

**ESTUDIO DE PATOLOGIA SOBRE ASENTAMIENTOS Y DEFORMACIONES EN
OBRAS DE MITIGACIÓN TEMPORAL QUEBRADA BOTADERO MUNICIPIO DE
VILLARRICA (TOLIMA)**

SORAYA AIDEÉ LOZANO SUÁREZ

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VICERECTORIA DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
ESPECIALIZACIÓN EN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
IBAGUÉ
2025**

Tabla De Contenido

Resumen.....	4
Lista de Ilustraciones.....	5
Lista de tablas.....	6
1. Introducción.....-	8
2. Antecedentes.....	9
3. Planteamiento del problema.....	11
4. Justificación.....	12
5. Objetivos.....	14
6. Alcances y limitaciones.....	15
7. Marco referencial.....	16
8. Marco Teórico.....	16
9. Marco Legal.....	29
10. Metodología.....	30
11. Historia clínica.....	33
12. Descripción sectorial.....	34
13. Geología estructural regional y local.....	38
14. Condiciones sísmicas.....	39
15. Tipo de suelo.....	40
16. Amenazas.....	44
17. Hidrología e hidráulica.....	48
18. Descripción del paciente.....	55
19. Datos de las lesiones.....	62
20. Diagnostico.....	72

21. Análisis y propuesta de intervención.....	77
22. Conclusiones.....	80
23. Referencias bibliográficas.....	81

Resumen.

El desarrollo del presente estudio patológico busca identificar las causas de las lesiones que afectan las obras de mitigación temporales realizadas en la quebrada el Botadero del municipio de Villarrica-Tolima, con el propósito de realizar un diagnóstico mediante el uso de la metodología establecida, para establecer la intervención indicada a estas obras construidas hace 4 años, las cuales fueron realizadas para mitigar el riesgo que genera las crecientes súbitas de la quebrada sobre la población de Villarrica.

Inicialmente se realiza la historia clínica, seguidamente se analiza la información técnica existente, para finalmente plantear la intervención que se ajuste al diagnóstico de las lesiones encontradas; buscando asegurar la estabilidad y funcionalidad para la cual fueron realizadas las obras.

Lista de figuras.

Ilustración 1. <i>Estudios e investigaciones requeridas.....</i>	31
Ilustración 2. <i>Localización obras de mitigación temporal quebrada Botadero.....</i>	35
Ilustración 3. <i>Vista planta obras de mitigación temporal quebrada Botadero.....</i>	35
Ilustración 4. <i>Diseño tipo de presa zona de amortiguamiento quebrada Botadero.....</i>	36
Ilustración 5. <i>Interpretación geológica estructural del municipio de Villarrica.....</i>	39
Ilustración 6. <i>Mapa de amenaza sísmica según la NSR-10.....</i>	40
Ilustración 7. <i>Depósito coluvial.....</i>	41
Ilustración 8. <i>Bloques sobre la parte alta del perímetro urbano.....</i>	41
Ilustración 9. <i>Afloramiento de Lutitas en la quebrada El Botadero.....</i>	42
Ilustración 10. <i>Quebrada el Botadero zona cultivo de guanábana.....</i>	43
Ilustración 11. <i>Zonificación de la Amenaza por Movimientos en Masa en el Casco Urbano de Villarrica, Tolima. Escenario Parcialmente Saturado (sin Lluvia) con Sismo.....</i>	47
Ilustración 12. <i>Precipitación total anual (mm). Departamento de Tolima Adaptado de IDEAM.</i>	49
Ilustración 13. <i>Precipitación total mensual multianual. Estación Villarrica.....</i>	50
Ilustración 14. <i>Precipitación total mensual multianual. Estación Conc. L Bustamante.....</i>	50
Ilustración 15. <i>Mapa de cuenca quebrada Botadero.....</i>	51
Ilustración 16. <i>Mapa de cartografía base.....</i>	53
Ilustración 17. <i>Mapa de inundación Tr 25 años.....</i>	53
Ilustración 18. <i>Mapa de inundación Tr 50 años.....</i>	54
Ilustración 19. <i>Mapa de inundación Tr 100 años.....</i>	55
Ilustración 20. <i>Ronda hídrica.....</i>	55
Ilustración 21. <i>Propuestas medidas de mitigación.....</i>	56

Ilustración 22. <i>Presa abierta</i>	56
Ilustración 23. <i>Imagen aérea presa abierta</i>	57
Ilustración 24. <i>Perfil presa abierta</i>	57
Ilustración 25. <i>Zona de amortiguamiento 3</i>	58
Ilustración 26. <i>Imagen aérea zona de amortiguamiento 3</i>	58
Ilustración 27. <i>Perfil zona de amortiguamiento 3</i>	59
Ilustración 28. <i>Zona de amortiguamiento 4</i>	60
Ilustración 29. <i>Imagen aérea zona de amortiguamiento 4</i>	60
Ilustración 30. <i>Perfil zona de amortiguamiento 4</i>	61
Ilustración 31. <i>Detalle de obra</i>	61
Ilustración 32. <i>Imagen satelital cobertura vegetal año 2017 y año 2024</i>	69
Ilustración 33. <i>Imagen proceso constructivo</i>	76
Ilustración 34. <i>Imagen intervención reparativa</i>	78
Ilustración 35. <i>Imagen propuesta de intervención</i>	79
Ilustración 36. <i>Imagen franja reforestación sobre quebrada el Botadero</i>	80

Lista de Tablas.

Tabla 1. <i>Información disponible obras de mitigación temporal quebrada Botadero municipio de Villarrica Tolima</i>	9
Tabla 2. <i>Datos generales del paciente</i>	33
Tabla 3. <i>Datos generales de la edificación y/o construcción civil</i>	34
Tabla 4. <i>Estaciones cercanas al área de estudio</i>	48
Tabla 5. <i>Características de forma y drenaje de la cuenca</i>	52
Tabla 6. <i>Características de forma y drenaje de la cuenca</i>	52

Tabla 7. Registro y caracterización de lesiones organismos vegetales en gavión.....	64
Tabla 8. Registro y caracterización de lesiones colmatación material granular fino en gavión.....	65
Tabla 9. Registro y caracterización de lesiones deformación sacos de hidrobloc.....	66
Tabla 10. Registro y caracterización de lesiones presencia de organismos vegetales en hidrobloc.....	67
Tabla 11. Registro y caracterización de lesiones socavación por erosión hídrica.....	68
Tabla 12. Registro fotográfico seguimiento a lesiones.....	70
Tabla 13. Registro fotográfico seguimiento a lesiones.....	71

Lista de Anexos.

Anexo 1. Plano 1 de 19 Mapa de cartografía base.pdf
Anexo 2. Plano 2 de 19 Mapa de geomorfología fluvial.pdf
Anexo 3. Plano 3 de 19 Mapa de cuencas hidrográficas y estaciones IDEAM.pdf
Anexo 4. Plano 4 de 19 Mapa de mancha por desbordamiento Tr 25 años.pdf
Anexo 5. Plano 5 de 19 Mapa de mancha por desbordamiento Tr 50 años.pdf
Anexo 6. Plano 6 de 19 Mapa de mancha por desbordamiento Tr 100 años.pdf
Anexo 7. Plano 7 de 19 Ronda hídrica.pdf
Anexo 8. Plano 9 de 19 Problemáticas en cada punto.pdf
Anexo 9. Plano 11 de 19 Propuestas medidas de mitigación.pdf
Anexo 10. Plano 15 de 19 Plano de obra.pdf
Anexo 11. Registro fotográfico.jpg
Anexo 12. Video comportamiento obras, durante avenidas torrenciales.mp4
Anexo 13. Oficio autorización CORTOLIMA.pdf

1. Introducción.

Las obras de mitigación realizadas en la quebrada el Botadero del municipio de Villarrica Tolima, durante los años 2019 a 2022, vienen presentando una serie de lesiones a tres (3) meses de haber sido entregadas y recibidas a satisfacción por el municipio en julio de 2022.

Con el desarrollo del presente estudio patológico, se pretende identificar las causas que están ocasionando las lesiones de las obras, mediante la elaboración de una historia clínica y diagnóstico; identificando si se presenta un posible riesgo por falla en la funcionalidad, para lo cual se realizó el diligenciamiento de fichas que permitan ubicar y cuantificar las lesiones.

Evaluando con visitas de campo, toma de imágenes aéreas mediante dron, apoyado en investigación documental existente no solo de los estudios previos a las obras, sino también consultas de comportamientos de obras similares, a fin de brindar recomendaciones para el monitoreo y acciones de mantenimiento o mejora para la funcionalidad de las obras; es importante aclarar que las obras, pese a las lesiones encontradas, han cumplido con la función para la cual fueron realizadas; cumpliendo así con el propósito de construcción.

2. Antecedentes.

En diciembre de 2017, el municipio de Villarrica, producto de las precipitaciones registradas en la parte alta, fue fuertemente afectado a causa del desbordamiento de la quebrada el Botadero, dicha situación no solo causó que las vías se convirtieran en el cauce de esta, sino que las viviendas de 120 familias fueron afectadas.

