



Análisis de las obras de mitigación de riesgos en el PR 67+200 vía Girón-Aeropuerto de Bucaramanga desarrolladas en el año 2020 a 2021

Modalidad: Investigación

YURLEY VIVIANA SIERRA VILLAMIZAR
1098734855

OSCAR JOSUÉ BERNAL VARGAS
91542008

JAIRO ENRIQUE PITA DELGADO
91294434

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería en Topografía
Bucaramanga, 7 de octubre de 2022



Análisis de las obras de mitigación de riesgos en el PR 67+200 vía Girón-Aeropuerto de Bucaramanga desarrolladas en el año 2020 a 2021

Modalidad

YURLEY VIVIANA SIERRA VILLAMIZAR
1098734855

OSCAR JOSUÉ BERNAL VARGAS
91542008

JAIRO ENRIQUE PITA DELGADO
91294434

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Topógrafo

DIRECTOR

M. Sc Clara Inés Torres Vásquez

Grupo de investigación – GRIMAT

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería en Topografía
Bucaramanga, 7 de octubre de 2022

Nota de Aceptación

_____ _____ Aceptado y aprobado

Ricardo Lozano Botache
M.Sc Ricardo Lozano Botache
Firma del Evaluador

Clara Inés Torres Vásquez
M.Sc Clara Inés Torres Vásquez
Firma del Director

DEDICATORIA

A Dios, por habernos permitido terminar esta etapa importante de nuestra vida; a nuestros padres que siempre nos han dado su comprensión y afecto; a nuestra familia, por apoyarnos en todas las actividades; a nuestros compañeros que durante todos estos años nos han brindado su amistad, los llevaremos en el corazón con mucha gratitud y aprecio.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser el guía de nuestros actos.

A nuestras familias por apoyarnos en todas nuestras actividades.

A la profesora M. Sc Clara Inés Torres Vásquez por ser nuestra directora y orientarnos en la realización de este proyecto.

Gracias a cada uno de los profesores que participaron en nuestro desarrollo profesional durante la carrera, por ser nuestros guías y heredarnos cada una de sus experiencias como personas y profesionales.

TABLA DE CONTENIDO

<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	<u>10</u>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>11</u>
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....</u>	<u>12</u>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	13
1.3. OBJETIVOS.....	14
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	14
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
<u>2. MARCO REFERENCIAL</u>	<u>15</u>
2.1. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1.1. METODOLOGÍA PARA EVALUAR LOS RIESGOS MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE	15
2.1.2. APLICABILIDAD DE LA METODOLOGÍA.....	17
2.1.3. PROCESO METODOLÓGICO	21
2.1.4. PROCEDIMIENTOS DE INVESTIGACIÓN	25
2.1.5. PREVENCIÓN, ESTABILIZACIÓN Y DISEÑO	33
2.2. MARCO LEGAL.....	39
2.3. MARCO CONCEPTUAL	40
2.4. MARCO AMBIENTAL	42
2.5. MARCO GEOLÓGICO	42
2.5.1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS GENERALES ..	42
<u>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....</u>	<u>52</u>
<u>4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....</u>	<u>55</u>
4.1. RECONOCIMIENTO DEL SITIO	55
4.1.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	55
4.1.2. CLIMA.....	56
4.1.3. TEMPERATURA.....	56
4.1.4. PRECIPITACIONES.....	56

4.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE.....	57
4.2.1. FOTOGRAFÍAS AÉREAS E INFORMACIÓN DE SENSORES REMOTOS.....	57
4.2.2. MAPAS GEOLÓGICOS Y TOPOGRÁFICOS.....	58
4.3. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DETALLADA.....	62
4.3.1. INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS REALIZADAS	63
4.3.2. ESTABILIDAD DE TALUDES.....	66
4.3.3. OBRAS DE DRENAJE.....	70
4.4. MEDIDAS ADICIONALES DE PREVENCIÓN Y CONTROL	71
4.4.1. MEDIDAS DE PREVENCIÓN	71
4.4.2. MEDIDAS DE CONTROL.....	72
<u>5. RESULTADOS.....</u>	<u>77</u>
<u>6. CONCLUSIONES</u>	<u>83</u>
<u>7. RECOMENDACIONES</u>	<u>84</u>
<u>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>85</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Proceso metodológico general	22
Figura 2-2 Análisis de la amenaza	24
Figura 2-3 Diagrama de flujo para la investigación y análisis de deslizamientos .	28
Figura 3-1 Árbol de problemas	54
Figura 3-2 Árbol de objetivos	54
Figura 4-1 Localización general del proyecto	56
Figura 4-2 Geología Local	61
Figura 4-3 Perfiles geológicos locales	61
Figura 4-4 Imágenes del talud de estudio	63
Figura 4-5 Ubicación de los sondeos	64
Figura 4-6 Análisis de estabilidad general con obras – Fallo Grande	67
Figura 4-7 Análisis de estabilidad general con obras – Fallo menor	68
Figura 4-8 Obras de protección contra caídos.....	73
Figura 4-9 Inyección de terraplenes para rellenar y cementar grietas internas....	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Clasificación de proyectos según naturaleza.....	18
Tabla 2-2 Clasificación de proyectos según complejidad	20
Tabla 2-3 Parámetros que se requiere determinar en el estudio de un deslizamiento	25
Tabla 2-4 Métodos de prevención de la amenaza o el riesgo.....	34
Tabla 2-5 Métodos de elusión de amenazas de deslizamientos.....	34
Tabla 2-6 Estructuras de control de masas en movimiento	35
Tabla 2-7 Método 1: conformación del talud o ladera.....	36
Tabla 2-8 Método 2: Recubrimiento de la superficie	36
Tabla 2-9 Método 3: Control de agua y presión de poros.....	37
Tabla 2-10 Método 4: Estructuras de contención	37
Tabla 2-11 Método 5: Mejoramiento de la resistencia del suelo	38
Tabla 2-12 Criterios para seleccionar un factor de seguridad para diseños de taludes	39
Tabla 4-1 Resumen de sondeos realizados	64
Tabla 4-2 Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción categoría de la unidad de construcción	65
Tabla 4-3 Resumen parámetros geotécnicos utilizados	66
Tabla 4-4 Resumen factores de seguridad muro de H=4.0m – Sector Fallo Grande	67
Tabla 4-5 Resumen factores de seguridad muro de H=4.0m – Sector Fallo menor	68
Tabla 4-6 Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos	69
Tabla 5-1 Resultados comparativos según metodología y obras planteadas	79
Tabla 5-2 Medidas adicionales de prevención y control	81

RESUMEN EJECUTIVO

Se realizó una revisión de los proyectos de geotecnia implementados durante el año 2020 – 2021 en el sector ubicado entre las abscisas PR67+0200 – PR67+0300, vía Bucaramanga – Lebrija, departamento de Santander, desde una perspectiva técnica mediante la guía de metodologías de gestión del riesgo y de teorías asociadas a la geotecnia y a la estabilización de taludes, con el fin de analizar la eficacia de estos proyectos en la mitigación y solución del problema del riesgo de remoción masa presentado en el sector.

El análisis se basó en la consulta de los estudios técnicos del proyecto, que comprende la investigación geológica, geotécnica, de estabilidad de taludes, reconocimiento y ensayos de campo, análisis hidráulico y estructural de la zona de estudio; seguido de una comparación de las obras proyectadas por la empresa consultora INGEAS S.A.S con la metodología descrita en el libro Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales del autor Jaime Suarez Díaz, 1998, en el cual proponen una serie de principios generales para la reducción de amenazas de deslizamiento utilizando sistemas de prevención, manejo y estabilización de taludes susceptibles a sufrir deslizamientos permitiendo escoger el sistema más apropiado de estabilización teniendo en cuenta todas las circunstancias del talud estudiado.

Se concluye que las obras proyectadas por INGEAS S.A.S, se encuentran dentro de las obras de control comúnmente usadas para estabilizar masas las cuales son eficaces ayudando a controlar y mitigar el problema de inestabilidad del sector de estudio y cumpliendo con las normativas vigentes colombianas.

Finalmente, se presentan una serie de obras adicionales que complementarían las proyectadas cumpliendo con las estrategias de prevención, control y contención. Así como la sugerencia del monitoreo de las obras y el mantenimiento constante de las mismas permitiendo alargar su tiempo de vida útil.

Palabras claves: gestión del riesgo, vulnerabilidad, obras eficientes, talud.

INTRODUCCIÓN

Existen metodologías que son herramientas que buscan facilitar el cumplimiento de requerimientos normativos relacionados con la gestión del riesgo de desastres, algunas dadas por el Departamento Nacional de Planeación, Ministerios y la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo, las cuales son guías para la evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, en el proceso de formulación de proyectos de inversión pública. La aplicación de estas metodologías conlleva a varias ventajas, entre las cuales se tienen (*Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo. Metodología para evaluar los riesgos. Tomo 2. S.f.*):

- Permite contar con una base sólida para la planificación y toma de decisiones.
- Se protege la población interna y externa al proyecto, previendo, de manera anticipada, las consecuencias de potenciales fallas y adoptando las medidas necesarias para reducirlas.
- Se protegen los recursos públicos, al generar inversiones más seguras.
- Se puede optimizar el diseño del proyecto y, en consecuencia, reducir sus costos, al identificar las debilidades del mismo.
- Se da cumplimiento a las normas legales en la materia.

Estas metodologías orientan en la elaboración de estudios de riesgo de desastres, como parte de la estructuración de un proyecto de inversión pública, con el fin de seleccionar las medidas de intervención que arrojen una mejor relación costo/beneficio o para revisar y optimizar el diseño de un proyecto.

Este proyecto busca implementar la guía establecida en el libro Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales del autor Jaime Suarez Díaz, 1998; el cual es un texto guía para el estudio y la práctica de Ingeniería y Geotecnia, que usa teorías asociadas a la geotecnia y a la estabilización de taludes para la comparación, evaluación y análisis de la eficacia de las obras de mitigación contempladas como solución del riesgo de remoción de masa presentado en la zona de estudio ubicado sobre la vía Bucaramanga – Lebrija entre las abscisas PR67+0200 – PR67+0300 por el consultor INGEAS S.A.S, durante los años 2020-2021.

Así mismo, y de acuerdo con las referencias de literatura para el manejo de deslizamientos, se mencionan algunos métodos y obras como prevención y control que podrían complementar las obras inicialmente planteadas en el manejo de inestabilidades de laderas.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Sobre la vía que comunica el municipio de Girón, Santander y el Aeropuerto Internacional Palonegro de Bucaramanga, en el PR 67+200, se observa la influencia del Sistema de fallas del Suárez, al observar el alto grado de buzamiento por efecto de la tectónica regional y local. La ocurrencia de esta estructura geológica muestra afectación sobre la formación Girón presentando capas altamente fracturadas y diaclasadas. Este diaclasamiento junto con el grado de meteorización del material rocoso y los efectos del clima y la gravedad, permiten que fácilmente se presenten procesos de remoción en masa. (INGEAS S.A.S,2020.)

En la zona se observan obras como estabilización de taludes, empedradización, rondas de coronación, muros de contención, anclajes, cunetas, pilotes entre otros, como obras de mitigación que se vienen ejecutando para la disminución del riesgo, sin embargo se requiere hacer un seguimiento y evaluación a estas obras, de manera que, se puedan tomar decisiones sobre la estabilidad y durabilidad de las mismas y conocer si son suficientes o es necesario continuar con ellas en zonas aledañas así como establecer el cumplimiento de las políticas de gestión del riesgo y de desarrollo territorial frente a las mismas, programar estas obras desde el ordenamiento territorial de los municipios que pueden estar aquí afectados no solo por el posible taponamiento de vías, pérdida de banca, daño en pavimento, sino de igual forma, amenaza a la vida humana.

Teniendo en cuenta esto se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué tan eficaces han sido los proyectos de geotecnia implementados durante 2020 – 2021 en PR 67+200 de la vía Girón – Aeropuerto de Bucaramanga desde la perspectiva técnica y de gestión del riesgo?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Las obras de mitigación entre la vía Girón al Aeropuerto de Bucaramanga entre los años 2020 – 2021 se llevaron a cabo para dar cumplimiento al desarrollo territorial y gestión de riesgo debido a que son zonas de riesgo para la vida humana por la cantidad de automóviles que transitan sobre estas vías, ya que son vías nacionales, la primera que conduce de Bucaramanga – Lebrija y la segunda de Bucaramanga – Barrancabermeja.

Según INGEAS S.A.S “La formación geológica superficial afectada corresponde a un depósito coluvial, compuesto por suelos areno arcillosos y limos arenosos en los que se presenta algunos bloques y clastos de roca de diverso tamaño provenientes de los niveles fracturados y acumulados dentro de la matriz y en superficie como resultado del movimiento de material de la Formación Girón,” Lo que pone en riesgo las vidas humanas y el trasado de vías lo cual requería las siguientes obras de mitigación como muro piloteado, construcción de obras de manejo de aguas subsuperficiales, como son subredes horizontales, zanjas de coronación y torrenteras, hidrosiembra, terrazas entre otros.

El presente proyecto busca dar aplicación de conocimientos de ingeniería en topografía desarrollada en las Unidades Tecnológicas de Santander y brindar a la comunidad un informe de acceso público frente a los problemas que se puedan presentar después de la mitigación que se realiza sobre vías, un análisis sobre el impacto de las obras, si son suficientes o no en la zona de estudio o si se requiere incrementar la ejecución y desarrollo de este tipo de obras, frente a la gestión del riesgo, teniendo en cuenta los instrumentos de planeación municipal y departamental.

El trabajo de investigación se desarrolla bajo las líneas de investigación de Gestión Territorial, Suelo-subsuelo del grupo GRIMAT y dentro del semillero SITTA, buscando vincular los conocimientos adquiridos en cursos como POT, Geomorfología, Geoestadística, Riesgo Geológico y Cambio Climático, SIG, entre otros, brindando recomendaciones y posibles soluciones frente a la problemática que se percibe en el sector externo, en las comunidades como tal.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la eficacia de los proyectos de geotecnia implementados durante 2020 – 2021 en el área de estudio desde la perspectiva técnica y de gestión del riesgo, para saber si las obras de mitigación son suficientes y si han solucionado el problema de riesgo por remoción en masa.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Examinar informes y documentos técnicos relacionados con las obras de mitigación realizadas sobre la vía Girón al aeropuerto de Bucaramanga en el PR 67+200 durante los años 2020 a 2021 para la determinación del control y estabilidad de las mismas.
2. Validar el tiempo de vida de las obras de mitigación mediante el análisis de la documentación técnica para la generación de propuesta de mantenimiento de nuevas obras al respecto.
3. Proponer una serie de alternativas frente a los proyectos de geotecnia implementados en el área de estudio, teniendo en cuenta herramientas de políticas de gestión del riesgo frente a los proyectos de ingeniería para establecer eficiencia, eficacia y efectividad.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo del presente documento, es necesario partir de unas políticas y lineamientos teóricos y conceptuales, que permitan definir la hoja de ruta del proceso, así como argumentar técnicamente las conclusiones. Por lo tanto, se expone un marco teórico, dividido en dos apartados, el primero correspondiente a las guías y metodologías de gestión del riesgo que definen las directrices para la actuación a partir del conocimiento, la reducción del riesgo y las respuestas en caso de desastre; y el segundo apartado, correspondiente a las teorías asociadas a la geotecnia y a la estabilización de taludes.

2.1.1. METODOLOGÍA PARA EVALUAR LOS RIESGOS MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

En Colombia, la experiencia de los daños y pérdidas por desastres hacen evidentes problemas para el desarrollo. Esta problemática exige una transformación al país para afrontar los desafíos que representan condiciones de riesgo, variabilidad climática y escenarios de cambios climáticos, los cuales son factores causantes de que los desastres estén cambiando y sus impactos sea mayores.

Reconociendo esta necesidad, desde el Sistema General de Regalías en el marco del Acuerdo 052 de 2018, se hace explícito la obligatoriedad de que los proyectos que contemplan infraestructura dentro de sus componentes deben elaborar un análisis de riesgo de desastres conformidad con el artículo 38 de la Ley 1523 de 2012, con el fin de prevenir futuras condiciones de riesgo en su instalación y operación. (*Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo. Metodología para evaluar los riesgos. Tomo 2. S.f*).

De acuerdo con lo anterior, el Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Unidad Nacional, presenta una caja de herramientas, con el objetivo de proporcionar instrumentos para orientar la incorporación de la gestión del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático en los proyectos de inversión pública (PIP) financiados por cualquier fuente de recursos¹, en las fases de prefactibilidad (fase II) y de factibilidad (fase III) de la etapa de pre inversión.

Esta primera herramienta se basa en una guía metodológica para realizar la evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, en el proceso de formulación de proyectos de inversión pública y en relación con los eventos amenazantes de inundaciones, movimientos en masa, avenidas torrenciales, vendavales, erosión costera y ascenso en el nivel del mar, incendios forestales y sequías, recomendaciones frente a sismos y actividad volcánica. Esta metodología proporciona insumos para seleccionar las medidas de intervención identificadas, la que arroje mejor relación costo/beneficio, incluyendo evaluación de cobeneficios, luego de incorporar en el análisis la variabilidad, los escenarios y los riesgos climáticos. Principalmente apunta al conocimiento del riesgo, mediante el análisis y evaluación de riesgos. Así mismo, contempla la selección de medidas de reducción del riesgo.

Aplicar esta metodología en la formulación y estructuración de los proyectos de inversión pública conlleva las siguientes ventajas (*Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo. Metodología para evaluar los riesgos. Tomo 2*):

- Aumenta la probabilidad de aprobación por parte de las entidades financiadoras y, por lo tanto, del éxito del proyecto.
- Permite contar con una base sólida para la planificación y toma de decisiones.
- Se protege la población interna y externa al proyecto, previendo, de manera anticipada, las consecuencias de potenciales fallas y adoptando las medidas necesarias para reducirlas.
- Se protegen los recursos públicos, al generar inversiones más seguras.
- Se puede optimizar el diseño del proyecto y, en consecuencia, reducir sus costos, al identificar las debilidades del mismo (condiciones de riesgo que se pueden generar y/o condiciones de riesgo presentes en el entorno).
- Se da cumplimiento a las normas legales en la materia.

El considerar la variabilidad climática y el cambio climático, permite dimensionar sus efectos en los componentes del riesgo (amenaza y vulnerabilidad), a través del tiempo en el horizonte del proyecto.

Permite contribuir a la gestión local y regional del riesgo de desastres.

2.1.1.1 Características de la metodología

Esta metodología aplica en la etapa de pre-inversión en la fase de prefactibilidad (fase II) o en la fase factibilidad (fase II) según sea el caso, en las actividades de formulación como parte de la estructuración de un proyecto, para la realización de los estudios de riesgos de desastres e incluye la evaluación costo beneficio para seleccionar medidas de intervención o tratamiento del riesgo.

En la fase de perfil (fase I), se debe contar con la identificación del problema a resolver a través del proyecto, las metas a alcanzar, la identificación del análisis preliminar de la viabilidad de las alternativas disponibles, con lo cual se puede recomendar cuales de ellas requieren de estudios adicionales en los eventos que sean necesarios o ser revaluadas por considerarse inviables.

En la fase de perfil (fase I), se debe contar con la identificación clara del problema a resolver a través del proyecto, las metas a alcanzar, así como con la identificación del análisis preliminar de la viabilidad de las alternativas disponibles.

La fase de prefactibilidad (fase II), mediante la realización de estudios más exhaustivos, en esta fase se deben precisar diferentes aspectos de las alternativas y de ser procedente se podrá determinar la conveniencia de continuar en la fase de factibilidad con solo una de estas. En los casos que del análisis anterior se derive la necesidad de realizar estudios complementarios de detalle, aquí se deberán definir el tipo de áreas temáticas, así como los términos de referencia y los costos demandados por estos nuevos estudios.

