



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

**TEMA:**

**Túneles de drenaje profundo como solución para la estabilización de  
grandes deslizamientos de tierra.**

**AUTORES:**

**Carbo Uruchima, Karla Milena  
Soto Carvajal, Joseph Lizandro**

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

**TUTOR:**

**Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto Msc.**

**Guayaquil, Ecuador  
4 de septiembre del 2024**



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 **Carbo Uruchima, Karla Milena y Soto Carvajal, Joseph Lizandro**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

**TUTOR (A)**

f. 

**Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto, M.sc.**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

f. 

**Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther M.sc.**

**Guayaquil, a los 4 del mes de septiembre del año 2024**



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

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Carbo Uruchima, Karla Milena**  
**Soto Carvajal, Joseph Lizandro**

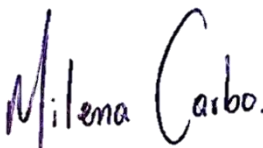
### DECLARAMOS QUE:


El Trabajo de Titulación, **Túneles de drenaje profundo como solución para la estabilización de grandes deslizamientos de tierra**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, se ha 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.

**Guayaquil, a los 4 del mes de septiembre del año 2024**

### LOS AUTORES:

f.   
\_\_\_\_\_  
**Carbo Uruchima, Karla Milena**

f.   
\_\_\_\_\_  
**Soto Carvajal, Joseph Lizandro**



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


**AUTORIZACIÓN**


Nosotros, **Carbo Uruchima, Karla Milena**  
**Soto Carvajal, Joseph Lizandro**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Túneles de drenaje profundo como solución para la estabilización de grandes deslizamientos de tierra**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 4 del mes de septiembre del año 2024**

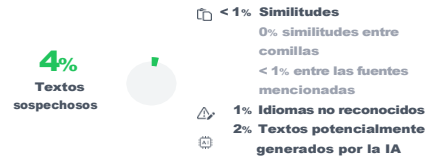
**LOS AUTORES:**

f.   
\_\_\_\_\_  
**Carbo Uruchima, Karla Milena**

f.   
\_\_\_\_\_  
**Soto Carvajal, Joseph Lizandro**



# CARBO\_KARLA\_SOTO\_JOSEPH\_FINAL\_TESIS (2)



**Nombre del documento:** CARBO\_KARLA\_SOTO\_JOSEPH\_FINAL\_TESIS (2).docx  
**ID del documento:** 6faa66a943f43fe9d84967b0b1900f6fe92de5df  
**Tamaño del documento original:** 61,11 MB  
**Autores:** []

**Depositante:** Clara Catalina Glas Cevallos  
**Fecha de depósito:** 5/9/2024  
**Tipo de carga:** interface  
**fecha de fin de análisis:** 5/9/2024

**Número de palabras:** 23.587  
**Número de caracteres:** 158.285

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>es.slideshare.net</b>   Librodeslizamientost2_cap2   PDF https://es.slideshare.net/slideshow/librodeslizamientost2-cap2/87563262 11 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (739 palabras)
2	<b>congress.cimne.com</b> https://congress.cimne.com/simposiotaludes2021/admin/files/filePaper/p127.pdf 1 fuente similar	2%		Palabras idénticas: 2% (587 palabras)
3	<b>repositorio.upt.edu.pe</b> http://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/20.500.12969/2072/1/Zavala-Venegas-Jonathan.pdf 1 fuente similar	2%		Palabras idénticas: 2% (439 palabras)
4	<b>201.159.223.180</b> http://201.159.223.180/bitstream/3317/20808/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-468.pdf 14 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (405 palabras)
5	<b>cybertesis.uach.cl</b> http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/bmf0j.65p/doc/bmf0j.65p.pdf 7 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (401 palabras)

## Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>Documento de otro usuario</b> #198aee El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (37 palabras)
2	<b>www.ambiente.gob.ec</b> https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/06/REGLAMENTO-AL-CODIGO-O...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
3	<b>dspace.ucuenca.edu.ec</b> https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/761/3/ri888.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (38 palabras)
4	<b>www.scielo.org.mx</b> http://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n94/0185-092X-ris-94-00001.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
5	<b>www.ambiente.gob.ec</b> https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/10/Propuesta-de-instructivo-de-...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)

**Fuente ignorada** Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>Fabiola Carbo y Joseph Soto.docx</b>   Fabiola Carbo y Joseph Soto #e90f2e El documento proviene de mi biblioteca de referencias	75%		Palabras idénticas: 75% (18.627 palabras)

**Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)** Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	https://earth.google.com/web/?hl=es-419
2	https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-11/010051360.pdf
3	https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010051362
4	http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/9091

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la sabiduría y fuerza para seguir adelante y culminar esta etapa.

A la gran mujer que es mi guía y pilar constante en mi vida, la más resiliente y luchadora: mi mamá, Karina Uruchima Campoverde. Este trabajo no solo muestra el esfuerzo que hice, sino también tu dedicación y apoyo en mi vida. Te agradezco inmensamente por creer en mí y alentarme cada día a que nunca desista, por siempre estar en cada momento en el que sentía que ya no podía. Este logro es para ti, la alegría es tanto tuya como mía. Gracias por inspirarme a ser mejor y por enseñarme que con esfuerzo y dedicación todo es posible.

A ti papá, Marcelo Carbo Lindao, reconozco cada buen consejo y guía en mi vida, por enseñarme el valor de la perseverancia, por ti he aprendido que los grandes logros requieren sacrificio, paciencia y compromiso. Te agradezco por apoyarme y acompañarme en esta etapa y por no soltarme la mano para poder seguir junto a ti creciendo y mejorando.

Al pequeño de la casa: mi hermano, Diego Carbo Uruchima. Por ser esa alegría que ilumina mi vida, tus ocurrencias y compañía me recordaban lo importante que es encontrar momentos para relajarse y disfrutar. Gracias por estar ahí con una sonrisa o un abrazo, en los días más difíciles.

A mi gatito, Orión. Por cada noche desvelada, él estaba ahí acompañándome. Simplemente por estar siempre cerca, dando calidez a mis días.

A mi mejor amiga, Franchesca Rennella. Que nunca dudó que lo lograría y estuvo para mí en cada etapa. Tu amistad ha sido una de las cosas más valiosas en este proceso. Gracias por darme aliento, ánimos y tus ricos dulcitos que me alegran la vida, eres la mejor.

A mi mejor amigo, Ronny Carranza. Tu respaldo constante y tus palabras de aliento ante cada situación, me impulsaron a seguir adelante.

Gracias a todos los amigos que hice en este gran camino, por las risas que aliviaron el estrés y por recordarme siempre que no estaba sola. Los llevo en el corazón chicos.

**Carbo Uruchima, Karla Milena**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mis padres, sin ellos nada hubiera sido posible. Confiaron en mí y estuvieron muy presentes en cada decisión y paso que daba. Me enseñaron a no rendirme y alcanzar con esfuerzo cada meta que tenía. Les doy las gracias por todo lo que hicieron para que pudiera comenzar, seguir y terminar esta carrera. Con mucho amor, les dedico este y futuros logros.

A mi abuelito, Olmedo Uruchima, aunque ya no estés aquí conmigo celebrando tu mayor deseo, siempre te tendré en mi corazón. Te dedico este logro mi viejito, un beso hasta el cielo.

**Carbo Uruchima, Karla Milena**

## **AGRADECIMIENTOS**

La culminación de este trabajo representa un logro que solo ha sido posible gracias al apoyo y la compañía de muchas personas a lo largo de este proceso. Por ello, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todos aquellos que han sido parte de alguna manera en este viaje hacia mi vida profesional.

En primer lugar, deseo agradecer a Dios, cuya fortaleza y guía me han acompañado cada paso de este camino. Sin Su infinita ayuda y protección, no habría podido superar los momentos de duda y agotamiento. Sin Su gracia, no hubiera sido posible llegar hasta aquí.

A mis padres, quienes han sido el pilar de mi existencia, les debo todo. A mi mamá, quien ha sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional. Me enseñaste que, con esfuerzo y determinación, no hay metas inalcanzables. Tus palabras de aliento han sido mi motor en los momentos más difíciles. A mi papá, su ejemplo de perseverancia y trabajo incansable me ha guiado y motivado para no rendirme.

**Soto Carvajal, Joseph Lizandro**



## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres,

Este logro es tan vuestro como mío. A ustedes, que han sido mi guía, mi apoyo incondicional, y mis más grandes maestros en la vida. Por su amor sin límites, por sus sacrificios innumerables, y por enseñarme a luchar por mis sueños con determinación y coraje.

Gracias por cada consejo, cada palabra de aliento, y cada gesto de cariño que me han dado. Todo lo que soy y lo que he alcanzado se lo debo a ustedes.

Con todo mi amor y gratitud, les dedico este triunfo.

**Soto Carvajal, Joseph Lizandro**




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

f.  \_\_\_\_\_

**Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto, Msc.**

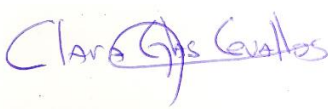
TUTOR

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

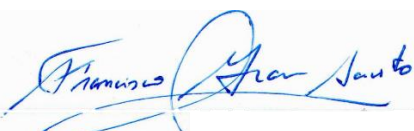
f.  \_\_\_\_\_

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

DIRECTORA DE CARRERA

f.  \_\_\_\_\_

**Ing. Clara Glas Cevallos, M.Sc**  
DOCENTE DE LA CARRERA

f.  \_\_\_\_\_

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

OPONENTE

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
1.1 Deslizamiento de Cerro Azul en 1998 .....	2
1.2 Interrupción de la Vía Perimetral .....	10
1.2.1 Impacto económico .....	13
1.2.2 Impacto social .....	13
1.2.3 Impacto en la infraestructura.....	15
1.3 Interrupción de la Vía a la Costa hacia sus urbanizaciones y Chongón.....	15
1.3.1 Impacto social .....	16
1.4 Afectación de la plusvalía para Vía a la Costa.....	18
1.5 Consecuencias catastróficas para construcciones aledañas.....	18
1.5.1 Centro Comercial Riocentro Ceibos .....	18
1.5.1.1 Impacto en la infraestructura.....	18
1.5.1.2 Impacto en la seguridad y salud de las personas.....	19
1.5.2 Urbanización Los Parques.....	19
1.5.2.1 Impacto en la infraestructura.....	21
1.5.2.2 Impacto en la seguridad y salud de los residentes.....	21
1.5.2.3 Impacto social .....	21
1.6 Objetivos .....	21
1.6.1 Objetivo general .....	21
1.6.2 Objetivos específicos.....	21
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
2.1 Marco normativo .....	24
2.1.1 Código Orgánico del Ambiente.....	24
2.1.2 Estudio de Impacto Ambiental .....	25
2.1.3 Dominio Institucional de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG).....	25

2.2 Marco sísmico regional .....	26
2.2.1 Peligro sísmico .....	26
2.2.2 Sismicidad .....	27
2.2.3 Subducción de placas tectónicas .....	28
2.2.4 Subducción placa Nazca y Sudamericana .....	28
2.2.5 Punto caliente de las Galápagos .....	30
2.2.6 Cordillera de Carnegine .....	31
2.2.7 Golfo de Guayaquil .....	34
2.2.8 Sistemas de fractura de la placa Nazca .....	35
2.2.9 Bloque Nor-Andino .....	36
2.3 Marco geológico local .....	37
2.3.1 Localización y geología .....	37
2.3.2 Litología de Cerro Azul .....	39
2.3.2.1 Lutitas .....	40
2.3.2.2 Limonitas .....	41
2.3.2.3 Areniscas .....	42
2.3.2.4 Aglomerados .....	43
2.3.2.5 Chert .....	44
2.3.2.6 Arcillas expansivas .....	45
2.4 Pluviometría de Cerro Azul .....	46
2.4.1 Agua subterránea .....	47
2.4.2 Nivel freático .....	48
2.4.3 Geohidrología .....	49
2.5 Estabilidad de taludes .....	50
2.5.1 Generalidades .....	50
2.5.2 Partes de un Talud .....	51
2.5.3 Influencia del tipo de material .....	52

2.5.3.1	Macizos rocosos .....	52
2.5.3.2	Suelos .....	53
2.5.3.3	Rellenos.....	53
2.5.4	Clasificación de los movimientos .....	54
2.5.4.1	Caídos.....	54
2.5.4.2	Deslizamiento traslacional .....	55
2.5.4.3	Deslizamiento rotacional.....	56
2.5.5	Factores que influyen en la estabilidad de taludes .....	58
2.5.6	Efectos desestabilizadores.....	59
2.5.6.1	Meteorización.....	60
2.5.6.2	Meteorización física o mecánica .....	60
2.5.6.3	Meteorización química.....	60
2.5.6.4	Sismos .....	61
2.5.6.5	Precipitaciones .....	65
2.5.6.6	Deslizamiento en Alausí .....	66
2.5.7	Elementos de contención.....	69
2.5.8	Drenaje Superficial.....	71
2.5.8.1	Zanjas de Corona.....	71
2.5.8.2	Conformación y nivelación del terreno.....	72
2.5.8.3	Bermas o terrazas .....	73
2.5.8.4	Zanjas de drenaje.....	74
2.5.8.5	Torrenteras .....	75
2.5.8.6	Canal Rápido .....	75
2.5.8.7	Torrenteras en Gradería.....	75
2.5.8.8	Canal con Pantallas deflectoras.....	76
2.5.9	Hidrosiembra.....	77
2.5.10	Subdrenaje.....	79

2.5.10.1 Métodos de subdrenaje.....	79
2.6 Método constructivo.....	80
2.6.1 Métodos de excavación.....	80
2.6.2 Elementos de sostenimiento.....	81
2.6.3 Hormigón proyectado.....	81
2.6.4 Cerchas.....	82
2.6.5 Anclajes.....	83
<b>CAPÍTULO III Casos de historia a nivel planetario de túneles de drenaje profundo.....</b>	<b>84</b>
3.1 Deslizamiento de Po Shan Hong Kong.....	84
3.2 Entorno Geotécnico.....	84
3.3 Estudios y trabajos en el sitio.....	85
3.4 Deslizamiento #5 en Tablachaca.....	89
3.5 Deslizamiento de Qili Changshan.....	94
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS.....</b>	<b>99</b>
4.1 Túneles de drenaje profundo con paraguas de drenaje.....	100
4.2 Terrazas vegetalizadas con hidrosiembra y cunetas de pie.....	103
4.3 Bajantes de drenaje revestidas con gavión colchoneta y geotextil.....	104
4.4 Vías de servicio.....	104
4.5 Pantalla reticular prefabricada y postensada.....	106
4.6 Problemas constructivos.....	107
4.7 Presupuesto referencial del proyecto de estabilización.....	108
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>109</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>111</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista aérea en la que se observa la magnitud del deslave ocurrido en cerro Azul, se observa la Vía Perimetral, el CC. Riocentro Los Ceibos y toda el área de influencia afectada .....	2
Figura 2. Retroexcavadora del municipio realizando trabajos de desalojo del material deslizado.....	3
Figura 3. Volquetas del municipio realizando trabajos de desalojo del material deslizado.....	4
Figura 4. Mapa de deslaves e inundaciones en el sector norte de Guayaquil .....	5
Figura 5. Material coluvial en la base del cerro con peligro de caer en el CC. Riocentro Los Ceibos.....	6
Figura 6. Deslizamiento principal que amenazaba al centro comercial Riocentro Los Ceibos.....	7
Figura 7. Personal evacuando el material del Cerro Azul, se presenta el muro fisurado tras el primer deslave .....	7
Figura 8. Ramificación del deslizamiento con dirección al centro comercial Riocentro Los Ceibos.....	8
Figura 9. 40 antenas instaladas por empresas privadas con riesgo de caer en caso de continuar los deslaves .....	9
Figura 10. Ubicación del área de estudio, Cerro Azul .....	10
Figura 11. Vía Perimetral colapsada por el deslizamiento de Cerro Azul .....	11
Figura 12. Equipo caminero realizando trabajos de desalojo del material deslizado	11
Figura 13. Equipo caminero realizando trabajos de desalojo del material deslizado	12
Figura 14. Simulación de deslizamiento de Cerro Azul llegando a interrumpir paso de la Vía Perimetral .....	12
Figura 15. El cierre de la Vía Perimetral provocó un serio congestionamiento de tránsito en las vías a la Costa, a Daule y en la avenida principal de Los Ceibos, que fueron utilizadas como alternas.....	14
Figura 16. Mapa de vías alternas por el cierre de la Vía Perimetral. ....	14
Figura 17. Simulación de deslizamiento de Cerro Azul llegando a interrumpir paso de la av. del Bombero con dirección a Vía a la Costa.....	16
Figura 18. Unión de dos vías principales (calle Portete y av. Barcelona) hacia la av. Rodríguez Bonín que desemboca hacia Vía a la Costa.....	17

Figura 19. Ciudadelas aledañas a Vía a la Costa se verían afectadas por el congestionamiento vehicular en caso de interrupción de la av. del Bombero por deslizamiento de Cerro Azul. ....	17
Figura 20. Simulación del impacto total que recibiría el CC. Riocentro Los Ceibos, a causa del deslizamiento de Cerro Azul. ....	19
Figura 21. Vista del deslizamiento desde la Urbanización Los Parques, aquella que tenía riesgo de ser afectada por deslizamientos de Cerro Azu. ....	20
Figura 22. Simulación del impacto total que recibiría la Urbanización Los Parques, a causa del deslizamiento de Cerro Azul. ....	20
Figura 23. Zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z... ..	27
Figura 24. Límites de placas mostrando las dirección y velocidades de movimiento. ....	29
Figura 25. Punto caliente de Galápagos (círculo rojo) que forma la cordillera de Cargenie y de Cocos.....	30
Figura 26. Localización de la cordillera submarina de Carnegie, aquella que apareció por el punto caliente de la Galápagos. ....	31
Figura 27. Mapa batimétrico del área de estudio y el entorno morfológico - tectónico del Pacífico Oriental entre el Archipiélago de Galápagos y América Central que muestra las trayectorias de los puntos calientes de Galápagos: cordillera de Cocos y Carnegie. También se indican los sitios de muestreo (triángulos) y un perfil magnético desde Malpelo hasta Carnegie.....	32
Figura 28. 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. ....	33
Figura 29. Simulación de como la fractura de Grijalva pasa por debajo del Golfo de Guayaquil. ....	34
Figura 30. Contexto geodinámico de la subducción en el Ecuador .....	35
Figura 31. Nuevo mapa de la tectónica activa de Ecuador. ....	36
Figura 32. Ubicación Cerro Azul con sus curvas de nivel .....	37
Figura 33. Vista de la vertiente sur del Cerro Azul. Se observa una línea amarilla que marca el contacto entre la Formación Guayaquil y la Formación Cayo. ....	39
Figura 34. Deslizamiento de material coluvial en Cerro Azul: lutitas y limonitas de la formación Guayaquil, fuertemente meteorizadas .....	40
Figura 35. La lutita es la roca sedimentaria más abundante .....	41



Figura 36. Alternancia de areniscas cuarcíticas y limonitas vinosas .....	42
Figura 37. Arenisca roja debido a las partículas de óxido de hierro que tiene.....	43
Figura 38. Los aglomerados son rocas que se componen principalmente por clastos gruesos unidos por una matriz y minerales cementantes .....	44
Figura 39. Chert de la Formación Pérmica de Fosforia en Montana .....	45
Figura 40. Celdas que fluyen en la pendiente del área de estudio. ....	47
Figura 41. Dirección de drenaje de Cerro Azul.....	47
Figura 42. Niveles de distribución del agua subterránea .....	48
Figura 43. Variaciones del nivel freático en función de la cantidad de lluvias. ....	49
Figura 44. Nomenclatura de taludes y laderas .....	50
Figura 45. Partes generales de un talud o ladera.....	51
Figura 46. Ejemplo de Macizo Rocosó .....	52
Figura 47. Terraplén construido con material de relleno .....	53
Figura 48. Caídos de bloques en caída libre de roca fracturada.....	54
Figura 49. Caído o desprendimiento de suelo.....	55
Figura 50. Ejemplos de deslizamientos de tierra traslacionales en dos regiones diferentes: un deslizamiento de materiales metamórficos erosionados, Chiapas, sur de México; b deslizamiento traslacional en conos de escoria volcánica, centro de México .....	56
Figura 51. Se observa un deslizamiento rotacional en el que la superficie de deslizamiento es curva (a menudo como la superficie de una cuchara); esto se conoce como ruptura lístrica o superficie de deslizamiento.....	57
Figura 52. Deslizamiento en Quito tras sismo .....	62
Figura 53. Deslizamiento en Quito tras sismo .....	62
Figura 54. Deslizamiento en Quito tras sismo .....	63
Figura 55. Localización del sismo principal y sus réplicas hasta hoy a las 9h00 TL	63
Figura 56. Epicentros de los terremotos mayores a 6.5 grados en la escala de Richter, ocurridos en Ecuador durante el periodo 1900-2017 .....	64
Figura 57. Deslave de gran proporción se produjo en Alausí, provincia de Chimborazo, causado por la época lluviosa.....	65
Figura 58. Deslizamiento en Alausí .....	66
Figura 59. Deslizamiento en Alausí .....	67
Figura 60. Afectaciones del deslizamiento en Alausí .....	68

Figura 61. Mapa de nivel de amenaza- Lluvias y tormentas.....	69
Figura 62. Algunas técnicas de reforzamiento ante deslizamientos.....	70
Figura 63. Detalle de zanjas de la corona para el control de las aguas superficiales en un talud.....	71
Figura 64. Esquema de Zanja de Corona .....	72
Figura 65. Esquema de un talud con bermas o terrazas .....	73
Figura 66. Taludes con bermas.....	74
Figura 67. Esquema de zanjas de drenaje .....	74
Figura 68. Torrentera en gradería .....	75
Figura 69. Torrentera en gradería .....	76
Figura 70. Torrentera de un canal dissipador con pantallas deflectoras .....	76
Figura 71. Canales para tratamiento de aguas en laderas: Izquierda, canal liso; Centro, canal con pantallas deflectoras, Derecha, canal con rápida, columpio y tapa .....	77
Figura 72. Aplicación de Hidrosiembra en camioneta .....	78
Figura 73. Aplicación de Hidrosiembra .....	78
Figura 74. Efecto de una galería de drenaje sobre las líneas piezométricas en un gran deslizamiento. (a) Antes de la galería. (b) Después de construida la galería.....	79
Figura 75. Evolución de la línea de nivel freático al construir una galería de drenaje .....	80
Figura 76. Representación de la secuencia de excavación de los diferentes métodos.....	81
Figura 77. Tipos de hormigón proyectado .....	82
Figura 78. de cerchas en túneles .....	82
Figura 79. Tipos de anclaje .....	83
Figura 80. Deslizamiento de tierra de Po Shan 1972 .....	84
Figura 81. Sistema de drenajes subterráneos .....	85
Figura 82. Sistema de drenajes subterráneos .....	86
Figura 83. Inicio de la construcción de la entrada a las galerías de drenaje del cerro Po Shan.....	86
Figura 84. Sistema de drenajes subterráneos .....	87
Figura 85. Imagen esquemática del taladro utilizado en la construcción de las galerías de drenaje .....	87
Figura 86. Colocación de los paraguas de drenaje .....	88
Figura 87. Esquema de colocación de los paraguas de drenaje .....	88

Figura 88. Esquema de sistema de recolección interna de los paraguas de drenaje ..	89
Figura 89. Vista frontal del Derrumbe N# 5, ubicado sobre el estribo derecho de la presa de Tablachaca.....	90
Figura 90. Corte geológico del área del derrumbe #5, el corte representa la localización de las actuaciones de los años 80. ....	91
Figura 91. Planta general de las galerías de drenaje proyectadas .....	92
Figura 92. Proceso de construcción de los paraguas de drenaje .....	93
Figura 93. Esquema del deslizamiento con detalle de las nuevas mediadas de drenaje implementadas.....	94
Figura 94. Deslizamiento Qili .....	95
Figura 95. Foto de grietas; a) grieta 1, b) grieta 2, c) grieta 3, d) grieta 4.....	96
Figura 96. Mapa topográfico del deslizamiento.....	97
Figura 97. Vista en corte del deslizamiento .....	97
Figura 98. Ilustración esquemática de a) ubicación del túnel de drenaje, b) Vista en perfil del túnel de drenaje.....	98
Figura 99. Esquema del deslizamiento de Cerro Azul. ....	99
Figura 100. Esquema de perforación con perforadora hidráulica para la colocación de los paraguas de drenaje en cada túnel. ....	100
Figura 101. Esquema de túnel de drenaje profundo de 2m de diámetro junto a sus paraguas de drenaje subverticales y un sistema de regulación de aguas subterráneas dentro del túnel.....	101
Figura 102. Vista transversal del esquema de túnel de drenaje profundo de 2 m de diámetro junto con sus paraguas de drenaje subverticales y un sistema de regulación de aguas subterráneas dentro del túnel.....	101
Figura 103. Esquema de la ubicación de los paraguas de drenaje subverticales que se encuentran cada 50 m por grupo. ....	102
Figura 104. Esquema de la entrada del túnel con rejillas de seguridad para prevenir el acceso no autorizado. ....	102
Figura 105. Esquema de la distribución de los cuatro túneles en la zona de estudio. ....	103
Figura 106. Esquema de las terrazas con hidrosiembra y geotextil de coco en la parte superior del cerro, acompañadas de cunetas de pie para la recolección de agua superficial.....	103

Figura 107. Esquema de la bajante de drenaje revestida con colchoneta de gaviones y geotextil sintético que recolecta el agua de las terrazas y de los túneles de drenaje. ....	104
Figura 108. Esquema de la vía de servicio utilizada para el mantenimiento de las terrazas y túneles de drenaje. ....	104
Figura 109. Esquema de la vía de servicio conectada a las terrazas, diseñada para facilitar futuros trabajos de mantenimiento.....	105
Figura 110. Vista parcial de la ubicación de la pantalla reticulada entre las vías de servicio. ....	106
Figura 111. Vista detallada de una de las crucetas de la pantalla reticulada, diseñada para mejorar la estabilidad en la zona no deslizada del cerro. ....	106

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores del factor $Z$ en función de la zona sísmica adoptada.....	28
Tabla 2. Resumen de los elementos en elaboración de modelos de deslizamientos ..	59
Tabla 3. Tabla de presupuesto referencial .....	108

## RESUMEN

El efecto desestabilizador de las aguas subterráneas es una de las principales causas de los deslizamientos de tierra, lo que representan un peligro importante para la vida humana y el medioambiente. A menudo, el abatimiento de las aguas subterráneas es la forma más eficiente de estabilizar grandes masas de suelo inestable. De conformidad con lo anterior, entre las medidas para abatimiento de aguas subterráneas, se encuentra que los túneles de drenaje profundo tienen varias ventajas para abordar esta situación, aunque los costos de construcción podrían ser más altos que otras alternativas.

Las medidas tradicionales de estabilización de taludes podrían incluir cambios en la geometría de estos, la construcción de estructuras de contención y las medidas para el abatimiento de las aguas subterráneas. Se ha determinado que estas soluciones se pueden utilizar de forma aislada o en diferentes combinaciones. Sin duda, el efecto desestabilizador del agua cumple un papel importante en la activación de deslizamientos de tierra, por lo que su control es una de las herramientas más eficaces para la estabilización segura.

En ese orden de ideas, el planteamiento esquemático, por medio de ilustraciones del área de estudio junto con sus diferentes medidas de contención, consideró que este presente trabajo de titulación es una alternativa viable para el abatimiento de las aguas subterráneas y la estabilización de grandes masas de suelo.

***Palabras clave:*** Túneles de drenaje profundo, Paraguas de drenaje, Terrazas, Deslizamiento, Cerro Azul, Cunetas, Hidrosiembra, Gavión colchoneta, Aguas subterráneas, Meteorización, Erosión.

## ABSTRACT

The destabilizing effect of groundwater is one of the main causes of landslides, which pose a significant threat to human life and the environment. Lowering the groundwater level is often the most efficient way to stabilize large masses of unstable soil. Among the methods for groundwater control, deep drainage tunnels offer several advantages, although the construction costs may be higher than other alternatives.

Traditional slope stabilization measures may include changes in slope geometry, the construction of retaining structures, and methods for lowering groundwater levels. These solutions can be used independently or in various combinations. Undoubtedly, the destabilizing effect of water plays a crucial role in triggering landslides, and its control is one of the most effective tools for safe stabilization.

The schematic approach through illustrations of the study area, along with its different containment measures, suggests that this current thesis work is a practical alternative for groundwater control and the stabilization of large masses of soil.

**Keywords:** *Deep drainage tunnels, Drainage umbrella, Terraces, Landslide, Cerro Azul, Ditches, Hydroseeding, Gabion mattress, Groundwater, Weathering, Erosion.*

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Deslizamiento de Cerro Azul en 1998

El deslave ocurrido en Cerro Azul el 4 de abril de 1998 entre las 01h00 y 03h00 fue el deslizamiento más grande y de mayor volumen desplazado de la ciudad de Guayaquil. Esto dio lugar al reconocimiento de la vulnerabilidad de todas las zonas urbanizadas cercanas que no tenían una correcta gestión ambiental. Ahora bien, el fenómeno del niño fue el responsable de este deslizamiento, al traer una serie de lluvias intensas que saturaron el suelo de Cerro Azul, caracterizado por tener un suelo arcilloso y de pendientes grandes, lo que facilitó un desastre geológico de gran intensidad.

En la Figura 1 se presenta una foto aérea de la magnitud que tuvo el deslizamiento en 1998. En esta se observa la Vía Perimetral y el área de influencia afectada del centro comercial Riocentro Los Ceibos.



Figura 1. Vista aérea en la que se observa la magnitud del deslave ocurrido en cerro Azul, se observa la Vía Perimetral, el CC. Riocentro Los Ceibos y toda el área de influencia afectada

*Nota.* Tomado de *Deslizamiento en Cerro azul*, por Diario El Universo, 1998.



El 4 de abril, la Vía Perimetral y a la Costa amanecieron cerradas debido a los deslaves registrados en esos sectores. Como respuesta, la maquinaria del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el municipio trabajó en rehabilitar las carreteras, teniendo como problema mayor el kilómetro 32 de la Vía Perimetral en la parte posterior del centro comercial Riocentro Los Ceibos, donde se produjo un deslave en Cerro Azul. Este deslizamiento cubrió unos de los principales carriles de regreso a la ciudad. En consecuencia, el personal de la Comisión de Tránsito del Guayas (CTG) desviaba el tráfico, con el fin de prevenir cualquier tipo de accidente.

Como se observa en la figura 2 y 3, desde las primeras horas estaban maquinarias del MOP retirando material hasta aproximadamente las 12h00. Para ello llegaron retroexcavadoras y volquetas del municipio. Al respecto, se tenía conocimiento sobre las posibles demoras de la remoción del material coluvial y se advertía que, en caso de que lloviera, la situación se agravaría, puesto que los deslizamientos en Cerro Azul iban a continuar.



Figura 2. *Retroexcavadora del Municipio realizando trabajos de desalojo del material deslizado*

*Nota.* Tomado de *Deslizamiento en Cerro azul*, por diario *El Universo*, 1998.



Figura 3. *Volquetas del Municipio realizando trabajos de desalojo del material deslizado*

*Nota.* Tomado de *Deslizamiento en Cerro azul*, por diario *El Universo*, 1998.

Como se evidencia la Ilustración 4, en la Vía a la Costa, específicamente en la entrada a los Ceibos, también se produjeron deslaves a unos cientos de metros antes de llegar al lugar donde antes funcionaba la empresa Sico. Como consecuencia, la tierra obstaculizó el tramo que conduce hacia el puente Portete. Asimismo, se envió a este lugar la maquinaria del MOP, que trabajó en el retiro del material. El personal a cargo indicó que el origen del deslizamiento se debió a la fuerte precipitación que tuvo la ciudad.

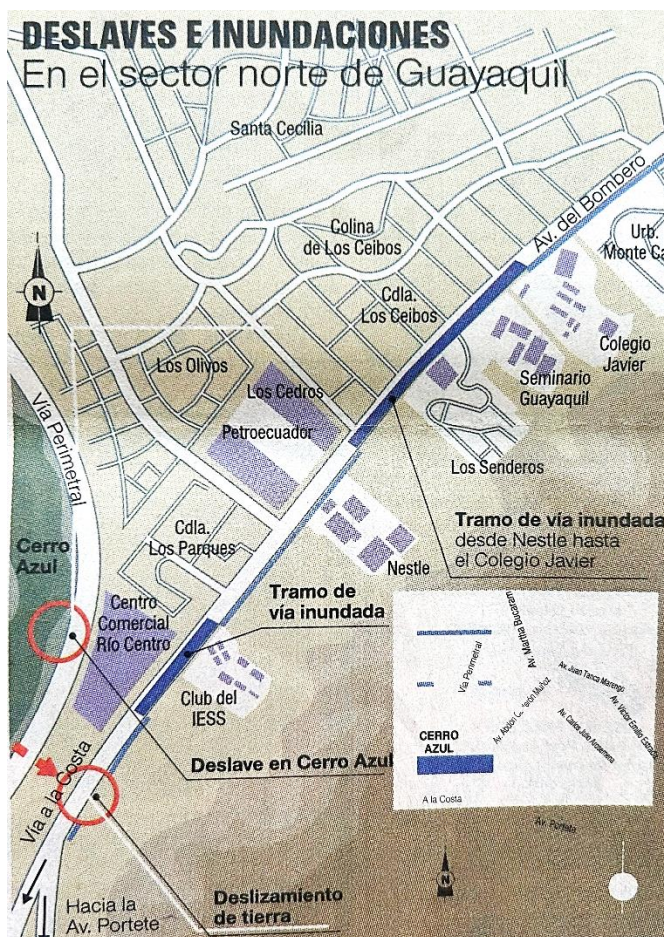


Figura 4. Mapa de deslaves e inundaciones en el sector Norte de Guayaquil

Nota. Tomado de *Deslizamiento en Cerro azul*, por diario *El Universo*, 1998.

En la misma carretera, pero con dirección a la vía a Daule, se originó una enorme laguna de aproximadamente seis cuadras por el desbordamiento del canal que existe a la altura del colegio Javier. En esa medida, fue difícil la movilización de los vehículos. La maquinaria del MOP llegó a este lugar aproximadamente a las 12h00; igualmente, se contó con la compañía Vachagnon para auxiliar en las tareas de retiro de material.

En ese sector, Los Ceibos, Los Olivos y Los Senderos fueron las urbanizaciones mayormente afectadas en la Vía a la Costa, cuyos moradores no lograron salir de sus domicilios y esperaron por varias horas hasta que bajaran las aguas. A causa de las fuertes precipitaciones, se produjeron infiltraciones en la parte más alta del cerro dando diferentes líneas de flujo en distintos puntos de la pendiente, pero hubo otros flujos que no salieron, lo que provocó una gran presión en la mitad y

al pie del cerro. Por consiguiente, la presión en la parte media desató que el material coluvial de la superficie se deslizara y quedara sobre la base del cerro.

Por tal motivo, el sector de Cerro Azul se consideró de alto riesgo por el subsecretario de Obras Públicas del Litoral del año 1998, Gonzalo Vargas, debido a que los deslizamientos de tierra se mantienen inalterables hasta la fecha. Por su parte, Vargas señaló que se inspeccionó el lugar con el personal de la Subsecretaría y el municipio, pero no pudieron realizar la inspección completa porque existía el alto riesgo de “quedar sepultados”. Igualmente, este expuso que el material que baja del cerro está completamente saturado y cualquier máquina que entre se quedará atascada.

