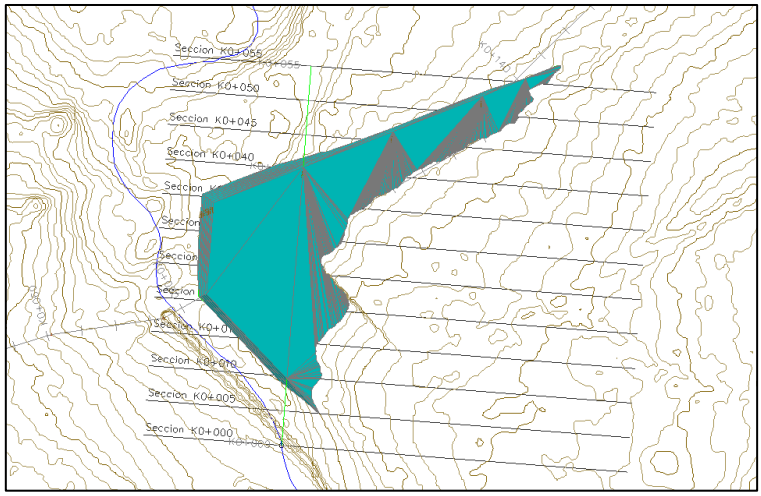
INGENIERÍA GEOTÉCNICA
& CAMBIO CLIMÁTICO




# IDPC-CC-368-2023 ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS, COMPLEMENTARIOS Y NECESARIOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO, AMENAZA Y VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA Y DISEÑO DE OBRAS DE REDUCCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS RIESGOS PARA LOS POLÍGONOS Y EQUIPAMIENTOS QUE SE UBICARÁN DENTRO DEL PREDIO DENOMINADO “HACIENDA EL CARMEN”, CATEGORIZADO COMO ÁREA DE PROTECCIÓN ARQUEOLÓGICA, UBICADA EN LA LOCALIDAD DE USME, BOGOTÁ D.C.

## ENTREGABLE 8 PLAN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE RIESGOS V3

**JULIO 2024**

INGENIERÍA GEOTÉCNICA
& CAMBIO CLIMÁTICO

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

INSTITUTO DISTRITAL DE PATRIMONIO CULTURAL

BOGOTÁ

# INSTITUTO DISTRITAL DE PATROMONIO CULTURAL

## CONTRATO IDPC-CC-368-23

# IDPC-CC-368-2023 ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS, COMPLEMENTARIOS Y NECESARIOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO, AMENAZA Y VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA Y DISEÑO DE OBRAS DE REDUCCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS RIESGOS PARA LOS POLÍGONOS Y EQUIPAMIENTOS QUE SE UBICARÁN DENTRO DEL PREDIO DENOMINADO “HACIENDA EL CARMEN”, CATEGORIZADO COMO ÁREA DE PROTECCIÓN ARQUEOLÓGICA, UBICADA EN LA LOCALIDAD DE USME, BOGOTÁ D.C.

## ENTREGABLE 8 PLAN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE RIESGOS

## VERSIÓN 3

## JULIO DE 2024

## BOGOTÁ D.C.

Info@ciambiental.com 601 726 8982 ciambiental.com

# CONTENIDO

1 Generalidades ..... 7
2 Diseño detallado de las obras de ingeniería ..... 7
2.1 Diseño de obras de mitigación para control de desbordamiento de la quebrada Aguadulce ..... 7
2.1.1 Alternativa 1: Dique ..... 10
2.1.2 Alternativa 2: Terraplén de nivelación ..... 12
2.2 Obras de protección Box Culvert ..... 14
2.2.1 Cruce 4 (Avenida Caracas) ..... 15
2.2.2 Acceso 1 (Carrera 3ra) ..... 19
2.3 Obras de estabilización sector crítico Quebrada Aguadulce ..... 23
2.3.1 Alternativa 1: Micropilotes ..... 26
2.3.2 Alternativa 2: Muro en Gaviones ..... 28
2.3.3 Alternativa 3. Malla de alta resistencia ..... 30
2.3.4 Alternativa seleccionada ..... 32
2.4 Diseño de canales ..... 34
2.5 Diseño de taludes en zonas de corte ..... 35
2.6 Definición de zonas de protección ..... 36
2.6.1 Obras de Protección Trinchos en guadua ..... 39
3 Plan de mantenimiento y monitoreo ..... 43
3.1 Recomendaciones para la implantación de los proyectos urbanísticos del Parque Arqueológico ..... 47
4 Plan de contingencia para las obras de mitigación ..... 48
4.1 Organización del Plan de Contingencia ..... 48
4.2 Identificación de las emergencias y sus actores ..... 48
4.2.1 Área de Influencia ..... 48
4.2.2 Identificación y Evaluación de Riesgos ..... 48
4.2.3 Elementos Vulnerables ..... 49
4.2.4 Otros posibles actores involucrados ..... 49
4.3 Mecanismos de respuesta ..... 49
4.3.1 Mecanismos de Aviso y Articulación de la Respuesta ..... 49

4.3.2 Rutas de Evacuación ..... 49
4.3.3 Capacitación al Personal ..... 49
4.4 Mecanismos de control de la contingencia ..... 50
4.4.1 Sistemas de Control de la Contingencia ..... 50
4.4.2 Recursos Disponibles ..... 50
4.4.3 Adquisición de Recursos ..... 50
4.4.4 Esquema de Activación y Estructura Organizacional ..... 50
4.4.5 Estructura Organizacional: ..... 50
5 Conclusiones y recomendaciones ..... 52
6 Bibliografía ..... 53

## FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación del cruce de la vía peatonal con la quebrada Aguadulce (puente 2). ..... 8
Figura 2.2 Resultado de amenaza en el cruce de la Q. Aguadulce con la vía peatonal. 8
Figura 2.3 Perfil transversal a la quebrada Aguadulce sobre el alineamiento de la vía peatonal. La línea verde corresponde a la línea de terreno y la línea azul es el nivel máximo del agua. ..... 9
Figura 2.4 Vista en alzado de la propuesta de puente para el cruce de la Q. Aguadulce con la implantación de la vía peatonal. ..... 9
Figura 2.5 Curvas de nivel del dique para control de inundación de la quebrada Aguadulce al interior del predio Hacienda El Carmen. ..... 10
Figura 2.6 Máxima profundidad del agua para el análisis de inundación con dique..... 11
Figura 2.7 Curvas de nivel del terraplén de nivelación para control de inundación de la quebrada Aguadulce al interior del predio Hacienda El Carmen. ..... 12
Figura 2.8 Máxima profundidad del agua para el análisis de inundación con terraplén de nivelación. ..... 13
Figura 2.9 Perfil transversal a la quebrada Aguadulce sobre el alineamiento de la vía peatonal. La línea verde corresponde a la línea de terreno con terraplén de nivelación y la línea azul es el nivel máximo del agua. ..... 14
Figura 2.10 Ubicación en planta del Box Culvert sobre el cruce 4 (AV. Caracas). ..... 15
Figura 2.11 Vista de corte del Box Culvert, para cruce quebrada Aguadulce ..... 16

Figura 2.12 Vista en planta obras de protección cruce 4, quebrada Aguadulce..... 17
Figura 2.13 Vista en corte del perfil 4B-4B', aguas arriba del cruce con la Aguadulce. 18
Figura 2.14 Vista en corte del perfil 4D-4D', aguas abajo del cruce con la Aguadulce. 18
Figura 2.15 Detalle de Geoestera ..... 19
Figura 2.16 Ubicación en planta del Box Culvert sobre el Cruce 1 (Carrera 3). ..... 20
Figura 2.17 Vista de corte del Box Culvert, para cruce 1, quebrada La Taza ..... 21
Figura 2.18 Vista en planta obras de protección cruce 1, quebrada La Taza..... 22
Figura 2.19 Vista en corte del perfil 1B-1B', aguas arriba del cruce con La Taza. ..... 23
Figura 2.20 Vista en corte del perfil 1D-1D', aguas abajo del cruce con La Taza. ..... 23
Figura 2.21 Vista en planta del mapa de amenazas en cercanía al sector crítico sobre la Quebrada Aguadulce. ..... 24
Figura 2.22 Resultados de estabilidad sobre el sector crítico de la Aguadulce en condición extrema, perfil 24-24'. ..... 25
Figura 2.23 Resultados de estabilidad sobre el sector crítico de la Aguadulce en condición extrema, perfil 25-25'. ..... 25
Figura 2.24 Resultados de estabilidad sobre el sector crítico de la Aguadulce, perfil 24-24' con obras de mitigación mediante micropilotes. ..... 26
Figura 2.25 Resultados de estabilidad sobre el sector crítico de la Aguadulce, perfil 25-25' con obras de mitigación mediante micropilotes..... 27
Figura 2.26 Diagramas de desplazamientos, momentos, cortantes, rotación y reacción del suelo..... 27
Figura 2.27 Esquema de la alternativa de mitigación para el sector crítico de la Aguadulce mediante muro en gavión. ..... 28
Figura 2.28 Resultados de estabilidad sobre el sector crítico de la Aguadulce, perfil 24-24' con obras de mitigación mediante gaviones. ..... 29
Figura 2.29 Resumen de factores de seguridad por análisis externos e internos para el gavión..... 30
Figura 2.30 Resultados de estabilidad sobre el sector crítico de la Aguadulce, perfil 24-24' con obras de mitigación mediante malla anclada. ..... 31
Figura 2.31 Dimensionamiento de malla de alta resistencia – MacDesing. ..... 32
Figura 2.32 Cuneta típica para el manejo del agua superficial sobre la vía. ..... 34
Figura 2.33 Manejo de aguas subterráneas en cercanías de los taludes adyacentes a la vía..... 34
Figura 2.34 Sección transversal de la vía mixta en el parque arqueológico..... 35

Figura 2.35 Evaluación de estabilidad para la zona de mayor altura de corte (1.30 mts). ..... 36
Figura 2.36 Zonas recomendadas como suelo de protección. ..... 37
Figura 2.37 Protección y estabilización de taludes mediante geotextil y vegetación . 39
Figura 2.38 Detalle de Trinchos en guadua con geotextil no tejido ..... 39
Figura 2.39 Técnicas de Bioingeniería para mejorar la estabilidad de taludes ..... 40
Figura 2.40 Zonas en que se instalarían obras de bioingeniería ..... 41
Figura 2.41 Planta ampliada de obras de bioingeniería sobre el perfil 10-10'. ..... 41
Figura 2.42 Perfil de obras de bioingeniería sobre el perfil 10-10' ..... 42
Figura 2.43 Planta ampliada de obras de bioingeniería sobre el perfil 11-11' ..... 42
Figura 2.44 Perfil de obras de bioingeniería sobre el perfil 11-11'. ..... 42

## TABLAS

Tabla 2.1 Resumen de valores de factor de seguridad por deslizamiento, volcamiento, capacidad portante y estabilidad global para el gavión. ..... 29
Tabla 2.2 Coordenadas de Zona de protección (MAGNA CIUDAD BOGOTÁ). ..... 38
Tabla 3.1 Mantenimientos y frecuencias para las obras propuestas. ..... 45

## ANEXOS

Anexo Planos .....
Anexo 1 ..... Memorias de cálculo

# 1 GENERALIDADES

Como se observó en los capítulos anteriores las obras propuestas en el parque arqueológico, corresponden a estructuras livianas, cimentadas en su mayoría de los casos sobre micropilotes, con el fin de garantizar la menor alteración del terreno, precisamente debido a la alta probabilidad de encontrar algún tipo de hallazgo arqueológico. Las amenazas identificadas para el proyecto que podrían comprometer la estabilidad del mismo corresponden a las siguientes:

- Desbordamiento de la quebrada Aguadulce, lo que implica el diseño de reconformación del terreno, para controlar los desbordamientos para periodo de retorno de 100 años.
- Diseño de obras de protección para el box culvert ubicado sobre la quebrada Aguadulce.
- Diseño de obras de protección para sector inestable (coluviales recientes) ubicado sobre la quebrada Aguadulce.
- Diseño de canales para el manejo de la escorrentía recogida por la vía principal.
- Diseño de taludes para le vía de acceso, en los sectores donde se presenten cortes.
- Definición de zonas de protección, que no deberán ser intervenidas por ninguna estructura del parque arqueológico.

Como parte de la reducción del riesgo, se tiene que, dentro de las acciones a seguir, es generar una reducción del nivel de amenaza por fenómenos de remoción en masa e inundación, en sectores puntuales, ya que como se mostró con anterioridad, los sitios de amenaza son muy pequeños, y en general no van a afectar ninguna de las estructuras propuestas en el diseño arquitectónico del parque arqueológico, ya que están se encuentran ubicadas en zona de amenaza baja. De igual manera, debido a los requerimientos arqueológicos, las intervenciones del terreno deberán ser mínimas, lo cual garantiza pocas afectaciones sobre el entorno natural del parque arqueológico. A continuación, presentaremos los detalles de los diseños de las obras de mitigación propuestas.

# 2 DISEÑO DETALLADO DE LAS OBRAS DE INGENIERÍA

## 2.1 DISEÑO DE OBRAS DE MITIGACIÓN PARA CONTROL DE DESBORDAMIENTO DE LA QUEBRADA AGUADULCE

A partir de los resultados de la modelación de inundación realizada para la actualización del mapa de amenaza por inundación, se identificaron zonas de inundación en particular para los cruces de las principales quebradas con la implantación de las obras propuestas.

La zona con mayor implicación debido a posibles inundaciones corresponde al sector en donde cruza la quebrada Aguadulce a la implantación cercano a la plazoleta de ingreso sur. Su ubicación en planta se esquematiza en la Figura 2.1.

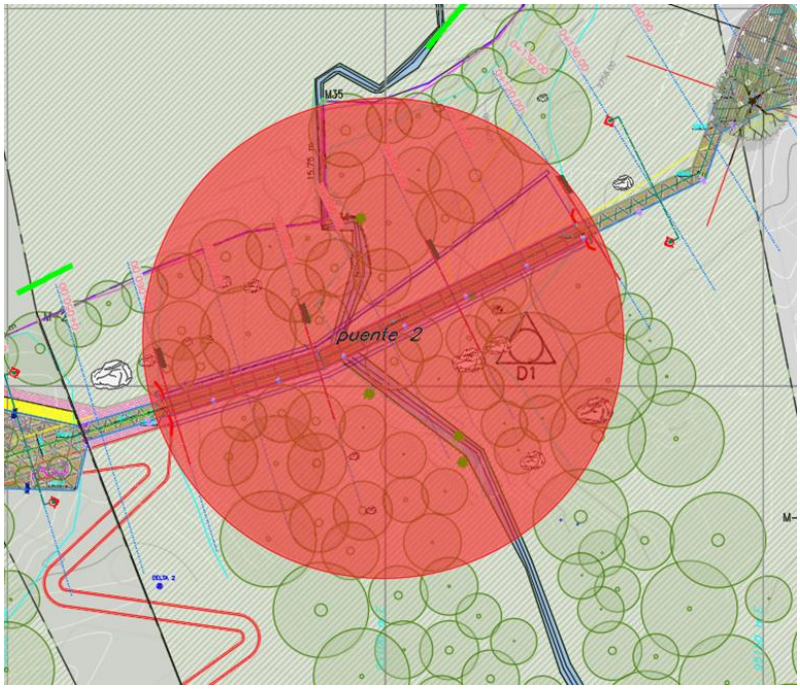



***Figura 2.1 Ubicación del cruce de la vía peatonal con la quebrada Aguadulce (puente 2).***

FUENTE: CONSORCIO NVP, 2024.

Los resultados de amenaza para el sector se muestran en la Figura 2.2.

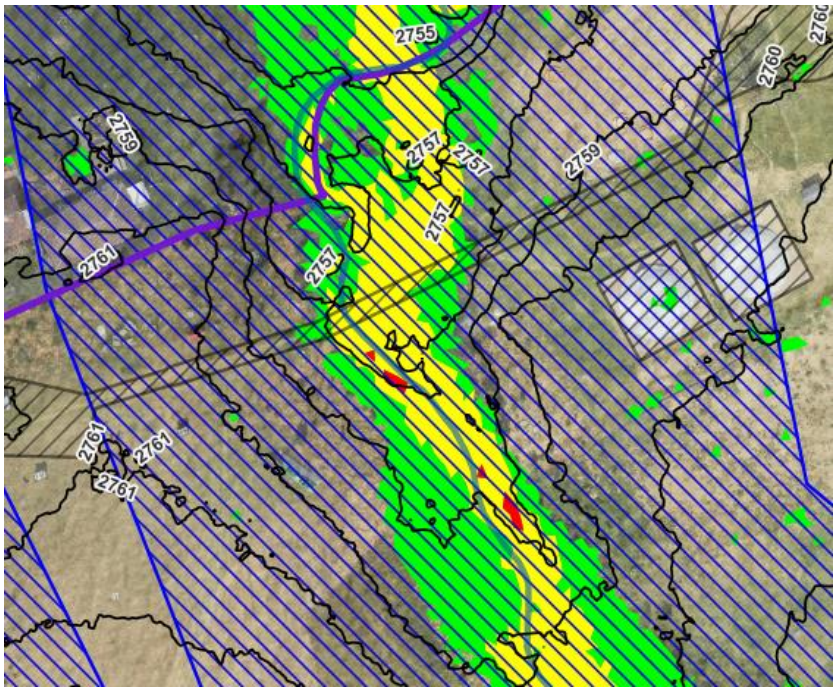



***Figura 2.2 Resultado de amenaza en el cruce de la Q. Aguadulce con la vía peatonal.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Como se puede apreciar la zona del cruce incluye sectores con amenaza media que se extienden a la derecha del cauce del cuerpo de agua. Lo anterior es producto de una zona amplia de inundación que se extiende en la margen derecha de la quebrada y que sirve como zona de amortiguación para eventos de inundación. El perfil del sector se muestra en la Figura 2.3:

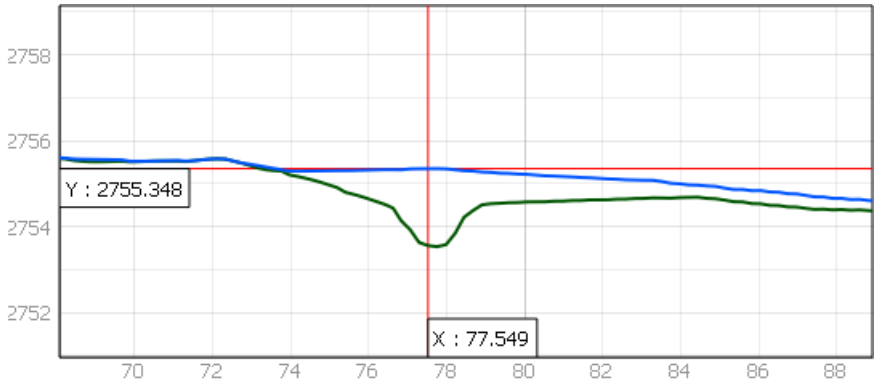



***Figura 2.3 Perfil transversal a la quebrada Aguadulce sobre el alineamiento de la vía peatonal. La línea verde corresponde a la línea de terreno y la línea azul es el nivel máximo del agua.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La solución propuesta por el diseñador de la Fase 1, el Consorcio NVP, consiste en un puente peatonal elevado en materiales livianos (madera y metal). La vista en alzado del puente propuesto se presenta en la Figura 2.4:

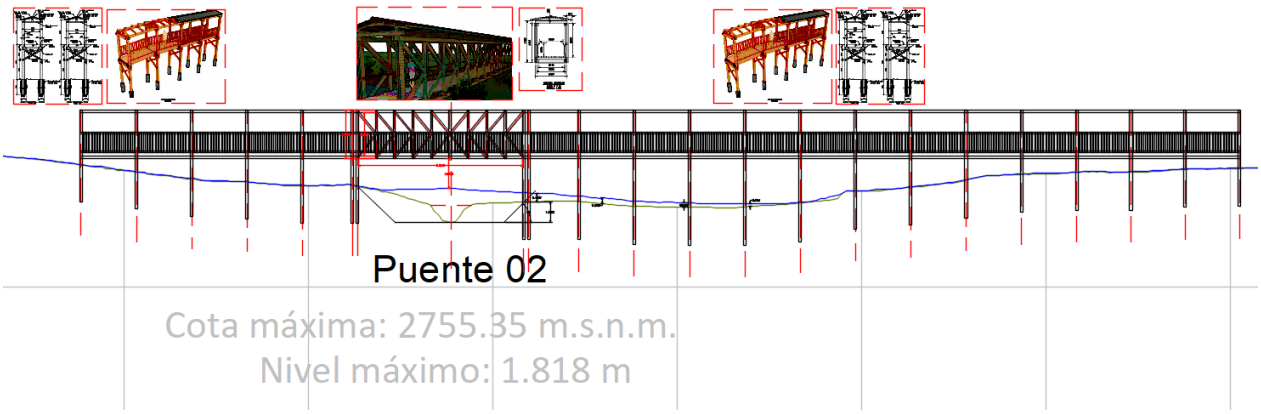



***Figura 2.4 Vista en alzado de la propuesta de puente para el cruce de la Q. Aguadulce con la implantación de la vía peatonal.***

FUENTE: CONSORCIO NVP, 2024.

El desafío asociado a esta propuesta comprende a los apoyos ubicados sobre la margen derecha que quedarían ubicados dentro de la zona de inundación de la quebrada Aguadulce.

