

Evaluación de Alternativa de Protección de Taludes con el Uso de Mantos Sintéticos y Bioingeniería para el Control de Erosión en el Proyecto en Ejecución de Canalización, Mitigación y Control de Inundaciones de la Quebrada La Colonia en el Corregimiento de Gibraltar, Municipio de Toledo

Leidy Xiomara Cabrera Cancino y José Mauricio Santiago Rosas

Monografía presentada como trabajo de grado para optar el título de Especialista en Interventoría y Supervisión de la Construcción

Director

Monica Johanna Castro Irreño

Magister en Geotecnia

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Especialización en Interventoría y Supervisión de la Construcción

2024

- Dedicatoria

A nuestras familias, les agradecemos por su amor incondicional, paciencia y comprensión durante todo el proceso de investigación y estudio. Su apoyo constante ha sido fundamental para lograr este importante logro académico. Sus palabras de aliento y compañía han sido un verdadero estímulo para seguir adelante.

Leidy Xiomara Cabrera Cancino

José Mauricio Santiago Rosas

- Agradecimientos

A Dios por ser nuestra guía y apoyo incondicional a lo largo de la elaboración de esta monografía de especialización. Tu presencia ha sido la brújula en los momentos más difíciles, y en cada etapa de este camino, nos has brindado la fortaleza para persistir y avanzar con determinación.

A nuestros profesores de la Universidad Santo Tomas de Bucaramanga, les agradecemos sinceramente por su invaluable guía y apoyo a lo largo de nuestro camino académico. A cada persona que ha sido parte de este camino, su presencia ha dejado una huella imborrable en el logro de esta investigación.

Leidy Xiomara Cabrera Cancino

José Mauricio Santiago Rosas

Contenido

Introducción	13
1. Evaluación de Alternativa de Protección de Taludes con el Uso de Mantos Sintéticos y Bioingeniería para el Control de Erosión en el Proyecto en Ejecución de Canalización, Mitigación y Control de Inundaciones de la Quebrada La Colonia en el Corregimiento de Gibraltar, Municipio de Toledo.....	15
1.1 Planteamiento del problema	15
1.2 Justificación	19
1.3 Objetivos.....	21
1.3.1 Objetivo general.....	21
1.3.2 Objetivos específicos	21
1.4 Delimitación	22
2. Marco de referencia.....	23
2.1 Marco teórico.....	23
2.1.1 Taludes y laderas.....	23
2.1.2 Estabilidad de taludes	24
2.1.3 Enfoques frente a la situación problema	25
2.1.4 Bioingeniería para el control de erosión en taludes y laderas.....	25
2.1.5 Ventajas de la bioingeniería vs estructuras de contención civiles	26
2.2 Tecnologías para estabilidad de taludes	30
2.2.1 Biomantos y/o agromantos temporales.....	31
2.2.2 Mantos permanentes	34
2.2.3 Mantos TRM.....	37
2.2.4 Flexocreto	38

2.3 Marco conceptual	40
2.4 Marco legal	44
2.5 Marco Contextual	45
2.5.1 Revisión estudios y diseños existentes	46
2.5.2 Alcance de la obra en ejecución.....	47
3. Método	47
4. Resultados	48
4.1 Alcance de la monografía	48
4.2 Localización del proyecto.....	50
4.2.1 Descripción del municipio de Toledo, Norte de Santander	50
4.2.2 Descripción del corregimiento Gibraltar	52
4.3 Desarrollo de la etapa pre constructiva.....	54
4.4 Revisión estudio de suelos.....	54
4.4.1 Perfiles estratigráficos.....	56
4.4.2 Capacidad portante.....	58
4.4.3 Capacidad admisible	59
4.4.4 Conclusiones revisión estudios de suelos	60
4.4.4 Revisión diseño hidráulico.....	60
4.5 Estado actual de la intervención donde se empieza a evidenciar la problemática	68
4.6 Evaluación de alternativa de protección de taludes.....	69
4.6.1 Componente técnico.....	71
4.6.2 Componente ambiental	74
4.6.3 Componente económico.....	76
4.7 Proceso de intervención de la alternativa	79

4.7.1 Riego de semilla de pasto	80
4.7.2 Instalación del Manto Permanente TRM 500 PAVCO Wavin	81
4.7.3 Siembra de pasto vetiver por estolones.....	84
4.7.4 Siembra complementaria de guadua y carbonero por plántulas	86
4.8 Estado actual de la intervención	88
5. Conclusiones	90
Referencias	95

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Coordenadas de localización de las muestras de sondeos</i>	55
Tabla 2 <i>Profundidad de los sondeos y profundidad en que se encontró nivel freático</i>	56
Tabla 3 <i>Capacidad de carga sondeos considerados</i>	58
Tabla 4 <i>Capacidad de carga admisible sondeos considerados</i>	59
Tabla 5 <i>Datos intensidades de lluvia para diferentes duraciones y periodos de retorno.....</i>	61
Tabla 6 <i>Resultados de la simulación del caudal de diseño en HECRAS</i>	65
Tabla 7 <i>Evaluación comparativa de las opciones de intervención de talud</i>	70
Tabla 8 <i>Presupuesto de intervención de la alternativa de la zanja en manto permanente.....</i>	76
Tabla 9 <i>Presupuesto de intervención de la alternativa de la zanja en Geo Bioingeniería.....</i>	78
Tabla 10 <i>Presupuesto de intervención de la alternativa de la zanja en Geo Textiles</i>	79

Lista de figuras

Figura 1 Estado de la Institución Educativa del corregimiento de Gibraltar en la temporada de lluvias del 2021	15
Figura 2 Alternativa viabilizada para la formulación y ejecución del proyecto	17
Figura 3 Conformación de taludes en la ejecución del proyecto.....	18
Figura 4 Efecto del agua superficial en los taludes conformados	18
Figura 5 Obra de contención con anclajes postensados, concreto lanzado y malla electrosoldada en la vía Cúcuta – Pamplona	28
Figura 6 Obra de contención con un sistema combinado, anclajes postensados, manto sintético, malla eslabonada y siembra de pasto con semilla en la vía Chinácota – Ragonvalia	28
Figura 7 Siembra de vetiver en márgenes de fuentes hídricas.....	29
Figura 8 Uso del biomantos en taludes	31
Figura 9 Agromantos instalación en taludes.....	32
Figura 10 Especificaciones técnicas según el proveedor.....	32
Figura 11 Uso del biomantos en taludes	35
Figura 12 Floración de vegetación a través del manto.....	35
Figura 13 Especificaciones técnicas según el proveedor.....	36
Figura 14 Uso de las bolsas de flexocreto	38
Figura 15 Flexocreto instalado en taludes con alta pendiente	39
Figura 16 Especificaciones técnicas según el proveedor.....	39
Figura 17 Tramo en intervención según sección topográfica.....	49
Figura 18 Vista aérea del tramo antes de intervención	49
Figura 19 Estado de la curva del primer desvío se puede constatar que existían fuertes efectos de erosión en sus márgenes	50

Figura 20	<i>Localización del municipio de Toledo con respecto a Norte de Santander</i>	<i>51</i>
Figura 21	<i>Localización del corregimiento de Gibraltar con respecto al municipio de Toledo....</i>	<i>53</i>
Figura 22	<i>Localización del corregimiento de Gibraltar con respecto al municipio de Toledo....</i>	<i>53</i>
Figura 23	<i>Localización de las tomas de muestra realizadas por el contratista</i>	<i>55</i>
Figura 24	<i>Perfil estratigráfico del sondeo 1</i>	<i>56</i>
Figura 25	<i>Perfil estratigráfico del sondeo 2</i>	<i>57</i>
Figura 26	<i>Perfil estratigráfico del sondeo 3</i>	<i>57</i>
Figura 27	<i>Perfil estratigráfico del sondeo 4</i>	<i>58</i>
Figura 28	<i>Curvas IDF de la Estación Meteorológica.....</i>	<i>62</i>
Figura 29	<i>Localización geográfica del trazado proyectado</i>	<i>64</i>
Figura 30	<i>Localización geográfica del trazado proyectado (medidas en metros).....</i>	<i>65</i>
Figura 31	<i>Tramo en intervención.....</i>	<i>69</i>
Figura 32	<i>Tramo en intervención.....</i>	<i>69</i>
Figura 33	<i>Detalle anclaje para inicio del talud</i>	<i>74</i>
Figura 34	<i>Uso del vetiver en taludes.....</i>	<i>75</i>
Figura 35	<i>Uso de la guadua en taludes.....</i>	<i>76</i>
Figura 36	<i>Riego de semillas en jarillones de protección</i>	<i>80</i>
Figura 37	<i>Riego de semillas en margen de la canalización.....</i>	<i>80</i>
Figura 38	<i>Instalación del manto</i>	<i>82</i>
Figura 39	<i>Instalación del manto</i>	<i>82</i>
Figura 40	<i>Instalación del manto</i>	<i>83</i>
Figura 41	<i>Instalación del manto</i>	<i>83</i>
Figura 42	<i>Siembra de estolón de vetiver</i>	<i>84</i>
Figura 43	<i>Siembra de estolón de vetiver</i>	<i>84</i>

Figura 44 <i>Siembra de estolón de vetiver</i>	85
Figura 45 <i>Siembra de estolón de vetiver</i>	85
Figura 46 <i>Siembra de plántulas de carbonero y guadua</i>	86
Figura 47 <i>Siembra de plántulas de guadua</i>	87
Figura 48 <i>Carboneros, especie de la zona</i>	87
Figura 49 <i>Preparación del terreno</i>	88
Figura 50 <i>Crecimiento del vetiver por toma aérea</i>	89

Resumen

Los proyectos de inversión en obras públicas tienen como eje fundamental resolver una situación problemática de una comunidad a través de la ejecución de obras de interés general. Es necesario las inversiones por recursos del estado que se ejecuten con el máximo rigor técnico, construyendo obras públicas para la posteridad, dando solución eficiente para optimizar los recursos. Durante la ejecución de una obra pública, en ocasiones resultan situaciones que no fueron contempladas y previstas durante su formulación, estudios y diseños previos. La supervisión técnica y control de la obra hace evidente la necesidad de plantear alternativas que permitan que el proyecto contemple la elaboración de actividades necesarias cumplir con el objetivo de la inversión. Actualmente se aplican tecnologías en los procesos de intervención en taludes, en vías, asentamientos urbanos en laderas, como en fuentes hídricas; como los son mantos sintéticos, bio mantos, geotextiles, geomallas, etc., con bioingeniería como la siembra de plantas de buen enraizamiento que mejoran la estabilidad del terreno y mitigan los efectos erosivos del agua. En el proyecto de obras de mitigación para el control de inundaciones de la quebrada La Colonia, en el corregimiento de Gibraltar, Toledo en N. STD., en sus estudios y diseños se formuló la alternativa de desvío y conformación de tramos de la quebrada. Modelando la canalización en terreno natural, obviando la erosión pasiva por el tipo de terreno y el efecto de la latencia de la lámina de agua, las lluvias por su poca cohesión, la cual se está haciendo evidente. La presente monografía, analiza de los estudios previos, investiga y ofrece como alternativa la intervención las canalizaciones con el uso de mantos sintéticos y siembra minimizando los efectos de la erosión pasiva y activa del agua en los taludes en terreno natural; optimizando los recursos y ajustándose a los requerimientos técnicos que tiene el proyecto.

Palabras clave. canalización, bioingeniería, geo mantos, estabilidad de taludes, obras de mitigación, control de inundaciones.

Abstract

The fundamental axis of investment projects in public works is to resolve a problematic situation in a community through the execution of works of general interest. It is necessary that state resource investments be executed with the maximum technical rigor, building public works for posterity, providing efficient solutions to optimize resources. During the execution of a public work, situations sometimes arise that were not contemplated and foreseen during its formulation, studies and previous designs. The technical supervision and control of the work makes evident the need to propose alternatives that allow the project to contemplate the development of the necessary activities to meet the investment objective. Currently, technologies are applied in intervention processes on slopes, roads, urban settlements on slopes, and in water sources; such as synthetic blankets, bio blankets, geotextiles, geogrids, etc., with bioengineering such as the planting of well-rooted plants that improve the stability of the land and mitigate the erosive effects of water. In the mitigation works project for flood control of the La Colonia stream, in the township of Gibraltar, Toledo in N. STD., in its studies and designs, the alternative of diversion and formation of sections of the Broken. Modeling the channeling in natural terrain, ignoring passive erosion due to the type of terrain and the effect of the latency of the water sheet, the rains due to their little cohesion, which is becoming evident. This monograph analyzes previous studies, investigates and offers as an alternative the intervention of channeling with the use of synthetic blankets and planting, minimizing the effects of passive and active erosion of water on slopes in natural terrain; optimizing the public resources invested, adjusting to the technical requirements of the project.

Keywords. Channeling, bioengineering, geomantles, slope stability, mitigation works, flood control.

Introducción

El Fondo Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres a través de la Fiduprevisora S. A. suscribió un contrato de obra pública con la Unión Temporal Obras Gibraltar, cuyo objeto es: “Realizar la intervención correctiva para mitigar el riesgo por inundación y socavación mediante la construcción de obras de protección sobre la quebrada La Colonia, en el corregimiento de Gibraltar, del municipio de Toledo, departamento de Norte de Santander, en el marco del Decreto de Calamidad Pública no. 056 de 2021, y en desarrollo del Plan de Acción Específico (PAE)”.

Dicho proyecto pretende intervenir la quebrada La Colonia en el corregimiento de Gibraltar del municipio de Toledo, Norte de Santander, a través de la ejecución de dos canales de sección trapezoidal a manera de desvíos y cortes de meandros según la sección de diseño hidráulico con el objetivo de darle horizontalidad al flujo del cauce en principio para alejar el flujo de la quebrada de márgenes aledaños a viviendas; así como la conformación de márgenes de quebrada y fondo con la misma sección trapezoidal de diseño y a su vez contempla la elaboración de obras de protección en los márgenes críticos de la quebrada que permitan minimizar la socavación y el riesgo de desbordamiento tales como enrocados en curvaturas y meandros que no pueden ser linealizados y la elaboración de diques en gaviones revestidos que permiten aumentar la sección vertical de la canalización en los márgenes con cota más baja.

Durante las obras de excavación se ha tenido, el control y supervisión constante del personal técnico tanto del contratista de obra como de interventoría, encontrando que, aunque el terreno de los taludes se ha venido comportando de manera estable, la intervención propende alterar dicha estabilidad y adicionalmente hacer fluir la quebrada por terreno con poca cohesión y sin ningún tipo de protección adicional, cuyo efecto erosivo del agua afecte la estabilidad de la obra.

Es por ello por lo que surge la necesidad de evaluar una alternativa de estabilización y control de erosión de taludes con el uso de mantos sintéticos y siembra que permita proteger los

taludes del efecto del agua con la necesidad de brindar un completo cumplimiento al objeto del proyecto dando un mayor alcance sin afectar ni limitar los recursos con los que cuenta el proyecto.

El presente proyecto aborda dicha necesidad que surge bajo la supervisión técnica de las obras en ejecución y que debe ser resuelta de forma que garantice la estabilidad de la inversión, pero sin afectar el balance económico del contrato en ejecución, las condiciones técnicas y ambientales que debe responder. Para ello se realiza la revisión y validación de la información técnica inicial con la que cuenta el proyecto: estudios, diseños, formulación, viabilidad y contractuales.

Adicionalmente, se realizará una revisión de la información documental de alternativa que se plantea, considerando que el manto brindará protección en el proceso de crecimiento y afianzamiento de las plántulas sembradas, al mismo tiempo que limita el efecto erosivo por aguas lluvias y la latencia de la lámina de agua, las plantas que se prevén deben contar con buenas características de enraizamiento y afianzamiento en taludes de márgenes de fuentes hídricas para este tipo de situaciones y se abordará a través de una revisión y validación tanto económica como ambiental y técnica la viabilidad de la alternativa dado el alcance con el que ya cuenta el proyecto.

1. Evaluación de Alternativa de Protección de Taludes con el Uso de Mantos Sintéticos y Bioingeniería para el Control de Erosión en el Proyecto en Ejecución de Canalización, Mitigación y Control de Inundaciones de la Quebrada La Colonia en el Corregimiento de Gibraltar, Municipio de Toledo

1.1 Planteamiento del problema

La etapa de formulación del proyecto para la intervención de la quebrada La Colonia en el municipio de Toledo, Norte de Santander, la adelantó la administración municipal, que a través de un Concurso de Méritos Abierto realizado en el año 2021 contrató la consultoría, la cual realizó un levantamiento topo-batimétrico del cauce, toma de muestras y estudios de suelos, estudio hidrológico, la modelación de diferentes alternativas de intervención en el diseño hidráulico y el análisis de un presupuesto que definiera el costo de la intervención a realizar y que permitiera ofrecer una solución a la comunidad del corregimiento que constantemente padece las inundaciones de la quebrada, como se evidencia el estado de la IE en temporada de lluvias. Ver figura 1.

Figura 1. *Estado de la Institución Educativa del corregimiento de Gibraltar en la temporada de lluvias del 2021*



Tomado. Consultoría (2021).

La entidad municipal presentó el proyecto a la Unidad de Gestión del Riesgo de Desastres el cual fue revisado, corregido, viabilizado y contratado a través de un proceso de invitación a cotizar, resultando la Unión Temporal Obras Gibraltar como contratista del contrato de obra No. 9677-PPAL001-690-2022 cuyo objeto es: “Realizar la intervención correctiva para mitigar el riesgo por inundación y socavación mediante la construcción de obras de protección sobre la quebrada La Colonia, en el corregimiento de Gibraltar, del municipio de Toledo, departamento de Norte de Santander, en el marco del Decreto de Calamidad Pública no. 056 de 2021, y en desarrollo del Plan de Acción Específico (PAE)”.