En la fase de factibilidad (fase III), con la alternativa seleccionada previamente, en esta fase se cubren los aspectos técnicos a nivel de ingeniería de detalle, legales, económicos y financieros, que minimicen el riesgo de la ejecución de la inversión. La evaluación de esta fase establece la conclusión de la etapa de pre-inversión, ya sea porque demuestra resultados positivos que recomiendan avanzar a la siguiente etapa y programar su ejecución, o porque arroje resultados negativos que indiquen la conveniencia de rechazar o postergar la decisión en función de otros elementos importantes a considerar

Esta metodología es un instrumento que facilita y articula el cumplimiento de la normatividad colombiana en lo que se refiere a la incorporación de la gestión del riesgo de desastres y el cambio climático en los proyectos de inversión pública.

Involucra tanto una visión retrospectiva como prospectiva, al analizar, de una parte, la amenaza, vulnerabilidad y riesgo desde su contexto histórico y de otra, los escenarios posibles durante el ciclo de vida del proyecto, lo que permite tener en cuenta la influencia de la variabilidad y el cambio climático en los factores de riesgo.

2.1.2. Aplicabilidad de la metodología

Esta metodología propone una clasificación de los proyectos según su relación con el riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático, en términos de su naturaleza y su complejidad. Es pertinente señalar que esta misma clasificación se propone en la “Guía para analizar los riesgos” que junto con el presente y otros dos

documentos componen la “Caja de herramientas para orientar la incorporación del análisis de riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático en los proyectos de inversión pública” (DNP, MinAmbiente, MinHacienda UNGRD y GIZ, 2019).

Tabla 2-1 Clasificación de proyectos según naturaleza

Tipología según naturaleza	Clasificación	Descripción
1	Infraestructura cubierta por los planes de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas, según el Decreto 2157 de 2017 (Presidencia de la República de Colombia, 2017), en relación con la naturaleza.	Infraestructura para la prestación de un servicio público.
		Infraestructura para el desarrollo de actividades industriales, estas son las relacionadas con la transformación mecánica o química de sustancias orgánicas e inorgánicas en productos nuevos.
		Infraestructura para el desarrollo de otras actividades que puedan significar riesgos de desastres para la sociedad o el ambiente, debido a eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional.
		Infraestructura para el transporte y almacenamiento de carga, incluye transporte por tuberías.
		Infraestructura para las aglomeraciones de personas (espacios físicos).
	Proyectos de construcción de edificaciones pertenecientes al grupo de uso IV – Edificaciones indispensables, según Reglamento colombiano de diseño y construcción sismo resistente NSR-10, adoptado por el	Servicios de cirugía, salas de cuidados intensivos, salas de neonatos o de atención de urgencias.
		Todas las edificaciones que componen aeropuertos, estaciones ferroviarias y de sistemas masivos de transporte, centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión.

Tipología según naturaleza	Clasificación	Descripción	
	Decreto 926 de 2010 (Presidencia de la República de Colombia, 2010)	Edificaciones designadas como refugios para emergencias, centrales de aeronavegación, hangares de aeronaves de servicios de emergencia.	
		Edificaciones de centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos.	
		Edificaciones que contengan agentes explosivos, tóxicos y dañinos para el público.	
		Estructuras que alberguen plantas de generación eléctrica de emergencia, los tanques y estructuras que formen parte de sus sistemas contra incendio, y los accesos, peatonales y vehiculares de las edificaciones tipificadas en los literales a, b, c, d y, e de la NSR-10 del grupo de uso IV.	
	Proyectos de construcción de edificaciones pertenecientes al grupo de uso III – De atención a la comunidad, según el Reglamento colombiano de diseño y construcción sismorresistente NSR-10 adoptado por el Decreto 926 de 2010 (Presidencia de la República de Colombia, 2010).		Estaciones de bomberos, defensa civil, policía, cuarteles de las fuerzas armadas, y sedes de las oficinas de gestión del riesgo de desastres.
			Garajes de vehículos de emergencia
			Estructuras y equipos de centros de atención de emergencias.
			Guarderías, escuelas, colegios, universidades y otros centros de enseñanza.
			edificaciones del grupo II para las que el propietario desee contar con seguridad adicional.
			Aquellas otras que la administración municipal, distrital, departamental o nacional designe como tales.
Proyectos de construcción de edificaciones pertenecientes al grupo de uso II – Estructuras de ocupación especial definidos en A.2.5.1 del Reglamento colombiano de diseño y		Edificaciones en donde se puedan reunir más de 200 personas en un mismo salón.	

Tipología según naturaleza	Clasificación	Descripción
	construcción sismorresistente NSR-10 adoptado por el Decreto 926 de 2010 (Presidencia de la República de Colombia, 2010).	Graderías al aire libre donde pueda haber más de 2000 personas a la vez.
		Almacenes y centros comerciales con más de 500 m ² por piso.
		Edificaciones de hospitales, clínicas y centros de salud, no cubiertas en el grupo de uso IV.
		Edificaciones donde trabajen o residan más de 3000 personas.
	Edificios gubernamentales.	
	Proyectos que requieren licencia ambiental	Los proyectos, obras o actividades de los sectores hidrocarburos, minero, eléctrico, construcción, etc., según artículos 8 y 9 del Decreto 2041 de 2014 (Presidencia de la República, 2014), así como los que se enumeran en los artículos 2.2.2.3.2.2 y 2.2.2.3.2.3 del Decreto 1076 de 2015 (Presidencia de la República de Colombia, 2015).
	Proyectos que contemplen dentro de sus componentes infraestructura y que sean financiados por el Sistema General de Regalías	Según lo definido en el Acuerdo 52 de 2018 (Comisión Rectora del Sistema General de Regalías, 2018)
2	Proyectos no incluidos en la tipología 1.	

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo. Metodología para evaluar los riesgos. Tomo 2, S.f.

Tabla 2-2 Clasificación de proyectos según complejidad

Tipología según complejidad	Clasificación	Descripción
I	Magnitud	Proyectos que por su tamaño involucren, en caso de falla, la potencial afectación de áreas de significativas proporciones en relación con la capacidad de atención y respuesta de las entidades territoriales involucradas.
		Proyectos que por su presupuesto involucren, en caso de falla, consecuencias sobre la estabilidad fiscal de las entidades territoriales involucradas, copando las previsiones de los fondos de gestión del riesgo de desastres respectivos.

Tipología según complejidad	Clasificación	Descripción
	Infraestructura cubierta por los planes de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas, según el Decreto 2157 de 2017 (Presidencia de la República de Colombia, 2017), en relación con la complejidad.	Obras civiles mayores.
		Construcciones categoría IV alta complejidad, según el Decreto 1077 de 2015 (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio [MVCT], 2015), es decir, con área de construcción mayor a 5.000 metros cuadrados y sistemas estructurales diferentes a lo dispuesto en el título E del Reglamento colombiano de diseño y construcción sismorresistente NSR 10.
	Criterio de espacialidad	Proyectos que se localicen de manera dispersa en varios lugares o su localización es indeterminada, así como los proyectos lineales.
	Proyectos que se ubiquen en o cerca de lugares de especial valor para la comunidad o de reconocida sensibilidad ambiental, social o cultural.	Zonas de ronda o zonas de manejo y protección ambiental y sitios de interés o de patrimonio científico, arquitectónico, cultural, arqueológico, entre otros.
	Impacto sobre la comunidad.	Proyectos cuyo impacto positivo o negativo sobre la población involucre cambios en los medios de vida.
II	Proyectos no incluidos en la tipología I.	

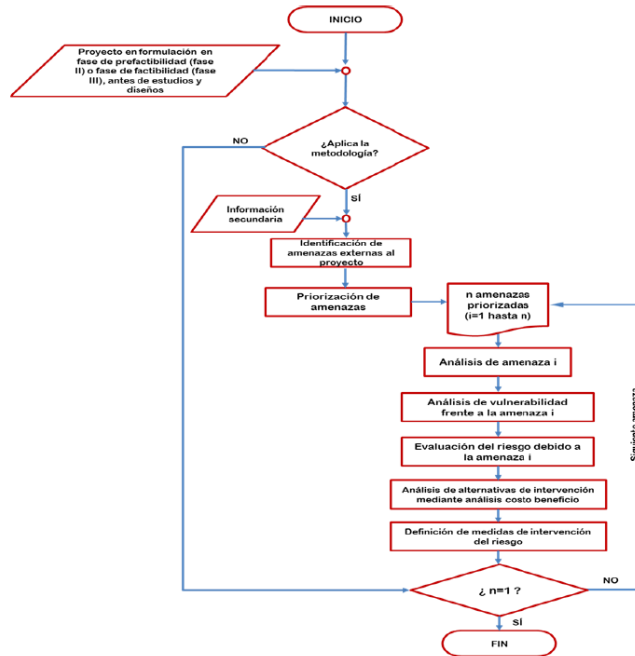
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo. Metodología para evaluar los riesgos. Tomo 2. S.f

De acuerdo con la clasificación de los proyectos de inversión pública, se recomienda que la “*Metodología para evaluar los riesgos*” sea aplicada solamente a los proyectos que se ubiquen en las categorías 1 y I de la Tabla 2-1 y Tabla 2-2, respectivamente.

2.1.3. Proceso metodológico

La Figura 2-1 muestra el diagrama de flujo del procedimiento metodológico para fase de pre-factibilidad (fase III) y fase de factibilidad (fase III). Ambas fases tienen pasos en común que se describen a continuación.

Figura 2-1 Proceso metodológico general



Como $i=1$, si también $n=1$, es decir, que solo hay una amenaza priorizada, el ciclo culmina después de la definición de medidas de intervención del riesgo (para la amenaza evaluada); pero si n es diferente de 1, es decir, que hay 2 o más amenazas priorizadas, el ciclo se repite para cada una de ellas.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo. Metodología para evaluar los riesgos. Tomo 2, S.f.

2.1.3.1 Información de entrada

La entrada inicial del proceso la constituyen los datos del proyecto, cuyo nivel de definición debe ser acorde con la fase de formulación de este, y para ello se debe disponer de la información a ese detalle y escala de trabajo. Esta metodología supone una escala mínima de cartografía e información técnica de 1:25.000 para proyectos que se estén formulando en fase de prefactibilidad (fase II), aunque se recomienda usar la información más detallada posible que se disponga; para proyectos en fase de factibilidad (fase II), en principio debe ser la misma escala de diseño del proyecto.

2.1.3.2 Identificación y priorización de amenazas

Esta actividad busca determinar las amenazas para tener en cuenta y su priorización, empleando criterios de magnitud y frecuencia, considerando las tres dimensiones de análisis: del entorno al proyecto, del proyecto al entorno y los riesgos internos del proyecto.

Identificadas todas las amenazas, se deben priorizar para tener en cuenta solamente aquellas que sean relevantes al análisis. Para evaluar las amenazas del

entorno al proyecto, así como las del proyecto al entorno, específicamente cuando éste pueda exacerbar o transformar una amenaza preexistente, en primer lugar, se debe ubicar el proyecto en las zonificaciones o macro zonificaciones regionales de amenaza.

Una vez ubicado el proyecto en su contexto general de amenazas, es necesario revisar y estudiar, a nivel local, la historia de eventos ocurridos y registrados.

Las amenazas se deben ordenar de conformidad con su prioridad (alta, media, baja), teniendo en cuenta los criterios de frecuencia y potencial de daño, seleccionando para el análisis aquellas de las que se tenga indicio de estar en categoría alta y media.

2.1.3.3 Procedimiento general para analizar las amenazas

Esta metodología define como determinantes de la amenaza los factores condicionantes que establecen la susceptibilidad, así como los factores detonantes. Una vez se cuente con la información, y se compare el análisis con los registros históricos, se puede determinar la amenaza.

Si el resultado del contexto general de amenaza indica que el proyecto se encuentra en una zonificación de amenaza alta, se debe hacer estudios detallados o ejecutar medidas de reducción del riesgo de desastres, según sea el caso.

De igual manera, si de acuerdo con el objeto del proyecto se pueden tener varios escenarios simultáneos de actividad, se hace necesario evaluar la amenaza en cada uno de esos escenarios.

En la Figura 2-2 se presenta el procedimiento general para analizar las amenazas priorizadas.

Figura 2-2 Análisis de la amenaza



*Dependiendo del evento amenazante, los registros históricos se utilizan como: 1) Insumo del análisis de susceptibilidad, 2) Calibración de los resultados del análisis de amenaza, o 3) Única fuente del análisis de amenaza.

** La variabilidad Climática No se considerará como único factor detonante, se considerarán los factores detonantes que tengan en consideración las precipitaciones y se deberán analizar eventos extremos o frecuencias no estacionales.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo. Metodología para evaluar los riesgos. Tomo 2. S.f.

2.1.3.4 Factores detonantes

Son los factores que, dadas las condiciones favorables para la ocurrencia de la amenaza (susceptibilidad), son responsables de que se produzca el fenómeno, actuando como disparadores del evento amenazante. Son específicos para cada amenaza y no generalizables, varían de acuerdo con el área del estudio, y tienen una incidencia importante en el comportamiento de la amenaza.

2.1.3.5 Análisis prospectivo de amenaza

La metodología plantea que, el análisis de amenaza para la situación actual puede considerarse suficiente para proyectos cuya vida útil es menor a un año. Para los proyectos que tienen un horizonte a mediano y largo plazo, se puede esperar que se presenten cambios por las dinámicas de las amenazas y por la influencia del cambio climático, por lo que es previsible una modificación de las condiciones iniciales, lo cual puede requerir nuevos análisis para esos escenarios prospectivos.

2.1.4. PROCEDIMIENTOS DE INVESTIGACIÓN

Tomando como referencia el libro Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales del autor Jaime Suarez Díaz, 1998; el cual es un texto guía para el estudio y la práctica de Ingeniería y Geotecnia, que incluye análisis, diseño y construcción de taludes con énfasis en los problemas de deslizamientos de tierra, se presenta la siguiente metodología planteada en el libro que brinda los procedimientos de investigación de una ladera, talud o deslizamiento para obtener toda la información posible sobre las características topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales que permitan realizar el diagnóstico de los problemas y un diseño efectivo de solución, conociendo los parámetros básicos que afectan la estabilidad.

En la Tabla 2-3 se presentan los parámetros que se requiere determinar en el estado de un deslizamiento:

Tabla 2-3 Parámetros que se requiere determinar en el estudio de un deslizamiento

Tema	Parámetro	Características
Topografía	Localización con coordenadas	Planta de localización de ríos, cañadas, depresiones, humedades, vegetación, vías, escarpes, áreas de deslizamiento, etc.
	Líneas de nivel	Levantamiento con líneas de nivel que permitan determinar las áreas deslizadas o en proceso de movimiento. Identificar los escarpes, levantamientos y otras anomalías.
	Cambios topográficos	Localizarlos y correlacionarlos con la geología, aguas lluvias o subterráneas, posibles deslizamientos anteriores, procesos antrópicos, etc. Localizar focos de erosión, evidencia de movimientos, hundimientos o levantamientos del terreno. Ratas de cambio de la topografía con el tiempo.
	Perfiles	Curvatura, convexidad. Correlacionarlos con la geología y con el plano de líneas de nivel. Calcular pendientes y alturas. Localizar los perfiles en el plano en planta.
	Drenaje superficial	Si es continuo. Si es intermitente. Parámetros del sistema.
Geología	Formación Geológica	Litología y características de cada formación. Secuencia de las formaciones. Profundidad a la cual aparece roca sana. Presencia de coluviones. Caracterización del suelo residual. Presencia de minerales susceptibles a alteración.

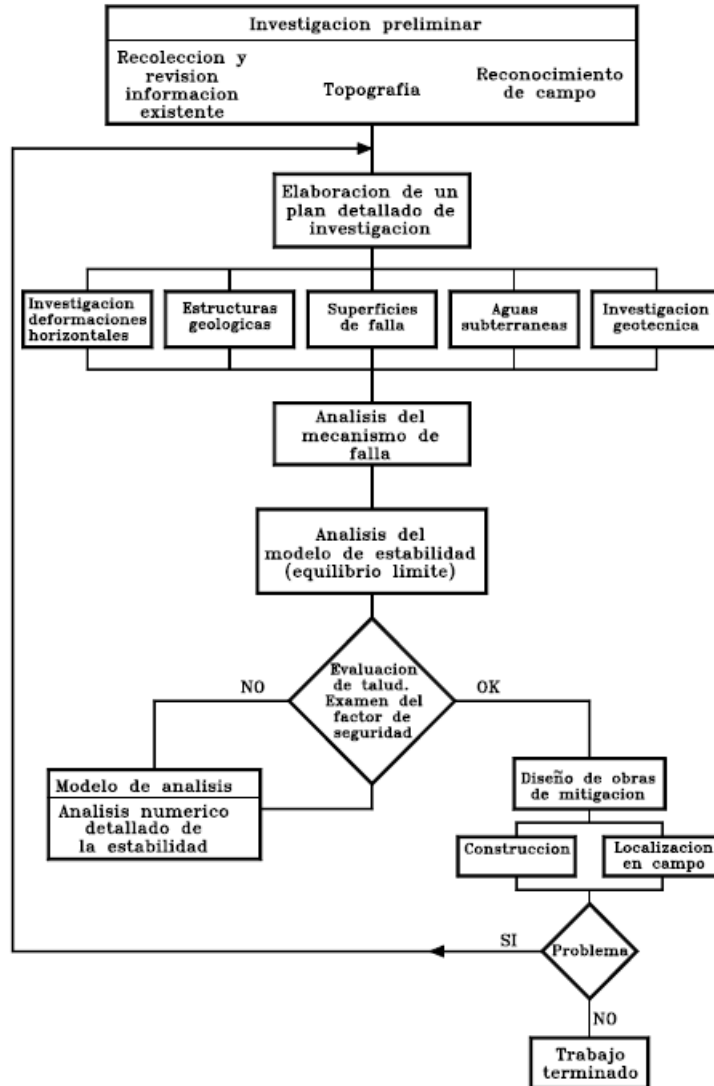
Tema	Parámetro	Características
	Estructura en tres dimensiones	Estratificación. Espesor y características de cada manto. Plegamiento. Rumbo y buzamiento de los planos o foliaciones. Cambios de Rumbo o Buzamiento. Relación entre Rumbos y Buzamientos con la pendiente del talud. Fallas, brechas y zonas de corte.
	Discontinuidades	Rumbo. Buzamiento. Separación entre discontinuidades. Aspereza. Abertura. Material de relleno. Continuidad. Fricción y Cohesión.
	Meteorización	Profundidad. Características (químicas y mecánicas). Elaboración de perfiles de meteorización.
	Fracturación	Tamaño de los bloques. Forma de los bloques. Posibilidades de deslizamiento o volteo.
Agua superficial	Precipitación	Precipitaciones máximas mínimas y promedio, anuales mensuales y diarias. Lluvia máxima en una hora. Forma (lluvia granizo o nieve). Horario y duración de las lluvias.
	Cuenca tributaria	Área. Pendiente. Cobertura vegetal
	Escorrentía	Tiempo de concentración y cálculo del caudal máximo para diseño
	Infiltración	Infiltración en % relacionada con la precipitación
Agua subterránea	Altura del nivel de agua	Niveles normales, aislados y suspendidos. Planos de líneas de nivel freático y líneas de flujo
	Fluctuaciones	Fluctuaciones del nivel de agua con el tiempo y su relación con las lluvias. Variación de los niveles en el momento exacto de una lluvia. Fluctuaciones a lo largo del año. Fluctuaciones de año en año
	Caracterización.	Altura capilar. Presión de poros y presiones artesianas. Velocidad y dirección del movimiento del agua. Indicaciones superficiales de afloramientos de agua, zonas húmedas y diferencias en la vegetación. Química de las aguas subterráneas. Sales disueltas, contaminación, presencia de aceites. Efecto de las actividades humanas sobre el nivel freático. Posibilidad de fugas de ductos de servicios públicos. Características del drenaje interno.
Mov. De falla	Tipo de falla	Caído, flujo, deslizamiento de rotación o traslación, etc. y caracterización.
	Caracterización	Profundidad y forma de la superficie de falla. Dirección del movimiento Rata de movimiento. Área y volumen.