La quebrada el Botadero, atraviesa el municipio en sentido norte-sur del casco urbano; formándose por acción de la escorrentía superficial del terreno, en el sector denominado finca Paraguay; sus aguas discurren hacia el municipio, siendo una quebrada transitoria, que durante el año y en algunos tramos, su cauce disminuye llegando a ser imperceptible. Se aprecian zonas con hundimientos debidos a la acción del agua y cubiertas de pastizales; en pequeñas zonas, se encuentran relictos de bosque, donde se observa caudal constante y vaso de la quebrada de aprox. 1m; llegando a límite con la zona urbana del municipio sobre la vereda Bajo Roble, finca los lavaderos se ubican las obras de mitigación objeto del presente estudio.

Dichas obras, han venido presentando deformaciones a causa de la socavación de la quebrada sobre ambos márgenes; situación que genera preocupación a los habitantes del municipio. La información recolectada para el desarrollo del presente estudio, fue:

Tabla 1.

Información disponible obras de mitigación temporal quebrada Botadero municipio de Villarrica Tolima.

Información Existente	Año	Entidad responsable
Aunar esfuerzos administrativos, financieros, físicos y de infraestructura tecnológica para el desarrollo de la Fase I del estudio para la evaluación de riesgo físico por	2014	Fondo nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - Fiduprevisora S.A. El Servicio Geológico Colombiano - SGC

movimientos en masa en el casco urbano a escala 1:2.000 y la zonificación de amenaza por movimientos en masa de parte de la zona rural a escala 1:10.000 en el municipio de Villarrica- Tolima, en el área delimitada y conforme a las especificaciones señaladas por la propuesta técnica presentada por el SGC		el Departamento del Tolima. Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA- El municipio de Villarrica -Tolima
Estudio hidrológico e hidráulico y elaboración de los diseños de las obras hidráulicas de protección y conducción de las quebradas el Botadero, NN1 y NN2 ubicadas al interior del perímetro urbano del municipio de Villarrica	2019	Corporación Autónoma Regional del Tolima- CORTOLIMA
Construcción de obras de mitigación temporal sobre la quebrada botadero y NN 1 en el municipio de Villarrica – Tolima	2019	Corporación Autónoma Regional del Tolima- CORTOLIMA

Fuente: Propia.

Las obras de mitigación realizadas sobre la quebrada el Botadero, están constituidas por tres diques transversales, los cuales son conformados por muro en gavión en todo el centro del cauce y muro en hidrobloc a lado y lado del gavión; y una presa abierta la cual es una estructura conformada por perfiles metálicos tipo I, hincados sobre una base de concreto, con una altura cercana a 1,5 m y separaciones de 0,2 m; para retención de materiales gruesos que pudiera transportar la quebrada.

3. Planteamiento del Problema.

Las obras de mitigación temporal realizadas en la quebrada el Botadero del municipio de Villarrica Tolima, presenta deformaciones en muro de hidrobloc, socavación por erosión hídrica, presencia de organismos vegetales y colmatación con finos en la estructura del gavión, lo que impide el paso del flujo de agua; estas lesiones se vienen presentando casi desde la misma entrega de las obras (3 meses después de entregarlas).

Las lesiones encontradas, no solo generan preocupación para los habitantes del municipio, sino también para la entidad contratante (CORTOLIMA); las deformaciones presentes en los sacos de hidrobloc que conforman el muro, sugieren la falla de la estructura de contención y el incumplimiento en la estabilidad de la misma por parte del contratista que ejecuto las obras.

Lo anterior sumado a la falta de mantenimiento de las presas que ha permitido el crecimiento de organismos vegetales en el muro de gavión e hidrobloc y la colmatación del gavión con material fino, imposibilitando el paso del agua, lo que ha ocasionado la socavación en el material de soporte de los muros de hidrobloc a causa de la acción erosiva del flujo de agua de la quebrada el Botadero.

Las obras de mitigación temporal de la quebrada el Botadero, han cumplido con el propósito para el cual fueron realizadas (evitar inundación en casco urbano del municipio) a consecuencia de avenidas torrenciales presentadas durante el fenómeno de la Niña en el país, con incremento en la temporada de más lluvias en el municipio, en años posteriores a la entrega de la misma, periodo 2022-2024.

Por lo anterior, con el presente estudio se busca entregar las recomendaciones o acciones necesarias a realizar, para garantizar el normal funcionamiento de las obras de mitigación sobre la quebrada el Botadero, con el propósito de garantizar la seguridad y vida de la población del municipio de Villarrica Tolima.

4. Justificación.

La población del municipio de Villarrica Tolima, ha venido enfrentando situaciones difíciles, casi desde el inicio de su fundación; a menos de 30 años de haber sido fundada, tuvo que afrontar las consecuencias de la “Guerra de Villarrica”, viviendo en medio del miedo y zozobra, lidiando con la muerte y la violencia que diezma su población.

Dejando atrás estos días de oscuridad, sus pobladores avanzan y continúan erigiendo un pueblo lleno de esperanzas y sueños, en medio de cultivos de guanábana y café, su pequeño pero prometedor desarrollo mira esperanzado un futuro lejos de aquellos días lúgubres.

Mediante el Decreto Nro. 41 de 12 de abril de 2013, se declaró la calamidad pública y urgencia manifiesta en el Municipio de Villarrica, a causa del agrietamiento, hundimiento, y colapso del sistema de alcantarillado y amenazas geológicas e hidrológicas que se vienen presentando y afectando las viviendas y el equipamiento urbano del municipio. Pese a lo ya declarado, las instancias estatales no ofrecen una respuesta real y efectiva a sus pobladores. No siendo suficiente, en diciembre del 2017 una creciente súbita y el desbordamiento de la quebrada el Botadero, acrecienta las viviendas afectadas y magnifica las lesiones ya existentes, surgiendo la necesidad de nuevamente el 29 de diciembre del 2017, decretar la calamidad pública y la reubicación del municipio.

Se hace necesario ordenar el desalojo de 120 familias a consecuencia de las graves lesiones que presentaban sus viviendas, nuevamente son presas del miedo y la incertidumbre; su lugar seguro ya no lo era más y sin saber cómo y a donde, debían abandonar sus viviendas y preservar sus vidas.

Pero el miedo no solo era para estas familias recientemente afectadas, toda la población teme que, en época de lluvias, la quebrada repita aquella noche del 2017; es por ello que de acuerdo a Acción Popular interpuesta por la comunidad en contra de las Entidades Estatales, y en

cumplimiento de la misma, la Corporación Autónoma Regional del Tolima, contrata la construcción de obras de mitigación temporal sobre la quebrada el Botadero, siendo entregadas en julio del año 2022; pero tres (3) meses más tarde de su entrega, estas obras empiezan a presentar lesiones que para sus habitantes, significa obras mal hechas o mal diseñadas, que finalmente llevan al mismo punto, inundación a causa del desbordamiento de la quebrada.

No solo el movimiento activo del suelo en el que se ubica el municipio de Villarrica, sino también una posible falla en las estructuras de mitigación sobre la quebrada el Botadero, generan un temor generalizado y constante; para ellos es claro que deben ser reubicados, pero mientras ello pasa, su vida y la calidad de la misma debe darse o garantizarse y se hace necesario determinar no solo la causa de las lesiones observadas en las obras de mitigación sobre la quebrada el Botadero, mediante la obtención de un diagnóstico, sino también entregar las recomendaciones necesarias para la reparación y mantenimiento de estas.

5. Objetivos.

General.

Realizar estudio patológico en obras de mitigación temporal quebrada Botadero municipio de Villarrica Tolima.

Específicos.

- Levantar las lesiones de las obras de mitigación temporal de la quebrada el Botadero del municipio de Villarrica Tolima.
- Revisar la información existente sobre movimiento en masa presente en el municipio de Villarrica Tolima.
- Realizar un diagnóstico que entregue las recomendaciones necesarias para asegurar el correcto funcionamiento de las obras de mitigación quebrada el Botadero del municipio de Villarrica Tolima.

6. Alcance y Limitaciones.

El estudio patológico de las obras de mitigación temporal sobre la quebrada el Botadero del municipio de Villarrica Tolima, comprende el análisis de lesiones mediante inspecciones visuales y basados en información existente, para realizar la caracterización de las mismas en los elementos que componen las obras.

Se elaborará el inventario de las lesiones existentes en los elementos que componen las obras de mitigación, obteniendo un diagnóstico y las correspondientes recomendaciones y/o alternativas correctivas; no se realizarán seguimientos con instrumentos de medición.

7. Marco Referencial.

8. Marco Teórico.

Talud:

Los taludes, también conocidos como laderas o pendientes naturales, representan elementos geomorfológicos fundamentales en el entorno geológico. Estas formaciones, que pueden abarcar desde pequeñas colinas hasta imponentes montañas, son el resultado de una interacción compleja entre procesos geológicos y geomorfológicos a lo largo del tiempo geológico. La comprensión de los taludes y su dinámica reviste una importancia crítica en la geología, ya que estas estructuras no solo son elementos notables del paisaje terrestre, sino que también desempeñan un papel esencial en la estabilidad del terreno y la gestión de riesgos geológicos. (Gahona, 1996).

Tipos de Taludes:

1. Taludes de falla

Los taludes de falla son el resultado de movimientos tectónicos en la corteza terrestre. Estos taludes se forman a lo largo de líneas de falla geológica, donde las placas tectónicas se desplazan unas respecto a otras, los deslizamientos de tierra y los deslizamientos rotacionales son comunes en estos escenarios, y pueden ser el resultado de la acumulación de estrés en la roca durante largos períodos de tiempo. (Sanhueza, 2010).