En resumen, los deslaves del Cerro Azul se producían a diario, debido a que el material estaba completamente saturado por la acción del agua. En la Figura 5 se muestra que, en la parte baja del cerro, el centro comercial Riocentro Los Ceibos sería uno de los más perjudicado por estos deslizamientos.

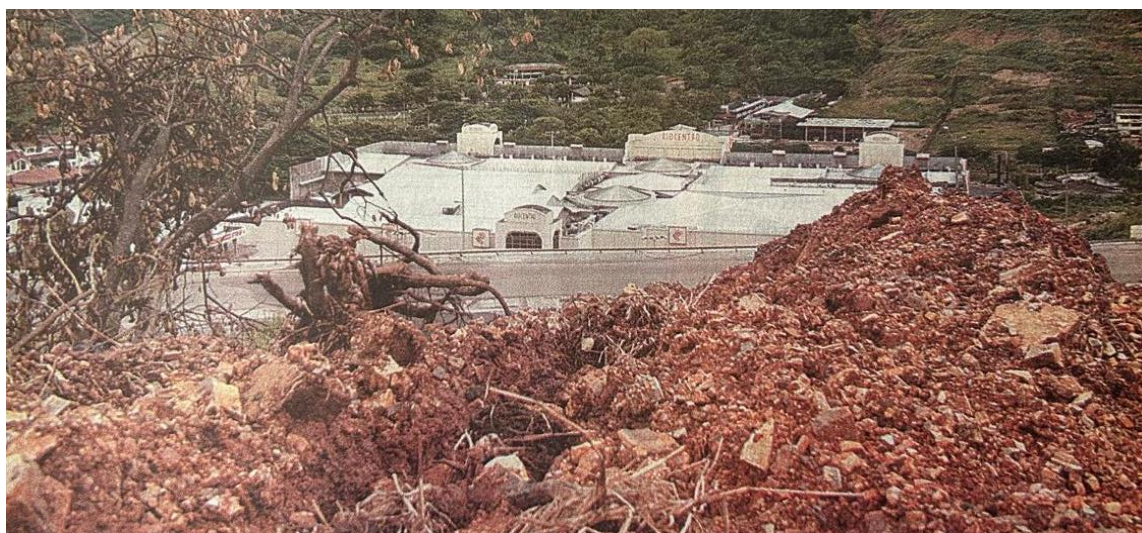


Figura 5. *Material coluvial en la base del cerro con peligro de caer en el CC. Riocentro Los Ceibos*

*Nota.* Tomado de *Deslizamiento en Cerro azul*, por diario *El Universo*, 1998.

Por otro lado, el desprendimiento mayor fue de varios miles de toneladas de rocas sedimentarias y suelos residuales, lo que originó una grieta de aproximadamente 200 metros de longitud y un desplazamiento en la superficie de falla de más de 65 metros con una velocidad promedio de desplazamiento de las rocas de 5 metros por día. Debido al número de días en que se deslizó esta cantidad de material, el centro comercial Riocentro Los Ceibos estuvo amenazado, dado que el parqueadero ubicado

en la parte trasera se había llenado de lodo, a pesar de haber realizado trabajos en los muros de contención que delimitaban el área del centro comercial. En la Figura 7 se expone el trabajo de limpieza realizado en el Riocentro Los Ceibos.

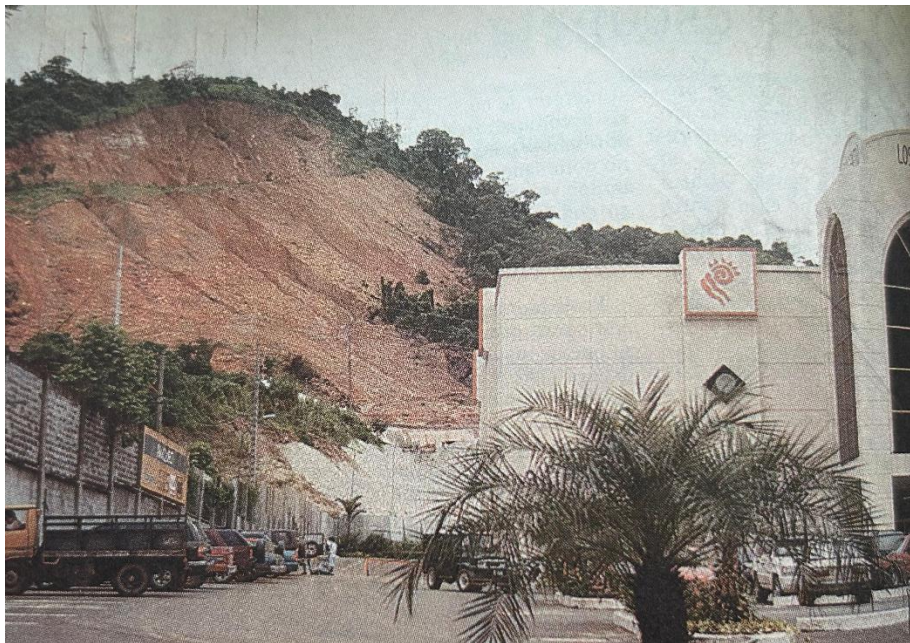


Figura 6. *Deslizamiento principal que amenazaba al centro comercial Riocentro Los Ceibos*

*Nota.* Tomado de *Deslizamiento en Cerro azul*, por diario *El Universo*, 1998.



Figura 7. *Personal evacuando el material del Cerro Azul, se presenta el muro fisurado tras el primer deslave*

*Nota.* Tomado de *Deslizamiento en Cerro azul*, por diario *El Universo*, 1998.

Al comienzo, estos muros solo tenían fisuras que se repararon al mismo tiempo en que liberaban el paso de la Vía Perimetral. Después del primer deslizamiento, estos muros colapsaron por un nuevo deslave del cerro, llenando parte del parqueadero con material coluvial. En la Figura 8 se observa la parte del deslizamiento que amenazaba el centro comercial.



Figura 8. *Ramificación del deslizamiento con dirección al centro comercial Riocentro Los Ceibos*

*Nota.* Tomado de *Deslizamiento en Cerro azul*, por diario *El Universo*, 1998.

El nuevo desmoronamiento de tierra se acompañó de microdeslaves que mantuvieron en alerta a los elementos de la Defensa Civil del Guayas, municipalidad de Guayaquil, y al equipo técnico responsable del mantenimiento de las antenas. Al respecto, se efectuó un diagnóstico de la situación del cerro. Los ingenieros Jorge Berrezueta, director de Obras Públicas Municipales, Jaime Argudo, del Instituto de Investigaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil y el comandante Alfredo Pesántez, jefe de Operaciones de la Defensa Civil del Guayas del año 1998 visitaron el lugar.



Figura 9. 40 antenas instaladas por empresas privadas con riesgo de caer en caso de continuar los deslaves

*Nota.* Tomado de *Deslizamiento en Cerro azul*, por diario *El Universo*, 1998.

Por su parte, Pesántez (1998) advirtió que el cerro tenía un “corte de tierra, en la parte superior que puede provocar deslaves futuros”. Asimismo, el comandante de la Fuerza Civil sostuvo que el centro comercial no era un lugar seguro y pedía su evacuación inmediata. De acuerdo con Argudo (1998), era necesario que se realizara un estudio sobre la estabilidad que tiene la parte superior del cerro donde están ubicadas las antenas de transmisión, con el fin de que se tomaran medidas de precaución.

De conformidad con lo señalado, se plantea esta investigación con el objetivo de mostrar que el Cerro Azul (Las Antenas) tuvo dos grandes deslizamientos de tierra y uno menor, donde la ciudad de Guayaquil tuvo el deslave más grande, ubicado en la parte superior a la Vía Perimetral, cuya carretera es una de las vías más transitadas de la ciudad, junto al centro comercial Riocentro Los Ceibos y la urbanización Los

Parques. Sobre esto, se usó el software de Google Earth, como lo muestra la Ilustración 10, para ubicar el sitio de estudio y los lugares adyacentes vinculados al caso.



Figura 10. *Ubicación del área de estudio, Cerro Azul*

*Nota.* Tomado de Cerro Azul, por Google Earth, 2024, <https://earth.google.com/web/?hl=es-419>

## **1.2 Interrupción de la Vía Perimetral**

Como lo muestra la Figura 11, el 4 de abril de 1998, las masas de lodo y el material pedregoso desprendido de la ladera del Cerro Azul obstaculizaron el paso de vehículos en la Vía Perimetral, a la altura del kilómetro 32. Este derrumbamiento de tierra ocasionó que el muro de contención que protege al centro comercial, adyacente al sitio del deslave, quedara fisurado.





Figura 11. *Vía Perimetral colapsada por el deslizamiento de Cerro Azul*

*Nota.* Tomado de *Deslizamiento en Cerro azul*, por diario *El Universo*, 1998.

El equipo caminero contratado por el Ministerio de Obras Públicas efectuó la remoción y desalojo de la tierra para habilitar ambos carriles de carretera (ver figura 12 y 13). Cabe indicar que los dos carriles quedaron completamente copados de un manto grueso de tierra de un espesor aproximado de 2 metros.

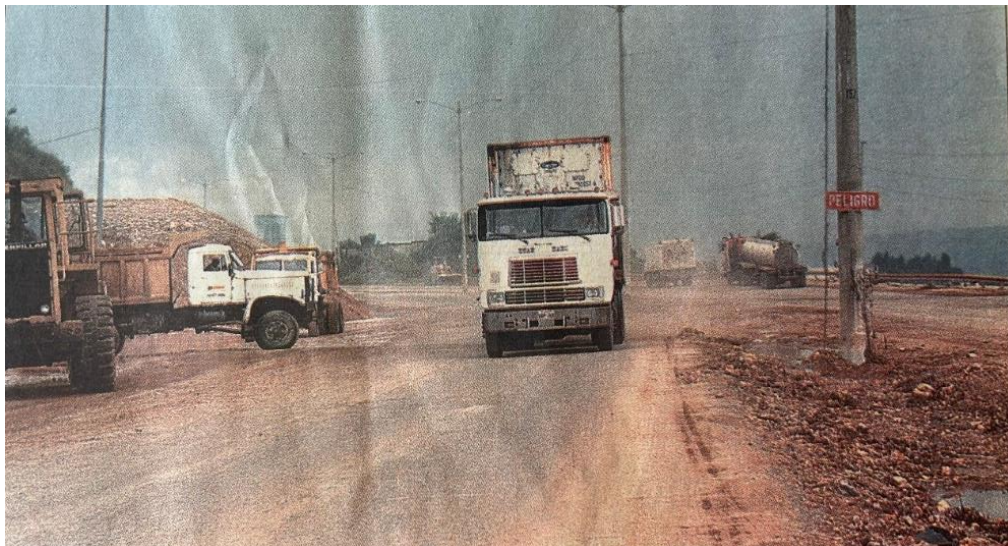


Figura 12. *Equipo caminero realizando trabajos de desalojo del material deslizado*

*Nota.* Tomado de *Deslizamiento en Cerro azul*, por diario *El Universo*, 1998.



Figura 13. Equipo caminero realizando trabajos de desalojo del material deslizado

*Nota.* Tomado de *Deslizamiento en Cerro azul*, por diario *El Universo*, 1998.

La vía Perimetral es una de las arterias viales más importante de la ciudad de Guayaquil, debido a que esta ayuda a la circulación de mercancía comercial y personas tanto interna como externamente. En esa medida, se determinó que podría haber tres impactos importantes si llegase a existir una interrupción de esta vía.



Figura 14. Simulación de deslizamiento de Cerro Azul llegando a interrumpir paso de la Vía Perimetral

*Nota.* Tomado de Google Earth.

### ***1.2.1 Impacto económico***

Esta vía es vital para el transporte de recursos hacia y desde el Puerto de Guayaquil. Por lo tanto, la interrupción de esta desencadenaría retrasos de importación y exportación de productos, lo que perjudica a las empresas nacionales y extranjeras. En caso de ocurrir, estas empresas adquirirían gastos adicionales para implementar vías alternas que pueden ser más largas y costosas, dando como resultado un incremento en el precio final para los clientes. Asimismo, al ejecutar vías alternas, las empresas encargadas en la logística del transporte se afectarían directamente. De igual modo, cuando se tiene un incremento en la duración del trayecto y los costos que conllevan estas acciones, se reduce la eficiencia del mencionado sector. Por consiguiente, el desvío vehicular a las nuevas rutas no solo incrementaría el tiempo de viaje, sino que también provoca un desgaste mayor en los vehículos, lo que significa un aumento en costos de mantenimiento y operación.

### ***1.2.2 Impacto social***

En 1998, la interrupción de la circulación de vehículos que venían desde la Vía Daule, y tenían como destino llegar al Puerto Marítimo, ocasionó que tráileres, camiones de carga, buses y vehículos livianos utilizaran las calles y avenidas de sectores residenciales como Los Ceibos, Santa Cecilia, Colinas de Los Ceibos y parte de arterias viales del campus de la Espol (ver Ilustración 15). En la Ilustración 16 se observan las recomendaciones, los desvíos y cierres de vía cuando ocurrió el deslave de Cerro Azul.

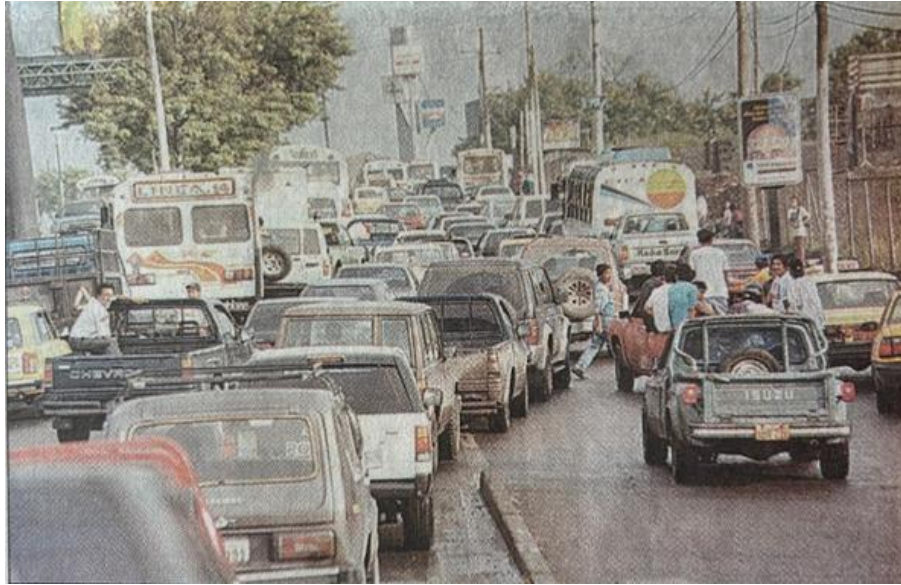


Figura 15. El cierre de la Vía Perimetral provocó un serio congestionamiento de tránsito en las vías a la Costa, a Daule y en la avenida principal de Los Ceibos, que se utilizaron como alternas.

Nota. Tomado de *Deslizamiento en Cerro azul*, por diario *El Universo*, 1998.

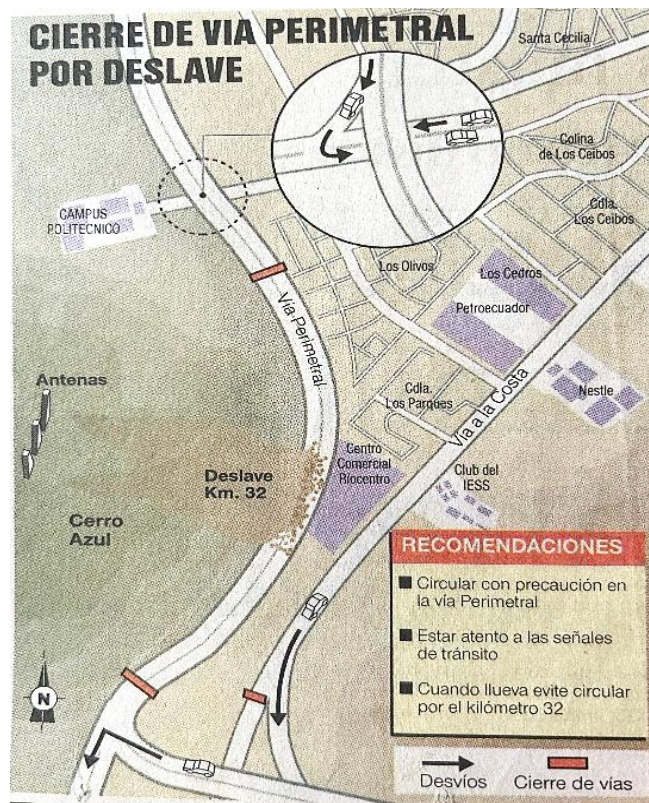


Figura 16. Mapa de vías alternas por el cierre de la Vía Perimetral.

Nota. Tomado de *Deslizamiento en Cerro azul*, por Diario *El Universo*, 1998.

El impacto que se tendría si llegase a pasar algún deslizamiento sería similar al de 1998. Esto sería engorroso para los ciudadanos que buscan desplazarse hacia su trabajo u hogares, debido a que al trazar otras rutas se generarían caos vehiculares afectando de manera negativa su calidad de vida. Asimismo, los hospitales Interhospital y el IESS Los Ceibos se verían afectados debido a que la interrupción de esta vía podría dificultar el tiempo de respuesta de los servicios de emergencia, lo que conduce a una atención médica incompleta.

### ***1.2.3 Impacto en la infraestructura***

Si llegase a colapsar el Cerro Azul, este afectaría en la vía Perimetral, obligando a construir una nueva vía. Cabe recordar que el gran deslizamiento de años anteriores llegó hasta el parqueadero superior del centro comercial Riocentro Los Ceibos. No hay duda de que un nuevo derrumbe colapsaría toda la infraestructura, haciendo que esta tenga que surgir nuevamente con nuevos estudios geotécnicos y mejor estructura. De igual modo, la urbanización Los Parques, al colindar con el centro comercial, también tendrá afectaciones.

### **1.3 Interrupción de la Vía a la Costa hacia sus urbanizaciones y Chongón**

La Vía a la Costa es una ruta importante que conecta la ciudad con las áreas costeras del país, por lo que se considera una pieza fundamental en el transporte de personas, bienes y servicios. Las dos vías que llevan a Vía a la Costa son la av. Rodríguez Bonín y la av. del Bombero. Tal como se expone en la Figura 17, la av. del Bombero sería la vía afectada por el deslizamiento de Cerro Azul, la cual se encuentra frente al centro comercial Riocentro Los Ceibos. En efecto, el objetivo de plantear este escenario consiste en hacer consciencia sobre su importancia y el peligro que lo rodea.



Figura 17. Simulación de deslizamiento de Cerro Azul llegando a interrumpir paso de la Av. del Bombero con dirección a Vía a la Costa

Nota. Google Earth.

### 1.3.1 Impacto social

La interrupción de una de las dos vías que llevan hacia la Vía a la Costa significa que aquellos que residen en esas urbanizaciones y los otros que se dirijan a Chongón se vean obligados a buscar la otra ruta, lo que genera mayor congestión vehicular. En la Ilustración 18 se muestra que no solo se sumaría al tráfico de la av. del Bombero, sino que también se afectan los que se desplazan por la av. Barcelona, la calle Portete de Tarqui con el puente Portete.



Figura 18. Unión de dos vías principales (calle Portete y av. Barcelona) hacia la av. Rodríguez Bonín que desemboca hacia Vía a la Costa

Nota. Google Maps.

En la Figura 19, se puede observar cómo afectaría negativamente a las urbanizaciones de Vía a la Costa y las ciudadelas cercanas a esa gran vía, como Cdla. Girasoles, Cdla. Renacer y Cdla. Jardines del Salado, cercanas la av. Rodríguez Bonín. Aunado a esto, la educación también tendría un impacto notable, dado que los estudiantes y el personal educativo depende mucho de esta vía. En consecuencia, un posible deslizamiento desencadena dificultades para llegar a sus instituciones educativas.



Figura 19. Ciudadelas aledañas a Vía a la Costa se verían afectadas por el congestionamiento vehicular en caso de interrupción de la av. del Bombero por deslizamiento de Cerro Azul.

Nota. Google Maps.

## **1.4 Afectación de la plusvalía para Vía a la Costa**

La Vía a la Costa simboliza una importante ruta de transporte; de igual modo, es el único polo de desarrollo urbano al estar en constante incremento en la ciudad de Guayaquil. En ese sentido, el hecho de que una de las dos vías que conectan directamente con aquella vía principal podría verse afectada por el deslizamiento de Cerro Azul plantea grandes preocupaciones sobre la pérdida de plusvalía de la zona. Es decir, que no solo afectaría la movilidad de sus residentes, sino que tendría un efecto adverso en el valor de las propiedades actuales y futuras.

Por otro lado, el valor de las propiedades en Vía a la Costa se debe a la accesibilidad que tienen estas con Guayaquil; por lo tanto, la interrupción de una de sus vías de acceso implica una depreciación del valor en el mercado y también se mostraría una menor rentabilidad para el sector inmobiliario. Como consecuencia, se presentaría un decrecimiento financiero para quienes renten o vendan una propiedad en la zona, o quienes procuren invertir en el área. Por consiguiente, la pérdida de plusvalía en la zona significa un alto al desarrollo exponencial urbano.

## **1.5 Consecuencias catastróficas para construcciones aledañas**

En Guayaquil, el Cerro Azul no solo simboliza uno de los cerros más altos de la ciudad, sino también una amenaza constante debido al historial de deslizamientos de tierra que han ocurrido en esa zona. Por lo tanto, suponer un escenario de esta envergadura puede considerarse probable según la historia. Todas las construcciones que se encuentran al pie del Cerro Azul son vulnerables a destruirse por los deslizamientos de tierra, lo cual se debe a la inestabilidad geológica del cerro.

### ***1.5.1 Centro Comercial Riocentro Ceibos***

Las consecuencias catastróficas que atravesaría el centro comercial serían exponenciales y de gran alcance. En consecuencia, no solo afectaría totalmente su estructura, sino también la seguridad de las personas.

#### **1.5.1.1 Impacto en la infraestructura**

Un deslizamiento de tierra en Cerro Azul causaría severos daños en la infraestructura del Riocentro Los Ceibos, como se muestra en la Ilustración 21. En tal



medida, el desplazamiento de tierra generaría una gran presión que debilitaría la estructura, poniendo en riesgo toda su integridad. En otras palabras, un colapso parcial o total de la estructura tendrá daños irreparables. Asimismo, este derrumbe afectará la av. del Bombero con su total interrupción por el material rocoso.



Figura 20. Simulación del impacto total que recibiría el CC. Riocentro Los Ceibos, a causa del deslizamiento de Cerro Azul

Nota. Google Earth.

### 1.5.1.2 Impacto en la seguridad y salud de las personas

Este evento catastrófico también representa un riesgo para la vida de las personas que se encuentren en medio del deslizamiento. En ese sentido, visitantes, empleados y personal de seguridad podrían quedar atrapados bajo los escombros.

### 1.5.2 Urbanización Los Parques

Como lo muestra la Figura 21, la urbanización Los Parques se volvió un área vulnerable ante la serie de deslizamientos ocurridos en abril de 1998.

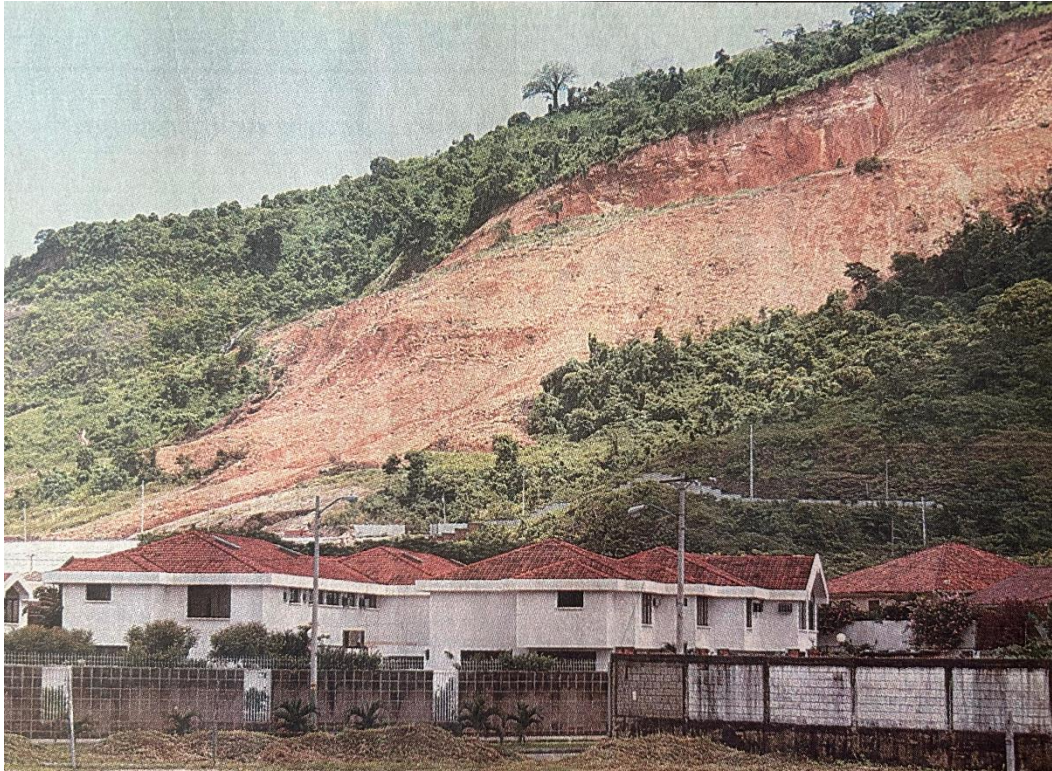


Figura 21. *Vista del deslizamiento desde la Urbanización Los Parques, aquella que tenía riesgo de ser afectada por deslizamientos de Cerro Azul*

*Nota.* Tomado de *Deslizamiento en Cerro azul*, por Diario El Universo, 1998.

Esta urbanización, al ubicarse al pie del cerro, también se vería afectada en caso de ocurrir un deslizamiento de tierra. Hoy en día, Los Parques sufre por la caída de piedras provenientes del cerro en esa área, tal como se muestra en la Figura 22.



Figura 22. *Simulación del impacto total que recibiría la urbanización Los Parques, a causa del deslizamiento de Cerro Azul*

*Nota.* Google Earth

Al colindar con Riocentro Ceibos y al encontrarse en la falda del cerro, se estima que el deslizamiento afecte a la urbanización Los Parques.

#### **1.5.2.1 Impacto en la infraestructura**

El deslizamiento podría causar daños graves o la destrucción total de las viviendas. Toda la urbanización se vuelve vulnerable ante tal deslizamiento. En el peor escenario, la urbanización Los Parques desaparece, lo que complica los servicios de emergencia al tener material rocoso en la entrada de la urbanización.

#### **1.5.2.2 Impacto en la seguridad y salud de los residentes**

Los residentes de la urbanización Los Parques estarían en riesgo, al tener la alta probabilidad de quedar atrapados bajo los escombros o ser arrastrados por flujos de tierra.

#### **1.5.2.3 Impacto social**

En caso de que el deslizamiento no llegase a afectar toda la urbanización, aquellos que tengan viviendas aledañas a otras que se destruyeron, se verán obligados a evacuar de sus hogares.

### **1.6 Objetivos**

#### **1.6.1 *Objetivo general***

Establecer los principales criterios para el diseño y construcción de túneles o galerías de drenaje profundo, como una alternativa de solución para la estabilización de grandes deslizamientos de tierra en laderas meteorizadas de Guayaquil.

#### **1.6.2 *Objetivos específicos***

- Fundamentar: a) los conceptos teóricos que causan los efectos desestabilizadores, producidos por las aguas subterráneas en laderas inestables; b) los conceptos teóricos para estabilizar taludes, mediante el uso de túneles o galerías de drenaje profundo.

- Analizar brevemente los enfoques de seguridad para las pendientes de laderas inestables, juntamente con la importancia de los modelos geotécnicos, para la ubicación de los túneles o galerías de drenaje profundo.
- Describir de manera global los antecedentes geotécnicos y la construcción de tres casos en la historia donde se estabilizaron grandes deslizamientos de tierra mediante el uso de túneles o galerías de drenaje profundo.
- Establecer los criterios de manera esquemática, donde se incluya una propuesta innovativa y gráfica de a) una propuesta para estabilizar el deslizamiento del Cerro Azul (Las Antenas), junto al centro comercial Riocentro Los Ceibos, en la vía a la Costa, a través del uso de túneles o galerías de drenaje profundo y b) los problemas de su construcción.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

El estudio geológico de taludes, cerros y demás pendientes demandan una gran importancia a la naturaleza, debido a que estos pueden presentar deslizamientos por diversas circunstancias, pero el más importante es la presencia de agua. El efecto directo de este factor se presenta como lluvias extensas o por fenómenos como el de El Niño, lo que genera inestabilidad. Asimismo, la acción antrópica, como la minería, la extracción de recursos, la construcción de vías e infraestructuras y deforestación producen una incidencia directa en la estabilidad de las pendientes.

La mayoría de los deslizamientos ocurren por el abatimiento de agua subterránea. Sin embargo, el proceso de falla de un talud por este agente no se presenta de manera inmediata y súbita, debido a que se pueden evitar si se identifica de manera oportuna y se plantean alternativas de solución a la inestabilidad (Camacho y Granados, 2023).

Por otro lado, uno de los movimientos de masa más comunes son los deslizamientos, al tener esta más incidencia en zonas pobladas que se desarrollan en sectores de laderas o por el crecimiento de la zona urbana en las ciudades y que por falta de espacio se ubican en zonas vulnerables a este tipo de fenómenos. En esto radica la importancia de su estudio.

Al sur de la Cordillera Chongón Colonche en la ciudad de Guayaquil se encuentra el Cerro Azul, el cual tiene unas características litológicas muy particulares, siendo este paisaje escenario de deslizamientos, tal como ocurrió en el año 1982 y 1998 como consecuencia del fenómeno de El Niño. En esa medida, las fuertes precipitaciones condujeron a que los suelos del Cerro Azul se saturaran y se movieran ladera abajo, lo que dio lugar a las primeras manifestaciones de un movimiento en masa (Proaño, 2009).

## **2.1 Marco normativo**

### **2.1.1 Código Orgánico del Ambiente**

Basado en los artículos del Código Orgánico del Ambiente, Registro Oficial de 2017, se señala lo siguiente:

Art. 389.- El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad.

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.

Art. 397. El Estado establece que en caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Maneja 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 del título I: objeto, ámbito y fines del Código Orgánico del Ambiente de 20127, se planteó lo siguiente:

Art. 9.- Los principios ambientales deberán reconocerse e incorporarse en toda manifestación de la administración pública, así como en las providencias judiciales en el ámbito jurisdiccional.

- a. Precaución. Cuando no exista certeza científica sobre el impacto o daño que supone para el ambiente alguna acción u omisión, el Estado a través de sus autoridades competentes adoptará medidas eficaces y oportunas destinadas a evitar, reducir, mitigar o cesar la afectación.

Basado en los artículos del título II: derechos, deberes y principios ambientales del Código Orgánico del Ambiente de 2017, se planteó lo siguiente:

Art. 5.- El derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende en la obligación de toda obra, proyecto o actividad, en todas sus fases, de sujetarse al procedimiento de evaluación de impacto ambiental.

En función de los artículos del título III: riesgos originados por eventos naturales del Código Orgánico del Ambiente de 2017, se propuso lo siguiente:

Art 273.- De los riesgos originados por eventos naturales. La Autoridad Nacional a cargo de la Gestión de Riesgos será competente para la prevención de riesgos originados por eventos naturales tales como inundaciones, deslaves, incendios, entre otros. Esta Autoridad podrá categorizar las diversas partes afectadas en función de los riesgos y restringir e impedir el ejercicio de actividades en estas zonas.

### ***2.1.2 Estudio de Impacto Ambiental***

El Sistema Único de Información Ambiental (2021) mencionó que el proceso de regularización ambiental se realiza a través de la herramienta informática SUIA, donde se ingresa la información referente a las características particulares del proyecto, obra o actividad. Cuando se concluye este paso, el sistema indicará el nivel de impacto ambiental y el tipo de permiso ambiental por obtener (Certificado, Registro o Licencia Ambiental) para regularizar su proyecto. Conforme el art. 432 del RCOA, uno de los requisitos para la emisión de la Licencia Ambiental es la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental.

### ***2.1.3 Dominio Institucional de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG)***

La USGC (2024) presenta el dominio para el desarrollo sostenible y cuidado del medioambiente:

Bajo este dominio se desarrolla la investigación científica sobre la arquitectura y la construcción sostenible, la planificación urbana y regional, el patrimonio arquitectónico y urbano, el diseño y la comunicación visual. De igual forma, se generan investigaciones sobre el diseño, la construcción y el mantenimiento de obras de infraestructura sismorresistente y pavimentos. Asimismo, se incentiva la ingeniería

ambiental, la gestión de riesgos, energías renovables, sistemas de información, y/o estudios culturales en animación digital y tecnologías emergentes.

Por lo tanto, la investigación que se genere a partir de este dominio se orientará a colaborar con proyectos de investigación básica y aplicada que aporten innovación y desarrollo como parte de este proceso desde el diseño, la construcción y la planificación sostenible del hábitat construido y del hábitat natural como componentes complementarios e indivisibles que conforman el territorio.

- a. Grupo de Investigación: ingeniería civil
- b. Línea de investigación: ingeniería ambiental - gestión de riesgos

## **2.2 Marco sísmico regional**

Ecuador se encuentra dentro de un particular movimiento tectónico. Un sector del territorio forma parte de la microplaca denominada Bloque andino, la cual pertenece a la placa sudamericana. Esta microplaca se ubica en una interacción entre las placas de Nazca, Cocos y el Caribe. Adicionalmente, el movimiento en esta zona se ha medido en un intervalo aproximado de 50-60 mm/año, mientras que, para la placa continental, el movimiento se encuentra entre 2 y 5 mm/año. Por otra parte, la región sur del Ecuador está en interacción entre la placa Sudamericana y la placa de Nazca (Quinde y Reinoso, 2016).

### **2.2.1 Peligro sísmico**

El peligro sísmico en Ecuador está regido principalmente por dos tipos de fuentes sísmicas: subducción (interplaca e intraplaca), y de tipo corticales (superficiales). En cada una de estas fuentes se lleva a cabo un proceso de acumulación y liberación de energía independiente del que ocurre en las demás fuentes (Quinde y Reinoso, 2016).

Los sismos denominados interplaca, caracterizados por tener una profundidad menor a 40 Km, se producen por el contacto entre la placa de Nazca en subducción con la placa Sudamericana en todo su borde de convergencia. Mientras que los sismos denominados intraplaca, que están a una profundidad de 40 y 300 Km, se generan por sismo de falla común, ubicados dentro de la placa oceánica Nazca en subducción con la placa continental Sudamericana. También están los sismos corticales con



profundidades menores a 40 Km, siendo estos sismos someros con ocurrencia dentro de la placa Sudamericana.