Tema	Parámetro	Características
Factores Externos	Sísmica	Aceleración de diseño – Intensidad y Magnitud, Profundidad de epicentros. Distancia de los epicentros. Relaciones con fallas geológicas cercanas, cambios sísmicos con el tiempo, presencia de suelos susceptibles a sufrir cambios por vibraciones. Presencia de volcanes.
	Vegetación	Especies presentes, Cobertura, características del follaje y las raíces. Comportamiento de evapotranspiración.
	Clima general	Clima. Lluvias. Vientos. Temperatura (media y extremos horaria y diaria) – Cambios barométricos.
	Intervención antrópica	Modificaciones causadas por el hombre, áreas de deforestación, localización de piscinas, tuberías de acueducto y alcantarillado, irrigación, minería, cortes y rellenos etc. Utilización del agua Subterránea y restricciones. Empozamientos y adición de agua. Cambios en la dirección del agua superficial. Cambios en la cobertura del suelo que afectan la infiltración. Deforestación. Movimiento de vehículos, detonación de explosivos, Maquinaria Vibratoria. Cortes, rellenos, pavimentos etc.
Mecánica de suelos	Propiedades mecánicas	Erosionabilidad. Granulometría-Plasticidad – Clasificación. Resistencia al corte (ángulo de fricción y Cohesión). Permeabilidad. Sensitividad. Expansibilidad.

Fuente: Suarez Díaz, Jaime. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Ingeniería de suelos Ltda.

En la Figura 2-3 se muestra en diagrama de flujo la metodología para la investigación y análisis de deslizamientos propuesto por la sociedad de deslizamientos de Japón (1996).

Figura 2-3 Diagrama de flujo para la investigación y análisis de deslizamientos



Fuente: Japan Landslide Society, 1996

2.1.4.1 Organización del estudio

Se recomienda realizar un estudio con las siguientes etapas para encontrar las causas y mecanismos de falla y poder cuantificar los parámetros que determinan la estabilidad de un talud, el cual permitirá diseñar las obras de estabilización:

- Reconocimiento e identificación del sitio
- Análisis de la información existente

- Estudio de las características superficiales del sitio que permitan la caracterización topográfica y geotécnica.
- Investigación de campo que incluye sondeos, toma de muestras y ensayos in situ para cuantificar los parámetros del suelo.
- Investigación de laboratorio
- Análisis de información obtenida, modelación matemática y diseño.

2.1.4.2 Procedimiento de análisis de la información existente

Es importante utilizar la información existente, como la historia del problema, planos básicos, etc., con el fin de entender las propiedades topográficas, geológicas, etc., de los deslizamientos. Estos deslizamientos ocurren en sitios específicos bajo ciertas condiciones topográficas, geológicas, climáticas y ambientales.

Se recomienda los siguientes pasos para el análisis de la información existente:

- Fotografías aéreas e información de sensores remotos
- Estudios de los mapas geológicos y topográficos
- Análisis de los documentos mencionados anteriormente.

2.1.4.3 Visita de reconocimiento

Se debe realizar un análisis general de la información existente y definir claramente el área de interés, previo a la visita de campo. El área de interés debe incluir los taludes afectados y las regiones adyacentes que pueden contribuir en las causas de los movimientos.

Se recomienda examinar los patrones regionales y locales de la topografía para localiza elementos anormales tales como valles truncados, cambios bruscos de pendiente, vegetación o estructura de la superficie del terreno.

2.1.4.4 Estudio topográfico

La topografía de un sitio de deslizamiento produce información básica para el análisis de los movimientos. Los reconocimientos preliminares utilizan los planos topográficos existentes o las fotografías aéreas. Sin embargo, se requiere un detalle topográfico para localizar muchos elementos críticos, los cuales pueden estar enmascarados por la vegetación.

Los levantamientos topográficos tienen los siguientes objetivos:

- Establecer controles en tierra para el mapeo fotogramétrico y la instrumentación.
- Obtener detalles topográficos, especialmente, de aquellos factores ocultos por la vegetación.
- Determinar los perfiles topográficos para los análisis de estabilidad.

- Establecer un marco de referencia sobre el cual puedan compararse los movimientos
- futuros del terreno.

2.1.4.5 Investigación geotécnica detallada

El área para investigar dependerá del tamaño del proyecto y de la extensión de los factores geológicos y topográficos que afectan el problema a estudiar. El área para estudiar deberá ser lo más extensa posible:

- Los deslizamientos deben relacionarse con áreas estables a su alrededor.
- Los deslizamientos son en general mucho más extensos que lo que se sospecha inicialmente.
- El área para estudiar deber ser al menos el doble del área que se presume, comprende el problema.
- El área debe incluir las fuentes de agua subterránea y superficial y las estructuras geológicas que pueden afectar la estabilidad.

La profundidad de la investigación es más compleja de definir, los sondeos deben profundizarse hasta identificar los materiales estables por debajo de los movimientos reales o potenciales. El periodo de estudio debe incluir periodos lluviosos y secos y por lo menos debe tenerse información de un año de duración, aunque es común que los fenómenos climáticos críticos tarden 10 a 20 años en repetirse en su máxima actividad.

Todo talud debe diseñarse para algo más que las peores condiciones climáticas que se esperen, de lo contrario se puede llegar a conclusiones optimistas que tienen un nivel muy alto de riesgo.

2.1.4.6 Sondeos geotécnicos

La exploración subsuperficial incluye sondeos, ensayos de campo y ensayos geofísicos.

La investigación debe planearse en la siguiente forma:

- Definir con anticipación la geología del terreno para poder determinar el tipo y característica de la investigación.
- Determinar los sistemas de investigación subsuperficial.
- Determinar localización, espaciamiento y profundidades de sondeos.
- Determinar frecuencia y tipo de muestras.

Los objetivos generales de los sondeos son:

- Identificar y caracterizar las formaciones más débiles que pueden afectar el movimiento.
- Identificar las formaciones más resistentes que pueden limitar la extensión de la zona de falla.
- Localizar niveles de agua subterránea, presiones y características del agua.
- Identificar la distribución subsuperficial de materiales.
- Cuantificar las propiedades físicas de los materiales (humedad, gradación, plasticidad, resistencia al corte y otras propiedades) para emplearlos posteriormente en el análisis de estabilidad.
- Realizar ensayos de campo, tales como penetración, veleta, etc.
- Desarrollar ensayos geofísicos.
- Se pueden utilizar apiques manuales, zanjas de exploración, sondeos manuales o sondeos mecánicos.

2.1.4.7 Ensayos de campo

Los ensayos de campo tienen la ventaja de poder simular situaciones en el ambiente mismo del talud y son muy útiles para cuantificar los parámetros que se emplean en el análisis de un deslizamiento.

Los ensayos más empleados son:

- Ensayo de penetración estándar
- Cono estático
- Penetrómetro de bolsillo
- Presurómetro
- Ensayo de veleta
- Ensayo de veleta de bolsillo (Torvane)
- Ensayo de corte en el sondeo
- Ensayo de placa
- Corte directo de campo
- Ensayo de permeabilidad

2.1.4.8 Ensayos geofísicos

Los ensayos geofísicos son generalmente, la forma más rápida y económica de obtener información sobre las características de los perfiles del subsuelo en áreas relativamente grandes, estas técnicas no reemplazan los sondeos y deben utilizarse con un control de campo muy estricto.

Los principales métodos geofísicos utilizados en deslizamientos son:

- Resistividad
- Ensayos sísmicos

- Detección del ruido no audible (Método geoacústico)
- Ensayo de gravedad
- Ensayo de penetración de radar
- Radiación de rayos gama

2.1.4.9 Ensayos de laboratorio

Se deben realizar ensayos que permitan obtener las propiedades de los suelos para los análisis, en tal forma que sean lo más representativos de las situaciones reales en el campo. Los ensayos comúnmente utilizados para análisis de laderas y taludes son los siguientes:

- Humedad o contenido de agua.
- Límites de Atterberg o plasticidad.
- Gravedad Específica.
- Distribución granulométrica.
- Contenido de Sulfatos y acidez.
- Compactación.
- Permeabilidad.

2.1.4.10 Instrumentación

Para poder obtener información del comportamiento del talud a lo largo de periodos de tiempo y el poder medir parámetros geotécnicos, se radica la posibilidad de la utilidad de la instrumentación de campo.

Las situaciones típicas en las cuales se requiere instrumentación son las siguientes:

- Determinación de la profundidad y forma de la superficie de falla en un deslizamiento activo.
- Determinación de los movimientos laterales y verticales dentro de la masa deslizada.
- Determinación de la rata o velocidad de deslizamiento y el establecimiento de mecanismos de alarma.
- Monitoreo de la actividad de cortes naturales e identificación de los efectos de una determinada construcción.
- Monitoreo de los niveles de agua subterránea o presiones de poro y su correlación con la actividad del deslizamiento.

- Colocación de medidores y comunicación a un sistema de alarma.
- Monitoreo y evaluación de la efectividad de diferentes sistemas de estabilización o control.

Los instrumentos más empleados son los siguientes:

- Equipos convencionales de topografía
- Medidor superficial de inclinación
- GPS diferencial
- Extensómetros horizontales
- Extensómetros verticales
- Medidor de agrietamientos
- Medidor de verticalidad
- Detector de movimientos
- Inclinómetros
- Piezómetros
- Sistemas de alarma

2.1.5. PREVENCIÓN, ESTABILIZACIÓN Y DISEÑO

Siguiendo con la guía del libro Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales del autor Jaime Suarez Díaz, 1998; el cual establece las siguientes medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo:

2.1.5.1 Métodos para disminuir o eliminar el riesgo

Una vez estudiado el talud, definidos los niveles de amenaza y riesgo, el mecanismo de falla y analizados los factores de equilibrio, se puede pasar al diseño del sistema de prevención control o estabilización.

A continuación, se presentan algunas de las metodologías que se han utilizado para disminuir o eliminar el riesgo a los deslizamientos de tierra:

- **Prevención:** La prevención incluye el manejo de la vulnerabilidad, evitando la posibilidad de que se presenten riesgos o amenazas. La prevención debe ser un programa del estado, en todos sus niveles mediante una legislación y un sistema de manejo de amenazas que permita disminuir los riesgos a deslizamiento en un área determinada.

Tabla 2-4 Métodos de prevención de la amenaza o el riesgo

Método	Ventajas	Desventajas
Disuasión con medidas coercitivas	Son muy efectivas cuando la comunidad está consciente del riesgo y colabora con el estado.	El manejo de los factores socioeconómicos y sociales es difícil.
Planeación del uso de la tierra	Es una solución ideal para zonas urbanas y es fácil de implementar.	No se puede aplicar cuando ya existe el riesgo.
Códigos técnicos	Presenta herramientas precisas para el control y prevención de amenazas.	Se requiere de una entidad que los haga cumplir.
Aviso y Alarma	Disminuye en forma considerable el riesgo cuando es inminente.	Generalmente, se aplica después de ocurrido el desastre.

Fuente: Suarez Díaz, Jaime. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Ingeniería de suelos Ltda.

- **Elusión de la amenaza:** Eludir la amenaza consiste en evitar que los elementos en riesgo sean expuestos a la amenaza de deslizamiento.

Tabla 2-5 Métodos de elusión de amenazas de deslizamientos

Método	Ventajas	Desventajas
Variantes o relocalización del proyecto	Se recomienda cuando existe el riesgo de activar grandes deslizamientos difíciles de estabilizar o existen deslizamientos antiguos de gran magnitud. Puede ser el mejor de los métodos si es económico hacerlo	Puede resultar costoso y el nuevo sitio o lineamiento puede estar amenazado por deslizamientos.
Remoción total de deslizamientos	Es atractivo cuando se trata de volúmenes pequeños de excavación.	La remoción de los deslizamientos puede producir nuevos movimientos.
Remoción parcial de materiales inestables	Se acostumbra el remover los suelos subsuperficiales inestables cuando sus espesores no son muy grandes.	Cuando el nivel freático se encuentra subsuperficial se dificulta el proceso de excavación.

Método	Ventajas	Desventajas
Modificación del nivel del proyecto o subrasante de una vía.	La disminución de la altura de los cortes en un alineamiento de gran longitud puede resolver la viabilidad técnica de un proyecto.	Generalmente, al disminuir la altura de los cortes se desmejoran las características del proyecto.
Puentes o viaductos sobre los movimientos	Muy útil en terrenos de pendientes muy altas	Se requiere cimentar los puentes sobre suelo estable y las pilas deben ser capaces de resistir las fuerzas laterales del material inestable.

Fuente: Suarez Díaz, Jaime. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Ingeniería de suelos Ltda.

- **Control:** Hacen referencia a métodos tendientes a controlar la amenaza activa antes que se produzca el riesgo a personas o propiedades. Consisten en estructuras que retienen la masa en movimiento. Estas obras se construyen abajo del deslizamiento para retenerlo después que se ha iniciado.

Tabla 2-6 Estructuras de control de masas en movimiento

Método	Ventajas	Desventajas
Bermas	Generalmente son económicas rápidas de construir.	Se requiere un espacio grande a mitad de talud.
Trincheras	Sirven al mismo tiempo para controlar las aguas lluvias.	Los cantos fácilmente pasan por encima.
Estructuras de retención	Retienen las masas en movimiento	Se pueden requerir estructuras algo costosas.
Cubiertas de protección	Son uno de los métodos más efectivos para disminuir el riesgo en carreteras.	Son muy costosas.

Fuente: Suarez Díaz, Jaime. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Ingeniería de suelos Ltda.

- **Estabilización:** Los sistemas de estabilización se pueden clasificar en cinco categorías principales:

Tabla 2-7 Método 1: conformación del talud o ladera

Método	Ventajas	Desventajas
Remoción de materiales de la cabeza del talud.	Muy efectivo en la estabilización de deslizamientos rotacionales.	En movimientos muy grandes las masas a remover tendrían una gran magnitud.
Abatimiento de la pendiente.	Efectivo especialmente en suelos friccionantes.	No es viable económicamente en taludes de gran altura.
Terraceo de la superficie.	Además de la estabilidad al deslizamiento, permite construir obras para controlar la erosión.	Además de la estabilidad al deslizamiento, permite construir obras para controlar la erosión.

Fuente: Suarez Díaz, Jaime. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Ingeniería de suelos Ltda.

Tabla 2-8 Método 2: Recubrimiento de la superficie

Método	Ventajas	Desventajas
Recubrimiento de la superficie del talud.	El recubrimiento ayuda a controlar la erosión.	Se debe garantizar la estabilidad del recubrimiento.
Conformación de la superficie.	Puede mejorar las condiciones del drenaje superficial y facilitar el control de erosión.	Su efecto directo sobre la estabilidad es generalmente, limitado.
Sellado de grietas superficiales.	Disminuye la infiltración de agua.	Las grietas pueden abrirse nuevamente y se requiere mantenimiento por períodos importantes de tiempo.
Sellado de juntas y discontinuidades.	Disminuye la infiltración de agua y presiones de poro en las discontinuidades	Puede existir una gran cantidad de discontinuidades que se requiere sellar.
Cobertura vegetal. Árboles Arbustos y Pastos	Representan una alternativa ambientalmente excelente. (Ver capítulo 8)	Pueden requerir mantenimiento para su establecimiento

Fuente: Suarez Díaz, Jaime. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Ingeniería de suelos Ltda.

Tabla 2-9 Método 3: Control de agua y presión de poros

Método	Ventajas	Desventajas
Canales superficiales para control de escorrentía.	Se recomienda construirlos como obra complementaria en la mayoría de los casos. Generalmente, las zanjas se construyen arriba de la corona del talud.	Se deben construir estructuras para la entrega de las aguas y disipación de energía.
Subdrenes de zanja.	Muy efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos en suelos saturados subsuperficialmente.	Poco efectivos para estabilizar deslizamientos profundos o deslizamientos con nivel freático profundo.
Subdrenes horizontales de penetración.	Muy efectivos para interceptar y controlar aguas subterráneas relativamente profundas.	Se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto.
Galerías o túneles de subdrenaje.	Efectivos para estabilizar deslizamientos profundos en formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas.	Muy costosos.
Pozos profundos de subdrenaje.	Útiles en deslizamientos profundos con aguas subterráneas. Efectivos para excavaciones no permanentes.	Su uso es limitado debido a la necesidad de operación y mantenimiento permanente.

Fuente: Suarez Díaz, Jaime. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Ingeniería de suelos Ltda.

Tabla 2-10 Método 4: Estructuras de contención

Método	Ventajas	Desventajas
Relleno o berma de roca o suelo en la base del deslizamiento.	Efectivos en deslizamientos no muy grandes especialmente en los rotacionales actuando como contrapeso.	Se requiere una cimentación competente para colocar el relleno.
Muros de contención convencionales, de tierra armada etc.	Útiles para estabilizar masas relativamente pequeñas.	Se requiere una buena calidad de cimentación. Son poco efectivos en taludes de gran altura

Método	Ventajas	Desventajas
Pilotes	Son efectivos en movimientos poco profundos, en los cuales existe suelo debajo de la superficie de falla que sea competente para permitir el hincado y soporte de los pilotes.	No son efectivos en deslizamientos profundos o cuando aparece roca o suelo muy duro debajo de la superficie de falla. Poco efectivos en deslizamientos rotacionales.
Anclajes o pernos	Efectivos en roca, especialmente cuando es estratificada.	Se requieren equipos especiales y son usualmente costosos.
Pantallas ancladas	Útiles como estructuras de contención de masas de tamaño pequeño a mediano.	Existen algunas incertidumbres sobre su efectividad en algunos casos, especialmente, cuando hay aguas subterráneas y son generalmente costosas.

Fuente: Suarez Díaz, Jaime. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Ingeniería de suelos Ltda.

Tabla 2-11 Método 5: Mejoramiento de la resistencia del suelo

Método	Ventajas	Desventajas
Inyecciones o uso de químicos.	Endurecen el suelo y pueden cementar la superficie de falla.	La disminución de permeabilidad puede ser un efecto negativo.
Magmaficación	Convierte el suelo en roca utilizando rayos especiales desarrollados por la industria espacial	Su utilización en la actualidad es solamente para uso experimental.
Congelación.	Endurece el suelo al congelarlo	Efectos no permanentes
Electro-osmosis	Reducen el contenido de agua	Utilización para estabilización no permanente
Explosivos	Fragmenta la superficie de falla.	Su efecto es limitado y puede tener efectos negativos.

Fuente: Suarez Díaz, Jaime. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Ingeniería de suelos Ltda.

Por lo general, en la estabilización de deslizamientos se emplean sistemas combinados que incluyen dos o más tipos de control de los que se indican en las tablas anteriores.

Otra decisión que se afronta es la decisión sobre el factor de seguridad, de los cuales se recomiendan, (*Suarez Díaz, Jaime. 1998*):

Tabla 2-12 Criterios para seleccionar un factor de seguridad para diseños de taludes

Caso	Factor de seguridad
Si puede ocurrir la pérdida de vidas humanas al fallar el talud	1.7
Si la falla puede producir la pérdida de más del 30% de la inversión de la obra específica o pérdidas consideradas importantes.	1.5
Si se pueden producir pérdidas económicas no muy importantes.	1.3
Si la falla del talud no causa daños.	1.2

Fuente: Suarez Díaz, Jaime. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Ingeniería de suelos Ltda.

