálculo RQD del talud N° 8

JUNTA	PROM ESP (m)	1/SM	1/Jv3	RQD	CALIDAD DE ROCA
J1	0.137	7.32	21.04	57.39	MEDIA
J2	0.159	6.28			
J3	0.134	7.44			

Fuente: La autora, 2020

6.6.1.5. Talud 12: Toba Andesítica con medio grado de meteorización

La Toba brechosa de composición Andesítica presenta tres familias de discontinuidades.



Fotografía 33: Representación gráfica de juntas en macizo rocoso del talud 12
Fuente: La autora, 2020

Tabla 48: Cálculo RQD del talud N° 12

JUNTA	PROM ESP (m)	1/SM	1/Jv3	RQD	CALIDAD DE ROCA
J1	0.095	10.51	27.10	42.2	MALA
J2	0.107	9.35			
J3	0.138	7.24			

Fuente: La autora, 2020

6.6.1.6. Talud 14: Toba Andesítica con medio grado de meteorización

La Toba brechosa de composición Andesítica presenta tres familias de discontinuidades.

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”



Fotografía 34: Representación gráfica de juntas en macizo rocoso del talud 14
Fuente: La autora, 2020

Tabla 49: Cálculo RQD del talud N° 14

JUNTA	PROM ESP (m)	1/SM	1/Jv3	RQD	CALIDAD DE ROCA
J1	0.113	8.84	20.04	59.90	MEDIA
J2	0.149	6.72			
J3	0.223	4.48			

Fuente: La autora, 2020

6.6.1.7. RQD de taludes

Tabla 50: RQD de los taludes.

Talud	X	Y	Z	RQD	CALIDAD DE ROCA
4.a	688405	9544822	1630	42.35	MALA
4.b				49.03	MALA
6	688528	9544819	1636	48.46	MALA
8	688553	9544621	1629	57.39	MEDIA
12	688526	9544939	1659	42.2	MALA
14	688896	9543858	1637	59.6	MEDIA

Fuente: La autora, 2020

6.6.2. RMR, Rock Mass Rating, (Bienawski, 1973)

La clasificación de RMR a los taludes 4,6,8,12,14, correspondientes a Toba Dacítica, tobas Andesítica con medio grado de meteorización y Tobas brechosa de composición Andesítica.

De acuerdo a la metodología a utilizar, se utilizará las Fig. 17, 18,19 expuestas en revisión bibliográfica, y la interpolación para obtener valores reales de la presente clasificación. Teniendo en cuenta la metodología expuesta en el apartado 6.2.10.2, se procederá a realizar la clasificación de los taludes:

6.6.2.1. Talud 4: Contacto de Toba Dacítica

El RMR se calculará para las tres familias, obteniendo lo siguiente:

Tabla 51: Parámetros para la clasificación geomecánica RMR del talud 4.1.

JUNTA	σ_c (Mpa)	VALOR	RQD	VALOR	ESTADO DE DISCONTINUIDAD										RMR				
					SM(m)	VALOR	L(m)	VALOR	AB(mm)	VALOR	RU	VALOR	RU	VALOR		ALT	VALOR	AGUA	VALOR
J1	31.49	3.7	42.35	9	0.11	7.55	1.39	3.61	2.63	2.772	SUAVE	1	ONDULA	1	MODERA DAMENT	3	LIGERAM	10	41.632
J2	31.49	3.7	42.35	9	0.22	8.1	0.22	6	3	2.5	SUAVE	1	ONDULA	1	MODER ADAME	3	LIGERA	10	46.6
J3	31.49	3.7	42.35	9	0.1	7.5	0.45	6	2	0.25	SUAVE	1	LIGERA	3	MODER ADAMEN	3	LIGERA	11	43.7
RMR				43.29		CLASE			III				CALIDAD DE ROCA				MEDIA		

Fuente: La autora, 2020

6.6.2.2. Talud 4: Toba Andesítica con medio grado de meteorización

El RMR se calculará para las tres familias, obteniendo lo siguiente:

Tabla 52: Parámetros para la clasificación geomecánica RMR del talud 4.2.

σc (Mpa)	ESTADO DE DISCONTINUIDAD														RMR		
	VALOR	RQD (100%)	VALOR	SM(m)	VALOR	L(m)	VALOR	AB	VALOR	RU	VALOR	RU	VALOR	ALT		VALOR	AGUA
31.49	3.9	49.03	10	0.109	7.545	1.403	3	2.5	SUAVE	1	LIGERAMENTE RUGOSA	3	MODERAD	3	LIGERAMENTE	10	44.542
31.49	3.9	49.03	10	0.14	7.7	1.954	3	2.5	SUAVE	1	RUGOSA	5	MODERAD	3	LIGERAMENTE	10	46.15
31.49	3.9	49.03	10	0.124	7.62	0.2	1	4	NINGUN	6	LIGERAMENTE NITIDA RUGOSA	3	MODERA	3	LIGERAMENTE	10	53.52
RMR	48.07			CLASE	III	CALIDADE ROCA		MEDIA									

Fuente: La autora, 2020

6.6.2.3. Talud 6: Toba Andesítica con medio grado de meteorización

El RMR se calculará para las tres familias, obteniendo lo siguiente:

Tabla 53: Parámetros para la clasificación geomecánica RMR del talud 6- junta 1-2-3

JUNTA	ESTADO DE DISCONTINUIDAD														RMR				
	σc (Mpa)	VALOR	RQD (100%)	VALOR	SM(m)	VALOR	L(m)	VALOR	AB	VALOR	RU	VALOR	RU	VALOR		ALT	VALOR	AGUA	VALOR
→ ↘	25.56	3.5	48.46	9.7	0.11	7.555	1.61	3.39	2.4	2.95	SUAVE	1	ONDULADA	1	LIGERAMENTE	5	SECO	15	49.095

6.6.2.5. Talud 12: Toba Andesítica con medio grado de meteorización

Tabla 55: Parámetros para la clasificación geomecánica RMR del talud 12.

JUNTA	σ_c (Mpa)	VALOR	RQD (100%)	VALOR	ESTADO DE DISCONTINUIDAD										VALOR	RMR			
					SM(m)	VALOR	L(m)	VALOR	AB	VALOR	RU	VALOR	RU	VALOR			ALT	VALOR	AGUA
J1	10.14	2	42.2	8.8	0.095	7.475	1.28	3.72	4.7	1.21	SUAVE	1	ONDULADA	1	5	SECO	15	44.21	
J2	10.14	2	42.2	8.8	0.107	7.535	1.21	1.47	3.8	1.90	SUAVE	1	RUGOSA	5	5	SECO	15	47.71	
J3	10.14	2	42.2	8.8	0.138	7.69	1.88	2.92	4.0	1.75	SUAVE <5mm	1	RUGOSA	5	5	SECO	15	49.16	
RMR		47.03		CLASE		III		CALIDAD DE ROCA		MEDIA									

Fuente: La autora, 2020

6.6.2.6. Talud 14: Toba Andesítica con medio grado de meteorización

Tabla 56: Parámetros para la clasificación geomecánica RMR del talud 14.

VALOR	RQD (100%)	VALOR	ESTADO DE DISCONTINUIDAD										VALOR	RMR			
			SM(m)	VALOR	L(m)	VALOR	AB	VALOR	RU	VALOR	RU	VALOR			ALT	VALOR	AGUA
6.4	52.66	10.1	59.60	11.9	0.113	9.56	2.9	2.59	SUAVE	1	ONDULADA	1	MODERADA	3	SECO	15	53.27

6.4	52.66	10.1	59.60	11.9	0.149	8.86	3.4	2.17	SUAVE	1	RUGOSA	5	MODERADAMENTE	3	SECO	15	59.34
6.4	52.66	10.1	59.60	11.9	0.223	10.14	2.3	3.04	SUAVE <5mm	1	RUGOSA	5	MODERADAMENTE	3	SECO	15	61.48
RMR		58.03			CLASE			III			CALIDAD DE ROCA			MEDIA			

Fuente: La autora, 2020

Tabla 57: Resumen de resultados de RMR

Talud	X	Y	Z	RMR	CLASE	CALIDAD DE ROCA
4.a	688405	9544822	1630	43.29	III	MEDIA
4.b	688405	9544822	1630	48.07	III	MEDIA
6	688528	9544819	1636	51.96	III	MEDIA
8	688553	9544621	1629	47.08	III	MEDIA
12	689023	9544064	1638	47.03	III	MEDIA
14	688896	9543858	1637	58.03	III	MEDIA

Fuente: La autora, 2020

6.6.3. Clasificación GSI, Geological strength index. (Hoek, 1994)

Se considera la interpretación del GSI para los Taludes 18 y D-1

6.6.3.1. Talud 18

El Talud 18 se presenta como Lutitas con intercalaciones de arcillas, presentando una superficie (FAIR) lisa, moderadamente erosionado y superficie alterada, por lo que se obtiene un GSI de 34.

6.6.3.2. Talud D-1

El Talud D-1 se presenta como un depósito Coluvial de Tobas Dacíticas, presentando una superficie (FAIR) masa rocosa con alto grado de desintegración con condiciones pobres y superficie alterada, por lo que se obtiene un GSI de 30.

De acuerdo a los resultados obtenidos, y aplicando la fórmula 11 para los taludes 4.a, 4.b, 6, 8, 12, 14, incluyendo 18 y D-1 se muestra en la Tabla 60:

Tabla 58: Resumen de resultados de GSI

Talud	X	Y	Z	GSI	CLASIFICACION
4.a	688405	9544822	1630	38.29	MALA
4.b				43.07	REGULAR
6	688528	9544819	1636	46.96	REGULAR
8	688553	9544621	1629	42.08	REGULAR
12	689023	9544064	1638	42.03	REGULAR
14	688896	9543858	1637	53.03	REGULAR
18	689019	9543198	1579	34	MALA
D-1	688402	9545064	1634	30	MALA

Fuente: La autora, 2020

Para la obtención del GSI de los Taludes 18 y D-1, se consideró las tablas 7 y 8, por lo tanto, mediante observación se resuelve:

6.7. Análisis Geológico-Geotécnico

6.7.1. Análisis de Resistencia del macizo rocoso mediante el Criterio de rotura de Hoek & Brown

Para el análisis, se considerará los siguientes datos de entrada:

Tabla 59: Datos de entrada para análisis en Roclab, 2019.

NUMERO DE TALUD	GSI	σ_c (Mpa)	ALTURA(h)	PESO ESPECIFICO(Kn/m ³)	D
TALUD 4.A	38.29	38.51	7.5	26.29	1
TALUD 4.B	43.07	31.49	7.5	26.09	1
TALUD 6	46.96	25.56	8.9	25.28	1
TALUD 8	42.08	54.13	13	26.86	1
TALUD 12	42.03	10.14	110	25.26	1
TALUD 14	53.03	60.9	1.7	25.94	1

Fuente: La autora, 2020

Continúa en la siguiente...

6.7.1.1. Análisis de resistencia del macizo rocoso para el talud 4.A

Para el Talud 4.A, se obtuvo los datos siguientes:

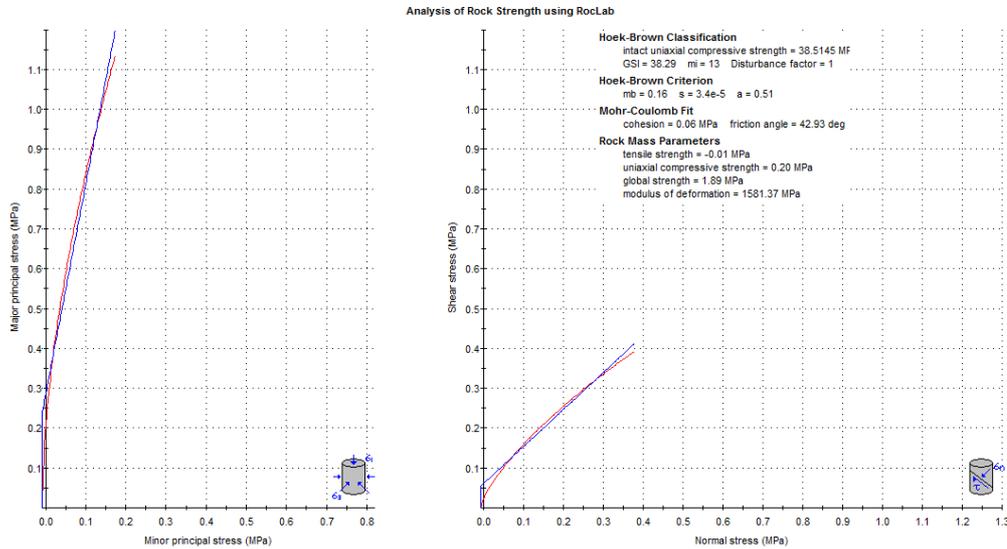


Figura 64: Análisis de resistencia para el Talud 4.A.

Fuente: Roclab, 2020

Para el Talud 4.A, mediante el uso del programa Roclab, se ingresó 45.5 de GSI, 38.5 Mpa de Resistencia a la compresión simple, 7.5 m de altura y 26.28Kn/m, por lo que se obtuvo 85.9Kpa de cohesión y 47.28° siendo el ángulo de fricción.

6.7.1.2. Análisis de resistencia del macizo rocoso para el talud 4.B

Para el Talud 4.B, se obtuvo los datos siguientes:

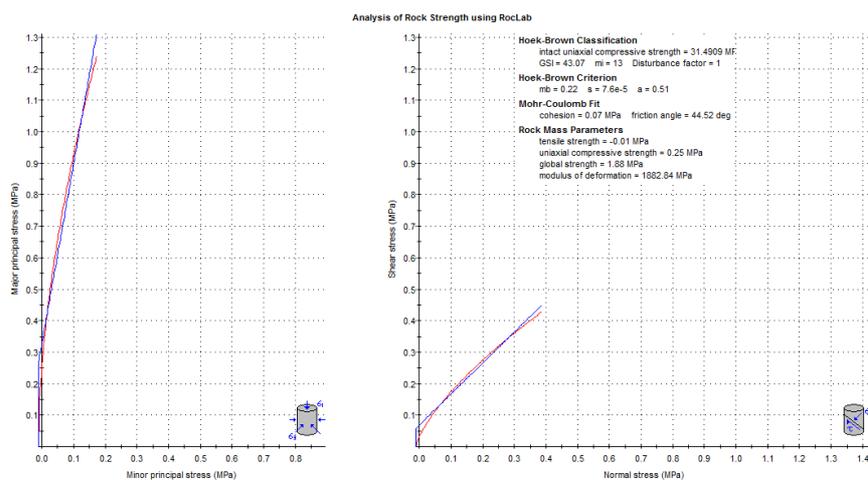


Figura 65: Análisis de resistencia para el Talud 4.B.

Fuente: Roclab, 2020

Para el Talud 4.B, mediante el uso del programa Roclab, se ingresó 43.07 de GSI, 31.49 Mpa de Resistencia a la compresión simple, 7.5 m de altura y 26.09 Kn/m, por lo que se obtuvo 75.2Kpa de cohesión y 45.71° siendo el ángulo de fricción.

6.7.1.3. Análisis de resistencia del macizo rocoso para el talud 6.

Para el Talud 6, se obtuvo los datos siguientes:

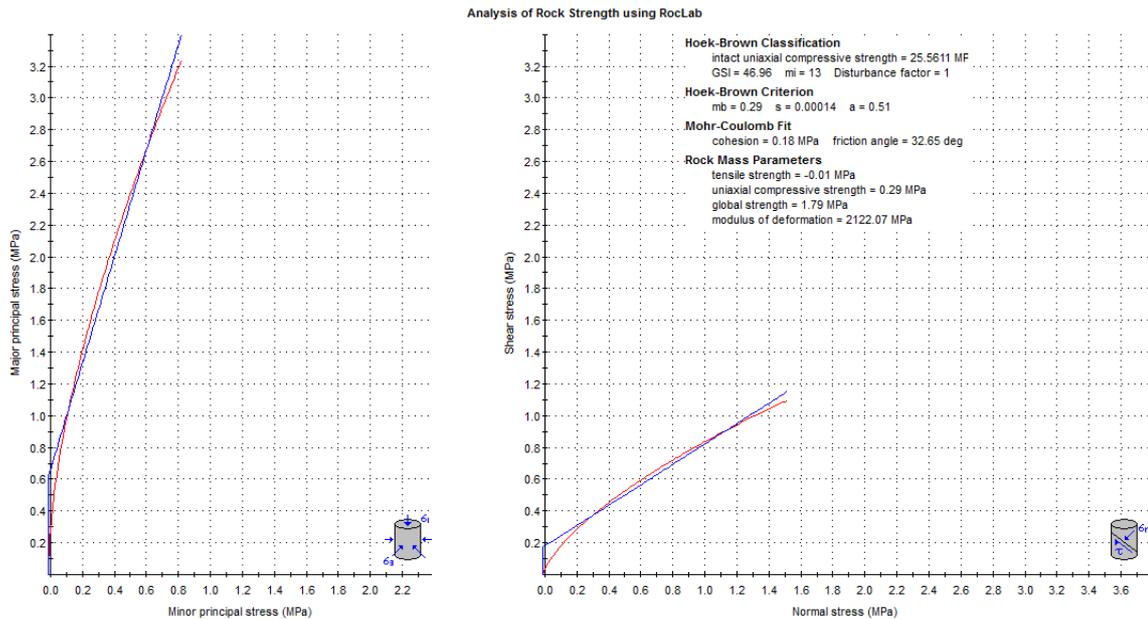


Figura 66: Análisis de resistencia para el Talud 6.

Fuente: Roclab, 2020

Para el Talud 6, mediante el uso del programa Roclab, se ingresó 46.96 de GSI, 25.56 Mpa de Resistencia a la compresión simple, 8.9 m de altura y 25.28Kn/m, por lo que se obtuvo 204.7Kpa de cohesión y 34.84° siendo el ángulo de fricción.

6.7.1.4. Análisis de resistencia del macizo rocoso para el talud 8.

Para el Talud 8, se obtuvo los datos siguientes:

Continúa en la siguiente...

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

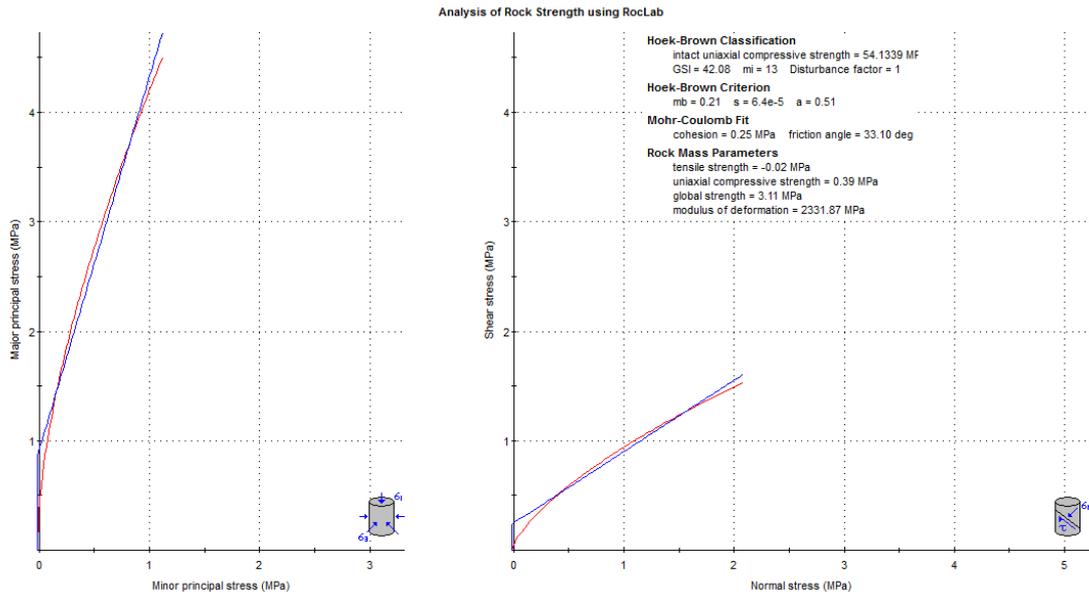


Figura 67: Análisis de resistencia para el Talud 8.

Fuente: Roclab, 2020

Para el Talud 8, mediante el uso del programa Roclab, se ingresó 42.08 de GSI, 54.13 Mpa de Resistencia a la compresión simple, 13m de altura y 26.86Kn/m, por lo que se obtuvo 258.0.Kpa de cohesión y 33.79° siendo el ángulo de fricción.