Con el fin de dar atención a esta condición, se propone una estructura que contenga el agua de la quebrada Aguadulce en las márgenes de su cauce y que evite el desbordamiento de la misma.

### 2.1.1 Alternativa 1: Dique

Como primera alternativa se propone un dique con talud lateral de 100% de pendiente y corona a una cota de 2755.25 m, correspondiente al nivel más alto de inundación sobre el alineamiento del sendero peatonal. La vista previa de la implantación del dique sobre las curvas de nivel del sector se presenta en la Figura 2.5:

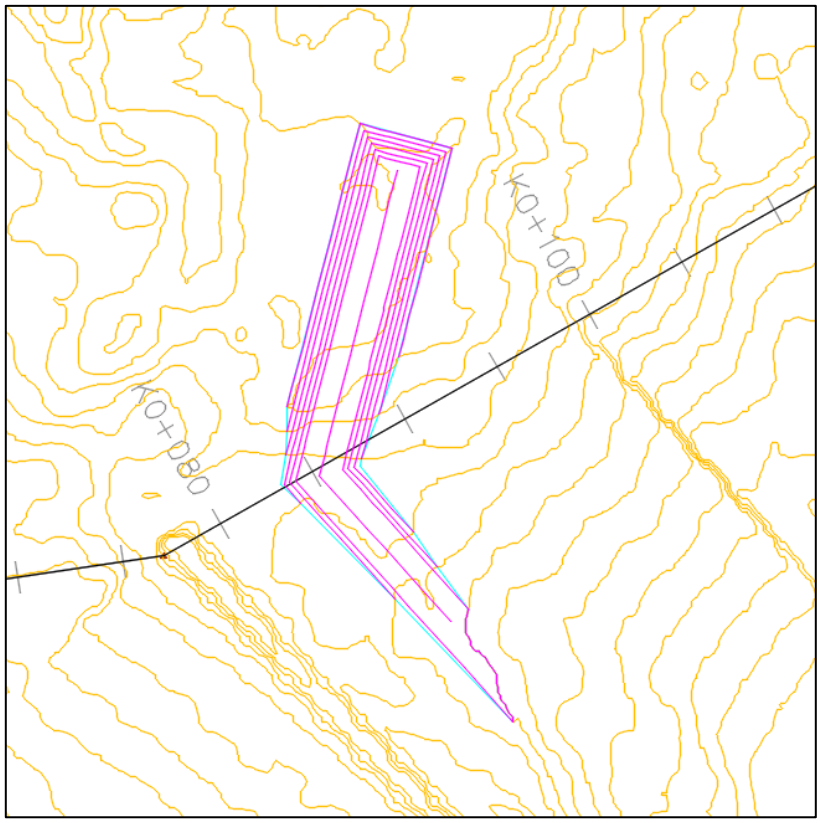



***Figura 2.5 Curvas de nivel del dique para control de inundación de la quebrada Aguadulce al interior del predio Hacienda El Carmen.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Las desventajas esperadas de esta alternativa corresponden a que es posible que el agua que se desplace sobre el terreno como escorrentía superficial podría conectarse con las aguas de la Aguadulce, remansándose y generando un flujo importante sobre la zona que se pretende proteger de la inundación.

Como ventajas respecto a una alternativa de relleno total del sector, corresponde a una menor área de impacto y un menor volumen de material a rellenar para la construcción del dique.

Los resultados de la profundidad máxima del agua se presentan en la Figura 2.6.

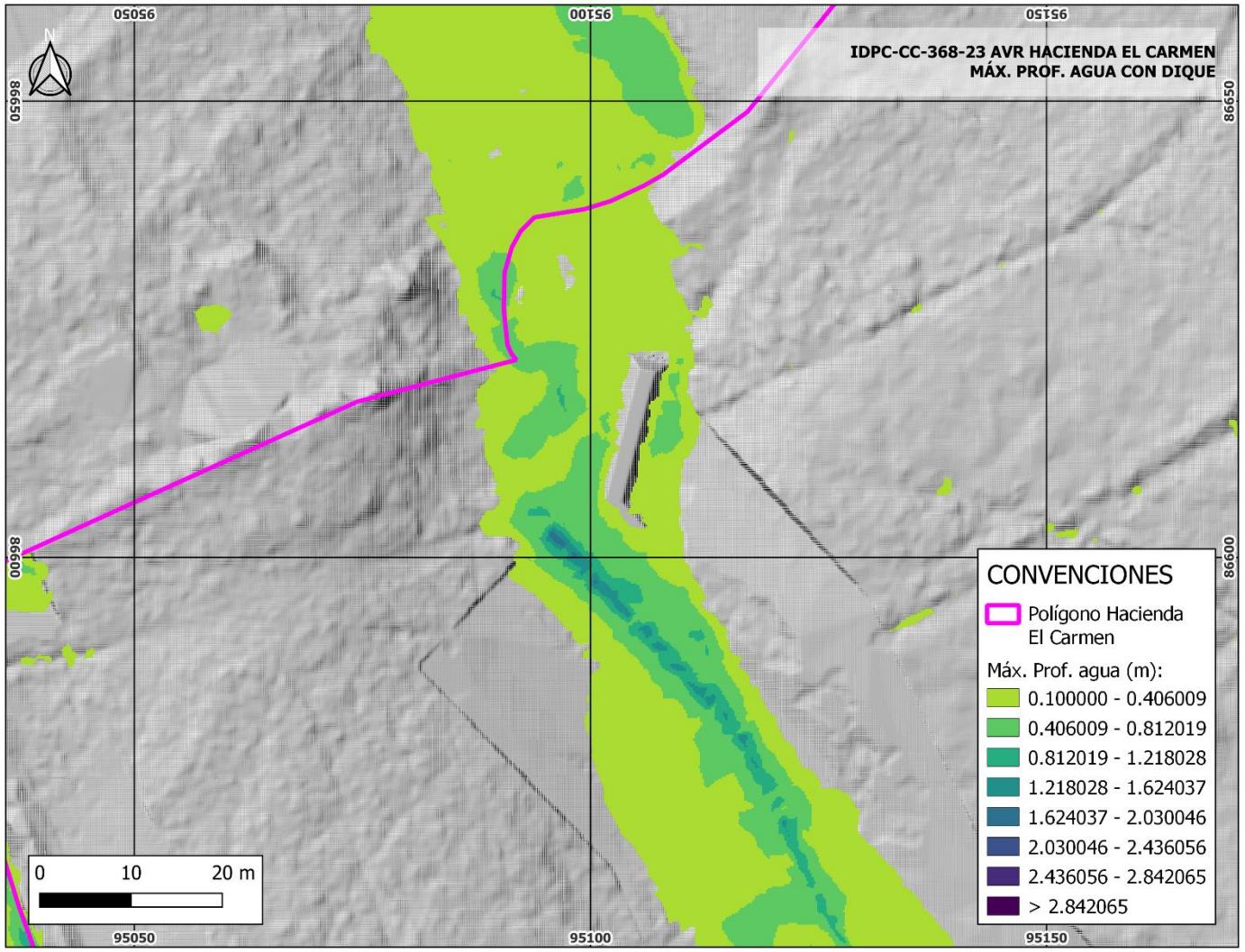



***Figura 2.6 Máxima profundidad del agua para el análisis de inundación con dique.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

De los resultados es evidente que un dique no es suficiente por cuanto el terreno tiene una inclinación tal que propicia que el agua se remanse y genere inundación en la zona que se plantea proteger. Por lo anterior la solución con el dique se descarta pues la misma es ineficiente.

### 2.1.2 Alternativa 2: Terraplén de nivelación

Esta alternativa implica un terraplén para nivelar el terreno hasta la cota de inundación planteada. Sobre el sector rellenado se propone una pendiente de 2% para que las aguas de escorrentías puedan evacuarse y no se presenten encharcamientos. El terraplén de igual forma llega hasta la cota 2755.75 m (0.50 m por encima del nivel máximo en el sector) y sus taludes laterales se plantean con una inclinación del 100%.

El esquema del diseño del terraplén se presenta en la Figura 2.7:

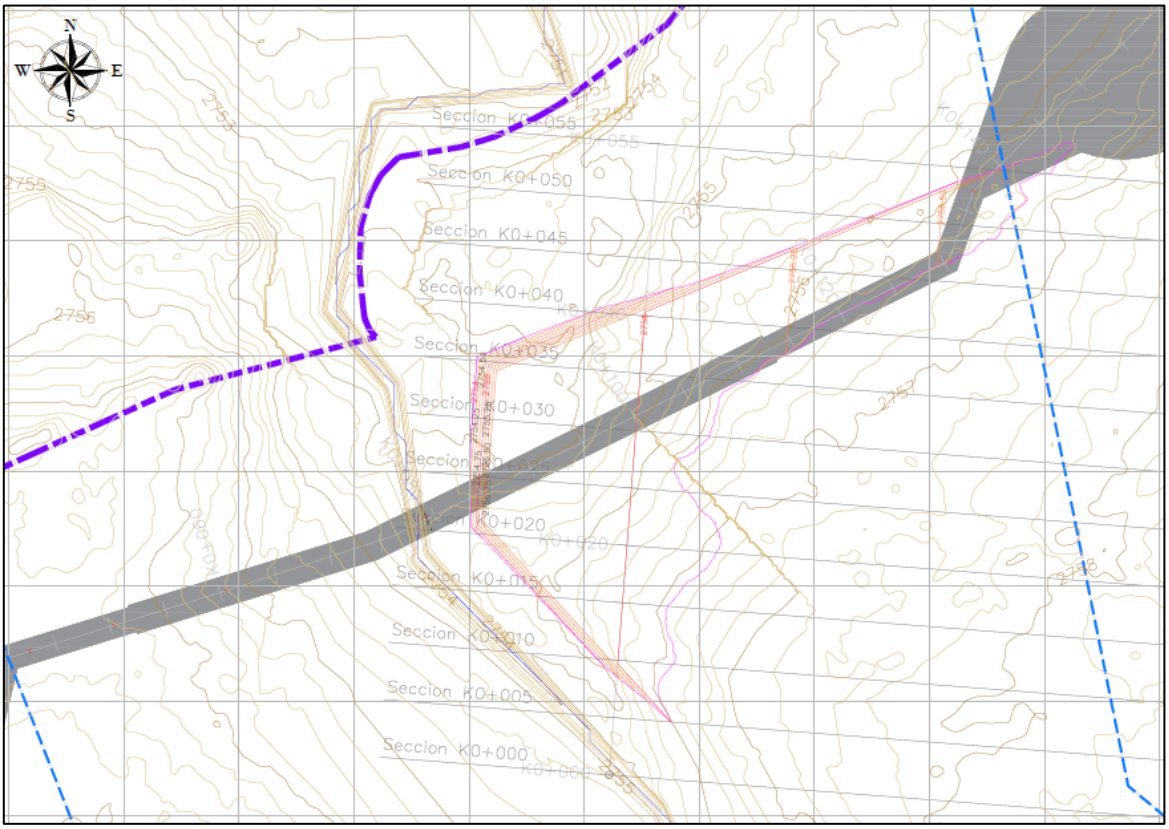



***Figura 2.7 Curvas de nivel del terraplén de nivelación para control de inundación de la quebrada Aguadulce al interior del predio Hacienda El Carmen.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Las desventajas esperadas de esta alternativa corresponden a que implica un área y volumen mucho mayores respecto a la opción del dique y que por ende su área deberá ser objeto de una prospección arqueológica previa que posibilite su ejecución. Como ventajas respecto a una alternativa de dique, corresponde a que, al no dejar espacios internos de posibles encharcamientos o remansos, la probabilidad que el agua inunde la zona de interés es mucho menor. Los resultados de la profundidad máxima del agua se presentan en la Figura 2.8.

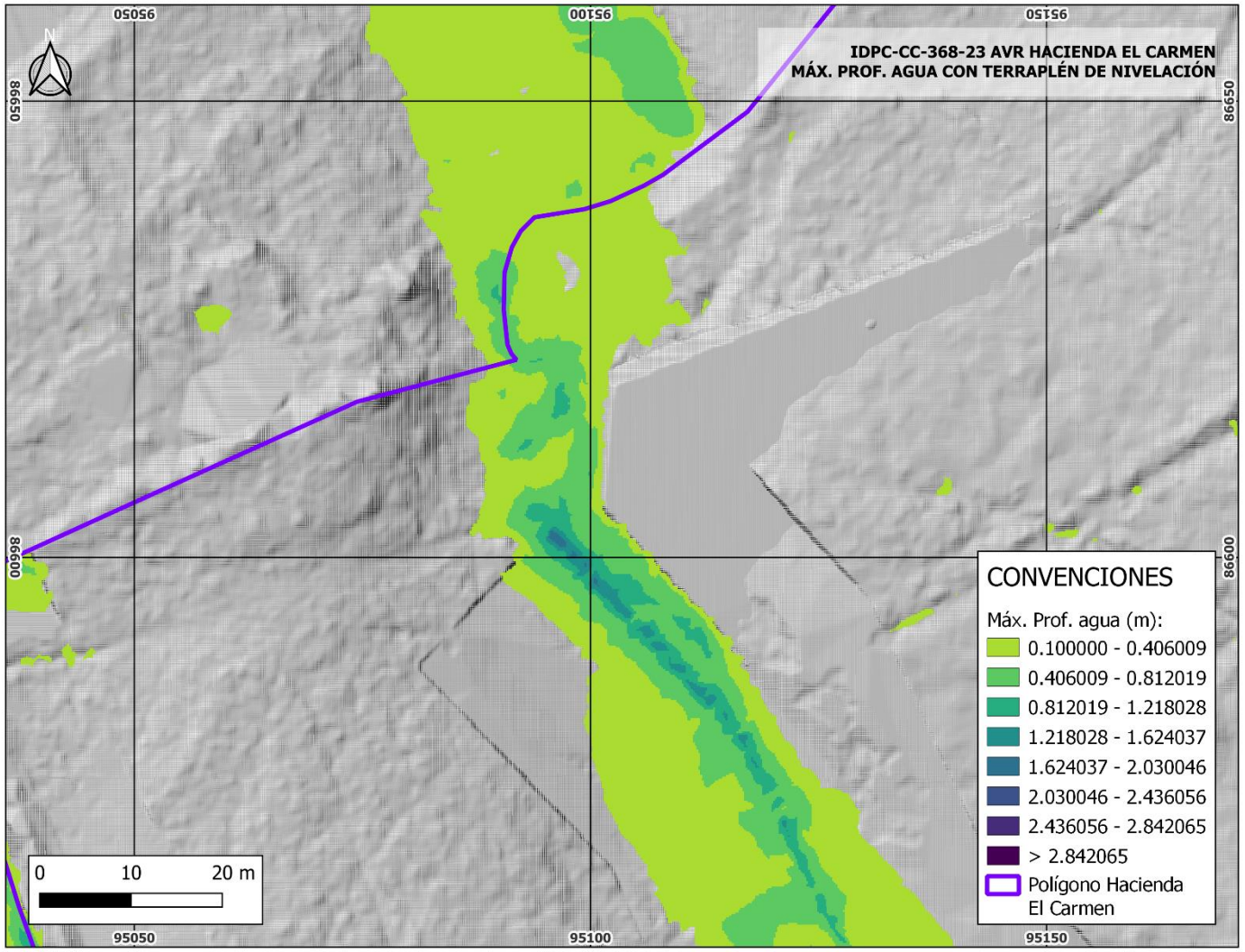



***Figura 2.8 Máxima profundidad del agua para el análisis de inundación con terraplén de nivelación.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

De esta alternativa se obtienen resultados favorables respecto a la posibilidad de inundación sobre la zona de implantación de los apoyos del puente peatonal. El terraplén de nivelación es exitoso en desviar las aguas de la Aguadulce para la condición de diseño. Las aguas que bajan por escorrentía sobre el terreno se descargan directamente a la Aguadulce.

El perfil del terreno con el terraplén de nivelación y el nuevo nivel máximo del agua se presentan en la Figura 2.9.

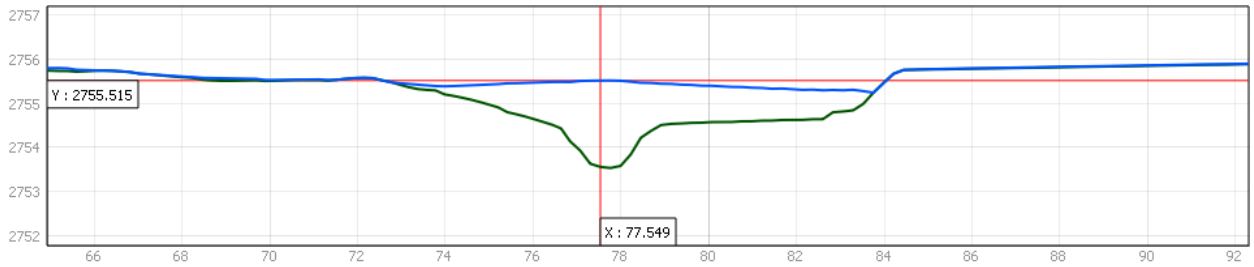



***Figura 2.9 Perfil transversal a la quebrada Aguadulce sobre el alineamiento de la vía peatonal. La línea verde corresponde a la línea de terreno con terraplén de nivelación y la línea azul es el nivel máximo del agua.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Teniendo en cuenta que este elemento estará en contacto con las aguas de la quebrada Aguadulce y escorrentía interna del lote, se deberá realizar un recubrimiento sobre el terraplén con geomanto tal que se le dé protección a la capa superficial del terraplén para posibles efectos erosivos.

Las consideraciones geométricas del terraplén (plano de detalle) se presentan en el plano 8-02 en donde además se incluyen las condiciones y recomendaciones de construcción particulares.

## 2.2 OBRAS DE PROTECCIÓN BOX CULVERT

La entrada principal al parque arqueológico, implica atravesar la quebrada Aguadulce sobre la parte occidental del lote en el Cruce 4 (acceso vehicular 1). Igualmente, el acceso sur (Cruce 1) implica atravesar la quebrada La Taza. Para tal fin el consorcio NVP, propone la construcción de dos Box Culvert, tal como se ilustra en la Figura 2.10 y Figura 2.16. En las Figura 2.11 y Figura 2.16 se muestra el corte del Box Culvert respectivo.

Es necesario proteger las aproximaciones al Box Culvert tanto a la entrada como a la salida con el fin de evitar la posibilidad de generación de movimientos en masa. Para tal fin, se propone como obra de protección contra socavación de fondo y lateral, la realización de una zona de transición de la sección natural de las quebradas La Taza y Aguadulce a la sección del Box Culvert en cada caso. Esto se llevaría a cabo con la construcción de aletas en concreto biseladas al ingreso y a la salida de las estructuras y adecuando el terreno alrededor de 5 metros antes y después del box para el caso del cruce 1, y alrededor de 9 metros antes y después del box para el caso del cruce 4, tal como se muestra en la Figura 2.12 y Figura 2.18. Posteriormente, se instalarían Geoesteras en esta zona de transición las cuales se acomodan a la forma del terreno. La metodología incluirá fases de preparación del terreno, instalación de la Geoestera.

### 2.2.1 Cruce 4 (Avenida Caracas)

En las Figura 2.10 y Figura 2.11, se ilustra la ubicación en planta y corte transversal de la estructura. Nos hemos basado en los planos suministrados por el Consorcio NVP para la implantación de las obras de protección. En este orden de ideas, la definición de medidas de mitigación para esta estructura en particular, se limitará a las obras de protección aguas abajo y aguas arriba.