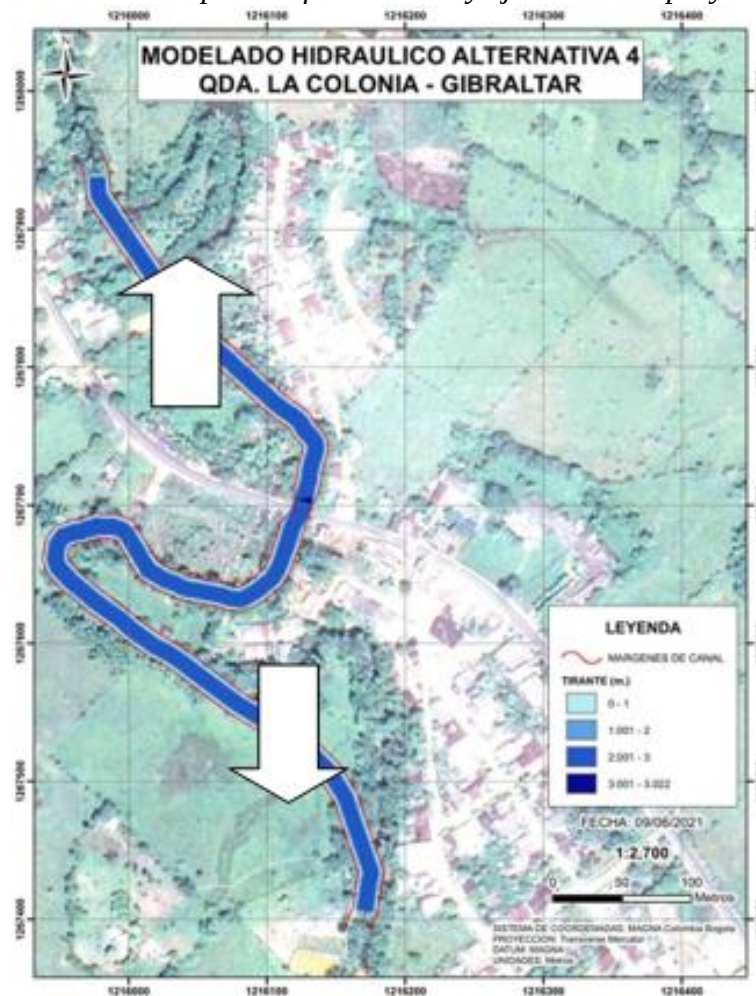
Durante la etapa de revisión y verificación de los estudios y diseños con la que cuenta el contrato, se constató con la interventoría la necesidad de revisar a profundidad las condiciones en las que quedarían los taludes de los desvíos a realizar una vez se interviniera; para ello se estableció el interés de realizar durante la ejecución la toma de muestra de terreno para evaluar el tipo de terreno, su interacción con el flujo laminar del cauce y las escorrentías superficiales por drenajes naturales o por lluvias.

El diseño hidráulico estableció realizar dos desvíos, según los comportamientos del modelado, linealizando el flujo del agua en esos dos tramos, optimizando la sección de la quebrada a una de diseño, optimizando la pendiente del cauce y el lecho lo cual aumentaría la velocidad de flujo y se reduciría drásticamente la altura de la lámina de agua, minimizando el riesgo de las inundaciones pero aumentando la incidencia por socavación en los tramos de curvaturas donde se intervendría con enrocados.

Es precisamente en los dos desvíos del trazado propuesto donde se han visto los efectos que puede producir el agua una vez se interviene, dado el alcance del proyecto y los recursos con los que cuenta, se desestimó; en la etapa de revisión inicial de estudios y diseños previos del contrato; incluir actividades que contemplaran la protección de los taludes, debido a que es necesario

garantizar el alcance final de la obra, pero no protegerlos implica el riesgo latente de perjudicar la estabilidad de la obra y por tanto la mala inversión de los recursos con los que cuenta la obra. Ver figura 2.

Figura 2. *Alternativa viabilizada para la formulación y ejecución del proyecto*



Fuente. Tomado de Consultoría (2021).

Durante la ejecución del primer desvío que tendrá la quebrada se ha venido encontrado un tipo de suelo altamente permeable y poco cohesivo que no garantiza la estabilidad a la erosión producida por el agua y demás factores externos. Con el objetivo de garantizar la calidad de la obra, es necesario evaluar y revisar una alternativa que se ajuste a las condiciones del proyecto. Las

excavaciones que se adelantaron mostraron que el terreno del desvío ha sido el resultante del depósito de material a través de los años y que no presenta un grado de cohesión considerable que resista los efectos de la erosión y socavación. En dicho proceso de supervisión y control de obra se hace pertinente y con el propósito de darle cabal cumplimiento al alcance del proyecto y su objeto contractual, analizar, revisar y evaluar la necesidad de plantear una alternativa para brindar la protección de los taludes, como se aprecian en las figuras 3 y 4.

Figura 3. *Conformación de taludes en la ejecución del proyecto*



Tomado. Contratista (2022).

Figura 4. *Efecto del agua superficial en los taludes conformados*



Tomado. Contratista (2022).

1.2 Justificación

El proyecto en su formulación no estableció algún tipo de protección a los taludes resultantes del desvío, teniendo en cuenta que la intervención consiste en la apertura de dos canales de sección trapezoidal en terreno natural sin ningún tipo de protección adicional, durante la excavación mecánica y conformación de los taludes según la sección de diseño hidráulico y el ángulo de estabilidad del terreno, se ha llevado una constante revisión al comportamiento del material conformado por la incidencia de las escorrentías superficiales por lluvias, represamientos de aguas superficiales y contraflujos por intervención en el cauce natural de la quebrada, por ello en un proceso de revisión se ha establecido que es necesario presentar una alternativa para la protección de los márgenes de la canalización de la quebrada, con el objetivo de minimizar los efectos erosivos la cual debe ser económica, ambiental y técnicamente viable dado que al ser un proyecto de inversión de recursos públicos, ya cuenta con un presupuesto limitado y asignado y se debe garantizar el alcance y cumplimiento del objeto del proyecto sin incidir en sobrecostos.

Al ser un proyecto de inversión pública, la no estabilidad de la obra puede ocasionar situaciones de detrimento patrimonial, así como que una inversión de este tipo no solamente debe brindar una solución inmediata ni durante los cinco años que dura la póliza de estabilidad sino que es necesario que sea un proyecto que no genere a otro tipo de problemáticas a futuro y que resulte en una solución duradera a la problemática que aborda, por ello es importante que se tengan presente una alternativa que debe ser revisada evaluada y viabilizada ya en el proceso de ejecución. Por los efectos de la temporada de lluvia, al ser una zona con una alta tasa de precipitaciones la erosión del terreno por consecuencia del agua y de la fluctuación del cauce es necesario tener controlado esos efectos en los taludes.

La presente monografía explora dicha necesidad, con el objetivo establecer una alternativa

para que sea revisada y de alguna manera puesta en marcha dentro de la ejecución de la obra a la que se le está haciendo la revisión, adicionalmente es necesario justificar y cuantificar los recursos con los cuales se debería contar para realizar alguna intervención favorable a la estabilidad de los márgenes de los canales que se ejecutan en obra. Es importante abonar que la presente monografía parte de un proceso de revisión, supervisión e inspección visual que permitió considerar que dado ese comportamiento del terreno solo por efectos del agua lluvia no existe ninguna garantía de que una vez desviado el cauce se pueda tener algún tipo de estabilidad, estas consideraciones han sido presentadas a la interventoría la cual sugiere la necesidad de explorar la posibilidad de cambiar las condiciones del proyecto con el fin de garantizar el objeto contractual del mismo, pero sin afectar el alcance del proyecto.

Al ser un proyecto en ejecución, que ya cuenta con recursos asignados, así como estudios y diseños técnicos que en su momento no vieron necesarios el empleo de actividades para la protección los taludes de la canalización, sustentado en que se pretende fijar una que garantice la mitigación de las emergencias que se han presentado en el corregimiento por efecto de inundaciones al desbordarse la quebrada, no tiene en cuenta la necesidad de brindar la protección que se hace evidente ya que discrepa de la razón y alcance planteado del proyecto y que la erosión de los taludes de los márgenes de la quebrada no es en sí una situación de emergencia para el proyecto que amerita ser prevenida. Su necesidad se sustenta en garantizar la estabilidad de la obra, que no se generen daños a futuro que puedan afectar su durabilidad y adicionalmente contrarrestar el efecto ambiental que un proceso constructivo tan invasivo a la fuente hídrica como lo viene siendo el proyecto en ejecución.

Dado que se tiene varias limitantes, como lo son los recursos económicos, y que su alcance y objeto contractual se deriva explícitamente a mitigar el riesgo de inundaciones del corregimiento, la intervención que se propondrá con la presente monografía propender que la intervención que se

emplee para dicho fin no afecte el balance económico del contratista, por ello inicialmente se propone el empleo de materiales económicos, que no son tan invasivos, que tampoco generan un efecto ambiental fuerte y que lo que pretende es proteger la intervención en los canales durante el tiempo en que la quebrada y su terreno circundante se adaptan al nuevo trazado y secciones.

Para lograr el fin de ofrecer una alternativa a la problemática, se propone mostrar la viabilidad y evaluar el uso de tecnologías económicas como lo son los actuales geo mantos, orgánicos y sintéticos, que tienen mucha aplicabilidad para este tipo de problemáticas y que adicionalmente favorecen la reconformación y fortalecimiento de la capa vegetal en los terrenos donde se han empleado, al tiempo que brindan una importante protección a los taludes de los efectos del agua y demás factores ambientales y humanos. Se busca plantear también el uso de bioingeniería con la siembra selectiva de plantas con muy buen comportamiento en taludes y en situaciones de un considerable impacto climático, para con ello acelerar el proceso de reconformación de la capa vegetal de la zona intervenida, mitigar el efecto ambiental que tenga la obra y estabilizar aún más el resultado final de la obra.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Plantear una alternativa de intervención y solución para la protección de los taludes resultantes de la canalización y control de inundaciones de la quebrada La Colonia en el corregimiento de Gibraltar del municipio de Toledo, Norte de Santander.

1.3.2 Objetivos específicos

- Revisar la documentación técnica existente con la que cuenta el proyecto de ejecución de

la canalización y control de inundaciones de la quebrada La Colonia en el corregimiento de Gibraltar del municipio de Toledo, Norte de Santander.

- Investigar una alternativa de protección de taludes aplicable a las características presentes en la ejecución del proyecto de ejecución de la canalización y control de inundaciones de la quebrada La Colonia en el corregimiento de Gibraltar del municipio de Toledo, Norte de Santander.
- Evaluar en términos económicos, ambientales y técnicos dicha alternativa para el proyecto de ejecución de la canalización y control de inundaciones de la quebrada La Colonia en el corregimiento de Gibraltar del municipio de Toledo, Norte de Santander.
-

1.4 Delimitación

El presente proyecto se realiza para el proceso de revisión de la alternativa para la protección de los taludes producto de remoción en masa de tierra para la ejecución de desvíos en la intervención para el proyecto en ejecución de obras de mitigación y control de inundaciones de la quebrada La Colonia corregimiento de Gibraltar en el municipio Toledo, Norte de Santander, dicha alternativa pretende usar elementos, materiales y actividades que sean poco invasivas pero que evaluados con los recursos invertidos y su objetivo final sean altamente efectivas, que mejoren el resultado final de proyecto, su alcance, durabilidad y garantice el cumplimiento del objeto contractual por parte del contratista, sin ser de obligatoria ejecución en el proyecto.

Todo esto en el contexto del contrato de obra pública entre el Fondo Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (FNGRD) que a través de la Fiduprevisora S. A. suscribe| con la Unión Temporal Obras Gibraltar, cuyo objeto es: “Realizar la intervención correctiva para mitigar el riesgo por inundación y socavación mediante la construcción de obras de protección sobre la quebrada La Colonia, en el corregimiento de Gibraltar, del municipio de Toledo, departamento de

Norte de Santander, en el marco del Decreto de Calamidad Pública no. 056 de 2021, y en desarrollo del Plan de Acción Específico (PAE)”.

El establecimiento de la situación problema y su posible solución así como su puesta en marcha solo se limita a la necesidad surgida dentro del proyecto en ejecución, a través de un proceso de revisión, supervisión y control tanto de los estudios y diseños iniciales como la ejecución de obra que ha planteado la necesidad de dotar al proyecto de una alternativa de intervención a los efectos de erosión que se están presentando durante la intervención de las actividades de movimientos de tierra para la elaboración de los canales de desvío y cortes de meandro en la intervención de la quebrada, para de esa manera lograr mejorar el estado final de la obra. No pretende ser un documento de consulta ni de diseño al detalle de alternativas para la intervención de taludes en fuentes hídricas, sino ser un documento para establecer una alternativa favorable que permita garantizar la estabilidad del proyecto, mitigar los efectos erosivos del agua y sea ambiental, económica y técnicamente viable para el ejecutor del proyecto y en tal caso sea puesto en consideración y aplicado en obra.

2. Marco de referencia

2.1 Marco teórico

2.1.1 Taludes y laderas

Los taludes son pendientes de terreno que pueden ser naturales o artificiales, y que dadas sus características pueden estar propensas a derrumbes. Las naturales son comúnmente conocidas como laderas, y las artificiales, intervenidas por el hombre en sus procesos de construcción de obras de ingeniería pueden ser terraplenes (cuando la intervención consiste en rellenar con material

optimo conservando una pendiente que permite la estabilidad del talud) y desmontes (el cual consiste en el corte de una ladera) (Ingenieria Real, 2024).

2.1.2 Estabilidad de taludes

Las características anteriormente determinadas en los estudios y diseños iniciales, así como la evidencia durante el proceso constructivo. Es por ello por lo que se hace necesario revisar las condiciones del estado del terreno donde se ejecuta la intervención en canalización, para con ello establecer una alternativa viable para lograr que el proyecto mejore su alcance. Fuera de los puntos críticos de erosión activa que enfrentan los taludes de la quebrada, los cuales son intervenidos con la ejecución de enrocados, el proyecto no contemplo algún tipo de protección a los taludes artificiales constituidos con las dos canalizaciones que se ejecutan (Unión Temporal Obras Gibraltar, 2022).

El proyecto consiste en realizar tres tipos de intervenciones de taludes:

- En primer lugar, están los puntos críticos de la quebrada, meandros donde se evidencia la erosión a lo largo de los años y el riesgo de desprendimiento de material de la ladera en el margen de la quebrada. Dichos puntos se intervienen con la ejecución de un enrocado con material de transición y filtro en agregados pétreos con la pendiente definida en los análisis de estabilidad iniciales del proyecto.
- La segunda intervención se realizará en las laderas naturales de la quebrada, en los tramos intervenidos donde se presenta un recorrido más o menos recto de estas. La intervención para realizar consiste en solo ajustar el ancho de fondo en los tramos más angostos e intervenir lo menos posible los márgenes para no afectar la estabilidad existente en estos.
- Por último, la intervención que ocupa el presente informe técnico, el cual consiste en la realización de dos canalizaciones con terreno natural y una sección de diseño que para los

efectos de estabilidad del corte realizado funciona pero que no se ha tenido en cuenta el efecto de inestabilidad que generan el paso del cauce, en particular cuando los canales trabajen al máximo de capacidad, y las aguas lluvia (Unión Temporal Obras Gibraltar, 2022).

2.1.3 Enfoques frente a la situación problema

Existen dos formas de intervenir dichas situaciones, por un lado, se puede tomar el enfoque convencional o duro, y por el otro promover un enfoque blando o verde, del cual en principio es el interés del presente:

- *Enfoque duro o convencional:* es aquel en el que la intervención se realiza con estructuras complejas como superficies cementadas, gaviones, anclajes postensados, con mallas de alambre, entre otros; generalmente son costosas y requieren una gran intervención así como un gran impacto ambiental y no se pueden considerar intervenciones sostenibles porque adicionalmente requieren mantenimiento y en caso de daños su reparación es tanto o más costosa que la intervención adicional en proporción al área (Escuela de Ingeniería, 2021).
- *Enfoque blando o verde:* se puede considerar como el que, mediante el uso de vegetación, se tiene como una alternativa mucho mas costosa y ambientalmente más sostenible, que favorece a su entorno. Se debe tener en cuenta que cuenta con diversos tipos de limitaciones, no todo talud puede ser apto para este tipo de intervenciones por dos factores, su tipo de suelo no favorecer el crecimiento de plantas enraizarles y terrenos muy inestables (Escuela de Ingeniería, 2021).

2.1.4 Bioingeniería para el control de erosión en taludes y laderas

La bioingeniería como control de erosión es un conjunto de prácticas y técnicas que

permiten la utilización de vegetación para intervenir terrenos altamente erosivos, para ello se utilizan diferentes tipos de pastos, árboles y plantas de ladera que permiten la estabilización al tener un alto y rápido crecimiento de raíces que adhiere el terreno, así como follaje que minimiza los efectos de erosión pasiva por lluvias y escorrentías. Dichas características generalmente se limitan a problemas de inestabilidad superficiales que se mayoran por los efectos de las lluvias o hasta el flujo de escorrentías como en quebradas, ríos, canales, diques, etc (Paz, 2022).

Principales beneficios:

- La vegetación puede aumentar la resistencia del suelo al agrietamiento.
- Proteger de la erosión laminar de una superficie de suelo expuesta.
- Atrapar las partículas del suelo que se deslizan por el talud.
- Promueve el crecimiento de vegetación afectando positivamente el entorno del área intervenida.
- Permite la sostenibilidad ambiental de las áreas intervenidas, promoviendo la revegetalización y compensación forestal (Paz, 2022).

2.1.5 Ventajas de la bioingeniería vs estructuras de contención civiles

Una de las principales características del uso de bioingeniería es su eficacia al momento de controlar la erosión y los movimientos superficiales del subsuelo. En muchas ocasiones es mucho más eficaz que la ejecución de una estructura compleja de contención inerte, en relación con su costo; adicionalmente una gran ventaja es que la vegetalización de los taludes y laderas con cierto grado de inestabilidad se fortalece con el tiempo, lo contrario a una estructura que va perdiendo resistencia con el curso del tiempo (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015).

No es menor su diferencia en el impacto ambiental, ya que no altera el flujo del agua subterránea, lo que no hace necesario costosas obras de drenaje y filtros para controlar los flujos

de agua, por el contrario, se sirve de esa misma agua para fortalecer la vegetalización de los taludes, lo que no altera el flujo hídrico, ni los microciclos medioambientales que se generan en el área intervenida, lo que hace a este tipo de intervenciones no solo económicas y ambientalmente más favorables sino también sostenibles en el tiempo.

También se debe hacer especial énfasis en los tiempos de ejecución de cada una de las intervenciones, ya que intervenir una ladera inestable o un talud resultante de un corte de la ladera con una obra de contención con enfoque convencional implica un uso extenso del tiempo, lo que no solamente genera un mayor costo, sino que se deben realizar obras complementarias que permitan mantener un factor de seguridad durante el proceso constructivo. La intervención con enfoque verde pretende minimizar la intervención de terreno, se pueden emplear diferentes métodos, como puede ser la siembra por estolones o el riego de semilla con el uso de biomantos o mantos sintéticos que permiten contener el terreno inestable y aminorar el efecto erosivo de los agentes externos durante el proceso de crecimiento y afianzamiento de la vegetalización (Ruiz, Ibañez, & Saldaña, 2020).