6.7.1.5. Análisis de resistencia del macizo rocoso para el talud 12.

Para el Talud 12, se obtuvo los datos siguientes:

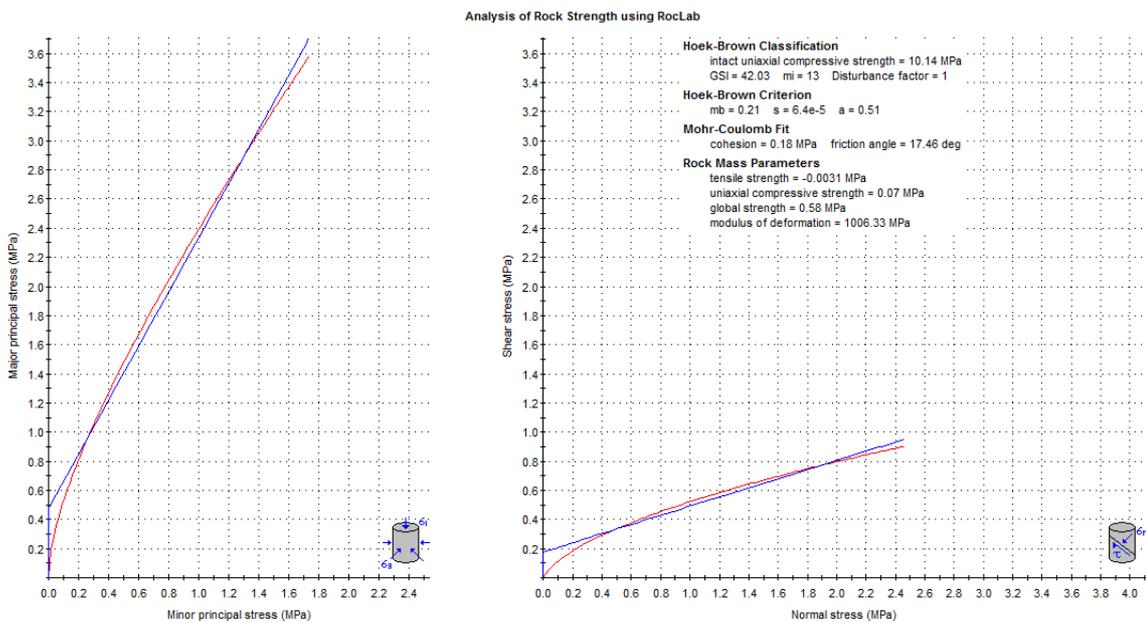


Figura 68: Análisis de resistencia para el Talud 12.

Fuente: Roclab, 2020

Para el Talud 12, mediante el uso del programa Roclab, se ingresó 42.03 de GSI, 10.14 Mpa de Resistencia a la compresión simple, 110m de altura y 25.94Kn/m, por lo que se obtuvo 187.6Kpa de cohesión y 17.93° siendo el ángulo de fricción.

6.7.1.6. Análisis de resistencia del macizo rocoso para el talud 14.

Para el Talud 14, se obtuvo los datos siguientes:

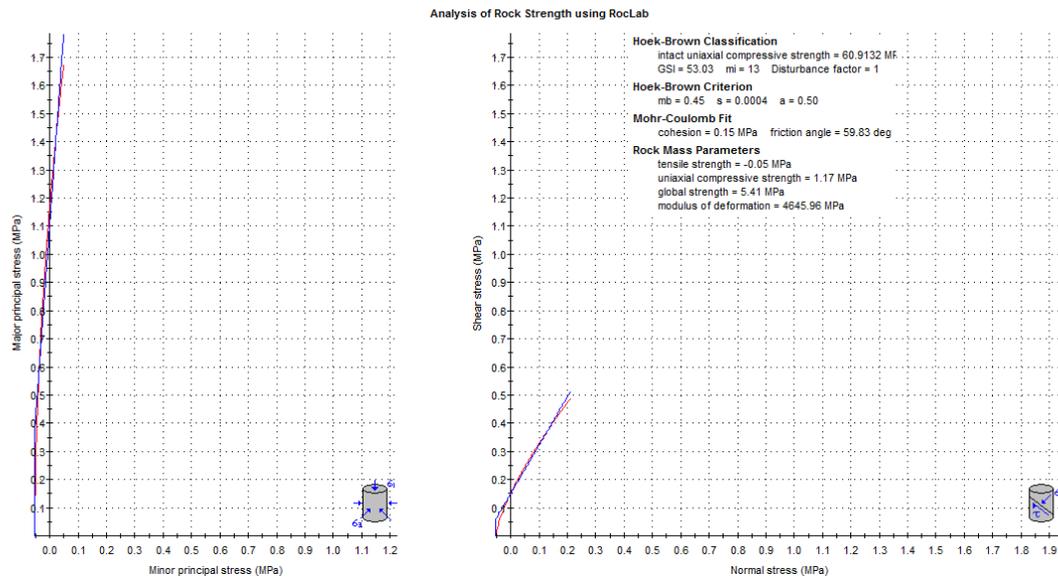


Figura 69: Análisis de resistencia para el Talud 14.

Fuente: Roclab, 2020

Para el Talud 14, mediante el uso del programa Roclab, se ingresó 51.23 de GSI, 60.91 Mpa de Resistencia a la compresión simple, 1.7m de altura y 25.25Kn/m, por lo que se obtuvo 128.1Kpa de cohesión y 59.59° siendo el ángulo de fricción.

Continúa en la siguiente...

6.7.2. Parámetros generales de estabilidad por método Hoek and Brown ajustado al criterio Mohr-Coulomb.

Se obtuvo los siguientes parámetros especificados en la tabla 60, a continuación:

Tabla 60: Parámetros de estabilidad.

Numero de talud	GSI	σ_c (Mpa)	ALTURA (h)	PESO ESPECIFICO (kn/m ³)	PARAMETROS EQUIVALENTES DE MORH COULOMB	
					C (kPa)	ϕ (°)
TALUD 4.A	45.5	38.5	7.5	26.28	61.41	47.28
TALUD 4.B	45.1	31.49	7.5	26.09	75.2	45.71
TALUD 6	50.63	25.56	8.9	25.28	204.7	34.84
TALUD 8	43.18	54.13	13	26.86	258.0	33.79
TALUD 12	43.38	10.14	110	25.94	187.6	17.93
TALUD 14	51.23	60.91	1.7	25.25	128.1	59.59

Fuente: Roclab, 2020

Modificado por: La autora, 2020

6.8. Análisis de estabilidad global

El análisis se realizó para obtener un Factor de seguridad para condiciones secas, obteniendo:

6.8.1. Análisis de estabilidad global Talud 4.A

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para el talud 4A, siendo un contacto de Tobas dacíticas ubicado en la abscisa 6+300, se calculó un factor de seguridad FS=2.65, lo cual indica que el talud se encuentra dentro de un rango estable.

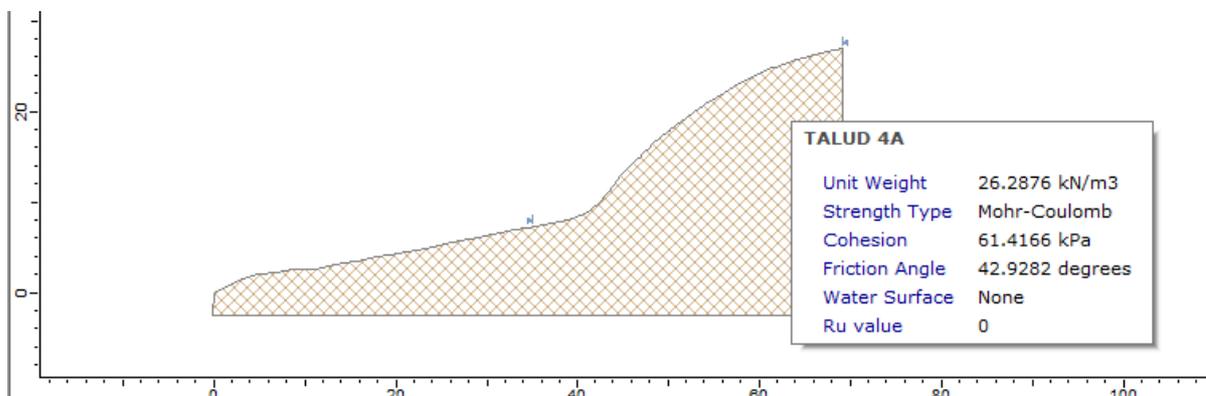


Figura 70: Diseño del talud 4A para análisis de estabilidad global.

Fuente: La autora, 2020

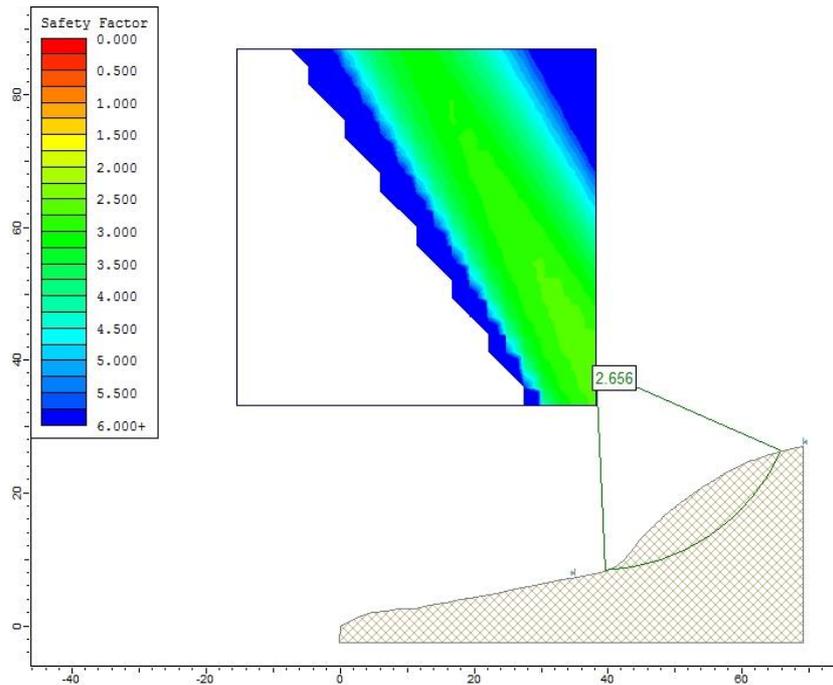


Figura 71: Análisis de rotura general para el talud 4.A

Fuente: La autora, 2020

6.8.2. Análisis de estabilidad global Talud 4.B

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para el talud 4B, siendo un contacto de Tobas Andesíticas ubicado en la abscisa 6+300, se calcula un factor de seguridad $FS=2.87$, lo cual indica que el talud se encuentra dentro de un rango estable.

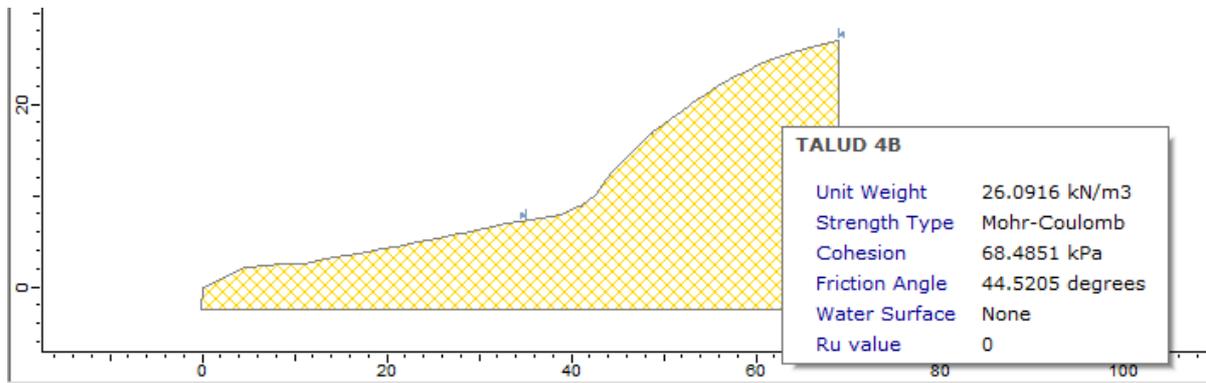


Figura 72: Diseño del talud 4B para análisis de estabilidad global.

Fuente: La autora, 2020

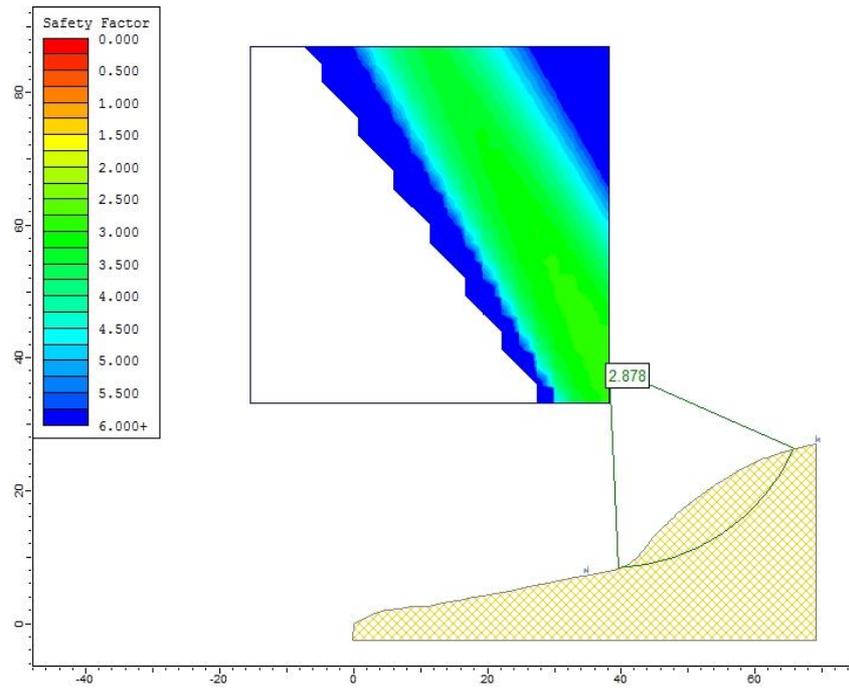


Figura 73: Análisis de rotura general para el talud 4.B

Fuente: La autora, 2020

6.8.3. Análisis de estabilidad global Talud 6.

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para el talud 6, siendo de Tobas Andesíticas con medio grado de meteorización ubicado en la abscisa 6+600, se calcula un factor de seguridad $FS=2.195$, lo cual indica que el talud se encuentra dentro de un rango estable.

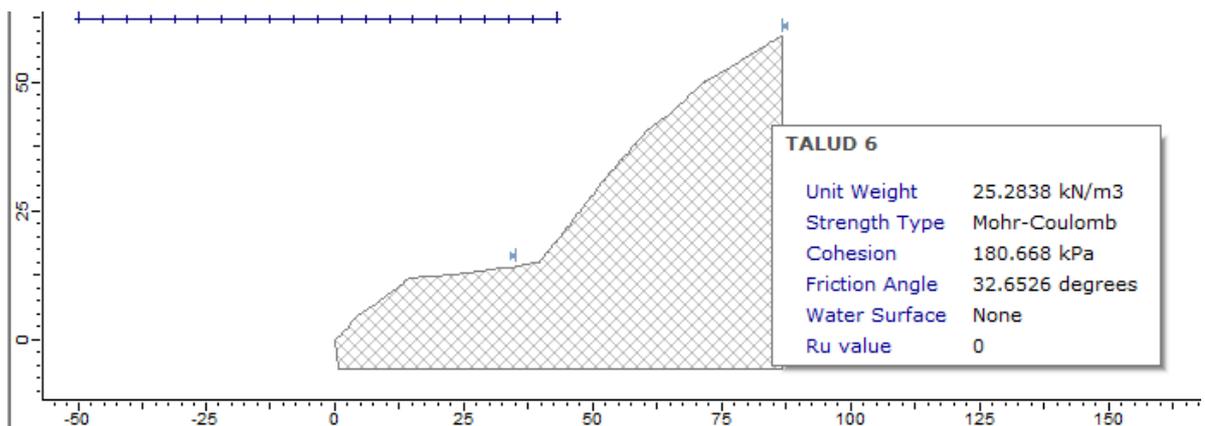


Figura 74: Diseño del talud 6 para análisis de estabilidad global.

Fuente: La autora, 2020

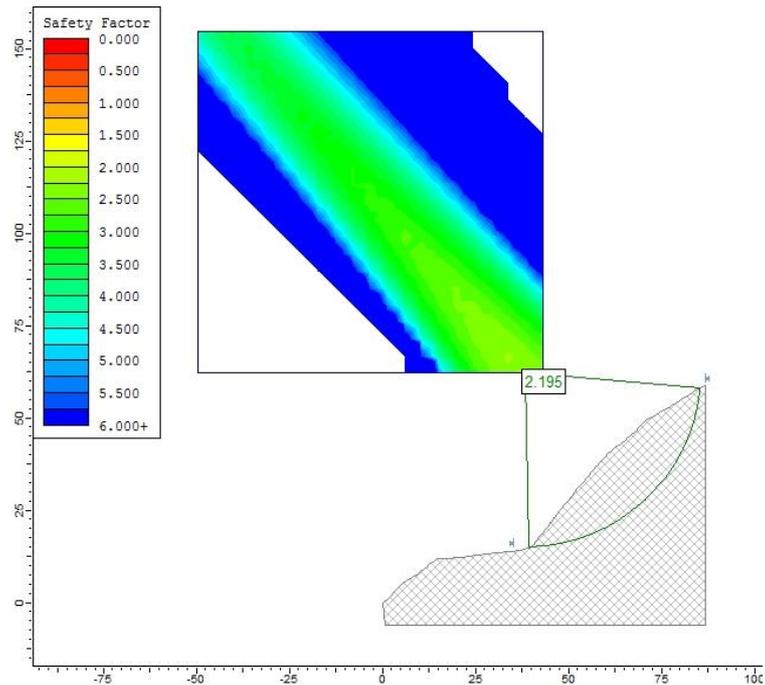


Figura 75: Análisis de rotura general para el talud 6

Fuente: La autora, 2020

6.8.4. Análisis de estabilidad global Talud 8.

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para el talud 8, siendo de Tobas Andesíticas con medio grado de meteorización ubicado en la abscisa 6+900, se calcula un factor de seguridad $FS=3.228$, lo cual indica que el talud se encuentra dentro de un rango estable.

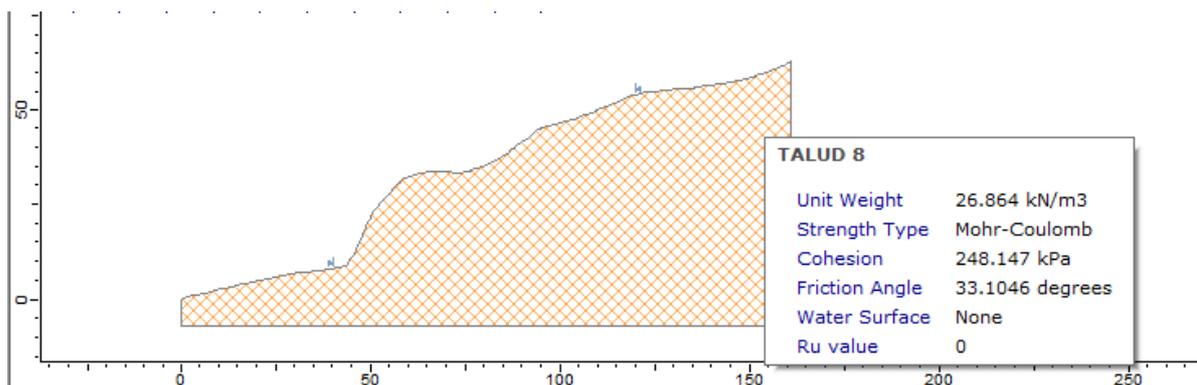


Figura 76: Diseño del talud 8 para análisis de estabilidad global.