2. Taludes fluviales

Los taludes fluviales son creados por la erosión y la acción de ríos y arroyos en el paisaje, el flujo constante de agua erosiona gradualmente las laderas, creando taludes que a menudo presentan una pendiente suave. Estos taludes pueden ser vulnerables a la erosión adicional durante inundaciones o lluvias intensas. (Villavicencio, 2012).

3. Taludes costeros

Los taludes costeros se encuentran en áreas costeras y están influenciados por procesos de erosión costera, como la acción de las olas y las mareas. La erosión continua en estas áreas puede dar lugar a taludes empinados y acantilados. (Suarez, 2011).

4. Taludes volcánicos

En regiones volcánicas, se forman taludes volcánicos debido a la acumulación de material expulsado por erupciones volcánicas, estos taludes pueden variar en pendiente y composición según el tipo de erupción y los materiales involucrados. (Tazewell & Farmer, 1973).

5. Taludes de minería

Los taludes de minería son creados por la extracción de minerales y recursos naturales de la tierra, estos taludes pueden ser especialmente empinados y susceptibles a deslizamientos de tierra y colapsos debido a la alteración de la geología original. (Barton, 1986).

Movimiento por remoción de masa:

Los fenómenos de remoción en masa son procesos de transporte de material definidos como procesos de ‘movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores’ (Hauser, 1993). Estos movimientos tienen carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad (Cruden, 1991).

Existen numerosas clasificaciones para los distintos tipos de eventos de remoción en masa, las cuales han sido proporcionadas, entre otros, por Varnes (1978), Hauser (1993) y Cruden & Varnes (1996). Las remociones en masa han sido clasificadas por estos últimos autores en las siguientes categorías principales:

- Desprendimientos o caídas: Estos tipos de remociones corresponden a movimientos rápidos a extremadamente rápidos que se generan cuando el material rocoso o suelo se desprende de una ladera de alta pendiente a través de una superficie donde no se genera cizalle, descendiendo mediante caída libre, rebotando o rodando. Puede ocurrir en este caso que sean precedidos por pequeños deslizamientos, lo cual puede darse por ejemplo en suelos cohesivos o bloques de roca. La generación de desprendimientos, controladas por discontinuidades en la roca, están relacionados a pendientes abruptas, principalmente de inclinaciones mayores a 50° , donde la roca está directamente expuesta (Soeters & Westen, 1996). Si el material caído rebota o se rompe con el impacto dependerá de sus propiedades y de los ángulos entre la ladera y la trayectoria de caída (Hungr & Evans, 1988). Las acumulaciones de material detrítico en los pies de las laderas tienen ángulos entre 25° y 35° , ángulo que está directamente relacionado con el ángulo de fricción interna de las partículas. La zona de depositación presenta una vegetación caracterizada por bajas densidades de árboles y arbustos, mientras más baja la densidad mayor es el grado de actividad de la ladera (Soeters & Westen, 1996).

- Deslizamientos (rotacionales y traslacionales): Un deslizamiento es un movimiento ladero abajo de masas de suelo o roca a través de superficies de cizalle definidas. Este movimiento no ocurre a lo largo de toda la superficie de ruptura simultáneamente, sino más bien comienza en zonas donde se generan fallas locales, a menudo evidenciadas por grietas de tensión en la superficie original a lo largo de la cual se formará el escarpe principal del deslizamiento. El inicio de estos desplazamientos se produce cuando el esfuerzo de cizalle supera el valor del esfuerzo normal y la resistencia del suelo en dicha superficie. Cuanto mayor sea la pendiente mayor es la componente de cizalle y los deslizamientos serán más frecuentes (Hauser, 1993). Los movimientos pueden involucrar una masa individual desplazada a lo largo de una única superficie de ruptura o bien dos

o más masas desplazadas a lo largo de más de una superficie, en tales casos el movimiento es catalogado como ‘simple’ o ‘múltiple’ respectivamente (Hutchinson, 1968); y si un movimiento múltiple ocurre durante un periodo de tiempo se denominará movimiento ‘sucesivo’ (Hutchinson, 1968) (Figura A1.1).

a) Deslizamientos rotacionales: ocurren a lo largo de superficies curvas y cóncavas. Estos movimientos ocurren en materiales homogéneos, por lo cual tienen gran incidencia sobre rellenos. Sin embargo, los materiales naturales no son idealmente uniformes, por esto los movimientos en laderas se orientan, al menos parcialmente, por las discontinuidades y zonas de debilidad que estos presentan. La generación de este tipo de remoción está asociada a pendientes que varían entre 20° y 40° (Soeters & Westen, 1996). El escarpe principal generado por un deslizamiento rotacional, es cercanamente vertical e inestable, en consecuencia, pequeños movimientos podrán generar la retrogresión del deslizamiento. A esto se suman los pequeños deslizamientos que se podrán generar en las paredes de la superficie cóncava de ruptura, dada su inestabilidad. El nivel de agua no suele presentarse a mucha profundidad y podrá drenarse de tal manera de mantener húmeda la superficie y la zona del escarpe, generando potenciales deslizamientos en la cabecera una vez que el escarpe ha alcanzado pendientes suficientes. Deslizamientos sucesivos o retrogresivos generan morfologías de tipo “escalones” en la cabecera de la superficie de deslizamiento; este tipo de movimientos se caracteriza porque parte de la masa deslizada suele formar escalones a contrapendiente producto de su rotación. La vegetación en materiales deslizados se observa caótica y perturbada, y la ausencia de cultivos o diferencias en el uso del suelo con respecto a zonas aledañas hablan de la actividad de los movimientos (Soeters & Westen, 1996). b) Deslizamientos traslacionales: En este caso, se genera una superficie de cizalle aproximadamente plana, donde la masa deslizará por una superficie menos resistente que corresponderá a discontinuidades presentes ya sea en la roca o el suelo, como fallas, diaclasas, superficies de estratificación o superficies de contacto entre roca y

suelo. Estos tipos de deslizamientos son en general más superficiales que los rotacionales, además mientras la rotación de estos últimos tiende a estabilizar la masa desplazada, el deslizamiento traslacional puede continuar si la superficie de ruptura se mantiene lo suficientemente inclinada. En la zona afectada por deslizamientos las condiciones de drenaje se desordenan e incluso están ausentes. Es común además la generación de lineamientos paralelos a la dirección de movimiento y la ausencia de vegetación. A medida que el deslizamiento traslacional continúa, y si la velocidad de éste o su contenido de agua aumentan, el desplazamiento podría tomar una forma más parecida a un flujo de detritos. Entre los principales tipos de deslizamientos traslacionales figuran los deslizamientos en bloque. Estos pueden estar limitados por una sola estructura mayor, también llamados deslizamientos planos. En este caso es común que la acumulación de fragmentos de material que se genera a los pies de la ladera difiera en granulometría, disminuyendo de diámetro a medida que se encuentran más alejados de ésta. La vegetación en la zona deslizada se presenta caótica y en parches, mientras que las condiciones de drenaje son normalmente buenas ya que la mayor cantidad del drenaje en este caso es interno. Otro tipo común de deslizamiento en bloque es el que se genera en cuña, donde los límites de la superficie de deslizamiento están dados por dos o más discontinuidades que afloran en la ladera y que se intersectan, generando una línea de intersección a lo largo de la cual se desplaza la masa; los deslizamientos de barro, clasificados como complejos, compuestos de materiales finos arcillosos y que suelen ser más superficiales y ocurrir en condiciones de pendientes entre 15° y 25° (Soeters & Westen, 1996) y los deslizamientos compuestos (intermedios entre traslacionales y rotacionales).

- **Flujos:** Corresponden a movimientos continuos en el espacio, donde las superficies de ruptura no son preservadas, y las masas desplazadas son fuertemente deformadas internamente, comportándose de manera similar a un líquido viscoso (Varnes, 1978) dada la cantidad de agua que presentan, presentando una reología plástica a viscosoplástica (Pierson & Costa, 1987). Existe

una gradación desde deslizamientos a flujos, dependiendo del contenido de agua de la masa desplazada, de su movilidad (mayor o menor cohesión) y de la evolución del movimiento. De esta forma, también es posible encontrar eventos compuestos del tipo deslizamiento-flujo. Los flujos son clasificados por diversos autores de acuerdo al tipo de material involucrado y a la cantidad de agua que presentan (Varnes, 1978; Hauser, 1993; Naranjo & Varela, 1996). Así, se pueden encontrar los flujos de detritos, donde la mayor parte del material sólido corresponde a material particulado grueso; los flujos de tierra, donde el material corresponde a la fracción más fina de los suelos y el material no se encuentra saturado; y los flujos de barro, donde el material se compone principalmente de material fino y arena fina y se encuentra totalmente saturado. La dificultad en este tipo de clasificación es que no existe un acuerdo sobre los porcentajes de la fracción granulométrica que componen un flujo de detritos y un flujo de barro, considerando más conveniente basar su clasificación según su comportamiento mecánico (Selby, 1993), donde sus propiedades mecánicas dependerán fundamentalmente de la concentración volumétrica de partículas sólidas con respecto al total de sólidos y agua, y de la forma, tamaño y distribución granulométrica de las partículas (Solís, 1995). Algunos autores (Coussot & Meunier, 1996) hacen subdivisiones, llamando flujos hiperconcentrados a aquéllos de concentraciones de sólidos menores que un 50% o 60% en volumen y que aún aparentan fluir como un líquido. En particular, los flujos de detritos son de alta densidad, pudiendo incorporar a su masa bloques de varios metros de diámetro, además de material que se encuentra en las riberas de los cauces mediante erosión basal, lo cual incrementará su energía y velocidad. Los flujos pueden extenderse por muchos kilómetros, perdiendo velocidad en pendientes de gradientes más bajos. Varnes (1978) clasifica los flujos de acuerdo a estas características de tasa de movimiento y tipo de material involucrado (Tabla A1.1).