2.1.6 Ejemplos de tipos de intervenciones

Estabilización de taludes con obras civiles de alta complejidad: cómo se puede apreciar en la siguiente figura, la cual muestra una intervención realizada en un talud al costado de la nueva vía 4G del trayecto Cúcuta – Pamplona: Este tipo de intervención de obra civil se realizó con anclajes y recubrimiento del talud con concreto lanzado y reforzado con malla electrosoldada, su principal limitante es el costo y el tiempo que puede llegar a requerir este tipo de intervenciones, además del impacto ambiental que implica su realización. Ver figura 5.

Figura 5. *Obra de contención con anclajes postensados, concreto lanzado y malla electrosoldada en la vía Cúcuta – Pamplona*



Tomado. Unión Vial Rio Pamplonita (2021).

Estabilización de taludes con sistema combinado: una muestra de dicha alternativa es la siguiente figura, en donde se puede evidenciar el tipo de intervención combinada, con el uso de anclajes para el talud y reforzado con geo-sintéticos y malla eslabonada, la intervención también incluye la siembra de semilla de pasto que permite brindar estabilidad y durabilidad al talud, se realizó en la intervención de la vía secundaria del municipio de Chinácota a Ragonvalia en el departamento de Norte de Santander. Ver figura 6.

Figura 6. *Obra de contención con un sistema combinado, anclajes postensados, manto sintético, malla eslabonada y siembra de pasto con semilla en la vía Chinácota – Ragonvalia*



Tomado. Elaboración propia

Estabilización de taludes con bioingeniería: En la siguiente figura, se puede evidenciar la alternativa de intervención con revegetalización en los márgenes de una canalización, el tipo de planta utilizado es el vetiver, en la primera muestra se evidencia el proceso de siembra de los estolones, las siguientes imágenes muestran los resultados obtenidos. El vetiver se caracteriza por ser una planta de ser prolifera eficientemente en terrenos poco cohesivos, cercanos a fuentes hídricas y su uso para este tipo de intervenciones se debe a su rápido crecimiento y expansión con raíces de hasta 2 m de longitud, logrando resultados en un corto periodo de seis meses a un año. Ver figura 7.

Figura 7. *Siembra de vetiver en márgenes de fuentes hídricas*



Tomado. Engormix.com (2021).

Como se puede apreciar en las anteriores figuras 5, 6 y 7, no se trata solamente de

alternativas únicas para usos específicos, sino que se pueden diversificar y combinar dependiendo de la necesidad del área a intervenir, en algunos sitios resultará muy costoso intervenir con obras de contención convencionales y es favorable realizar algunas alternativas. En otras se puede combinar las ventajas que cada uno de los enfoques ofrece con el objetivo de resolver diferentes tipos de inestabilidades del terreno y, por último, siempre es necesario que dicho análisis contemple un estado de factibilidad económica, ambiental y técnicamente viable.

2.2 Tecnologías para estabilidad de taludes

Para evaluar las alternativas se tiene que considerar que su intervención no puede implicar grandes costos, además no se presume que deba ejecutarse en lapsos del tiempo porque el avance que ya tiene en cronograma no permitiría adiciones por tanto las dos alternativas que se presentan a continuación cumplen con la necesidad bajo diferentes variables, al final del capítulo se revisaran algunas ventajas o desventajas de las intervenciones.

Para poner a consideración del proyecto como la alternativa viable para la obra en ejecución se proponen tres tipos diferentes de alternativas de intervención, cada una de ellas en mayor o menor rango tienen diferentes tipos de ventajas que se pasaran a considerar para definir la alternativa que se usará como intervención en las canalizaciones del proyecto, para ello se vale del documento técnico del Instituto Colombiano de Vías; Especificaciones Generales de Construcción (INVIA, 2022) para tres tipos diferentes de intervenciones:

- Estabilización de taludes con sistema combinado de muro plástico y anclajes - Artículo 684-22.
- Geobioingeniería - Artículo 850 – 22.
- Bolsas de geotextil gigantes (BGG) - Artículo 685 – 22.

Igualmente se utilizan las fichas técnicas de las empresas proveedoras de nuevas

tecnologías como PAVCO que cuenta con un completo catálogo de productos para soluciones para el control de erosión en taludes que pueden ser aplicables en afluentes hídricas.

2.2.1 Biomantos y/o agromantos temporales

El uso de esta alternativa consiste en el recubrimiento de los taludes con mantos hechos en materiales naturales orgánicas o inorgánicas que se degradan y se combinan el con el material existente. Dicha alternativa cuenta con la revisión realizada por INVIAS para la elaboración de sus especificaciones técnicas en el capítulo 8 de Geobioingeniería (Art. 850-22). Las Geobiomallas deben cubrir la superficie del suelo protegiéndolo contra la erosión, esta tecnología confina en su interior un sustrato biótico para garantizar la regeneración de la cobertura vegetal (INVIAS 2022). Ver figura 8 y 9.

Figura 8. *Uso del biomantos en taludes*



Tomado. PAVCO (2021).

Figura 9. *Agromantos instalación en taludes*



Tomado. PAVCO (2021).

Revisando la información del proveedor, se tiene que cuenta con tres tipos de mantos temporales diferentes según las características del talud que se requieran proteger. Estas son agromanto, fibra de coco y ecomatrix, con sus propiedades mecánicas, físicas, presentación del rollo y convenciones. Ver figura 10.

Figura 10. *Especificaciones técnicas según el proveedor*



AGROMANTO



FIBRA DE COCO

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	3000 F-P	3200 FC-F	4600 FC - FP
Resistencia a la tensión	ASTM D6818	1.3 kN/m	2.6 kN/m	1.3 kN/m
Elongación	ASTM D6818	22% Max	21% Max	18% Max
Rigidez	ASTM D1388	6 a 10 cm	8 a 12 cm	13 a 18 cm
PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	3000 F-P	3200 FC-F	4600 FC - FP
Masa por unidad de área	ASTM D6566	300 ± 10%	320 ± 10%	460 ± 10%
Espesor	ASTM D5199	3.0 mm	3.2 mm	5.0 mm
Penetración de luz (% Absorción)	Método ECTC	50 a 70%	50 a 70%	70 a 90%
Longevidad funcional ²	Observado	<12 meses	<24 meses	<36 meses
Color	Observado	Yute (Beige)	Yute (Beige)	Yute (Beige)
PRESENTACIÓN DEL ROLLO	NORMA	3000 F-P	3200 FC-F	4600 FC - FP
Peso	Calculado	30 kg	32 kg	46 kg
Ancho	m	2.0	2.0	2.0
Largo	m	50	50	50
Área	m ²	100	100	100
CONVENCIÓN	MATRIZ		MALLA	
F-P	Fique		Polipropileno	
FC-F	Coco, Fique		Fique	
FC-FP	Coco, Fique		Fique, Polipropileno	



ECOMATRIX

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	VALOR	PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	VALOR	PRESENTACIÓN DEL ROLLO	NORMA	VALOR
Resistencia a la tensión	ASTM D6818	4.0 kN/m	Tamaño de abertura	Medida	2x3 mm	Ancho	Medido	3.8 m
Elongación	ASTM D6818	21%	Absorción de la humedad	ASTM D570	0.01%	Largo	Medido	300 m
			Tipo de polímero	Fabricante	PP	Área	Calculado	1140 m ²
			Color	Observado	Verde			

Tomado. PAVCO (2021).

Agromanto: es un manto para Control de Erosión no tejido de fibras de fique y/o coco, entre una o dos mallas del mismo material natural o de polipropileno; se destaca por su excelente capacidad de resistir los agentes erosivos mientras se biodegrada integrándose finalmente al suelo. Se fábrica de forma que permiten el paso moderado de luz solar facilitando la germinación y el desarrollo de la planta, reteniendo y liberando humedad, creando un microclima entre el suelo y el Agromanto. El crecimiento de la planta a través del Agromanto se asegura mientras se ancla al suelo gracias al desarrollo de sus raíces (PAVCO, 2022).

Ecomatrix: es una malla de polipropileno de apariencia natural y color verde, que protege la superficie del suelo de la erosión producida por eventos naturales como lluvias y vientos. Ofrece sombrío parcial y almacenamiento de calor para así favorecer el desarrollo de la vegetación.

Ha sido diseñada para mantener las semillas y el suelo orgánico en su lugar hasta que la vegetación crezca en protección de taludes y terraplenes en vías, riberas, canales, lagos, embalses y zanjas de drenaje (PAVCO, 2022).

- Ventajas:

a. Es una alternativa económica, que se ajusta a las condiciones del proyecto.

- b. Su proceso de intervención resulta relativamente sencillo, se necesita el uso de anclajes y cuenta con suficientes especificaciones técnicas que explican su instalación.
 - c. Hay diversos tipos en el mercado de diversos proveedores.
 - d. Son tecnologías para protección y estabilización de taludes con diversos casos de éxito que facilitan el control de la erosión y permite el crecimiento vegetal para la estabilización del talud.
 - e. Son ambientalmente sostenibles, se elaboran con materiales naturales o sintéticos biodegradables que se integran con el terreno natural y al permitir y favorecer el crecimiento vegetal genera un estado más natural del talud intervenido.
 - f. El movimiento de tierras para su instalación es mínimo.
- Desventajas:
- a. Funcionan para control de escorrentías superficiales, pero hay muy poca aplicabilidad para canales y fuentes hídricas.
 - b. Al ser biodegradables solo es recomendable para suelos cohesivos que una vez se genere el crecimiento vegetal y la degradación del material la única protección de la vegetación.
 - c. La pendiente máxima de aplicabilidad es de 45°, debe usarse generalmente para taludes que tengan un alto grado de estabilidad por sus propias propiedades físicas.
 - d.

2.2.2 Mantos permanentes

Esta alternativa consiste en el recubrimiento de los taludes con mantos hechos en materiales sintéticos no degradables que permiten y el crecimiento de vegetación y control de erosión, puede trabajarse en canalizaciones. Dicha alternativa cuenta con la revisión realizada por INVIAS para la elaboración de sus especificaciones técnicas en el capítulo 8 de Geobioingeniería (Art. 850-22). Ver figura 11.

Figura 11. *Uso del biomantos en taludes*



- Tomado. PAVCO (2021).

Las Geobiomallas deben cubrir la superficie del suelo protegiéndolo contra la erosión, esta tecnología confina en su interior un sustrato biótico para la regeneración de la cobertura vegetal (INVIAS 2022). Ver figura 12.

Figura 12. *Floración de vegetación a través del manto*



- Tomado. PAVCO (2021).

Revisando la información del proveedor, se tiene un material con diferentes tipos de resistencia y secciones que se ajustan al tipo de obra a ejecutar. Ver figura 13.

Figura 13. Especificaciones técnicas según el proveedor

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	TRM 500	TRM 550	TRM 700	TRM 1000
Resistencia a la tensión ⁽¹⁾						
Elongación longitudinal	ASTM D6818	%	19.8	19.0	40.0	40.0
Elongación transversal	ASTM D6818	%	26.7	26.0	40.0	40.0
Sentido longitudinal	ASTM D6818	kN/m	3.3	5.3	45.0	60.0
Sentido transversal	ASTM D6818	kN/m	2.6	4.4	30.0	45.0
Resiliencia ⁽¹⁾	ASTM D6524	%	-	-	60.0	60.0
PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	UNIDAD	TRM 500	TRM 550	TRM 700	TRM 1000
Masa por unidad de área ⁽¹⁾	ASTM D6566	g/m ²	310 ± 5%	320 ± 5%	270	340
Espesor ⁽¹⁾	ASTM D6525	mm	11.0	11.5	7.0	10.0
Penetración de la luz ⁽¹⁾	ASTM D6567	%	27.6	27.6	35.0	30.0
Estructura	-	-	-	-	3D Rectangular	3D Rectangular
Color	-	-	Verde	Verde	Verde	Verde
PROPIEDADES DE DESEMPEÑO	NORMA	UNIDAD	TRM 500	TRM 550	TRM 700	TRM 1000
Esfuerzo cortante ⁽²⁻³⁾	Gran escala	Pa	386	480	575	766
Velocidad admisible ⁽²⁻³⁾	Gran escala	m/s	4.5	5.0	6.1	7.6
"n" de Manning profundidad de flujo entre 0.15 -0.6	Calculado	-	0.03-0.018	0.03-0.018	0.028	0.028
Germinación de las semillas ⁽³⁾	ASTM D 7322	-	470	470	200-220	255-296
DURABILIDAD	NORMA	VALOR	TRM 500	TRM 550	TRM 700	TRM 1000
Resistencia UV (% Retenido @ 1000hr) ⁽²⁾	ASTM D4355	%	90	90	90	-
Resistencia UV (% Retenido @ 3000hr) ⁽²⁾	ASTM D4355	%	-	-	90	90
Resistencia UV (% Retenido @ 6000hr) ⁽²⁾	ASTM D4355	%	-	-	-	90
PRESENTACIÓN DEL ROLLO	NORMA	UNIDAD	TRM 500	TRM 550	TRM 700	TRM 1000
Ancho	Medido	m	2.0	2.0	3.4	3.4
Largo	Medido	m	25	25	30	50
Área	Calculado	m ²	50	50	102	170

Tomado. PAVCO (2022).

Cuenta con tres tipos de mantos diferentes:

2.2.3 Mantos TRM

- Son Mantos conformados por fibras sintéticas no degradables, filamentos o mallas procesadas a través de una matriz tridimensional, con estabilización UV y resistentes a los químicos que habitan en el ambiente natural de suelo. Este tipo de soluciones se instalan donde la vegetación natural, por si sola, no es suficiente para resistir a las condiciones de flujo y no provee la protección suficiente para la erosión a largo plazo. Atrapan la semilla, el suelo y el agua para un crecimiento más rápido y denso de la vegetación (PAVCO, 2022).
- Ventajas:
 - a. Es una alternativa económica, que se ajusta a las condiciones del proyecto.
 - b. Su proceso de intervención resulta relativamente sencillo, se necesita el uso de anclajes y cuenta con suficientes especificaciones técnicas que explican su instalación.
 - c. Hay diversos tipos en el mercado de diversos proveedores.
 - d. Se pueden usar para protección de taludes en canalizaciones y afluentes.
 - e. Tiene muchos campos de aplicación, trabaja bien protección contra la erosión por consiguiente es recomendable en terrenos no cohesivos.
 - f. Su degradación es lenta por tanto permite el crecimiento vegetal.
 - g. Tiene una alta resistencia para garantizar la estabilidad del talud a los desprendimientos del material.
 - h. El movimiento de tierras para su instalación es mínimo.
- Desventajas:
 - a. Se elabora con materiales sintéticos que no aportan al ambiente y al terreno, al no ser biodegradable demora mucho en desintegrarse.

- b.** Son materiales de uso resiente por tanto no se tiene evidencia y efectividad a lo largo del tiempo.

2.2.4 Flexocreto

Formaleta flexible en tela sintética de doble capa, unida por puntos de filtración, entretejidos que se fabrican con fibras de nylon o poliéster de alta tenacidad. Al llenarse con concreto (se recomienda usar piedra con tamaño 3/8”) o mortero fluido, con el fin de a fin de garantizar una pantalla de espesor adecuada (en promedio 10cm); Se convierte en una solución práctica y económica para el revestimiento y control de erosión, puede ser instalada en ambientes secos o húmedos (PAVCO 2022). Ver figura 14 y figura 15.

Figura 14. *Uso de las bolsas de flexocreto*



Tomado. PAVCO.

Figura 15. *Flexocreto instalado en taludes con alta pendiente*



- Fuente: COVECO

Revisando la información del proveedor, se tiene un material con diferentes tipos de resistencia y secciones que se ajustan al tipo de obra a ejecutar. Ver figura 16.

Figura 16 *Especificaciones técnicas según el proveedor*

PROPIEDADES MECÁNICAS ¹	NORMA	VALOR
Resistencia a la tensión/tira ancha (SL / ST)	ASTM D4595	64 / 72 KN/m
Elongación a la rotura (SL / ST)	ASTM D4595	15% / 15%
Resistencia a la tensión Grab	ASTM D4632	2200 N
Resistencia al rasgado trapezoidal	ASTM D4533	900 N
Resistencia al punzonamiento CBR	ASTM D6241	7.5 KN
PROPIEDADES HIDRÁULICAS ¹	NORMA	12000
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	Tamiz No. 120 0.125 mm
Tasa de flujo	ASTM D4491	620 l/min/m ²
Permitividad	ASTM D4491	0.18 s ⁻¹
Permeabilidad	ASTM D4491	0.6 x10 ⁻² cm/s
PROPIEDADES FÍSICAS ¹	NORMA	12000
Tipo de polímero	(-)	Poliéster de alta tenacidad
Masa por unidad de área	ASTM D5261	230 gr/m ²
Espesor por capa de tela sintética ^(b)	ASTM D5199	0.36 mm
PUNTOS DE FILTRACIÓN	NORMA	12000
Separación de puntos (entre ejes) SL / ST	Medido	28.5 / 27.5 cm
Área del punto	Calculado	18.92 cm ²
Perímetro	Calculado	17.4 cm
PRESENTACIÓN	NORMA	12000
Ancho	Medido	3.14 m
Largo	Medido	100 m
Altura aproximada de llenado ^(b)	Estimado	12 cm



▲ Protección de estructuras hidráulicas.



▲ Perfil de protección de margen con Flexocreto.

Tomado. PAVCO.

-

- Ventajas:

- a. Alto desempeño ante diferentes presiones hidrostáticas gracias a sus puntos de filtración.
- b. Puede ser instalado en condiciones secas o bajo el agua.
- c. Ofrece buen comportamiento en la detención de procesos erosivos y/o socavación.
- d. Puede ser empleado como capa de revestimiento y protección de estructuras principales.
- e. Se adapta fácilmente a cualquier superficie.
- f. Reduce el efecto de oleaje y resiste diferentes velocidades de flujo.
- g. Optimiza el tiempo de construcción dada su facilidad de instalación.
- h. No requiere el uso de formaleta ni equipo especializado.
- i. Es una solución permanente y de alta durabilidad.

- Desventajas:

- a. Su alto costo dificulta que se considere como una alternativa viable para el proyecto.
- b. Es necesario realizar mayores movimientos de tierras para garantizar la sección del canal, adicionalmente implicaría realizar una revisión documental de nuevos estudios y diseños.
- c. Tiene un alto impacto ambiental, ya que limita el crecimiento de material vegetal.

