



UNL

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LOJA



**FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES**

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

**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA
GEOTÉCNICA DE LA VIA TAQUIL –
CHANTACO, KILÓMETRO 0 – 2.0,
UBICADO EN EL CANTÓN Y PROVINCIA
DE LOJA”**

TESIS DE GRADO PREVIA A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN GEOLOGÍA
AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO
TERRITORIAL

AUTORA:

Karina Stefany Cueva Guamán.

DIRECTOR:

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc

LOJA – ECUADOR

2020

CERTIFICACIÓN

Ingeniero.

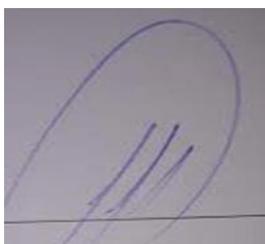
Fermín Alexander González Sisalima , Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS.

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, realizado por la señorita egresada: **KARINA STEFANY CUEVA GUAMÁN** con C.I., 1150130480, en su proceso de investigación denominado **“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA – GEOTÉCNICA DE LA VÍA TAQUIL – CHANTACO, KILÒMETRO 0 – 2.0, UBICADO EN EL CANTÒN Y PROVINCIA DE LOJA.”**, previo a la obtención del título de **Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, el mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, en consecuencia me permito autorizar para su presentación, sustentación y defensa.

Loja, 05 de marzo del 2020.



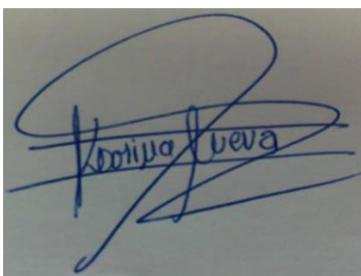
Fermín Alexander González Sisalima , Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **KARINA STEFANY CUEVA GUAMÁN**, declaro ser autora 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.

A photograph of a handwritten signature in blue ink on a light-colored surface. The signature is stylized and appears to read 'Karina Cueva'.

Firma:

Cédula: 1150130480

Fecha: 13 de Marzo 2020

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

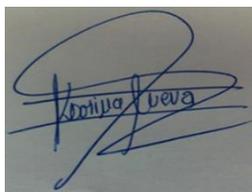
Yo, **KARINA STEFANY CUEVA GUAMÁN**, declaro ser la autora de la tesis titulada: **“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE LA VÍA TAQUIL – CHANTACO, KILÓMETRO 0 – 2.0, UBICADO EN EL CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA.”**, como requisito para optar al grado de: **INGENIERA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO 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 trece días del mes de marzo del dos mil veinte, en la ciudad de Loja.

Firma:



Autora: Karina Stefany Cueva Guamán

Cédula: 1150130480

Dirección: Loja; Cdla Clodoveo Jaramillo Alvarado

Correo electrónico: karycueva@hotmail.com

Teléfono: 072617188 **Celular:** 0990891253

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Fermín Alexander González Sisalima , Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrío, Mg. Sc.

Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho, Mg. Sc.

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc.

DEDICATORIA

*A mi madre **Carmen Isabel**, quien ha sido el pilar fundamental en mi educación, quien me ha brindado todo el amor y apoyo durante toda mi vida, la mujer más fuerte que conozco y a quien admiro inmensamente.*

*A mi padre **Eduardo Patricio**, quien a pesar de la distancia ha sabido guiarme y apoyarme en este arduo camino, brindándome su amor y confianza.*

*A mi hermano **Jordy Patricio**, mi compañero de vida, el regalo más bonito que Dios y mis Padres me han dado.*

Karina Cueva.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento profundo a Dios y a la Virgen del Cisne, por haberme brindado la salud, la fortaleza en los momentos de debilidad, y por brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias.

A mis padres Carmen y Patricio, quienes me han apoyado en todo momento, por los valores que han inculcado en mí, por brindarme una excelente educación y por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis tíos; Martha, Pedro y Galo; quienes han sido mis segundos padres, gracias por tanto apoyo.

Al Ing. Maico Sinchire, por ser una parte muy importante en mi vida, por haber compartido sus conocimientos, su paciencia y amor incondicional.

Agradezco profundamente a la Universidad Nacional de Loja, quien me acogió en sus aulas, mi agradecimiento especial a cada uno de los docentes de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, por su dedicación de tiempo en compartir conmigo sus conocimientos, por su apoyo, confianza y sobre todo por su amistad.

Al Ing. Fermín Alexander González, por su apoyo e influencia para la terminación de esta tesis.

A mis compañeros de curso; quienes hicieron de estos años de estudio una experiencia inolvidable, de manera especial a Zaida, Gabriela, Verónica, Cecibel, David, Rommel, Jackson, Julio, Harman y Eduardo; gracias por su compañerismo y amistad.

Existe una larga lista de personas a quienes agradecer, que creyeron y confiaron en mí, y que hicieron de mi vida universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidare, personas que han sido parte de mi crecimiento personal y profesional, espero que aquellos que lean esto y no nombré, tengan la confianza plena de mi cariño y amistad hacia ustedes.

Karina Cueva.

SIGLAS Y ABREVIATURAS

GAYOT: Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial.

INIGEMM: Instituto de Investigación Geológico, Minero y Metalúrgico.

IGM: Instituto Geográfico Militar.

GPL: Gobierno Provincial de Loja.

SEV: Sondeo Eléctrico Vertical.

UAV: Vehículo Aéreo No tripulado.

RTK: Posicionamiento Cinemático en Tiempo Real (Real Time Kinematic).

ASTM: Asociación Americana de Ensayo de Materiales.

NEC: Norma Ecuatoriana de Construcción.

CLIRSEN: Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos.

MTOP: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

FS: Factor de Seguridad.

RMR: Rock Mass Rating.

GSI: Índice de Resistencia Geológica.

PDyOt: Plan de Ordenamiento Territorial

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTORA, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN DEL TEXTO COMPLETO	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
1. TÍTULO.	1
2. RESUMEN	2
ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN.	4
4. REVISIÓN DE LA LITERATURA.	6
4.1. Topografía	6
4.2. Fotogrametría	6
4.2.1. UAV (Vehículo Aéreo No Tripulado)	6
4.2.1.1. UAVs de ala fija.	7
4.2.2. Levantamiento fotogramétrico con vehículos aéreos no tripulados (UAV)	7
4.3. Geomorfología	7
4.4. Geología.	8
4.5. Geotecnia.	8
4.6. Caracterización Geotécnica.	9
4.7. Prospección Geofísica	10
4.7.1. Sondeos eléctricos verticales (S.E.V.)	10
4.7.2. Sísmica de Refracción	11
4.8. Caracterización Geomecánica del Macizo Rocosos.	13
4.8.1. Clasificación de los Macizos Rocosos	13

4.9.	Mecánica de Rocas.	14
4.9.1.	Propiedades Físico – Mecánicas de las rocas.	14
4.9.1.1.	Propiedades Físicas de la Matriz Rocosa.	14
4.10.	Estabilidad de Taludes.	15
4.10.1.	Método de Equilibrio Límite	15
4.10.2.	Factor de Seguridad	16
5.	MATERIALES Y METODOS.	17
5.1.	MATERIALES.	17
5.1.1.	Campo	17
5.1.2.	Oficina.	18
5.1.3.	Laboratorio.	18
5.2.	METODOLOGÍA.	19
5.2.1.	Primer Objetivo	19
5.2.1.1.	Topografía.	19
5.2.1.2.	Mapa de pendientes.	23
5.2.1.3.	Geología.	24
5.2.1.4.	Geomorfología.	26
5.2.2.	Segundo Objetivo	30
5.2.2.1.	Prospección geofísica.	30
•	Resistividad eléctrica	30
•	Sísmica de refracción.	33
5.2.2.2.	Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso.	37
•	Rock Quality Index (RQD)	37
•	Rock Mass Rating o RMR	38
•	Índice de resistencia geológica, GSI (Hoek,1994)	42
5.2.2.3.	Ensayo uniaxial o de compresión simple.	41
5.2.2.4.	Propiedades físicas de la matriz rocosa.	43
•	Gravedad específica.	46
•	Peso específico	46
•	Peso específico aparente	46
•	Peso específico real	46
•	Contenido de humedad	46
•	Porosidad	47

• Porosidad eficaz _____	47
• Porosidad cerrada _____	47
• Coeficiente de absorción. _____	47
5.2.3. Tercer Objetivo _____	48
5.2.3.2. Factor de seguridad _____	48
6. RESULTADOS. _____	49
6.1. Ubicación Geográfica. _____	49
6.2. Clima _____	50
6.3. Temperatura. _____	50
6.4. Topografía _____	50
6.5. Pendientes. _____	53
6.6. Geomorfología _____	55
6.6.1 Tectónico erosivo _____	55
6.6.2 Denudativo _____	57
6.7. Geología Regional. _____	59
6.8. Geología Local _____	61
6.9. Exploración Geofísica _____	68
6.9.1. Resistividad Eléctrica. _____	70
6.9.2. Sísmica de Refracción. _____	78
6.10. Caracterización Geomecánica del Macizo rocoso. _____	78
6.10.1. Clasificación RMR. _____	78
6.10.2. Método del Índice de resistencia geológica, GSI. _____	82
6.11. Propiedades Físicas de la Matriz Rocosa. _____	82
6.12. Cálculo De Factor De Seguridad _____	91
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS. _____	94
8. CONCLUSIONES. _____	96
9. RECOMENDACIONES _____	99
10. BIBLIOGRAFÍA _____	100
11. ANEXOS _____	103
ANEXO 1: Ortofoto del sector de estudio. _____	104
ANEXO 2: Mapa topográfico del sector de estudio. _____	105
ANEXO 3. Mapa de pendientes _____	106

ANEXO 4. Mapa de unidades geomorfológicas del sector de estudio _____	107
ANEXO 5. Fichas de descripción de afloramientos. _____	108
ANEXO 6: Mapa de ubicación de afloramientos _____	109
ANEXO 7. Mapa geológico local de sector de estudio. _____	110
ANEXO 8. Resultados de ensayos de laboratorio _____	111
ANEXO 9. Fichas para la descripción geomecánica del macizo rocoso. _____	112

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de la Matriz Rocosa y Métodos para su Determinación _____	15
Tabla 2. Coordenada del hito 1, usada para georreferenciar el GPS diferencial. _____	20
Tabla 3. Puntos de control obtenidos en campo con el GPS Diferencial EMLID REACH _____	20
Tabla 4. Clasificación del ángulo de pendiente. _____	24
Tabla 5. Ficha para la descripción de afloramientos _____	25
Tabla 6. Unidad genética _____	28
Tabla 7. Unidades Geomorfológicas _____	28
Tabla 8. Categorización de desniveles relativos _____	29
Tabla 9. Coordenadas de ubicación de los SEV's realizados. _____	30
Tabla 10: Índice de calidad de la roca _____	37
Tabla 11. Parámetros de clasificación geomecánica RMR (Bieniawski,1989) _____	39
Tabla 12 Estimación del GSI, basado en observaciones geológicas. _____	43
Tabla 13. Ubicación Geográfica de taludes considerados para la caracterización geomecánica _____	44
Tabla 14. Tabla Empleada Para Caracterización Geomecánica _____	40
Tabla 15. Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de rocas a partir de índices de campo _____	42
Tabla 16. Resultados del post - proceso de los puntos de control _____	51
Tabla 17. Resultado del Mapa de Pendientes _____	54
Tabla 18. Unidades Geomorfológicas Presentes en el sector de Estudio _____	58
Tabla 19. Datos obtenidos en campo SEV 1. _____	70
Tabla 20. Correspondencia geológica SEV1 _____	71
Tabla 21. Datos obtenidos en campo SEV 2. _____	72
Tabla 22: Correspondencia geológica SEV2. _____	73
Tabla 23. Datos obtenidos en campo SEV 3. _____	74
Tabla 24 Correspondencia geológica SEV3. _____	75
Tabla 25. Datos obtenidos en campo SEV 4. _____	76
Tabla 26 Correspondencia geológica SEV4. _____	77
Tabla 27. Tiempos de Arribo – DOMOCRONA Línea 1 _____	79
Tabla 28. Correlaciones litológicas obtenidas a partir de la línea sísmica 1 _____	80
Tabla 29. Tiempos de Arribo – DOMOCRONA Línea 2 _____	81
Tabla 30. Correlaciones litológicas obtenidas a partir de la línea sísmica 1 _____	82
Tabla 31. Resultados de Líneas Sísmicas _____	77
Tabla 32. Resultados de Caracterización RMR, para el talud 1 _____	79
Tabla 33. Resultados de Caracterización RMR, para el talud 2 _____	80
Tabla 34. Resultados de Caracterización RMR, para el talud 3 _____	81
Tabla 35. Resultados de Valor de GSI. _____	82
Tabla 36. Datos obtenidos para la determinación de las propiedades físicas de la toba andesítica _____	82
Tabla 37. Propiedades Físicas de la Roca Toba Andesíticas, Talud 1. _____	83
Tabla 38. Resultados de Gravedad Especifica, tobas andesíticas . _____	83

Tabla 39. Datos obtenidos para la determinación de las propiedades físicas de la roca del Talud 3 _____	84
Tabla 40. Resultados de propiedades físicas de las rocas para el Talud 3 _____	84
Tabla 41. Resultados de Gravedad Especifica en muestra de talud 3 _____	84
Tabla 42. Resultados obtenidos en la aplicación de esclerometría de bajo impacto, aplicado a cubos pulidos de roca _____	85
Tabla 43. Resultados de ensayo de compresión cubica en Talud 1 _____	86
Tabla 44. Resultados de ensayo de compresión cúbica en Talud 2 _____	86
Tabla 45. Resultados de ensayo de compresión cúbica en Talud 3 _____	87
Tabla 46. Parámetros usados en el software Slide _____	91
Tabla 47. Parámetros usados en el software Slide para talud 2. _____	92
Tabla 48. Parámetros usados en el software Slide para talud 3. _____	93

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Medida de resistividad del terreno _____	10
Figura 2. Configuración Schlumberger y Wenner _____	11
Figura 3. Modelo Builder Para la Obtención del Mapa de Pendientes. _____	23
Figura 4. Metodología para la elaboración del mapa geomorfológico. _____	27
Figura 5. Ubicación de ensayos SEV. _____	31
Figura 6. Ubicación de las líneas sísmicas _____	33
Figura 7 Mapa de Ubicación del Área de Estudio _____	49
Figura 8. Perfil Topográfico A-A` _____	52
Figura 9. Perfil Topográfico B -B` _____	53
Figura 10. Perfil Topográfico C - C` _____	53
Figura 11. Representación Gráfica de Clase De Pendiente Del Sector De Estudio ____	54
Figura 12. Representación gráfica de las unidades geomorfológicas _____	58
Figura 13. Geología Regional del Área de Estudio _____	59
Figura 14. Curva de resistividad SEV1 _____	71
Figura 15. Curva de resistividad SEV2 _____	73
Figura 16. Curva de resistividad SEV3 _____	75
Figura 17. Curva de resistividad SEV4 _____	76
Figura 18. Pseudo sección eléctrica Abs. 16+030-15+740 _____	78
Figura 19. Línea Sísmica – Domocroma _____	79
Figura 20. LINEA SISMICA 1 – PERFÍL SÍSMICO. _____	80
Figura 21. Línea Sísmica 2 – Domocroma _____	81
Figura 22. LINEA SISMICA 2 – PERFÍL SÍSMICO. _____	82
Figura 23. Resultados de Cohesión y Angulo de Fricción para talud 1 _____	88
Figura 24. Resultados de Cohesión y Angulo de Fricción para talud 2. _____	89
Figura 25. Resultados de Cohesión y Angulo de Fricción para talud 3. _____	90
Figura 26. Factor de seguridad para talud 1 _____	91
Figura 27. Factor de seguridad para talud 2 _____	92
Figura 28. Factor de seguridad para talud 3 _____	93

INDICE DE FOTOGRAFÍAS.

Fotografía 1 Levantamiento de puntos de control con GPS Diferencial _____	19
Fotografía 2. Hito 1. _____	20
Fotografía 3. Ubicación de marcas _____	21
Fotografía 4. UAV Mapper de ala fija _____	21
Fotografía 5. Equipo de resistividad eléctrica SAS-4000 e implementos _____	32
Fotografía 6 Equipo de sísmica SEISTRONIX RAS 24 _____	34
Fotografía 7. Colocación de muestra cubica para el ensayo de compresión simple ____	41
Fotografía 8. Medición de resistencia con martillo de Schmidt _____	43
Fotografía 9. Muestras de rocas trituradas y tamizadas. _____	44
Fotografía 10. Picnómetro con muestra más agua _____	45
Fotografía 11. Cámara de vacíos _____	45
Fotografía 12. Relieve Montañoso. _____	55
Fotografía 13. Relieve colinado Alto _____	56
Fotografía 14. Relieve Colinado Medio _____	57
Fotografía 15. Relieve Colinado Bajo _____	57
Fotografía 16. Coluvio Aluvial _____	58
Fotografía 17. Toba Andesítica Porfídica _____	62
Fotografía 18. Vetillas de carbonatos de calcio _____	62
Fotografía 19. Muestra de vetilla de carbonato de calcio cristalizada _____	63
Fotografía 20. Estratificación de toba andesítica porfídica _____	63
Fotografía 21. a) Muestra de Mano de Toba Andesítica Porfídica b) Muestra bajo microscopio _____	64
Fotografía 22. Afloramiento de tobas dacíticas _____	64
Fotografía 23. Evidencia de minerales máfico en muestras de mano _____	65
Fotografía 24. Capas sub horizontales de Toba Dacítica _____	65
Fotografía 25. Aglomerado _____	66
Fotografía 26. Contacto entre tobas andesíticas y tobas dacíticas _____	67
Fotografía 27. Contacto entre Aglomerado y Toba Andesítica. _____	68
Fotografía 28. Presencia de agua proveniente del canal en el margen de la vía _____	69
Fotografía 29. Canal de riego _____	69
Fotografía 30. Canal de riego roto _____	69
Fotografía 31. Talud 1, usado para la caracterización Geomecánica _____	78
Fotografía 32. Talud 2, usado para la caracterización Geomecánica _____	79
Fotografía 33. Talud 3 usado para la caracterización Geomecánica _____	81
Fotografía 34. Cubos de roca de Talud 1, después de aplicar la carga uniaxial ____	85
Fotografía 35. Cubos de roca de Talud 2, después de aplicar la carga uniaxial ____	86
Fotografía 36. Cubos de roca de Talud 3, después de aplicar la carga uniaxial ____	87



1. TÍTULO.

**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DE LA VIA TAQUIL –
CHANTACO, KILÓMETRO 0 – 2.0, UBICADO EN EL CANTÓN Y
PROVINCIA DE LOJA”**



2. RESUMEN

El presente documento investigativo previo a la obtención del título en ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, consiste en la caracterización geológica – geotécnica del kilómetro 0 – 2.0 de la vía Taquil – Chantaco, ubicado en el cantón y provincia de Loja, correspondiente a una longitud de 2Km, con una faja de estudio de 200m, lo cual comprende un área de 40 Ha.

La investigación inicia con la obtención de la topografía a detalle, la cual se levantó con el uso de GPS diferencial con el cual se obtuvieron puntos de control terrestres RTK y un vehículo aéreo no tripulado UAV Mapper; lo cual permitió general una ortofoto a detalle del sector en estudio, así como también la generación de la topografía con curvas de nivel cada 1m.

En base a la topografía, se realizó el levantamiento geológico a escala 1:5000, identificando afloramientos y tomando elementos estructurales para la representación en el mapa; la litología que predomina en el sector es: de tobas andesíticas porfídicas, tobas dacíticas y aglomerados tobaceos.

Una vez identificadas las principales litologías, se realizó una caracterización geomecánica RQD, RMR y GSI, en taludes que se encontraban en el margen de la vía, además se tomó muestras de roca en los mismos, las cuales fueron analizadas en el laboratorio, determinando propiedades físico mecánicas de la matriz rocosa y resistencia a la compresión uniaxial.

De igual manera se realizó una campaña de exploración geofísica en la abscisa 15+000, misma que presentaba las condiciones topográficas necesarias para poder aplicar geofísica, por lo cual se desarrolló 4 líneas sev´s y 2 líneas sísmicas; determinando así las capas del subsuelo en este sector.

Finalmente, con los parámetros obtenidos en los ensayos, se calculó el factor de seguridad mediante el uso del software Slide 6.0. Mismo que determino el tramo de la vía como estable.

Palabras Clave: Geología, Caracterización Geomecánica, Geofísica, Taqui-Chantaco, Macizo Rocoso.



ABSTRACT

This research document previous to obtaining the degree in Environmental Geology engineering and Territorial Planning, consists in the geological - geotechnical characterization of kilometer 0 - 2.0 of the Taquil - Chantaco road, located in the canton and Loja province, corresponding to a 2Km long, with a 200m study strip, which comprises an area of 40 Ha.

The investigation begins with obtaining the topography in detail, which is obtained with the use of differential GPS with which was getting RTK terrestrial control points and an UAV Mapper aerial vehicle unmanned; which allowed to generate an orthophoto in detail of the sector under study, as well as the generation of topography with contours every 1m.

Based on the topography, the geological survey was carried out at a 1: 5000 scale, identifying outcrops and taking structural elements for the representation on the map; The predominant lithology in the sector is: porphidic andesitic tuffs, dacitic tuffs and tuff agglomerates.

Once identified the main lithologies, it performed a geometric characterization RQD, RMR and GSI, in the most critical studies that are in the margin of the track, also were taken rock samples in these taludes, which were analyzed in the laboratory, determining mechanical physical properties of the rock matrix and the uniaxial compression.

In the same way a geophysical exploration campaign was carried out in the 15 + 000 abscissa, the same that presented presentation the topographic conditions necessary to apply geophysics, for which were development 4 sev's lines and 2 seismic lines; determining the subsoil layers in this sector.

Finally, with the parameters getting in the tests, it was calculated the safety factor by using the software Slide 6.0. the same that determined the section of the road as stable.

Keywords: Geology, Geomechanical Characterization, Geophysics, Taqui-Chantaco, Rock Massif.



3. INTRODUCCIÓN.

La presente investigación denominada “Caracterización Geológica-Geotécnica de la vía Taquil Chantaco km 0 – 2.0; Ubicada en el cantón y provincia de Loja”, proporcionará información importante acerca de la geología, brindando datos sobre parámetros físicos – mecánicos de los geo materiales que se encuentran en el tramo antes mencionado.

Esta investigación surge debido a que este será el próximo tramo en el proyecto de reconstrucción a nivel de carpeta asfáltica de la vía Villonaco – Taquil – Chantaco – Chuquiribamba – Gualiel – Y de El Cisne – Ambocas. A cargo del Gobierno Provincial de Loja. Haciendo hincapié en que el primer tramo Villonaco – Taquil ya se encuentra en ejecución, por ende, el tramo que comprende la presente investigación será el próximo en intervención.

Puig, (1970) en su libro Geología Aplicada la ingeniería civil, menciona que; los conocimientos teóricos de la Geología, combinados con la práctica y la experiencia, tienen una importante aplicación para resolver problemas que se presentan en las grandes obras de ingeniería civil.

Es por ello que en el presente trabajo investigativo se aplica los conocimientos adquiridos durante la formación profesional, brindando datos que permitan conocer las principales características a nivel geológico – geotécnico, que presenta el tramo 0-2.0 de la Vía Taquil Chantaco.

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

Objetivo General:

Realizar la Caracterización Geológica – Geotécnica de la vía Taquil - Chantaco Kilómetro 0 – 2.0, ubicado en el cantón y provincia de Loja.

Objetivos Específicos:

- Elaborar la topografía y geología a detalle del kilómetro 0 – 2.0, de la vía Taquil – Chantaco, a escala 1:5000 con una faja de estudio de 200m.



- Determinar las propiedades físico-mecánico de los geo-materiales.
- Calcular el Factor de Seguridad.

Primero se realizó un levantamiento topográfico, mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado, ubicando puntos de control terrestres con GPS diferencial RTK de alta precisión, con lo cual se generó la topografía del sector. De la misma manera se realizó el levantamiento geológico a escala 1:5.000, el cual permitió determinar las principales litologías presentes en el área de estudio.

En el levantamiento geológico se pudo ubicar taludes que podrían presentar inconvenientes a futuro, debido a su alta meteorización y a que presentan grandes dimensiones, mismos que se encuentran al margen de la vía y que influyen directamente en la misma, en estos taludes, se realizó una caracterización geomecánica del macizo rocoso, como, RQD, RMR, GSI. Además, se tomó muestras de roca, que fueron analizadas en laboratorio, obteniendo parámetros de la matriz rocosa, como peso específico, densidad, gravedad específica, porosidad, compacidad, coeficiente de absorción. Para determinar la resistencia a la compresión simple se realizó ensayos de carga puntual en el laboratorio, obteniendo un parámetro importante a tomar en cuenta cuando se trata de construcciones civiles.

De igual forma se realizó prospección geofísica, mediante sondeos eléctricos verticales y sísmica de refracción, los cuales delimitaron capas de roca, y parámetros geomecánicos.

Finalmente, con el uso del software ROCSCIENCE; Roclab y Slide 6.0. Se realizó un análisis de los taludes, obteniendo parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna. Los cuales sirvieron para determinar el factor de seguridad.



4. REVISIÓN DE LA LITERATURA.

4.1.Topografía

La topográfica consiste básicamente en el levantamiento de información física del terreno con el fin de hacer representaciones gráficas del mismo, que generalmente sirve de insumo para intervenir en el medio natural, permite aportar en el desarrollo de Planes de Ordenamiento Territorial, Planes de Manejo de Cuencas, Estudios de Impacto Ambiental, Planes de Desarrollo, localización espacial de proyectos y actividades de desarrollo.

Además, la topografía permite contribuir de manera importante al conocimiento biofísico del territorio y simplificar a escala la información básica en la toma de decisiones para la planificación del desarrollo de manera interdisciplinaria. (Chavéz, 2001)

4.2.Fotogrametría

La fotogrametría es la técnica que permite establecer las dimensiones y posición de objetos en el espacio a partir de fotografías aéreas, lográndolo a partir de la intersección de dos o más fotos, obteniendo así modelos digitales de terreno que sirven para múltiples usos en la rama de la ingeniería. (Daza, 2015)

4.2.1. UAV (Vehículo Aéreo No Tripulado)

Un vehículo aéreo no tripulado, es una aeronave que vuela sin tripulación humana a bordo. Son utilizados en consultoría de obras civiles para obtener una mayor cobertura de las superficies terrestres, minimizar los costos y tomar información del terreno en zonas a las que el hombre no puede acceder con facilidad. (Moncayo, 2015)

En general de acuerdo a su aerodinámica se tiene los siguientes tipos de drones:

- Dron de ala fija.
- Dron de ala rotativa.



4.2.1.1. UAVs de ala fija.

Son los llamados aviones. La capacidad que tienen de planear les lleva a realizar operaciones a largas distancias, tiene mayor autonomía de vuelo y alcanzan grandes velocidades. Este tipo de dron se utilizó para llevar a cabo este proyecto. (Moncayo, 2015)

4.2.2. Levantamiento fotogramétrico con vehículos aéreos no tripulados

(UAV)

Se llama levantamiento fotogramétrico, cuando la actividad se hace por medio de fotos tomadas desde el aire ya sea en avión o UAV; toda el área a levantar y luego por medio del software, obtenemos un plano topográfico. (Sedano, 2018)

Al realizar la planificación, es necesario recordar todos los factores tanto de trabajo como de vuelo sin olvidar las condiciones de clima. Las fases de un trabajo fotogramétrico son:

- La planificación del vuelo
- El apoyo Topográfico
- La ejecución del vuelo

4.3. Geomorfología

(Escobar D. , 2013), desde su libro Manual de Geología para Ingenieros. Geomorfología, enuncia que: “La geomorfología es la ciencia que estudia las formas de la Tierra. Se especializa en estructural (que atiende a la arquitectura geológica) y climática (que se interesa por el modelado), incorpora las técnicas estadísticas sedimentológicas, en laboratorio y, sobre todo, pierde su aislamiento para convertirse en una ciencia que atiende múltiples factores e inserta el estudio del relieve al conjunto de relaciones naturales que explica globalmente la geografía física”.



