

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Propuesta de un falso túnel atirantado como solución a
deslizamientos en la carretera Cuenca - Molleturo.**

AUTORES:

**Rivera Hernández, Luis Alejandro
Viteri Toscano, Patricio Iván**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto M.Sc.

Guayaquil, Ecuador

08 de septiembre del 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente Trabajo de Titulación fue realizado en su totalidad por **Rivera Hernández, Luis Alejandro y Viteri Toscano, Patricio Iván**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. 

Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto M.Sc.

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. 

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, M.Sc.

Guayaquil, a los 08 días del mes de septiembre del año 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Rivera Hernández, Luis Alejandro**
Viteri Toscano, Patricio Iván

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, **Propuesta de un falso túnel atirantado como solución a deslizamientos en la carretera Cuenca - Molleturo** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

LOS AUTORES

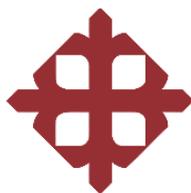
f. 

Rivera Hernández, Luis Alejandro

f. 

Viteri Toscano, Patricio Iván

Guayaquil, a los 08 días del mes de septiembre del año 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Rivera Hernández, Luis Alejandro**
Viteri Toscano, Patricio Iván

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Propuesta de un falso túnel atirantado como solución a deslizamientos en la carretera Cuenca - Molleturo**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 08 días del mes de septiembre del año 2023

LOS AUTORES:

f. _____
Rivera Hernández, Luis Alejandro

f. _____
Viteri Toscano, Patricio Iván

REPORTE DE COMPILATO



RIVERA_LUIS, VITERI_PATRICIO_FINAL

< 1% Similitudes
 2% Texto entre comillas
 < 1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: RIVERA_LUIS, VITERI_PATRICIO_FINAL.pdf
 ID del documento: 219a5c57a3ed0ef22eba3139c4b5ef3b03c5f8ee
 Tamaño del documento original: 4,46 MB

Depositante: Clara Catalina Glas Cevallos
 Fecha de depósito: 26/9/2023
 Tipo de carga: Interface
 fecha de fin de análisis: 26/9/2023

Número de palabras: 22.182
 Número de caracteres: 167.861

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.ucsg.edu.ec 42 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (429 palabras)
2	repositorio.ucsg.edu.ec 10 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (184 palabras)
3	www.dspace.espol.edu.ec DSpace en ESPOL: Estudio de la variabilidad de parám... 5 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (146 palabras)
4	repositorio.ucsg.edu.ec 10 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (149 palabras)
5	www.dspace.espol.edu.ec 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (134 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #112464 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
2	bibdigital.epn.edu.ec	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
3	es.slideshare.net Coluiones PDF	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
4	bibdigital.epn.edu.ec	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
5	localhost Levantamiento de la distribución eléctrica de la parroquia Guale - Paján. http://localhost:8080/xmlui/bitstream/3317/8587/3/UCSG-PRE-TEC-DEM-109.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://elmercurio.com.ec/2023/03/25/derrumbes-via-cuenca-molleturo>
- <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/12/31/nota/9132058/deslizamiento>
- <http://kuriiosidescientifks.blogspot.com/2020/07/bordes>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Carnege_Ridge.png
- <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10658>

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi gratitud a Dios por haber desempeñado un papel esencial en la formación de la persona en la que me he convertido. Asimismo, le agradezco por haber permitido este importante logro.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres (Soraya Hernández y Arturo Rivera), cuyo amor y respaldo han sido mi mayor fortaleza. Su inquebrantable fe en mis habilidades y su dedicación para proporcionarme las herramientas que necesitaba, son regalos que nunca podré retribuir completamente. Esta tesis es un testimonio de su amor y sacrificio por ser los pilares de mi éxito. Espero que mi papá me vea desde el cielo el profesional en el que me he convertido.

A mi adorable, leal y mi primer perro (Dony), quiero ofrecer un sincero agradecimiento. Tus lamidas llenas de cariño, tu calor acompañándome en las largas horas de estudio y tus ojos llenos de afecto han sido un bálsamo para mi corazón. Gracias por recordarme constantemente la importancia de apreciar las pequeñas cosas.

Por último, pero no menos significativo, deseo extender mi más sincero agradecimiento a mi tutor, el Ingeniero Gilberto Martínez, y a todos mis profesores que han sido parte de esta trayectoria académico. La generosidad con la que compartieron sus conocimientos y valores ha sido un pilar fundamental en mi crecimiento, guiándome con sabiduría hacia el exitoso final de mis estudios universitarios.

Luis Alejandro Rivera Hernández

DEDICATORIA

A la persona que ha sido mi guía constante, mi apoyo incondicional y mi fuente inagotable de amor: mi madre, Soraya Hernández Sotomayor. Esta tesis no solo es un reflejo de mi esfuerzo, sino también de tu incansable dedicación en mi vida. Tus palabras de aliento, tus consejos sabios y tu amor incondicional han sido las fuerzas impulsoras detrás de mi éxito académico. A través de esta dedicación, quiero expresar mi profunda gratitud por cada ocasión en la que confiaste en mí más allá de mis propias creencias sobre mis capacidades. Esta tesis rinde homenaje a tu papel esencial en mi vida y en mi crecimiento como individuo. Con todo mi corazón, dedico este logro a ti.

A la imborrable memoria de mi querido padre, Arturo Rivera Vera. Aunque ya no estés presente a mi lado, tus enseñanzas y guía perduran. Tu influencia en mi vida ha dejado una huella indeleble, iluminándome incluso en los momentos más desafiantes. Esta tesis va más allá de ser un simple trabajo académico; es un tributo a tu legado. Aunque no puedas estar aquí para celebrar este logro conmigo, sé que tu sonrisa brilla desde el cielo, orgulloso de mis logros. Te dedico este hito con gratitud y amor eterno.

Tu memoria continuará inspirándome a enfrentar retos, a superar obstáculos y a perpetuar tus valores y sabiduría. Esta tesis es un sincero homenaje a ti.

Luis Alejandro Rivera Hernández

AGRADECIMIENTO

El principal agradecimiento a Dios quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

Agradecido con mis padres, ya que han sido los principales impulsores de mis aspiraciones, al confiar en mí y creer en mis capacidades días tras días, les agradezco por brindarme su amor incondicional, sus sabios consejos y su infinita paciencia. También a mis hermanos que siempre me dan fuerzas y me apoyan incondicionalmente.

A mis amigos que fueron gran apoyo desde el día uno que comencé la carrera y que también creyeron en mí. Por las risas, estudios y momentos que compartimos juntos.

Finalmente, agradezco muy profundamente a mi tutor al Ingeniero Gilberto Martínez por su dedicación, sus conocimientos brindados para culminar con el trabajo de investigación. Y a los docentes que han sido parte de mi camino universitario por transmitirme los conocimientos necesarios.

Patricio Iván Viteri Toscano

DEDICATORIA

Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia. Principalmente a mis padres Patricio Viteri y Narciza Toscano por siempre confiar en mí y estar en los momentos malos y en los menos malos para darme fuerza y por enseñarme a nunca rendirme ante los obstáculos de la vida. Gracias por todo sus esfuerzos para que inicie, continúe y finalice esta carrera; este y mis futuros logros son dedicados para ustedes con todo mi cariño y amor.

A mis hermanos Nicole Viteri y Jonathan Viteri por siempre darme aliento cuando más lo necesitaba y brindarme su amor en todo momento.

A la memoria de mis abuelos, que descansen en paz.

Patricio Iván Viteri Toscano



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

f. 

**Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto, M.Sc.
TUTOR**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

**Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, M.Sc.
DIRECTORA DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

f. 

**Ing. Grau Sacoto, Francisco, M.Sc.
DELEGADO**

f. 

**Ing. Grau Sacoto, Carlos Andrés, M.Sc.
OPONENTE**

Contenido

Introducción	2
Antecedentes	3
Deslizamientos de tierra en el sitio.....	3
Descripción del problema	5
Situación problemática	6
Zona de estudio.....	6
Justificación del estudio	7
Objetivos	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos	8
CAPÍTULO I	9
1 MARCO TEÓRICO	9
1.1 Marco normativo.....	9
1.1.1 Sensibilización ambiental.....	9
1.1.2 Regulación ambiental con respecto a eventos naturales	10
1.1.3 Regulación ambiental con respecto a impactos ambientales	10
1.1.4 Ley Orgánica de Educación Superior “LOES”	11
1.1.5 Estatuto de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.....	11
1.1.6 El perfil del egresado de Ingeniería Civil.....	12
1.2 Marco geológico regional - Sismicidad.....	12
1.2.1 Subducción.....	12
1.2.2 Placa de Nazca y Sudamericana.....	13
1.2.3 Punto caliente de las Galápagos	14
1.2.4 Cordillera submarina de Carnegie.....	16

1.2.5	Golfo de Guayaquil	19
1.2.6	Sistemas de fracturas en Ecuador.....	20
1.2.7	Sistemas de fallas en Ecuador	21
1.2.8	Cordillera de los Andes.....	26
1.2.9	Bloque Norandino	27
1.3	Marco geológico local.....	30
1.3.1	Vulcanismo.....	30
1.3.2	Glaciaciones	33
1.3.3	Resultados topográficos y geomorfológico de la zona de estudio	36
1.3.4	Precipitación pluviométrica.....	46
1.3.5	Meteorización	48
1.3.6	Sismicidad	50
CAPÍTULO II.....		54
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	54
2.1	Deslizamientos de material granular grueso	54
2.1.1	Deslizamiento traslacional material granular grueso	55
2.1.2	Taludes en la zona de estudio.....	59
2.1.3	Inestabilidad de taludes.....	61
2.1.4	Tipos de parámetros que afectan la estabilidad de talud en el área de estudio	61
2.2	Estabilidad de taludes.....	62
2.2.1	Opciones para el factor de seguridad	63
2.3	Material granular grueso coluvial	64
2.3.1	Inestabilidad de los coluviones	65
2.4	Túneles falsos.....	68

2.5	Muro con contrafuertes	70
2.6	Tirantes postensados	71
2.7	Inyecciones de lechada de cemento en laderas	73
2.7.1	Inyecciones de lechada de consolidación e impermeabilización	74
2.7.2	Sistema de mezclado para lechada	75
2.8	Pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con anclajes postensados..	77
CAPÍTULO III.		82
3	PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES INESTABLES.....	82
3.1	Propuesta de dos falsos túneles atirantado.....	82
3.1.1	Falsos túneles para contención de laderas y protección de caídos.....	85
3.1.2	Geometría de la cubierta de los falsos túneles para protección de caídos	
	90	
3.1.3	Contrafuertes como sistema de refuerzo en los muros de contención de laderas	
	93	
3.1.4	Tirantes postensados como sistema de refuerzo en muro de contención de laderas	
	96	
3.1.5	Inyecciones de lechada de cemento en laderas inestables.....	98
3.1.6	Pantalla reticulada de hormigón prefabricado y postensado para estabilización de laderas.....	100
3.2	Ensayos de laboratorio	104
3.2.1	Materiales	104
3.2.2	Diseño de lechada de cemento	104
3.2.3	Roturas de probetas.....	109
3.2.4	Resultado de ensayos de laboratorio – Resistencia a la compresión simple	
	119	

3.3	Presupuesto de la propuesta	131
3.4	Resultados y discusión	132
3.4.1	Ventilación de los falsos túneles	132
3.4.2	El techo bóveda de los falsos túneles	132
3.4.3	Muro de contención con contrafuerte.....	133
3.4.4	Muro de contención atirantado.....	133
3.4.5	Inyecciones de lechada de consolidación en laderas inestables	134
3.4.6	Pantalla reticular prefabricada y postensada.....	134
3.4.7	Presupuesto.....	135
3.4.8	Sistema vial	135
	CONCLUSIONES.....	136
	REFERENCIAS.....	137

Lista de tablas

Figura 1. <i>Por derrumbes se cierra la vía Cuenca-Molleturo.....</i>	3
Figura 2. <i>Tramo bloqueado a la altura de la comunidad Miguir.....</i>	4
Figura 3. <i>Carretera Cuenca-Molleturo, Abscisa 84+160. Sitio de análisis, 2023.....</i>	5
Figura 4. <i>Ubicación de sito de propuesta de falso túnel, vía Cuenca-Molleturo.....</i>	6
Figura 5. <i>Corte transversal entre Placa de Nazca y Placa sudamericana – explicando el proceso de subducción que se crea durante el choque entre placas.</i>	12
Figura 6. <i>Impacto de la Placa de Nazca y Placa Sudamericana. La línea de roja indica el impacto que se produce a lo largo de la Costa Oeste de América del Sur.....</i>	13
Figura 7. <i>Las islas Galápagos se encuentran sobre un punto caliente de magma, cerca del límite entre las placas de Nazca y Cocos, basado en el mapa tectónico.....</i>	14
Figura 8. <i>Las formas de relieve son el resultado de la actividad del magma en el interior de la Tierra, y la salida de lava a través de la superficie terrestre.</i>	15
Figura 9. <i>Ubicación de las placas oceánicas y los límites de estas en el extremo noroeste de América del Sur, basado en captura de pantalla de NASA World Wind.....</i>	17
Figura 10. <i>Perfil longitudinal de la Plataforma. Galápagos hasta la cordillera de Carnegie.</i>	18
Figura 11. <i>Identificación de profundidades de la cordillera de Carnegie.</i>	19
Figura 12. <i>Golfo de Guayaquil.....</i>	20
Figura 13. <i>Zonas de tipos de fracturas.....</i>	21
Figura 14. <i>Mapa de Ecuador, indicando las cordilleras que se encuentra en Ecuador.</i>	22
Figura 15. <i>Sobre visión de la mega falla de Guayaquil.</i>	23
Figura 16. <i>Mapa de fallas de Puná-Pallatanga-Cosanga-Chingual.</i>	24
Figura 17. <i>Geología del sector de estudio.....</i>	25
Figura 18. <i>Fósiles de conchas petrificadas gigantes del páramo Andino con una antigüedad de 325 millones de años.....</i>	26
Figura 19. <i>Mapa de América del Sur que visualiza la cordillera de los Andes.</i>	27

Figura 20. <i>El bloque Norandino color naranja con movimiento hacia el noreste. (Modificado de Pennington).</i>	28
Figura 21. <i>Mapa regional del Ecuador, se puede observar la falla Pallatanga.</i>	29
Figura 22. <i>La zona de estudio se encuentra en la parte Norandino.</i>	30
Figura 23. <i>Presencia de lutitas roja, en el camino del punto de estudio.</i>	31
Figura 24. <i>Presencia de lutitas grises en el punto de estudio.</i>	32
Figura 25. <i>Volcanes cercanos a la zona de estudio y su radio de afectación al momento de erupcionar (material volcano sedimentario que está en la zona de estudio).</i>	32
Figura 26. <i>Punto de análisis con respecto al Parque Nacional Cajas (entre los dos puntos existe una distancia aproximada de 30 km).</i>	33
Figura 27. <i>Morrena que separa la laguna Angas y la laguna Dublay.</i>	34
Figura 28. <i>Lagunas de origen glaciar y humedales (depósitos Morrénicos).</i>	34
Figura 29. <i>Tipos de lagunas debido al desgaste glaciar.</i>	35
Figura 30. <i>Levantamiento topográfico realizado por MTOP.</i>	36
Figura 31. <i>Perfil topográfico realizado por MTOP.</i>	37
Figura 32. <i>Identificación de coluvión con vista panorámica del lugar de estudio.</i>	38
Figura 33. <i>Vista satelital de la zona de estudio.</i>	39
Figura 34. <i>Levantamiento de medidas de vías, muros existentes y levantamiento topográfico.</i>	40
Figura 35. <i>Plano de exploración geotécnico en vía Cuenca-Molleturo.</i>	41
Figura 36. <i>Caracterización del talud de la zona de estudio.</i>	44
Figura 37. <i>Presencia de neblina zona de estudio - Vía Cuenca-Molleturo.</i>	47
Figura 38. <i>Neblina existente en sitio de estudio - Vía Cuenca-Molleturo.</i>	47
Figura 39. <i>Meteorización.</i>	48
Figura 40. <i>Lajamiento generado por la expansión de la roca.</i>	49
Figura 41. <i>Acción de ciertas raíces, los ácidos orgánicos y el agua.</i>	50
Figura 42. <i>Zonas sísmicas y valores del factor de zona “Z”.</i>	52
Figura 43. <i>Subducción en el Ecuador.</i>	53

Figura 44. <i>Deslizamiento en la vía Cuenca-Molleturo.</i>	54
Figura 45. <i>Deslizamiento traslacional de macizo rocoso.</i>	55
Figura 46. <i>Tipos de deslizamiento de macizo rocoso.</i>	56
Figura 47. <i>Deslizamiento de translación.</i>	56
Figura 48. <i>Trayectoria de caída o derrumbes.</i>	57
Figura 49. <i>Caídos de bloques por gravedad en roca fracturada.</i>	58
Figura 50. <i>Deslizamiento en la vía Cuenca-Molleturo</i>	58
Figura 51. <i>Taludes en zona de estudio (vía Cuenca-Molleturo).</i>	59
Figura 52. <i>Taludes en zona de estudio (vía Cuenca-Molleturo).</i>	60
Figura 53. <i>Taludes en zona de estudio (vía Cuenca-Molleturo).</i>	60
Figura 54. <i>Drenaje de agua en el sitio de estudio (vía Cuenca-Molleturo).</i>	61
Figura 55. <i>Presencia de cantos rodados en el sitio de estudio.</i>	65
Figura 56. <i>Clasificación de coluviones por la estructura de soporte.</i>	66
Figura 57. <i>Los coluviones son bastante susceptibles a deslizarse – Vía Cuenca-Molleturo.</i>	67
Figura 58. <i>Túneles falsos en las secciones de la vía férreas, protegiendo de los derrumbes de roca en Pitquah, Columbia Británica, Canadá.</i>	68
Figura 59. <i>Falso túnel en la zona Montagnard, Francia.</i>	69
Figura 60. <i>Falso túnel en la ciudad del Cabo, Sudáfrica.</i>	69
Figura 61. <i>Esquema de muro con contrafuerte.</i>	70
Figura 62. <i>Esquema de partes de un muro con contrafuerte.</i>	71
Figura 63. <i>Partes de un tirante – Sección transversal.</i>	72
Figura 64. <i>Esquema de fuerzas internas actuando en el tirante.</i>	72
Figura 65. <i>Inyección de lechada.</i>	73
Figura 66. <i>Inyecciones de consolidación e impermeabilización.</i>	74
Figura 67. <i>Mezcladora de lechada.</i>	75
Figura 68. <i>Mezcladora de lechada en otra versión.</i>	76
Figura 69. <i>Paletas de la mezcladora de lechada.</i>	76
Figura 70. <i>Proceso de anclaje postensado.</i>	78

Figura 71. <i>Perforación de terreno.</i>	78
Figura 72. <i>Introducción de anclaje.</i>	79
Figura 73. <i>Introducción de anclaje.</i>	79
Figura 74. <i>Perforaciones llevadas a cabo en las zonas de anclaje.</i>	80
Figura 75. <i>Ubicación e instalación de bomba de inyección y mezcladora.</i>	80
Figura 76. <i>Colocación de crucetas prefabricadas con grúa y postensado de sistema de anclaje.</i>	81
Figura 77. <i>Esquema de pantalla reticulada de crucetas de hormigón armado prefabricado y postensado (zona cerro San Eduardo-Túnel)</i>	81
Figura 78. <i>Muros de contención con dados de protección para los anclajes. Obra realizada por el Estado.</i>	82
Figura 79. <i>Muro de contención. Obsérvese los dados de protección a los anclajes y cunetas. Obra realiza por el Estado.</i>	83
Figura 80. <i>Sistema de drenaje de los muros de contención. Obra realizada por el Estado.</i> 83	
Figura 81. <i>Taludes inestables en el sitio de estudio. Obras realizas por el Estado.</i>	84
Figura 82. <i>Límite de velocidad máxima (30 km/h) en la zona inestable de estudio.</i>	84
Figura 83. <i>Vista general de los falsos túneles propuesto por los autores para la zona de estudio en la vía Cuenca-Molleturo.</i>	85
Figura 84. <i>Vista de la longitud de los falsos túneles en el sitio de estudio, en la vía Cuenca-Molleturo.</i>	85
Figura 85. <i>Vista del sistema estructural a porticado de los falso túneles. Se observa el relleno importado junto al muro de contención. Falso túnel inferior.</i>	86
Figura 86. <i>Vista del sistema estructural a porticado de los falso túneles. Se observa el relleno importado junto al muro de contención. Falso túnel superior.</i>	87
Figura 87. <i>Viste del interior del falso túnel. Obsérvese como se aprovecha el muro existente, el sistema de drenaje y la propia vía, en la zona de estudio (vía Cuenca-Molleturo).</i>	87

Figura 88. <i>El falso túnel propuesto por los autores se apoyará en una zapata corrida, ubicada del lado de las columnas. Se asientan sobre el muro existente construido por el MTOP. Falso túnel inferior.</i>	88
Figura 89. <i>El falso túnel propuesto por los autores se apoyará en una zapata corrida, ubicada del lado de las columnas. Se asientan sobre el muro existente construido por el MTOP. Falso túnel superior.</i>	88
Figura 90. <i>Vista de la salida del falso túnel. Se observa las zapatas corridas de las columnas y del muro con contrafuerte.</i>	89
Figura 91. <i>Vista lateral del falso túnel, donde se observa las zapatas corridas de las columnas y del muro con contrafuerte. Se observa además la propuesta de tirantes postensado junto a los contrafuertes.</i>	89
Figura 92. <i>Vista general de las cubiertas de los falsos túneles, ubicados en la zona de estudio de la vía Cuenca-Molleturo.</i>	90
Figura 93. <i>Geometría de cubierta con grado de inclinación suficiente, para el control de caídos de rocas. Este provocará la continuidad del movimiento del material que cae por las laderas hacia la vía (parte superior de la vía Cuenca-Molleturo).</i>	90
Figura 94. <i>Vista superior de la geometría de la cubierta sobre el techo bóveda y el relleno importado junto al muro de contención. Falso túnel superior.</i>	91
Figura 95. <i>Vista superior de la geometría de la cubierta sobre el techo bóveda y el relleno importado junto al muro de contención. Falso túnel inferior.</i>	91
Figura 96. <i>Vista superior de la geometría de la cubierta sobre el techo bóveda y el relleno importado junto al muro de contención. Falso túnel inferior.</i>	92
Figura 97. <i>La cubierta tiene un muro que brinda protección en la entrada y salida del falso túnel.</i>	92
Figura 98. <i>Sistema de muro con contrafuerte. Este elemento estará apoyado con una zapata corrida sobre en el muro construido por el MTOP.</i>	93
Figura 99. <i>Muro con contrafuerte de refuerzo, junto al falso túnel.</i>	93

Figura 100. <i>Detalle de los contrafuertes que refuerzan el muro que se apoya en muro y la zapata corrida.</i>	94
Figura 101. <i>Vista lateral del sistema de contrafuerte a lo largo del falso túnel.</i>	94
Figura 102. <i>Relleno importado junto a los contrafuertes y sobre la zapata corrida, para darle continuidad a la trayectoria del material rocoso que cae desde las laderas. Así como también para incrementar la seguridad al vuelco de la estructura y deslizamientos de ladera, en la zona de estudio. Falso túnel superior.</i>	95
Figura 103. <i>Relleno importado junto a los contrafuertes y sobre la zapata corrida, para darle continuidad a la trayectoria del material rocoso que cae desde las laderas. Así como también para incrementar la seguridad al vuelco de la estructura y deslizamientos de ladera, en la zona de estudio. Falso túnel inferior.</i>	95
Figura 104. <i>Cabezas de los anclajes para los tirantes postensados desde el interior del falso túnel.</i>	96
Figura 105. <i>Cabezas de los anclajes para los tirantes postensados desde el interior del falso túnel.</i>	96
Figura 106. <i>Vista en corte de la dirección y ubicación de los tirantes postensados para el falso túnel.</i>	97
Figura 107. <i>Dirección y ubicación de los tirantes postensados en la parte posterior falso túnel.</i>	97
Figura 108. <i>Ubicación de los tirantes postensados en la parte posterior del falso túnel.</i> ...	98
Figura 109. <i>Detalle de las inyecciones de lechada de cemento para los bulbos de anclaje de los tirantes.</i>	98
Figura 110. <i>Detalle de las inyecciones de lechada de cemento en la ladera.</i>	99
Figura 111. <i>Vista general y ubicación de las pantallas reticuladas de hormigón prefabricado y postensado para estabilización de laderas.</i>	100
Figura 112. <i>Vista de la pantalla reticulada prefabricada y postensada, de la parte superior del falso túnel de la vía Cuenca – Molleturo.</i>	101

Figura 113. <i>Vista de la pantalla reticulada de la parte inferior del falso túnel de la vía Cuenca – Molleturo.....</i>	101
Figura 114. <i>Vista completa de la ubicación pantalla reticulada, tanto en la parte superior e inferior, del falso túnel de la vía Cuenca – Molleturo.....</i>	102
Figura 115. <i>Detalle de la formación de la pantalla reticulada.....</i>	102
Figura 116. <i>Vista detallada de una de las crucetas de la pantalla reticulada y, en la parte de posterior, se encuentra el falso túnel atirantado.....</i>	103
Figura 117. <i>Cruceta de la pantalla reticulada que brindará mejor estabilidad a la ladera.....</i>	103
Figura 118. <i>Elaboración de lechada de cemento en el laboratorio.....</i>	107
Figura 119. <i>Inicio de llenado de probetas con lechada de cemento.....</i>	107
Figura 120. <i>Finalización de llenado de lechada de cemento.....</i>	108
Figura 121. <i>Inicio de desencofrado de probeta de lechada de cemento.....</i>	108
Figura 122. <i>Trabajos realizados en el laboratorio.....</i>	109
Figura 123. <i>Máquina de ensayos a compresión y especificaciones.....</i>	109
Figura 124. <i>Grupo de probetas de inyección de laderas - 7 días.....</i>	110
Figura 125. <i>Grupo de probetas de inyección para tirantes - 7 días.....</i>	111
Figura 126. <i>Grupo de probetas de lechada de inyección de laderas - 14 días.....</i>	113
Figura 127. <i>Grupo de probetas de lechada inyección para tirantes - 14 días.....</i>	114
Figura 128. <i>Grupo de probetas de lechada de inyección de laderas - 28 días.....</i>	115
Figura 129. <i>Grupo de probetas de lechada de inyección para tirantes - 28 días.....</i>	116
Figura 130. <i>Rotura de probeta de lechada de cemento.....</i>	116
Figura 131. <i>Roturas de todas las probetas.....</i>	117
Figura 132. <i>Trabajos realizados en el laboratorio con el apoyo del Sr. Carlos Alberto Vargas.....</i>	118
Figura 133. <i>Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección de ladera - muestra A.....</i>	119

Figura 134. <i>Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección de laderas - muestra B.</i>	120
Figura 135. <i>Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección de laderas - muestra C.</i>	121
Figura 136. <i>Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección de laderas - muestra D.</i>	122
Figura 137. <i>Curvas de resistencia a compresión simple de inyección de laderas – muestras A, B, C y D.</i>	123
Figura 138. <i>Comparativo de resistencia a compresión simple de inyección de laderas a los 7 días - muestras A, B, C y D.</i>	123
Figura 139. <i>Comparativo de resistencia a compresión simple de inyección de laderas a los 14 días - muestras A, B, C y D.</i>	124
Figura 140. <i>Comparativo de resistencia a compresión simple de inyección de laderas a los 28 días - muestras A, B, C y D.</i>	124
Figura 141. <i>Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección para tirantes - muestra A.</i>	125
Figura 142. <i>Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección para tirantes - muestra B.</i>	126
Figura 143. <i>Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección para tirantes - muestra C.</i>	127
Figura 144. <i>Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección para tirantes - muestra D.</i>	128
Figura 145. <i>Curvas de resistencia a compresión simple de inyección para tirantes - muestra A, B, C y D.</i>	129
Figura 146. <i>Comparativo de resistencia a compresión simple de inyección para tirantes a los 7 días - muestra A, B, C y D.</i>	129
Figura 147. <i>Comparativo de resistencia a compresión simple de inyección para tirantes a los 14 días - muestra A, B, C y D.</i>	130

Figura 148. *Comparativo de resistencia a compresión simple de inyección para tirantes a los 28 días - muestra A, B, C y D.....* 130

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Ensayos de laboratorio en la matriz del coluvión realizados por MTOP.</i>	42
Tabla 2. <i>Resultados de ensayos triaxiales tipo CD de la zona de estudio.</i>	43
Tabla 3. <i>Criterios geotécnicos.</i>	45
Tabla 4. <i>Valores climáticos – Datos del tiempo de Cuenca.</i>	46
Tabla 5. <i>Valores del factor de zona “Z”, en función de la zona sísmica.</i>	52
Tabla 6. <i>Casos para elegir un factor de seguridad para el diseño de talud</i>	64
Tabla 7. <i>Diseño de lechada de cemento de inyección de laderas para 29 probetas ($f'c= 100 \text{ kg/cm}^2$).</i>	105
Tabla 8. <i>Diseño de lechada de cemento de inyección para tirantes para 29 probetas ($f'c= 360 \text{ kg/cm}^2$).</i>	105
Tabla 9. <i>Diseño de lechada de cemento de inyección de laderas para 1 metro cúbico en kg ($f'c= 100 \text{ kg/cm}^2$).</i>	106
Tabla 10. <i>Diseño de lechada de cemento de inyección para tirantes para 1 metro cúbico en kg ($f'c= 360 \text{ kg/cm}^2$).</i>	106
Tabla 11. <i>Pesaje y medición de las muestras "A, B, C, D" - Inyección de laderas.</i>	110
Tabla 12. <i>Pesaje y medición de las muestras "A, B, C, D" - Inyección para tirantes.</i>	111
Tabla 13. <i>Pesaje y medición de las muestras "A, B, C, D" - Inyección de laderas.</i>	112
Tabla 14. <i>Pesaje y medición de las muestras "A, B, C, D" - Inyección para tirantes.</i>	113
Tabla 15. <i>Pesaje y medición de las muestras "A, B, C, D" - Inyección de laderas.</i>	114
Tabla 16. <i>Pesaje y medición de las muestras "A, B, C, D" - Inyección para tirantes.</i>	115

Tabla 17. <i>Valores de resistencia a la compresión simple $f'c$ de probetas de inyección de laderas - muestra A.</i>	119
Tabla 18. <i>Valores de resistencia a compresión simple $f'c$ probetas de inyección de laderas - muestra B.</i>	120
Tabla 19. <i>Valores de resistencia a compresión simple $f'c$ probetas de inyección de Laderas – muestra C.</i>	121
Tabla 20. <i>Valores de resistencia a compresión simple $f'c$ probetas de inyección de laderes – muestra D.</i>	122
Tabla 21. <i>Valores de resistencia a la compresión simple $f'c$ de probetas de inyección para tirantes - muestra A.</i>	125
Tabla 22. <i>Valores de resistencia a compresión simple $f'c$ probetas de inyección para tirantes – muestra B.</i>	126
Tabla 23. <i>Valores de resistencia a la compresión simple $f'c$ de probetas de inyección para Tirantes - muestra C.</i>	127
Tabla 24. <i>Valores de resistencia a la compresión simple $f'c$ de probetas de inyección para tirantes - muestra D.</i>	128
Tabla 25. <i>Tabla de presupuesto</i>	131

Resumen

El presente Trabajo de Titulación analiza y estudia el uso de un falso túnel atirantado como una solución al problema de deslizamientos y caída de macizos rocosos que genera interrupción en las vías Cuenca – Molleturo a diario y en ocasiones provocaría la pérdida de vidas humanas. Dicho trabajo respetará las obras ya existentes en el sitio de estudio que fueron realizadas por el Ministerio de Transporte de Obras Públicas (MTOP).

Con el propósito de lograrlo, se lleva a cabo una exhaustiva revisión de la literatura que abarca los principios teóricos y enfoques metodológicos de las propuestas de un falso túnel atirantado, para afrontar taludes inestables, plantearse esta solución adecuada a las condiciones específicas de la zona de estudio en la Carretera de Cuenca-Molleturo.

El planteamiento esquemático y la exploración experimental de la aplicación de un falso túnel atirantado que se logra por medio de ensayos de laboratorio, representaciones gráficas y fotografías visuales del área de estudio, por lo que se recomienda considerar los factores de meteorización, los movimientos sísmicos y las condiciones climáticas. Dicha propuesta del falso túnel atirantado es viable y sustentable debido a que considera las obras ya existentes como un complemento.

Palabras clave: efectos de la sismicidad, lluvias, meteorización, inestabilidad de taludes, deslizamientos de macizos rocosos, coluviones, glaciaciones, inyecciones de lechada de cemento, pantalla reticulada y prefabricada de hormigón, tirantes postensados, muro con contrafuerte, falso túnel, vía Cuenca-Molleturo.

Abstract

The present degree project analyzes and studies the use of a false anchored tunnel as a solution to the problem of landslides and rockfall that causes disruption on the Cuenca - Molleturo roads on a daily basis and occasionally could lead to loss of human lives. This work will respect the existing works at the study site carried out by the Ministry of Transportation and Public Works (MTOPE).

To achieve this, an exhaustive literature review is conducted, encompassing the theoretical principles and methodological approaches of false anchored tunnel proposals for the treatment of unstable slopes. The purpose is the proposal of an adaptation of said correct solution for the situation of the area under study on the Cuenca-Molleturo highway. The schematic approach and experimental exploration of the false anchored tunnel application is achieved through laboratory testing, graphical representations, and visual photographs of the study area. Therefore, it is recommended to consider factors such as weathering, seismic movements, and climatic conditions.

The proposal for the false anchored tunnel is both viable and sustainable, as it considers the existing works as a complement.

Keywords: effects of seismicity, rainfall, weathering, slope instability, rock mass slides, colluvium, glaciations, cement grout injections, meshed and refabricated concrete screen, post-tensioned anchors, buttressed wall, false tunnel, Cuenca-Molleturo Road.

Introducción

En las carreteras de la región de Sierra Nevada, los deslizamientos de bloques de rocas, aluviones y pendientes inestables son frecuentes debido a los efectos de los terremotos, las lluvias y la meteorización. Además de la compleja geología local y otros factores climáticos exclusivos de los Andes. En los últimos años, la región sur del país ha experimentado varios cierres de carreteras, debido a la inestabilidad de las laderas, lo que ha provocado deslizamientos de tierra, en especial, durante la temporada de lluvias.

El tramo de la curva de retorno entre las abscisas 82+500 y 84+500 de la autovía Cuenca-Molleturo ha afectado frecuentemente a este tramo, desde que se construyó la vía a mediados de los años 60 debido al fenómeno de los movimientos de masas. Se han propuesto e implementado varias soluciones, como la construcción de sistemas de pantallas ancladas por muros de hormigón armado, zanjas de drenaje profundas con tubos de PVC perforados, canales abiertos revestidos de hormigón simple con geotextiles, mediante la construcción de terrazas cubiertas con hormigón lanzado.

Sin embargo, esta parte del deslizamiento de tierra continúa, sin que se propongan soluciones claras o sostenibles a largo plazo. Con lo mencionado, desde un punto de vista técnico geotécnico ingenieril, por medio de este Trabajo de Titulación se está proponiendo realizar un análisis y estudio para la propuesta de un falso túnel atirantado. Como elección de refuerzo y seguridad para los conductores que viajan por la carretera Cuenca-Molleturo en las zonas de mayor impacto de los deslizamientos de lechos rocosos.

Antecedentes

Deslizamientos de tierra en el sitio

En varios anuncios de la prensa nacional se han emitido noticias sobre el cierre de la vía Cuenca-Molleturo debido a los deslizamientos de tierra, rocas y material pétreo de gran tamaño; provocando el cierre temporal de las vías, causando pérdidas económicas. A continuación, se presentarán algunos casos:

Ahora bien, basado en el diario El Comercio (2023), el deslizamiento de material rocoso producido el 18 de febrero del 2023, en tramos de la vía Cuenca-Molleturo, ubicado la provincia de Azuay, masas de rocas de gran magnitud cubrieron la calzada, por lo que se decidió a cerrar la avenida. El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) movilizaron maquinaria para la limpieza y dicho trabajo de rehabilitación duraría casi siete horas.

Figura 1. *Por derrumbes se cierra la vía Cuenca-Molleturo.*



Nota. Tomado de *Por derrumbes se cierra la vía Cuenca-Molleturo*, por B. Pérez, 2023, <https://elmercurio.com.ec/2023/03/25/derrumbes-via-cuenca-molleturo-cerrada/>

Apoyado de la página del Gobierno del Ecuador (2022), se comentó que en el mes de febrero se produjo un deslizamiento de grandes proporciones que no permitía el tránsito normal en vía. Produciendo así una demora en los conductores que tomaban la ruta del kilómetro 88, las autoridades del MTOP dispusieron maquinaria para el despeje de la vía. Los estudios indican que aproximado de 10 000 metros cúbicos de lodo y tierra han caído del talud sobre este punto, las tareas de limpieza durarán de tres a cuatro días.

Figura 2. Tramo bloqueado a la altura de la comunidad Miguir.



Nota. Tomado de *Home*, por Diario El Universo, 2020, <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/12/31/nota/9132058/deslizamiento-tierra-bloquea-cuenca-molleturo-empalme/>

Sumado a lo anterior, se denota la existencia de una problemática constante en toda la vía Cuenca-Molleturo, por los innumerables derrumbes y deslizamientos de tierra y rocas de considerable magnitud. Generadas por fallas geológicas, acompañado de altas precipitaciones y, más ahora, en la que se anuncia la presencia de un fenómeno natural “Fenómeno de El Niño o de La Niña”, acompañado de lluvias intensas (ONU, 2023).

Descripción del problema

Este trabajo de investigación está enfocado a la carretera Cuenca-Molleturo, entre las abscisas 82+500 a la 84+500, en el sector conocido como la curva de Retorno, debido a los deslizamientos de tierra que se generan frecuentemente en este tramo de la vía. Desde la construcción de esta carretera, que fue en la década de 1960, se ha producido deslizamientos de laderas y, según los últimos registros, de desprendimiento de materiales inestables. Esto permite inferir la inestabilidad del macizo.

La zona vial de este tramo se encuentra ubicado en un sector de riesgo, lo que genera un problema al momento de viajar que debe ser prevenido. Por lo tanto, se debe realizar un estudio de factibilidad para identificar las áreas de mayor riesgo en la carretera Cuenca-Molleturo-Puerto Inca; tomar medidas para resolver las situaciones y adoptar soluciones alternativas para la protección del macizo. Y, así, prevenir el deslizamiento en la vía Cuenca-Molleturo, de tal forma que se pueda preservar la seguridad a los conductores que viajan.

Figura 3. Carretera Cuenca-Molleturo, Abscisa 84+160. Sitio de análisis, 2023.



Nota. Elaboración propia.

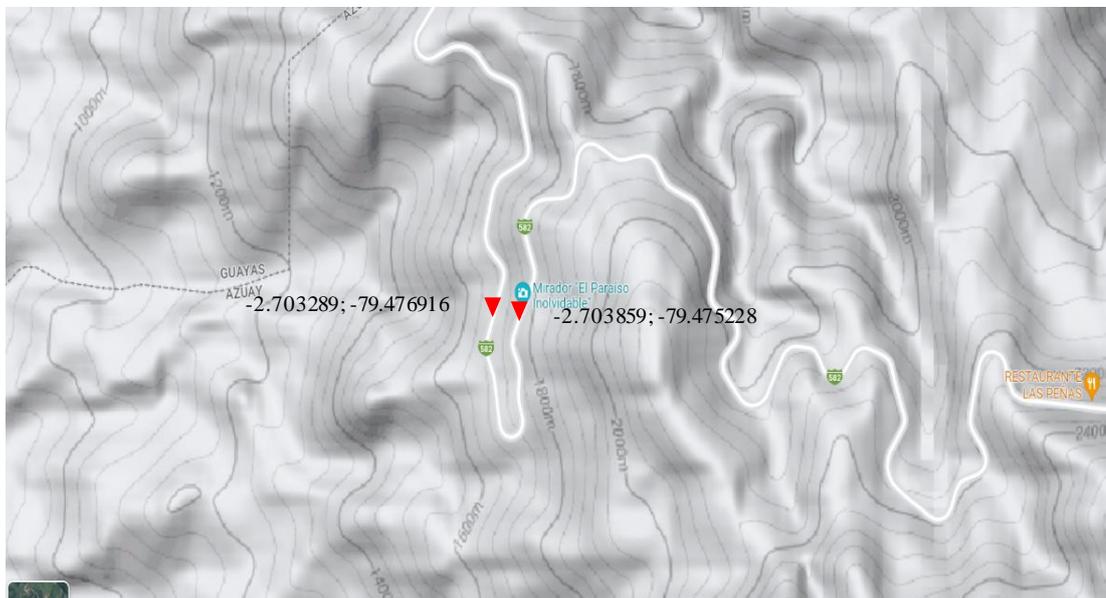
Situación problemática

El actual trabajo de investigación se planteó en la vía Cuenca-Molleturo-Puerto-Inca, perteneciente a las provincias de Guayas y Azuay, ubicado en sentido oeste-este. Buscando una propuesta que daría la solución definitiva para los constantes y peligrosos deslizamientos de tierra y material pétreo, así como, también, en vías que sufran casos similares de deslizamientos en el Ecuador.