2.3 Marco conceptual

Análisis de estabilidad de taludes. Proceso en el que se evalúa cuantitativamente la interacción entre las fuerzas (o momentos) estabilizantes o resistentes y las fuerzas (o momentos) desestabilizantes o movilizarte que actúan sobre un talud. A partir de esto, se establecen las condiciones de estabilidad actual o hipotética de ese talud. Usualmente esta condición de estabilidad se expresa en términos de un factor de seguridad. También puede involucrar el análisis de deformaciones del terreno (Sismica Institute, 2023).

Bioingeniería de suelos. Obras estructurales con uso de material natural y cero contaminantes, que nos permiten la Prevención y control de erosión, protección y estabilización de taludes, previniendo a futuro posibles movimientos de masa (Gallego & Carvajal, 2017).

Deslizamiento: movimiento de masa, sin importar que sea partículas de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, por lo general esto ocurre cuando el material se encuentra saturado de agua (SegemAR, 2007).

Cause. Conducto descubierto o acequia por donde corren los lechos de los ríos y quebradas.

Control de inundaciones. Es una medida de precaución necesaria para garantizar que los daños causados por las inundaciones se mantengan al mínimo.

Diseño hidráulico. comprende su revestimiento y la determinación de las características hidráulicas como la velocidad y el tirante que permiten establecer el régimen del flujo de agua en el canal.

Escorrentía. Aparece cuando el suelo no tiene suficiente capacidad de infiltración ante el caudal de agua, empieza acumularse y se hace referencia a la lámina de agua que transcurre sobre la superficie del terreno natural.

Erosión. Parte del proceso de desgaste en la superficie terrestre que consiste en el arranque y transporte de material de suelo o roca por un agente natural como el agua, el viento y el hielo, o por el hombre. De acuerdo con el agente, la erosión se puede clasificar en eólica, fluvial, glacial, marina y pluvial (Geo Membranas, 2022).

Erosión laminar. Es la remoción más o menos uniforme del suelo en capas delgadas, provocada por la saturación del suelo y deslizamiento superficial por la pendiente, este tipo de erosión se da más frecuentemente en suelos arenosos y en menor escala en los suelos arcillosos (SegemAR, 2007).

Erosión por salpicamento. consiste en la pérdida de suelo debido al impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del terreno; la cantidad de suelo erosionado depende de la clase del suelo, de la pendiente y que tan constante es el golpeteo del agua (SegemAR, 2007).

Estabilidad de taludes. En el estudio de la estabilidad de taludes se abordan fenómenos de estado último o de rotura de masas de suelo. El agente externo responsable de la inestabilidad es una fuerza de masa el peso y eventualmente los efectos de filtración a los que debe añadirse, generalmente como factor secundario, posibles cargas externas.

Estudio hidrológico. Se contempla el cálculo de parámetros morfométricos, tiempos de concentración, duración e intensidad de la lluvia y cálculo de caudales a partir de diferentes metodologías.

Geobiomallas. El geotextil es una malla compuesta por fibras sintéticas cuyas funciones principales se basan en su resistencia mecánica a la perforación, y tracción a su capacidad drenante.

Geotextiles. Es compuesta por fibras sintéticas cuyas funciones principales se basan en su resistencia mecánica a la perforación y tracción, y a su capacidad drenante.

Guadua. La Guadua es la especie forestal nativa más importante por sus propiedades como reguladora de aguas, protectora de suelos, además de sus cualidades físico-mecánicas que le hacen apropiada para los múltiples usos en la fabricación de artesanías (Sismica Institute, 2023)(Producción y Construcción Sostenible, n.d.).

Humedad. Relación entre la masa del agua (M_w) que se encuentra en los poros de un volumen de suelo dado y la masa de los sólidos (M_s) de ese mismo volumen de suelo. También se expresa en términos de relaciones de peso de agua y peso de sólidos (SegemAR, 2007).

Mantos. Los mantos para control de erosión evitan la acción mecánica de los agentes erosivos y retienen las partículas de suelo suelto. Este efecto de protección controla la degradación de los suelos y rocas expuestos, facilita el establecimiento de vegetación y refuerza el sistema

radicular. Consiste en confinar suelo fértil dentro de las aberturas de la geotextil para protegerlo de los agentes de la erosión y sostenerlo en terrenos de alta pendiente. Este sistema se utiliza para la vegetalización de toda clase de taludes y superficies.

Meandro. Son las curvas que describen el curso de un río medio o bajo, un meandro lo forma sinuosidades donde en el margen externo se erosiona y el interno se sedimenta. El tamaño de los meandros depende del caudal, la carga y la velocidad de sedimentación del río, así como el tipo terreno.

Meteorización. es la descomposición y modificación de algunas características de los minerales y rocas en la superficie de la tierra, debido a factores externos. La meteorización puede ser física, química y biológica (SegemAR, 2007).

Movimiento en masa. Fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente (SegemAR, 2007).

Obras de mitigación. Conjunto de medidas comprende aquellas obras de ingeniería que se diseñan con el propósito de mitigar los grandes crecientes de los ríos, lagos, lagunas y ciénagas en todas sus zonas susceptibles a inundaciones, ya sea almacenando, protegiendo sus márgenes, confinando, evacuando los excesos y adecuando sus vasos naturales.

Pasto vetiver. Vetiveria zizanioides, es una gramínea es una planta que crece en grandes macollas a partir de una masa radicular ramificada que puede alcanzar alturas de hasta 1.5 m, capaz de soportar sequías extremas, así como inundaciones, con una alta utilización en protección contra la erosión ya que se establece fácilmente en suelos húmedos y con perfil profundo (Banco Mundial, 1995).

Perfil del terreno. Este es una representación del relieve del terreno. Esta se obtiene a través de un corte transversal de las líneas de un mapa de curvas de nivel o mapa topográfico. En la

mayoría de las ocasiones, para dibujarlo, se utiliza la misma escala horizontal del mapa, pero variando la escala vertical, con el objetivo de realzar los elementos del relieve. Depende de la inclinación, y sobre todo de la amplitud del relieve terrestre, pero normalmente se usa una escala vertical entre tres y cinco veces la escala horizontal.

Protección de taludes. La protección de taludes contra la erosión se manejan varios tipos: concreto lanzado, uso de mallas de acero, uso de vegetación, uso de geotextiles y obras de drenaje superficial.

Reforestación. Se trata de la plantación masiva de árboles o vegetación en superficies forestales que han sido deforestadas, es decir, donde antiguamente existían capa vegetal que ayuda al sostenimiento.

Socavación. Se considera como socavación el efecto de excavación y transporte de material del lecho y de las orillas dando como resultado de la acción erosiva del propio flujo del agua.

Talud. Superficie artificial que se forma al cortar una ladera, o al construir obras (Gemma, 2007).

Vegetación. La vegetación es multifuncional, relativamente económica, se auto repara, es visualmente atractiva y no requiere generalmente, de equipos pesados o complejos para su instalación.

2.4 Marco legal

Ley 400 de 1997, por la cual se adoptan normas sobre Construcciones Sismo Resistentes (NSR-10 – Título H Estudios Geotécnicos) (Congreso de la República, 1977).

Ley 842 de 2003, por la cual se modifica la reglamentación del ejercicio de la ingeniería, de sus profesiones afines y de sus profesiones auxiliares, se adopta el Código de Ética Profesional y se dictan otras disposiciones (Congreso de la República, 2003).

Resolución número 330 de 2017, por la cual se adopta el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (Norma RAS) (Vivienda, 2017).

Resolución Número 2451 de 15 de julio del 2022, por la cual se adoptan las especificaciones generales de construcción para la regulación de nuevas tecnologías, como norma técnica para los proyectos de infraestructura de la Red Vial Nacional (Ministerio de Transporte, 2022).

Decreto 2245 de 2017, por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas (Ministerio de Ambiente, 2017).

Resolución 0957 de 2018, por la cual se adopta la Guía técnica de criterios para el acontecimiento de las rondas hídricas en Colombia y se dictan otras disposiciones (Ministerio de Ambiente, 2018).

Decreto Ley 2150 de 1995, Capítulo XII, por el cual se reglamenta los requisitos y condiciones para la solicitud y obtención de las licencias ambientales (Ministerio de Ambiente, 1995).

DANE. Censo Poblacional: 1964, 1973, 1985, 1993, 2005 y 2018. Bogotá (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, 2019).

2.5 Marco contextual

El presente proyecto toma sus consideraciones para la revisión inicial de la información contenida principalmente en la revisión de los estudios y diseños hecho por el contratista a la consultoría presentada por la Alcaldía de Toledo a la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres para la viabilidad del proyecto, los conceptos emitidos por el personal técnico especialista del contratista, así como su informes y estudios realizados y adicionalmente la revisión,

conceptos técnicos y aprobación emitida por la interventoría.

2.5.1 Revisión estudios y diseños existentes

Para reconocer las alternativas que puedan brindar una solución duradera que sea económica, técnica y ambientalmente factible; se debe revisar cuales son las condiciones de entrada del proyecto por la que se asumió que una intervención como la que se ejecuta, dicha revisión se realiza en dos componentes importantes, el diseño hidráulico donde se revisará la sección de diseño de la canalización y la pendiente establecida para los márgenes; también si existe alguna recomendación por parte del profesional al respecto de la incidencia del agua en el talud de los márgenes.

Fundamentalmente se debe revisar el componente del estudio de suelo de las tomas de muestras realizadas por el contratista para revisar las condiciones reales del terreno, toda vez que dependiendo de las características del terreno se debe evaluar, si la pendiente de diseño de la sección del canal permite un comportamiento estable del terreno en situaciones estables ya que por evidencia observacional se tiene que en su interacción con el agua presenta erosión con los flujos por efecto de las lluvias y el flujo laminar del agua una vez se ponga en funcionamiento las canalizaciones. También es importante evaluar en el tipo de terreno que características como su capacidad portante puedan resultar beneficiosas, esto en el entendido de si la alternativa más factible resulte algún tipo de obra pesada en concreto que implique revestimientos y anclajes para configurar la sección del canal.

No se evalúa si el estudio hidráulico y el hidrológico tomo los datos necesarios para la evaluación del caudal de diseño, o si la sección de diseño del canal cumple con un flujo continuo del agua sin superar el factor de seguridad para evitar el desbordamiento. El presente análisis se limita a revisar las condiciones del terreno en los desvíos que se realiza en la obra y que se encuentra

en etapa de revisión para blindarlo con mejores características que permitan garantizar la durabilidad del proyecto.

Por último, se revisan las condiciones actuales, el avance de la obra, el estado de los taludes de la zanja del primer desvío que ya se encuentra conformado según diseño hidráulico. Se contrasta el tipo de terreno encontrado a través de criterios observacionales si corresponden con los estudios de suelos suministrados en la etapa de revisión previa de la ejecución de las actividades de obra del proyecto. Para con ello plantear las posibles alternativas para tener en cuenta por el contratista y la alternativa más viable que se considere en esta monografía para ser evaluada.

2.5.2 Alcance de la obra en ejecución

El proyecto consiste en la intervención del cauce de la quebrada La Colonia, en su tramo que pasa por el casco urbano del corregimiento de Gibraltar en el municipio de Toledo, Norte de Santander. Para ello se consideró la ampliación de la sección transversal de canalización, con un perfil de diseño que cumple con las condiciones de trabajo a caudal de retorno sin que la quebrada colapse y se desborde, según el modelado. Adicionalmente se realizarán dos cortes de meandros que permita alejar el caudal de las viviendas y construir un vertedero de excesos en la sección de los cortes que permita servir de aliviadero al caudal en su punto más crítico. Por último, el proyecto considera realizar unas obras complementarias como lo son la elaboración de enrocados y de muros en gaviones revestidos que permitan contrarrestar los flujos de agua en caso de que se sobrepase la lámina de diseño y pueda generar inundaciones.

3. Método

El proceso metodológico que se emplea para la realización del presente proyecto se compone de la realización de un informe de supervisión técnico que inicia a partir de un proceso observacional y

supervisión de las obras en ejecución, ante la evidencia de la situación problema y el establecimiento de la necesidad, se realiza un revisión y análisis documental de los estudios y diseños técnicos con el que cuenta el proyecto, en particular el estudio y ensayos de laboratorio realizados para la caracterización geotécnica de terreno.

Adicionalmente se realiza una investigación documental sobre la alternativa que se plantea y que responde a la necesidad de intervención para la protección en proyectos o áreas con similares características para con ello evaluar y plantear técnica, económica y ambientalmente la alternativa y con ella ofrecer una posible solución al riesgos de inestabilidad del terreno por efectos pasivos y activos del agua, con el objeto de ser presentado como monografía de opción de grado de la Especialización en Interventoría y Supervisión de la Construcción de la Universidad Santo Tomás de la sede de Bucaramanga y adicionalmente como documento técnico para ser presentado por el contratista del proyecto para revisar el alcance de las obras en ejecución.

4. Resultados

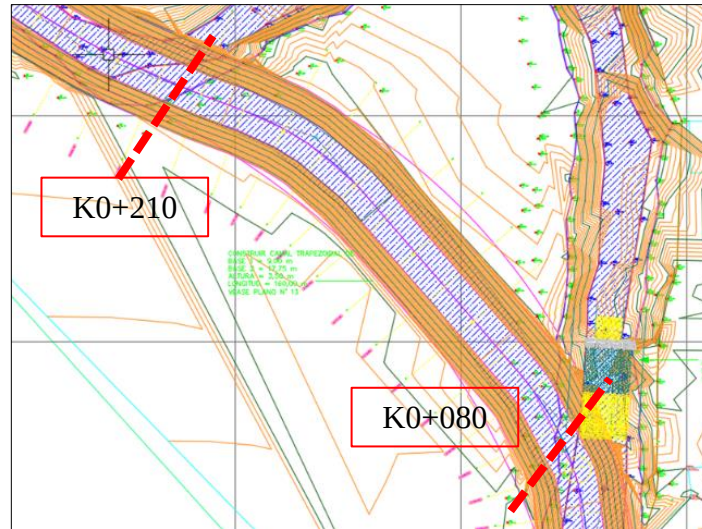
Documentación técnica del proyecto de ejecución de la canalización y control de inundaciones de la quebrada La Colonia.

4.1 Alcance de la monografía

Para el presente análisis se delimitará la obra que se realiza en el primer desvío de la quebrada, esto es desde el K0+080 hasta el K0+210 de la sección a intervenir, se revisarán los análisis, estudios de sueños y demás consideraciones que se hayan tenido en cuenta para esa área en intervención y con respecto a ello se evalúan las alternativas. Adicionalmente el proyecto también contempla otro desvío para hacer un corte de meandro, aunque dicha área ha sido intervenida, se tiene condiciones de terreno son muy similares y la alternativa evaluada se asumirá

en dicho tramo, para la presente monografía solo se evalúa el canal en ejecución entre desde el K0+080 hasta el K0+210. Como se aprecia en la figura 17.

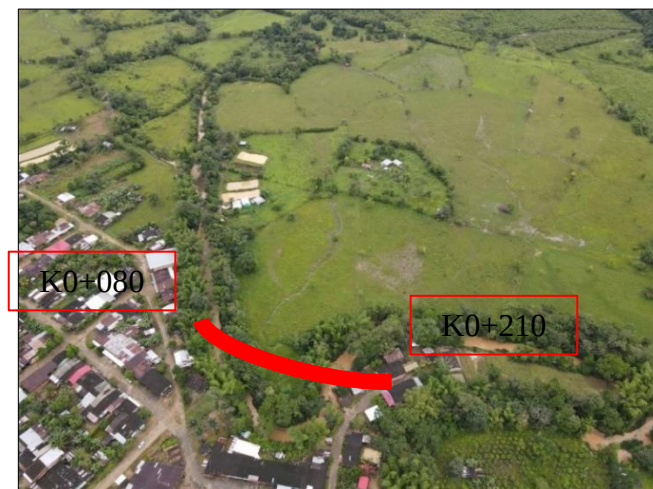
Figura 17. Tramo en intervención según sección topográfica



Tomado. Contratista (2022).

En la siguiente figura, esta una vista aérea del tramo a intervenir, antes de su realización. Ver figura 18.

Figura 18. Vista aérea del tramo antes de intervención



Fuente. Tomado de Contratista (2022).

Así mismo, se pudo evidenciar los fuertes efectos causados por la erosión en la curva del primer desvío. Ver figura 19.

Figura 19. Estado de la curva del primer desvío se puede constatar que existían fuertes efectos de erosión en sus márgenes



Tomado. Contratista (2022).

4.2 Localización del proyecto

4.2.1 Descripción del municipio de Toledo, Norte de Santander

El municipio de Toledo está ubicado en la República de Colombia, hace parte del departamento de Norte de Santander situado en el extremo centro - nororiental de Colombia, en la zona de frontera con la República de Venezuela con la cual comparte 72,614 Km. Hace parte de los municipios de la provincia de Pamplona y administrativamente en términos ambientales pertenece al Corpes de Centro oriente. Dado que su localización geográfica corresponde al sector centro – nororiental del territorio colombiano, sobre el flanco / vertiente oriental de la cordillera Oriental, en las estribaciones de la Sierra Nevada del Cocuy, el municipio presenta un relieve básicamente montañoso con una reducida parte del piedemonte llanero; conformando el

establecimiento múltiple de zonas de vida y aportando, con un sistema hidrológico exuberante, grandes cantidades de agua a la cuenca del Orinoco (Consultoría, 2021).

Extensión total: 157.790, 95 Área (Ha); Extensión área urbana (Toledo): 92, 77 Área (Ha)
Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 1.625 m.s.n.m. Temperatura media: 19°C Distancia de referencia: 95 Km de Cúcuta.

Límites y ubicación del municipio del municipio de Toledo:

- Al Norte: con los municipios de Chinácota, Herrán y la República de Venezuela.
- Al Oriente: con Venezuela y el municipio de Herrán; Al Sur: con el municipio de Cubará del departamento de Boyacá.
- Al Occidente: con los municipios de Labateca, Chinácota, Pamplonita y Chitagá. Ver fig 2

Figura 20. Localización del municipio de Toledo con respecto a Norte de Santander



Tomado. Google Maps (2022).

4.2.2 Descripción del corregimiento Gibraltar

El corregimiento de Gibraltar se caracteriza por tener una economía basada en el desarrollo agropecuario por medio de la ganadería bovina extensiva tipo leche, donde se obtiene la materia prima para la elaboración de quesos y otros derivados lácteos. El corregimiento está ubicado sobre la región suroriental del municipio de Toledo, Norte de Santander, sobre la vía central que comunica al Departamento Norte de Santander con el municipio de Cúbará (Departamento de Boyacá) y la región del Sararé colombiano (Gran Cuenca del río Orinoco).