La geomorfología es una rama de geología que estudia el modelado de la superficie terrestre, es decir el relieve que presenta.

(Gutiérrez, 2008); afirma: “Geomorfología es la ciencia que estudia los fenómenos sobre y cerca de la superficie terrestre y se preocupa de las interacciones entre varios tipos de materiales y procesos, implicando los sólidos, líquidos y gaseosos”.

4.4. Geología.

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

Los conocimientos teóricos de la Geología, combinados con la práctica y la experiencia, tienen una importante aplicación para resolver problemas que se presentan en las grandes obras de ingeniería civil. Antes de que sea necesario gastar en exploraciones del subsuelo, el geólogo debe proporcionar al ingeniero estructural, la información preliminar para el proyecto de la obra, como: (Puig, 1970)

- Los tipos de roca que se encuentran, su distribución y sus relaciones estructurales.
- La presencia de fallas de importancia, o de un excesivo fracturamiento.
- La profundidad a la que ha actuado el intemperismo, para estimar una cimentación o un corte.
- Las condiciones generales de las aguas superficiales y subterráneas en el lugar.

4.5. Geotecnia.

Para la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) en el año (2014), señala que la geotecnia tiene como finalidad el reconocimiento, la realización de ensayos, y/o pruebas realizadas a un terreno para la interpretación de todos los datos obtenidos, y a su vez permitan caracterizar los diversos materiales presentes en la zona que se requiera estudiar. (NEC, 2004)



(Braja, 2015) la geotecnia involucra la aplicación de la tecnología de la Ingeniería Civil en el manejo de los materiales de la corteza terrestre, es decir usada usualmente para estudiar solo los materiales naturales que se encuentran en o cerca de la superficie terrestre.

4.6. Caracterización Geotécnica.

Para una correcta caracterización geotécnica de un lugar de estudio, es preciso conocer sus principales características físicas y mecánicas, siendo estas propiedades obtenidas por medio de ensayos de campo y por ensayos de laboratorio.

Dentro de las propiedades físicas a determinarse son: la litología del área de estudio, peso específico, porosidad.

Las propiedades mecánicas son: resistencia a la compresión, cohesión, ángulo de fricción.

(A Moffat., 2001); Las características de mayor interés para un proyecto y construcción de estructuras son las siguientes: La capacidad de carga del terreno de la cimentación, el grado de impermeabilidad del mismo y el efecto de la humedad sobre los estratos de cimentación.

Como lo menciona (Chávez, 2006), las propiedades de una roca son las que pueden influir en el comportamiento de la construcción, ya que la roca o suelo estará sometida a la acción constante de fenómenos naturales como la erosión o líquidos, como el agua. Con un correcto estudio geotécnico se garantiza un comportamiento adecuado de estas infraestructuras. Finalmente, (López, 2002) indica que estas propiedades de las rocas o suelos se estudian ya sea mediante ensayos de laboratorio o “in situ”, para ambos procedimientos es importante la forma en que la muestra es tomada, para obtener una muestra alterada o inalterada de un suelo, sus procedimientos son normados mediante el uso de normas como lo son las ASTM.

4.7. Prospección Geofísica

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

Los métodos eléctricos de prospección van adquiriendo creciente importancia en la geología aplicada, en que las técnicas por resistividad son empleadas para determinar la profundidad a que se encuentran los lechos rocosos, al proyectar emplazamientos de presas o cimentaciones para otras obras de ingeniería. (Dobrin, 1975)

4.7.1. Sondeos eléctricos verticales (S.E.V.)

Un sondeo eléctrico vertical consiste en establecer una curva de variación con la profundidad de la resistividad aparente de un terreno a través de medidas en superficie realizadas con ayuda de un dispositivo de cuatro electrodos AMNB. La profundidad de investigación puede regularse variando la distancia entre los electrodos A, B de corriente. La figura 2 ilustra cómo las líneas de corriente penetran tanto más cuanto mayor es la distancia interelectródica AB. (Astier, 1975)

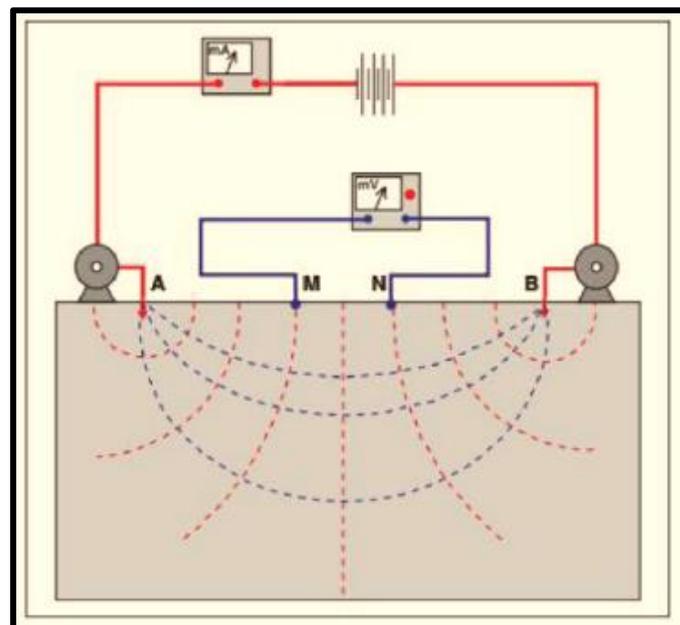


Figura 1. Medida de resistividad del terreno

Fuente: (González L., 2004)

(González L., 2004), definen que la resistividad que se obtiene no corresponde a una unidad litológica concreta, sino define al conjunto de materiales afectados por el paso de corriente, y se denomina resistividad aparente (ρ_a):

$$\rho_a = K \Delta V I$$

Donde K es la constante de configuración geométrica del dispositivo en cada medida, que depende de las distancias entre electrodos AM, MB, AN, NB. Modificando la configuración de electrodos se obtienen múltiples posibilidades de investigación. Lo más frecuente es utilizar configuraciones normalizadas, siendo las más comunes las denominadas “Schlumberger” y “Wenner”, ver **figura 2**. La primera es simétrica, con electrodos de potencial MN interiores y alineados con los de corriente N-M inferior a 1/5 de A-B. En la segunda, la disposición es igual, salvo que las distancias A-M, M-N y N-B son iguales.

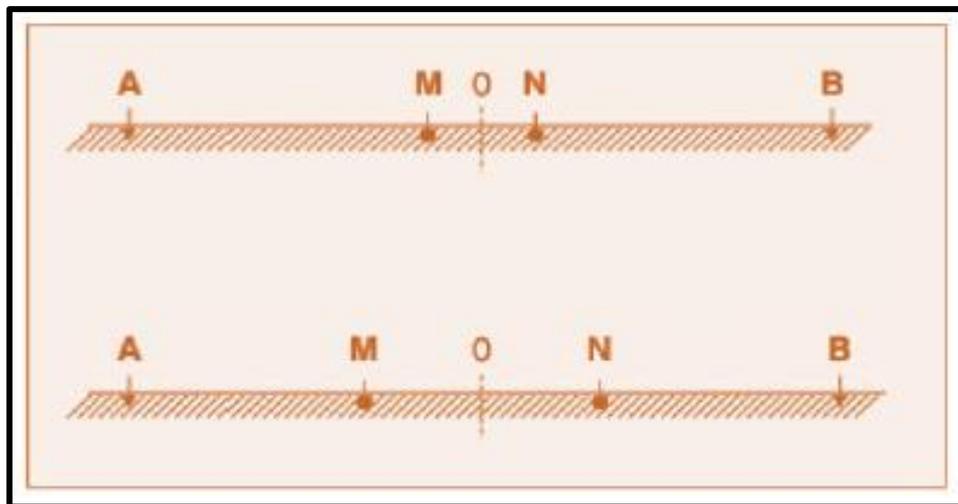


Figura 2. Configuración Schlumberger y Wenner
Fuente: (González L., 2004)

4.7.2. Sísmica de Refracción

(Cantos, 1973), menciona que este método consiste en producir un pequeño sismo artificial por medio, generalmente de una carga explosiva enterrada en el suelo y medir

los tiempos de llegada de las ondas producidas a unos detectores o geófonos convenientemente situados en la superficie del suelo.

Las ondas producidas por la explosión se propagan en todas las direcciones, y cuando cambian las condiciones del medio, es decir, cuando la onda sísmica en su recorrido en profundidad encuentra un medio de propagación distinto del anterior; parte de la energía se ve reflejada, volviendo a la superficie, y parte se refracta siguiendo su viaje en profundidad. Si detectamos en superficie tiempos de llegada de las ondas refractadas a lo largo de diversos contactos, practicaremos el método sísmico de refracción.

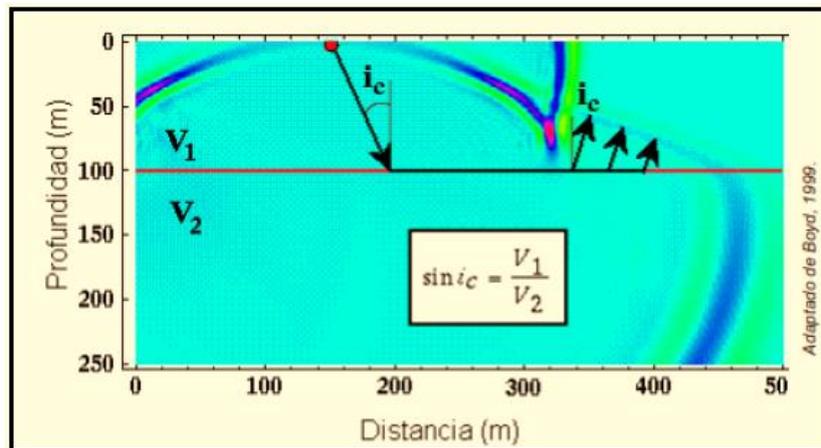


Figura 3. Ondas sísmicas reflejadas y refractadas
Fuente: (González L., 2004)

El método sísmico de refracción consiste en generar ondas sísmicas en superficie y registrar las que experimentan la refracción total a lo largo de los contactos de velocidades distintas en los diferentes medios del subsuelo. Se estudian las ondas que experimentan la refracción total por ser las que proporcionan los recorridos de tiempo mínimo y, por tanto, las que se registran como primeras llegadas.

Cuando se registra por refracción se detectan todas las ondas refractadas en los contactos de los distintos medios, todas las que vuelven a la superficie, se entiende. Entre ellas están las que experimentan la refracción total y que, por lo tanto, se prolongan por los contactos.



Como son las más veloces (suponiendo que la velocidad aumente con la profundidad) serán las que lleguen antes, es decir, las primeras llegadas, que precisamente por ello se distinguirán perfectamente de las restantes. (Cantos, 1973)

4.8. Caracterización Geomecánica del Macizo Rcoso.

Para (González L., 2004) la descripción y caracterización de los macizos rocosos en afloramientos es una labor necesaria en todos los estudios de ingeniería geológica cuyo objetivo sea el conocimiento de las propiedades y características geotécnicas de los materiales rocosos. Estos trabajos se realizan durante las primeras etapas de las investigaciones *in situ*.

También se dice que la caracterización incluye a los procedimientos y técnicas para evaluar la resistencia de un material bajo condiciones de esfuerzo que pudiesen provocar inestabilidad en un macizo rocoso. Principalmente se tienen dos tipos de investigación: el primero fundamentado en el reconocimiento a detalle “*in situ*” que describe las características físicas de la roca, y el otro mediante ensayos de laboratorio para muestras tomadas directamente del macizo. (Armas, 2004)

4.8.1. Clasificación de los Macizos Rcosos

Las clasificaciones más útiles en mecánica de rocas son las denominadas clasificaciones geomecánicas de las cuales la RMR de Bieniawski y la Q de Barton son las más utilizadas. Establecen diferentes grados de calidad del macizo en función de las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades, y proporcionan valores estimativos de sus propiedades resistentes globales.

Existen otras clasificaciones de los macizos rocosos, aunque la mayoría están basadas en alguno o varios de los factores que determinan su comportamiento mecánico:



- Propiedades de la matriz rocosa.
- Frecuencia y tipo de las discontinuidades, que definen el grado de fracturación, el tamaño y la forma de los bloques del macizo, sus propiedades hidrogeológicas.
- Grado de meteorización o alteración.
- Estado de tensiones *in situ*.
- Presencia de agua.

4.9.Mecánica de Rocas.

4.9.1. Propiedades Físico – Mecánicas de las rocas.

(Deere, 1989), en su texto original indica que la mecánica de rocas es la ciencia teórica y aplicada que trata del comportamiento mecánico de las rocas; es la rama de la Mecánica que estudia la reacción de las rocas a los campos de fuerza de su entorno físico; en este contexto se deben analizar inicialmente las propiedades Físicas de las mismas, ya que son las que controlan las características resistentes y deformaciones de la matriz rocosa, y son el resultado de la génesis, condiciones y procesos geológicos y tectónicos sufridos por las rocas a lo largo de su historia. En cambio, a las propiedades mecánicas se las describe como aquellas propiedades que tienen la finalidad de conocer y predecir el comportamiento de los materiales rocosos ante la actuación de fuerzas internas y externas que se ejercen sobre ellos. Entre ellas tenemos la deformidad, resistencia y permeabilidad.

4.9.1.1. Propiedades Físicas de la Matriz Rocosa.

Existen una serie de parámetros que se emplean para la identificación y descripción cuantitativa de las propiedades básicas de las rocas y permiten, así mismo, establecer una primera clasificación con fines geotécnicos. (González L., 2004)

Estas propiedades, denominadas propiedades índice, serán las que determinen en primera instancia, junto con la composición mineralógica y la fábrica, las propiedades y el



comportamiento mecánico de la matriz rocosa. En la **Tabla 1** se incluye una lista de algunas de ellas y los métodos para su evaluación.

Tabla 1. Propiedades de la Matriz Rocosa y Métodos para su Determinación

Propiedades de la matriz rocosa y métodos para su determinación		
	Propiedades	Métodos de determinación.
Propiedades de identificación y clasificación.	<ul style="list-style-type: none"> • Composición Mineralógica • Fabrica y textura • Tamaño de grano • Color 	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción Visual
	<ul style="list-style-type: none"> • Porosidad • Peso Especifico • Contenido de Humedad 	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas de laboratorio
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la compresión simple	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo de Compresión Uniaxial • Martillo de Schmidt

Fuente: Adaptado de (González L., 2004)

Según (González L., 2004); Los métodos experimentales para determinar la resistencia y la deformabilidad de las rocas son independientes del criterio de rotura adoptado en cada caso; su finalidad es establecer las relaciones entre los esfuerzos y las deformaciones durante el proceso de carga y rotura, los esfuerzos a que está sometida la roca en el momento de la rotura y sus parámetros resistentes. Estos métodos son los ensayos de laboratorio de compresión uniaxial, compresión triaxial y tracción.

4.10. Estabilidad de Taludes.

4.10.1. Método de Equilibrio Límite

Para el cálculo de estabilidad de taludes los métodos de equilibrio límite son los más usados en la práctica común, por su sencillez, y porque el valor del factor de seguridad



no difiere al valor real. De acuerdo a Braja (2009), la falla del terreno se produce a través de una línea que representa la superficie de rotura. Interpretándose que la masa de terreno por encima de esa línea se desplaza respecto a la masa inferior, produciéndose, así la falla del terreno sobre un talud.

Así en el momento de producirse la rotura, la resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento esta movilizada, y el terreno se encuentra, en su totalidad, en equilibrio estático, los métodos de equilibrio límite más usados son el de: Fellenius (1927), Bishop Modificado (1955), Spencer (1967), Janbu Generalizado (1968).

4.10.2. Factor de Seguridad

El factor de seguridad dentro del análisis y estabilidad de taludes, nos indica la probabilidad de rotura que tendrá el talud, corroborando con Chávez (2006), un factor de seguridad indicará un correcto comportamiento de los geo materiales, dentro de parámetros de seguridad sea bien para la estructura o para los usuarios; los factores de seguridad son determinados de manera estadística. Braja (2015), define al factor de seguridad mediante la siguiente ecuación:

$$FSS = \tau_f / \tau_d \quad (\text{Expresión 1})$$

Donde:

FSS: factor de seguridad con respecto a la resistencia

τ_f : resistencia media del suelo al corte

τ_d : esfuerzo cortante promedio desarrollado a la largo de la superficie potencial de falla

$$FSS = c' + \sigma' \tan \varphi' / c' + \sigma' \tan \varphi' d \quad (\text{Expresión 2})$$



Donde:

FSs: factor de seguridad con respecto a la resistencia

c' : cohesión

$c'd$: cohesión eficaz σ' : esfuerzo normal efectivo en la superficie potencial de falla.

ϕ' : ángulo de fricción de drenado

$\phi'd$: ángulo de fricción desarrollado a la largo de la superficie potencial de falla

$$FSs = FSc' = FS\phi' \quad (\text{Expresión 3})$$

Donde:

FSc': factor de seguridad con respecto a la cohesión

FS ϕ' : factor de seguridad con respecto a la fricción.

Finalmente podemos definir que cuando el **FSs** es igual o menor a 1, el talud está en un estado de fallo inminente. En general un valor de 1,5 para el FS con respecto a la resistencia es aceptable para un talud estable.

5. MATERIALES Y METODOS.

5.1.MATERIALES.

5.1.1. Campo

- GPS Diferencial EMLID REACH
- Cinta amarilla de 12cm de ancho.
- UAV Mapper.
- Cámara Sony next 5 con lente de 16mm.
- GPS Garmin.



- Brújula Brunton.
- Martillo Geológico.
- Esclerómetro
- Ácido Clorhídrico.
- Ficha de descripción de afloramientos
- Libreta Geológica
- Lápiz Rayador
- Lápices de colores.

5.1.2. Oficina.

- Computador.
- Microsoft office 2013
- Software de uso libre QGIS.
- Software Mission Planner.
- Software Global Mapper.
- Software AutoCAD 2018.
- Software RocLab
- Software Slide 6.0.

5.1.3. Laboratorio.

- Balanza digital.
- Mortero
- Picnómetros de 50ml.
- Bomba de vacíos.
- Prensa para ensayos de compresión simple



5.2. METODOLOGÍA.

5.2.1. Primer Objetivo

“Elaborar la topografía y geología a detalle del km 0 – 2, de la vía Taquil – Chantaco, a escala 1:5000 con una faja de estudio de 200m.”

5.2.1.1. Topografía.

La metodología usada para el levantamiento topográfico fue mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado UAV Mapper, la misma se la realizo en coordinación con la empresa SETIAGROUP S.A.

El mismo consistió en 3 etapas; que fueron la planificación, el vuelo y el procesamiento.

- **Etapa de planificación.**

El primer paso fue digitalizar en el software ArcGIS la vía sobre la ortofoto de Catamayo, misma que fue proporcionada por el Municipio de Loja; con el objetivo de realizar una delimitación del área de estudio.



Fotografía 1 Levantamiento de puntos de control con GPS Diferencial
La Autora, 2019.

Seguidamente se georreferencio el GPS diferencial EMLID REACH; con las coordenadas del hito 1 que se muestra en la **tabla 2**, las cuales fueron proporcionadas por el Gobierno Provincial de Loja.



Tabla 2. Coordenada del hito 1, usada para georreferenciar el GPS diferencial.

COORDENADAS DEL HITO 1 (UTM WGS84)			
ID	NORTE	ESTE	ALTURA
Hito 1	9569038.391	689566.630	2195.251

Fuente: Gobierno Provincial de Loja

Elaboración: La Autora.



Fotografía 2. Hito 1.
La Autora, 2019.

Una vez instalada la base en el Hito 1, se procedió a levantar con el GPS Diferencial, 7 puntos de control, mismos que se muestran en la **tabla 3**.

Tabla 3. Puntos de control obtenidos en campo con el GPS Diferencial EMLID REACH

ID	NORTE	ESTE	ALTURA
P1	9568691,166	6891338,97	2154,452
P2	9569337,934	6898056,86	2224,003
P3	9569728,399	6900101,2	2230,579
P4	9569755,447	6898439,29	2242,262
P5	9569641,685	6898030,25	2276,116
P6	95690380,62	68956649,48	21964,934
P7	9568959,485	689174,2515	2141,6935

DATUM: WGS 84

La Autora, 2019.



Posterior al levantamiento de los puntos de control se ubicó las marcas, con el objetivo de que estas sean visibles en el vuelo, las mismas consistieron en cruces de cintas de 0.12m de ancho por 6m de largo, como se muestra en la **fotografía 3**, también se tomó como marcas el centro de la cancha del parque central de Taquil y la alcantarilla de la entrada a Taquil.



Fotografía 3. Ubicación de marcas
La Autora, 2019.

- **Etapa de vuelo**



Fotografía 4. UAV Mapper de ala fija
La Autora, 2019.



El propósito de esta planeación fue definir los límites del terreno a medir y establecer la altura a la que se realizaron los sobre vuelos, para este caso en particular, fue de 100m de altura, la misma se escogió con el objetivo de minimizar el impacto de la deformación de las fotos, producto de la concavidad de la tierra y del tipo de desplazamiento en el cual se está efectuando, para evitar así aberraciones en las mediciones; así mismo se tomó 50m fuera del área de estudio, para evitar errores de traslape en post procesamiento de las fotografías.

Posterior a ello se realizó un polígono con el área de estudio mismo que fue exportado al software mission planner, donde se determinó que para cubrir el área de estudio se necesitaba de un vuelo.

Seguidamente se realizó el sobre vuelo con el Dron UAV Mapper el cual se muestra en la *fotografía 4*, se adecuó el dron, instalando la cámara Sony next 5 con lente de 16mm, el siguiente paso fue efectuar el vuelo, para el sector se realizó un vuelo y mediante el computador se realizó el seguimiento del mismo.

Etapas De Procesamiento

En esta etapa se procesa las fotografías mediante el uso del software Agisoft Metashape Pro v1.5.0, se corrige las fotografías con las coordenadas UTM de los puntos de control, el programa crea el mosaico de fotografías, y la nube de puntos.

Para generar el DEM se filtra árboles y casas obteniendo el modelo de superficie (DCM), y consecutivamente se obtiene las curvas de nivel a 1m.



5.2.1.2. Mapa de pendientes.

Para la elaboración del mapa de pendientes, se usó la herramienta SIG, el cual se basa en un modelo TIN generado (Triangle Regular Network o Red de Triangulación Regular), mismo que es creado a partir de las curvas de nivel, las cuales fueron obtenidas en el levantamiento topográfico, posteriormente se obtuvo un MDT (Modelo Digital del Terreno), transformando este TIN a modelo ráster, generando así, el modelo de pendientes.

En la **Figura 3**, a través de un Model Builder, se representa las secuencias que se siguió para obtener el modelo de pendientes.

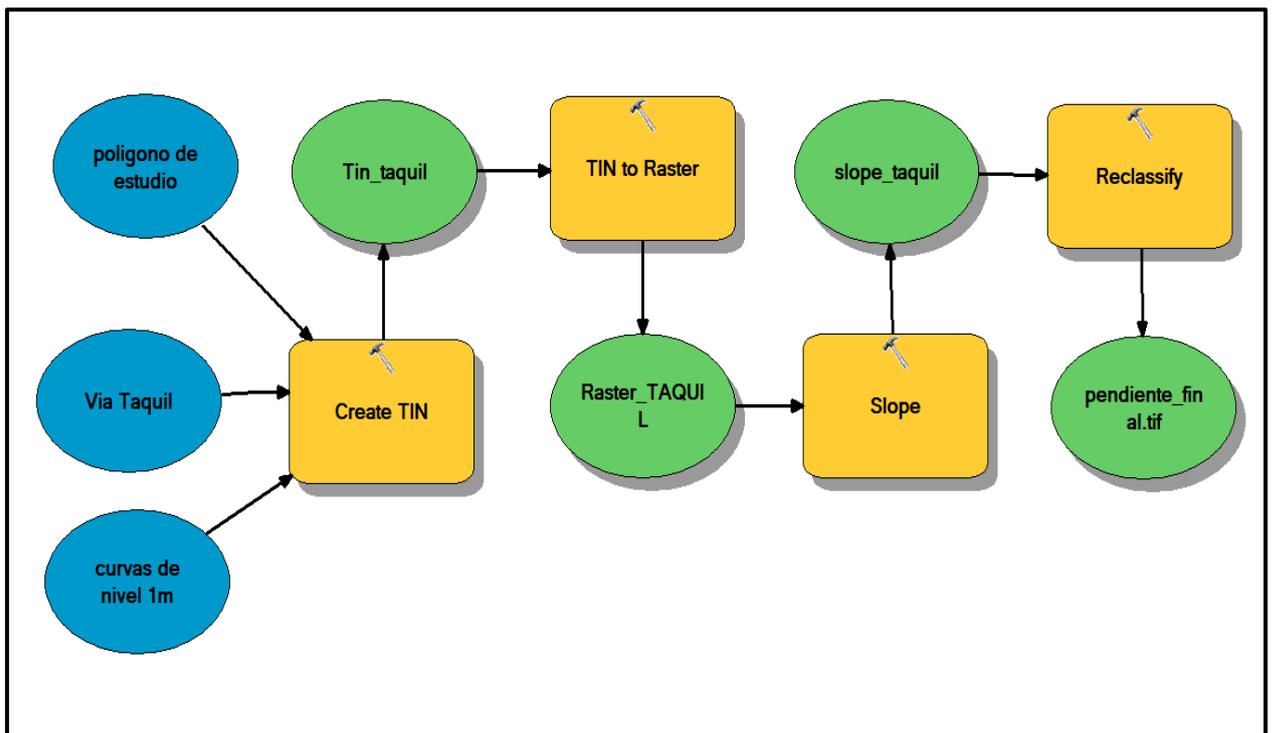


Figura 3. Modelo Builder Para la Obtención del Mapa de Pendientes.

Elaboración. La Autora, 2019.

Para la reclasificación de las pendientes se usó la clasificación de Demek, misma que se explica en la **tabla 4**.



Tabla 4. Clasificación del ángulo de pendiente.

Categoría (°)	Término de pendiente
0-2°	Plano (planicie)
>2°-5°	Ligeramente inclinado
>5°-15°	Fuertemente inclinado
>15°-35°	Muy inclinado
>35°-55°	Empinado
55°-90°	Vertical

Fuente: (Demek, 1972)

5.2.1.3. Geología.

Etapa De Oficina

En esta etapa se realizó la investigación bibliográfica acerca de la zona de estudio, tomando como referencia la carta geológica de Loja a escala 1:100.000 NVI-F hoja 56, la cual brinda información de las principales estructuras geológicas y litologías presentes en el área de estudio.

Además, se elaboró una ficha de descripción de afloramientos misma que se muestra en la **tabla 5**, en la cual se presentan aspectos importantes que se recogieron en la fase de campo haciéndola más enriquecedora.