Zona de estudio

La presente investigación se centró en la zona de la carretera Cuenca-Molleturo de la cual pertenece a la provincia de la Azuay. Además, tuvo como objetivo controlar los deslizamientos para proteger el estado correcto de la vía, a los conductores que transita a diario dicha carretera.

Figura 4. Ubicación de sitio de propuesta de falso túnel, vía Cuenca-Molleturo.



Nota. Tomado de Google Maps.

Justificación del estudio

El presente trabajo se realizó con el fin de que la ciudadanía, al resolver este problema, pueda estar segura al transitar por dicho tramo de la vía Cuenca-Molleturo. El inconveniente es causado gracias a los acontecimientos de los deslizamientos de taludes inestables que se ha producido en el sitio, que son ocasionados por algunos fenómenos naturales, como son la lluvia, y meteorización. Estos fenómenos naturales conducen a la inestabilidad de taludes y deslizamientos. “Existe la tendencia a no permitir los desarrollos sobre coluviones” (Suárez, 2021). Sin embargo, en muchos casos es necesario colocar allí estructuras e implementar soluciones que aseguren su estabilidad.

De manera que, se realizó esta investigación para presentar una propuesta de estabilización técnica, a fin de evitar nuevos derrumbes en la vía Cuenca-Molleturo y, así, generar una posibilidad laboral para el neo profesional. Asimismo, a través de este Trabajo de Titulación, la Facultad de Ingeniería puede continuar colocando en el mercado profesionales con cultural ambiental, y cuyo ejercicio profesional siga siendo coherente con la Misión de la UCSG y con el Plan Nacional Toda una Vida de la Constitución de la República.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar una propuesta que incluya un falso túnel, para controlar los deslizamientos en la carretera Cuenca-Molleturo, entre las abscisas 82+500 a la 84+500, adaptando el formato de su sección transversal al movimiento del talud, así como el sistema de anclajes.

Objetivos específicos

- Analizar de forma global las investigaciones que se han realizado sobre el uso de un falso túnel como solución para el control de deslizamientos de taludes, con sus referentes autores. Asimismo, establecer la perspectiva teórica a partir de la que se abordará este trabajo investigativo, para la inestabilidad de taludes entre las abscisas 82+500 a la 84+500, de la vía Cuenca-Molleturo.
- Definir los parámetros adecuados para el diseño de lechadas para inyección en taludes inestables y apuntalamientos postensados para falsos túneles, mediante ensayos de laboratorio, con base en el comportamiento de las lechadas en estado fresco y las normas recomendadas al respecto. Esto con el fin de adaptar el método de dosificación experimental mediante lechadas y el proceso de ejecución de inyección de estabilización de taludes con soporte de anclaje falso túnel.
- Se debe establecer en un marco esquemático una propuesta del sistema de estabilización de taludes, utilizando un falso túnel más contrafuertes, con sección transversal adaptada al movimiento de masas en el techo-bóveda, sistema de anclajes con tirantes profundos y estabilización de laderas con lechada de cemento.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Marco normativo

1.1.1 Sensibilización ambiental

Basado en los artículos del Reglamento al Código Orgánico de Ambiente del **Instituto Nacional de Patrimonio Cultural [INPC] (2019)** de la Constitución Política de la República del Ecuador, se planteó lo siguiente:

Art. 20.- La educación ambiental se incorporará como un eje transversal de las estrategias, planes, programas y proyectos de los diferentes niveles y modalidades de educación formal y no formal.

Art. 28.- La investigación ambiental, como instrumento del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental, cumplirá con los siguientes objetivos:

- a. Descubrir y obtener nuevos conocimientos y datos a nivel ambiental;
- b. Poseer de datos científicos y técnicos sobre el medioambiente para formular políticas y estrategias ambientales nacionales; y,
- c. Disponer con una base de información científica y tecnológica para apoyar las decisiones de gestión ambiental, encaminadas a prevenir y resolver problemas ambientales, promover el desarrollo sostenible y asegurar la protección de la naturaleza y los derechos humanos.

1.1.2 Regulación ambiental con respecto a eventos naturales

Basado en los artículos del Reglamento al Código Orgánico de Ambiente del **Instituto Nacional de Patrimonio Cultural [INPC] (2017)** de la Constitución Política de la República del Ecuador, se señaló lo siguiente:

Art. 389.- El Estado brindará protección a las personas, los grupos y la naturaleza al enfrentar las consecuencias negativas de los desastres naturales o antrópicos, previniendo los riesgos, mitigando desastres, recuperando y mejorando las situaciones ambientales, económicas y sociales; esto con el fin de mermar los puntos vulnerables.

Art. 397.- En caso de daños ambientales, el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Establecer un sistema nacional de prevención, gestión de riesgos y desastres naturales, basado en los principios de inmediatez, eficiencia, precaución, responsabilidad y solidaridad.

Basado en los artículos mencionados, se crean ideas innovadoras, seguras y posibles de generar en un ambiente, que facilite ayudar a la ciudadanía y, así, prevenir todo tipo de riesgos generados por la naturaleza que son impredecibles.

1.1.3 Regulación ambiental con respecto a impactos ambientales

Como indicó el artículo del Reglamento al Código Orgánico de Ambiente **Instituto Nacional de Patrimonio Cultural [INPC] (2019)**, de la Constitución Política de la República del Ecuador, se planteó lo señalado a continuación:

Art. 5.- Se establecen medidas técnicas para el desarrollo territorial. – Se trata de estrategias técnicas ambientales para el ordenamiento territorial y son los siguientes:

- a. Identificar el estado actual de los elementos del patrimonio natural en términos de cobertura vegetal, vida silvestre, cuencas hidrográficas, ecosistemas, con especial atención a los ecosistemas frágiles o mecanismos de conservación y lugares de uso sostenible en áreas urbanas y rurales.
- b. Identificar áreas clave para implementar acciones y medidas para la conservación, protección, restauración, manejo y uso sostenible de los recursos naturales, gestión integral de riesgos, prevención y mitigación de impactos ambientales en suelos rurales y urbanos.

1.1.4 Ley Orgánica de Educación Superior “LOES”

La Ley Orgánica De Educación Superior (LOES) del 2018 menciona en el Artículo 13. – Las funciones del Sistema de Educación Superior. -Son funciones del Sistema de Educación Superior. Además, en el literal (m), indicó que se debe “Promover el respeto de los derechos de la naturaleza, la preservación de un ambiente sano y una educación y cultura ecológica”. Esto significa que la educación superior debe fomentar el respeto hacia la naturaleza, para prevenir los desastres y problemas socioambientales.

1.1.5 Estatuto de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

En 2019, el estatuto de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG) indicó, en su artículo 3, las obligaciones básicas con los miembros de la institución y los efectos en la sociedad. En el literal C se señala que la gestión del conocimiento y el saber de forma crítica, prospectiva y ética para resolver las problemáticas sociales, el desarrollo de las personas y la institucionalidad democrática (Universidad Católica

Santiago de Guayaquil, 2019). Lo cual significa que se debe aplicar en el aprendizaje del estudiante para aportar a posibles soluciones a problemas de la sociedad.

1.1.6 El perfil del egresado de Ingeniería Civil

El perfil del egresado de Ingeniería civil, desde el A-2017, en la Universidad Católica De Santiago de Guayaquil [UCSG] (2023), mencionó lo siguiente:

Desarrollar investigación y estudios experimentales con la aplicación de los fundamentos teóricos de las ciencias básicas de la ingeniería y el uso de la tecnología; considera, en la realización de investigaciones y trabajos experimentales, las normativas ambientales nacionales aplicables con el fin de mantener un ambiente sustentable. Y, posee una actitud de servicio a la comunidad a través del desarrollo de obras de infraestructura civil que permitan soluciones económicas de vivienda, vías de acceso, etc. (p. 1)

1.2 Marco geológico regional - Sismicidad

1.2.1 Subducción

El proceso de subducción está estrechamente relacionado con la formación de terremotos, vulcanismo y es uno de los principales mecanismos de construcción de montañas. Por consiguiente, dan lugar a la formación de cadenas montañosas de diferentes proporciones (Folguera y Spagnuolo, 2009).

Figura 5. *Corte transversal entre Placa de Nazca y Placa sudamericana – explicando el proceso de subducción que se crea durante el choque entre placas.*



Nota. Tomado de *Tema de Blog: Borde destructivo de la cordillera de los Andes*, por Iglesias, 2020, <http://kuriosidadescientifiks.blogspot.com/2020/07/bordes-destructivos-i-los-andes.html>.

En una zona de subducción, el lecho marino se hunde y cae dentro de la tierra. La presión entre las dos placas puede crear grandes cadenas montañosas, por ejemplo, en la zona de subducción paralela a la cordillera de los Andes (Folguera y Spagnuolo, 2009).

1.2.2 Placa de Nazca y Sudamericana

La placa de Nazca se mueve de oeste a este con una velocidad relativa que oscila entre 50 mm/año y 78 mm/año. Manteniendo sus características mecánicas intactas hasta que se sumerge en el manto debajo del continente Sudamericano (Salcedo y Pérez, 2016).

Figura 6. Impacto de la Placa de Nazca y Placa Sudamericana. La línea de roja indica el impacto que se produce a lo largo de la Costa Oeste de América del Sur.



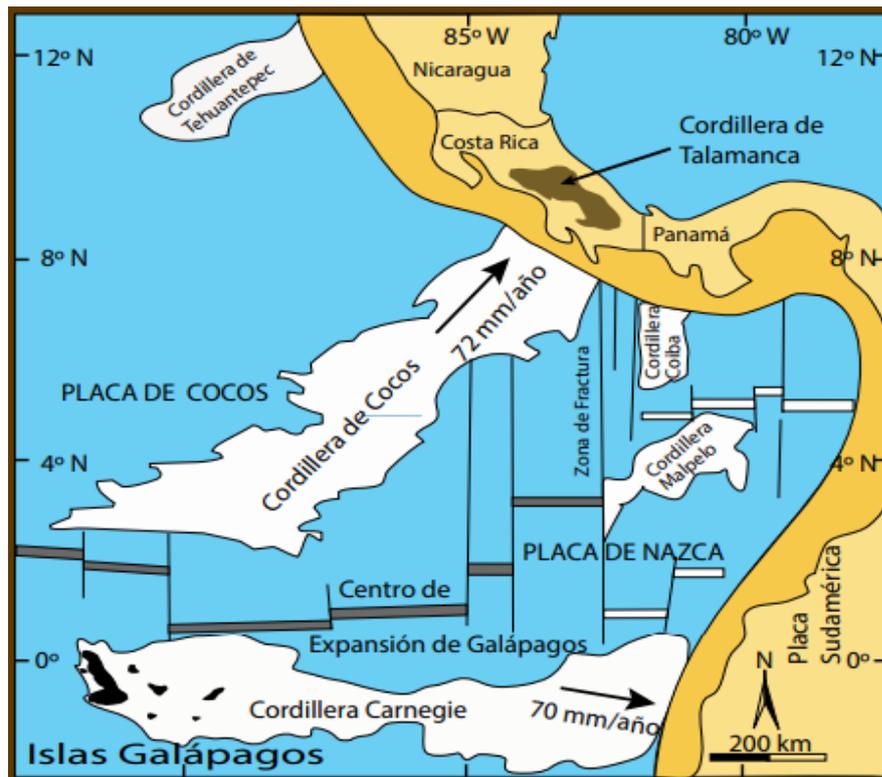
Nota. Tomado de *Tema de Blog: Borde destructivo de la cordillera de los Andes*, por Iglesias, 2020, <http://kurioidadescientifiks.blogspot.com/2020/07/bordes-destructivos-i-los-andes.html>.

Ahora bien, la frontera activa entre las placas de Nazca y Sudamérica está marcada por la fosa Colombo-ecuatoriana. La cual se extiende a lo largo del lecho marino de manera, más o menos, paralela a la costa, y representa el límite superficial de la zona de subducción (Salcedo y Pérez, 2016).

1.2.3 Punto caliente de las Galápagos

La placa de Cocos se desplaza hacia el noreste desde el Centro de Expansión de las Galápagos y se sumerge bajo la placa Caribe, desencadenando actividad volcánica en América Central (Clausen, 2016).

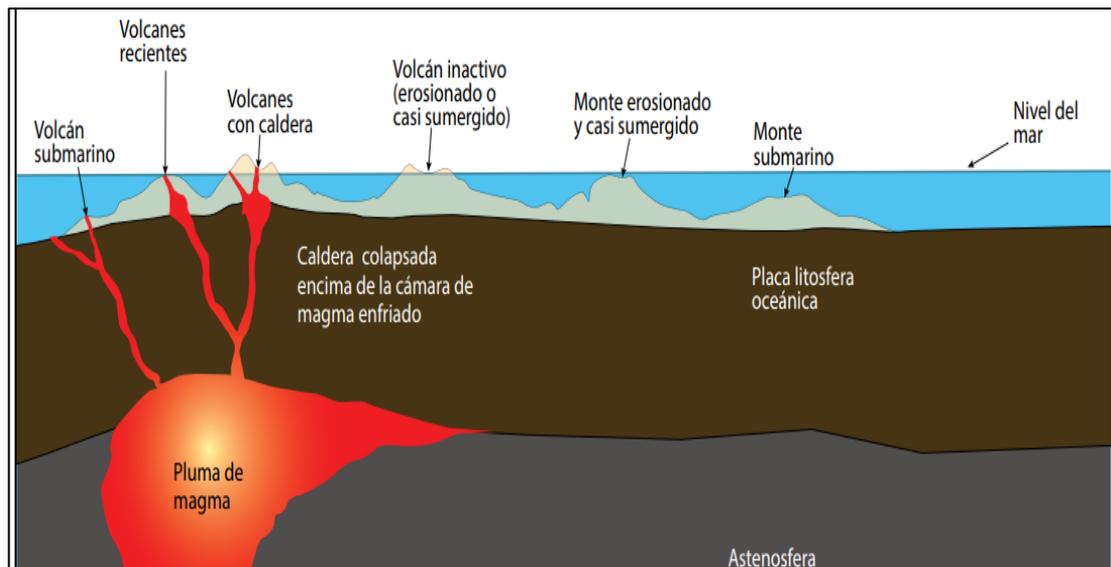
Figura 7. *Las islas Galápagos se encuentran sobre un punto caliente de magma, cerca del límite entre las placas de Nazca y Cocos, basado en el mapa tectónico.*



Nota. Tomado de La Geología de las Islas Galápagos, por B. Clausen, 2016, *Geoscience Research Institute*, 89.

Por consiguiente, la placa de Nazca se mueve en dirección este-sudeste desde el Centro de Expansión de las Galápagos y se sumerge bajo la placa Sudamericana, generando actividad volcánica en los Andes. Durante el desplazamiento de estas placas, el magma asciende a través del Centro de Expansión (Clausen, 2016).

Figura 8. Las formas de relieve son el resultado de la actividad del magma en el interior de la Tierra, y la salida de lava a través de la superficie terrestre.



Nota. Tomado de *La Geología de las Islas Galápagos*, por B. Clausen, 2016, *Geoscience Research Institute*, 89.

Punto caliente o pluma de magma tiende a ser un tanto estacionario en el manto terrestre, por lo que puede originar nuevos volcanes dentro de una placa (Clausen, 2016).

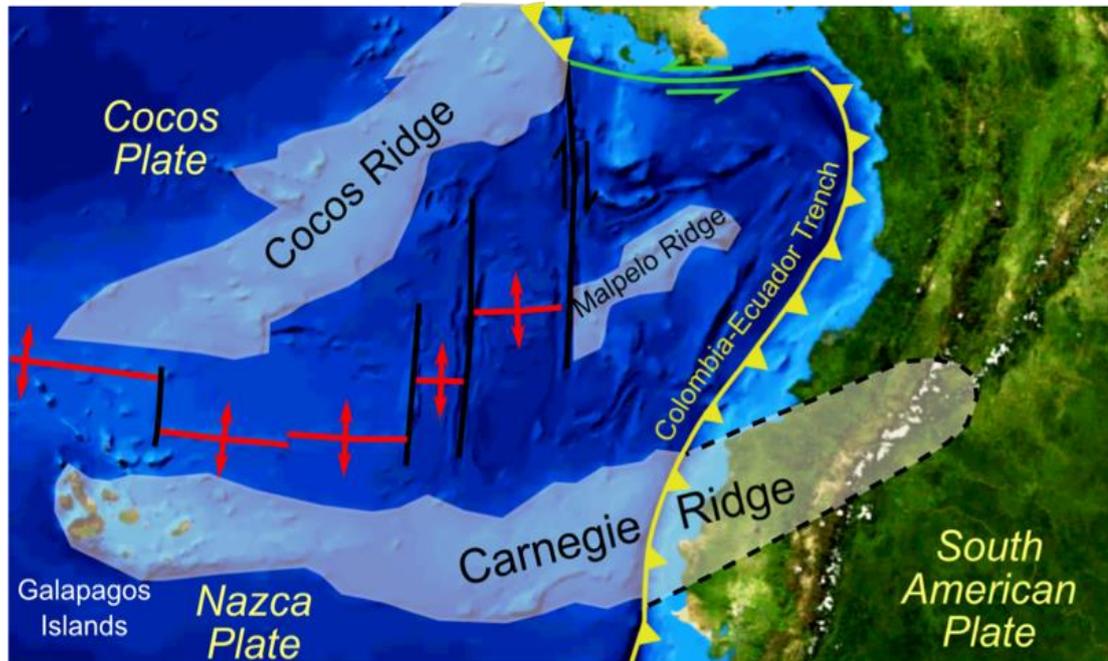
En ese orden de ideas, las islas Galápagos se formaron por la erupción de lava en un punto caliente bajo la placa de Nazca, generando los volcanes. A medida que la placa oceánica se desplaza sobre el punto caliente, el magma atraviesa la corteza y emerge en forma de lava, contribuyendo a la formación de estos volcanes (Clausen, 2016). En períodos pasados se identificó la presencia de un punto caliente bajo la placa de Nazca, lo cual condujo a la formación de la cordillera submarina de Carnegie y, quizá, también de la cordillera submarina de Malpelo, a medida que la placa se desplazaba sobre dicho punto (Clausen, 2016).

1.2.4 Cordillera submarina de Carnegie

En primer lugar, Peter Lonsdale, como se citó en Martillo et al. (2020), permitió desarrollar la idea de que la cordillera de Carnegie se sumerge bajo el suelo

oceánico. Lo cual generó cambios significativos en la geología de Ecuador hace 5-2 millones de años.

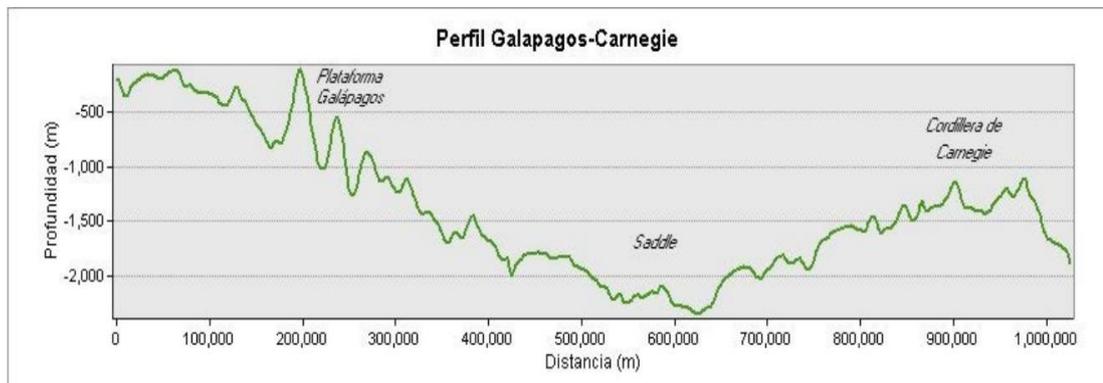
Figura 9. Ubicación de las placas oceánicas y los límites de estas en el extremo noroeste de América del Sur, basado en captura de pantalla de NASA World Wind.



Nota. Tomado de *Carnegie Ridge*, por Wikipedia, s.f., https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Carnegie_Ridge.png

La cordillera submarina de Carnegie se caracteriza por su altura relativa de alrededor de 1000 metros, en comparación con el fondo marino de la placa Nazca, y su amplitud en la región de la fosa de subducción supera los 200 kilómetros. Se estima que su espesor oscila entre 14 y 19 kilómetros (Taipe, 2013). Las siguientes causas son basadas en Taipe Acosta, 2013, por ejemplo, la subducción de esta cordillera ha generado levamientos de la fosa de subducción, levamientos de terrazas marinas entre 0.2-0.5 mm/año e influencia en el vulcanismo en el Ecuador tanto físico como químico.

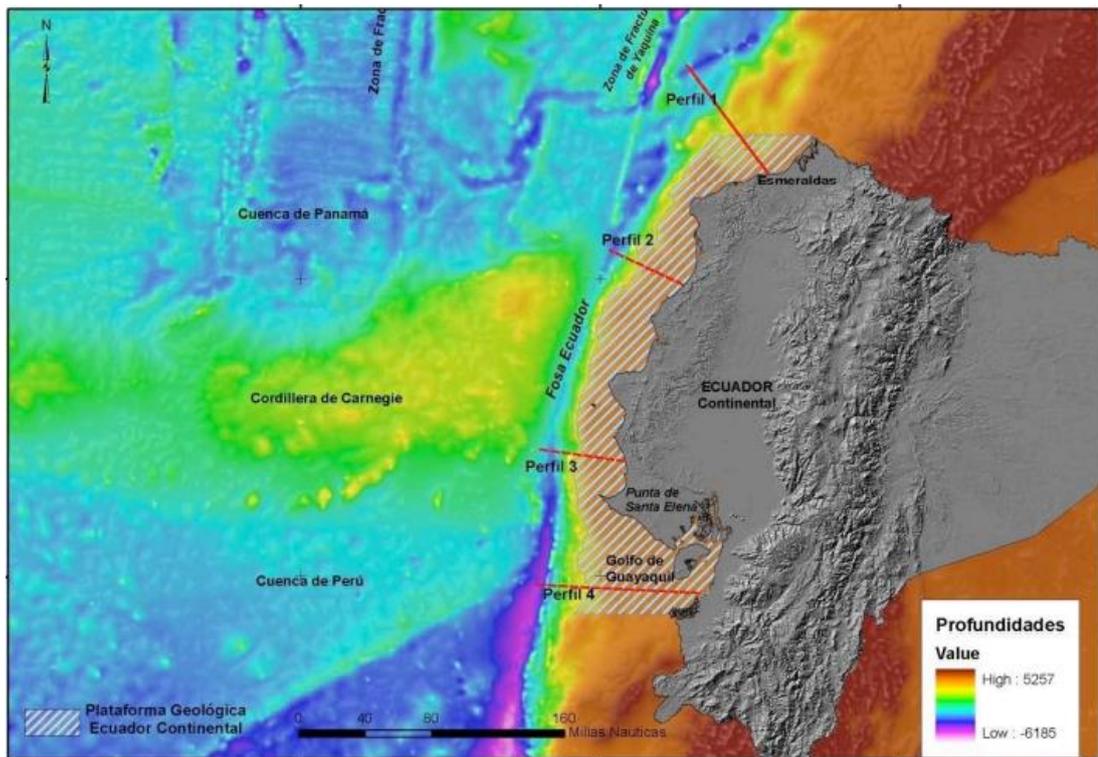
Figura 10. Perfil longitudinal de la Plataforma. Galápagos hasta la cordillera de Carnegie.



Nota. Tomado de *Descripción morfológica de la plataforma continental del Ecuador y análisis comparativo con la plataforma jurídica aplicando la CONVEMAR, mediante el uso de sistemas de información geográfica*, por C. Martillo et al., 2020, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8650656>

Asimismo, la subducción de la cordillera de Carnegie eleva la parte central del margen continental de Ecuador y es, tal vez, la principal responsable de la formación de las cadenas de colinas costeras, que alcanzan alturas máximas de alrededor de 850 metros sobre el nivel del mar (Martillo et al., 2020).

Figura 11. *Identificación de profundidades de la cordillera de Carnegie.*



Nota. Tomado de *Descripción morfológica de la plataforma continental del Ecuador y análisis comparativo con la plataforma jurídica aplicando la CONVEMAR, mediante el uso de sistemas de información geográfica*, por C. Martillo et al., 2020, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8650656>.

1.2.5 Golfo de Guayaquil

El Golfo de Guayaquil es reconocido como una cuenca de antearco, debido a su posición entre el prisma de acreción originado por la zona de subducción y el arco volcánico de los Andes, Benítez, como se citó en Cobos (2010). Se encuentra situado al este de la fractura Grijalva, la cual, quizá, se extiende por debajo de la placa Sudamericana. La formación del Golfo de Guayaquil tuvo lugar cuando la cordillera Carnegie chocó con los terrenos alóctonos, que se constituyen en el sustrato de la costa ecuatoriana, lo que ocasionó un desplazamiento hacia el noreste. Este fenómeno

provocó un movimiento regional de traslado dextral transcurrete y una extensión en la región sur (Cobos, 2010).

Figura 12. Golfo de Guayaquil.

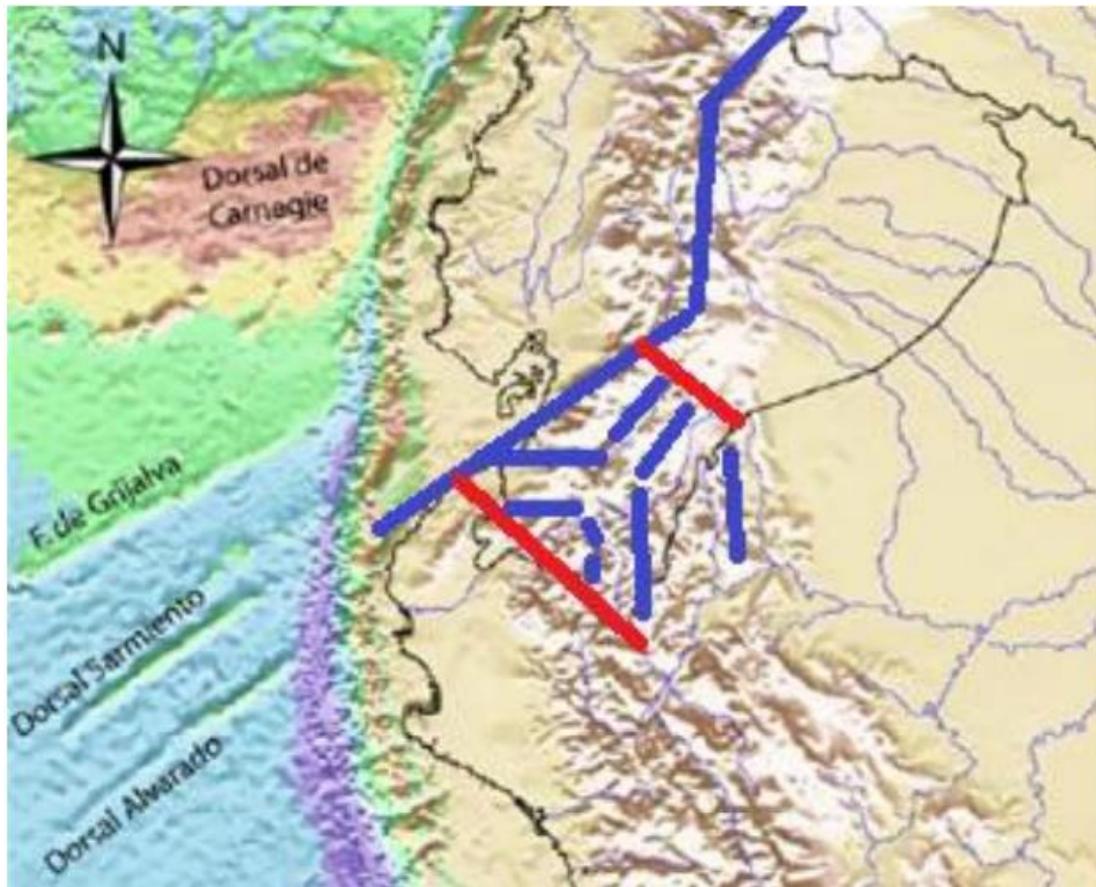


Nota. Tomado de *Estudio integrado del Golfo de Guayaquil del mioceno al reciente*, por L. Cobos, 2010, <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10658>

1.2.6 Sistemas de fracturas en Ecuador

En otro orden de ideas, Lonsdale et Klitgord, 1978 según como se citó en Barros, 2016, este sistema es un conjunto de tres fracturas con orientación noreste, que causan deformaciones en la superficie del océano. Estas fracturas son conocidas como las fracturas de Grijalva, Alvarado y Sarmiento, y son resultado de la aspereza de la placa Farallón. Los movimientos a lo largo de estas pueden dar lugar a actividades sísmicas y deformaciones en la región.

Figura 13. Zonas de tipos de fracturas.

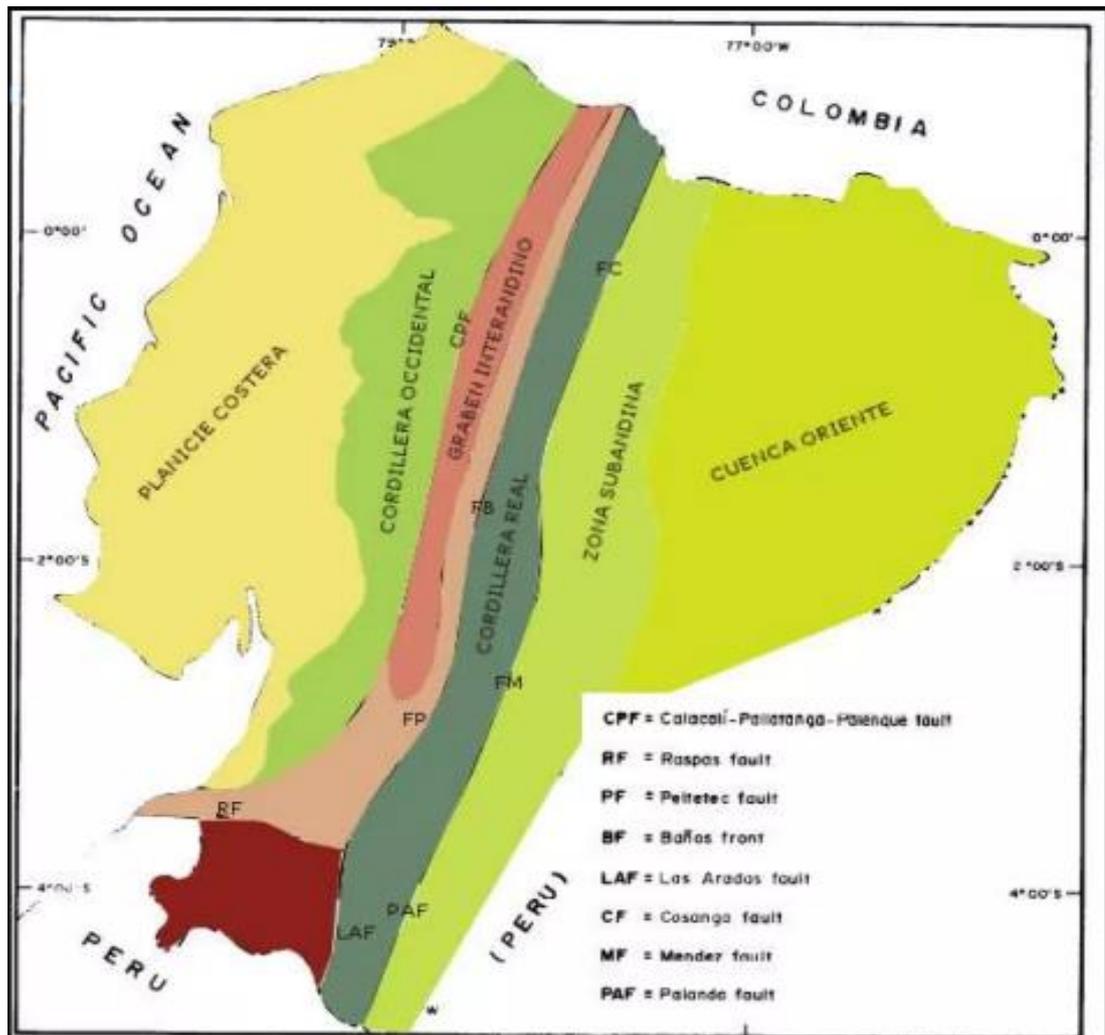


Nota. Tomado de *Estudio integrado del Golfo de Guayaquil del mioceno al reciente*, por L. Cobos, 2010, <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10658>

1.2.7 Sistemas de fallas en Ecuador

En el campo de la ingeniería civil, una falla activa se reconoce como una posible fuente de futuros terremotos si se observan desplazamientos en la superficie durante el período geológico. Además, la edad específica de estos desplazamientos aún no se ha determinado. Esta consideración se basa en la correlación entre la actividad sísmica y la presencia de esta falla en particular (Yangari, 2019).

Figura 14. Mapa de Ecuador, indicando las cordilleras que se encuentra en Ecuador.



Nota. Tomado de *La geología y la historia de colisión en el mesozoico de la cordillera real, Ecuador*, por C. Romero, 2016, <https://es.slideshare.net/cwrc3/la-geologia-y-la-historia-de-colisin-en-el-mesozoico-de-la-cordillera-real-ecuador>

1.2.7.1 Mega falla Dolores – Guayaquil.

La Falla Dolores-Guayaquil es una importante zona de cizalla y falla en el norte de América del Sur. Se extiende desde el Golfo de Guayaquil en Ecuador hasta Dolores en Venezuela. Esta presenta diferentes estados de deformación a lo largo de su recorrido (Yangari, 2019). Es responsable de la formación de terrazas marinas cuaternarias, debido al levantamiento de la costa por la dorsal Carnegie.

De igual forma, se compone de fallas de desgarre dextral hacia al noreste y fallas inversas en dirección norte, y constituye el límite oriental del Bloque Norandino (Yangari, 2019). En el Golfo de Guayaquil se forma un sistema complejo de *pull apart*, donde la falla se conecta con la zona de subducción de la fosa oceánica del Ecuador (Yangari, 2019).

Figura 15. *Sobre visión de la mega falla de Guayaquil.*



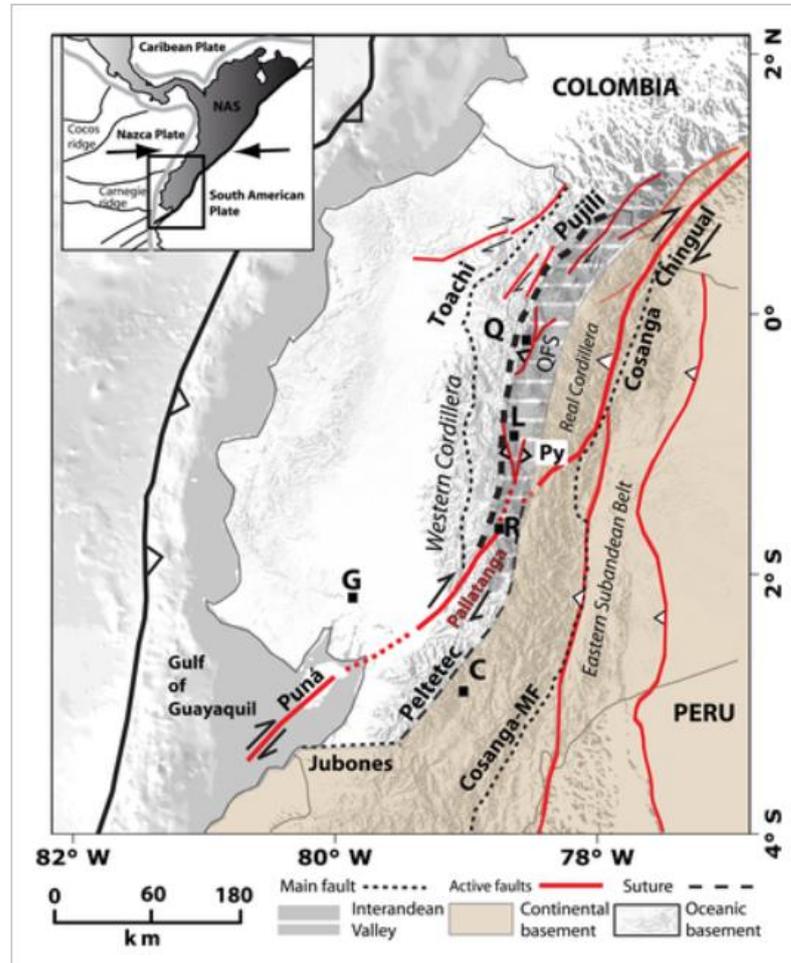
Nota. Tomado de *Calificación y Cuantificación de las Fallas Geológicas en el Distrito Metropolitano de Quito*, por GEO, 2017, <http://geo1.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2017/09/art5.pdf>

1.2.7.2 Falla Pallatanga

El sistema de fallas geológicas inicia en el Golfo de Guayaquil y atraviesa la Isla Puna, la zona de la troncal y la cordillera a través de Bucay y Pallatanga. A medida que sale al valle de Riobamba, su trazado se vuelve menos evidente debido a la presencia de material volcánico (Yangari, 2019). Asimismo, basado en Alvarado et al. (2016), se propuso que las tasas de deslizamiento son de 2.5 - 4.6 mm/año; este valor

es el 30% de la predicción (7.1 mm/año, N47E). Luego, se adentra en el callejón interandino en dirección norte y se une a la falla Chingual (Yangari, 2019).

Figura 16. Mapa de fallas de Puná-Pallatanga-Cosanga-Chingual.



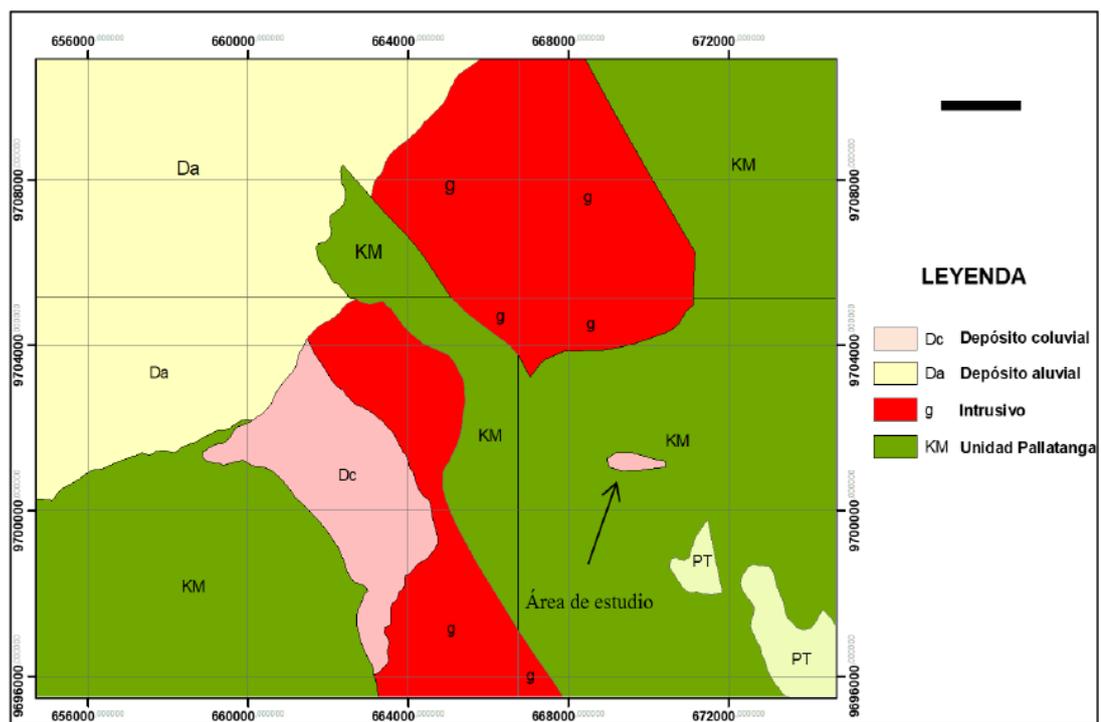
Nota. Tomado de “Partitioning of oblique convergence in the Northern Andes subduction zone: Migration history and the present-day boundary of the North Andean Sliver in Ecuador”, por A. Alvarado et al. (2016), *Advancing Earth and Space Sciences*, 35(5).