El centro poblado del corregimiento presenta los siguientes límites geográficos:

- Al norte con la vereda Mundo Nuevo.
- Al sur con la vereda La Pista.
- Al oriente con la vereda La Pista y la vereda El Porvenir.
- Al occidente con la vereda Bóngota. (Consultoría, 2021)

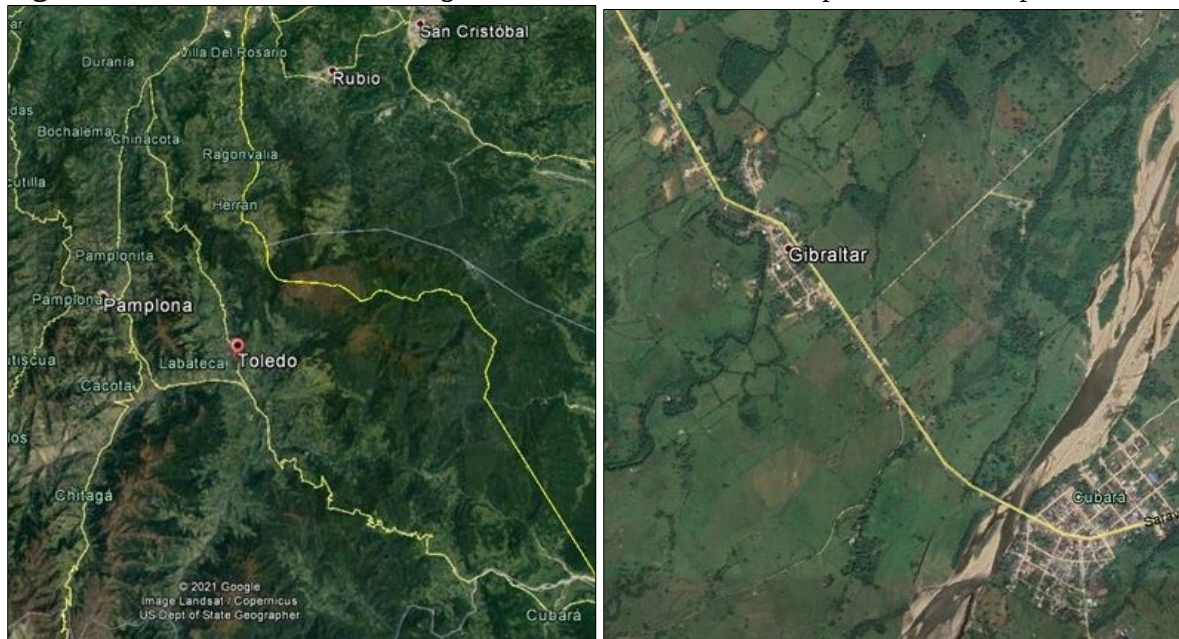
Al corregimiento de Gibraltar están adscritas las veredas de: Cubugón, Santa Marta 1, Alto Horizonte, Cedeño, California, El Porvenir y Mundo Nuevo. Las veredas Santa Marta1, Alto Horizonte y El Porvenir, van desde la ribera del río Cubugón hasta las riberas del río Margua, siendo las de mayor extensión, caracterizadas por poseer grandes pendientes que forman las vertientes de los ríos Cubugón y Margua, poseen grandes áreas de laderas con peligros de deslizamientos o desprendimientos en masas. Ver figura 21 y figura 22.

Figura 21. Localización del corregimiento de Gibraltar con respecto al municipio de Toledo



Tomado. Consultoría (2021).

Figura 22. Localización del corregimiento de Gibraltar con respecto al municipio de Toledo



Tomado. Google Earth (2023).

4.3 Desarrollo de la etapa pre constructiva

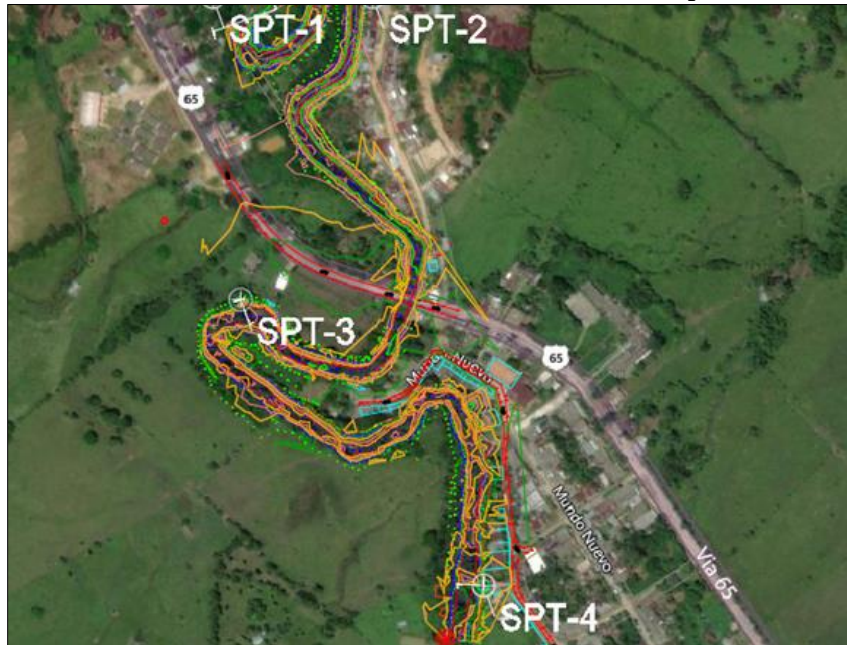
El proceso de ejecución de las actividades del proyecto inició el día 29 de abril de 2022 con la suscripción del acta de inicio entre las partes: contratista, interventoría y supervisión. Con esto se formaliza la revisión de la etapa precontractual del proyecto que consiste en hacer una revisión general de los documentos técnicos, garantizando que cumplan con las condiciones técnicas, normativas y el objeto del contrato. Una vez suscrito el inicio del proyecto se procede, con el equipo técnico del contratista hacer la respectiva revisión de los estudios y diseños iniciales y son esos resultados los que se evalúan para la presente monografía.

4.4 Revisión estudio de suelos

Para esta revisión el contratista procedió a realizar una toma de muestras en el sitio, porque la información que se tenía del estudio inicial no era concluyente, se tomaron en cuatro puntos diferentes muestras por SPT a 4 m de profundidad y con los resultados de laboratorio se realizaron los respectivos análisis de estabilidad de la sección transversal del canal. En la siguiente figura se muestra la localización de los SPT realizados para hacer los respectivos análisis de laboratorio y estudio de suelos. No se revisan las condiciones geomorfológicas del terreno, solamente los resultados que muestran el perfil de suelo y sus características físicas.

Ninguna de las muestras tomadas es del sitio de intervención del desvío, lo que dificulta que en las muestras hayan determinado realmente las características del terreno del desvío. Se tiene que solo la muestra cuatro es la más cercana al sitio donde se focaliza el análisis, y la muestra tres se hizo en el margen de la quebrada donde se hace el desvío, por ello se toman los resultados de dichas muestras y se contrasta con las condiciones de terreno que existen en la obra, para evaluar si se ajustan y por tanto tener presente cuales son las variables para tener en cuenta para revisar las alternativas. Ver figura 23.

Figura 23. Localización de las tomas de muestra realizadas por el contratista



Fuente Estudio de suelos del Contratista (2022).

A continuación, se presentan las coordenadas del sitio de la localización donde se realizaron los cuatro sondeos. Ver tabla 1.

Tabla 1. *Coordenadas de localización de las muestras de sondeos*

SONDEO	NORTE	ESTE
SPT 1	1267971	1215949
SPT 2	1267971	1216093
SPT 3	1267699	1215974
SPT 4	1267442	1216193

Tomado. Estudio de suelos del Contratista (2022).

A continuación, se presenta la profundidad de los sondeos y la presencia de nivel freático

con su respectiva profundidad para cada uno de los sondeos. Ver tabla 2.

Tabla 2. Profundidad de los sondeos y profundidad en que se encontró nivel freático

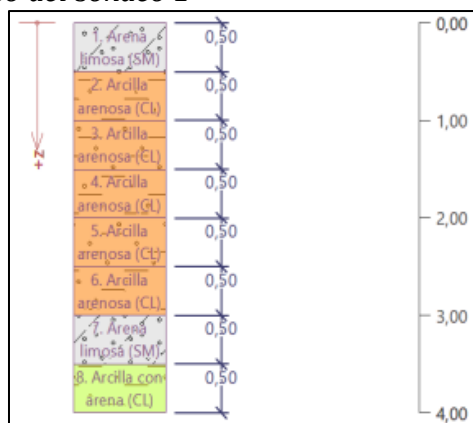
Sondeo	Prof (m)	Sondeo	Prof (m)	Sondeo	Prof (m)	Sondeo	Prof (m)
	0.50		0.50		0.50		0.50
No. 1	1.00	No. 2	1.00	No. 3	1.00	No. 4	1.00
N. F=	1.50	N. F=	1.50	N. F=	1.50	N. F=	1.50
3.80 M	2.00	3.85 M	2.00	3.60 M	2.00	3.40 M	2.00
	2.50		2.50		2.50		2.5
	3.00		3.00		3.00		3.0
	3.50		3.50		3.50		3.5
	4.00		4.00		4.00		4.0

Tomado. Consultoría (2021).

4.4.1 Perfiles estratigráficos

Sondeo No. 1: En el Sondeo No. 1 se evidencia un estrato de arena limosa con grava de 0.5 m de profundidad, arcilla arenosa desde 0.5 a 3.0 m de profundidad, arena limosa entre 3.0 y 3.5 m y arcilla con arena de 3.5 m a los 4.0 m. Ver figura 24.

Figura 24. Perfil estratigráfico del sondeo 1

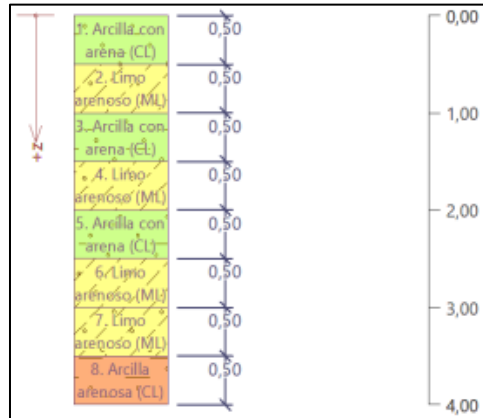


Tomado. Estudio de suelos del Contratista (2022).

Sondeo No. 2: En el Sondeo No. 2 se evidencia un estrato de arcilla con arena de 0.5 m de

profundidad, seguido por un estrato de limo arenoso, estrato de arcilla con arena, limo arenoso y, finalmente, un estrato de arcilla arenosa entre 3.5 y 4.0 m. Ver figura 25.

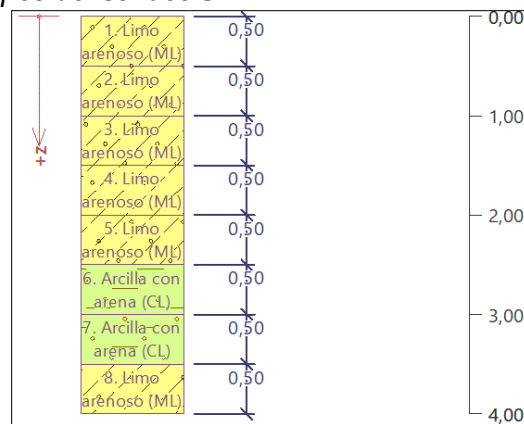
Figura 25. Perfil estratigráfico del sondeo 2



Tomado. Estudio de suelos del Contratista (2022).

Sondeo No. 3: En el Sondeo No. 3 se registra un estrato de 2.5 m de limo arenoso, un estrato desde 2.5 a 3.5 m de arcilla con arena y otro estrato de limo arenoso entre 3.5 y 4.0m. Ver figura 26.

Figura 26. Perfil estratigráfico del sondeo 3

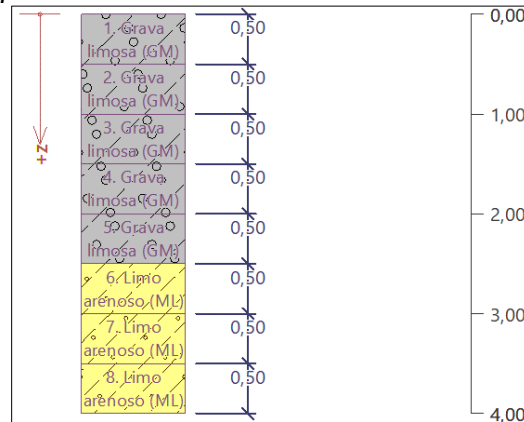


Tomado. Estudio de suelos del Contratista (2022).

Sondeo No. 4: Las muestras del Sondeo No. 4 presentan un estrato de grava limosa con

arena desde 0.0 a 2.5 m y un segundo estrato de limo arenoso desde 2.5 a 4.0 m. Ver figura 27.

Figura 27. Perfil estratigráfico del sondeo 4



Tomado. Estudio de suelos del Contratista (2022).

4.4.2 Capacidad portante

La capacidad portante se define como la carga por área unitaria de la cimentación bajo la cual ocurre la falla por corte en el suelo. Esta capacidad de carga representa el esfuerzo total que puede ser aplicado a nivel de la cimentación para alcanzar la condición de falla del sistema suelo – cimentación. Para determinar el comportamiento de resistencia del suelo soporte para las estructuras proyectadas se estimó la capacidad portante del suelo mediante el software NovoSPT con correlaciones basadas en el número de golpes. Ver tabla 3.

Tabla 3. Capacidad de carga sondeos considerados

Capacidad de carga q (kPa)		
Prof. [m]	Sondeo No.3	Sondeo No.4
0.50	43.37	43.86
1.00	77.51	149.97
1.50	104.03	149.54

2.00	170.58	237.07
2.50	269.95	300.92
3.00	309.00	431.73
3.50	632.06	422.47

Tomado. Estudio de suelos del Contratista (2022).

4.4.3 Capacidad admisible

La capacidad de carga admisible, q_{adm} , consiste una reducción de la capacidad de carga última con la aplicación de un factor de seguridad FS , donde $FS = 3$. Se aprecian los resultados de los 4 sondeos por niveles de profundidad. Ver tabla 4.

Tabla 4. *Capacidad de carga admisible sondeos considerados*
Capacidad de carga $q(kPa)$

Prof [m]	Sondeo No. 1	Sondeo No. 2	Sondeo No. 3	Sondeo No. 4
0.50	14.46	11.29	14.46	14.62
1.00	34.71	28.27	25.84	49.99
1.50	61.24	50.92	34.68	49.85
2.00	70.92	62.98	56.86	79.02
2.50	86.62	97.56	89.98	100.31
3.00	120.88	141.97	103.00	143.91
3.50	151.69	126.72	210.69	140.82

Tomado. Estudio de suelos del Contratista (2022).

4.4.4 Conclusiones revisión estudios de suelos

Se tiene que para el tipo de material que se encuentra en las excavaciones realizadas se ajusta más al tipo de terreno resultante del sondeo No. 3, esto debido hasta el momento en la excavación ha sido poca la presencia de gravas, pero si muy abundante los materiales no cohesivos y arenosos como lo vienen siendo las arenas limosas o con presencia de arcillas. Solo al superar la cota de excavación de los 3 metros se encontró presencia de material poco arcilloso, cohesivo y expansivo en presencia del agua.

Las características del terreno son propias de arenas con presencia de limos y arcillas en sus estratos más bajos (tomando de referencia los SPT realizados y la excavación que se tiene en la obra), producto de los depósitos por formaciones cuaternarias de la zona. Dichas arenas son poco cohesivas, solo en estado seco adquieren cierta adherencia, y en estado húmedo se comporta de manera muy suelta, poco permeable y estable, es por ello por lo que dentro de las alternativas se debe evaluar el tipo de intervención debe proteger los taludes de los efectos de erosionables del agua y la socavación por la latencia de la lámina del cauce.

4.4.4 Revisión diseño hidráulico

Se revisó y modeló la alternativa de diseño establecida en el proyecto, encontrando que se garantiza, según las condiciones revisadas que la sección del canal puede trabajar con el caudal de diseño sin que esto ocasiona alguna alteración, y por tanto se cumpliría con el alcance del proyecto.

Intensidad – Frecuencia – Duración de las lluvias. La Curva Intensidad Duración Frecuencia, representa la intensidad (I) o magnitud de una lluvia fuerte expresada en milímetros por hora, para una duración (D) determinada que usualmente puede ser 30, 60, 90, 120 o 360

minutos y que se estima tiene una probabilidad de ocurrencia, o frecuencia (F) expresada en años, lo que también se conoce como periodo de retorno (IDEAM, 2022).

Una curva IDF o de Intensidad-Duración-Frecuencia es una relación matemática, generalmente empírica, entre la intensidad de una precipitación, su duración y la frecuencia con la que se observa.

La probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones intensas puede caracterizarse mediante períodos de retorno, obtenidos a partir de la inversa de la frecuencia acumulada. Permite conocer el comportamiento espacial y temporal del fenómeno así mismo deberá presentar los análisis y la característica de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad medida de lluvia para periodos de retorno específicos.

El valor de la precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual es igual a 407.70 mm resultado calculado en la tabla N° 9 precipitación máxima. Estos valores promedios fueron extraídos de la página web <http://www.ideam.com.co/web/tiempo-y-clima/clima> en el anexo promedios climatológicos, archivo 1971 – 2000 (Estudio Hidrológico Consultoría, 2021). Ver tabla 5.