En esta categoría de flujos clasifican también las avalanchas, que corresponden a flujos de mayor envergadura, de mayor extensión y extremadamente rápidos; y lahares, flujos de ambiente volcánico. Hungr et al. (2001) presentan una clasificación más completa de flujos, donde consideran tanto el tipo de material según su granulometría, como las velocidades de desplazamiento y su contenido de agua (Tabla A1.2). De acuerdo a su modo de avance, donde el flujo puede darse en diversos pulsos, se clasifican los flujos de “open-slope”, donde el flujo crea su propio paso a los pies de la ladera. Por otro lado, están los flujos canalizados, que se desplazan a través de canales existentes, ya sean naturales o artificiales. Suelen desarrollarse además con pulsos más pequeños sobreimpuestos y que viajan a velocidades mayores que la velocidad del flujo mismo (Selby, 1993, Hauser et al., 1996). Los flujos se caracterizan por tener tres partes principales: una cabeza, donde se trasladan bloques de hasta varios metros de diámetro, y material particulado; un cuerpo, que contiene un mayor porcentaje del material arrastrado, y que presenta una distribución granulométrica menor que el frente; y una cola con mucho menor porcentaje de material sólido (Figura A1.3) (Sepúlveda, 1998). La cabeza fluye con un carácter más turbulento que hacia la cola, donde el comportamiento del fluido es laminar (Solís, 1995). La altura de cada onda de flujo es del orden de 1 a 10 metros. Soeters & Westen (1996) hacen referencia a los rasgos morfológicos presentados por los flujos. Muchos flujos se originan porque la cohesión del material se pierde dada la falla inicial y la masa continúa desplazándose ladera abajo como un fluido viscoso, donde la cantidad de agua involucrada en el proceso juega un rol primordial contribuyendo a la fluidización de éste. La zona generadora de estos flujos usualmente se presenta como un área con muchos tipos de remociones complejas, principalmente con gran cantidad de deslizamientos. Su transporte en tanto, tiende en un principio a ser dominado por las altas pendientes y luego a canalizarse por cauces preexistentes. Los rasgos morfológicos de los flujos de tierra son a menudo comparables con las de los glaciares o flujos de lava, presentado grietas paralelas a la dirección del

movimiento y grietas transversales a esta dirección donde las pendientes de las laderas y por tanto las velocidades del flujo disminuyen. En tanto, las condiciones de drenaje en un valle afectado por este tipo de remoción se ven perturbadas, generándose dos pequeños canales a ambos lados del flujo, y la vegetación es escasa y subordinada a las condiciones del drenaje.

Por otro lado, las características de los depósitos de este tipo de eventos varían dependiendo del material transportado, pero en general se presentan zonas planas sin vegetación rodeando a zonas de mayor vegetación que corresponden a superficies topográficas antiguas. Es usual la presencia de grandes bloques transportados y que han sido depositados principalmente en zonas donde el flujo adquiere menor energía. En los bordes del flujo, a lo largo de su recorrido, se pueden generar depósitos llamados “levées” que son producto del desborde del material (Sepúlveda, 1998), donde el tamaño de éstos dependerá de la concentración del flujo.

- **Toppling o volcamientos:** Otro tipo de remoción en masa y que se puede considerar como un tipo de deslizamiento es el toppling (o volcamiento), evento variable en velocidad entre extremadamente lentos a extremadamente rápidos, que corresponde al desprendimiento de uno o varios fragmentos de rocas o suelo mediante el volcamiento de éstos en torno a un punto o un eje bajo el centro de gravedad de la masa desplazada. Lo que lo distingue de una caída propiamente tal es que en la superficie de ruptura se genera cizalle, característica que lo hace ser catalogado por algunos autores como deslizamiento (Goodman, 1989). El toppling puede ser originado o bien gravitacionalmente, es decir por el peso del material que se encuentra ladera arriba o por la existencia de agua o hielo en fracturas de la roca que se orientan en dirección contraria a la pendiente, generando fuerzas de extensión que tenderá a separar las masas entre las cuales se encuentran las fracturas o discontinuidades. Las estructuras deben tener un espaciamiento bajo y alto manto (Cruden & Varnes, 1996). Este tipo de remociones pueden derivar en caídas o

deslizamientos de la masa, lo cual dependerá de la geometría de la masa en movimiento, de la geometría de la superficie de separación y de la orientación de las discontinuidades.

- Extensiones laterales: Este tipo de movimiento se define como extensiones de suelos cohesivos o masas de roca combinadas con una subsidencia general de la masa fracturada de material cohesivo en material subyacente más blando, siendo condicionados por pendientes de laderas bajas a moderadas. La superficie de ruptura que se genera presenta poco cizalle, y los límites del movimiento en superficie se presentan difusos y difíciles de distinguir. Terzaghi & Peck (1948) utilizan este término para describir movimientos en arenas o limos semisaturados que subyacen a arcillas homogéneas o rellenos, cuyo peso ejerce tensiones laterales en el suelo que lo desplaza. Este desplazamiento genera fracturas transversales a la dirección del movimiento (Barlow, 1888, en Cruden & Varnes, 1996). Algunos tipos de extensión lateral corresponden a extensiones laterales en bloque y a extensiones por licuefacción del suelo. El primer caso se refiere a movimientos típicamente muy lentos, y que pueden abarcar distancias de varios kilómetros, donde capas de espesor considerable de roca que sobreyacen a materiales más blandos pueden fracturarse formándose pequeños bloques. Las fracturas abiertas que se generan entre los bloques son rellenadas por el material más blando que subyace al ser apretado y forzado a ascender o por fragmentos del material desplazado. Estas condiciones caóticas se reflejan tanto en las condiciones anómalas del drenaje, que suele presentarse de manera aislada aumentando la erosión por incisión de canales en zonas donde las extensiones laterales bloquean valles —lo que a su vez influye en la generación de pequeños y frecuentes deslizamientos rotacionales—, como en la ausencia de vegetación (Soeters & Westen, 1996). Las extensiones generadas por licuefacción presentan un tipo de movimiento traslacional y a menudo retrogresivo. Para este caso, si la capa que subyace es de alto espesor, los bloques podrán hundirse en ella, formando grabens y generando flujos en el pie de la masa desplazada y que podrán alcanzar grandes velocidades.

Ríos:

Corriente natural de agua continua que desemboca en otra similar, en un lago o en el mar. Cada río posee un cierto caudal, que no suele ser constante a lo largo del año. En los períodos con mayor cantidad de precipitaciones, el caudal aumenta. En cambio, cuando llueve poco o se experimentan elevadas temperatura, el caudal desciende e, incluso, en situaciones extremas el río puede secarse.

Quebradas:

Corriente natural de agua que normalmente fluye con continuidad, pero que, a diferencia de un río, tiene escaso caudal, que puede incluso desaparecer en la estación seca, verano o invierno, dependiendo de la temporada de lluvia para su existencia.

Cuenca:

Es el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor, que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar (Decreto Ley 2811 de 1974).

La cuenca hidrográfica se define a partir de una línea imaginaria llamada divisoria de aguas, que es una línea que separa la superficie de tierra cuyo drenaje fluye hacia un cauce dado, de las superficies de tierra cuyos drenajes corren hacia otro cauce (V.T. Chow, 1994).

Muro de contención:

Se entiende por muro de contención, a la estructura que provee la estabilidad de un material o suelo que tiene un nivel diferente a la superficie de apoyo del mismo. Un muro de contención es una estructura predominantemente vertical, diseñada y construida con un margen de seguridad en cuanto a estabilidad, resistencia y durabilidad; tomando en cuenta aspectos

económicos y estéticos. Los muros de contención, comúnmente, se clasifican de acuerdo con el material del que están contruidos (concreto, mampostería, metal, gaviones) o de la manera cómo funcionan estructuralmente (muros de gravedad, de voladizo, anclados, con contrafuertes). Un muro de gravedad es aquel que debe su estabilidad, fundamentalmente, a su propio peso. Consiste en grandes masas de contención que, por su peso y resistencia al vuelco, pueden soportar las presiones ejercidas por el terreno. Es un muro de gran volumen en relación con su altura.

Muro en gavión:

Los muros de gaviones son estructuras flexibles, constituidas por cajas fabricadas de malla de alta resistencia, con dimensiones que vienen en fracciones de medio metro, las cuales son rellenas con bloques sanos de roca. Esta conformación permite que se pueda realizar un esquema modular, lo que facilita la configuración de una amplia variedad de posibilidades de geometría para el muro.

Muro en hidrobloc:

Es un contenedor estructural en forma de bloque elaborado con geotextil encapsulado de alta resistencia a la intemperie a partir de fibras del exclusivo Multifilamento G5 de poliéster de alta tenacidad (PET).

Diseñado para ser llenado por medios mecánicos o hidráulicos con suelo o arena del sitio, para obtener unidades de gran masa y volumen que se acomodan sobre terreno de manera versátil por su forma y tamaño. Se utilizan en la construcción de estructuras de gravedad, en la fachada de muros en suelo reforzado y en estructuras de control hidráulico, control de erosión en orillas y rehabilitación de orillas erosionadas, revestimiento de taludes de cauces, realce de orillas y protección de tuberías subacuáticas.