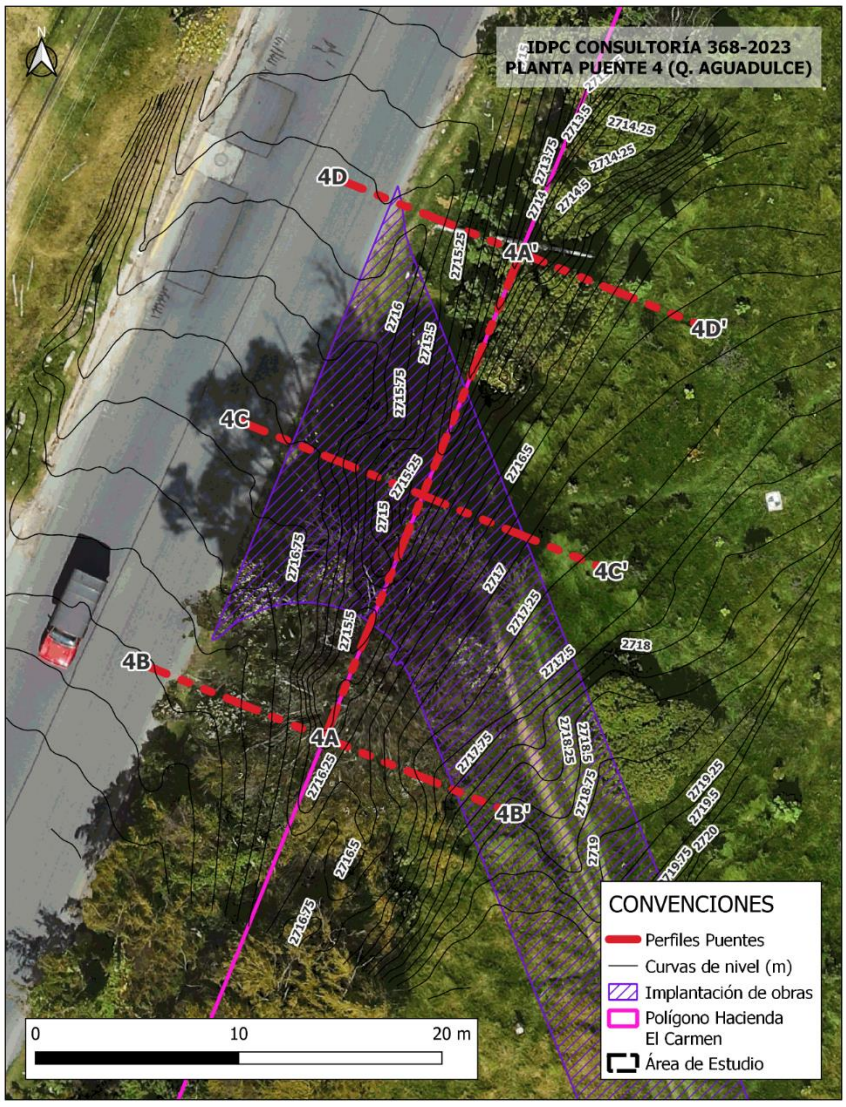



***Figura 2.10 Ubicación en planta del Box Culvert sobre el cruce 4 (AV. Caracas).***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

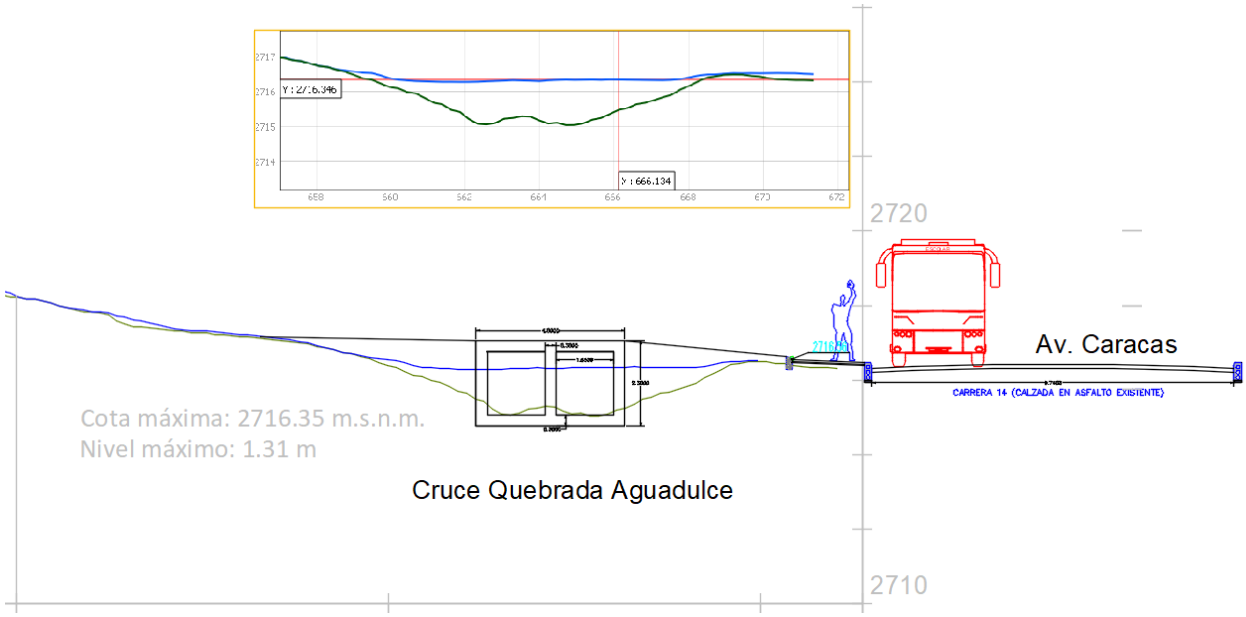



***Figura 2.11 Vista de corte del Box Culvert, para cruce quebrada Aguadulce***

FUENTE: CONSORCIO NVP, 2024.

### 2.2.1.1 Obras de protección

Para el cruce 4, en la Figura 2.12 se presenta la vista en planta de las obras de protección con el respectivo Box Culvert, en la Figura 2.13 se presenta el perfil del terreno con la estructura de protección contra socavación aguas arriba de la estructura; en general, estas estructuras han sido diseñadas de manera que ocupen todo el cauce de la quebrada Aguadulce, alrededor de 9 metros aguas arriba y aguas abajo del Box Culvert. En la Figura 2.15, por otro lado, se presenta el respectivo detalle de la Geoestera. La anterior información con las respectivas especificaciones técnicas, y con el dimensionamiento de las aletas se puede visualizar en los planos 8-03 a 8-06.

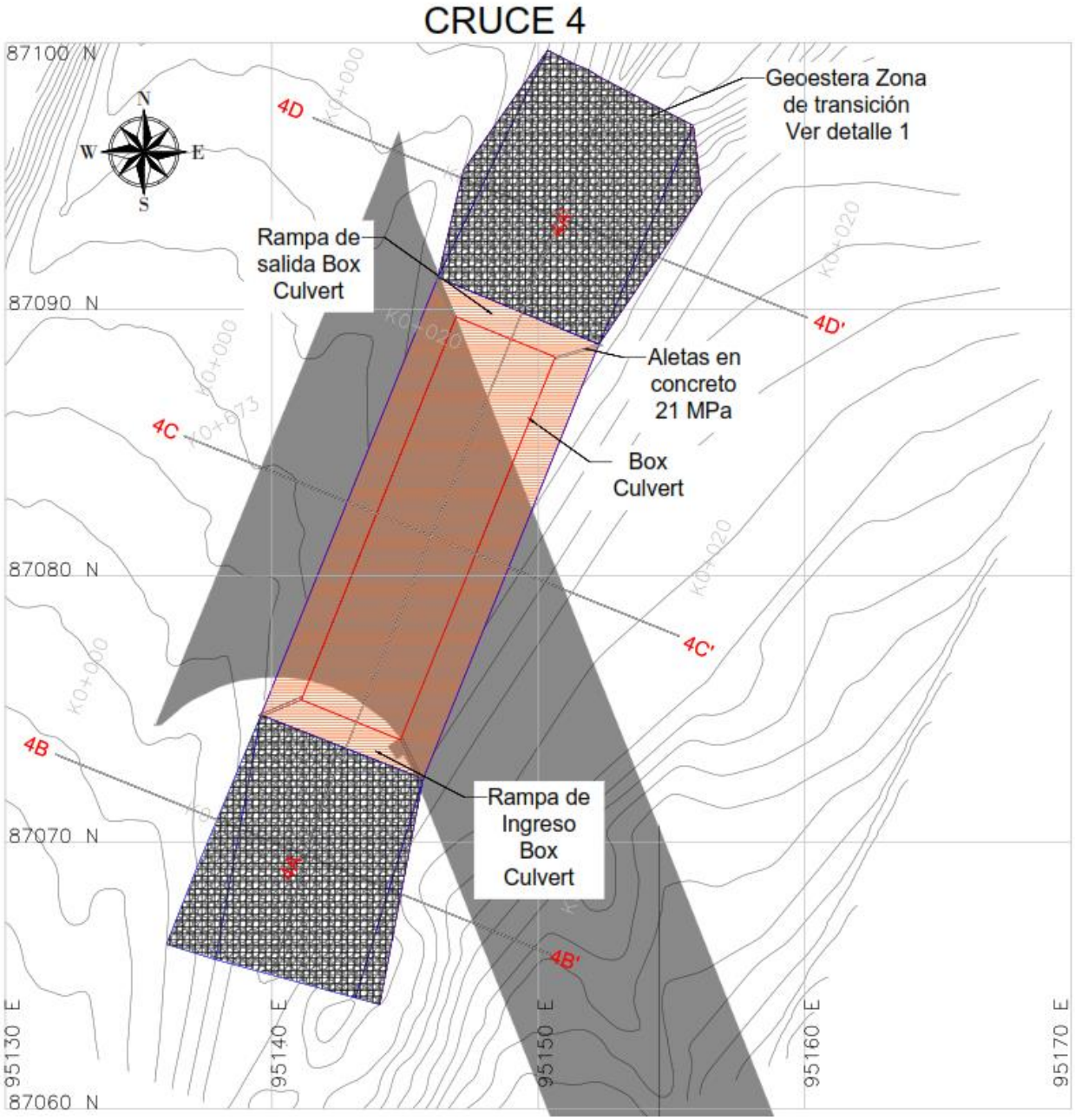



***Figura 2.12 Vista en planta obras de protección cruce 4, quebrada Aguadulce***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

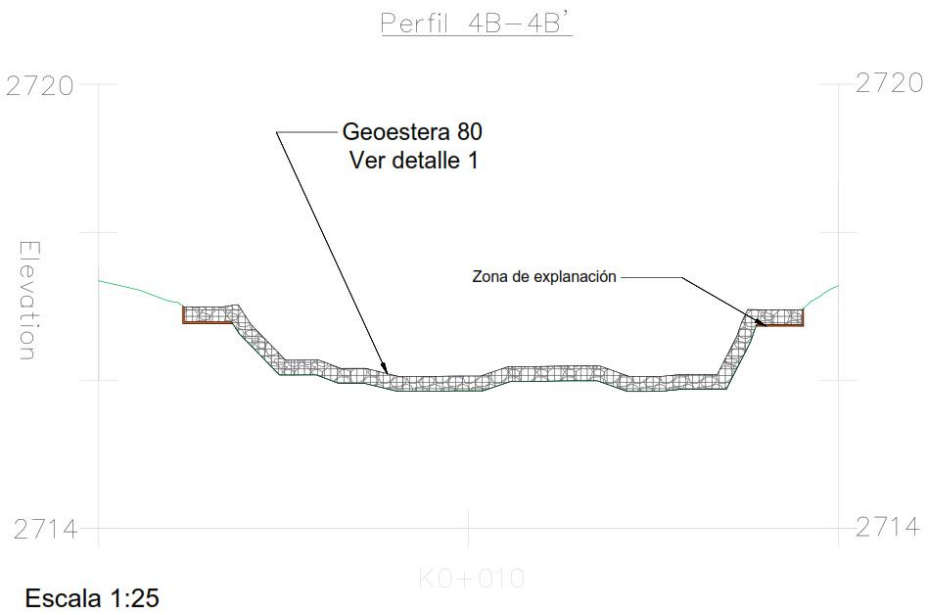



***Figura 2.13 Vista en corte del perfil 4B-4B', aguas arriba del cruce con la Aguadulce.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

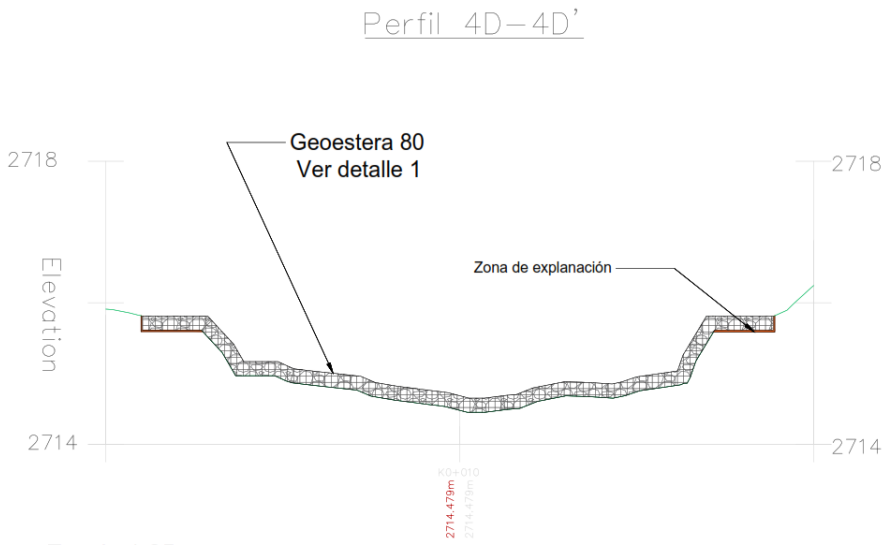



***Figura 2.14 Vista en corte del perfil 4D-4D', aguas abajo del cruce con la Aguadulce.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

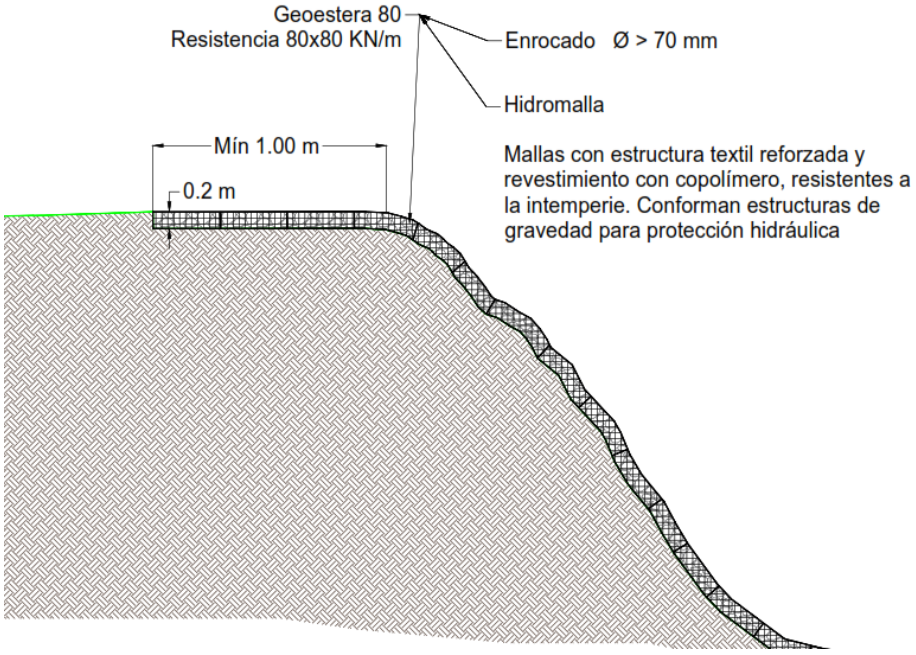



***Figura 2.15 Detalle de Geoestera***

FUENTE: GEOMATRIX©.

### 2.2.2 Acceso 1 (Carrera 3ra)

Corresponde al acceso de la vía peatonal que transcurre sobre la Quebrada La Taza y se ubica al sur del lote Hacienda El Carmen. Similar a lo definido para el cruce del cruce 4, en el cruce 1 se pretende la construcción de un Box Culvert para el acceso al parque Arqueológico.

Con el fin de proteger las aproximaciones al Box Culvert tanto a la entrada como a la salida y por tanto de evitar la posibilidad de generación de movimientos en masa se propone de igual manera, como obra de protección contra socavación de fondo y lateral, la implementación de una estructura tipo Geoestera.

En las Figura 2.16 y Figura 2.17, se ilustra la ubicación en planta y corte transversal de la estructura. Nos hemos basado en los planos suministrados por el Consorcio NVP para la implantación de las obras de protección. En este orden de ideas, la definición de medidas de mitigación para esta estructura en particular se limitará a las obras de protección aguas abajo y aguas arriba.

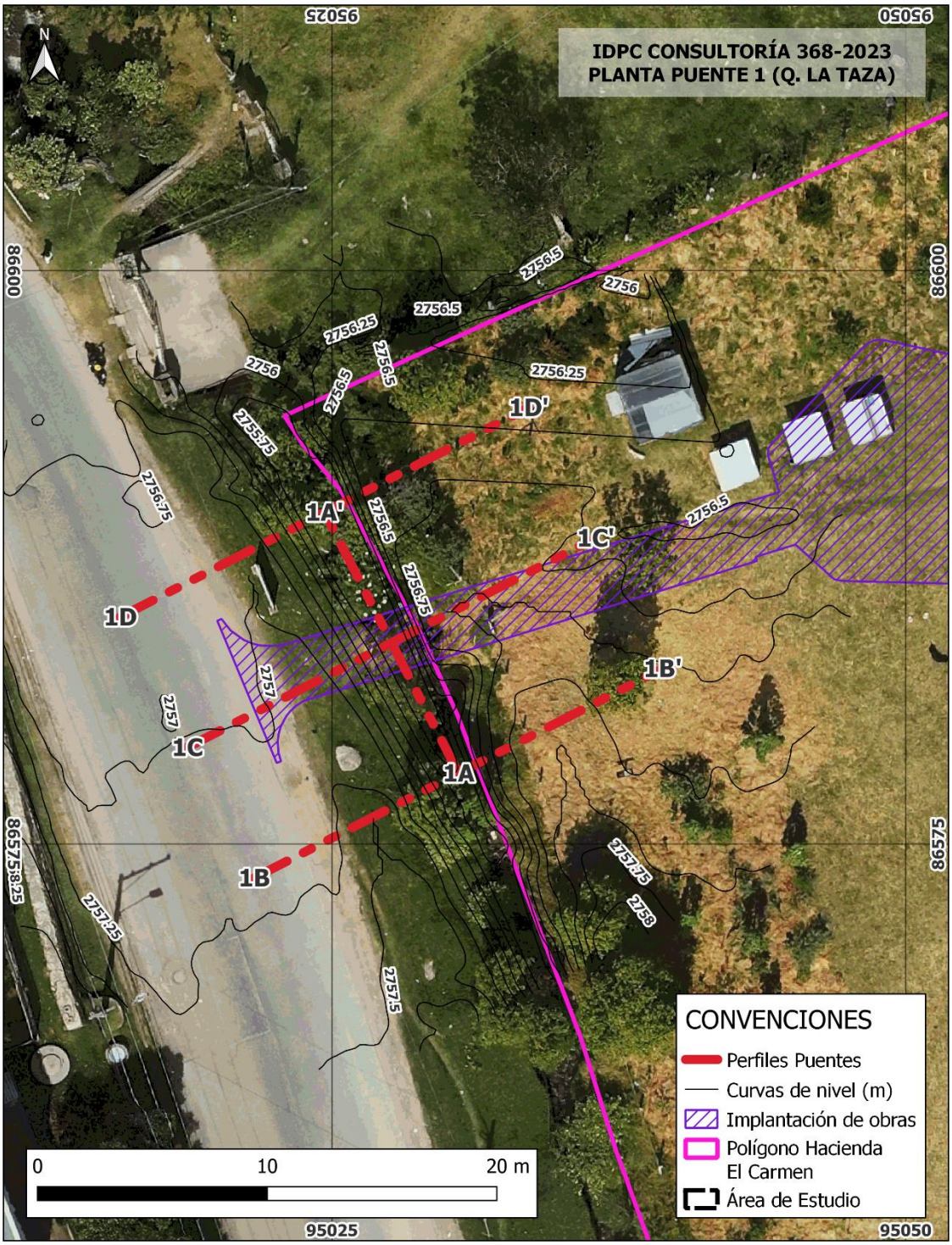



***Figura 2.16 Ubicación en planta del Box Culvert sobre el Cruce 1 (Carrera 3).***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

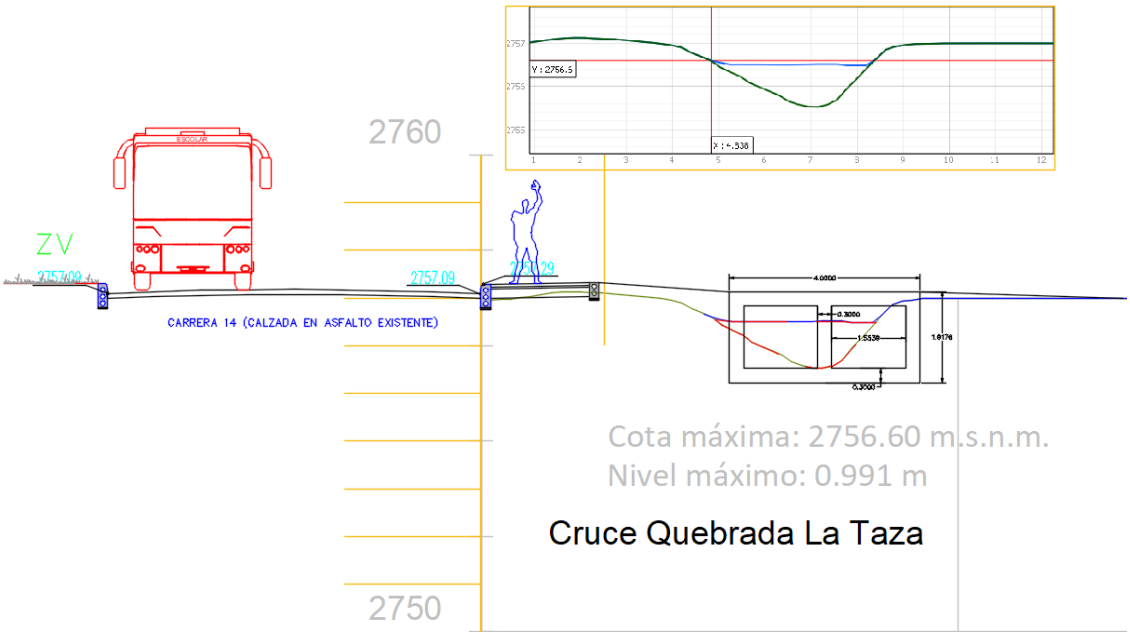



***Figura 2.17 Vista de corte del Box Culvert, para cruce 1, quebrada La Taza***

FUENTE: CONSORCIO NVP, 2024.