Tabla 5. *Datos intensidades de lluvia para diferentes duraciones y periodos de retorno*

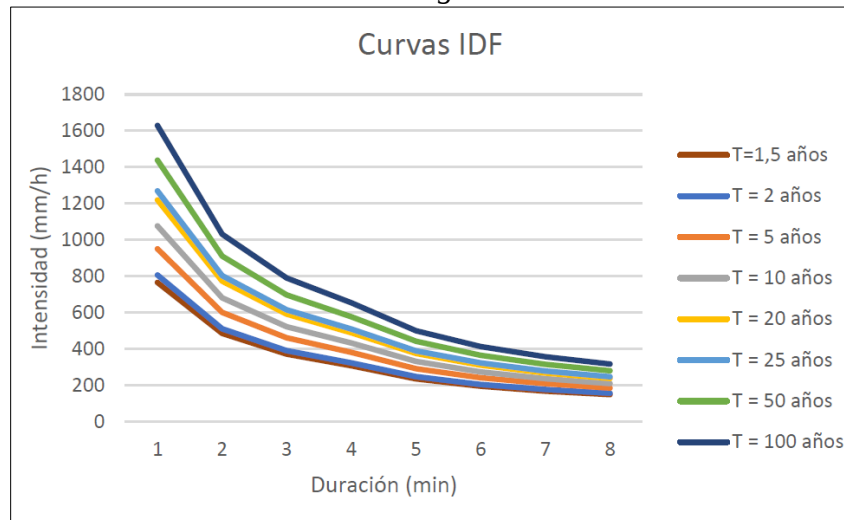
IDF	Periodo de retorno							
Duración	1.5	2	5	10	20	25	50	100
5	765	806	950	1076	1219	1269	1438	1629
10	484	510	601	681	772	803	910	1031
15	370	390	460	521	591	615	696	789
20	306	323	381	431	488	508	576	653

IDF	Periodo de retorno							
30	234	247	291	330	374	389	441	499
40	194	204	241	273	309	322	365	413
50	167	176	208	235	267	278	315	356
60	148	156	184	206	237	246	279	316

Tomado. Estudio hidrológico Consultoría (2021).

Una vez hechos los ajustes y revisión de los datos el especialista hidráulico. Por lo tanto, se obtienen los siguientes resultados para la elaboración de la curva IDF de la zona a intervenir. Ver figura 28.

Figura 28. Curvas IDF de la Estación Meteorológica



Tomado. Estudio de suelos del Contratista (2022).

Los anteriores resultados permiten concluir que en la zona se presenta una alta incidencia de precipitaciones, al estar sobre el pie de monte llanero es de los sectores que más llueve en el 62LEV, por tanto, cualquier intervención a realizar debe considerar el efecto erosivo de las lluvias

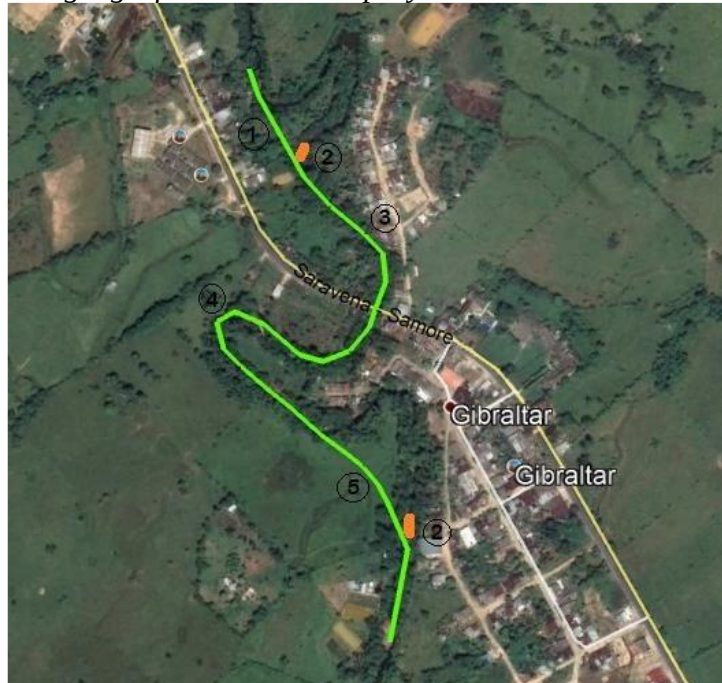
y adicionalmente el flujo de las escorrentías producto de estas lluvias.

Trazado de intervención. El consultor realizó la modelación del curso de agua de la quebrada La Colonia con el software HEC-RAS, usando una topografía inicial tomada en la consultoría que abarca un total 1315 m de longitud de la quebrada a intervenir en el proyecto y que en la optimización del trazado quedará de 950 m.

No es necesario para el presente evaluar si el modelado cumple con las condiciones técnicas necesarias, considerando que ya dicha información paso por diversas etapas de revisión se asume que todo lo que establece el estudio y diseño hidráulico está bien determinado, y asumiendo que en el estado de avance del proyecto no habría lugar para realizar ajustes de este tipo, simplemente se debe revisar si las condiciones de la sección del trazado cumple con los criterios de estabilidad de taludes del terreno encontrado en la zona intervenida.

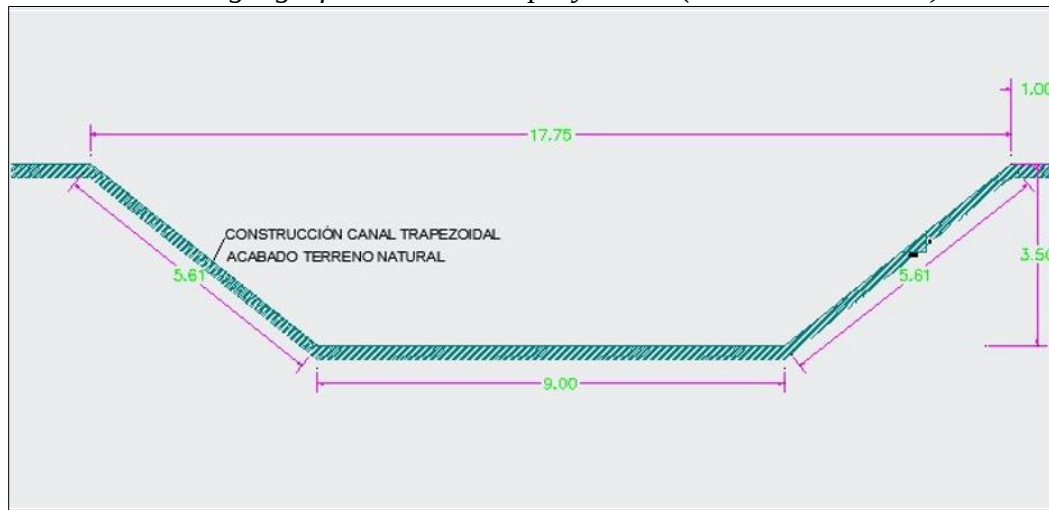
En la consultoría se propone modificar el trazado del cauce actual a nivel del meandro 1 a fin de alejar la quebrada de la población de Gibraltar, evitando la construcción de obras civiles significativas y garantizando mayor bienestar a la comunidad. Se desarrollarán las siguientes actividades. Ver figura 29.

Figura 29. Localización geográfica del trazado proyectado



Tomado. Diseño hidráulico Consultoría (2021).

Este trazado también considera optimizar la pendiente del lecho de la quebrada, con el objetivo de darle uniformidad, linealizar el flujo y unificar la velocidad del caudal. En función de ello se propone cortar en los desvíos con una sección trapezoidal $\text{base1} = 9 \text{ m}$, $\text{base2} = 17,75 \text{ m}$, $\text{altura} = 3,50 \text{ m}$, taludes $1:1,25$, adicionalmente la construcción de dos vertederos de excesos sobre el cauce existente, el primero a construirse en la abscisa $K0+080$ y el segundo en la abscisa $K0+850$ estos permitirán desbordar el 30 % del caudal de diseño estimado sirviendo como un aliviadero al caudal de diseño. Ver figura 30.

Figura 30. Localización geográfica del trazado proyectado (medidas en metros)


Tomado. Estudio de suelos del Contratista (2022).

Se puede apreciar en las dimensiones que dicho trazado y la sección optimizada de la canalización permitiría tener uno flujos muy estables con los caudales de retorno. Ver tabla 6.

Tabla 6. Resultados de la simulación del caudal de diseño en HECRAS

	Cota	65Levació	65Levació	65Levació	Pendiente	Velocidad	Área	Espejo		
Progresiva	de	n de la	n del nivel	n de la	de la	en canal	Hidráulica	de	Froude	
o Abscisa	Q	Fondo	superficie	critico	línea de	línea de		agua	#	
	Total		del agua		energía	energía			CANAL	
	(m³/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
0+930,00	150	382,68	385,61	385,34	386,42	0,002989	3,97	37,75	16,66	0,84
0+915,00	150	382,61	385,29	385,29	386,34	0,004274	4,53	33,1	15,7	1
0+900,00	150	382,52	385,12	385,19	386,26	0,004857	4,73	31,7	15,58	1,06
0+885,00	150	382,45	385,04	385,14	386,2	0,004897	4,76	31,54	15,45	1,06
0+870,00	150	382,37	384,98	385,06	386,12	0,004847	4,74	31,66	15,46	1,06
0+855,00	150	382,3	384,91	384,99	386,05	0,004829	4,73	31,7	15,48	1,06
0+840,00	150	382,22	384,83	384,91	385,97	0,004815	4,73	31,73	15,48	1,05
0+825,00	150	382,15	384,76	384,83	385,89	0,004779	4,71	31,82	15,5	1,05
0+810,00	150	382,07	384,69	384,77	385,82	0,004763	4,71	31,86	15,5	1,05
0+795,00	150	381,99	384,73	384,69	385,74	0,004042	4,44	33,79	15,85	0,97

	Cota	65Levació	65Levació	65Levació	Pendiente	Velocidad	Área	Espejo		
Progresiva	de	n de la	n del nivel	n de la	de la	en canal	Hidráulica	de	Froude	
o Abscisa	Q	Fondo	superficie	critico	línea de	línea de		agua	#	
	Total		del agua		energía	energía			CANAL	
	(m³/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
0+780,00	150	381,91	384,61	384,61	385,67	0,004312	4,55	33	15,69	1
0+765,00	150	381,84	384,48	384,54	385,6	0,004668	4,67	32,09	15,54	1,04
0+750,00	150	381,76	384,42	384,46	385,52	0,004567	4,64	32,34	15,58	1,03
0+735,00	150	381,69	384,36	384,4	385,45	0,004534	4,63	32,42	15,6	1,02
0+720,00	150	381,62	384,3	384,32	385,37	0,004409	4,58	32,75	15,65	1,01
0+705,00	150	381,54	384,19	384,24	385,3	0,004641	4,66	32,16	15,56	1,04
0+675,00	150	381,39	384,07	384,1	385,15	0,004438	4,59	32,67	15,63	1,01
0+660,00	150	381,32	383,97	384,02	385,07	0,004636	4,66	32,17	15,55	1,04
0+645,00	150	381,24	383,99	383,95	384,99	0,004049	4,44	33,76	15,82	0,97
0+630,00	150	381,17	383,88	383,86	384,92	0,004289	4,54	33,06	15,97	1
0+615,00	150	381,1	383,84	383,79	384,85	0,004047	4,45	33,75	15,8	0,97
0+600,00	150	381,02	383,81	383,71	384,78	0,003857	4,37	34,33	15,89	0,95
0+585,00	150	380,95	383,78	383,64	384,71	0,003628	4,28	35,09	16,02	0,92
0+570,00	150	380,89	383,82	383,54	384,62	0,003012	3,98	37,74	18,21	0,85
0+555,00	150	380,82	383,63	383,49	384,56	0,003608	4,27	35,15	16,02	0,92
0+541,00	150	380,73	383,61	383,42	384,5	0,003387	4,17	35,95	16,14	0,89
0+525,00	150	380,65	383,66	383,32	384,41	0,002741	3,84	39,07	17,08	0,81
0+510,00	150	380,57	383,28	383,28	384,33	0,004301	4,54	33,03	15,69	1
0+495,00	150	380,47	383,13	383,18	384,26	0,004757	4,71	31,87	15,5	1,05
0+480,00	150	380,4	383,06	383,13	384,18	0,004735	4,7	31,93	15,51	1,05
0+465,00	150	380,34	383	383,05	384,11	0,004641	4,66	32,16	15,55	1,04
0+450,00	150	380,27	382,86	382,98	384,03	0,005035	4,79	31,29	15,48	1,08
0+435,00	150	380,2	382,78	382,9	383,97	0,005139	4,84	31,01	15,36	1,09
0+420,00	150	380,12	382,7	382,83	383,89	0,00517	4,85	30,95	15,36	1,09
0+405,00	150	380,05	382,63	382,75	383,82	0,005123	4,83	31,05	15,37	1,09
0+390,00	150	379,99	382,56	382,68	383,74	0,005094	4,82	31,11	15,38	1,08
0+375,00	150	379,92	382,48	382,6	383,67	0,005106	4,83	31,08	15,38	1,08
0+360,00	150	379,85	382,41	382,53	383,59	0,005079	4,82	31,15	15,39	1,08
0+345,00	150	379,78	382,59	382,46	383,52	0,003631	4,28	35,08	16,02	0,92

	Cota	65Levació	65Levació	65Levació	Pendiente	Velocidad	Área	Espejo		
Progresiva	de	n de la	n del nivel	n de la	de la	en canal	Hidráulica	de	Froude	
o Abscisa	Q	Fondo	superficie	critico	línea de	línea de		agua	#	
	Total		del agua		energía	energía			CANAL	
	(m³/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
0+330,00	150	379,71	382,55	382,34	383,46	0,0034	4,22	35,57	15,37	0,88
0+315,00	150	379,63	382,62	382,28	383,36	0,002705	3,82	39,24	13,15	0,71
0+300,00	150	379,56	382,25	382,23	383,29	0,004221	4,51	33,26	15,74	0,99
0+285,00	150	379,48	382,21	382,16	383,21	0,004009	4,43	33,87	15,83	0,97
0+270,00	150	379,4	382,21	382,08	383,13	0,003601	4,25	35,32	16,27	0,92
0+255,00	150	379,31	382,2	381,99	383,06	0,003294	4,12	36,4	16,35	0,88
0+240,00	150	379,23	381,93	381,93	382,99	0,004363	4,56	32,87	15,67	1,01
0+225,00	150	379,16	381,81	381,86	382,91	0,00462	4,66	32,21	15,56	1,03
0+210,00	150	379,08	381,75	381,78	382,84	0,004548	4,63	32,39	15,59	1,03
0+195,00	150	379,01	381,69	381,71	382,76	0,004465	4,6	32,59	15,62	1,02
0+180,00	150	378,94	381,63	381,64	382,69	0,004346	4,56	32,91	15,67	1
0+165,00	150	378,86	381,5	381,55	382,62	0,004691	4,68	32,03	15,54	1,04
0+150,00	150	378,79	381,44	381,48	382,54	0,004582	4,64	32,3	15,58	1,03
0+135,00	150	378,72	381,4	381,41	382,46	0,004353	4,56	32,92	15,71	1
0+120,00	150	378,64	381,3	381,33	382,39	0,004505	4,62	32,49	15,6	1,02
0+105,00	150	378,57	381,24	381,26	382,32	0,004472	4,6	32,58	15,61	1,02
0+090,00	150	378,49	381,13	381,18	382,24	0,004684	4,68	32,05	15,54	1,04
0+075,00	150	378,42	381,06	381,11	382,17	0,004658	4,67	32,12	15,55	1,04
0+060,00	150	378,35	380,99	381,04	382,1	0,004639	4,66	32,16	15,56	1,04
0+045,00	150	378,27	380,93	380,96	382,02	0,004519	4,62	32,46	15,6	1,02
0+030,00	150	378,2	380,88	380,89	381,94	0,004379	4,57	32,83	15,67	1,01
0+015,00	150	378,13	380,77	380,81	381,87	0,004587	4,64	32,29	15,58	1,03

Tomado. Estudio hidrológico Consultoría (2021).

Conclusiones revisión estudio hidrológico y diseño hidráulico. Se evidencia que el análisis hidráulico realizado se hace con todos los datos obtenidos en el estudio hidrológico y se modela la sección de la quebrada obtenida con la topografía para lograr con ello una sección de diseño. Es

evidente que se garantiza que el trazado va a disminuir drásticamente la cota de la lámina de agua por su paso por la sección con el caudal de diseño. Algunas de las consideraciones más importantes es que el estudio no sugirió alternativas de intervención para el tipo de terreno, por tanto, no queda claro si existe la necesidad de proteger, optimizar los taludes resultantes.

4.5 Estado actual de la intervención donde se empieza a evidenciar la problemática

La necesidad surge de las consideraciones que se han tenido en la etapa de ejecución del proyecto, se ha visto que los taludes no presentan estabilidad a los efectos de erosión del agua, aunque la pendiente de diseño del canal es óptima considerando su capacidad portante, sí hizo falta un ensayo de corte directo para profundizar en las características físicas del terreno, como es su ángulo de fricción interna.

También faltó que el geotecnista contemplara que la interacción del agua va a tener sus efectos, por lo menos hasta que la nueva sección se conforme y permita mantenerse estable con el tiempo. Adicionalmente se necesita que la intervención sea eficiente y no implique mayor desgaste constructivo que genere la necesidad de nuevos y mayores estudios y diseños, costos que obliguen a adicionar al proyecto o a limitar su alcance. Ver figura 31 y figura 32.

Figura 31. *Tramo en intervención*



Tomado. Contratista (2022).

Figura 32. *Tramo en intervención*



Tomado. Contratista (2022).

4.6 Evaluación de alternativa de protección de taludes

Dadas las características de las tres alternativas consideradas para el proyecto, se confirma la más factible y conveniente para ser evaluada, la de uso de Mantos Permanentes, por diversas

razones: En primer lugar, es una alternativa económica, lo que le permitiría al proyecto seguir garantizando el alcance de la obra y adquiere una durabilidad y estabilidad mayor. También existen diversos casos de éxito en uso para canalizaciones en terreno natural, protege a los taludes de los efectos erosivos del agua y de socavación, adicionalmente permite el crecimiento vegetal, lo cual mejora la estabilidad del talud, y si se combina con una reforestación en sus márgenes puede garantizar una mayor y mejor durabilidad de las obras que se ejecutan.