De igual manera se realizó un análisis mediante la ortofoto generada anteriormente, delimitando así principales afloramientos dentro del área de estudio. La ortofoto brinda información importante acerca de zonas erosionadas, las cuales fueron identificadas debido al cambio de textura, lo cual fue corroborado en la etapa de campo.



Tabla 5. Ficha para la descripción de afloramientos

FICHA DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS	   Universidad Nacional de Loja 		
	Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial		
	Proyecto: “CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA GEOTECNICA DE LA VIA TAQUIL – CHANTACO, KILOMETRO 0 – 2, UBICADO EN EL CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA”		
	Fecha: 02/05/2019	Responsable: Karina Cueva	Afloramiento N°:
	Tipo de Afloramiento:	Natural ()	Antrópico()
	Coordenadas UTM	X:	Y: Z:
	Estado de Alteración:	Estructura:	
	Litología y Características del afloramiento		
	Formación:		
	Ángulo del talud:	Altura de Talud:	Potencia de capa vegetal:
	Longitud de talud:	Vegetación:	Tipo de Roca o Material Aflorante :
	Descripción:		
Registro Fotográfico:			

La Autora, 2019.

Fase De Campo

Esta etapa se llevó a cabo mediante la comprobación y rectificación de los rasgos geológicos que previamente fueron investigados, consistió en un levantamiento *in-situ* en el campo sobre la base topográfica previamente levantada.

Durante el desarrollo del levantamiento geológico, fue importante la descripción visual de afloramientos y taludes de corte; además de la toma de muestras de mano



representativas de cada unidad de roca, previamente identificada, que permitió un reconocimiento macroscópico preliminar.

Cada afloramiento fue georreferenciado mediante GPS, se realizó un análisis estructural en el que se tomaron datos estructurales (Rumbo y Buzamiento), tonalidad, grado y color de meteorización, tamaño de grano, espesor de cada estrato, posibles contactos litológicos y solubilidad de las rocas.

Fase De Oficina

Para la obtención del mapa geológico local, se tomó la metodología propuesta por Manuel Pozo Rodríguez en su libro “*Geología Practica: Introducción Al Reconocimiento De Materiales Y Análisis De Mapas*”. Esta metodología establece que para la obtención de mapas geológicos se basara en fotointerpretación y en proyección de elementos estructurales. (Rodríguez, 2003)

Se procesos la información obtenida en campo, ubicando los puntos de afloramientos sobre la base del mapa topográfico, esto se lo realizo en el software AutoCAD 2018; mismo que permitió realizar la delimitación de las litologías, así como también la ubicación y proyección de los elementos estructurales.

5.2.1.4. Geomorfología.

Para la elaboración de la geomorfología se adaptó la metodología de CLIRSEN del año 2012, la misma se fundamenta en la generación de información primaria obtenida de la observación de campo, la fotointerpretación y herramientas GIS, que se representa en la *figura 4*.



Esta metodología fue implementada por CLIRSEN en el proyecto Generación de Geo-información para la gestión del territorio a nivel nacional en el año 2010 y 2012.

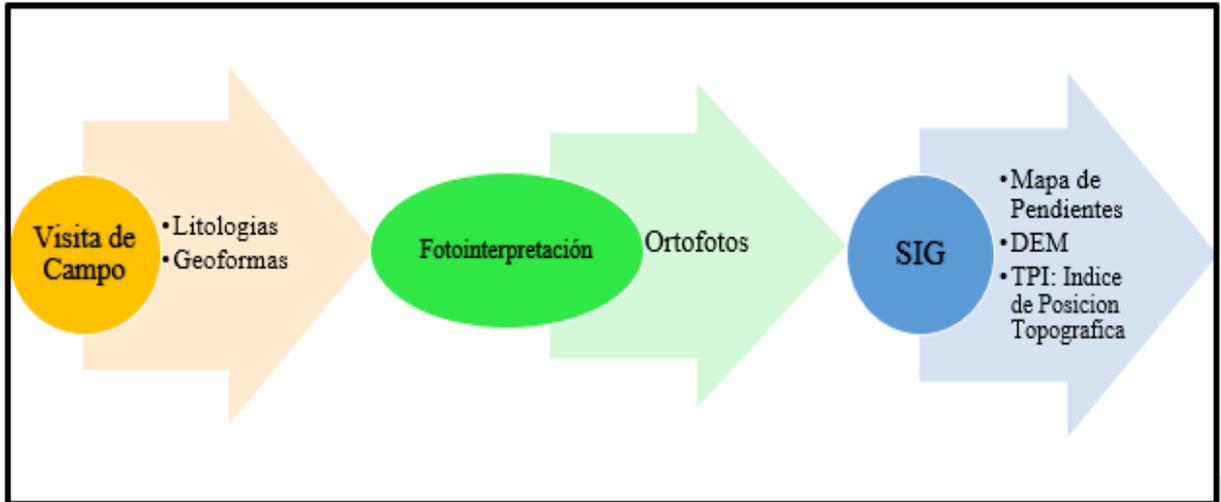


Figura 4. Metodología para la elaboración del mapa geomorfológico.

Fuente. Adaptado de CLIRSEN 2012.

En la obtención del mapa geomorfológico se empleó el mapa de pendientes anteriormente realizado y el Modelo Digital de Elevación (DEM), el cual permite determinar las características morfométricas del terreno.

De acuerdo a la metodología de CLIRSEN 2010, se clasifican las geomorfomas de acuerdo a la observación en campo y mediante aspectos como Genesis, morfología y desnivel relativo los cuales se presentan en tablas establecidas por el autor.

Génesis

La Génesis se expresa como el proceso por el cual se crea la unidad genética, mismas que el autor expresa en la **tabla 6**, la cual viene especificado por un código que lo hará reconocible.



Tabla 6. Unidad genética

Unidad Genética	Código
Denudativo	Den
Deposicional Acumulativo	Dep
Estructural	Est
Tectónico Erosivo	Tec
Glaciar	Glc
Volcánico	Vol

Fuente. (CLIRSEN, 2010)

Morfología

Describe los aspectos cualitativos de la unidad geomorfológica

Tabla 7. Unidades Geomorfológicas

Unidad Morfológica	Código
Relieve colinado muy alto	R6
Relieve colinado alto	R5
Relieve colinado medio	R4
Relieve colinado bajo	R3
Relieve montañoso	R7
Coluvio Aluvial antiguo	Co
Superficie poco disectada	L1
Superficie disectada	L2
Terraza alta	Ta
Terraza media	Tm
Valle en V	Vv

Fuente: Adaptado de (CLIRSEN, 2010)

Morfometría.

Corresponde al análisis cuantitativo del relieve, es decir que toma en cuenta los aspectos medibles de la descripción de la morfología (Summerfield, 1991; Tricart, 1965). Las variables morfométricas deben estar acordes con los datos que provee el Modelo Digital de Terreno MDT.



Desnivel relativo

Es la altura existente entre la parte más baja en este caso la cota menor y la parte más alta siendo esta la cota mayor de las unidades geomorfológicas, la **tabla 9** representa los rangos para representar esta variable para el mapa geomorfológico.

Tabla 8. Categorización de desniveles relativos

Tipo	Cod
0 a 5 m	1
5 a 15 m	2
15 a 25 m	3
25 a 50 m	4
50 a 100 m	5
100 a 200 m	6

Fuente. Adaptado de (CLIRSEN, 2010)

Para el análisis de las geofomas se utilizó la herramienta Topography Tools que se halla en el software ArcGIS 10.5. Mediante esta herramienta se genera el Índice de posición topográfica TPI, mismo que permite realizar un análisis de celdas o píxeles y su relación con las celdas colindantes. Este análisis asignará, a una celda central, el resultado de evaluar las condiciones de altitud respecto de las celdas que se encuentran inmediatamente próximas. Para evaluar este tipo de procedimiento se usó la opción de análisis en círculo, el mismo se realiza de manera radial desde el centro hacia fuera de la celda, de esta forma gráfica las formas con respecto a su radio de acción

Finalmente, se convirtió el modelo ráster a polígono y se creó los siguientes campos: unidad genética, forma del relieve, litología y pendiente.



5.2.2. Segundo Objetivo

“Determinar las propiedades físico-mecánico de los geo materiales.”

5.2.2.1. Prospección geofísica.

La prospección geofísica se emplea como método indirecto para describir y definir la litología a profundidad y grado de saturación de la misma. En el presente estudio se emplearon dos técnicas de prospección geofísica: sísmica de refracción y resistividad eléctrica de corriente continua. La misma se llevó a efecto conjuntamente con la compañía ESTSUELCON CIA. LTDA

- **Resistividad eléctrica**

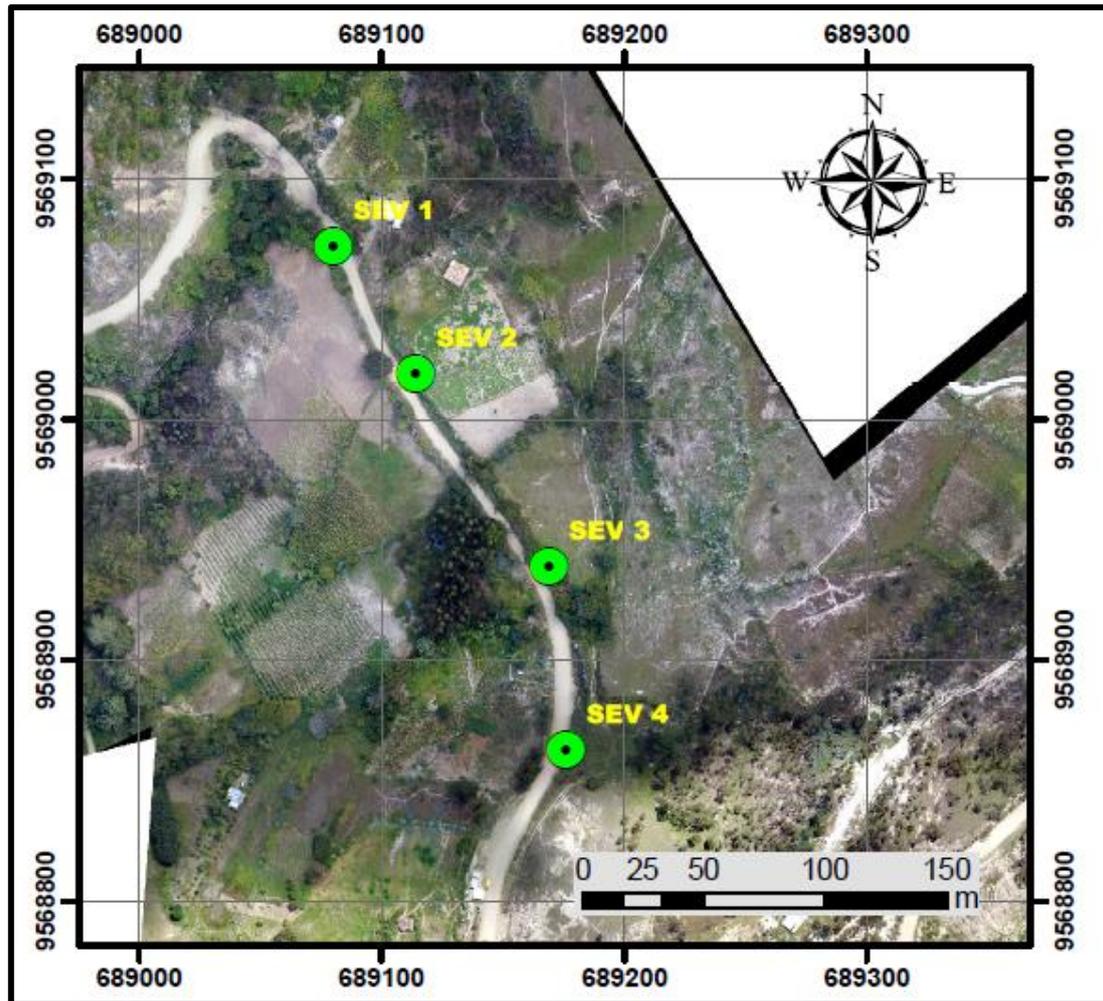
La prospección geofísica con el método de resistividad eléctrica se realizó mediante sondeos eléctricos verticales (SEVs).

Para determinar las condiciones geológicas e hidrogeológicas del área de estudio, se realizaron 4 sondeos verticales con un AB de 200m, situados en las coordenadas de la **tabla 9**.

Tabla 9. Coordenadas de ubicación de los SEV's realizados.

SEV	Coordenadas WGS84 17S	
	Este	Norte
1	689114	9569019
2	689169	9568939
3	689176	9568863
4	689080	9569072

Fuente. ESTSUELCON, 2019



*Figura 5. Ubicación de ensayos SEV.
La Autora 2019.*

En el estudio de resistividad eléctrica, se utilizó un resistivímetro marca ABEM modelo Terrameter SAS 4000 (*Fotografía 5*), utiliza un voltaje máximo de salida a los electrodos de corriente igual a 400 voltios (con selección de tres rangos automáticos de medida ± 250 mV, ± 10 V y ± 400 V).

La amplitud de corriente es fijada automáticamente por el instrumento, o por control manual para facilitar la adaptación a las condiciones reales de los estudios, con un rango de amperaje entre 1 mA a 1000 mA, suficiente para una separación de electrodos de corriente AB de 1000.0 m. bajo buenas condiciones de medida.



El equipo SAS 4000 responde a las medidas creadas por el transmisor de corriente en el momento de su acción, mientras rechaza las existentes por campos DC (SP), VOLTAJE Y RUIDO; la relación V/I que consta en las hojas de cálculo de cada sondeo eléctrico vertical (SEV), se calcula automáticamente y visualiza en la pantalla digitalmente en kilo ohmios, ohmios o mili ohmios.



Fotografía 5. Equipo de resistividad eléctrica SAS-4000 e implementos
Fuente: Estsuelcon, 2019.

En exploraciones geofísicas, el SAS 4000 permite medir señales naturales o inducidas a niveles extraordinariamente bajos, con una excelente penetración y un bajo consumo de energía. Además, se puede usar en una amplia gama de aplicaciones donde se necesite una eficaz diferenciación señal/ruido.

Trabajos de oficina

En esta etapa se examinó los resultados de campo para obtener los parámetros geotécnicos con los cuales se analizó la situación actual del terreno.

Para ello se utilizó el interpretador automático IPI2Win, luego de la cual se establecieron los espesores de las capas y las resistividades verdaderas correspondientes a cada una de ellas, mismas que en una segunda etapa sirvieron para la construcción de pseudosecciones aparentes, construcción de los cortes geofísicos.



- **Sísmica de refracción.**

Localización del punto de exploración

En base a la información existente de la zona, el levantamiento topográfico y el plano geológico de superficie realizado; se procedió a marcar el punto de interés para la realización de las líneas sísmicas misma que se muestra en la *figura 6*.

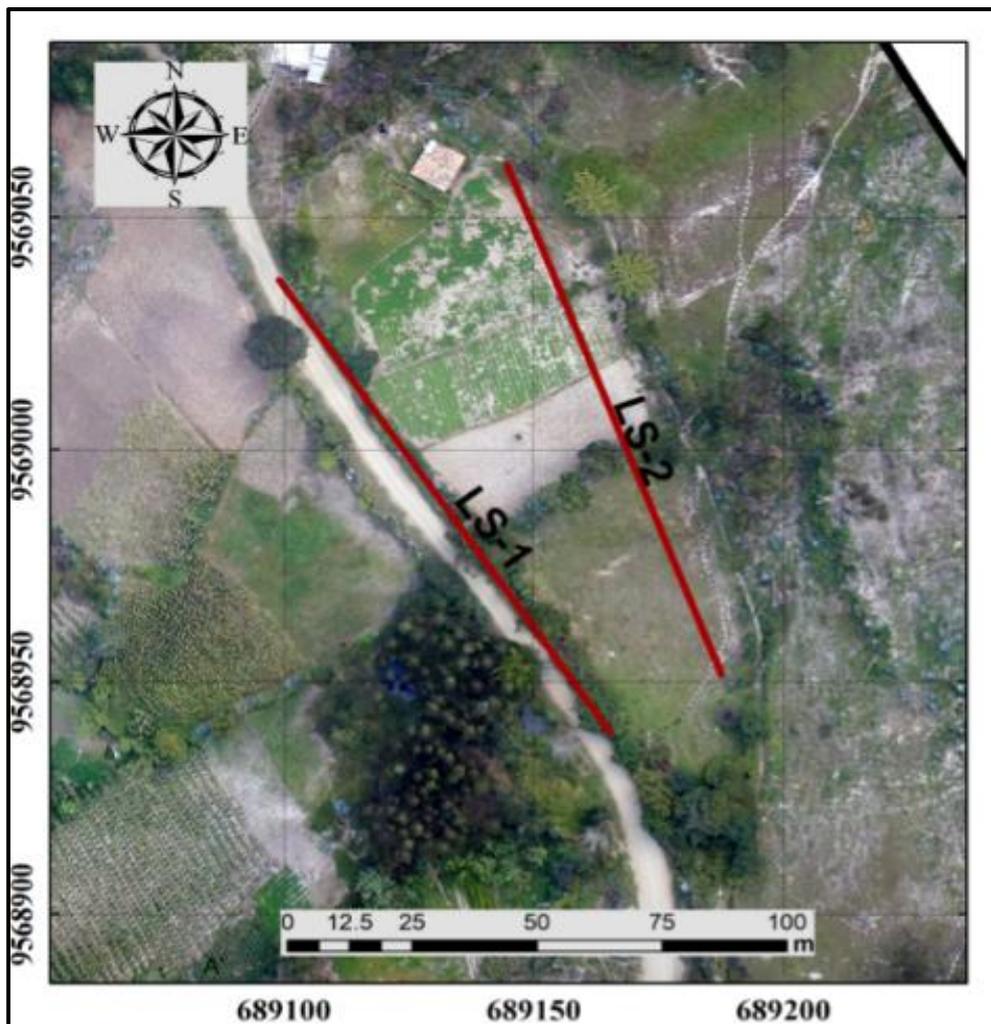


Figura 6. Ubicación de las líneas sísmicas

Fuente. La Autora

Trabajos de campo

Dentro del análisis del área, se realizó dos líneas sísmicas con la finalidad de definir espesores y estratos en el subsuelo; para ello se empleó el levantamiento topográfico y los resultados de la línea sísmica.



Las investigaciones se realizaron utilizando un sismógrafo de refracción sísmica SEISTRONIX RAS 24 de veinte y cuatro canales *fotografía 6*, como también se emplearon sus respectivos accesorios, cables, extensiones, geófonos horizontales y verticales, batería, detonador y computador de campo. Por medio de este equipo se registraron las ONDAS Longitudinales y las Transversales, para el cálculo de las velocidades de compresión



Fotografía 6 Equipo de sismica SEISTRONIX RAS 24
Fuente: ETSUELCON, 2019.

Para la obtención de los sismogramas, se realizaron tres tiros con explosivo en la línea sísmica y se emplean geófonos verticales para la lectura de las ondas de compresión. Los tiros corresponden a dos tiros de punta y un tiro central, los tiros de punta para líneas de 60m se separan 2.5m del último geófono.

Luego de haber obtenido los tiempos directos y de refracción, y las distancias conocidas se procedió a elaborar el Gráfico Tiempo – Distancia, (Dromocrónica) y los respectivos perfiles sísmicos.



Metodología de cálculo de la carga admisible en función de valores de ondas sísmicas.

El estudio geofísico se lo realizo con la interpretación de las velocidades de onda, densidad del material y la correlación de factores como: parámetros de elasticidad: Coeficiente de Poisson mientras tanto considerando cuerpos homogéneos e isótropo tenemos: Coeficiente de elasticidad (Módulo de Young), Coeficiente de rigidez (Módulo de Cizallamiento), Coeficiente volumétrico (Módulo de Incompresibilidad).

Velocidad (Vp): La velocidad de propagación de ondas sísmicas va a depender de las propiedades elásticas y la densidad del material. Ella es directamente proporcional a los parámetros elásticos e inversamente proporcionales a la densidad del cuerpo.

Velocidad (Vs): Las ondas Vs, se determinaron de acuerdo a la metodología establecida por Goriainov N. N. para los suelos y rocas, el mismo que estableció las siguientes relaciones:

$$V_p/V_s = 1.43 \text{ si } V_p \text{ oscila entre } 0 - 999.0 \text{ m/s}$$

$$V_p/V_s = 1.55 \text{ si } V_p \text{ oscila entre } 1000.0 - 1999.0 \text{ m/s}$$

$$V_p/V_s = 1.65 \text{ si } V_p \text{ oscila entre } 2000.0 - 2999.0 \text{ m/s}$$

$$V_p/V_s = 1.73 \text{ si } V_p \text{ oscila entre } 3000.0 - 3999.0 \text{ m/s y}$$

$$V_p/V_s = 1.93 \text{ si } V_p \text{ es } > 4000.0 \text{ m/s.}$$

Una vez conocidas las velocidades **Vp** y **Vs** podemos calcular los coeficientes dinámicos y estáticos de los suelos y rocas.



Coefficiente de Poisson: Es definido como la relación entre la deformación, la deformación de contracción lateral y la deformación de expansión longitudinal.

$$\mu = \frac{1 - 2 \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2}{2 - 2 \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2} \quad (\text{Expresión 4})$$

Coefficiente de elasticidad (Módulo de Young): es la relación entre la tensión normal, y la deformación que ocurre en dirección de esta tensión.

$$E_{din} = V_p^2 \delta \frac{(1 + \mu d)(1 - 2\mu d)}{g1 - \mu d} \quad (\text{Expresión 5})$$

Coefficiente de rigidez (Módulo de Cizallamiento): es la relación entre la tensión cizallante y la deformación cizallante.

$$G = \frac{\sigma_{if}}{\epsilon_{if}} \quad (\text{Expresión 6})$$

Coefficiente volumétrico (Módulo de Incompresibilidad): es la relación entre la variación de presión hidrostática y la variación del cuerpo.

$$K = \frac{dP}{\Delta} \quad (\text{Expresión 7})$$

Según Meyerhof (1957), el valor de S.P.T. para la capa de Velocidad V_p , se correlaciona con la ecuación:

$$N = 0,0284 \times V_p - 7,6 \quad (\text{Expresión 8})$$

De donde la capacidad admisible neta de la capa se obtiene por la expresión:

$$Qa = \frac{N}{10} \quad (\text{Expresión 9})$$



5.2.2.2. Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso.

Para la caracterización del macizo rocoso se usó la metodología propuesta por Bienaski, Rock Mass Rating (RMR).

- **Rock Quality Index (RQD)**

(Deere, 1989) propuso un índice cuantitativo de la calidad de la roca basado en la recuperación de los fragmentos con perforación de diamante llamado índice de la calidad de la roca. Estableció al RQD como el porcentaje representado por la sumatoria de longitudes de fragmentos de barrenos de diamante que se recuperan en longitudes enteras mayores o iguales a 100mm, dividida entre la longitud total perforada.

$$RQD(\%) = \sum \frac{\text{Longitud de fragmentos} > 100\text{mm}}{\text{Longitud Total Perforada}} * 100 \quad (\text{Expresión 10})$$

Se acepta normalmente que el RQD se establece en núcleos de cuando menos de 50 mm de diámetro. Deere propuso la siguiente relación entre el valor numérico RQD y la calidad de la roca desde el punto de vista en la ingeniería:

Tabla 10: Índice de calidad de la roca

RQD (%)	CALIDAD DE LA ROCA
<25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Regular
75 - 90	Buena
90 - 100	Excelente

Fuente: Deere & Deere, 1989

Cuando no se dispone de núcleos de perforación, se podrá estimar el RQD por la cantidad de fisuras contenidas en la unidad de volumen, en la que la cantidad de juntas por metro cúbico, en cada sistema de juntas se suman. Para lo cual se utiliza la siguiente fórmula alternativa:



$$RQD(\%) = 115 - 3.3Jv \text{ para } Jv > 4.5 \quad (\text{Expresión 11})$$

$$RQD(\%) = 100 \text{ para } Jv \leq 4.5 \quad (\text{Expresión 12})$$

En donde:

Jv = índice volumétrico de juntas o número de juntas por metro cúbico.

$$Jv = 1S1 + 1S2 + 1S3 + \dots + 1Sn \quad (\text{Expresión 13})$$

- **Rock Mass Rating o RMR**

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos: (González L., 2004)

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

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR, Rock Mass Rating, que valía de 0 a 100.

El RMR permite la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, parámetros resistentes del criterio del Mohr-Coulomb. En las siguientes ecuaciones se muestran las relaciones entre RMR y los parámetros resistentes.



$$c = 5RMR(KPa) \quad (\text{Expresión 14})$$

$$\varphi = 5 + \frac{RMR}{2} (deg) \quad (\text{Expresión 15})$$

Para aplicar la clasificación RMR se divide el macizo rocoso en zonas o tramos que presenten características geológicas más o menos uniformes de acuerdo con las observaciones hechas en campo, en las que se lleva a cabo la toma de datos y medidas referentes a las propiedades y características de la matriz rocosa y de las discontinuidades. Para calcular el índice RMR correspondiente a cada una de las zonas se sigue el siguiente procedimiento señalado en la **tabla 11**.

Tabla 11. Parámetros de clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

Parámetro: Resistencia de la matriz rocosa (MPa)							
Ensayos de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)		
Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	1<
Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
Parámetro: RQD							
RQD	90%-100%		75%-90%		50%-75%	25%-50%	<25%
Puntuación	20		17		13	8	3
Parámetro: Espaciado de las discontinuidades							
Separación entre diaclasas	>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m		<0.06m	
Puntuación	20	15	10	8		5	



Parámetro: Estado de las discontinuidades						
Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m	
Puntuación	6	4	2	1	0	
Abertura	Nada	<0.1mm	0.1-1mm	1-5mm	>5mm	
Puntuación	6	5	3	1	0	
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	
Puntuación	6	5	3	1	0	
Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm	
Puntuación	6	4	2	2	0	
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	
Puntuación	6	5	3	1	0	
Parámetro: Flujo de agua en las juntas						
Relación: Presión de agua/tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5	
Estado general	Seco	Ligeramente húmedas	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo	
Puntuación	15	10	7	4	0	
Corrección por la orientación de las discontinuidades						
Dirección y buzamiento	Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables	
	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
Puntuación	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60



Clasificación					
Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20

Fuente: Bieniawski. Engineering rock mass classifications. 1989

Luego de recolectado los datos y medidas, correspondientes a la tabla de clasificación geomecánica referentes a las propiedades y caracterización del macizo rocoso (matriz rocosa y discontinuidades), a continuación, se obtienen las puntuaciones que resultan de la aplicación de los cinco parámetros de clasificación, se ejecuta la corrección por orientación de discontinuidades y finalmente se obtiene un valor numérico aplicando la siguiente relación:

$$RMR = P(UCS) + P(RQD) + P(s) + P(JC) + P(WC) \quad (\text{Expresión 16})$$

Donde:

P(x)= es el puntaje asociado al parámetro x.

UCS= resistencia en compresión uniaxial de la roca intacta.

RQD= es la designación de la calidad de la roca definida por (Deere, 1989)

s= es el espaciamiento entre las estructuras.

JC= es la condición de las estructuras o estado de discontinuidades.

WC= es la condición de aguas



- **Índice de resistencia geológica, GSI (Hoek,1994)**

El sistema fue desarrollado por (Hoek, 1994) para subsanar los problemas detectados con el uso del índice RMR para evaluar la resistencia de macizos rocosos según el criterio generalizado de Hoek-Brown. Este índice de calidad geotécnica se determina en base a dos parámetros que definen la resistencia y la deformabilidad de los macizos rocosos.