### 2.2.2.1 Obras de protección

La vista en planta de las obras de protección se muestra en la Figura 2.18 y en la Figura 2.19 y Figura 2.20 se presentan los perfiles del terreno con la estructura de protección contra socavación; en general, están estructuras han sido diseñadas de manera que ocupen todo el cauce de la quebrada La Taza, alrededor de 5 metros aguas arriba y 5 metros aguas abajo del Box Culvert. El respectivo detalle de las Geoesteras se presenta en la Figura 2.15. La anterior información con las respectivas especificaciones técnicas se puede visualizar en los planos 8-03 a 8-06.

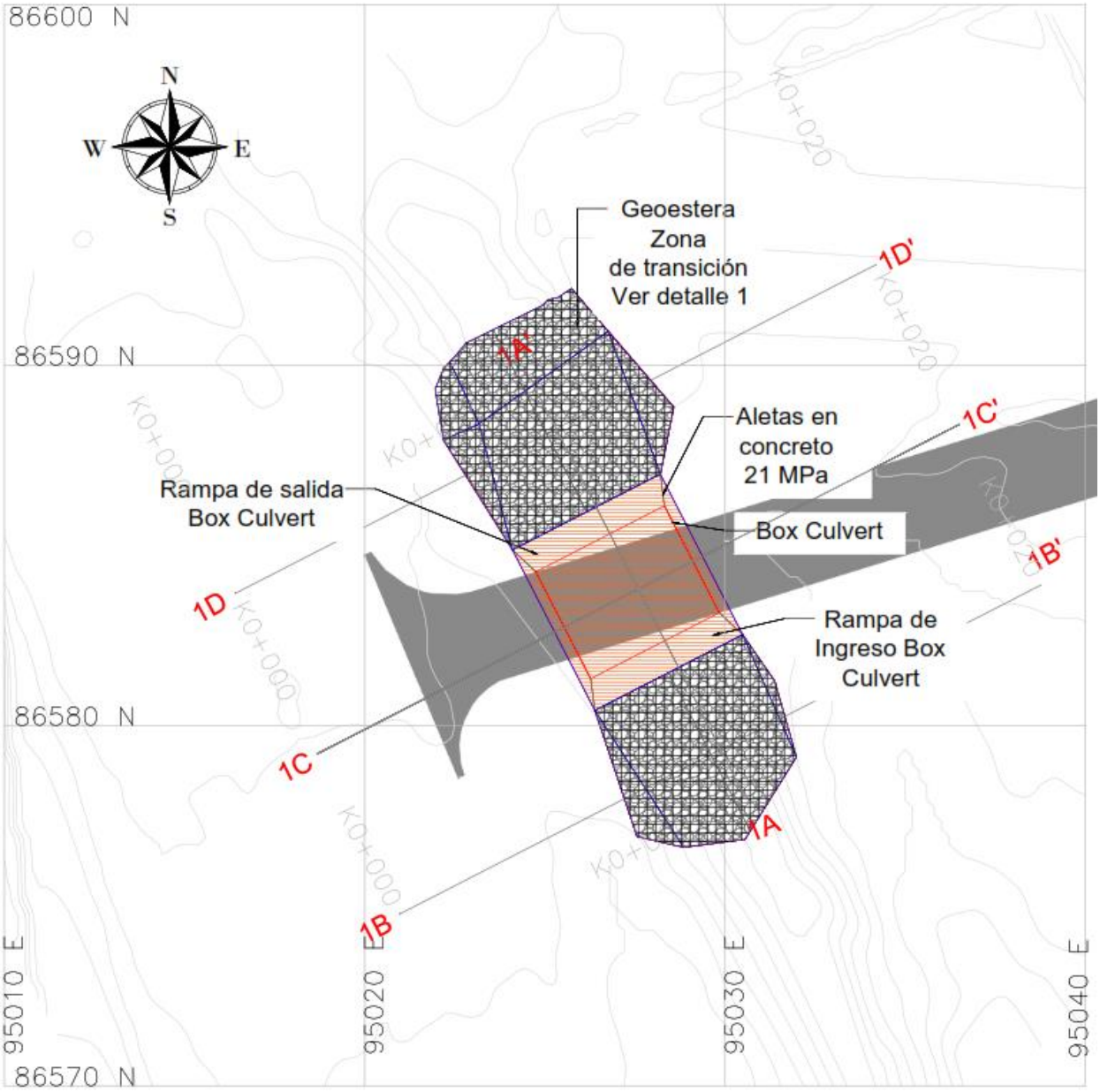



***Figura 2.18 Vista en planta obras de protección cruce 1, quebrada La Taza***

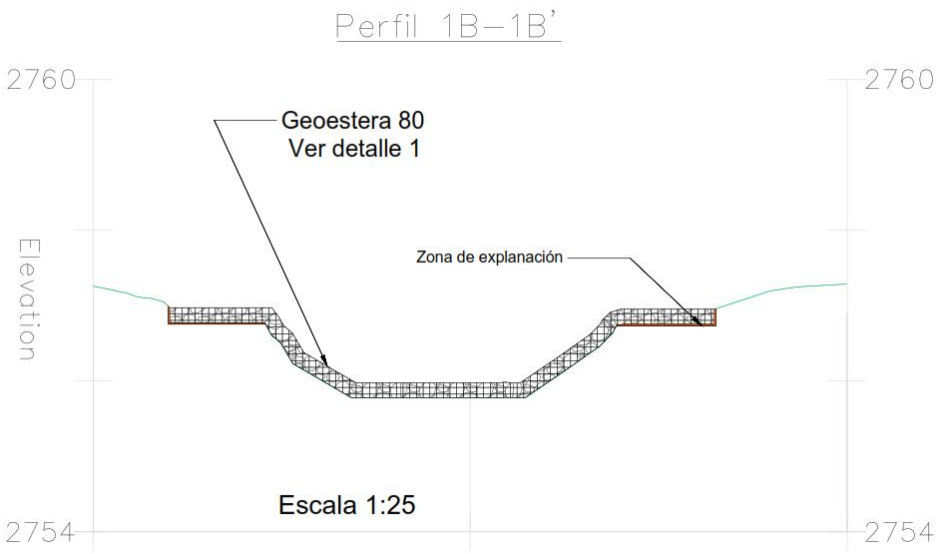



***Figura 2.19 Vista en corte del perfil 1B-1B', aguas arriba del cruce con La Taza.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

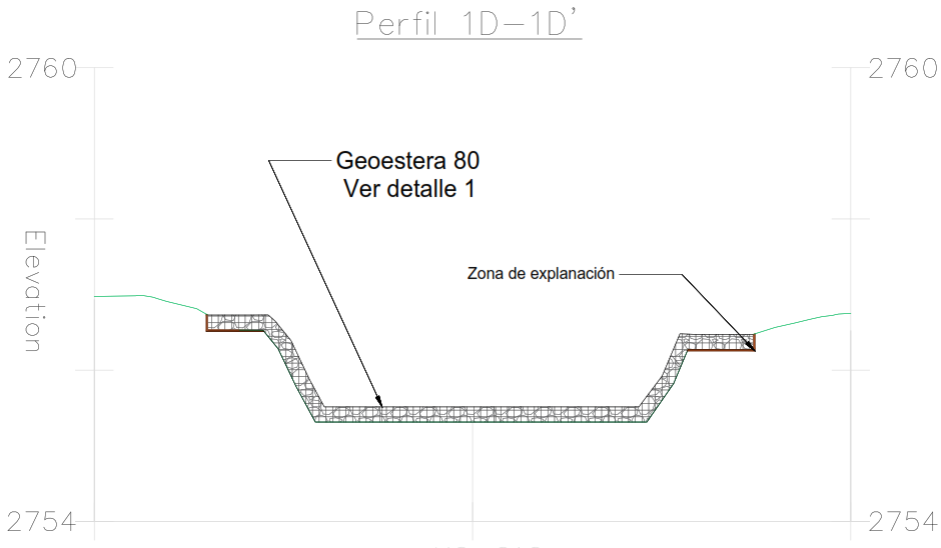



***Figura 2.20 Vista en corte del perfil 1D-1D', aguas abajo del cruce con La Taza.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

## 2.3 OBRAS DE ESTABILIZACIÓN SECTOR CRÍTICO QUEBRADA AGUADULCE

El sector crítico mencionado fue identificado inicialmente con el levantamiento de campo del grupo de Geología. Se detectaron presencias de coluviales recientes en la cercanía a la zona donde inicialmente se proponía la ubicación de los parqueaderos, lo cual fue finalmente modificado a la luz de estos hallazgos.

El mencionado a un talud, cuya inestabilidad puede afectar al sendero peatonal del parque arqueológico, se encuentra en cercanías de la quebrada Aguadulce (Figura 2.21). Los análisis

muestran que para la condición actual el talud es estable, pero ante el evento extremo se generaría una falla rotacional con un valor bajo de Factor de Seguridad. El análisis de estabilidad para la condición extrema se ilustra en las Figura 2.22 y Figura 2.23, encontrándose que para esta condición el talud fallaría, por lo que es pertinente entrar a evaluar alternativas de mitigación que logren reducir la amenaza y posibles riesgos sobre la implantación de las obras propuestas para el Parque, particularmente porque la zona inestable podría extenderse si no se interviene para estabilizarla.

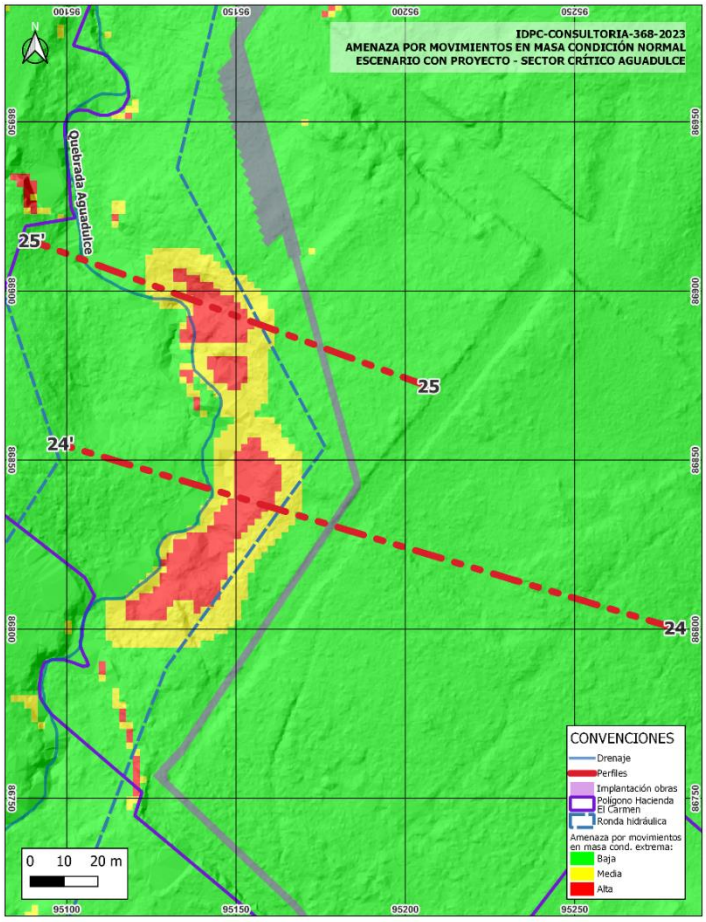



***Figura 2.21 Vista en planta del mapa de amenazas en cercanía al sector crítico sobre la Quebrada Aguadulce.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

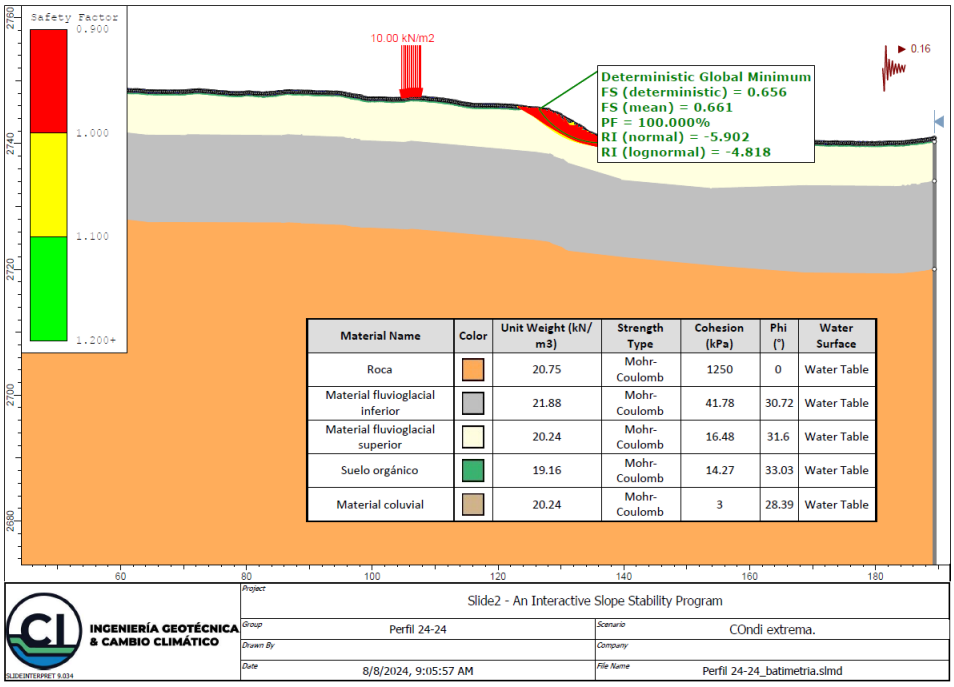



***Figura 2.22 Resultados de estabilidad sobre el sector crítico de la Aguadulce en condición extrema, perfil 24-24'.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

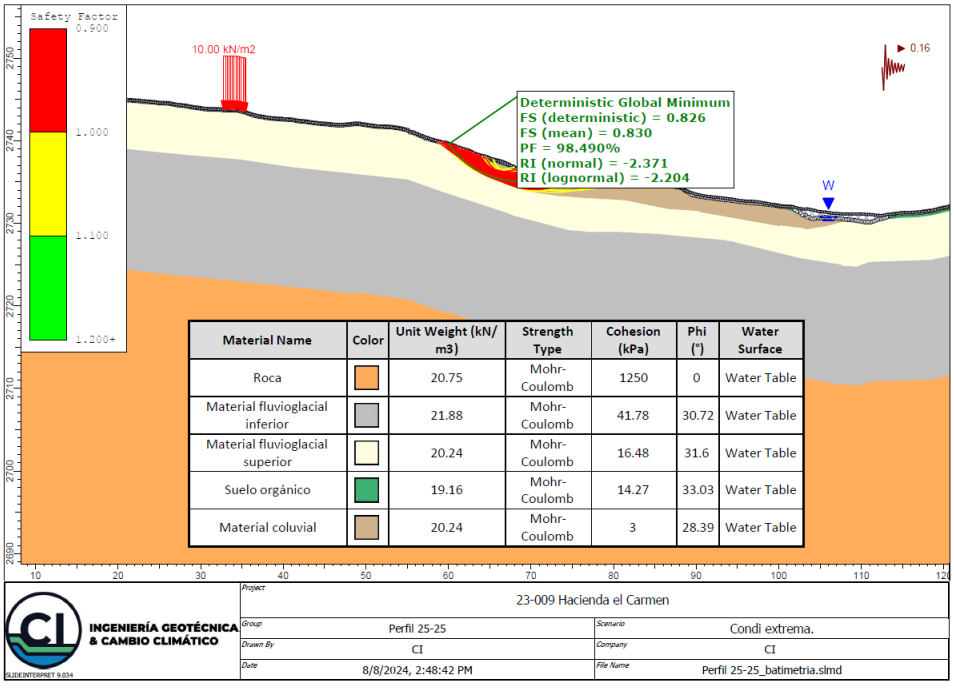



***Figura 2.23 Resultados de estabilidad sobre el sector crítico de la Aguadulce en condición extrema, perfil 25-25'.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

### 2.3.1 Alternativa 1: Micropilotes

Debido a que las obras propuestas deben generar la menor perturbación en el parque arqueológico, se analizó como una potencial alternativa de mitigación, la estabilización del talud mediante la instalación de micropilotes pre-excavados en concreto reforzado, de 0.20 metros de diámetro y 6.0 metros de longitud en una configuración de "tres-bolillo", unidos por una viga cabezal.

Teniendo en cuenta esta configuración se realiza el análisis de estabilidad para la condición extrema, encontrándose que la misma provee una condición estable (FS=1.7 y FS=1.1) para el sector crítico (particularmente para el perfil 25-25' se desplaza la falla al sector inferior, cumpliendo con las condiciones establecidas en la resolución IDIGER 111 de 2022 (FS>1.1) y los factores de seguridad estáticos y seudo-estáticos de la NSR-10 para estabilidad de taludes (FS>1.05).

Los resultados para la condición extrema (seudo-estática) se presentan en la Figura 2.24. La distribución de cortantes y momentos por otro lado, se observan en la Figura 2.26.

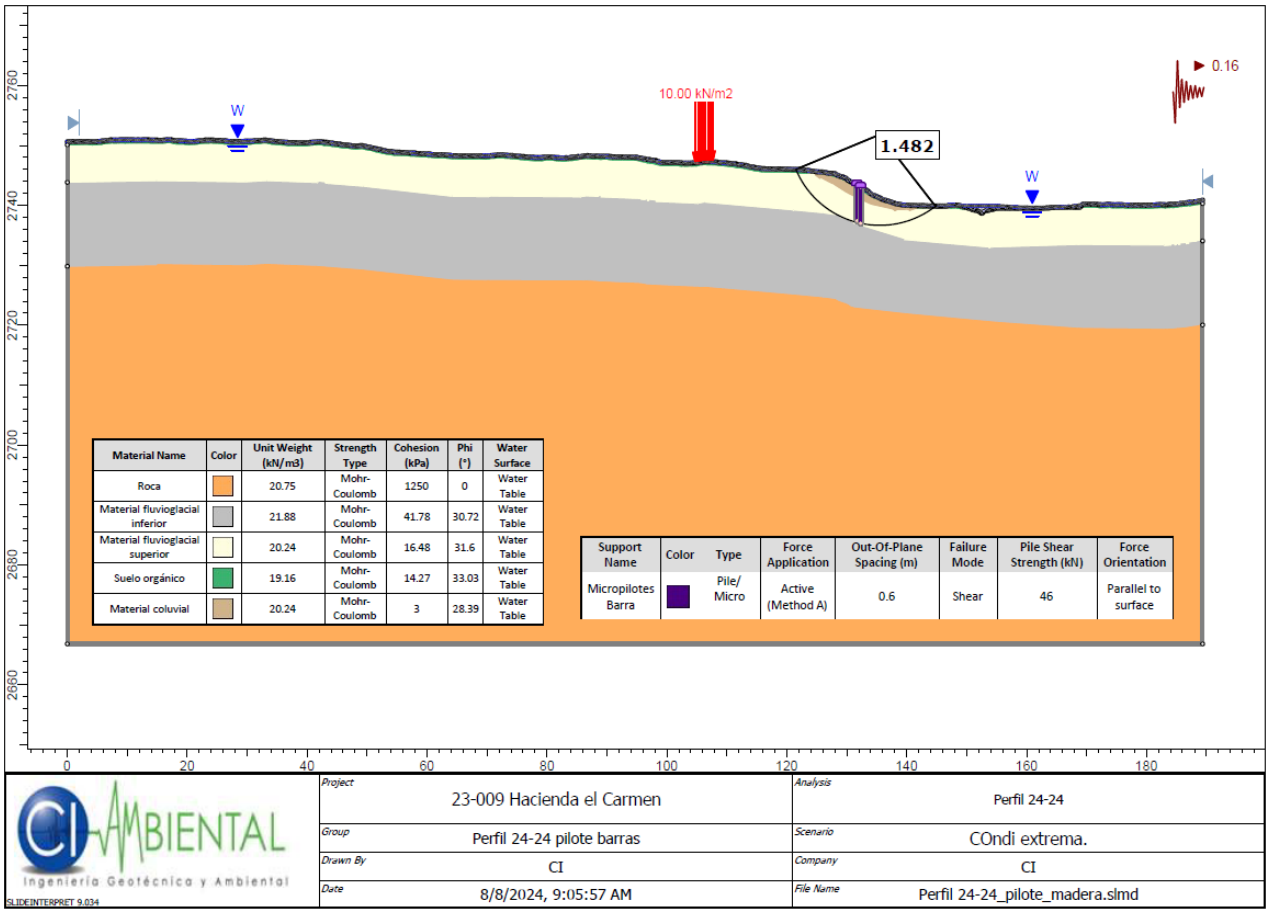



***Figura 2.24 Resultados de estabilidad sobre el sector crítico de la Aguadulce, perfil 24-24' con obras de mitigación mediante micropilotes.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