Tipos de fallas:

Falla por corte superficial: este tipo de falla ocurre a lo largo de un cilindro que pasa por el talón del muro de contención. La falla se produce debido a las tensiones de corte excesivas a lo largo de la superficie cilíndrica dentro de la masa de suelo. Sin embargo, se ha encontrado generalmente que el factor de seguridad contra el deslizamiento horizontal es menor que el de la falla por corte superficial. En consecuencia, si el factor de seguridad contra el deslizamiento es mayor que 1,5, no es probable que ocurra una falla por corte superficial.

Falla por corte profundo: este tipo de falla por corte ocurre a lo largo de una superficie cilíndrica, cuando hay una capa débil de suelo debajo del muro a una profundidad de aproximadamente 1,5 veces la altura del muro. La superficie crítica de falla se determina mediante procedimientos de prueba y error.

Falla por deslizamiento: En estos deslizamientos lo que vence la resistencia del muro son las fuerzas de empuje activo generadas por el relleno y la sobrecarga cuando superan el factor de seguridad, para este caso de 1,6 (tabla H.6.6-1, NSR-10). Se presenta debido a la subestimación de las cargas de empuje en el diseño, a construcciones detrás del muro o al cambio de material de diseño que produzca un empuje que supere el factor de seguridad.

Falla por vuelco: Puede deberse a seguridad insuficiente en caso de vuelco, ancho de base insuficiente, errores de cálculo en el cálculo de estabilidad, coeficiente de presión activa incorrecto, suposiciones incorrectas en el diseño si las propiedades del suelo obtenidas de las pruebas del suelo no están disponibles, aumentar los niveles de llenado con el tiempo, incrementar la carga del proyecto de lo previsto en el proyecto.

Erosión:

Desgaste que ejercen a lo largo del tiempo los distintos procesos físicos de la superficie terrestre sobre los suelos, las rocas y los materiales que pudieran ejercerles resistencia. Los principales agentes erosivos son el viento, el agua, el hielo y los cambios de temperatura.

Socavación:

La socavación puede definirse como la excavación y transporte de material del lecho y de las orillas de los arroyos como resultado de la acción erosiva del propio flujo de agua. Aunque la socavación parece un concepto simple, toma varias formas diferentes y puede ser desde un fenómeno natural a estar causado por cambios hechos por el hombre en un río.

Deformación:

La deformación es el cambio de forma o tamaño que se produce en un cuerpo como consecuencia de las tensiones generadas en él. en un elemento sometido a esfuerzo axial, la deformación es el alargamiento unitario que sufre la pieza bajo la acción de la carga.

Colmatación:

Deposición de partículas finas tales como arcillas o limo en la superficie y en los poros de un medio poroso permeable, por ejemplo, el suelo, y que tiene como efecto una reducción de la permeabilidad.

9. Marco Legal.

NSR-10: Reglamento colombiano encargado de regular las condiciones con las que deben contar las construcciones con el fin de que la respuesta estructural a un sismo sea favorable.

Título H: Establecer criterios básicos para realizar estudios geotécnicos de edificaciones, basados en la investigación del subsuelo y las características arquitectónicas y estructurales de las edificaciones con el fin de proveer las recomendaciones geotécnicas de diseño y construcción de excavaciones y rellenos, estructuras de contención, cimentaciones, rehabilitación o reforzamiento de edificaciones existentes y la definición de espectros de diseño sismorresistente, para soportar los efectos por sismos y por otras amenazas geotécnicas desfavorables.

Decreto-ley 2811 de 1974: Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

Ley 99 de 1993: Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.

Decreto 1729/2002: Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones.

Ley 1523/2012: Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.

EOT Villarrica.

10. Metodología.

Descripción de la selección del paciente.

Las obras de mitigación temporal sobre la quebrada Botadero del municipio de Villarrica Tolima, son resultado del estudio hidrológico e hidráulico y elaboración de los diseños de las obras hidráulicas de protección y conducción de las quebradas el botadero, NN1 y NN2 ubicadas al interior del perímetro urbano del municipio; dicha construcción se realiza como posible solución de reducir los requerimientos de las estructuras de drenaje existentes en el casco urbano, ante la imposibilidad de remplazar alguna de estas; para lo cual se plantean las obras como “zonas de amortiguamiento” aguas arriba.

En total se plantearon cuatro zonas de amortiguamiento, la primera en el cauce denominado Bot_2, la segunda en Bot_3 y las últimas dos sobre la quebrada Botadero. La primera busca aliviar el caudal que ingresa a la canalización subterránea que pasa por el barrio Andalucía, se busca que no llegue un caudal superior a 1 m³/s al canal ante una creciente y así dar solución a la insuficiencia hidráulica del sitio.

La segunda busca generar una disminución en los caudales que aporta dicho cauce al drenaje urbano, dado que presenta una canalización subterránea y posteriormente aporta a la quebrada Botadero a la altura de la carrera 5.

Los últimos dos buscan disminuir los caudales en las estructuras (box culvert y canales) sobre la quebrada para garantizar su funcionamiento.

A la fecha, las obras de amortiguamiento o mitigación temporal, vienen presentando una serie de lesiones como deformaciones en sacos de hidrobloc, socavación en soporte del mismo, presencia de organismos vegetales en toda la estructura y colmatación con material fino en muro de gavión. Cabe mencionar que dichas lesiones surgieron a tres (3) meses de entregarse las obras.

Preparación y planteamiento del estudio.

Revisión documental.

Siguiendo las recomendaciones de la NSR- 10 en el ítem A.10.2.

Ilustración 1.

Estudios e investigaciones requeridas.

A.10.2 — ESTUDIOS E INVESTIGACIONES REQUERIDAS

A.10.2.1 — INFORMACIÓN PREVIA — Deben realizarse investigaciones sobre la construcción existente, tendientes a determinar los siguientes aspectos acerca de ella:

- (a) Cuando se disponga de documentos descriptivos del diseño de la estructura y su sistema de cimentación original, debe constatarse en el sitio su concordancia con la construcción tal como se encuentra en el momento. Deben hacerse exploraciones en lugares representativos y dejar constancia del alcance de estas exploraciones.
- (b) La calidad de la construcción de la estructura original debe determinarse de una manera cualitativa.
- (c) El estado de conservación de la estructura debe evaluarse de una manera cualitativa.
- (d) Debe investigarse la estructura con el fin de determinar su estado a través de evidencia de fallas locales, deflexiones excesivas, corrosión de las armaduras y otros indicios de su comportamiento.
- (e) Debe investigarse la ocurrencia de asentamientos de la cimentación y su efecto en la estructura.
- (f) Debe determinarse la posible ocurrencia en el pasado de eventos extraordinarios que hayan podido afectar la integridad de la estructura, debidos a explosión, incendio, sismo, remodelaciones previas, colocación de acabados que hayan aumentado las cargas, y otras modificaciones.

Fuente: NSR-10.

Se revisó la documentación existente (***Tabla 1. Información disponible obras de mitigación temporal quebrada Botadero municipio de Villarrica Tolima***), relacionada con los estudios previos a la realización de las obras, así como los diseños, recomendaciones técnicas constructivas, información existente del proceso constructivo y mantenimiento de las mismas, una vez entregada la obra.

Permisos y autorizaciones.

Para el desarrollo del presente estudio patológico, se cuenta con el permiso del subdirector de Desarrollo Ambiental Sostenible de la Corporación Autónoma Regional del Tolima-CORTOLIMA, Ing. Dainober Esteban Trujillo Pérez.

Inspección preliminar del paciente.

La primera visita se realizó en el mes de diciembre de 2023, aguas arriba de la quebrada Botadero, iniciando con el dique No. 2, continuando con dique No. 1, terminando con la revisión de la revisión de las estructuras de retención de material de arrastre (rocas, material vegetal) procedentes de la creciente de la quebrada; durante la visita se evidenciaron las siguientes lesiones:

- Físicas: Suciedad (colmatación de finos en gavión).
- Químicas: Organismos vegetales.
- Mecánicas: Erosión, socavación, deformación.

Se realizó un inventario de daños, se cuantifico y clasifico las lesiones patológicas presentes, para facilitar su diagnóstico.

Registro fotográfico y/o audiovisual.

Se documentaron las lesiones observadas durante las visitas de inspección, mediante la toma de fotografías, imágenes aéreas tomadas con drone y video del comportamiento de las obras durante creciente súbita de la quebrada; todo lo documentado busca recopilar la mayor información posible, para obtener la hipótesis de la causa de las lesiones encontradas.

Caracterización de lesiones.

Las lesiones encontradas, fueron diferenciadas de acuerdo con las características propias de cada una de ellas, así mismo fueron ubicadas en la estructura.

Fichas de lesiones.

Se elaboraron fichas donde se recopilo la información de cada lesión, su descripción, posibles causas, tipo de lesión, ubicación, y demás relevante para el presente estudio.

Equipo de trabajo.

El equipo de trabajo está conformado por: Ingeniero civil Soraya Aideé Lozano Suárez.

11. Historia Clínica.

Datos generales del paciente.

Tabla 2.

Datos generales del paciente.