Fuente La autora, 2020

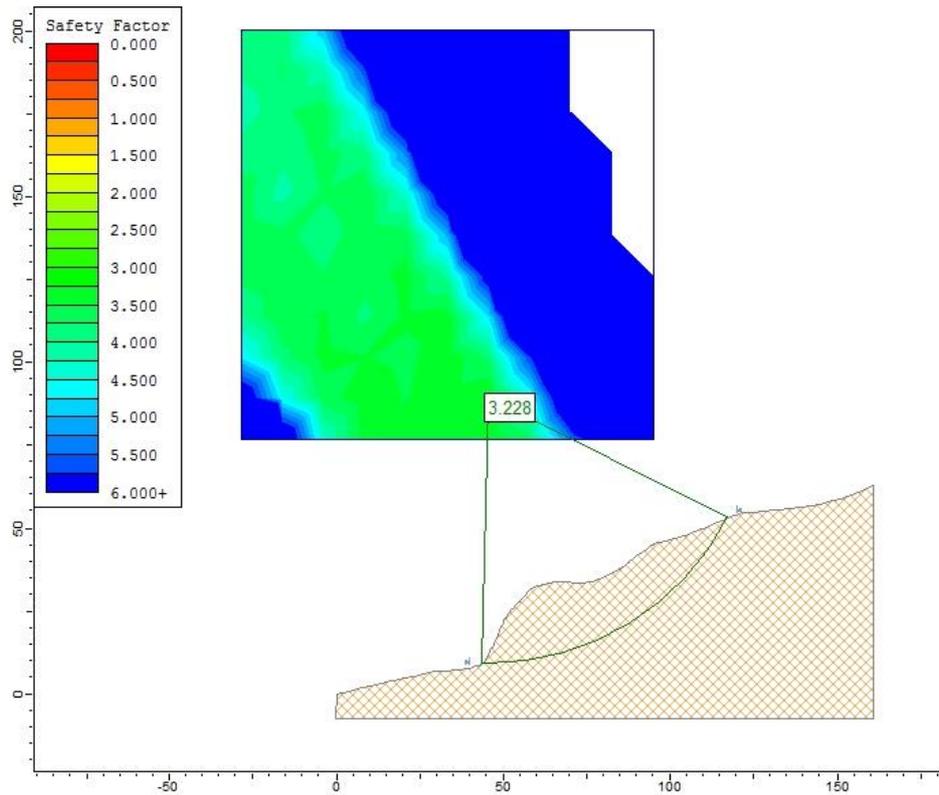


Figura 77: Análisis de rotura general para el talud 8

Fuente: La autora, 2020

6.8.5. Análisis de estabilidad global Talud 12.

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para el talud 12 y considerando los datos obtenidos de la LRS 2 para Tobas Andesíticas con medio grado de meteorización ubicado en la abscisa 7+800, se calcula un factor de seguridad $FS=1.004$, lo cual indica que el talud se encuentra por debajo del rango estable.

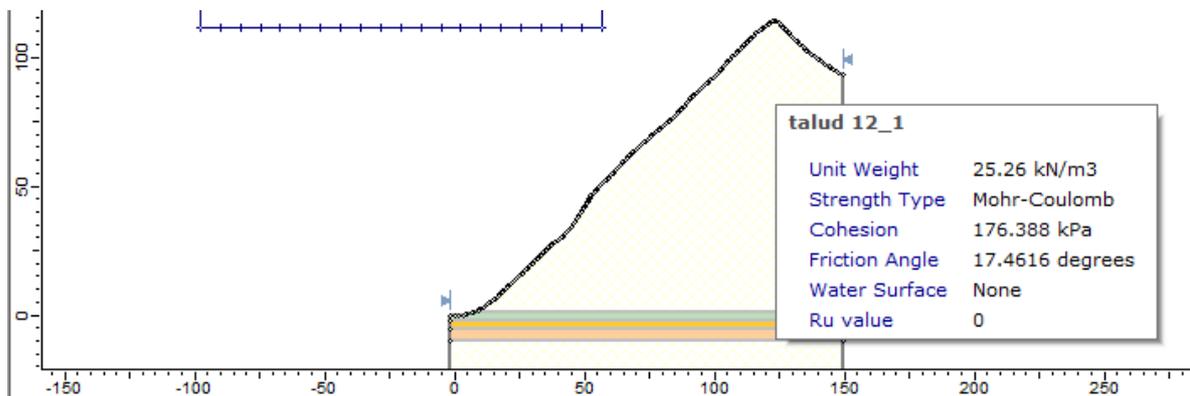


Figura 78: Diseño del talud 12 para análisis de estabilidad global.

Fuente: La autora, 2020

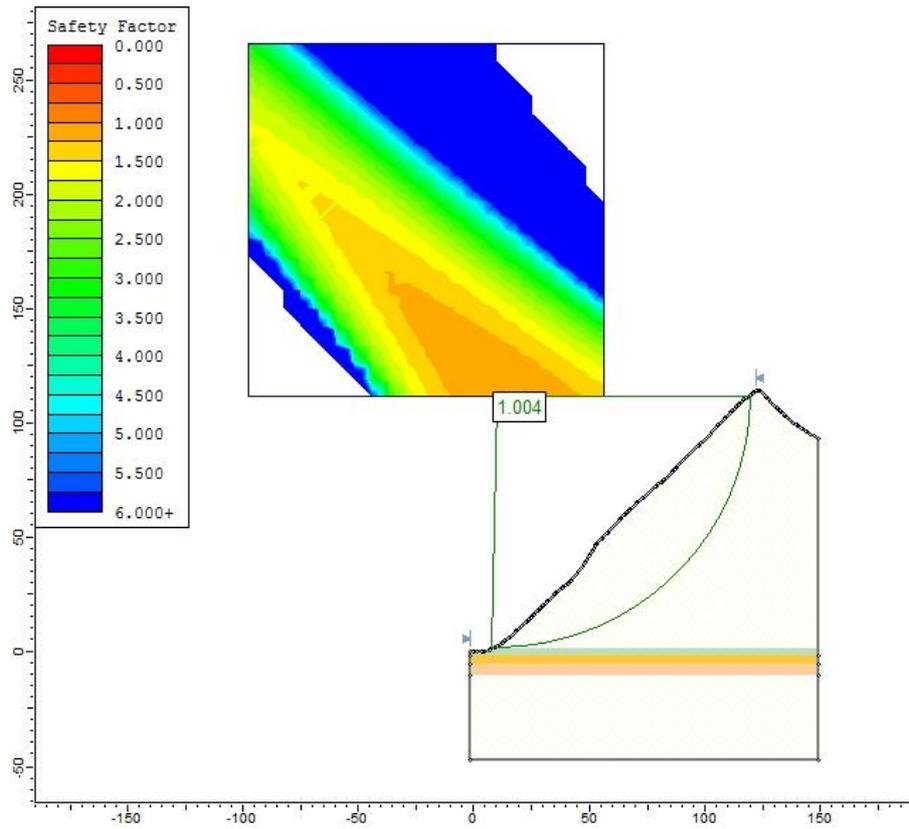


Figura 79: Análisis de rotura general para el talud 12

Fuente: La autora, 2020

6.8.6. Análisis de estabilidad global Talud 14.

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para el talud 14, siendo de Tobas Andesíticas con medio grado de meteorización ubicado en la abscisa 8+100, se calcula un factor de seguridad $FS=78.677$, lo cual indica que el talud se encuentra dentro de un rango estable.

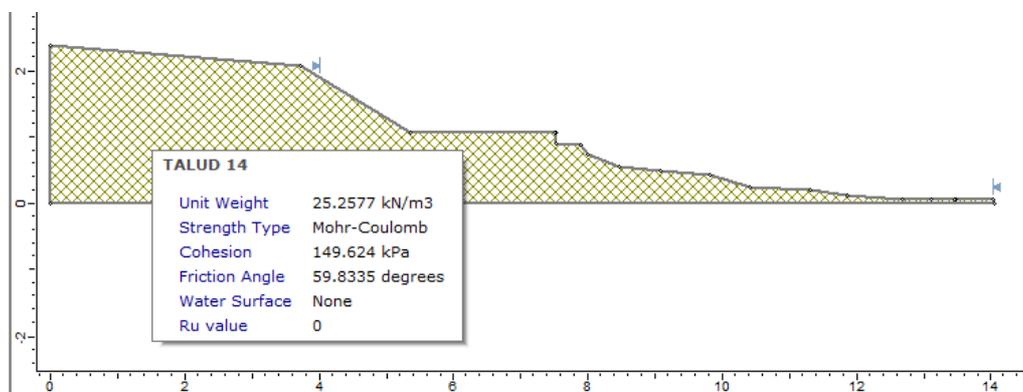


Figura 80: Diseño del talud 14 para análisis de estabilidad global.

Fuente: La autora, 2020

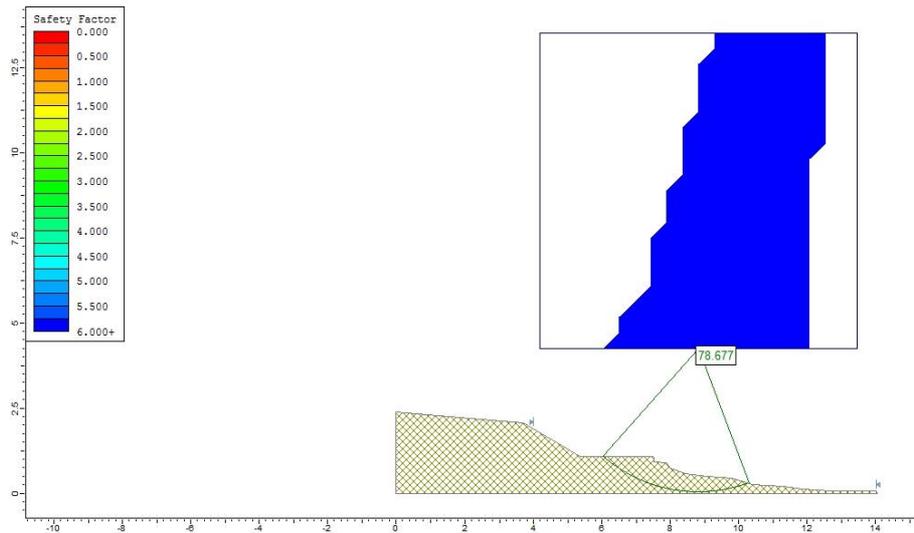


Figura 81: Análisis de rotura general para el talud 14

Fuente: La autora, 2020

Para los Taludes 18 y D-1, se utilizaron los valores expuestos en la **tabla 19**, por lo que se obtiene:

6.8.7. Análisis de estabilidad global Talud 18.

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para el talud 18, siendo de Tobas Andesíticas con medio grado de meteorización ubicado en la abscisa 9+100, se calcula un factor de seguridad $FS = 1.005$, lo cual indica que el talud se encuentra bajo de un rango estable.

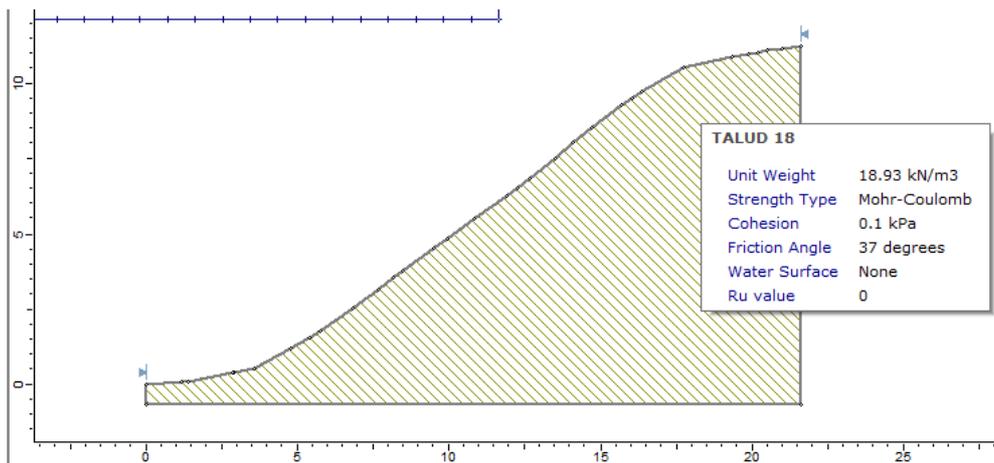


Figura 82: Diseño del talud 18 para análisis de estabilidad global

Fuente: La autora, 2020

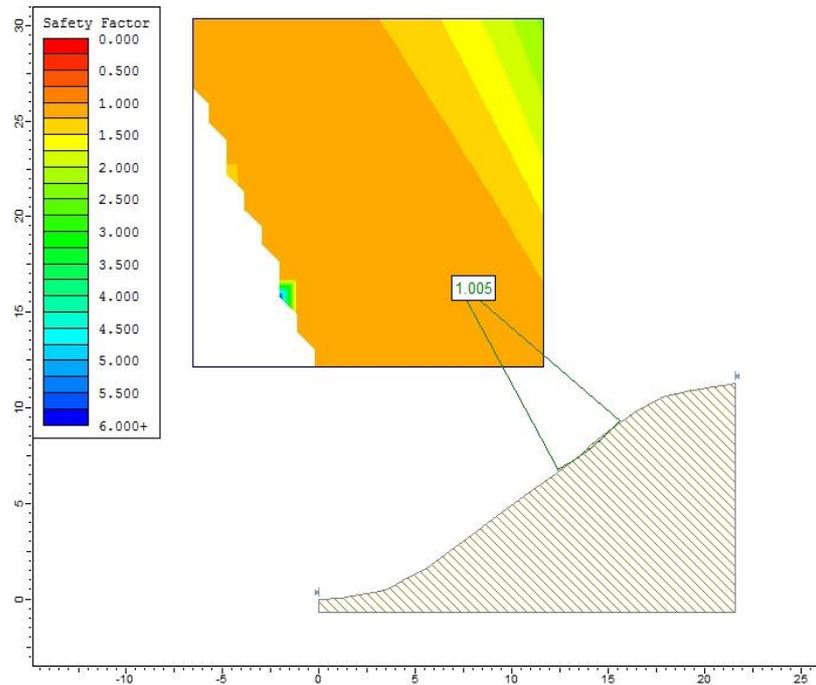


Figura 83: Análisis de rotura general para el talud 18.

Fuente: La autora, 2020

6.9. Análisis de estabilidad global Talud D-1.

De acuerdo al análisis de estabilidad global realizado para el Deslizamiento D-1, siendo de Coluvio de tobas dacíticas en la abscisa 6+200, se calcula un factor de seguridad $FS=0.902$, lo cual indica que el talud se encuentra bajo de un rango estable.

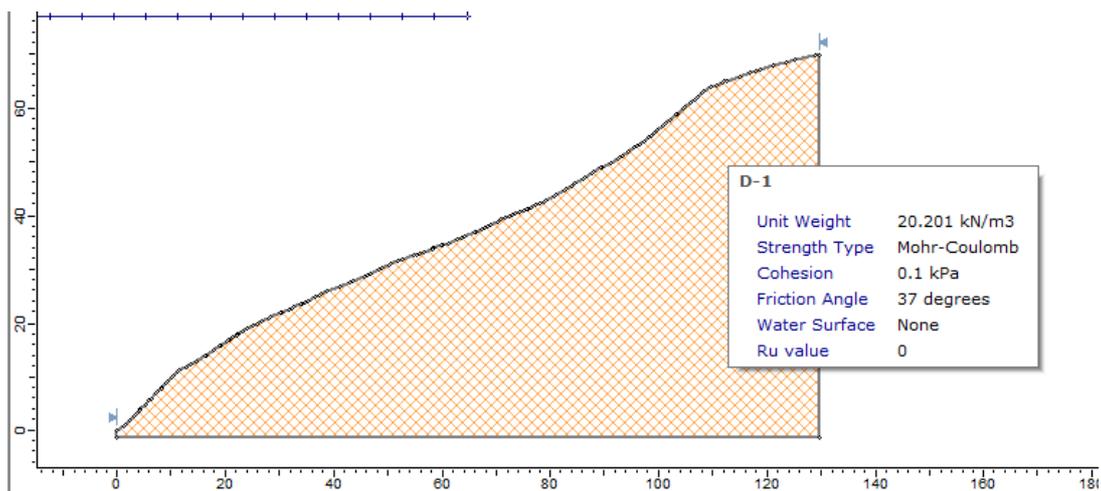


Figura 84: Diseño del talud para análisis de estabilidad global.

Fuente: La autora, 2020

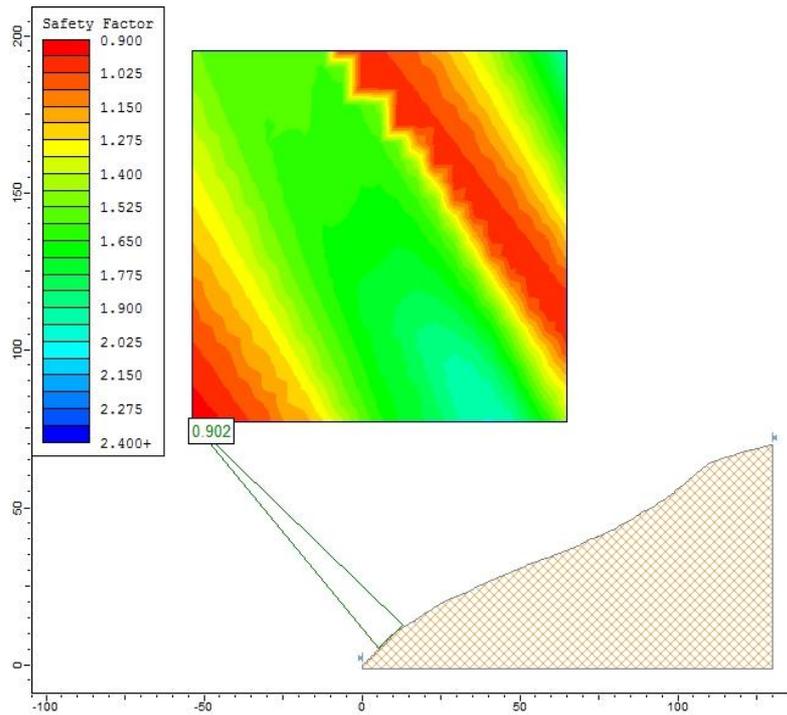


Figura 85: Análisis de rotura general para el talud.

Fuente: La autora, 2020

6.10. Resumen de análisis de estabilidad global.

En la siguiente tabla se muestra un resumen con los resultados del FS para todos los taludes analizados en condiciones secas.

Tabla 61: Resumen de resultados de RMR

Talud	BISHOP SIMPLIFIED	JANBU SIMPLIFIED	SPENCER
4.a	2.656	2.540	2.653
4.b	2.878	2.757	2.876
6	2.195	2.36	4.002
8	3.228	3.129	3.220
12	1.004	1.022	1.049
14	78.67	75.70	78.67
18	0.902	0.832	0.833
D-1	0.992	0.989	0.99

Fuente: La autora, 2020

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo investigativo se realizó con el fin de obtener las características geotécnicas del tramo de vía 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja, para conocer su actual estado de estabilidad de los taludes, siendo la vía conexión a importantes sectores productivos como: El Tambo, La Capilla, San Bernabé, La Era, San Agustín, La Merced, Naranjo Dulce y otros, dado el intercambio comercial, especialmente el transporte de sus productos agropecuarios.

Para el levantamiento topográfico se realizó mediante el uso de un Vehículo aéreo no tripulado (alimentación eléctrica) tipo Fixed Wing con cámara fotográfica de alta resolución y GPS Dual integrado, donde se obtuvo un set de fotos aéreas con geolocalización del tramo, generación de la ortofoto, el modelo 3D, así como las curvas nivel; se definieron 10 puntos de control en total, los cuales fueron levantados por los técnicos con GPS de precisión, con el fin de realizar un ajuste en el post-proceso. Los puntos fueron tomados con tableros de color negro con azul colocados sobre el terreno, adicionalmente marcas con pintura azul en la vía, para que el reconocimiento en el proceso fotogramétrico por parte del software sea mucho más eficiente, realizado con un error de 0.01m. En relación a la altura de vuelo y de los datos de posición de cada una de las fotos, se generó el procesamiento inicial y cálculo de resolución óptima (10 cm/pixel). El procesamiento de los datos se los realizó utilizando el sistema de coordenadas WGS 84 UTM zona 17S.

Con respecto a la litología mencionada, se determinó que desde la absica 6+060 a 6+200, existe un deslizamiento antiguo, actualmente activo, el detonante principal del mismo es el agua, corroborándose con el SPT 1, donde se obtuvo como resultado una compacidad de compacta a densa con una carga admisible de hasta 6Kg/m², siendo arenas arcillosas localizando el NF a los 5m de profundidad. El material coluvial deslizado geomorfológicamente se cataloga como colinas altas CA.

En la abscisa 6+300, se encuentra un contacto entre toba dacítica y toba andesítica con un relleno de 9cm de lutita grisácea, además de micropligues que buzan hacia el NW, en el pie del afloramiento, su disposición es perpendicular a la superficie terrestre, Los pliegues inclinados representan una reducción del área ocupada inicialmente por los estratos. En la abscisa 6+700, se encuentra un deslizamiento de tipo traslacional de toba andesítica, es un deslizamiento reciente del 2018, que afectó al Canal de riego “La

Era”, el material geomorfológicamente se cataloga como relieve montañoso. Y por último, en la abscisa 9+100, existe otro deslizamiento de tipo rotacional reciente y activo, realizando un SPT, dio como resultado una compacta de compacta a dura, con una carga admisible de hasta 3.50 Kg/m², catalogándose como arcillas de alta plasticidad con una humedad a los 5m de 32%.