2.2. MARCO LEGAL

LEY, DECRETO, ACUERDO, DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN DE LA NORMA
Políticas de gestión del riesgo (ley 1523 de 2012)	Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres y se dictan otras disposiciones.
Metodología para evaluar los riesgos, Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, UNGRD, 2018.	presenta la metodología para la evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de desastres, incluidos el riesgo climático y la evaluación costo beneficio, para proyectos en fases de prefactibilidad (fase II) y de factibilidad (fase III).
Guía metodológica para análisis de remoción en masa del Servicio Geológico Colombiano.	En esta guía se describen los lineamientos metodológicos para realizar estudios de riesgo por movimientos en masa a escala detallada o local, que se podrán aplicar en la mayoría de las cabeceras municipales y centros poblados pequeños y medianos de Colombia; es decir, aquellos considerados dentro de las categorías 5 y 6, de acuerdo con las leyes 136 de 1994 y 1551 de 2012.
Manual de estabilidad de taludes geotecnia vial 1988 (Invias)	El manual compendia todos los conceptos requeridos para el estudio detallado del tema, desde la definición de talud y los elementos que lo componen, hasta métodos para el análisis de estabilidad y técnicas de inventario.
NSR – 10 - Título H. (estudios geotécnicos).	Proveer las recomendaciones geotécnicas de diseño y construcción de excavaciones y rellenos, estructuras de contención, cimentaciones, rehabilitación o reforzamiento de edificaciones existentes y la definición de espectros de diseño sismorresistente, para soportar los efectos por sismos y por otras amenazas geotécnicas desfavorables.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Como marco conceptual se han adoptado los conceptos sobre desastres, Gestión del Riesgo y conceptos geotécnicos y de obras de estabilización:

- **Amenaza:** Corresponde al peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.
- **Mitigación del riesgo:** Medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad existente.
- **Riesgo:** Es la probabilidad de que ocurra un desastre. Se obtiene de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.
- **Estabilidad de taludes:** En el estudio de la estabilidad de taludes se abordan fenómenos de estado último o de rotura de masas de suelo, siendo el agente externo responsable de la inestabilidad una fuerza de masa como el peso y los efectos de filtración, a los cuales se añaden otros factores como las sobrecargas.
- **Deslizamiento:** Es la deformación que sufre la masa de suelo o roca como consecuencia de movimientos muy lentos por acción de la gravedad. Se suele manifestar por la inclinación de los árboles y postes, el corrimiento de carreteras y la aparición de grietas.
- **Metodología:** se denomina la serie de métodos y técnicas de rigor científico que se aplican sistemáticamente durante un proceso de investigación para alcanzar un resultado teóricamente válido. En este sentido, la metodología funciona como el soporte conceptual que rige la manera en que aplicamos los procedimientos en una investigación
- **Gestión del riesgo:** Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia de este,

impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción.

- **Vulnerabilidad:** Es la exposición, debilidad o incapacidad de resistencia frente a las amenazas que presenta una comunidad, persona o elemento que es considerado de valor para el hombre, también se refiere a la incapacidad para recuperarse de los efectos de un desastre, lo cual no sólo depende de la convivencia con la amenaza, sino de múltiples factores presentes en la localidad.
- **Desastre:** Es la ocurrencia efectiva de un fenómeno peligroso (amenaza), que como consecuencia de la vulnerabilidad de los elementos expuestos causa efectos adversos sobre los mismos. En otras palabras, es la manifestación de un riesgo no manejado. Normalmente se expresa en términos de pérdidas materiales y/o pérdidas de vidas.
- **Talud:** Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente.

2.4. MARCO AMBIENTAL

Dentro del marco ambiental, se toma como referencia el documento VOLUMEN VII “ESTUDIO DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA” “REHABILITACIÓN DE LA CALZADA DERECHA DE LA VÍA 62-06, DEL TRAMO: INTERSECCIÓN Y DEL AEROPUERTO (PR 63+800) Y LA INTERSECCIÓN PALENQUE (PR 71+310 RUTA 6602), MEDIANTE LA ESTABILIZACIÓN ENTRE EL PR 67+200 AL PR 67+300” Departamento de Santander, República de Colombia, en el cual presentan los estudios requeridos de las obras de manejo de aguas lluvias de escorrentía para la protección del talud.

De acuerdo con la información de referencia, para la ejecución del estudio hidrológico fue consultada la información suministrada por el IDEAM sobre precipitaciones registradas en las estaciones, encontrando la estación del aeropuerto Palonegro 23195130 con datos desde 1974, así como el manual de drenaje del Instituto Nacional de Vías INVIAS.

2.5. MARCO GEOLÓGICO

El sector de estudio se encuentra localizado sobre la carretera “San Gil - Floridablanca”, entre las abscisas PR67+0200 – PR67+0300 VIA BUCARAMANGA - LEBRIJA, Departamento de Santander.

2.5.1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS GENERALES

2.5.1.1 Geología Regional

Los alrededores del Área Metropolitana de Bucaramanga muestran unidades litoestratigráficas con variada litología, las cuales corresponden a rocas sedimentarias de diferentes edades, rocas metamórficas e ígneas del Macizo de Santander y depósitos cuaternarios recientes en el que se incluyen los suelos aluviales de la Formación Bucaramanga.

El área de estudio se encuentra localizada sobre las laderas estructurales en la vía Girón-Lebrija donde predominan rocas altamente fracturadas de la Formación Girón, y sobre las cuales se presentan algunos depósitos de origen coluvial y de derrubio.

En la depresión de Bucaramanga se encuentran principalmente depósitos Cuaternarios representados por la Formación Bucaramanga, la cual agrupa importantes depósitos aluviales que morfológicamente corresponden a un abanico aluvial. Amplias laderas orientales, como se mencionó anteriormente están

constituidas por el Neis de Bucaramanga (p€b), Fomación Silgará (pDs) y las Formaciones Jurásicas Jordán (Jj) y Girón (Jg). Hacia el occidente de esta depresión, se reconocen y se evidencian las rocas de la Formación Girón infrayacentes a la Formación Bucaramanga y la presencia de espesos mantos de roca al occidente del sistema de fallas del Suárez. A continuación, se describen las unidades de mayor importancia en la zona.

Tectónicamente el área de estudio se encuentra enmarcado entre el Sistema de Fallas del Suárez y el Sistema de Fallas de Bucaramanga-Santa Marta, y hace parte del bloque hundido o depresión tectónica, definida como una dovela por Julivert en 1958, como un Graben por Tripton (1963), o como una cuenca de tracción (pullapartbasin) por León, Albino (1991); el área de interés se localiza al occidente de este marco estructural.

Presenta una fisiografía correspondiente a las laderas estructurales correspondientes a la Mesa de Lebrija donde se observan amplios taludes laterales con pendientes que varían de moderadas a fuertes, con algunas variaciones por el desarrollo de algunas laderas coluviales locales. A continuación, se describen las principales unidades geológicas. (*INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III*).

Neis de Bucaramanga (p€b)

Nombre propuesto por Goldsmith y otros (1971, en Ward et al. 1.973), para una describir una secuencia estratificada de rocas metasedimentarias de alto grado metamórfico que consisten principalmente de paraneispelítico, semipelítico y arenáceo, esquisto y cantidades subordinadas de neis calcáreo, mármol, neis hornbléndico y anfibolita.

Esta unidad consta de rocas metamórficas de alto grado, con fábrica orientada y textura gruesa a media. Está compuesta, principalmente, de neis semipelítico, neis hornbléndico, anfibólita y esquisto; incluye también zonas de migmatitas (Ward et al., 1973) y es posible la existencia de rocas cataclásticas, cerca de los planos de las fallas principales. También se han detectado pequeñas cantidades de mármol. Con base en los estudios realizados en el Área Metropolitana de Bucaramanga, los materiales de esta Unidad presentan en su nivel superficial suelos residuales compuestos por arenas limosas y arenas arcillosas de color rojizo, blanco y amarillo mostrando diferentes grados de meteorización, pero se presentan algunos sectores hacia el occidente donde la roca fracturada y moderadamente meteorizada aparece a aproximadamente 15 metros de profundidad. (*INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III*).

Formación Girón (Jg)

La Formación Girón (Jg) es un conjunto de rocas de origen sedimentario que conforman el basamento principal de la zona de mesas, incluyendo la depresión tectónica de Bucaramanga; incluye una serie de niveles sedimentarios que se encuentra muy bien representada en afloramientos en la mayor parte del área metropolitana de Bucaramanga; A esta unidad se le atribuyen espesores que varían de acuerdo con el autor entre 2.600 y 4.840 metros. Algunos geólogos incluyen en el grupo Girón la Formación Jordán (Jj).

De acuerdo a la descripción del cuadrángulo H-12 de Ingeominas, la Formación Girón (Jg) está compuesta por arenisca conglomerática y conglomerado gris amarillento a pardo rojizo, masivos y lenticulares; limolita pardo rojiza (Ward y otros, 1973). Se presentan grandes afloramientos en la margen izquierda del río de Oro, en el cerro de Palonegro, sobre la vía que comunica con el aeropuerto, donde consta de conglomerados y areniscas, de color amarillo-naranja, alternando con capas de lodolitas rojas violáceas. Las rocas en dicho sector se presentan muy fracturadas y cizalladas debido a la acción del sistema de fallas del Suárez.

La morfología que la formación Girón desarrolla en la zona corresponde a zonas con escarpes fuertes y ladera empinada dependiendo del buzamiento de los estratos.

(INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.).

Formación Tambor (Kita)

Esta unidad litoestratigráfica cretácea está constituida por areniscas conglomeráticas, lodolitas rojo grisáceas y cuarzo areniscas gris amarillentas, en capas tabulares de espesor variable; esta formación aflora en la parte alta de la mesa de Ruitoque con inclinaciones muy suaves casi horizontales y se observa en los cortes de la vía de acceso al condominio Ruitoque donde se observa su estratigrafía; descansa en discontinuidad estratigráfica sobre la Formación Girón.

(INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.).

Formación Bucaramanga (Qb)

Descrita inicialmente por De Porta (1958). Corresponde a un depósito sedimentario aluvial de edad Cuaternario, morfogenéticamente definido como un abanico aluvial, asociado a un control tectónico en su desarrollo y depositación.

El espesor del depósito aumenta de oriente a occidente y aunque el valor real de éste se desconoce, siendo actualmente motivo de investigación, algunos cortes

geológicos permiten estimar, en los sectores más profundos, valores promedios cercanos a los 250 m.

Por su granulometría, morfología, agentes de transporte y fuentes de los materiales, esta unidad se acumuló en un ambiente típicamente fluvial, donde alternan materiales de origen aluvial tipo cono de deyección, flujos de escombros, canal y lagunar. Se referencia mediante cuatro miembros: Miembro Órganos, Miembro Finos, Miembro Gravoso y Miembro Limos Rojos.

(INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.).

Depósitos de Abanicos (Qab)

Son depósitos de piedemonte de origen aluvio torrencial y aluvio gravitacional, provenientes principalmente de la denudación de los materiales alterados que componen el Macizo de Santander, los cuales son transportados a lo largo de los cauces de corrientes de agua que nacen en éste. Se han descrito anteriormente como Flujos de escombros. De acuerdo con las características granulométricas, geométricas y composicionales, estos depósitos provienen de flujos torrenciales de detritos y, en parte, flujos de escombros.

(INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.).

Se presentan sobre el piedemonte oriental del Área Metropolitana, entre el casco urbano de Floridablanca y Piedecuesta, donde se reconocen materiales cuyo depósito, al pie de la ladera montañosa, forma abanicos y conos de deyección y superficie suavemente ondulada, con drenaje paralelo a subparalelo. Se destaca los depósitos donde se localizan los perímetros urbanos de Floridablanca y Piedecuesta. Se reconocen también este tipo de material al occidente del río de Oro sector vía Chimitá-Café Madrid.

(INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.).

Las características generales que definen este depósito en abanico cuaternario en Floridablanca que puede tener un origen diluvial, incluyen la presencia de materiales heterogéneos, pobremente seleccionados que incluyen suelos, fragmentos de roca, angulares y redondeados y la distribución espacial caótica e irregular de los materiales dispuestos como depósitos varios o capas espesas, superpuestas en patrones complejos intercaladas con capas aluviales. Están constituidos esencialmente por fragmentos de rocas ígneas y metamórficas del macizo, tamaño grava y bloque, principalmente neises y granodiorita, esporádicamente anfibolitas y esquistos, en matriz areno-limosa; Estos depósitos sedimentarios se han venido acumulando mediante repetidos episodios de descargas torrenciales,

probablemente violentas, por lo que los espesores y sus proporciones granulométricas y volumétricas son muy variados.

(INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.).

Se pueden encontrar eventos clasto-soportados, con predominio de bloques y gravas, como también matriz soportados, con predominio de arena; el tamaño máximo de estos bloques puede sobrepasar 1 m de diámetro.

Aluvial reciente y Terrazas de acumulación (Qal, Qal1, Qal2)

Se referencian los depósitos que corresponden a las principales acumulaciones están localizadas en las márgenes de las corrientes y llanuras de inundación de algunas quebradas de la zona. En general contienen cantos de areniscas silíceas, areniscas conglomeráticas, conglomerados, cuarcitas y lodolitas, como también granito, granodiorita, diorita, gabro, neis y esquisto, en una matriz areno lodosa y arenosa; Los cantos son de forma sub-redondeada a redondeada y con variabilidad en tamaño.

(INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.).

Depósitos de ladera (Ql)

Los depósitos coluviales (Ql) se conforman por antiguos deslizamiento o desprendimientos de material que generalmente se localizan en la parte baja de escarpes montañosos, representando zonas con topografía generalmente ondulada y de pendientes suaves; su granulometría es irregular, aunque localmente se caracterizan por presentar bloques angulares embebidos en una matriz arcillosa. Se presentan de manera irregular en toda el Área Metropolitana de Bucaramanga.

(INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.).

Llenos antrópicos (Qllm)

Se referencian los materiales que han sido dispuestos por la actividad del hombre, específicamente durante el desarrollo de obras civiles y construcción; este tipo de depósito es muy común en las zonas urbanizadas del área metropolitana. Su espesor y composición es variable. *(INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.).*

2.5.1.2 Geología Local

Formación Girón (Jg)

Los materiales que constituyen esta unidad lito-estratigráfica corresponden a suelos residuales compuestos por arenas arcillosas de color rojo con vetas de color amarillo, arcillas con algo de arena de color rojo, limos arenosos de color rojo con amarillo y zonas grises irregulares, arenas limosas de color rojo con tonalidades amarillas. En los alrededores se evidencia esta unidad por la presencia de niveles de limolitas y areniscas con variados niveles de meteorización y rastros de planos de discontinuidad que facilitaron el desarrollo de suelos residuales y el fracturamiento de los niveles rocosos. Teniendo en cuenta la información de los estudios de refracción y tomografía sísmicas, se evidencia a profundidad niveles de areniscas, limolitas y conglomerados.

(INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.).

Depósito de Ladera (QI)

Corresponde a suelos arenos arcillosos y limos arenosos en los que se presenta algunos bloques y clastos de roca de diverso tamaño provenientes de los niveles fracturados y acumulados dentro de la matriz y en superficie como resultado del movimiento de material de la Formación Girón. Presenta poco espesor y son susceptibles a fenómenos erosivos. El espesor de este depósito en el lote presenta un promedio de 2.0 m con variaciones locales que alcanzan hasta 4 metros.

Sobre la vía Floridablanca-Piedecuesta se observa este depósito de ladera o coluvión sobre niveles fracturados y meteorizados de la Formación Girón, en los cortes de esta vía se observa la superficie de contacto entre estas dos unidades litoestratigráficas que muestran predominantemente niveles de rocas y suelos residuales limo-arcillosos infrayacentes a los fragmentos de roca embebidos en la matriz de este depósito. *(INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.).*

Depósito de derrubio (Qd)

Corresponde a suelos y fragmentos de roca resultantes del desprendimiento y deslizamiento de niveles de suelos residuales y rocas altamente fracturadas y diaclasadas en zona de influencia de la tectónica por la presencia de la Falla del Suárez. Este depósito contiene suelos de origen coluvial y fragmentos angulares de areniscas en diferentes tamaños; se disponen por efecto de la gravedad a lo largo de algunos de los planos de discontinuidad generados por el tectónico local.

(INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.).

2.5.1.3 Geomorfología Local

Localmente las geoformas presentes corresponden a laderas denudacionales estructurales sobre los materiales de la Formación Girón, sobre la cual se ha desarrollado una superficie local de ladera coluvial constituida por material desprendido y deslizado con espesor variable; estas laderas presentan pendientes entre 30 y 60% donde se observa vegetación arbustiva escasa, algunos árboles y mayor densidad en pastos cortos. Hacia el oriente del lote sobre se presenta una zona intervenida correspondiente a la vía-autopista Bucaramanga-Piedecuesta. (INGEAS S.A.S, 2020, *Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III*).

2.5.1.4 Unidades Geomorfológicas

LDs. Ladera estructural residual. Dominan casi la totalidad del área de estudio y sus alrededores y representan las laderas denudacionales sobre la Formación Girón; sus pendientes son abruptas localmente escarpadas a medianamente inclinadas por la orientación y disposición de la secuencia litoestratigráfica.

LDc Ladera denudacional coluvial. Superficies con pendientes moderadas sobre suelos acumulados de antiguos movimientos de material proveniente de las partes altas de zonas montañosas que suprayacen suelos residuales y niveles fracturados de la Formación Girón. Estas superficies muestran afectación por el desarrollo de eventos morfo estructurales sobre la secuencia altamente diaclasada y fracturada de la Formación Girón, facilitando su arrastre y desplazamiento. (INGEAS S.A.S, 2020, *Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III*).

LDd. Ladera denudacional de derrubio. Se referencia la actual morfología resultante de la acumulación del material desprendido y caído por efecto de deslizamientos ocurridos en la zona de estudio. Presenta alguna variación en su espesor a lo largo del área afectada. Presentan pendientes medias con superficies irregulares.

ZI. Zonas intervenidas. En esta unidad se referencian las áreas intervenidas por obras viales, en la zona de estudio local, el corredor Bucaramanga-Lebrija. (INGEAS S.A.S, 2020, *Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III*).

2.5.1.5 Procesos Erosivos

Se evidencian desprendimientos, deslizamientos y movimiento de material sobre planos de discontinuidad generados por el tectónico local con desarrollo de acumulaciones en la base de los taludes y eventualmente sobre la calzada de la vía.

Gran parte de los eventos desarrollados en la zona de estudio están asociados a desprendimiento de niveles de rocas altamente fracturadas y diaclasadas sobre la zona de influencia del Sistema de Fallas del Suárez, generando extensos planos de discontinuidad con generación de cuñas estructurales de alta inclinación, algunos sobre los planos de estratificación caracterizados en esta zona por ser mayores a 60°. Los materiales desprendidos corresponden a bloques de roca, en gran proporción angulares que son dispuestos por efecto de la gravedad sobre estas cuñas hasta llegar a la base de las laderas.

Efectos secundarios generados en la zona corresponden a hundimientos y desarrollo de ondulaciones sobre el pavimento en la vía, por las características de la litología local compuesta por intercalaciones de estratos de areniscas resistentes y limolitas blandas que presentan deformación por su carácter y nivel de permeabilidad y porosidad en rocas altamente fracturadas y diaclasadas. (INGEAS S.A.S, 2020, *Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.*).

2.5.1.6 Geología Estructural

La zona de estudio se encuentra estructuralmente sobre el área afectada por los diferentes trazos del Sistema de Fallas del Suárez, muy cerca de la zona de intersección entre el trazo principal y fallas secundarias o ramificaciones. Es notoria la variación de la inclinación de buzamiento entre los niveles rocosos aflorantes en el área de estudio. El resultado de esta falla se ve reflejado también en el alto grado de fracturamiento y desarrollo de discontinuidades, planos de falla y familias de diaclasas. (INGEAS S.A.S, 2020, *Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.*).

2.5.1.7 Fallas

Sistema de Fallas Bucaramanga-Santa Marta

Este sistema tiene un trazado que comprende desde el sur del Macizo de Santander hasta la costa Caribe, al Oeste de Santa Marta con una extensión cartografiada de 600 kilómetros aproximadamente. Se han reconocido fallas asociadas al lineamiento principal. La Falla Bucaramanga – Santa Marta es una gran falla de rumbo.