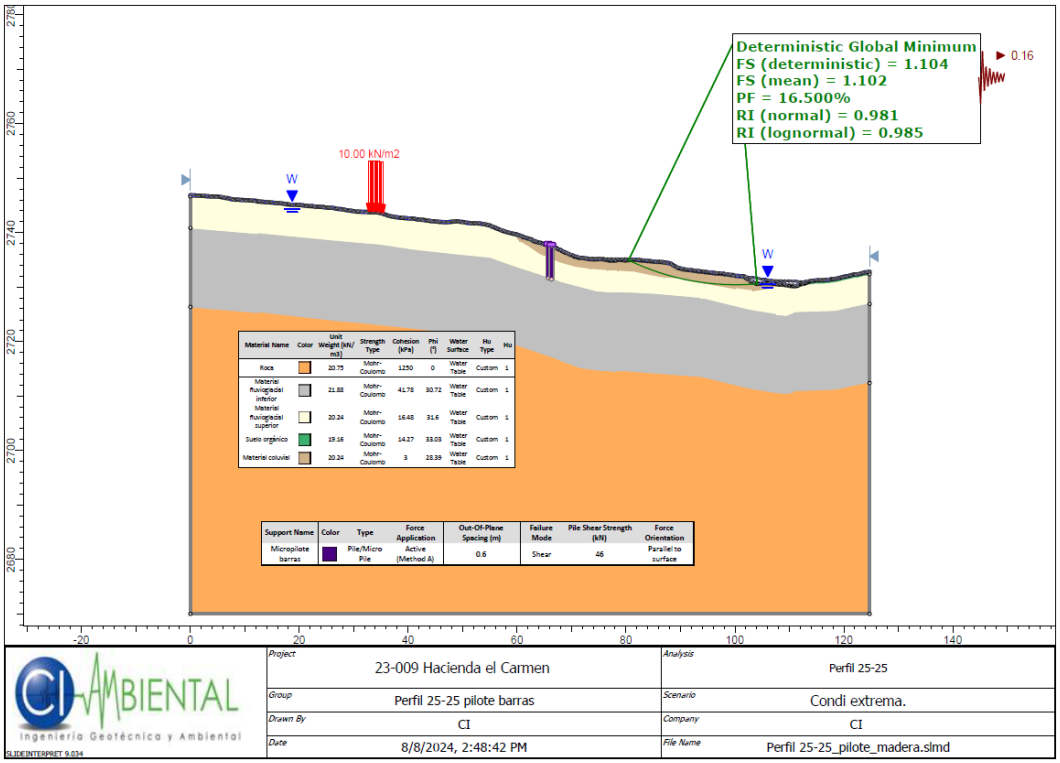



***Figura 2.25 Resultados de estabilidad sobre el sector crítico de la Aguadulce, perfil 25-25' con obras de mitigación mediante micropilotes.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

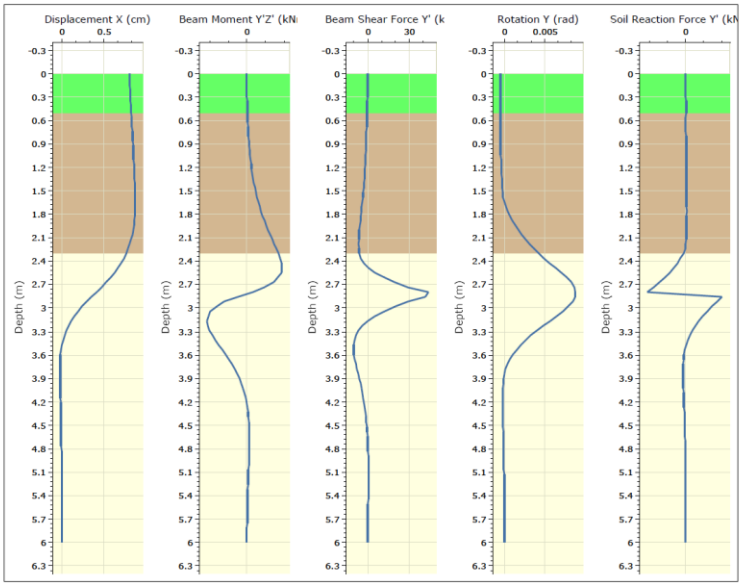



***Figura 2.26 Diagramas de desplazamientos, momentos, cortantes, rotación y reacción del suelo.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Se anexan los resultados del análisis de balasto y análisis de desarrollo de momentos y cortantes por cuenta del valor de empuje lateral del suelo sobre el micropilote propuesto.

### 2.3.2 Alternativa 2: Muro en Gaviones

Esta alternativa consiste en el diseño de un muro en gaviones, de altura 3.0 metros y una base de 3.0 metros con camadas intermedia de 2.0 m de ancho y superior de 1.0 m. El esquema de construcción se presenta en la Figura 2.27

Los resultados de los análisis de estabilidad muestran que el factor de seguridad para condición extrema es de 1.30, cumpliéndose los requerimientos del decreto 111 de 2022 (FS>1.1) y los factores de seguridad estáticos y seudo-estáticos de la NSR-10 para estabilidad de taludes (FS>1.05). Se puede apreciar el resultado de la modelación de estabilidad globa en la Figura 2.28.

Adicional lo anterior se presentan los resultados del análisis de estabilidad local por deslizamiento, volcamiento, capacidad portante y estabilidad interna para el gavión en la Tabla 2.1 y Figura 2.29.

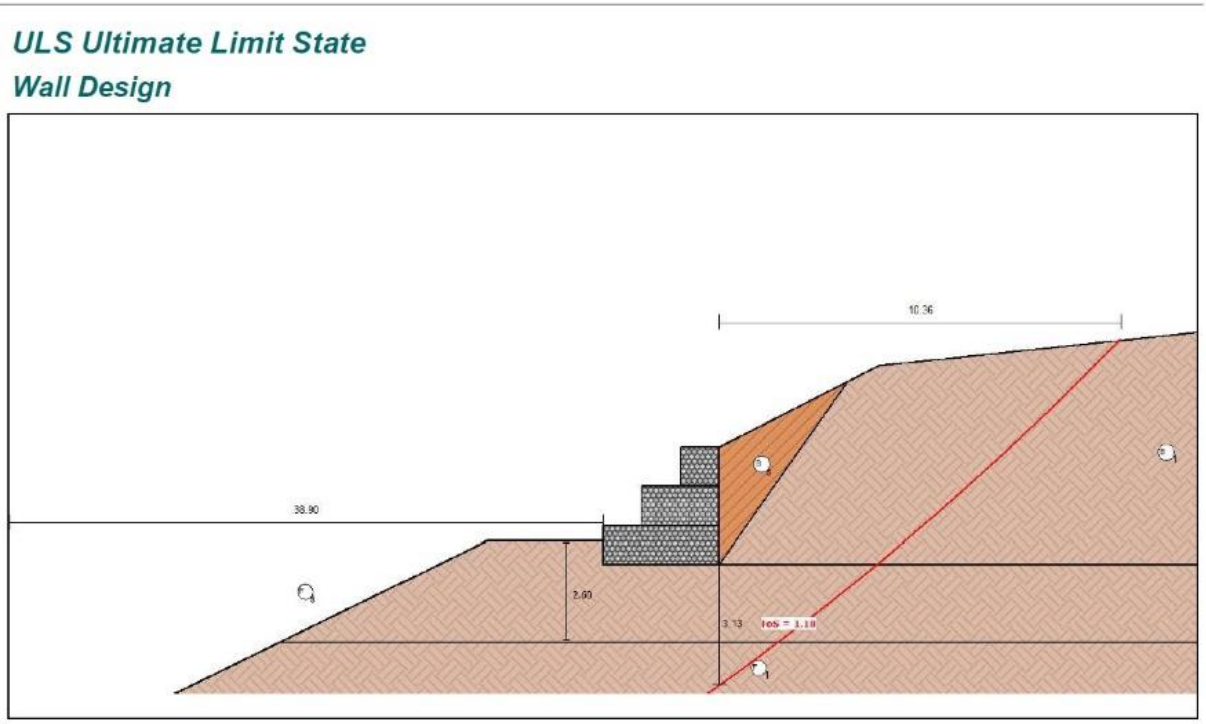



***Figura 2.27 Esquema de la alternativa de mitigación para el sector crítico de la Aguadulce mediante muro en gavión.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

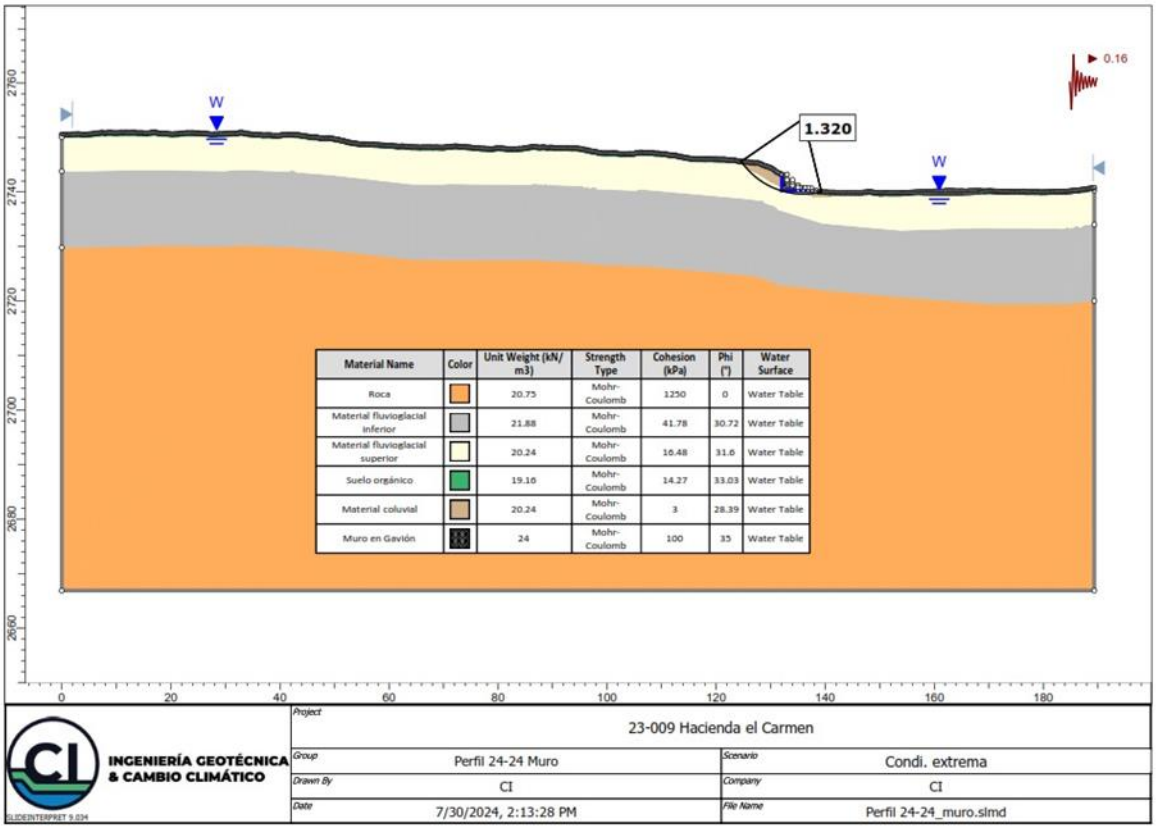



***Figura 2.28 Resultados de estabilidad sobre el sector crítico de la Aguadulce, perfil 24-24' con obras de mitigación mediante gaviones.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

***Tabla 2.1 Resumen de valores de factor de seguridad por deslizamiento, volcamiento, capacidad portante y estabilidad global para el gavión.***

## Stability Analysis Results

### Active and Passive Thrust

| | |
|---|---|
| Active Thrust [kN/m] | 41.52 |
| Point of application ref. to X axis [m] | 3.00 |
| Point of application ref. to Y axis [m] | 1.28 |
| Direction of the thrust ref. to X axis [°] | 26.97 |
| Passive Thrust [kN/m] | 47.05 |
| Point of application ref. to X axis [m] | 0.00 |
| Point of application ref. to Y axis [m] | 0.23 |
| Direction of the thrust ref. to X axis [°] | 0.00 |

### Sliding

| | |
|---|---|
| Normal force on the base [kN/m] | 119.63 |
| Point of application ref. to X axis [m] | 1.56 |
| Point of application ref. to Y axis [m] | 0.00 |
| Tangential active force [kN/m] | 53.13 |
| Tangential resistance force [kN/m] | 141.69 |
| Sliding check | 2.67 |

### Overturning

| | |
|---|---|
| Overturning Moment [kN/m x m] | 66.11 |
| Restoring Moment [kN/m x m] | 252.34 |
| Overturning check | 3.82 |

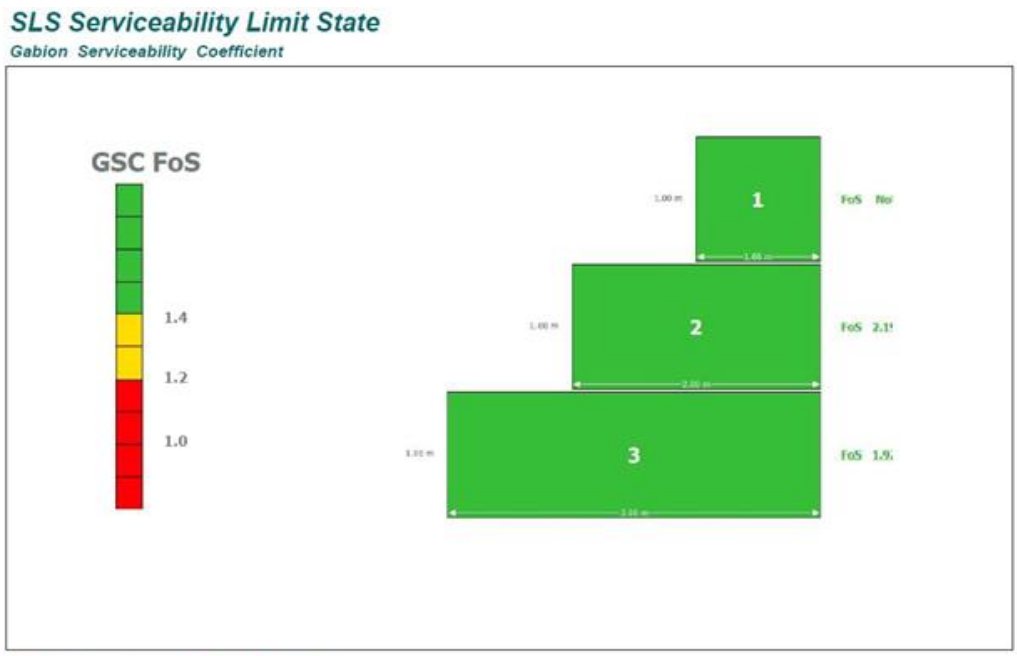
### Stresses Acting on Foundation

| | |
|---|---|
| Eccentricity | -0.06 |
| Normal stress on outer border [kN/m²] | 35.36 |
| Normal stress on inner border [kN/m²] | 44.40 |
| Ultimate stress on foundation[kN/m²] | 1258.50 |
| Stress on foundation (Toe) check | 35.59 |
| Stress on foundation (Heel) check | 28.35 |

### Global Stability | Bishop

| | |
|---|---|
| Center of the arch referred to X axis [m] | -40.27 |
| Center of the arch referred to Y axis [m] | 57.84 |
| Overall Stability Check | 1.18 |

FUENTE: GAWAC-MACCAFERRI, 2024.




**ULS Ultimate Limit State**

*External stability*

| Overturning check | | Sliding check | | Stress on foundation (Toe) Check | | Stress on foundation (Heel) Check | | Global | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | Global Stability Check | |
| FoS | 3.82 | FoS | 2.67 | FoS | 35.59 | FoS | 28.35 | FoS | 1.18 |

*Internal stability*

| Layer | H [m] | N [kN/m] | T [kN/m] | M [kN/m x m] | $\tau_{Max}$ [kN/m] | $\tau_{All}$ [kN/m²] | $\tau$ FoS | $\sigma_{Max}$ [kN/m²] | $\sigma_{All}$ [kN/m²] | $\sigma$FoS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.00 | 17.39 | 3.85 | 6.93 | 3.85 | 31.61 | **8.21** | 21.81 | 545.79 | **25.02** |
| 2 | 2.00 | 58.90 | 24.77 | 49.81 | 12.39 | 43.67 | **3.52** | 34.82 | 545.79 | **15.67** |

***Figura 2.29 Resumen de factores de seguridad por análisis externos e internos para el gavión.***

FUENTE: GAWAC-MACCAFERRI, 2024.

### 2.3.3 Alternativa 3. Malla de alta resistencia

La alternativa 3 consta de un sistema conformado por malla de acero doble torsión STEELGRID HR 100, en conjunto con unas placas HR Plate y pernos pasivos GEWI 28 mm. Este dimensionamiento consta de un análisis superficial y global. El análisis superficial se realizó mediante el software MacDesing, en el cual se definen las características del material propenso a deslizarse (Deposito Coluvial), cuyo espesor aproximadamente es de 2.5 metros, como se observa en la Figura 2.30.

Una vez definido las características del talud, se procede a verificar la estabilidad superficial a partir de la separación de pernos, tipo de malla y longitud de pernos. Dicha codificación cuenta con un patrón de pernos de 2.5 x 2.5 al tresbolillo, malla STEELGRID HR 100 y longitud de pernos de 6.0 metros.

Con base en el dimensionamiento anteriormente definido, se prosigue a realizar un análisis global con el fin de rectificar el patrón de pernos al tresbolillo y longitud del mismo, para calcular el factor de seguridad mínimo (FS=1.05) en condición extrema, como se observa en la Figura 2.31. El factor

de seguridad para esta alternativa es de 1.276, cuyo valor cumple con el valor mínimo requerido por el decreto 111 del 2022.:

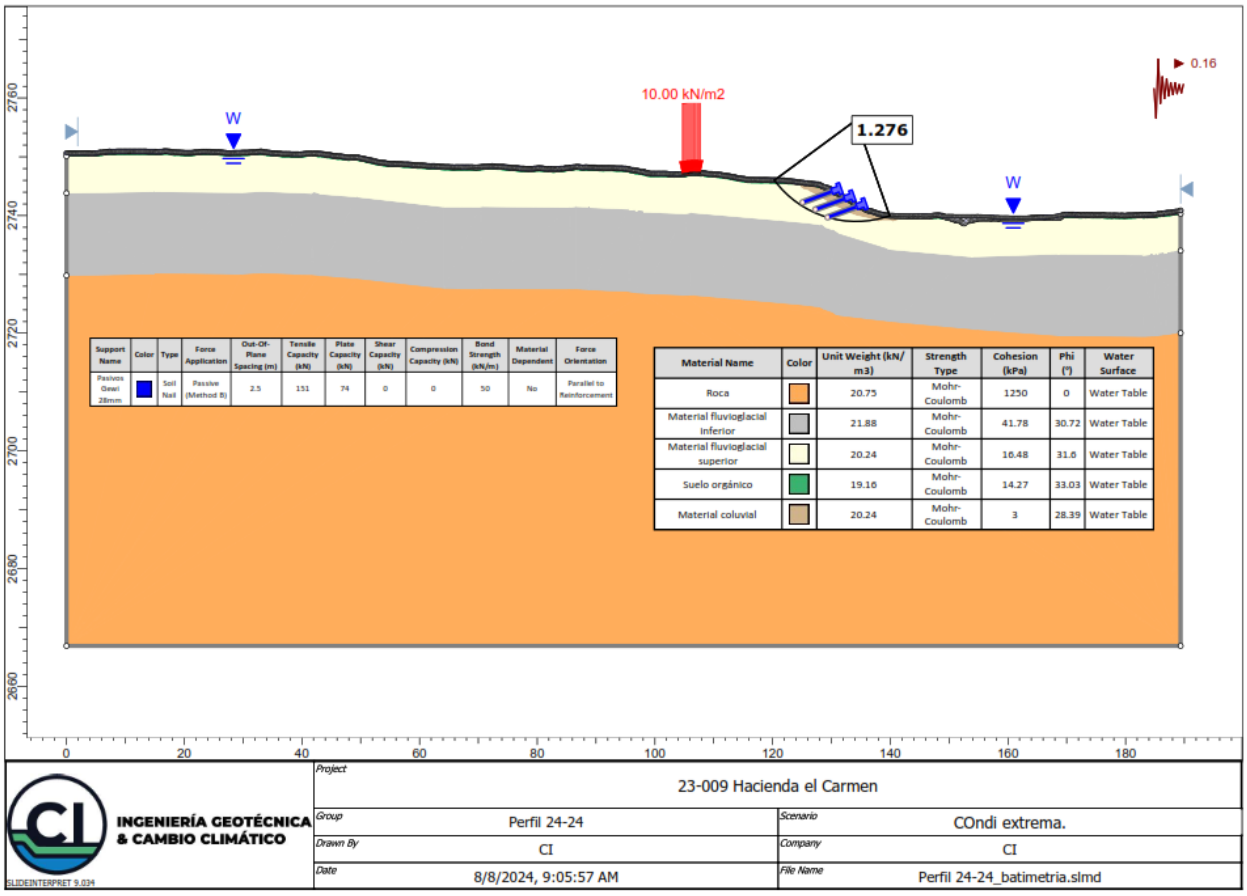



***Figura 2.30 Resultados de estabilidad sobre el sector crítico de la Aguadulce, perfil 24-24' con obras de mitigación mediante malla anclada.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Mac S-design - Technical Report
Soil Slope design software

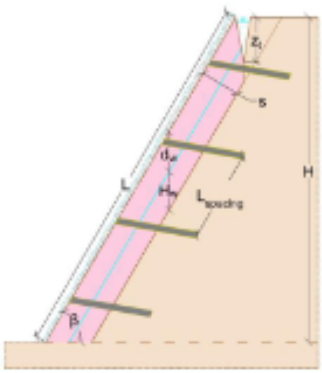
MACCAFERRI

Page 1 of 2 edesign.maccaferri.com

| | |
|---|---|
| Nombre del proyecto | PERFIL 24-24 |
| Nombre del cálculo | PERFIL 24-24 |
| Nombre del cliente | INGENIERIA GEOTECNICA |
| Propietario del proyecto | Hugo Fernando Gonzalez Cuadros |
| Tipo de ambiente | --- |
| Recubrimiento | --- |
| Tipo de malla | Steelgrid HR 100 |

**Geometría**

| Descripción | Símbolo | Valor | Unidad |
|---|---|---|---|
| Altura del talud | H | 14.0 | m |
| Ángulo del talud | β | 30.0 | deg |
| Longitud del talud | L | 28.0 | m |
| Espesor inestable del suelo | s | 2.5 | m |
| Grieta de tracción | z | -9.0 | m |




**Nivel freático**

| Descripción | Símbolo | Valor | Unidad |
|---|---|---|---|
| Profundidad del nivel freático | dw | 0.5 | m |
| Flujo en coronación | hw | 2.4 | m |

**Factores parciales de seguridad para los parámetros del suelo ($\gamma_m$)**

| Descripción | Símbolo | Valor | Unidad |
|---|---|---|---|
| Factor parcial para una cohesión efectiva | γc' | 2.0 | - |
| Factor parcial en el ángulo de fricción del suelo | γtanφ' | 2.0 | - |

**Parámetros geotécnicos**

| Descripción | Símbolo | Valor | Unidad |
|---|---|---|---|
| Ángulo de fricción del suelo | φ | 28.39 | deg |
| Cohesión efectiva | c' | 3.0 | kPa |
| Peso unitario | γ | 20.24 | kN/m³ |
| Peso unitario saturado | γsat | 21.75 | kN/m³ |
| Tipo de suelo | - | silt/clay | |
| Densidad del suelo | - | loose/soft | |

**Coeficientes sísmicos**

| Descripción | Símbolo | Valor | Unidad |
|---|---|---|---|
| Coeficiente sísmico vertical | kv | 0.00 | - |
| Coeficiente sísmico horizontal | kh | 0.16 | - |

Mac S-design | Copyright© 2018 - 2024 | v 20231011 | All Rights Reserved © Officine Maccaferri Spa 2020 | Notice: The results are provided under the "Software terms and conditions" disclosure agreement available under the personal area at https://edesign.maccaferri.com/

***Figura 2.31 Dimensionamiento de malla de alta resistencia – MacDesing.***

FUENTE: MACDESING, MACAFERRI. 2024.