### 2.2.2 Sismicidad

De acuerdo con Tardeo de la Cruz y Zanabria (2016), los terremotos agregan energía a las fuerzas en reposo que actúan sobre taludes, lo que genera tensiones de corte que disminuyen la capacidad para resistir esfuerzos. 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.

Por consiguiente, el sitio donde se construirá la estructura determinará una de las seis zonas sísmicas del Ecuador, caracterizada por el valor del factor de zona Z, de conformidad con el mapa de la Figura 24 (Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2015).

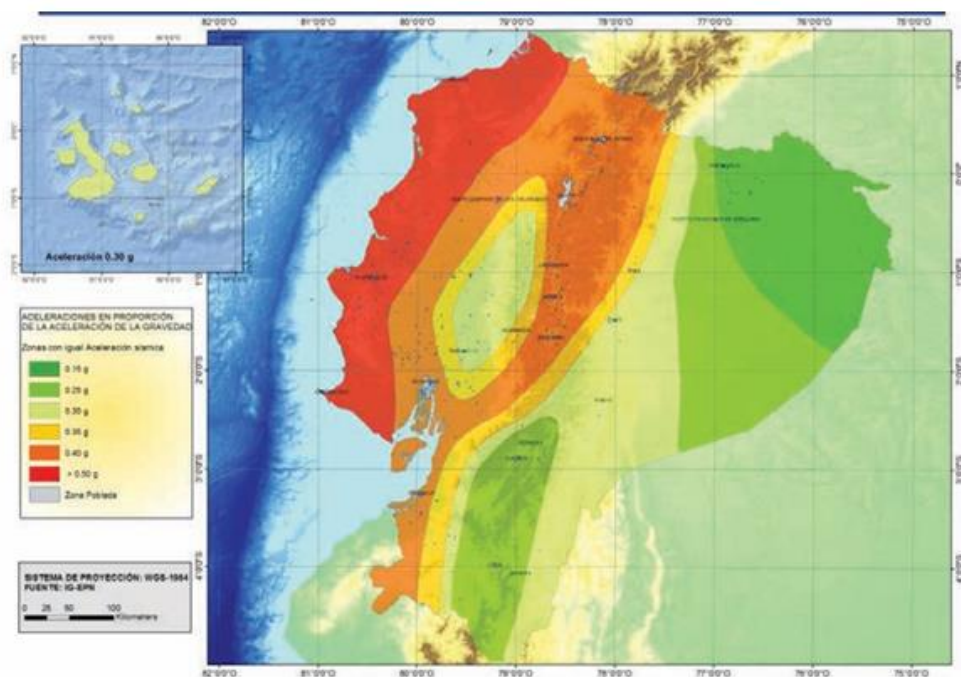


Figura 23. Zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z

Nota. Tomado de *Peligro sísmico diseño sismo resistente*, por Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2015, <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>

El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10 % de excedencia en 50 años (periodo de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI (Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2015).

Tabla 1. *Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada*

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 *Peligro sísmico diseño sismo resistente*, por Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2015, <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>

### 2.2.3 *Subducción de placas tectónicas*

El término subducción se refiere al descenso de la litosfera oceánica dentro de la astenosfera. Al respecto, se ha destacado que es una subducción profunda si el ángulo de buzamiento es mayor de 38° y el material de la astenosfera yace por encima de la placa. Por otro lado, una subducción poco profunda se da cuando ocurre con un ángulo menor de 38°, por lo que se usa el término subduciendo para señalar que las dos placas están en contacto y que el material de la astenosfera no las separa (Monsalve y Mora, 2005).

Una zona de subducción consiste en el deslizamiento de una placa tectónica más densa debajo del margen de otra. En el caso ecuatoriano, la placa Nazca se desliza debajo del margen occidental de la placa Sudamericana a la velocidad de 56 mm/año con una dirección N83°E. Este proceso es el responsable de la sismicidad y del volcanismo activo que se presenta en el país (Barros, 2016).

### 2.2.4 *Subducción placa Nazca y Sudamericana*

En la región ecuatoriana la subducción de la placa de Nazca por debajo de la Sudamericana es básicamente ortogonal. La placa subducente se deprime con un ángulo que comprende entre 25° a 35° y es discontinua a una profundidad de 200 Km.

Seguidamente, la velocidad de subducción de la placa de Nazca y la cordillera Carnegie en la fosa colombo-ecuatoriana es de  $58 \pm 2$  mm/año (Toapanta, 2018).

La subducción provoca eventos sísmicos a lo largo de las placas, debido a que Ecuador es parte del cinturón de fuego del Pacífico y esta interacción entre placas provoca una alta frecuencia de terremotos de pequeña magnitud hasta grandes eventos destructivos. Por lo tanto, la fusión entre la placa de Nazca con la Sudamericana genera magnas que suben a través de la corteza continental, lo que da lugar al vulcanismo andino. De igual manera, esta subducción produce fallas en la corteza terrestre, generando cadenas montañosas como la cordillera de los Andes.

La Figura 24 muestra las direcciones y velocidades del movimiento de las placas Nazca, Sudamericana y el Bloque Andino; al respecto, las flechas curvadas indican la velocidad de convergencia de la placa Nazca con respecto a la placa Sudamericana y las flechas a la mitad indican los vectores de movimiento de las fallas que delimitan la frontera (Taipe, 2013).

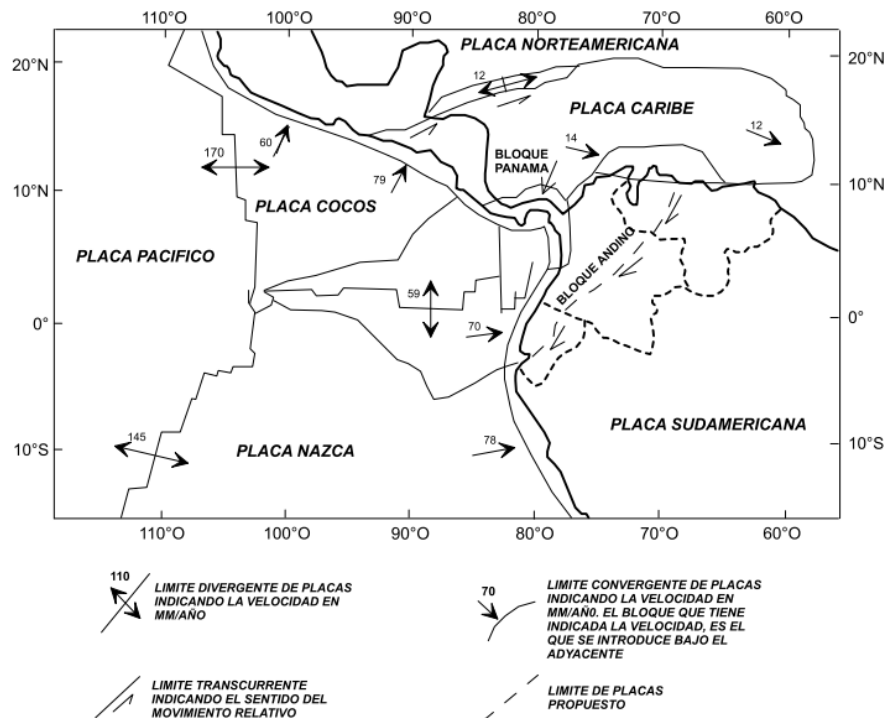


Figura 24. Límites de placas mostrando las dirección y velocidades de movimiento.

*Nota.* Tomado de *Análisis de las ecuaciones de predicción de movimientos de suelo para el Ecuador utilizando datos registrados durante el periodo 2000—2011 en las estaciones sísmicas de banda ancha y acelerógrafos*, por L.M. Taípe, 2013, <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6447>

### 2.2.5 Punto caliente de las Galápagos

El origen de los volcanes de las Galápagos se relaciona con un punto caliente. Estos son lugares fijos de la Tierra donde se encuentra magma muy caliente que asciende desde el manto. En ocasiones, las placas en su desplazamiento pasan por encima de estos puntos calientes, cuyo magma, al ascender desde el manto, origina un volcán. En este territorio, los volcanes submarinos, tras sucesivas salidas de magma, continuaron creciendo hasta sobrepasar el nivel del mar y formar las islas (Luje, 2001).

El punto caliente no se mueve, pero la placa sí; una vez formada la primera isla la placa continúa su movimiento, el punto caliente queda bajo otra zona de la placa y comienza a originarse una nueva isla. Al mismo tiempo que la placa se va desplazando se van formando nuevas islas. Como la placa de Nazca se dirige hacia el este, las islas más antiguas de las Galápagos como la española, son aquellas situadas más al este del archipiélago. (Luje, 2001, p. 24)

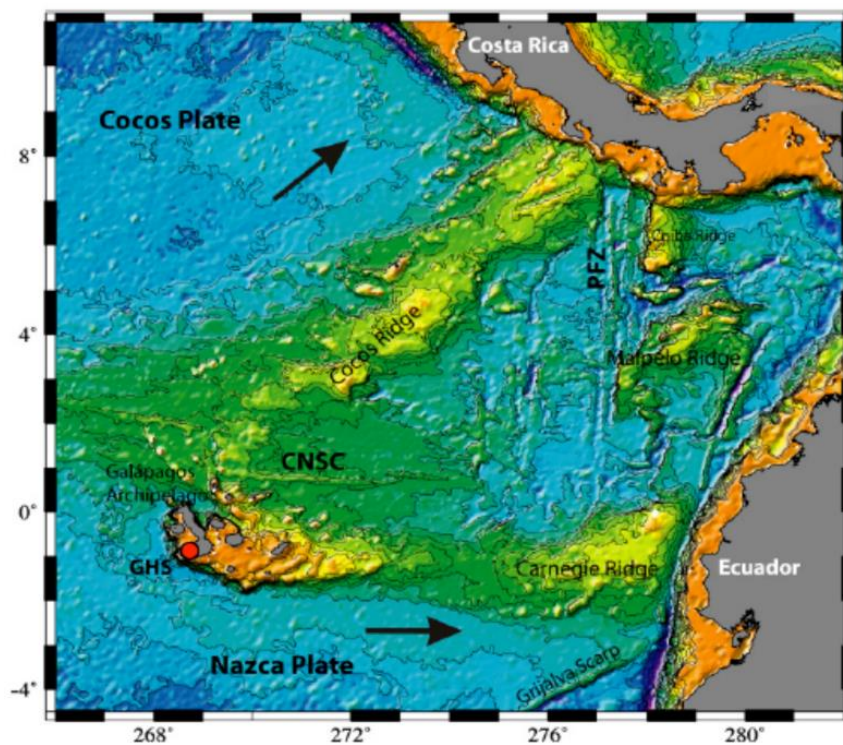


Figura 25. Punto caliente de las Galápagos (círculo rojo) que forma la cordillera de Carnegie y de Cocos.

Nota. Tomado de *Naturaleza y formación de la provincia volcánica de las Galápagos*, por V. Sallares et al., 2009, [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers11-11/010051360.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-11/010051360.pdf)

Alrededor del punto caliente es donde hay mayor actividad volcánica. Aquellas islas que se originaron hace mucho tiempo están más alejadas del punto caliente y por tanto presentan menos erupciones. En Galápagos, las islas Isabela y Fernandina, al oeste, son las más jóvenes y por su cercanía al punto caliente son las que han sufrido las últimas erupciones (Luje, 2001).

### 2.2.6 Cordillera de Carnegie

La cordillera de Carnegie está localizada en la Provincia Volcánica de las Galápagos entre las latitudes 0°00' y 2°30' S, y las longitudes 91°00' W y 80° 30' W. Como se observa en la Ilustración 26, esta ocupa un área de aproximadamente 325,000 kilómetros cuadrados (282 km desde el norte hasta el sur, y 1045 km desde el este hasta el oeste). Igualmente, la cordillera tiene una forma alargada en la dirección este-oeste, y está separada por un área de depresión dividiendo a la cordillera en los segmentos este y oeste (Pazmiño y Michaud, 2009)

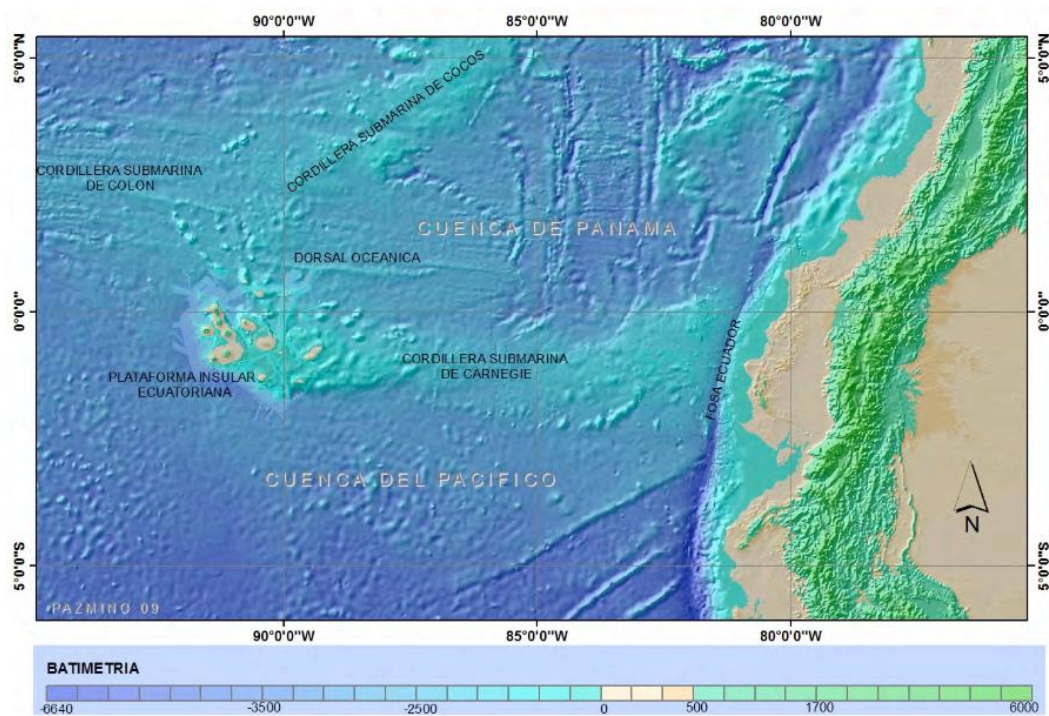


Figura 26. Localización de la cordillera submarina de Carnegie, aquella que apareció por el punto caliente de la Galápagos.

Nota. Tomado de *Descripción de los sedimentos marinos en la cordillera submarina de Carnegie*, por N. Pazmiño y F. Michaud, F, 2009, <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010051362>

La cordillera de Carnegie es una cresta alta, ancha y con orientación este-oeste de aproximadamente 600 km de largo y hasta 300 km de ancho. Esta cresta está orientada en paralelo al movimiento de la Placa de Nazca, lo que representa la continuación de la Plataforma Galápagos hacia el este y se extiende a la trinchera colombiana frente a las costas de Ecuador. Como se aprecia en la Figura 27, la altura, el ancho y el volumen de Carnegie aumentan significativamente hacia el este (Werner et al., 2003).

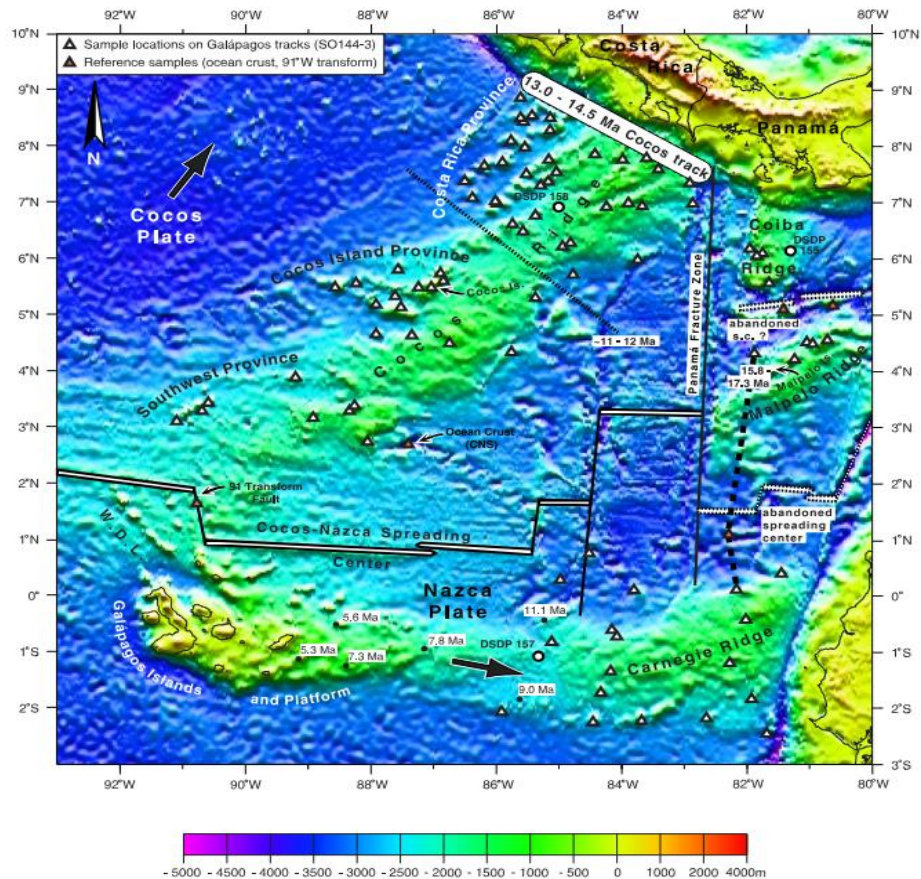


Figura 27. Mapa batimétrico del área de estudio y el entorno morfológico - tectónico del Pacífico Oriental entre el Archipiélago de las Galápagos y América Central que muestra las trayectorias de los puntos calientes de las Galápagos: cordillera de Cocos y Carnegie. También se indican los sitios de muestreo (triángulos) y un perfil magnético desde Malpelo hasta Carnegie.

*Nota.* Tomado de Geodynamic evolution of the Galápagos hot spot system (Central East Pacific) over the past 20 m: Constraints from morphology, geochemistry, and magnetic anomalies, por R Werner, R et al., 2003, *Agu*, 4(12).

Geográficamente, la provincia volcánica de las Galápagos abarca una gran área que se extiende entre la subducción de la cordillera de Cocos costas afuera de Costa Rica y la subducción de la cordillera de Carnegie costas afuera de Ecuador. La teoría predominante afirma que las cordilleras submarinas actualmente conservadas y la placa oceánica que conforman las Islas Galápagos son todo el producto de un solo proceso bien definido: la interacción duradera, ininterrumpida entre el punto caliente de las Galápagos y el centro de divergencia Cocos-Nazca, que siguieron al rompimiento de la placa Farallón y al nacimiento del Cocos-Nazca hace aproximadamente 23 millones de años. (Pazmiño et al., 2010, p. 28)

En este marco, la cordillera de Carnegie, que incluye el archipiélago de las Galápagos en su borde occidental, representa la huella del punto caliente de las Galápagos relacionada con la actividad magmática sobre la placa de Nazca durante los últimos 20 millones de años. Su orientación este-oeste refleja directamente el movimiento relativo de la placa y el punto caliente durante este último período. (Pazmiño et al., 2010, p. 28)

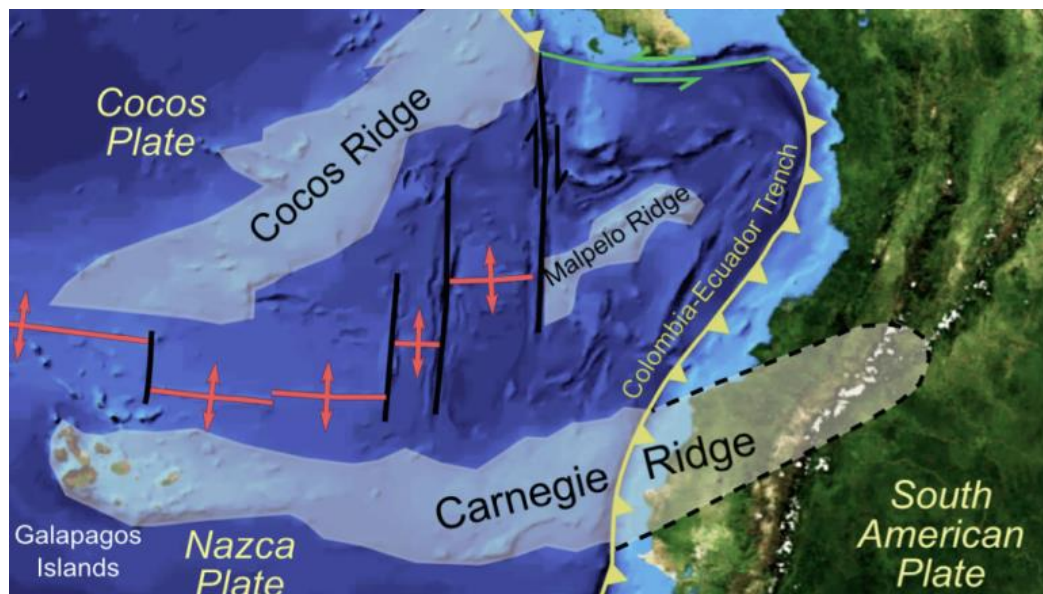


Figura 28. Ubicación de las placas oceánicas y los límites de estas en el extremo noroeste de América del Sur, basado en captura de pantalla de NASA World Wind.

Nota. Tomado de *Propuesta de un falso túnel atirantado como solución a deslizamientos en la carretera Cuenca—Molleturo*, por L.A. Rivera y P.I. Viteri, 2023, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/21865>

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. (Rivera y Viteri, 2023, p. 18)

### 2.2.7 Golfo de Guayaquil

El Golfo se considera una cuenca de antearco por estar entre el prisma de acreción generado por la zona de subducción y el arco volcánico de los Andes. Está ubicado al este de la fractura Grijalva la misma que probablemente se extiende debajo de la placa sudamericana. (Cobos y Montenegro, 2010, p. 2)



Figura 29. Simulación de como la fractura de Grijalva pasa por debajo del Golfo de Guayaquil.

Nota. Tomado de *Estudio integrado del golfo de Guayaquil del mioceno al reciente*, por L.E. Cobos y G. Montenegro, 2010, <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/9091>

El mecanismo que generó la apertura del Golfo se relaciona con el choque de la Cordillera Carnegie con la trinchera ecuatoriana hace 15 millones de años en el Mioceno Medio, producto de lo cual se comenzaron a desplazar hacia el noreste los terrenos oceánicos alóctonos que forman el basamento de la costa



ecuatorial generando el movimiento transcurrente dextral regional. (Cobos y Montenegro, 2010, p. 7)

### 2.2.8 Sistemas de fractura de la placa Nazca

Un conjunto de tres fracturas orientadas al NE deforma la superficie oceánica: las fracturas de Grijalva, Alvarado y Sarmiento (ver Ilustración 30). En cuanto a la primera, situada al norte, es la más importante de ellas, debido a que forma un escarpe de 0,7 km que cruza oblicuamente a la fosa en 3°S, antes de hundirse frente al Golfo de Guayaquil. Se podría señalar que esta estructura representa un límite estructural importante que separa a dos áreas oceánicas de diferentes edades: al norte, la litosfera oceánica se deriva de la actividad de la dorsal Cocos-Nazca. En cambio, en el sur, la litosfera oceánica Farallón es más antigua, con una edad aproximada de 34 millones de años (Barros, 2016).

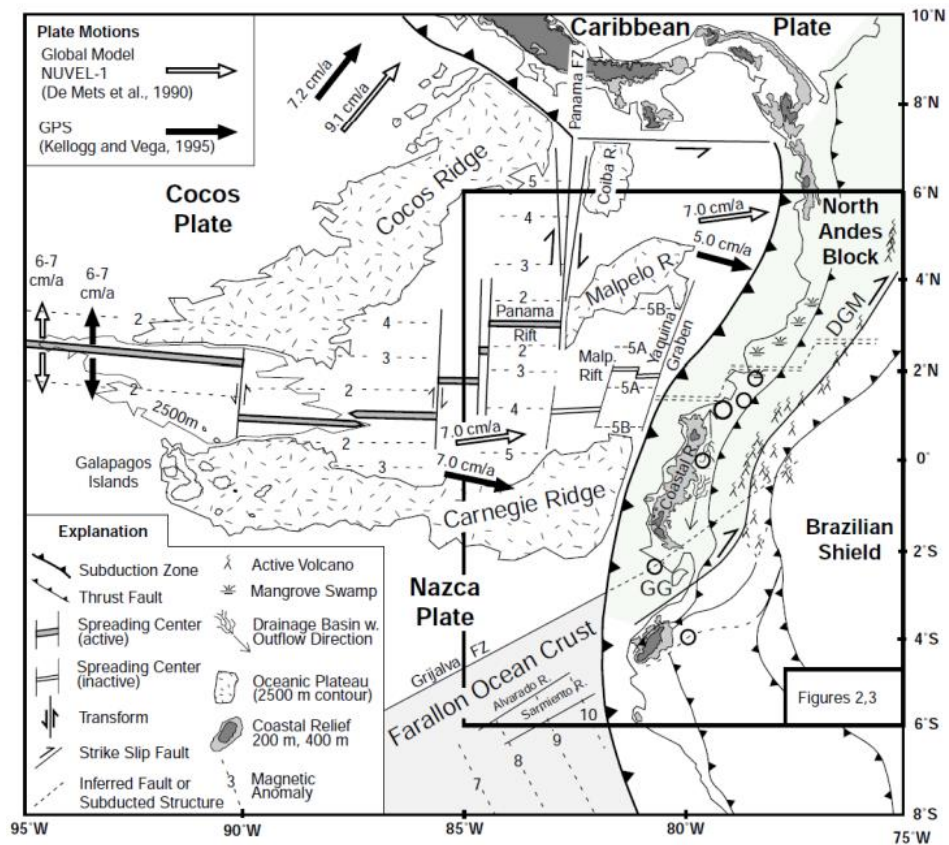


Figura 30. Contexto geodinámico de la subducción en el Ecuador

Nota. Tomado Construcción de un nuevo modelo heterogéneo de velocidades sísmicas de ondas P en la subducción ecuatorial, por J. Barros, 2016, <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16618/1/CD-7249.pdf>

### 2.2.9 Bloque Nor-Andino

En el extremo noroeste de la placa Sudamericana, una parte del margen incluyendo zonas en Ecuador, Colombia y Venezuela forman el Bloque Nor-Andino. Este corresponde a una microplaca triangular, limitada al norte por la subducción de la placa Caribe, al oeste por la fosa de subducción de la placa de Nazca y al este con varios sistemas de fallas sucesiva desde Venezuela hasta la costa sur de Ecuador, que muestran en general una cinemática dextral transpresional. (Barros, 2016, p. 13)

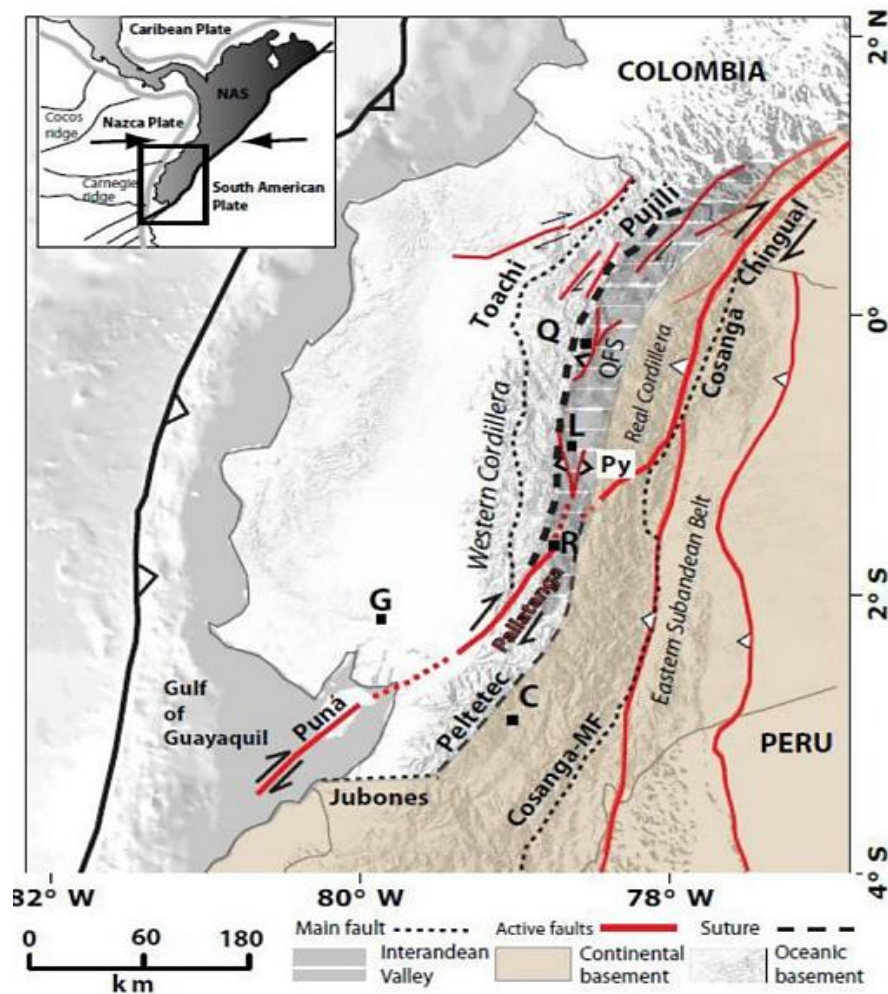


Figura 31. Nuevo mapa de la tectónica activa de Ecuador.

Nota. Tomado Construcción de un nuevo modelo heterogéneo de velocidades sísmicas de ondas P en la subducción ecuatoriana, por J. Barros, 2016, <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16618/1/CD-7249.pdf>

En Ecuador, el límite oriental del bloque Nor-Andino está formado, de norte a sur, por el sistema Chingual-Sofía, la falla de Pallatanga y el sistema continúa por la isla Puna y luego hacia el suroeste del Golfo de Guayaquil. Al interior del Golfo de Guayaquil el límite oriental del bloque no está bien limitado. (Barros, 2016, p. 14)

## 2.3 Marco geológico local

### 2.3.1 Localización y geología

Cerro Azul se encuentra ubicado al lado oeste de la ciudad de Guayaquil, en la provincia del Guayas. Ahora bien, se utilizó el software Qgis, mediante un ráster de la zona, para obtener las curvas de nivel. En la Ilustración 31 se puede observar una topografía que muestra un relieve hacia el este de 350 metros y al oeste de 390 metros.

En efecto, se trata de un levantamiento homoclinal asimétrico con el flanco de pendiente más suave que mira al lado suroeste y el flanco más pronunciado con la pendiente hacia el noreste (Proaño, 2009).

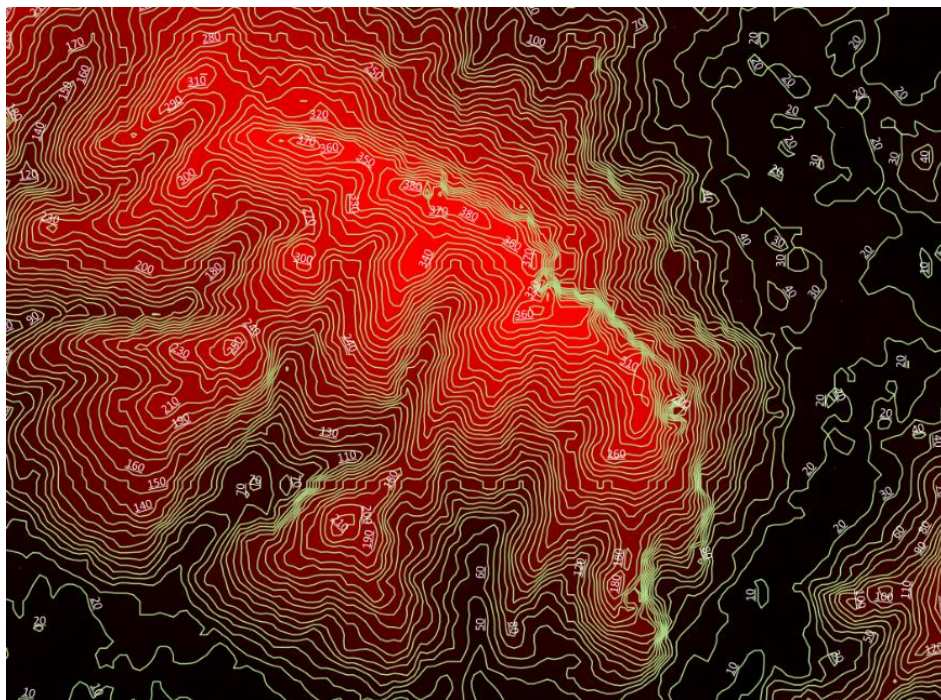


Figura 32. Ubicación Cerro Azul con sus curvas de nivel

Nota. Tomado de *Curvas de Nivel Cerro Azul*, por Qgis, 2024, [https://docs.qgis.org/1.8/es/docs/user\\_manual/introduction/qgis\\_configuration.html](https://docs.qgis.org/1.8/es/docs/user_manual/introduction/qgis_configuration.html)

Por otro lado, las zonas más altas con abundante vegetación contienen la formación de Guayaquil Chert muy erosionada. Debajo de esta formación se encuentra la Formación Cayo SS, compuesta por limonitas, areniscas, aglomerados y lutitas de espesor variable y sin orden definido. Igualmente, entre los niveles 60 y 20 hay depósitos coluviales provocados por la erosión y probablemente por antiguos deslizamientos de tierra.

La formación Cayo en el Cretácico superior se inicia por un desplazamiento del piso oceánico. Esto dio origen a la acumulación de sedimentos pelágicos de consistencia silícea y carácter turbidítico, lo que dio lugar a esta formación. Por otro lado, la litología corresponde a limolitas de color verde, arenisca color amarillento, grauvacas cloritizadas, tobas y aglomerados, la cual se presenta como secuencias sedimentarias de origen volcánico estratificada en delgadas a gruesas capas, generalmente con buzamiento hacia el sur. Finalmente, esta aflora a lo largo de la cordillera Chongón Colonche desde Guayaquil hasta Puerto Cayo (Navarrete, 2018).

Aunado a esto, la formación Guayaquil es de la edad Cretácico superior, su litología comprende argilitas silicificadas color café grisáceo con capas de chert. Asimismo, está constituida por lutitas silíceas de color amarillento cuando no están alteradas y son de color anaranjado hasta rojizo cuando sufren meteorización. Igualmente, contienen nódulos de pedernal color gris oscuro y se definen como Chert (Navarrete, 2018).



Figura 33. Vista de la vertiente sur del Cerro Azul. Se observa una línea amarilla que marca el contacto entre la Formación Guayaquil y la Formación Cayo.

Nota. Elaboración propia.

### 2.3.2 Litología de Cerro Azul

Un macizo rocoso es una elevación, colina o cerro, donde se pueden construir obras de ingeniería. De igual modo, está constituido necesariamente por una estructura interna rocosa, que incluye generalmente fracturas; en forma natural se encuentra equilibrada debido a los suelos que existen superficialmente; asimismo, posee vegetación. Cuando se realizan excavaciones o rellenos sin considerar el sistema de drenaje natural, el macizo rocoso se desestabiliza (Chávez, 2015).