DATOS GENERALES DEL PACIENTE	
Responsable del estudio	Ing. Soraya Aideé Lozano Suárez
Fecha de realización del estudio	2024-2025
Nombre	Obras de mitigación temporal quebrada Botadero
Ubicación geográfica	Villarrica, Tolima, Colombia.
Propietario	Municipio de Villarrica
Administrador	Municipio de Villarrica
Implantación urbana	Obras sobre cauce quebrada Botadero
Uso original	Obras de amortiguamiento o mitigación
Uso actual	Obras de amortiguamiento a mitigación
Uso actual y previsto del sector	Rural
Fecha de construcción	2020-2022
Periodo Histórico	Moderno
Diseñador	Consorcio Villarrica-Ing. Javier Antonio Millán López
Constructor	Ing. Juan Carlos Bonilla Morales
Clasificación arquitectónica	N/A
Contexto urbano	Obras destinadas a disminuir el riesgo de la población durante una creciente súbita de la quebrada Botadero
Sistema estructural y constructivo	Zona de amortiguamiento: muros a gravedad, dispuestos sobre el cauce de la quebrada que se componen de muros en gavión y muros en hidrobloc; aguas arriba se ubican 2 presas abiertas (elementos encargados de retener material procedente de la saltación de la quebrada rocas y material vegetal), constan de base en concreto ciclópeo, con perfiles metálicos IPE200 e IPE120 H hincados sobre el ciclópeo.
Importancia del paciente	Las obras de mitigación fueron construidas post-evento presentado en 2017, cuyo propósito es evitar que las aguas y material de arrastre y saltación, afecte las viviendas del municipio.
Normativa actual	NSR-10
Monumento de conservación	N/A

Fuente: Propia.

Datos generales de la edificación y/o construcción civil.

Tabla 3.

Datos generales de la edificación y/o construcción civil.

DATOS ESTRUCTURALES GENERALES	
Tipo de cimentación	N/A
Altura	3m-3.60m
Número de pisos	N/A
Calidad de la construcción original	Regular: considerando el estado actual de las obras.
Fidelidad de los planos	Media: se cuenta con información en PDF de los estudios y diseños; aunque falta información en ellos, No se cuenta con archivos DWG
Estado de la estructura	N/A
Aplicación patológica	Pediátrica
Representación grafica	Planos en plata y detalles constructivos en PDF
Patología más relevante	Deformaciones, asentamientos, erosión, suciedad
Tipos de lesiones	Físicas: Suciedad (colmatación de finos en gavión). Químicas: Organismos vegetales. Mecánicas: Erosión, socavación, deformación.

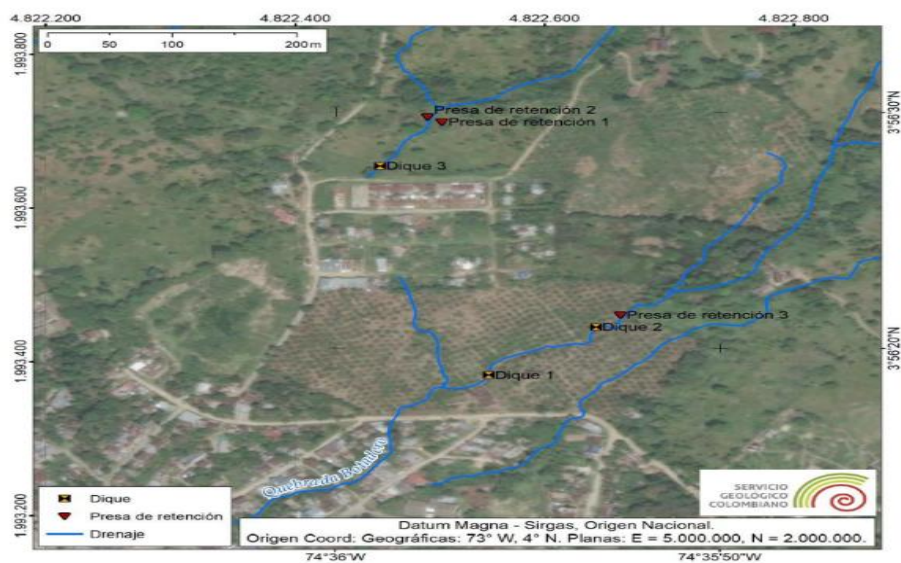
Fuente: Propia.

12. Descripción sectorial.

Las obras de mitigación temporal, se encuentran ubicadas sobre el cauce de la quebrada el Botadero en el municipio de Villarrica Tolima, predio denominado finca los lavaderos vereda Bajo Roble, atravesando el municipio en sentido norte-sur del casco urbano; actualmente las obras, mitigan el riesgo al casco urbano durante crecientes súbitas de la quebrada, cumpliendo la función para la cual fueron construidas.

Ilustración 2.

Localización obras de mitigación temporal quebrada Botadero.



Fuente: Servicio Geológico Colombiano.

Las obras fueron realizadas mediante contrato de obra No. 754 del 2019 y recibidas a satisfacción en el mes de julio de 2022.

Ilustración 3.

Vista planta obras de mitigación temporal quebrada Botadero.

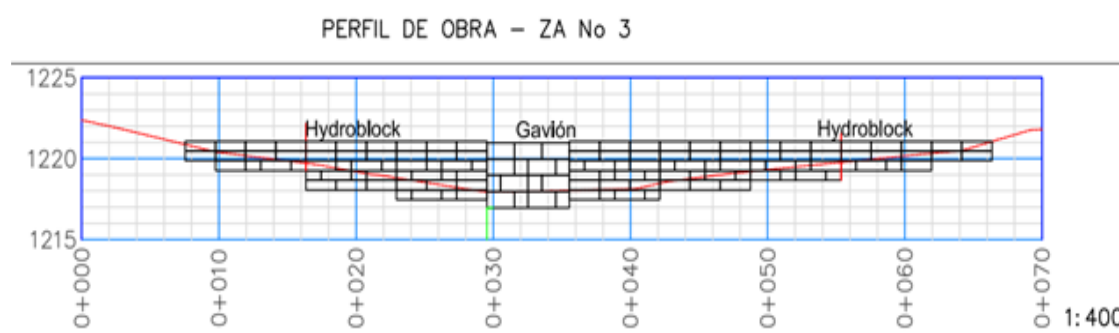


Fuente: Propia – Ortofoto tomada por dron noviembre 19 de 2024.

Las estructuras constan de dos partes principalmente: en ambos costados mediante hydroblock se asegura una cota para el embalsamiento del volumen necesario, en la zona central mediante gaviones se permite el flujo normal de los drenajes. Los gaviones al ser contruidos con material granular de gran tamaño, llegando a tener permeabilidades de 1 m/s (Singhal & Gupta, 2010), esto garantiza un flujo controlado, permitiendo conservar un caudal en épocas secas y controlando las crecientes producto de intensas precipitaciones.

Ilustración 4.

Diseño tipo de presa zona de amortiguamiento quebrada Botadero.



Fuente: consorcio Villarrica – Contrato consultoría 213 de 2018.

Las obras de mitigación temporal, se encuentran sobre el cauce de la quebrada Botadero, predio finca los Lavaderos vereda Bajo Roble del municipio de Villarrica Tolima.

Análisis ambiental.

Altura sobre nivel del mar.

1.125 m.

Topografía.

Montañosa en su mayor parte y corresponde a la cordillera Oriental, en donde se destacan la cuchilla Altamizal, los cerros Himalaya y San Miguel y los altos Altamizal, Buenavista y Morro. Recorren el territorio los ríos Cuinde Blanco, Cuindecito y Cuindefeo, además de varias corrientes menores.

Precipitación.

La precipitación media anual es de 1.991 mm, está asociada a la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y se distribuye en un régimen bimodal que se extiende entre los meses de enero a mayo y octubre a diciembre, siendo octubre y noviembre los meses más lluviosos.

Clima.

Templado.

Humedad relativa.

Promedio anual es de 81%

Temperatura.

El promedio anual es de 18,9°C, siendo marzo el mes de mayor temperatura y octubre el de menor.

Las obras de mitigación, se encuentran expuestas a procesos erosivos a causa de la acción del agua de la quebrada el Botadero; adicional a encontrarse en el rango de juventud, presentando un exceso de volumen del material que debe ser removido por el cauce hasta alcanzar el nivel base; presenta afectación en los macizos rocosos con alta susceptibilidad a los movimientos en masa y el desarrollo de procesos de erosión remontante, lo que favorece la socavación del soporte de las estructuras; al estar ubicadas en zona rural (actividades agrícolas y pecuarias) se ve expuesto a deforestación en la franja de protección de la quebrada que favorece las crecientes súbitas - flujos torrenciales e inundaciones y al deterioro por falta de mantenimiento. Estas condiciones aceleran los procesos patológicos.

13. Geología estructural regional y local

El informe denominado “Estudio para la evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo físico por movimientos en masa en el casco urbano en el municipio de Villarrica – Tolima”, realizado en 2017, identifica los siguientes aspectos geológicos y geotécnicos;

Estratigráficamente en el municipio de Villarrica se encuentran aflorando unidades de roca con edades que van desde el Cretácico hasta el Cuaternario, las unidades sedimentarias de base a techo son: Grupo Villeta, Grupo Olini y depósitos Cuaternarios.