### 2.3.4 Alternativa seleccionada

Respecto a las alternativas, si bien todas ofrecen condiciones de seguridad adecuadas, se debe considerar que también es pertinente tener en cuenta las implicaciones de una u otra en cuanto

a costos, movimientos de tierra, el componente arqueológico y la posibilidad de ingreso de maquinaria al lote.

En este orden de ideas, la alternativa más atractiva y que tendrá menos afectaciones al terreno corresponde a la propuesta con micropilotes. Su construcción requiere de excavaciones puntuales a comparación de las otras dos alternativas, de las cuales en particular los gaviones requerían importantes movimientos de tierra y, por otro lado, la malla anclada requiere mayor número de intervenciones al involucrar mayor número de elementos. Por último, su implantación ocupa mucho menor espacio y área por lo que es posible alternarlo con obras de bioingeniería, como los trinchos, lo cuales proveen una resistencia adicional por sus raíces lo que suministra una protección ante la erosión y a movimientos superficiales.

Finalmente, en el anexo se presentan los planos de detalle de esta alternativa, así como las condiciones y recomendaciones de construcción particulares para estas obras.

## 2.4 DISEÑO DE CANALES

La estructura principal para el manejo del agua superficial corresponde a cunetas triangulares o trapezoidales complementadas con trincheras drenantes de máximo 2.50 m de profundidad, para el manejo adecuado del agua superficial y subsuperficial de la zona. Estas estructuras se utilizarán para recoger las aguas procedentes de las partes altas, con el fin de evitar la infiltración y/o saturación de los taludes y poder de esta manera reducir las distancias de viaje del agua de escorrentía y por ende reduciendo los procesos erosivos.

Dentro de los criterios de diseño de las cunetas y bordillos se tienen los siguientes (INVIAS, 2009):

- La frecuencia de las crecientes de diseño (Tr) es de 50 años (para estar en concordancia con los lineamientos de la Resolución 111 de 2022).
- Debido a que, en el perfil longitudinal de la vía, la pendiente se superior al 2%, se recomienda que estas sean revestidas en concreto tal como se ilustra en la Figura 2.32. De igual manera, las cunetas deberán ir acompañadas por una trinchera drenante tal como se ilustra en Figura 2.33.
- Para efectos de control de velocidades se recomienda que la velocidad mínima debe ser de 0.25 m/s y la velocidad máxima admisible de 6 m/s.
- Finalmente, en la figura 3, se presenta el diseño de cómo quedará la vía, en la que se presentan un detalle de cómo quedará la sección la vía. Es importante destacar que el diseño detallado de todo el manejo del agua superficial de la vía, fue adelantado por el Consorcio NVP, encargado del diseño final del proyecto Fase 1 y en las que tendrán en cuentas las recomendaciones dadas en el estudio de riesgo.

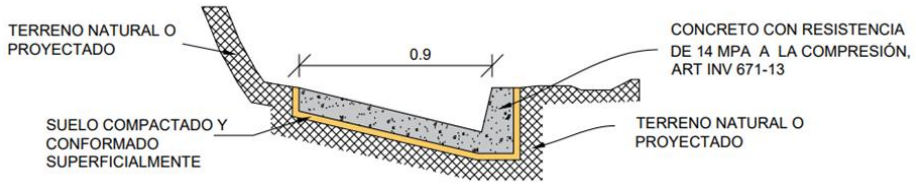



***Figura 2.32 Cuneta típica para el manejo del agua superficial sobre la vía.***

FUENTE: CONSORCIO NVP, 2024.

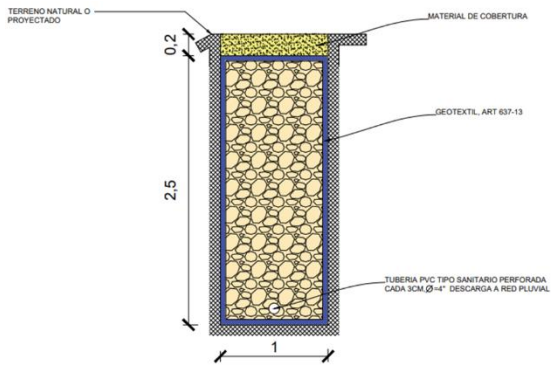



***Figura 2.33 Manejo de aguas subterráneas en cercanías de los taludes adyacentes a la vía***

FUENTE: CONSORCIO NVP, 2024.

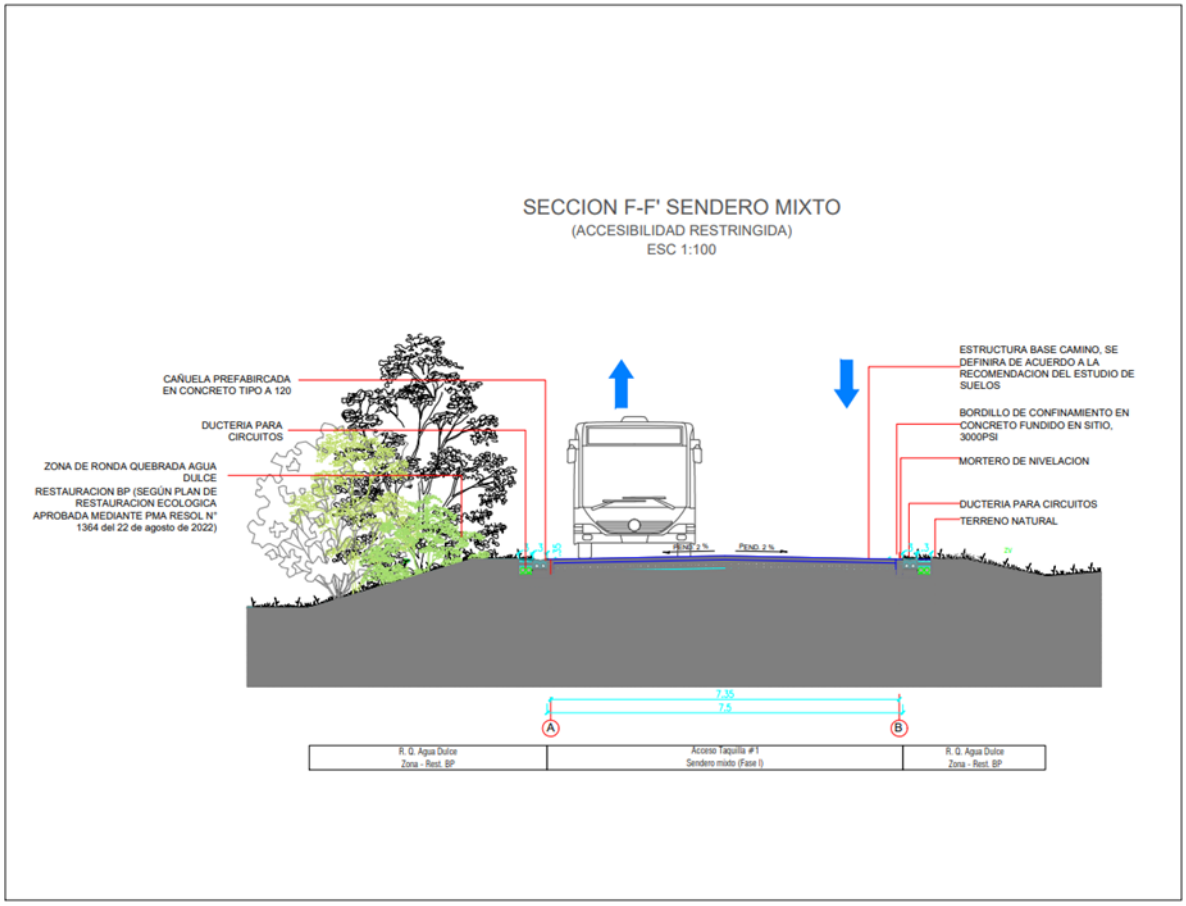



***Figura 2.34 Sección transversal de la vía mixta en el parque arqueológico.***

FUENTE: CONSORCIO NVP, 2024.

Es importante destacar que todos los canales y estructuras de subdrenaje deben dar cumplimiento con las especificaciones técnicas del Instituto Nacional de vías, especialmente con los Artículos INV-671-13 e INV-6736-13 y sus especificaciones relacionadas.

## 2.5 DISEÑO DE TALUDES EN ZONAS DE CORTE

Corresponde al diseño de los taludes originados por el corte de la vía principal, particularmente para la zona de la vía vehicular. Estos cortes fluctúan entre 0.50 y 1.30 metros de altura según el diseño vial suministrado por el Consorcio NVP. Se consideró la zona con el talud de corte m´´as alto, sobre la cual se varió la inclinación de dicho talud.

El diseño consistió en evaluar la estabilidad para diferentes inclinaciones y garantizando que sean estables para la condición extrema, es decir con sismo y condición del nivel freático para Tr=50 años (saturado en este caso). Finalmente la inclinación de las zonas de corte recomendadas correspondió a taludes en inclinación H:V::1:1, es decir con pendiente del 100%. Los resultados del análisis de estabilidad del talud con esta inclinación se presentan en la Figura 2.35.

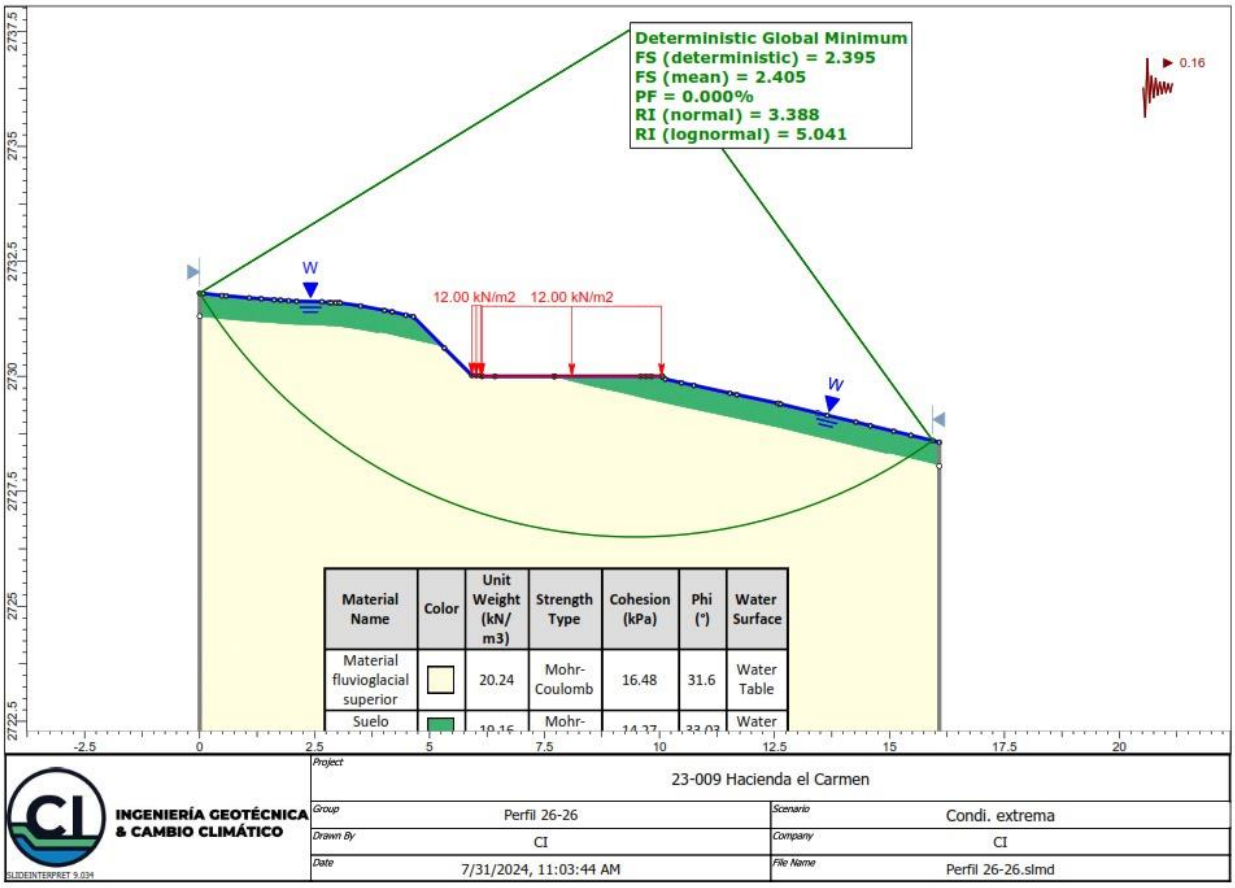



***Figura 2.35 Evaluación de estabilidad para la zona de mayor altura de corte (1.30 mts).***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Teniendo en cuenta lo anterior la recomendación de cortes a los lados de la vía vehicular corresponde a taludes en inclinación H:V::1:1 o de menor inclinación en donde sea posible.

## 2.6 DEFINICIÓN DE ZONAS DE PROTECCIÓN

En el estudio de amenaza se identificaron zonas de alta amenaza, ubicadas principalmente sobre el cauce de la quebrada Fucha y la Aguadulce. Debido a la alta susceptibilidad de estos sectores ante agentes antrópicos y detonantes como lluvias o sismos, se puede afirmar que estos sectores están caracterizados como de amenaza alta no mitigable y se debe restringir cualquier tipo de ocupación. En este orden de ideas, se recomienda definir estos terrenos como suelo de protección (Figura 2.36).

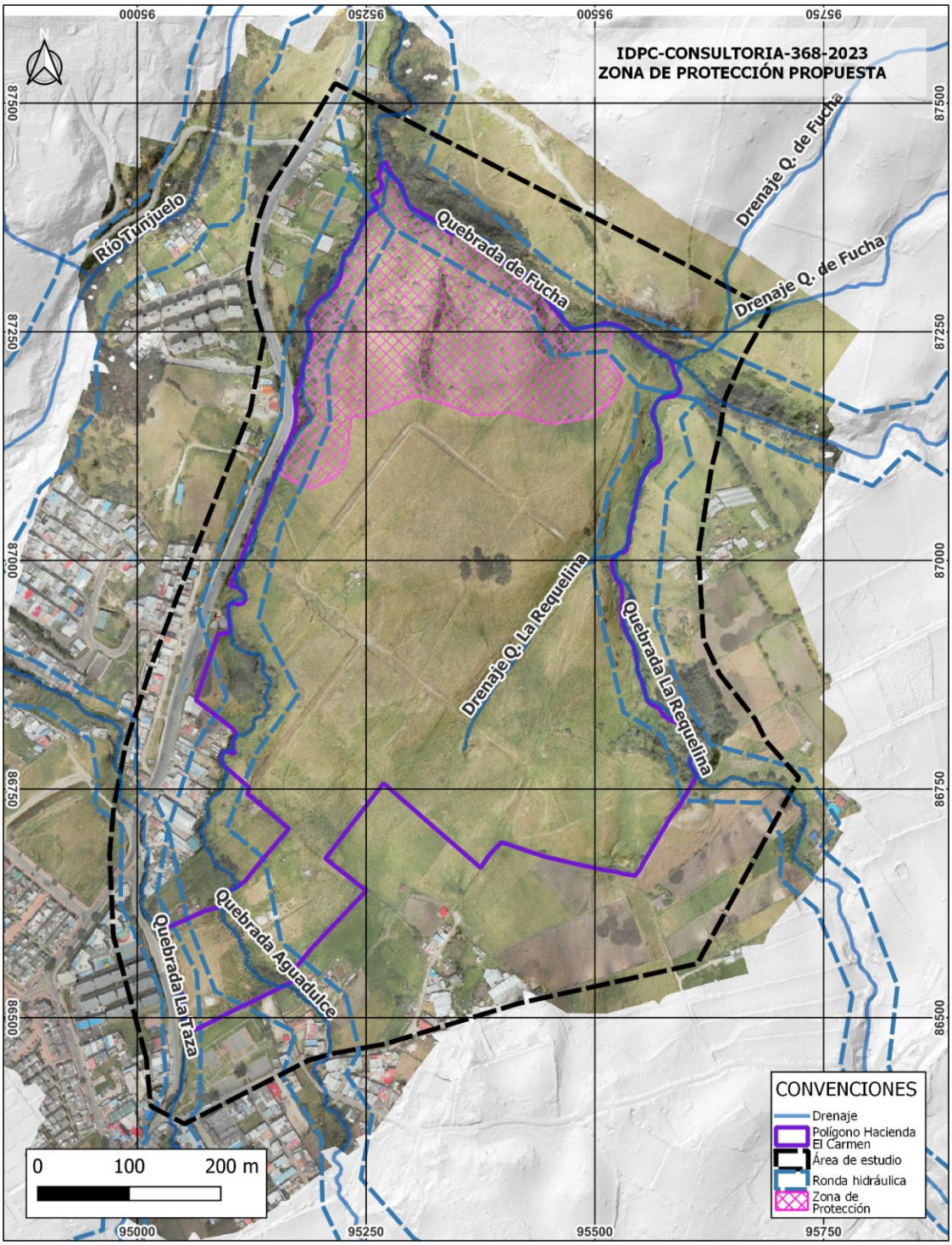



***Figura 2.36 Zonas recomendadas como suelo de protección.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Las coordenadas de la zona de protección corresponden a las presentadas en la tabla:

***Tabla 2.2 Coordenadas de Zona de protección (MAGNA CIUDAD BOGOTÁ).***

| Coordenadas | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Este (m)** | **Norte (m)** | **Este (m)** | **Norte (m)** | **Este (m)** | **Norte (m)** | **Este (m)** | **Norte (m)** |
| 95170.33 | 87141.71 | 95261.71 | 87390.44 | 95437.57 | 87298.57 | 95359.15 | 87163.32 |
| 95173.46 | 87164.43 | 95257.73 | 87394.83 | 95475.62 | 87252.39 | 95331.10 | 87173.29 |
| 95171.72 | 87179.65 | 95256.91 | 87400.00 | 95513.59 | 87259.52 | 95311.07 | 87179.26 |
| 95178.96 | 87198.43 | 95266.05 | 87405.97 | 95517.83 | 87258.53 | 95299.06 | 87179.24 |
| 95185.43 | 87224.94 | 95267.21 | 87411.39 | 95515.20 | 87229.63 | 95293.06 | 87175.23 |
| 95190.62 | 87240.43 | 95263.68 | 87421.24 | 95513.21 | 87221.62 | 95269.05 | 87165.18 |
| 95187.72 | 87251.79 | 95266.34 | 87431.53 | 95521.24 | 87209.62 | 95235.03 | 87155.12 |
| 95185.99 | 87262.13 | 95271.58 | 87435.69 | 95527.25 | 87203.62 | 95231.05 | 87143.10 |
| 95196.57 | 87281.90 | 95273.67 | 87430.48 | 95527.28 | 87189.61 | 95231.08 | 87121.08 |
| 95216.22 | 87298.51 | 95288.60 | 87409.00 | 95517.29 | 87171.58 | 95225.11 | 87101.05 |
| 95221.22 | 87308.58 | 95297.41 | 87386.99 | 95505.30 | 87161.55 | 95213.12 | 87089.02 |
| 95222.91 | 87319.57 | 95327.86 | 87369.54 | 95473.28 | 87151.49 | 95193.11 | 87078.98 |
| 95230.64 | 87338.74 | 95373.73 | 87349.71 | 95447.26 | 87149.44 | 95179.09 | 87080.96 |
| 95243.72 | 87363.00 | 95393.45 | 87334.09 | 95415.21 | 87161.41 | 95167.07 | 87088.95 |
| 95261.69 | 87385.00 | 95428.30 | 87311.69 | 95365.16 | 87159.33 | 95152.72 | 87098.14 |

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

No obstante, la no intervención con estructuras en este sector, se recomienda continuar con el plan de reforestación en este sector, puesto que este tipo de medidas contribuye favorablemente con el mejoramiento de las condiciones de estabilidad y aporta en el control de erosión.