La litología en este sector de la base al tope está comprendida por aglomerados, areniscas, limonitas y lutitas en estratos centimétricos a métricos en los cortes (Via Perimetral); los sobre facies que se extienden por el flanco meridional constituyen todo el cuerpo del cerro hasta alcanzar la parte superior, donde aflora la formación Guayaquil, constituidos por lutitas, limonitas y chert en estratos centimétricos intercalados por estratos milimétricos de tobas (Calle et al., 2005).

Es importante destacar que la unidad superior (formación Guayaquil) ha sufrido una fuerte meteorización caracterizada por el color rojizo y la fuerte fragmentación del material, constituyéndose así en la fuente de los depósitos coluviales

que descargan puntualmente al pie del cerro y han sido la causa por sobresaturación del deslizamiento de considerables proporciones ocurrido en el año 1998 (Calle et al., 2005).



Figura 34. *Deslizamiento de material coluvial en Cerro Azul: lutitas y limonitas de la formación Guayaquil, fuertemente meteorizadas*

1Nota. Tomado de Recopilación de información base para el mapa geoambiental del área urbana del gran Guayaquil y mapas en formato SIG, por J. Calle et al., 2005, <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3341/1/5863.pdf>

### **2.3.2.1 Lutitas**

Las lutitas son rocas sedimentarias compuestas por partículas del tamaño de la arcilla y del limo, es decir aquellas con el tamaño de clasto más fino y que constituyen más de la mitad de todas las rocas sedimentarias. A diferencia de los conglomerados, las partículas de estas rocas son tan pequeñas que no pueden identificarse con facilidad sin grandes aumentos y, por esta razón, resulta más difícil estudiar y analizar el origen de las lutitas. (Moreno et al., 2012, p. 6)



Figura 35. *La lutita es la roca sedimentaria más abundante*

*Nota.* Tomado de *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física* (8va ed.), por E. Tarbuck y F. Lutgens, 2005, Pearson Educación S. A.

Debido a su tamaño, se debe destacar que, para la formación de rocas de este tipo, o bien se produce una sedimentación constante a lo largo del tiempo debido al agregado en masa, o se pueden mantener suspendidas casi indefinidamente las partículas de tamaño arcilloso. Por consiguiente, mucha de la arcilla se deposita solo después de que las partículas se reúnan para formar agregados mayores (Moreno et al., 2012).

#### **2.3.2.2 Limonitas**

La limonita es un agregado compuesto por una serie de minerales, entre los cuales los principales son: hematita, goethita, jarosita, la cual forma una serie con la alunita, y siderita. El primero de ellos, se forma por la oxidación del hierro que queda expuesto en la superficie y que no se transportó en solución. La goethita, sufre un proceso similar con una subsiguiente hidratación. La jarosita, se forma luego de que se oxidan los sulfuros con sobrante de ácido. Las limonitas tienen impurezas, entre las más comunes se encuentran sílice, carbonatos, sulfatos y óxidos de Mn. (Cecenarro et al., 2014, p. 14)



Figura 36. *Alternancia de areniscas cuarcíticas y limonitas vinosas*

*Nota.* Tomado de *Capas Intermedias» Alternancia de areniscas cuarcíticas*, por M. San José, 2011, [https://www.researchgate.net/figure/Capas-Intermedias-Alternancia-de-areniscas-cuarciticas-y-limonitas-vinosas-Foto\\_fig27\\_283543127](https://www.researchgate.net/figure/Capas-Intermedias-Alternancia-de-areniscas-cuarciticas-y-limonitas-vinosas-Foto_fig27_283543127)

El color de las limonitas depende de la composición química, del contenido de humedad presente, del tamaño de grano y del arreglo de los cristales. Se sabe que los colores de las limonitas varían entre los marrones, amarillos, rojos, castaños y hasta negros (Cecenarro et al., 2014)

### **2.3.2.3 Areniscas**

La arenisca es el nombre que se da a las rocas en las que predominan los clastos de tamaño arena. Después de la lutita, la arenisca es la roca sedimentaria más abundante; constituye aproximadamente el 20 por ciento de todo el grupo. Las areniscas se forman en diversos ambientes y a menudo contienen pistas significativas sobre su origen, entre ellas la selección, la forma del grano y la composición. (Tarbuck y Lutgens, 2005, p. 206)





Figura 37. Arenisca roja debido a las partículas de óxido de hierro que tiene

*Nota.* Tomado de *Rocas Sedimentaria Arenitas. Arenisca—Banco de imágenes*, por M. Graterol y H. Vásquez, 2013, <https://www.umadivulga.uma.es/banco-de-imagenes/rocas-sedimentaria-arenitas-arenisca/>

La composición química de esta roca es la misma que la de la arena; en esa medida, la roca está compuesta esencialmente de cuarzo y se podrían encontrar pequeñas cantidades de feldespato y otros minerales. El material cementador que mantiene unido a los granos de la arenisca suele estar compuesto de sílice, carbonato de calcio u óxido de hierro. Su color viene determinado por dicho material cementador (Graterol y Vásquez, 2013)

#### **2.3.2.4 Aglomerados**

El aglomerado es un tipo de roca sedimentaria que se forma mediante la acumulación y cementación de fragmentos gruesos de varios tamaños, que generalmente van desde grava hasta cantos rodados más grandes. En consecuencia, se considera un conglomerado roca con la presencia de clastos (fragmentos de roca) redondeados o angulares que están unidos por una matriz de material de grano más fino (Mahmut, 2019).



Figura 38. *Los aglomerados son rocas que se componen principalmente por clastos gruesos unidos por una matriz y minerales cementantes*

*Nota.* Tomado de *Aglomerado | Propiedades, Composición, Formación*, por E. Mahmut, 2019, <https://es.geologyscience.com/rocas/aglomerado/>

Finalmente, las rocas aglomeradas se pueden formar en áreas de procesos tectónicos activos, donde los deslizamientos de tierra son comunes durante periodos de fallas y plegamientos intensos (Mahmut, 2019).

#### **2.3.2.5 Chert**

Es una roca silíceica densa y dura, compuesta de sílice casi pura, bien con una cristalización extremadamente fina o criptocristalina que no muestra evidencia alguna de estructura cristalina regular. Hay dos tipos diferentes de chert: los que sustituyen a las calizas en forma de nódulos o vetas de calcedonia y los realmente estratificados asociados con pizarras o con formaciones estratificadas de piedra ferruginosa. (Duque, 2022, p. 289)



Figura 39. *Chert de la Formación Pérmica de Fosforita en Montana*

*Nota.* Tomado de *Bedded chert, SW Montana*, por M. Miller, 2017, <https://geologypics.com/bedded-chert-sw-montana/>

“Los primeros provienen de microfósiles silíceos como los organismos unicelulares marinos llamados radiolarios; los segundos forman el sílex, son de origen inorgánico y pueden estar asociados a precipitados, lavas submarinas o ceniza volcánica” (Duque, 2022, p. 289).

#### **2.3.2.6 Arcillas expansivas**

Se conoce como suelos expansivos a aquellos que presentan cambios en su volumen. Durante este proceso ocurre una contracción y expansión debido al incremento y disminución de la humedad, respectivamente. Al presentar esta alta facilidad de absorber agua, así como para perderla, hace que este tipo de suelo sea muy inestable para la construcción (Licuy y Román, 2020).

De igual modo, las arcillas expansivas generalmente se caracterizan por su deformación excesiva, colapso, baja resistencia al corte, baja capacidad de carga y alto potencial de hinchamiento. Estos son factores que afectan directamente el rendimiento de resistencia del suelo como un material constructivo (Chicaiza y Oña, 2018).

Adicionalmente, estas arcillas son capaces de generar profundas grietas caracterizadas con una textura de arena seca que las hace susceptibles a la erosión en

temporadas secas, mientras que, cuando llegan las temporadas húmedas, se presentan procesos de expansión drástica caracterizada con texturas blandas, pegajosas y resbaladizas (Chicaiza y Oña, 2018).

## **2.4 Pluviometría de Cerro Azul**

Cerro Azul presenta una situación pluviométrica característica de la región costera del país, que experimenta un clima monzónico tropical, con una temporada de lluvias que dura principalmente desde diciembre hasta mayo, y una estación seca de junio a noviembre.

Durante la temporada de lluvias, Cerro Azul recibe la mayor parte de sus precipitaciones, las cuales pueden ser intensas y concentradas en cortos periodos de tiempo. Las lluvias en esta época contribuyen significativamente al desarrollo de la vegetación y a la recarga de los acuíferos. Por el contrario, la estación seca se caracteriza por precipitaciones bajas y temperaturas más altas, lo que puede provocar una reducción de la humedad del suelo y condiciones más áridas.

La variabilidad interanual de las precipitaciones también puede verse influenciada por fenómenos climáticos como El Niño y La Niña, los cuales pueden alterar los patrones normales de precipitaciones en la región. En consecuencia, esto provoca periodos de sequía o precipitaciones excesivas.

Del mapa de isoyetas de la Carta Hidrológica Nacional, se obtiene un valor entre 500 y 1000 milímetros anuales para el área en estudio. Los valores registrados dan una media anual de 1135 milímetros en Guayaquil, precipitaciones que normalmente se dan entre diciembre y abril, pero con la influencia del Fenómeno El Niño, de 1982 – 1983 que fueron excepcionalmente altas (4219 mm) y en 1992-1993 fueron de 1546 mm es decir de menor intensidad, mientras que en 1997-1998 fue de 4777 mm. (Proaño, 2009, p. 2)

Mediante el software de Qgis, y con la ayuda de un ráster del área de estudio, se presenta en la Ilustración 34 el número de celdas que fluyen en la pendiente, el cual brinda la información hacia dónde van a escurrir las divisorias, mientras que en la Ilustración 35 se observa la dirección de drenaje de Cerro Azul.

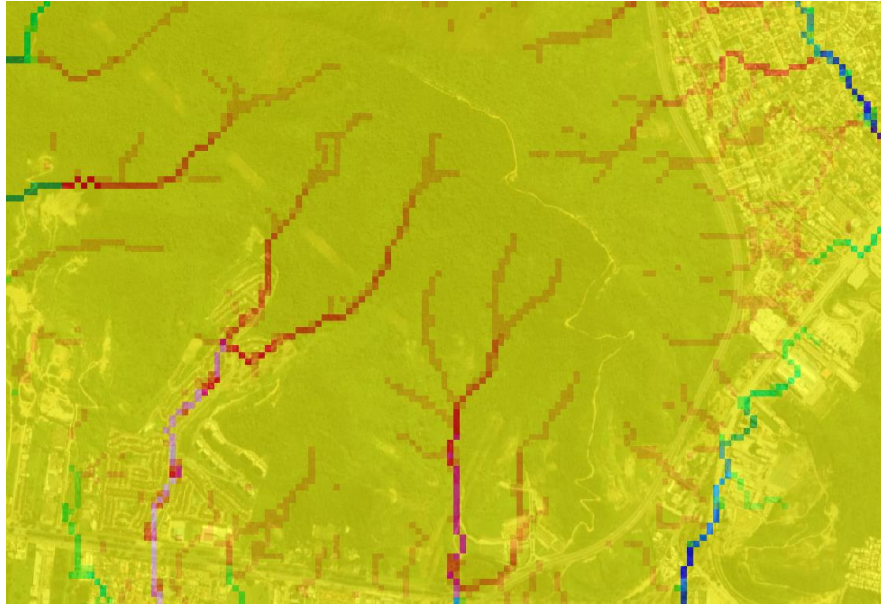


Figura 40. *Celdas que fluyen en la pendiente del área de estudio*

*Nota.* Elaboración propia.

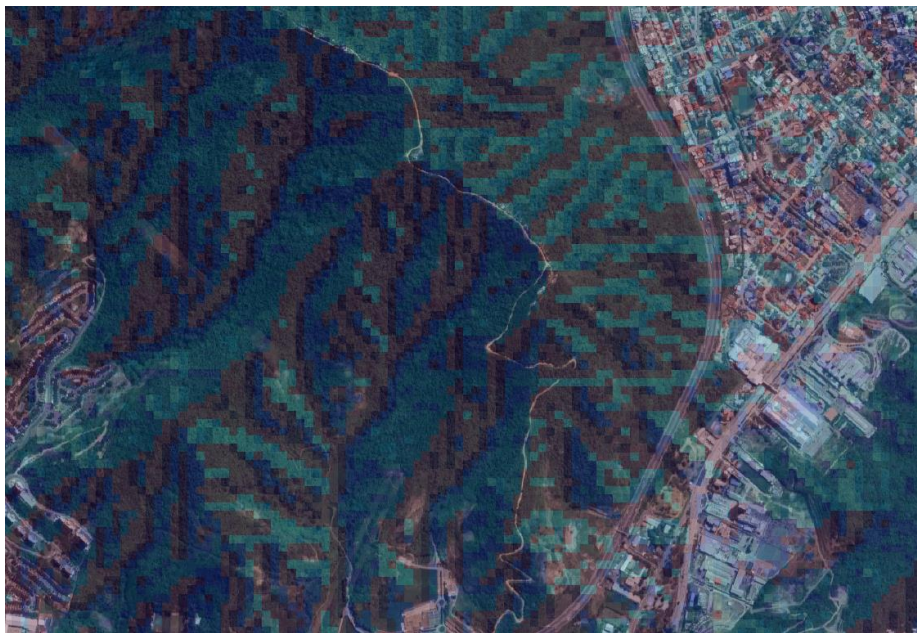


Figura 41. *Dirección de drenaje de Cerro Azul*

*Nota.* Elaboración propia.

#### **2.4.1 Agua subterránea**

La mayoría del agua subterránea se origina como agua meteórica, que se precipita en forma de lluvia. Si no se pierde por la evaporación, transpiración de las plantas o escorrentía, el agua se infiltra en el terreno. Esta representa una

fracción importante de la masa de agua presente en todos los continentes, con un volumen mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o ríos. (Burbano et al., 2014, p. 4)

El agua que no se retiene como humedad del suelo percola hacia abajo hasta que alcanza una zona donde todos los espacios libres del sedimento están completamente llenos de agua, lo que se denomina zona de saturación. El agua situada en el interior se conoce como agua subterránea. Por otro lado, el límite superior de esta zona se conoce como el nivel freático. Aunado a esto, extendiéndose hacia arriba desde el nivel freático se encuentra la franja capilar, en la cual el agua subterránea se mantiene por la tensión superficial en diminutos conductos comprendidos entre los granos de suelo o de sedimento (Tarbuck y Lutgens, 2005).

El área situada por encima del nivel freático que abarca la franja capilar y el cinturón de humedad del suelo se denomina zona de aireación. Aunque puede haber una cantidad considerable de agua en la zona de aireación, esta agua no puede ser bombeada por los pozos porque está demasiado aferrada a la roca y las partículas sólidas. (Tarbuck y Lutgens, 2005, p. 481)

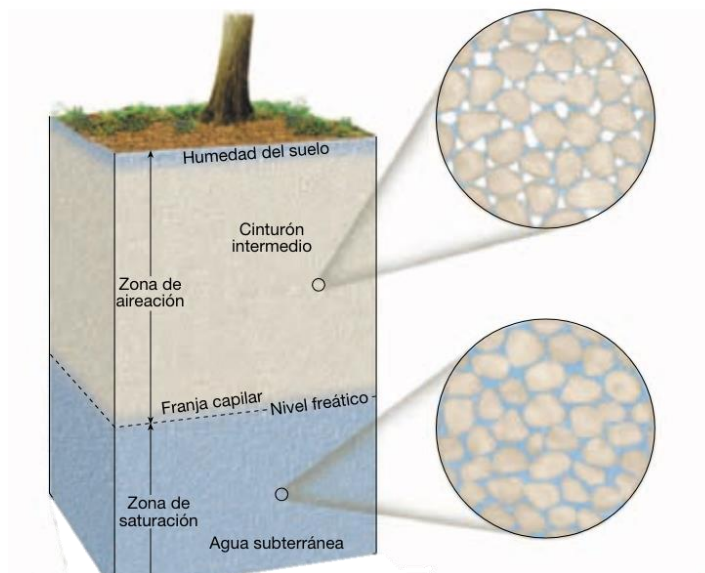


Figura 42. Niveles de distribución del agua subterránea

#### 2.4.2 Nivel freático

Constituye el nivel de máxima saturación que presenta cualquier tipo de terreno debido a la infiltración de las precipitaciones. El nivel freático es bajo cuando no se

tienen lluvias y sube con la presencia de lluvias en periodos largos. En perfiles transversales perpendiculares a la dirección de una ladera, el nivel freático se representa como queda indicado en la Figura 8. Es evidente que, a mayores precipitaciones, se tiene una mayor vegetación y el nivel freático es elevado, debido a que se producen diferencias de cargas. En el caso de laderas, el nivel freático se denomina también nivel piezométrico (Chávez, 2015).

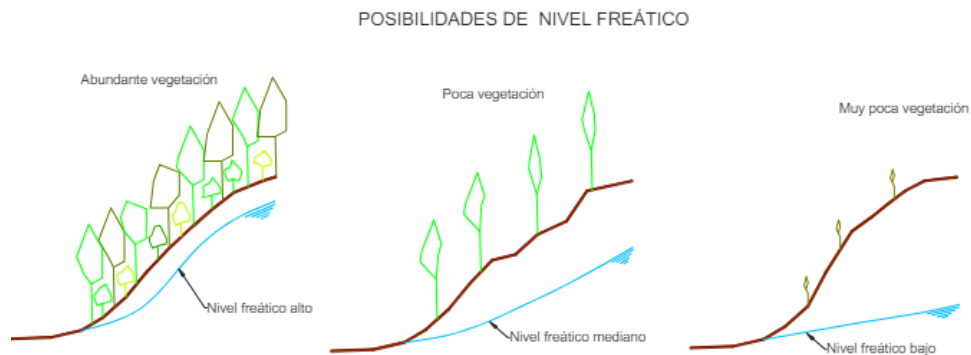


Figura 43. Variaciones del nivel freático en función de la cantidad de lluvias.

*Nota.* Tomado de *Incidencia del agua en los procesos de inestabilidad de taludes y laderas en el centro y norte de la ciudad de Guayaquil*, por M. Chávez, 2015, <https://dspace.espol.edu.ec/retrieve/89844/D-70124.pdf>

### 2.4.3 Geohidrología

“La Geohidrología constituye el estudio de las aguas subterráneas que se pueden tener en los macizos rocosos y en los depósitos de suelos en donde existe porosidad efectiva, es decir una capacidad de almacenamiento de las aguas lluvias” (Chávez, 2015, p. 36).

El Cerro Azul siendo una laderas rocosas, no se han detectado acuíferos, según los estudios efectuados por la ESPOL para el Relleno Sanitario de La Iguanas en 1990 se hace constar que no existen acumulaciones acuíferas en las rocas de la Formación Cayo por existir una inter estratificación frecuente de lutitas y limolitas que son impermeables, se habla de que pueden existir acuicludos que son acumulaciones de agua, de poca importancia, que tienden a dirigirse hacia el interior del macizo rocoso. (Chávez, 2015, p. 37)

## 2.5 Estabilidad de taludes

### 2.5.1 Generalidades

Según Juárez y Rico (2005), se puede entender que un talud son superficies inclinadas con respecto a la horizontal, las cuales se adoptarán de manera permanente o provisional. Asimismo, estas se constituyen de tierra o macizo rocoso, y podrían ser de forma natural o de manera artificial. Un talud puede ser artificial producido por corte o relleno de material; igualmente, puede ser una ladera natural como se muestra en la Figura 37.

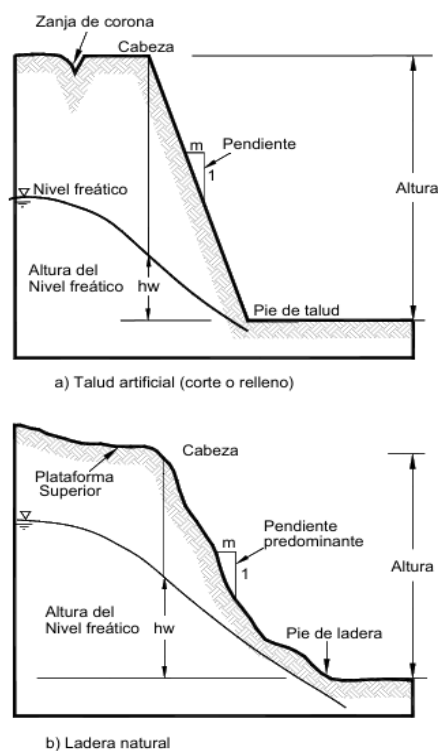


Figura 44. *Nomenclatura de taludes y laderas*

*Nota.* Tomado de *Deslizamientos Volumen I Análisis Geotécnico*, por J. Suárez, 2009, <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>

De conformidad con Suárez (2009):

Las laderas o taludes que han permanecido estables por muchos años pueden fallar debido a cambios topográficos, sísmicos, a los flujos de agua subterránea, a los cambios en la resistencia del suelo, la meteorización o a factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad. Un talud estable puede convertirse en un deslizamiento. (p. 22)



### 2.5.2 Partes de un Talud

Existen algunos términos para definir las partes de un talud. Este se comprende de una parte alta o superior convexa con una cabeza, cima, cresta o escarpe, donde se presentan procesos de denudación o erosión; una parte intermedia semi recta y una parte baja o inferior cóncava con un pie, pata o base, en la cual ocurren principalmente procesos de depósito como se muestra en la Figura 38. (Suárez, 2009, p. 22)

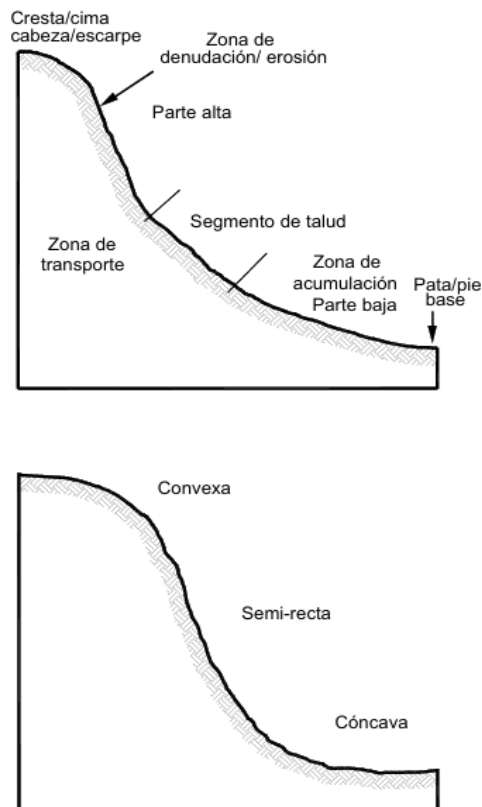


Figura 45. Partes generales de un talud o ladera

Nota. Tomado de Deslizamientos Volumen 1 Análisis Geotécnico, por J. Suárez , 2009, <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>

“Los deslizamientos o *landslides* consisten en movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” (Cruden, 1991, como se citó en Suárez, 2009, p.4).

Por otro lado, en el término deslizamiento se incluyen tanto los procesos de erosión como los procesos de inundaciones. La naturaleza precisa del proceso no está

incluida en la definición e incluye procesos que son producto de la acción de las fuerzas gravitacionales, hidráulicas (Suárez, 2009).

### **2.5.3 Influencia del tipo de material**

Según el Instituto Geológico y Minero de España [IGME] (2006), la naturaleza del material guarda una relación con la posible ocurrencia de un tipo de inestabilidad de un talud, haciendo que pueda evaluarse antes de que se produzcan. Esto da lugar a que se tenga un posible método de contingencia en caso de suceder un desplazamiento. Por ello es importante una buena caracterización del tipo de suelo que se tiene; al respecto, se tienen tres grupos:

#### **2.5.3.1 Macizos rocosos**

Estas formaciones se componen de un medio discontinuo formado por diversos tipos de rocas. Finalmente, su comportamiento dependerá de estas características discontinuas, tal como se muestra en la Figura 45.



Figura 46. *Ejemplo de Macizo Rocosos*

*Nota.* Tomado de *Descripción del macizo rocoso introducción a la ingeniería de rocas de superficie y subterránea*, por L. Suárez-Burgoa, 2014, <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21497>

### 2.5.3.2 Suelos

Los suelos, a diferencia del macizo rocoso, se componen por partículas sólidas que pueden estar sueltas, consolidadas o no consolidadas, y en algunos casos contienen material orgánico. Los suelos son continuos y homogéneos, lo que provoca que las fallas ocurran internamente y dependan de las características de las partículas, la presencia de arenas o arcillas y el nivel freático.

### 2.5.3.3 Rellenos

Se refiere a los depósitos artificiales creados en actividades de construcción civil, como terraplenes, o simplemente como acumulaciones de desechos. De igual manera, el comportamiento de las fallas en los rellenos será similar al de los suelos, desarrollándose a través del material en una superficie indeterminada. En algunos casos, si la superficie presenta características diferentes a las del relleno, esto podría modificar dicho comportamiento.



Figura 47. *Terraplén construido con material de relleno*

*Nota.* Tomado de *Construcción de terraplenes y rellenos ligeros*, por Laterlite, 2015, <https://www.laterlite.es/aplicaciones/geotecnia/construccion-terraplenes-rellenos-ligeros/>

## 2.5.4 Clasificación de los movimientos

### 2.5.4.1 Caídos

En los caídos se desprende una masa de cualquier tamaño desde un talud de pendiente fuerte a lo largo de una superficie en la cual el desplazamiento de corte es mínimo o no se da. Este desplazamiento se produce principalmente por caída libre, a saltos o rodando como se muestra en la Ilustración 47. Los caídos de suelo, en escarpes semiverticales, representan un riesgo importante para los elementos que están debajo del talud como se aprecia en la Figura 48. (Suárez, 2009, p. 25)

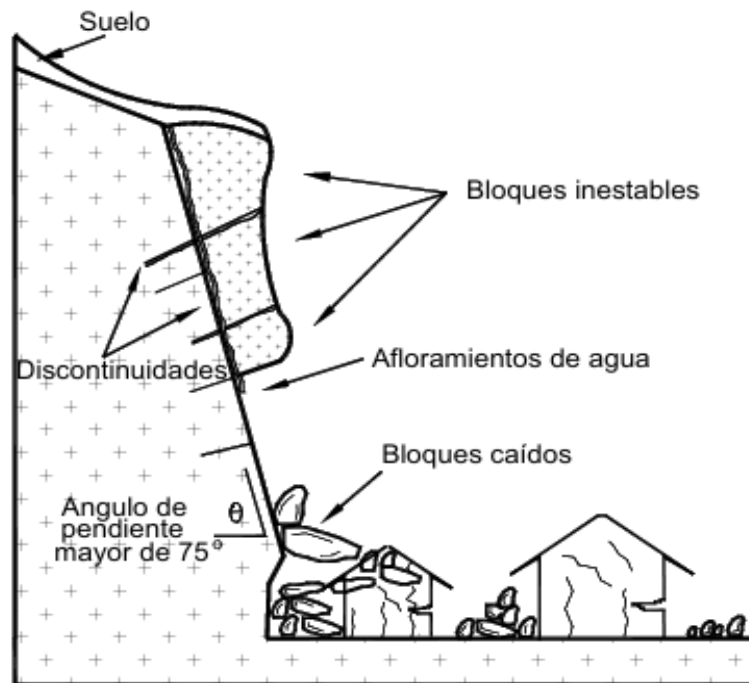


Figura 48. Caídos de bloques en caída libre de roca fracturada

Nota. Tomado de *Deslizamientos Volumen I Análisis Geotécnico*, por J. Suárez, 2009, <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>

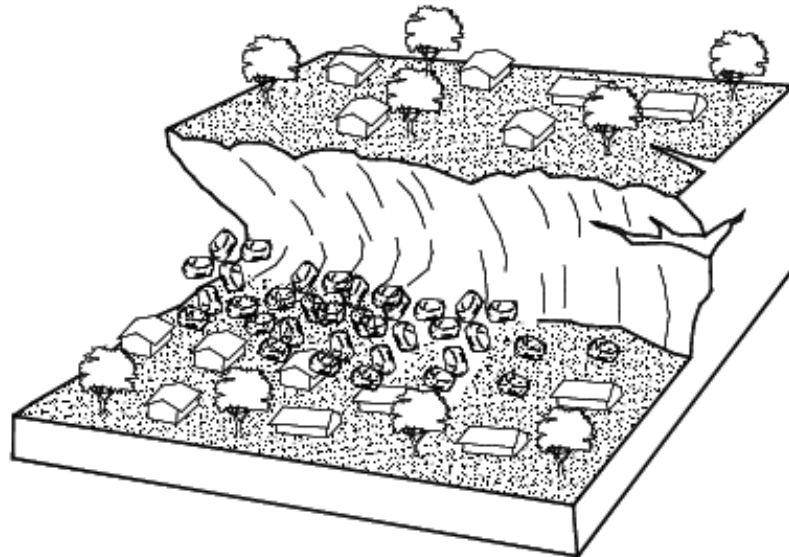


Figura 49. *Caído o desprendimiento de suelo*

*Nota.* Tomado de *Deslizamientos Volumen I Análisis Geotécnico*, por J. Suárez, 2009, <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>

#### **2.5.4.2 Deslizamiento traslacional**

En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie de más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. (Astudillo y Medina, 2009, p. 10)

Los movimientos traslacionales tienen generalmente una relación  $D_r/L_r$  de menos de 0.1. La diferencia importante entre los movimientos de rotación y traslación está principalmente, en la aplicabilidad o no de los diversos sistemas de estabilización. Sin embargo, un movimiento de rotación trata de autoestabilizarse, mientras uno de traslación puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo. (Astudillo y Medina, 2009, p. 10)

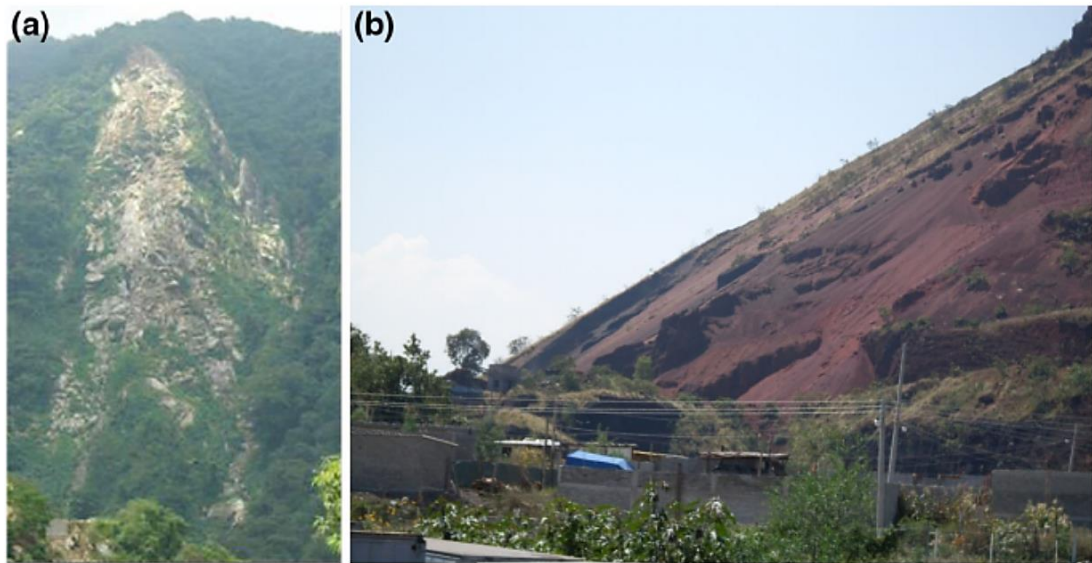


Figura 50. Ejemplos de deslizamientos de tierra traslacionales en dos regiones diferentes: un deslizamiento de materiales metamórficos erosionados, Chiapas, sur de México; b deslizamiento traslacional en conos de escoria volcánica, centro de México

*Nota.* Tomado de Seismic-event-based method to obtain earthquake induced translational landslide regional hazard maps, por M- Nino et al., 2014, *Natural Hazards*, 73.

Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de estado de meteorización que corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones. En muchos deslizamientos de traslación de masa se deforma y/o rompe y puede convertirse en flujo. (Astudillo y Medina, 2009, p. 10)

#### 2.5.4.3 Deslizamiento rotacional

En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. En muchos deslizamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara”. Generalmente, el escarpe debajo de la corona tiende a ser semivertical, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos. (Astudillo y Medina, 2009, p. 9)

Los deslizamientos a través de una superficie circular hacen que los materiales de suelo laterítico se desplacen a través de una superficie de rotura curvilínea o cóncava. Generalmente la masa desplazada se divide en bloques o escalones los cuales experimenta un giro según un eje situado por encima del centro de gravedad de esta. El material de la cabecera de los escalones se inclina contra la ladera, generando depresiones paralelas a la corona del talud o ladera y a través de la cual se infiltran las aguas superficiales y pueden lograr reactivaciones. (Almaguer y Guardado, 2006, p. 10)



Figura 51. Se observa un deslizamiento rotacional en el que la superficie de deslizamiento es curva (a menudo como la superficie de una cuchara); esto se conoce como ruptura lítrica o superficie de deslizamiento

Nota. Tomado de *What Is a Landslide? Types, Causes, Effects & Prevention*, por A. Lees, 2021, <https://www.tensarinternational.com/resources/articles/what-is-a-landslide>

Generalmente hay presencia de agua en estos tipos de movimientos en cortezas lateríticas, la parte frontal del cuerpo del deslizamiento evoluciona como una colada de suelo. En algunos casos este tipo de movimiento se desarrolla en laderas compuestas por roca serpentinizada, en la cual el espaciado de las

grietas es tan pequeño que le confiere un comportamiento tipo suelo. (Almaguer y Guardado, 2006, p. 10)

#### **2.5.5 Factores que influyen en la estabilidad de taludes**

Por su parte, Zavala (2021) afirmó lo siguiente:

La estabilidad de taludes esta influenciada por varios factores en los que se resalta los factores geométricos (altura y pendiente), factores geológicos (presencia de estratos débiles o anisotrópicos en el talud). Factores hidrogeológicos (existencia de agua) y factores geotécnicos (resistencia y deformabilidad). Estas condiciones juntas pueden ayudar a definir el tipo de rotura en la superficie de talud, ya que esta dado especialmente por los factores geológicos y geométricos. Los factores, geométricos, hidrogeológicos y geotécnicos se consideran condicionantes pasivos que definen el comportamiento del talud y sus características resistentes. En la Tabla 1 se realiza un resumen de todos los elementos que influyen en modelamientos estabilidad de taludes. (p. 24)



Tabla 2. *Resumen de los elementos en elaboración de modelos de deslizamientos*

<b>Tema</b>	<b>Elementos Fundamentales para Estudiar</b>
Litología y formación geológica	Tipo de formación. Tipo de roca parental. Proceso de formación del suelo. Mineralogía. Propiedades de cada uno de los materiales presentes en el talud.
Estructura geológica	Rumbo, buzamiento, abertura, rugosidad, relleno, separación, continuidad y características de las juntas, planos de estratificación, fallas y demás estructuras.
Geomorfología	Formas del terreno, patrones de drenaje, pendientes.
Estado de meteorización	Profundidad de meteorización. Tipo de meteorización variable con la profundidad. Materiales producto de la meteorización.
Tectónica y Fracturación	Elementos tectónicos presentes. Discontinuidades. Rumbo y buzamiento de cada una de las discontinuidades. Separación y abertura de cada discontinuidad. Aspereza y relleno.
Pendiente y Topografía	Altura, pendientes, curvatura, convexidad, presencia de gradas y cambios topográficos.
Clima e hidrología	Temperaturas. Vientos. Precipitaciones promedio. Lluvias máximas. Tipo de lluvia. Duración de las lluvias. Anomalías climáticas (El Niño y La Niña).
Hidrogeología	Áreas de infiltración. Recarga interna de agua. Conductividad hidráulica. Porosidad. Nivel freático.
Sismicidad	Fuentes sísmicas. Magnitud e intensidad. Aceleraciones y desplazamientos en los sismos esperados.
Vegetación	Tipo y características de la cobertura vegetal. Profundidad y densidad de raíces. Espesor de suelos orgánicos. Microflora y microfauna.
El efecto antrópico	Cambios inducidos por la acción humana. Uso de la tierra. Prácticas de agricultura. Irrigación.
Probabilidad de los factores detonantes	La probabilidad de que ocurran factores detonantes como lluvias extraordinarias o sismos con determinados periodos de retorno
Evolución de los movimientos	Magnitud probable de la amenaza, vulnerabilidad de los elementos en riesgo y magnitud probable del riesgo.
Alternativas de remediación	Posibles alternativas de manejo, control o estabilización, si los movimientos son remediables.