Tabla 7 Evaluación comparativa de las opciones de intervención de talud

Característica	Mantos Permanentes	Geo Bioingeniería	Geotextiles
Descripción	Coberturas vegetales establecidas en taludes para controlar la erosión y mejorar la estabilidad.	Combinación de técnicas de ingeniería civil y biológicas para estabilizar taludes, utilizando elementos como mallas, biomantles y vegetación.	Tejidos sintéticos permeables utilizados para separar suelos, filtrar agua y reforzar estructuras del suelo.
Ventajas	Alta eficiencia en el control de la erosión, mejora la estética del talud, bajo costo de mantenimiento a largo plazo, promueve la biodiversidad.	Solución flexible y adaptable a diferentes condiciones, mejora la estabilidad del talud, reduce el riesgo de deslizamientos, estética natural.	Fácil instalación, alta resistencia a la tracción, mejora el drenaje del suelo, aumenta la vida útil de las estructuras.
Desventajas	Requiere un tiempo de establecimiento de la vegetación, susceptible a daños por incendios o pastoreo, requiere un diseño específico para cada sitio.	Requiere un conocimiento especializado en ambas disciplinas, puede ser más costoso que otras opciones, requiere mantenimiento periódico.	Puede ser afectado por la degradación por rayos UV, requiere un diseño adecuado para evitar la acumulación de agua.
Aplicaciones	Control de la erosión en taludes de carreteras, canales, terraplenes, áreas	Estabilización de taludes en zonas con alta pendiente, recuperación de áreas	Separación de suelos en rellenos sanitarios, refuerzo de terraplenes,

	mineras, zonas urbanas.	degradadas, protección de márgenes de ríos.	drenaje en carreteras, protección de tuberías.
Materiales	Semillas, fertilizantes, mulch, geotextiles (en algunos casos).	Mallas de acero o biodegradables, biomantos, semillas, fertilizantes, rocas.	Geotextiles de poliéster, polipropileno, poliamida.
Fuente. Revisión bibliográfica (2024).			

4.6.1 Componente técnico

El uso de mantos para protección y control de la erosión de taludes está definido en una especificación técnica de INVIAS como geobioingeniería, el cual consiste en el uso de tecnologías cuya principal característica es combinar materiales orgánicos; como semillas y fibras naturales, con inertes; telas de alta densidad, cables de polipropileno, grapas, etc. (INVIAS 2022). Existen muchas alternativas entre las cuales están: biorrollos, biobarreras, geobiomallas, mantos, hidrosiembra, anclajes y sistemas compuestos para control de erosión.

Muchos de estas tecnologías usan en mayor o menor medida materiales naturales como es el caso de la fibra de fique o de coco, el cual no solamente es biodegradable y ambientalmente positivo, sino que en su proceso de descomposición aportaría nutrientes al sustrato que ayuda a la germinación de las semillas y al afloramiento y extensión del material vegetal en el terreno natural utilizado. También se utilizan productos sintéticos que aportan a la resistencia del terreno, para el control de la cohesión del material gracias a su alta densidad.

Para la alternativa en particular que se propone para su uso mantos sintéticos permanentes que permitan la germinación de nueva vegetación y control de la erosión. Además, uno de sus usos recomendados es en canalizaciones o fuentes hídricas en terreno natural, lo cual se ajusta al proyecto en revisión. Para su correcta instalación es necesario el uso de anclajes, los cuales hay en diversos tipos, pero es recomendable los ganchos de fijación que son en acero y dada su

configuración se ancla bien en terrenos pocos cohesivos

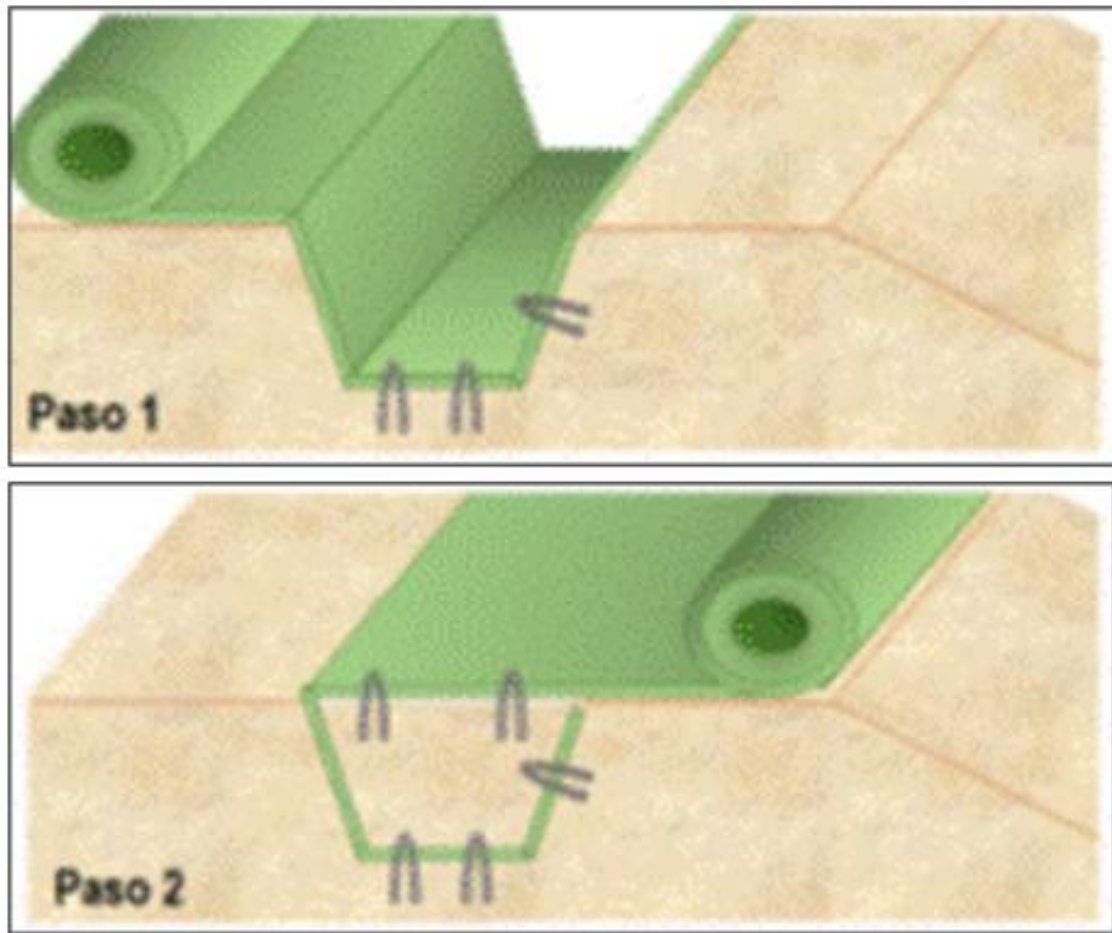
El proceso constructivo en la especificación técnica de IINVIAS se establece así: Es necesario verificar si el suelo del sitio a revegetar posee las condiciones necesarias; es decir, si el talud posee una capa de suelo orgánico que garantice la germinación de las semillas y el sostenimiento de la vegetación a largo plazo. En caso de no ser así, se recomienda la colocación de una capa superficial de suelo o una biota de suelo certificada y, junto con ella, mezclar los fertilizantes, las semillas y los hidro retenedores necesarios.

Si el suelo posee las condiciones necesarias para la germinación de las semillas, se debe proceder con la preparación de la superficie, tal y como se indica a continuación:

- Remover todas las rocas, raíces, vegetación o cualquier tipo de obstrucción que pueda evitar el contacto del manto con la superficie del suelo.
- Nivelar el área de sembradío de las semillas según el alineamiento y la pendiente establecidos en los documentos del proyecto.
- Preparar el suelo donde se van a sembrar las semillas, escarificando de cincuenta de cincuenta a setenta y cinco milímetros (50 a 75 mm) de profundidad en el área ya preparada.
- Con el fin de evitar derrumbes desde la cima del talud y la infiltración de agua de escorrentía entre el suelo del talud y el manto para control de erosión, el extremo superior del rollo del manto se debe enterrar en una zanja excavada únicamente con dicho propósito, asegurando el manto al extremo superior de la zanja en forma de doble faz y fijándolo al terreno con tres (3) ganchos por metro lineal, para después tapar la zanja. La zanja de anclaje debe ser de quince por quince centímetros (15 x 15 cm) y debe quedar a una distancia entre sesenta y noventa centímetros (60 a 90 cm), medida desde la corona del talud.
- Una vez preparada la superficie, el paso a paso para la instalación del manto es el siguiente:

- Excavar una zanja de treinta por quince centímetros (30 x 15 cm) en la cresta del talud a unos sesenta a noventa centímetros (60 a 90 cm) del borde, con el fin de anclar el manto.
- Cubrir la superficie de la zanja con el manto (paso 1), áncelo, coloque el suelo de relleno y compáctelo (paso 2) con el material proveniente de la excavación o según lo indique el interventor.
- Desenrollar el manto hacia abajo del talud traslapando los rollos adyacentes como mínimo diez centímetros (10 cm). Extender el material libremente (sin tensionarlo) manteniendo contacto directo con la superficie del talud o la ladera. En el traslapo se coloca una hilera de anclajes separados entre sí a una distancia no mayor a cincuenta centímetros (50 cm).
- Asegurar el manto al suelo con los elementos de fijación de acuerdo con los requisitos del proyecto. Los elementos tipo gancho en “U”, se deben colocar en un ángulo aproximado de treinta grados (30°) con respecto a la superficie del talud y en el sentido de la endiente. A consideración del interventor o del constructor se pueden usar anclajes de mayores longitudes dependiendo del tipo de suelo e inclinación del talud.
- Al terminar el rollo ubique el siguiente traslapándolo veinte centímetros (20 cm) y coloque grapas cada treinta centímetros (30 cm). Ver figura 33.

Figura 33. *Detalle anclaje para inicio del talud*



Tomado. INVIAS (2022).

4.6.2 Componente ambiental

Considerando que el uso de este material promueve el crecimiento vegetal al tiempo que controla y mantiene la estabilidad de los taludes. Por ello se propone también el uso y siembra de plantas que permitan la reforestación del talud, brindando mayor adherencia, cohesión ya que las raíces ayudan a mantener el talud. En la alternativa se considera realizar la siembra con dos tipos de plantas de fácil intervención que se recomiendan a las características del terreno y adicionalmente combinarlas con la reforestación de vegetación nativa de la zona:

Uso de vetiver para el control de la erosión: El vetiver es una planta de origen indo asiático

que tiene un uso muy extendido para el control de la erosión de los terrenos en pendiente, existe evidencia que los indios la han usado desde hace más de 200 años para el uso de protección de taludes en lugares de siembra y para evitar la erosión producto de las lluvias en el terreno. Alcanza una distancia de raíz de hasta 2 m en terrenos sueltos, característica encontrada en la obra, y su tiempo de crecimiento es de 7 meses, lo cual resulta muy beneficioso porque si se interviene y los resultados son a corto plazo sin un gasto excesivo y como una alternativa ambientalmente sostenible y tiene un uso muy extendido en canalizaciones. Ver figura 34.

Figura 34. *Uso del vetiver en taludes*



Tomado. Ecoportal.net (2022).

Uso de guadua como control de la erosión y meteorización: El uso de la guadua ha sido altamente extendido, tiene la propiedad que extiende sus raíces por varios años antes de iniciar en crecimiento de su basa y la extensión de estas raíces por tanto aumenta la firmeza en terrenos poco cohesivos. Tiene un extendido uso en fuentes hídricas lo cual se adapta a las condiciones del proyecto que está en consideración. Ver figura 35.

Figura 35. *Uso de la guadua en taludes*


Tomado. UNAL (2020).

4.6.3 Componente económico

En este componente se evalúa el costo de dicha intervención, hay que aclarar que solo se limita a la primera zanja elaborada en el proyecto que tiene una longitud de 130 metros y la extensión total de cada uno de sus márgenes con la extensión de uso para anclar el manto es de 6 m en promedio lo cual implica que se deben intervenir 780 m² a cada margen para un total de 1560 m². Por último, solo se evalúa el costo directo de la intervención de las tres opciones. Ver tabla 8, 9 y 10.

Tabla 8 *Presupuesto de intervención de la alternativa de la zanja en manto permanente*

- Presupuesto intervención								
- Ítem	- Descripción	- Und	- Cant.	- Vr Unit.	- Vr. Parcial			
- 1	- Manto	-	-	-	-			
- 1.1	- suministro e	- m2	- 1580.00	- \$	- \$			
	instalación de			32,800.00	51,824,000.00			

- Presupuesto intervención									
manto TRM									
500 incluye									
los anclajes									
-	2	-	Reforestación	-	-	-	-	-	-
-	2.1	-	Suministro de	-	m3	-	237.00	-	\$
			sustrato para					145,200.00	34,412,400.00
			abono						
-	2.2	-	Suministro y	-	und	-	3200.00	-	\$ 3,200.00
			siembra de						10,240,000.00
			plántula						
			vetiver, cada						
			30 cm						
-	2.3	-	Suministro y	-	und	-	65.00	-	\$ 4,700.00
			siembra de						\$ 305,500.00
			plántulas de						
			guadua cada						
			4 m						
-	2.5	-	Suministro y	-	und	-	130.00	-	\$ 3,700.00
			siembra de						\$ 481,000.00
			plántula árbol						
			carbonero, de						

- Presupuesto intervención	
la zona, cada	
2 m	
- Costo directo	- \$97,262,900.00

Tomado. Elaboración propia.

Tabla 9 Presupuesto de intervención de la alternativa de la zanja en Geo Bioingeniería

Ítem	Descripción del Ítem	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (Moneda)	Valor Total (Moneda)	Observaciones
1	Mano de obra calificada (ingenieros, técnicos)	Hora	10	\$200.00/hora	\$2000.00/hora	Supervisión, diseño y ejecución
2	Mano de obra no calificada (ayudantes)	Hora	20	\$100.00/hora	\$2000.00/hora	Excavación, colocación de materiales
3	Material vegetal (estacas, ramas, etc.)	m ³	1500	\$500.00/m ³	\$7500.00/m ³	Especies nativas, tamaño adecuado
4	Geotextil	m ²	200	\$7.00/m ²	\$14.00/m ²	Protección de taludes, filtración
5	Biomalla	m ²	200	\$8.00/m ²	\$16.00/m ²	Refuerzo de taludes, retención de suelo
6	Semillas	kg	1000	\$10.00/kg	\$100.00/kg	Especies nativas, adaptación al clima
7	Fertilizante	kg	50	\$50.00/kg	\$250.00/kg	Estimulación del crecimiento vegetal
8	Equipo pesado (excavadoras, retroexcavadoras)	Hora	10	\$400.00/hora	\$400.00/hora	Excavación, movimiento de tierra
10	Transporte	km	40	\$100.00/km	\$400.00/km	Transporte de materiales y personal
11	Contingencias	%	10%		\$ 11.800.000	Imprevistos, ajustes
Total					\$ 121.880.000	

Tomado. Elaboración propia.

Tabla 10 Presupuesto de intervención de la alternativa de la zanja en Geo Textiles

Ítem	Descripción del Ítem	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (Moneda)	Valor Total (Moneda)	Observaciones
1	Mano de obra calificada (ingenieros, técnicos)	Hora	10	\$200.00/hora	\$2000.00/hora	Diseño, supervisión, instalación
2	Mano de obra no calificada (ayudantes)	Hora	20	\$100.00/hora	\$2000.00/hora	Excavación, colocación de geotextil, relleno
3	Geotextil	m ²	1500	\$600.00/m ³	\$9000.00/m ³	Tipo, peso, resistencia
4	Geomembrana (si aplica)	m ²	200	\$800/m ²	\$16.00/m ²	Impermeabilización
5	Material de relleno (arena, grava)	m ³	200	\$9.00/m ²	\$18.00/m ²	Especificaciones técnicas
6	Equipo pesado (excavadoras, retroexcavadoras)	Hora	10	\$400.00/hora	\$400.00/hora	Excavación, colocación de materiales
8	Transporte	km	40	\$100.00/km	\$400.00/km	Transporte de materiales y personal
9	Contingencias	%	10%		\$ 11.220.000	Imprevistos, ajustes
Total					123.220.000	

Tomado. Elaboración propia.

4.7 Proceso de intervención de la alternativa

Una vez presentada la alternativa y al haber hecho balance económico de la intervención propuesta se presentó a la interventoría la cual, en comité técnico, verifica que la intervención se puede hacer con los costos imprevistos del proyecto, los cuales para el contrato de obra estaban por un valor a la par de los costos económicos a los que ascendería lo propuesto y valida el interés por realizarse una actividad complementaria con un componente ambiental que mitigue los efectos de la intervención realizada.

Terminada ejecución de la canalización, el contratista procede a realizar la protección con el manto permanente TRM 500 de marca PAVCO Wavin, el cual favorece la germinación de

semillas, la siembra por estolones de vetiver y garantiza la estabilidad del material no cohesivo con las pendientes de diseño de la sección transversal, la cual no es superior al 45%. El proceso constructivo que se siguió fue el siguiente:

4.7.1 Riego de semilla de pasto

En un primer momento se hace la siembra de semillas de pasto de alto enraizamiento en todas las laderas tanto de las canalizaciones como de los jarillones en terreno natural realizados en a la obra. Dicha siembra se buscó realizarse en días donde el clima daba las condiciones para la activación de la semilla una vez esparcida en el terreno húmedo. Ver figura 36 y figura 37.

Figura 36. *Riego de semillas en jarillones de protección*



Tomado. Contratista (2022).

Figura 37. *Riego de semillas en margen de la canalización*



Tomado. Contratista (2022).

4.7.2 Instalación del Manto Permanente TRM 500 PAVCO Wavin

Para la instalación del manto permanente, se hace necesario el trabajo de una cuadrilla de construcción de un oficial y hasta cuatro obreros, con el uso de maquinaria pesada para la elaboración de las zanjas de anclaje y se sigue el siguiente proceso constructivo:

- Se toma la medida del pie de talud hasta el borde del jarillón de protección.
- Se deja un margen de 1 a 2 m sobre la cresta del jarillón y se hace una zanja al pie del talud y en el borde de hasta un metro de profundidad para anclar el manto.
- Se extiende en rollos garantizando un traslapo entre mantos de mínimo 30 cm y dejándolos sobrepuestos contrarios al flujo del agua.
- Para los anclajes se usan estacas de pantas recién cortadas de 50 cm con capacidad de germinar por estacas, entre ellas la planta matarratón que tiene un rápido crecimiento, germina solo con estacas, enraíza bien, puede crecer en pendientes y en terrenos no cohesivos al margen de fuentes hídricas.
- Las zanjas se rellenan con el material de excavación, en particular conglomerado que aporte peso y soporte al manto y de esta manera minimice la posibilidad de soltarse por fuerza del agua cuando el cauce de la quebrada aumente. Ver figuras 38, 39, 40 y 41.

Figura 38. *Instalación del manto*



Tomado. Contratista (2022).

Figura 39. *Instalación del manto*



Tomado. Contratista (2022).

Figura 40. *Instalación del manto*



Tomado. Contratista (2022).

Figura 41 *Instalación del manto*



Tomado. Contratista (2022).