1.2.7.3 Falla Chingual

Este sistema de fallas se encuentra en el extremo nororiental de Ecuador, en el borde submarino de la cordillera Oriental de los Andes. Se extiende desde el norte del volcán Cayambe hasta la población de La Sofía, y continúa hacia el sur, pasando por

el lado occidental del volcán El Reventador, por último, se dirige a Baeza. Está formada por fallas transcurrentes e inversas (Yangari, 2019). Las mediciones confiables de la tasa de deslizamiento oscilan entre 7 y 10 mm/año a lo largo del sistema Chingual. De igual modo, es la principal responsable del movimiento de la Placa de Nazca respecto a Sudamérica, mientras que, otras fallas tienen una contribución insignificante en términos de cinemática (Alvarado et al., 2016).

Figura 17. Geología del sector de estudio.



Nota. Tomado de “Estudio de la variabilidad de parámetros geotécnicos en el modelamiento de la estabilización de taludes, caso de estudio Curva de Retorno (abscisas 82+500 a 84+500) en la carretera Cuenca-Molleturo-Puerto Inca, provincia del Azuay”, por C.V. Cedeño y R.P. González, 2021, <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/53830>

1.2.8 Cordillera de los Andes

Para Mendoza (2014), la cordillera de los Andes es una cadena montañosa en América del Sur y es la más larga del planeta, con 7250 km entre los 11°N y 55°S de latitud en el borde occidental de Sudamérica. Ubicada a lo largo del océano Pacífico, formando parte de lo que se conoce como el Cinturón de Fuego del Pacífico. Su superficie es de casi 3.5 millones de kilómetros y su ancho varía de 200 a más de 700 km. Esta cordillera empezó a formarse hace unos 200 millones de años; cubre el territorio de Venezuela, Colombia, Ecuador, Bolivia, Perú, Chile, y Argentina (Mendoza, 2014).

Figura 18. Fósiles de conchas petrificadas gigantes del páramo Andino con una antigüedad de 325 millones de años.

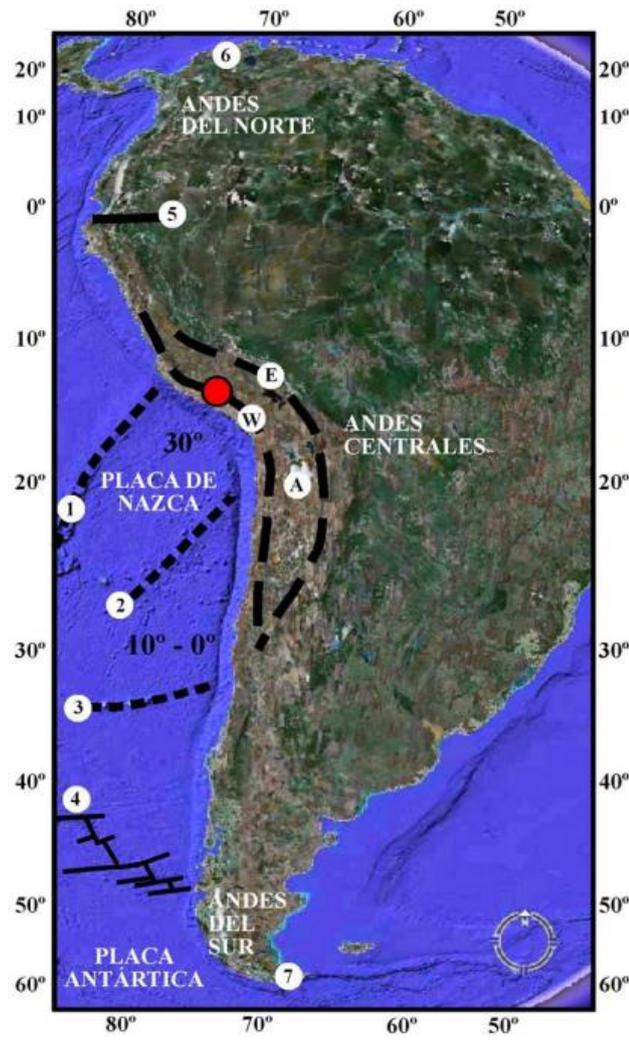


Nota. Tomado de *Conchas Gigantes De Chicho Negro*, por Goraymi, s.f., <https://www.goraymi.com/es-ec/chimborazo/alausi/zonas-arqueologicas/conchas-gigantes-chicho-negro-acbxl9c3a>

A fines del Cretácico se iniciaron los movimientos de subducción de la Placa de Nazca debajo de la Sudamericana. Durante los períodos terciarios ocurrieron importantes pulsos de movimientos (el ciclo andino), que formaron la cordillera de los

Andes. La actividad sísmica y volcánica son más importantes en la creación del terreno que los factores externos de erosión (Mendoza, 2014).

Figura 19. Mapa de América del Sur que visualiza la cordillera de los Andes.



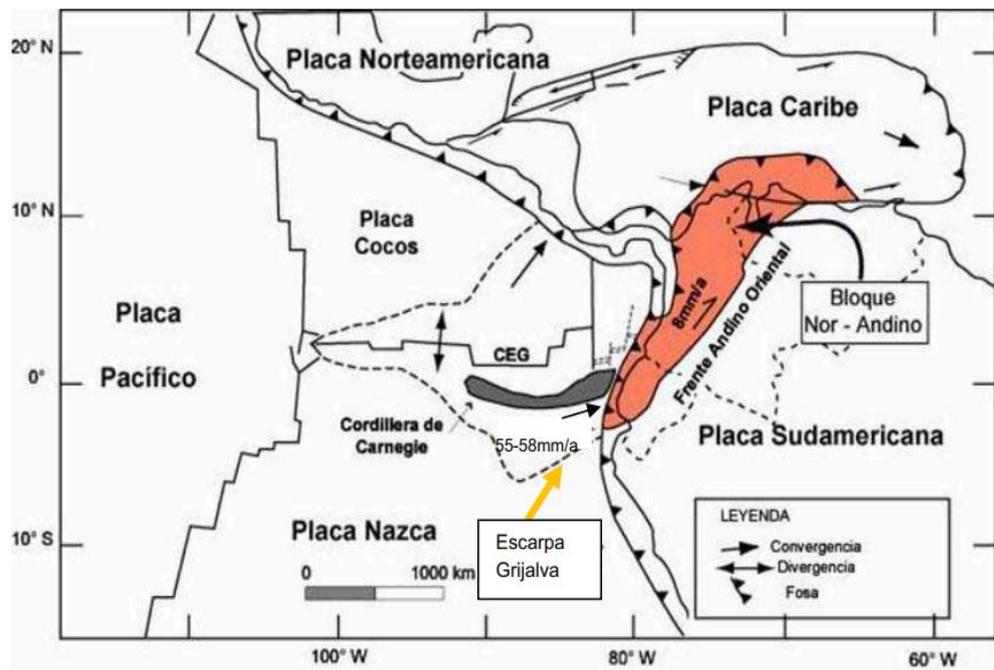
Nota. Tomado de *La cordillera real de la paz*, por J. Catalá y M. Camarena, s.f., <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-54210/Cordillera%20Real.pdf>

1.2.9 Bloque Norandino

En la región noroccidental del país existen estructuras tectónicas activas asociadas al bloque Norandino. Las cuales se desplazan hacia el noreste, que es causado por la subducción oblicua de la placa de Nazca, Nocquet et al. (como se citó Vidal, 2018), la colisión entre la cordillera submarina de Carnegie y el borde

occidental de la placa Sudamericana. Grustcher et al., Trenkamp et al., Egbue y Kellog, (como se citó en Vidal, 2018).

Figura 20. El bloque Norandino color naranja con movimiento hacia el noreste. (Modificado de Pennington).

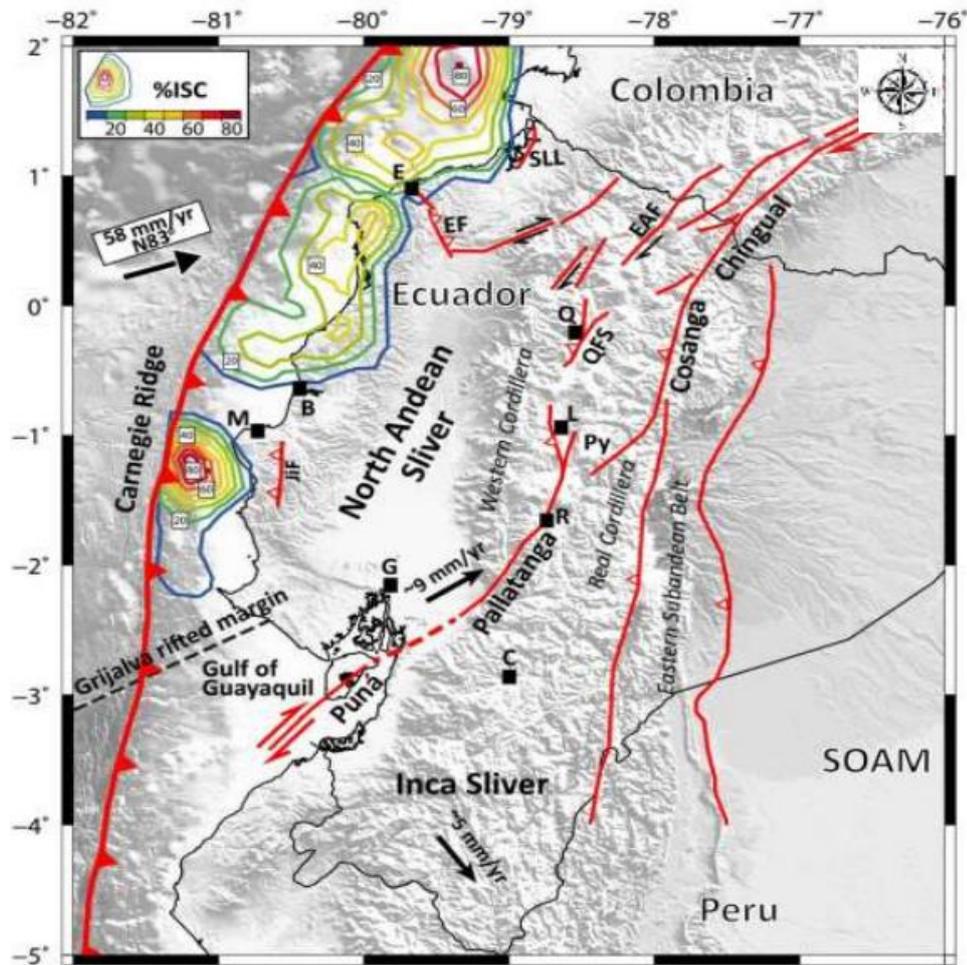


Nota. Tomado de *Geología del cuaternario y geomorfología tectónica*, por C. Núñez, 2011, <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4324>

Por otro lado, Vidal (2018) afirmó que en el bloque Norandino se encuentra en el Golfo de Guayaquil, y atraviesa la cordillera Occidental en dirección a la depresión Interandina a través de la falla de Pallatanga.

De igual manera, Vidal (2018) sugirió que la tectónica de Ecuador está sujeta a tres elementos de tecnología relevante: la Placa de Nazca, la Placa Sudamericana y el bloque Norandino. Por ende, Cisneros y Nocquet, como señaló Vidal (2018), según la falla de Pallatanga, comentaron que son una estructura fundamental que separa el bloque Norandino de la placa Sudamericana, y causa alteraciones en la cordillera Occidental.

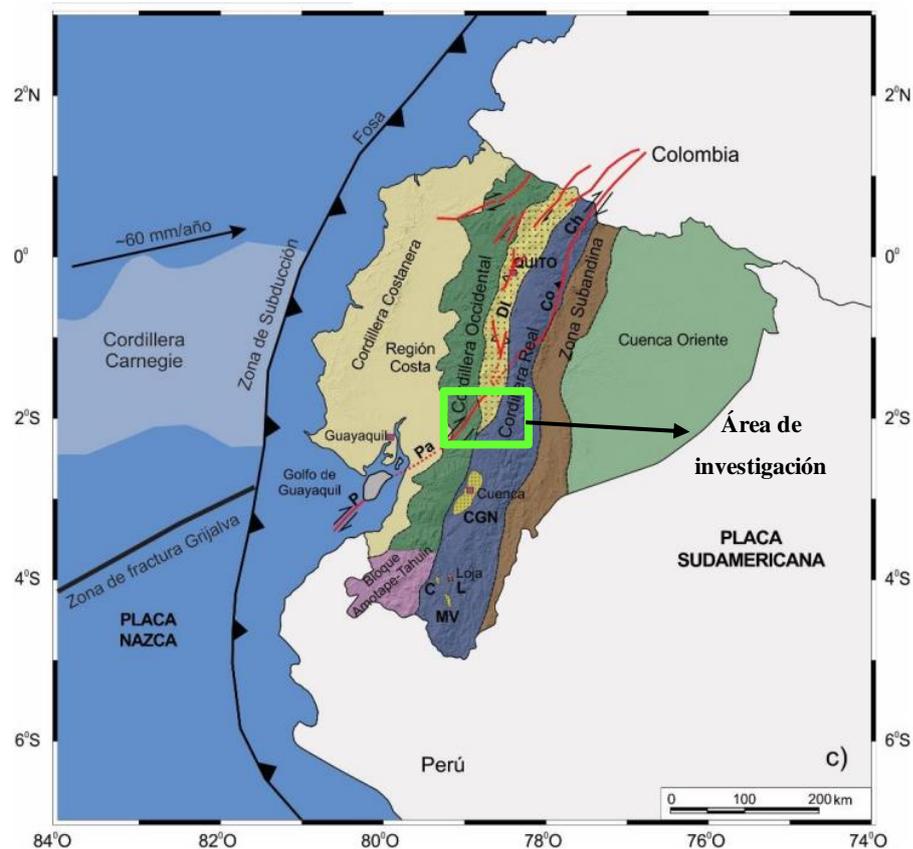
Figura 21. Mapa regional del Ecuador, se puede observar la falla Pallatanga.



Nota. Tomado de “Cambio de esfuerzos tectónicos generados por el sismo de El Reventador del 5 de marzo de 1987”, por A. Quichimba, 2021, <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/24711>

En esta Figura 22 se puede observar la zona de estudio que se encuentra en la vía Cuenca-Molleturo por donde pasa el bloque Norandino. En consecuencia, la Placa de Nazca está siendo subducida por debajo del borde occidental de la Placa de Sudamérica, lo que provoca eventos sísmicos en el sistema de los Andes.

Figura 22. La zona de estudio se encuentra en la parte Norandino.



Nota. Tomado de “Estructura de cuencas intramontañosas del sur de Ecuador en relación con la tectónica de la Cordillera de los Andes a partir de datos geofísicos y geológicos”, por J. Vidal, 2018, <https://digibug.ugr.es/handle/10481/51634>

1.3 Marco geológico local

1.3.1 Vulcanismo

1.3.1.1 Material volcansedimentario

En esta área de formaciones geológicas rocosa y volcánicas, la estructura se caracteriza por disposiciones horizontales o un poco inclinadas, que contrastan con las formaciones más antiguas (López, 2007).

Figura 23. *Presencia de lutitas roja, en el camino del punto de estudio.*



Nota. Elaboración propia.

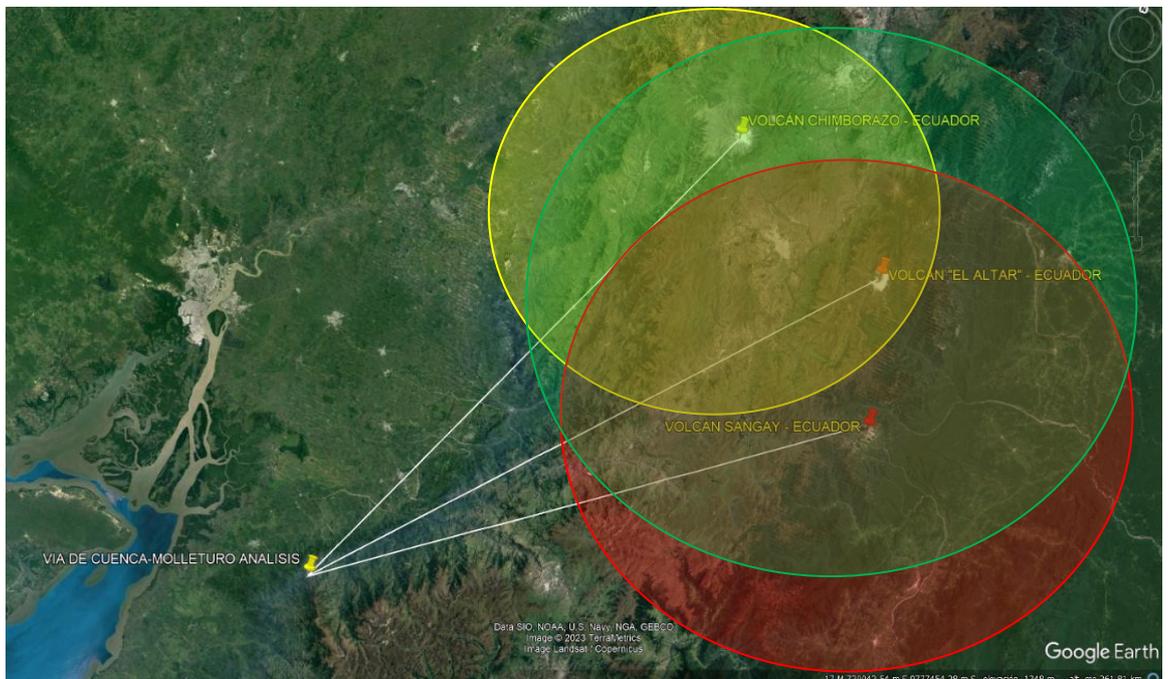
En la zona occidental de la cordillera, a una altitud de 2800 m.s.n.m, se encuentran rocas metamórficas. Estas se pueden apreciar en quebradas y cursos de agua. Además, consisten en lavas altamente alteradas, acompañadas por sedimentos como delgadas lutitas (López, 2007).

Figura 24. *Presencia de lutitas grises en el punto de estudio.*



Nota. Elaboración propia.

Figura 25. *Volcanes cercanos a la zona de estudio y su radio de afectación al momento de erupcionar (material volcano sedimentario que está en la zona de estudio).*



Nota. Google Earth Pro.

1.3.2 Glaciaciones

1.3.2.1 Parque Nacional Cajas

Figura 26. Punto de análisis con respecto al Parque Nacional Cajas (entre los dos puntos existe una distancia aproximada de 30 km).



Nota. Google Earth Pro

El Parque Nacional Cajas se encuentra sobre la cordillera occidental de los Andes, y se extiende hacia el sur, hasta el nudo del Portete. Debido a su elevación de más de 3000 m.s.n.m, el clima es frío y húmedo, lo que favorece la acumulación de carbono orgánico en el suelo (López, 2007). La influencia de la ceniza de los volcanes del norte del Ecuador contribuye a las características especiales de retención de agua. Estudios revelan que las erupciones de los volcanes son de edad cuaternaria, aunque, la actividad volcánica es más antigua y tiene un impacto significativo en el paisaje y el tipo de suelo de la región (López, 2007).

Figura 27. Morrena que separa la laguna Angas y la laguna Dublay.



Nota. Tomado de *Expediente Para la Inscripción del Parque Nacional Cajas y los Tramos Transversales del Qhapaq Ñan en la Lista de Patrimonio Mundial de la Unesco*, por S. López, 2007, <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/03AM03-0101-A-Unesco.pdf>

Sumado a lo anterior, Coltori y Ollier como se citó en López (2007) indicó que, durante el Pleistoceno medio y superior, la región del Parque Nacional Cajas estuvo bajo la presencia de glaciares.

Figura 28. Lagunas de origen glaciar y humedales (depósitos Morrénicos).



Nota. Google Earth Pro.

Ahora bien, Tarbuck y Lutgens, como se citó en López (2007), revelaron que la última glaciación finalizó hace 10 000 años y su punto máximo fue hace 15 000 años, cuando el nivel del mar alcanzó su punto más bajo al descender las aguas oceánicas. Los vestigios del poderoso desgaste glacial son evidentes en la región, donde se encuentran circos, valles en forma de "U" y numerosas lagunas.

Figura 29. *Tipos de lagunas debido al desgaste glacial.*



Laguna Oligotrófica

Laguna Eutrónica

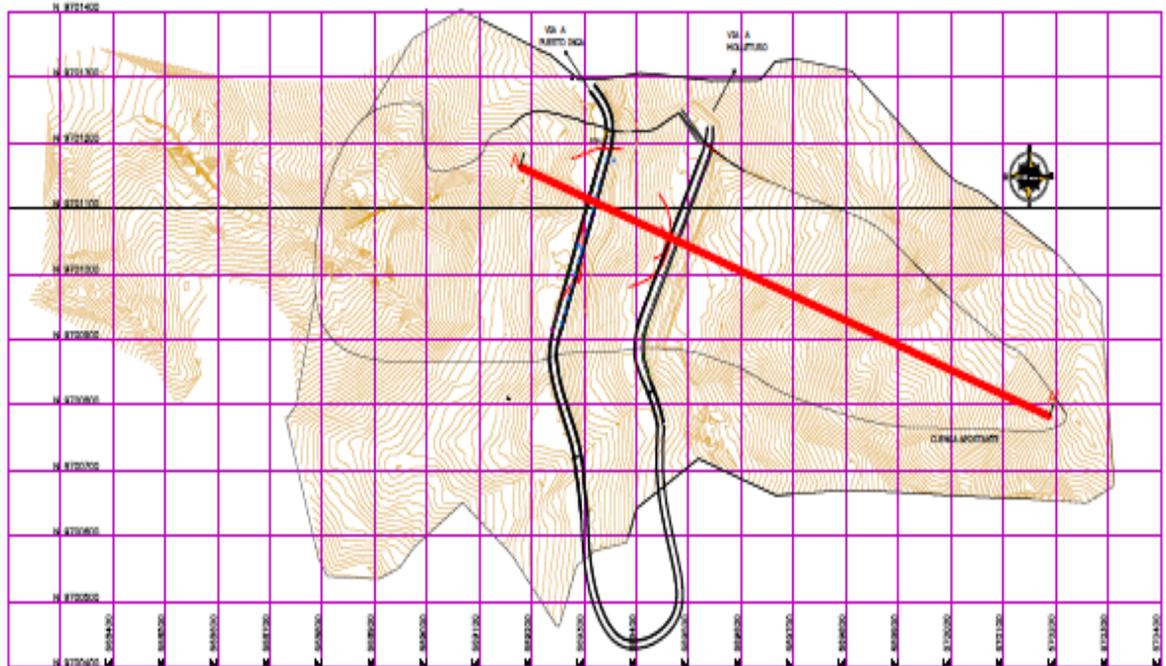
Ciénega (Humedales)

Nota. Tomado de *Expediente Para la Inscripción del Parque Nacional Cajas y los Tramos Transversales del Qhapaq Ñan en la Lista de Patrimonio Mundial de la Unesco*, por S. López, 2007, <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/03AM03-0101-A-Unesco.pdf>.

Las tilitas, compuestas por una variedad de fragmentos de distintos tamaños y características, se depositaron justo por el hielo. Asimismo, los depósitos morrénicos presentan una compactación irregular con una mezcla de arena y rocas pulverizadas (López, 2007).

1.3.3 Resultados topográficos y geomorfológico de la zona de estudio

Figura 30. Levantamiento topográfico realizado por MTOP.



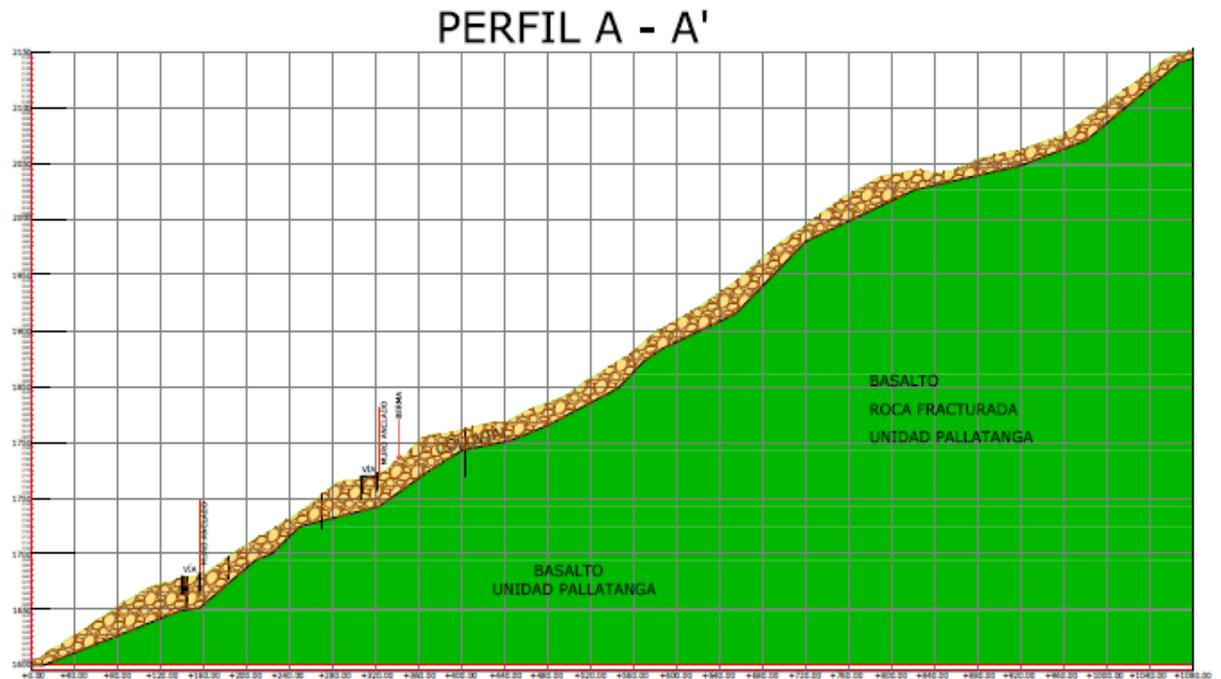
Nota. Tomado de *Servicios de consultoría para realizar los estudios geotécnicos de estabilización de taludes*, por MTOP-Ecuador, 2012, <https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/azuay072012.pdf>

Es fundamental contar con información exacta del lugar donde se llevaron a cabo los estudios, la disposición de las construcciones ya existentes y de las porciones que se examinaron.

Los datos topográficos obtenidos en el estudio anterior proporcionaron información sobre los perfiles del terreno, a través de los cuales se han generado las curvas de nivel y los perfiles longitudinales, necesarios para la elaboración de la propuesta. La estructura geológica del área de estudio es irregular y los suelos, en varios lugares, muestran cambios significativos. Sin embargo, es posible determinar el

ángulo de inclinación de la sección transversal del carril, que es de casi 51° con respecto a la horizontal.

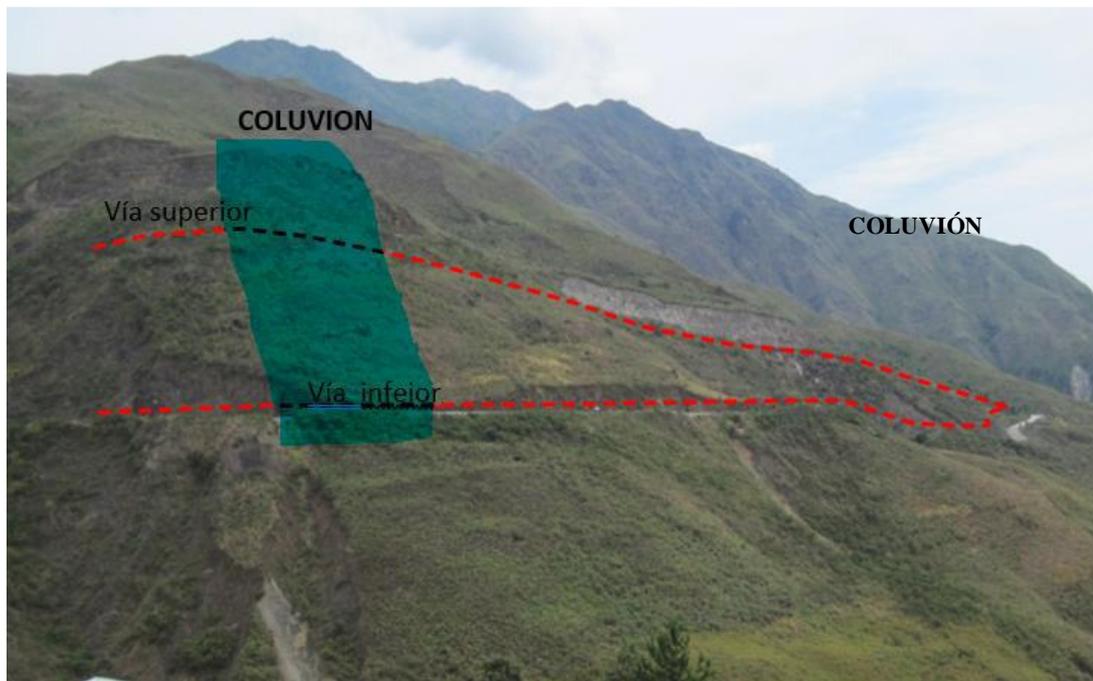
Figura 31. Perfil topográfico realizado por MTOP.



Nota. Tomado de *Servicios de consultoría para realizar los estudios geotécnicos de estabilización de taludes*, por MTOP-Ecuador, 2012, <https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/azuay072012.pdf>

Para tener una mejor comprensión de la ubicación del proyecto, se ha designado como "vía superior" a la carretera ubicada a mayor altitud topográfica y como "vía inferior" a la que se encuentra a menor altitud.

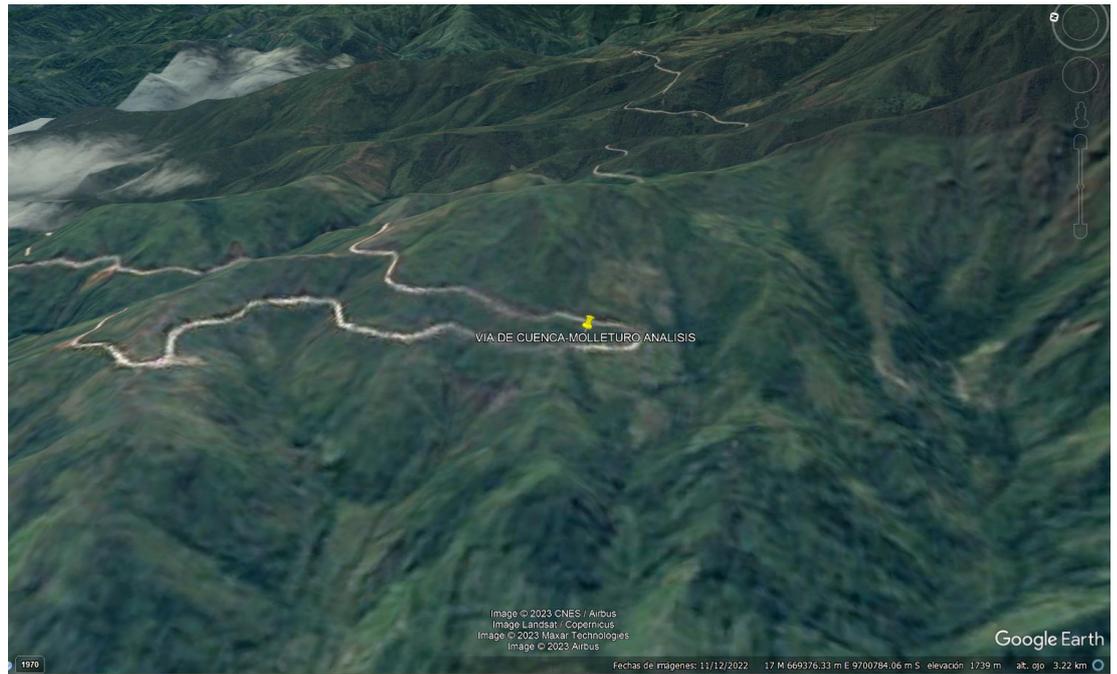
Figura 32. *Identificación de coluvión con vista panorámica del lugar de estudio.*



Nota. Tomado de “*Estudio de la variabilidad de parámetros geotécnicos en el modelamiento de la estabilización de taludes, caso de estudio Curva de Retorno (abscisas 82+500 a 84+500) en la carretera Cuenca-Molleturo-Puerto Inca, provincia del Azuay*”, por C.V. Cedeño y R.P. González, 2021, <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/53830>

La morfología que define esta superficie es resultado de la disposición del coluvión; esto surge debido a los movimientos relativos que han dado forma a la topografía actual. La parte más baja de la capa coluvial converge hacia un sistema de drenaje que se extiende desde la pendiente superior de la vía hasta la inferior. A medida que la erosión coluvial profundiza el drenaje, este intenta recuperar una posición estable transportando material cuesta arriba, buscando equilibrar su masa, provocando un movimiento constante.

Figura 33. Vista satelital de la zona de estudio.

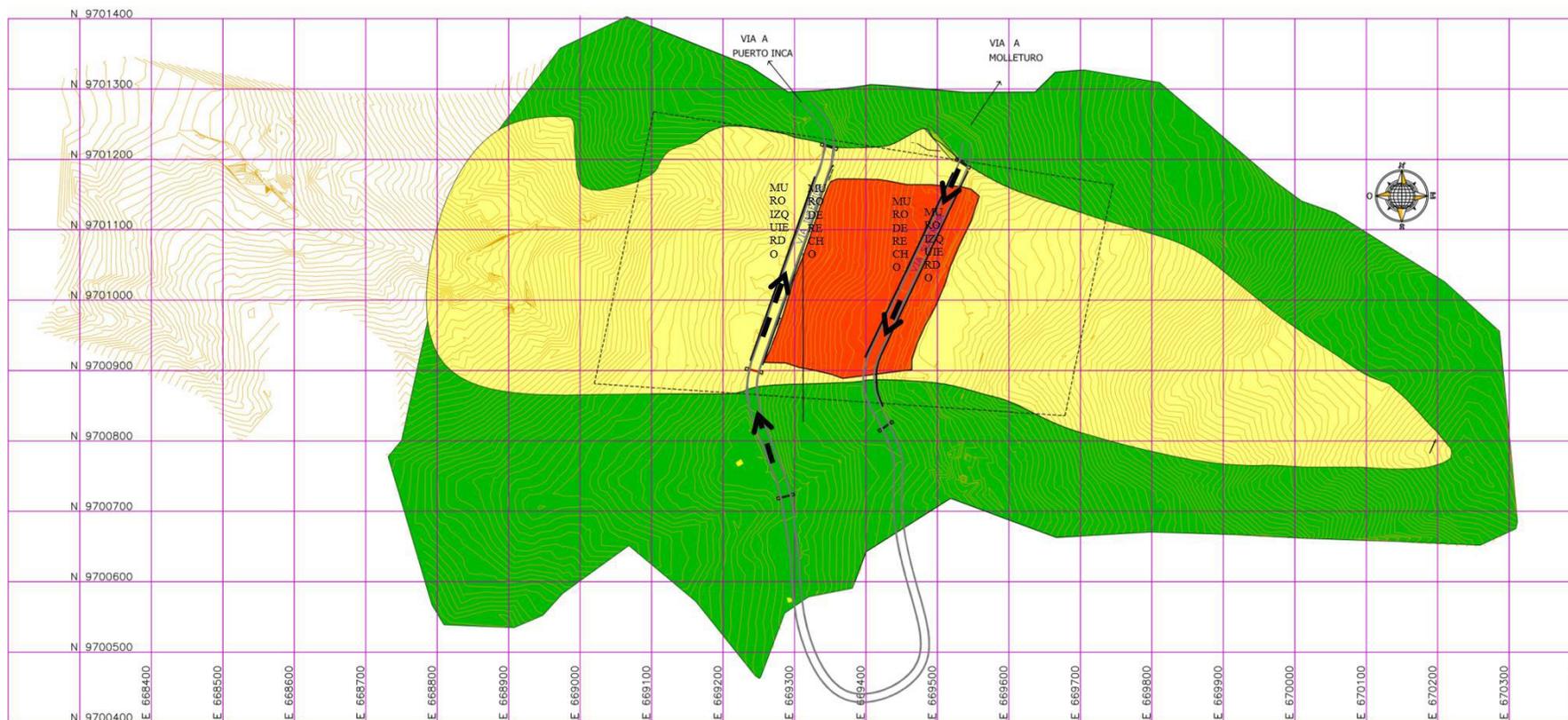


Nota. Google Earth Pro.

1.3.3.1 Datos geológicos y geotécnicos

Asimismo, para referirse a las estructuras presentes en la base del talud, se utilizará una convención basada en el nombre del desarrollo, o sea, desde Puerto Inca-Molleturo-Cuenca. A ambos lados de cada ruta se encuentran muros construidos, junto con una zona resaltada en rojo que, en ciertos momentos, se intentó impermeabilizar el talud mediante la aplicación de concreto proyectado.

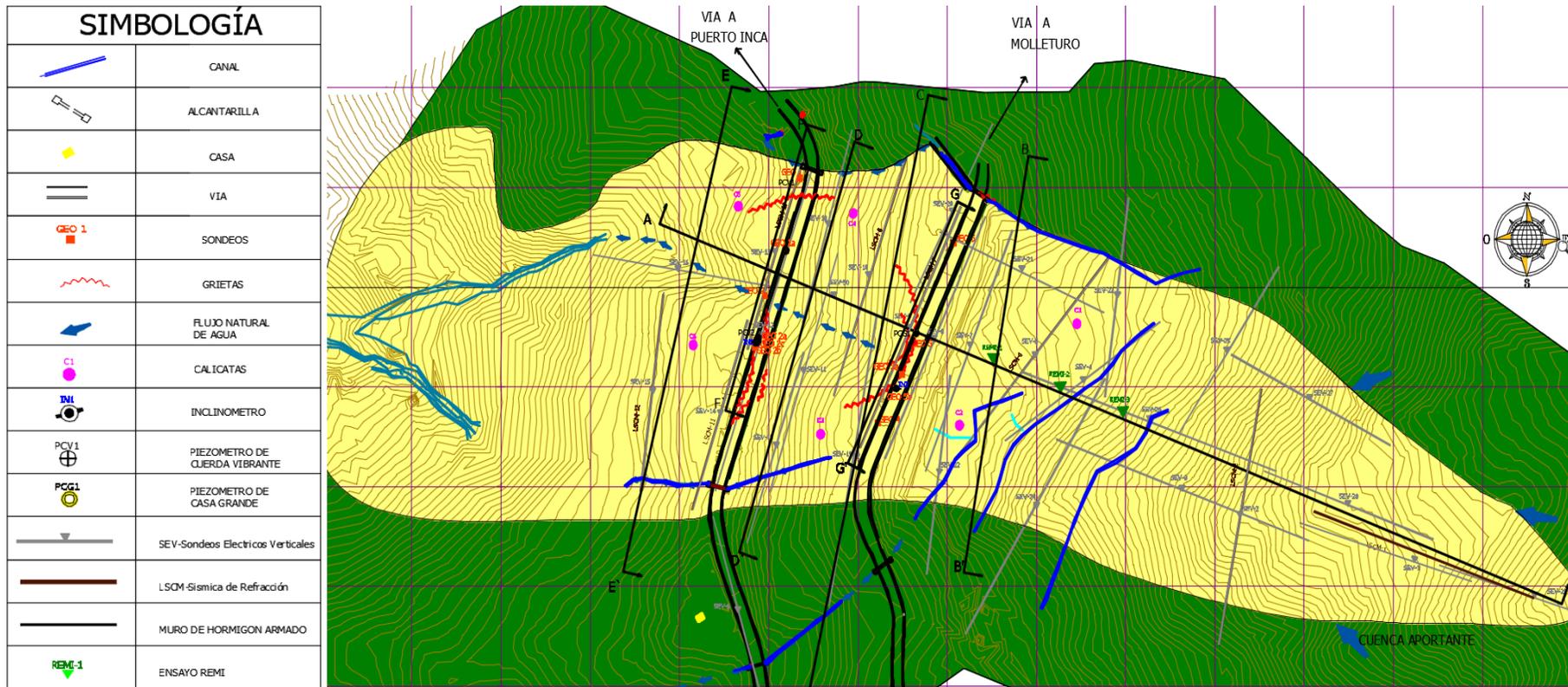
Figura 34. Levantamiento de medidas de vías, muros existentes y levantamiento topográfico.