El tramo de vía estudiado tiene las siguientes características geológicas-geotécnicas:

En cuanto al levantamiento geológico – estructural no se han identificado la falla El Tambo que posiblemente afecte a la infraestructura vial, con N27°W/54NE., además de estructuras sedimentarias como pliegues puntualmente al final del tramo con N60°W/35SE.

Con respecto a los ensayos de compresión, el testigo de roca arrojó en dato de compresión más bajo de 10.14Mpa, referente al talud 12, siendo el denominado D-2, a diferencia del talud 14, con el valor de resistencia a la compresión simple más alto con 60.91.

Incluyendo las líneas de refracción sísmica, LRS-1, presenta que la capacidad de carga q_a va desde 0.70 Kg/cm² hasta 6.00Kg/cm², concordando con el ensayo SPT 1, un módulo de corte G_{din} desde 2358 Kg/cm² a 52 465 Kg/cm²; LRS-2 presenta que la capacidad de carga (q_a) va desde 0.67 Kg/cm² hasta 6.15Kg/cm², un módulo de corte G_{din} desde 2277 Kg/cm² a 52 849 Kg/cm²; LRS-3, con valores menores donde la capacidad de carga q_a va desde los 0.10 Kg/cm² hasta 1,25Kg/cm², diferente al ensayo SPT 2, un módulo de corte G_{din} desde 531 Kg/cm² a 4704 Kg/cm².

El cálculo RQD para los taludes presenta valores desde 42.2 correspondiente al talud 12 hasta el valor más alto de 57,39 correspondiente al talud 8. Todos con una calidad de roca Mala, a diferencia del Talud 8 y 14 con calidad Media.

Se realizó la clasificación RMR, dando valores para los taludes 4a, 4b, 6, 8, 12, 14 de 43.29, 48.07, 51.96, 47.08, 47.03, 58.03 respectivamente, además del análisis de estabilidad global para los taludes 4, 6, 8, 14, describen un factor de seguridad mencionados dentro de los rangos estables, a diferencia de los taludes 12 con FS= 1.004, 18 con FS= 0.988 y D-1 con 0.902, taludes con FS \leq 1, para condiciones secas.

8. CONCLUSIONES

De la presente investigación **“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”**, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- El proyecto se encuentra ubicado entre los cantones Catamayo y Loja, parte desde el puente de Indiucho en la vía Panamericana que une Catamayo con Gonzanamá y concluye en la parroquia de Malacatos con un total de 42km
- El cantón Catamayo predominan los climas tropical y subtropical, con temperaturas mínimas de 12 a 14°C, se presentan sobre la cúspide la cordillera de Los Andes, en la parte alta del cantón, en las cotas de 2600 a 2800 msnm, mientras que en la cabecera cantonal las temperaturas son mayores a 22°C, correspondiente a la cota 1200 msnm.
- De acuerdo con la cobertura vegetal del PDOT El Tambo, 2014-2019, el área de estudio comprende Bosque Libre, Matorral Alto Seco, Pastizales y Cultivos, mientras que su geomorfología comprende Colinas Bajas, donde la superficie de esta unidad geomorfológica es de 2.13 Ha con pendiente predominante es de <7°; Colinas Medias, donde la superficie de esta unidad geomorfológica es de 11.39 Ha y pendiente predominante es de 7-13°; Colinas altas con 22.70 Ha con pendiente predominante de hasta 20°; Montañas bajas con 2.13 Ha. Se encuentra en el centro-norte del área de estudio, presentando materiales volcánicos de la Unidad Huayco. La pendiente predominante menor a 35° y, relieve montañoso con 12.03 Ha, la pendiente predominante mayor a 35°.
- Se identificaron tres deslizamientos dentro del área de estudio, el D-1 que es de tipo rotacional, es un depósito coluvial de tobas dacítica, antiguo y se encuentra activo, tiene un volumen de 129416,54m³, con un área de 30298.025m². El D-2 deslizamiento es de tipo traslacional, está conformado de toba andesítica, es reciente y se encuentra latente. Se observan las formas recientes del deslizamiento. Posee una distancia desde el pie del movimiento al escarpe principal de 110m. Tiene una forma de escarpe principal no evidente y tiene forma lanceolada (forma de lanza), Tiene una morfología escalona y se encuentra localmente seco. En cuanto a sus dimensiones aproximadas tiene un volumen de 9 7216.56m³, con un área de 15243.021m². El D-3 es de tipo rotacional, está conformado de lutitas con

intercalaciones de areniscas, es reciente y se encuentra activo. En cuanto a sus dimensiones aproximadas tiene un volumen 7016.06m^3 , con un área de 4075.6m^2 .

- En cuanto a la topografía, El Tambo se encuentra segmentada en tres zonas: baja desde una altura de 1.200 hasta los 1.500 m s.n.m, donde se encuentra los sistemas productivos más relevantes; la media: hasta los 1.700 m s.n.m y, la alta entre los 2.100 - 3.200 m s.n.m, mencionando concretamente el área de estudio las alturas van de 1680 m s.n.m a 1720 m s.n.m.

- En el área de estudio prevalece la clase de pendiente media abarcando un área de 31.48Ha, con un porcentaje de 50.38%, ubicándose a lo largo del tramo de estudio, el 26.858% corresponde a Pendiente Baja con 16,7Ha, ubicándose en la parte sur de tramo, luego con el 19.8% que corresponde a Pendiente Alta con un área de 12.39Ha, ubicándose en la parte Norte-Centro del tramo, luego pendiente Muy Baja con un 1.54% que corresponde a 0.96 Ha, que se ubica al final de tramo y por último Pendiente Muy Alta que abarca 0,86Ha con un 1,37%.

- Regionalmente El área se encuentra dentro de la Unidad Huayco, consistiendo de aglomerados con clastos de andesitas porfírica en matriz arenosa, con intercalaciones de flujos de brechas volcánicas, su edad se estima como Miocénica, y estructuralmente la zona de estudio se encuentra al Noroeste dentro del Bloque La Merced, que está limitado al norte por la falla San Agustín, al este por las fallas El Tambo y San Francisco y al oeste y al suroeste por la falla Solanda. Al nororiente la falla inversa El Tambo, con dirección variable entre N-S y ENE-WSW y buzamiento entre este y noreste. Su prolongación sur al ingresar en la cuenca muestra una dirección NW-SE y buzamiento al noreste, donde toma el nombre de Picota.

- Localmente, el área se encuentra conformado por toba dacítica, toba andesítica, lutitas y lutitas con intercalaciones de areniscas, depósitos coluviales, rocas Vulcanosedimentarias: brechas y aglomerados volcánicos, Depósito Aluvial y material de relleno.

- Se obtuvieron cinco muestras de rocas y un testigo de roca del talud 12, se realizaron los respectivos ensayos de compresión con valores desde 10Mpa a 60Mpa, así como el cálculo de sus respectivas propiedades físicas.

- Se realizaron tres líneas sísmicas ubicadas inicio, centro y fin respectivamente, con una amplitud de 30m cada una, además de dos ensayos SPT al inicio y fin del tramo, por presentar condiciones para la ejecución del mismo.

- Los métodos de prospección geofísica resultan muy exactos a la hora de establecer profundidades de los estratos, mientras que, el método SPT, permite determinar (como un método invasivo) las características de cierto estrato, a cierta profundidad, o a la profundidad a la cual se realice la perforación. De ahí que, la geofísica determina las características geotécnicas generales de un terreno, a diferencia del método SPT, que solo nos permite determinar las características del terreno, pero en cierto punto en particular, esto no resultado del todo exacto, cuando se analizan suelos de material heterogéneo.
- Los valores obtenidos en el ensayo de refracción sísmica son la potencia de la capa (m), Velocidad de ondas P (Vp), Velocidad de Ondas (Vs), Módulo estático, dinámico y deformación, Módulo de cizallamiento, Número de golpes, Capacidad de carga según Mayerhoff y Uyanick, además de Ángulo de rozamiento interno de Dunham y Osaki.
- La L.R.S.1 y L.S.R.2 presenta tres capas y L.S.R.3 con dos capas, cada una con sus respectivos valores mencionados.
- Los parámetros que intervienen en las clasificaciones RMR y GSI en el campo, deben tener similitud y si existen dudas sobre la valoración de las discontinuidades o del macizo estas deben ser aclaradas en el campo y no cuando se hace el trabajo de oficina, ya que se obtienen mejores resultados de aplicación basado en el estado de fracturamiento y calidad de las discontinuidades. Malas interpretaciones de datos llevan a resultados inesperados, por lo tanto realizar un levantamiento correcto.
- Se realizó el cálculo RQD, para los taludes 4a con un RQD de 42,35, 4b con 49.03, 6 con un RQD de 48.46, 8 con un RQD de 57,39, 12 con 42,2, y, 14 con 59,6. Todos con una calidad de roca Mala, a diferencia del Talud 8 y 14 con calidad Media.
- Se realizó la clasificación RMR, dando valores para los taludes 4a , 4b, 6, 8, 12, 14 de 43.29, 48.07, 51.96, 47.08, 47.03, 58.03 respectivamente, además se obtuvieron parámetros generales de estabilidad por método Hoek and Brown ajustado al criterio Mohr-Coulomb.
- Se utilizaron valores resultantes del ensayo de refracción sísmica para la modelación y obtención del FS de los taludes 18 y D-1; además, el análisis global de cada talud, dando como resultado un FS dentro de los rangos estables, a diferencia de los taludes 12 con FS= 1.004, 18 con FS= 0.98 y D-1 con Fs= 0.99, que tiene un FS <1, considerando condiciones secas.
- Por lo tanto, conforme al cumplimiento de los objetivos, el tramo se encuentra ESTABLE a excepción de las abscisas 6+200, 7+800 y 9+100, con valores de $F_s \leq 1$.

9. RECOMENDACIONES

Dado los resultados obtenidos del análisis geológico-geotécnico durante la investigación, es necesario presentar las siguientes recomendaciones:

- Realizar ensayos de laboratorio tales como: consolidación, compresión simple, ensayo triaxial y corte directo para suelos, de tal manera que permita obtener parámetros mecánicos de forma directa y correlacionarlo con los resultados obtenidos de manera indirecta.
- Considerar una futura investigación en base al análisis de minerales de arcilla mediante ensayos de hinchamiento libre y de hidrómetro para caracterizar los materiales finos, para identificar el tipo de arcilla y especificar el potencial de cambio de volumen.
- Se recomienda incrementar la profundidad de prospección para determinar la variabilidad de las propiedades de los geomateriales.
- Por efectos prácticos, realizar mayor cantidad de estudios de prospección geofísica o sísmica de refracción, por resultar mucho más eficaz, puesto que son métodos no invasivos, el régimen hidrológico complejo, la humedad ambiental y la temperaturas oscilan entre media y alta, la geología compleja, la topografía escarpada.
- Considerar como puntos de acción inmediata a los taludes 12, 18 y D-1, además de su respectivo monitoreo, ya que en campo se ha presenciado caída de rocas a la vía, dificultando el paso vehicular normal, además de considerar jornadas de limpieza.
- De forma general se plantea para el talud 12 realizar la conformación del taludes con pendientes inferiores a 1.5H: 1V ya que por el espaciamiento de las discontinuidades se requieren pendientes menores, y con alturas entre bermas superiores a no mayor 7.0 metros y anchos de berma de mínimo 4.0 metros, las condiciones de drenaje superficial, de forma de tener a lograr un equilibrio de masas y por ende un aumento del FS.
- Para D-1, se recomienda construir obras complementarias como zanjas en la parte superior de la corona del talud, además de subdrenes de zanja siendo efectivos para estabilizar el deslizamiento de depósito coluvial, además de construir taludes con pendientes no superiores a 1H: 1V y las alturas entre bermas no deben ser superiores a 5.0 metros. y para el talud 18, se recomienda muros de contención

convencionales, con buena calidad de cementación, considerando una potencia de forma que resulte eficiente la estabilización, además del retiro del material deslizado.

- Incluir todas las obras necesarias en un presupuesto de medidas de estabilización de taludes para la vía Intervalles.

10. BIBLIOGRAFÍA

Bieniawski von Preinl, R. (2011). *Errores en la aplicación de clasificaciones geomecánicas y su corrección*. USA: Bieniawski Design Enterprises.

Constitución de la República del Ecuador. (2008).

Auge, M. (2004). Hidrogeología Ambiental. 295. Buenos Aires, Argentina. Obtenido de <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/HidroGeoAmb.pdf>

Belousov, V. (1979). *Geología Estructural Segunda Edición*. Rusia: Editorial MIR MOSCU.

Bienaswki, Z. (1989). *Engineering rock mass classifications*. Cánada: John Wiley & Sons.

Braja, D. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: Cengage Learning Latin Am.

Braja, M. (2011). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*. Mexico.

Braja, M. (2012). *Fundamentals of Geotechnical Engineering, 4th Edition*. Cengage Learning.

Cruden. D and Varnes, D. (1996). *Tipos y procesos de deslizamientos de Tierra*. Washington DC, USA: Informe especial.

D.U. Deere, A.J. Hendron, F.D. Patton, & E.J. Cording. (1967). *Design Of Surface And Near-Surface Construction In Rock*. New York: Society of Mining Engineers of AIME.

Deere, D. U. (1967). *Technical description of rock cores for engineering purposes*.

Demek, J. (1972). *Manual of detailed geomorphological mapping*. Praga: Prague : Academia, Publishing House of the Czechoslovak Academy of Science.

- Díaz, J. S. (1998). *Análisis de Estabilidad: Modelos conceptuales*. México: Instituto De Investigacion.
- Díaz, J. S. (1998). *Modelos de Análisis de Estabilidad*. Bucaramanga-Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Escobar, D. (2013). *Manual de Geología para Ingenieros*. Colombia: Universidad de Colombia.
- Escobar, G. D. (2017). *Manual de geología para ingenieros*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/408/manualgeo.pdf>
- Fattorelli, S., & Fernandez, P. (2011). *Diseño Hidrológico*. Padova,Italia: Edición Digital.
- Fernández Lozano, J., & Gutierrez Alonso, G. (2016). *Apliaciones Geológicas de los drones*. España: Revista de la Sociedad Geológica de España.
- Flores, W. A. (2014). *Aplicación de la piedra de miraflores como sistema constructivo en el proyecto de hospedaje turístico del Distrito de Miraflores-Yauyos-Lima*. Obtenido de http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/364/TARQ_50.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- García, Á. M.-S. (2017). *El Mapa Geomorfológico. Una cartografía geológica peculiar y útil*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. Obtenido de <http://www.rsehn.es/cont/publis/boletines/379.pdf>
- García, D. A. (2014). *Topografía y sus aplicaciones*. México: Compañía Editorial Continental.
- Garzón Roca, J., & Torrijo Echarri, F. (2018). *Análisis cinemático de la estabilidad de taludes en roca por rotura cuneiforme*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/103669/Garzón%3BTorrijo%20-%20Análisis%20cinemático%20de%20la%20estabilidad%20de%20taludes%20en%20roca%20por%20rotura%20cuneiforme.pdf?sequence=1>
- Garzón Roca, J., & Torrijo Echarri, F. (2018). *Análisis cinemático de la estabilidad de taludes en roca por vuelco (toppling)*. Obtenido de

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/103394/Garzón%3BTorrijo%20-%20Análisis%20cinemático%20de%20la%20estabilidad%20de%20taludes%20en%20roca%20por%20vuelco%20%28toppling%29.pdf?sequence=1>

Garzón Roca, J., & Torrijo Echarri, F. (2018). *Análisis cinemático de la estabilidad de taludes en rocas por rotura plana*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/103391/Garzón%3BTorrijo%20-%20Análisis%20cinemático%20de%20la%20estabilidad%20de%20taludes%20en%20roca%20por%20rotura%20plana.pdf?sequence=1>

Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Loja. (2015). Descripción General del Proyecto. Loja, Loja, Ecuador.

González de Vallejo, L. (2004). *Ingeniería Geológica Cap II: Mecánica de suelos, Cap III: Mecánica de Rocas*. Madrid.

Guamán, M., Díaz, J., & Saritama, J. (2019). *Levantamiento Fotogramétrico aéreo tramo Vía Intervalles, Sector La Era, cantón Catamayo*. Loja: SETIAGROUP S.A.

Herrera Herbert, J., & Castilla Gómez, J. (2012). *Utilización de técnicas de sondeos en estudios geotécnicos*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Herrera Rodríguez, F. (2003). *Análisis de estabilidad de taludes*. Obtenido de <http://geotecnia2000.com/.cm4all/iproc.php/Serie%20Geotecnia%20-%20Análisis%20de%20Estabilidad%20de%20Taludes%20Roccosos.pdf?cdp=a>

Hoek, E. C.-T. (2002). *El criterio de rotura de Hoek-Brown, 2002*. Madrid: In Carlos Lopez.

Hubb, J. n. (2011). *Diccionario Geomorfológico*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.

Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (1988). *Estabilidad de taludes en la minería de hulla y antracita a cielo abierto de España*. Madrid: REPROGRAFICAS ALMANSA S.A.

Jaramillo, I. (2014). *MANUAL DE ENSAYO CORTE DIRECTO*. Valparaíso: Universidad Católica de Valparaíso.

Jauregui, L. (1997). *Introducción a la Topografía*. México.

Lopez Avalos, J. M., Mejía Carrillos, J. A., & Vega, N. D. (Marzo de 2008). *Aplicación del método de refracción sísmica para la determinación de velocidades de ondas P*. Obtenido de <https://ri.ues.edu.sv/4379/1/Aplicación%20del%20método%20de%20refracción%20sísmica%20para%20la%20determinación%20de%20velocidades%20de%20ondas%20P.pdf>

López Montabán, S. Y. (18 de mayo de 2016). *Ensayos geofísicos para la Exploración de Suelos en estructuras*. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6890>

MELENTIJEVIC, S. (2005). *Estabilidad de Taludes en Macizos rocosos con criterios de rotura no lineales y leyes de fluencia no asociada*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Menardi Lopez, R. (2003). *Determinación in situ de propiedades Ingenieriles de los Suelos y su relación con el ensayo normal de penetración*.

Ministerio del Ambiente. (2013). *Modelo de Unidades Geomofológicas para la representación cartográfica de ecosistemas del Ecuador continental*. Quito: MAE. Obtenido de <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL%20NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Geoformas.pdf>

Moncayo, J. V. (2015). *Análisis de la precisión de levantamientos topográficos mediante el empleo de vehículos no tripulados (UAV) respecto a la densidad de puntos de control*. Loja: UTPL.

Monné, J. L. (1997). *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*. Logroño-España: GEOFORMA Ediciones, S.L. .

Naranjo Aguay, H., & Dranichnikov, T. (2012). *Cálculo de capacidad portante basado en geofísica y método convencional: El caso del puente sobre el río Maicito*. Cuenca: Editorial Universitaria Abya-Yala .

Navarrete, E. (2005). *Apuntes de Geología General*.

- NEC. (2014). Geotécnica y Cimentaciones. Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. Obtenido de <https://online.portoviejo.gob.ec/docs/nec6.pdf>
- NEC. (2015). *Norma Ecuatoriana de Construcción*. Ecuador.
- Norma Ecuatoriana de Construcciones. (2015). *Guía práctica para la ejecución de estudios geotécnicos y trabajos de cimentación de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. Quito: Imprenta Activa.
- Orellana, E. (1972). *Prospección Eléctrica en Corriente continua*.
- Palmstrom, A. (2005). *Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality designation (RQD)*. Tunnels and Underground Space.
- Plan de Ordenamiento Territorial de Catamayo. (2014). *Gobierno Autónomo Municipal de Catamayo*. Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/11600004000_01_GADM%20Catamayo%20PDyOT%202014-2019_13-03-2015_21-07-42.pdf
- Ramírez Oyanguren, P. (2004). *Mecánica de rocas : fundamentos e ingeniería de taludes*. Madrid.
- Rodriguez Ruiz, P. (10 de Noviembre de 2010). <https://civilgeeks.com>. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2010/11/10/conceptos-y-elementos-de-un-canal/>
- Román, J. S. (2011). *Prospección Geofísica: Sondeos Eléctricos Verticales*. Salamanca, España: Dpto. de Geología Universidad Salamanca.
- Romana, M., Serón, J., & Montalván, E. (2001). La clasificación geomecánica SMR. V *Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, 13.
- Silva, L. (9 de Enero de 2017). *DronesWEB*. Obtenido de <https://www.dronesweb.net/ventajas-desventajas-los-drones/>
- Solís, B., Reyes, P., & Corrochano, D. (Agosto de 2017). *Revisión morfoestructural y tectónica del norte de la cuenca Malacatos-Vilcabamba (Mioceno, provincia de Loja, sur de Ecuador)*. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiJvIWoz7PkAhXFmVkkHYD2AvAQFjAAegQIABAB&>

[url=http%3A%2F%2Fgeolatitud.geoinvestigacion.gob.ec%2Ffojs%2Ffojs%2Findex.php%2FGeoLatitud%2Farticle%2Fview%2F2&usg=AOvVaw3el-dR](http://3A%2F%2Fgeolatitud.geoinvestigacion.gob.ec%2Ffojs%2Ffojs%2Findex.php%2FGeoLatitud%2Farticle%2Fview%2F2&usg=AOvVaw3el-dR)

- Solis, B., Reyes, P., & Corrochano, D. (2017). Revisión morfoestructural y tectónica del norte de la cuenca Malacatos-Vilcabamba (Mioceno, provincia de Loja, sur de Ecuador). *GEOLatitud*, 12.
- Suárez Díaz, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. En J. Suárez Díaz, *Capítulo 4 Metodología de análisis* (págs. 136-148). Bucaramanga – Colombia: Instituto De Investigación.
- Suárez, J. (2009). Cap. 3: Resistencia al cortante. En J. Suárez, *Deslizamientos: Análisis Geotécnico* (pág. 590). Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico Vol 1*. Santander, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Tarback, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física*. Madrid: PEARSON EDUCATION S.A.
- Universidad de La Plata. (2013). *Cátedra de Levantamiento Geológico*. Argentina.
- Universidad de La Plata. (2013). *Topografía*. Argentina.
- Vallejo, L. G. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid.
- Varnes, D. J. (1978). *Landslide Types and Processes*. E.B. Eckel.
- Villalaz Crespo, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa.
- Wyllie, D., & Mah, C. (2004). *Rock Slope Engineering 4th edition*. Reino Unido: Taylor & Francis e-Library.
- ZEDIFRAMA, C. (2014). *Plan de Ordenamiento Territorial Parroquia El Tambo 2014-2019*. Loja.