RMR: es la estructura del macizo rocoso, definida en términos de su blocosidad y grado de trabazón.

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

Tomando en cuenta estos parámetros se escoge en la **tabla 12** la situación que más se acerca a la realidad del macizo estudiado, obteniendo de esta forma el valor del GSI o también se puede aplicar la relación existente entre GSI y RMR en base al RMR de 1989, que se detalla a continuación:

$$\mathbf{RMR_{89} > 23 \rightarrow GSI = RMR_{89} - 5} \quad (\text{Expresión 17})$$

$$\mathbf{RMR_{89} < 23 \rightarrow \text{No se puede utilizar el } RMR_{89} \text{ para obtencion del GSI}} \quad (\text{Expresión 18})$$

La clasificación de los macizos rocosos en respecto a valores obtenidos del GSI son:

Macizos de calidad *Muy Mala* ($0 \leq GSI \leq 20$)

Macizos de calidad *Mala* ($20 < GSI \leq 40$)

Macizos de calidad *Regular* ($40 < GSI \leq 60$)

Macizos de calidad *Buena* ($60 < GSI \leq 80$)

Macizos de calidad *Muy Buena* ($80 < GSI \leq 100$)



Tabla 12 Estimación del GSI, basado en observaciones geológicas.

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

Fuente: Hoek et al., 2002.



Para realizar las caracterizaciones antes mencionadas, se tomó como referencia 3 taludes de roca que se ubican al margen de la vía en estudio, el Talud 1 y Talud 2 corresponden a taludes de toba andesítica porfídica y el Talud 3 corresponde a toba dacítica, cuya ubicación geográfica se muestra en la **tabla 13**.

Tabla 13. Ubicación Geográfica de taludes considerados para la caracterización geomecánica

Ubicación Geográfica De Taludes Para La Caracterización Geomecánica		
Código	Este	Norte
Talud 1	689837	9569686
Talud 2	689740	9569686
Talud 3	689310	9568799
Datum. WGS 84		
La Autora		

Los sistemas de clasificación de macizos rocosos, permiten relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo.

Para la aplicación de la clasificación RMR, se utilizó la **tabla 14**, adaptada de (Castillo, 2014), donde a partir de un levantamiento de campo se analizaron parámetros relacionados a resistencia de la matriz, espaciado y condición de juntas, además de las condiciones hidrogeológicas del macizo.



Tabla 14. Tabla Empleada Para Caracterización Geomecánica

PROYECTO: Caracterización Geología Geotécnica en la vía Taquil – Chantaco km 0-2 LOCALIZACIÓN: HOJA/PLANO: 1 / 1 FOTO: 1-2
 REALIZADO POR: Karina Cueva
 FECHA: Diciembre 2019

LITOLOGÍA	NATURALEZA: VOLCANO SEDIMENTARIA			POTENCIA:	FORMACIÓN:	Gonzabal	
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA:		MORFOLOGÍA			ESPESOR:	
ESTRUCTURA	PLIEGUES	FALLAS		OTROS:			
FRACTURACIÓN	BLOQUES	Muy Grandes	Grandes	Medios	Pequeños	Muy Pequeños	Muy brechificado
	Jv Juntas/m3	<1	1-3	3-10	10-30	>30	>60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente blanda (Uña)	Muy blanda (Navaja)	Blandas (Punta de martillo)	Media (1 golpe martillo)	Dura (+ 1 golpe martillo)	Muy dura	Extremadamente Dura (Sólo raya con martillo)
	0	1	2	3	4	5	6
GRADOS DE METEORIZACION	I	II		III	IV	V	VI
	Inalterada (6)	Ligeramente alterada (5)		Moderadamente alterada (3)	Muy alterada (1)	Completamente meteorizada (0)	Suelo residual (0)
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco (sin señales de agua)		Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO:
MUESTRAS				OBSERVACIONES:			
FOTOGRAFIAS	Fotografía 1			Fotografía 2			

Fuente: Adaptado de (Castillo, 2014)



De los valores entre 0 y 100 obtenidos de la aplicación de la *tabla 14*, se correlacionaron con la clasificación de macizo rocoso de la *tabla 11*, la cual establece la existencia de cinco clases, y a cada clase de macizo se le asignó una calidad determinada.

5.2.2.3. Ensayo uniaxial o de compresión simple.



Fotografía 7. Colocación de muestra cubica para el ensayo de compresión simple
La Autora, 2019.

El ensayo permite determinar en laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca, o resistencia a compresión simple, y sus constantes elásticas: el módulo de Young y coeficiente de Poisson. (González L., 2004)

El ensayo se realiza sobre un cubo de roca, al que se aplica gradualmente fuerza axial hasta que se produce su rotura, siendo este el máximo esfuerzo que soporta la roca a la compresión simple y viene dada por:

$$\sigma_C = \frac{F_C}{A} = \frac{\text{Fuerza compresiva aplicada}}{\text{Area de aplicación}} \quad (\text{Expresión 19})$$



Además, también se puede estimar de forma aproximada a partir de índices obtenidos en sencillos ensayos como ensayo de carga puntual, o el martillo de Schmidt; y a través de índices de campo como se muestra en la **tabla 15**.

Tabla 15. Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de rocas a partir de índices de campo

Clase	Descripción	Identificación de campo	Aproximación al rango de resistencia a compresión simple (MPa)
Rc	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña	0.25-1.0
R1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se talla fácilmente	1.0-5.0
R2	Roca blanda	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se produce pequeñas marcas.	5.0-25
R3	Roca moderadamente dura	No puede tallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo.	25-50
R4	Roca dura	Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla.	50-100
R5	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes con el martillo para fracturarla.	100-250
R6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo solo saltan esquirlas.	>250

Fuente: ISRM,1981.



*Fotografía 8. Medición de resistencia con martillo de Schmidt
La Autora, 2019.*

En la caracterización de campo se tomó datos de resistencia con el martillo de Schmidt, las mismas se realizaron en cada litología encontrada. Se tomaron 5 datos por cada talud, posteriormente se realizó un promedio en estos datos para poder obtener la resistencia.

De la misma manera se realizó las mediciones en los cubos de roca, para poder así comparar las resistencias entre el talud en campo, los cubos de roca tallados y la compresión uniaxial en laboratorio.

5.2.2.4. Propiedades físicas de la matriz rocosa.

Las propiedades físicas o propiedades índices de las rocas se determinan en laboratorio; las más importantes a nivel de influencia en el comportamiento mecánico que se realizaron en la presente investigación fueron: porosidad, el peso específico, la resistencia a la compresión simple.



Para la determinación de las propiedades de la matriz rocosa se tomó muestras en los taludes de roca donde se realizó la caracterización geotécnica, mismo que fueron llevados al laboratorio.

Para la determinación de la gravedad específica se siguió el protocolo establecido en la norma ASTM D854-58, pasos que se detallan a continuación.

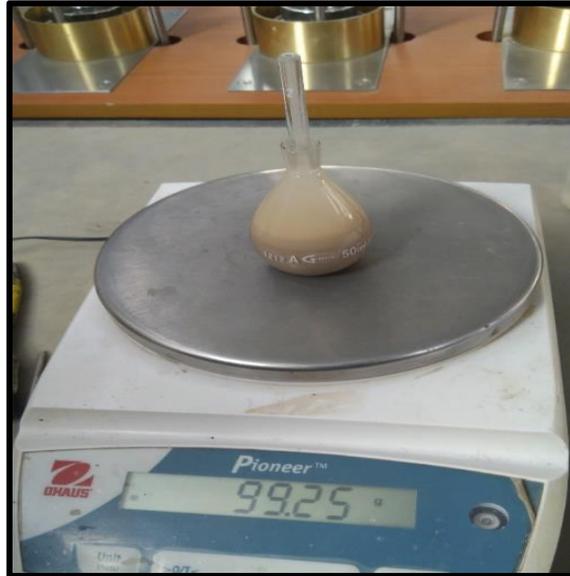
- Secado de la muestra al horno en temperatura constante de 105°C.
- Trituración de la muestra de roca y tamizado de la roca triturada por tamiz 200.



Fotografía 9. Muestras de rocas trituradas y tamizadas.

La Autora, 2019.

- Pesar cada picnómetro vacío, seco y limpio en la balanza analítica y se anota su resultado en la planilla de ensayo. (**Wp**)
- Se coloca 25g de masa del material triturado dentro del picnómetro y se pesa, en la planilla se coloca como peso del picnómetro + muestra. (**Wps**)
- Con ayuda de la piceta se lleva al tope la medida de agua en el picnómetro; se lo deja reposar hasta que el mismo sedimente. (**Wpt**)



Fotografía 10. Picnómetro con muestra más agua

La Autora, 2019.

- Posterior se lleva la muestra a la cámara de vacíos, a una temperatura de 20°C, misma que sacara todo el aire que la muestra conserva, el procedimiento se lo realizo por 15min y se pesó. En la planilla se colocó como peso del picnómetro + agua + muestra. (**Wpws**)



Fotografía 11. Cámara de vacíos

La Autora, 2019.



- **Gravedad específica.**

$$G_s = \frac{W_s}{W_s + W_{pt} - W_{pws}} * G_w \quad (\text{Expresión 20})$$

Las fórmulas para el cálculo de los parámetros que se presentan a continuación, han sido tomadas de los libros: Ingeniería geológica de Luis Vallejo (2002), y Fundamentos de ingeniería geotécnica cuarta edición del autor Braja, M. Das (2013). Son las siguientes:

- **Peso específico**

El peso específico o peso unitario de la roca depende de sus componentes, y se define como el peso por unidad de volumen. Sus unidades son las de fuerza (kilopondio, newton, tonelada-fuerza, etc.) por volumen. En general se considera el mismo valor para el peso específico, y para la densidad, ρ ($\rho = \text{masa/volumen}$), por lo que en ocasiones en la bibliografía geotécnica se emplea el término

$$\rho = \frac{W}{V} \quad (\text{Expresión 21})$$

- **Peso específico aparente**

$$\rho_a = \frac{W_{seco}}{W_{sat} - W_{sumergido}} * \rho_w \quad (\text{Expresión 22})$$

- **Peso específico real**

$$\rho_r = \frac{W_{pulverizada}}{W_2 - W_{pulverizada} - W_1} * \rho_w \quad (\text{Expresión 23})$$

Dónde:

W_1 = W picnómetro + agua + muestra pulverizada

W_2 = W picnómetro + agua

- **Contenido de humedad**

$$C. H. = \frac{W - W_{seco}}{W_{seco}} * 100 \quad (\text{Expresión 24})$$



Dónde:

W: Peso de la muestra en estado natural.

- **Porosidad**

La porosidad es la relación entre el volumen ocupado por los huecos o poros en la roca (V_v), y el volumen total V (partículas sólidas + huecos).

$$n (\%) = \left(1 - \frac{P_a}{P_r}\right) * 100 \quad (\text{Expresión 25})$$

Es la propiedad que más afecta a las características resistentes y mecánicas, siendo inversamente proporcional a la resistencia y a la densidad y directamente proporcional a la deformabilidad, ya que la existencia de huecos puede dar lugar a zonas de debilidad. Los poros, en el caso de rocas cristalinas, ígneas o metamórficas, pueden ser micro fisuras o grietas en la matriz rocosa. La porosidad, en general, decrece con la profundidad.

- **Porosidad eficaz**

Es la relación entre el volumen de poros interconectados y el volumen de la muestra. Puede obtenerse a partir de los pesos seco y saturado de la muestra:

$$ne = \frac{(W_{sat} - W_{seco})}{(W_{sat} - W_{sumergido})} * 100 \quad (\text{Expresión 26})$$

En las rocas es frecuente que los poros no estén interconectados, por lo que la porosidad real será mayor que la eficaz.

- **Porosidad cerrada**

$$nc = n - ne \quad (\text{Expresión 27})$$

- **Coefficiente de absorción.**

$$Cabs = \frac{(W_{sat} - W_{seco})}{(W_{seco})} * 100 \quad (\text{Expresión 28})$$



- **Compacidad**

$$C = 100 - n \quad (\text{Expresión 29})$$

- **Módulo de Saturación.**

$$Msat = \frac{ne}{n} * 100 \quad (\text{Expresión 30})$$

- **Cohesión y Angulo de Fricción Interna.**

Para el cálculo de cohesión y ángulo de fricción interna, se usó el software RocLab, mismo que con los datos de resistencia a la compresión simple y el valor de GSI, nos da los valores de estos dos parámetros, el cálculo se lo realiza mediante el criterio de Hoek-Brown ajustado al criterio de Morh-Coulomb; este resultado posteriormente nos sirvió para realizar el cálculo del factor de seguridad.

5.2.3. Tercer Objetivo

“Calcular el Factor de Seguridad mediante el método de talud infinito.”

5.2.3.2. Factor de seguridad

Para el cálculo del factor de seguridad se realizó un análisis mediante el software Slide 6.0., mismo que permitió modelar los taludes correspondientes.

Para la representación del perfil del talud, se generó perfiles transversales a partir de la topografía en el software QGIS, los cuales fueron exportados al software Slide.6.0. Aquí se ingresaron valores de peso específico, ángulo de fricción y cohesión; generando una cuadrícula de 20x20 y consecutivamente calculando el factor de seguridad mediante el método de Mohr Coulomb.



6. RESULTADOS.

6.1. Ubicación Geográfica.

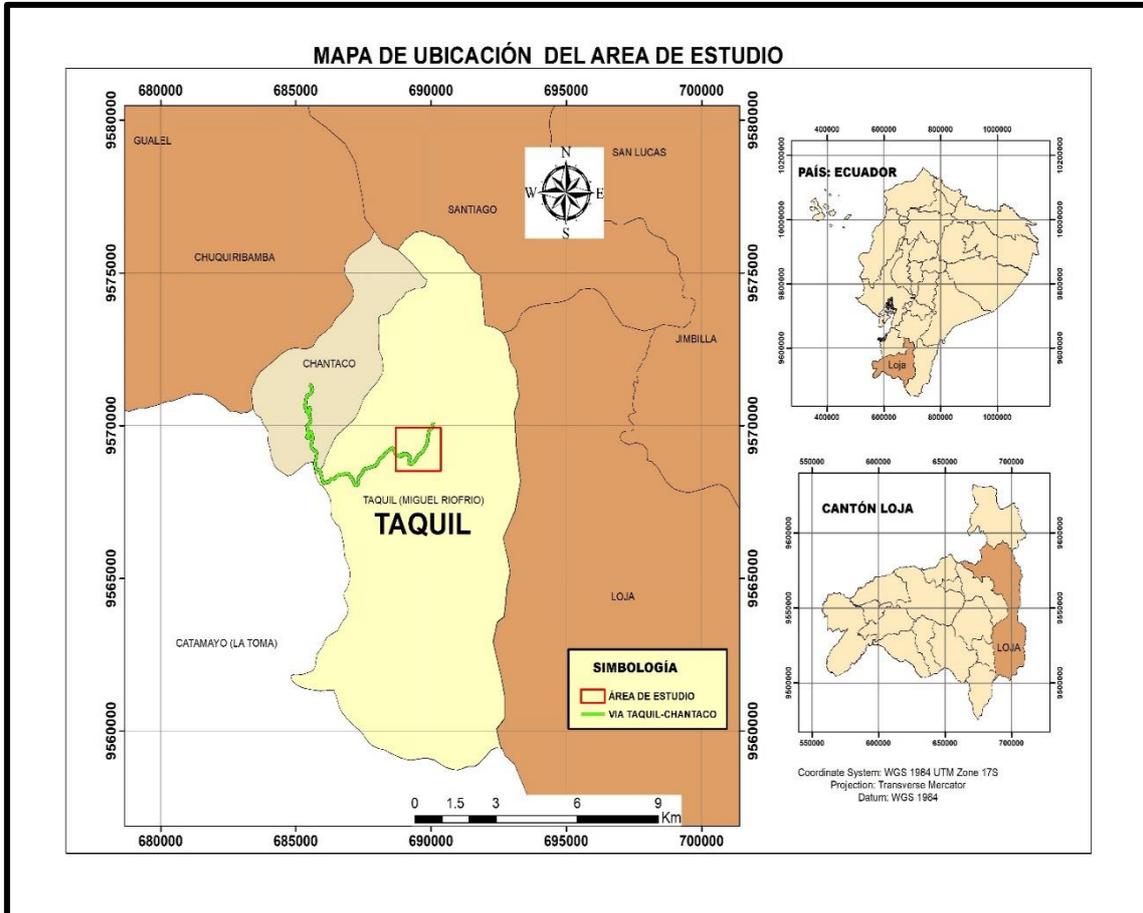


Figura 7 Mapa de Ubicación del Área de Estudio

La Autora, 2019

El área de estudio se encuentra localizada en el Km 0-2 de la vía Taquil – Chantaco, misma que se ubica al Sur del Ecuador; en el noroccidente del cantón Loja, Limita al Norte con las parroquias San Pablo de Tenta (cantón Saraguro) y parte de las parroquias San Lucas y Gualiel al Sur con la parroquia Jimbilla y la parroquia urbana de Loja El Valle, al este con la parroquia San Lucas y al Oeste con las parroquias de Chuquiribamba y Gualiel.



6.2. Clima

Según el PDyOT GAD Parroquial 2014-2019, la parroquia Taquil por su ubicación geográfica y por la influencia de la Cordillera de los Andes principalmente; el clima es Templado frío, con una temperatura que fluctúa entre los 10 y 18 °C y la humedad relativa oscila entre el 30% y 70% aproximadamente.

La Parroquia Taquil presenta 5 tipos de climas, de los cuales 3 son de mayor influencia y 2 de mínima influencia, entre ellos tenemos el Templado sub húmedo que ocupa 5.986,42 hectáreas que equivale al 64.74 %, el Templado húmedo que cuenta con 1.877,15 hectáreas que equivale al 20.30%, y el Subtropical Seco que ocupa 1.377,49 hectáreas equivaliendo al 14.90 %.

6.3. Temperatura.

Es la medida del estado de calor o frío, varía según la localización geográfica, altura sobre el nivel del mar, latitud, época del año, hora del día, estado del tiempo o condiciones meteorológicas de vientos, nubosidad, precipitación y evaporación.

La temperatura media anual de la parroquia es de 14°C; Sin embargo y de acuerdo al Mapa de Isotermas se presentan diferentes rangos de temperatura que van desde las temperaturas más bajas 12°C al noroeste, hasta las más altas 20°C al suroeste de la parroquia. (PDyOT, 2014)

6.4. Topografía

La topografía de la parroquia es bastante irregular, con una altitud que oscila entre los 1.180 a 2.230 m.s.n.m. debido a la presencia de la cordillera de los andes lo que da lugar a la formación de montañas que se entrelazan naturalmente para servir de protección al frío valle de gran parte del asentamiento de la población. Esta parroquia tiene una



orografía muy accidentada que lo constituye en un verdadero laberinto de cerros, pequeñas cordilleras y lomas alrededor de la Hoya de Loja que es de relieve bastante irregular. (PDyOT Taquil, 2014)

En base al levantamiento topográfico realizado con vehículo aéreo no tripulado se obtuvo una ortofoto del sector en estudio, la misma se presenta adjunta en el *anexo 1*.

Así mismo en la *tabla 16* se muestra los puntos de control obtenidos y el error con el que se realizó el traslape de las imágenes.

Tabla 16. Resultados del post - proceso de los puntos de control

Nombre	Error X(m)	Error Y (m)	Error Z(m)	Total (m)	Imagen (Pix)
Punto 1	-0.01988	0.018644	-0.014614	0.0030925	0.294
Punto 2	0.0278356	-0.02441	0.0126685	0.0039134	0.526
Punto 3	0.0261063	0.004262	0.0058166	0.0050324	0.463
Punto 4	-0.093217	-0.07075	-0.020696	0.0118832	0.456
Punto 5	0.0957946	0.025264	-0.005454	0.0992201	0.973
Punto 6	-0.050342	-0.00303	0.0024599	0.0050429	0.351
Punto 7	0.0208753	0.004923	0.0148442	0.0555031	0.316

Fuente. SETIAGROUP. S.A.

El levantamiento del área de estudio corresponde 40 Ha. El mapa topográfico se encuentra en el *Anexo 2*.

La topografía del sector de estudio en base al levantamiento realizado, presenta cotas de elevación que van desde los 2100 - 2300 msnm, existiendo un desnivel de 200m

Con respecto a la cota más baja, se ubica en la zona Sur – Oeste donde se presentan pequeñas elevaciones, dirigiéndose hacia el Este se presentan terrenos más escarpados, en donde hay pequeños asentamientos humanos y zonas de cultivos.

Las elevaciones más altas se ubican en la zona Nor-Este. A partir de la topografía del terreno se elaboraron tres perfiles topográficos que posteriormente servirán de base para la correlación con los perfiles geológicos.

El corte A-A` se lo realizó de Nor-Este a Sur-Oeste en el centro de la zona de estudio, posee una extensión de 1002 m. La diferencia entre la cota de mayor relevancia con la menor es de 120 m.

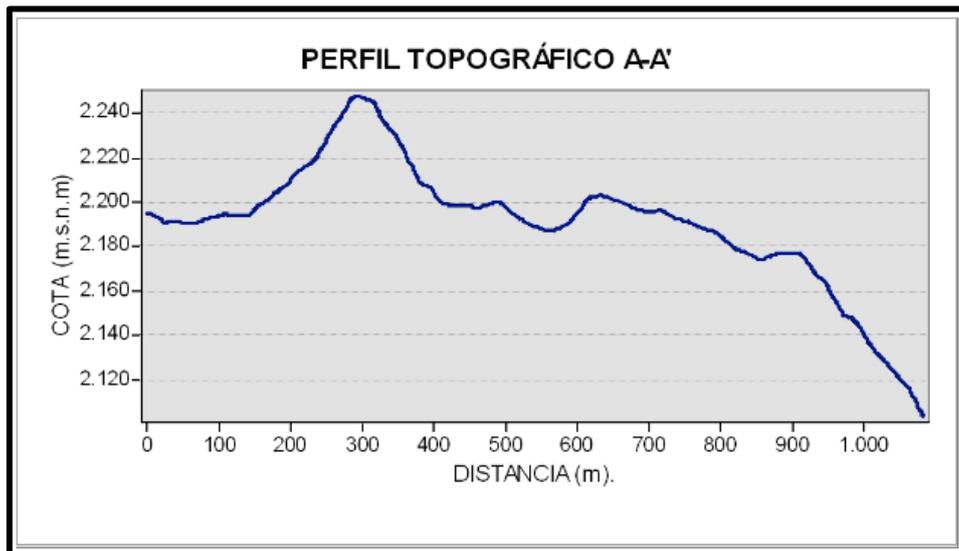


Figura 8. Perfil Topográfico A-A`
Elaboración: La Autora, 2019

El corte B-B´ se lo realizó de Nor-Oeste a Sur-Oeste en la parte Sur del área de estudio, posee una extensión de 633.56 m. La diferencia entre la cota de mayor relevancia con la menor es de 45m.



Figura 9. Perfil Topográfico B -B`

Elaboración: La Autora, 2019

El corte C-C´ se lo realizó de Norte a Sur en el Este del área de estudio, posee una extensión de 472.53 m. La diferencia entre la cota de mayor relevancia con la menor es de 100 m.

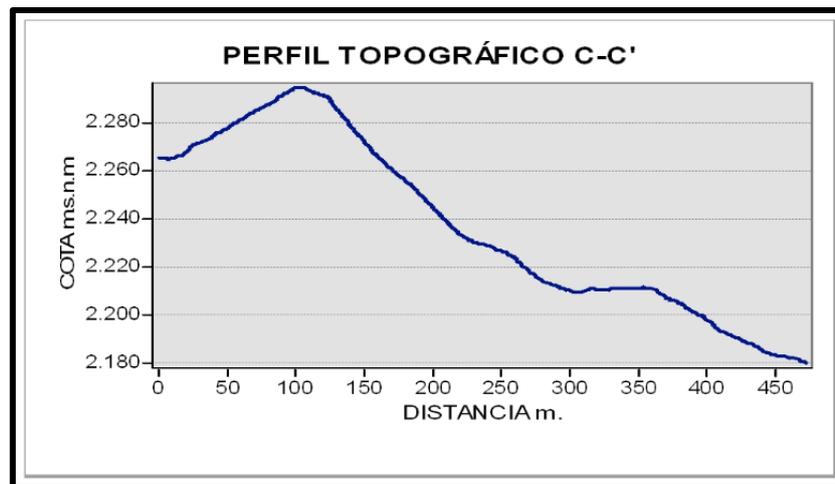


Figura 10. Perfil Topográfico C - C´

Elaboración: La Autora, 2019

6.5. Pendientes.

Hupp L. (1989), según su metodología menciona que, para realizar el cálculo de pendientes, a través de una base topográfica dependerá en primera instancia de la escala, el intervalo y finalmente el objetivo de estudio. Las pendientes del área de estudio se

calcularon a través del software tipo SIG, con la metodología tradicional para obtener la misma partiendo del modelo Demek 1976, siendo agrupadas en categorías.

Tabla 17. Resultado del Mapa de Pendientes

Rango		Clase de Pendiente	Area (m2)	Porcentaje (%)
	5° a 15 °	Fuertemente inclinado	60173.31758	21.988286
	15° - 35°	Muy inclinado	145269.8615	53.083916
	35° - 55°	Empinado	68103.1276	24.885965

La Autora, 2019

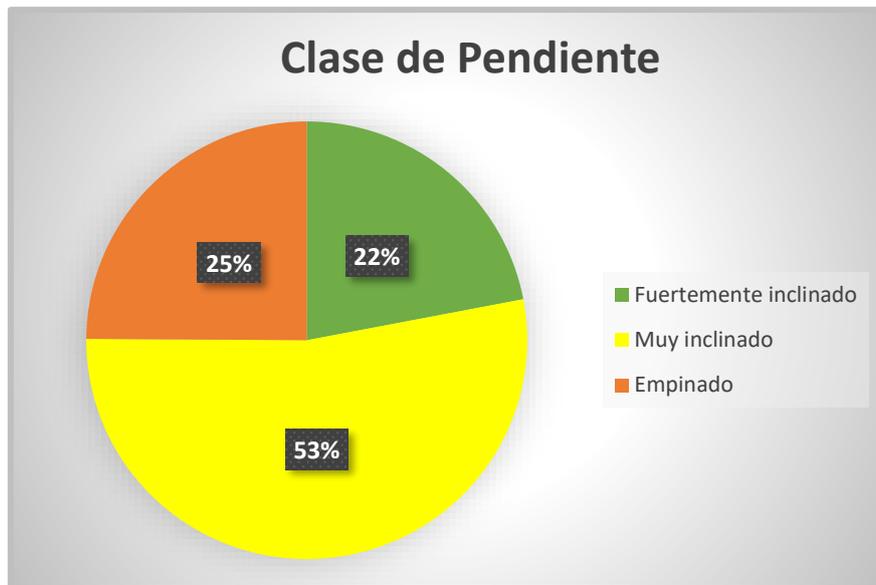


Figura 11. Representación Gráfica de Clase De Pendiente Del Sector De Estudio
La Autora, 2019.

Correlacionando el mapa de pendientes (*Anexo 3*) con el topográfico, se deduce que la predominancia de terrenos muy inclinados se encuentra en el sector Este del área de estudio.

Las pendientes que mayor área ocupan en el sector de estudio son: terrenos muy inclinados con un 53.08%, los mismos se ubican en la parte Sur -Oeste del área de estudio; la categoría de pendiente terrenos empinados ocupa un 24.88%, ubicándose al Nor-Este



y Sur-Oeste del área de estudio, seguidamente se tiene terrenos fuertemente inclinados con un 21.99%.