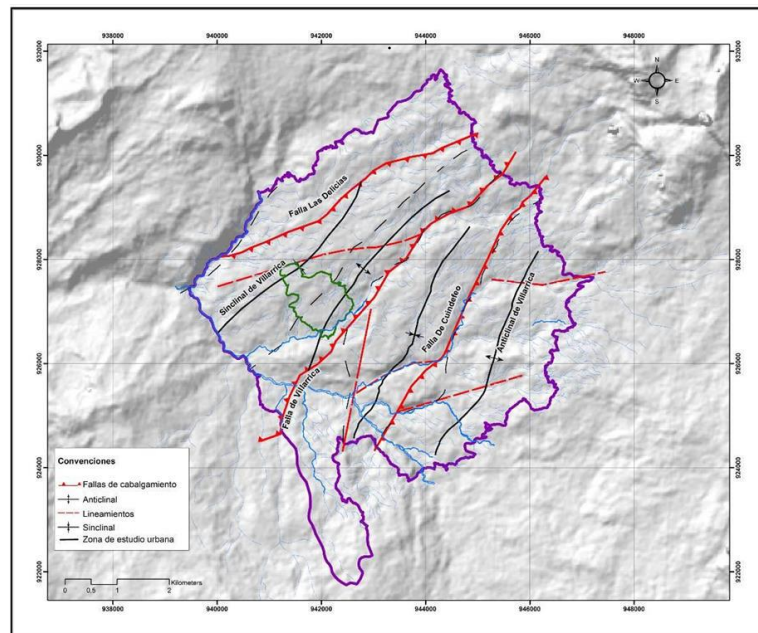
En el modelo geológico estructural del municipio de Villarrica se establecieron los siguientes rasgos (Ilustración 5):

1. El municipio se encuentra representado por el anticlinal de Villarrica y en el núcleo de esta estructura se encuentran secuencias de edades cretácicas formando la estructura buckling¹.
2. Se identificaron pliegues anticlinales y sinclinales asimétricos, de ejes axiales inclinados que dan lugar a la variación de los espesores de la secuencia estratigráfica, afectada por fallamientos de diferentes componentes cinemáticos (fallas inversas y fallas normales). Los pliegues sinclinales son amplios y suaves a diferencia de los anticlinales que son estrechos. Las orientaciones principales de estas estructuras son de dirección Suroeste Noreste con vergencia al Noroeste y cabeceo principalmente al Norte.
3. La falla de Villarrica y la falla Cuindefeo presentan tendencia N20°-30°E en el área de estudio y se presentan como trazos individuales que se unen al sistema de fallas de Altamisal, que presenta una tendencia principal N-S.
4. Con datos de diaclasas tomados en campo, se identificó la tendencia principal de las fracturas en dirección N45°E, la cual puede interpretarse como el resultado de los eventos compresivos. Perpendicularmente se identificó otra tendencia N45°W, que puede estar asociada a esfuerzos distensivos.

5. Flujos originados a partir de grandes desprendimientos de material de las laderas empinadas por eventos lluviosos, que se han acomodado en la ladera y que en gran parte fluyeron ladera abajo, transportando el material principalmente en dirección Suroeste, adquiriendo formas alargadas y éstas canalizadas por las principales estructuras geológicas presentes.

Ilustración 5.

Interpretación geológica estructural del municipio de Villarrica.



Fuente: Fuente: SGC, 2017.

14. Condiciones Sísmicas

Con base al Reglamento de Construcción Sismo Resistente (Asociación Colombiana de Ingeniería, 2010) Título A se determinaron las condiciones sísmicas del municipio de Villarrica, este se encuentra en una zona de amenaza sísmica ALTA con un valor de aceleración pico efectiva A_a de 0.25 y la velocidad pico efectiva A_v de 0.2. Según las tablas A.3-1 a A.3-4, del Reglamento NSR-10, para esta zona de amenaza sísmica se permiten principalmente construcciones con sistemas estructurales con capacidad especial de disipación de energía (DES) y en algunos casos construcciones con sistemas estructurales con capacidad moderada de disipación de energía

Ilustración 7.

Depósito coluvial.



Fuente: Contrato 213-2018.

Es un depósito matriz soportado los primeros 4 metros, con una tendencia a ser clasto soportado luego de este nivel. En la parte alta del perímetro urbano se encuentran dispuestos unos bloques de diámetro entre 2 y 4 m (Ilustración 8).

Ilustración 8.

Bloques sobre la parte alta del perímetro urbano.



Fuente: Contrato 213-2018.

En la zona de abajo del cementerio (Barrio Obrero) y en la quebrada El Botadero, se encuentra un afloramiento de Lutitas (Ilustración 9), del Grupo Villeta, con una familia de diaclasas con dirección de buzamiento 165 con un buzamiento de 46 (rumbo 75 N-E).

Ilustración 9.

Afloramiento de Lutitas en la quebrada El Botadero.



Fuente: Contrato 213-2018.

Durante el recorrido por las quebradas se observan distintos procesos de inestabilidad en las márgenes, asociados a la dinámica de los cauces.

Sobre un cultivo de guanábana, la pendiente es más suave generando encharcamiento y un proceso continuo de ensanchamiento del margen derecho del cauce aguas abajo, lavando la matriz y dejando grandes huecos por debajo del terreno.

En general el área de estudio se caracteriza por presentar en las zonas montañosas rocas sedimentarias, constituidas por una secuencia monótona de lodolitas laminadas negras con esporádicas intercalaciones de arenitas, limolitas y calizas. Discordantemente sobre estas rocas se encuentran unos depósitos no consolidados de flujos de pendientes, de edad reciente.

Ilustración 10.

Quebrada el Botadero zona cultivo de guanábana.



Fuente: https://satellites.pro/mapa_de_Villarrica.Colombia#3.938500,-74.598973,19.

Las caídas, reptaciones y flujos de detritos o tierras son los tipos de movimientos en masa predominantes en la zona de estudio.

En términos generales el área comprendida entre bloque oriental de la Falla Las Delicias y el bloque occidental de la Falla Villarrica, está relacionada al comportamiento geológico de los materiales asociados a flujos de detritos y bloques, siendo esta zona la que presenta un predominio de dichas unidades geológicas superficiales con variabilidad en espesor, aunque se encuentren supra yaciendo unidades de roca, demuestran la incidencia de actividad tectónica más pronunciada en el centro y norte del casco urbano y la zona noroeste del sector de estudio ocasionando mayor susceptibilidad a movimientos en masa. Sin embargo en el bloque oriental de la Falla de las Delicias y el sector entre el lineamiento de la Falla de Villarrica, se aprecia la nucleación en color rojo que demuestra la actividad de estructuras con tendencia N20°-30°E, se deduce que esta región presenta afectación en los macizos rocosos con alta susceptibilidad a los movimientos en masa y el desarrollo de procesos de erosión remontante (con mayor influencia sobre la cuenca de la quebrada El Botadero), identificados en la transición de los valores moderados a muy altos del IATR.

16. Amenazas.

El estudio de evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo físico por movimientos en masa en el casco urbano en el Municipio de Villarrica-Tolima. escala 1:2.000, definió tres categorías de acuerdo con los requerimientos del decreto 1807 de 2014 (Ilustración 11).

Amenaza alta.

Las zonas de amenaza alta ocupan un área aproximada de 63.087 Ha, correspondiente al 57.22% de la zona de estudio. Estos sectores se encuentran ubicados hacia la parte central y oriental del municipio, ocupando importantes extensiones de terreno. Se caracteriza por presencia de fuertes pendientes, que, en general fluctúan entre 15° y 30°, con algunos sectores escarpados con inclinaciones superiores a los 30°. Desde el punto de vista geológico, afloran las unidades de suelos transportado de flujo de detritos y bloques clasto-soportado blocoso y la unidad de suelo transportado de flujos de detritos y bloques matriz-soportados, en la mayor parte del área. De igual manera es importante destacar la presencia de suelos transportado de flujos inactivos. El espesor de los depósitos es de aproximadamente 10 metros, detectados a partir de la exploración directa, la refracción sísmica y las líneas geoelectricas.

Geomorfológicamente la zona corresponde a laderas de flujos escalonadas, las cuales se caracterizan por su fuerte pendiente y desplazamiento, que ha generado los principales agrietamientos detectados en el municipio. Como consecuencia de este fenómeno, se han visto afectados tanto en las vías como en las viviendas. Dentro de los barrios afectados se destacan el Barrio Jorge Eliecer Gaitán, Barrio la Inmaculada, Colegio la Libertad y el cementerio la Milagrosa, donde son frecuentes los agrietamientos del terreno, los cuales son en la mayoría de los casos, paralelos a las curvas de nivel.

Los materiales presentes en esta zona se asocian principalmente con depósitos de suelos gravo arcillosos (GC) que comprenden gravas y bloques de arenisca cuarzosa principalmente, en

matriz arenosa con finos (SC, SM), arcillo arenosa (CL) o limo arenoso (ML). En los sectores que evidencian inestabilidad, estos materiales se encuentran remoldeados y húmedos, con resistencia al corte residual promedio de 13 kPa y ángulo de fricción residual promedio de 15°.

El mecanismo de falla típico en estas zonas corresponde a deslizamientos rotacionales de profundidad mayor a 3,0 m o movimientos complejos que incluyen componentes de deslizamientos rotacionales y traslacionales; la probabilidad de falla ante escenarios de sismo es > 0.16 ; tasas de movimiento lenta a muy lenta especialmente en los períodos de lluvias y prácticamente nula en temporadas secas. Estos movimientos en masa, en su distribución, evidencian un comportamiento retrogresivo, es decir, el área de influencia se incrementa lateralmente. Localmente se detectó la presencia de agrietamientos paralelos a las corrientes de agua, los cuales han sido generados en la generalidad de los casos por socavación lateral. Dentro de estos se destacan grietas paralelas a la quebrada Botadero y río Cuindecito. Para este último caso, los agrietamientos se manifiestan sobre la margen derecha de la corriente de agua.