11. ANEXOS

Anexo 1. Fichas de puntos de control

Anexo 2. Reporte de procesamiento

Anexo 3: Ficha de afloramientos

Anexo 4: Ficha de inventario de deslizamientos

Anexo 5: Fichas de caracterización mecánica

Anexo 6: Resultados de Resistencia a la compresión simple

Anexo 7: Resultados de esclerometría en roca

Anexo 8: Resultados de propiedades físicas

Anexo 9: Resultados de sísmica de refracción

- Parámetros sísmica LRS-1
- Parámetros sísmica LRS-2
- Parámetros sísmica LRS-3

Anexo 10: Mapas

- Mapa de Ubicación y acceso.
- Mapa de Flujos Superficiales
- Mapa de Cobertura Vegetal
- Mapa de geomorfología
- Mapa topográfico Abscisa 6+100 a 7+800
- Mapa topográfico Abscisa 7+800-9+100
- Mapa de pendientes
- Mapa de Geología Regional
- Mapa de geología local Abscisa 6+100 a 7+800
- Mapa de geología local Abscisa 7+800-9+100

Anexo 1. Fichas de puntos de control

Levantamiento de puntos base GCP – con GPS de Precisión

SetiaGroup S.A			
Fotogrametría – Agricultura – Minería			
PROYECTO:			
“Levantamiento Fotogramétrico Aéreo Tramo Vía Intervalles – Sector La Era, Cantón Catamayo, a través de vehículos aéreos no tripulados”			
Realizado por: SetiaGroup.		Cliente: Sandra Alvarado	Fecha de Encuesta: 31/05/2019
Equipo: EMLID REACH	Procesado en: RTKLIB	Estación Referencia: Mojón #3 Ceibopamba-SETIA	Id Puntos: Punto Base
COORDENADAS UTM			
SIRGAS WGS84		PARAMETROS DE PROYECCIÓN	
Norte:	9535126.985	Proyección:	UTM
Este:	690933.353	Datum:	WGS84
Alt. Elips:	1600,8251	Zona:	17 S
COORDENADAS GEOGRÁFICAS (WGS84)			
Latitud: -4.20387495		Longitud: -79.27978958	
ALT. ORTHO (ELEVACIÓN N.M.M): 1583,604			
Ubicación: Tanque de Agua		Referencia Fotográfica	
			

Levantamiento de puntos 1 GCP – con GPS de Precisión

SetiaGroup S.A			
Fotogrametría – Agricultura – Minería			
PROYECTO:			
<p>“Levantamiento Fotogramétrico Aéreo Tramo Vía Intervalles – Sector La Era, Cantón Catamayo, a través de vehículos aéreos no tripulados”</p>			
Realizado por:		Cliente:	Fecha de Encuesta:
SetiaGroup.		Sandra Alvarado	31/05/2019
Equipo:	Procesado en:	Estación Referencia:	Id Puntos:
EMLID REACH	RTKLIB	Mojón #3 Ceibopamba-SETIA	Punto 1
COORDENADAS UTM			
SIRGAS WGS84		PARAMETROS DE PROYECCIÓN	
Norte:	9545297,5849	Proyección:	UTM
Este:	688401,8411	Datum:	WGS84
Alt. Elips:	1671,677	Zona:	17 S
COORDENADAS GEOGRÁFICAS (WGS84)			
Latitud: -4,111953907		Longitud: -79,302787194	
ALT. ORTHO (ELEVACIÓN N.M.M): 1654,6286			
Ubicación:		Referencia Fotográfica	
			

Levantamiento de puntos 2 GCP – con GPS de Precisión

SetiaGroup S.A			
Fotogrametría – Agricultura – Minería			
PROYECTO:			
“Levantamiento Fotogramétrico Aéreo Tramo Vía Intervalles – Sector La Era, Cantón Catamayo, a través de vehículos aéreos no tripulados”			
Realizado por: SetiaGroup.		Cliente: Sandra Alvarado	Fecha de Encuesta: 31/05/2019
Equipo: EMLID REACH	Procesado en: RTKLIB	Estación Referencia: Mojón #3 Ceibopamba-SETIA	Id Puntos: Punto 2
COORDENADAS UTM			
SIRGAS WGS84		PARAMETROS DE PROYECCIÓN	
Norte:	9544953,0839	Proyección:	UTM
Este:	6883889,180	Datum:	WGS84
Alt. Elips:	1652,1229	Zona:	17 S
COORDENADAS GEOGRÁFICAS (WGS84)			
Latitud: -4,115069426		Longitud: -79,302896983	
ALT. ORTHO (ELEVACIÓN N.M.M): 1635,0691			
Ubicación:		Referencia Fotográfica	
			

Levantamiento de puntos 3 GCP – con GPS de Precisión

SetiaGroup S.A			
Fotogrametría – Agricultura – Minería			
PROYECTO:			
“Levantamiento Fotogramétrico Aéreo Tramo Vía Intervalles – Sector La Era, Cantón Catamayo, a través de vehículos aéreos no tripulados”			
Realizado por: SetiaGroup.		Cliente: Sandra Alvarado	Fecha de Encuesta: 31/05/2019
Equipo: EMLID REACH	Procesado en: RTKLIB	Estación Referencia: Mojón #3 Ceibopamba-SETIA	Id Puntos: Punto 3
COORDENADAS UTM			
SIRGAS WGS84		PARAMETROS DE PROYECCIÓN	
Norte:	9544895,7222	Proyección:	UTM
Este:	688784,2044	Datum:	WGS84
Alt. Elips:	1652,3317	Zona:	17 S
COORDENADAS GEOGRÁFICAS (WGS84)			
Latitud: -4,115584805		Longitud: -79,301334737	
ALT. ORTHO (ELEVACIÓN N.M.M): 1635,2748			
Ubicación:		Referencia Fotográfica	
			

Levantamiento de puntos 4 GCP – con GPS de Precisión

SetiaGroup S.A			
Fotogrametría – Agricultura – Minería			
PROYECTO:			
“Levantamiento Fotogramétrico Aéreo Tramo Vía Intervalles – Sector La Era, Cantón Catamayo, a través de vehículos aéreos no tripulados”			
Realizado por: SetiaGroup.		Cliente: Sandra Alvarado	Fecha de Encuesta: 31/05/2019
Equipo: EMLID REACH	Procesado en: RTKLIB	Estación Referencia: Mojón #3 Ceibopamba-SETIA	Id Puntos: Punto 4
COORDENADAS UTM			
SIRGAS WGS84		PARAMETROS DE PROYECCIÓN	
Norte:	9544262,6909	Proyección:	UTM
Este:	688784,2044	Datum:	WGS84
Alt. Elips:	1654,4235	Zona:	17 S
COORDENADAS GEOGRÁFICAS (WGS84)			
Latitud: -4,121304927		Longitud: -79,299323842	
ALT. ORTHO (ELEVACIÓN N.M.M): 1637,3544			
Ubicación:		Referencia Fotográfica	
			

Levantamiento de puntos 5 GCP – con GPS de Precisión

SetiaGroup S.A			
Fotogrametría – Agricultura – Minería			
PROYECTO: “Levantamiento Fotogramétrico Aéreo Tramo Vía Intervalles – Sector La Era, Cantón Catamayo, a través de vehículos aéreos no tripulados”			
Realizado por: SetiaGroup.		Cliente: Sandra Alvarado	Fecha de Encuesta: 31/05/2019
Equipo: EMLID REACH	Procesado en: RTKLIB	Estación Referencia: Mojón #3 Ceibopamba-SETIA	Id Puntos: Punto 5
COORDENADAS UTM			
SIRGAS WGS84		PARAMETROS DE PROYECCIÓN	
Norte:	9544138,2693	Proyección:	UTM
Este:	689057,2379	Datum:	WGS84
Alt. Elips:	1656,4389	Zona:	17 S
COORDENADAS GEOGRÁFICAS (WGS84)			
Latitud: -4,122424777		Longitud: -79,296862537	
ALT. ORTHO (ELEVACIÓN N.M.M): 1639,3652			
Ubicación:		Referencia Fotográfica	
			

Levantamiento de puntos 6 GCP – con GPS de Precisión

SetiaGroup S.A			
Fotogrametría – Agricultura – Minería			
PROYECTO:			
“Levantamiento Fotogramétrico Aéreo Tramo Vía Intervalles – Sector La Era, Cantón Catamayo, a través de vehículos aéreos no tripulados”			
Realizado por: SetiaGroup.		Cliente: Sandra Alvarado	Fecha de Encuesta: 31/05/2019
Equipo: EMLID REACH	Procesado en: RTKLIB	Estación Referencia: Mojón #3 Ceibopamba-SETIA	Id Puntos: Punto 6
COORDENADAS UTM			
SIRGAS WGS84		PARAMETROS DE PROYECCIÓN	
Norte:	9543838,3874	Proyección:	UTM
Este:	688905,5108	Datum:	WGS84
Alt. Elips:	1658,8305	Zona:	17 S
COORDENADAS GEOGRÁFICAS (WGS84)			
Latitud: -4,125139489		Longitud: -79,298223206	
ALT. ORTHO (ELEVACIÓN N.M.M): 1641,7540			
Ubicación:		Referencia Fotográfica	
			

Levantamiento de puntos 7 GCP – con GPS de Precisión

SetiaGroup S.A			
Fotogrametría – Agricultura – Minería			
PROYECTO: “Levantamiento Fotogramétrico Aéreo Tramo Vía Intervalles – Sector La Era, Cantón Catamayo, a través de vehículos aéreos no tripulados”			
Realizado por: SetiaGroup.		Cliente: Sandra Alvarado	Fecha de Encuesta: 31/05/2019
Equipo: EMLID REACH	Procesado en: RTKLIB	Estación Referencia: Mojón #3 Ceibopamba-SETIA	Id Puntos: Punto 7
COORDENADAS UTM			
SIRGAS WGS84		PARAMETROS DE PROYECCIÓN	
Norte:	9543596,8550	Proyección:	UTM
Este:	988911,0561	Datum:	WGS84
Alt. Elips:	1656,318	Zona:	17 S
COORDENADAS GEOGRÁFICAS (WGS84)			
Latitud: -4,127323517		Longitud: -79,298168615	
ALT. ORTHO (ELEVACIÓN N.M.M): 1639,2373			
Ubicación:		Referencia Fotográfica	
			

Levantamiento de puntos 8 GCP – con GPS de Precisión

SetiaGroup S.A			
Fotogrametría – Agricultura – Minería			
Levantamiento Fotogramétrico Aéreo Tramo Vía Intervalles – Sector La Era, Cantón Catamayo, a través de vehículos aéreos no tripulados			
Realizado por: SetiaGroup.		Cliente: Sandra Alvarado	Fecha de Encuesta: 31/05/2019
Equipo: EMLID REACH	Procesado en: RTKLIB	Estación Referencia: Mojón #3 Ceibopamba-SETIA	Id Puntos: Punto 8
COORDENADAS UTM			
SIRGAS WGS84		PARAMETROS DE PROYECCIÓN	
Norte:	9543484,2070	Proyección:	UTM
Este:	688691,7626	Datum:	WGS84
Alt. Elips:	1625,067	Zona:	17 S
COORDENADAS GEOGRÁFICAS (WGS84)			
Latitud: -4,128346413		Longitud: -79,300141397	
ALT. ORTHO (ELEVACIÓN N.M.M): 1607,9861			
Ubicación:		Referencia Fotográfica	
			

Levantamiento de puntos 9 GCP – con GPS de Precisión

SetiaGroup S.A			
Fotogrametría – Agricultura – Minería			
PROYECTO:			
“Levantamiento Fotogramétrico Aéreo Tramo Vía Intervalles – Sector La Era, Cantón Catamayo, a través de vehículos aéreos no tripulados”			
Realizado por: SetiaGroup.		Cliente: Sandra Alvarado	Fecha de Encuesta: 31/05/2019
Equipo: EMLID REACH	Procesado en: RTKLIB	Estación Referencia: Mojón #3 Ceibopamba-SETIA	Id Puntos: Punto 9
COORDENADAS UTM			
SIRGAS WGS84		PARAMETROS DE PROYECCIÓN	
Norte:	9543281,9613	Proyección:	UTM
Este:	688901,6202	Datum:	WGS84
Alt. Elips:	1600,7054	Zona:	17 S
COORDENADAS GEOGRÁFICAS (WGS84)			
Latitud: -4,130171229		Longitud: -79,298247528	
ALT. ORTHO (ELEVACIÓN N.M.M): 1583,6195			
Ubicación:		Referencia Fotográfica	
			

Levantamiento de puntos 10 GCP – con GPS de Precisión

SetiaGroup S.A			
Fotogrametría – Agricultura – Minería			
PROYECTO:			
<p>“Levantamiento Fotogramétrico Aéreo Tramo Vía Intervalles – Sector La Era, Cantón Catamayo, a través de vehículos aéreos no tripulados”</p>			
Realizado por:		Cliente:	Fecha de Encuesta:
SetiaGroup.		Sandra Alvarado	31/05/2019
Equipo:	Procesado en:	Estación Referencia:	Id Puntos:
EMLID REACH	RTKLIB	Mojón #3 Ceibopamba-SETIA	Punto 10
COORDENADAS UTM			
SIRGAS WGS84		PARAMETROS DE PROYECCIÓN	
Norte:	9543161,9265	Proyección:	UTM
Este:	689087,2301	Datum:	WGS84
Alt. Elips:	1575,5316	Zona:	17 S
COORDENADAS GEOGRÁFICAS (WGS84)			
Latitud: -4,131253088		Longitud: -79,296573612	
ALT. ORTHO (ELEVACIÓN N.M.M): 1558,4426			
Ubicación:		Referencia Fotográfica	
			

Anexo 2: Reporte de procesamiento de datos para topografía

Levantamiento Fotogramétrico

Sector La Era, parroquia El Tambo

31 May 2019



Datos del levantamiento: Número de imágenes: 310

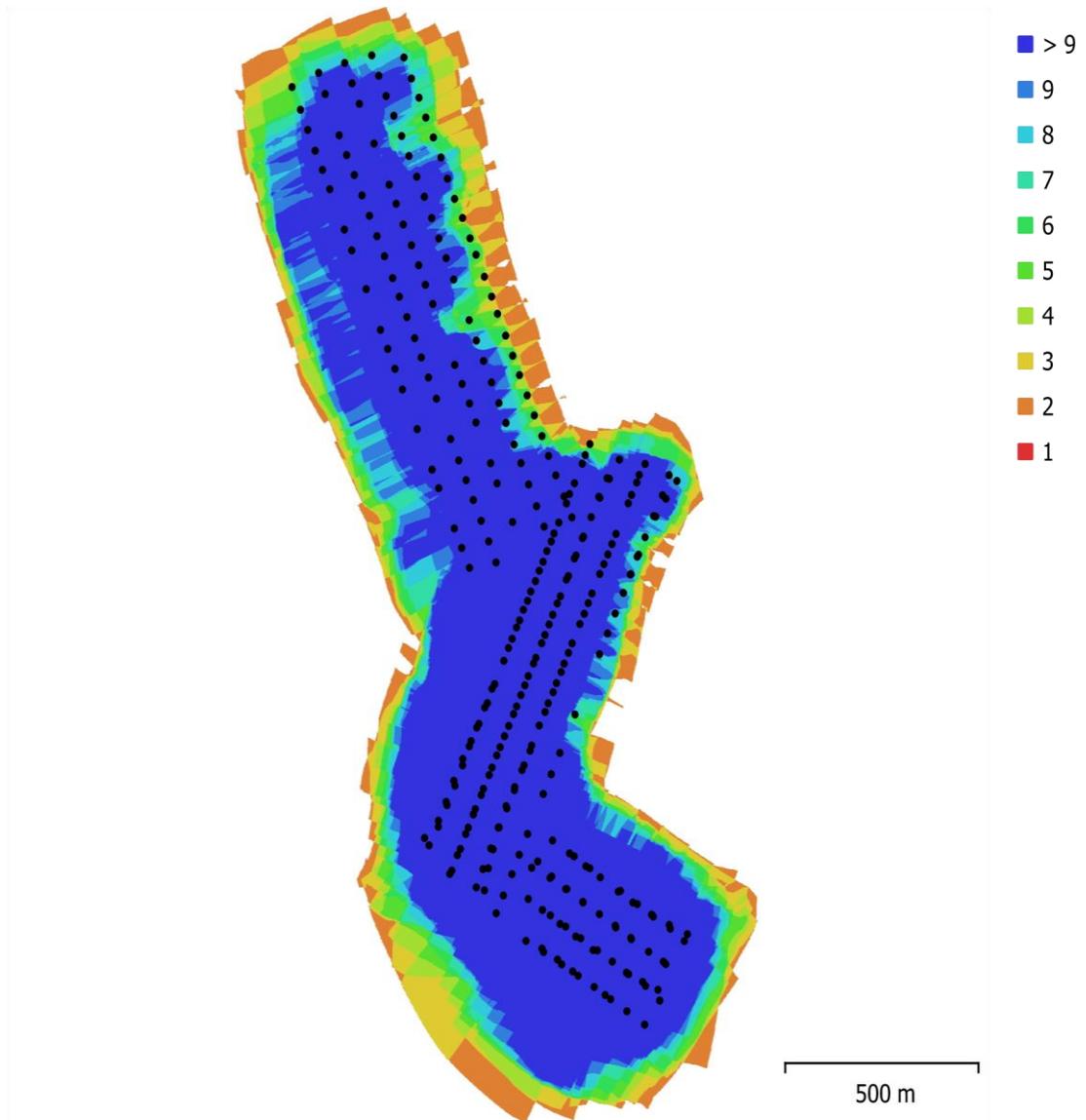


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

- Error de reproyección: 1.06 pix

- Altitud media de vuelo: 248 m
- Resolución en terreno: 6.92 cm/pix
- Superficie cubierta: 1.73 km²
- Posiciones de cámara: 310
- Puntos de enlace: 304,790
- Proyecciones: 953,08

Tabla 1. Cámaras.

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
NEX-5R (16mm)	4912 x 3264	16 mm	4.89 x 4.89 micras	No

Calibración de cámara

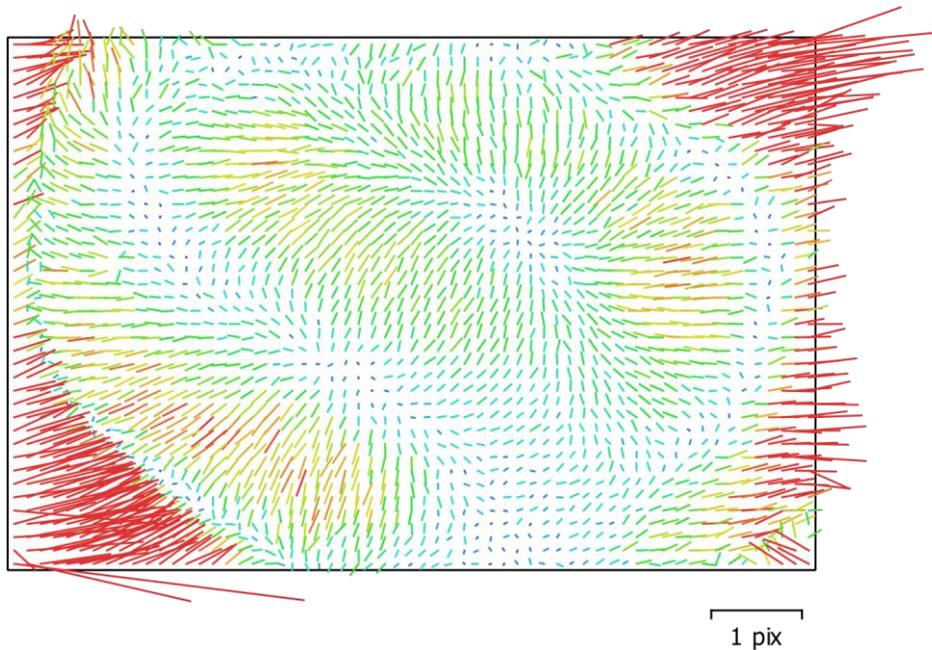


Fig. 2. Gráfico de residuales para NEX-5R (16mm).