Nota. Tomado de *Servicios de consultoría para realizar los estudios geotécnicos de estabilización de taludes*, por MTOP-Ecuador, 2012,

<https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/azuay072012.pdf>

Figura 35. Plano de exploración geotécnica en vía Cuenca-Molleturo.



Nota. Tomado de *Servicios de consultoría para realizar los estudios geotécnicos de estabilización de taludes*, por MTOP-Ecuador, 2012,

<https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/azuay072012.pdf>.

Tabla 1. Ensayos de laboratorio en la matriz del coluvión realizados por MTOP.

Calicata	Prof (m)	Clasificación SUCS	LIMITES DE ATTERBERG					Densidad de Campo (g/cm ³)	Proctor		CORTE DIRECTO					
			W (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL (%)		Wop (%)	γ_{smax} (g/cm ³)	Esfuerzo Vertical (kg/cm ²)	Esfuerzo Tangencial (kg/cm ²)				
												M.I.H.N.*	M.I.S.A.*	M.S.H.N.*	M.S.S.A.*	M.C.S.A.*
C-1	1,5	SC	30	49	25	24	0,208	0,942	46,80	1,014	0,505	0,545	0,425	0,496	0,452	0,479
											1,010	1,174	0,767	0,884	0,709	0,900
											2,020	2,601	1,484	1,617	1,414	1,489
C-2	1,5	GM	14	NP	NP	NP	-	1,026	39,00	1,075	0,505	0,913	0,306	0,448	0,297	0,439
											1,010	1,382	0,727	0,798	0,572	0,718
											2,020	1,613	1,325	1,529	1,298	1,387
C-3	1,5	GM	14	NP	NP	NP	-	1,425	-	-	0,505	-	-	-	-	-
											1,010	-	-	-	-	-
											2,020	-	-	-	-	-
C-4	1,5	GM	14	NP	NP	NP	-	1,280	-	-	0,505	-	-	-	-	-
											1,010	-	-	-	-	-
											2,020	-	-	-	-	-
C-5	1,5	GM	9	NP	NP	NP	-	1,499	23,90	1,676	0,505	-	-	0,525	0,394	0,496
											1,010	-	-	1,086	0,864	0,740
											2,020	-	-	1,888	1,790	1,467
C-6	Superfi	SM	50	NP	NP	NP	-	1,083	45,50	1,026	0,505	0,487	0,390	0,527	0,381	0,423
											1,010	0,993	0,760	0,780	0,775	0,749
											2,020	1,582	1,351	1,653	1,334	1,338

M.I.H.N. Muestra Inalterada Humedad Natural
M.I.S.A. Muestra Inalterada Sumergida en Agua
M.S.H.N. Muestra Suelta Humedad Natural
M.S.S.A. Muestra Suelta Sumergida en Agua
M.C.S.A. Muestra Compactada (100%) Sumergida en Agua

Nota. Tomado de Servicios de consultoría para realizar los estudios geotécnicos de estabilización de taludes, por MTOP-Ecuador, 2012,

<https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/azuay072012.pdf>

Tabla 2. Resultados de ensayos triaxiales tipo CD de la zona de estudio.

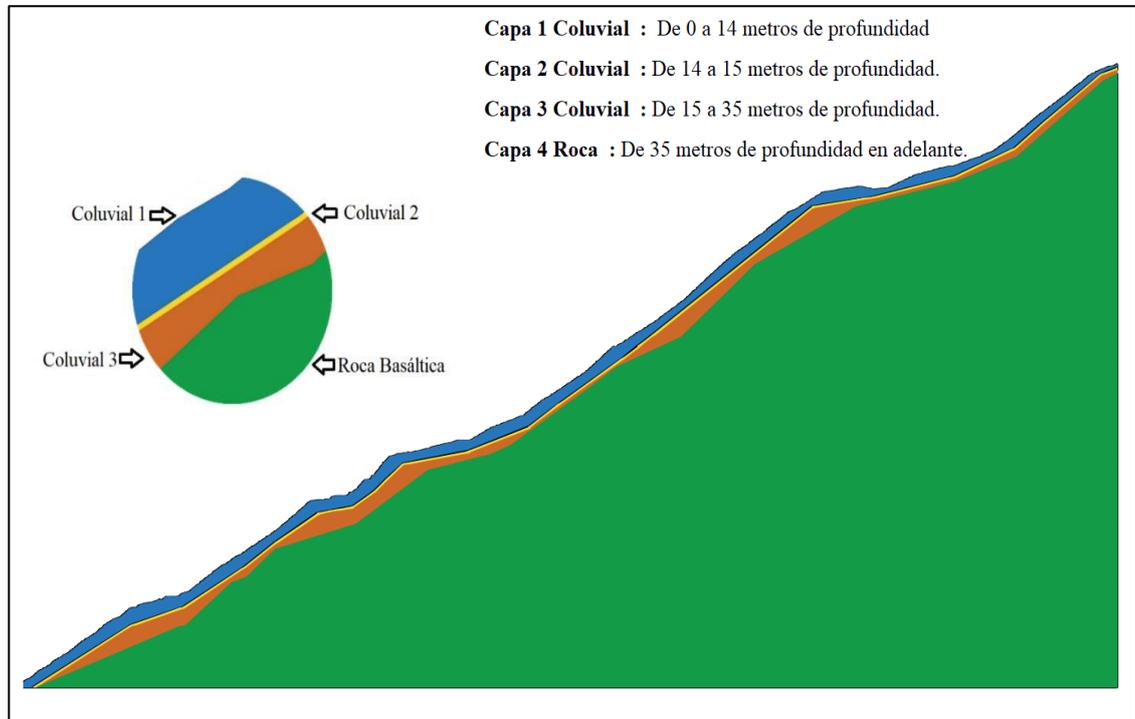
MUESTRA		100% (de la densid. seca máx.)			85% (de la densid. seca máx.)			70% (de la densid. seca máx.)			
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	
INICIAL	Densidad húmeda, gr/cm ³	1,84	1,84	1,84	1,56	1,58	1,57	1,45	1,45	1,42	
	Contenido de Humedad	37,01	37,05	37,14	37,29	37,17	37,15	54,82	54,80	54,57	
	Densidad seca, gr/cm ³	1,34	1,34	1,34	1,14	1,15	1,14	0,94	0,94	0,92	
ESTADO DE SATURACIÓN	Kpa	Presión de poros inicial, pwp	0,00	0,00	0,03	0,00	-2,30	0,00	-0,02	0,00	0,00
		Saturación, pwp	0,00	0,00	0,00	397,64	700,31	698,33	290,70	0,00	0,00
		Presión final de celda	227,06	300,10	375,20	400,00	700,26	700,63	225,30	0,00	0,00
	Valor B	0,95	0,99	0,99	1,00	0,98	0,97	0,80	0,00	0,00	
ESTADO DE CONSOLIDACIÓN	Kpa	Presión de celda	650,69	400,10	875,40	495,01	1002,00	597,08	400,30	350,10	855,20
		Back pressure	151,29	295,40	369,27	389,23	597,50	296,24	295,72	145,05	146,10
		Inicial pwp	647,10	395,31	869,50	489,50	998,50	594,31	397,10	345,10	846,90
		Final pwp	302,89	331,12	599,95	402,62	613,24	446,15	326,31	258,41	482,70
ESTADO DE COMPRESIÓN	Kpa	Presión de celda	650,69	400,10	875,40	495,01	1002,00	597,08	400,30	350,10	855,20
		Back pressure	399,69	295,40	369,27	399,69	597,50	296,24	295,72	145,05	146,10
		σ_3	251,00	104,70	506,13	95,32	404,50	300,15	104,58	205,05	709,10
	Velocidad de corte, mm/min	0,02	0,05	0,04	0,26	0,04	0,04	0,05	0,04	0,07	
CONDICIONES DE FALLA	Deformación, %		0,24	0,21	0,25	0,25	0,18	0,23	0,15	0,41	0,22
	Kpa	$(\sigma_1 - \sigma_3)$ final	911,12	484,96	1593,19	396,90	1066,08	808,63	279,53	519,99	1243,54
		σ_{1f}	1162,12	589,66	2099,32	492,22	1470,58	1108,77	384,11	725,04	1952,64
		Cambio de volumen, %	11,7557	7,3031	13,3574	7,7574	9,5552	23,3430	7,2314	9,1094	10,4728
PARAMETROS DE CORTE		C'	ϕ'		C'	ϕ'		C'	ϕ'		
		0,65 Kg/cm ²	35,50	grados	0,60 Kg/cm ²	30,49	grados	0,48 Kg/cm ²	26,32	grados	

Nota. Tomado de Servicios de consultoría para realizar los estudios geotécnicos de estabilización de taludes, por MTOP-Ecuador, 2012,

<https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/azuay072012.pdf>.

1.3.3.2 Caracterización geotécnica del coluvial y formación rocosa

Figura 36. Caracterización del talud de la zona de estudio.



Nota. Tomado de “Estudio de la variabilidad de parámetros geotécnicos en el modelamiento de la estabilización de taludes, caso de estudio Curva de Retorno (abscisas 82+500 a 84+500) en la carretera Cuenca-Molleturo-Puerto Inca, provincia del Azuay”, por C.V. Cedeño y R.P. González, 2021, <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/53830>

Se halló un depósito aluvial de más o menos 30 m de grosor, compuesto por una acumulación de fragmentos de piedra basáltica. Este depósito aluvial se asienta sobre una formación rocosa de basalto que presenta fracturas (Cedeño y González, 2021). El terreno presenta una configuración de tres estratos de material coluvión, dispuestos en distintos niveles de profundidad, y una formación rocosa basáltica que constituye un cuarto estrato. Se consideró en cuenta dos situaciones:

- Análisis en condiciones de nivel freático nulo.
- Análisis considerando la presencia de nivel freático.

Tabla 3. *Criterios geotécnicos.*

PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	COLUVIÓN (0 – 14 m)	COLUVIÓN (14 – 15 m)	COLUVIÓN (15 – 35 m)	ROCA BASÁLTICA
Modelo constitutivo	*MC	*MC	*MC	*MC
Módulo elástico (KN/m ²)	60000	13000	39000	100e6
Relación de Poisson	0.2	0.2	0.2	0.4
Ángulo fricción interna (°)	44	36	36	45
Cohesión (KN/m ²)	20	10	25	500
Ángulo de dilatación (°)	0	0	0	0
Matriz de estrato	Arena-grava- limo	Arena-limosa	Arena-grava	Basalto
Comportamiento material	Drenado	Drenado	Drenado	Drenado
Peso específico no saturado (KN/m ³)	15.6	15.7	15.7	19.0
Peso específico saturado (KN/m ³)	17.0	17.0	17.0	20.0
Permeabilidad K (x,y) (m/día)	1.35	0.78	1.35	1.0
Nivel Freático(profundidad)	H = 14 m			

MC Mohr-Coulomb

Nota. Tomado de “*Estudio de la variabilidad de parámetros geotécnicos en el modelamiento de la estabilización de taludes, caso de estudio Curva de Retorno (abscisas 82+500 a 84+500) en la carretera Cuenca-Molleturo-Puerto Inca, provincia del Azuay*”, por C.V. Cedeño y R.P. González, 2021, <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/53830>

1.3.4 Precipitación pluviométrica

1.3.4.1 Régimen pluviométrico local

Tabla 4. Valores climáticos – Datos del tiempo de Cuenca.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	13	13.1	13	12.8	12.5	11.3	10.9	11.1	12.2	13	13.5	13.1
Temperatura min. (°C)	10.1	10.3	10.2	10	9.6	8.5	7.9	7.6	8.3	9.5	10.1	10.1
Temperatura máx. (°C)	16.7	16.8	16.6	16.4	16	14.9	14.6	15.3	16.6	17.2	17.6	16.9
Precipitación (mm)	158	184	190	166	110	89	84	63	69	138	181	180
Humedad(%)	85%	86%	86%	86%	86%	87%	86%	83%	79%	82%	82%	85%
Días lluviosos (días)	18	18	20	20	18	15	14	11	12	17	17	18
Horas de sol (horas)	4.6	4.2	4.4	4.5	4.4	3.8	3.7	4.6	5.6	5.4	5.3	4.8

Nota. Tomado de *Clima Cuenca (Ecuador)*, por Climate, s.f., <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-del-azuay/cuenca-875185/>.

A causa de que la parroquia Molleturo está situada en una zona costa y sierra, donde el clima varía, desde días soleados con mucha humedad durante el día, hasta fríos demasiado fuertes en la noche. A una altitud de 3000 a 3200 msnm, el clima se divide en dos estaciones, con temperaturas que oscilan entre 12 y los 20 °C y se presenta un clima seco alcanzando temperaturas de 25 °C (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2021).

Figura 37. *Presencia de neblina zona de estudio - Vía Cuenca-Molleturo.*



Nota. Elaboración propia

Figura 38. *Neblina existente en sitio de estudio - Vía Cuenca-Molleturo.*



Nota. Elaboración propia

1.3.5 Meteorización

La meteorización ocurre cuando la roca está expuesta al “clima”, a las fuerzas y condiciones que existen en la superficie de la Tierra. Las rocas que se forman en las profundidades experimentan una temperatura relativamente constante, alta presión, no tienen contacto con la atmósfera y poca o ninguna interacción con el agua en movimiento (Reagan et al., 2013).

Figura 39. Meteorización.



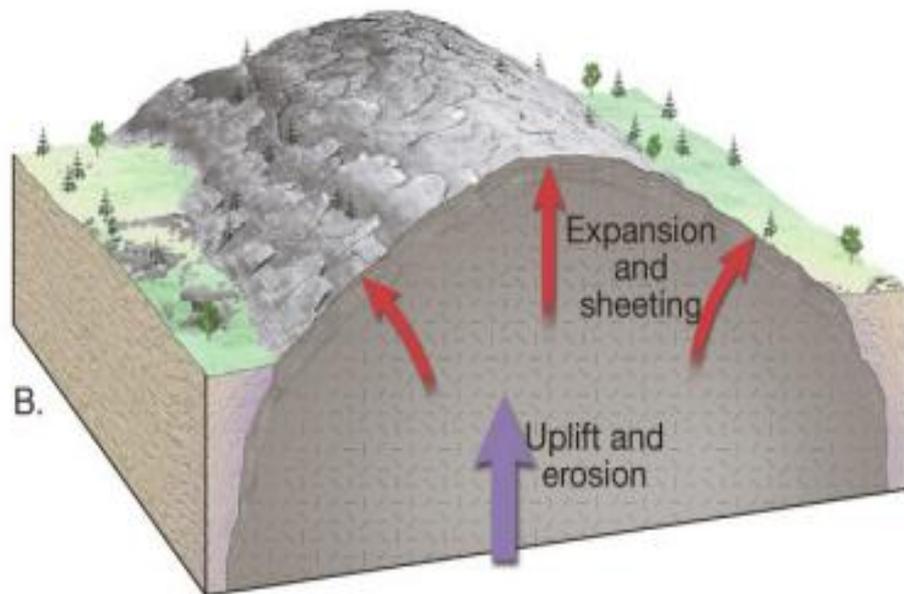
Nota. Tomado de *Geología 22. El ciclo de las rocas*, por F. Muñoz y A. Claro, 2022, <https://geolodiaavila.com/tag/meteorizacion/>

1.3.5.1 Tipos de meteorización

- a. Meteorización mecánica o física: cuando una roca se somete a meteorización mecánica se descompone en fragmentos cada vez más pequeños; cada uno de los cuales conserva las propiedades del material original. El resultado final son muchos fragmentos pequeños que emergen de uno grande (Tarbuck et al., 2005).

- b. Lajamiento por descompresión: la erosión reduce la presión litostática transportada por las rocas debajo del material erosionado. Esto provoca una relajación de tensiones y una dilatación de la roca (descompresión). Durante la descompresión, las capas exteriores se expanden más que las capas subyacentes, lo que hace que se desprendan del macizo rocoso. Esta red de fracturas es una vía importante para que el agua ingrese a las rocas de baja permeabilidad (Tarbuck et al., 2005).

Figura 40. Lajamiento generado por la expansión de la roca.



Nota. Tomado de *Weathering: the disintegration, or breakdown of rock material*, por Ocean, s.f., https://www.ocean.washington.edu/courses/oc230/Welcome_files/Weathering.pdf

- c. Meteorización química: incluyen métodos complejos que destruyen los componentes de la roca y las estructuras minerales internas. En esta transformación, las rocas originales del entorno superficial se descomponen en sustancias estables. Como resultado, los productos de la

erosión química permanecen casi sin cambios. El agua pura por sí misma es un buen solvente, y los bajos niveles de solutos conducen a una mayor actividad química de las soluciones de meteorización (Tarbuck et al., 2005).

Figura 41. *Acción de ciertas raíces, los ácidos orgánicos y el agua.*



Nota. Tomado de *Todo lo que debes saber sobre la meteorización*, por G. Portillo, s.f., <https://www.meteorologiaenred.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-la-meteorizacion.html>

1.3.6 Sismicidad

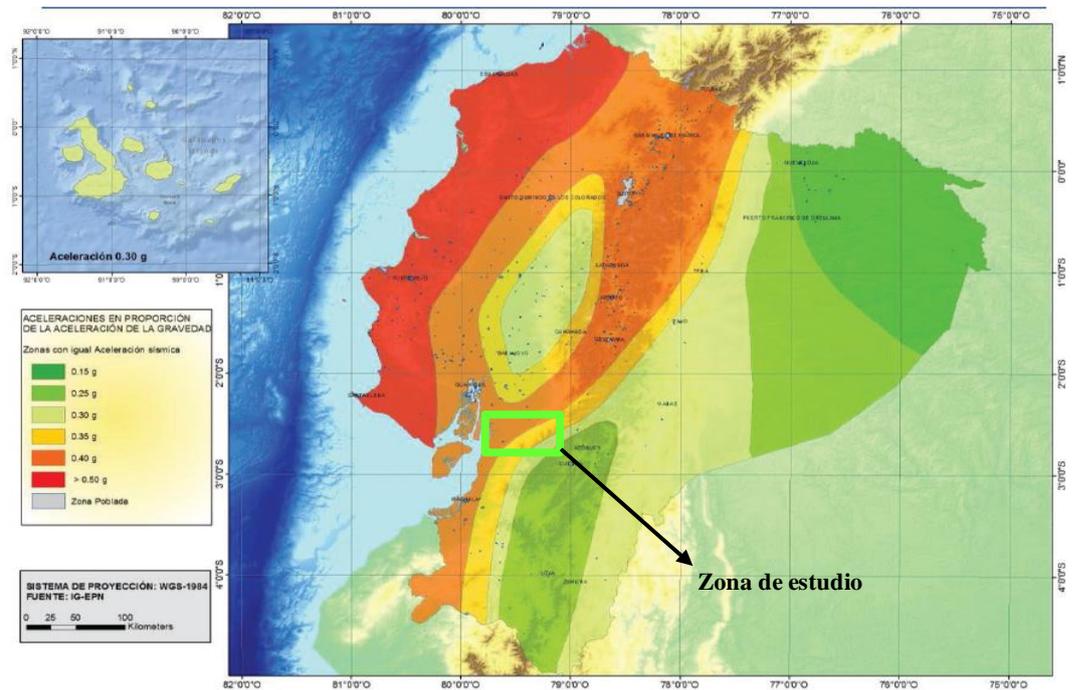
Los terremotos agregan energía a las fuerzas en reposo que actúan sobre taludes, generando tensiones de corte que disminuyen la capacidad para resistir esfuerzos. Un incremento en la presión del agua en taludes puede desencadenar el

proceso de licuación (Tardeo De La Cruz y Zanabria, 2016). En el momento en que se produce un sismo, los taludes enfrentan las siguientes acciones:

- La señal sísmica se amplía debido al relieve.
- Fuerzas de inercia de las masas.
- Se producen en los cambios en los parámetros geotécnicos de los materiales del talud.

En el análisis de estabilidad pseudoestática se consideran los efectos sísmicos de las fuerzas horizontales. Esta se calcula multiplicando el peso del suelo inestable por el coeficiente sísmico basado en la actividad sísmica de la zona. (Tardeo De La Cruz y Zanabria, 2016). Los parámetros sugeridos en los análisis de estabilidad de taludes en áreas sísmicas se fundamentan en una clasificación zonal de acuerdo con las directrices de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS, 2015).

Figura 42. Zonas sísmicas y valores del factor de zona “Z”.



Nota. Tomado de *NEC-SE-DS, 2015*, por Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI)

El mapa que determina las zonas sísmicas para propósitos de diseño se deriva de un análisis de riesgo sísmico, considerando un nivel de excedencia del 10 % en un período de 50 años (retorno de 475 años) (*NEC-SE-DS, 2015*).

Tabla 5. Valores del factor de zona “Z”, en función de la zona sísmica.

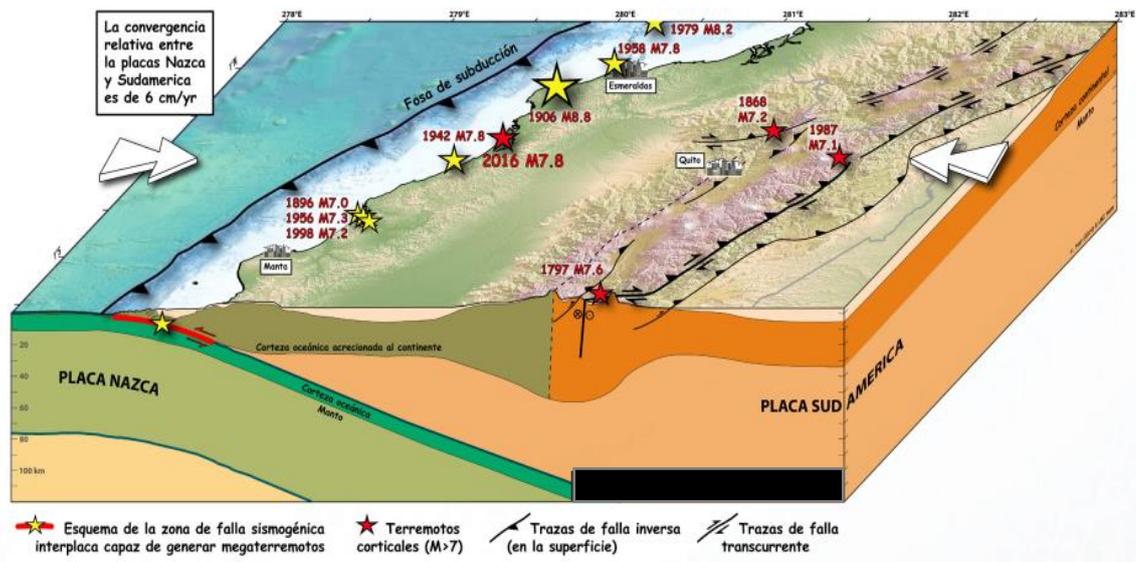
Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Nota. Tomado de *NEC-SE-DS, 2015*, por Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI)

1.3.6.1 Tipo de actividad sísmica en el Ecuador

Hay tres categorías: divergente, convergente y transformante; el límite entre las placas en Ecuador es convergente; además, la placa más densa, Placa Nazca (oceánica), hace presión y pasa bajo la placa continental (Placa Sudamericana). Dichas placas se encuentran bloqueadas y, al superar la resistencia de la corteza, se fracturan las rocas, dando lugar a sismos significativos (Instituto Geofísico EPN, 2013). El proceso de subducción también es responsable de la actividad volcánica en la región, dado que ocasiona la fusión del manto terrestre y lugar al ascenso de magma hacia la superficie.

Figura 43. Subducción en el Ecuador.



Nota. Tomado de *Generalidades – Sismos*, por Instituto Geofísico EPN, 2013, [https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/16479-triptico-sismos-generalidades/file#:~:text=Existen%203%20tipos%3A%20convergente%2C%20divergente,placa%20continental%20\(Placa%20Sudamericana\).](https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/16479-triptico-sismos-generalidades/file#:~:text=Existen%203%20tipos%3A%20convergente%2C%20divergente,placa%20continental%20(Placa%20Sudamericana).)

CAPÍTULO II.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Deslizamientos de material granular grueso

Los deslizamientos de tierra son el resultado de un desequilibrio de las fuerzas internas y externas en un sitio, debido a factores geológicos y climáticos. Esto provoca inestabilidad en el material del terreno, lo que puede representar un riesgo para carreteras, sistemas de suministro de agua, canales y, en algunos casos, incluso comunidades humanas (González et al., 2002).

Figura 44. *Deslizamiento en la vía Cuenca-Molleturo.*



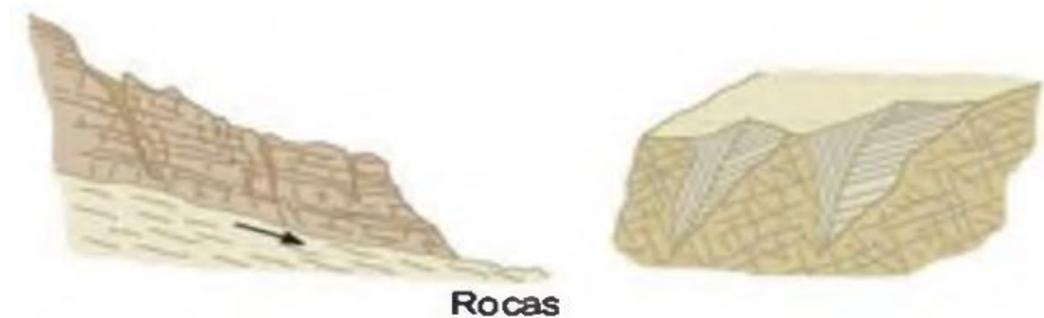
Nota. Elaboración propia.

Debido a su alta frecuencia y ocurrencia, los deslizamientos son considerados un riesgo geológico significativo (González et al., 2002).

2.1.1 Deslizamiento traslacional material granular grueso

Los deslizamientos de tipo traslacional, que ocurren en discontinuidades simples de roca, son llamados deslizamientos de bloque (Suárez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998).

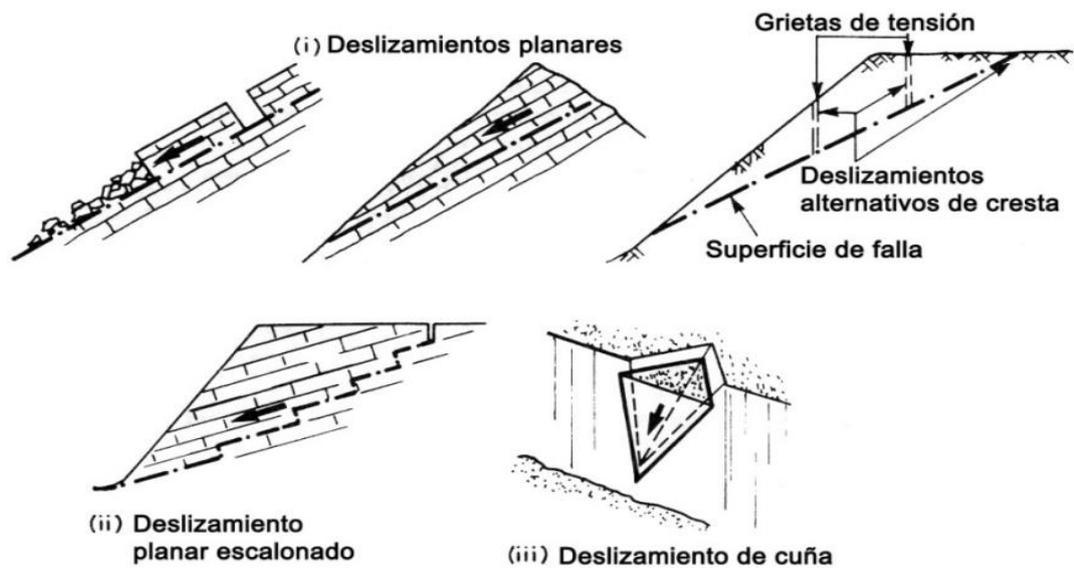
Figura 45. Deslizamiento traslacional de macizo rocoso.



Nota. Tomado de *Ingeniería geológica*, por L.I. González et al., 2002, Pearson Educación

Cuando se producen a lo largo de dos discontinuidades, se les denomina deslizamientos de cuña. Mientras que, si se presentan en múltiples niveles de una familia de discontinuidades, se les puede llamar deslizamientos escalonados (Suárez, 1998).

Figura 46. Tipos de deslizamiento de macizo rocoso.



Nota. Tomado de *Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia*, por J. Olarte, 2017,

<https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documents/Clasificacion-MM-Terrenos-Geologicos-Colombia.pdf>

Figura 47. Deslizamiento de translación.



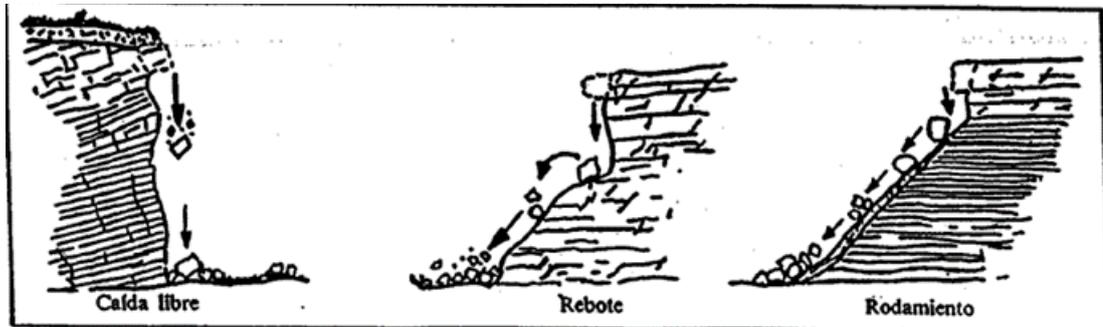
Nota. Tomado de *Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, por J. Suárez, 1998, Publicaciones UIS.

2.1.1.1 Caída de material grueso

La Secretaría de Gobernación (2006) definió las caídas o derrumbes como desplazamientos bruscos de suelo y rocas, que ocurren en áreas con pendientes y

acantilados pronunciadas y acantilados. Donde el movimiento es, ante todo, descendente y se caracteriza por el rodado, rebote y caída libre de los materiales involucrados. Esto abarca los siguientes fenómenos.

Figura 48. Trayectoria de caída o derrumbes.

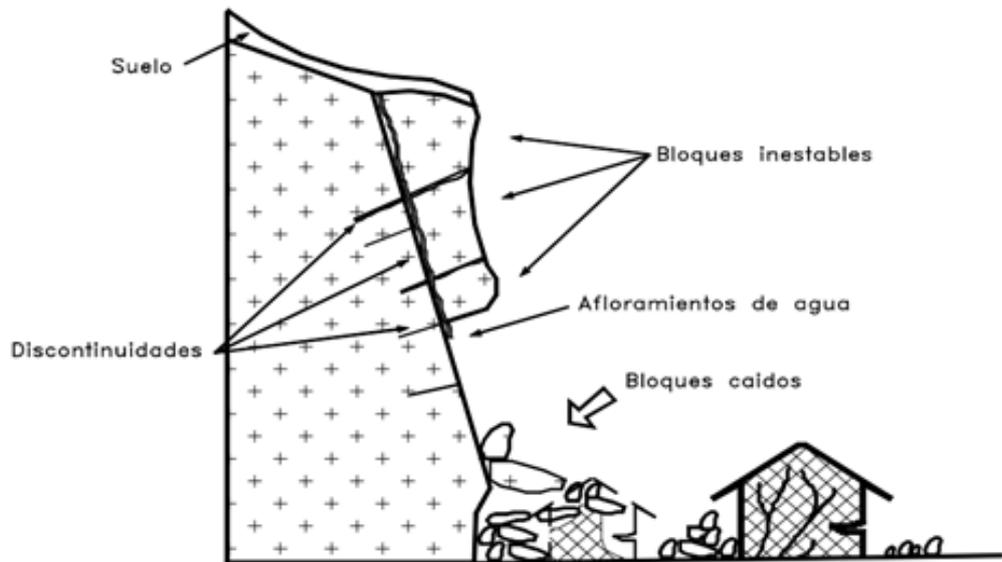


Nota. Tomado de *Manual de Taludes*, por F. Ayala y F.J. Andreu, 2006, Instituto Geológico y Minero de España [IGME].

Desprendimiento: caída del suelo debido a la erosión o de bloques rocoso, que son roturas estructurales un poco inestables.

Vuelcos o volteos: caída de bloques de roca, que giran hacia delante, afectados por discontinuidades estructurales (grietas por tensión, formaciones de diaclasas) y, además, tienden a la vertical.

Figura 49. Caídos de bloques por gravedad en roca fracturada.



Nota. Tomado de *Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, por J. Suárez, 1998, Publicaciones UIS.

Los deslizamientos de este tipo se caracterizan por el desplazamiento hacia fuera y debajo de la masa de suelos, o fragmentos de rocas a lo largo de una superficie de falla que, por lo general, es plana (Secretaría de Gobernación, 2006).

Figura 50. Deslizamiento en la vía Cuenca-Molleturo



Nota. Elaboración propia.

Por lo general, se observan en superficies de debilidad, en formaciones rocosas, como planos de estratificación, juntas y áreas con diferentes grados de desgaste o meteorización de las rocas, que presentan inclinación propicia al deslizamiento (Secretaría de Gobernación, 2006).

2.1.2 Taludes en la zona de estudio

Ahora bien, según Sánchez (2009), en su tesis para obtención de Título de Magíster, un talud es una masa de tierra que no es plana, aunque sí tiene una pendiente significativa o cambios de elevaciones. En la literatura técnica, cuando se forma una ladera artificialmente, se define como una colina, lo cual genera un proceso natural y una pendiente.

Figura 51. Taludes en zona de estudio (vía Cuenca-Molleturo).



Nota. Captura de Google Maps

Figura 52. Taludes en zona de estudio (vía Cuenca-Molleturo).



Nota. Captura de Google Maps

Figura 53. Taludes en zona de estudio (vía Cuenca-Molleturo).



Nota. Captura de Google Maps.

Las laderas que se han tenido estabilidad durante una gran cantidad de años pueden tener fallas repentinamente a causa de cambios topográficos, sismos, aguas subterráneas, modificaciones en la resistencia del suelo, agentes de la atmósfera o naturales que cambian su estabilidad (Sánchez, 2009).

2.1.3 Inestabilidad de taludes

La seguridad de un talud se ve influenciada por aspectos geométricos, como la altitud y la pendiente, junto con factores geológicos que determinan la existencia de áreas y planos vulnerables en el talud, elementos hidrogeológicos (agua) y geotécnicos, o asociados con el estado mecánico del terreno (resistencia y deformabilidad), los cuales permiten diagnosticar problemas socioambientales de la manera más precisa y un diseño adecuado para solucionar (González et al., 2002).

2.1.4 Tipos de parámetros que afectan la estabilidad de talud en el área de estudio

De acuerdo con Suárez (1998), los parámetros que pueden afectar a la estabilidad del talud son los siguientes:

Estructura y discontinuidades: en el suelo y rocas, la presencia de estratos y fracturas puede actuar como áreas de menor resistencia o como canales para el flujo de agua subterránea. Y, las características de estos elementos pueden influir en los desplazamientos del terreno.

Figura 54. Drenaje de agua en el sitio de estudio (vía Cuenca-Molleturo).



Nota. Elaboración propia.

2.1.4.1 Parámetros hidrológicos e hidrogeológicos al sitio

Las variaciones en el comportamiento de las aguas subterráneas desencadenan movimientos en los taludes, y estos eventos suelen estar vinculados, sobre todo, con las lluvias y la hidrología superficial.

2.1.4.2 Parámetros geotécnicos

Resistencia al Cortante: la resistencia al corte es la representación física del proceso de deslizamiento. Los parámetros como el ángulo de fricción y la cohesión son determinantes para el factor de seguridad contra el deslizamiento de una superficie específica en el terreno.

Permeabilidad: es una medida de la resistencia de los materiales para permitir el flujo del agua, y puede influir en el régimen de las aguas subterráneas, la concentración de corrientes, entre otros aspectos.

2.1.4.3 Parámetros ambientales y antrópicos (AL SITIO)

Reconocer las acciones humanas y los factores ambientales que alteran las condiciones naturales del talud. Tales como, excavaciones, modificaciones en los acuíferos, deforestación, erosión en las zonas y fuerzas sísmicas, que logran producir alteraciones del talud lo cual afecta su inestabilidad (González et al., 2002).

2.2 Estabilidad de taludes

En otro orden de ideas, De Matteis et al. (2003) definieron la estabilidad como la capacidad de talud rocoso para resistir el colapso o movimiento. Para determinar los criterios de estabilidad de taludes es fundamental establecer la inclinación adecuada en un corte o terraza, en un momento dado. En vista de que, en la mayoría de los casos,

la inclinación más apropiada será la que sea lo suficientemente empinada como para estabilizarse durante un periodo de tiempo sin colapsar.

Mientras que, según Suárez (1998), en el ámbito de la ingeniería, es necesario establecer la estabilidad de un talud mediante la utilización de un factor de seguridad (FS), el cual se obtiene a través de un análisis matemático de estabilidad. El modelo empleado debe considerar la amplia gama de factores que influyen una dicha estabilidad. Estos elementos considerados diversos aspectos, como la forma y estructura de talud, las propiedades geológicas, la existencia de fisuras por tensiones, las cargas dinámicas producidas por terremotos, la presencia de flujo de agua, las características del suelo y otros factores.

El coeficiente de seguridad del talud hace referencia al equilibrio estricto entre las fuerzas que ejercen en la superficie. En otras palabras, se trata del coeficiente F que se utiliza para dividir las fuerzas tangenciales resistentes (o multiplicar las fuerzas de corte desestabilizadoras), con el fin de lograr un equilibrio preciso.

$$FS = \frac{\textit{Fuerzas estabilizadoras}}{\textit{Fuerzas desestabilizadoras}}$$

O expresado en términos de tensiones

$$FS = \frac{\textit{Tensiones tangenciales resistentes}}{\textit{Tensiones tangenciales deslizantes}}$$

2.2.1 Opciones para el factor de seguridad

El ingeniero también se enfrenta a la decisión de determinar el factor de seguridad. Al tener una idea general de los factores a utilizar, para el diseño de taludes, se pueden sugerir los siguientes factores de seguridad, según Jaime Suárez en su libro “Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales”.

Tabla 6. Casos para elegir un factor de seguridad para el diseño de talud

Casos	Factor de seguridad
Si se pierden vidas humanas al fallar el talud.	1.7
En caso de que la falla dé como resultado una pérdida que exceda el 30 % de la inversión inicial de la obra o se consideren pérdidas significativas.	1.5
En caso de que puedan ocurrir pérdidas económicas de magnitud moderada.	1.3
Si la falla del talud no causa daño.	1.2

Nota. Adaptado de *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, por J. Suárez, 1998, Publicaciones UIS

2.3 Material granular grueso coluvial

Los coluviones, por lo general, compuestos por mezclas heterogéneas de suelo, fragmentos de rocas y cantos rodados de varios metros de diámetro, se ubican a lo largo de las partes bajas de los valles o en el centro de la pendiente (Suárez, 1998). Es común que el coluvión provoque derrumbes en las vías cuando las cruza o la trayectoria de esta pasa sobre coluvión en movimiento (Suárez, 1998). Interpretando el concepto del autor Suárez (1998), “Los suelos coluviales o coluviones son depósitos de ladera, producto de desprendimientos o deslizamiento de roca o suelo y son materiales bastante susceptibles a los deslizamientos”. (p. 23)

Figura 55. *Presencia de cantos rodados en el sitio de estudio.*



Nota. Elaboración propia.