Se calcula un desplazamiento lateral izquierdo, según el rumbo de 110 kilómetros. Dentro de los rasgos que la caracterizan están el notable alineamiento recto expresado en valles lineados y diferencias litológicas.

En la región de Bucaramanga esta falla delimita las rocas Precámbricas que constituyen El Neis de Bucaramanga con los materiales de las unidades

cuaternarias que conforman la Formación de Bucaramanga. (*INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.*).

Sistemas de Fallas del Suarez

Es un sistema de fallas localizado al occidente del Área metropolitana de Bucaramanga en los alrededores de Girón; corresponde a una falla inversa que afecta principalmente rocas sedimentarias de la formación Girón, las cuales presentan plegamiento por arrastre alcanzando posiciones verticales y en algunos casos invertidas. Se extiende por una longitud de 120 km desde Barbosa hasta su intersección con la falla de Bucaramanga - Santa Marta, su trazo tiene una dirección general N20°E y N25°E con inclinación al occidente y sigue el curso del río del mismo nombre. Es una falla inversa de ángulo alto, con un componente vertical importante y plano de falla probablemente subvertical. Anualmente se le calcula un desplazamiento vertical de 0.1 mm/año (París y Sarria, 1988) para un desplazamiento total aproximado entre 400 y 2.300 m (Ward, D. et al. 1973); además posee un desplazamiento de rumbo sinistral y existen evidencias de campo de actividad neotectónica (Julivert, 1963; Ward, 1973, et al.).

En cercanías a la falla se observa un fuerte fracturamiento y un alto grado de meteorización de las rocas hasta el punto de llegarse a confundir con Depósitos Cuaternarios (Julivert, 1963).

(*INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.*).

Falla de Ruitoque

Es una falla de tipo normal, desarrollada de manera ortogonal al sistema de Fallas de Bucaramanga, responsable del levantamiento de la Mesa de Ruitoque, afectando la Formación Tambor del Cretáceo y poniéndola en contacto con la Formación Girón del Jurásico.

(*INGEAS S.A.S, 2020, Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.*).

Falla de Río de Oro

La falla de Río de Oro fue reconocida en el presente estudio al occidente del sector de Chimitá; se observa brechamiento en las unidades afectadas (formación Girón y Miembro Organos). La dirección de la falla es principalmente Norte 50° Este y se le asigna un comportamiento inverso con el bloque occidental levantado y un desplazamiento dextral, se reconocieron evidencias de neotectónica para esta falla

en afloramientos del miembro Órganos nivel inferior en la orilla izquierda del Río de Oro en el sector de la desembocadura de la quebrada Chimitá.
(INGEAS S.A.S, 2020, *Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.*)

Falla de Florida

Es una falla inferida que presenta una dirección paralela al Sistema de Fallas de Bucaramanga en sentido NW-SE con leve cambio de dirección; se ha trazado desde la zona de Lagos II aledaña a la autopista Bucaramanga-Piedecuesta hasta el sector norte de las laderas orientales de la Mesa de Ruitoque; esta falla ha sufrido pequeños desplazamientos por eventos tectónicos asociados a fallas ortogonales a la misma, afectando rocas de las formaciones Girón y Tambor.

La presencia de estas fallas locales se evidencia por el fracturamiento de las rocas aflorantes. Sin embargo, aunque las rocas de la Formación Girón se encuentran altamente fracturadas y con cambios en la inclinación de buzamiento, no se evidencia la continuidad de esta falla en los sectores aledaños. (INGEAS S.A.S, 2020, *Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.*)

2.5.1.8 Geomorfología Regional

En la región se destacan variadas geoformas entre las que sobresale el piedemonte con el Macizo de Santander limitado por el sistema de fallas de Bucaramanga y sus fallas satélites donde se observa una morfología estructural-denudacional ondulada y de relieve bajo, seguida hacia el sur por una zona de valles que han sido el resultado de la depositación coluvio-aluvial de materiales provenientes del macizo, distribuidos en conos de deyección sobre las formaciones rocosas Girón y Jordán. Hacia el occidente es notoria el cambio morfológico entre los suelos aluviales y los escarpes montañosos de la Formación Girón afectados por el Sistema de Fallas del Suárez. (INGEAS S.A.S, 2020, *Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.*)

Las zonas de mesetas están comprendidas por la Mesa de Ruitoque y la mesa de Los Santos al sur y la mesa de Lebrija hacia el occidente. En general es una zona de contrastes topográficos donde sobresalen áreas de alta y media montaña y un modelado de valle intermontano formando valles aluviales y abanicos o conos de deyección, caracterizándose por las bajas pendientes en contraste con las formaciones rocosas. (INGEAS S.A.S, 2020, *Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.*)

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

Según la Ley 1523 de 2012, la gestión del riesgo es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones para el conocimiento, la reducción del riesgo y las respuestas en caso de desastre, con el fin de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas. Por lo tanto, se constituye en una política de desarrollo para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial y la participación de la población, incorporando normas de prevención, atención, recuperación, manejo de emergencias y reducción de riesgos. (*Ministerio del Interior, Ley Sistema Nacional de Gestión del Riesgo, 2012*).

De acuerdo con lo anterior, existen diferentes metodologías para evaluar las amenazas, vulnerabilidad y riesgo en los proyectos, en relación con eventos amenazantes como las inundaciones, movimientos en masa, avenidas torrenciales, vendavales, erosión costera, incendios forestales y sequías.

Para este caso particular, este documento busca describir desde la perspectiva técnica y de gestión del riesgo los proyectos de geotecnia implementados durante 2020-2021 en el PR 67+200 de la vía Girón – Aeropuerto de Bucaramanga, como obras de mitigación que se llevaron a cabo para dar cumplimiento al desarrollo territorial y gestión del riesgo debido a que son zonas de riesgo para la vida humana por el alto flujo vehicular que transita sobre estas vías.

Esta información es suministrada de los informes y documentos técnicos realizados por la empresa INGEAS S.A.S Ingenieros Geotecnistas Asociados, en los cuales describen las obras realizadas según el componente Geológico, estructural, hidráulico y de estabilidad de taludes.

Para llevar a cabo esta descripción, se toma como referencia la metodología descrita en el libro Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales del autor Jaime Suarez Díaz, 1998, en el cual proponen una serie de principios generales para la reducción de amenazas de deslizamiento utilizando sistemas de prevención, manejo y estabilización de deslizamientos. En todos los casos la eliminación total de los problemas no es posible mediante métodos preventivos, también requiere establecer medidas de control para la estabilización de taludes los cuales pueden sufrir deslizamientos.

Así mismo, presenta los parámetros que se requieren determinar en el estudio de un deslizamiento, obteniendo toda la información posible sobre las características

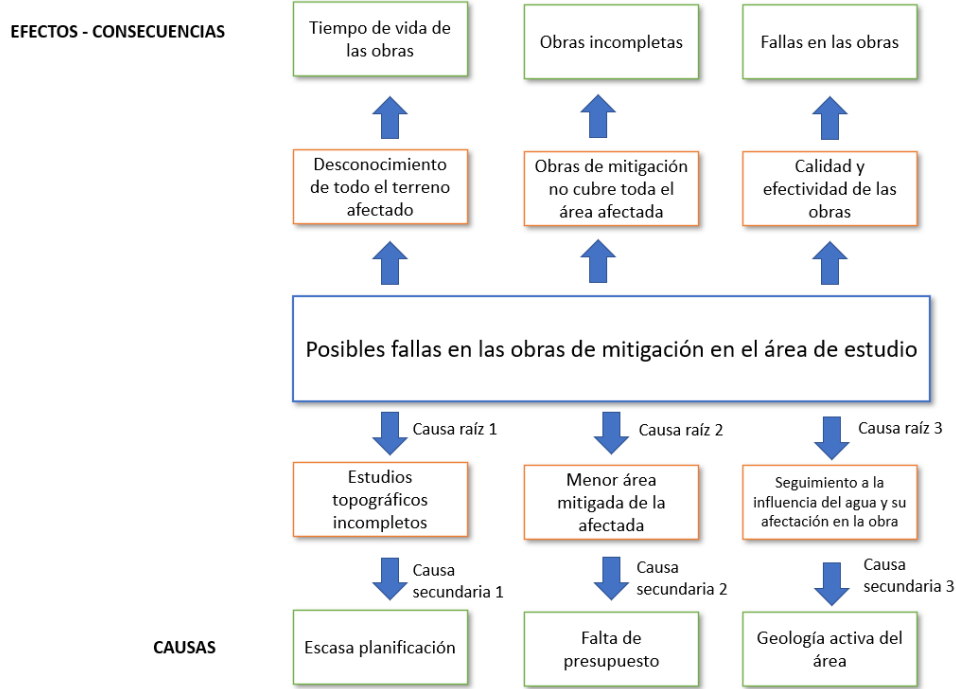
topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales, con el fin de que el diagnóstico sea lo más preciso y el diseño sea efectivo. Estos parámetros los comprenden la geometría, que es la representación topográfica del talud, los parámetros geológicos y los parámetros hidrológicos e hidrogeológicos. (Suarez Díaz, Jaime. 1998).

Adicionalmente, la metodología presenta herramientas para el estudio del talud o deslizamiento, sugiriendo las etapas mínimas que debe contener el estudio con el fin de diagnosticar y diseñar las obras de estabilización indicadas al problema. Estas etapas incluyen:

- Reconocimiento del sitio
- Análisis de la información existente
- Estudios de las características superficiales del sitio que permitan la caracterización topográfica.
- Investigación de campo que incluye sondeos, toma de muestras y ensayos in situ para cuantificar los parámetros del suelo.
- Investigación de laboratorio
- Análisis de la información, modelación y diseño.

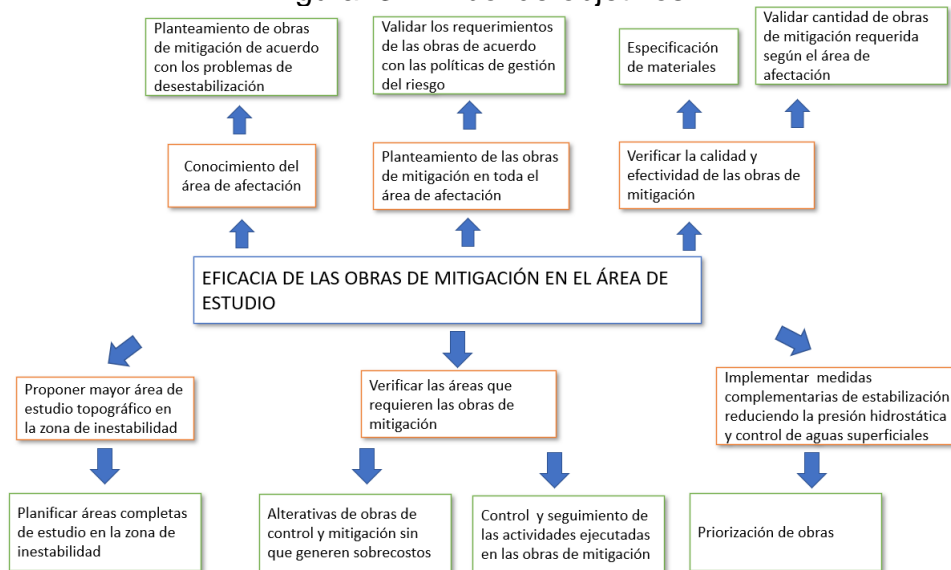
De acuerdo con lo anterior, se realiza la comparación de los parámetros a evaluar definidos en la metodología del libro *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales* del autor Jaime Suarez Díaz, 1998 y la información contenida en los estudios y diseños presentados por la empresa INGEAS S.A.S Ingenieros Geotecnistas Asociados para el proyecto INTERSECCIÓN Y DEL AEROPUERTO (PR 63+800) Y LA INTERSECCIÓN PALENQUE (PR 71+310 RUTA 6602), MEDIANTE LA ESTABILIZACIÓN ENTRE EL PR 67+200 AL PR 67+300” Departamento de Santander, República de Colombia.

Figura 3-1 Árbol de problemas



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 3-2 Árbol de objetivos



Fuente: Elaboración propia, 2022.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

4.1. RECONOCIMIENTO DEL SITIO

4.1.1. Localización del proyecto

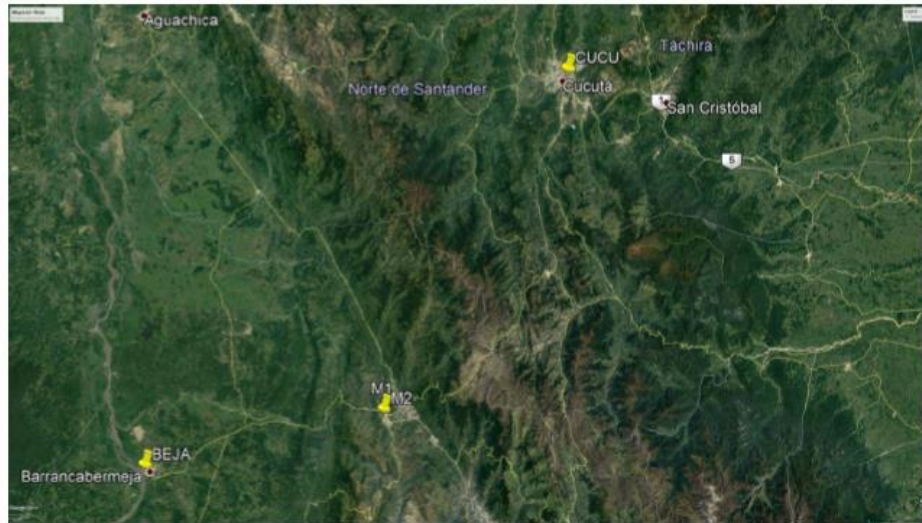
El municipio de Floridablanca se encuentra al sur de la ciudad de Bucaramanga a 8 kilómetros. Tiene una extensión de 100.35 Km², ubicados a 925 metros sobre el nivel del mar y con una temperatura promedio de 23 grados centígrados. Los límites municipales están definidos así:

Por el norte limita con los municipios de Bucaramanga y de Tona; al oriente con los municipios de Tona y de Piedecuesta; al sur con el municipio de Piedecuesta; y al occidente con los municipios de Girón y de Bucaramanga. Con el Municipio de Tona, partiendo del morro el Murcielaguito, punto de concurso de los municipios de Floridablanca, Tona y Bucaramanga; se sigue en dirección noreste (NE) por el filo de la cuchilla hasta encontrar el morro Ventanas, se continúa en dirección sureste (SE), por el camino nacional antiguo, tomando el costado sur, hasta encontrar la carretera Bucaramanga – Pamplona en el sitio denominado la Corcova; de aquí se sigue por una hondonada y en dirección suroeste (SW) y a una distancia aproximada de 200 metros hasta encontrar el río Frío; éste aguas arriba hasta la desembocadura de la quebrada Dos Aguas, ésta aguas arriba, hasta su nacimiento, de aquí en dirección sur (S) por todo el filo hasta el cerro Morro Negro, punto de concurso de los municipios de Floridablanca, Tona y Piedecuesta.

Con el Municipio de Piedecuesta, partiendo de la cima del cerro Morro Negro, punto de concurso de los municipios de Floridablanca, Tona y Piedecuesta, se sigue en dirección noroeste (NW) hasta la carretera nacional que comunica a Bucaramanga con Pamplona; se continúa por el costado occidental del camino de Mantilla en dirección general suroeste (SW) hasta la quebrada Palmichal, la que se sigue aguas abajo, hasta su desembocadura en la quebrada Mensulí; por ésta aguas abajo, hasta Puente Pantano donde se continúa por la quebrada Paramito aguas arriba, hasta su nacimiento en la loma Mesa de Ruitoque, se continúa en dirección oeste (W) hasta la carretera y luego hasta el nacimiento de la quebrada La Chorrera, la que se sigue aguas abajo hasta un puente de concreto. A partir del puente se sigue por la margen occidental de la carretera departamental hasta donde desprende el ramal que conduce a la granja la Mesa en el nacimiento de la quebrada las Tapias, aguas abajo hasta encontrar una hondonada que se sigue en dirección noroeste (NW) hasta llegar al cerro de Morales o Carvajal, punto de concurso de los municipios de Floridablanca, Piedecuesta y Girón.

El sector de estudio se encuentra ubicado sobre la vía San Gil – Floridablanca, entre las abscisas PR67+0200 – PR67+0300, vía Bucaramanga – Lebrija, departamento de Santander.

Figura 4-1 Localización general del proyecto



Fuente: Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III. INGEAS S.A.S, 2020.

4.1.2. Clima

En general el clima del Municipio es catalogado como cálido moderado, con una temperatura promedio de 23 °C, con dos periodos lluviosos y dos secos: el lluvioso comprende los meses de marzo, abril y mayo, para la primera época, y septiembre, octubre y noviembre para la segunda. Las épocas secas están determinadas por los meses de diciembre, enero y febrero y los meses de junio, julio y agosto.

4.1.3. Temperatura

La temperatura promedio anual del Municipio es de 22.8°C, el gradiente de temperatura (variación de la temperatura según la altura) es de 0.7°C por cada 100 metros que se asciende. Las temperaturas máximas y mínimas registradas en el Municipio fueron de 23,8 °C en el mes de marzo y 21.8°C en noviembre de 1984, respectivamente.

4.1.4. Precipitaciones

Las precipitaciones máximas mensuales para el Municipio son de 175.1 milímetros (mm) y se registran en el mes de abril. Los meses de menor precipitación son agosto y diciembre alcanzando sólo los 86.7 mm. El promedio anual de precipitación para el Municipio es de 1.568 mm.

4.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

Los deslizamientos se producen en sitios específicos bajo ciertas condiciones topográficas, geológicas, climáticas y ambientales, por lo que es importante usar la información existente con el fin de conocer y entender las propiedades de los deslizamientos. Se recomiendan los siguientes pasos para el análisis de la información existente (*Suarez Díaz, Jaime. 1998*):

:

4.2.1. Fotografías aéreas e información de sensores remotos

Con las fotografías en varias escalas se puede obtener información regional y local. Además de la información topográfica y geomorfológica, se pueden inferir la geología (tipo de roca, discontinuidades estructurales, localización de coluviones) y detalles de la historia del sitio tales como rellenos, cortes o deslizamientos antiguos. Otra utilización de las fotografías aéreas es la clasificación del terreno en áreas homogéneas; basados en la pendiente, material geológico, erosión e inestabilidad.

El análisis de fotografías tomadas 5, 10 o 50 años antes, puede ofrecer información muy importante para el diagnóstico de los problemas actuales al compararlas con fotografías más recientes.

Adicionalmente, se pueden separar los tipos de forma del terreno, obtener la información de la naturaleza y estabilidad de los materiales que conforman la topografía. Se puede apreciar la densidad y el sistema de los canales de drenaje natural que reflejan la naturaleza del suelo y la roca que conforma el terreno.

En las fotografías aéreas se pueden identificar zonas de concentración de infiltración o afloramiento de agua por su coloración más oscura, debida a la vegetación verde y espesa y a la capacidad reflectiva del suelo húmedo.

Otras herramientas que se pueden emplear en el estudio son las imágenes de satélite cuando no se tengan fotografías aéreas para identificar los deslizamientos.

Para el caso particular de estudio, los documentos de diseño no presentan fotografías aéreas, sin embargo, esta herramienta es de gran aporte para el reconocimiento del terreno y demarcación de deslizamientos. (*Suarez Díaz, Jaime. 1998*).