NEX-5R (16mm)

310 imágenes

Puntos de control terrestres

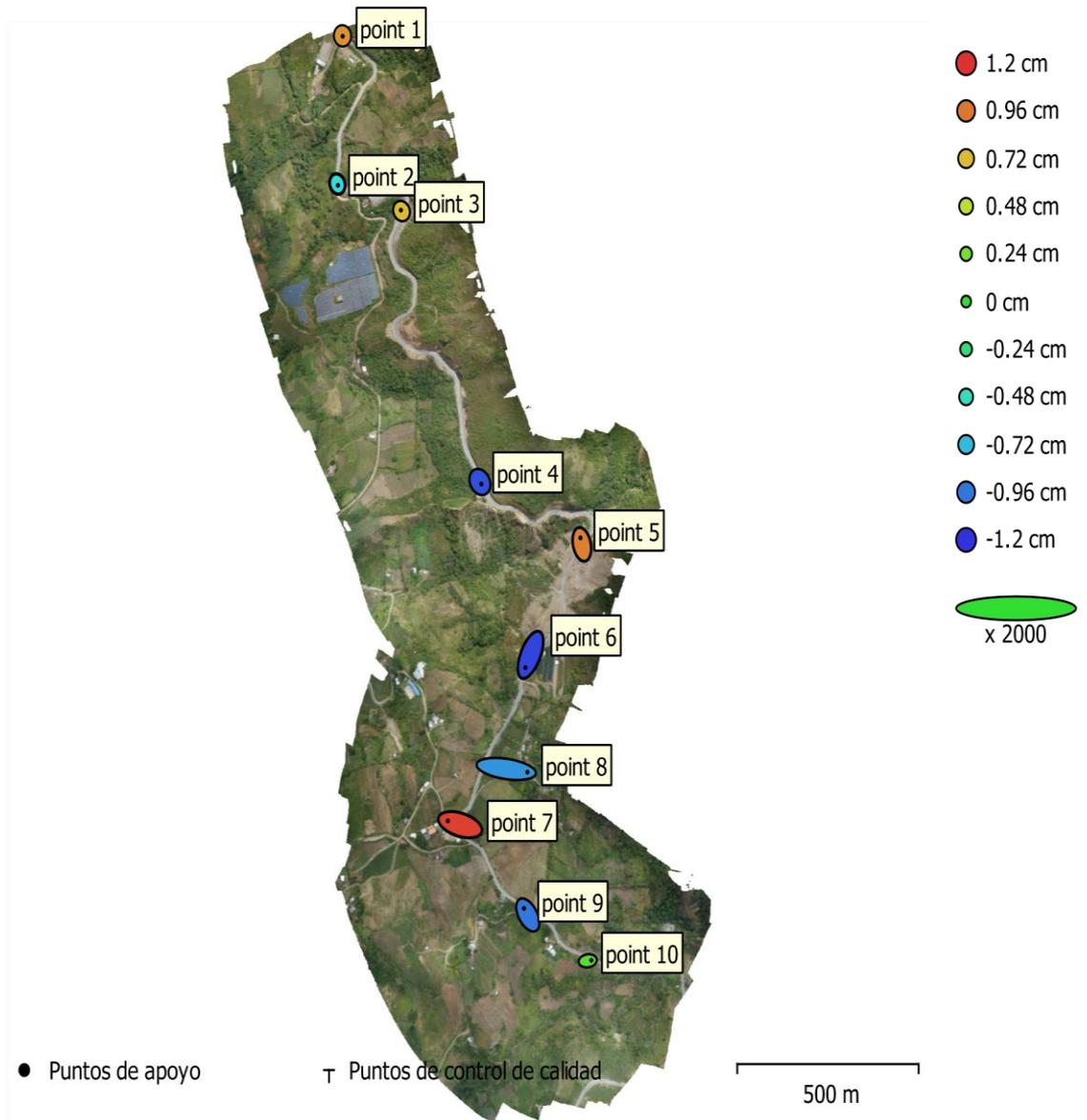


Fig. 3. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Posiciones estimadas de puntos de apoyo se indican con los puntos negros, puntos de control - con cruzamiento.

Número	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Total (cm)
10	2.23733	1.22581	0.890617	2.55113	2.70212

Tabla 3. ECM de puntos de apoyo.

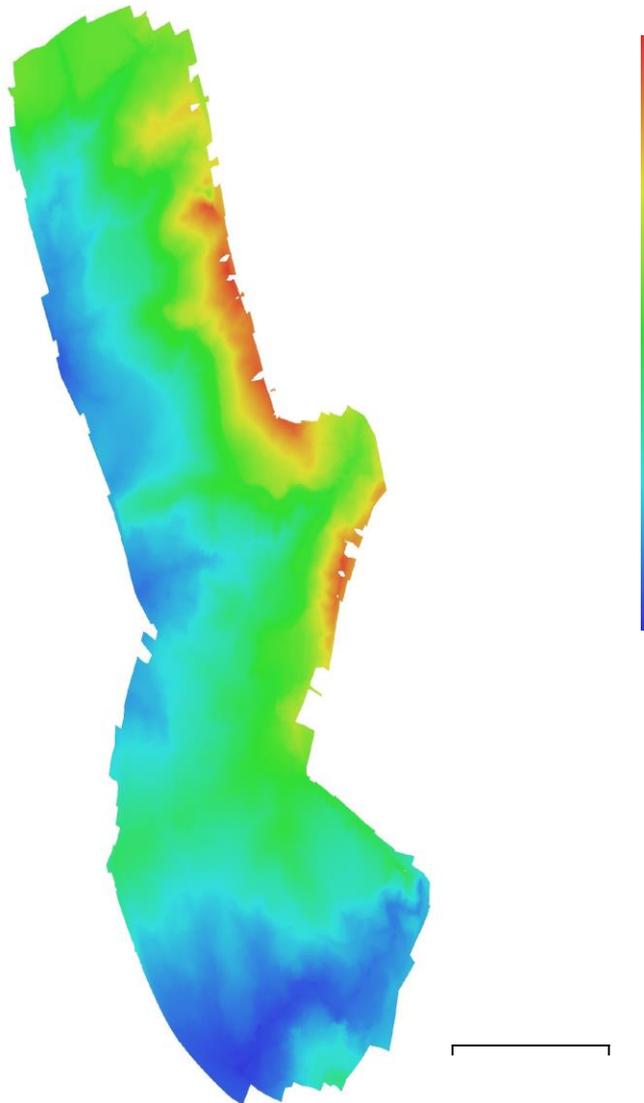
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nombre	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
point 1	0.0346316	- 0.107999	0.861586	0.869019	0.189 (2)
point 2	0.166294	- 0.318261	- 0.595769	0.695618	0.137 (15)
point 3	-0.180303	0.20513	0.713975	0.764427	0.122 (12)
point 4	0.406099	- 0.488804	-1.08891	1.26078	0.191 (15)
point 5	-0.394587	1.50437	0.928697	1.81144	0.107 (27)
point 6	-1.41407	-2.94799	-1.13562	3.4612	0.185 (26)
point 7	-3.39046	0.882133	1.15207	3.68791	0.235 (31)
point 8	5.83846	- 0.739395	- 0.852953	5.94659	0.288 (10)
point 9	-1.05421	1.52963	- 0.957649	2.09003	0.233 (39)
point 10	0.99036	0.117501	0.123438	1.00492	0.165 (35)

Total	2.23733	1.22581	0.890617	2.70212	0.193
-------	---------	---------	----------	---------	-------

Tabla 4. Puntos de apoyo. X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones



Resolución: 13.8 cm/pix

Densidad de puntos: 52.2 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	310
Cámaras orientadas	310
Marcadores Formas	10
Polilíneas	1121
Polígonos	3807
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Ángulo de rotación Nube de puntos	Guiñada, cabeceo, alabeo
Puntos	304,790 de 325,438
RMS error de reproyección	0.187533 (1.0582 pix)
Error de reproyección máximo	1.14944 (53.7544 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	4.92897 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos claves	No
Multiplicidad media de puntos de paso Parámetros de orientación	3.41801
Precisión	Alta
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de enlace por foto	4,000
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	No

Tiempo búsqueda de puntos homólogos	3 minutos 43 segundos
Tiempo de orientación Parámetros de optimización	2 minutos 5 segundos
Parámetros	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	Sí
Tiempo de optimización Mapas de profundidad	14 segundos
Número Parámetros de reconstrucción	310
Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Agresivo
Duración del procesamiento Nube de puntos densa	1 hora 36 minutos
Puntos	131,775,024
Colores de puntos Parámetros de reconstrucción	3 bandas, uint8
Calidad	Alta
Filtrado de profundidad	Agresivo
Tiempo de generación de mapas de profundidad	1 hora 36 minutos
Tiempo de generación de nube de puntos densa Modelo	1 hora 16 minutos
Caras	26,060,915
Vértices	13,041,185
Colores de vértices	3 bandas, uint8
Textura	4,096 x 4,096, 4 bandas, uint8

Parámetros de reconstrucción generales

Tipo de superficie	Bajorrelieve / terreno
Datos fuente	Densa
Interpolación	Habilitada
Calidad	Alta
Filtrado de profundidad	Agresivo
Número de caras	26,354,999
Duración del procesamiento Parámetros de texturizado	7 minutos 24 segundos
Modo de mapeado	Ortofoto
Modo de mezcla	Mosaico
Tamaño de textura	4,096 x 4,096
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	Sí
Tiempo de mapeado en UV	6 minutos 29 segundos
Tiempo de mezcla Modelo de teselas	28 minutos 4 segundos
Textura Parámetros de reconstrucción	3 bandas, uint8
Datos fuente	Malla
Tamaño de tesela	256
Número de caras	Alta
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Duración del procesamiento Modelo digital de elevaciones	1 hora 9 minutos
Tamaño	13,885 x 24,299
Sistema de coordenadas Parámetros de reconstrucción	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)

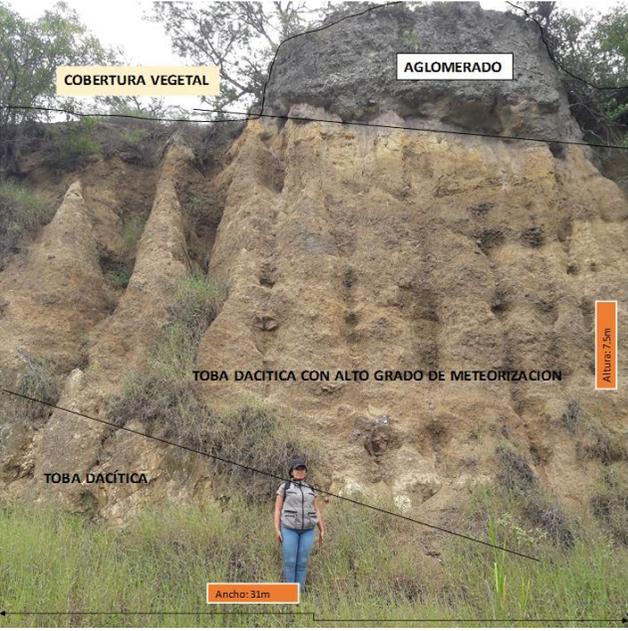
Datos fuente	Malla
Interpolación	Habilitada
Duración del procesamiento Ortomosaico	5 minutos 5 segundos
Tamaño	19,542 x 36,801
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Colores Parámetros de reconstrucción	3 bandas, uint8
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Modelo digital de elevaciones
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Duración del procesamiento Software	11 minutos 27 segundos
Versión	1.5.0 build 7492
Plataforma	Windows 64

Anexo 3: Ficha de afloramientos

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

					MUESTRA DE ROCA									
FICHA DE AFLORAMIENTOS														
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL														
PROYECTO		“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”												
AFLORAMIENTO	1	UBICACIÓN	LA ERA											
FECHA	9 DE MARZO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84											
COORDENADAS UTM	X	Y	Z											
	688474	9545245	1664											
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL		ANTROPICO	X										
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO													
DIMENSIONES	Alto	12m	ANCHO	49.75										
DATOS ESTRUCTURALES DEL AFLORAMIENTO	N40°W/42°SW													
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS														
CODIGO MUESTRA	GAYOT_1_AFL													
COLOR	CAFÉ CLARO													
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION MEDIA													
NOMBRE DE LA ROCA	TOBA DACÍTICA Y AGLOMERADO													
OBSERVACIONES	<p>El afloramiento presenta intercalaciones de Aglomerado y Toba Dacítica, la cual posee una textura porfírica con plagioclasas en forma de cristales de tamaño considerable redondeados, además que presenta mayor alteración y su coloración es blanco-amarillenta. Se encuentra manchada con hidróxido de hierro. Presenta una dureza media y se puede observar la acumulación de material erosionado además de vegetación en la parte superior e inferior. En la parte superior presenta aglomerado, presentando clastos subangulares mal clasificados de tamaño menor a 20cm, con una matriz mayor al 5% de arena, de coloración grisácea.</p>													
					AFLORAMIENTO									
														

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

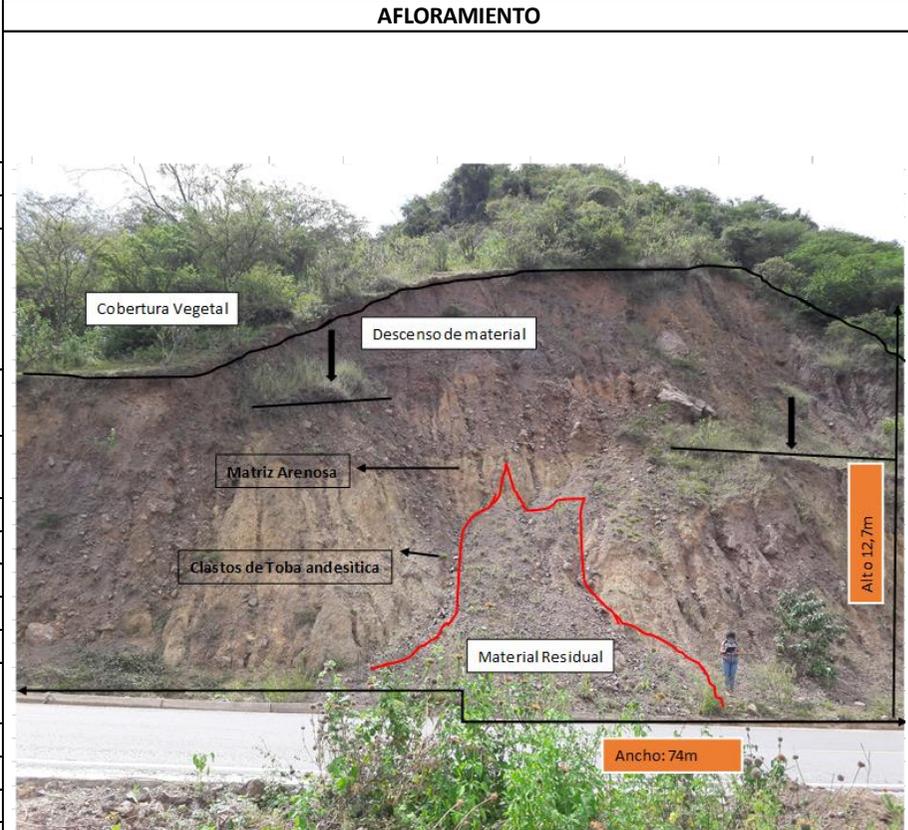
  				MUESTRA DE ROCA	
FICHA DE AFLORAMIENTOS					
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL					
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”				
AFLORAMIENTO	2	UBICACIÓN	LA ERA		
FECHA	9 DE MARZO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84		
COORDENADAS UTM	X	Y	Z		
	688299	9545096	1633		
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL		ANTROPICO	X	
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO				
DIMENSIONES	ALTO	7.5	ANCHO	31m	
DATOS ESTRUCTURALES DE AFLORAMIENTO	S68°E/35°SE				
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS					
CODIGO MUESTRA	GAYOT_2_AFL				
COLOR	CAFÉ CLARO				
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION BAJO-MEDIO				
NOMBRE DE LA ROCA	TOBAS DACÍTICA Y AGLOMERADO				
OBSERVACIONES	<p>El afloramiento presenta intercalaciones de Aglomerado y Toba Dacítica, la cual posee una textura porfíritica con plagioclasas en forma de cristales de tamaño considerable redondeados, además que presenta mayor alteración y su coloración es blanco-amarillenta. En la parte superior presenta aglomerado, presentando clastos subangulares mal clasificados de tamaño menor a 20cm, con una matriz mayor al 5% de arena, de coloración grisácea. Presenta una dureza media y se puede observar la formación de cárcavas por erosión y una acumulación de material residual, además existe vegetación en la parte superior e inferior del afloramiento.</p>				
					
	AFLORAMIENTO				
					

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

  Universidad Nacional de Loja					MUESTRA DE ROCA				
FICHA DE AFLORAMIENTOS									
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL									
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”								
AFLORAMIENTO	3	UBICACIÓN	LA ERA						
FECHA	9 DE MARZO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84						
COORDENADAS UTM	X	Y	Z						
	688403	9545066	1639						
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL		ANTROPICO	X					
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO								
DIMENSIONES	ALTO	4,6m	ANCHO	27m					
DATOS ESTRUCTURALES AFLORAMIENTO	N65°W/28°SW								
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS									
CODIGO MUESTRA	GAYOT_3_AFL								
COLOR	CAFÉ OSCURO								
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION MEDIO								
NOMBRE DE LA ROCA	DEPOSITOS COLUVIALES DE TOBA DACITICA								
OBSERVACIONES	<p>El afloramiento presenta a la toba Dacítica con alto grado de meteorización, presentandose como depósito coluvial de Toba dacítica-porfirítica, tamaño de grano heterogeneo conteniendo fenocristales. Presenta mayor alteración y su coloración es café oscuro, manchada con hidróxido de hierro. El material claro consta de minerales siálicos, pudiendo ser feldspatos potásicos y/o sódico-cálcicos; mientras que los minerales máficos se presentan en mínima cantidad. Se puede observar la estructura masiva en el afloramiento y cobertura vegetal en la parte superior e inferior del mismo.</p>								
									
									

  Universidad Nacional de Loja				MUESTRA DE ROCA			
FICHA DE AFLORAMIENTOS							
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL							
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”						
AFLORAMIENTO	4	UBICACIÓN	LA ERA				
FECHA	9 DE MARZO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84				
COORDENADAS UTM	X	Y	Z				
	688405	9544822	1630				
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL		ANTROPICO	X			
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO						
DIMENSIONES	ALTURA	7.5 m	ANCHO	77m			
DATOS ESTRUCTURALES AFLORAMIENTO	N80°W/57°SW						
DATOS ESTRUCTURALES CONTACTO	N35°E/42°SE						
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS							
CODIGO MUESTRA	GAYOT_4_AFL						
COLOR	CAFÉ OSCURO						
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION MEDIO						
NOMBRE DE LA ROCA	TOBA ANDESITICA CON MEDIO GRADO DE METEORIZACION						
OBSERVACIONES	<p>El presente afloramiento presenta un contacto litológico entre Toba dacítica-porfirítica y Toba Andesítica. La toba dacítica-porfirítica se presenta con presencia de hidróxido de Hierro, su coloración es café-rojiza, consta en mayor porcentaje de minerales máficos (píroxeno, hornblenda, epidotas), mientras que los minerales silícicos se presentan en menor presencia (feldespatos potásicos, sódico-cálcicos), mientras que la Toba andesítica cuyo componente químico-mineralógico es mayormente para los máficos, se presenta alterada y manchada con hidróxido de hierro; la composición de minerales silícicos (Feldespatos potásicos) es mínima (20%). Cabe recalcar que existe la presencia de lutitas de color grisáceo como relleno de contacto, con DB 125°/42°</p>						
			AFLORAMIENTO				
 							

  Universidad Nacional de Loja					AFLORAMIENTO				
FICHA DE AFLORAMIENTOS									
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL									
PROYECTO		“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”							
AFLORAMIENTO		5		UBICACIÓN		LA ERA			
FECHA		9 DE MARZO DE 2019		DATUM		UTM-WGS 84			
COORDENADAS UTM		X		Y		Z			
		688526		9544939		1645			
TIPO DE AFLORAMIENTO		NATURAL				ANTROPICO		X	
FORMACION/UNIDAD		UNIDAD HUAYCO							
DIMENSIONES		ALTO		12,7m		ANCHO		74m	
DATOS ESTRUCTURALES AFLORAMIENTO		N5°W/45°SW							
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS									
CODIGO MUESTRA		IDENTIFICADO EN CAMPO							
COLOR		CAFÉ OSCURO							
NOMBRE DE LA ROCA		DEPOSITO COLUVIAL DE TOBAS ANDESITICAS							
OBSERVACIONES		El afloramiento presenta una composición de clastos de toba andesítica con matriz arenosa, los granos se presentan como semiangulares con diámetro desde 1cm a 25cm. El afloramiento presenta un color café oscuro, una dureza baja, un porcentaje medio de meteorización. Se puede observar el descenso del material desde el inicio al final respectivamente, además de cobertura vegetal abundante.							