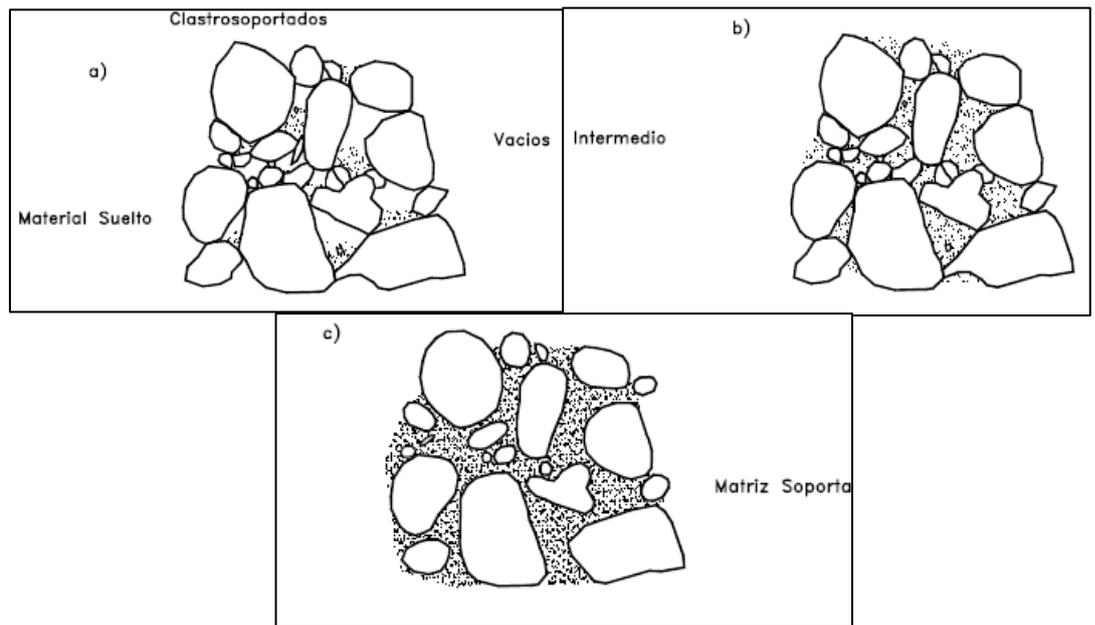
2.3.1 Inestabilidad de los coluviones

El daño causado por el coluvión en las zonas montañosas de los Andes es significativo, y la mayoría de los grandes deslizamientos de tierra en las carreteras de las zonas montañosas están relacionados con los coluviones (Suárez, 1998). Basado en las indicaciones de Suárez (1998), los asentamientos en el coluvión, con frecuencia, tienen lugar en la etapa que existe un deslizamiento traslacional.

2.3.1.1 Características que afectan la estabilidad de los coluviones

Tipo de material de suelo: el tipo, gradación y propiedades de los suelos influyen en su comportamiento con respecto a sus propiedades hidrológicas y mineralógicas, lo que permite el control de la resistencia al corte (Suárez, 1998).

Figura 56. Clasificación de coluviones por la estructura de soporte.



Nota. Tomado de *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, por J. Suárez, 1998, Publicaciones UIS

Los coluviones clastro soportados son mucho más firmes que los matriz-soportados (Suárez, 1998).

Permeabilidad: el coluvión, aunque poroso, tiende a ser mucho más permeable y fluye mucho más fácil cuando llueve (Suárez, 1998).

Geomorfología: incluye sus características físicas, telúricas, pendiente y forma de los coluviones (Suárez, 1998).

Superficies de cortante: el lento movimiento de arrastre del coluvión conduce a la alineación de los granos minerales, y a la formación de muchas superficies microscópicas de cizallamiento. Estas reducen significativamente la resistencia al corte de los materiales coluviales (Suárez, 1998).

Superficie de base: Dietrich, como se citó en Suárez (1998), consideró que la superficie de base del coluvión puede ser una roca que forma un plano de

estratificación uniforme o una superficie irregular con canales internos. Los canales en la base del coluvión afectan de primera mano la estabilidad.

Espesor: la velocidad de los movimientos en el coluvión depende de su espesor. El coluvión grueso, en general, produce deslizamientos de tierra un tanto lentos y profundos; mientras que, el coluvión delgado produce deslizamientos de tierra más rápidos y menos profundos (Suárez, 1998).

Hidrogeología: las fuertes lluvias son uno de los desencadenantes más comunes de deslizarse en el coluvio (Suárez, 1998).

Sismicidad: la sismicidad es un factor importante en la activación de muchos tipos de incubados, en especial, en coluvio (Suárez, 1998).

Figura 57. *Los coluviones son bastante susceptibles a deslizarse – Vía Cuenca-Molleturo.*



Nota. Elaboración propia.

2.4 Túneles falsos

Cuando se enfrenta al riesgo de desprendimiento de rocas en taludes con pendientes pronunciados, se puede considerar la implementación de cubiertas de protección o túneles falsos. Estos son estructuras hechas de concreto armado o materiales metálicos, con un relleno para reducir el impacto de los bloques rocosos. También, pueden tener una inclinación específica para permitir el paso de caídas, flujos y avalanchas por encima de estas (Suárez, 2012).

Figura 58. *Túneles falsos en las secciones de la vía férreas, protegiendo de los derrumbes de roca en Pitquah, Columbia Británica, Canadá.*



Nota. Tomado de *Fotografía de John Carter*, por BVPAD, s.f., <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2665/doc2665-contenido.pdf>

Figura 59. Falso túnel en la zona Montagnard, Francia.



Nota. Tomado de *Fotografía de Dave Giles*, por Engineering Geology Consultancy Group de la Universidad de Portsmouth, por s.f., <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2665/doc2665-contenido.pdf>

Figura 60. Falso túnel en la ciudad del Cabo, Sudáfrica.

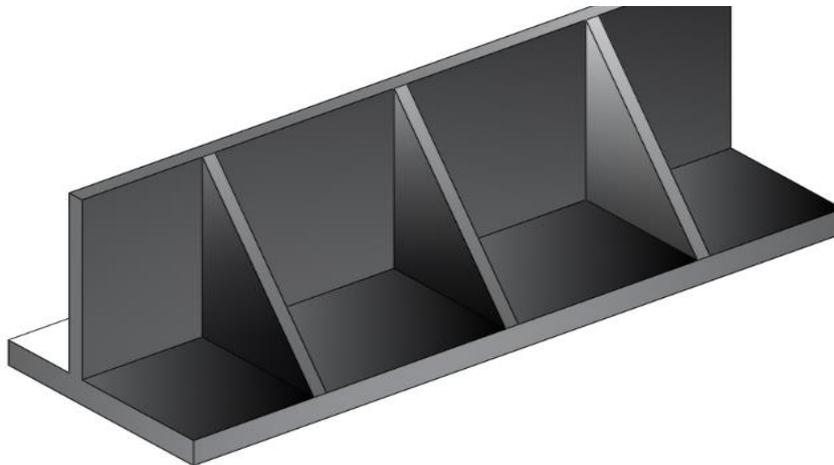


Nota. Tomado de *Picture of the day*, por Wikimedia Commons, s.f., <https://commons.wikimedia.org/>

2.5 Muro con contrafuertes

Los muros con contrafuertes son sistemas de retención semi gravitacionales, contruidos utilizando hormigón armado, que surgieron como una progresión de los muros de voladizo. Estos respetan el principio de las estructuras de contención, donde la combinación del peso del muro y la carga del material de relleno genera una fuerza de presiones laterales (Torres, 2016).

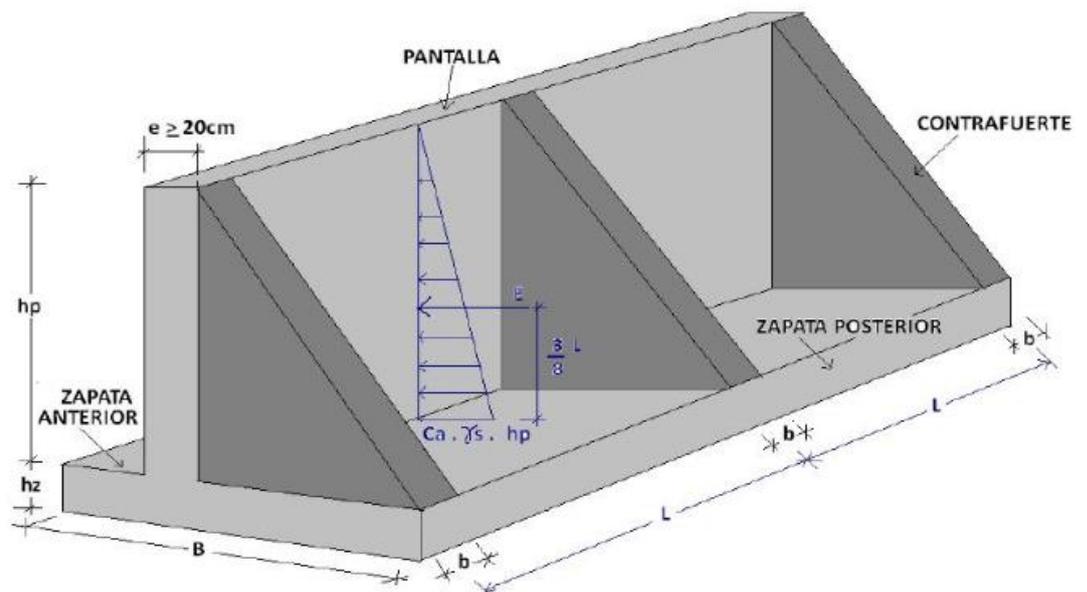
Figura 61. *Esquema de muro con contrafuerte.*



Nota. Tomado del foro – “Estructurando”.

El objetivo de los muros con contrafuerte en este proyecto es que sea un aporte para disminuir las fuerzas de corte y flexión. Un muro con contrafuerte presenta una losa plana en orientación vertical, sostenida en sus extremos por las estructuras denominadas contrafuerte y por la base de cimentación del muro (Torres, 2016).

Figura 62. Esquema de partes de un muro con contrafuerte.



Nota. Tomado de la página web – “UDocz”.

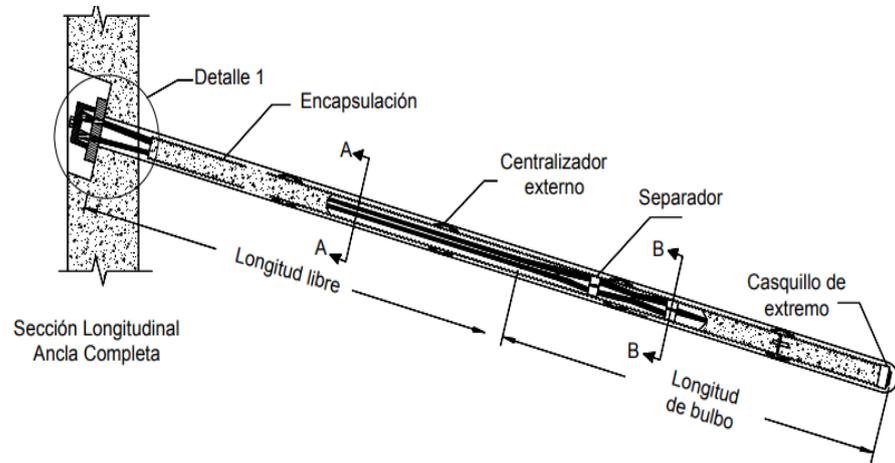
El muro con contrafuerte está conformado por una losa exterior de un reducido espesor, comúnmente en posición vertical, respaldada en intervalos de caras internas, en forma de estructuras de contrafuerte que intersecan la losa exterior en ángulos perpendiculares. Tanto la lámina exterior como los elementos de soporte se encuentran enlazados a la losa base, y el área entre la base y los soportes se rellena con material terroso (Zavala, 2017).

2.6 Tirantes postensados

Implica la introducción de una serie de acero anclado en el interior de un macizo rocoso. Estos anclajes emplean con frecuencia cables de acero, los cuales se introducen en aberturas antes perforadas e inyectadas, siendo, después, sometidos a tensión mediante un gato hidráulico en la superficie. Este proceso de tensado genera fuerzas de compresión, que incrementa la resistencia y neutralizan las influencias de fuerzas o cargas, las cuales podría causar inestabilidad en el macizo rocoso. Los

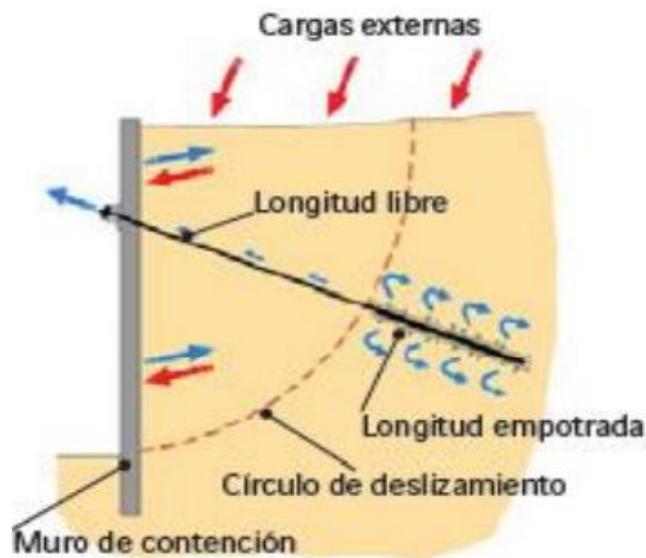
anclajes bajo tensión evitan el movimiento del macizo rocoso a lo largo de las fracturas (Suárez, 2012).

Figura 63. Partes de un tirante – Sección transversal.



Nota. Tomado de *Técnicas de remediación*, por J. Suárez, 2012, <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-ii-tecnicas-de-remediacion/>

Figura 64. Esquema de fuerzas internas actuando en el tirante.



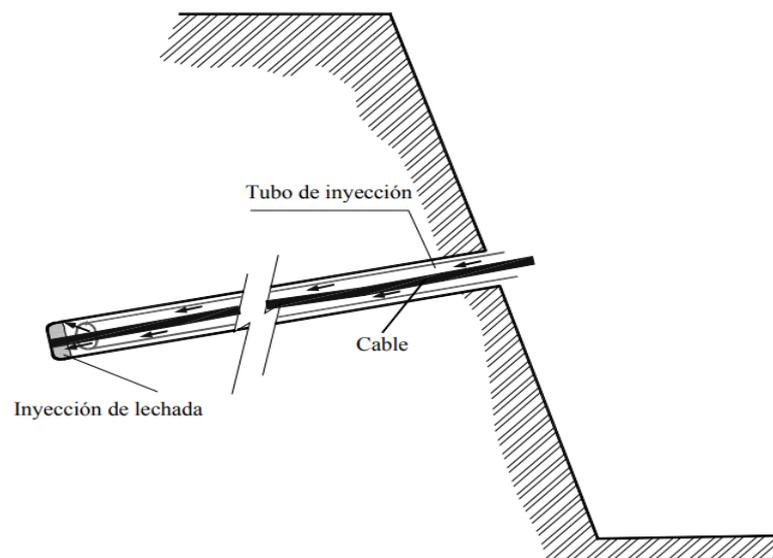
Nota. Tomado de *Proyecto de estabilización de talud mediante el uso de pantalla atirantada con anclajes activos tipo barra en el sector Santa Ana (abscisa 0+060 a 0+100)*, por E. Teran, 2020, <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18950>

2.7 Inyecciones de lechada de cemento en laderas

Se define como lechada a un material maleable compuesto de cemento, que brindan soluciones químicas y otros al momento de ser inyectado en un macizo rocoso, que aporta un cambio a las características físicas. El principal propósito de la lechada de cemento hidráulico es brindar una alteración a las propiedades del suelo que se desea inyectar.

Así pues, Ramírez y Monge (2004) definieron la técnica de inyección, la cual se utiliza para fortalecer los macizos rocosos, ante todo, cuando se presenta una fractura favorable. Consiste en realizar perforaciones para introducir un producto específico, como puede ser la lechada de cemento, que sea adaptado al tipo de terreno. Con el objetivo de reducir su permeabilidad y aumentar su cohesión y fricción. Esto proporciona una mayor estabilidad al talud.

Figura 65. *Inyección de lechada.*



Nota. Tomado de *Mecánica de rocas*, por P. Ramírez y L. Monge, 2004, https://oa.upm.es/14183/2/MECANICA_DE_ROCAS_2.pdf

Para Carchipulla (2023), la inyección de una mezcla de cemento implica bombearla a través de tuberías flexibles. En todos los casos, se recomienda realizar la

inyección desde la parte inferior hacia la superior (desde abajo hacia arriba). De esta manera, se considera que la inyección se ha completado cuando la lechada de cemento sale por la abertura de perforación durante al menos un minuto.

2.7.1 Inyecciones de lechada de consolidación e impermeabilización

La técnica de consolidación mediante inyección se trata de reforzar el terreno rocoso usando una mezcla lechada de cemento para llenar grietas y fisuras. Esta acción tiene como objetivo hacer que la roca sea más fuerte (Rico, 2019). Así, se logra reducir la fuerza de corte que genera el macizo rocoso. La técnica de impermeabilización mediante inyección genera una disminución de la capacidad de paso, lo cual puede resultar esencial para reducir las velocidades de filtrado a lo largo de fisuras en la roca, evitando las modificaciones de direcciones o senderos de flujo (Rico, 2019).

Figura 66. *Inyecciones de consolidación e impermeabilización.*



Nota. Tomado de la página web – Edires.

Así se genera una protección a la corrosión para los elementos estructurales.

2.7.2 Sistema de mezclado para lechada

Las mezclas de lechadas son elaboradas en batidoras o mezcladoras, que, en general, consiste en cemento, agua y posiblemente adictivos u otros materiales. De esta manera, se asegura una mezcla homogénea y de alta calidad, donde el lento movimiento de las aspas o paletas previene la formación de burbujas de aire (Cimenter, 2016).

Figura 67. Mezcladora de lechada.



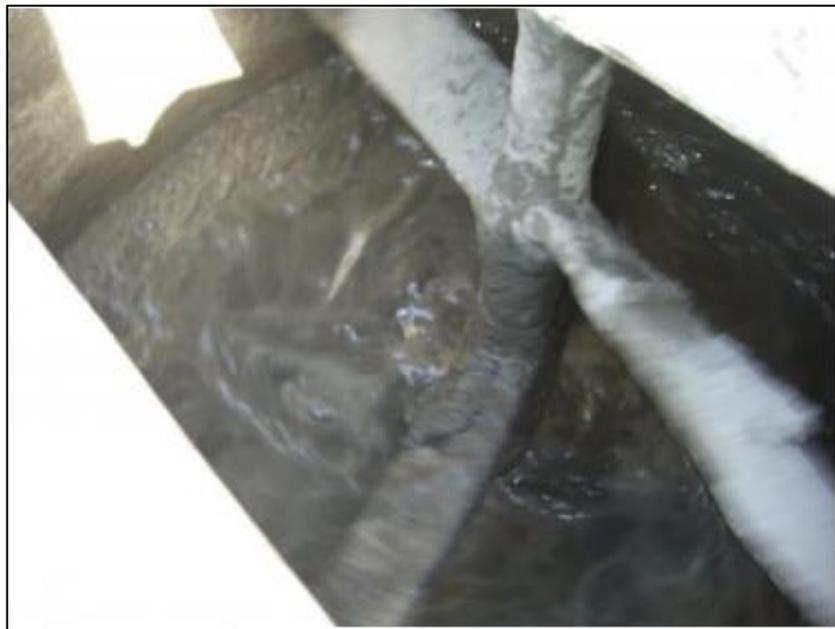
Nota. Tomado de *Inyección de anclajes*, por Anclajes y Perforaciones, s.f., <https://www.anclajesyperforaciones.co/inyecci%C3%B3n-de-anclajes>

Figura 68. Mezcladora de lechada en otra versión.



Nota. Tomado de *Mezclador Coloidal De Lechada*, por Promotora Berma, s.f., <https://promotoraberma.com/mezclador-coloidal-de-lechada/>

Figura 69. Paletas de la mezcladora de lechada.



Nota. Tomado de *Cimentaciones Especiales*, por Cimentar, 2016, <https://cimentar.es/lechada-de-cemento>

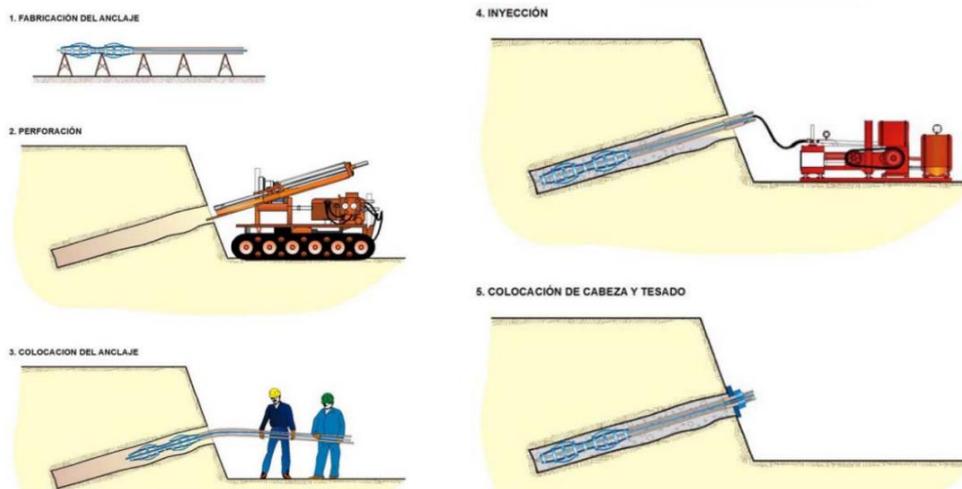
2.8 Pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con anclajes postensados

En primer lugar, Carchipulla (2023) propuso solucionar taludes inestables en el cerro San Eduardo así: una pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con anclajes postensados para prevenir deslizamientos. Es más viable que otros métodos, como el muro de gaviones y de contención por gravedad, gracias a su resistencia a terremotos y colapsos potenciales, debido a la ubicación inestable en la zona superior del cerro; así como los efectos de meteorización y lluvias.

La metodología de ejecución incluye limpieza y desmonte de talud para la instalación de la mezcladora, preparar los materiales de lechada, perforación de acuerdo con la clase de roca, instalación de crucetas prefabricadas y postensadas. La perforación se realiza con diferentes técnicas según la dureza de la roca, y se recomienda un ángulo de inclinación no menor a 10° respecto a la horizontal.

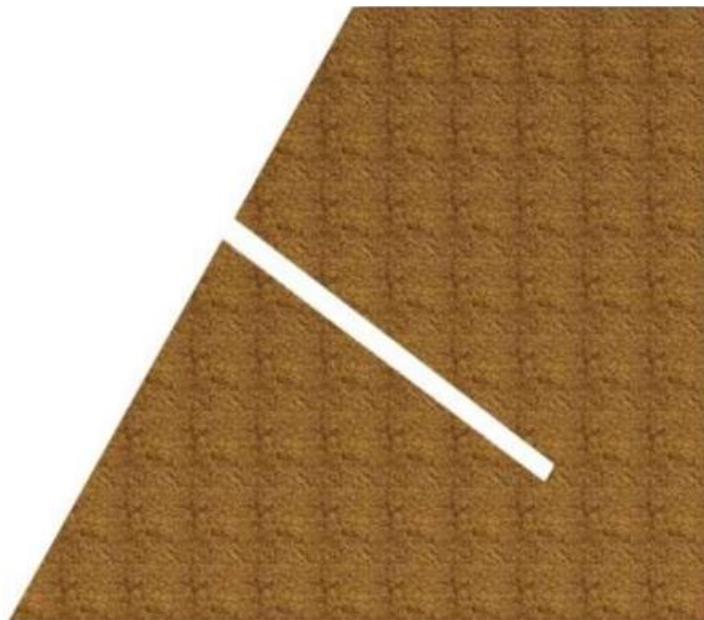
De ahí que, la inyección de la lechada de cemento se efectúa de abajo hacia arriba, permitiendo que fragüe hasta alcanzar máxima resistencia a los 28 días. El proceso constructivo comienza con la ubicación de la mezcladora en la parte superior del cerro, cerca de las perforaciones, para facilitar el sistema de inyección por gravedad. Garantizando una distribución óptima de la lechada mediante un sistema de bombeo calibrado.

Figura 70. *Proceso de anclaje postensado.*



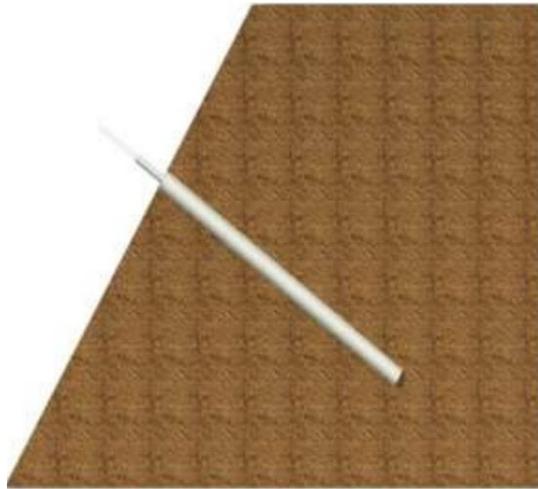
Nota. Tomado de *Anclajes y bulones*, por T. Murillo y L. Abad, 2010, <http://www.urielysociados.es/img/formacion/ANCLAJES%20Y%20BULONES%20OPPT.pdf>

Figura 71. *Perforación de terreno.*



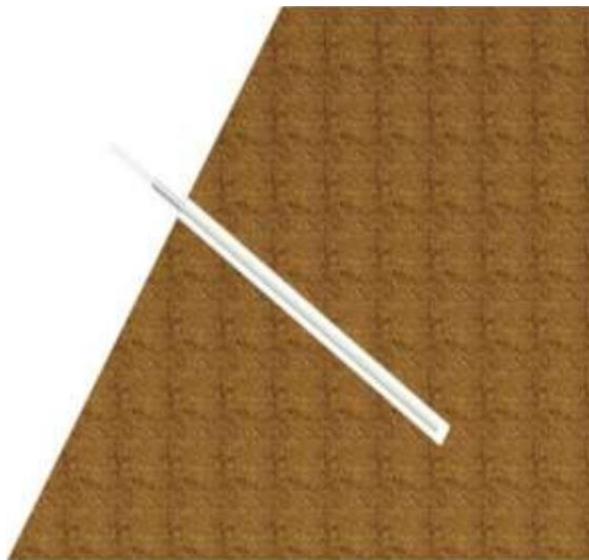
Nota. Tomado de “*Pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con Anclajes Postensados para el tratamiento de taludes inestables*”, por M. Carchipulla, 2023, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/20808>

Figura 72. *Introducción de anclaje.*



Nota. Tomado de “*Pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con Anclajes Postensados para el tratamiento de taludes inestables*”, por M. Carchipulla, 2023, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/20808>

Figura 73. *Introducción de anclaje.*



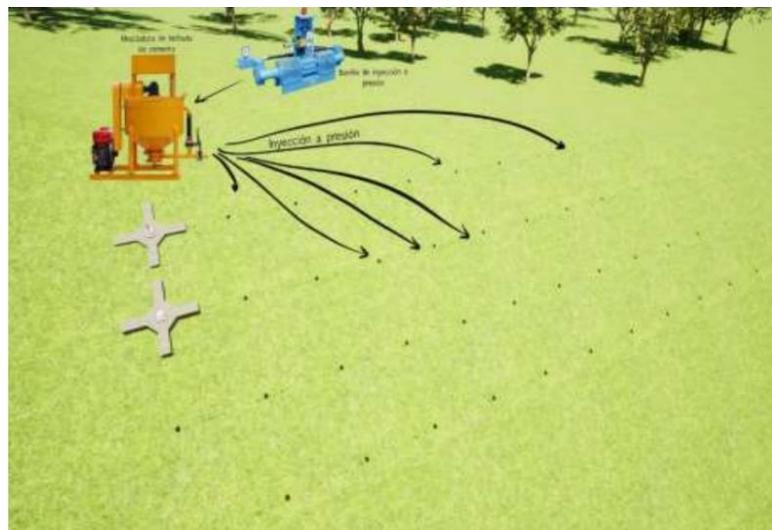
Nota. Tomado de “*Pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con Anclajes Postensados para el tratamiento de taludes inestables*”, por M. Carchipulla, 2023, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/20808>

Figura 74. Perforaciones llevadas a cabo en las zonas de anclaje.



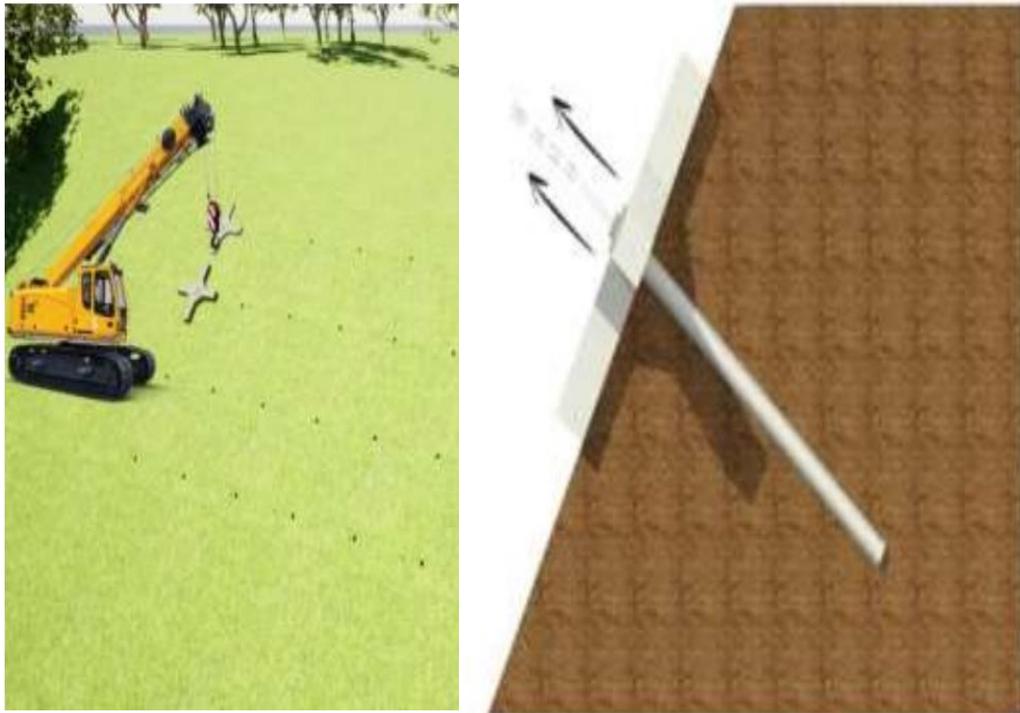
Nota. Tomado de “*Pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con Anclajes Postensados para el tratamiento de taludes inestables*”, por M. Carchipulla, 2023, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/20808>

Figura 75. Ubicación e instalación de bomba de inyección y mezcladora



Nota. Tomado de “*Pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con Anclajes Postensados para el tratamiento de taludes inestables*”, por M. Carchipulla, 2023, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/20808>

Figura 76. Colocación de crucetas prefabricadas con grúa y postensado de sistema de anclaje.



Nota. Tomado de “*Pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con Anclajes Postensados para el tratamiento de taludes inestables*”, por M. Carchipulla, 2023, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/20808>

Figura 77. Esquema de pantalla reticulada de crucetas de hormigón armado prefabricado y postensado (zona cerro San Eduardo-Túnel)



Nota. Tomado de “*Pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con Anclajes Postensados para el tratamiento de taludes inestables*”, por M. Carchipulla, 2023, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/20808>

CAPÍTULO III.

3 PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES INESTABLES

3.1 Propuesta de dos falsos túneles atirantado

Para los coluvios inestables, entre las abscisas 82+500 a la 84+500, es importante el estudio geológico, geotécnico y geomorfológico, porque puede influir en la estabilidad de los taludes y puede ser un factor de riesgo de deslizamientos y erosión. Comprender la formación y las propiedades del coluvión ayuda a evaluar los peligros geológicos asociados y tomar medidas para mitigarlos. Las obras de estabilización ejecutas por el Estado serán respetadas y utilizadas como complemento para la propuesta. Dichas obras son muros con los dados de anclaje, sistema de drenajes, taludes y cunetas.

Figura 78. *Muros de contención con dados de protección para los anclajes. Obra realizada por el Estado.*



Nota. Elaboración propia.

Figura 79. Muro de contención. Obsérvese los dados de protección a los anclajes y cunetas. Obra realiza por el Estado.



Nota. Elaboración fuente.

Figura 80. Sistema de drenaje de los muros de contención. Obra realizada por el Estado.



Nota. Elaboración propia

Figura 81. Taludes inestables en el sitio de estudio. Obras realizadas por el Estado.



Nota. Elaboración propia.

La nueva propuesta de estabilización de los autores de la presente investigación busca reducir deslizamientos en la vía Cuenca-Molleturo y considerar el aumento de velocidad, debido a que se piensa que, al reducir la velocidad, se evitarán los deslizamientos no previstos. Esta propuesta prioriza la seguridad de los conductores al contener deslizamientos, y permitir la funcionalidad segura de la vía, incluso, en caso de caída de lecho rocoso.

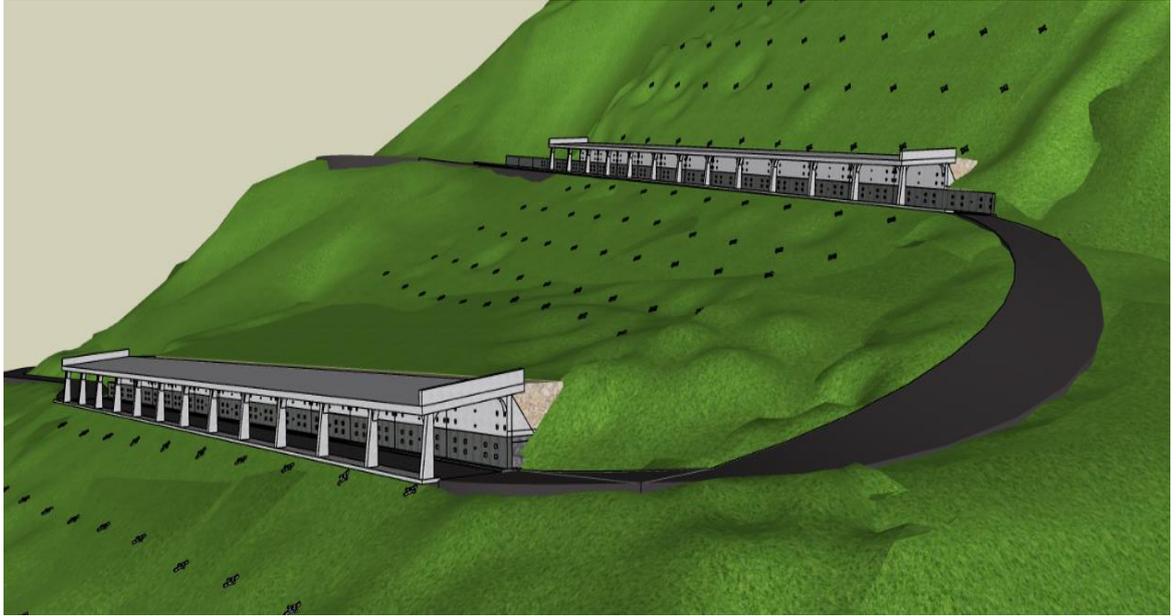
Figura 82. Límite de velocidad máxima (30 km/h) en la zona inestable de estudio.



Nota. Elaboración propia.

3.1.1 Falsos túneles para contención de laderas y protección de caídos

Figura 83. Vista general de los falsos túneles propuesto por los autores para la zona de estudio en la vía Cuenca-Molleturo.



Nota. Elaboración propia.

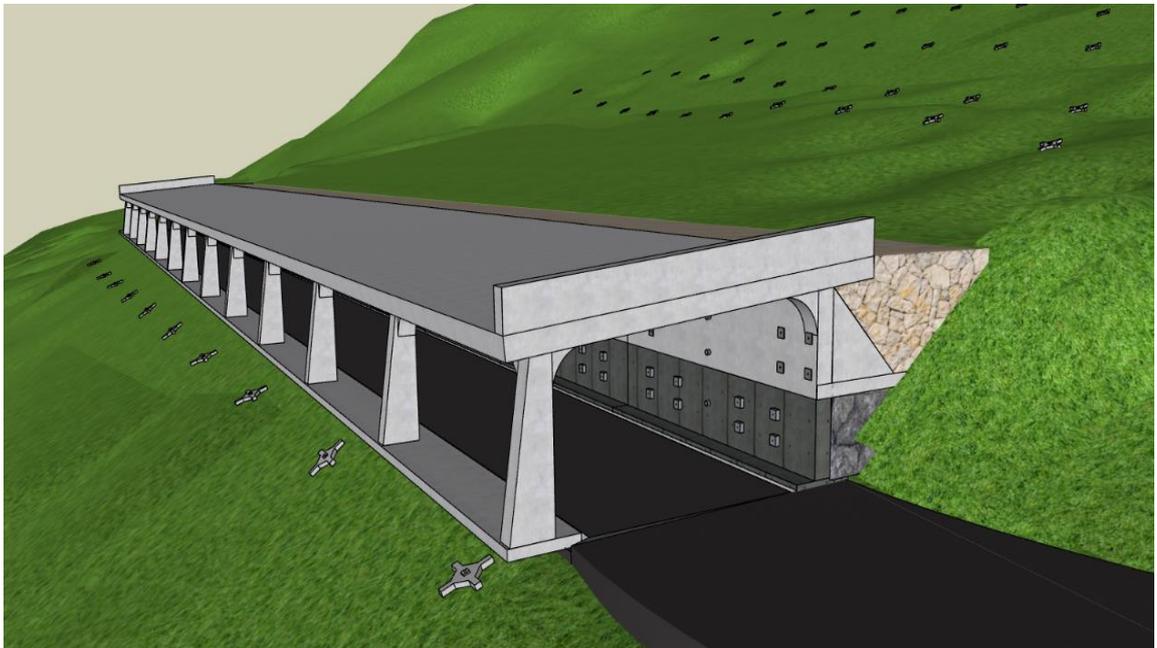
Figura 84. Vista de la longitud de los falsos túneles en el sitio de estudio, en la vía Cuenca-Molleturo.



Nota. Elaboración propia.

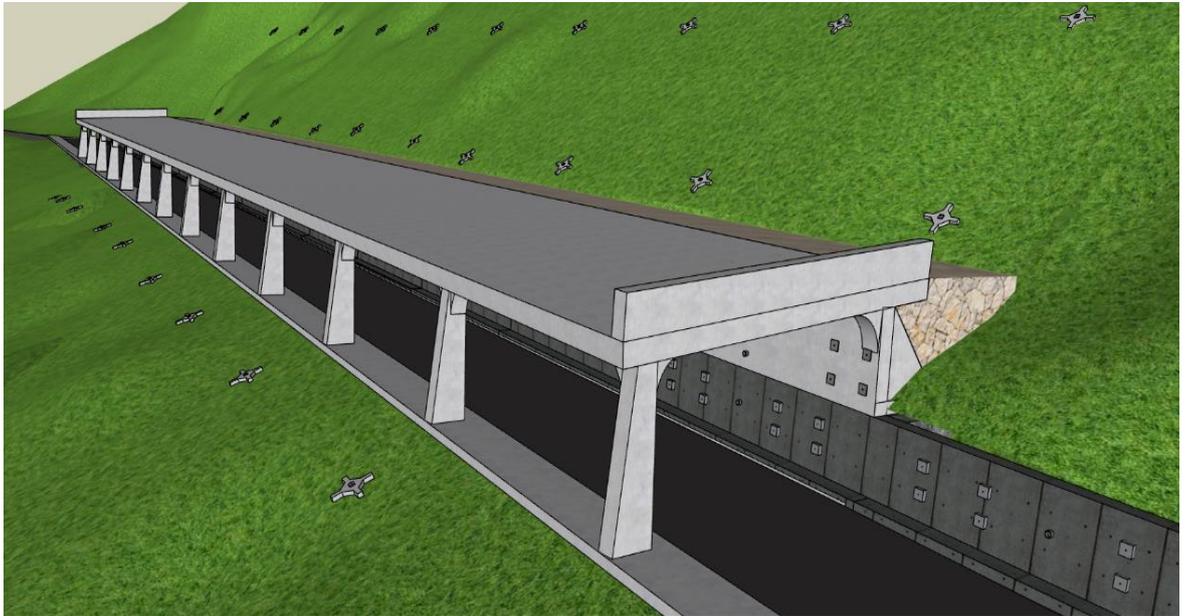
En las figuras 83 y 84. Se observa la propuesta de dos falsos túneles, planteados por los autores, que aprovechan los muros de contención construidos por el Estado. Los mismos que poseen un techo bóvedas inclinados para facilitar el tránsito de caídos de rocas sobre los mismos. El diseño de los falsos túneles incluye amplias zonas de ventilación y protección para la caída de rocas sobre la vía asfaltada. Se incluyen como obras complementarias, un sistema de pantalla reticular prefabricada y con anclajes postensada.