4.2.2. Mapas geológicos y topográficos

4.2.2.1 Planos topográficos

La información básica para el análisis de los movimientos de un sitio de deslizamiento se puede tomar con la topografía, los cuales tienen los siguientes objetivos:

- Establecer controles en tierra para el mapeo fotogramétrico y la instrumentación.
- Obtener detalles topográficos y en zonas ocultas
- Determinar perfiles topográficos para los análisis de estabilidad
- Establecer marcos de referencia

El área para investigar depende del tamaño del proyecto y de la extensión de los factores geológicos y topográficos que afectan el problema a estudiar, debe ser lo más extensa posible:

- Los deslizamientos deben relacionarse con áreas estables a su derredor.
- Los deslizamientos son en general mucho más extensos que lo que se sospecha inicialmente.
- Como regla general el área a estudiar debe ser al menos el doble del área que se presume, comprende el problema.
- El área debe incluir las fuentes de agua subterránea y superficial y las estructuras geológicas que puedan afectar la estabilidad.

Según la metodología seleccionada, el primer requerimiento de un levantamiento topográfico es establecer un sistema de BMs, estables y sin moverse en el futuro. Se deben ubicar lo más lejanos posibles de la masa deslizada, en sitios de fácil referencia y con coordenadas oficiales. (*Suarez Díaz, Jaime. 1998*).

Keaton y DeGraff (1996) recomiendan que la distancia de los BMs al punto más cercano al movimiento debe ser del 25% del ancho de la zona deslizada. En lo posible deben buscarse afloramientos de roca.

Los mapas topográficos deben incluir la localización y representación lo más precisa posible de agrietamientos, levantamientos del terreno y afloramientos de agua. Deben un mínimo de tres perfiles y es importante seleccionarlos para que incluyan las peores condiciones y las menos críticas. Los perfiles deben abarcar 15 ó 30 metros más por fuera de los movimientos.

De acuerdo con los informes del proyecto de estabilización de la empresa INGEAS S.A, 2020, GEOLOGIA PARA INGENIERIA Y GEOTECNIA SECTOR TALUD PR67+200 – PR67+300 VIA BUCARAMANGA – LEBRIJA, Volumen III y ESTUDIO ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES SECTOR TALUD PR67+200 – PR67+300 VIA BUCARAMANGA – LEBRIJA Volumen V, la topografía fue realizada en el sitio de interés abarcando el área de afectación donde se presentaron los dos deslizamientos. A partir de esta información topográfica se identificaron las laderas, escarpes y realizaron los perfiles geológicos locales.

Para el sitio crítico la empresa INGEAS S.A.S, realizó un levantamiento topográfico, que cubre la zona afectada y a partir del levantamiento se generaron curvas de nivel cada metro, indicando corrientes de agua existentes en la zona y la posición de la corona, sus flancos, pata y los escarpes principales y secundarios; dichos planos se presentan a escala 1:250 y sirven de base para implantar las obras. Con la información topográfica del corredor se procedió a analizar la altura de los cortes existentes mayores a un metro e inclinación.

4.2.2.2 Mapas geológicos

El análisis de la geología regional es el inicio en el estudio de taludes. Mediante esta información se puede inducir la presencia de deslizamientos o terrenos susceptibles a movimientos del talud ya que existe una relación entre la Geología y la inestabilidad de taludes.

Con los mapas geológicos se pueden obtener los parámetros geotécnicos básicos y con los topográficos se pueden conocer las pendientes, accidentes, presencia de cambios de pendiente, sistemas de drenaje y geomorfología. Es importante obtener planos en escalas diferentes para determinar los elementos regionales y locales que puedan afectar el comportamiento geotécnico de los suelos. Adicionalmente, se deben consultar los planos agrícolas, geomorfológicos, de lluvias, isotérmicos, etc., que se encuentren disponibles.

El propósito de estos mapas es evidenciar las características de la superficie del terreno proyectando las condiciones del subsuelo. Estos mapas deben mostrar las características del material en la superficie de terreno y se determina si se trata de roca sana o meteorizada, suelo residual coluviones o aluviones. Además, se debe presentar los detalles de la estructura y las características del drenaje superficial y subterráneo. (*Suarez Díaz, Jaime. 1998*).

Todos los estudios deben realizarse cubriendo no solo el área del predio en estudio, sino toda el área de la geoforma que corresponda al contexto de la evaluación de la amenaza y el riesgo potencial, de acuerdo con el criterio de la CDMB.

La localización de esta área se debe definir de acuerdo con la posición relativa del lote respecto a la geoforma principal, a las características del proyecto y de las amenazas potenciales identificadas. Los Estudios geológicos y geomorfológicos deben incluir un área siempre superior a 10 veces el área del proyecto y en ningún caso inferior a un kilómetro cuadrado. Los estudios geotécnicos y de estabilidad de laderas, en todos los casos deben realizarse cubriendo un área superior a cuatro veces el área del lote del proyecto.

En todos los casos, los estudios deben incluir toda el área de la geoforma afectada por cada una de las amenazas analizadas, de acuerdo con los criterios de la CDMB. (*Normas Técnicas para el control de erosión y para la realización de estudios geológicos e hidrológicos. Normas Geotécnicas – CDMB, 2005*)

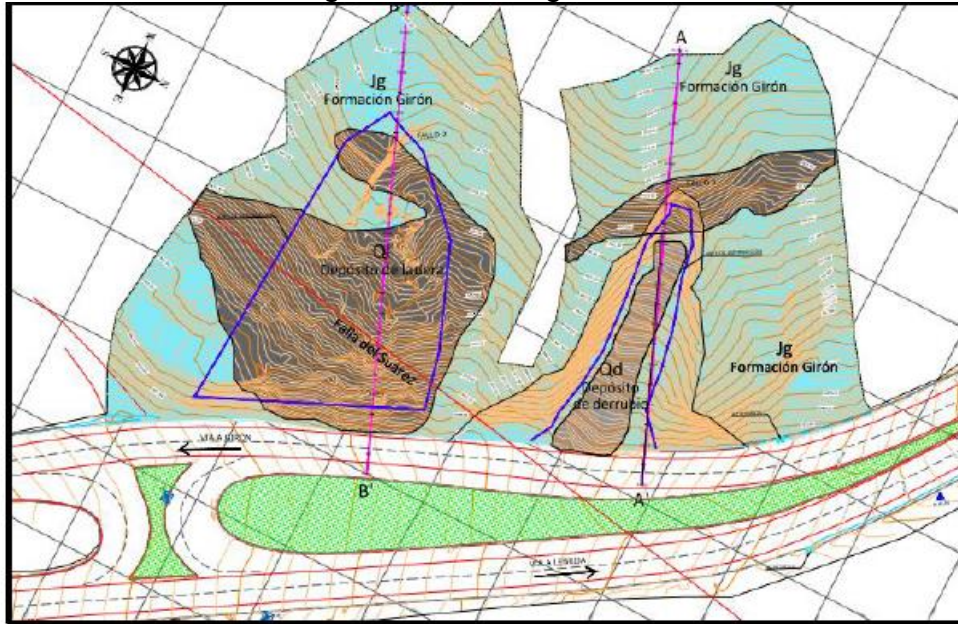
Según el informe geológico presentado por la empresa INGEAS S.A.S en el área de estudio, el sector se encuentra localizado sobre las laderas estructurales en la vía Girón-Lebrija donde predominan rocas altamente fracturadas de la Formación Girón, y sobre las cuales se presentan algunos depósitos de origen coluvial y de derrubio.

Tectónicamente el área de estudio se encuentra enmarcado entre el Sistema de Fallas del Suárez y el Sistema de Fallas de Bucaramanga-Santa Marta, y hace parte del bloque hundido o depresión tectónica, definida como una dovela por Julivert en 1958; el área de interés se localiza al occidente de este marco estructural.

Presenta una fisiografía correspondiente a las laderas estructurales correspondientes a la Mesa de Lebrija donde se observan amplios taludes laterales con pendientes que varían de moderadas a fuertes, con algunas variaciones por el desarrollo de algunas laderas coluviales locales.

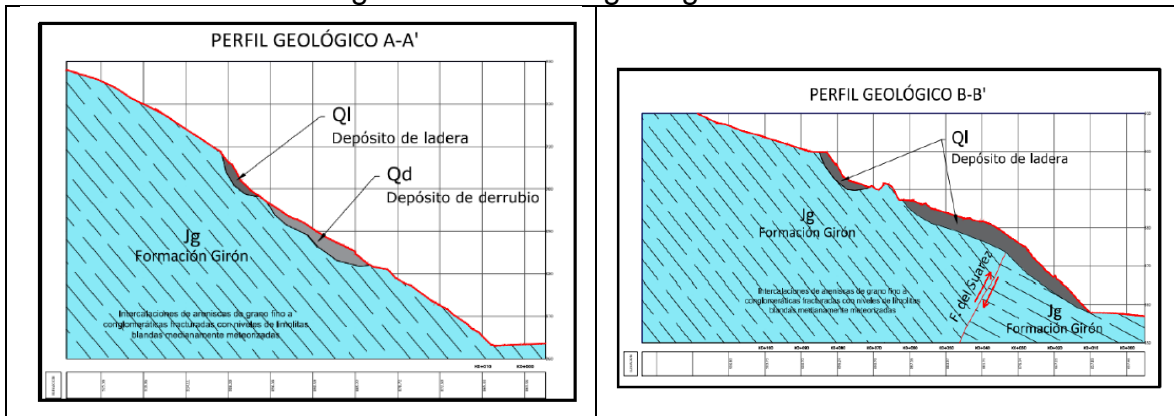
De acuerdo con la información topográfica del proyecto y en la revisión de los documentos de diseños presentados por la empresa INGEAS S.A, realizaron los planos geológicos y geomorfológicos locales del sitio de estudio, con sus perfiles para describir la estructura del suelo, tal como lo sugiere la metodología, con el fin de brindar la información y características del terreno para el diseñador, reflejados en la planta y cortes de los mismo.

Figura 4-2 Geología Local



Fuente: Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III. INGEAS S.A.S, 2020.

Figura 4-3 Perfiles geológicos locales



Fuente: Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III. INGEAS S.A.S, 2020.

Las unidades geológicas predominantes en el sector de estudio corresponden a la Formación Girón y depósito de ladera. Se destacan los niveles rocosos altamente fracturados y diaclasados constituidos por areniscas de variada granulometría con intercalaciones de limolitas medianamente meteorizadas. Sobre estos niveles rocosos se presentan de manera local algunos suelos de origen coluvial que han sufrido algunos procesos erosivos.

La zona se encuentra localizada en la ladera estructural sobre la margen occidental de la vía Bucaramanga-Lebrija afectada altamente por el Sistema de Fallas del Suárez evidenciándose con un cambio notorio en el buzamiento de los estratos de areniscas más resistentes y el desarrollo de eventos erosivos.

Las geoformas dominantes corresponden a laderas denudacionales estructurales sobre los materiales de la Formación Girón, sobre la cual se ha desarrollado una superficie local de ladera coluvial constituida por material de derrubio de deslizamientos antiguos y recientes. (INGEAS S.A.S, 2020. *Geología para Ingeniería y Geotécnica. Volumen III.*)

En el capítulo 2.5 Marco Geológico se presenta la información más detallada de la geología y geomorfología local del sitio de estudio, PR67+200 – PR67+300 vía Bucaramanga – Lebrija.

4.3. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DETALLADA

En el sector de estudio, ubicado entre el PR67+200 al PR67+300 de la vía Bucaramanga – Lebrija, se presenta un proceso de remoción en masa causado por el movimiento de un coluvión activo que genera una falla fondo que ha afectado la vía, el cual es el objetivo de estudio del presente documento analizar las obras de mitigación desde la perspectiva técnica y de gestión del riesgo.

El sitio de estudio presenta dos zonas inestables, la primera tiene una longitud aproximada de sesenta y cinco metros (65 m) y un alto de treinta y cinco metros (35 m), para un área de masa removida de (2.000 m³) aproximadamente y un espesor máximo de (8 m) hacia la parte central del cuerpo del deslizamiento; el segundo tiene una longitud aproximada de treinta y dos metros (32 m) y un alto de cuarenta metros (40 m), para un área de masa removida de (1.400 m³) aproximadamente y un espesor máximo de (8 m) hacia la parte central del cuerpo del deslizamiento.

Según INGEAS S.A.S, 2020; “La formación geológica superficial afectada corresponde a un depósito coluvial, compuesto por suelos areno arcillosos y limos arenosos en los que se presenta algunos bloques y clastos de roca de diverso tamaño provenientes de los niveles fracturados y acumulados dentro de la matriz y en superficie como resultado del movimiento de material de la Formación Girón,” Lo que pone en riesgo las vidas humanas y el trazado de vías lo cual requería las siguientes obras de mitigación como muro piloteado, construcción de obras de manejo de aguas subsuperficiales, como son subredes horizontales, zanjas de coronación y torrenteras, hidrosiembra, terrazas entre otros.

Se considera que el principal detonante lo constituye la presencia de agua en el sector que genera saturación y deslizamiento de los suelos. (INGEAS S.A.S., 2020).

Figura 4-4 Imágenes del talud de estudio



Fuente: Estudio estabilidad y estabilización de taludes. Volumen V. INGEAS S.A.S, 2020.

4.3.1. Investigaciones geotécnicas realizadas

De acuerdo con los documentos técnicos de la empresa INGEAS S.A.S, para las investigaciones geotécnicas utilizaron los criterios de geología y geotecnia y a los lineamientos específicos del CCP-14 y en la NSR-10.

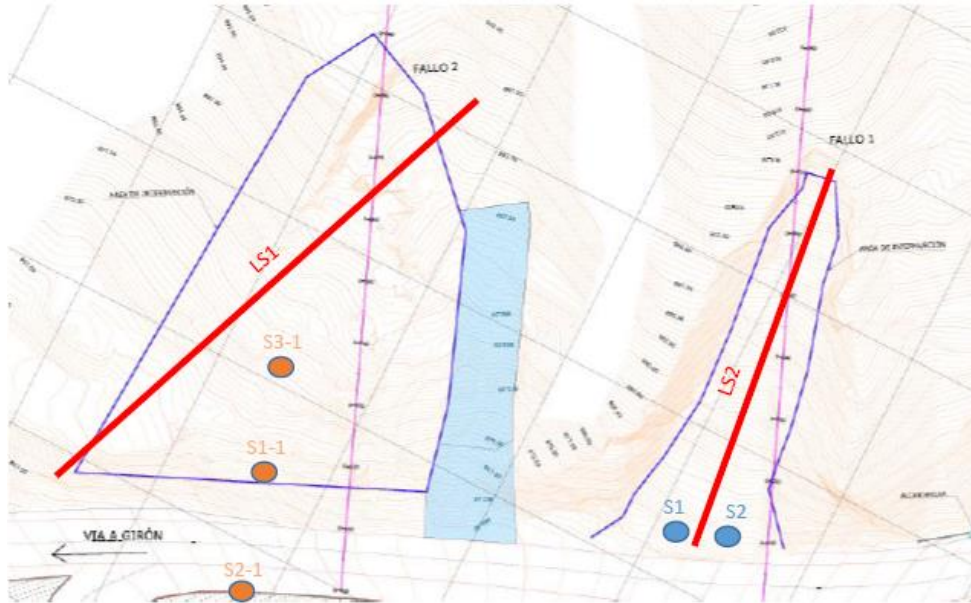
Con el objetivo de complementar los estudios geológicos y geotécnicos elaborados para el proyecto, realizaron sondeos utilizando equipos de perforación a percusión manual y ensayos de laboratorio de material recuperado, para obtener las propiedades geotécnicas de suelo, calculando los parámetros requeridos para el diseño de las cimentaciones y excavaciones para las obras del proyecto.

4.3.1.1 Sondeos y ensayos de campo

La empresa de consultoría INGEAS S.A.S, ejecutó dos (2) sondeos a percusión. Adicionalmente, el consorcio ETA en el año 2018 realizó 3 sondeos exploratorios complementando el estudio.

En la Figura 4-5 se muestra la ubicación de los sondeos realizados:

Figura 4-5 Ubicación de los sondeos



Fuente: Estudio estabilidad y estabilización de taludes. Volumen V. INGEAS S.A.S, 2020.

Tabla 4-1 Resumen de sondeos realizados

No.	Profundidad (m)	Nivel Freático (m)
S1	7.0	No Registra
S2	20.0	No Registra
S1-1	26.5	No Registra
S2-1	30.5	No Registra
S3-1	26.5	No Registra

Fuente: Estudio estabilidad y estabilización de taludes. Volumen V. INGEAS S.A.S, 2020.

Los ensayos de Penetración Estándar (SPT) se realizaron bajo la norma ASTM D 1586 equivalente a la norma INVE-111/2013.

De acuerdo con los ensayos realizados, el perfil del suelo está compuesto por los siguientes mantos (*INGEAS S.A.S, 2020*):

Entre 0,0 y 8,50 m aparecen suelos coluviales compuestos por arenas arcillosas de consistencia suelta.

Entre 8,5 a 17,0 m aparecen saprolito compuestos por arenas, gravas y fragmentos rocosos de consistencia muy blanda.

Entre 17,0 a 30,0 m aparecen rocas de la formación Girón compuestos por arenas conglomeráticas de consistencia muy duro.

De acuerdo con (*Suarez Díaz, Jaime. 1998*), el objetivo de los sondeos es identificar y caracterizar las formaciones más débiles que afectan el movimiento, localizar niveles de agua subterránea, presiones, características del agua, identificar la distribución superficial de materiales y cuantificar las propiedades físicas de los materiales (humedad, gradación, plasticidad, resistencia al corte y otras propiedades). Los sondeos deben profundizarse hasta identificar los materiales estables por debajo de los movimientos reales o potenciales.

De acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en el capítulo H.3- Caracterización geotécnica del subsuelo, para definir el número de sondeos de exploración que deberán efectuarse en el terreno donde se realizará el terreno se muestran en la Tabla 4-2 definiendo inicialmente las unidades de construcción en Baja, Media, Alta y Especial. En todos los casos el número mínimo de sondeos para un estudio será de tres (3).

Tabla 4-2 Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción categoría de la unidad de construcción

Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de sondeos: 15m Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m Número mínimo de sondeos: 5

Fuente: NSR-10, 2010.

De acuerdo con lo anterior, se observa que la investigación geotécnica realizada por la empresa INGEAS S.A.S en el sitio crítico de estudio, se encuentra bajo los lineamientos establecidos por las normas y teorías de exploración del subsuelo, con la realización de 5 sondeos de profundidades entre los 7 y 30 metros para la caracterización del terreno y la definición de los parámetros geotécnicos para diseño.

4.3.1.2 Clasificación de los suelos

Según los resultados obtenidos de los ensayos realizados por INGEAS S.A.S, concluyen que los suelos se clasifican en su gran parte como arenas arcillosas (SC). En el sitio se presenta un talud sub-vertical que ha sido afectado por un proceso de remoción en masa que produce un deslizamiento del material coluvial presente sobre la vía, para este sector, el consultor recomienda realizar obras de estabilización como es un muro piloteado, también recomienda la construcción de obras de manejo de aguas subsuperficiales, como son subdrenes horizontales, zanjas de coronación y torrenteras.

4.3.1.3 Parámetros geotécnicos

Como resultado de los sondeos y ensayos de campo, se obtienen los parámetros geotécnicos determinados y utilizados en el diseño de obras de estabilización sugeridas por el diseñador de acuerdo con problema presentado en el sitio de estudio.

Tabla 4-3 Resumen parámetros geotécnicos utilizados

Material	Parámetros	SPT	INFORME REFERENCIA	BIBL.	Diseño
Deposito Coluvial (SC)	ϕ (°)	27.0	20.0	15 - 25	20
	C(Kpa)	-	15	5-15	15
	γ (kN/m ³)	18.0	18	16 - 18	18
	E (Mpa)	7.40	-	5.12*N	5.12*N
SAPROLITO	ϕ (°)	39.0	28	25 - 30	28
	C(Kpa)	-	4.0	0 -10	4
	γ (kN/m ³)	20.0	20	20 - 23	20
	E (Mpa)	20.3	-	100 - 200	168.0
ARENISCAS FORMACION GIRON	ϕ (°)			35 - 45	42.73
	C(Kpa)			79 - 350	307
	γ (kN/m ³)			23 - 26	25
	GSI			-	38
	Qu (Mpa)			-	24
	E (Mpa)			-	1964.24

Fuente: Estudio estabilidad y estabilización de taludes. Volumen V. INGEAS S.A.S, 2020.