Con el fin de evitar la ampliación del área inestable, se proponen obras de bioingeniería correspondientes a trinchos de guadua, los cuales se ubicarían en los sectores identificados como críticos dentro de la zona de protección. El propósito de estas obras corresponde a la generación de zonas de amortiguación para evitar que las escorrentías superficiales incidan en la generación de procesos erosivos que conlleven a la reactivación de los movimientos en masa identificados en dicho sector.

### 2.6.1 Obras de Protección Trinchos en guadua

Las obras de protección planteadas comprenden la estabilización y protección de los taludes generados en la adecuación del terreno, para ello se planteó la colocación de estacas en guadua que encierren un volumen de tierra en el cual se siembre vegetación en un plano horizontal. Adicional a ello, en la base de este volumen de tierra se colocaría un geotextil que evite el lavado de los finos y el deslizamiento (ver Figura 2.38). Estas posibilidades se encuentran contempladas en el capítulo 10.4 de *Landslides: Theory, Practice and Modelling* (Pradhan, Vishal, & Singh, 2020).

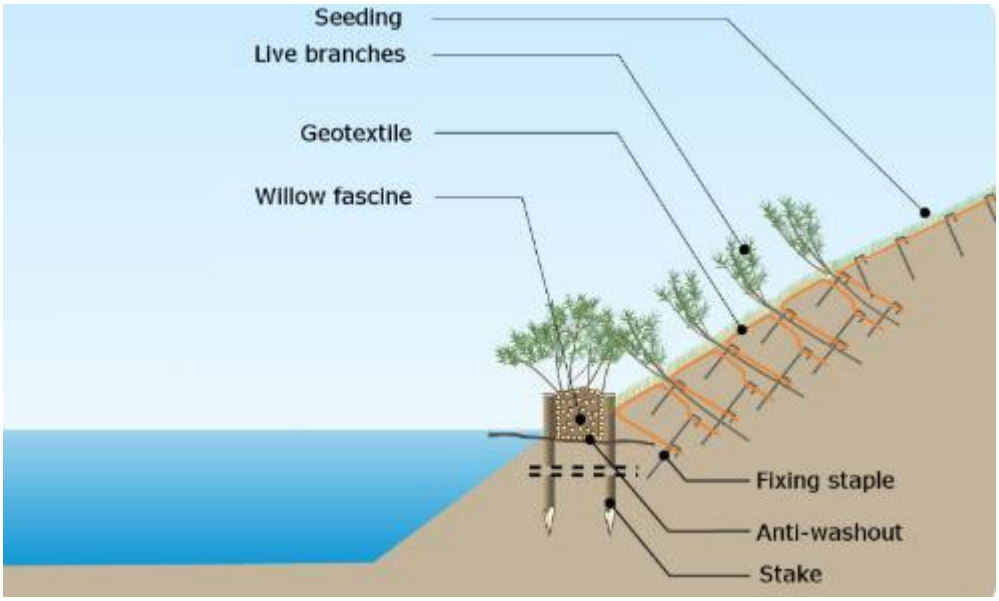



***Figura 2.37 Protección y estabilización de taludes mediante geotextil y vegetación***

FUENTE: TOMADO DE (INRAE, 2024)

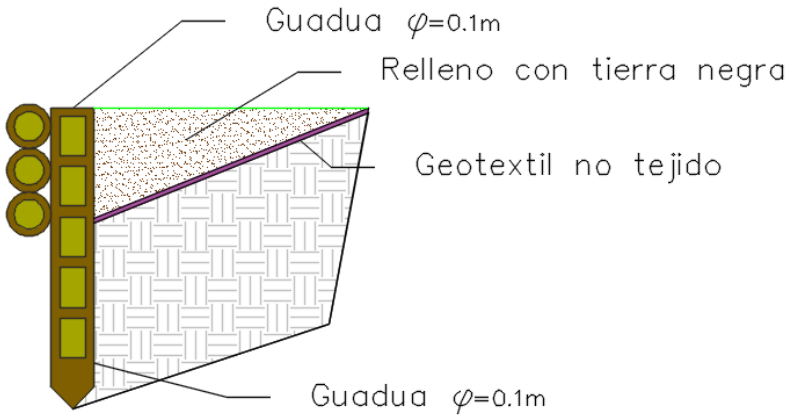



***Figura 2.38 Detalle de Trinchos en guadua con geotextil no tejido***

FUENTE: CONSORCIO ESTABILIDAD, 2023.

Este tipo de obras busca implementar un sistema que permita la reocupación de especies vegetales, especialmente aquellas con raíces profundas, dado que la falta de vegetación adecuada, contribuye a la degradación del área. Las plantas mejoran la estabilidad de un talud de suelo tanto mecánica como hidrológicamente aumentando la cohesión, proporcionada por las raíces, y el ángulo de fricción, disminuye la presión del agua intersticial, reduce el peso del suelo al absorber la humedad, y disminuye la escorrentía superficial mediante la interceptación de la lluvia, entre otros factores. Además, las raíces que atraviesan la superficie de falla sirven como refuerzo de tracción, lo que fortalece aún más la estabilidad del talud. (Pradhan, Vishal, & Singh, 2020). Esto sin mencionar el aporte que realizaría las guaduas enterradas, las cuales ayudan a resistir la fuerza cortante como un tablestacado.

(Barker, 1986) incluye el efecto del refuerzo o estabilización del suelo dado por las raíces agregando un término al factor de seguridad bajo un análisis de estabilidad de talud infinito así:

$$FS = A\,\frac{\tan(\varphi)}{\tan(B)} + C$$

Donde C es un término que tiene en cuenta la cohesión del suelo (C), la adhesión de las raíces, el peso unitario del suelo y el espesor o profundidad de falla. Esto implica un claro incremento a favor del factor de seguridad. La escogencia de la vegetación es vital para la determinación de la adhesión de las raíces, parámetro que se obtiene a partir del área de la raíz y de su resistencia a la tracción. (Barker, 1986)

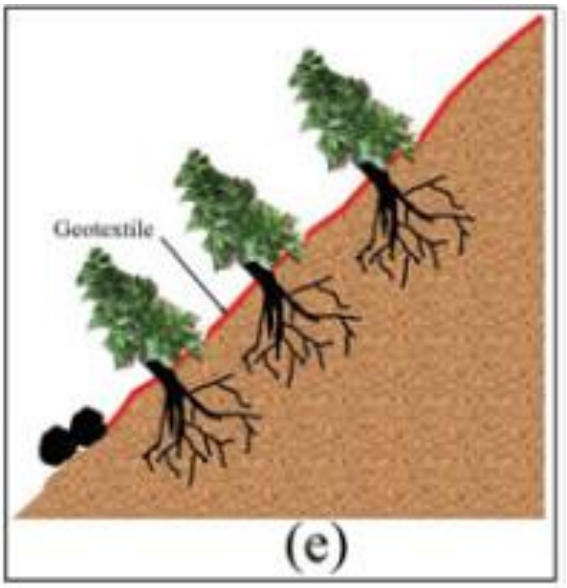



***Figura 2.39 Técnicas de Bioingeniería para mejorar la estabilidad de taludes***

FUENTE: (PRADHAN, VISHAL, & SINGH, 2020), FIGURA 10.1 (E)

Se presentan los esquemas en planta y perfil de las obras de bioingeniería propuestas de la Figura 2.40 a la Figura 2.44.

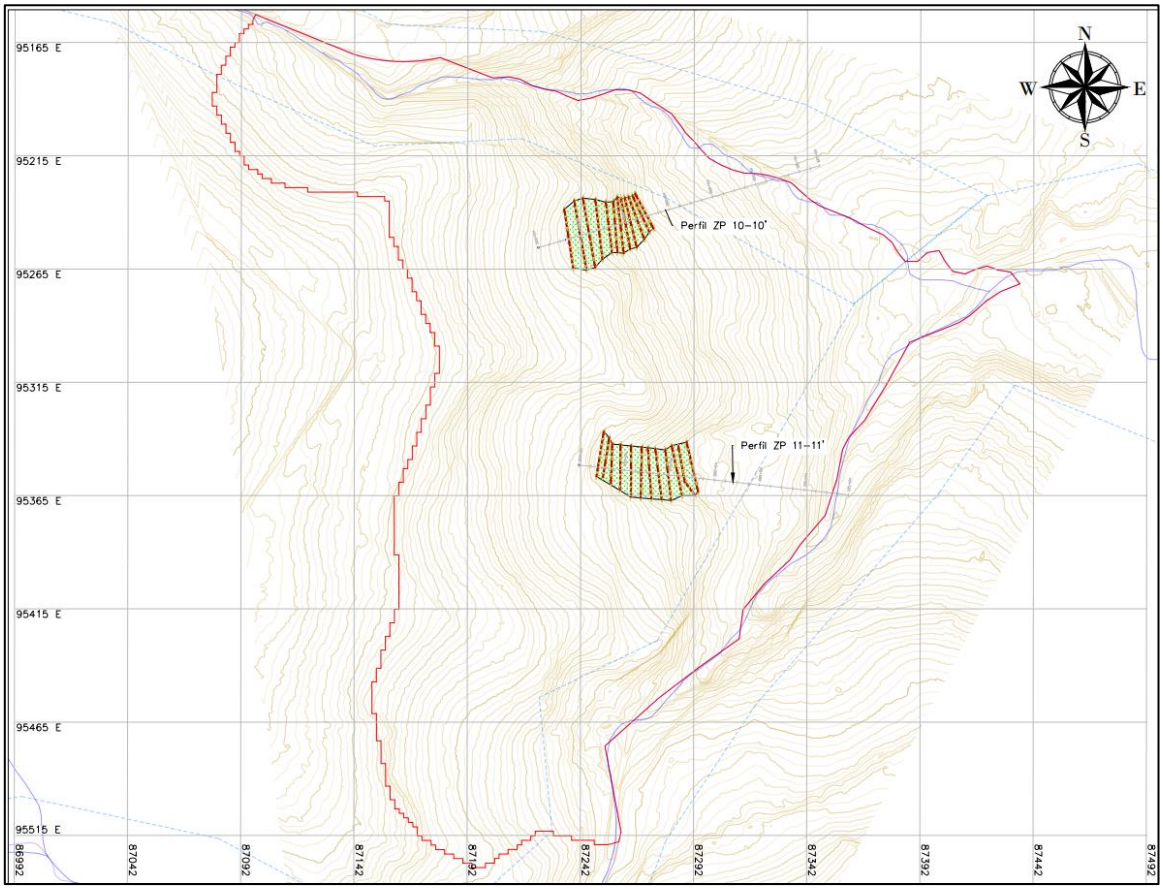



***Figura 2.40 Zonas en que se instalarían obras de bioingeniería***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

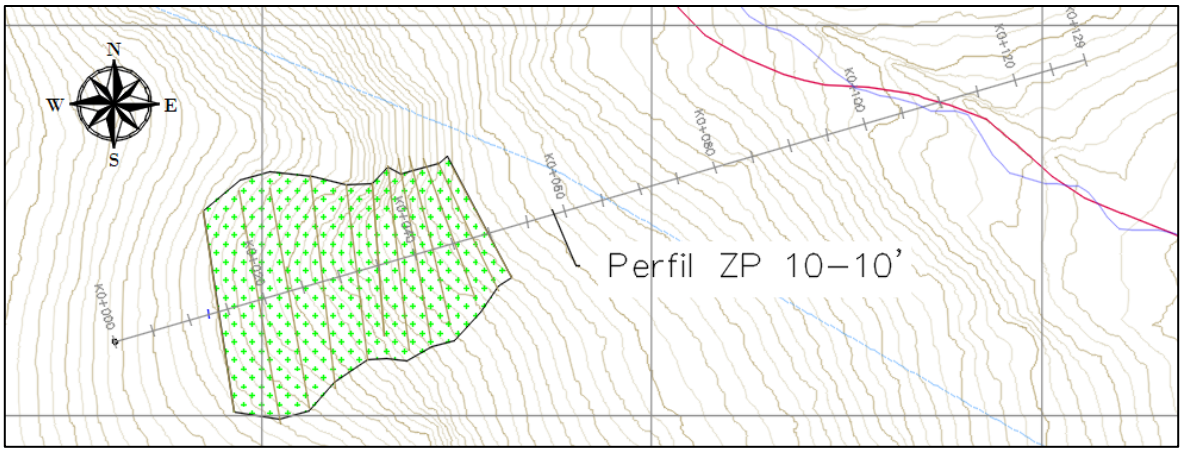



***Figura 2.41 Planta ampliada de obras de bioingeniería sobre el perfil 10-10'.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

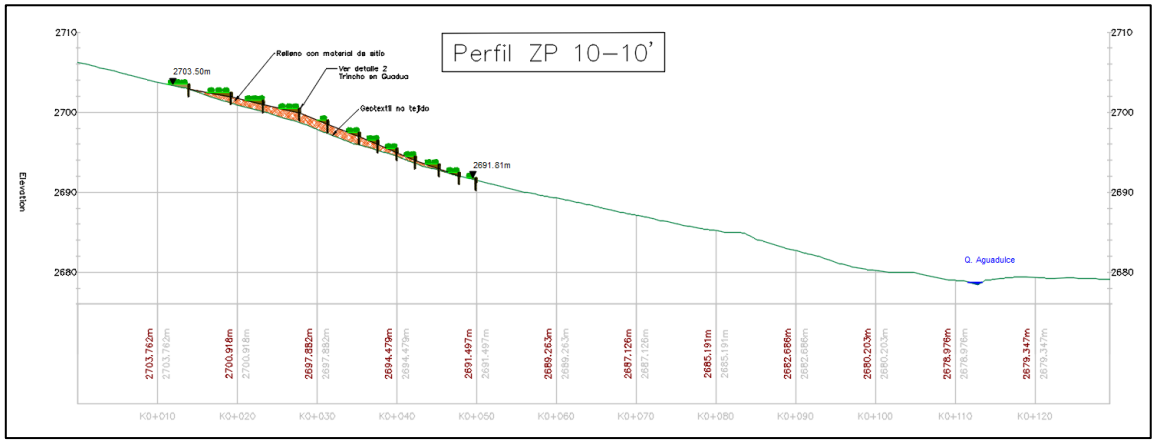



***Figura 2.42 Perfil de obras de bioingeniería sobre el perfil 10-10'.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

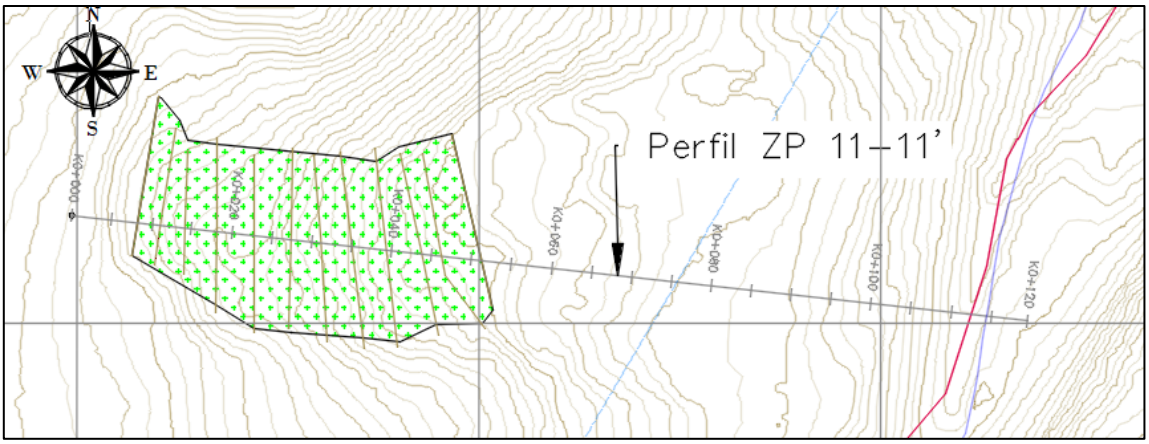



***Figura 2.43 Planta ampliada de obras de bioingeniería sobre el perfil 11-11'.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

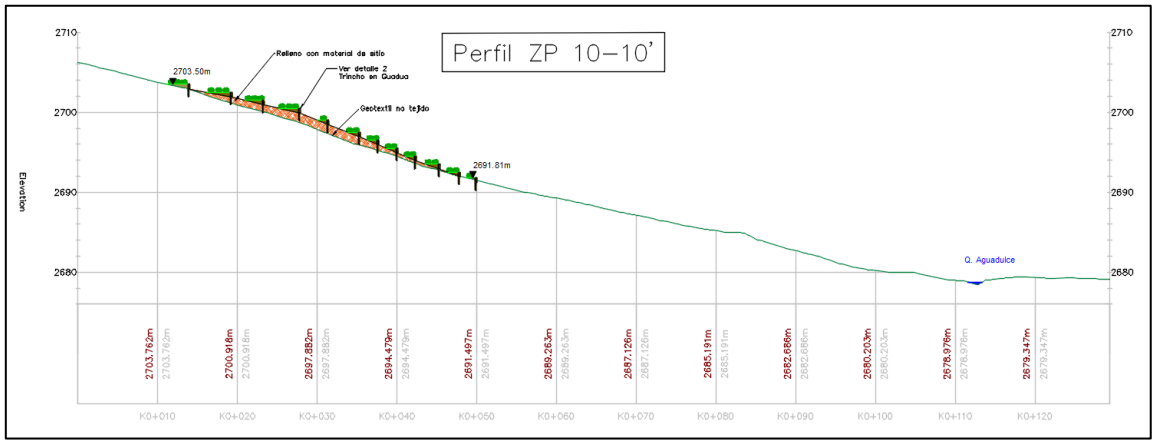



***Figura 2.44 Perfil de obras de bioingeniería sobre el perfil 11-11'.***

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

# 3 PLAN DE MANTENIMIENTO Y MONITOREO

Para un adecuado seguimiento del comportamiento de las obras, es importante que los administradores del parque arqueológico tengan en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Es altamente recomendable el reconocimiento visual periódico de la zona: inspecciones detalladas de zona, especialmente en las zonas identificadas como de amenaza alta, cuya periodicidad se deberán incrementar en periodos de lluvia.
- Durante la fase constructiva se recomienda la instalación de puntos de control topográfico, especialmente en los taludes, y zonas donde se realizan cortes (por ejemplo, vía de acceso), para la medición de eventuales movimientos horizontales y verticales. Es importante, que estos monitoreos se realicen por un tiempo no inferior a seis (6 meses), con mediciones mensuales durante el verano y quincenales durante las épocas invernales.
- Es altamente recomendable, que mediante talleres comunitarios se concientice a la comunidad, sobre la protección y el buen uso de las obras propuestas para su buen funcionamiento y durabilidad. Es decir, es muy importante que la comunidad se apropie del cuidado y protección del parque arqueológico por su elevado valor cultural.
- Para la ejecución de las obras de mitigación, el contratista deberá presentar el respectivo manual de mantenimiento en donde se enmarque los procedimientos de trabajo y de control, ajustándose a las disposiciones del proyecto y del IDPC. Estos procedimientos deben tener las instrucciones en un lenguaje común y de fácil compresión para la comunidad.
- Se recomienda realizar un monitoreo o seguimiento durante la ejecución de las excavaciones para la realización de las obras correctivas y una vez se hayan ejecutado las mismas.
- Verificación de la calidad de los materiales (cables y barras de acero, concreto, rellenos, etc.) a utilizar durante la construcción de las obras de mitigación, verificando que cumplan con las condiciones establecidas en los diseños o las normas correspondientes, las cuales están indicadas en los planos de obras y detalles constructivos.
- Teniendo en cuenta que el proyecto se encuentra ubicado en zona de amenaza sísmica intermedia, es importante que después de un sismo, se haga un recorrido por el parque, verificando el estado del terreno alrededor de las obras, esto con el fin de verificar la posible presencia de grietas, hundimientos, deslizamientos o cualquier anomalía en el terreno que pueda afectar las obras.
- Es importante verificar si el sismo tuvo algún tipo de afectación sobre las vías existentes, caminos o las estructuras ubicadas en el parque arqueológico. De igual manera, se deberá verificar el estado de las evacuaciones y sobre todo los puntos de encuentro.
- El efecto del sismo puede tener efectos colaterales, motivo por el cual es muy importante evaluar el estado de los elementos no estructurales, clasificando el grado de daño y estableciendo el porcentaje de elementos afectados en el área con mayores afectaciones.
- Para la obra de estabilización del proyecto que corresponde a una malla de alta resistencia, es recomendable realizar periódicamente labores de evaluación de su estado. Para las estructuras orientadas al manejo de las aguas superficiales es altamente recomendable realizar labores de aseo y limpieza. Esta labor es indispensable realizarla antes del inicio de las épocas invernales y por lo menos con frecuencia mensual durante

tales periodos. En la tabla 1, se presentan las recomendaciones generales sobre el mantenimiento y frecuencia para las diferentes medidas de mitigación propuestas en el presente estudio.