6.6. Geomorfología

La geomorfología presente en el área de estudio tiene su origen en procesos tectónicos erosivos y denudativos. Los cuales generan unidades geomorfológicas colinadas y montañosas de diversas alturas y pendientes, mismas que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en grado variable por los procesos erosivos.

En este contexto, se encuentran identificadas 7 unidades geomorfológicas que se encuentran representadas en el mapa geomorfológico del *Anexo 4*.

Las principales unidades geomorfológicas identificables son los siguientes:

Tectónico erosivo

Relieve montañoso (R7)



*Fotografía 12. Relieve Montañoso.
La Autora, 2019.*



Esta unidad geomorfológica se ubica al Nor-Oeste del tramo de vía en estudio, con características morfométricas de desniveles relativos >50 metros y pendientes comprendidas en rangos $>35^\circ$. Se compone por tobas andesíticas mismas que se observan en los cortes de talud de vía, presenta alta erosión y cobertura vegetal arbustiva.

Ocupa un área de 6.898 hectáreas que corresponde a un porcentaje de 17.462%.

Relieve colinado alto (R5)



Fotografía 13. Relieve colinado Alto
La Autora, 2019

Esta unidad geomorfológica es la predominante en el sector de estudio comprende un área de 17.822 las cuales comprenden el 43.85% del área total de estudio. La litología predominante en esta unidad son las tobas andesíticas y en menor proporción las tobas dacíticas y los aglomerados volcánicos.

Las características morfométricas de esta unidad son desniveles relativos hasta 50m y pendientes entre $15^\circ - 35^\circ$

Relieve colinado medio (R4)

La unidad geomorfológica relieve colinado medio, tiene un área de 7.649 hectáreas, que constituye el 19.36%, las características morfométricas para esta unidad son desniveles relativos entre 0 a 5m y pendientes entre 5° a 15° . Litológicamente está constituida por tobas andesíticas, además se caracteriza por poseer cultivos de ciclo corto



Fotografía 14. Relieve Colinado Medio
La Autora, 2019

Relieve colinado bajo (R3)



Fotografía 15. Relieve Colinado Bajo
La Autora, 2019

La unidad geomorfológica relieve colinado bajo, comprende un área de 6.720, que constituye el 17.02%, las características morfométricas para esta unidad son desniveles relativos entre 0 a 5m y pendientes entre 0° a 5°. Litológicamente está constituida por tobas andesíticas, además se caracteriza por poseer cultivos de ciclo corto.

Denudativo

Coluvio aluvial

Este tipo de unidad geomorfológica se encuentra en menor proporción dentro del área de estudio, se ubica al este en el principio del tramo de vía en la quebrada Quillashapa y al oeste a unos cuantos metros de finalizar el tramo de vía en estudio.



Fotografía 16. Coluvio Aluvial
La Autora, 2019.

Realizando un resumen general de la geomorfología presente en la vía Taquil Chantaco tenemos lo siguiente:

Tabla 18. Unidades Geomorfológicas Presentes en el sector de Estudio

COD	UNIDAD GENÉTICA	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Co	Denudativo	Coluvio Aluvial	0.910	2.30
R3	Tectónico Erosivo	Relieve Colinado Bajo	6.720	17.02
R4	Tectónico Erosivo	Relieve Colinado Medio	7.649	19.36
R5	Tectónico Erosivo	Relieve Colinado Alto	17.823	43.85
R7	Tectónico Erosivo	Relieve Montañoso	6.898	17.46
Total			40.000	100.00

La Autora, 2019

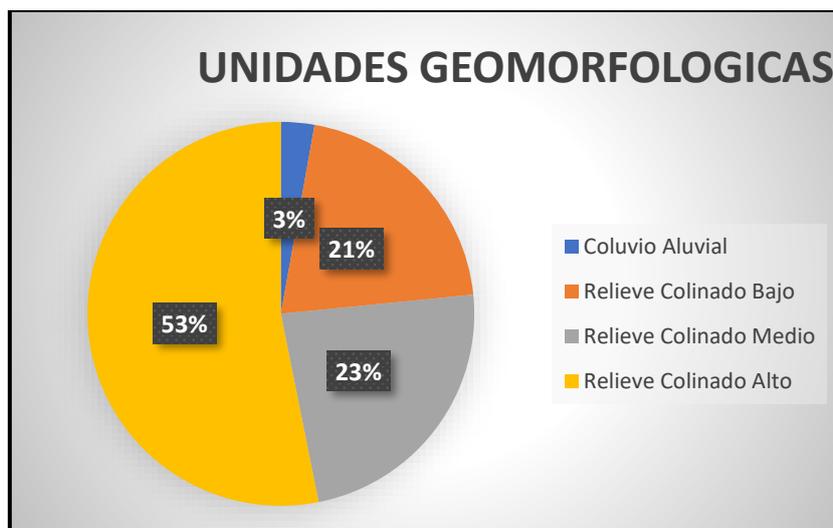


Figura 12. Representación gráfica de las unidades geomorfológicas
La Autora, 2019.

6.7. Geología Regional.

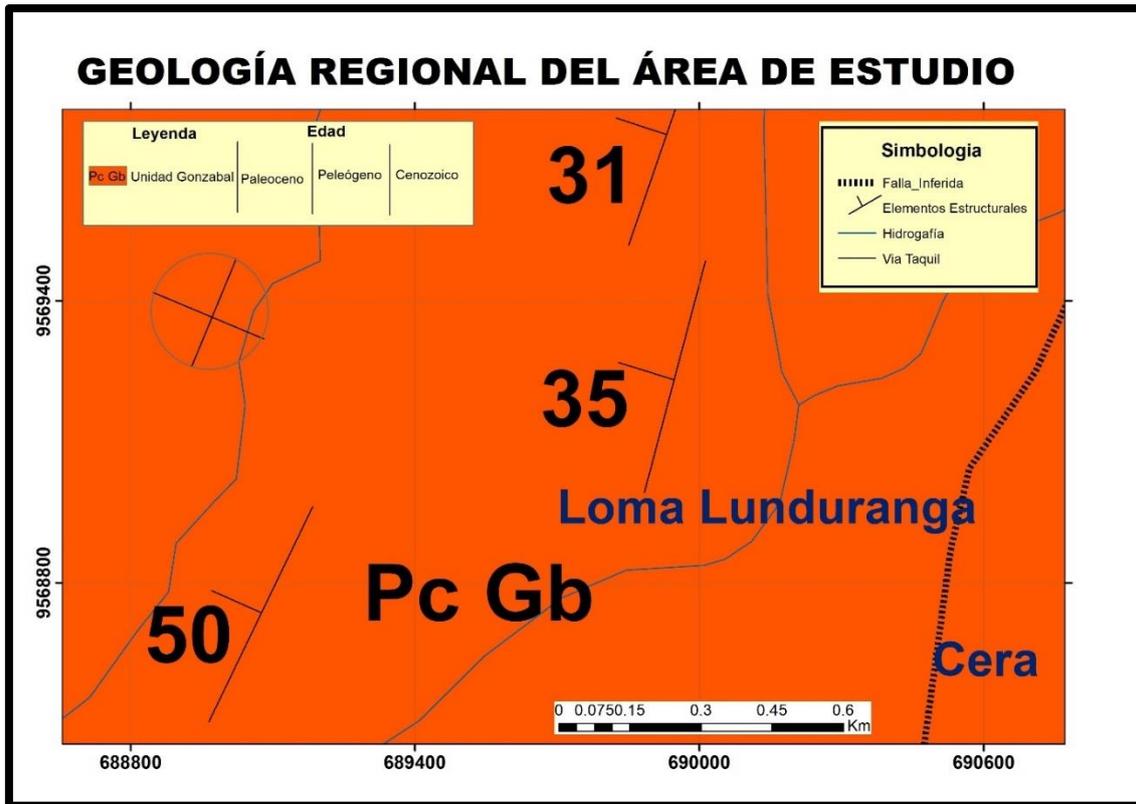


Figura 13. Geología Regional del Área de Estudio

Fuente: INEGENM, 2017, Editado por la Autora.

El área de estudio se ubica al Sur de la Cordillera Real del Ecuador. En el Este afloran rocas metamórficas cubiertas por rocas sedimentarias de origen vulcano – sedimentario.

En lo concerniente a la geología regional, anteriormente las parroquias de Taquil y Chantaco se encontraban delimitadas dentro de la Formación Sacapalca, sin embargo, en el año 2017, la Formación Sacapalca fue fragmentada en diferentes unidades volcánicas (Unidad Cera, Unidad Gonzabal, Unidad Gualel, Unidad Tesalia, Unidad Corral viejo), que corresponden al paleoceno y que se extienden en el Terciario hasta el Plioceno.

El sector de estudio, se encuentra dentro de la Unidad Gonzabal, la cual se formó al iniciar la actividad volcánica, en el arco continental al sur del Ecuador en el periodo Paleoceno, era Paleógeno - eón Cenozoico. (INIGMM, 2017)



- **Unidad Gonzábal P_{cGb}.**

Inicialmente fue cartografiada como parte de la Formación Sacapalca (Pratt y otros, 1997). Consiste en una secuencia Volcano – Sedimentaria, cuyos principales afloramientos se encuentran en la Vía Catamayo – Gonzábal y en la vía Taquil – Chantaco. La secuencia incluye tobas líticas, brechas, niveles conglomeráticos granodecrecientes con estratificación cruzada local y lavas andesito-basálticas subporfíricas.

La unidad se encuentra en contacto fallado con la Unidad Chiguinda y subyace discordante a la Formación Catamayo, y a las unidades Gualel y Tesalia de edad Oligocena, por lo que se infiere que la unidad Gonzábal es de edad paleocénica tardía. (INIGMM, 2017)

- **Depósitos Coluviales(QC)**

Son depósitos compuestos principalmente de gravas, arenas y en menor proporción por limos; producto de los materiales que han sido removidos por efecto de la gravedad y luego han sido depositados al pie de los relieves. (INIGMM, 2017)

- **Depósitos Coluvio Aluviales:**

Corresponden a depósitos formados por la acción de la deposición de materiales aluviales por corrientes fluviales sumados a los aportes gravitacionales laterales de los relieves que los rodean.

- **Depósitos Aluviales:**

Son depósitos cuaternarios compuestos generalmente de arcillas, limos y arenas acarreados por cuerpos aluviales.



6.8. Geología Local

El levantamiento geológico de la zona de estudio se hizo con el fin de evaluar la estratigrafía local, geometría y orientación espacial, a partir de la descripción de 18 afloramientos (*Anexo 5*) detallados con la ficha para caracterización de afloramientos, se describió los afloramientos que se encuentran al margen de la vía, los cuales han permitido identificar y analizar gran parte de la secuencia lito estratigráfica de la zona.

La geología local de la vía Taquil- Chantaco desde el km 0 al 2.0, constituyen rocas de origen vulcano – sedimentario, pertenecientes a la Unidad Gonzabal.

El resultado de la fase de campo, nos da de 3 tipos de litologías bien diferenciadas, mismas que han sido cartografiadas en el mapa. (*Anexo 6*)

- **Tobas Andesíticas Porfídicas.**

Esta litología está presente en aproximadamente un 80% del área de estudio se pueden evidenciar al margen de la Vía Taquil-Chantaco, se encuentran altamente erosionadas, presentan alteraciones en coloraciones purpuras, amarillas y marrones, debido al intemperismo.

Los minerales constituyentes son plagioclasas, feldespatos, horblenda y cuarzo en un 5%, el IC= 20 es decir 20% de minerales máficos por lo que se clasifica en una roca ígnea intermedia.

Son rocas de alta resistencia que se fracturan de 4 a 5 golpes con el martillo geológico, las estructuras en las que se presentan las tobas al inicio del tramo son en forma masiva.

Como se observa en la *fotografía 17*.



Fotografía 17. Toba Andesítica Porfídica

La Autora, 2019

El macizo rocoso presenta xenolitos de toba volcánica que varían entre los 0.50m a 0.25m, también se presentan vetillas indiferenciadas rellenas de carbonatos de calcio, que tienen una reacción al 7.5% de HCL; de potencias entre 0.002m a 0.010m.



Fotografía 18. Vetillas de carbonatos de calcio

La Autora, 2019



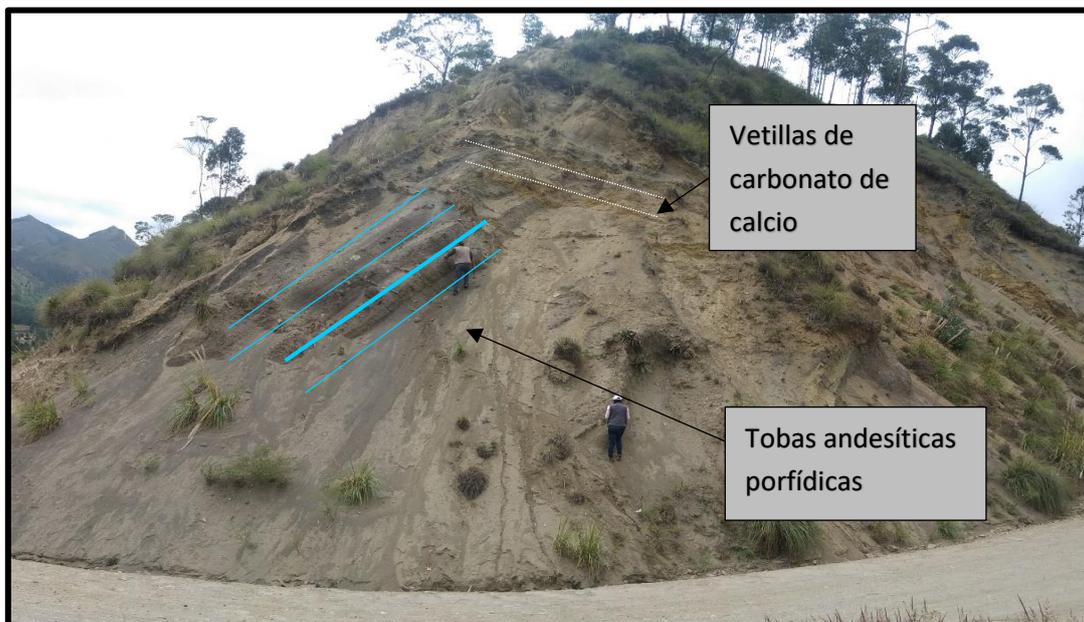
A partir del kilómetro 1.2, las tobas andesíticas se encuentran con una estratificación cruzada de Rumbo 213° y buzamiento 36° SE. Las capas de la estratificación tienen potencias entre 0.40m y 0.50m. Además, presentan una alta erosión.

Las características de estas tobas son similares a las que se encuentran en el primer kilómetro de la vía, son tobas andesíticas porfídicas con grado de alteración medio a alto.

Se encuentran vetillas de carbonato de calcio cristalizadas de un espesor de 0.01m como se muestra en la *fotografía 19*.

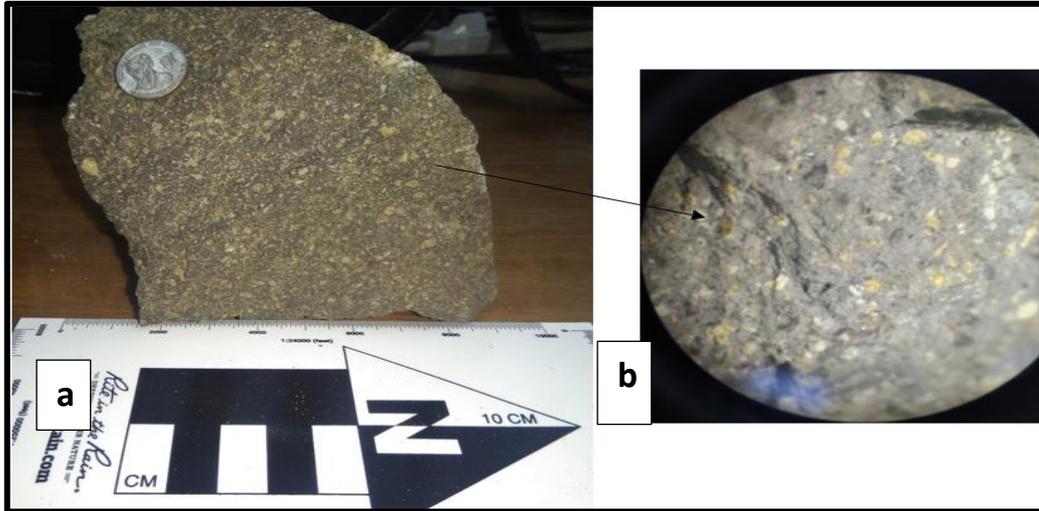


Fotografía 19. Muestra de vetilla de carbonato de calcio cristalizada
La Autora, 2019



Fotografía 20. Estratificación de toba andesítica porfídica
La Autora, 2019

Los minerales visibles en las muestras de mano de la toba andesítica porfídica, son especialmente las plagioclasas, feldespatos y micas, esto se puede observar en la *fotografía 21*.



Fotografía 21. a) Muestra de Mano de Toba Andesítica Porfídica b) Muestra bajo microscopio
La Autora, 2019

▪ **Tobas Dacíticas.**

Las tobas dacíticas presentan un grado de alteración alto; esto se evidencia en el kilómetro 1; las mismas se presentan bastante erosionadas formando columnas y cárcavas.

Sin embargo, la roca al ser golpeada con el martillo geológico presenta una alta resistencia rompiéndose a los 4 golpes.

Presenta alteraciones de óxidos de hierro y al igual que las tobas andesíticas también hay la presencia de vetillas de carbonatos de calcio.



Fotografía 22. Afloramiento de tobas dacíticas
La Autora, 2019



Los minerales que se pueden evidenciar son las pagioclasas altamente alteradas y tambien los feldspatos, tiene una textura porfidica.



*Fotografía 23. Evidencia de minerales máfico en muestras de mano
La Autora, 2019*

Al finalizar el tramo en estudio se puede evidenciar, que las tobas daciticas se presentan en estratos sub horizontales, con buzamientos entre 5° a 8°, presentan diferentes alteraciones que quedan evidenciadas en el cambio de coloración.



*Fotografía 24. Capas sub horizontales de Toba Dacitica
La Autora, 2019*



▪ **Aglomerado.**



Fotografía 25. Aglomerado
La Autora, 2019

El aglomerado se encuentra aflorando en el Sur-Oeste del área de estudio, el mismo presenta clastos angulosos de tobas andesíticas y dacíticas; Los clastos varían su tamaño entre 0.05m hasta 0.50m.

El aglomerado tiene una matriz limo-arcillosa, de un 70% de limo y un 30% de arcilla, está altamente erosionado. Presenta vetillas de carbonato de calcio de forma indiferenciada con potencias de 0.005m a 0.015m.

Geología Estructural

En el sector no se han determinado fallas regionales, que afecten directamente en el comportamiento geológico geotécnico estructural de la litología identificada, sin embargo, se han podido observar a lo largo del trayecto de la vía, presencia de micro fallas que se encuentran mapeadas en el *anexo 7*. Las micro fallas presentan un



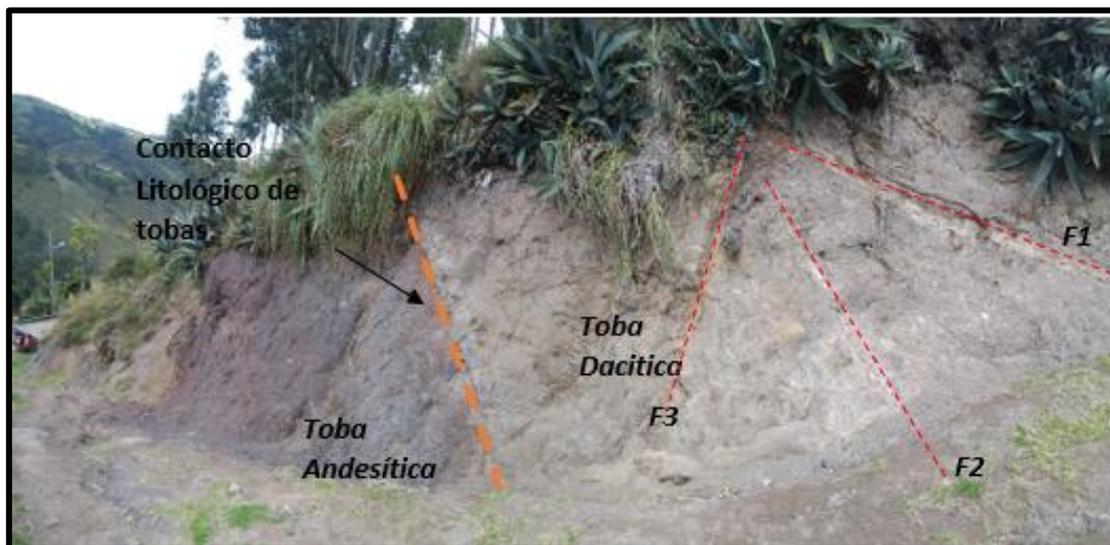
comportamiento estructural semejante, teniendo una preferencia N-W a S-E y con buzamientos que varían entre 68° a 30° hacia el N-E.

Adicional a ello se identificaron 2 contactos litológicos, los cuales se detallan a continuación:

Contacto de toba andesítica y toba dacítica.

El contacto se presenta al inicio del tramo, en la vía que lleva al cementerio de Taquil, coordenadas X: 689847 Y:9569637, el rumbo del contacto litológico es de 222° y su buzamiento es de 36SE, el contacto tiene una potencia de 0.06m, está relleno de carbonatos de calcio secundarios, fragmentos de tobas andesíticas y dacíticas.

En este contacto se evidencia que las tobas dacíticas sobre yacen a las tobas andesíticas, como se evidencia en la *fotografía 26*



Fotografía 26. Contacto entre tobas andesíticas y tobas dacíticas
La Autora, 2019

En el mismo afloramiento se encontraron 3 microfallas:

La Falla 1 F1: tiene una potencia de 0.10m; con una dirección de 213/20SE, la falla esta rellena de carbonatos.



La Falla 2 F2: tiene una potencia de 0.12m, con una dirección de 215/60SE, rellena de carbonatos.

La Falla 3 F3: tiene una potencia de 0.06m, con una dirección de 196/72SE rellena de carbonatos de calcio.

Contacto de toba andesítica y aglomerado



Fotografía 27. Contacto entre Aglomerado y Toba Andesítica.
La Autora, 2019

Este contacto se presenta al S-E de la vía en estudio, coordenadas X: 689697 Y:9568967, el rumbo del contacto litológico es de 308° y su buzamiento es de 56SW, el contacto tiene una potencia de 0.05m, está relleno de carbonatos de calcio secundarios, fragmentos de tobas andesíticas y dacíticas.

6.9.Exploración Geofísica

La zona de la abscisa 15+000 - 15+740 se ha podido observar la presencia escorrentía superficial por distribución del agua del canal. En *la fotografía 28 y 29*, se puede evidenciar el estado actual del canal de riego. Este canal está roto en varios partes para el riego de parcelas en ambos márgenes de la vía, el agua circula por la vía socavando y saturando la calzada.



Fotografía 28. Presencia de agua proveniente del canal en el margen de la vía
Fuente: ETSUELCON S.A.



Fotografía 29. Canal de riego
Fuente: ETSUELCON S.A.



6.9.1. Resistividad Eléctrica.

La interpretación de los datos de resistividad eléctrica se la realizó en dos etapas que consistieron en lo siguiente:

En la primera etapa, se realizó una interpretación cuantitativa y cualitativa de las curvas de los sondeos eléctricos verticales, la misma que consistió en una comparación manual de las curvas obtenidas en el campo con las curvas teóricas establecidas en los libros de Resistividad Eléctrica, escritos por los por los autores (E Orellana, 1972) y Pilaeb A. M. Por otro lado, se utilizó el interpretador automático IPI2Win, luego de la cual se establecieron los espesores de las capas y las resistividades verdaderas correspondientes a cada una de ellas, las mismas que en una segunda etapa sirvieron para la construcción de pseudosecciones aparentes, construcción de los cortes geofísicos y realizar un análisis hidrogeológico de los sitios donde se realizaron los SEVs.

SEV 1

El SEV 1 se ubica en las coordenadas X: 689114 y Y: 9569019, tiene una abertura AB/2 de 70m y una profundidad estimada de 35m. En la *tabla 19*, se observan los datos obtenidos en campo y en la *figura 14*, los resultados del software IPI2Win el cual muestra la curva de resistividad con un error de 1.44%. En la *tabla 20* se muestra la correspondencia geológica del SEV 1.

Tabla 19. Datos obtenidos en campo SEV 1.

AB/2	MN/2	K	$\Delta v/i$	ρ_a
1	0.5	2.36	7.6	17.91
1.5	0.5	6.28	2.3	14.45
2	0.5	11.78	1.2	14.14
2.5	1	8.25	1.5	12.37
3	0.5	27.5	0.4	11
3	1	12.6	1.0501	13.2
5	1	37.7	0.35399	13.35
7	1	75.4	0.15604	11.77
10	1	155.5	0.074736	11.62
10	2.5	58.9	0.21016	12.38
15	1	351.9	0.035	12.32
15	2.5	137.4	0.083572	11.49
20	2.5	247.4	0.044666	11.05
20	10	47.1	0.29329	13.82
30	2.5	561.6	0.02358	13.24
30	10	125.7	0.10521	13.22
40	10	235.6	0.057627	13.58
50	10	377	0.040537	15.28
70	10	754	0.022311	16.82

ETSUELCON, 2019.

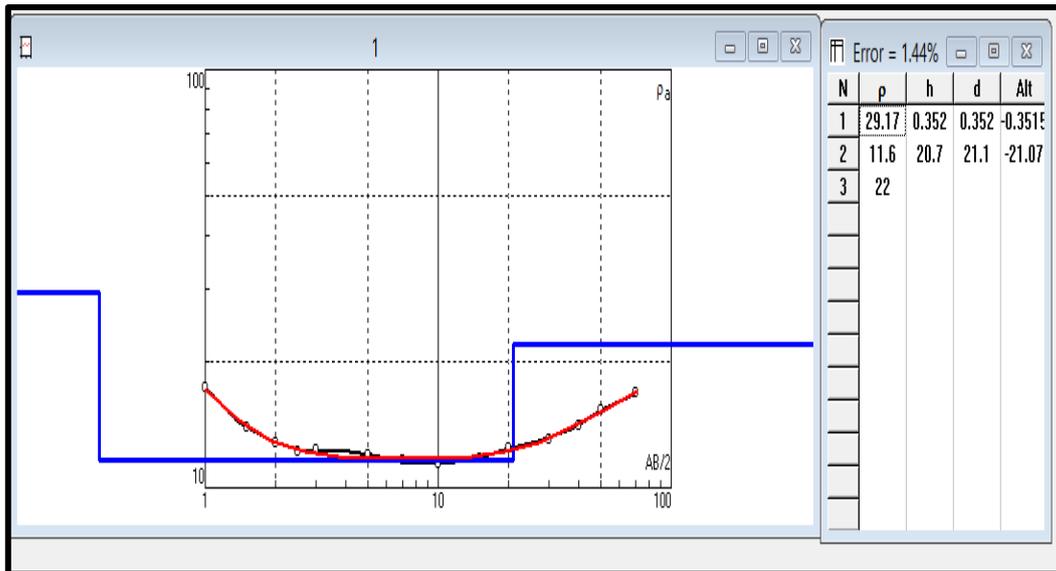


Figura 14. Curva de resistividad SEVI
ETSUELCON, 2019.