*Nota.* Tomado de *Estabilidad de taludes para el mejoramiento del terraplén en la construcción del túnel drenaje Toquepala- Tacna, 2001*, por J. Zavala, 2021, <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2072>

### **2.5.6 Efectos desestabilizadores**

Los deslizamientos tienen un potencial destructivo elevado y dependiendo del grado de desarrollo, este potencial aumenta o disminuye. Por otro lado, un deslave se produce por el movimiento de una masa de tierra que posee pendiente, lo que se conoce como talud y puede ser natural si se trata de una ladera como origen de un proceso

natural, o artificial si su formación proviene de un proceso antrópico (Camacho y Granados, 2023).

### **2.5.6.1 Meteorización**

De conformidad con Tarbuck y Lutgens (2005), la meteorización, los procesos gravitacionales y la erosión son procesos externos que tienen lugar en la superficie terrestre y se alimentan de la energía solar. Ahora bien, estos procesos externos son parte de la vida del ciclo de las rocas, puesto que transforman la roca sólida en sedimentos.

La meteorización es un agente atmosférico corrosivo para las rocas de los taludes o laderas de montañas, cerros, entre otros, puesto que están expuestos a la intemperie, lo que se afecta por procesos físicos o mecánicos y químicos que dependen de los factores climáticos (Carchipulla, 2023).

### **2.5.6.2 Meteorización física o mecánica**

Este fenómeno ocurre cuando los bloques de rocas de un talud o ladera pertenecientes a montañas o cerros expuestos al intemperismo se desintegran o fragmentan a partir de un bloque de roca principal que conserva las características de esta. (Carchipulla, 2023, p. 42)

De acuerdo con Tarbuck y Lutgens (2005), la fragmentación de la roca se provoca por procesos físicos importantes de la meteorización física que inducen a la fragmentación. Cabe mencionar que otros agentes externos a la meteorización, como los agentes erosivos del viento, el hielo y el agua, son agentes dinámicos que retiran los fragmentos o restos rocosos desintegrando estos materiales, lo que provoca deslizamientos o derrumbes en el talud o ladera.

### **2.5.6.3 Meteorización química**

Según López (2002), “este tipo de meteorización tiene al agua como un factor principal en todos los procesos de la meteorización química, como la oxidación, la carbonatación, el cambio catiónico y la quelación” (p. 1).

Adicionalmente, estos procesos de la meteorización química debilitan las capas externas de las rocas, lo que facilita la acción y efectividad de la meteorización física

o mecánica. Lo mismo sucede en la meteorización física; es decir, al fragmentar la roca, se aumenta el área superficial donde la meteorización química puede actuar con mayor facilidad.

Cabe mencionar que ambos procesos de meteorización pueden actuar de forma independiente según las condiciones del lugar, así como sucesivamente uno primero que otro según las condiciones de la roca, lo que empeora el estado en que se encuentre la roca y acelera la meteorización de esta.

#### **2.5.6.4 Sismos**

Los deslizamientos activados por sismos han causado grandes pérdidas humanas y económicas en varios países del mundo. Cuando se presenta un sismo se generan fuerzas inerciales dentro de la ladera, las cuales aumentan los esfuerzos cortantes actuantes en la superficie de deslizamiento. Esto puede provocar desprendimientos de bloques, deslizamientos, flujo de suelos y avalanchas, dependiendo de las características intrínsecas de la ladera como son su topografía, el tipo y propiedades de las rocas, los suelos de cobertura superficial, el nivel freático y el tipo de vegetación, además de la magnitud del sismo y de la distancia al epicentro (Cuanalo et al., 2006).

En resumen, los sismos son un efecto desestabilizador muy peligroso; en tal sentido, no es necesario que sean de gran magnitud para causar deslizamientos de tierra, prueba de ello son los deslizamientos en la ciudad de Quito-Ecuador causados por sismos de baja magnitud con foco superficiales y con altas aceleraciones como el de agosto de 2014, que causó gran afectación (ver figuras 1, 2 y 3).



Figura 52. *Deslizamiento en Quito tras sismo*

*Nota.* Tomado de *Las nubes de polvo que cubrieron Quito tras sismo de 5 grados*, por El Comercio, 2014, <https://elcomercio.pe/mundo/latinoamerica/nubes-polvo-cubrieron-quito-sismo-5-grados-351754-noticia/>



Figura 53. *Deslizamiento en Quito tras sismo*

*Nota.* Tomado de *Las nubes de polvo que cubrieron Quito tras sismo de 5 grados*, por El Comercio, 2014, <https://elcomercio.pe/mundo/latinoamerica/nubes-polvo-cubrieron-quito-sismo-5-grados-351754-noticia/>



Figura 54. *Deslizamiento en Quito tras sismo*

*Nota.* Tomado de *Las nubes de polvo que cubrieron Quito tras sismo de 5 grados*, por El Comercio, 2014, <https://elcomercio.pe/mundo/latinoamerica/nubes-polvo-cubrieron-quito-sismo-5-grados-351754-noticia/>

Como se muestra en la Ilustración 54, en la tarde del 12 de agosto se produjo un sismo de magnitud 5.1, localizado al noroeste de la parroquia de Calderón, al norte de la ciudad de Quito (Instituto Geofísico, 2014)

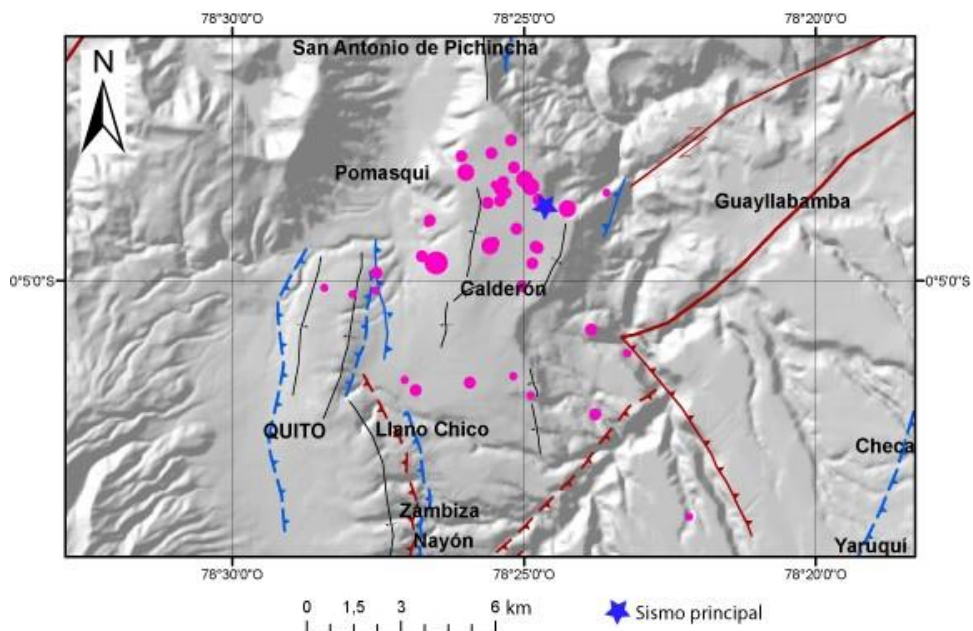


Figura 55. *Localización del sismo principal y sus réplicas hasta hoy a las 9h00 TL*

*Nota.* Tomado de *Informe sísmico especial N#1 - sismo de quito 12 de agosto 2014*, por Instituto Geofísico, 2014, <https://www.igeqn.edu.ec/servicios/noticias/897-informe-s%C3%ADsmico-especial-n%C2%B0-1-sismo-de-quito-12-de-agosto-2014>

De acuerdo con Yepez (2014), el temblor ocurrido el día 12 de agosto de 2014 destruyó casas de adobe y tapial en un radio de 12 km a la redonda, además de algunas construcciones modernas, sobre todo en las zonas de Pomasqui y Pusuquí. A partir de lo anterior, se concluyó que los sismos con grandes aceleraciones y foco superficial afectan a las viviendas sociales.

Por su parte, Andrade y Vicuña (2023) mencionaron que Ecuador se ha caracterizado por ser un país con potencial actividad sísmica, por encontrarse en el anillo de fuego del Pacífico, donde se registra aproximadamente el 85 % de la actividad sísmica mundial, lo cual ha producido destrucción, daños materiales y pérdidas humanas.

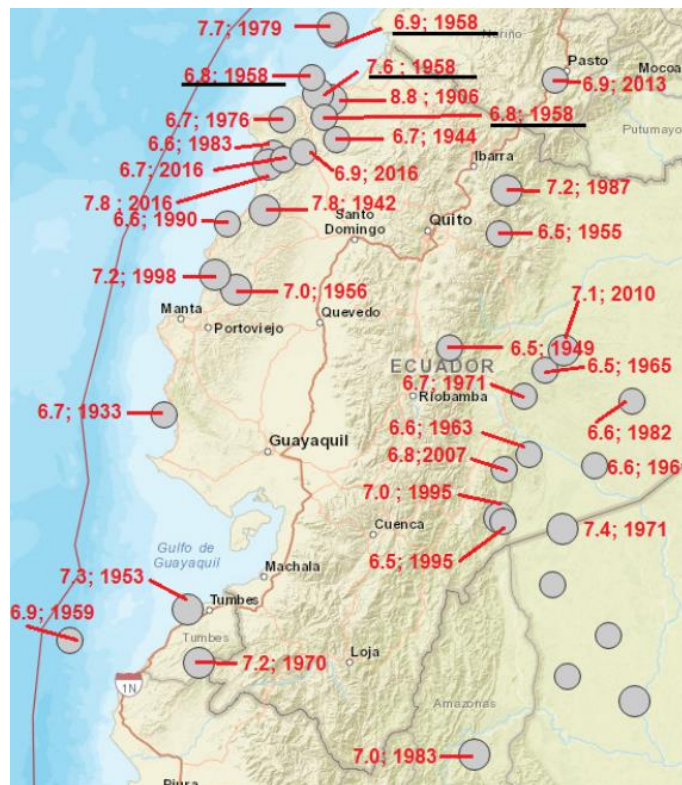


Figura 56. Epicentros de los terremotos mayores a 6.5 grados en la escala de Richter, ocurridos en Ecuador durante el periodo 1900-2017

*Nota.* Tomado de Terremotos mayores a 6.5 en escala Richter ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta 1970, por M.M. Theurer et al., 2017, *Ingeniería*, 21(2).

Al respecto, Andrade y Vicuña (2023) afirmaron que en Ecuador ocurrieron sismos con focos de menos de 20 km, como se expone a continuación:

- Terremoto de 6.1 y 6.9  $M_s$ , ocurrido el 5 de marzo de 1987

- Terremoto de 5.1  $M_w$  , ocurrido el 12 de agosto de 2014 en Quito.
- Terremoto de 5.8  $M_w$  , ocurrido el 19 de diciembre de 2016 en Esmeraldas.
- Terremoto de 6.1  $M_w$  , ocurrido el 18 de abril de 2017 en Amazonía.
- Terremoto de 6.0  $M_w$  , ocurrido el 10 de junio de 2017 en Bahía de Caráquez.

#### 2.5.6.5 Precipitaciones

Existen factores que influyen en la ocurrencia de un deslizamiento, producto de la falla de un talud, así como también agentes detonantes que activan el movimiento. Por consiguiente, estos generan un aumento en los esfuerzos cortantes, y entre ellos se encuentra el agua, cuya intervención puede manifestarse a través de la lluvia, la cual modifica la humedad y la presión de poros. En esa medida, las inundaciones que saturan el suelo aumentan la presión de poros, lo que genera erosión (Camacho y Granados, 2023).



Figura 57. Deslave de gran proporción se produjo en Alausí, provincia de Chimborazo, causado por la época lluviosa

*Nota.* Tomado de *Deslizamientos e inundaciones, entre los eventos adversos con mayor recurrencia por la época lluviosa en Ecuador*, por J. Guzmán, 2023, El Universo. <https://www.eluniverso.com/noticias/ecuador/quito-deslizamientos-inundaciones-epoca-lluviosa-ecuador-nota/>

En ambientes donde las pendientes son un elemento dominante de la morfología, el reblandecimiento de los materiales se puede manifestar con diversas formas de movimientos de masa: fluencias, coladas de lodo y corrimientos de tierra (Tóth, 2000).

Por otro lado, la debilidad en suelos y rocas inducida por el agua y su correspondiente incremento en la capacidad de erosión pueden dar lugar a grandes elementos geomorfológicos (Tóth, 2000), es el caso de esta investigación, centrada en el deslizamiento traslacional de grandes masas de tierra, provocados por la saturación del suelo debido a las altas precipitaciones por el fenómeno de El Niño.

#### **2.5.6.6 Deslizamiento en Alausí**

El 26 de marzo del 2023 se originó un deslizamiento de gran magnitud que transportó gran cantidad de material desde la zona alta del cerro Casual hasta el colegio González Suárez, lo que dejó un área afectada de 24,3 hectáreas como se muestra en las figuras 57 y 58 (Dirección de Monitoreo de Eventos Adversos, 2023).



Figura 58. *Deslizamiento en Alausí*

*Nota.* Tomado de 10 datos sobre la situación de Alausí tras el deslizamiento que ha dejado 16 muertos, por La Hora, 2023, [https://www.lahora.com.ec/pais/alausí-datos-tragedia-deslizamiento-muertos/#google\\_vignette](https://www.lahora.com.ec/pais/alausí-datos-tragedia-deslizamiento-muertos/#google_vignette)





Figura 59. *Deslizamiento en Alausí*

*Nota.* Tomado de 10 datos sobre la situación de Alausí tras el deslizamiento que ha dejado 16 muertos, por La Hora, 2023, [https://www.lahora.com.ec/pais/alausí-datos-tragedia-deslizamiento-muertos/#google\\_vignette](https://www.lahora.com.ec/pais/alausí-datos-tragedia-deslizamiento-muertos/#google_vignette)

El deslizamiento en Alausí fue una de las desgracias de mayor magnitud en la historia de Chimborazo, debido a que este deslizamiento causó un gran número de afectaciones, tal como se muestra en la Figura 7.

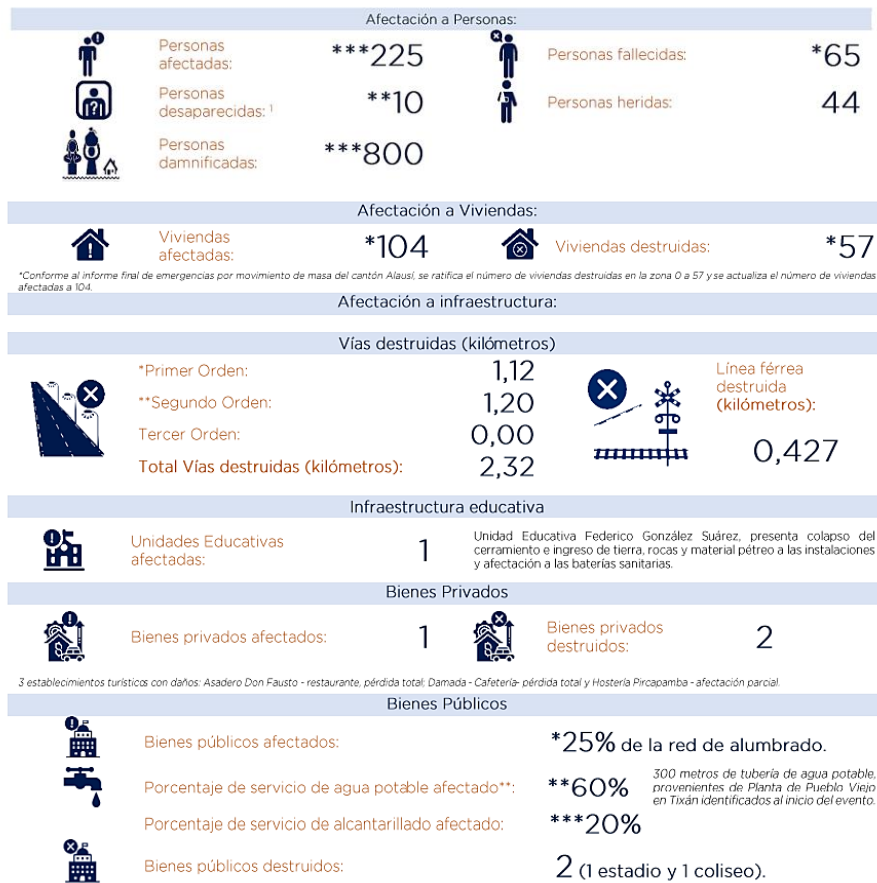


Figura 60. Afectaciones del deslizamiento en Alausí

Nota. Tomado de *SitRep No. 98 - Deslizamiento Casual – Alausí*, por Dirección de Monitoreo de Eventos Adversos, 2023, <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2023/11/SITREP-Nro.-98-Deslizamiento-Alausi-31102023-15h00-revf.pdf>

Según el Boletín Meteorológico Nro. 15 de Advertencia emitido el martes, el 21 de marzo de 2023, a las 16:00 horas, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) informaba que los eventos de lluvias intensas persisten en la región Litoral. En el callejón interandino y Amazonía se prevén precipitaciones de variable intensidad (ver Figura 60).

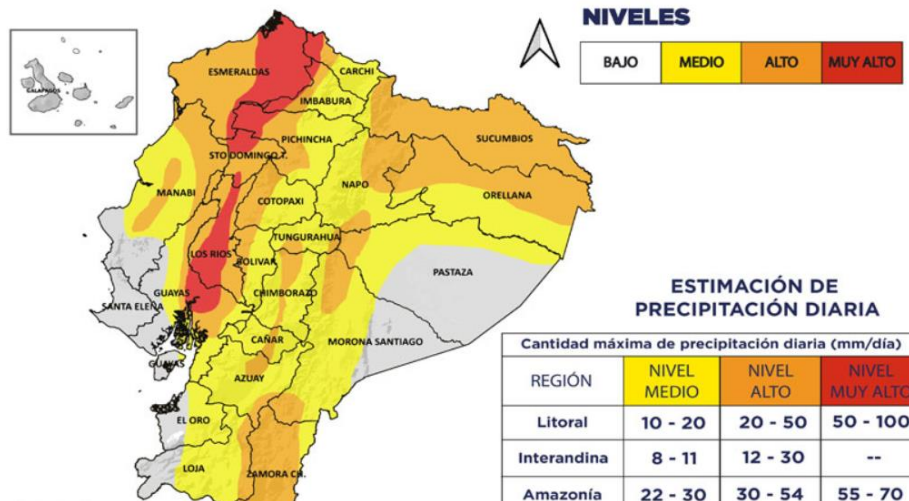


Figura 61. Mapa de nivel de amenaza- Lluvias y tormentas

*Nota.* Tomado de *SitRep No. 98 - Deslizamiento Casual – Alausí*, por Dirección de Monitoreo de Eventos Adversos, 2023, <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2023/11/SITREP-Nro.-98-Deslizamiento-Alausi-31102023-15h00-revf.pdf>

El deslizamiento en Alausí se produjo durante un fuerte invierno, las lluvias son un factor desencadenante de deslizamientos, pero no son el único factor. Otra de las razones es el mal manejo de las aguas, de tal modo que sin un sistema adecuado de drenaje de las aguas se termina infiltrándose el líquido en el suelo, debilitando el talud y haciendo que pierda resistencia al corte.

### 2.5.7 Elementos de contención

Los métodos de estabilización de deslizamientos que contemplan el control del agua tanto superficial como subterránea son muy efectivos y son generalmente más económicos que la construcción de grandes obras de contención, en cuanto a tienden a desactivar la presión de poros, considerada como el principal elemento desestabilizante de los taludes (Suárez, 2010).

El drenaje reduce el peso de la masa y al mismo tiempo, aumenta la resistencia del talud, al disminuir la presión de poros. Existen varias metodologías de drenaje superficial y profundo. El objetivo principal de estos métodos es disminuir la presión de poros y de esa forma, aumentar la resistencia al corte, eliminar las fuerzas hidrostáticas desestabilizantes y mejorar el factor de

seguridad de las superficies de falla por debajo del nivel de agua. (Suárez , 2010, p. 1)

En ciertos casos y debido a diversas necesidades o condiciones, podrían ser necesarios elementos de contención. Aunque estos elementos no requieren un espacio adicional significativo, el problema principal suele ser el costo extra que implican, especialmente cuando se trata de estructuras de hormigón armado. En la Ilustración 61 se presentan elementos de contención.

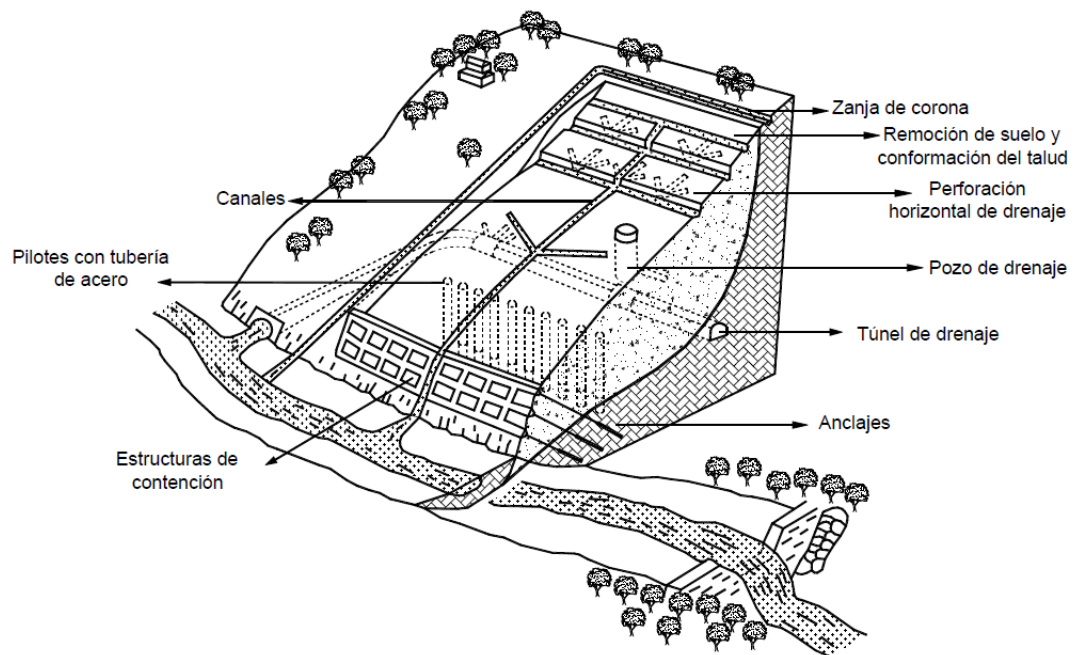


Figura 62. Algunas técnicas de reforzamiento ante deslizamientos

Nota. Tomado de *Deslizamientos Volumen 1 Análisis Geotécnico*, por J. Suárez, 2009, <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>

De conformidad con Suárez (2010), existen varias metodologías de drenaje superficial y profundo. Se podría decir que el objetivo principal de estos métodos consiste en disminuir la presión de poros y, de esa forma, aumentar la resistencia al corte, eliminar las fuerzas hidrostáticas desestabilizantes y mejorar el factor de seguridad de las superficies de falla por debajo del nivel de agua.

### 2.5.8 Drenaje Superficial

El objetivo principal del drenaje superficial se basa en mejorar la estabilidad del talud al reducir la infiltración y evitando la erosión. De igual modo, el sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro, lejos del talud que se va a proteger (Suárez, 2010). A continuación, se presentan algunos de estos:

#### 2.5.8.1 Zanjas de Corona

Las zanjas en la corona o en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias y evitar su paso por el talud. La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes; o en una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe como se muestra en la Figura 62. (Gómez y Gonzales, 2018, p. 1)

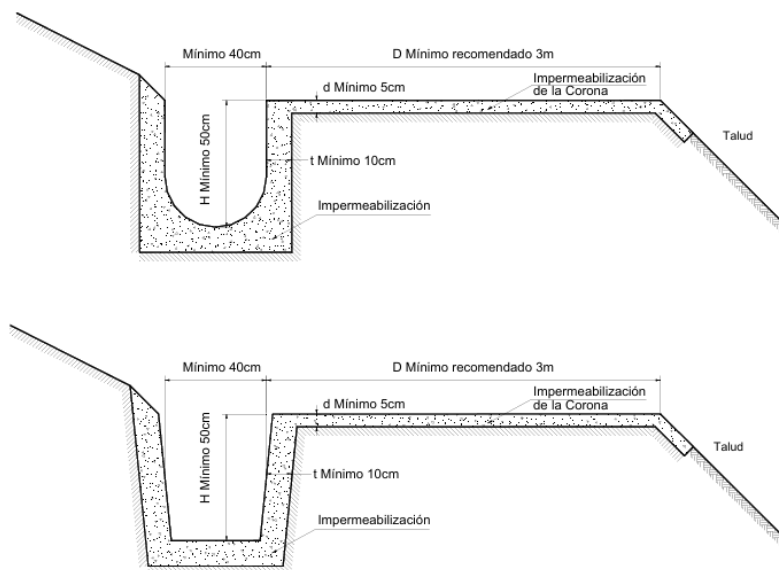


Figura 63. *Detalle de zanjas de la corona para el control de las aguas superficiales en un talud*

*Nota.* Tomado de *Deslizamientos: técnicas de remediación*, por J. Suárez, 2010, <https://www.erosion.com.co/download/cap-1-metodos-de-manejo-y-remediacion/>

Las dimensiones y la ubicación de la zanja pueden variar de acuerdo con la topografía de la zona y el cálculo previo de los caudales colectados. Generalmente,

para las áreas pequeñas de drenaje, se recomienda una zanja rectangular con un mínimo de 40 centímetros de ancho y 50 centímetros de profundidad. Al respecto, se hace lo posible para que queden localizadas a lo largo de una curva de nivel, con el fin de garantizar un correcto drenaje y que estén lo suficientemente atrás de las grietas de tensión en la corona.

Sobre esto, se encuentra que la separación mínima recomendada es de tres metros desde el borde de la corona. Para las áreas de drenaje de gran magnitud, se requieren canales con gran capacidad de conducción de agua. Finalmente, la zanja de corona debe ir conectada al canal en gradería o bajante que va a recolectar el agua hasta su destino final, tal como se observa en la Figura 64.

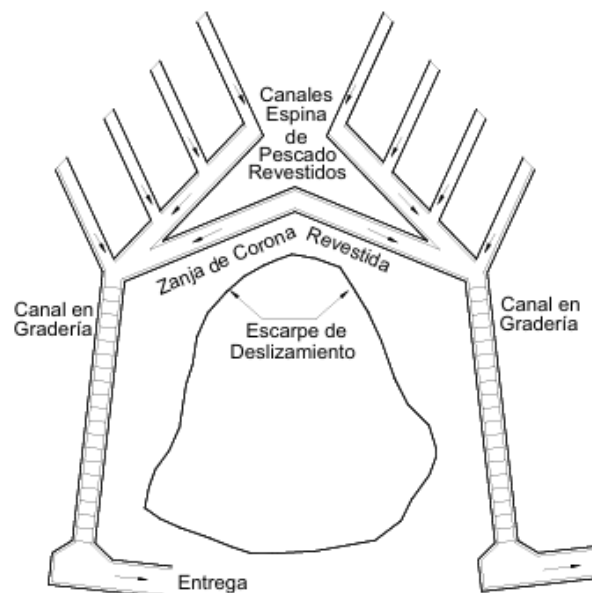


Figura 64. Esquema de Zanja de Corona

*Nota.* Tomado de *Deslizamientos: técnicas de remediación*, por J. Suárez, 2010, <https://www.erosion.com.co/download/cap-1-metodos-de-manejo-y-remediacion/>

Por otro lado, “para reducir la infiltración de agua en las áreas arriba del talud se pueden construir canales espina de pescado los cuales conducen las aguas colectadas fuera de las áreas vulnerables del talud” (Gómez y Gonzáles, 2018, p. 13).

### 2.5.8.2 Conformación y nivelación del terreno

El objetivo consiste en evitar o eliminar las depresiones y empozamientos de agua superficiales para disminuir los volúmenes de infiltración. Ahora bien, la

conformación del terreno se basa en la eliminación de áreas de infiltración arriba de la corona o dentro del área del talud. Las acumulaciones de agua, pantanos, o zonas planas de infiltración de agua arriba de la corona o cresta del talud, deben drenarse para disminuir los volúmenes de agua infiltrados que pueden aumentar las presiones de poros en el talud. En suma, el propósito es facilitar el drenaje sin realizar cortes ni rellenos de gran magnitud.

### 2.5.8.3 Bermas o terrazas

Las bermas producen un efecto beneficioso en la estabilidad general del talud, dado que su uso facilita el proceso constructivo y las operaciones de mantenimiento del talud retienen las caídas de fragmentos de roca. Cuando se disponen de las zanjas de drenaje para evacuar las aguas de escorrentía, se disminuye su efecto erosivo.

A continuación, se muestra un esquema de un tipo talud con bermas en la ilustración.

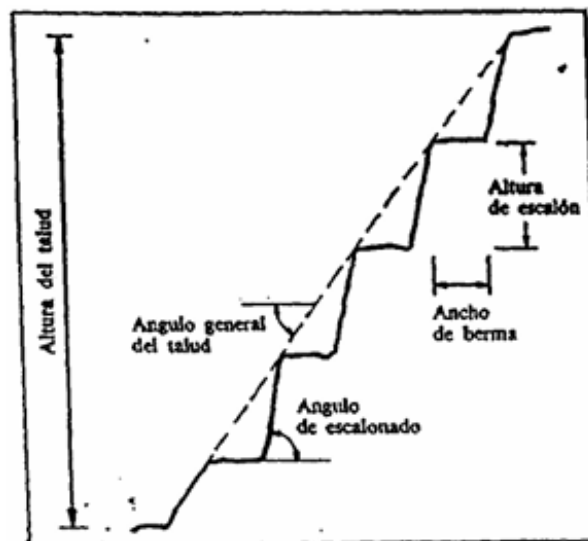


Figura 65. Esquema de un talud con bermas o terrazas

*Nota.* Tomado de *Manual de Taludes*, por IGME, 2006, IGME.

Las bermas tienen dos tipos de taludes: talud de banco y talud global o de corta, tal como se muestra en la ilustración. El de banco suele oscilar entre 75 y 90 grados; el de corta entre 10 y 50 grados.

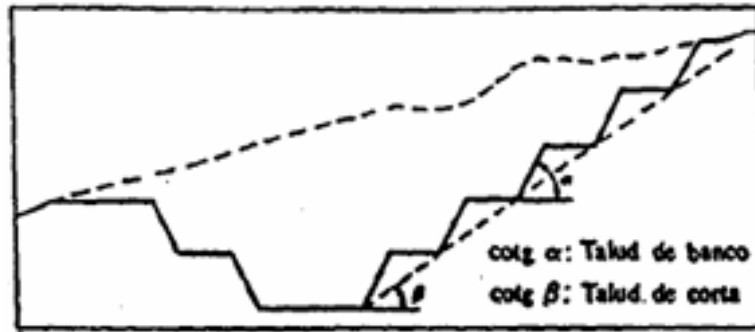


Figura 66. Taludes con bermas

Nota. Tomado de *Manual de Taludes*, por IGME, 2006, IGME.

#### 2.5.8.4 Zanjas de drenaje

Las aguas de escorrentía de los taludes se evacuan por medio de zanjas de drenaje, impermeabilizadas o no, y aproximadamente paralelas al talud. Estas deben situarse a poca distancia de la cresta del talud y detrás de ella.

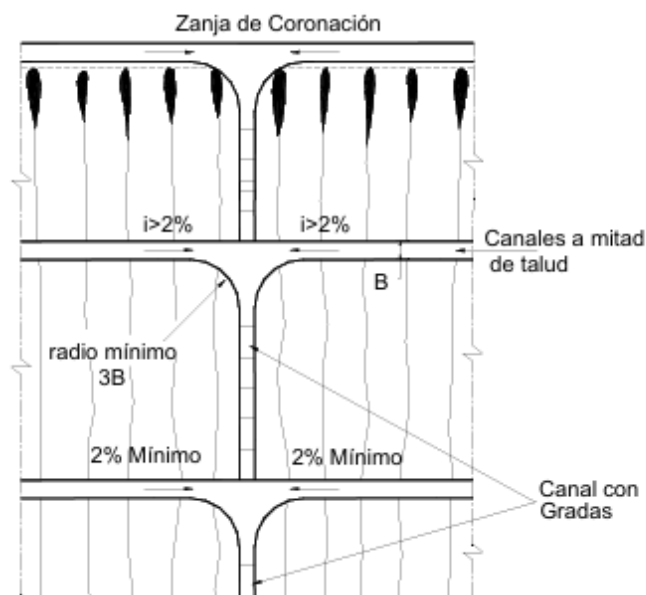


Figura 67. Esquema de zanjas de drenaje

Nota. Tomado de *Deslizamientos: técnicas de remediación*, por J. Suárez, 2010, <https://www.erosion.com.co/download/cap-1-metodos-de-manejo-y-remediacion/>

De igual modo, se puede colocar un canal con gradas para conectar las zanjas de drenaje.



#### **2.5.8.5 Torrenteras**

El agua recogida por los canales e interceptores es entregada a los canales de alta velocidad, generalmente en la dirección del talud, lateralmente a la zona inestable, mediante estructuras de disipación conocidas como torrenteras o bajantes.

#### **2.5.8.6 Canal Rápido**

El canal rápido se construye con una pendiente igual a la del talud, generalmente con forma de canal. Este tipo de canal se recomienda para pendientes pequeñas. A lo largo de las torrenteras se sugiere poner elementos que produzcan alta rugosidad para generar flujo amortiguado y minimizar la velocidad del agua.

#### **2.5.8.7 Torrenteras en Gradería**

Son estructuras rápidas escalonadas, las cuales están formadas por una serie de gradas o escalones dentro del canal. Este canal conduce el agua y al mismo tiempo va disipando energía en cada uno de los escalones.