Figura 85. Vista del sistema estructural a porticado de los falso túneles. Se observa el relleno importado junto al muro de contención. Falso túnel inferior.



Nota. Elaboración propia.

Figura 86. Vista del sistema estructural a porticado de los falso túneles. Se observa el relleno importado junto al muro de contención. Falso túnel superior.



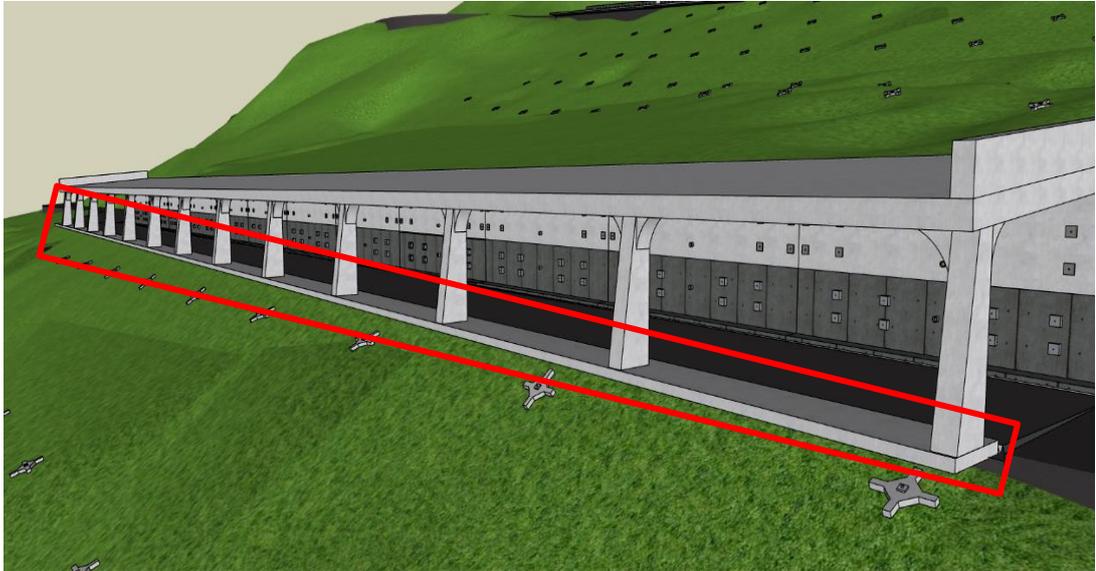
Nota. Elaboración propia.

Figura 87. Viste del interior del falso túnel. Obsérvese como se aprovecha el muro existente, el sistema de drenaje y la propia vía, en la zona de estudio (vía Cuenca-Molleturo).



Nota. Elaboración propia.

Figura 88. El falso túnel propuesto por los autores se apoyará en una zapata corrida, ubicada del lado de las columnas. Se asientan sobre el muro existente construido por el MTOP. Falso túnel inferior.



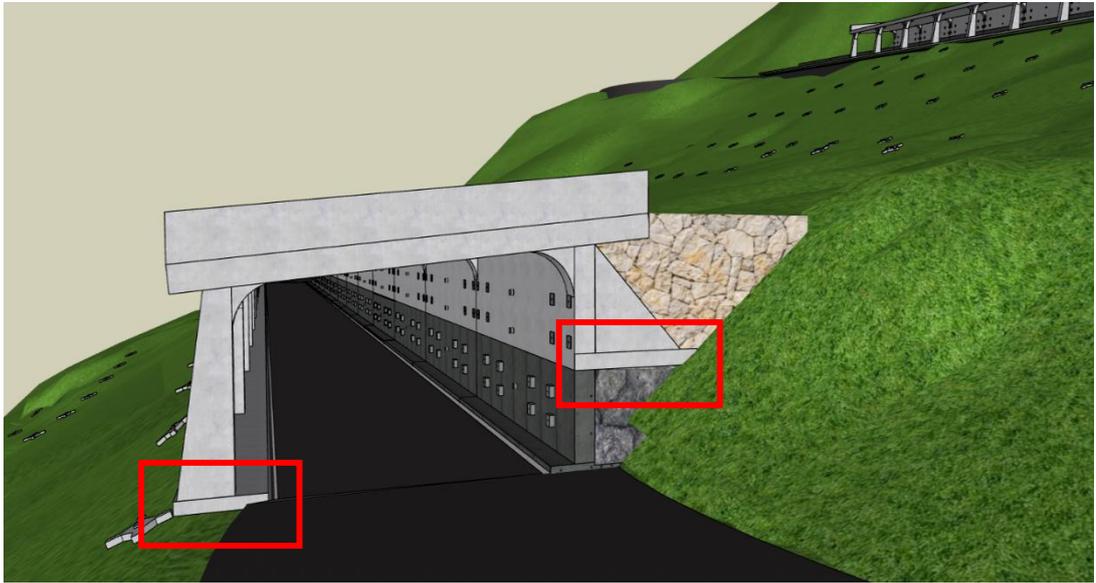
Nota. Elaboración propia.

Figura 89. El falso túnel propuesto por los autores se apoyará en una zapata corrida, ubicada del lado de las columnas. Se asientan sobre el muro existente construido por el MTOP. Falso túnel superior.



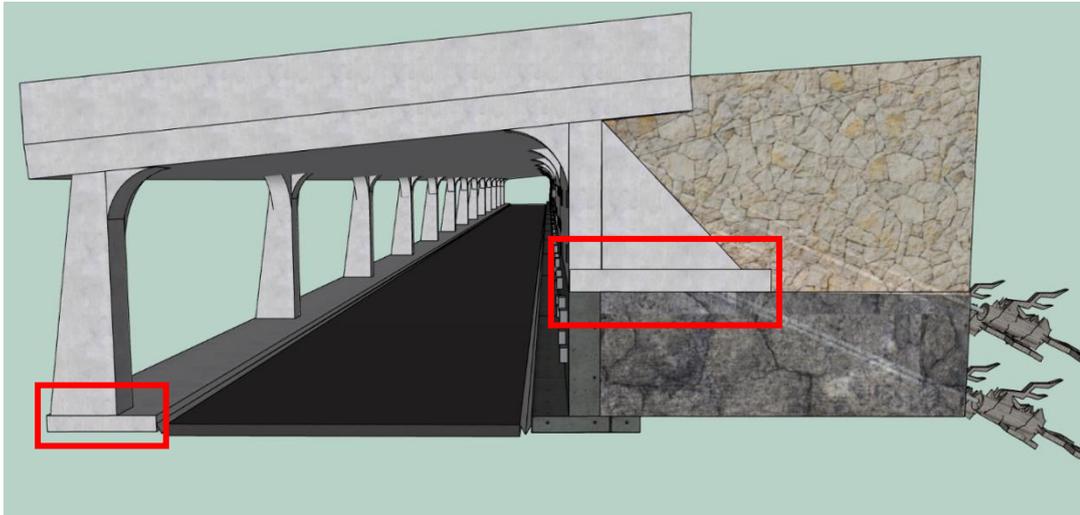
Nota. Elaboración propia.

Figura 90. Vista de la salida del falso túnel. Se observa las zapatas corridas de las columnas y del muro con contrafuerte.



Nota. Elaboración propia.

Figura 91. Vista lateral del falso túnel, donde se observa las zapatas corridas de las columnas y del muro con contrafuerte. Se observa además la propuesta de tirantes postensado junto a los contrafuertes.



Nota Elaboración propia.

3.1.2 Geometría de la cubierta de los falsos túneles para protección de caídos

Figura 92. Vista general de las cubiertas de los falsos túneles, ubicados en la zona de estudio de la vía Cuenca-Molleturo.



Nota. Elaboración propia.

Figura 93. Geometría de cubierta con grado de inclinación suficiente, para el control de caídos de rocas. Este provocará la continuidad del movimiento del material que cae por las laderas hacia la vía (parte superior de la vía Cuenca-Molleturo).



Nota. Elaboración propia.

Figura 94. Vista superior de la geometría de la cubierta sobre el techo bóveda y el relleno importado junto al muro de contención. Falso túnel superior.



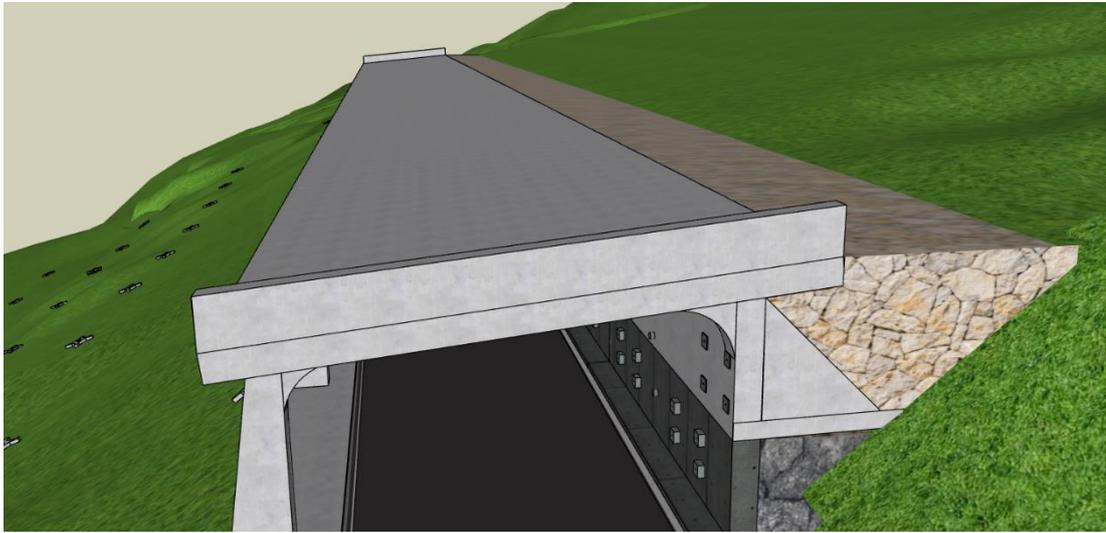
Nota. Elaboración propia.

Figura 95. Vista superior de la geometría de la cubierta sobre el techo bóveda y el relleno importado junto al muro de contención. Falso túnel inferior.



Nota. Elaboración propia.

Figura 96. Vista superior de la geometría de la cubierta sobre el techo bóveda y el relleno importado junto al muro de contención. Falso túnel inferior.



Nota. Elaboración propia.

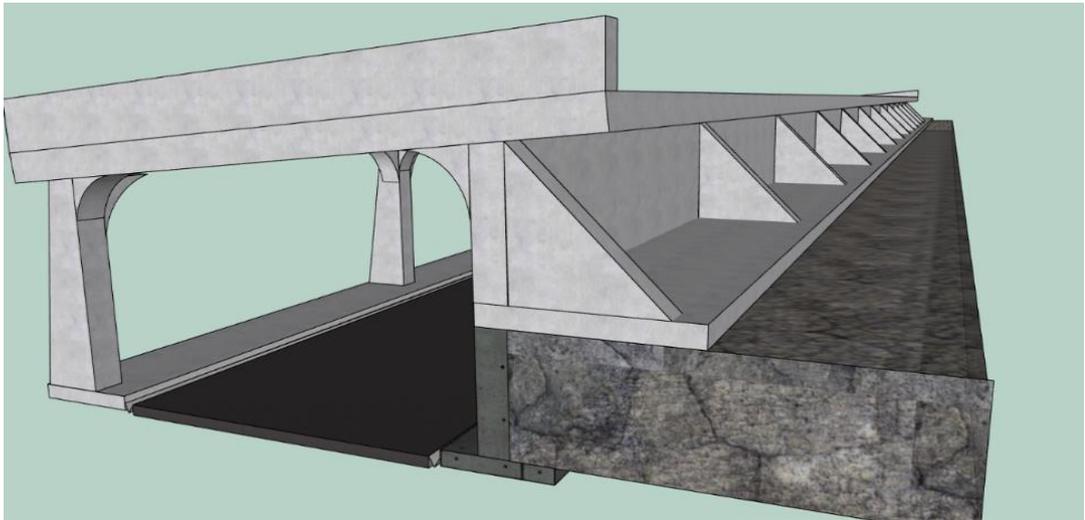
Figura 97. La cubierta tiene un muro que brinda protección en la entrada y salida del falso túnel.



Nota. Elaboración propia.

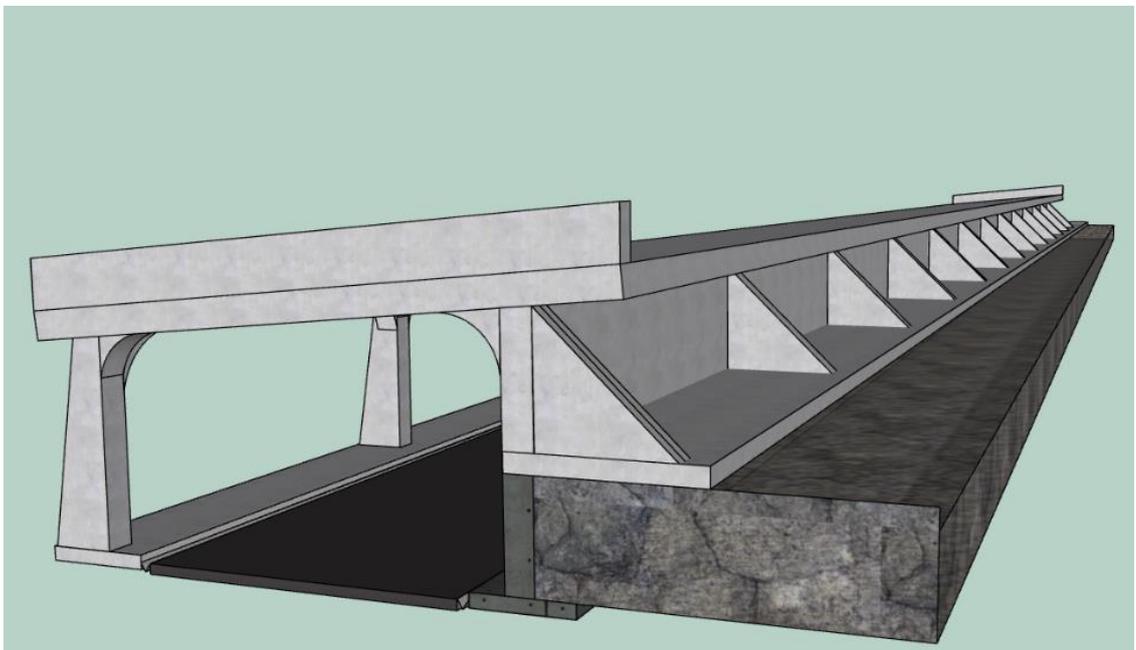
3.1.3 *Contrafuertes como sistema de refuerzo en los muros de contención de laderas*

Figura 98. *Sistema de muro con contrafuerte. Este elemento estará apoyado con una zapata corrida sobre en el muro construido por el MTOP.*



Nota. Elaboración propia.

Figura 99. *Muro con contrafuerte de refuerzo, junto al falso túnel.*



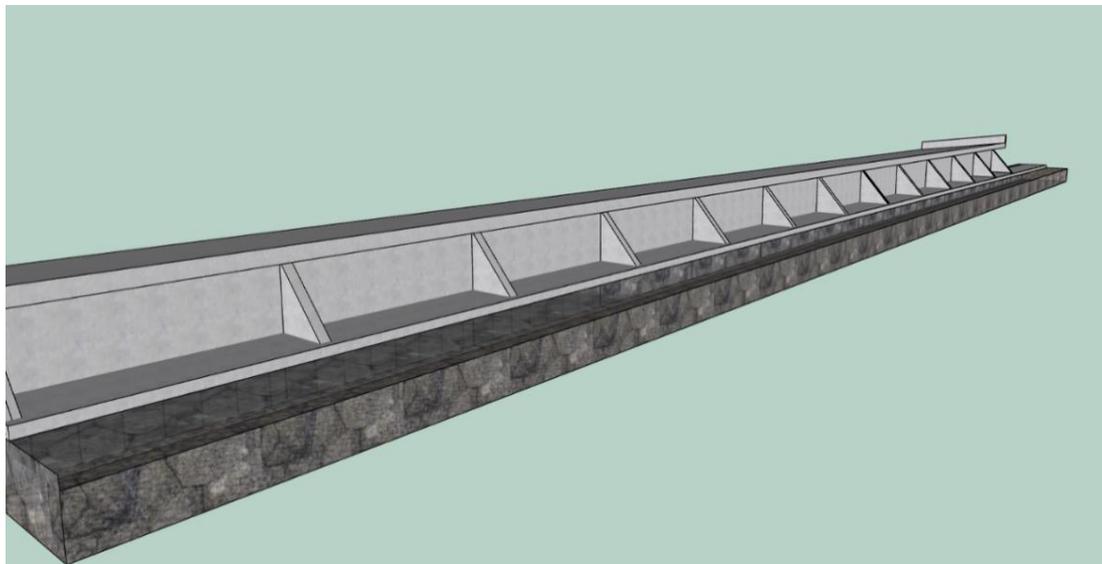
Nota. Elaboración propia

Figura 100. *Detalle de los contrafuertes que refuerzan el muro que se apoya en muro y la zapata corrida.*



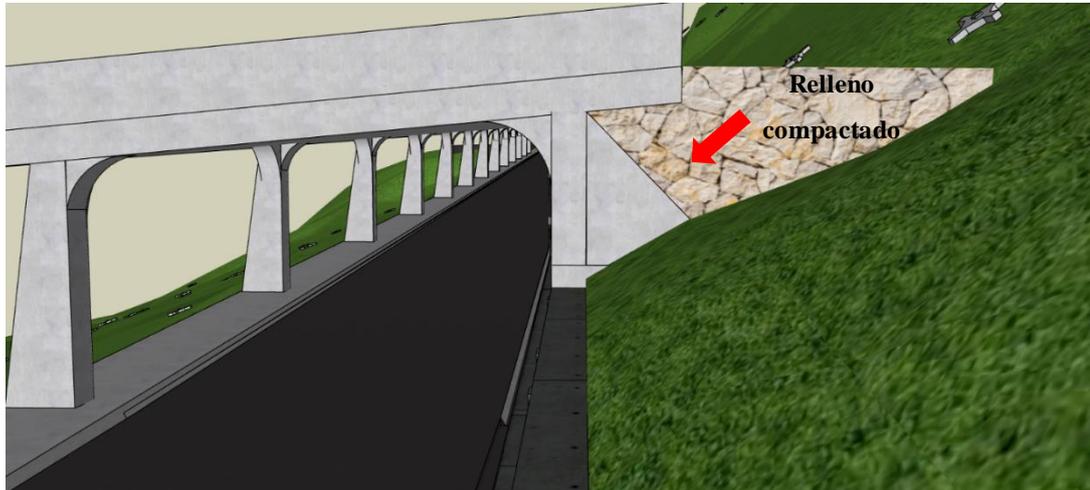
Nota. Elaboración propia.

Figura 101. *Vista lateral del sistema de contrafuerte a lo largo del falso túnel.*



Nota. Elaboración propia.

Figura 102. Relleno importado junto a los contrafuertes y sobre la zapata corrida, para darle continuidad a la trayectoria del material rocoso que cae desde las laderas. Así como también para incrementar la seguridad al vuelco de la estructura y deslizamientos de ladera, en la zona de estudio. Falso túnel superior.



Nota. Elaboración propia.

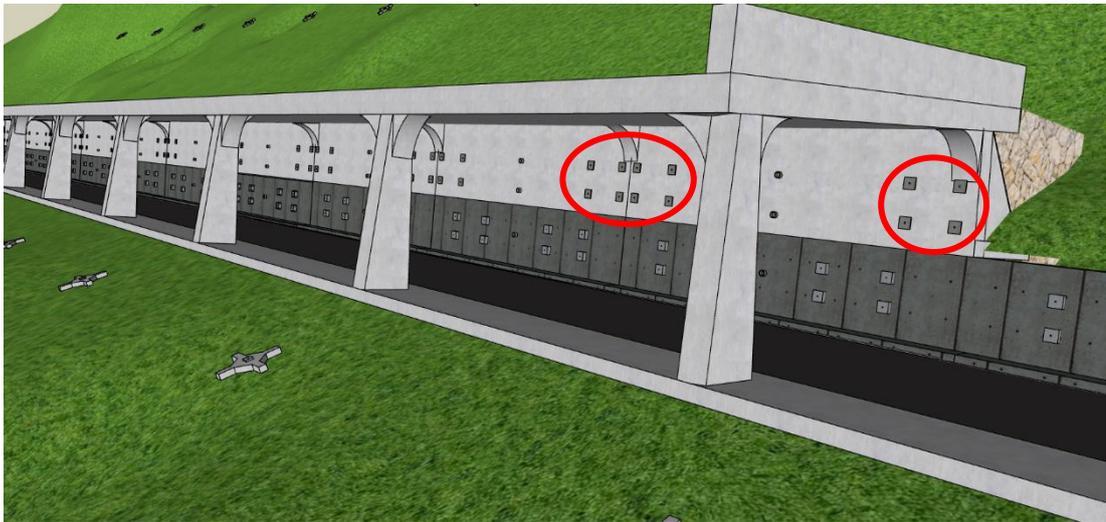
Figura 103. Relleno importado junto a los contrafuertes y sobre la zapata corrida, para darle continuidad a la trayectoria del material rocoso que cae desde las laderas. Así como también para incrementar la seguridad al vuelco de la estructura y deslizamientos de ladera, en la zona de estudio. Falso túnel inferior.



Nota. Elaboración propia.

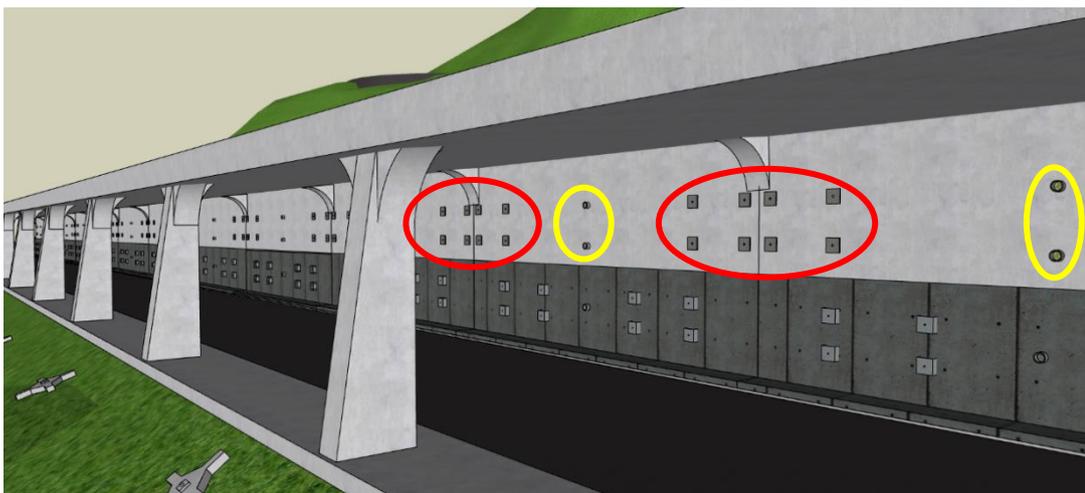
3.1.4 Tirantes postensados como sistema de refuerzo en muro de contención de laderas

Figura 104. Cabezas de los anclajes para los tirantes postensados desde el interior del falso túnel.



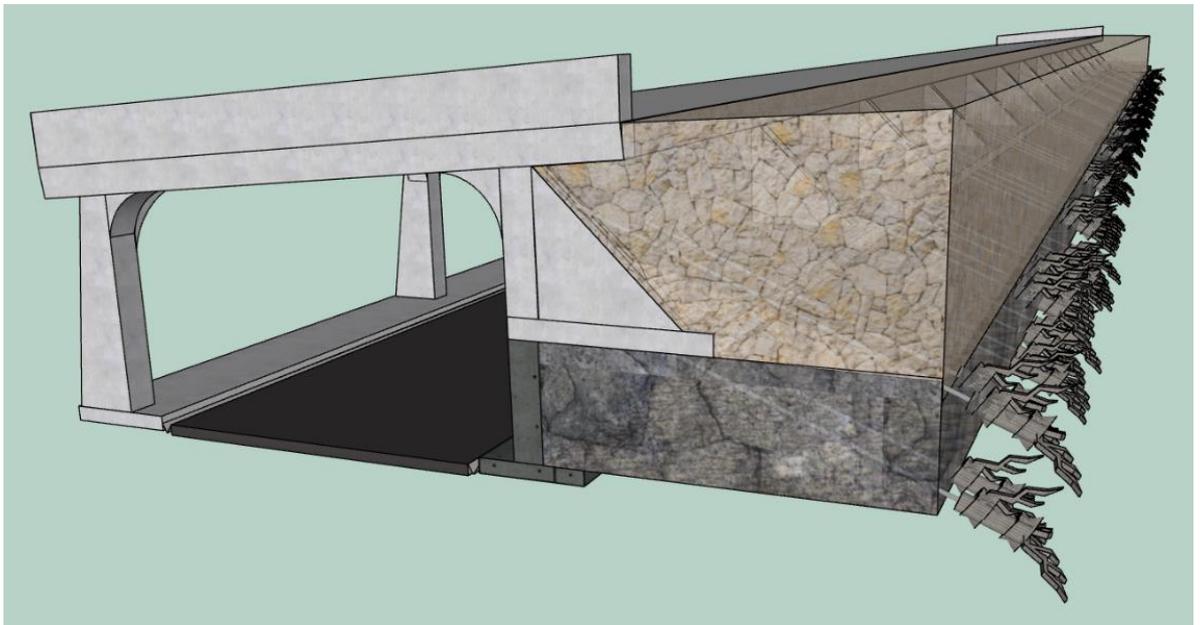
Nota. Elaboración propia.

Figura 105. Cabezas de los anclajes para los tirantes postensados desde el interior del falso túnel.



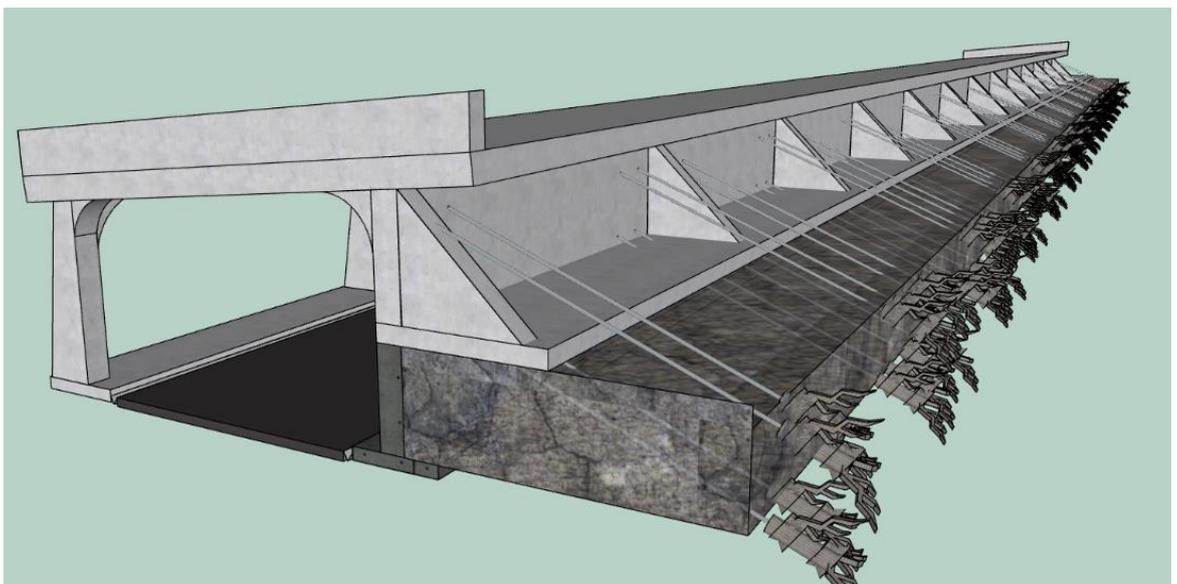
Nota. Elaboración propia.

Figura 106. *Vista en corte de la dirección y ubicación de los tirantes postensados para el falso túnel.*



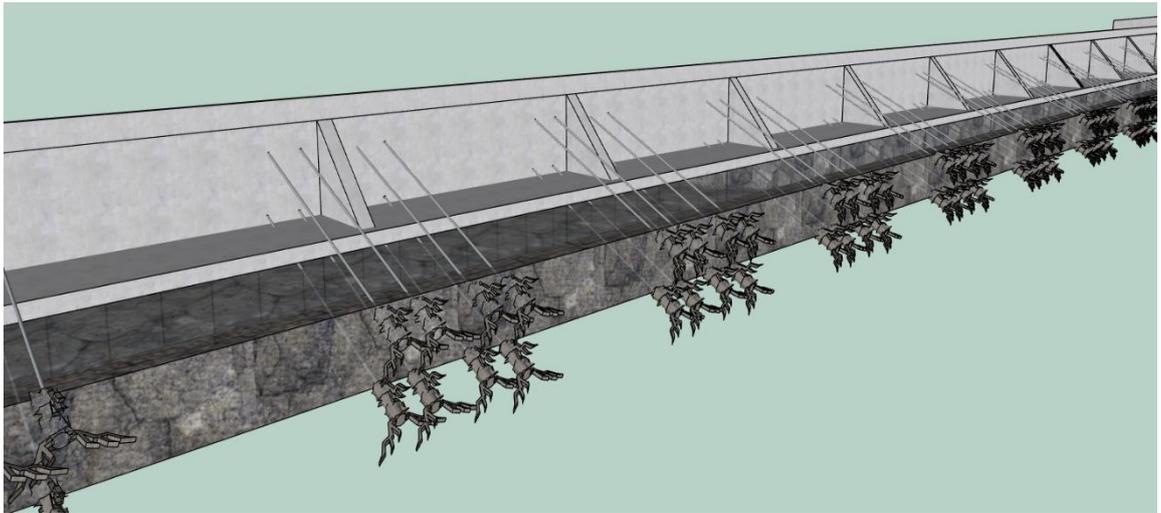
Nota. Elaboración propia.

Figura 107. *Dirección y ubicación de los tirantes postensados en la parte posterior falso túnel.*



Nota. Elaboración propia.

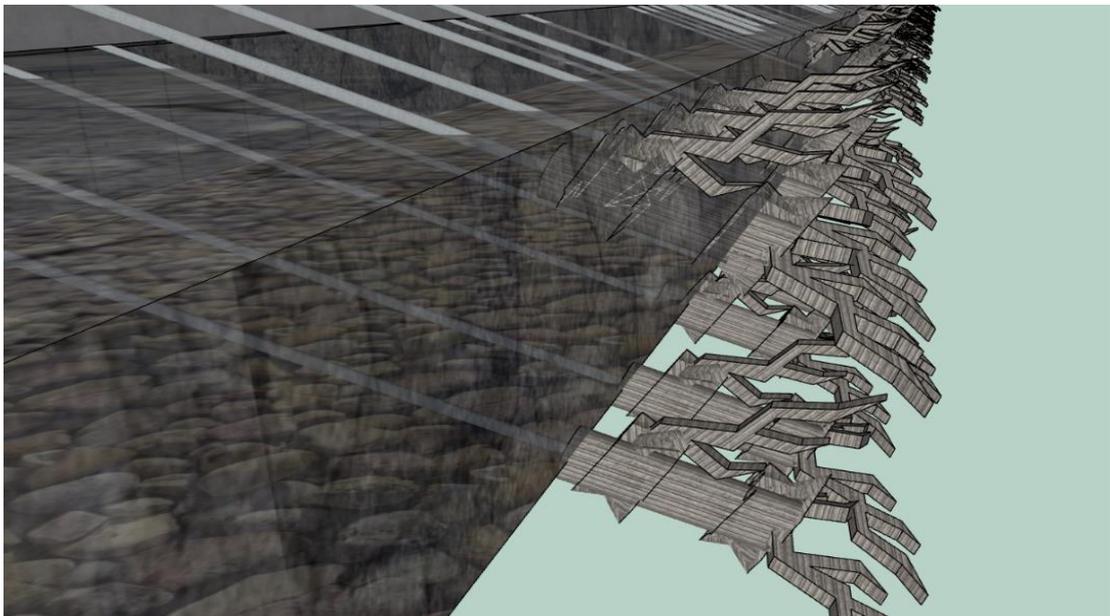
Figura 108. *Ubicación de los tirantes postensados en la parte posterior del falso túnel.*



Nota. Elaboración propia.

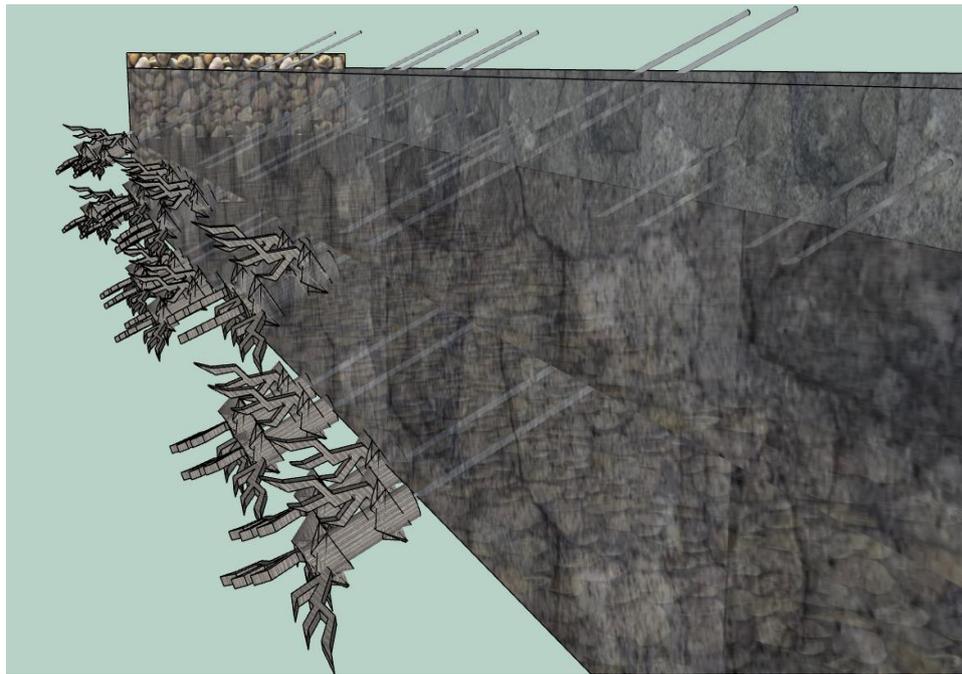
3.1.5 *Inyecciones de lechada de cemento en laderas inestables*

Figura 109. *Detalle de las inyecciones de lechada de cemento para los bulbos de anclaje de los tirantes.*



Nota. Elaboración propia.

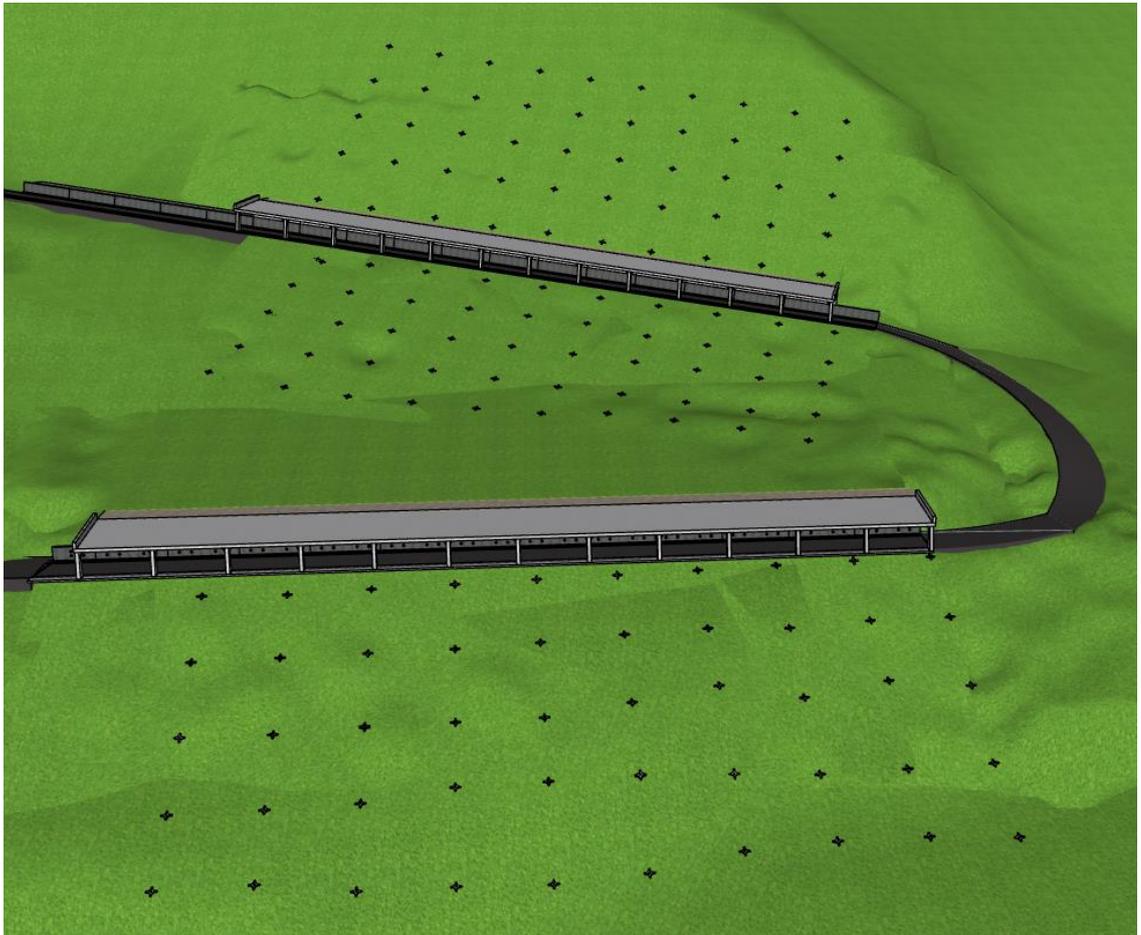
Figura 110. *Detalle de las inyecciones de lechada de cemento en la ladera.*



Nota. Elaboración propia.