Tabla 20. Correspondencia geológica SEVI

Complejo geoelectrico y/o capa	Resistividad. $\Omega\text{m.}$	Potencia (m)	Correspondencia geológica
A	29.17	0.35	Capa de rodadura o material de préstamo
B	11.5	20.7	Suelo limo-arcilloso del sector con saturación por infiltración superficial
C	22	∞	Volcano-sedimentos de tobas y brechas con saturación.

Fuente: ETSUELCON S.A.

Interpretación SEV 1.

Según la curva de resistividad eléctrica, se establece 3 capas. La primera capa corresponde a material de préstamo, con una potencia de 0.35m y una resistividad de 29.17 $\Omega\text{m.}$ La segunda capa se conforma de material limoso-arcillo con saturación por infiltración superficial. La tercera capa corresponde a volcano –sedimentos de tobas y brechas con saturación, sin una potencia definida y una resistividad de 22 $\Omega\text{m.}$



SEV 2

El SEV 2 se ubica en las coordenadas X: 689169 y Y: 9568939, tiene una abertura AB/2 de 70m y una profundidad estimada de 35m. En la **tabla 21**, se observan los datos obtenidos en campo y en la **figura 15**, los resultados del software IPI2Win, el cual muestra la curva de resistividad con un error de 3.4%. En la **tabla 22** se muestra la correspondencia geológica del SEV 2.

Tabla 21. Datos obtenidos en campo SEV 2.

AB/2	MN/2	K	$\Delta v/i$	pa
1	0.5	2.36	8.2632	19.47
1.5	0.5	6.28	2.8915	18.17
2	0.5	11.78	1.5791	18.6
2.5	0.5	18.85	0.77645	14.64
2.5	1	8.25	1.9414	16.01
3	0.5	27.5	0.44533	12.24
3	1	12.6	1.0501	13.2
5	1	37.7	0.35399	13.35
7	1	75.4	0.15604	11.77
10	1	155.5	0.074736	11.62
10	2.5	58.9	0.21016	12.38
15	1	351.9	0.035	12.32
15	2.5	137.4	0.083572	11.49
20	2.5	247.4	0.044666	11.05
20	10	47.1	0.29329	13.82
30	2.5	561.6	0.02358	13.24
30	10	125.7	0.10521	13.22
40	10	235.6	0.057627	13.58
50	10	377	0.040537	15.28
70	10	754	0.022311	16.82

Fuente: ETSUELCON S.A.

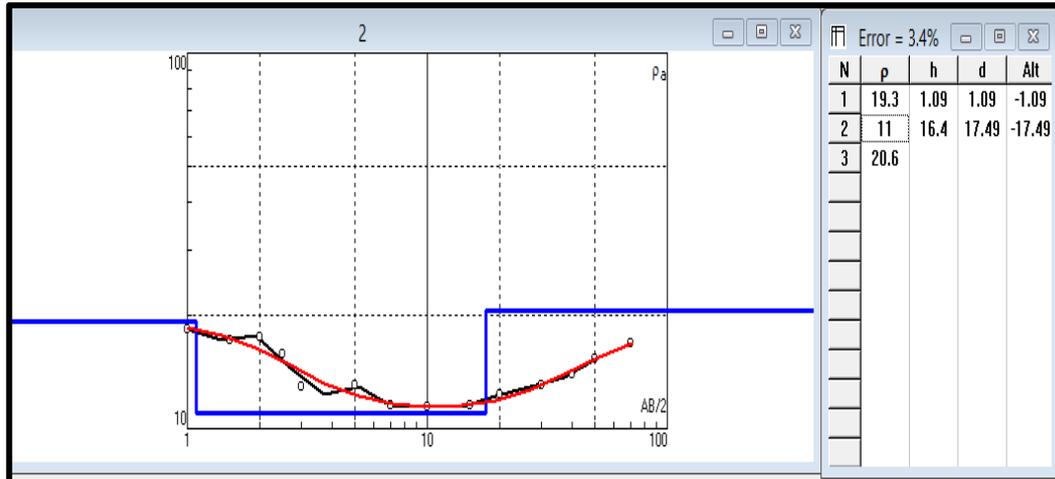


Figura 15. Curva de resistividad SEV2
Fuente. ETSUELCON, 2019.

Tabla 22: Correspondencia geológica SEV2.

Complejo geoelectrico y/o capa	Resistividad. $\Omega\text{m.}$	Potencia (m)	Correspondencia geológica
A	19.3	1.09	Material de préstamo
B	11.5	16.4	Suelo limo-arcilloso del sector con saturación por infiltración superficial
C	20.6	∞	Volcano-sedimentos de tobas y brechas con saturación.

Fuente. ETSUELCON, 2019.

Interpretación SEV 2.

Según la curva de resistividad eléctrica, se establece 3 capas. La primera capa corresponde a material de préstamo, con una potencia de 1.09m y una resistividad de 19.3 $\Omega\text{m.}$ La segunda capa se conforma de material limoso-arcillo con saturación por infiltración superficial con una potencia de 16.4m y una resistividad de 11.5 $\Omega\text{m.}$ La tercera capa corresponde a volcano –sedimentos de tobas y brechas con saturación, sin una potencia definida y una resistividad de 20.6 $\Omega\text{m.}$



SEV 3

El SEV 3 se ubica en las coordenadas X: 689176 y Y: 9568863, tiene una abertura AB/2 de 70m y una profundidad estimada de 35m. En la **tabla 23**, se observan los datos obtenidos en campo y en la **figura 16**, los resultados del software IPI2Win, el cual muestra la curva de resistividad con un error de 1.73%. En la **tabla 24** se muestra la correspondencia geológica del SEV 3.

Tabla 23. Datos obtenidos en campo SEV 3.

AB/2	MN/2	K	$\Delta v/i$	ρ_a
1	0.5	2.36	16.849	39.7
1.5	0.5	6.28	7.5071	47.17
2	0.5	11.78	4.8358	56.97
2.5	0.5	18.85	3.550827	66.93
2.5	1	8.25	6.697	55.23
3	0.5	27.5	2.1445	58.95
3	1	12.6	4.4899	56.42
5	1	37.7	1.599	60.28
7	1	75.4	0.78026	58.83
10	1	155.5	0.35339	54.96
10	2.5	58.9	0.9245	54.46
15	1	351.9	0.1185	41.7
15	2.5	137.4	0.29715	40.84
20	2.5	247.4	0.13049	32.28
20	10	47.1	0.68371	32.22
30	2.5	561.6	0.032	17.97
30	10	125.7	0.11025	13.85
40	10	235.6	0.057828	13.63
50	10	377	0.038322	14.45
70	10	754	0.026321	19.85

Fuente. ETSUELCON, 2019.

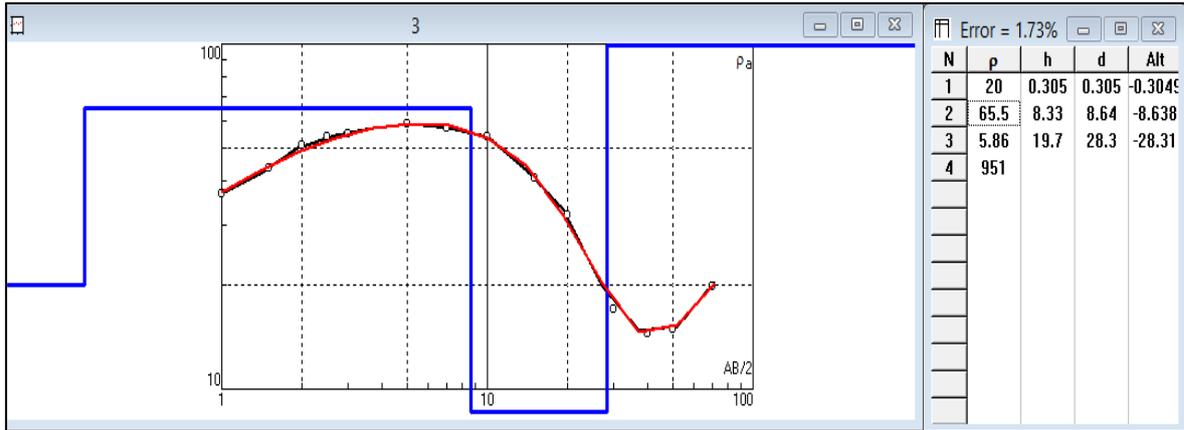


Figura 16. Curva de resistividad SEV3
Fuente. ETSUELCON, 2019.

Tabla 24 Correspondencia geológica SEV3.

Complejo geoelectrico y/o capa	Resistividad. Ω m.	Potencia (m)	Correspondencia geológica
A	20	0.30	Material de préstamo
B	65.5	8.33	Suelo limo-arcilloso del sector con saturación por infiltración superficial
C	5.86	19.7	Volcano-sedimentos de tobas y brechas con saturación.
E	951	∞	Andesitas y basaltos.

Fuente. ETSUELCON, 2019.

Interpretación SEV 3

Según la curva de resistividad eléctrica, se establece 4 capas. La primera capa corresponde a material de préstamo, con una potencia de 0.30m y una resistividad de 20 Ω m. La segunda capa se conforma de material limo-arcilloso con saturación por infiltración superficial, con una potencia de 8.33m y una resistividad de 65.5 Ω m. La tercera capa corresponde a volcansedimentos de tobas y brechas con saturación, con una potencia de 19.7m y una resistividad de 5.86 Ω m. La cuarta capa corresponde a andesitas y basaltos con una potencia no definida y una resistividad de 951 Ω m.



SEV 4

El SEV 4 se ubica en las coordenadas X: 689080 y Y: 9569072, tiene una abertura AB/2 de 70m y una profundidad estimada de 35m. En la **tabla 25**, se observan los datos obtenidos en campo y en la **figura 17**, los resultados del software IPI2Win, el cual muestra la curva de resistividad con un error de 2.09%. En la **tabla 26** se muestra la correspondencia geológica del SEV 4.

Tabla 25. Datos obtenidos en campo SEV 4.

AB/2	MN/2	K	$\Delta v/i$	ρ_a	
1	0.5	2.36	18.388	43.33	
1.5	0.5	6.28	6.2139	39.04	
2	0.5	11.78	3.1318	36.9	
2.5	0.5	18.85	1.485	27.99	
2.5	1	8.25	3.4412	28.38	
3	0.5	27.5	1.0543	28.98	
3	1	12.6	2.3311	29.29	
5	1	37.7	0.61326	23.12	
7	1	75.4	0.28507	21.49	
10	1	155.5	0.11191	17.4	
10	2.5	58.9	0.30799	18.14	
15	1	351.9	0.04513	15.88	
15	2.5	137.4	0.11968	16.45	
20	2.5	247.4	0.073397	18.16	
20	10	47.1	0.37968	17.89	
30	2.5	561.6	0.03793	21.3	
30	10	125.7	0.15202	19.1	
40	10	235.6	0.097735	23.03	
50	10	377	0.063368	23.89	
70	10	754	0.033016	24.89	

Fuente. ETSUELCON, 2019.

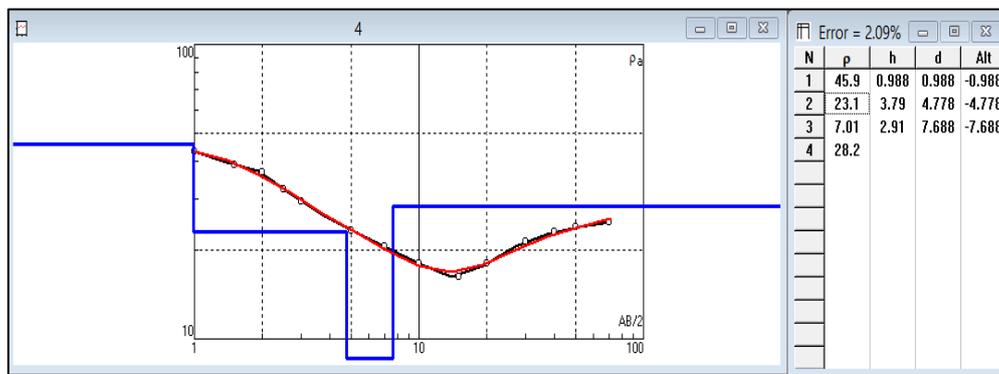


Figura 17. Curva de resistividad SEV4

Fuente. ETSUELCON, 2019.



Tabla 26 Correspondencia geológica SEV4.

Complejo geo eléctrico y/o capa	Resistividad. $\Omega\text{m.}$	Potencia (m)	Correspondencia geológica
A	45.9	0.988	Material de Préstamo
B	23.1	3.79	Suelo limo-arcilloso
C	7.01	2.91	Volcano Sedimentos de tobas y brechas saturadas
E	28.2	∞	Volcano-sedimentos de tobas y brechas

Fuente. ETSUELCON, 2019.

Interpretación SEV 4

Según la curva de resistividad eléctrica, se establece 4 capas. La primera capa corresponde a material de préstamo, con una potencia de 0.988m y una resistividad de 45.9 $\Omega\text{m.}$ La segunda capa se conforma de material limo-arcilloso, con una potencia de 3.79m y una resistividad de 23.1 $\Omega\text{m.}$ La tercera capa corresponde a volcansedimentos de tobas y brechas con saturación, con una potencia de 2.91 y una resistividad de 7.01 $\Omega\text{m.}$ La cuarta capa corresponde a Volcano sedimentos de tobas y brechas con una potencia no definida y una resistividad de 28.2 $\Omega\text{m.}$

Pseudo Sección.

Se realizó una Pseudo sección de saturación entre los dos SEVs realizados determinándonos el grado de saturación del suelo aproximadamente a partir del 0.3 metros, tal como se muestra en la *figura 18*.

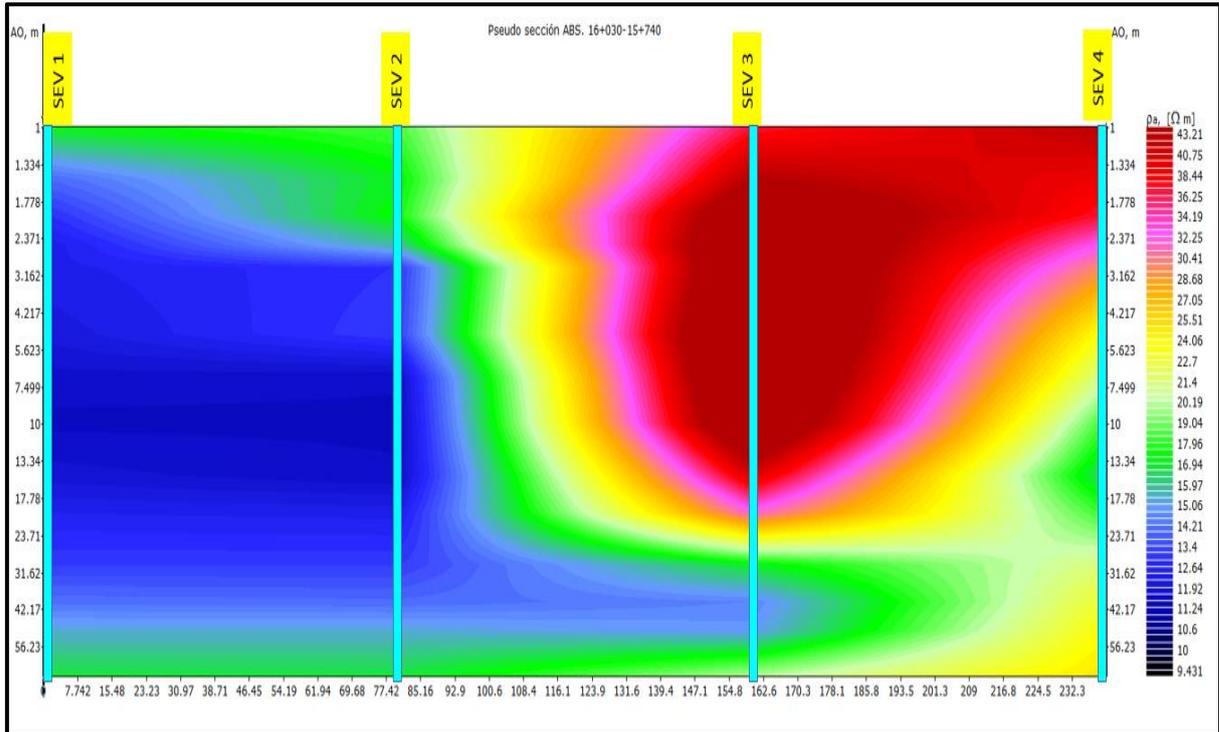


Figura 18. Pseudo sección eléctrica Abs. 16+030-15+740

Fuente. ETSUELCON, 2019.

6.9.2. Sísmica de Refracción.

Para la obtención de los sismogramas, se realizan tres tiros con explosivo en la línea sísmica y se emplean geófonos verticales para la lectura de las ondas de compresión. Los tiros corresponden a dos tiros de punta y un tiro central, los tiros de punta para líneas de 60m se separan 2.5m del último geófono.

Luego de haber obtenido los tiempos directos y de refracción y las distancias conocidas se procedió a elaborar el Gráfico Tiempo – Distancia, (Dromocrónica) y los respectivos perfiles sísmicos.

LINEA SISMICA 1 (LS1)

El conjunto de puntos que pertenecen a un refractor, conforma lo que se conoce como domocrona, estos se presentan en la **tabla 27**. A partir de estos datos, se graficó las curvas tiempo – distancia la cual se evidencia en la **figura 19**.

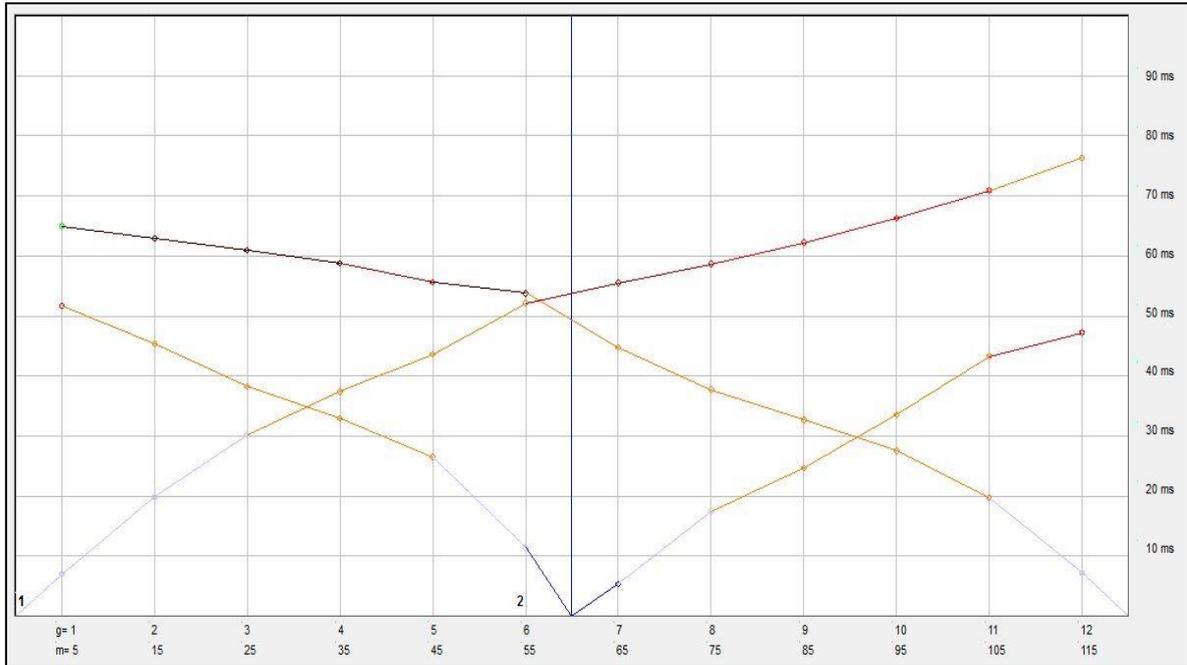


Figura 19. Línea Sísmica – Domocrona
Fuente. ETSUELCOM. S.A.

Tabla 27. Tiempos de Arribo – DOMOCRONA Línea 1

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Distance	Elevation
Geo. 1	6.96	51.68	64.94	5	2137.8
Geo. 2	19.83	45.36	62.94	15	2137
Geo. 3	30.19	38.26	60.93	25	2136.5
Geo. 4	37.39	32.94	58.76	35	2136
Geo. 5	43.61	26.47	55.6	45	2135.5
Geo. 6	52.16	11.36	53.76	55	2135
Geo. 7	55.47	5.31	44.8	65	2134.8
Geo. 8	58.63	17.4	37.73	75	2134
Geo. 9	62.17	24.65	32.69	85	2133
Geo. 10	66.27	33.54	27.55	95	2132.5
Geo. 11	70.86	43.28	19.71	105	2132
Geo. 12	76.35	47.23	7.23	115	2131
Distance	0	60	120		
Elevation	2138.2	2134.9	2131		

Fuente. ETSUELCOM. S.A.

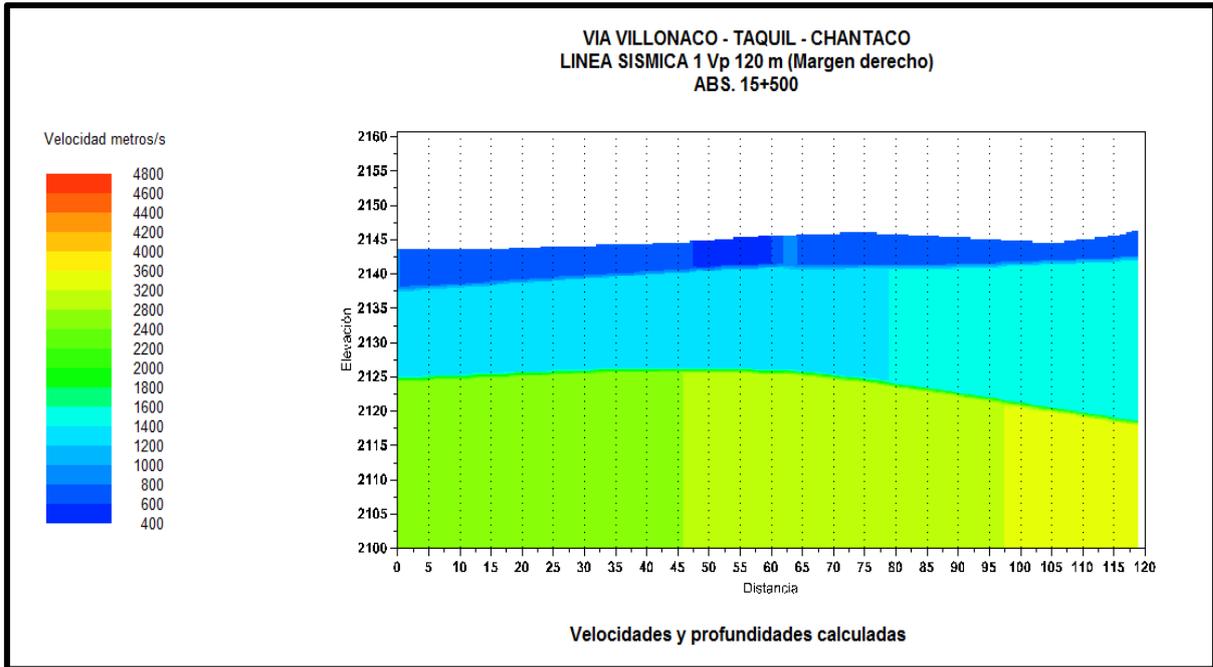


Figura 20. LINEA SISMICA 1 – PERFIL SÍSMICO.
Fuente. ETSUELCON. S.A

A partir del perfil sísmico, se detalla los valores obtenidos y sus correlaciones litológicas que se encuentran en la **tabla 24**.

Tabla 28. Correlaciones litológicas obtenidas a partir de la línea sísmica 1

Capa	Velocidad Sísmica Ondas P(m/s)	Velocidad Sísmica Ondas S(m/s)	Espesores	Tipo de Material Estimado
1	756	529	4.32 – 5.87	Suelo Arcillo - Limoso
2	1420	916	12.9 – 23.95	Volcano Sedimentos de tobas andesíticas
3	2923	1772	~	Unidad Gonzabal. Tobas andesíticas compactas y Lavas Andesíticas

Fuente. Adaptado de ETSUELCON. S.A



LINEA SISMICA 2 (LS2)

El conjunto de puntos que pertenecen a un refractor conforma lo que se conoce como domocrona, estos se presentan en la **tabla 29**. A partir de estos datos, se graficó las curvas tiempo – distancia la cual se evidencia en la **figura 21**.

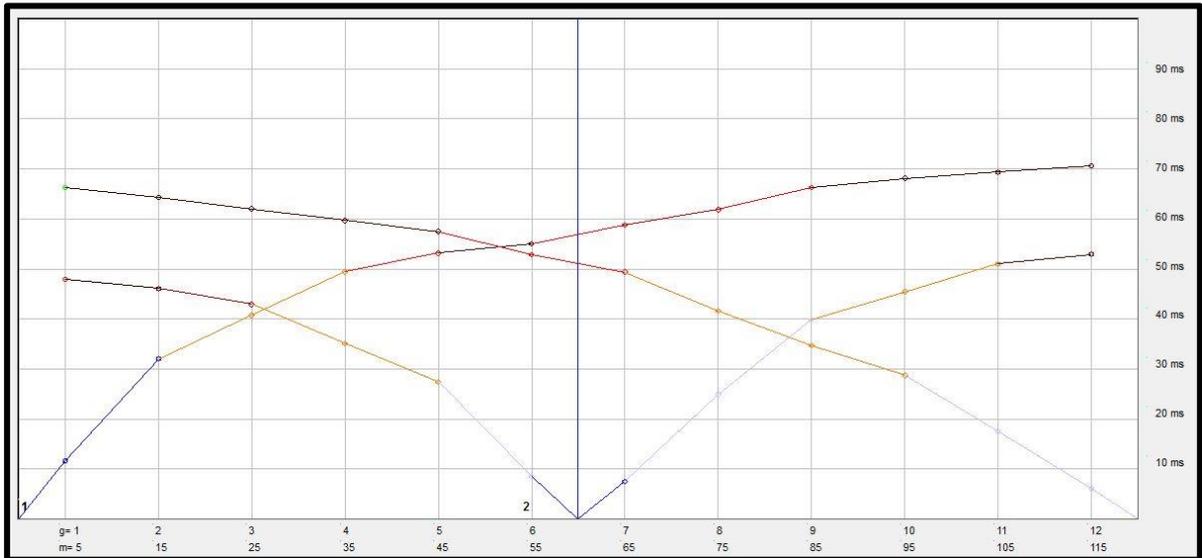


Figura 21. Línea Sísmica 2 – Domocrona
Fuente. ETSUELCO M. S.A.

Tabla 29. Tiempos de Arribo – DOMOCRONA Línea 2

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Distance	Elevation
Geo. 1	12.15	47.92	67.76	5	2143
Geo. 2	32.05	46.06	64.32	15	2143.3
Geo. 3	40.75	42.95	62.02	25	2143.5
Geo. 4	49.46	37.35	59.72	35	2143.7
Geo. 5	53.19	27.41	57.43	45	2144
Geo. 6	55.05	10.62	53.98	55	2144.7
Geo. 7	58.78	7.51	49.39	65	2145.2
Geo. 8	61.89	24.92	40.2	75	2145.5
Geo. 9	66.25	39.84	33.31	85	2145
Geo. 10	68.11	45.44	28.71	95	2144.5
Geo. 11	69.35	51.03	17.23	105	2144
Geo. 12	69.98	52.9	9.19	115	2145
Distance	0	60	120		
Elevation	2143	2144.95	2146.1		

Fuente. ETSUELCON. S.A.