Figura 68. *Torrentera en gradería*

*Nota.* Tomado de *Deslizamientos: técnicas de remediación*, por J. Suárez, 2010, <https://www.erosion.com.co/download/cap-1-metodos-de-manejo-y-remediacion/>

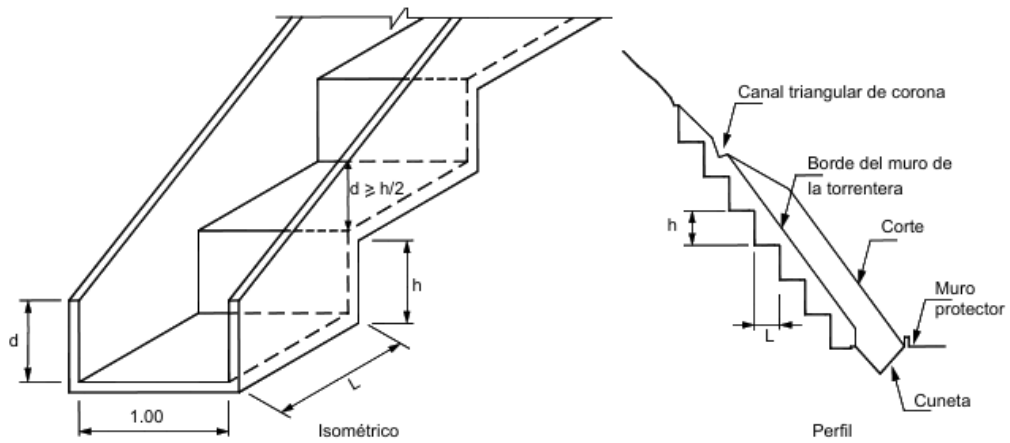


Figura 69. *Torrentera en gradería*

*Nota.* Tomado de *Deslizamientos: técnicas de remediación*, por J. Suárez, 2010, <https://www.erosion.com.co/download/cap-1-metodos-de-manejo-y-remediacion/>

### 2.5.8.8 Canal con Pantallas deflectoras

Consiste en un canal de sección rectangular y fondo liso, dentro del cual se coloca una serie de obstáculos o pantallas deflectoras en ambas paredes del canal.

Por otro lado, el flujo se desvía lateralmente y en forma consecutiva. Para los caudales pequeños y para los caudales altos, los obstáculos actúan como grandes rugosidades que disipan la energía en el fondo del canal.

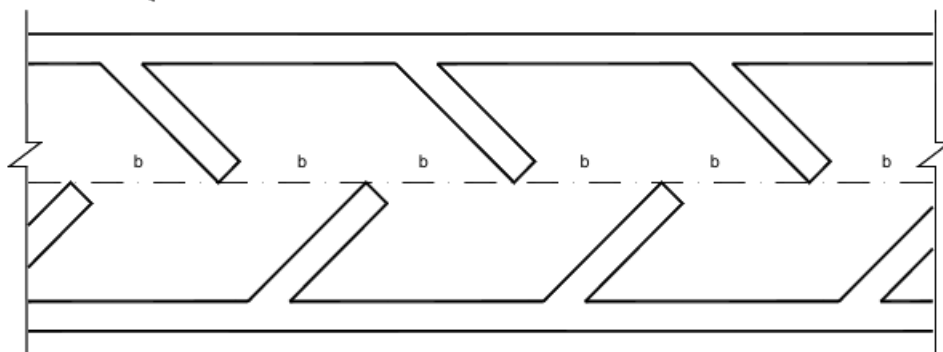


Figura 70. *Torrentera de un canal disipador con pantallas deflectoras*

*Nota.* Tomado de *Deslizamientos: técnicas de remediación*, por J. Suárez, 2010, <https://www.erosion.com.co/download/cap-1-metodos-de-manejo-y-remediacion/>

En las laderas es importante disipar la energía de los flujos, conduciendo las aguas tranquilamente a través de estructuras hasta entregarlas a las vaguadas. Para tal efecto, se usan canales en las laderas de conformidad con su inclinación: canal de fondo liso si la pendiente es menor del 15 %; canal con pantallas deflectoras para pendientes entre el 15 % y el 35 % colocadas las pantallas a modo de espolones en tres-bolillo, y canales con columpio y rápidas con tapa para pendientes mayores del 35 % y hasta el 100 %. En suma, los canales escalonados son útiles en pendientes más fuertes y las paredes con dados pueden contribuir a la disipación de la energía en la contrahuella de estas estructuras (Duque, 2022).

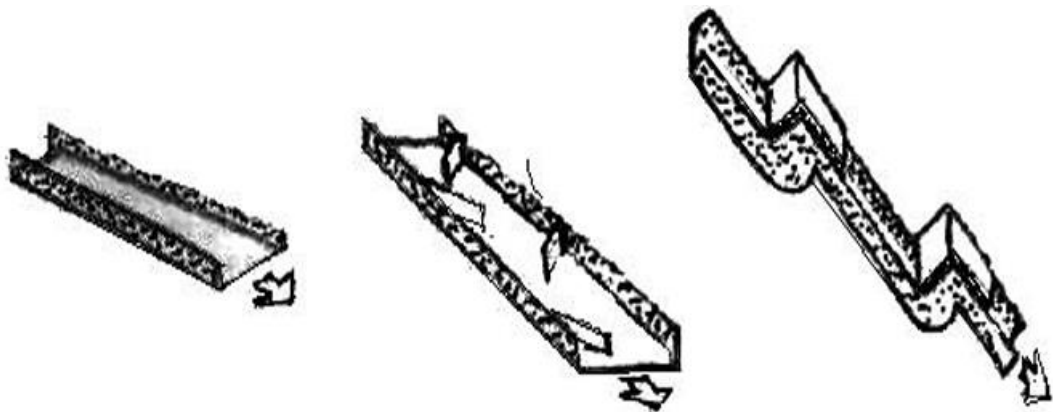


Figura 71. *Canales para tratamiento de aguas en laderas: Izquierda, canal liso; Centro, canal con pantallas deflectoras, Derecha, canal con rápida, columpio y tapa*

*Nota.* Tomado de *Manual de Geología Capítulo 17 - Aguas Superficiales*, por G. Duque, 2022, Universidad Nacional de Colombia

### **2.5.9 Hidrosiembra**

El método de cobertura por hidrosiembra en taludes resulta ser una opción óptima para el control de la erosión. Al respecto, se encuentra que la vegetación retiene el agua de la lluvia, provocando la disminución en la erosión por salpicadura. Además, el aumento de los índices de infiltración en taludes protegidos con vegetación, sumado a la evapotranspiración, permite reducir la escorrentía superficial (Meneses, 2011).

La hidrosiembra es un método de cultivo de césped inventado en Estados Unidos en 1953, que consiste en la aplicación de una mezcla acuosa de semillas, fertilizantes, fijadores y/o aditivos, a la que también puede incorporarse materia orgánica, geles absorbentes, colorantes, hormonas y otros. Esta mezcla se aplica sobre terrenos con declives o con poca vegetación, con

la finalidad de producir una rápida revegetación del suelo en el área intervenida. (Sanhueza, 2015, p. 8)

La hidrosiembra se puede aplicar manualmente o en vehículos, como se observa en las figuras 71 y 72.



Figura 72. *Aplicación de Hidrosiembra en camioneta*

*Nota.* Tomado de *Hydroseeding: Is it Right for your Lawn?* por T. Carrick, 2022, <https://www.bobvila.com/articles/hydroseeding-101/>



Figura 73. *Aplicación de Hidrosiembra*

*Nota.* Tomado de *Hydroseeding: Is it Right for your Lawn?* por T. Carrick, 2022, <https://www.bobvila.com/articles/hydroseeding-101/>

### 2.5.10 Subdrenaje

Las técnicas de drenaje subterráneo o subdrenaje son uno de los métodos más efectivos para la estabilización de los deslizamientos. El drenaje subterráneo tiene por objeto disminuir las presiones de poros o impedir que éstas aumenten. A menor presión de poros la resistencia del suelo es mayor (Suárez, 2010).

#### 2.5.10.1 Métodos de subdrenaje

Entre los tipos de obra utilizadas para subdrenaje se encuentran las galerías de drenaje profundo. “La galería de drenaje es un túnel cuyo objetivo específico es disminuir las presiones de poros y controlar las corrientes profundas de agua subterránea en un talud” (Suárez, 2010, p. 1). (Ver figuras 73 y 74).

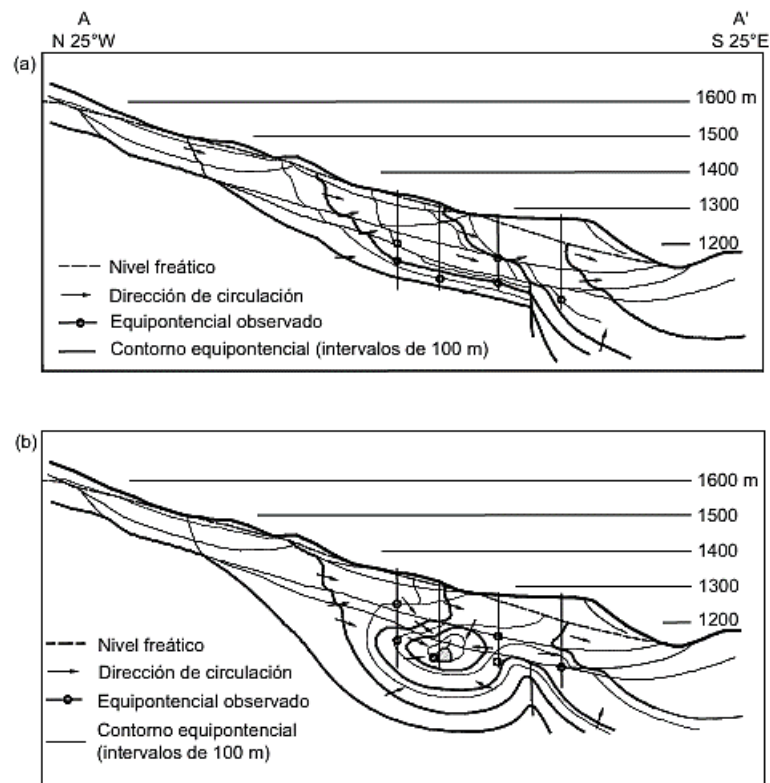


Figura 74. Efecto de una galería de drenaje sobre las líneas piezométricas en un gran deslizamiento. (a) Antes de la galería. (b) Después de construida la galería

Nota. Tomado de *Deslizamientos: técnicas de remediación*, por J. Suárez, 2010, <https://www.erosion.com.co/download/cap-1-metodos-de-manejo-y-remediacion/>

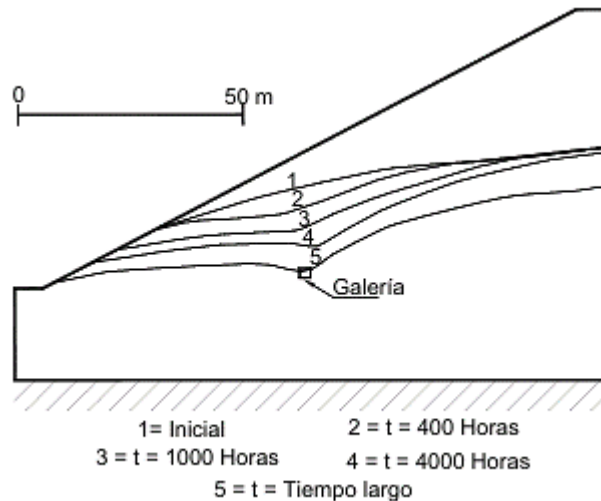


Figura 75. Evolución de la línea de nivel freático al construir una galería de drenaje

Nota. Tomado de Deslizamientos: técnicas de remediación, por J. Suárez, 2010, <https://www.erosion.com.co/download/cap-1-metodos-de-manejo-y-remediacion/>

## 2.6 Método constructivo

### 2.6.1 Métodos de excavación

En los casos de excavación en suelo, a excepción de roca dura, se tienen dos problemas fundamentales: el soporte de los hastiales de la corona y el frente de trabajo durante la operación de excavación y recubrimiento. El segundo problema radica en llevar a cabo más de una operación a la vez como las que pueden ser perforación, excavación, entibación y la extracción de ser un túnel con fines de explotación y, finalmente, el revestimiento final (López, 1997, citado por Zavala, 2021,p.66). En la Ilustración 75 se aprecia la secuencia de excavación de diferentes métodos.

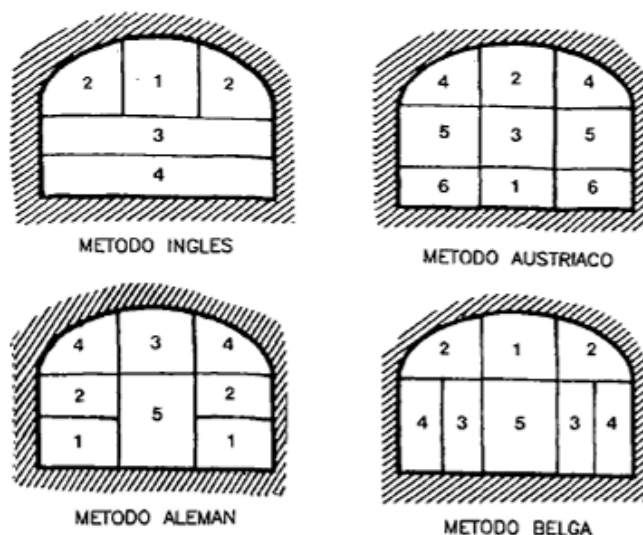


Figura 76. Representación de la secuencia de excavación de los diferentes métodos

Nota. Tomado de *Estabilidad de taludes para el mejoramiento del terraplén en la construcción del túnel drenaje Toquepala- Tacna, 2001*, por J. Zavala, 2021, <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2072>

### 2.6.2 Elementos de sostenimiento

La función principal del sostenimiento es la de lograr la estabilización del túnel, pero también cumple otras disposiciones: Prevenir que el suelo pierda sus propiedades, prevenir el deslizamiento de material suelto durante la excavación, impedir las deformaciones en la sección del túnel, controlar posibles filtraciones, brindar seguridad a trabajadores, equipo e instalaciones. (González, 2004, como se citó en Zavala, 2021, p. 66)

### 2.6.3 Hormigón proyectado

El hormigón proyectado, también conocido como concreto lanzado o shotcrete, es aquel que se proyecta a una superficie mediante un sistema de lanzado. Los elementos de este hormigón son cemento, agregados y agua, similares al de hormigón común, pero este se diferencia del convencional por tener agregados de menor tamaño y llevar un aditivo acelerante para mejorar en gran medida su adherencia a la superficie que se desea sostener. Existen dos tipos, un hormigón proyectado por vía seca, el segundo proyectado por vía húmeda como se muestra en la Figura 76. (Cornejo, 2016, como se citó en Zavala, 2021, p. 67)

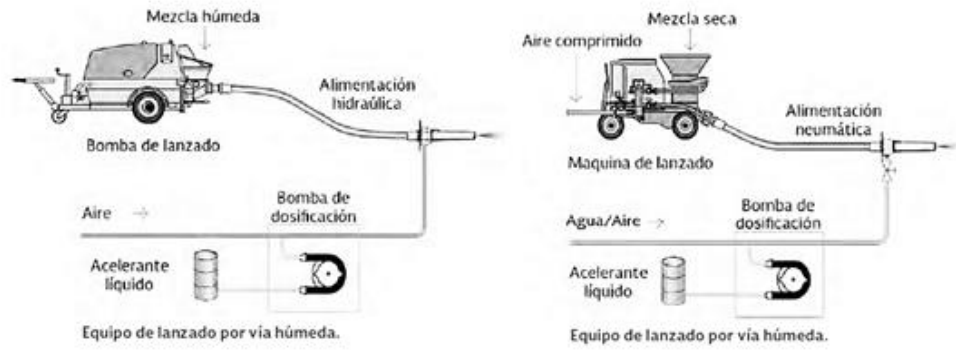


Figura 77. Tipos de hormigón proyectado

Nota. Tomado de *Manual de diseño y construcción de túneles de carretera*, por R. Esparza y G. Murrieta, 2016, <https://www.sct.gob.mx/index.php?id=2306>

### 2.6.4 Cerchas

Son elementos constituidos por aceros de refuerzo y son instalados a lo largo de la longitud del túnel, unidos por barras de acero como unión y que, dependiendo del área del túnel, podría consistir en tres piezas. Al respecto, se encuentran tres tipos: perfil TH (perfiles omega), perfiles HEB (perfiles tipo H) y marcos reticulados (ver Figura 77) (Zavala, 2021).

#### Tipos de cerchas de sostenimiento

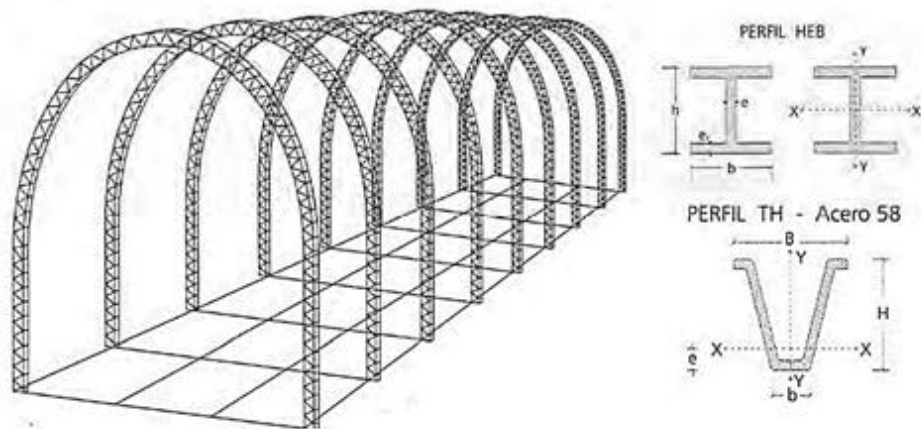


Figura 78. de cerchas en túneles

Nota. Tomado de *Manual de diseño y construcción de túneles de carretera.*, por R. Esparza y G. Murrieta, 2016, <https://www.sct.gob.mx/index.php?id=2306>



### 2.6.5 Anclajes

“El anclaje es un elemento lineal el cual sirve de refuerzo mediante la perforación de un taladro en la pared de la roca, adhiriéndose mediante sustancias (resinas o lechada) o mecánicamente” (Cornejo, 1996, como se citó en Zavala, 2021, p. 70). Los tipos de anclaje se muestran en la Figura 78.

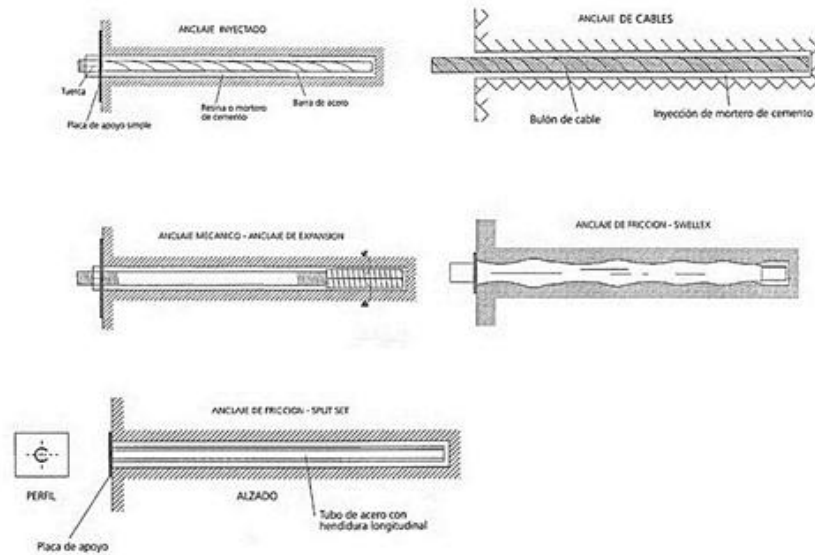


Figura 79. Tipos de anclaje

Nota. Tomado de *Estabilidad de taludes para el mejoramiento del terraplén en la construcción del túnel drenaje Toquepala- Tacna, 2001*, por J. Zavala, 2021, <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2072>

## CAPÍTULO III

### Casos de historia a nivel planetario de túneles de drenaje profundo

#### 3.1 Deslizamiento de Po Shan Hong Kong

En 1972, el catastrófico deslizamiento de tierra en la carretera de Po Shan, en la zona de los niveles medios, destrozó numerosas casas y ocasionando la pérdida de 67 vidas. Las investigaciones posteriores al desastre revelaron que la ladera de Po Shan se vio afectada por altos niveles de agua subterránea y era propensa a deslizamientos de tierra (Hong Kong Slope Safety, 2021).

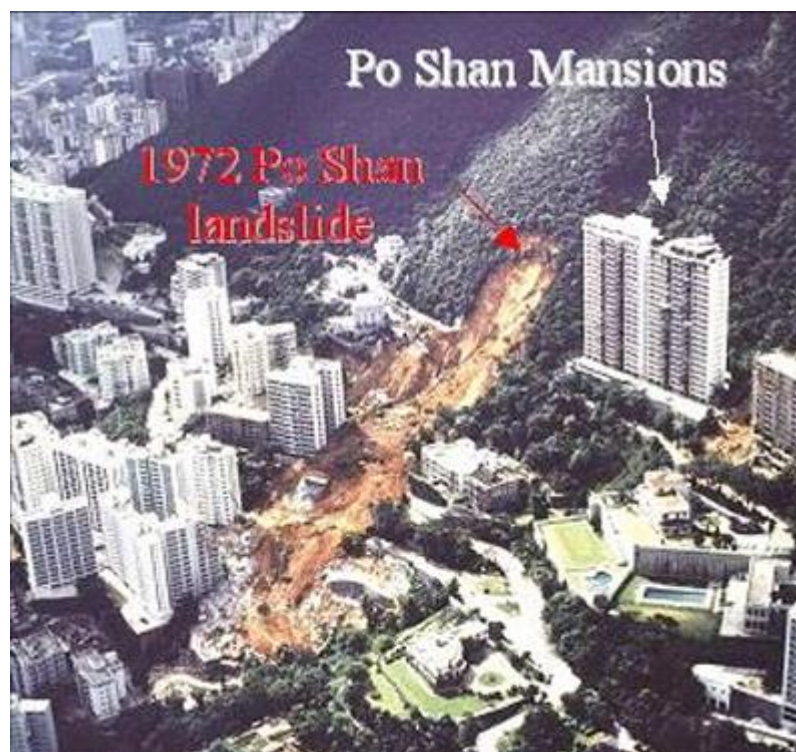


Figura 80. Deslizamiento de tierra de Po Shan 1972

*Nota.* Tomado de *Landslide Prevention and Mitigation Works at Po Shan, Mid-Levels*, por Geotechnical Engineering Office, 2011, Civil Engineering Office

#### 3.2 Entorno Geotécnico

La zona de los niveles medios en las proximidades de la ladera del Po Shan está sustentada por un grueso coluvión de rocas, que eran antiguos escombros de deslizamientos de tierra depositados hace unos 50 000 años. Sin embargo, este coluvión es susceptible al desarrollo de altos niveles de agua subterránea y a fallar

cuando sufre perturbaciones por actividades de construcción (Geotechnical Engineering Office, 2011).

### 3.3 Estudios y trabajos en el sitio

El estudio de estabilidad regional y el Estudio de Nivel Medio completado en 1982 revelaron que la ladera del Po Shan estaba afectada por los altos niveles de las aguas subterráneas y tenía una estabilidad marginal. En el estudio se recomendaba que se realizaran obras de drenaje de las aguas subterráneas para reducir el nivel freático (Geotechnical Engineering Office, 2011).

En la década de 1980, la Oficina de Ingeniería Geotécnica del Departamento de Ingeniería Civil y Desarrollo instaló drenajes horizontales en la zona de Po Shan para bajar el nivel de agua subterránea, lo que mejoró así la estabilidad de la ladera frente a derrumbes a gran escala. La Oficina de Ingeniería Geotécnica del departamento de Ingeniería Civil y Desarrollo diseñó un sistema innovador y sostenible de regulación de las aguas subterráneas para controlar el nivel de las aguas subterráneas en la ladera de Po Shan, denominado Túnel de drenaje de Po Shan. Sobre esto, se encuentra que el sistema está formado por un par de túneles de drenaje (de 3,5 m de diámetro y una longitud total de 500 m) y una red de 172 drenajes subverticales (Hong Kong Slope Safety, 2021).

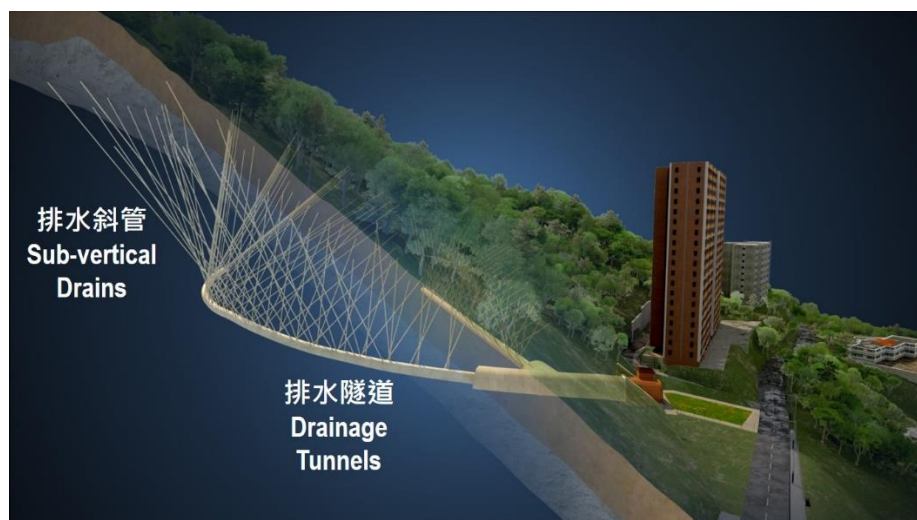


Figura 81. *Sistema de drenajes subterráneos*

*Nota.* Tomado de *Túnel de drenaje de Po Shan: cámara de ciencia y tecnología para detectar deslizamientos de tierra*, por Hong Kong Slope Safety, 2021, <https://hkss.cedd.gov.hk/hkss/en/visit-tour/po-shan-drainage-tunnel/index.html>

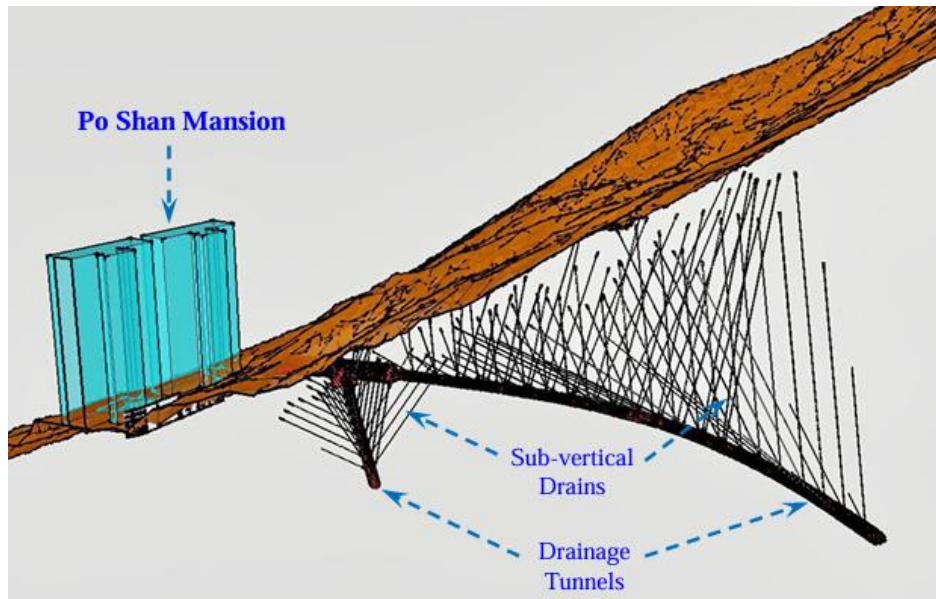


Figura 82. Sistema de drenajes subterráneos

Nota. Tomado de *Túnel de drenaje de Po Shan: cámara de ciencia y tecnología para detectar deslizamientos de tierra*, por Hong Kong Slope Safety, 2021, <https://hkss.cedd.gov.hk/hkss/en/visit-tour/po-shan-drainage-tunnel/index.html>



Figura 83. Inicio de la construcción de la entrada a las galerías de drenaje del cerro Po Shan

Nota. Tomado de *Túnel de drenaje de Po Shan: cámara de ciencia y tecnología para detectar deslizamientos de tierra*, por Hong Kong Slope Safety, 2021, <https://hkss.cedd.gov.hk/hkss/en/visit-tour/po-shan-drainage-tunnel/index.html>



Figura 84. *Sistema de drenajes subterráneos*

*Nota.* Tomado de *Túnel de drenaje de Po Shan: cámara de ciencia y tecnología para detectar deslizamientos de tierra*, por Hong Kong Slope Safety, 2021, <https://hkss.cedd.gov.hk/hkss/en/visit-tour/po-shan-drainage-tunnel/index.html>

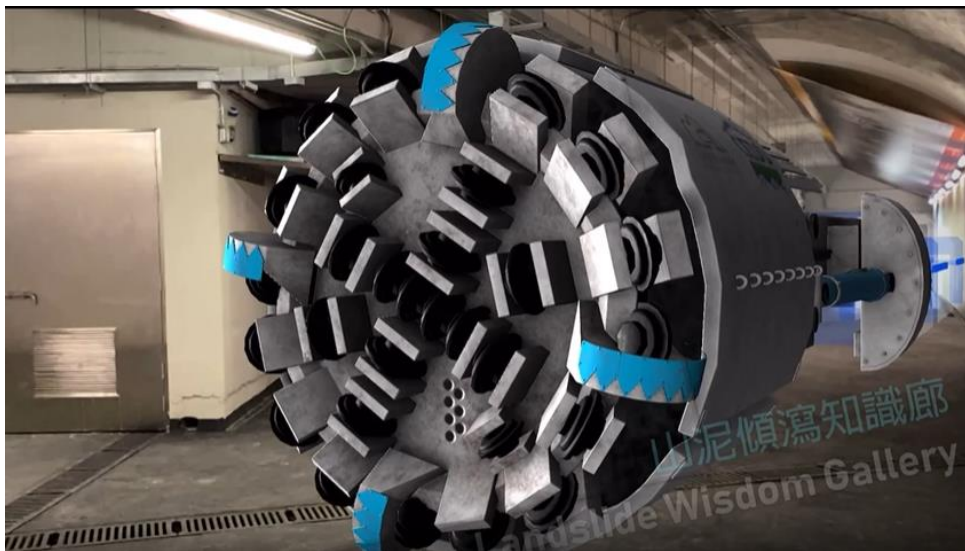


Figura 85. *Imagen esquemática del taladro utilizado en la construcción de las galerías de drenaje*

*Nota.* Tomado de *Túnel de drenaje de Po Shan: cámara de ciencia y tecnología para detectar deslizamientos de tierra*, por Hong Kong Slope Safety, 2021, <https://hkss.cedd.gov.hk/hkss/en/visit-tour/po-shan-drainage-tunnel/index.html>



Figura 86. *Colocación de los paraguas de drenaje*

*Nota.* Tomado de *Túnel de drenaje de Po Shan: cámara de ciencia y tecnología para detectar deslizamientos de tierra*, por Hong Kong Slope Safety, 2021, <https://hkss.cedd.gov.hk/hkss/en/visit-tour/po-shan-drainage-tunnel/index.html>



Figura 87. *Esquema de colocación de los paraguas de drenaje*

*Nota.* Tomado de *Túnel de drenaje de Po Shan: cámara de ciencia y tecnología para detectar deslizamientos de tierra*, por Hong Kong Slope Safety, 2021, <https://hkss.cedd.gov.hk/hkss/en/visit-tour/po-shan-drainage-tunnel/index.html>



Figura 88. Esquema de sistema de recolección interna de los paraguas de drenaje

*Nota.* Tomado de *Túnel de drenaje de Po Shan: cámara de ciencia y tecnología para detectar deslizamientos de tierra*, por Hong Kong Slope Safety, 2021, <https://hkss.cedd.gov.hk/hkss/en/visit-tour/po-shan-drainage-tunnel/index.html>

### **3.4 Deslizamiento #5 en Tablachaca**

El denominado derrumbe #5, localizado a unos metros aguas arriba del estribo derecho de la presa de Tablachaca, pertenece al distrito de Acoria, provincia y departamento de Huancavelica, Perú.



Figura 89. Vista frontal del Derrumbe N#5, ubicado sobre el estribo derecho de la presa de Tablachaca

*Nota.* Tomado de *Interacción entre túneles y laderas de causa de inestabilidad a técnica de remediación*, por S. Rodríguez y C. Garrido, 2022, <https://congress.cimne.com/simposiotaludes2021/admin/files/filePaper/p127.pdf>

Una vez finalizada la construcción de la presa de Tablachaca y tras comenzar el llenado del embalse, se observaron movimientos y grietas en un antiguo deslizamiento de roca filita situado en el estribo derecho del embalse hoy en día denominado derrumbe #5. Sobre esto, se documentó lo siguiente: “los intensos periodos de lluvia registrados entre 1979 y 1982 incrementaron los movimientos en el derrumbe, los cuales dieron lugar a unas obras urgentes de estabilización entre estos trabajos galerías de drenaje (Rodríguez y Garrido, 2022, p. 5).

Se ejecutaron 3 túneles de drenaje dos a cota de coronación de presa (S-200E y S-200W) y uno paralelo a mitad de altura de ladera (S-250) que rebajaron el nivel freático 20 m. En total, se ejecutaron 3300 m de drenes a lo largo de 1300 m de galerías, tal como se muestra en la Ilustración 83 (Rodríguez y Garrido, 2022).



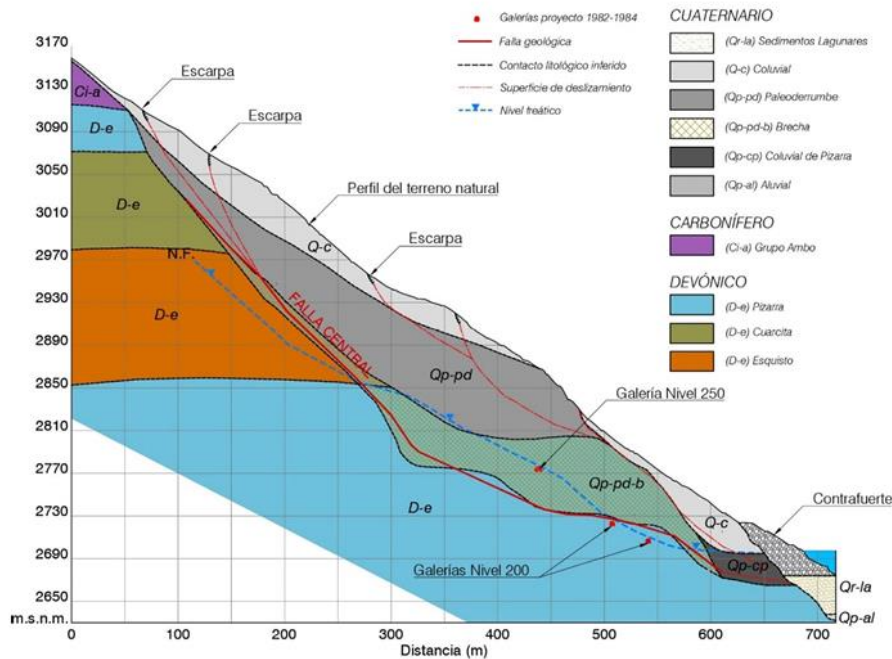


Figura 90. Corte geológico del área del derrumbe #5, el corte representa la localización de las actuaciones de los años 80.