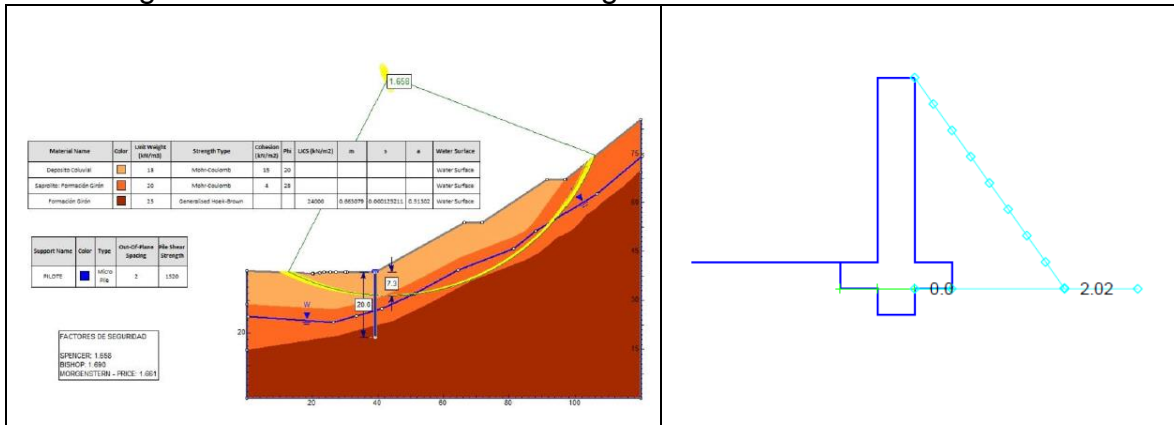
4.3.2. Estabilidad de taludes

A partir de estos parámetros y con el fin de evaluar las condiciones actuales del terreno y las condiciones críticas que se puedan presentar en el área de influencia del fenómeno inestable, el consultor realizó modelaciones teniendo en cuenta la metodología de equilibrio límite mediante el software SLIDE. SLIDE/ROCKSCIENCE, considerando las propiedades físicas y mecánicas de los materiales constitutivos del subsuelo y su afectación frente a escenario de alta pluviosidad y sismicidad. Estos análisis fueron realizados para las dos zonas inestables en el sitio crítico denominados en los informes técnicos como sector talud PR67+200 – PR67+300 Vía Bucaramanga – Lebrija – Fallo Grande y PR67+200 – PR67+300 Vía Bucaramanga – Lebrija - Fallo menor.

Con base en los resultados para cada sector se observa que el talud superior se encuentra en una condición inestable que ha desencadenado fenómenos de remoción en masa que han afectado la vía y generado un alto riesgo a la movilidad del corredor. Por lo tanto, el consultor INGEAS S.A.S, proyecta una obra de contención que permita recuperar la calzada y la estabilidad de la misma para cada zona inestable.

En la zona denominada como sector talud PR67+200 – PR67+300 Vía Bucaramanga – Lebrija – Fallo Grande, proponen la construcción de un muro de contención en concreto reforzado de altura 4.0m de 69.4 metros de longitud, apoyado sobre pilotes de 1.3 metros de diámetro separados cada 2.0m. De acuerdo con los análisis de carga, se requiere un empotramiento mínimo de 3.0m en la formación rocosa girón, con una longitud mínima de los pilotes de 20 m.

Figura 4-6 Análisis de estabilidad general con obras – Fallo Grande



Fuente: Estudio estabilidad y estabilización de taludes. Volumen V. INGEAS S.A.S, 2020.

Del análisis de estabilidad del talud con las obras se presentan los factores de seguridad obtenidos:

Tabla 4-4 Resumen factores de seguridad muro de H=4.0m – Sector Fallo Grande

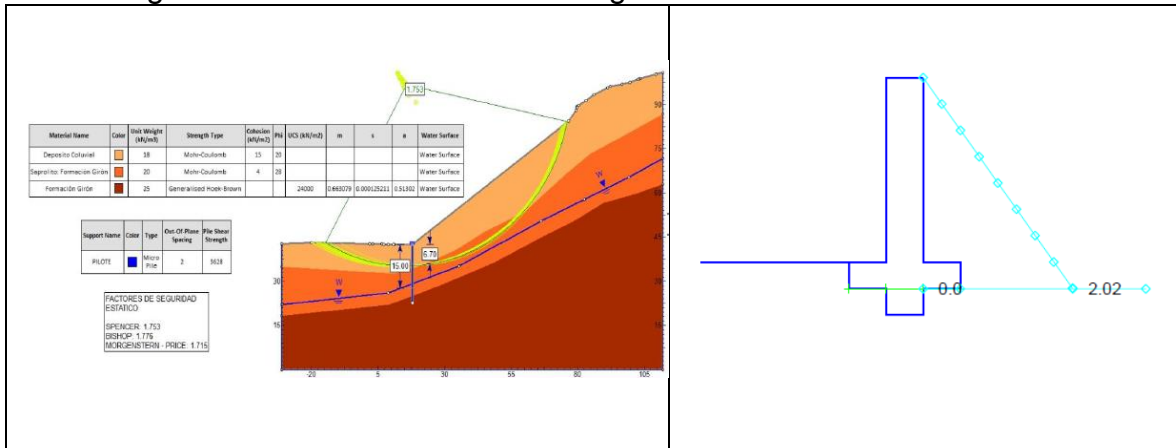
Análisis	Factor de seguridad		
	Método	Estático	Dinámico
Muro de 4.0m de altura con cimentación profunda (1 fila de pilotes de 20.0m de longitud y 1.3 m de diámetro).	Spencer	1.658	1.069
	Bishop	1.690	1.077
	Morgenstem Price	1.661	1.064

Fuente: Estudio estabilidad y estabilización de taludes. Volumen V. INGEAS S.A.S, 2020.

Para el sector talud PR67+200 – PR67+300 vía Bucaramanga – Lebrija – Fallo menor, y de acuerdo con el análisis de estabilidad, el consultor propone la construcción de un muro de construcción en concreto reforzado de 4.0m de alto y 29.7 m de longitud, apoyado sobre pilotes de 1.3 metros de diámetro separados 2.0 metros. De acuerdo con los análisis de carga, se requiere un empotramiento mínimo

de 3.0m en la formación rocosa girón, con una longitud mínima de los pilotes de 20 m.

Figura 4-7 Análisis de estabilidad general con obras – Fallo menor



Fuente: Estudio estabilidad y estabilización de taludes. Volumen V. INGEAS S.A.S, 2020.

Del análisis de estabilidad del talud con las obras se presentan los factores de seguridad obtenidos:

Tabla 4-5 Resumen factores de seguridad muro de H=4.0m – Sector Fallo menor

Análisis	Factor de seguridad		
	Método	Estático	Dinámico
Muro de 4.0m de altura con cimentación profunda (1 fila de pilotes de 20.0m de longitud y 1.3 m de diámetro).	Spencer	1.753	1.062
	Bishop	1.776	1.084
	Morgenstem Price	1.715	1.054

Fuente: Estudio estabilidad y estabilización de taludes. Volumen V. INGEAS S.A.S, 2020.

Según *Suarez Díaz, Jaime, 1998*, el periodo de estudio debe incluir periodos lluviosos y secos y por lo menos debe tenerse información de un año de duración, aunque es común que los fenómenos climáticos críticos tarden 10 a 20 años en repetirse en su máxima actividad.

Todo talud debe diseñarse para algo más que las peores condiciones climáticas que se esperen, de lo contrario se puede llegar a conclusiones optimistas que tienen un nivel muy alto de riesgo.

De acuerdo con esto, los cálculos de estabilidad de las obras proyectadas por INGEAS S.A.S en el sitio crítico, tuvo en cuenta la condición saturada y la condición con la instalación de las obras de control de aguas, como los drenes sub-horizontales. Así mismo, considerando las propiedades físicas y mecánicas de los materiales constitutivos del subsuelo y su afectación frente a escenarios de alta pluviosidad y sismicidad.

Es práctica común en ingeniería definir la estabilidad de un talud en términos de un factor de seguridad (FS), obtenido de un análisis matemático de estabilidad. El modelo debe tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas por acción de sismos, flujo de agua, propiedades de los suelos, etc. Sin embargo, no todos los factores que afectan la estabilidad de un talud se pueden cuantificar para incluirlos en un modelo matemático. Por lo tanto, hay situaciones en las cuales un enfoque matemático no produce resultados satisfactorios. A pesar de las debilidades de un determinado modelo, determinar el factor de seguridad asumiendo superficies probables de falla, permite al Ingeniero tener una herramienta muy útil para la toma de decisiones. (*Suarez Díaz, Jaime, 1998*).

Según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en el capítulo H.3- Caracterización geotécnica del subsuelo, en cualquiera caso los Factores de Seguridad Básicos aplicados al material térreo (suelo, roca o material intermedio), o deben ser inferiores a los Factores de Seguridad Mínimo presentados en la siguiente tabla:

Tabla 4-6 Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos

Condición	F _{SBM}	
	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25

Condición	F _{SBM}	
	Diseño	Construcción
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)
(*) Nota: Los parámetros sísmicos seudo estáticos de Construcción serán el 50% de los de Diseño		

Fuente: NSR-10, 2010.

Teniendo en cuenta los modelamientos realizados por la empresa INGEAS S.A.S de las obras planteadas, se cumplen de manera optimizada los factores de seguridad exigidos por la CCP-14 y la NSR 10 los cuales deben ser en condición estática mayores a F.S=1.50 y dinámica F.S=1.05.

Adicionalmente, para el deslizamiento mayor se contempla una excavación aproximada de un talud 2H:1V de altura 15.0 metros y bermas de 5.0 metros y para el deslizamiento menor se contempla una excavación aproximada de un talud 1H:0.75V.

Como protección adicional para el talud mayor el consultor propone la instalación de un manto TRM 500, sobre la cara de los taludes, esto para evitar la erosión laminar sobre el material expuesto. Para el talud menor se propone la instalación de un manto TRM 500 y una malla triple torsión fijado con pernos, sobre la cara de los taludes, esto para evitar la erosión laminar sobre el material expuesto.

Por lo tanto, las obras planteadas se encuentran dentro de las sugeridas en la metodología como las estructuras de contención, donde estos muros de contención son útiles para estabilizar masas relativamente pequeñas y los pilotes efectivos en movimientos poco profundos, en los cuales existe suelo debajo de la superficie de falla que sea competente para permitir el hincado y soporte de los pilotes. Así como el recubrimiento que ayuda a proteger contra los procesos de erosión.

4.3.3. Obras de drenaje

De acuerdo con el Estudio de Hidrología e Hidráulica Sector PR67+200 Volumen VII, el talud en estudio posee un mal manejo de aguas de escorrentía, lo que con lleva a la saturación de los suelos, presentando deslizamientos de estos. El estudio busca el manejo de estas aguas por lo que propone su captación por medio de canaletas las cuales descargan a una rápida escalonada y a su vez esta entregará a la cuneta de la vía.

Se recomienda en el estudio tanto para el deslizamiento mayor como para el menor realizar la construcción de canales flexibles, para el manejo de aguas superficiales. Además, se recomienda realizar una fila de subdrenes horizontales de 2" de

diámetro, 40.0m de longitud, inclinación de 3° respecto a la horizontal y separados cada 5.0m en cada una de las bermas que se conformen.

Para el diseño de las obras de drenaje en cuestión se adopta un periodo de retorno de 10 años para las zanjas y disipadores y 5 años para las cunetas, Teniendo en cuenta la recomendación del manual INVIAS.

Las obras descritas anteriormente cumplen con los métodos de estabilización de taludes en el control de agua y presión de poros como obras complementarias, ya que los canales superficiales controlan la escorrentía y los subdrenes horizontales de penetración son efectivos para interceptar y controlar aguas subterráneas relativamente profundas.

4.4. MEDIDAS ADICIONALES DE PREVENCIÓN Y CONTROL

El objetivo de un estudio de estabilidad de taludes es establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo.

Una vez estudiado el talud, definidos los niveles de amenaza y riesgo, el mecanismo de falla y los factores de equilibrio, se pasa al diseño del sistema de estabilización. Las obras de mitigación propuestas por la empresa INGEAS S.A.S en el sector PR67+200 – PR67+300 vía Bucaramanga - Lebrija, están contempladas en las metodologías como obras de control y estabilización y cumplen con las normativas de diseño.

Sin embargo, existen medidas adicionales que pueden complementar los diseños anteriormente descritos como métodos de prevención y control. (*Suarez Díaz, Jaime, 1998*).

4.4.1. Medidas de prevención

Los métodos de mitigación o prevención de amenaza pueden reducir en forma importante la ocurrencia de deslizamientos. Se necesitan entonces dos elementos principales: Una base técnica completa y confiable sobre las amenazas y riesgos y un Estado y comunidad conscientes de los problemas y del beneficio de los programas de prevención.

Uno de los métodos más efectivos y económicos de reducir pérdidas por deslizamientos, es la planificación de nuevos desarrollos, dedicando las áreas susceptibles a deslizamientos como áreas abiertas o verdes o de baja intensidad de uso.

La regulación al uso de la tierra es generalmente, manejada por el Estado el cual puede prohibir usos específicos u operaciones que puedan causar falla de los taludes, tales como la construcción de carreteras, urbanizaciones o edificios, sistemas de irrigación, tanques de acumulación de agua, disposición de desechos, etc. En Colombia el Código de Recursos Naturales permite a las autoridades ambientales establecer distritos de manejo integrado para la prevención de amenazas naturales y las ciudades tienen Códigos de urbanismo para regular los nuevos desarrollos.

Se pueden implementar adicionalmente medidas de aviso y alarma, las áreas propensas a deslizamientos pueden instrumentarse para prevenir o avisar sobre la ocurrencia de un fenómeno y pueden establecerse programas de información a la comunidad sobre la eventualidad de un determinado deslizamiento. Los sistemas de observación de campo usan extensómetros, inclinómetros, piezómetros, cercas eléctricas y disyuntores.

4.4.2. Medidas de Control

Adicional a las medidas de prevención se pueden generar medidas de control que complementen las obras de estabilización ya diseñadas como las siguientes:

➤ **Remoción total de la masa de los deslizamientos o materiales inestables**

Se puede considerar el remover total a parcialmente los materiales de los deslizamientos antiguos o con riesgo de activación. La remoción de materiales inestables va desde el descapote o remoción de los primeros metros de suelo hasta la eliminación de todo el material inestable.

Generalmente, hay limitaciones prácticas al empleo de este método por los volúmenes de tierra que se requiere manejar y la falta de espacio para colocar esta tierra, teniendo en cuenta sus efectos ambientales.

- **Modificación de la topografía:** Al disminuir la pendiente del talud, el círculo crítico de falla se hace más largo y profundo para el caso de un talud estable, aumentándose en esta forma el factor de seguridad. El abatimiento se puede lograr por corte o por relleno. El abatimiento de la pendiente del talud es económicamente posible en taludes de poca altura, pero no ocurre lo mismo en taludes de gran altura, debido al aumento exagerado de volumen de tierra de corte con el aumento de la altura.
- **Remoción de materiales de la cabeza:** La remoción de una suficiente cantidad de materiales en la parte superior del talud puede resultar en un equilibrio de fuerzas que mejore la estabilidad del talud. En la práctica este método es muy útil en fallas activas. La cantidad de material que se requiere

depende del tamaño y características del movimiento y de la geotecnia del sitio.

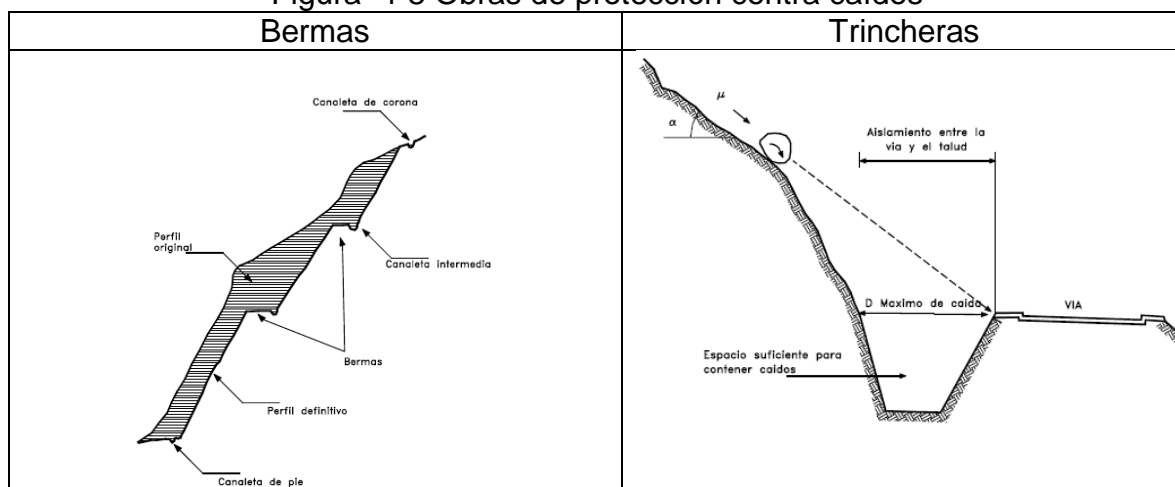
➤ Protección contra caídos de roca

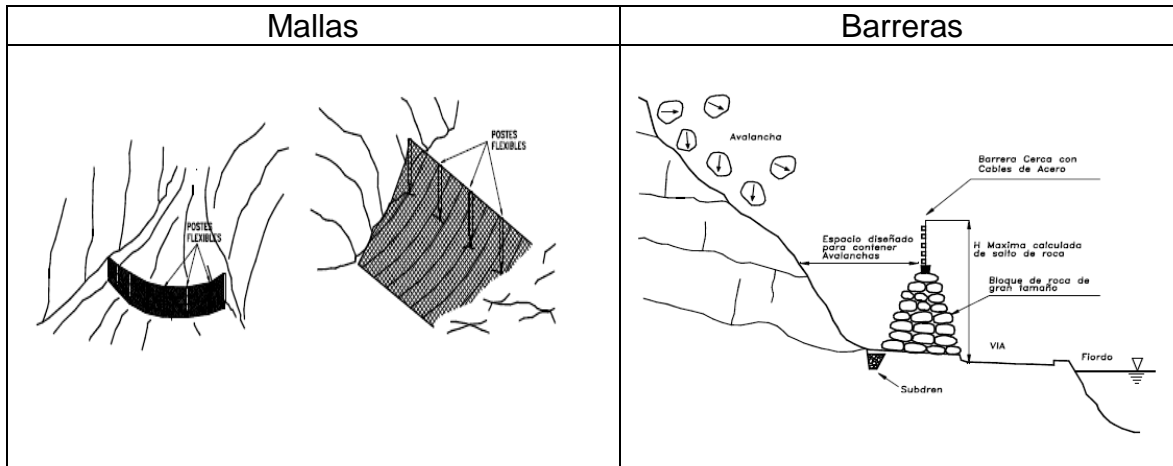
Un método efectivo de minimizar la amenaza de caídos de roca es permitir que ellas ocurran, pero controlarlas adecuadamente, utilizando sistemas de control en el pie del talud, tales como trincheras, barreras y mallas.

De acuerdo con las características de los caídos, se pueden diseñar varios tipos de obra, así:

- **Bermas en talud:** El diseño de bermas anchas puede ser muy útil para ciertos casos de caída, especialmente de residuos de roca. Al construir las terrazas el talud puede quedar dividido en varios taludes de comportamiento independiente, los cuales a su vez deben ser estables. El terraceo se le puede realizar con el propósito de controlar la erosión y facilitar el establecimiento de la vegetación.
- **Trincheras:** Una trinchera o excavación en el pie del talud puede impedir que la roca afecte la calzada de una vía y representa una solución muy efectiva cuando existe espacio adecuado para su construcción.
- **Barreras:** Las barreras pueden ser de roca, suelo, tierra armada, muros de concreto, pilotes, gaviones, bloques de concreto o cercas. La barrera generalmente produce un espacio o trinchera en el pie del talud que impide el paso del caído.