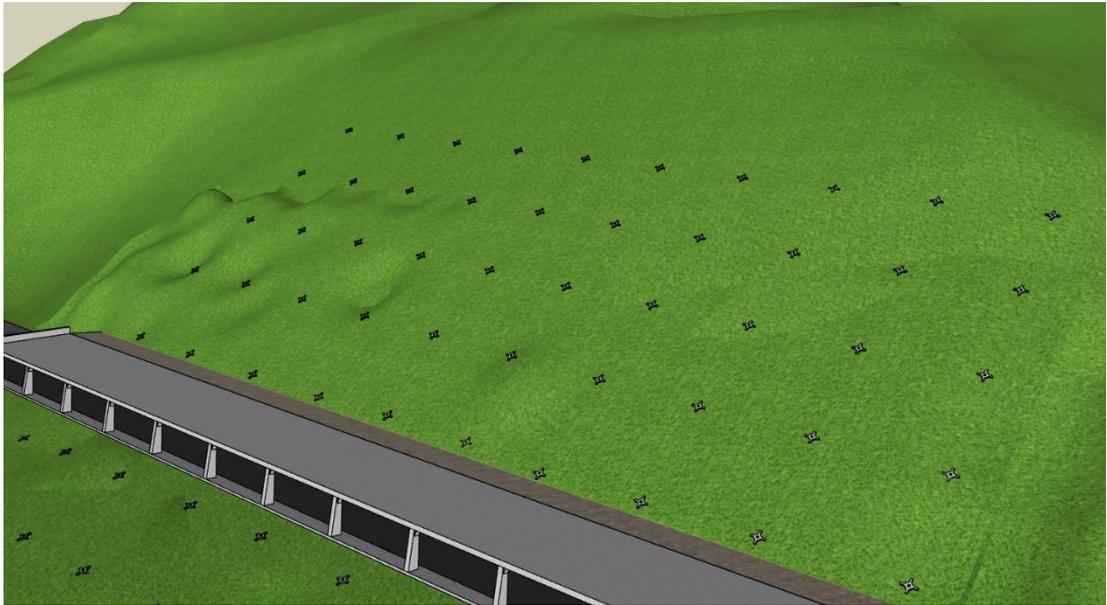
3.1.6 Pantalla reticulada de hormigón prefabricado y postensado para estabilización de laderas

Figura 111. *Vista general y ubicación de las pantallas reticuladas de hormigón prefabricado y postensado para estabilización de laderas.*



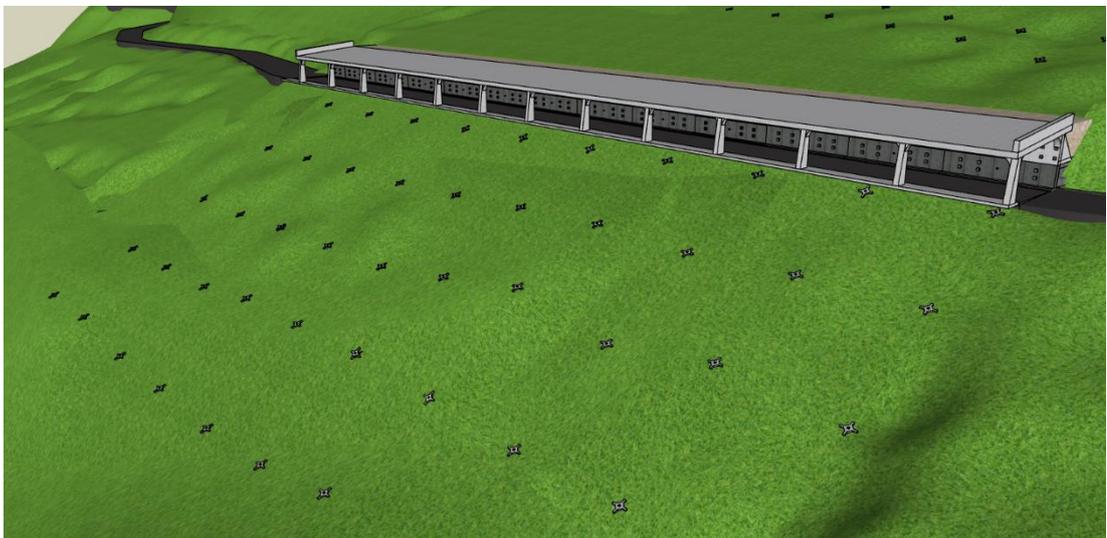
Nota. Elaboración propia.

Figura 112. Vista de la pantalla reticulada prefabricada y postensada, de la parte superior del falso túnel de la vía Cuenca – Molleturo.



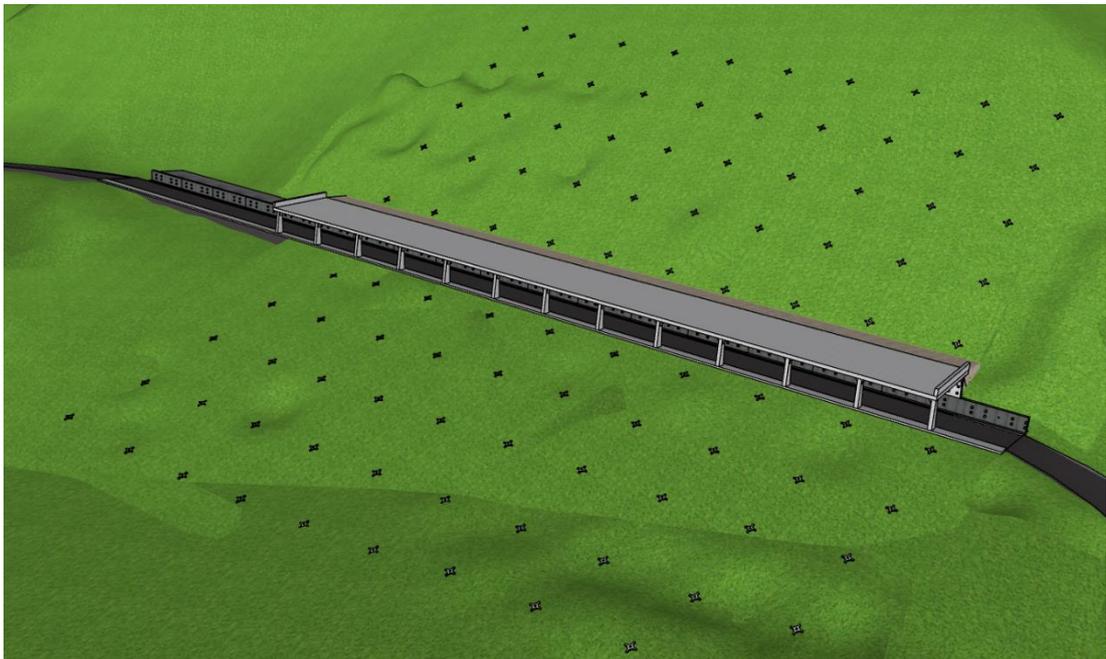
Nota. Elaboración propia.

Figura 113. Vista de la pantalla reticulada de la parte inferior del falso túnel de la vía Cuenca – Molleturo.



Nota. Elaboración propia.

Figura 114. Vista completa de la ubicación pantalla reticulada, tanto en la parte superior e inferior, del falso túnel de la vía Cuenca – Molleturo.



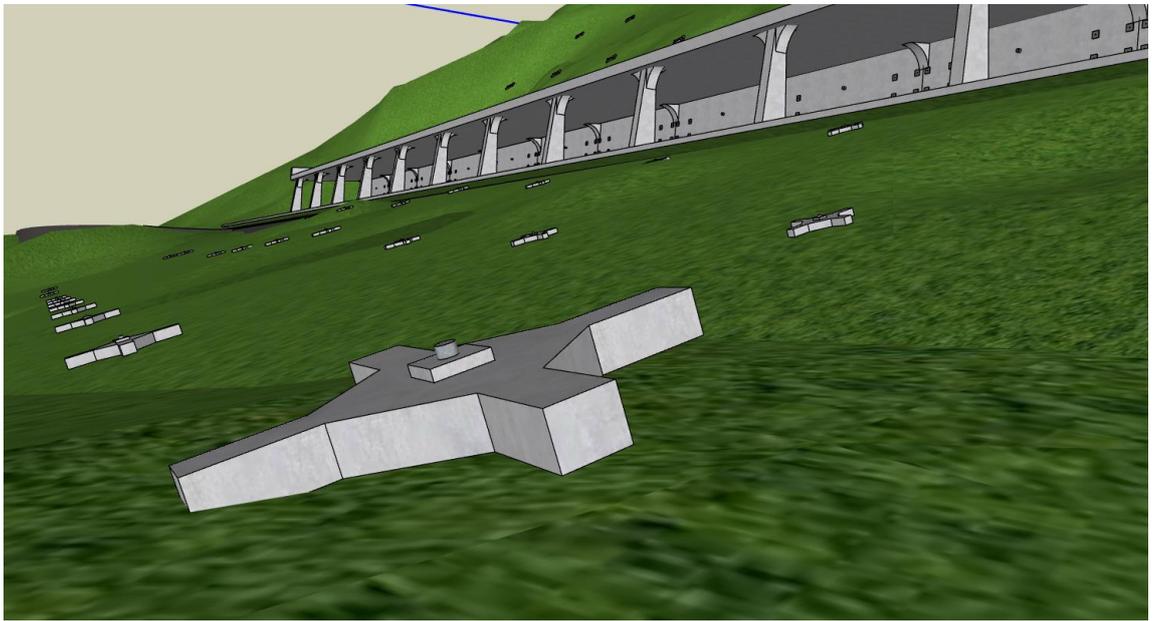
Nota. Elaboración propia.

Figura 115. Detalle de la formación de la pantalla reticulada.



Nota. Elaboración propia.

Figura 116. Vista detallada de una de las crucetas de la pantalla reticulada y, en la parte de posterior, se encuentra el falso túnel atirantado.



Nota. Elaboración propia.

Figura 117. Cruceta de la pantalla reticulada que brindará mejor estabilidad a la ladera.



Nota. Elaboración propia.

3.2 Ensayos de laboratorio

Los experimentos se llevaron a cabo en el avanzado Centro de Investigaciones en Ingeniería Estructural Sismo Resistente (CEINVES), vinculado con la UCSG. En este contexto, se efectuaron pruebas de compresión, utilizando probetas de lechada de cemento, en especial, preparadas según los parámetros adecuados para el diseño de inyecciones de anclajes postensados. Todo esto se hizo tomando en cuenta su comportamiento en estado fresco y cumpliendo con las normas recomendadas. El objetivo primordial era adaptar la metodología experimental de dosificación al proceso de ejecución de inyecciones, para los anclajes en el talud que requería estabilización.

3.2.1 Materiales

- Cemento GU tipo I.
- Agua.
- Fluidificante o aditivo reductor de agua.
- Arena fina pasante del tamiz #60 (0.255 mm).

3.2.2 Diseño de lechada de cemento

La formulación experimental de la lechada de cemento se establece mediante los criterios aplicables al diseño de mezclas de cemento, destinadas a ser utilizadas en las inyecciones de anclajes postensados. Considerando el comportamiento en su estado inicial y siguiendo las recomendaciones de las normas pertinentes.

El objetivo es ajustar la metodología de dosificación experimental al proceso de ejecución de las inyecciones, para los anclajes en el talud que se requiere estabilizar. Se llevaron a cabo experimentos para crear una lechada de cemento en un total de 29

probetas de Altas Resistencia “Lechada de inyección de laderas” y 29 probetas de Bajas Resistencia “Lechada de inyección de tirantes”.

Tabla 7. *Diseño de lechada de cemento de inyección de laderas para 29 probetas ($f'c= 100 \text{ kg/cm}^2$).*

DISEÑO DE LECHADA DE INYECCIÓN DE LADERAS	
<i>Materiales</i>	<i>Peso (gr)</i>
Cemento	6130
Agua	3065
Aditivo	98
a/c	0,50
a/c + Aditivo	0,53

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8. *Diseño de lechada de cemento de inyección para tirantes para 29 probetas ($f'c= 360 \text{ kg/cm}^2$).*

DISEÑO DE LECHADA DE INYECCIÓN PARA TIRANTES	
<i>Materiales</i>	<i>Peso (gr)</i>
Cemento	7500
Agua	2700
Aditivo	100
Arena fina	800
a/c	0,36
a/c + Aditivo	0,40

Nota. Elaboración propia.

Tabla 9. *Diseño de lechada de cemento de inyección de laderas para 1 metro cúbico en kg ($f'c= 100 \text{ kg/cm}^2$).*

DISEÑO DE LECHADA DE INYECCIÓN DE LADERAS POR METRO CUBICO	
<i>Materiales</i>	<i>m (kg)</i>
Cemento	946,06
Agua	473,03
Aditivo	15,12
a/c	0,50
a/c + Aditivo	0,53

Nota. Elaboración propia.

Tabla 10. *Diseño de lechada de cemento de inyección para tirantes para 1 metro cúbico en kg ($f'c= 360 \text{ kg/cm}^2$).*

DISEÑO DE LECHADA DE INYECCIÓN PARA TIRANTES POR METRO CUBICO	
<i>Materiales</i>	<i>m (kg)</i>
Cemento	1317,14
Agua	474,17
Aditivo	17,56
Arena fina	140,50
a/c	0,36
a/c + Aditivo	0,40

Nota. Elaboración propia.

Figura 118. *Elaboración de lechada de cemento en el laboratorio.*



Nota. Elaboración propia.

Figura 119. *Inicio de llenado de probetas con lechada de cemento.*



Nota. Elaboración propia.

Figura 120. Finalización de llenado de lechada de cemento.



Nota. Elaboración propia.

Figura 121. Inicio de desencofrado de probeta de lechada de cemento.



Nota. Elaboración propia.

Figura 122. Trabajos realizados en el laboratorio.



Nota. Elaboración propia.

3.2.3 Roturas de probetas

Las roturas de probetas de lechada de cemento fueron llevadas a cabo utilizando la máquina de prueba de fuerza compresiva simple (equipo del laboratorio CEINVES), ajustada a una velocidad de carga de 150 a 450 kpa/seg.

Figura 123. Máquina de ensayos a compresión y especificaciones.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 11. Pesaje y medición de las muestras "A, B, C, D" - Inyección de laderas.

Muestra A - Inyección de Laderas - 7 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 1	0,268	4,68	10	17,20
# 2	0,280	4,7	10	17,35

Muestra B - Inyección de Laderas - 7 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 3	0,276	4,68	10	17,20
# 4	0,285	4,64	10	16,91

Muestra C - Inyección de Laderas - 7 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 5	0,275	4,62	10	16,76
# 6	0,286	4,65	10	16,98

Muestra D - Inyección de Laderas - 7 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 7	0,272	4,62	10	16,76
# 8	0,272	4,65	10	16,98

Nota. Elaboración propia

Figura 124. Grupo de probetas de inyección de laderas - 7 días.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 12. Pesaje y medición de las muestras "A, B, C, D" - Inyección para tirantes.

Muestra A - Inyección para Tirantes - 7 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 1	0,345	4,68	10	17,20
# 2	0,316	4,64	10	16,91

Muestra B - Inyección para Tirantes - 7 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 3	0,318	4,65	10	16,98
# 4	0,32	4,69	10	17,28

Muestra C - Inyección para Tirantes - 7 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 5	0,323	4,65	10	16,98
# 6	0,308	4,69	10	17,28

Muestra D - Inyección para Tirantes - 7 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 7	0,321	4,65	10	16,98
# 8	0,356	4,7	10	17,35

Nota. Elaboración propia.

Figura 125. Grupo de probetas de inyección para tirantes - 7 días.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 13. *Pesaje y medición de las muestras "A, B, C, D" - Inyección de laderas.*

Muestra A - Inyección de Laderas - 14 Días				
<i># de Probeta</i>	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 1	0,270	4,65	10	16,98
# 2	0,266	4,69	10	17,28

Muestra B - Inyección de Laderas - 14 Días				
<i># de Probeta</i>	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 3	0,270	4,68	10	17,20
# 4	0,272	4,65	10	16,98

Muestra C - Inyección de Laderas - 14 Días				
<i># de Probeta</i>	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 5	0,265	4,7	10	17,35
# 6	0,271	4,65	10	16,98

Muestra D - Inyección de Laderas - 14 Días				
<i># de Probeta</i>	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 7	0,276	4,69	10	17,28
# 8	0,275	4,64	10	16,91

Nota. Elaboración propia.

Figura 126. Grupo de probetas de lechada de inyección de laderas - 14 días.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 14. Pesaje y medición de las muestras "A, B, C, D" - Inyección para tirantes.

Muestra A - Inyección para Tirantes - 14 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 1	0,316	4,55	10	16,26
# 2	0,328	4,52	10	16,05

Muestra B - Inyección para Tirantes - 14 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 3	0,315	4,45	10	15,55
# 4	0,322	4,45	10	15,55

Muestra C- Inyección para Tirantes - 14 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 5	0,332	4,65	10	16,98
# 6	0,335	4,75	10	17,72

Muestra D - Inyección para Tirantes - 14 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)
# 7	0,33	4,8	10	18,10
# 8	0,326	4,8	10	18,10

Nota. Elaboración propia.

Figura 127. Grupo de probetas de lechada inyección para tirantes - 14 días.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 15. Pesaje y medición de las muestras "A, B, C, D" - Inyección de laderas.

Muestra A - Inyección de Laderas - 28 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)
# 1	0,269	4,69	10	76,12
# 2	0,269	4,67	10	76,18

Muestra B - Inyección de Laderas - 28 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)
# 3	0,277	4,62	10	79,05
# 4	0,286	4,69	10	79,07

Muestra C - Inyección de Laderas - 28 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)
# 5	0,266	4,69	10	79,07
# 6	0,28	4,65	10	79,23

Muestra D - Inyección de Laderas - 28 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)
# 7	0,266	4,7	10	80,49
# 8	0,272	4,58	10	85,39

Nota. Elaboración propia.

Figura 128. Grupo de probetas de lechada de inyección de laderas - 28 días.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 16. Pesaje y medición de las muestras "A, B, C, D" - Inyección para tirantes.

Muestra A - Inyección para Tirantes - 28 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)
# 1	0,323	4,69	10	302,11
# 2	0,327	4,8	10	312,08

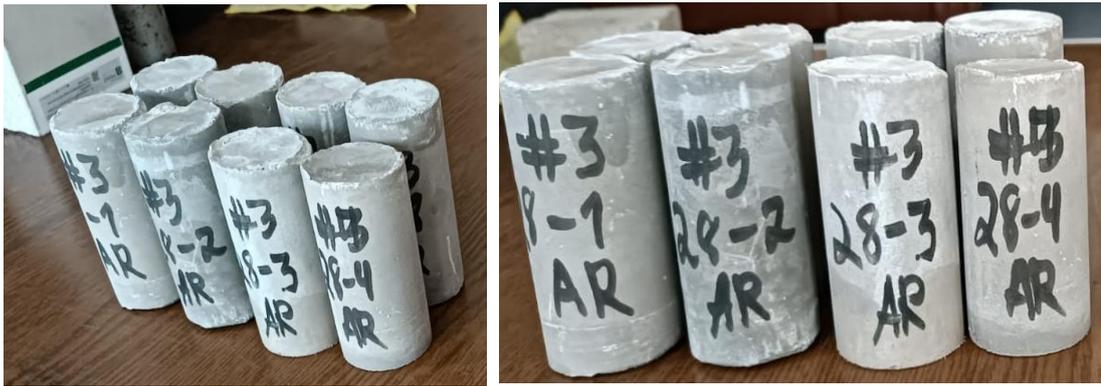
Muestra B - Inyección para Tirantes - 28 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)
# 3	0,335	4,58	10	330,41
# 4	0,323	4,55	10	342,30

Muestra C - Inyección para Tirantes - 28 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)
# 5	0,311	4,52	10	342,42
# 6	0,316	4,45	10	346,72

Muestra D - Inyección para Tirantes - 28 Días				
# de Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Esfuerzo (Kgf/cm ²)
# 7	0,358	4,8	10	368,41
# 8	0,321	4,45	10	381,46

Nota. Elaboración propia.

Figura 129. Grupo de probetas de lechada de inyección para tirantes - 28 días.



Nota. Elaboración propia.

Figura 130. Rotura de probeta de lechada de cemento.



Nota. Elaboración propia.

Figura 131. *Roturas de todas las probetas.*



Nota. Elaboración propia

En la evaluación de la compresión simple, se llevaron a cabo cuatro muestras de dos especímenes cada una. De esta manera, las pruebas fueron a los 7, 14 y 28 días, para brindar mejores resultados a la resistencia a la compresión simple.

Figura 132. Trabajos realizados en el laboratorio con el apoyo del Sr. Carlos Alberto Vargas.



Nota. Elaboración propia.

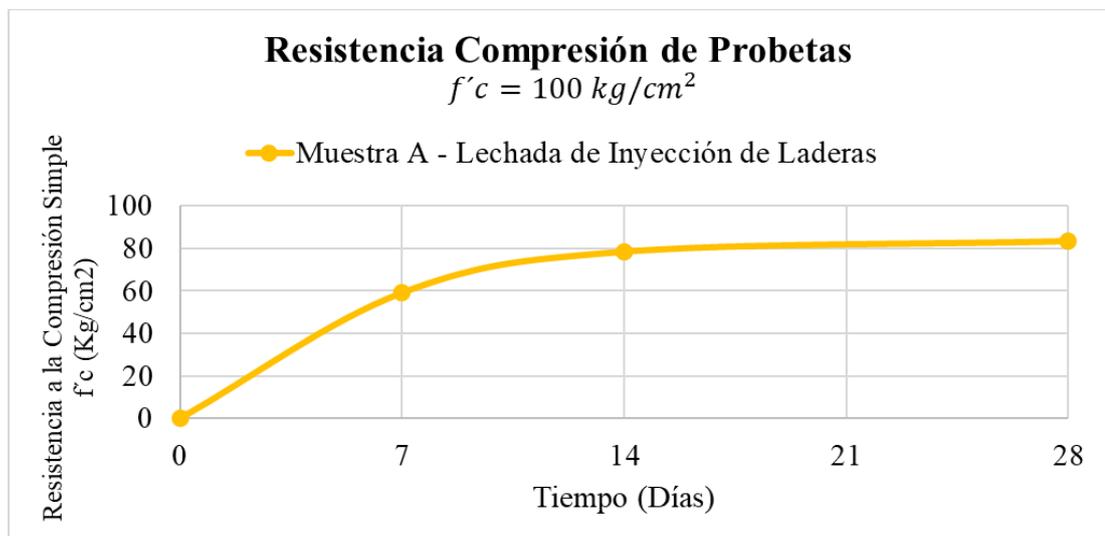
3.2.4 Resultado de ensayos de laboratorio – Resistencia a la compresión simple

Tabla 17. Valores de resistencia a la compresión simple $f'c$ de probetas de inyección de laderas - muestra A.

Muestra A - Lechada de Inyección de Laderas			
# de Probeta	Resistencia a la compresión Simple (Kg/cm ²)		
	7 Días	14 Días	28 Días
# 1	59,18	-	-
# 2	-	78,56	-
# 3	-	-	83,54

Nota. Elaboración propia.

Figura 133. Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección de ladera - muestra A.



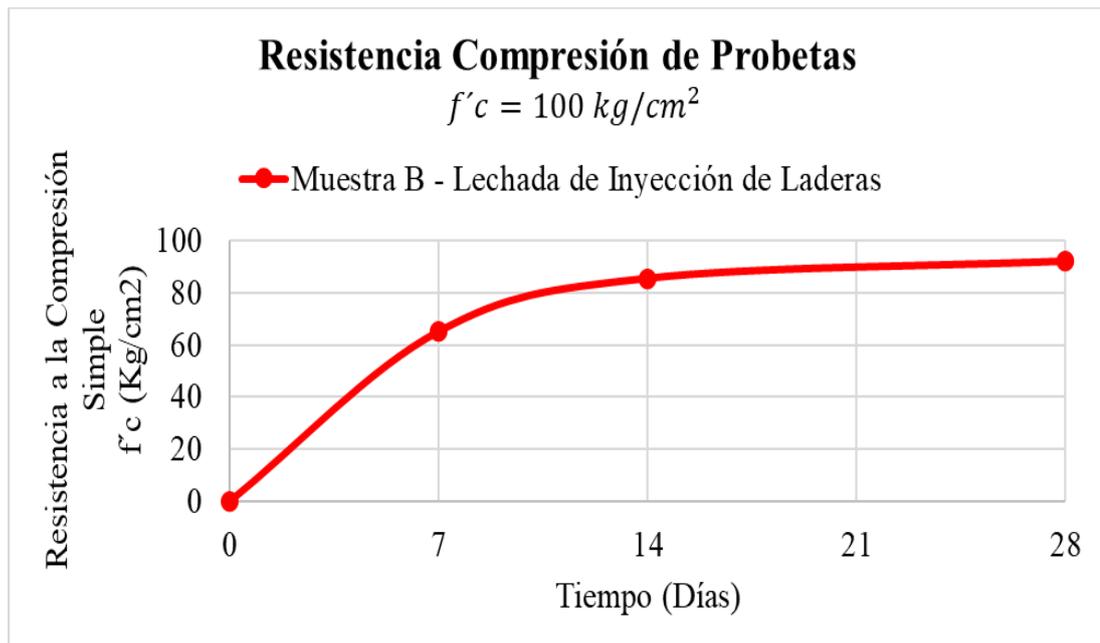
Nota. Elaboración propia.

Tabla 18. Valores de resistencia a compresión simple $f'c$ probetas de inyección de laderas - muestra B.

Muestra B - Lechada de Inyección de Laderas			
# de Probeta	Resistencia a la compresión Simple (Kg/cm ²)		
	7 Días	14 Días	28 Días
# 4	65,15	-	-
# 5	-	85,53	-
# 6	-	-	92,12

Nota. Elaboración propia.

Figura 134. Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección de laderas - muestra B.



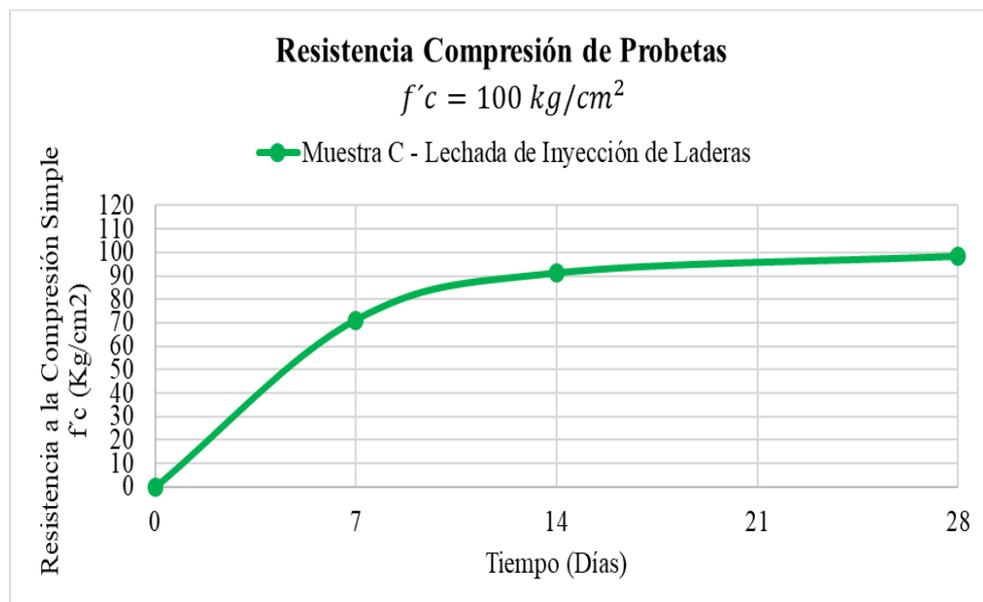
Nota. Elaboración propia.

Tabla 19. Valores de resistencia a compresión simple $f'c$ probetas de inyección de Laderas – muestra C.

Muestra C - Lechada de Inyección de Laderas			
# de Probeta	Resistencia a la compresión Simple (Kg/cm ²)		
	7 Días	14 Días	28 Días
# 7	71,20	-	-
# 8	-	91,10	-
# 9	-	-	98,20

Nota. Elaboración propia.

Figura 135. Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección de laderas - muestra C.



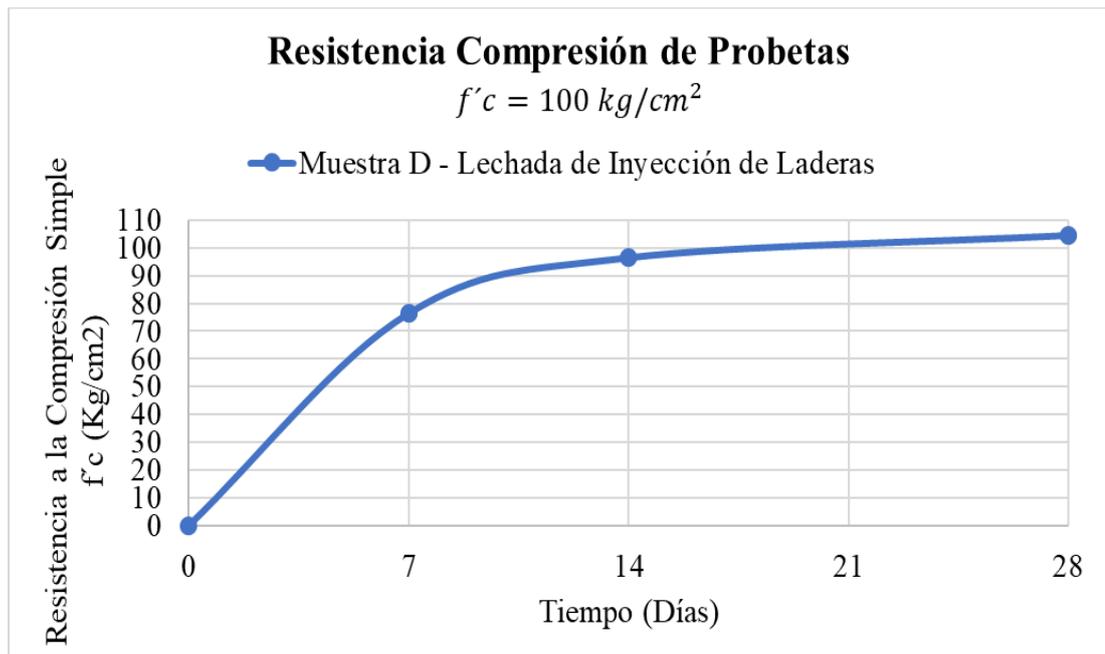
Nota. Elaboración propia.

Tabla 20. Valores de resistencia a compresión simple $f'c$ probetas de inyección de laderas – muestra D.

Muestra D - Lechada de Inyección de Laderas			
# de Probeta	Resistencia a la compresión Simple (Kg/cm ²)		
	7 Días	14 Días	28 Días
# 10	76,28	-	-
# 11	-	96,30	-
# 12	-	-	104,35

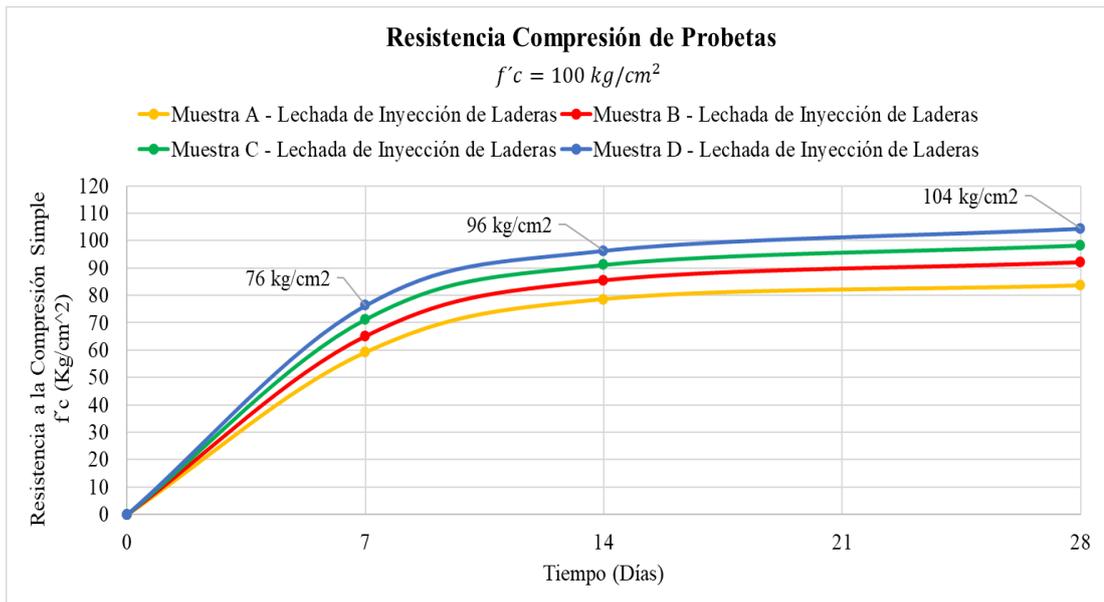
Nota. Elaboración propia.

Figura 136. Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección de laderas - muestra D.



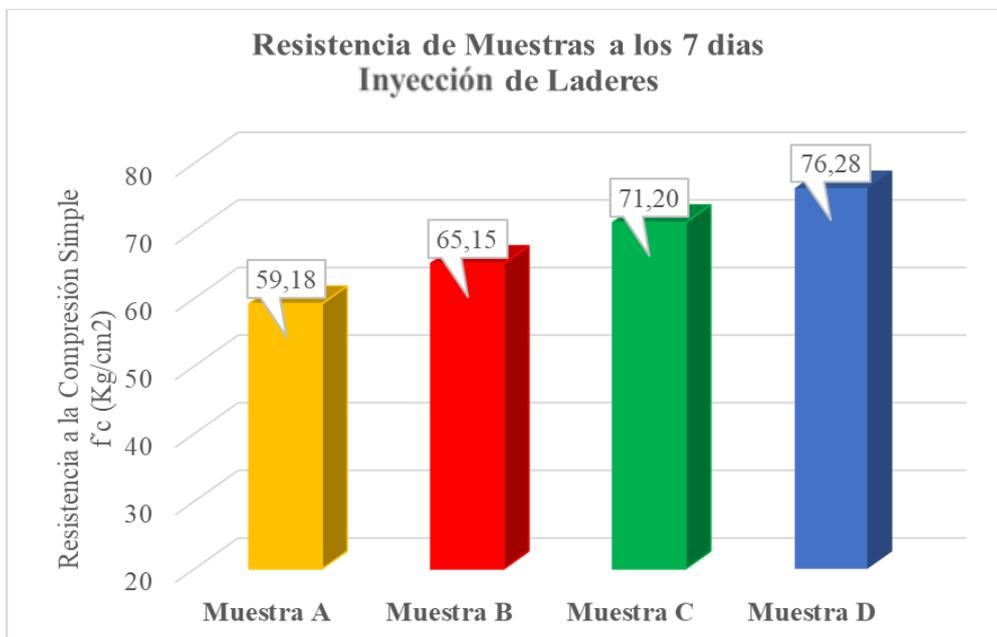
Nota. Elaboración propia.

Figura 137. Curvas de resistencia a compresión simple de inyección de laderas – muestras. A, B, C y D.



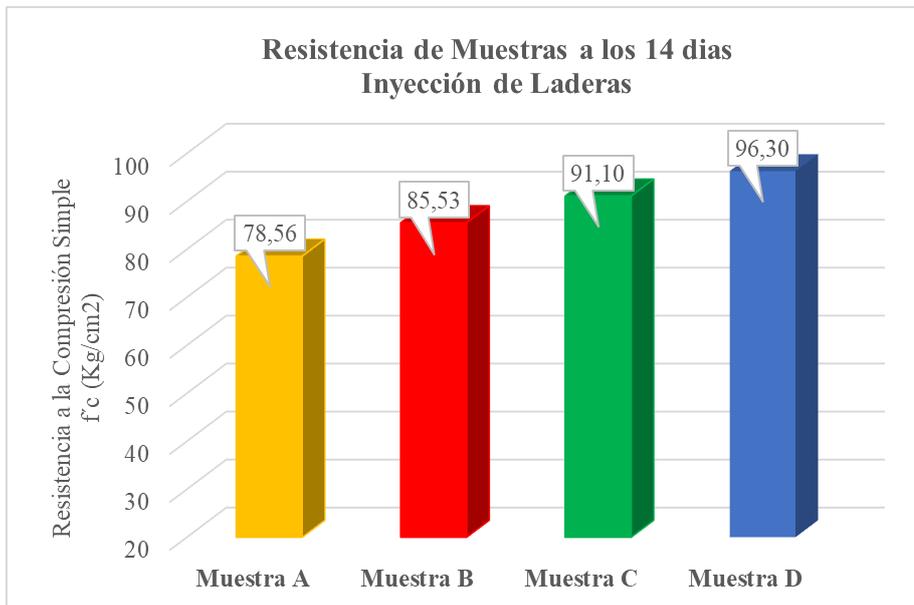
Nota. Elaboración propia.

Figura 138. Comparativo de resistencia a compresión simple de inyección de laderas a los 7 días - muestras A, B, C y D.



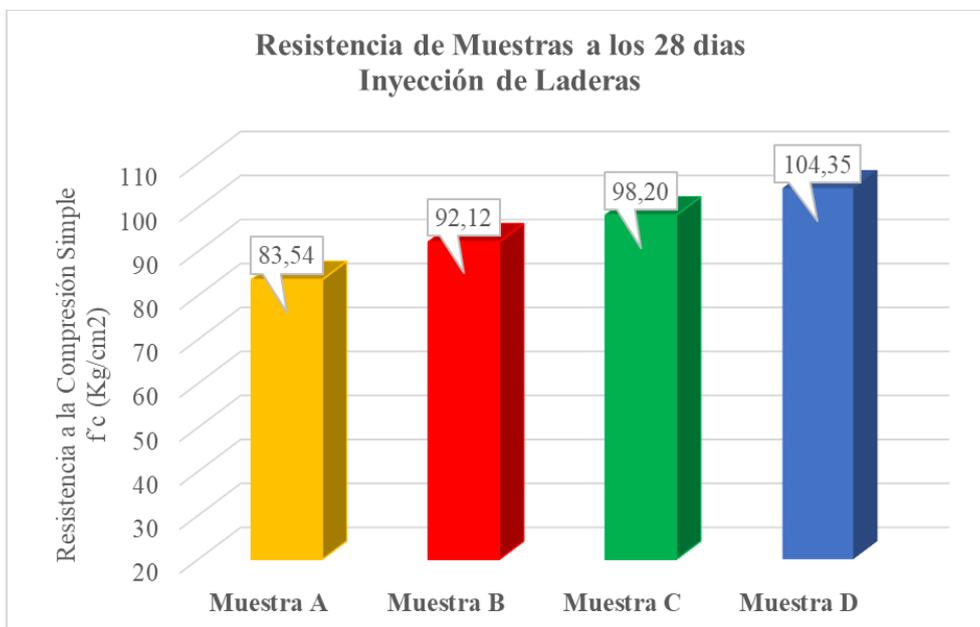
Nota. Elaboración propia.

Figura 139. Comparativo de resistencia a compresión simple de inyección de laderas a los 14 días - muestras A, B, C y D.



Nota. Elaboración propia.

Figura 140. Comparativo de resistencia a compresión simple de inyección de laderas a los 28 días - muestras A, B, C y D.



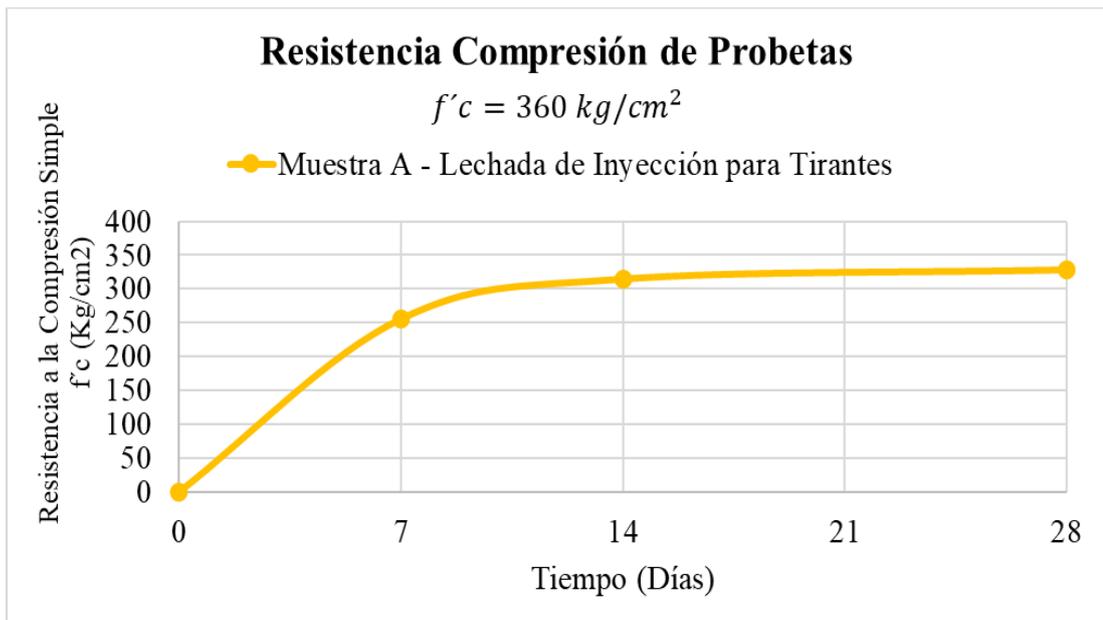
Nota. Elaboración propia.