4.7.3 Siembra de pasto vetiver por estolones

Para realizar la siembra se dispone de estolones de vetiver de al menos 30 cm de alto, se siembran con sustrato, acondicionando el área para ello, se hace el corte al manto, procurando que el vetiver quede dispuesto entre las venas o refuerzo longitudinal de este, y se siembra cada 50 cm entre ellos, con el tiempo se hace el chequeo del crecimiento del pasto, para las condiciones del terreno se espera una estabilización completa de las plántulas en al menos 6 meses a un año. Ver figura 42, 43, 44 y 45.

Figura 42. *Siembra de estolón de vetiver*



Tomado. Contratista (2022).

Figura 43. *Siembra de estolón de vetiver*



Tomado. Contratista (2022).

Figura 44. *Siembra de estolón de vetiver*



Tomado. Contratista (2022).

Figura 45. *Siembra de estolón de vetiver*



Tomado. Contratista (2022).

4.7.4 Siembra complementaria de guadua y carbonero por plántulas

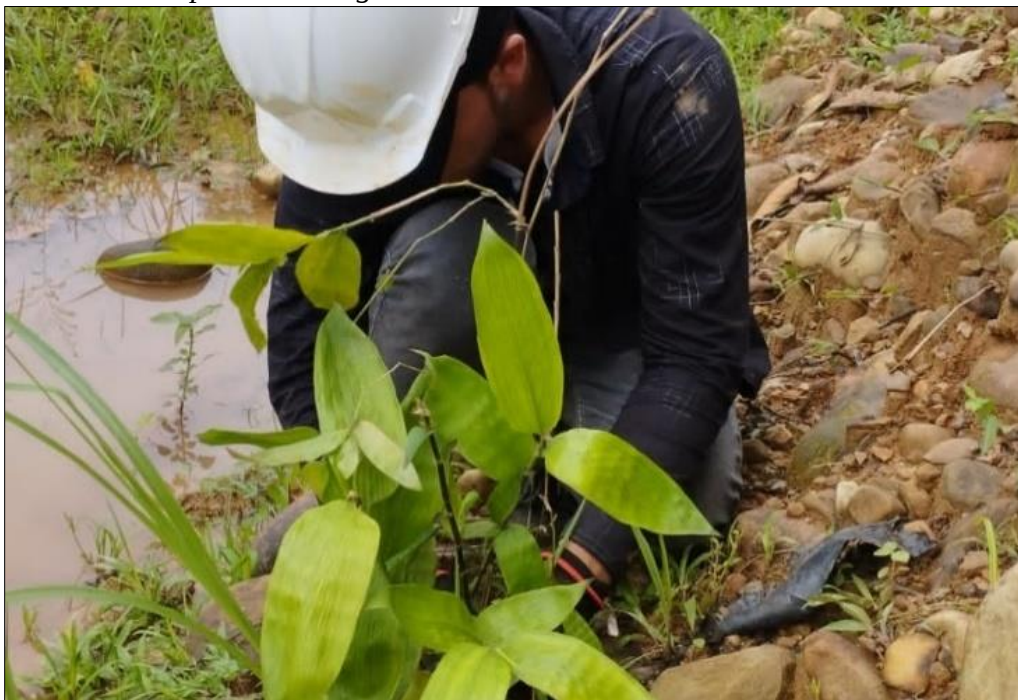
Las plántulas que se disponen para la siembra de toman de al menos 30 cm de alto, se siembran con sustrato, acondicionando el área para ello, no se hacen sobre el manto ya que el objetivo es sostener el borde del margen de la quebrada, igualmente para el proyecto se sembró guadua y carbonero sobre todos los jarillones y márgenes intervenidos de la quebrada. La guadua es una planta altamente utilizada para la protección de taludes y su estabilidad, aunque su mayor limitante son el tiempo de crecimiento que puede superar los 5 años enraizando y su inestabilidad cuando crece en pendientes, ya que su peso la puede hacer colapsar, para contrarrestar, la siembra se realizó en superficies horizontales de las áreas intervenidas en los márgenes y relativamente retirados del borde. En cambio, el carbonero es un árbol que crece más rápido, tiene alta sostenibilidad en pendientes y se permite crecer en márgenes de fuentes hídricas, es de tamaño pedio por lo que no aporta mayor peso al talud. Ver figura 46, 47, 48 y 49.

Figura 46. *Siembra de plántulas de carbonero y guadua*



Tomado. Contratista (2022).

Figura 47. *Siembra de plántulas de guadua*



Tomado. Contratista (2022).

Figura 48. *Carboneros, especie de la zona*



Tomado. Contratista (2022).

Figura 49. *Preparación del terreno*

Tomado. Contratista (2022).

4.8 Estado actual de la intervención

A finalizar el presente informe, se cumplen los primeros meses de los trabajos realizados, se han presentado varias crecidas en la quebrada y la intervención realizada ha resistido técnicamente la erosión en taludes de carreteras próximas, canales, terraplén, zonas rurales y urbanas aledañas.

En la siguiente figura se puede evidenciar el proceso de crecimiento del vetiver que permitirá garantizar la estabilidad de los márgenes de la canalización a posteridad, particularmente hay que hacer énfasis que el uso del manto no se considera como una solución definitiva para el control de la erosión sino como un estado de protección complementario durante el tiempo que se toman las plantas como el vetiver de adquirir fortaleza y permitan garantizar la protección del talud a los márgenes de la canalización realizada.

Figura 50 *Crecimiento del vetiver por toma aérea*

Tomado. Contratista (2022).

4.9 Consideraciones y recomendaciones

Desde la etapa de la formulación se tuvieron en cuenta las condiciones reales del terreno por tanto se consideraron dentro de las actividades a ejecutar la necesidad de proteger los taludes resultantes de la conformación e intervención de la quebrada se revisaron las condiciones de esos taludes.

Varias de las alternativas presentadas y consultadas se hacen con el uso de nuevas tecnologías que permiten reducir los recursos de intervención como costos y tiempos, ser ambientalmente más estables y sostenibles, que armonizan con el medio. Entre estas existen alternativas para intervenir en afluentes hídricas y que permiten que su impacto no sea agresivo con las condiciones de terreno.

Existe un gran catálogo de productos en el país, lo que hace accesible estas tecnologías, los proveedores brindan asesorías, su uso ya se encuentra reglamentado, existen muchos casos de éxito,

cuenta con normas de calidad y técnicas tanto nacionales como intervenciones lo que permitiría desestimar la ejecución de actividades más complejas como lo es el uso de concreto reforzado, lanzado y anclado para control de taludes en fuentes hídricas.

La alternativa sugerida es la que se considera más viable por su alto impacto inmediato, permitiendo continuar con la obra sin generar afectaciones mayores de tipo presupuestal o en los plazos de ejecución. Incluye un componente biótico importante como es la reforestación con plantas de masivo uso para este tipo de condiciones, lo que mejora el alcance del proyecto en ejecución y garantiza su estabilidad.

La presente monografía se presenta como trabajo de grado para optar el título de especialista en Interventoría y Supervisión de la Construcción de la universidad, pero a su vez es una revisión documental para brindar al contratista de alternativas que deben ser revisados tanto por el equipo técnico del contratista como de la interventoría. Se debe evaluar a detalle su proyecto, incluyendo las condiciones propias de la obra y que no entran a lugar en esta monografía.

Como primera consideración es importante validar el perfil de terreno, por tanto, el contratista debe a cuenta propia realizar los respectivos análisis de laboratorio y estudio de suelos con las recomendaciones que debe contar con el aval de un especialista en suelos y revisadas por el especialista hidráulico para determinar que no afecta el comportamiento de la lámina de agua.

5. Conclusiones

Objetivo 1. El proyecto fue formulado por la alcaldía de Toledo y viabilizado como un proyecto de inversión por la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Revisando la información inicial, se tomaron diversas consideraciones; en primer lugar, los estudios y diseños iniciales se adaptaron teniendo en cuenta la imposibilidad de intervenir tramos del área de uso de la quebrada donde ya se tienen construcciones, es por ello por lo que no interviene uno de los

meandros problemáticos de la quebrada y donde el estudio hidráulico refuerza, para ello linealizan el meandro anterior a esto y refuerza los tramos con enrocados y gavionadura.

Todo el proyecto se encarga de intervenir para el control y mitigación de las inundaciones, también para la erosión en algunos tramos, pero no hace mayor intervención en los cortes ejecutados. Desde ahí se ve la deficiencia que presenta el proyecto, en un sentido estricto, no están interviniendo predios aledaños a viviendas donde pues la problemática puede ser mayor, en esencia los dos cortes se hacen un poco alejados de las viviendas, lo que vendrían siendo potreros, cumple la función de desviar y linealizar el cauce sin necesidad de extender la protección en dichos cortes y cuyo mayor problema podría ser erosionar tramos sobre predios sin mucho uso, el proyecto sí refuerza e interviene en márgenes muy cercanos a las viviendas. Se puede tomar que no se previó necesario al tener en cuenta el uso del suelo en los dos tramos de corte, hacer algún tipo de protección.

El presente proyecto abordó la necesidad por tres razones, la afectación ambiental que se estaba generando al hacer los desvíos, la crítica de la comunidad y de los propietarios de los predios al ver que no se estaba considerando realizar mayor trabajo que el de excavar y perfilar la canalización y durante el proceso constructivo que las constantes lluvias no permitían manejar un talud estable por su poca cohesión.

A partir de la exploración de campo y los ensayos de laboratorio realizados, se estima la prevalencia de material limoso arenoso en la zona de incidencia, con cierta proporción de gravas limosas, arenas limosas y arcillas arenosas, estratos que, por sus propiedades no cohesivas, son propensos a generar dificultades durante el proceso de construcción e instalación de las estructuras hidráulicas ya que son materiales pedregosos y filtran el agua con gran facilidad.

Debido a estas características, es recomendable compactar el suelo soporte reduciendo el volumen de aire presente en sus poros, garantizando el contenido de humedad óptimo en el que la

densidad seca sea máxima, para ello, es necesario realizar el ensayo Proctor y revisar los resultados obtenidos por parte de la interventoría del proyecto, igualmente, es necesario implementar geotextiles que sirvan como filtro y eviten la erosión del suelo.

Objetivo 2. En cuanto al análisis de capacidad portante, de acuerdo con los resultados obtenidos de los sondeos de penetración estándar, donde, a partir del número de golpes (N/pie), es posible implementar correlaciones para determinar la capacidad portante del suelo y según la correlación establecida por Terzaghi y utilizando un Factor de seguridad $FS = 3$, se estima una capacidad de carga admisible promedio del suelo de 142.46 kPa ($q_{adm} = 142.46 \text{ kPa} = 14.52 \text{ t/m}^2$).

A partir de los cálculos efectuados para el estudio de la estabilidad se establecieron las líneas de fluidez en los taludes y cuerpo del canal y estructuras de contención, obteniendo coeficientes de factor de seguridad de mayores a 1.5, estimando así condiciones estables. Estos factores de seguridad implican implementar las estructuras de contención previstas de acuerdo con las especificaciones y definiendo un completo sistema de drenaje de agua. Sin embargo, en el modelo del vertedero en muro de gaviones se obtuvo un factor de seguridad menor a uno, lo que indica que el talud se encuentra en el punto de rotura. Cabe resaltar que las iteraciones realizadas por el método de equilibrio límite para obtener la relación entre las resistencias del suelo y los demás cálculos están sujetos a variaciones, debido a valores que no se disponen como, por ejemplo, la permeabilidad.

Las condiciones de compactación y la densidad de los materiales de cimentación y relleno deben garantizarse mediante el Ensayo Proctor Modificado, que permita determinar la densidad seca máxima del suelo y la humedad óptima necesaria para alcanzar esta densidad, puesto que, de esta manera se obtienen importantes ventajas constructivas y de servicio, debido a que el incremento de la densidad genera reducción de la compresibilidad, incremento de la resistencia al corte y disminución de la permeabilidad.

De acuerdo con la profundidad del flujo requerida y las cotas para el enrocado y los gaviones, debe implementarse una cimentación con revestimiento del suelo natural mediante una capa de concreto ciclópeo de un espesor entre 10 y 20 cm, garantizando que la cota del canal esté aproximadamente a la misma altura del que la cota de la profundidad del flujo o tirante. Los colchones que funcionen como disipadores de energía también deben recubrirse con hormigón para prevenir problemas de erosión.

En ese sentido, la bioingeniería ha estado tomando mucha fuerza para la intervención de taludes principalmente en proyectos viales pero también en control de erosión de quebradas, con plantas de amplio uso reconocidas como lo son el vetiver y la guadua, es por ello que lo primero que se plantea es la siembra de vegetación que ayuden a mitigar el impacto ambiental de la intervención la cual también se vio obligada a talar una considerable cantidad de árboles, algunos ya muy inestables pero otros que generaban la percepción de protección a la comunidad. Adicionalmente se ha venido masificando el uso de mantos sintéticos o de origen orgánico, como el usado en la intervención, cuya principal característica es brindar protección a la vegetación en su crecimiento y prevenir la erosión durante dicho proceso, se cumple la necesidad del contratista de que dicha alternativa tenga un importante componente de economía, ya que la obra contó con recursos limitados y se dispone a aprovechar los imprevistos en dicha intervención.

Objetivo 3. Dadas las características de las tres alternativas consideradas para el proyecto, se presume como la más factible para ser evaluada, la de uso de Mantos Permanentes, por diversas razones: En primer lugar, es una alternativa económica, su valor asciende a \$97,262,900.00 valor

que le permitiría al proyecto seguir garantizando el alcance de la obra y adquiere un durabilidad y estabilidad mayor, lo cual hace factible la ejecución de la alternativa en obra, ya que no excede los recursos de imprevistos, dado que el contratista debe justificar su uso, se presenta a la interventoría la necesidad de invertir en proteger.

La alternativa garantiza un impacto ambiental mínimo, ya que no se interviene más de lo realizado propiamente en la obra, el manto es un material sintético que por los factores climáticos tiene un tiempo de vida útil no mayor a 10 años, tiempo que garantiza la sostenibilidad del factor más importante de la intervención, la recuperación ambiental.

Adicionalmente y como componente técnico, se ha evidenciado el funcionamiento satisfactorio del proyecto, se contó con la capacidad suficiente para realizar los trabajos necesarios sin afectar el avance de la obra, no generó sobrecostos insostenibles para el contratista y se ha contado con la satisfacción de la comunidad en general del corregimiento y de los propietarios que cedieron el terreno para hacer los desvíos ya que sus necesidades han sido abordadas por los actores del proyecto.

También existen diversos casos de éxito en uso para canalizaciones en terreno natural, protege a los taludes a los efectos erosivos del agua y de socavación, adicionalmente permite el crecimiento vegetal, lo cual mejora la estabilidad del talud, y si se combina con una reforestación en sus márgenes puede garantizar una mayor y mejor durabilidad de las obras que se ejecutan.

Referencias

- Alcaldia Mayor de Bogotá. (2015). *Lineamientos para el desarrollo de estructuras con tecnicas de bioingeniería*. Bogotá: https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/anexo_02_-_obras_de_rehabilitacioun_de_suelos_degradados_y_sistemas_de_bioingenieriua.pdf.
- Banco Mundial. (1995). *Vetiver La barrera contra la erosión*. Washinton, D. C.
- Congreso de la República. (1977). *Ley 400 de 1977*. Bogotá: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=336.
- Congreso de la República. (2003). *Ley 842 de 2003*. Bogotá: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=40907.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadisticas. (2019). *Censo poblacionales* . Bogotá: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/muestras-censales>.
- Escuela de Ingeniería. (2021). *Manual de Diseño de Anclajes al Concreto Según ACI318-19*. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1690/Mu%C3%B1oz%20Tirado%2C%20Michell%20Norvey-2021.pdf?sequence=2>.
- Gallego, S., & Carvajal, L. (2017). *Regionalización De Curvas De Duración De caudales*. obras estructurales con uso de material natural y cero contaminantes, que nos permiten la Prevención y control de erosión, protección y estabilización de taludes, previniendo a futuro posibles movimientos de masa (Gallego Arias & E., 2016).
- Geo Membranas. (2022). *Geo Soluciones*. Obtenido de <http://www.geomembranas.com.co>
- Ingenieria Real. (2024). *TALUD; Clasificación, diseño y recomendaciones*. <https://ingenieriareal.com/talud-clasificacion-diseno/>.
- INVIAS. (2022). *Especificaciones Generales de Construcción*.

- Mejía Flores, L. E., & Caro Spinel, S. (2005). *Factores que determinan el uso de los geosintéticos en proyectos de pavimentación en Colombia*. Revistas electrónicas UN. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/22585>
- Ministerio de Ambiente. (2017). *Decreto 2245 de 2017*. Bogotá: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=85056.
- Ministerio de Ambiente. (2018). *Resolución 0957 de 2018*. Bogotá: <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-0957-de-2018/>.
- Ministerio de Transporte. (2022). *Resolución Número 2451 de 15 de julio del 2022*. Bogotá: <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/resoluciones-circulares-otros/13329-resolucion-2451-del-15-de-julio-de-2022/file>.
- Ministerio de Ambiente. (1995). *Decreto Ley 2150 de 1997*. Bogotá: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=1208.
- PAVCO. (2022). *Fichas técnicas productos*.
- PAVCO S.A. (2006). *Manual de diseño con geosintéticos / PAVCO-AMANCO*. Bogotá.
- Paz, L. (2022). *Estudio de la Bioingeniería como alternativa para la estabilización de suelos*. Medellín: Universidad de Antioquia. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/29249/1/PazLuis_2022_Bioingenier%C3%ADaDeSuelos.pdf.
- Ruiz, D., Ibañez, A., & Saldaña, A. (2020). *Infraestructura verde urbana*. Bogotá: <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2020/cap4/402/>.
- SegemAR. (2007). *Movimientos en Masa de la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas*. <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/2792>.
- Sismica Institute. (2023). *Guía práctica de Análisis de Estabilidad de Taludes*. <https://sismica-institute.com/guia-practica-analisis-de-estabilidad-de-taludes-fellenius-bishop/>.

Unión Temporal Consultoria Canal Gibraltar, Alcaldía de Toledo. (2021). *Consultoría para la elaboración de estudios y diseños sobre la quebrada “la colonia” para la proyección de obras civiles que permitan mitigar las amenazas de riesgo de las viviendas construidas cercanas al cauce, en el centro poblado de Gibraltar, municipio de Toledo, Norte de Santander.*

Unión Temporal Obras Gibraltar. (2022). *Revisión de estudios y diseños iniciales.*

Vivienda, M. d. (2017). *Resolución número 330 de 2017.* Bogotá:

<https://www.minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>.