*Nota.* Tomado de *Interacción entre túneles y laderas de causa de inestabilidad a técnica de remediación*, por S. Rodríguez y C. Garrido, 2022, <https://congress.cimne.com/simposiotaludes2021/admin/files/filePaper/p127.pdf>

A pesar de que el histórico de registros evidenció la contribución de las medidas de drenaje general aplicadas en los años 80, con el objeto de deprimir el nivel en unos 20 m, se apuntaba a medidas adicionales de drenaje. Entre el 2006-2012, se llevaron sucesivos estudios con la finalidad de implementar medidas adicionales para mejorar la seguridad de la ladera, medidas que se acometieron entre 2013-2015 (ver figura 84) (Rodríguez y Garrido, 2022).

Estas consistieron en la ejecución de galerías de drenaje y nichos, obras de drenaje superficial y obras de revegetalización. Las dos últimas medidas tenían el objetivo, por supuesto, de limitar la infiltración hacia el macizo, con el objetivo de reducir la carga piezométrica actuante sobre la superficie de deslizamiento. De igual modo, se contribuyó a limitar los fenómenos más superficiales y a reducir la erosión (Rodríguez y Garrido, 2022).

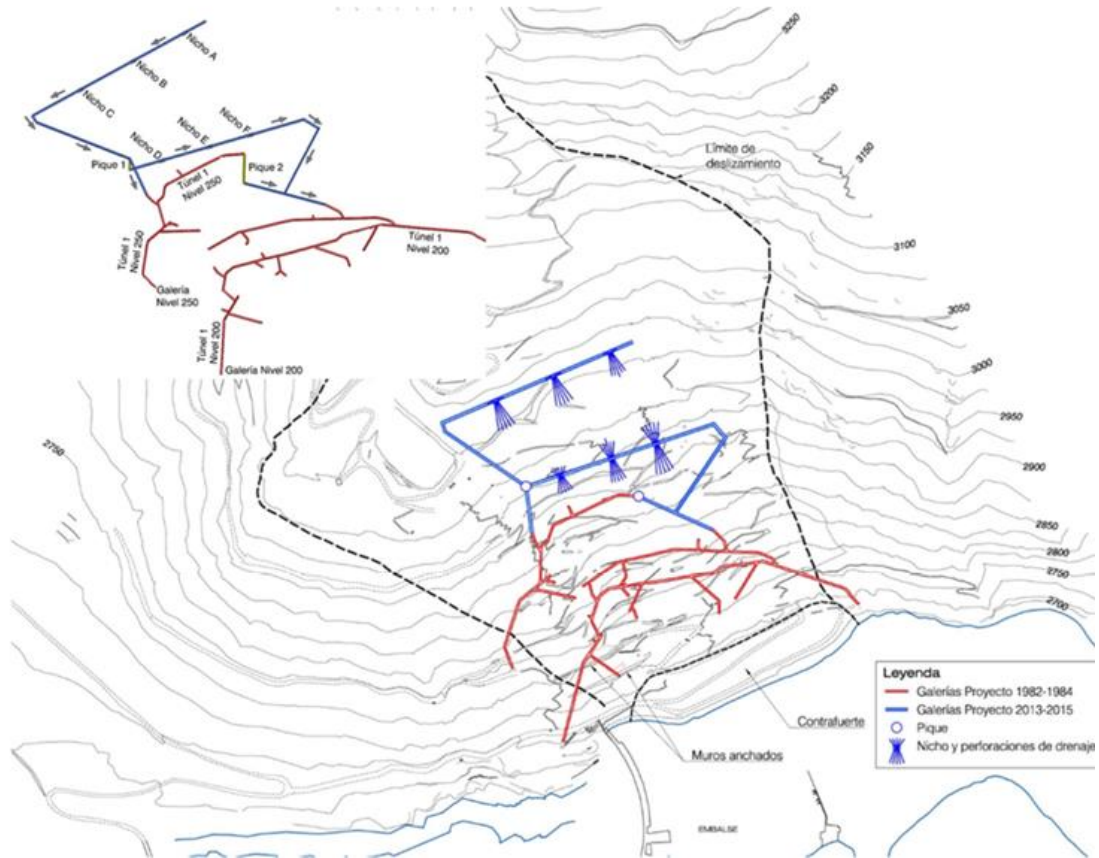


Figura 91. Planta general de las galerías de drenaje proyectadas

*Nota.* Tomado de *Interacción entre túneles y laderas de causa de inestabilidad a técnica de remediación*, por S. Rodríguez y C. Garrido, 2022, <https://congress.cimne.com/simposiotaludes2021/admin/files/filePaper/p127.pdf>

Respecto a las galerías y nichos de drenaje, básicamente se ejecutaron dos galerías principales, en cuyos ejes se ubican unos ensanchamientos de la sección denominados “nichos”, destinados a la perforación de los drenajes verticales e inclinados véase ilustración. La sección de las galerías se da en forma de herradura, con un ancho de 2,20 m (Rodríguez y Garrido, 2022).



Figura 92. *Proceso de construcción de los paraguas de drenaje*

*Nota. Tomado de Interacción entre túneles y laderas de causa de inestabilidad a técnica de remediación, por S. Rodríguez y C.Garrido, 2022, <https://congress.cimne.com/simposiotaludes2021/admin/files/filePaper/p127.pdf>*

Por otro lado, en la Figura 86 se muestra la disposición de estas medidas de drenaje en relación con el conjunto de la ladera y la zona deslizada. Asimismo, las galerías se ubicaron con el objetivo de deprimir el freático en el sector intermedio del deslizamiento, donde la carga piezométrica sobre la superficie de deslizamiento, identificada en el monitoreo previo, presentaba mayores alturas (Rodríguez y Garrido, 2022).

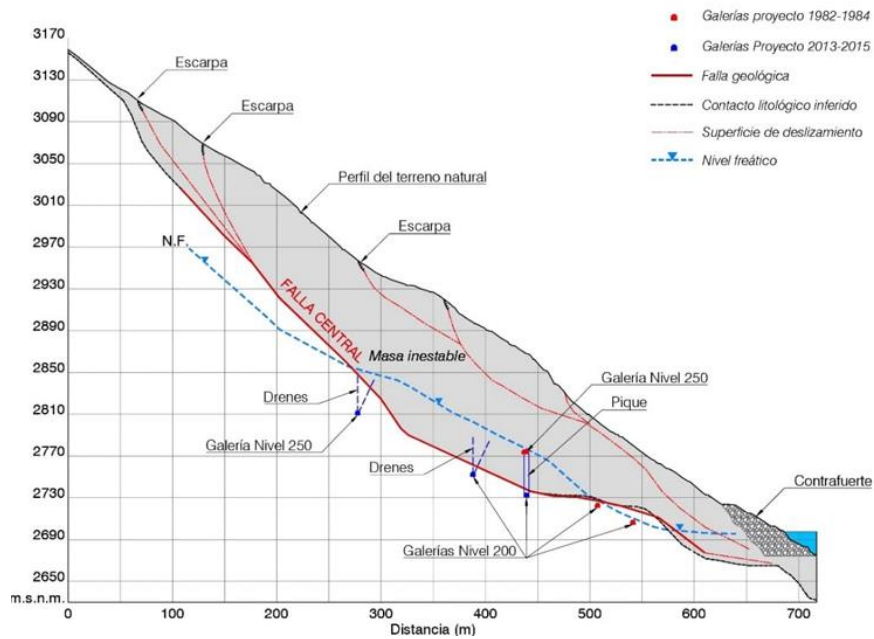


Figura 93. Esquema del deslizamiento con detalle de las nuevas medidas de drenaje implementadas

Nota. Tomado de *Interacción entre túneles y laderas de causa de inestabilidad a técnica de remediación*, por S. Rodríguez y C. Garrido, 2022, <https://congress.cimne.com/simposiotaludes2021/admin/files/filePaper/p127.pdf>

Gracias al monitoreo automatizado, se comprobó que los piezómetros sufrieron, en mayor o menor medida, una depresión del nivel freático que osciló entre los 5 y 47 metros. Dichas reducciones se produjeron entre los años 2014 y 2015, como consecuencia de las obras de estabilización llevadas a cabo. A partir del año 2015, los niveles piezométricos se mantuvieron constantes. Finalmente, las medidas implementadas resultaron efectivas a la hora de lograr un abatimiento del nivel freático, lo que indudablemente lleva aparejada una mejora en el factor de seguridad de la ladera (Rodríguez y Garrido, 2022).

### 3.5 Deslizamiento de Qili Changshan

El área de estudio se encuentra en el condado de Changshan, provincia de Zhejiang, China, donde la precipitación media anual es de unos 1800 mm. Aunado a esto, las precipitaciones se concentran principalmente de mayo a julio. Ahora bien, el deslizamiento de tierra en estudio es un antiguo depósito de deslizamiento de tierra formado durante la construcción de una carretera (Sun et al. 2018).

La principal dirección del deslizamiento de tierra es en dirección norte. Seguidamente, el deslizamiento tiene una longitud aproximada de 350 m de sur a norte y 140 m de ancho en el borde delantero y 55 m de ancho en el borde de fuga. El límite del deslizamiento está controlado por las grietas 1, 3 y 4, como se muestra en la ilustración posterior. De igual modo, se determinó que el borde de fuga del deslizamiento se encuentra a una altitud de 620 m en la parte sur del sitio, donde se está desarrollando una grieta de tracción 4 (Zhen-lei et al., 2020).

Durante la construcción de una carretera, se formaron varias grietas en la superficie de la pendiente. Sobre esto, la Ilustración 86 muestra cuatro grietas principales en el área de estudio. En ese sentido, se observa que la grieta 1, de 177 m de largo y de 5 a 10 cm de ancho, se encuentra en el límite occidental del deslizamiento. La grieta 2 se encuentra en la parte media del deslizamiento y tiene un ancho máximo de 8 cm. La grieta 4 se encuentra en el límite oriental del deslizamiento de tierra. Por otro lado, el ancho máximo de la grieta es de aproximadamente 15 cm. Finalmente, la grieta 3 se encuentra en la parte superior del deslizamiento y se extiende en dos direcciones. Una parte se extiende en dirección noroeste; la otra se extiende en dirección norte y se cruza con la grieta 3 (Zhen-lei et al., 2020).

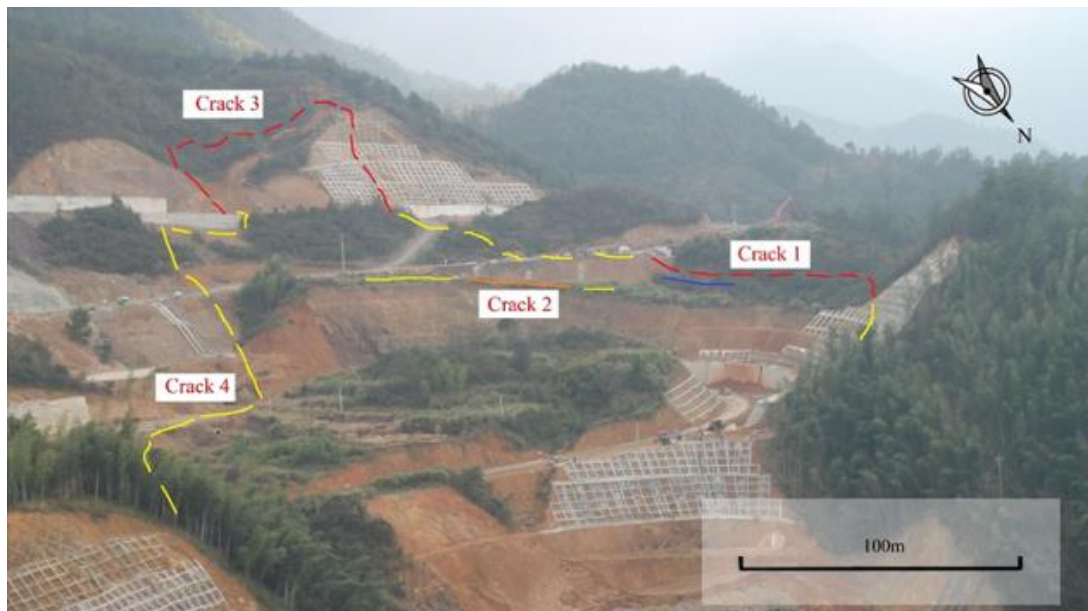


Figura 94. *Deslizamiento Qili*

*Nota.* Tomado de Clarifying the effectiveness of drainage tunnels in landslide controls, por Zhen-lei et al., 2020, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*.

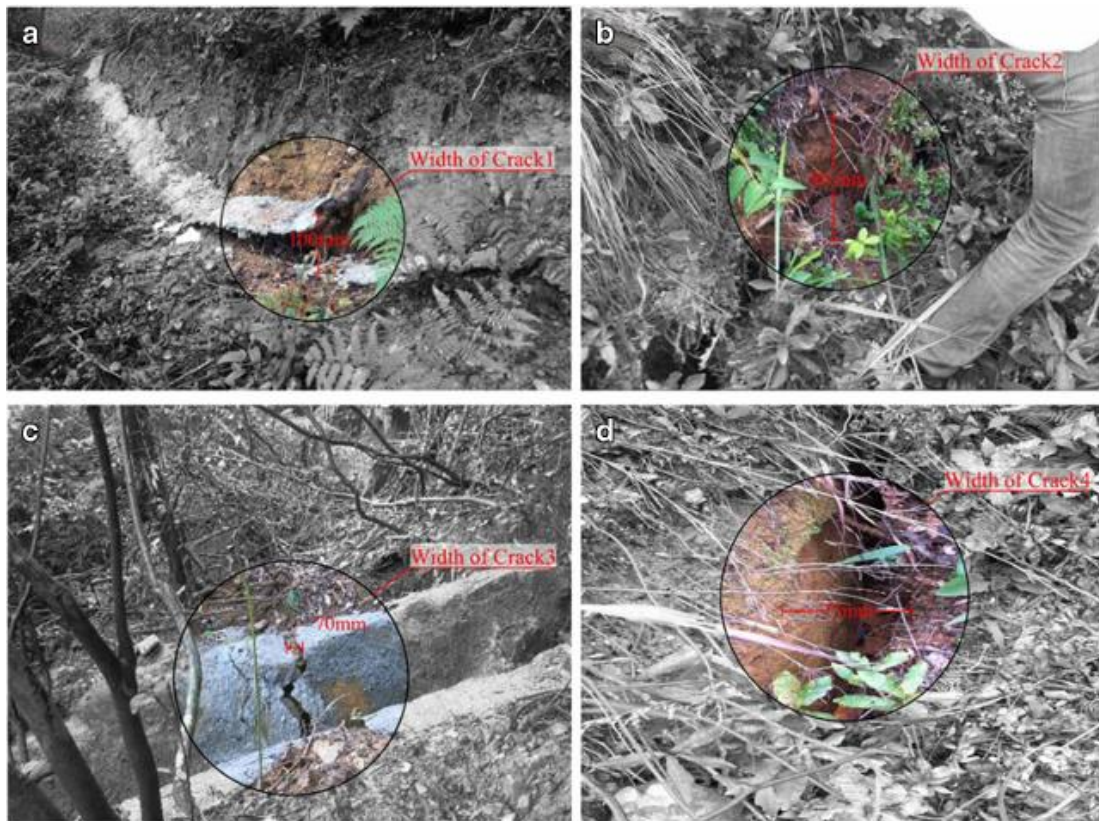


Figura 95. Foto de grietas; a) grieta 1, b) grieta 2, c) grieta 3, d) grieta 4

*Nota.* Tomado de Clarifying the effectiveness of drainage tunnels in landslide controls, por Zhen-lei et al., 2020, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*.

Se construyó un túnel de drenaje debajo del deslizamiento de tierra para evitar el rápido aumento del nivel freático. Se determinó que la construcción del túnel de drenaje comenzó en agosto de 2016 y finalizó en noviembre de 2016. En esa medida, se construyó en el lecho de roca intacto debajo de la superficie de deslizamiento del deslizamiento de tierra. En cuanto a su constitución, su envergadura y altura eran de 2 m y 2,25 m, respectivamente. La longitud del túnel de drenaje era de unos 305 m. Por consiguiente, este se utilizó para interceptar las lluvias y bajar el nivel de las aguas subterráneas en el deslizamiento de tierra (Zhen-lei et al., 2020).

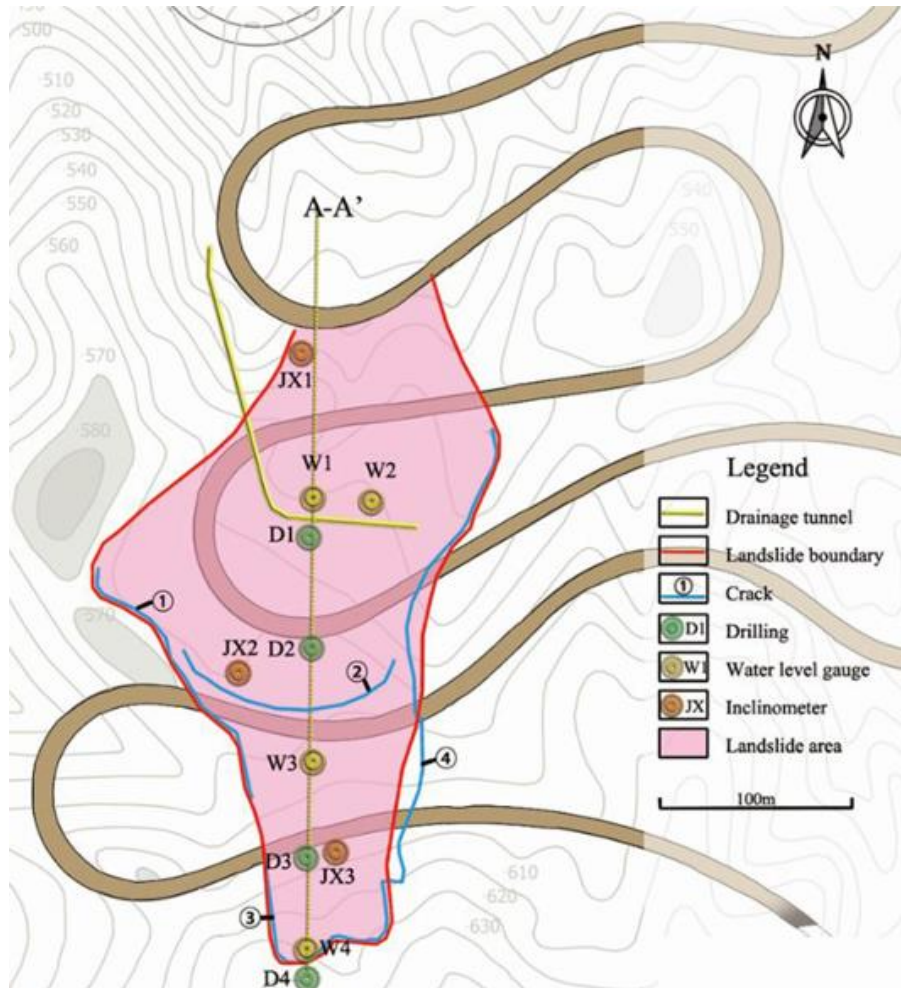


Figura 96. Mapa topográfico del deslizamiento

Nota. Tomado de Clarifying the effectiveness of drainage tunnels in landslide controls, por Zhen-lei et al., 2020, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*.

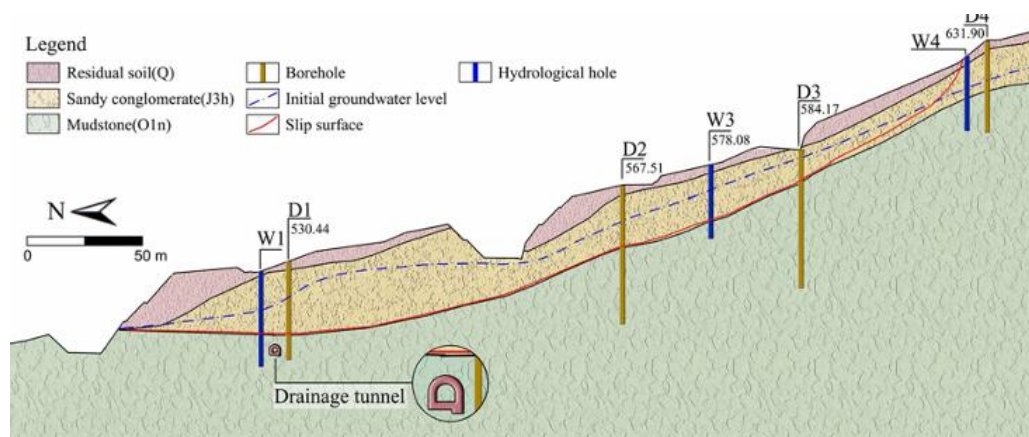


Figura 97. Vista en corte del deslizamiento

Nota. Tomado de Clarifying the effectiveness of drainage tunnels in landslide controls, por Zhen-lei et al., 2020, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*.

La litología de la formación en el área del talud está compuesta principalmente por la formación de Suelo Residual Cuaternario, conglomerado y lutita de la Formación Huangjian del Jurásico Superior, lutita y lutita carbonácea de la formación Ningguo del Ordovícico Inferior, tal como se muestra en la Figura 91 (Zhen-lei et al., 2020).

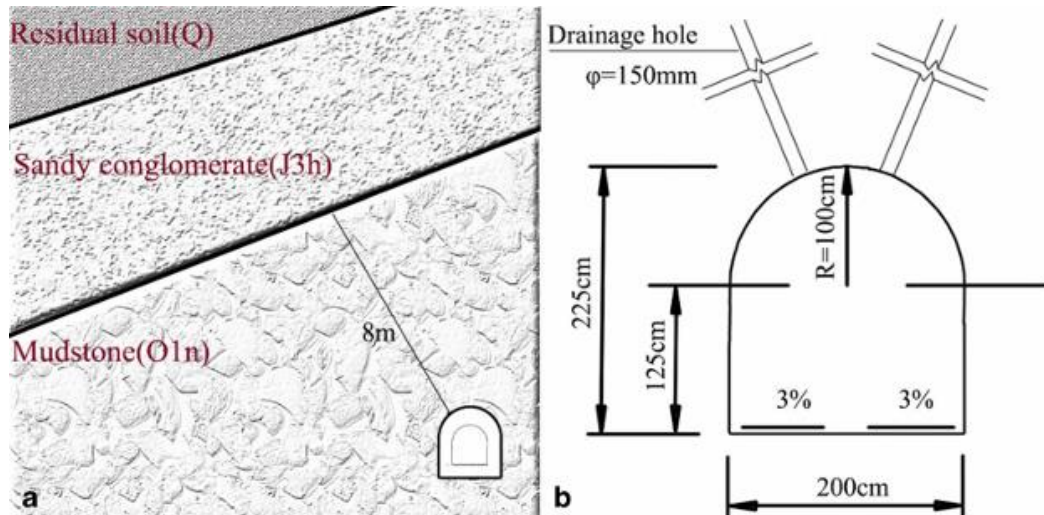


Figura 98. Ilustración esquemática de a) ubicación del túnel de drenaje, b) Vista en perfil del túnel de drenaje

*Nota.* Tomado de Clarifying the effectiveness of drainage tunnels in landslide controls, por Zhen-lei et al., 2020, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

Para los deslizamientos ocurridos en Cerro Azul en el Km 32 de la Vía Perimetral, en la parte posterior del Centro Comercial RioCentro Los Ceibos, se determinó que es indispensable el estudio geohidrológico, geológico y geotécnico, porque estos contribuirán a una correcta estabilidad del Cerro Azul. Por lo tanto, entender cómo se forma y cuáles son las características de un deslizamiento contribuye a evaluar los riesgos geológicos relacionados y a implementar medidas para reducirlos.

En ese orden de ideas, la reciente propuesta de estabilización presentada por los autores de esta investigación tuvo como objetivo evitar futuros deslizamientos en Cerro Azul. En ese sentido, se estimó que esta idea es fundamental para garantizar la seguridad de los transeúntes de la Vía Perimetral y asegurar su funcionalidad operativa. Asimismo, es crucial para proteger la vida de los residentes de las urbanizaciones cercanas y de los visitantes del centro comercial adyacente.

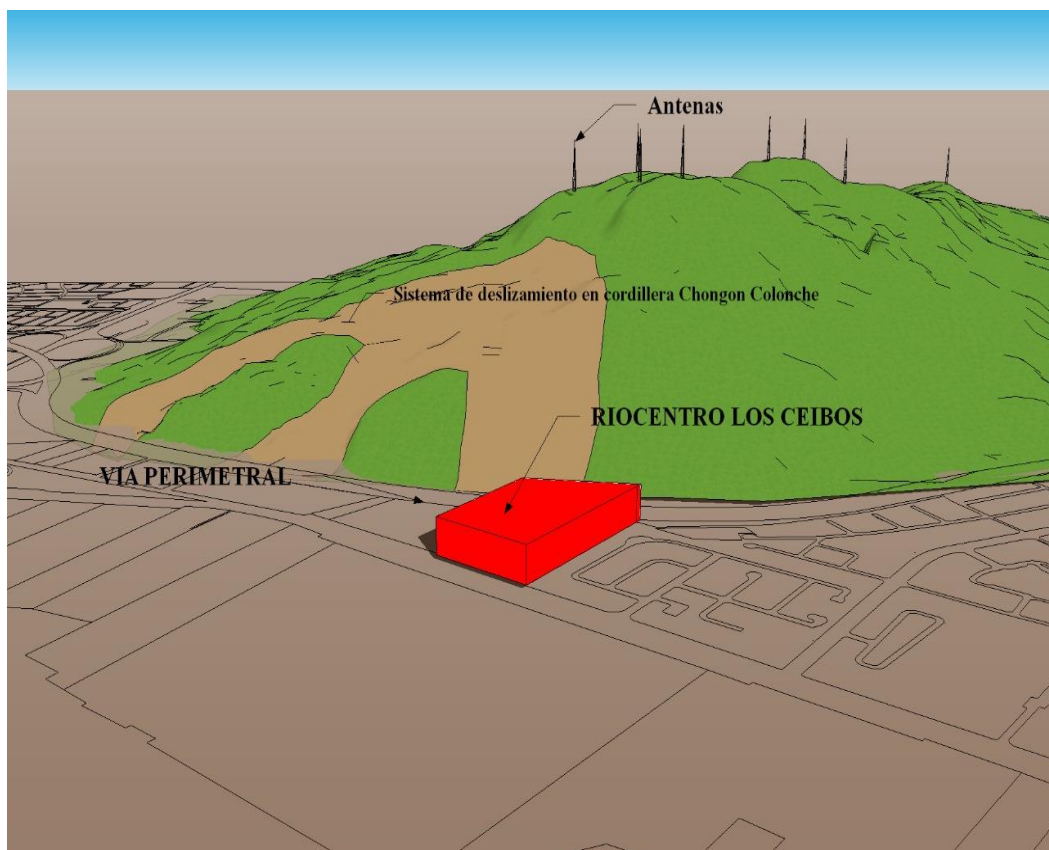


Figura 99. Esquema del deslizamiento de Cerro Azul

Nota. Elaboración propia.

#### 4.1 Túneles de drenaje profundo con paraguas de drenaje

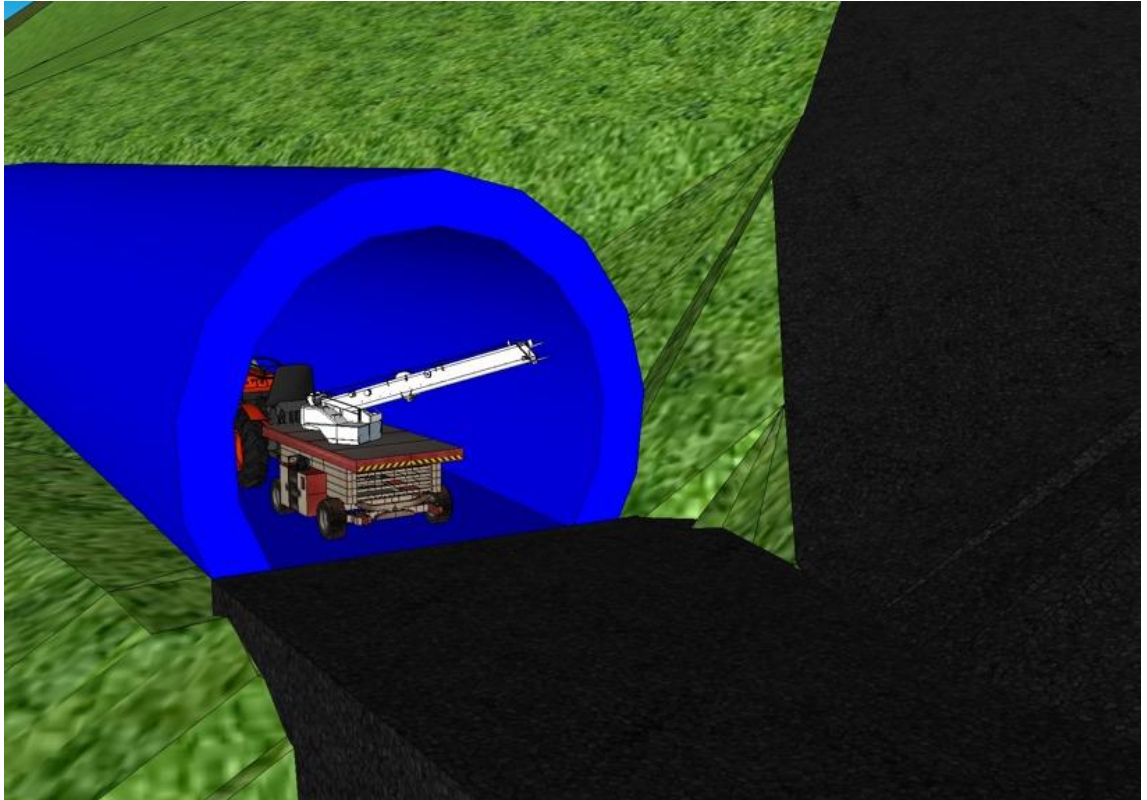


Figura 100. *Esquema de perforación con perforadora hidráulica para la colocación de los paraguas de drenaje en cada túnel.*

*Nota.* Elaboración propia.

En las figuras 100, 101 y 102 se observa de forma esquemática la propuesta del túnel de drenaje profundo con sus respectivos paraguas de drenaje. Este diseño incluye los grupos de paraguas que se encuentran distribuidos cada 50 metros y sus respectivas cunetas internas para el desalojo del agua recolectada. Se podría argüir que esta propuesta se planteó para mejorar las condiciones de estabilidad y controlar las corrientes profundas de agua subterránea en el talud.

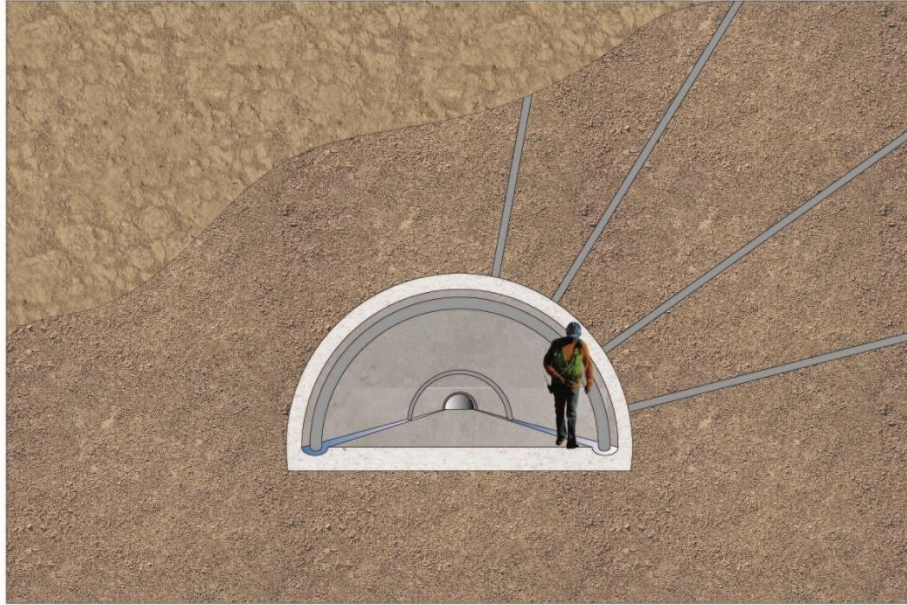


Figura 101. Esquema de túnel de drenaje profundo de 2 m de diámetro junto a sus paraguas de drenaje subverticales y un sistema de regulación de aguas subterráneas dentro del túnel

Nota. Elaboración propia.



Figura 102. Vista transversal del esquema de túnel de drenaje profundo de 2 m de diámetro junto a sus paraguas de drenaje subverticales y un sistema de regulación de aguas subterráneas dentro del túnel

Nota. Elaboración propia.

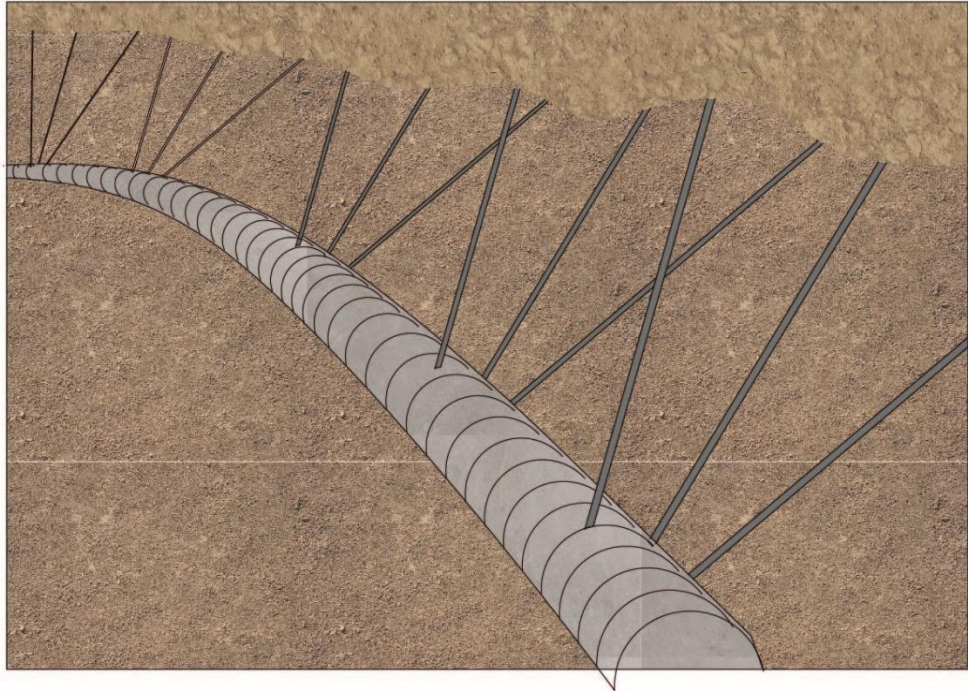


Figura 103. *Esquema de la ubicación de los paraguas de drenaje subverticales que se encuentran cada 50 m por grupo*

*Nota.* Elaboración propia.