Tabla 21. Valores de resistencia a la compresión simple $f'c$ de probetas de inyección para tirantes - muestra A.

Muestra A - Lechada de Inyección para Tirantes			
# de Probeta	Resistencia a la compresión Simple (Kg/cm ²)		
	7 Días	14 Días	28 Días
# 1	256,11	-	-
# 2	-	315,26	-
# 3	-	-	325,84

Nota. Elaboración propia.

Figura 141. Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección para tirantes - muestra A.



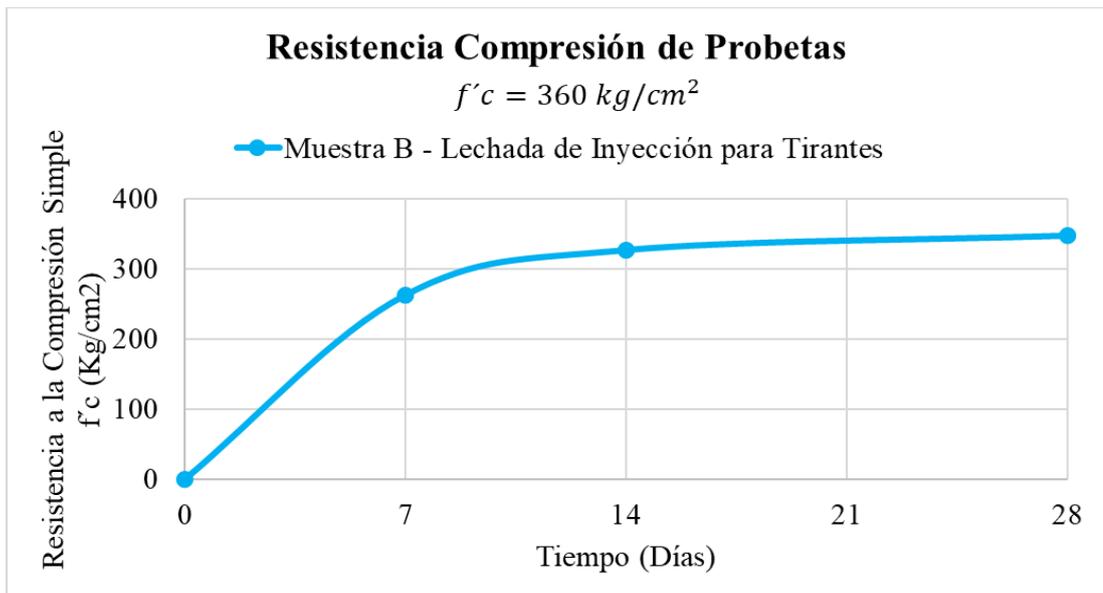
Nota. Elaboración propia.

Tabla 22. Valores de resistencia a compresión simple $f'c$ probetas de inyección para tirantes – muestra B.

Muestra B - Lechada de Inyección para Tirantes			
# de Probeta	Resistencia a la compresión Simple (Kg/cm ²)		
	7 Días	14 Días	28 Días
# 4	262,89	-	-
# 5	-	327,00	-
# 6	-	-	347,61

Nota. Elaboración propia.

Figura 142. Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección para tirantes - muestra B.



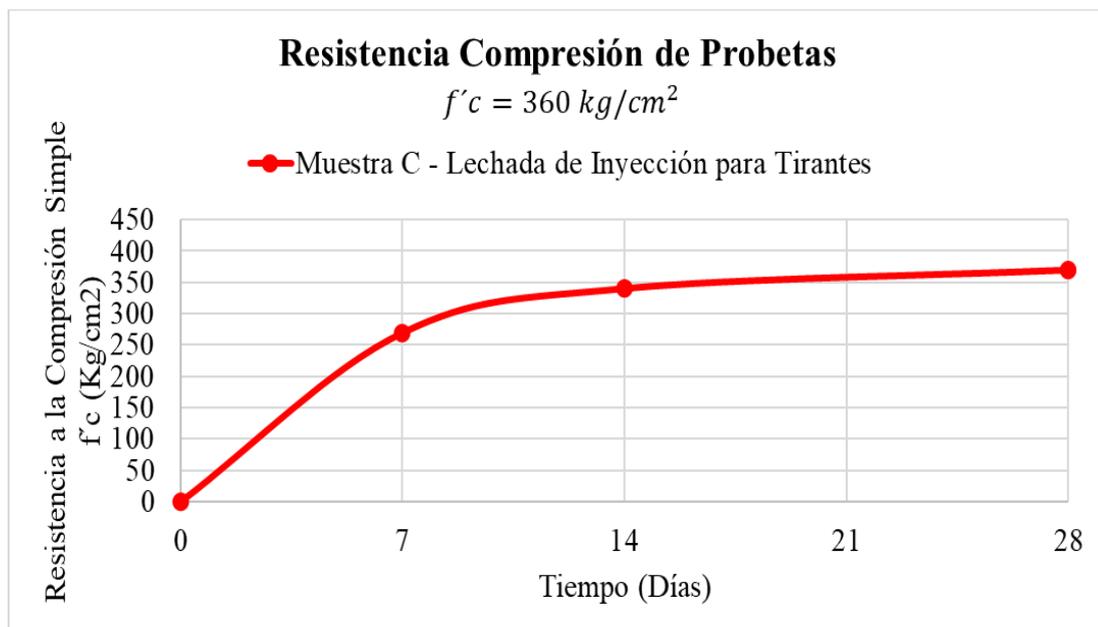
Nota. Elaboración propia.

Tabla 23. Valores de resistencia a la compresión simple $f'c$ de probetas de inyección para Tirantes - muestra C.

Muestra C - Lechada de Inyección para Tirantes			
# de Probeta	Resistencia a la compresión Simple (Kg/cm ²)		
	7 Días	14 Días	28 Días
# 7	269,42	-	-
# 8	-	339,94	-
# 9	-	-	369,55

Nota. Elaboración propia.

Figura 143. Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección para tirantes - muestra C.



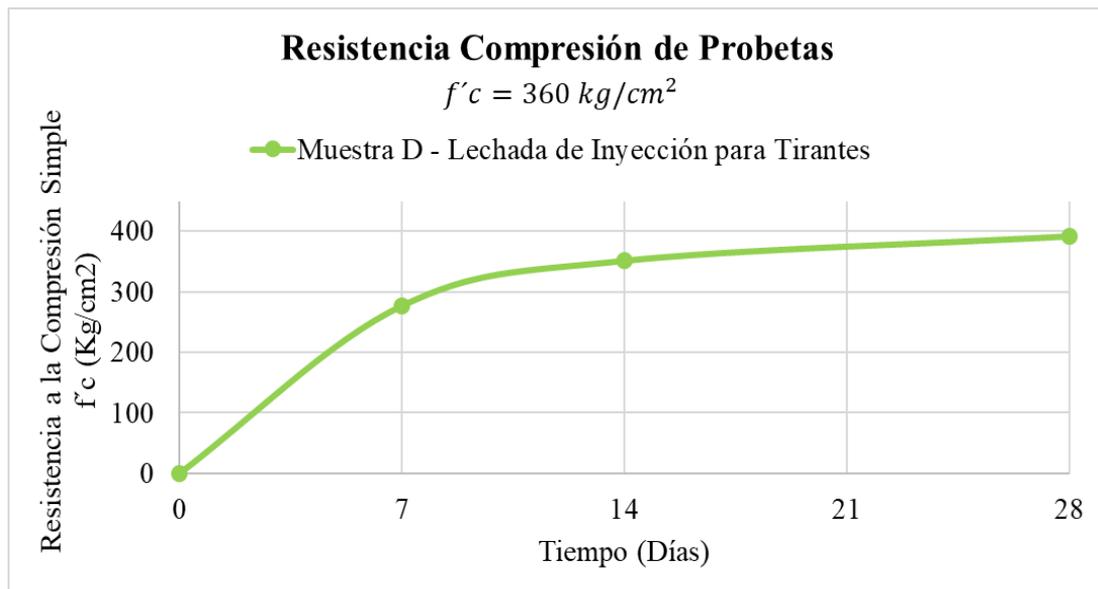
Nota. Elaboración propia.

Tabla 24. Valores de resistencia a la compresión simple $f'c$ de probetas de inyección para tirantes - muestra D.

Muestra D - Lechada de Inyección para Tirantes			
# de Probeta	Resistencia a la compresión Simple (Kg/cm ²)		
	7 Días	14 Días	28 Días
# 10	276,76	-	-
# 11	-	351,12	-
# 12	-	-	391,56

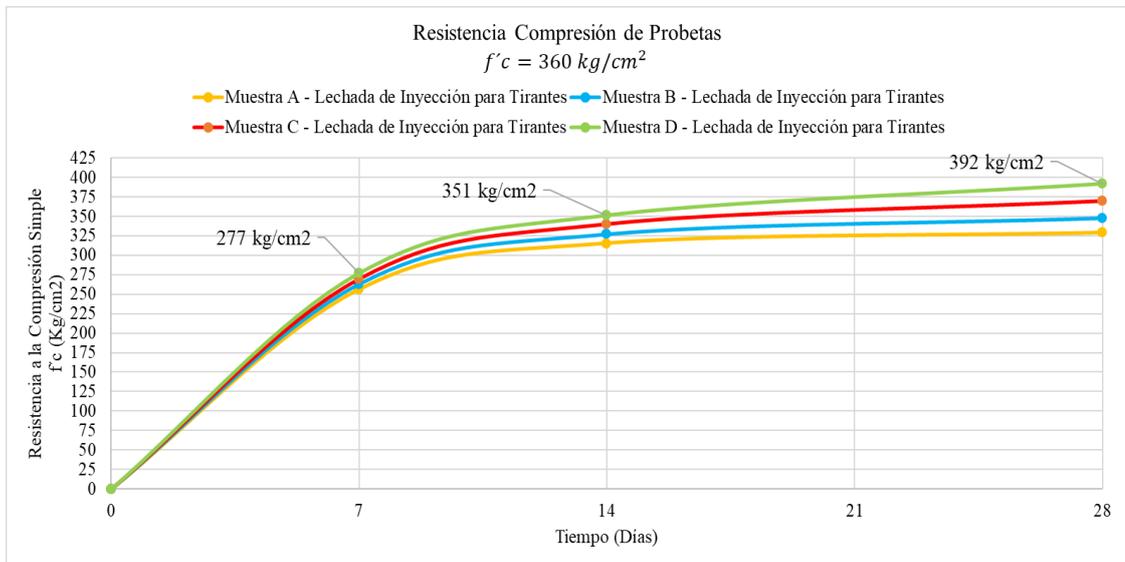
Nota. Elaboración propia.

Figura 144. Curva de evolución de la resistencia a compresión simple de inyección para tirantes - muestra D.



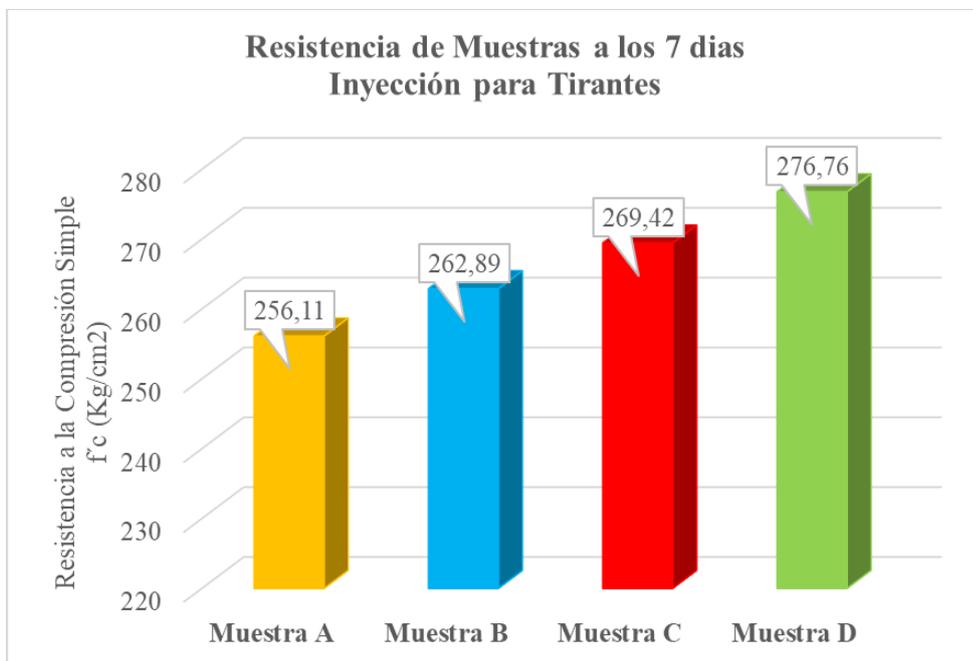
Nota. Elaboración propia.

Figura 145. Curvas de resistencia a compresión simple de inyección para tirantes - muestra A, B, C y D.



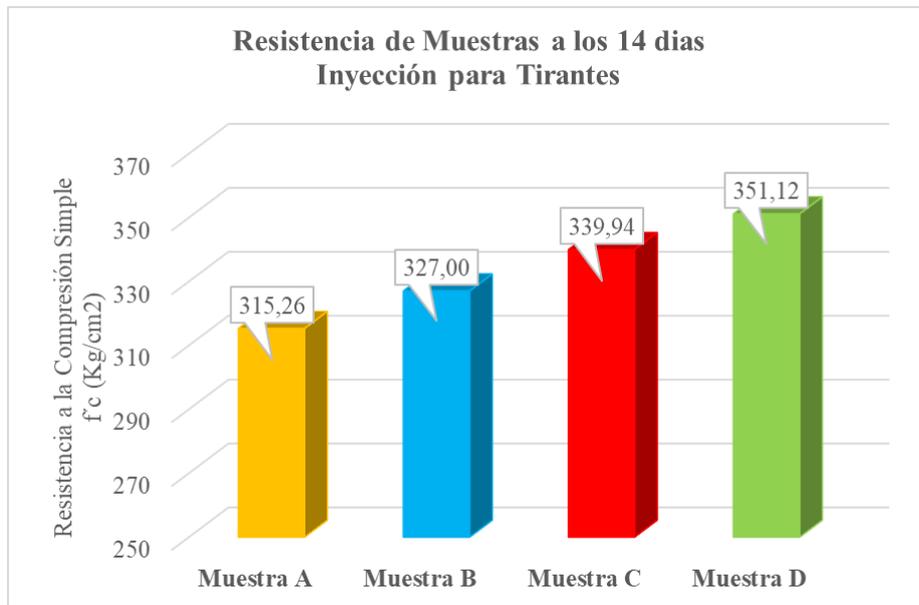
Nota. Elaboración propia.

Figura 146. Comparativo de resistencia a compresión simple de inyección para tirantes a los 7 días - muestra A, B, C y D.



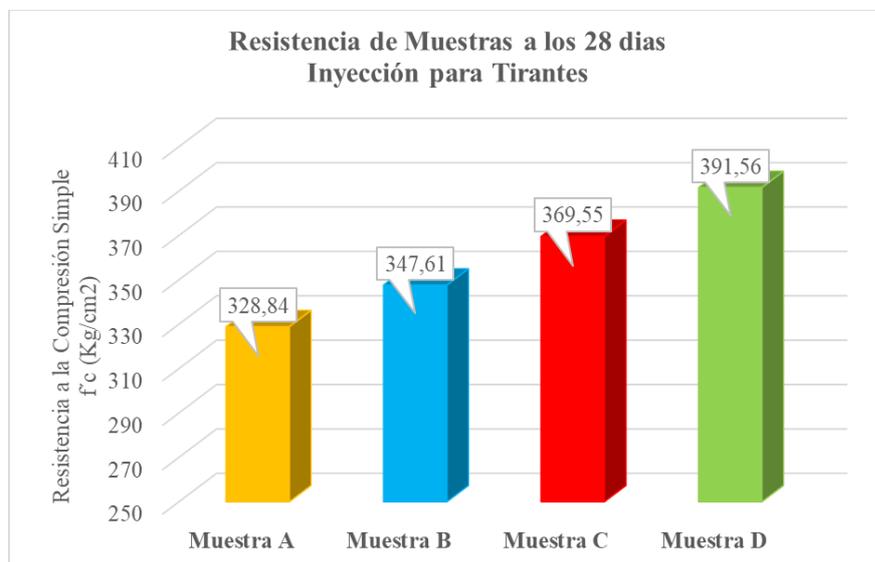
Nota. Elaboración propia.

Figura 147. Comparativo de resistencia a compresión simple de inyección para tirantes a los 14 días - muestra A, B, C y D.



Nota. Elaboración propia.

Figura 148. Comparativo de resistencia a compresión simple de inyección para tirantes a los 28 días - muestra A, B, C y D.



Nota. Elaboración propia.

3.3 Presupuesto de la propuesta

Tabla 25. *Tabla de presupuesto*

FALSO TUNEL ATIRANTADO						
No.	RUBROS Y/O ACTIVIDADES	UD	CANTIDAD	P.U	VALOR	SUB-TOTAL
1	Falsos Túneles como Obras de Contención de Laderas y Protección de Caídos					
1,1	Hormigón Armado	M3	6 558,00	\$400,00	\$2 623 201,28	
1,2	Relleno Compactado por Material Granular del Sitio	M3	8 347,99	\$8,00	\$66 783,89	
						\$ 2 689 985,17
2	Geometría de la Cubierta de Falsos Túneles para Protección de Caídos					
2,1	Hormigón Armado	M3	68,91	\$380,00	\$26 185,80	
						\$ 26 185,80
3	Contrafuertes como Sistema de Refuerzo en Muros de Contención de Laderas					
3,1	Hormigón Armado	M3	720,00	\$400,00	\$288 000,00	
						\$ 288 000,00
4	Tirantes Postensados como Sistema de Refuerzo en Muro de Contención de Laderas					
4,1	Tirante de 25 m de profundidad - Diámetro de hueco 2 pulgadas - Diámetro del tensor 1 pulgada	UNIDAD	600,00	\$11 500,00	\$6 900 000,00	
						\$ 6 900 000,00
5	Inyecciones de Lechada de Cemento en Laderas Inestables					
5,1	Inyección de lechada en laderas fracturadas	SACO	16 000,00	\$15,00	\$240 000,00	
						\$ 240 000,00
6	Pantalla Reticulada de Hormigón Prefabricada y Postensado para Estabilización de Laderas					
6,1	Elemento prefabricado hormigón armado	UNIDAD	600,00	\$240,00	\$144 000,00	
6,2	Andaje postensado de elemento prefabricado - Profundidad 15 m	UNIDAD	600,00	\$240,00	\$144 000,00	
						\$ 288 000,00
COSTO TOTAL					\$	10 432 170,97

Nota. Elaboración propia.

3.4 Resultados y discusión

Los autores del presente trabajo de investigación consideraron instalar dos falsos túneles para solucionar la inestabilidad de los taludes de la carretera Cuenca – Molleturo entre las abscisas 82+500 y 84+500, tramo de la vía que se encuentra desarrollado sobre materiales coluviales granulares de origen volcánico reciente, y donde el trazado geométrico corresponde a una curva de ida y vuelta con 180 grados. En este abscisado el Estado ecuatoriano ya ha realizado diversos trabajos de estabilización.

3.4.1 Ventilación de los falsos túneles

Los autores proponen que el techo deberá estar apoyado sobre un sistema de pilares aporticados reforzados, con la principal finalidad de permitir la ventilación natural de los dos falsos túneles y el respectivo drenaje de las aguas lluvias. Así como también que las obras contribuyan con el paisajismo y el turismo del sector, muy próximo al Parque Nacional El Cajas.

3.4.2 El techo bóveda de los falsos túneles

Fue del interés de los autores, que la geometría del techo bóveda de los dos falsos túneles, tuviesen un ángulo de inclinación particular que permita que el material desprendido de las laderas coluviales continúe su trayectoria sobre la parte superior de los dos falsos túneles, sin generar impactos o empujes a nivel estructural.

3.4.3 Muro de contención con contrafuerte

Para el caso de los muros de contención de ambos falsos túneles, los autores proponen la instalación de un sistema de contrafuertes, para incrementar la capacidad de soporte de estos muros de contención, y combatir las cargas actuantes del material coluvial de los taludes, sobre los falsos túneles.

Estos contrafuertes son elementos estructurales de 20 cm de espesor, apoyados verticalmente sobre el muro de contención y horizontalmente sobre una zapata corrida. Esta zapata estará apoyada inmediatamente sobre el muro de contención de 2.80 m de altura, construido por el Estado. La altura del nuevo muro reforzado con el sistema de contrafuertes será de 4 metros aproximadamente.

3.4.4 Muro de contención atirantado

Los autores proponen que los muros de contención de los dos falsos túneles, posean un sistema de anclaje pasivo, a través de tirantes instalados desde los muros de contención hasta el basalto natural de la elevación, por debajo del material coluvial volcánico, recientemente transportado. Estos tirantes tendrán una longitud variable entre 25 y 40 metros.

La zona terminal de cada tirante quedará instalada en la roca basáltica natural, a través de una inyección de lechada cementicia de alta resistencia, propuesta por los autores, específicamente para este fin. El resto de la longitud de cada tensor, entre el bulbo de anclaje del tirante en la roca basáltica y el muro de contención de cada falso túnel, deberá quedar libre para que se puedan realizar procesos de retensado, si fuesen necesarios por ejemplo en el caso de sismos.

Los autores proponen una lechada de alta resistencia para la inyección del bulbo de anclaje de los tirantes, en la roca basáltica natural. La resistencia a la

compresión simple de esta lechada de inyección, esta sobre los 390 kg/cm². Utiliza el cemento corriente de uso local y aditivos de última generación.

3.4.5 Inyecciones de lechada de consolidación en laderas inestables

Este trabajo propone, además, un proceso de inyecciones de consolidación e impermeabilización en el coluvio inestable relacionado con las presiones actuantes sobre los muros de contención de los dos falsos túneles. Los autores plantean estabilizar la gran masa coluvial con inyecciones económicas de lechada cementicia, aprovechando el sistema de fracturas del material rocoso inestable. La resistencia a la compresión simple de esta lechada propuesta, está alrededor de los 100 kg/cm². Se deberá realizar de forma ascendente en los 25 primeros metros del material coluvial.

Así mismo el proceso de inyección, se deberá iniciar desde la parte inferior del primer falso túnel y concluir en la parte superior del segundo falso túnel. La impermeabilidad deberá reducirse con este proceso, la misma que deberá revisarse con pruebas Lugeon.

3.4.6 Pantalla reticular prefabricada y postensada

Una vez concluido los trabajos de estabilización de laderas inestables a través de inyecciones de consolidación e impermeabilización, utilizando lechadas cementicias económicas, los autores plantean la instalación de una pantalla reticular prefabricada y postensada, compuesta por elementos de concreto armado separados en una malla de 15m x 15m, montada sobre la ladera coluvial inestable. Los tensores de cada uno de estos elementos prefabricados tendrán un bulbo de anclaje instalado a 25 metros de profundidad aproximadamente. El resto del tensor deberá quedar libre para posibles retensados por mantenimiento.

3.4.7 Presupuesto

Fue realizado un presupuesto técnico económico referencial, el mismo que concluye que los dos falsos túneles de 140 metros de longitud cada uno, costarán \$USD 10'500.000,00 de dólares, donde se incluye además el tratamiento con inyecciones de lechada de cemento en las laderas coluviales inestables y la construcción de la pantalla reticular prefabricada y postensada.

3.4.8 Sistema vial

La presente propuesta no altera el trazado de la vía en el abscisado 82+500 y 84+500 de la carretera Cuenca – Molleturo. Los autores proponen aprovechar la totalidad de la vía construida, los muros de contención, los sistemas de drenaje y el sistema de terrazas, construidos en las laderas por el Estado ecuatoriano.

CONCLUSIONES

- Fue realizada una investigación bibliográfica sobre la utilización de falsos túneles como alternativa para el control y movimiento de masas rocosas en vías. Se encontró que esta solución es practicada en los sistemas viales europeos donde son consideradas obras relevantes para evitar la interrupción de las vías. Aunque en Ecuador este tipo de soluciones no son de uso común, en América Latina ya se practican.
- Fueron desarrolladas en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UCSG, dos diseños de lechada cementicia para inyecciones. La primera con una resistencia a la compresión simple de 100 kg/cm², que utiliza cemento de uso corriente local para la estabilización de laderas coluviales inestables. La segunda con una resistencia a la compresión simple de 390 kg/cm² para la construcción de los bulbos de anclaje de los tirantes de refuerzo de los falsos túneles, y los anclajes de los tensores postensados de la pantalla reticular prefabricada. También utilizan cemento de uso corriente local y aditivos de última generación.
- Los autores propusieron una solución para la inestabilidad de laderas coluviales utilizando dos falsos túneles, ventilados, drenados, reforzado primero con un sistema de contrafuertes y segundo con otro sistema de tirantes inyectados. Los dos falsos túneles poseen techo bóveda geoméricamente diseñados para conducir la trayectoria del material rocoso en movimiento, hacia la quebrada contigua. Las laderas con material coluvial volcánico reciente e inestable, serán estabilizadas con un proceso de inyecciones cementicias de consolidación e impermeabilización y reforzadas con una pantalla reticular prefabricada y postensada.

REFERENCIAS

- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J., Jaillard, E., Mothes, P., Jarrín, P., . . . Cisneros, D. (2016). Partitioning of oblique convergence in the NorthernAndes subduction zone: Migration history and the present-day boundary of the NorthAndean Sliver in Ecuador. *Advancing Earth and Space Sciences*, 35(5), 1048-1065. 10.1002/2016TC004117.
- Anclajes y Perforaciones. (s.f.). *Inyección de anclajes*.
<https://www.anclajesyperforaciones.co/inyecci%C3%B3n-de-anclajes>
- Ayala, F., & Andreu, F. (2006). *Manual de taludes*. Instituto Geológico y Minero de España [IGME].
- BVPAD. (s.f.). *Fotografía de John Carter*.
<http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2665/doc2665-contenido.pdf>
- Carchipulla, M. (2023). *Pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con Anclajes Postensados para el tratamiento de taludes inestables*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/20808>
- Catalá, J., & Camarena, M. (s.f.). *La cordillera real de la paz*.
<https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-54210/Cordillera%20Real.pdf>
- Cedeño, C., & Gonzáles, R. (2021). *Estudio de la variabilidad de parámetros geotécnicos en el modelamiento de la estabilización de taludes, caso de estudio Curva de Retorno (abscisas 82+500 a 84+500) en la carretera Cuenca-Molleturo-Puerto Inca, provincia del Azuay*.
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/53830>
- Cimenter . (2016). *Cimentaciones Especiales* .<https://cimenter.es/lechada-de-cemento>
- Clausen, B. (2016). La Geología de las Islas Galápagos. *Geoscience Research Institute*(89).

- Climate. (s.f.). *Clima Cuenca (Ecuador)*. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-del-azuay/cuenca-875185/>
- Cobos, L. (2010). *Estudio integrado del Golfo de Guayaquil del mioceno al reciente*. Escuela Superior Politécnica del Litoral: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10658>
- De Matteis, A., Angelone, S., & Garibay, M. (2003). *Geología y Geotecnia Tema: Estabilidad de taludes*. Universidad Nacional del Rosario: https://www.academia.edu/7518364/Geolog%C3%ADa_y_Geotecnia_Tema_Estabilidad_de_taludes
- Diario El Universo. (2020). *Home*. <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/12/31/nota/9132058/deslizamiento-tierra-bloquea-cuenca-molleturo-empalme/>
- El Comercio. (2023). *La vía Cuenca-Molleturo-El Empalme se encuentra habilitada*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/via-cuenca-molleturo-el-empalme-habilitada.html>
- Engineering Geology Consultancy Group de la Universidad de Portsmouth. (s.f.). *Fotografía de Dave Giles*. <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2665/doc2665-contenido.pdf>
- Folguera, A., & Spagnuolo, M. (2009). *De La Tierra y Los Planetas Rocosos*. Ministerio de Educación de la nación.
- GEO. (2017). *Calificación y Cuantificación de las Fallas Geológicas en el Distrito Metropolitano de Quito*. <http://geo1.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2017/09/art5.pdf>

- Gobierno del Ecuador. (2022). *MTOP desaloja material que bloquea el kilómetro 88 de la vía Cuenca-Molleturo*. <https://www.obraspublicas.gob.ec/mtop-desaloja-material-que-bloquea-el-kilometro-88-de-la-via-cuenca-molleturo/>
- González, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Educación.
- Goraymi. (s.f.). *Conchas Gigantes De Chicho Negro*. <https://www.goraymi.com/es-es/chimborazo/alausi/zonas-arqueologicas/conchas-gigantes-chicho-negro-acbx19c3a>
- Iglesias, J. (2020). *Tema de Blog: Borde destructivo de la Cordillera de los Andes*. <http://kuriosidadescientifiks.blogspot.com/2020/07/bordes-destructivos-i-los-andes.html>.
- Instituto Geofísico EPN. (2013). *Generalidades - Sismos*. [https://www.igepep.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/16479-triptico-sismos-generalidades/file#:~:text=Existen%203%20tipos%3A%20convergente%2C%20divergente,placa%20continental%20\(Placa%20Sudamericana\)](https://www.igepep.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/16479-triptico-sismos-generalidades/file#:~:text=Existen%203%20tipos%3A%20convergente%2C%20divergente,placa%20continental%20(Placa%20Sudamericana)).
- Instituto Nacional de Patrimonio Cultural [INPC] (2017). (2017). *Código organico del ambiente*. www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Instituto Nacional de Patrimonio Cultural [INPC]. (2019). *Reglamento al código Orgánico del Ambiente*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/02/REGLAMENTO-AL-CODIGO-ORGANICO-DEL-AMBIENTE.pdf>

- López, S. (2007). *Expediente Para la Inscripción del Parque Nacional Cajas y los Tramos Transversales del Qhapaq Ñan en la Lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO*. Universidad del Azuay Y Universidad de Cuenca:
<http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/03AM03-0101-A-Unesco.pdf>
- Martillo, C., Pazmiño, A., Chunga, K., & Resl, R. (2020). *Descripción morfológica de la plataforma continental del Ecuador y análisis comparativo con la plataforma jurídica aplicando la CONVEMAR, mediante el uso de sistemas de información geográfica*. Universidad Técnica de Manabí:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8650656>
- Mendoza, F. (2014). *La cordillera de los andes, una oportunidad para la integración y desarrollo de américa del sur*. FAO :
<https://www.fao.org/3/i3854s/i3854s.pdf>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2021). *Estabilización - mitigación del sitio crítico del km 49 de la carretera e582*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/07/LOTAIP_6_Molleturo-El-Empalme.pdf
- MTOP-Ecuador. (2012). *Servicios de consultoría para realizar los estudios geotécnicos de estabilización de taludes*.
<https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/azuay072012.pdf>
- Muñoz, F., & Claro, A. (2022). *Geología 22. el ciclo de las rocas*. Geología desde Ávila: <https://geolodiaavila.com/tag/meteorizacion/>
- Murillo, T., & Abad, L. (2010). *Anclajes y bulones*.
<http://www.urielyasociados.es/img/formacion/ANCLAJES%20Y%20BULONES%20PPT.pdf>

- NEC-SE-DS. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - Peligro Sísmico (Diseño Sismo Resistente)*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI).
- Núñez, C. (2011). *Geología del cuaternario y geomorfología tectónica*. Escuela Politecnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4324>
- Ocean. (s.f.). *Weathering: the disintegration, or breakdown of rock material*. https://www.ocean.washington.edu/courses/oc230/Welcome_files/Weathering.pdf
- Olarte, J. (2017). *Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia*. <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documents/Clasificacion-MM-Terrenos-Geologicos-Colombia.pdf>
- ONU. (2023). *Se prevé que El Niño comience este verano*. <https://news.un.org/es/story/2023/05/1520612#:~:text=La%20agencia%20de%20la%20ONU,precipitaciones%20en%20distintas%20regiones%20del>
- Pérez, B. (2023). *Por derrumbes se cierra la vía Cuenca-Molleturo*. El Mercurio: <https://elmercurio.com.ec/2023/03/25/derrumbes-via-cuenca-molleturo-cerrada/>.
- Portillo, G. (s.f.). *Todo lo que debes saber sobre la meteorización*. <https://www.meteorologiaenred.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-la-meteorizacion.html>
- Presidencia de la Republica de Ecuador. (2018). *Ley Orgánica De Educación Superior [LOES]*. Quito, Ecuador.
- Promotora Berma. (s.f.). *Mezclador Coloidal De Lechada*. <https://promotoraberma.com/mezclador-coloidal-de-lechada/>

- Quichimba, A. (2021). *Cambio de esfuerzos tectónicos generados por el sismo de El Reventador del 5 de marzo de 1987*. Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/24711>
- Ramírez, P., & Monge, L. (2004). *Mecánica de rocas*. https://oa.upm.es/14183/2/MECANICA_DE_ROCAS_2.pdf
- Reagan, M., Pearce, J., & Petronotis, K. (2013). Chapter 8. Weathering, Sediment, & Soil. *Soils of Canada (University of Saskatchewan, 352*. [10.14379/iodp.proc.352.102.2015](https://doi.org/10.14379/iodp.proc.352.102.2015)
- Rico, A. (2019). *Metodologías de Inyección para Tratamiento de Macizos Rocosos para Obras Geotécnicas*. Escuela Colombiana de Ingeniería: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/991/Rico%20Rodr%C3%ADguez%2C%20Alfonso%20Gabriel-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romero, C. (2016). *La geología y la historia de colisión en el mesozoico de la cordillera real, Ecuador*. <https://es.slideshare.net/cwrc3/la-geologa-y-la-historia-de-colisin-en-el-mesozoico-de-la-cordillera-real-ecuador>
- Salcedo, E., & Pérez, J. (2016). *Caracterización Sismotectónica de la Región del Valle del Cauca y Zonas Aledañas a Partir de Mecanismos Focales de Terremotos*. Universidad Industrial de Santander: <http://dx.doi.org/10.18273/revbol.v38n3-2016006>
- Sánchez, M. (2009). *Modelo de aplicaciones tecnológicas para la protección de taludes desestabilizados por exceso de humedad en el distrito metropolitano de Quito a fin de disminuir la accidentalidad y congestión vehicular*. Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2745/1/Maestr%C3%ADa>

%20V.%20T.%2039%20-

%20S%C3%A1nchez%20Villafuerte%20Marco%20Antonio.pdf

Secretaría de Gobernación. (2006). *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos*. Centrol Nacional de Prevención De Desastres; Secretaria de Gobernación:
<https://escuelanacionaldeproteccioncivil.edu.mx/biblioteca-virtual/guias/fenomenos-geologicos/guia-fen%C3%B3menos-geol%C3%B3gicos.pdf>

Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Publicaciones UIS.

Suárez, J. (2012). *Técnicas de remediación*.
<https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-ii-tecnicas-de-remediacion/>

Suárez, J. (2021). *Características y comportamiento de los materiales coluviales*. Erosion: <https://www.erosion.com.co/caracteristicas-y-comportamientos-de-los-materiales-coluviales/>

Taipe, L. (2013). *Análisis de las Ecuaciones de Predicción de Movimientos de Suelo para el Ecuador Utilizando Datos Registrados Durante el Periodo 2000-2011 en Estaciones Sísmicas de Banda Ancha y Acelerógrafos*. Escuela Politécnica Nacional: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6447>

Tarbut, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Educación S.A.

Tardeo De La Cruz, C., & Zanabria, E. (2016). *Análisis Dinámico de Estabilidad de Taudes por Elementos Finitos en la Zona de Huayllapampa del Distrito de Cuenca Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica:

<https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/45410ce2-db20-48d5-8d5d-16e4542a926b/content>

Teran, E. (2020). *Proyecto de estabilización de talud mediante el uso de pantalla atirantada con anclajes activos tipo barra en el sector santa ana (abscisa 0+060 a 0+100)*. Universidad Politecnica Salesiana de Quito: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18950>

Torres, J. (2016). *Estudio de Alternativas de Muros de Ala para el Proyecto Hidroeléctrico Pusuno. Misahuallí - Tena*. Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16860/1/CD-7439.pdf>

Universidad Católica de Santiago de Guayaquil [UCSG]. (2023). *Carrera de Ingeniería Civil. Información de la carrera*. <https://www.ucsg.edu.ec/ing/c001003/>

Universidad Católica Santiago de Guayaquil. (2019). *Consejo Universitario*. <https://www.ucsg.edu.ec/ing/c001003/>

Vidal, J. (2018). *Estructura de cuencas intramontañosas del sur de Ecuador en relación con la tectónica de la Cordillera de los Andes a partir de datos geofísicos y geológicos*. Universidad de Granada: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/51634>

Wikimedia Commons. (s.f.a). *Picture of the day*. <https://commons.wikimedia.org/>

Wikipedia. (s.f.b). *Carnegie Ridge*. https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Carnegie_Ridge.png

Yangari, D. (2019). *Falla Dolores Guayaquil*. <https://es.scribd.com/document/417615663/falla-dolores-Guayaquil#>

Zavala, L. (2017). *Desarrollo de una Aplicación Basada en Matlab para El Cálculo de Muros a Gravedad, Muros en Volado o Cantiléver, Muros con*

Contrafuerte. Universidad Técnica de Ambato:

[https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25824/1/Tesis%201138%](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25824/1/Tesis%201138%20-%20Zavala%20C%C3%B3rdova%20Luis%20Eduardo.pdf)

[20-%20Zavala%20C%C3%B3rdova%20Luis%20Eduardo.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25824/1/Tesis%201138%20-%20Zavala%20C%C3%B3rdova%20Luis%20Eduardo.pdf)

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Rivera Hernández, Luis Alejandro** con C.C: # 0950495036 y **Viteri Toscano, Patricio Iván**, con C.C: #0803321561 autores del Trabajo de Titulación: **Propuesta de un falso túnel atirantado como solución a deslizamientos en la carretera Cuenca - Molleturo** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizamos a la SENESCYT a tener una copia del referido Trabajo de Titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **08 de septiembre** de **2023**

f. 
Nombre: **Rivera Hernández, Luis Alejandro**
C.C: **0950495036**

f. 
Nombre: **Viteri Toscano, Patricio Iván**
C.C: **0803321561**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Propuesta de un falso túnel atirantado como solución a deslizamientos en la carretera Cuenca - Molleturo		
AUTOR(ES)	Rivera Hernández, Luis Alejandro Viteri Toscano, Patricio Iván		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto M.Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	08 de septiembre del 2023	No. DE PÁGINAS:	144
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería, Geotecnia, Inyecciones y Construcción		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Efectos de la Sismicidad, Lluvias, Meteorización, Inestabilidad de Taludes, Deslizamientos de Macizos Rocosos, Coluviones, Glaciaciones, Inyecciones de Lechada de Cemento, Pantalla Reticulada y Prefabricada de hormigón, Tirantes postensados, Muro con Contrafuerte, Falso Túnel, Vía Cuenca-Molleturo.		
RESUMEN:	<p>El presente Trabajo de Titulación analiza y estudia el uso de un falso túnel atirantado como una solución al problema de deslizamientos y caída de macizos rocosos que genera interrupción en las vías Cuenca – Molleturo a diario y en ocasiones provocaría la pérdida de vidas humanas. Dicho trabajo respetará las obras ya existentes en el sitio de estudio que fueron realizadas por el Ministerio de Transporte de Obras Públicas (MTO). Con el propósito de lograrlo, se lleva a cabo una exhaustiva revisión de la literatura que abarca los principios teóricos y enfoques metodológicos de las propuestas de un falso túnel atirantado, para afrontar taludes inestables, plantearse esta solución adecuada a las condiciones específicas de la zona de estudio en la Carretera de Cuenca-Molleturo. El planteamiento esquemático y la exploración experimental de la aplicación de un falso túnel atirantado que se logra por medio de ensayos de laboratorio, representaciones gráficas y fotografías visuales del área de estudio, por lo que se recomienda considerar los factores de meteorización, los movimientos sísmicos y las condiciones climáticas. Dicha propuesta del falso túnel atirantado es viable y sustentable debido a que considera las obras ya existentes como un complemento.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-99 491 8086; +593-99 244 6160	E-mail: luisrivera202@hotmail.com; patricioviteri1997@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4-2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			