“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

  Universidad Nacional de Loja				AFLORAMIENTO			
FICHA DE AFLORAMIENTOS							
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL							
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”						
AFLORAMIENTO	6	UBICACION	LA ERA				
FECHA	9 DE MARZO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84				
COORDENADAS UTM	X	Y	Z				
	688528	9544819	1636				
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL		ANTROPICO	X			
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO						
DIMENSIONES	ALTURA	8,9m	ANCHO	169m			
DATOS ESTRUCTURALES MICROFALLAS	N27°W/54°NE						
DATOS ESTRUCTURALES AFLORAMIENTO	N2°W/50°SW						
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS							
CODIGO MUESTRA	RECONOCIDA EN CAMPO						
COLOR	CAFÉ MARRON GRISACEO						
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION BAJA						
NOMBRE DE LA ROCA	TOBA ANDESITICA CON MEDIO GRADO DE METEORIZACION						
OBSERVACIONES	El afloramiento presenta toba andesítica cuyo componente químico-mineralógico es mayormente para los máficos, se presenta alterada y manchada con hidróxido de hierro; la composición de minerales silíceos (Feldspatos potásicos) es mínima (20%, además presenta rasgos estructurales visibles. Se pudo observar un sistema de microfallas (4) paralelas que buzcan hacia el NE. Tiene bajo grado de meteorización y material residual. El afloramiento presenta cobertura vegetal en la parte superior e inferior y un color grisáceo.						
							

  Universidad Nacional de Loja		AFLORAMIENTO	
FICHA DE AFLORAMIENTOS			
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL			
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”		
AFLORAMIENTO	7	UBICACIÓN	LA ERA
FECHA	9 DE MARZO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84
COORDENADAS UTM	X	Y	Z
	688490	9544813	1610
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL	ANTROPICO	X
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO		
DIMENSIONES	ALTO	5m	ANCHO 10m
DATOS ESTRUCTURALES AFLORAMIENTO	N5°W/43°SW		
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS			
COLOR	GRISÁCEO		
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION MEDIA		
NOMBRE DE LA ROCA	TOBA ANDESITICA CON MEDIO GRADO DE METEORIZACION		
OBSERVACIONES	El afloramiento se presenta como una toba andesítica cuyo componente químico-mineralógico es mayormente para los máficos, se presenta alterada y manchada con hidróxido de hierro; se observa la cantidad de vegetación que cubre el afloramiento y, material residual al pie del mismo. Su coloración es grisácea.		



  				MUESTRA DE ROCA	
FICHA DE AFLORAMIENTOS					
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL					
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”				
AFLORAMIENTO	8	UBICACIÓN	LA ERA		
FECHA	9 DE MARZO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84		
COORDENADAS UTM	X	Y	Z		
	688553	9544621	1629		
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL		ANTROPICO	X	
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO				
DIMENSIONES	ALTO	13m	ANCHO	147m	
DATOS ESTRUCTURALES AFLORAMIENTO	N5°W/78°SW				
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS					
CODIGO MUESTRA	GAYOT_5_AFL				
COLOR	CAFÉ ROJIZO				
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION ALTA				
NOMBRE DE LA ROCA	TOBA BRECHOSA DE COMPOSICION ANDESITICA				
OBSERVACIONES	<p>El afloramiento presenta alto grado de meteorización, se constituye como una toba volcánica brechosa de composición andesítica cuyo componente químico-mineralógico es mayormente para los máficos como piroxenos, hornblenda y epidotas. Visiblemente el afloramiento se encuentra con meteorización media-alta y presencia de hidróxido de hierro; la composición de minerales síalicos (Feldespatos potásicos) es mínima (20%). Presenta una dureza media, un sistema de diaclasas y material residual al pie del afloramiento.</p>				
AFLORAMIENTO					
					

 		AFLORAMIENTO			
FICHA DE AFLORAMIENTOS					
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL					
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”				
AFLORAMIENTO	9	UBICACIÓN	LA ERA		
FECHA	9 DE MARZO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84		
COORDENADAS UTM	X	Y	Z		
	688739	9544413	1640		
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL		ANTROPICO	X	
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO				
DIMENSIONES	ALTO	9m	ANCHO	70m	
DATOS ESTRUCTURALES DE AFLORAMIENTO	N5°W/53°SW				
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS					
COLOR	CAFÉ ROJIZA				
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION MEDIA				
NOMBRE DE LA ROCA	TOBA ANDESITICA CON MEDIO GRADO DE METEORIZACION				
OBSERVACIONES	El afloramiento presenta medio grado de meteorización, se constituye como una toba volcánica de composición andesítica cuyo componente químico-mineralógico es mayormente para los máficos. Con composición químico-mineralógica máfica en mayor porcentaje y sílica en menor respectivamente. La coloración es café rojiza por oxidación. Se observa el material residual al pie del mismo y cobertura vegetal.				



  Universidad Nacional de Loja				AFLORAMIENTO			
FICHA DE AFLORAMIENTOS							
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL							
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”						
AFLORAMIENTO	10	UBICACIÓN	LA ERA				
FECHA	9 DE MARZO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84				
COORDENADAS UTM	X	Y	Z				
	688846	9544215	1640				
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL		ANTROPICO	X			
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO						
DIMENSIONES	ALTO	7m	ANCHO	15m			
DATOS ESTRUCTURALES AFLORAMIENTO	N55°W/75°SW						
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS							
COLOR	CAFÉ AMARILLENTO						
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION MEDIA						
NOMBRE DE LA ROCA	ROCAS VOLCANO-SEDIMENTARIAS: AGLOMERADOS Y BRECHAS VOLCANICAS						
OBSERVACIONES	El afloramiento se pueden apreciar clastos con diámetros desde <10cm hasta >1m, granos mal seleccionados y subangulares con matriz arenosa >5%, los granos se encuentran de forma inestable en el afloramiento, medio grado de consolidación. Presenta meteorización, material residual al pie del mismo.						





unl

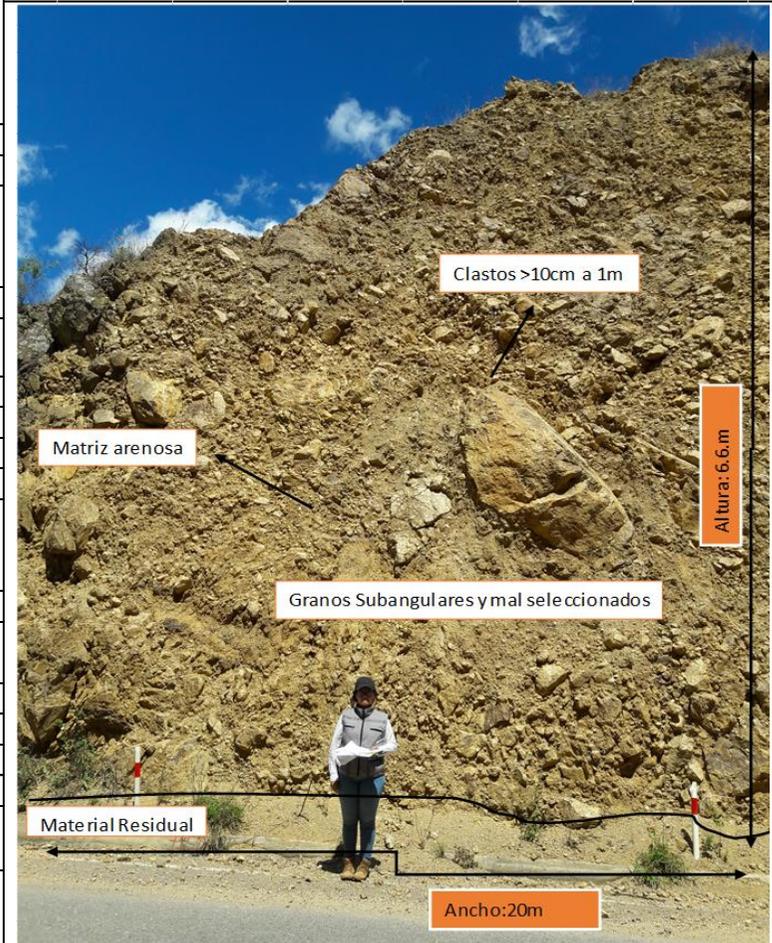
Universidad Nacional de Loja

FICHA DE AFLORAMIENTOS

GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”		
AFLORAMIENTO	11	UBICACIÓN	LA ERA
FECHA	23 DE JUNIO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84
COORDENADAS UTM	X	Y	Z
	688898	9544186	
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL	ANTROPICO	X
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO		
DESCRIPCION	Rocas Vulcano-sedimentarias		
DIMENSIONES	ALTURA	6.7m	ANCHO 20m
DATOS ESTRUCTURALES AFLORAMIENTO	N60°W/74°SW		
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS			
CODIGO MUESTRA	IDENTIFICADO EN CAMPO		
COLOR	Café Amarillento		
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION ALTA		
NOMBRE DE LA ROCA	ROCAS VOLCANO-SEDIMENTARIAS: AGLOMERADOS Y BRECHAS VOLCANICAS		
OBSERVACIONES	El afloramiento se presenta como tiene la presencia de clastos con diámetros desde <10cm hasta >1m, granos mal seleccionados y subangulares con matriz arenosa >5%, los granos se encuentran de forma inestable en el afloramiento, medio grado de consolidación. Presenta meteorización, material residual al pie del mismo.		

AFLORAMIENTO



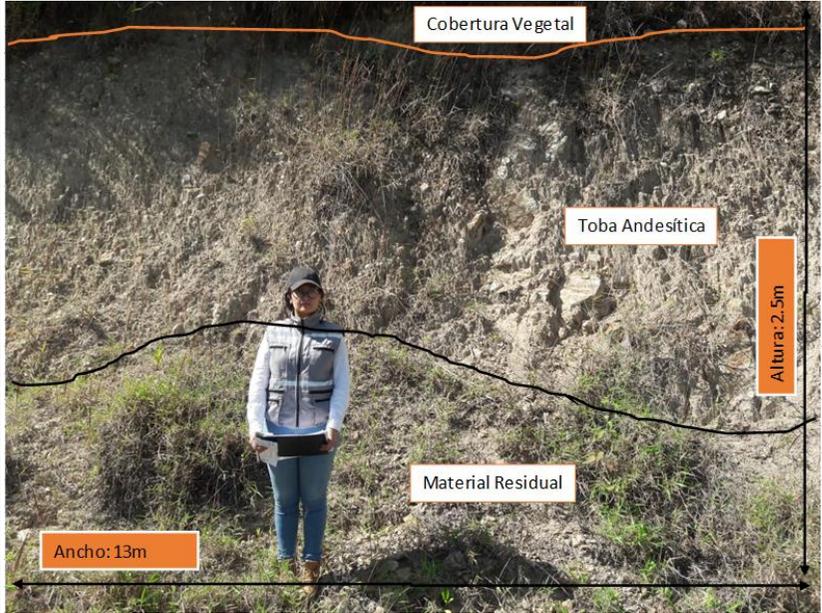
“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

  Universidad Nacional de Loja				MUESTRA DE ROCA			
FICHA DE AFLORAMIENTOS							
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL							
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”						
AFLORAMIENTO	12	UBICACIÓN	LA ERA				
FECHA	9 DE MARZO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84				
COORDENADAS UTM	X	Y	Z				
	689023	9544064	1638				
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL		ANTROPICO	X			
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO						
DIMENSIONES	ALTO	110m	ANCHO	250m			
DATOS ESTRUCTURALES DEL AFLORAMIENTO	N42°E/65°NW						
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS							
CODIGO MUESTRA	GAYOT_6_AFL						
COLOR	GRIS AMARILLENTO						
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION MEDIA						
NOMBRE DE LA ROCA	TOBA ANDESITICA CON MEDIO GRADO DE METEORIZACION						
OBSERVACIONES	<p>El afloramiento presenta medio grado de meteorización, se constituye como una toba volcánica brechosa de composición andesítica cuyo componente químico-mineralógico es mayormente para los máficos. Con composición químico-mineralógica máfica en mayor porcentaje y sílica en menor respectivamente. La coloración de roca fresca de café grisáceo. Presenta planos de diaclasamiento en su estructura. Se observa el material residual al pie del mismo.</p>						
				AFLORAMIENTO			
							

				MUESTRA DE ROCA	
FICHA DE AFLORAMIENTOS					
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL					
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”				
AFLORAMIENTO	13	UBICACIÓN	LA ERA		
FECHA	9 DE MARZO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84		
COORDENADAS UTM	X	Y	Z		
	688987	9543907	1653		
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL		ANTROPICO	X	
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO				
DIMENSIONES	ALTURA	11m	ANCHO	40m	
DATOS ESTRUCTURALES AFLORAMIENTO	N62°E/60°NW				
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS					
CODIGO MUESTRA	GAYOT_5_AFL				
COLOR	CAFÉ CLARO				
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION ALTA				
NOMBRE DE LA ROCA	TOBA ANDESITICA CON ALTO GRADO DE METEORIZACION				
OBSERVACIONES	<p>El afloramiento se presenta como una toba volcánica de composición andesítica constituyéndose cuyo componente químico-mineralógico es mayormente para los máficos en un 60% aproximadamente y para los minerales siálicos 40% respectivamente en clastos de toba andesítica con diámetro menor a 50cm, además de una matriz arenosa en un 15%, mal seleccionados, de forma subangulosa e inestables. Presenta erosión y alto grado de meteorización. La coloración de roca fresca de café grisáceo. Se observa el material residual al pie del mismo, además de cobertura vegetal.</p>				
AFLORAMIENTO					
					

  Universidad Nacional de Loja					MUESTRA DE ROCA				
FICHA DE AFLORAMIENTOS									
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL									
PROYECTO		“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”							
AFLORAMIENTO		9		UBICACIÓN		LA ERA			
FECHA		9 DE MARZO DE 2019		DATUM		UTM-WGS 84			
COORDENADAS UTM		X		Y		Z			
		688896		9543858		1637			
TIPO DE AFLORAMIENTO		NATURAL				ANTROPICO		X	
FORMACION/UNIDAD		UNIDAD HUAYCO							
DIMENSIONES		ALTURA		1,70m		ANCHO		57m	
DATOS ESTRUCTURALES AFLORAMIENTO		N2°E/58°NW							
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS									
CODIGO MUESTRA		GAYOT_7_AFL							
COLOR		CAFÉ BLANQUESINO							
ESTADO DE ROCAS		METEORIZACION ALTA							
NOMBRE DE LA ROCA		TOBA ANDESITICA CON MEDIO GRADO DE METEORIZACION							
OBSERVACIONES		<p>El afloramiento se presenta como una toba andesítica con medio grado de meteorización, oxidación y erosión. Se presenta con una estructura masiva ya que no existe distribución preferencial de los componentes. Presenta una coloración rojiza amarillenta, además de material residual al pie.</p>							
					AFLORAMIENTO				
									

		AFLORAMIENTO	
FICHA DE AFLORAMIENTOS			
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL			
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”		
AFLORAMIENTO	15	UBICACIÓN	LA ERA
FECHA		DATUM	UTM-WGS 84
COORDENADAS UTM	X	Y	Z
	688964	9543739	1579
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL	X	ANTROPICO
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO		
DIMENSIONES	ALTURA	2.5m	ANCHO 13m
DATOS ESTRUCTURALES AFLORAMIENTO	N30°E/59°NW		
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS			
CODIGO MUESTRA	IDENTIFICADA EN CAMPO		
COLOR	CAFÉ CLARO		
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION BAJA		
NOMBRE DE LA ROCA	TOBA ANDESITICA CON MEDIO GRADO DE METEORIZACION		
OBSERVACIONES	<p>El afloramiento presenta bajo grado de meteorización, se constituye como una toba andesítica cuyo componente químico-mineralógico es mayormente para los máficos. Con composición químico-mineralógica máfica en mayor porcentaje y siálica en menor respectivamente. La coloración de roca fresca de café grisáceo. Presenta planos de diaclasamiento en su estructura. Se observa el material residual al pie del mismo, además de cobertura vegetal.</p>		



“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

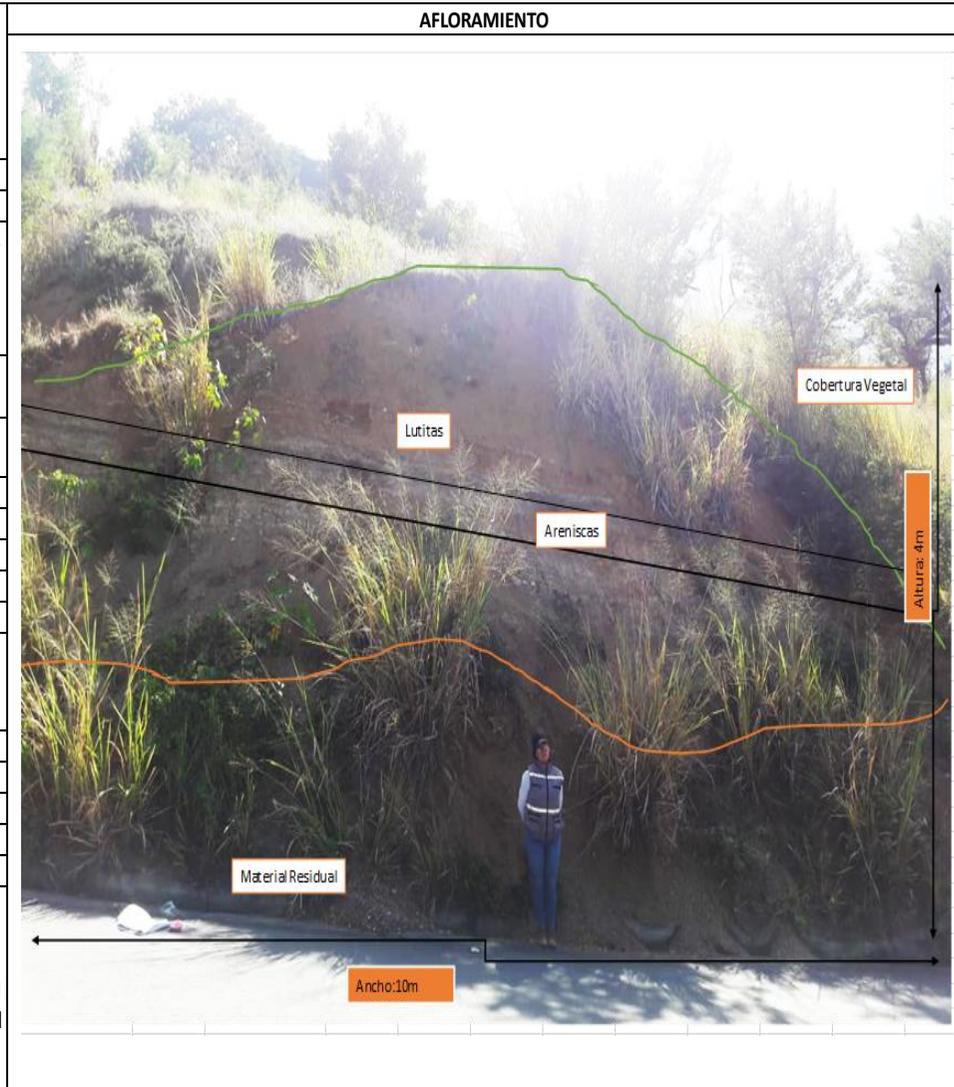
					AFLORAMIENTO				
FICHA DE AFLORAMIENTOS									
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL									
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”								
AFLORAMIENTO	16	UBICACIÓN	LA ERA						
FECHA	9 DE MARZO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84						
COORDENADAS UTM	X	Y	Z						
	688828	9543669	1620						
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL	ANTROPICO			X				
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO								
DIMENSIONES	ALTURA	2.5m	ANCHO	20m					
DATOS ESTRUCTURALES AFLORAMIENTO	N20°E/30°NW								
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS									
CODIGO MUESTRA	IDENTIFICADA EN CAMPO								
COLOR	CAFÉ CLARO								
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION MEDIA								
NOMBRE DE LA ROCA	Lutitas con Intercalaciones de areniscas								
OBSERVACIONES	El afloramiento presenta intercalaciones de lutitas amarillas y areniscas con DB/B de 049/30°, se constituye como roca clásica de grano muy fino, textura pelítica, tiene una coloracion amarilla oscura, presenta medio grado de meteorización, material residual al pie del afloramiento, además de cobertura vegetal a lo largo del afloramiento y cultivos en la parte superior.								