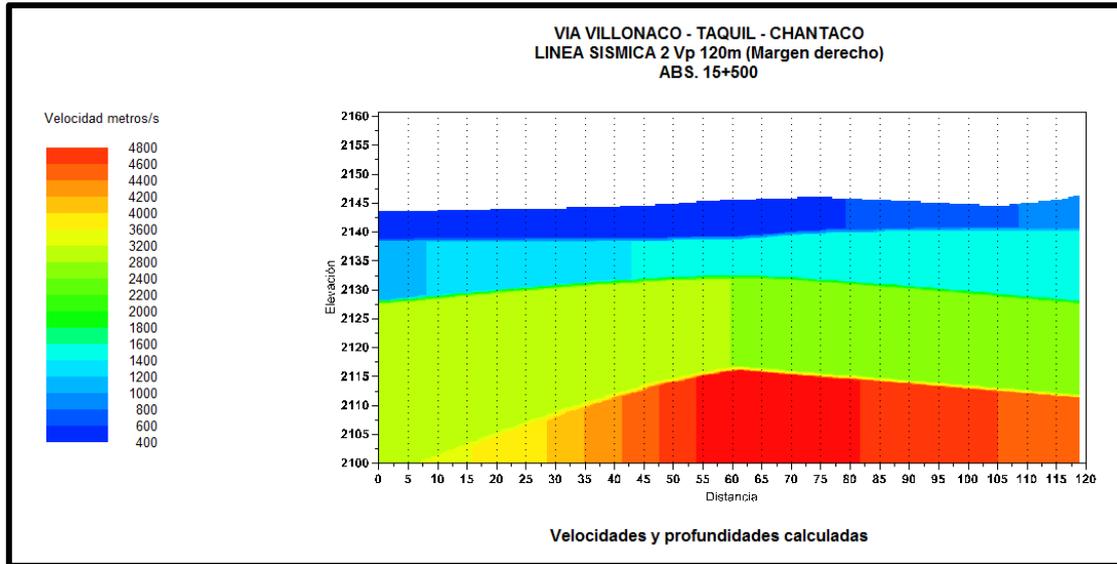


Figura 22. LINEA SISMICA 2 – PERFIL SÍSMICO.
Fuente. ETSUELCON. S.A

A partir del perfil estratigráfico se detalla los valores obtenidos y sus correlaciones litológicas que se encuentran en la **tabla 27**.

Tabla 30. Correlaciones litológicas obtenidas a partir de la línea sísmica 1

Capa	Velocidad Sísmica Ondas P(m/s)	Velocidad Sísmica Ondas S(m/s)	Espesores	Tipo de Material Estimado
1	638	446	4.78 – 6.6	Suelo Arcillo - Limoso
2	1364	880	6.61 – 12.64	Volcano Sedimentos de tobas andesíticas
3	2789	1691	15.81 – 29.5	Tobas andesíticas compactas
4	4843	2509	~	Unidad Gonzabal. Lavas Andesíticas

Fuente. ETSUELCON. S.A

Parámetros mecánicos del suelo.

Para cada velocidad o rango de velocidad interpretado se establece una correspondencia con los materiales o estados de materiales de acuerdo a la experiencia del geofísico y al conocimiento de la geología local, que podrá ser modificada con la mayor información obtenida o a la exploración directa.



En la **tabla 28** se detallan: los complejos sísmicos, velocidades, potencia, y la correspondencia geológica para las líneas sísmicas: LS-1 y LS-2.

Tabla 31. Resultados de Líneas Sísmicas

PROY.: VIA VILLONACO - TAQUIL - CHANTACO - CHUQUIRIBAMBA														
OBRA: ESTUDIO GEOFISICO ABS. 15+500					PERFILES SISMICOS: LS 1 120m									
UBICACIÓN: CHANTACO					LS 2 120m									
FECHA: sep-19														
CAPA SISMICA	Potencia de la capa (m)	Vp m/s	Vs m/s	μ	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 1														
1	4.32-5.87	756	529	0.02	2.19	12521	6319	354	6129	14	1.39	2.10	38	32
2	12.9-23.95	1420	916	0.14	2.43	46646	28340	1345	20396	33	3.27	4.27	45	41
3	--	2923	1772	0.21	2.74	207839	155907	7086	85903	75	7.54	9.88	55	54
LS 2														
1	4.78-6.6	638	446	0.02	2.17	8820	4236	261	4317	11	1.05	1.70	36	30
1	6.61-12.64	1364	880	0.14	2.32	41011	24467	1171	17932	31	3.11	4.05	44	40
2	15.81-29.52	2789	1691	0.21	2.71	187333	138480	6302	77428	72	7.16	9.32	54	53
3	--	4843	2509	0.32	3.13	518607	442600	19987	196963	130	12.99	15.88	64	66

Fuente. ETSUELCON. S.A



6.10. Caracterización Geomecánica del Macizo rocoso.

Una vez realizada la caracterización geomecánica del macizo rocoso usando las fichas que se encuentran en el *anexo 9*, se obtuvieron los siguientes valores.

6.10.1. Clasificación RMR.

Del análisis geomecánica del macizo rocoso se obtuvieron los siguientes valores:

Talud 1.



Fotografía 31. Talud 1, usado para la caracterización Geomecánica
La Autora, 2019

El talud 1, ubicado en el inicio del tramo en estudio en las coordenadas **X:** 689837 **Y:** 9569686 **Z:**2232, está compuesta por tobas andesíticas porfídicas.



Los resultados para la caracterización RMR en el talud 1 son los siguientes:

Tabla 32. Resultados de Caracterización RMR, para el talud 1

Parámetros de clasificación.	Resultados	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa	245.51	12
RDQ	$J_v = 1.43$ RQD = 100%	20
Separación entre diaclasas	0.70 m	15
Estado de las discontinuidades		
Longitud de la discontinuidad	4.20m	3
Abertura	0.025m	3
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Duro <5mm	4
Alteración	Moderadamente Alterada	3
Hidrogeología	Sin presencia de agua	15
Total		80

La Autora, 2019.

El RMR del talud 1, es de 80, que corresponde a una **CLASE II, CALIDAD BUENA.**

Talud 2



Fotografía 32. Talud 2, usado para la caracterización Geomecánica
La Autora, 2019.



El talud 2 ubicado en las coordenadas **X**: 689740 **Y**: 9569252 **Z**:2205, está compuesta por tobas andesíticas porfídicas.

Los resultados para la caracterización RMR en el talud 2 son los siguientes.

Tabla 33. Resultados de Caracterización RMR, para el talud 2

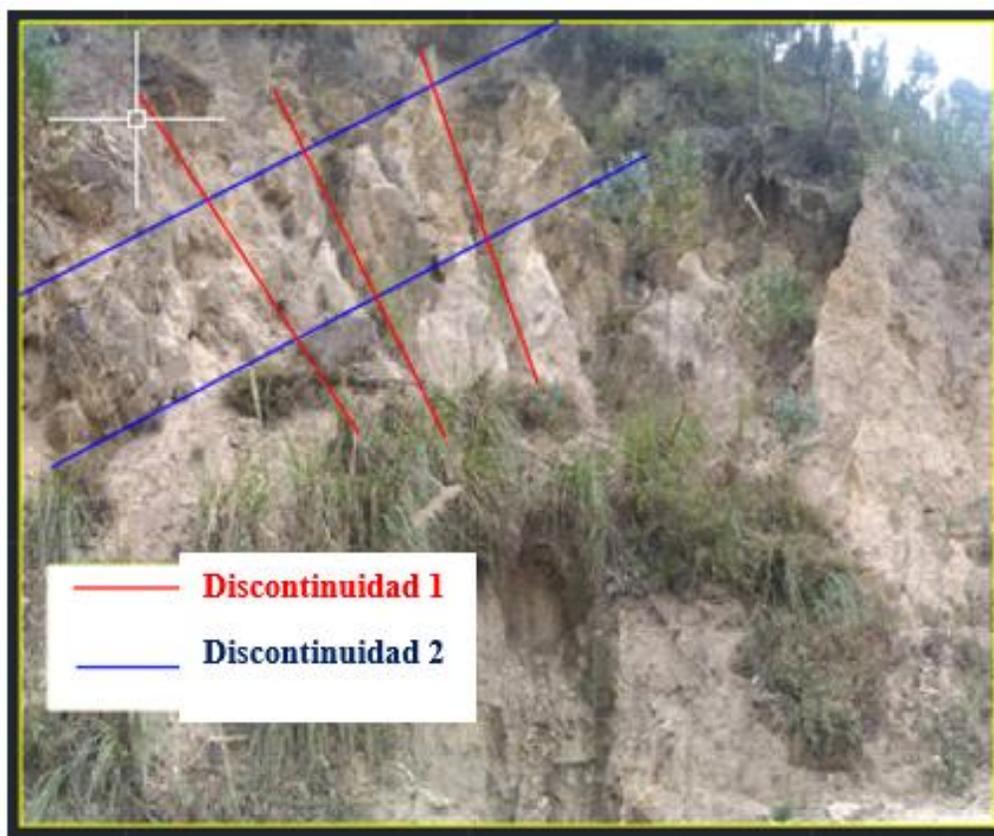
Parámetros de clasificación.	Resultados	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa	723.64	15
RDQ	Jv= 17.60 RQD = 56.89%	8
Separación entre diaclasas	0.2-0.6m	10
Estado de las discontinuidades		
Longitud de la discontinuidad	0.50m	6
Abertura	0.04m	1
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Moderadamente Alterada	3
Hidrogeología	Sin presencia de agua	15
Total		69

La Autora, 2019.

El RMR del talud 2, es de **69**, que corresponde a una **CLASE II, CALIDAD BUENA**.

Talud 3

El talud 3, ubicado en las coordenadas **X**: 689310 **Y**: 9568799 **Z**: 2166, está compuesta por tobas dacíticas.



Fotografía 33. Talud 3 usado para la caracterización Geomecánica
La Autora, 2019.

Tabla 34. Resultados de Caracterización RMR, para el talud 3

Parámetros de clasificación.	Resultados	Puntuación
Resistencia de la matriz rocosa	723.64	15
RDQ	Jv= 3.25 RQD = 100%	20
Separación entre diaclasas	0.6 – 2m	15
Estado de las discontinuidades		
Longitud de la discontinuidad	2.5m	4
Abertura	0.5m	6
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Muy Alterada	1
Hidrogeología	Sin presencia de agua	15
Total		87

La Autora, 2019



El RMR del talud 3, es de **87**, que corresponde a una **CLASE II, CALIDAD BUENA**.

6.10.2. Método del Índice de resistencia geológica, GSI.

Para la determinación del GSI, se usó la expresión 11 que se encuentra en la metodología; de lo cual se determinó los siguientes resultados.

Tabla 35. Resultados de Valor de GSI.

Código de Talud	Tipo de Roca	RMR	Valor GSI
Talud 1	Toba Andesítica	80	75
Talud 2	Toba Andesítica	69	64
Talud 3	Toba Dacitica	87	82

La Autora, 2019

El tipo de roca presente en la vía Taquil – Chantaco presenta un macizo rocoso de calidad buena ya que sus valores de GSI son superiores a 64; en el caso del talud 3 que presenta toda Dacitica se determina que es un macizo rocoso de muy buena calidad ya que su valor de GSI es superior a 80.

6.11. Propiedades Físicas de la Matriz Rocosa.

Aplicando las expresiones matemáticas propuestas en la metodología, se obtuvieron los siguientes resultados.

Toba Andesíticas.

En las tobas andesíticas se tomaron 2 muestras que fueron analizadas en el laboratorio, teniendo los siguientes resultados.

Tabla 36. Datos obtenidos para la determinación de las propiedades físicas de la toba andesítica

	Talud 1		Talud 2	
W	334.02	g	354.15	g
Wseco	328.58	g	353.11	g
Wsat	334.02	g	354.15	g
Wsumergido	201.7	g	225.34	g
Vpulverizada	125.41	cm3	125.66	cm3

La Autora, 2019



De los datos de la **tabla 36** se obtuvo los resultados de las propiedades físicas de la **tabla 37**.

Tabla 37. Propiedades Físicas de la Roca Toba Andesíticas, Talud 1.

Propiedades Físicas de la Roca		Talud 1		Talud 2	
		Resultado	Unidad	Resultado	Unidad
Contenido de Humedad	C.H.	1.66	%	0.29	%
Porosidad Eficaz	ne	4.11	%	0.81	%
Peso Específico Aparente	pa	2.48	g/cm3	2.74	g/cm3
Peso Específico Real	pr	2.62	g/cm3	2.81	g/cm3
Porosidad	n	5.22	%	2.44	%
Porosidad Real	nc	1.11	%	1.64	%
Coefficiente De Absorción	Cabs	1.66	%	0.29	%
Compacidad	C	94.78	%	97.56	%
Módulo De Saturación	Msat	78.75	%	33.04	%

La Autora, 2019

Tabla 38. Resultados de Gravedad Especifica, tobas andesíticas.

Gravedad Especifica	Talud 1		Talud 2	
	Resultado	Unidad	Resultado	Unidad
Volumen Picnómetro:	50.00	ml	50.00	ml
Peso Picnómetro + Agua + Suelo=Wbws	99.12	gr	99.46	gr
Temperatura	20.00	°C	20.00	°C
Peso Picnómetro + Agua=Wbw	83.66	gr	83.66	gr
Peso Plato Evaporador	0.00	gr	0.00	gr
Peso Plato Evaporador +Suelo Seco	25.00	gr	24.51	gr
Peso Suelo Seco= Ws	25.00	gr	24.51	gr
Ww=Ws+Wbw-Wbws	9.54	gr	8.71	gr
Gs=αWs/Ww	2.62		2.81	.

La Autora, 2019



Toba Dacíticas.

Tabla 39. Datos obtenidos para la determinación de las propiedades físicas de la roca del Talud 3

Datos Talud 3		
W	310.41	g
Wseco	303.93	g
Wsat	310.41	g
Wsumergido	178.64	g
Vpulverizada	113.41	cm ³

La Autora, 2019

Tabla 40. Resultados de propiedades físicas de las rocas para el Talud 3

Propiedades Físicas de las Rocas		Resultados	Unidad
Contenido de Humedad	C.H.	2.13	%
Porosidad Eficaz	ne	4.92	%
Peso Específico Aparente	pa	2.31	g/cm ³
Peso Específico Real	pr	2.68	g/cm ³
Porosidad	n	13.94	%
Porosidad Real	nc	9.02	%
Coficiente De Absorción	Cabs	2.13	%
Compacidad	C	86.06	%
Módulo De Saturación	Msat	35.29	%

La Autora, 2019

Tabla 41. Resultados de Gravedad Especifica en muestra de talud 3

Volumen Picnómetro:	50.00	ml
Peso Picnómetro + Agua +S uelo=Wbws	99.25	gr
Temperatura	20.00	°C
Peso Picnómetro + Agua=Wbw	83.89	gr
Peso Plato Evaporador	0.00	gr
Peso Plato Evaporador +Suelo Seco	24.51	gr
Peso Suelo Seco= Ws	24.51	gr
Ww=Ws+Wbw-Wbws	9.15	gr
Gs=αWs/Ww	2.68	

La Autora, 2019



Resultados de Ensayos de Esclerometría de Bajo Impacto

Tabla 42. Resultados obtenidos en la aplicación de esclerometría de bajo impacto, aplicado a cubos pulidos de roca

ENSAYO DE ESCLEROMETRIA DE BAJO IMPACTO										
Muestra	Número de rebote					posición	r prom	Densidad	C.Simple	
Nº	r1	r2	r3	r4	r5	-	rebote	g/cm ³	Mpa	Kg/cm ²
TALUD 1 M1	32.0	38.0	32.0	36.0	34.0	-90.00	34	2.49	5.69	58.021
TALUD 1 M2	41.0	46.0	47.0	48.0	47.0	-90.00	46	2.49	10.42	106.25
TALUD 2 M1	42.0	39.0	39.0	42.0	40.0	-90.00	40	2.74	9.43	96.46
TALUD 2 M2	44.0	50.0	50.0	48.0	42.0	-90.00	47	2.74	13.91	141.84
TALUD 3 M1	38.0	42.0	40.0	41.0	44.0	-90.00	41	2.30	6.92	70.56
TALUD 3 M2	38.0	41.0	41.0	40.0	38.0	-90.00	40	2.30	6.60	67.30

La Autora, 2019

Resultados de Ensayos de Compresión Simple

Talud 1



Fotografía 34. Cubos de roca de Talud 1, después de aplicar la carga uniaxial
La Autora, 2019.



Tabla 43. Resultados de ensayo de compresión cubica en Talud 1

DENSIDAD							
Muestra	peso aire	p sumergido	peso seco	d. masiva	d. s.s.s.	aparente	absorción
Nº	g	g	g	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	%
1	334.02	201.78	328.58	2.48	2.53	2.59	1.66%
2	294.33	178.59	289.75	2.50	2.54	2.61	1.58%
Promedio				2.49	2.53	2.60	1.62%
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN							
Muestra	largo	ancho	altura	área	volumen	carga	esfuerzo
Nº	cm	cm	cm	cm ²	cm ³	Kg	Kg/cm ²
1	5.21	5.22	5.38	27.20	146.32	8,002.04	294.234
2	5.19	5.26	5.22	27.30	142.50	5,372.07	196.783
Promedio							245.51

Talud 2



Fotografía 35. Cubos de roca de Talud 2, después de aplicar la carga uniaxial
La Autora, 2019.

Tabla 44. Resultados de ensayo de compresión cúbica en Talud 2

DENSIDAD							
Muestra	peso aire	p sumergido	peso seco	d. masiva	d. s.s.s.	aparente	absorción
Nº	g	g	g	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	%
1	354.15	225.34	353.11	2.74	2.75	2.76	0.29%
2	284.29	180.98	283.30	2.74	2.75	2.77	0.35%
Promedio				2.74	2.75	2.77	0.32%
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN							
Muestra	largo	ancho	altura	área	volumen	carga	esfuerzo
Nº	cm	cm	cm	cm ²	cm ³	Kg	Kg/cm ²
1	5.23	5.32	5.22	27.82	145.24	17,624.87	633.450
2	5.24	5.07	5.26	26.57	139.74	21,620.80	813.828
Promedio							723.64



Talud 3



*Fotografía 36. Cubos de roca de Talud 3, después de aplicar la carga uniaxial
La Autora, 2019.*

Tabla 45. Resultados de ensayo de compresión cúbica en Talud 3

DENSIDAD							
muestra	peso aire	p sumergido	peso seco	d. masiva	d. s.s.s.	aparente	absorción
Nº	g	g	g	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	%
1	310.41	178.64	303.93	2.31	2.36	2.43	2.13%
2	317.79	182.06	310.36	2.29	2.34	2.42	2.39%
Promedio				2.30	2.35	2.42	2.26%
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN							
muestra	largo	ancho	altura	area	volumen	carga	esfuerzo
Nº	cm	cm	cm	cm ²	cm ³	Kg	Kg/cm ²
1	5.01	4.96	5.32	24.85	132.20	13,037.72	524.665
2	5.28	5.47	5.17	28.88	149.32	8,685.02	300.711
Promedio							412.69

Aglomerado

En cuanto al aglomerado tobaceo se determinó en campo la resistencia del cementante, usando esclerómetro de bajo impacto, se tomaron 5 golpes y se realizó la respectiva corrección obteniendo los siguientes resultados:

ESCLEROMETRIA DE BAJO IMPACTO										
Cod	Rebote				posición	r prom	densidad	c.simple		
Nº	r1	r2	r3	r4	r5	-	rebote	g/cm ³	Mpa	Kg/cm ²
TALUD 4	18	20	24	24	24	-45.00	22	2.65	3.33	33.95

Cálculo de cohesión y ángulo de fricción.

Talud 1

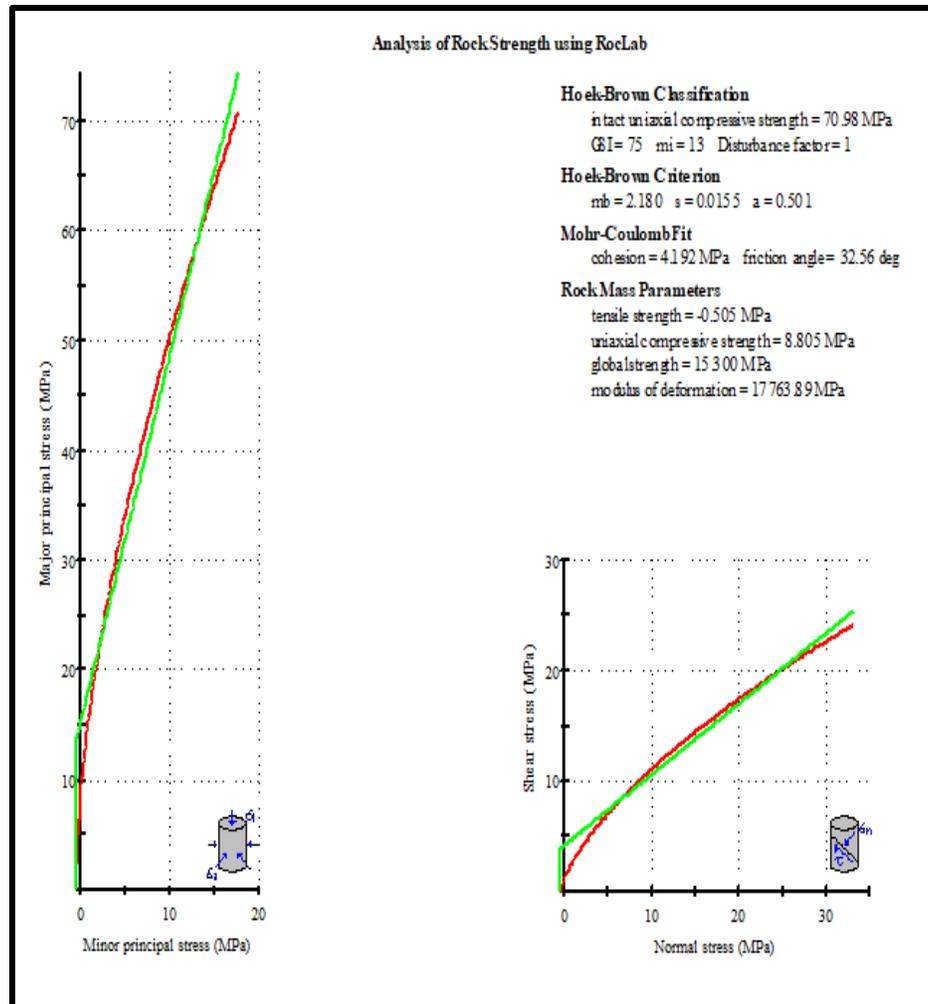


Figura 23. Resultados de Cohesión y Angulo de Fricción para talud 1

Fuente. Software RocLab, elaborado por la Autora.

Para el talud 1, perteneciente a tobas andesíticas se obtuvo el resultado de Cohesión $c' = 4.191 \text{ Mpa}$ y un ángulo de fricción interna de $\phi = 32.56^\circ$

Talud 2

En las tobas andesíticas del Talud 2 se obtuvo el siguiente resultado.

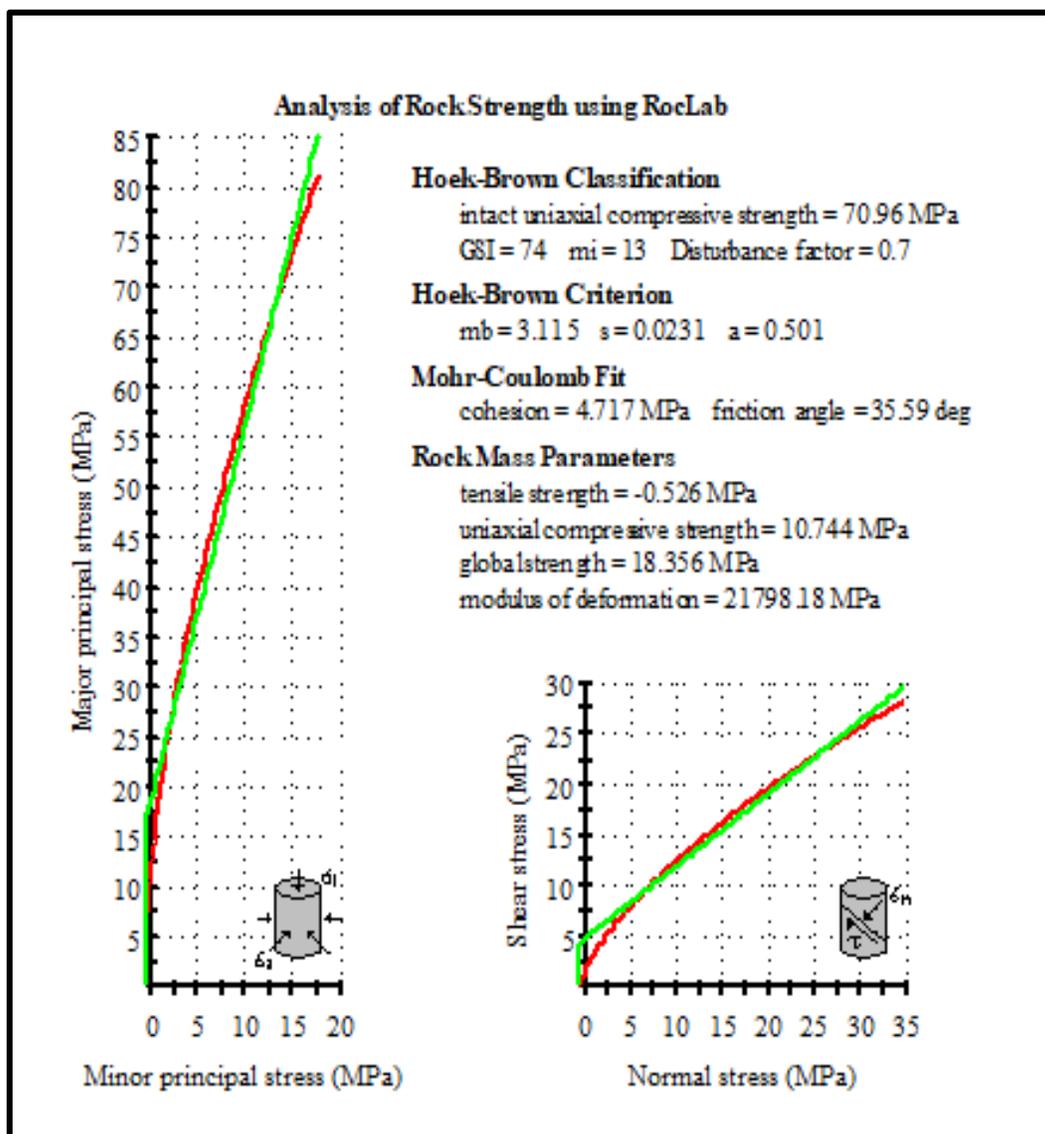


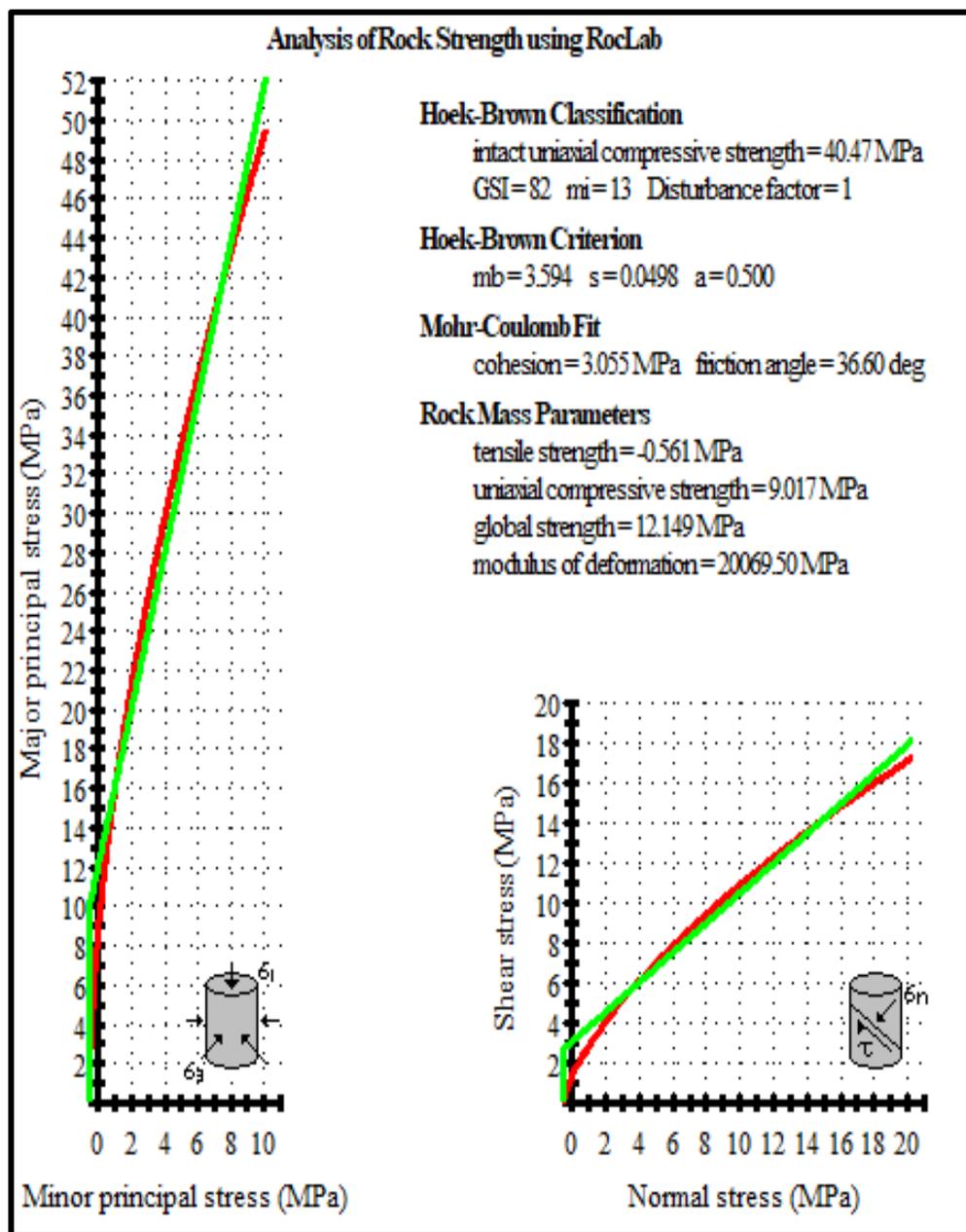
Figura 24. Resultados de Cohesión y Angulo de Fricción para talud 2.