Figura 104. *Esquema de la entrada del túnel con rejillas de seguridad para prevenir el acceso no autorizado*

*Nota.* Elaboración propia.

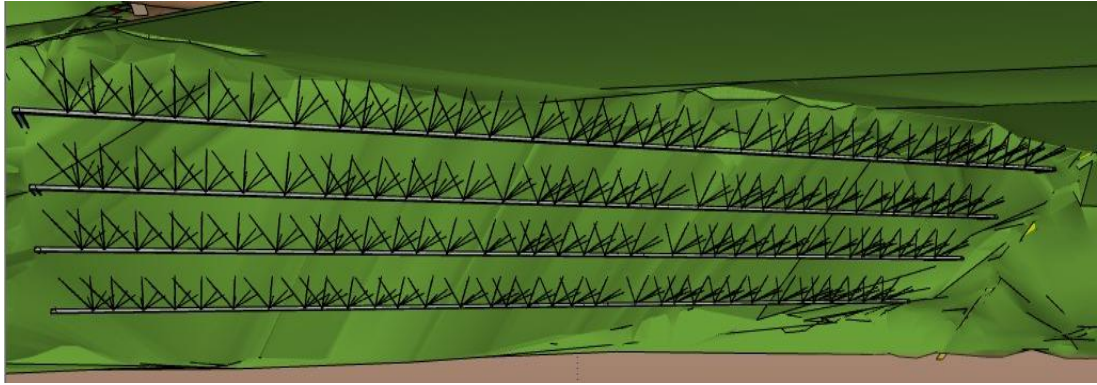


Figura 105. *Esquema de la distribución de los cuatro túneles en la zona de estudio.*

*Nota.* Elaboración propia.

Adicionalmente, se incluyeron las siguientes obras complementarias para la reducción de la infiltración del agua superficial y evitar la erosión:

#### **4.2 Terrazas vegetalizadas con hidrosiembra y cunetas de pie**



Figura 106. *Esquema de las terrazas con hidrosiembra y geotextil de coco en la parte superior del cerro, acompañadas de cunetas de pie para la recolección de agua superficial*

*Nota.* Elaboración propia.

### 4.3 Bajantes de drenaje revestidas con gavión colchoneta y geotextil



Figura 107. Esquema de la bajante de drenaje revestida con colchoneta de gaviones y geotextil sintético que recolecta el agua de las terrazas y de los túneles de drenaje

Nota. Elaboración propia.

### 4.4 Vías de servicio

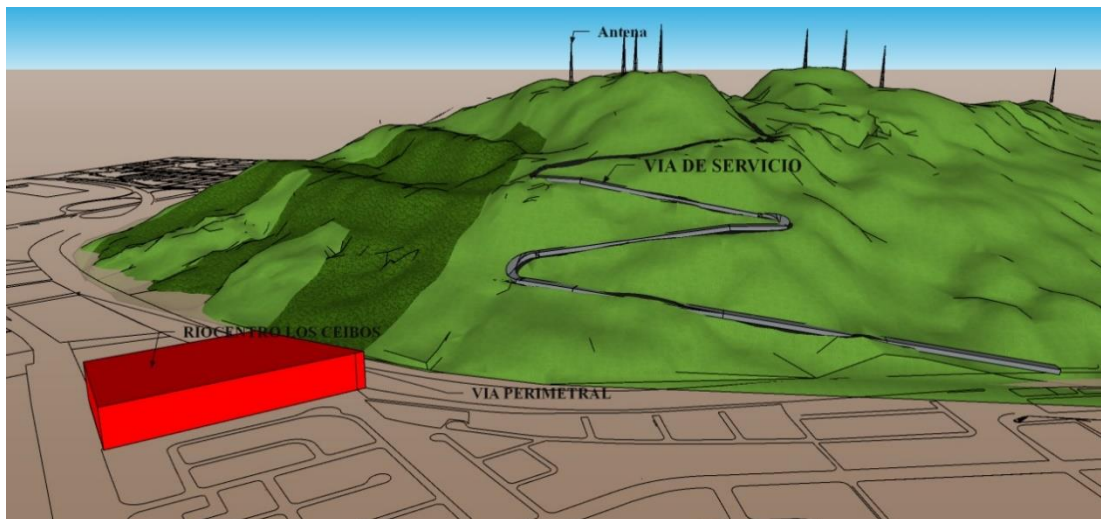


Figura 108. Esquema de la vía de servicio utilizada para el mantenimiento de las terrazas y túneles de drenaje

Nota. Elaboración propia.

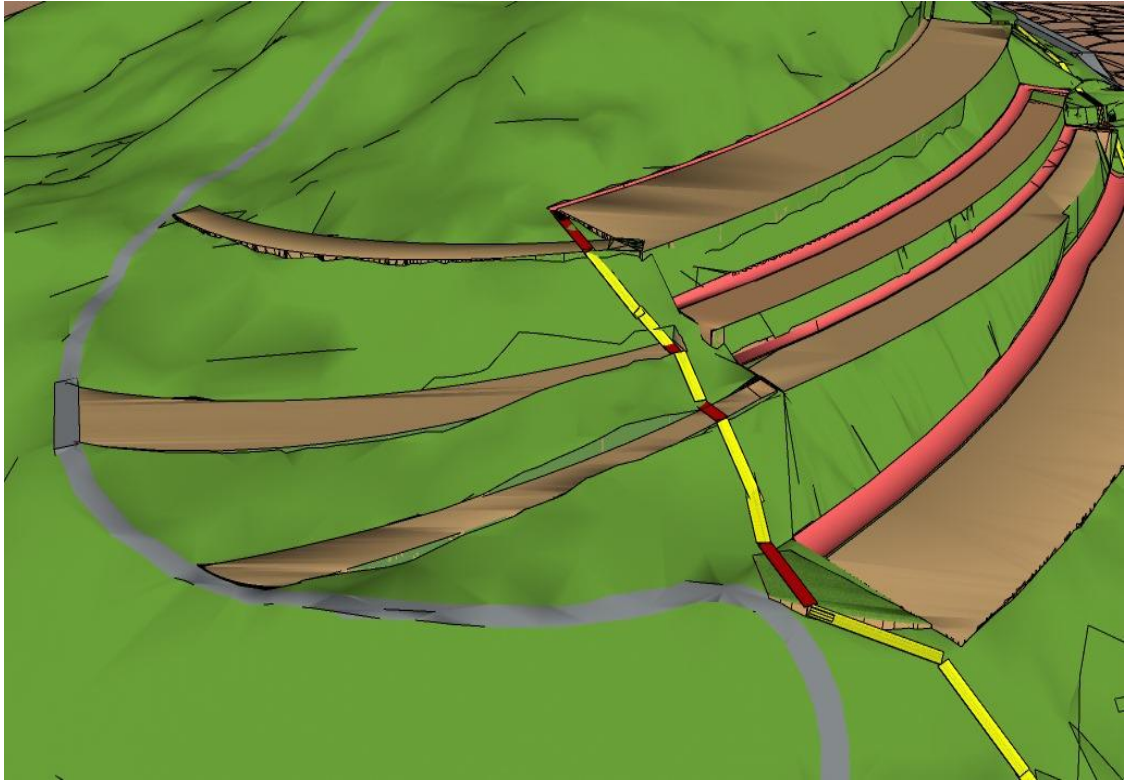


Figura 109. *Esquema de la vía de servicio conectada a las terrazas, diseñada para facilitar futuros trabajos de mantenimiento.*

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.5 Pantalla reticular prefabricada y postensada

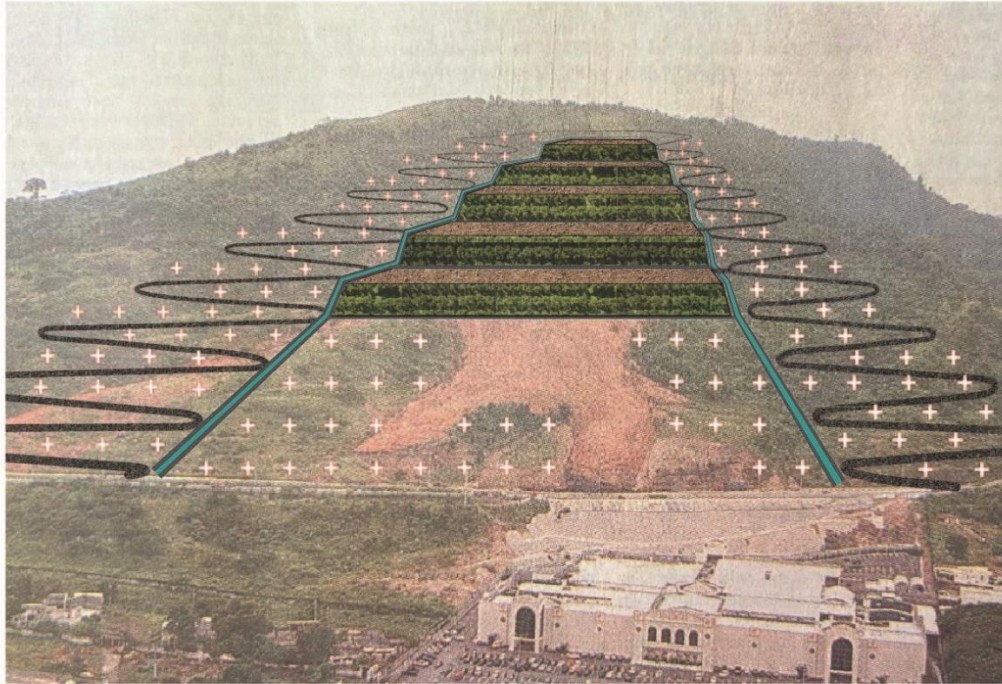


Figura 110. Vista parcial de la ubicación de la pantalla reticulada entre las vías de servicio

Nota. Elaboración propia

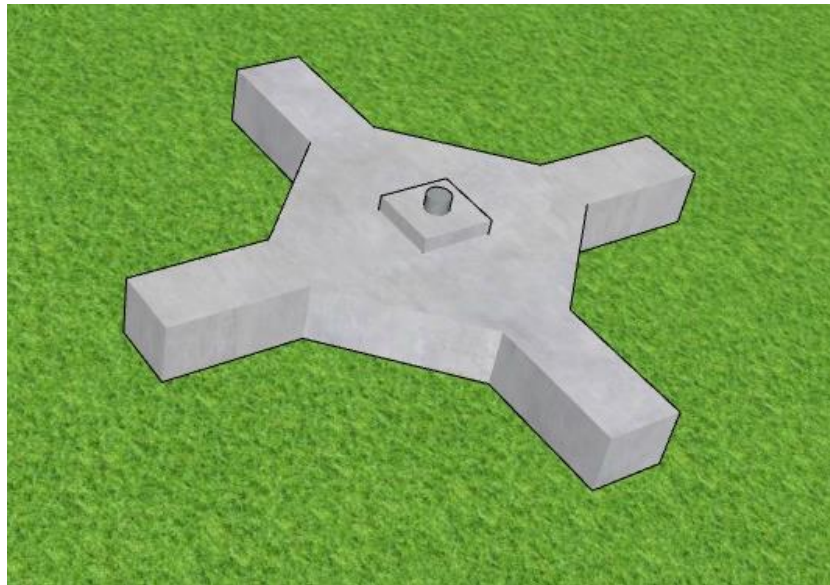


Figura 111. Vista detallada de una de las crucetas de la pantalla reticulada, diseñada para mejorar la estabilidad en la zona no deslizada del cerro

Nota. Elaboración propia.



#### **4.6 Problemas constructivos**

- Donde ubicar el cascajo del material retirado.
- Uso de pernos de anclaje, hormigón proyectado y cerchas en el apuntalamiento provisional durante la construcción de los 4 túneles de drenaje.
- Ejecución de la construcción de los 4 túneles durante la temporada de lluvia.
- Uso de maquinaria liviana para excavación de túneles en los saprolitos (cascajo) meteorizados de la formación Cayo del Cerro Azul, detrás del Riocentro Los Ceibos al pie de Las Antenas.

#### 4.7 Presupuesto referencial del proyecto de estabilización

Tabla 3. *Tabla de presupuesto referencial*

PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL PROYECTO DE ESTABILIZACIÓN						
No.	RUBROS	UNIDAD	CANT	P. UNITARIO	P. TOTAL	ESPECIFICACIÓN:
1	Terrazas vegetalizadas con hidrosiembra	m	1800	\$ 55.00	\$ 99,000.00	Incluye excavación, desalojo, compactación, perfilado de taludes
2	Cunetas de pie para drenaje	m	1800	\$ 86.00	\$ 154,800.00	Incluye excavación, desalojo, provisión de hormigón de 180kg/cm2 y juntas
3	Hidrosiembra	m2	16000	\$ 6.80	\$ 108,800.00	Incluye provisión de cobertura vegetal, provisión de geotextil biodegradable, hidrosiembra de semillas de plantas nativas y endémicas del lugar
4	Desalojo de material deslizado	Ton	80000	\$ 6.50	\$ 520,000.00	Incluye desalojo en relleno sanitario "Las Iguanas"
5	Vías de servicio	m	2000	\$ 120.00	\$ 240,000.00	6m de ancho
5	Bajantes de drenaje revestidas con gavion colchoneta y geotextil	m	600	\$ 130.00	\$ 78,000.00	6 m de ancho
6	Túneles de drenaje profundo	m	1600	\$ 1,400.00	\$ 2,240,000.00	Túnel de diámetro 2m con anillo de hormigón y 4 túneles. Incluye excavación, apuntalamiento provisional, hormigón de 300kg/cm2
7	Paraguas de drenaje	m	5000	\$ 75.00	\$ 375,000.00	metro lineal de dren de 2"
8	Pantalla reticular prefabricada y postensada	CRUCETA	250	\$ 3,200.00	\$ 800,000.00	Postensada de 30m de profundidad, cruceta de hormigón
9	Preliminares de obra y seguridad	GLOBAL	1	\$ 40,000.00	\$ 40,000.00	
10	Cunetas de coronación	m	400	\$ 57.00	\$ 22,800.00	Incluye excavación, desalojo, provisión de hormigón entachado de 180kg/cm2 y juntas
11	Puente de hormigón armado	m2	400	\$ 120.00	\$ 48,000.00	Hormigón de 300 kg/cm2
12	Reforestación	UNIDAD	2000	\$ 20.00	\$ 40,000.00	Plantas nativas y endémicas del lugar
13	Puertas de seguridad en túneles y garitas de acceso	GLOBAL	10	\$ 1,700.00	\$ 17,000.00	
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 4,783,400.00</b>	
<b>IVA 15%</b>					<b>\$ 717,510.00</b>	
<b>VALOR TOTAL</b>					<b>\$ 5,500,910.00</b>	

Nota. Elaboración propia.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente estudio se exploraron las diferentes estructuras de drenaje y subdrenaje con el fin de mejorar la estabilidad del área de estudio. En ese orden de ideas, se propuso como solución túneles de drenaje, cuyas estructuras están diseñadas para regular el flujo de agua subterránea profunda en un talud. En ese sentido, su implementación tiene como finalidad mejorar la estabilidad de Cerro Azul. Como consecuencia, la implementación de túneles de drenaje profundo no solo optimiza la estabilidad geotécnica de la zona, sino que también extiende la vida útil de las infraestructuras adyacentes, como la Vía Perimetral y las edificaciones cercanas, incluyendo Riocentro Los Ceibos y las urbanizaciones circundantes. Adicionalmente, su aplicación constituye una medida preventiva eficaz para mitigar desastres naturales y salvaguardar la vida humana.

Por tal motivo, a través de diversas propuestas gráficas, se esquematizaron los procesos constructivos que detallan las diferentes estructuras de drenaje y subdrenaje necesarias para mejorar la estabilidad de Cerro Azul. De tal modo, esta innovación científica se proyecta como un punto de partida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el diseño y construcción de infraestructuras, dado que promueve la sostenibilidad y la eficiencia en el uso de recursos dentro del campo de la ingeniería civil.

Se propone la construcción de 4 túneles de drenaje profundo de forma separada e independientes, para reducir los costos y facilitar el mantenimiento y la ventilación. Desde estos 4 túneles se perforarán los drenes sub-verticales, para drenar la zona estable del deslizamiento, y evitar que la meteorización avance.

Se ha propuesto la construcción de bermas de estabilización en la parte alta o cabeza del deslizamiento, revestidas con hidrosiembra de plantas nativas y endémicas del lugar. Las terrazas tendrán cunetas de pie que drenarán a un sistema de torrenteras construidas con colchonetas flexibles de gaviones y geomembrana. El sistema de drenaje del deslizamiento conducirá el agua de lluvia de las cunetas de pie de las bermas de estabilización, la de los túneles de drenaje profundo y la de la subcuenca de drenaje de la elevación, hacia dos torrenteras, las mismas que depositarán el agua en el sistema de drenaje de la vía perimetral. Se incluye además una vía de servicio que

conectará las cunetas de pie de las bermas de estabilización y los 4 túneles de drenaje profundo, durante la construcción y para mantenimiento.

Como recomendación es que continúen con los estudios en los deslizamientos ocurridos en Guayaquil, hasta lograr proteger todas las laderas de las elevaciones de la formación Cayo, y proteger así a las comunidades más desfavorecidas y vulnerables, ante los fenómenos naturales.

## REFERENCIAS

- Almaguer, Y., & Guardado, R. (2006). Tipología de movimientos de masas desarrollados en el territorio de Moa, Cuba. *Minería y Geología*, 22(1). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223517653001>
- Andrade, R., & Vicuña, J. (2023). *Micropilotes raíz para reforzar cimentaciones de viviendas construidas sobre suelos vulnerables a licuefacción sísmica*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/20807/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-467.pdf>
- Argudo, J. (Abril de 1998). Deslizamiento en Cerro Azul. (D. E. Universo, Entrevistador)
- Astudillo, J., & Medina, C. (2009). *Ubicación e identificación de los principales deslizamientos en la vía Macará-Sabiango de la provincia de Loja*. [bachelor Thesis]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/16361>
- Barros, J. (2016). *Construcción de un nuevo modelo heterogéneo de velocidades sísmicas de ondas P en la subducción ecuatoriana* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16618/1/CD-7249.pdf>
- Burbano, N., Becerra, S., & Pasquel, E. (2014). *Introducción a la hidrogeología del Ecuador*. [https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/HIDROGEOLOGIA\\_2%20EDICION\\_2014.pdf](https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/HIDROGEOLOGIA_2%20EDICION_2014.pdf)
- Calle, J., Reinoso, J., Michalón, R., & Avilés, J. (2005). *Recopilación de información base para el mapa geoambiental del área urbana del gran Guayaquil y mapas en formato SIG*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3341/1/5863.pdf>
- Camacho, L., & Granados, C. (2023). *El agua como agente principal de la inestabilidad de taludes*. Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia.
- Carchipulla, A. (2023). *Pantalla Reticulada y Prefabricada de Hormigón con Anclajes Postensados para el Tratamiento de Taludes Inestables*.

<http://201.159.223.180/bitstream/3317/20808/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-468.pdf>

Carrick, T. (7 de Febrero de 2022). *Hydroseeding: Is it Right for your Lawn?* Bobvila. <https://www.bobvila.com/articles/hydroseeding-101/>

Cecenarro, J. F., Dogliani, N., & Lira, R. (2014, enero 1). *Triángulo composicional de limonitas: una cartilla útil en la interpretación de afloramientos lixiviados en cobres porfíricos*. XIX Congreso Geológico Argentino. [https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/549759/S6-14\\_Cecenarro\\_et\\_al.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/549759/S6-14_Cecenarro_et_al.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Chávez, M. (2015). *Incidencia del agua en los procesos de inestabilidad de taludes y laderas en el centro y norte de la ciudad de Guayaquil* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://dspace.espol.edu.ec/retrieve/89844/D-70124.pdf>

Chicaiza, E., & Oña, F. (2018). *Estabilización de arcillas expansivas de la provincia de Manabí con puzolana extraída de ceniza de cascarilla de arroz* [Bachelor Thesis]. Escuela Politécnica Nacional. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19624G>.

Cobos, L. E., & Montenegro, G. (2010). *Estudio integrado del golfo de Guayaquil del mioceno al reciente*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/9091>

Diario El Universo. (1998). *Deslizamiento en Cerro azul*.

Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. (2015). *Peligro sísmico diseño sismo resistente*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>

Dirección de Monitoreo de Eventos Adversos. (2023). *SitRep No. 98 - Deslizamiento Casual - Alausí*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2023/11/SITREP-Nro.-98-Deslizamiento-Alausi-31102023-15h00-revf.pdf>

Duque, G. (2022). *Manual de Geología Capítulo 17 - Aguas Superficiales*. Universidad Nacional de Colombia.

Duque, G. (2022). *Manual de Geología Capítulo 17 - Aguas Superficiales*. Universidad Nacional de Colombia.

- El Comercio. (12 de agosto de 2014). *Las nubes de polvo que cubrieron Quito tras sismo de 5 grados*. <https://elcomercio.pe/mundo/latinoamerica/nubes-polvo-cubrieron-quito-sismo-5-gradoss-351754-noticia/>
- Esparza, R., & Murrieta, G. (2016). *Manual de diseño y construcción de túneles de carretera*. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. <https://www.sct.gob.mx/index.php?id=2306>
- Fajardo, O. (27 de Marzo de 2023). Deslizamiento de tierra en Alausí, Ecuador. <https://cnnespanol.cnn.com/2023/03/27/ecuador-deslizamiento-tierra-alausi-siete-muertos-orix/>
- Geotechnical Engineering Office. (2011). *Landslide Prevention and Mitigation Works at Po Shan, Mid-Levels*. Civil Engineering Office.
- Gómez, H., & Gonzáles, J. (2018). *Deslizamiento en el sector Tankarccasa – Uñuqñahui. Región Cusco, provincia Anta, distrito Anta, paraje Compone*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1932>
- Google Earth. (2024). *Cerro Azul*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/?hl=es-419>
- Graterol, M., & Vásquez, H. (2013, marzo 6). *Rocas Sedimentaria Arenitas. Arenisca—Banco de imágenes*. UMA Divulga. <https://www.umadivulga.uma.es/banco-de-imagenes/rocas-sedimentaria-arenitas-arenisca/>
- Guzmán, J. (2023, abril 30). *Deslizamientos e inundaciones, entre los eventos adversos con mayor recurrencia por la época lluviosa en Ecuador*. El Universo. <https://www.eluniverso.com/noticias/ecuador/quito-deslizamientos-inundaciones-epoca-lluviosa-ecuador-nota/>
- Hong Kong Slope Safety. (2021). *Túnel de drenaje de Po Shan: cámara de ciencia y tecnología para detectar deslizamientos de tierra*. <https://hkss.cedd.gov.hk/hkss/en/visit-tour/po-shan-drainage-tunnel/index.html>

- Instituto Geofísico . (2014). *Informe sísmico especial N#1 - sismo de quito 12 de agosto 2014*. <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/897-informe-s%3%ADsmico-especial-n%2%B0-1-sismo-de-quito-12-de-agosto-2014>
- Instituto Geológico y Minero de España [IGME]. (2006). *Manual de Taludes*. IGME. [https://info.igme.es/SidPDF/065000/075/65075\\_0001.pdf](https://info.igme.es/SidPDF/065000/075/65075_0001.pdf)
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). *Mecánica de suelos tomo 1 fundamentos de la mecánica de suelos*. Editorial Limusa.
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). *Mecánica de suelos tomo 1 fundamentos de la mecánica de suelos*. Editorial Limusa.
- La Hora. (2023). *10 datos sobre la situación de Alausí tras el deslizamiento que ha dejado 16 muertos*. [https://www.lahora.com.ec/pais/alausi-datos-tragedia-deslizamiento-muertos/#google\\_vignette](https://www.lahora.com.ec/pais/alausi-datos-tragedia-deslizamiento-muertos/#google_vignette)
- Laterlite. (2015). *Construcción de terraplenes y rellenos ligeros*. <https://www.laterlite.es/aplicaciones/geotecnia/construccion-terraplenes-rellenos-ligeros/>
- Lees, A. (2021, septiembre 9). *What Is a Landslide? Types, Causes, Effects & Prevention*. <https://www.tensarinternational.com/resources/articles/what-is-a-landslide>
- Licuy, C., & Román, K. (2020). *Estudio de la estabilización de arcillas expansivas utilizando el 10, 20 y 30% en peso, de puzolanas de ceniza del volcán Tungurahua y ceniza de la cascarilla de arroz en composiciones iguales* [Bachelor Thesis]. Escuela Politécnica Nacional. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20630>
- López, J. (2002). *Geología aplicada a la ingeniería civil Juan Manuel López marinas* (Segunda). [https://www.academia.edu/42066638/GEOLOGIA\\_APLICADA\\_A\\_LA\\_INGENIERIA\\_CIVIL\\_JUAN\\_MANUEL\\_LOPEZ\\_MARINAS](https://www.academia.edu/42066638/GEOLOGIA_APLICADA_A_LA_INGENIERIA_CIVIL_JUAN_MANUEL_LOPEZ_MARINAS)
- Luje, B. (2001). *Investigo y aprendo: Galápagos un mundo mágico* (1.ª ed.). Impresión A&B Editores.
- Mahmut, E. (2019, mayo 13). *Aglomerado | Propiedades, Composición, Formación*. Geology Science. <https://es.geologyscience.com/rocas/aglomerado/>



- Meneses, A. (2011). *Análisis de la erosión hídrica en taludes a escala sembrados con trébol enano durante otoño e invierno*. Universidad del Bio Bio. [http://repopib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/200/1/Beroiz\\_Marchant\\_Leandro\\_Esteban.pdf](http://repopib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/200/1/Beroiz_Marchant_Leandro_Esteban.pdf)
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2017). *Código Orgánico del Ambiente, Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017*.
- Monsalve, H., & Mora, H. (2005). Esquema geodinámico regional para el noroccidente de Suramérica (modelo de subducción y desplazamientos relativos). *Boletín de Geología*, 27(1). <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/865>
- Moreno, H., Ibáñez, S., & Gisbert, J. (2012). *Rocas sedimentarias detríticas*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16651/rocas%20detríticas.pdf>
- Navarrete, E. (2018). *Itinerarios geológicos de la costa del Ecuador*. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). [https://www.researchgate.net/publication/324729347\\_ITINERARIOS\\_GEOLOGICOS\\_DE\\_LA\\_COSTA\\_DEL\\_ECUADOR\\_-\\_1\\_GUAYAQUIL\\_Y\\_SUS\\_ALREDEDORES](https://www.researchgate.net/publication/324729347_ITINERARIOS_GEOLOGICOS_DE_LA_COSTA_DEL_ECUADOR_-_1_GUAYAQUIL_Y_SUS_ALREDEDORES)
- Pazmiño, N., & Michaud, F. (2009). *Descripción de los sedimentos marinos en la Cordillera submarina de Carnegie*. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010051362>
- Pazmiño, N., Sallares, V., Calahorrano, A., Hidalgo, S., Witt, C., & Humberto, G. (2010). *Prolongación natural de la plataforma de galápagos sobre la cordillera carnegie. Una Aproximación Técnica Científica para determinar el límite exterior de la Plataforma continental en las Galápagos*. <https://n9.cl/dm72c>
- Pensantez, J. (Abril de 1998). Deslizamiento en Cerro Azul. (D. E. Universo, Entrevistador)

- Proaño, G. (2009). *Evaluación de la peligrosidad y riesgos de desastres por movimientos de taludes y laderas*. Red Temática Iberoamericana CYTED A4D. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6384>
- Qgis. (2024). *Curvas de Nivel Cerro Azul*. [https://docs.qgis.org/1.8/es/docs/user\\_manual/introduction/qgis\\_configuration.html](https://docs.qgis.org/1.8/es/docs/user_manual/introduction/qgis_configuration.html)
- Quinde, P., & Reinoso, E. (2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca. *Ingeniería Sísmica*, 96, 1-26.
- Rivera, L. A., & Viteri, P. I. (2023). *Propuesta de un falso túnel atirantado como solución a deslizamientos en la carretera Cuenca—Molleturo*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/21865>
- Rodríguez, S., & Garrido, C. (2022). *Interacción entre túneles y laderas de causa de inestabilidad a técnica de remediación*. Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. <https://congress.cimne.com/simposiotaludes2021/admin/files/filePaper/p127.pdf>
- Sallares, V., Charvis, P., & Calahorrano, A. (2009). *Naturaleza y formación de la provincia volcánica de las Galápagos*. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers11-11/010051360.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-11/010051360.pdf)
- Sanhueza, D. (2015). *Influencia de distintios ligantes en la hidrosiembra de taludes de alta pendiente*. Universidad del Bio-Bio. [http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1256/1/Sanhueza\\_Carrillo\\_Dagoberto\\_Antonio.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1256/1/Sanhueza_Carrillo_Dagoberto_Antonio.pdf)
- Sistema Único de Información Ambiental. (2021). *Manual de usuario*. [http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/ManualesWebMesaAyuda/Manuales/Regularizacion/Estudio\\_de\\_Impacto\\_Ambiental.pdf](http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/ManualesWebMesaAyuda/Manuales/Regularizacion/Estudio_de_Impacto_Ambiental.pdf)
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos Volumen 1 Análisis Geotécnico*. División de Publicaciones UIS. <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>

- Suárez, J. (2010). *Deslizamientos: tecnicas de remediacion*.  
<https://www.erosion.com.co/download/cap-1-metodos-de-manejo-y-remediacion/>
- Suárez, J. (2010). *DESLIZAMIENTOS: TECNICAS DE REMEDIACIÓN*. México.
- Suárez-Burgoa, L. (2014). *Descripción del macizo rocoso introducción a la ingeniería de rocas de superficie y subterránea*. Universidad Nacional.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21497>
- Taipe, L. M. (2013). *Análisis de las ecuaciones de predicción de movimientos de suelo para el Ecuador utilizando datos registrados durante el periodo 2000—2011 en las estaciones sísmicas de banda ancha y acelerógrafos* [Bachelor Thesis].  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6447>
- Tarbutk, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física* (8va ed.). Pearson Educación S. A.
- Tardeo De La Cruz, C., & Zanabria, E. (2016). *Análisis dinámico de estabilidad de taludes por elementos finitos en la zona de huayllapampa del distrito de cuenca huancavelica* [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Huancavelica:  
<https://repositorio.unh.edu.pe/items/1e37fee9-82ef-4842-a654-ab91bc8c6223>
- Theurer, M. M., Velasco, G., Mora, C., Montenegro, M., & Córdova, J. (2017). Terremotos mayores a 6.5 en escala Richter ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta 1970. *Ingeniería*, 21(2), 55-64.
- Toapanta, E. P. (2018). *Estudio del peligro sísmico determinista para las estructuras de Ambato, de las parroquias Celiano Monge y Huachi Loreto ubicado entre las calles av. Los Chasquis, av. Pichincha, av. Quis y calle Oriente* [Bachelor Thesis]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/28987>
- Tóth, J. (2000). Las aguas subterráneas como agente geológico: Causas, procesos y manifestaciones. *Boletín geológico y minero*, 111(4), 9-26.
- Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. (2024). *Dominios institucionales – UCSG*. <https://www.ucsg.edu.ec/institutos/dominios-institucionales/>
- Werner, R., Hoernle, K., Barckhausen, U., & Hauff, F. (2003). Geodynamic evolution of the Galápagos hot spot system (Central East Pacific) over the past 20 m.y.:

Constraints from morphology, geochemistry, and magnetic anomalies. *Agu*, 4(12). <https://doi.org/10.1029/2003GC000576>

Yepez, H. (2014). *Breve reseña de los sismos provenientes de la falla geológica de Quito que han afectado a la capital*. Escuela Politécnica Nacional. <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/898-breve-rese%C3%B1a-de-los-sismos-provenientes-de-la-falla-geol%C3%B3gica-de-quito-que-han-afectado-a-la-capital>

Zavala, J. (14 de 11 de 2021). *Estabilidad de taludes para el mejoramiento del terraplén en la construcción del túnel drenaje Toquepala- Tacna, 2001*. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2072>

Zhen-lei, W., Dong-fei, W., Hao-di, X., & Hong-you, S. (2020). Clarifying the effectiveness of drainage tunnels in landslide controls. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*.

Zhen-lei, W., Yue-quan, S., Hong-yue, S., Hao-di, X., & Dong-fei, W. (2020). *The effectiveness of a drainage tunnel in increasing the rainfall threshold of a deep-seated landslide*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-019-01241-4#:~:text=The%20rainfall%20threshold%20after%20the,construction%20of%20the%20drainage%20tunnel>




## DECLARACIÓN AUTORIZACIÓN


Nosotros, **Carbo Uruchima, Karla Milena**, con C.C: # 0956850184 y **Soto Carvajal, Joseph Lizandro**, con C.C: # 1313613372 autores del trabajo de titulación: **Túneles de drenaje profundo como solución para la estabilización de grandes deslizamientos de tierra**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro 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.- Autorizo 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, 4 de **septiembre** de **2024**

f.   
\_\_\_\_\_  
**Carbo Uruchima, Karla Milena**  
C.C: **0956850184**

f.   
\_\_\_\_\_  
**Soto Carvajal, Joseph Lizandro**  
C.C: **1313613372**



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Túneles de drenaje profundo como solución para la estabilización de grandes deslizamientos de tierra.		
<b>AUTOR(ES)</b>	Carbo Uruchima, Karla Milena Soto Carvajal, Joseph Lizandro		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto MSc.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	4 de septiembre de 2024	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	117
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Ingeniería, Geotecnia y Construcción		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	<i>Túneles de drenaje profundo, Paraguas de drenaje, Terrazas, Deslizamiento, Cerro Azul, Cunetas, Hidrosiembra, Gavión colchoneta, Aguas subterráneas, Meteorización, Erosión.</i>		
<b>RESUMEN:</b> El efecto desestabilizador de las aguas subterráneas es una de las principales causas de los deslizamientos de tierra, lo que representan un peligro importante para la vida humana y el medioambiente. A menudo, el abatimiento de las aguas subterráneas es la forma más eficiente de estabilizar grandes masas de suelo inestable. De conformidad con lo anterior, entre las medidas para abatimiento de aguas subterráneas, se encuentra que los túneles de drenaje profundo tienen varias ventajas para abordar esta situación, aunque los costos de construcción podrían ser más altos que otras alternativas. Las medidas tradicionales de estabilización de taludes podrían incluir cambios en la geometría de los taludes, la construcción de estructuras de contención y medidas para el abatimiento de las aguas subterráneas. Estas soluciones se pueden utilizar de forma aislada o en diferentes combinaciones. Sin duda, el efecto desestabilizador del agua cumple un papel importante en la activación de deslizamientos de tierra, y su control es una de las herramientas más eficaces para la estabilización segura. El planteamiento esquemático por medio de ilustraciones del área de estudio, junto a sus diferentes medidas de contención, considera que este presente trabajo de titulación es una alternativa viable para el abatimiento de las aguas subterráneas y la estabilización de grandes masas de suelo.			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-985178108 +593-989246434	E-mail: <a href="mailto:Karla.carbo@cu.ucsg.edu.ec">Karla.carbo@cu.ucsg.edu.ec</a> <a href="mailto:joseph.soto@cu.ucsg.edu.ec">joseph.soto@cu.ucsg.edu.ec</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre: Clara Glas Cevallos</b>		
	<b>Teléfono: +593-4 -2206956</b>		
	<b>E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec</b>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			