Adicionalmente, se deberán tener en cuenta las indicaciones de la tabla de mantenimientos y frecuencias (Tabla 3.1).

***Tabla 3.1 Mantenimientos y frecuencias para las obras propuestas.***

| Obra de mitigación | Mantenimiento | Frecuencia |
|---|---|---|
| Cunetas | Realización de mantenimiento periódico que comprende la limpieza regular de las instalaciones para garantizar su correcto funcionamiento. Esto incluye la reparación de tramos que presentan agrietamientos, daños por impactos u otros problemas similares, así como la atención a aspectos generales que puedan afectar el rendimiento del sistema. Además, se debe llevar a cabo la eliminación de obstrucciones en zonas de desagüe y sumideros para asegurar el flujo adecuado de agua y prevenir posibles bloqueos o daños adicionales. | 1. Limpieza Genera: Debería realizarse al menos cada 3 a 6 meses. En áreas con alta acumulación de hojas, escombros u otros desechos, puede ser necesario hacerlo con mayor frecuencia, como cada 1 a 2 meses.<br>2. Inspección de Daños: Es recomendable realizar una inspección visual cada 6 a 12 meses para identificar agrietamientos, erosión, o cualquier daño causado por impactos o condiciones climáticas adversas.<br>3. Reparaciones Menores: Las reparaciones de pequeñas grietas o daños deberían hacerse inmediatamente después de su detección para evitar que se agraven. Estas reparaciones pueden necesitarse en cualquier momento del año, dependiendo de las condiciones.<br>4. Reparaciones Mayores: Las reparaciones estructurales importantes, como la reconstrucción de tramos severamente dañados, deberían programarse según los resultados de las inspecciones y se realizarán de manera prioritaria si se detectan problemas graves.<br>5. Desobstrucción de Desagües y Sumideros: Debería hacerse al menos cada 1 a 3 meses, especialmente después de fuertes lluvias o tormentas que puedan causar acumulación de sedimentos y obstrucciones. |
| Micropilotes | Realizar Inspección Visual regular, Reparación de daños, revisión de anclajes y fijaciones, Evaluacion del entorno | 1. Inspección Visual Regular: Cada 6 meses inspeccionar los pilotes para detectar signos de corrosión, roturas, o cualquier daño visible. Verificar la integridad de cada elemento.<br>2. Limpieza: Cada 6 a 12 meses eliminar acumulaciones de sedimentos, escombros o vegetación que puedan afectar la funcionalidad de la obra.<br>3. Reparación de Daños: Según necesidad, tras inspección reparar o reemplazar secciones dañadas de los pilotes. Esto puede incluir la solicitud de reforzamiento por roturas o desgastes, y la corrección de cualquier problema estructural encontrado.<br>4. Revisión de viga cabezal: Cada 6 meses verificar que la viga y fijaciones a los pilotes estén seguros y sin signos de corrosión. Reportar en caso de identificar necesidad de reforzamiento del elemento.<br>5. Evaluación del Entorno: Cada 6 a 12 meses evaluar el entorno circundante para asegurarse de que no haya nuevos problemas como erosión, acumulación de tierra o cambios en el flujo de agua que puedan afectar el rendimiento de la pantalla de pilotes. |

| Obra de mitigación | Mantenimiento | Frecuencia |
|---|---|---|
| Geoestera | Realizar Inspección Visual regular, Reparación de daños, Evaluación del entorno | 1. Inspección Visual Regular: Cada 6 meses revisar la geoestera para detectar desgarres, desplazamientos de bloques, hundimientos o cualquier daño visible. Verificar la alineación y el ajuste de los bloques.<br>2. Limpieza: Cada 6 a 12 meses eliminar acumulaciones de sedimentos, hojas, escombros o vegetación que puedan obstruir el sistema.<br>3. Reparación de Daños: Según necesidad, tras inspección reemplazar o reajustar los bloques que estén dañados, desplazados o rotos. Reparar cualquier área que muestre signos de erosión o desgaste.<br>4. Evaluación de Desgaste y Erosión: Cada 6 a 12 meses evaluar el entorno para detectar signos de erosión alrededor de la geoestera o cambios en el flujo de agua que puedan afectar su eficacia.<br>5. Inspección de Soportes y Estructuras Adyacentes: Cada 6 meses revisar las estructuras adyacentes y soportes para asegurarse de que no haya signos de daño que puedan influir en la estabilidad del colchacreto. |
| Revegetalización con bioingeniería (trinchos) | Realizar Inspección Visual regular, riego, control de malezas, fertilización, y reparación y reemplazo de plantas | 1. Inspección Visual Regular: Cada 1 a 2 meses revisar el área revegetalizada para evaluar el estado general de la vegetación, identificar signos de estrés, plagas o enfermedades, y comprobar el crecimiento saludable de las plantas.<br>2. Riego: Inicialmente cada 1 a 2 semanas, y luego ajustado según el clima y el tipo de vegetación asegurarse de que las plantas reciban suficiente agua para establecerse y crecer. Ajustar la frecuencia y cantidad de riego según las condiciones meteorológicas y las necesidades específicas de las especies plantadas.<br>3. Control de Malezas: Cada 1 a 2 meses eliminar las malezas que compiten con las plantas revegetalizadas por agua, nutrientes y luz. Este control puede realizarse manualmente o mediante el uso de herbicidas aprobados.<br>4. Fertilización: Cada 3 a 6 meses aplicar fertilizantes según las necesidades del tipo de vegetación y la calidad del suelo. Esto ayuda a asegurar que las plantas tengan los nutrientes necesarios para un crecimiento saludable.<br>5. Reparación y Reemplazo de Plantas: Según necesidad, tras inspección reemplazar plantas muertas o dañadas. Asegurarse de que las áreas vacías se replantan para mantener la cobertura vegetal y la eficacia de la revegetalización.<br>6. Erosión y Control de Suelo: Cada 3 a 6 meses revisar el sitio para detectar signos de erosión del suelo y tomar medidas correctivas como la replantación o la adición de coberturas de suelo para prevenir la pérdida de tierra. |

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

## 3.1 RECOMENDACIONES PARA LA IMPLANTACIÓN DE LOS PROYECTOS URBANÍSTICOS DEL PARQUE ARQUEOLÓGICO

A continuación, se presentan algunas recomendaciones para la implantación de las obras que se piensan construir en el parque arqueológico:

- Minimizar, durante el proceso constructivo de las diferentes estructuras los cortes que eventualmente puedan generar algún tipo de inestabilidad local. Esto aplicable principalmente, para el tanque de agua enterrado que se piensa construir.
- Es importante llevar un control minucioso a la ejecución de rellenos o de cortes, por pequeño que sea con el fin de evitar problemas de inestabilidad locales.
- Es importante evitar la descarga incontrolada de los fluentes de agua o su deficiente manejo.
- Evitar la concentración de cargas provenientes de vehículos o materiales en la corona de los taludes.
- Incentivar el adecuado manejo de las aguas residuales y pluviales. Su objetivo evitar el contacto del agua con el suelo de fundación, y de paso impedir su alteración y el cambio en sus propiedades geomecánicas.
- Se recomienda en lo posible evitar excesivos cambios en el contenido de humedad del suelo, para lo cual es altamente recomendable garantizar que todas las redes hidráulicas (acueducto, alcantarillado pluvial, alcantarillado sanitario, cunetas de coronación, cunetas viales), sean completamente herméticas para evitar descargas incontroladas de agua que puedan afectar la estabilidad de los suelos existentes.
- Es importante que la totalidad del sistema de drenaje del proyecto descarguen en las redes principales de drenaje y por ningún motivo se debe permitir la descarga de flujos de manera directa a las laderas ya que se podrían generar focos de inestabilidad o cambios.
- Para la construcción de los micropilotes y con el fin de minimizar la presencia de hallazgos arqueológicos, es altamente recomendable que, en esos sectores puntuales, se realicen previamente pruebas de georadar, con el fin de verificar la presencia de hallazgos arqueológicos.

# 4 PLAN DE CONTINGENCIA PARA LAS OBRAS DE MITIGACIÓN

Este plan de contingencia establece los lineamientos, la organización, los procedimientos y las acciones generales aplicables para la atención de emergencias en las obras geotécnicas que incluyen terraplén, malla anclada, protección de cauces con colchacreto y corte en vías vehiculares. Su objetivo es garantizar la seguridad de las personas, la protección del medio ambiente y la continuidad de las actividades y servicios. Inicialmente se definen los sujetos involucrados en su organización:

## 4.1 ORGANIZACIÓN DEL PLAN DE CONTINGENCIA

Se deben definir como mínimo los siguientes actores al momento de la ejecución de las obras:

- *El Responsable de Contingencia* debe definirse por el constructor alguno de los cargos a continuación:

El Jefe de Obra o Responsable de Construcción, el Director de Proyecto, el Ingeniero de Seguridad, el Contratista Principal, el Arquitecto, los Ingenieros Especializados y el Responsable de Calidad son los cargos responsables de gestionar las contingencias en una obra de construcción.

- *Equipo de Respuesta a Emergencias* lo debe definir de acuerdo al tipo de emergencia el "Reponsable de contingencia". Algunas de las posibilidades principales son:

El Equipo de Respuesta a Emergencias, los Bomberos de Bogotá, la Policía Nacional de Colombia, los Servicios de Salud y Ambulancias, la Defensa Civil, el Ingeniero de Seguridad en el Trabajo, el Contratista Principal y el Personal de Seguridad y Vigilancia son los actores claves en la gestión de emergencias en una obra de construcción en Bogotá, Colombia.

- Coordinador de Seguridad:

El Ingeniero de Seguridad en el Trabajo (SST) sería el más adecuado para asumir la responsabilidad de Coordinador de Seguridad ante eventos de emergencia como los que se mencionarán a continuación.

## 4.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS EMERGENCIAS Y SUS ACTORES

### 4.2.1 Área de Influencia

El área de influencia incluye:

- La zona de las obras de mitigación propuestas y sus alrededores inmediatos.
- Vías de acceso y evacuación.
- Áreas residenciales, comerciales e industriales cercanas.

### 4.2.2 Identificación y Evaluación de Riesgos

Los riesgos identificados son:

- Deslizamientos de tierra en el terraplén.
- Fallas estructurales en la pantalla de pilotes.
- Inundaciones o cambios en el cauce durante la protección con geoestera.

- Accidentes vehiculares durante los cortes en vías.

### 4.2.3 Elementos Vulnerables

- **Trabajadores en la zona de obra:** Pueden estar expuestos a caídas, accidentes con maquinaria, exposición a sustancias tóxicas, lesiones físicas, accidentes graves, enfermedades relacionadas con el trabajo y eventos inesperados como explosiones o incendios.
- **Población cercana:** Puede estar expuesta a polvo, ruido, vibraciones, riesgos relacionados con el tráfico, y riesgos directos en caso de colapsos estructurales o explosiones.
- **Infraestructuras adyacentes**: Pueden sufrir daños por vibraciones, impactos de cargas pesadas, excavaciones profundas, y pueden enfrentar interrupciones en la vida cotidiana y el tránsito.
- **Recursos naturales (ríos, fauna, flora)**: Pueden ser vulnerables a la contaminación, alteraciones en el flujo de agua, destrucción de hábitats, introducción de sustancias nocivas, y efectos negativos en la biodiversidad y los ecosistemas locales.

### 4.2.4 Otros posibles actores involucrados

- Trabajadores de la obra.
- Supervisores y coordinadores de seguridad.
- Autoridades locales.
- Servicios de emergencia (bomberos, ambulancias).

## 4.3 MECANISMOS DE RESPUESTA

### 4.3.1 Mecanismos de Aviso y Articulación de la Respuesta

- Sistema de Alerta: Comunicación inmediata a través de radios y teléfonos a través de los actores involucrados.
- Contactos de Emergencia: Realizar un listado de números de teléfono de autoridades locales y servicios de emergencia.
- Protocolos de Comunicación: Se deben generar instrucciones claras para notificar a las autoridades pertinentes y coordinar la respuesta.

### 4.3.2 Rutas de Evacuación

- Identificación de rutas seguras para la evacuación.
- Señalización adecuada en todas las áreas de trabajo.
- Simulacros periódicos para asegurar que todos los trabajadores conozcan las rutas de evacuación.

### 4.3.3 Capacitación al Personal

- Programa de Capacitación: Cursos y talleres regulares sobre seguridad y manejo de emergencias.
- Simulacros: Realizar simulacros de emergencia para practicar la evacuación y la respuesta.

## 4.4 MECANISMOS DE CONTROL DE LA CONTINGENCIA

### 4.4.1 Sistemas de Control de la Contingencia

- Monitoreo Continuo: Supervisar constantemente las condiciones del terraplén, la pantalla de pilotes, el cauce y las vías vehiculares.
- Equipos de Respuesta Rápida: Contar con personal entrenado y equipado para actuar inmediatamente en caso de emergencia.

### 4.4.2 Recursos Disponibles

- Humanos: Personal entrenado en primeros auxilios, seguridad y respuesta a emergencias.
- Físicos: Equipos de comunicación, primeros auxilios, herramientas de rescate, vehículos de evacuación.

### 4.4.3 Adquisición de Recursos

- Proveedores de Emergencia: Lista de proveedores y contratistas disponibles para suministrar recursos adicionales en caso de emergencia.
- Procedimientos de Adquisición: Formular procesos claros y concisos para obtener los recursos necesarios.

### 4.4.4 Esquema de Activación y Estructura Organizacional

El plan de contingencia se activa cuando una serie de eventos o condiciones mencionadas anteriormente indican la necesidad de intervención para manejar una emergencia. El procedimiento sería el siguiente

- Detección de una Emergencia: Mediante alarmas y/o sensores o reportes del personal.

- Confirmación del Incidente: Confirmación de la emergencia mediante una evaluación inicial de la situación por parte del personal de seguridad o el jefe de obra y una verificación por parte de las autoridades competentes

- Cumplimiento de Condiciones Predefinidas: Se debe definir un umbral como un nivel de daño o riesgo mediante una evaluación inicial y una posterior confirmación del incidente.

- Comunicación de Alerta: Activación de los sistemas de comunicación para alertar a todo el personal, equipos de respuesta, y autoridades locales.

-Orden de Activación: Orden del Coordinador de Seguridad, el Jefe de Obra, o la persona designada en el plan para activar el plan de contingencia basada en los procedimientos establecidos.

### 4.4.5 Estructura Organizacional:

La estructura organizacional bien definida es la parte esencial para asegurar que el plan de contingencia se ejecutará correctamente, la claridad en los roles y responsabilidades, facilita una toma de decisiones eficiente al establecer líneas de reporte y autoridad, y mejora la coordinación y comunicación entre equipos y autoridades externas. Además, permite una preparación y capacitación efectiva, optimiza la gestión de recursos humanos y materiales, y define claramente

la responsabilidad y el rendimiento esperado durante una emergencia. También garantiza el cumplimiento de requisitos normativos y legales, proporcionando una base sólida para una respuesta organizada, rápida y eficaz ante situaciones de emergencia.

# 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Entre las principales conclusiones que se pueden inferir se encuentran:

- Los controles de inundación para el puente peatonal sobre la quebrada Aguadulce mostraron que la mejor alternativa corresponde a un terraplén de nivelación, en comparación con un dique, debido a la formación de corrientes tras el dique. El terraplén es eficiente en el control de las inundaciones sobre la zona de implantación de los apoyos del puente.
- Para la protección de los Box Culverts se proponen obras de ingeniería (geoestera) que se armonizan con el sitio de implantación, obteniendo configuraciones que permiten reducir los efectos erosivos en las zonas de aproximaciones a estos elementos.
- En particular para la zona del talud de la Quebrada Aguadulce se propusieron alternativas de mitigación correspondientes a micropilotes, malla anclada y gaviones. Teniendo en cuenta una menor intervención sobre la zona y menor número de intervenciones, se propone la estabilización del talud mediante micropilotes de diámetro de 0.20 m y 6.0 m de largo.
- Para las obras viales se verifica una estructura típica de canal o cuneta que permita el control de las aguas superficiales, considerando que la implementación de superficies duras cambiaría el régimen de escorrentías en estas zonas.
- En las zonas de corte de la vía vehicular se establece una inclinación de corte de 1:1 lo que permite una estabilidad adecuada de los taludes laterales de la vía.
- Se estableció un área de protección sobre la zona norte del lote considerando que por sus condiciones de inestabilidad conviene la no intervención de la zona con estructuras. Se recomienda continuar con el plan de reforestación para esta zona y se propone la atención de sectores específicos identificados y que podrían extender la zona afectada mediante la aplicación de técnicas de bioingeniería (trinchos).
- Se establecen planes de mantenimiento, monitoreo y contingencia los que permitirán apoyar a la vida útil de las obras propuestas mediante la implementación de procedimientos que propendan por extender la buena condición de los elementos, verificación de cambios posibles en las obras y actuación frente la atención de emergencias que puedan poner en peligro a las obras, las estructuras que se plantea construir y las personas en el área de influencia.

# 6 BIBLIOGRAFÍA


Australian Geeomechanics Society. (2007). *AGS 2007b - Commentary on Guideline for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Planning.* Sydney.

Australian Geomechanics Society. (2007). *AGS 2007a - Guideline for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Planning.* Sydney.

Australian Geomechanics Society. (2007). *AGS 2007c - Practice Note Guidelines for Landslide Risk Management 2007.* Sydney.

Barker, D. H. (1986). Enhancement of slope stability by vegetation. *Ground Eng, 19*(3).

CONSORCIO ESTABILIDAD. (2023). ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABLIZACIÓN DE LAS LADERAS AFECTADAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN EL CAE CARLOS LLERAS RESTREPO SECTORES POLA II Y POLA III EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN. Medellín.

CONSORCIO NVP. (2023). ESTUDIOS TÉCNICOS, DISEÑOS ARQUITECTÓNICOS Y DE INGENIERÍA NECESARIOS Y COMPLEMENTARIOS PARA LAS OBRAS DE URBANISMO, REDES DE SUMINISTRO DE SERVICIOS PÚBLICOS Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ACCESOS PRINCIPALES DEL PARQUE ARQUEOLÓGICO HACIENDA EL CARMEN, UBICADO EN. *LA LOCALIDAD DE USME, BOGOTÁ D.C.* Bogotá DC.

Consorcio Urbanismo 2017. (2018). ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS URBANÍSTICOS, PAISAJÍSTICOS, SOCIALES Y TÉCNICOS. ASÍ COMO LA REVISIÓN, AJUSTES, ACTUALIZACIÓN Y COMPLEMENTACIÓN DE LOS ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA. - *FASE II PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE URBANISMO CORRESPONDIENTES A LA UNIDAD DE GESTIÓN UNO QUE HACE PARTE DEL POLÍGONO UNO EN LA OPERACIÓN ESTRATÉGICA NUEVO USME. V1*. Bogotá DC.

Fundación Trenza. (2021). *INFORME DE DISEÑO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL ÁREA ARQUEOLÓGICA PROTEGIDA, HACIENDA EL CARMEN (Usme, Colombia).* Bogotá DC.

Fundación Trenza. (2021). *LÍNEA BASE ECOLÓGICA Y AMBIENTAL PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL ÁREA ARQUEOLÓGICA PROTEGIDA, HACIENDA EL CARMEN (USME, COLOMBIA).* Bogotá DC.

Fundación Trenza. (2021). *LÍNEA BASE ECOLÓGICA Y AMBIENTAL PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL ÁREA ARQUEOLÓGICA PROTEGIDA, HACIENDA EL CARMEN (USME, COLOMBIA).* Bogotá DC.

Fundación Trenza. (2021). *MEMORIA COMPONENTE PAISAJE - PARQUE ARQUEOLOGICO HACIENDA EL CARMEN USME, BOGOTÁ D.C., COLOMBIA.* Bogotá DC.

Fundación Trenza. (2021). *Pre-guión museográfico Museo de sitio - Parque Arqueológico y del Patrimonio cultural de Usme.* Bogotá DC.

IDECA. (2023). *Mapas Bogotá.* Obtenido de https://mapas.bogota.gov.co/

IDIGER. (2022). Resolución 111 de 2022. *Términos de referencia para la ejecución de estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Bogotá.

INRAE. (2024). *Main techniques used for riverbank development*. Obtenido de https://genibiodiv.inrae.fr/en/main-techniques-used-for-riverbank-development/

Instituto Distrital de Patrimonio Cultural IDPC. (2022). *ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO ARQUEOLÓGICO.* Bogotá DC.

Pradhan, S. P., Vishal, V., & Singh, T. N. (2020). Landslides: Theory, practice and modelling. *Arabian journal of geosciences, 13*(DOI: 10.1007/s12517-020-06134-8).

Secretaría de Planeación . (2021). Decreto 555 de 2021. *Plan de Ordenamiento Territorial (POT) Bogotá Reverdece 2022 – 2035*. Bogotá DC.

SGC. (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.* Bogotá.