Fuente. Software RocLab, elaborado por la Autora.

Para el talud 2, perteneciente a tobas andesíticas, se obtuvo el resultado de Cohesión $c' = 4.719 \text{ Mpa}$ y un ángulo de fricción interna de $\phi = 35.59^\circ$

Talud 3

En las tobas dacíticas del Talud 3 se obtuvo el siguiente resultado.



Para el talud 2, perteneciente a tobas andesíticas, se obtuvo el resultado de Cohesión $c' = 3.005$ Mpa y un ángulo de fricción interna de $\phi = 36.60^\circ$



6.12. Cálculo De Factor De Seguridad

El diseño del talud, para realizar el cálculo del factor de seguridad se lo realizo mediante el software Slide 6.0.

Se utilizo parámetros de altura de talud, ángulo de fricción, cohesión y el peso específico de la roca.

Tabla 46. Parámetros usados en el software Slide

Peso específico KN/m ³	Cohesión. KN/m ²	Ángulo de Fricción.
25.49	419.1	32.56

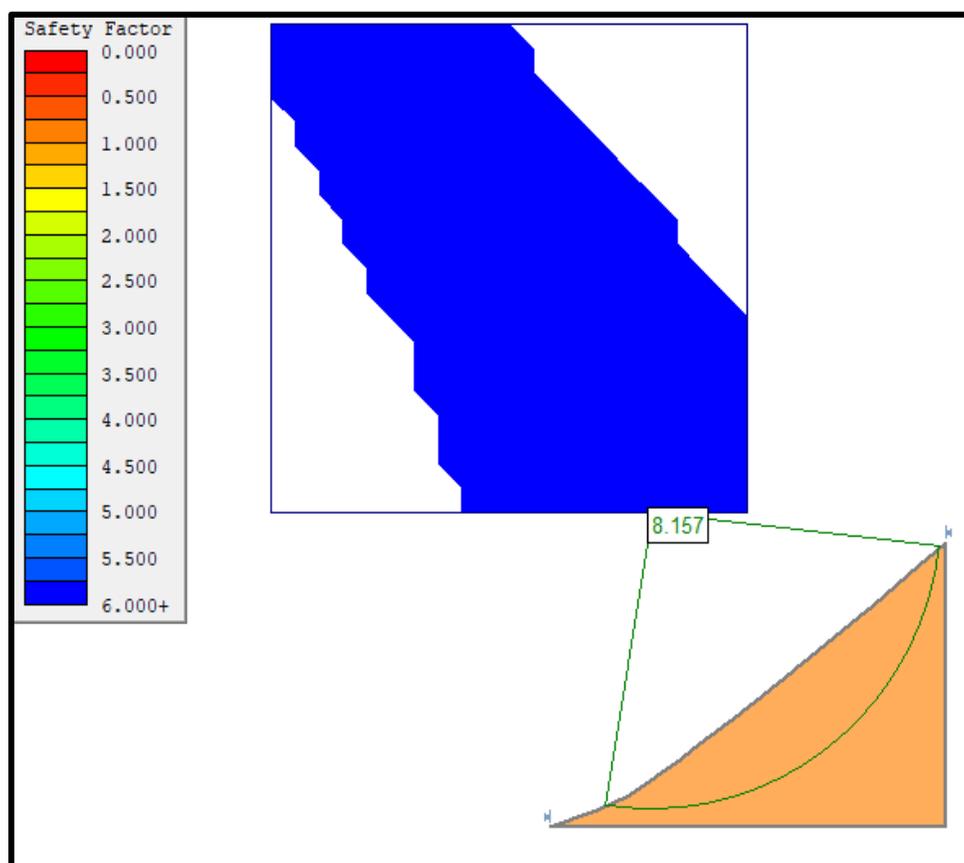


Figura 26. Factor de seguridad para talud 1
Fuente. Software Slide 6.0, elaborado por la Autora



El talud 1 correspondiente a tobas andesíticas porfídicas presenta un **FS= 8.157** debido a sus características litológicas y geomecánicas, determinándose que actualmente el talud se encuentra dentro de los rangos estables

Talud 2: Toba Andesítica Porfídica

Tabla 47. Parámetros usados en el software Slide para talud 2.

Peso específico KN/m ³	Cohesión. KN/m ²	Angulo de Fricción.
26.968	471.9	35.59

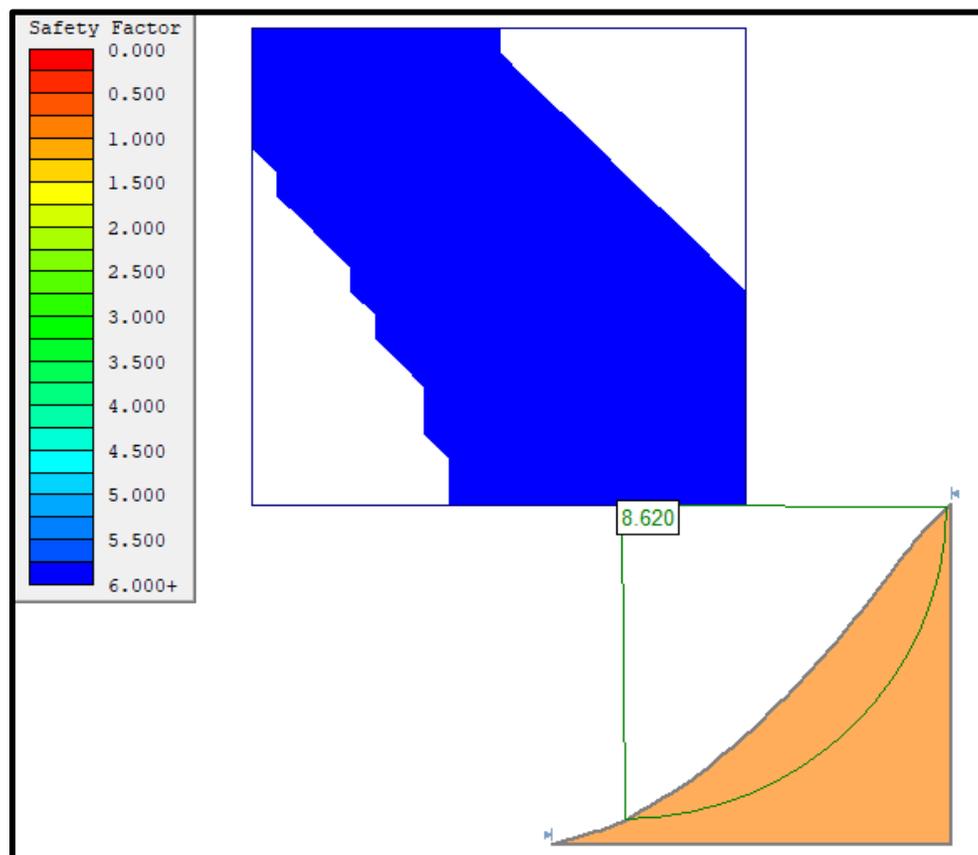


Figura 27. Factor de seguridad para talud 2
Fuente. Software Slide 6.0, elaborado por la Autora



El factor de seguridad para el talud 2 es de **8.620**, debido a sus características litológicas y geomecánicas, determinándose que actualmente el talud se encuentra dentro de los rangos estables

Talud 3: Toba Dacitica

Tabla 48. Parámetros usados en el software Slide para talud 3.

Peso específico KN/m ³	Cohesión. KN/m ²	Angulo de Fricción.
23.04	300.5	36.60

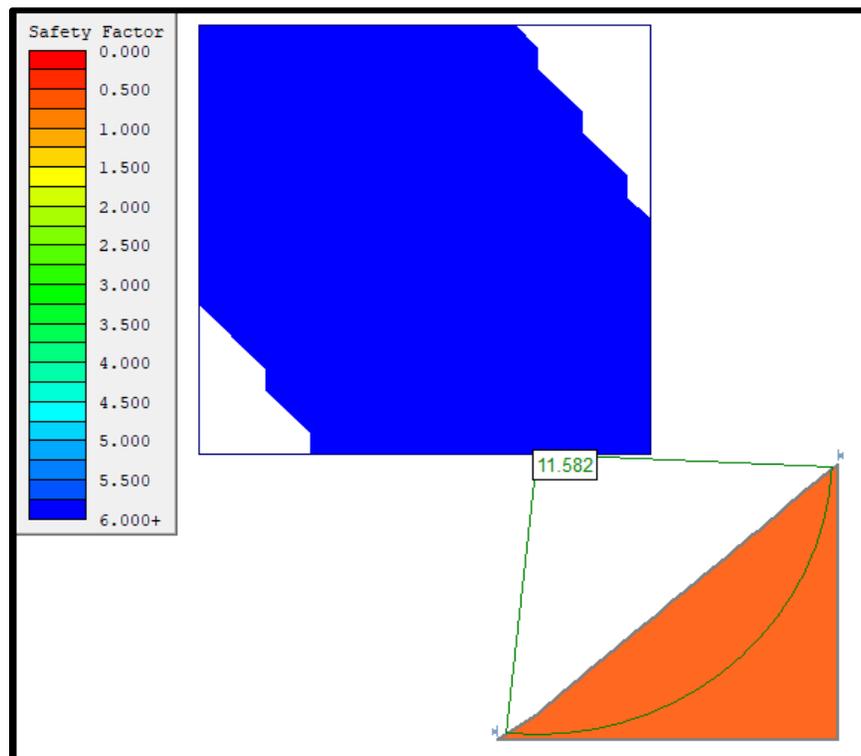


Figura 28. Factor de seguridad para talud 3
Fuente. Software Slide 6.0, elaborado por la Autora

El factor de seguridad para el talud 3 es de **11.582**, debido a sus características litológicas y geomecánicas, determinándose que actualmente el talud se encuentra dentro de los rangos estables



7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

El presente trabajo investigativo, permitió conocer las principales características físico mecánicas que presentan las litologías del kilómetro 0 – 2.0 de la vía Taquil – Chantaco que corresponde a las abscisas 13+000 a la 16+000, los cuales servirán como pilar fundamental para la continuidad de estudios en esta vía.

Se realizó un levantamiento topográfico mediante el uso de UAV, el mismo permitió obtener información topográfica de alta calidad teniendo errores de $\pm 0.05\text{m}$; la ventaja de usar este método fue la de ahorro de tiempo, los costos fueron menores con respecto a la topografía tradicional con estación total, además que se obtuvo una ortofoto de resolución 20.2 cm/px, permitiendo observar toda el área de estudio a detalle.

De la misma manera fue muy importante la topografía para poder diseñar los perfiles de los taludes en los cuales se calculó el factor de seguridad, obteniendo así valores que se acercan a la realidad.

Con respecto a la litología se pudo determinar que las litologías predominantes son las tobas andesíticas porfídicas, las cuales están presentes en un 80% del área en estudio, presentan una alta resistencia, que varían 245 a 723 kg/cm², de los ensayos aplicados a esta roca se determinó que en el primer kilómetro se encuentra el menor valor de resistencia, se le atribuye a que se encuentran mayormente meteorizadas, a diferencia de las tobas que se presentan a partir del kilómetro 1.2, que son tobas que presentan mayor resistencia, y menor porosidad.

En cuanto a las tobas dacíticas, estas se presentan altamente meteorizadas, en especial las que afloran al margen de la vía, este tipo de tobas presenta una resistencia de 412.69 kg/cm²; que también la hace una roca resistente, teniendo un 9.02% de porosidad real.

Con respecto al aglomerado Tobaceo, el cual aflora en la abscisa 14+780, en este tipo de litología fue difícil tomar muestras de rocas para ser pulidas en el laboratorio, sin embargo, se obtuvo parámetros de resistencia obtenidos en campo con el esclerómetro de bajo impacto, para este caso en específico se tomó la resistencia del cementante, el cual al ser desintegrado



ocasionaría la inestabilidad del talud, sin embargo se determinó que es una roca competente con una resistencia de 33.95 kg/cm², hay que enfatizar que el valor del esclerómetro es bajo con respecto a los valores que se consiguen en laboratorio.

Hay que destacar que el área en estudio se encuentra en una zona Volcano – sedimentaria, lo cual hace que sea una roca competente, lo cual se evidencio en el cálculo del factor de seguridad los cuales tenemos de 8.1, 8.6 y 11.5, los cuales fueron determinados mediante un análisis global del talud, mediante el método de Mohr Coulomb quien considera una rotura circular.

Con respecto a la prospección geofísica aplicada en la abscisa 15+000, determina que existe una saturación en una profundidad de 16m, esto debido a las infiltraciones provenientes del canal de riego, del cual los moradores han tomado captaciones para riego sin las debidas medidas, provocando que en este sitio se evidencie agua. Del mismo modo se determina mediante sísmica de refracción la carga admisible hasta los 6m de 1.39 kg/cm².



8. CONCLUSIONES.

Del análisis y culminación del presente trabajo investigativo se concluye lo siguiente.

- Se determinó que el área de estudio topográficamente presenta cotas de elevación que van desde los 2100 msnm hasta los 2300 msnm, existiendo un desnivel de 200 metros. El método aplicado para el levantamiento topográfico permitió la obtención de la topografía a detalle teniendo un error de $\pm 0.06m$, y una ortofoto de 20.2 cm/pix.
- Se estableció mediante la aplicación SIG, que las pendientes predominantes en el sector de estudio son pendientes muy inclinadas con un porcentaje de 53.08%, las cuales pertenecen a un rango de 15° a 35° según la clasificación de DEMEK, seguidamente las pendientes empinadas que tienen un porcentaje de 35° a 55° ocupando un porcentaje de 24.88% y finalmente tenemos las pendientes fuertemente inclinadas que ocupan un porcentaje de 21.98 con pendientes en rangos de 5° a 15°
- Se generó la geomorfología del área de estudio teniendo en mayor proporción el relieve colinado alto, con un 43.85%, en menor proporción con un 19.36% un relieve colinado medio, seguido de un relieve montañoso con un 17.46%, y un relieve colinado bajo con un 17.02% y finalmente en menor proporción coluvio aluvial con un 2.30%
- La geología del área de estudio está representada por la Formación Sacapalca (Pratt y otros, 1997). actualmente denominada Gonzabal, consiste de una secuencia Volcano-sedimentaria, cuyos principales afloramientos se encuentran a lo largo de las vía- Taquil - Chantaco.
- Se realizó un levantamiento geológico a escala 1:5000, el cual permitió delimitar 3 litologías: tobas andesítico porfídicas, las cuales predominan en el área de estudio representando un 80% del área total, seguidamente se encontraron en menor proporción tobas dacíticas que presentan un grado de alteración alto y finalmente se encontró aglomerado Tobaceo, el cual este compuesto por clastos de tobas andesíticas y dacíticas con una matriz limo arcillosa.
- Se determinó mediante sondeos eléctricos verticales que en la abscisa 16+030-15+740, existen los siguientes complejos geo eléctricos; En la capa A con potencia



de 0.30m, existe suelo orgánico con una Resistividad de 20 Ω m., la capa B corresponde a un suelo limo – arcilloso con saturación por infiltración superficial, teniendo una resistividad de 65.5 Ω m, la capa C con una potencia de 19.7, se encuentran Volcano sedimentos de tobas y brechas con saturación, finalmente en la capa E se determina que existe una resistividad de 951 Ω m, correspondiente a tobas andesíticas; se ha podido observar que esta área de estudio presenta problemas de agua de escorrentía superficial, subterránea y por distribución del agua del canal. Este canal está fracturado en varias partes, para el riego de parcelas en ambos márgenes de la vía, socavando y saturando la calzada. Mediante el sondeo eléctrico vertical se determina que la saturación llega a los 20m ya que estas capas se encontraban saturadas

- Se estableció mediante sísmica de refracción la carga admisible en los geo materiales presentes en la abscisa 16+030-15+740, teniendo una $q_a = 1.39 \text{ kg/cm}^2$ y una $q_a = 1.05 \text{ kg/cm}^2$, correspondiente a la litología de suelo arcillo – limoso; de la misma manera para la litología de Volcano sedimentos de toba andesíticas y brechas se tiene una carga admisible de $q_a = 3.11 \text{ kg/cm}^2$ $q_a = 3.25 \text{ kg/cm}^2$; con respecto a las tobas andesíticas que se encuentran en el basamento se tiene una $q_a = 12.99$
- Se caracterizó 3 taludes en el margen de la vía, usando la metodología de RQD; obteniendo resultados para las tobas andesíticas del Talud 1: 100% Talud 2: 56.89% y Talud 3: 100% la fórmula que se utilizó fue la de Palstrom, misma que determina el RQD mediante el índice volumétrico de juntas en 1 m^3
- Se determinó el RMR, para estos tres taludes los cuales fueron, Talud 1=80; Talud 2=69 y Talud 3=87; determinando así que pertenecen a un macizo de buena calidad correspondiente a los dos primeros taludes que son tobas andesíticas porfídicas, y se tiene un talud de muy buena calidad para el talud 3 el cual se compone de tobas dacíticas
- Se calculó el GSI para los taludes y su valor corresponde a Talud 1= 75; Talud 2=64 y Talud 3=82; afirmando así que tenemos macizos rocosos competentes.
- Se calculó mediante ensayos de laboratorio las propiedades físico mecánicas de la matriz rocosa; teniendo para tobas andesíticas porfídicas en el primer tramo una



porosidad de 5.22%, esta porosidad varia en cuanto a la muestra que se tomó en el talud 2, correspondiente al mismo tipo de litología donde se tiene una porosidad de 2.44%; se determinó así que la porosidad, está directamente relacionada con la resistencia de la roca, ya que se obtuvieron parámetros de resistencia a la compresión simple en el primer talud de 245.51 kg/cm² y en el talud 2 una resistencia de 723.64 kg/cm². De igual manera esta litología los parámetros para la gravedad especifica en el talud 1 fue de 2.62 y en el talud 2 fue de 2.81.

La variación que se presenta en cuanto a las propiedades físico mecánicas varían significativamente, esto debido a que las tobas andesíticas porfídicas del talud 1, presentaron un grado de erosión alto, así mismo se presencié una falla de tipo normal que afectaba al macizo rocoso cuyos elementos estructurales en dirección de buzamiento son 30°/30NE.

- Las propiedades físico – mecánicas para las tobas dacíticas son las siguientes: porosidad = 13.94%, teniendo una resistencia a la compresión de 412.69 kg/cm²; la gravedad específica para esta litología es de 2.68.
- En cuanto al aglomerado Tobaceo se midió la resistencia a la compresión simple en el campo, mediante el uso del esclerómetro de bajo impacto, dando como resultado una resistencia de 33.95 kg/cm², la medición se la realizo en el cementante ya que al desintegrarse sería quien cause problemas de estabilidad en este tipo de litología.
- El factor de seguridad calculado para el talud 1 es de FS= 6; para el talud 2 es de FS=8.620 y para el talud 3 es de FS=11.58. considerando taludes estables ya que sobrepasan el FS=1



9. RECOMENDACIONES

Una vez analizados las características geológicas - geotécnicas que presenta la vía Taquil – Chantaco km 0 – 2, se toma a consideración las siguientes recomendaciones.

- Realizar tomografías eléctricas, con el objetivo de determinar el caudal de agua en la abscisa 15+000.
- Considerar el rubro de reposición del canal de riego y la construcción de acometidas, se aconseja que estas estructuras estén revestidas o entibadas de tal manera que no se infiltre el agua a los materiales de la obra vial.
- Colocación de sub-drenes a lo largo de la vía en todos los tramos donde existan áreas de cultivo.
- Utilizar la información geológica geotécnica obtenida en la presente investigación, como base para los estudios viales que se vayan a realizar en esta vía; estudios como, diseños de talud final, en donde se apliquen los parámetros antes calculados.



10. BIBLIOGRAFÍA

A Moffat., C. N. (2001). *Estructuras hidraulicas. Segunda Edición.* . Bogota, Colombia.:

McGrawhill.

Armas, J. (2004). *Cartografía Geológica Estructural del Valle Huaizichal.* Nuevo León:

Universidad de Nuevo León.

Astier, J. (1975). *Geofísica Aplicada a la Hidrogeología.* Barcelona: S.A. THOMSON

PARANINFO.

Braja, M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica.* Distrito Federal, Mexico:

Cengage Learning.

Cantos, J. (1973). *Tratado de geofísica aplicada.* Madrid: Litoprint.

Castillo, D. (2014). *Análisis de Estabilidad de Macizos Rocosos Mediante el Uso de SIG y*

Su Aplicación Al Sector Lucarqui. Loja: Universidad Tecnica Particular de Lojs.

Chavéz, A. (2001). Topografía y su relación con el medio ambiente. Bogotá: Tesis

pregrado Universidad del Valle.

Chávez, J. (2006). *Geotecnia.* . Distrito Federal México: Universidad Nacional Autónoma

de México.

CLIRSEN. (2010). *Proyecto de generación de información georreferenciada para el*

desarrollo sustentable Del sector agropecuario. Quito: Centro de Levantamientos

Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos.



- Daza, C. (2015). En *Implementación de modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de una vía en rehabilitación sector Tulua- Riofrío*. Bogota.
- Deere, D. U. (1989). *Rock Quality Designation (RQD) After Twenty*. Gainesville, Florida: US Army Engineer Waterways.
- Demek, J. (1972). *Manual of Detailed Gemorphological Mapping*. Academia Praga.
- Dobrin, M. B. (1975). *Introduccion a la Prospeccion Geofísica*. Barcelona: Omega.
- E Orellana, H. M. (1972). *Two and three-layer master curves*. Madrid, España: Interciencia.
- Escobar, D. (2013). *Manual de geología para Ingenieros”. Geomorfología*. Manizales: Universidad de Colombia.
- Escobar, G. D. (2017). *Manual de Geología para Ingenieros*.
- García, D. A. (2014). *Topografía y sus Aplicaciones*. México. 377 págs.: Primera Edición. ISBN: 978-607-438-943-2.
- González L., F. M. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Gutiérrez, E. (2008). *Geomorfología*. Madrid, España: Pearson Educación.
- Hoek, E. (1994). *Strength of rock masses, ISRM News Journal*. Toronto: ISRM.
- INIGMM. (2017). *Hoja Geológica de Loja, Hoja 56 N VI-F (1:100 000)*. Ecuador.



- López, J. (2002). *Geología aplicada a la ingeniería civil*. Madrid, España: CIE Inversiones Editoriales Dossat.
- 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: Universidad Técnica Particular de Loja .
- Morales, W. R. (2015). *Texto básico autoformativo de Topografía General*. Nicaragua. 206 págs.: Primera Edición. ISBN: 978-99924-1-036-3.
- NEC. (2004). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito, Ecuador.
- PDyOT. (2014). *Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Taquil*. Loja.
- Puig, J. (1970). *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil y Fotointerpretación*. Nuevo León : Universidad de Nuevo León .
- Rodríguez, M. P. (2003). “*Geología Practica: Introducción Al Reconocimiento De Materiales Y Análisis De Mapas*”. Madrid, España: Pearson.
- Sedano, F. D. (2018). *Ventajas en los levantamientos topográficos con el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV)*. Lima: Universidad Privada del Norte.



11.ANEXOS

ANEXO 1: Ortofoto del sector de estudio.

ANEXO 2: Mapa topográfico del sector de estudio.

ANEXO 3. Mapa de pendientes

ANEXO 4. Mapa de unidades geomorfológicas del sector de estudio

ANEXO 5. Fichas de descripción de afloramientos.

ANEXO 6: Mapa de ubicación de afloramientos

ANEXO 7. Mapa litológico de sector de estudio.

ANEXO 8. Resultados de ensayos de laboratorio

ANEXO 9. Fichas para la descripción geomecánica del macizo rocoso.



ANEXO 1: Ortofoto del sector de estudio.



ANEXO 2: Mapa topográfico del sector de estudio.



ANEXO 3. Mapa de pendientes



ANEXO 4. Mapa de unidades geomorfológicas del sector de estudio



ANEXO 5. Fichas de descripción de afloramientos.



ANEXO 6: Mapa de ubicación de afloramientos



ANEXO 7. Mapa geológico local de sector de estudio.



ANEXO 8. Resultados de ensayos de laboratorio



ANEXO 9. Fichas para la descripción geomecánica del macizo rocoso.