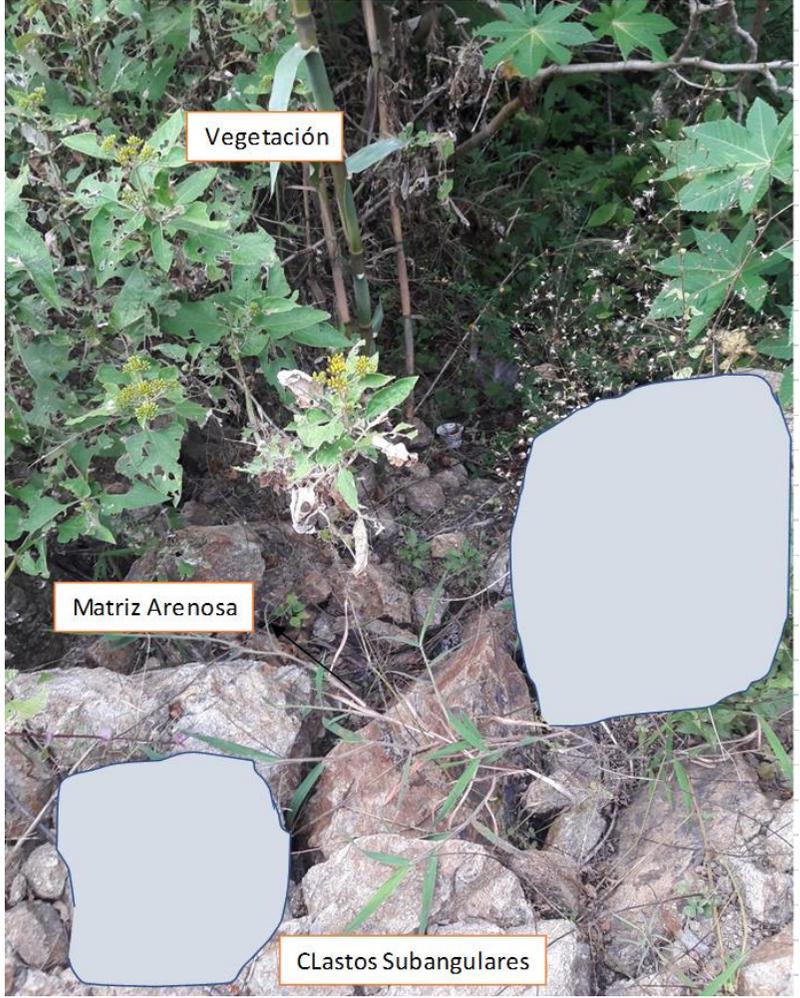
		AFLORAMIENTO			
FICHA DE AFLORAMIENTOS					
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL					
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”				
AFLORAMIENTO	17	UBICACIÓN	LA ERA		
FECHA	9 DE MARZO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84		
COORDENADAS UTM	X	Y	Z		
	688819	9543371	1589		
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL		ANTROPICO	X	
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO				
DESCRIPCION	Lutitas con Intercalaciones de areniscas				
DIMENSIONES	ALTURA	2m	ANCHO	3m	
DATOS ESTRUCTURALES AFLORAMIENTO	N40°E/45°NW				
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS					
CODIGO MUESTRA	IDENTIFICADA EN CAMPO				
COLOR	CAFÉ CALRO				
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION MEDIA				
NOMBRE DE LA ROCA	Lutitas con Intercalaciones de areniscas				
OBSERVACIONES	El afloramiento presenta intercalaciones de lutitas amarillas y areniscas con DB/B de 210°/28°, se constituye como roca clástica de grano muy fino, textura pelítica, tiene una coloración amarilla oscura, presenta medio grado de meteorización, material residual al pie del afloramiento, además de cobertura vegetal en la parte superior e inferior del afloramiento.				



			
FICHA DE AFLORAMIENTOS			
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL			
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”		
AFLORAMIENTO	18	UBICACIÓN	LA ERA
FECHA	9 DE MARZO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84
COORDENADAS UTM	X	Y	Z
	689019	9543198	1579
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL	ANTROPICO	X
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO		
DIMENSIONES	ALTURA	4m	ANCHO
			10m
MEDIDAS ESTRUCTURALES DB/BZ	N55°W/50°SW		
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS			
CODIGO MUESTRA	IDENTIFICADA EN CAMPO		
COLOR	CAFÉ CALRO		
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION ALTA		
NOMBRE DE LA ROCA	Lutitas con Intercalaciones de areniscas		
OBSERVACIONES	El afloramiento presenta intercalaciones de lutitas amarillas y areniscas con DB/B de 030/35°, tiene una coloracion amarilla oscura, presenta medio grado de meteorización, material residual al pie del afloramiento, además de cobertura vegetal a lo largo del afloramiento.		



  		AFLORAMIENTO	
FICHA DE AFLORAMIENTOS			
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL			
PROYECTO	“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”		
AFLORAMIENTO	19	UBICACIÓN	LA ERA
FECHA	23 DE JUNIO DE 2019	DATUM	UTM-WGS 84
COORDENADAS UTM	X	Y	Z
	689085	9544206	1640
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL	X	ANTROPICO
FORMACION/UNIDAD	UNIDAD HUAYCO		
DESCRIPCION	DEPOSITOS COLUVIO-ALUVIALES		
DIMENSIONES	ALTURA	2m	ANCHO 15m
MEDIDAS ESTRUCTURALES DB/BZ	N60°W//13°SW		
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE ROCAS			
CODIGO MUESTRA	IDENTIFICADO EN CAMPO		
COLOR	CAFÉ CLARO		
ESTADO DE ROCAS	METEORIZACION BAJA		
NOMBRE DE LA ROCA	DEPOSITOS COLUVIO-ALUVIALES		
OBSERVACIONES	Se ubican en la parte centro y norte del tramo de estudio, se presentan como un depósito de granos mal seleccionados, subangulosos, con una matriz arenosa de aproximadamente 10% y granos de tamaño mayor a 10cm, incluyendo la presencia de vegetación		



“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

Anexos 4: Ficha de inventario de deslizamientos

Proyecto		Sector		Coordenadas UTM WGS84			Código
“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”		LA ERA		X	Y	Z	D_1
				688402	9545064	1634	
Tipo de Movimiento		Estilo		Actividad		Forma General	
X	Deslizamiento rotacional		Unico	X	Activo		Plano
	Deslizamiento traslacional		Múltiple		Latente		Flujo
	Propagación lateral		Estado		Estabilizado		Frontal
	Flujo		Reciente		Antiguo	X	Irregular
	Caida	X	Antiguo	Datos estructurales			
	Reptación						
Superficie		Escarpe Principal				Pie de Movimiento	
		altitud (m): 1699m.snm				altitud (m): 1634 m.snm	
	Formas recientes		Bien evidente		Abovedado		Abollado
	Cubierta vegetal parcial		Poco evidente		Lanceolado(Forma de lanza)		Plano
x	Cubierta vegetal total	x	Parcial evidente		Rectilíneo	x	Empuje. Alrededor
	Oculto/erosion		No evidente	x	Desigual		Mult. Amontonado
	Oculto/actividad humana		Grietas				Indistinto
Intensidad de forma		Márgenes		Morfología		Superficie	
	Fuerte		Evidente	x	Escalonada		Seca
x	Clara	x	Parcial evidentes		Ondulada	x	Loc. Húmeda
	Leve		Leves		Concava		Sobresaturada
Origen de la pendiente			Indistintos		Indistinta		Manantiales
	Natural				Plana		Flujos de agua
X	Artificial						Laguna
Litología		Observaciones: Deslizamiento conformado por tobas dacíticas, de gran extensión, ubicado en el km 6+200, en la parte inicial del tramo.					
	Rocas						
x	Cambio Roca/Suelo						
	Suelo arenoso						
	Suelo limoso						
	Suelo arcilloso						



“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”



Universidad Nacional de Loja

GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Proyecto		Sector		Coordenadas UTM WGS84			Código
“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”		LA ERA		X	Y	Z	D_2
				689021	9544055	1638	
Tipo de Movimiento		Estilo		Actividad		Forma General	
	Deslizamiento rotacional		Unico		Activo		Plano
x	Deslizamiento traslacional		Multiple	x	Latente		Flujo
	Propagación lateral		Estado		Estabilizado	X	Frontal
	Flujo	X	Reciente		Antiguo		Irregular
	Caida		Antiguo	Datos estructurales		200°/65º	
	Reptación						
Superficie		Escarpe Principal				Pie de Movimiento	
		altitud (m): 1748m.snm				altitud (m): 1638 m.snm	
X	Formas recientes	x	Bien evidente		Abovedado		Abollado
	Cubierta vegetal parcial		Poco evidente		Lanceolado(Forma de lanza)		Plano
	Cubierta vegetal total		Parcial evidente		Rectilíneo	x	Empuje. Alrededor
	Oculto/erosion		No evidente		Desigual		Mult. Amontonado
	Oculto/actividad humana		Grietas				Indistinto
Intensidad de forma		Márgenes		Morfología		Superficie	
X	Fuerte	X	Evidente	x	Escalonada	X	Seca
	Clara		Parcial evidentes		Ondulada		Loc. Húmeda
	Leve		Leves		Concava		Sobresaturada
Origen de la pendiente			Indistintos		Indistinta		Manantiales
	Natural				Plana		Flujos de agua
X	Artificial						Laguna
Litología		Observaciones: Deslizamiento de tobas andesíticas, ubicado en el Km 7+900, en la parte central del tramo, de gran extensión.					
X	Rocas						
	Cambio Roca/Suelo						
	Suelo arenoso						
	Suelo limoso						
	Suelo arcilloso						



“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”



Universidad Nacional de Loja

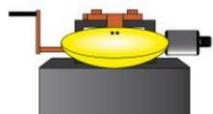
GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Proyecto		Sector		Coordenadas UTM WGS84			Código
“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”		LA ERA		X	Y	Z	D_3
				689055	9543185	1565	
Tipo de Movimiento		Estilo		Actividad		Forma General	
X	Deslizamiento rotacional		Unico	X	Activo		Plano
	Deslizamiento traslacional		Multiple		Latente		Flujo
	Propagación lateral		Estado		Estabilizado	X	Frontal
	Flujo	X	Reciente		Antiguo		Irregular
	Caída		Antiguo	Datos estructurales		215º/50º	
	Reptación						
Superficie		Escarpe Principal altitud (m): 1577m.snm				Pie de Movimiento altitud (m): 1561 m.snm	
	Formas recientes		Bien evidente		Abovedado		Abollado
	Cubierta vegetal parcial		Poco evidente		Lanceolado(Forma de lanza)		Plano
X	Cubierta vegetal total	X	Parcial evidente	x	Rectilíneo	x	Empuje. Alrededor
	Oculto/erosion		No evidente		Desigual		Mult. Amontonado
	Oculto/actividad humana		Grietas				Indistinto
Intensidad de forma		Márgenes		Morfología		Superficie	
	Fuerte		Evidente	x	Escalonada		Seca
X	Clara		Parcial evidentes		Ondulada	X	Loc. Húmeda
	Leve	X	Leves		Concava		Sobresaturada
Origen de la pendiente			Indistintos		Indistinta		Manantiales
	Natural				Plana		Flujos de agua
X	Artificial						Laguna
Litología		Observaciones: Deslizamiento ubicado en la parte final del tramo, en el Km 9+100, conformado por lutitas con intercalaciones de areniscas.					
	Rocas						
	Cambio Roca/Suelo						
	Suelo arenoso						
X	Suelo arcilloso						



Anexo 5: Fichas de caracterización mecánica

Anexo 6: Resultados de Resistencia a la compresión simple



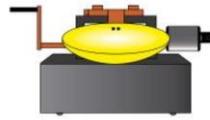
ESTSUELCON

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

PROYECTO:	TESIS	SOLICITANTE:	SANDRA ALVARADO	FECHA:	08 de noviembre de 2019	
Nº	DESCRIPCION	PESO NORMAL(gr)	DIAMETRO(cm)	VOLUMEN(cm3)	AREA(cm2)	CARGA (Kn)
1	MUESTRA	356.3	5.35*5.25*5.18	145.49325	28.0875	75.1
	MUESTRA	347.2	5.31*5.28*5.18	145.230624	28.0368	141
2	MUESTRA	343.17	5.10*5.31*5.35	144.88335	27.081	83.8
	MUESTRA	340.18	5.14*5.35*5.40	148.4946	27.499	88.1
3	MUESTRA	317.83	5.02*5.09*5.26	134.402468	25.5518	42
	MUESTRA	310.01	5.08*5.00*5.13	130.302	25.4	88.1
4	MUESTRA	322.12	5.24*5.20*5.18	141.14464	27.248	90.7
	MUESTRA	320.57	5.05*5.20*5.27	138.3902	26.26	196.9
5	MUESTRA	319.35	5.22*5.26*5.23	143.601156	27.4572	152.6
	MUESTRA	319.2	5.04*5.34*5.10	137.25936	26.9136	178.3
6	TESTIGO	515.56	5.58*9.03		50.3874	51.1

Datos obtenidos de ESTSUELCON, 2019

Anexo 7: Resultados de Esclerometría de roca



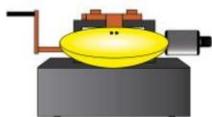
ESTSUELCON

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

TESIS	SOLICITANTE: SANDRA ALVARADO		FECHA: 11 de noviembre de 2019		
MUESTRA	r1	r2	r3	r4	r5
1	46	45	43	45	43
2	46	45	48	46	49
3	47	50	43	43	50
4	43	44	48	38	42
5	42	44	45	42	43
CILINDRO	43	43	38	40	45
CILINDRO	44	43	38	35	32
CILINDRO	30	32	35	28	28

Datos obtenidos de ESTSUELON, 2019

Anexo 8: Propiedades físicas de rocas



ESTSUELCON

ENSAYO DE PICNOMETRO

TESIS	SOLICITANTE:	SANDRA ALVARADO	FECHA:	11 de noviembre de 2019
<u>MUESTRA 1</u>				
PESO DEL PICNOMETRO				33.95
PESO DE LA MUESTRA				25
PESO DEL PICNOMETRO + MUESTRA + AGUA				99.35
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA				83.67
PESO CAPSULA				79.55
PESO SECO				104.41
PESO MUESTRA SECA				24.86
<u>MUESTRA 2</u>				
PESO DEL PICNOMETRO				33.95
PESO DE LA MUESTRA				25
PESO DEL PICNOMETRO + MUESTRA + AGUA				99.28
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA				83.67
PESO CAPSULA				51.21
PESO SECO				75.96
PESO MUESTRA SECA				24.75
<u>MUESTRA 3</u>				
PESO DEL PICNOMETRO				33.95
PESO DE LA MUESTRA				25
PESO DEL PICNOMETRO + MUESTRA + AGUA				98.98
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA				83.67
PESO CAPSULA				65.55
PESO SECO				90.46
PESO MUESTRA SECA				24.91
<u>MUESTRA 4</u>				
PESO DEL PICNOMETRO				33.95
PESO DE LA MUESTRA				25
PESO DEL PICNOMETRO + MUESTRA + AGUA				99.55
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA				83.67
PESO CAPSULA				66.12
PESO SECO				91.01
PESO MUESTRA SECA				24.89
<u>MUESTRA 5</u>				

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

PESO DEL PICNOMETRO	33.95
PESO DE LA MUESTRA	25
PESO DEL PICNOMETRO + MUESTRA + AGUA	98.97
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	83.67
PESO CAPSULA	78.4
PESO SECO	103.3
	2
PESO MUESTRA SECA	24.92
<u>MUESTRA 6</u>	
PESO DEL PICNOMETRO	33.95
PESO DE LA MUESTRA	25
PESO DEL PICNOMETRO + MUESTRA + AGUA	99.22
PESO DEL PICNOMETRO + AGUA	83.67
PESO CAPSULA	65.55
PESO SECO	90.45
PESO MUESTRA SECA	24.92

Datos obtenidos de ESTSUELON, 2019

Anexo 9: Resultados de sísmica de refracción

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”



ESTSUELCON

PROY.:

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO GEOTÉCNICO DEL TRAMO 6+090 AL 7+100 DE LA VÍA INTERVALLES

OBRA: ESTUDIO GEOFISICO

PERFIL SISMICO: LS 1 30 m

UBICACIÓN: Vía Málacatos - La Era

FECHA: dic-19

CAPA SISMICA	Potencia de la capa (m)	Vp m/s	Vs m/s	γ (gr/cm ³)	Edin (Kg/cm ²)	Eest (Kg/cm ²)	Edef (Kg/cm ²)	Gdin (Kg/cm ²)	N golpes	Mayerhoff qa (Kg/cm ²)	Uyanick qa (Kg/cm ²)	Dunham ϕ °	Osaki ϕ °
LS 1													
1	1.16-2.63	512	358	1.84	4818	2125	166	2358	7	0.70	1.29	34	27
2	3.37-4.51	1119	722	2.06	24575	13639	684	10745	24	2.42	3.17	42	37
3	∞	2379	1442	2.52	126936	88820	4067	52465	60	6.00	7.64	52	50

Ing. Claudel Guerrero.
CONSULTOR

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”



ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA
SISMICA DE REFRACCIÓN

PROY.:

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO GEOTÉCNICO DEL TRAMO 6+090 AL 7+100 DE LA VÍA INTERVALLES

OBRA: ESTUDIO GEOFISICO

PERFIL SISMICO: LS 2 30 m

UBICACIÓN: Vía Málacatos - La Era

FECHA: dic-19

CAPA SISMICA	Potencia de la capa (m)	Vp m/s	Vs m/s	γ (gr/cm ³)	Edin (Kg/cm ²)	Eest (Kg/cm ²)	Edef (Kg/cm ²)	Gdin (Kg/cm ²)	N golpes	Mayerhoff qa (Kg/cm ²)	Uyanick qa (Kg/cm ²)	Dunham ϕ °	Osaki ϕ °
LS 2													
1	1.03-1.77	504	352	1.84	4652	2042	162	2277	7	0.67	1.27	34	27
2	3.87-5.15	1056	681	2.05	21763	11873	604	9516	22	2.24	2.95	41	36
3	∞	2432	1474	2.43	127864	89562	4100	52849	61	6.15	7.85	52	50

Ing. Claudel Guerrero.
CONSULTOR

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”



PROY.:

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO GEOTÉCNICO DEL TRAMO 6+090 AL 7+100 DE LA VÍA INTERVALLES

OBRA: ESTUDIO GEOFISICO

PERFIL SISMICO: LS 3 30 m

UBICACIÓN: Vía Málacatos - La Era

FECHA: dic-19

ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA
SISMICA DE REFRACCIÓN

CAPA SISMICA	Potencia de la capa (m)	Vp m/s	Vs m/s	γ (gr/cm ³)	E _{din} (Kg/cm ²)	E _{est} (Kg/cm ²)	E _{def} (Kg/cm ²)	G _{din} (Kg/cm ²)	N golpes	Mayerhoff q _a (Kg/cm ²)	Uyanick q _a (Kg/cm ²)	Dunham ϕ °	Osaki ϕ °
LS 3													
1	3.09-3.63	250	175	1.73	1085	388	87	531	1	0.10	0.53	28	19
2	∞	706	494	1.93	9609	4672	280	4704	12	1.25	1.93	37	31

Ing. Claudel Guerrero.
CONSULTOR

Anexo 10: Mapas

Mapa de Ubicación y acceso.

Mapa de Flujos Superficiales

Mapa de Cobertura Vegetal

Mapa Geomorfológico

Mapa topográfico Abscisa 6+100 a 7+800

Mapa topográfico Abscisa 7+800-9+100

Mapa de pendientes

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

Mapa de Geología Regional

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

Mapa de geología local Abscisa 6+100 a 7+800

“Caracterización Geológica-Geotécnica en la vía Intervalles desde el tramo 6+060 hasta 9+100, ubicada en el Barrio La Era, parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja.”

Mapa de geología local Abscisa 7+800-9+100