Figura 4-8 Obras de protección contra caídos





Fuente: Suarez Díaz, Jaime. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Ingeniería de suelos Ltda.

➤ Mejoramiento de la resistencia del suelo

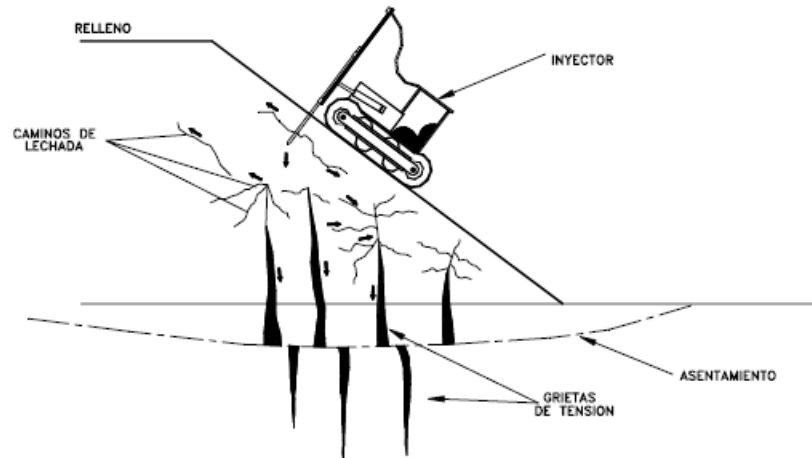
Las inyecciones de diversos productos químicos son utilizadas para mejorar la resistencia o reducir la permeabilidad de macizos rocosos y en ocasiones de suelos permeables.

Las inyecciones pueden consistir en materiales cementantes, tales como el cemento y la cal o de productos químicos tales como silicatos, ligninos, resinas, acrylamidas y uretanos.

Generalmente, las inyecciones de cemento o de cal se utilizan en suelos gruesos o en fisuras abiertas y los productos químicos en materiales menos permeables. Los más usados son el cemento y la cal, ya sea en forma de inyección o colocándolo en perforaciones sobre la superficie de falla.

El efecto de la inyección es el de desplazar el agua de los poros y fisuras y en esta forma producir una disminución de la humedad, así como cementar los poros de fisuras. El mortero de inyección se endurece y crea un esqueleto alrededor de las áreas de suelo o roca.

Figura 4-9 Inyección de terraplenes para rellenar y cementar grietas internas



Fuente: Suarez Díaz, Jaime. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Ingeniería de suelos Ltda.

➤ Protección de la superficie del talud

El objetivo de la protección de la superficie del talud es prevenir la infiltración debido a la lluvia y mantener el suelo parcialmente seco. Las medidas de protección incluyen el concreto lanzado, los bloques de mampostería, la protección con piedras, el recubrimiento con productos sintéticos. Estos recubrimientos pueden complementarse con prácticas de cobertura vegetal.

El recubrimiento de la superficie de un talud con productos artificiales puede implicar un aumento en los valores de escorrentía, lo cual requiere de la construcción de estructuras de control de aguas superficiales capaces de manejar los volúmenes producidos de acuerdo con la intensidad de las lluvias.

- Concreto lanzado: El concreto lanzado es una mezcla de cemento y agregados, los cuales se pueden colocar en seco o por vía húmeda. Generalmente, se coloca una malla de refuerzo previamente al lanzado del concreto. Para facilitar el drenaje, se deben construir huecos o lloraderos que atraviesen la superficie de recubrimiento y, en esta forma evitar las presiones de poro por represamiento de agua subterránea.
- Recubrimiento en suelo cemento: El recubrimiento en suelo cemento puede mejorar las condiciones de permeabilidad de un talud haciéndolo relativamente impermeable y, en esta forma disminuyendo la infiltración.

Generalmente, se aplica en dos capas cada uno de aproximadamente 3 cm. La primera capa es escarificada antes de colocar la segunda, dejando un tiempo de aproximadamente de 24 horas entre las dos capas. Con frecuencia, se utiliza un sistema de anclajes o dovelas de 30 cm de longitud clavadas a distancias de 1.5 metros.

5. RESULTADOS

El principal motivo de investigación del presente documento se centra sobre la vía que comunica el municipio de Girón, Santander y el Aeropuerto Internacional Palonegro, específicamente en el PR67+200 – PR67+300, en el cual, por la influencia del sistema de fallas del Suarez, se observa afectación sobre la formación Girón presentando capas altamente fracturadas y diaclasadas. Este diaclasamiento junto con el grado de meteorización del material rocoso, los efectos del clima y la gravedad permiten que fácilmente se presenten procesos de remoción en masa

De acuerdo con el primer objetivo planteado, se revisaron los informes y documentos relacionados con las obras planteadas en el sector de estudio, para lo cual, la empresa INGEAS S.A.S planteó obras de mitigación entre los años 2020 – 2021, para dar cumplimiento al desarrollo territorial y gestión de riesgo debido a que son zonas de riesgo para la vida humana por la cantidad de vehículos que transitan sobre estas vías por ser nacionales.

Teniendo en cuenta la información geológica, geotécnica, topográfica y de ensayos de campo, las obras de estabilización planteadas en el sitio crítico consistieron en la construcción de un muro de contención en concreto reforzado de altura 4.0m de 69.4 metros de longitud, apoyado sobre pilotes de 1.3 metros de diámetro separados cada 2.0m, con un empotramiento mínimo de 3.0m en la formación rocosa girón, con una longitud mínima de los pilotes de 20 m en el fallo Grande. En el fallo menor el consultor propone la construcción de un muro de contención en concreto reforzado de 4.0m de alto y 29.7 m de longitud, apoyado sobre pilotes de 1.3 metros de diámetro separados 2.0 metros, con un empotramiento mínimo de 3.0m en la formación rocosa girón, con una longitud mínima de los pilotes de 20 m.

Adicionalmente, contemplan el manejo de aguas de escorrentía, captándolas por medio de canaletas que descargarán sobre la cuneta de la vía mediante una escalonada. Además, de una fila de subdrenes horizontales de 2" de diámetro, 40.0m de longitud con una inclinación de 3° respecto a la horizontal y separados cada 5.0m en cada una de las bermas que se conformen.

Para el deslizamiento mayor se contempla una excavación aproximada de un talud 2H:1V de altura 15.0 metros y bermas de 5.0 metros y para el deslizamiento menor se contempla una excavación aproximada de un talud 1H:0.75V.

Como protección adicional para el talud mayor el consultor propone la instalación de un manto TRM 500, sobre la cara de los taludes, esto para evitar la erosión laminar sobre el material expuesto. Para el talud menor se propone la instalación de

un manto TRM 500 y una malla triple torsión fijado con pernos, sobre la cara de los taludes, esto para evitar la erosión laminar sobre el material expuesto.



De acuerdo con las guías y metodologías de gestión del riesgo que definen las directrices para la actuación a partir del conocimiento, la reducción del riesgo y las respuestas en caso de desastre; las teorías asociadas a la geotecnia y a la estabilización de taludes, se compararon las obras planteadas con los procedimientos y obras sugeridas de prevención en estas metodologías con el fin evaluar el control, eficacia y estabilidad de las obras propuestas desde la perspectiva de gestión del riesgo.

Específicamente, mediante la guía del libro Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales del autor Jaime Suarez Díaz, 1998; el cual establece las medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo, se realizaron las comparaciones con las obras proyectadas por el consultor INGEAS S.A.S y las medidas establecidas en el libro, el cual sugiere los pasos para la investigación de un talud o deslizamiento mediante la información de las

características topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales que permitan realizar el diagnóstico de los problemas lo más preciso posible y realizar un diseño efectivo de solución, así como las etapas mínimas que debe contener el estudio con el fin de diagnosticar y diseñar las obras de estabilización indicadas al problema.

Tabla 5-1 Resultados comparativos según metodología y obras planteadas

Ítem	Etapas mínimas de diseño	Revisión	Resultados
1	Reconocimiento del sitio	Cumple	Ubicación vía San Gil – Floridablanca, entre las abscisas PR67+0200 – PR67+0300, vía Bucaramanga – Lebrija, departamento de Santander.
2	Análisis de la información existente y caracterización de la zona de estudio		
2,1	Planos topográficos	Cumple	Realizaron topografía abarcando el área de afectación de los dos deslizamientos, identificando la posición de la corona, sus flancos, pata y los escarpes principales y secundarios.
2,2	Mapas geológicos	Cumple	Realizaron planos geológicos y geomorfológicos locales del sitio de estudio, con los perfiles del suelo, brindando información y características del terreno para el diseñador, reflejados en la planta y cortes.
3	Investigación de campo	Cumple	INGEAS S.A.S realiza la descripción geotécnica detallada del área afectada, identificando un proceso de remoción en masa causado por el movimiento de un coluvión activo que genera una falla fondo que ha afectado la vía. El sitio de estudio presenta dos zonas inestables, la primera tiene una longitud aproximada de sesenta y cinco metros (65 m) y un alto de treinta y cinco metros (35 m), para un área de masa removida de (2.000 m ³) aproximadamente y un espesor máximo de (8 m) hacia la parte central del cuerpo del deslizamiento; el segundo tiene una longitud aproximada de treinta y dos metros (32 m) y un alto de cuarenta metros (40 m), para un área de masa removida de (1.400 m ³) aproximadamente y un espesor máximo de (8 m) hacia la parte central del cuerpo del deslizamiento.
4	Investigación de laboratorio	Cumple	Según la metodología, el objetivo de los sondeos es identificar y caracterizar las formaciones más débiles que afectan el movimiento, localizar niveles de agua subterránea, presiones, características del agua, identificar la distribución superficial de materiales y cuantificar las propiedades físicas de los materiales.

Ítem	Etapas mínimas de diseño	Revisión	Resultados
4,1	Sondeos y ensayos de campo		Para el estudio se realizaron 5 ensayos de penetración estándar a profundidades entre los 7 y 30 metros para caracterizar el suelo la definición de los parámetros geotécnicos para diseño, cumpliendo con lo establecido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en el capítulo H.3- Caracterización geotécnica del subsuelo.
5	Análisis de la información, modelación y diseño	Cumple	<p>Para las investigaciones geotécnicas utilizaron los criterios de geología y geotecnia y a los lineamientos específicos del CCP-14 y en la NSR-10.</p> <p>El consultor realizó modelaciones en el software SLIDE. SLIDE/ROCKSCIENCE, considerando las propiedades físicas y mecánicas de los materiales constitutivos del subsuelo y su afectación frente a escenario de alta pluviosidad y sismicidad. Estos análisis fueron realizados para las dos zonas inestables en el sitio crítico denominados como sector talud PR67+200 – PR67+300 Vía Bucaramanga – Lebrija – Fallo Grande y PR67+200 – PR67+300 Vía Bucaramanga – Lebrija - Fallo menor.</p> <p>De acuerdo con la metodología, se define la estabilidad de un talud en términos de un factor de seguridad (FS), obtenido de un análisis matemático de estabilidad,</p> <p>Según las modelaciones realizadas por la empresa INGEAS S.A.S de las obras planteadas, se cumplen de manera optimizada los factores de seguridad exigidos por la CCP-14 y la NSR 10 los cuales deben ser en condición estática mayores a $F.S=1.50$ y dinámica $F.S=1.05$.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2022

De acuerdo con lo anterior y a la metodología escogida de comparación, se concluye que las obras proyectadas como los muros de contención, se encuentran dentro de las obras de control comúnmente usadas para estabilizar masas relativamente pequeñas, así como los pilotes son efectivos en movimientos poco profundos y ser hincados debajo de la superficie de falla en suelo competente. Adicionalmente, cumple con los factores de seguridad exigidos por la CCP-14 y la NSR 10.

Por lo tanto, la de evaluación y las obras contempladas por la empresa INGEAS S.A.S, ayudan a controlar y mitigar el problema de inestabilidad presentado en el sitio PR67+200 – PR67+300 Vía Bucaramanga – Lebrija de acuerdo con las metodologías de prevención y control.

El segundo objetivo de validar el tiempo de vida de las obras de mitigación y su mantenimiento que, mediante el análisis de la documentación técnica, las obras proyectadas tienen una vida útil de 10 años al igual que las obras de drenaje que están diseñadas para un periodo de retorno de 10 años para las zanjas y disipadores y 5 años para las cunetas, siguiendo con las recomendaciones del manual INVIAS. Con el fin de preservar estas obras y que cumplan con el tiempo su objetivo de estabilización, estas obras requieren de un mantenimiento constante en especial la parte de atrás del muro de contención, ya que es allí donde se acumula el material que se desprende de la parte de superior de la zona, evitando que el material se salga por los lados llegando ya a una parte del carril de la vía.

Adicionalmente, como se recomienda en el ESTUDIO ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES SECTOR TALUD PR67+200 – PR67+300 VIA BUCARAMANGA – LEBRIJA VOLUMEN V, es importante colocar por lo menos 4 mojones topográficos y realizar monitoreo permanente de las estructuras existentes para en caso de presentarse movimientos requerir la construcción de obras adicionales, algunas de estas sugeridas en los capítulos anteriores.

En el último objetivo, las alternativas propuestas frente a los proyectos implementados en el área de estudio, teniendo en cuenta herramientas de políticas de gestión del riesgo, se basan en la metodología escogida del libro Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales del autor Jaime Suarez Díaz, 1998, en el cual proponen medidas adicionales que pueden complementar los diseños planteados por la empresa INGEAS S.A.S, como métodos de prevención y control.

Tabla 5-2 Medidas adicionales de prevención y control

Medidas	Obras complementarias
Medidas de prevención	Planificación de nuevos desarrollos, dedicando las áreas susceptibles a deslizamientos como áreas abiertas o verdes o de baja intensidad de uso.
	La regulación al uso de la tierra prohibiendo usos específicos u operaciones que puedan causar falla de los taludes.
	Medidas de aviso y alarma
	Los sistemas de observación de campo como extensómetros, inclinómetros, piezómetros, cercas eléctricas y disyuntores.

Medidas	Obras complementarias
Medidas de control	Remoción total de la masa de los deslizamientos o materiales inestables. (Modificación de la topografía, remoción de materiales de la cabeza).
	Protección contra caídos. (Bermas en el talud, trincheras, Barreras)
	Mejoramiento de la resistencia del suelo. (Inyecciones de diversos productos químicos)
	Protección de la superficie del talud (Concreto lanzado, recubrimiento en suelo cemento).

Fuente: Elaboración propia, 2022

6. CONCLUSIONES

- Es importante implementar metodologías para evaluar riesgos pues estas orientan en la elaboración de estudios de riesgos de desastres como parte de la estructuración de un proyecto de inversión pública, con el fin de seleccionar dentro de las medidas de intervención posibles, las que arrojen una mejor relación costo/beneficio, o para revisar y optimizar la localización y diseño de un proyecto.
- El estudio de la estabilidad de taludes busca establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo. La estabilización de deslizamientos requiere metodologías de diseño y construcción.
- Los métodos de mitigación o prevención de amenaza pueden reducir en forma importante la ocurrencia de deslizamientos. La mejor estrategia para la reducción de amenaza de deslizamiento, generalmente, envuelve una mezcla de varias técnicas o sistemas en donde se requiere la cooperación de geólogos, ingenieros, planeadores, propietarios de la tierra, constructores, organizaciones financieras y de seguros y entidades del Estado.
- Para diseñar un programa adecuado de prevención se requiere una base técnica completa y confiable de las amenazas y riesgos, un Estado y comunidad conscientes de los problemas y beneficios de los programas de prevención.
- Para encontrar las causas, mecanismos de falla y cuantificar los parámetros que determinan la estabilidad de un talud, diagnosticar y diseñar obras de estabilización, los estudios deben incluir reconocimientos del sitio, análisis de información existente, estudio que permitan la caracterización topográfica y geotécnica, investigación de campo, análisis de la información obtenida, modelación y diseño.
- Los diseños deben satisfacer los requerimientos que imponen las condiciones de riesgo, pues en algunas ocasiones el diseño mismo puede producir las condiciones de amenaza que generen escenarios de riesgo a futuro. Por tal motivo es fundamental tener en cuenta que entre los estudios de riesgo y los estudios técnicos existe un constante flujo de retroalimentación con el cual se busca la optimización del proyecto.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se continúen la evaluación de los proyectos bajo la guía de metodologías de gestión del riesgo pues permiten seleccionar la alternativa óptima en el diseño de un proyecto.
- Identificar áreas con condición de riesgo a partir de análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta en los estudios básicos, con la información cartográfica disponible (predial, catastral, entre otras). Con esta información elaborar los mapas con la delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo.
- Se recomienda emplear el análisis de información existente (historia del problema, planos básicos, etc.) con el fin de entender las propiedades topográficas, geológicas, etc., de los deslizamientos.
- Se recomienda la aplicación de métodos y procesos para cuantificar el riesgo a partir de escenarios de amenaza identificados y de las condiciones de vulnerabilidad que se relacionan, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asesoría geológica y geomorfológica, Ingeniera Geóloga Martha Isabel Mancera, Bucaramanga 2022
- Geología para Ingeniería y Geotecnia Sector Talud PR67+200 – PR67+300 Vía Bucaramanga-Lebrija. INGEAS-ANI 2020
- Imágenes Google Earth 2022
- INGEAS S.A.S, 2020. “estudio de hidrología e hidráulica” “Rehabilitación de la calzada derecha de la vía 62-06, del tramo: intersección y del aeropuerto (PR 63+800) y la intersección palenque (PR 71+310 ruta 6602), mediante la estabilización entre el PR 67+200 al PR 67+300”. Volumen VII.
- INGEAS S.A.S, 2020. Geología para ingeniería y geotecnia sector talud PR67+200 –PR67+300 vía Bucaramanga – Lebrija, Volumen III.
- INGEAS S.A.S, 2020. Estudio estabilidad y estabilización de taludes sector talud pr67+200 – pr67+300 vía Bucaramanga – Lebrija. Volumen V.
- Julivert, M., Los rasgos tectónicos de la región de la Sabana de Bogotá y los mecanismos de la formación de las estructuras, Boletín de Geología, 11, pp. 5-21, 1963.
- Julivert, M., 1958. La infraestructura de la zona de Mesas al SW de Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Boletín de Geología, UIS, 1: 7-44.
- Keaton J.R. y, DeGraff J.V. 1996. “Surface observation and geologic mapping”. Landslides investigation and mitigation. Special report 247. Transportation Research Board. Pp. 178-230.
- Mapa Morfotectónico del Sistema de Fallas Bucaramanga, Ingeominas 2008. Escala 1:25000.
- Mapa Geológico de Zonificación Sismogeotécnica indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga, Escala 1:25000. CDMB-Ingeominas. 2001.

- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo. Metodología para evaluar los riesgos. Tomo 2. S.f.
- Ministerio del Interior. Ley 152, Ley Sistema Nacional de Gestión del Riesgo, 2012.
- Normas Técnicas para el control de erosión y para la realización de estudios geológicos e hidrológicos. Normas Geotécnicas – CDMB, 2005
- París, G., y Sarria, A. 1988. Proyecto Geofísico del Nordeste Colombiano. Cali. INGEOMINAS. Informe interno, 48p.
- Propuesta Metodológica para el desarrollo de la Cartografía Geomorfológica para la Zonificación Geomecánica Volumen I. INGEOMINAS, 2004.
- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, 2010.
- Suarez Díaz, Jaime. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Ingeniería de suelos Ltda.
- The Japan landslide society national conference of landslide control (1996) “Landslides in Japan”, p.57
- Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J., y Restrepo, H. 1973. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, Departamento de Santander. Boletín Geológico, INGEOMINAS, 21 (1- 3): 1-32.