En esta zona, las viviendas y otras edificaciones, así como las estructuras de pavimento se caracterizan por la presencia sistemática de agrietamientos por efecto de la deformación acumulada del terreno.

Como agentes detonantes se tiene la lluvia, y la actividad antrópica reflejada en cortes inadecuados, mal manejo del agua superficial y roturas y desacoples en un alcantarillado muy antiguo, el cual es necesario reemplazar.

Amenaza Media.

Las zonas de amenaza media ocupan un área aproximada de 29.138 Ha, correspondiente al 26.43% de la zona de estudio. Se caracteriza por presentar pendientes entre 5° y 15°. Desde el punto de vista geológico, en la zona afloran suelos transportados y arcillosos, que corresponde básicamente a bloques y gravas, embebidas en una matriz arcillo-limosa de baja resistencia. El

material se caracteriza por su alta permeabilidad, facilitando la infiltración y flujo del agua superficial. Geomorfológicamente afloran las unidades laderas onduladas y laderas moderadas.

Los materiales presentes en esta zona se asocian principalmente con depósitos de suelos arcillo limosos de baja plasticidad (CL, ML), en presencia de bloques y gravas de arenisca cuarzosa y glauconita principalmente, y de arenas. En los sectores que evidencian inestabilidad, estos materiales se encuentran remoldeados y húmedos, con resistencia al corte residual promedio de 19 kPa y ángulo de fricción residual promedio de 25°. En los sectores sin evidencias de procesos de inestabilidad, como hacia la parte sur del barrio Higinio Patiño, se encuentran suelos gravo arcillosos (GC) que comprenden gravas y bloques de arenisca cuarzosa principalmente, en matriz arenosa con finos (SC, SM), arcillo arenosa (CL) o limo arenosa, con resistencia al corte pico promedio es de 37 kPa y ángulo de fricción pico de 34°.

Áreas con probabilidad de falla anual entre 0,001 y 0,16 que incluyen sectores con movimientos en masa, principalmente de los tipos deslizamiento rotacional de suelo con una superficie de falla ubicada a 10 metros de profundidad en promedio; tasas de movimiento lenta a muy lenta especialmente en los períodos de lluvias, y prácticamente nula en temporadas secas.

Amenaza Baja.

Los sectores en amenaza baja ocupan un área aproximada de 18.035 Ha, correspondiente al 16.36% de la zona de estudio. Se caracteriza por presentar pendientes entre 0° y 10°, aunque se detectan pequeños sectores con pendientes ligeramente superiores.

Áreas con probabilidad de falla anual menor a 0,001 en las que no hay evidencias de movimientos en masa o de afectaciones a las estructuras, sin que se descarte la posibilidad de generación de procesos locales de inestabilidad en las márgenes de los drenajes menores que la atraviesan.

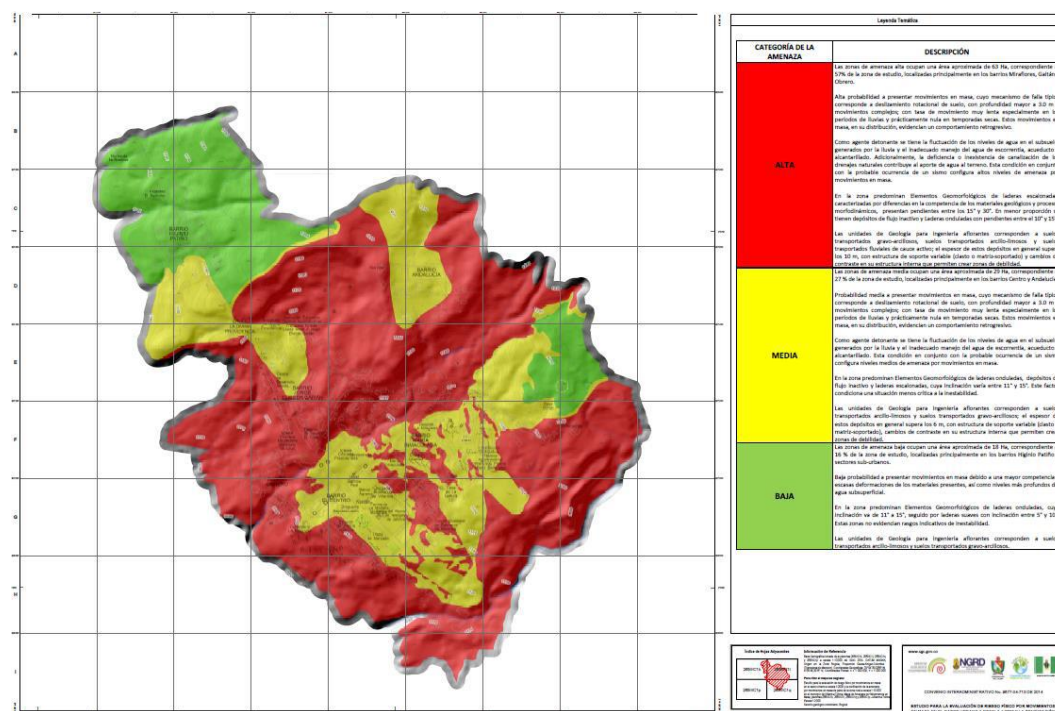
Desde el punto de vista geológico corresponde a suelos transportados arcillo-limosos con presencia de bloques y gravas. La matriz fina está conformada por arcillas de alta plasticidad, y el nivel freático en este sector se encuentra a una profundidad aproximada de 6,7 metros (verificar con las perforaciones ubicadas en esta zona). Geomorfológicamente las zonas de amenaza baja, se caracterizan por la presencia de laderas onduladas, laderas suaves y montículos denudacionales.

Los materiales presentes en esta zona se asocian principalmente con depósitos de suelos arcillo limosos de baja plasticidad (CL, ML), en presencia de bloques y gravas de arenisca cuarzosa y glauconita principalmente, y de arenas, generalmente en condición húmeda, con resistencia al corte pico promedio de 137 kPa y ángulo de fricción residual promedio de 33°.

Ilustración 11.

Zonificación de la Amenaza por Movimientos en Masa en el Casco Urbano de Villarrica, Tolima.

Escenario Parcialmente Saturado (sin Lluvia) con Sismo.



Fuente: https://satellites.pro/mapa_de_Villarrica.Colombia#3.938500,-74.598973,19.

17. Hidrología e hidráulica:

La información de los estudios hidrológicos e hidráulicos que se presentan en este estudio son tomados del producto del contrato 213-2018 “Elaboración del estudio hidrológico e hidráulico y elaboración de los diseños de las obras hidráulicas de protección y conducción de las quebradas el Botadero, NN1 y NN2 ubicadas al interior del perímetro urbano del municipio de Villarrica, departamento del Tolima”; donde con el objeto de obtener el análisis hidrológico, la descripción cuantitativa de los elementos hidroclimatológicos y la descripción cuantitativa de los elementos hidroclimatológicos, se tomó información del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (tabla 4) y del Atlas Climatológico.

Para realizar el resumen del clima se utilizaron las estaciones de tipo pluviométrico (Villarrica y Conc. L Bustamante), y para la estimación de caudales se seleccionó la estación de Villarrica únicamente debido a la cercanía de esta con la zona de estudio.

Tabla 4.

Estaciones cercanas al área de estudio.

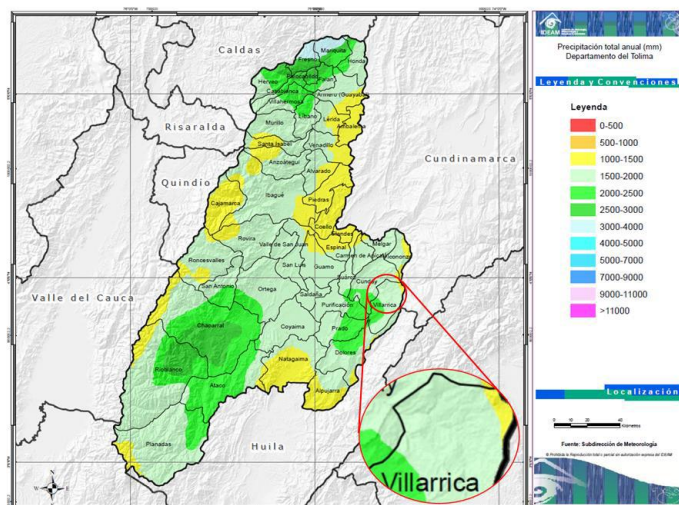
Código	Nombre	Tipo	Corriente	Depto.	Municipio	Período	Información		
21160070	Villarrica	PM	Cuinde	Tolima	Villarrica	1961-2017	P total	No. Días P	P max 24h
21167060	San Pablo Autom.	LG	Cuinde	Tolima	Villarrica	1959-2015	$\bar{Q}$	Q max	Q min
21160200	Conc. L Bustamante	PM	Cuinde	Tolima	Villarrica	1980-2017	P total	No. Días P	P max 24h

Fuente: Contrato 213-2018.

La precipitación total anual para el municipio de Villarrica, de acuerdo al resultado del contrato 213-2018 presentó valores, principalmente, entre 1500 y 2000mm, llegando a 2500 al sur occidente del municipio.

Ilustración 12.

Precipitación total anual (mm). Departamento de Tolima Adaptado de IDEAM.

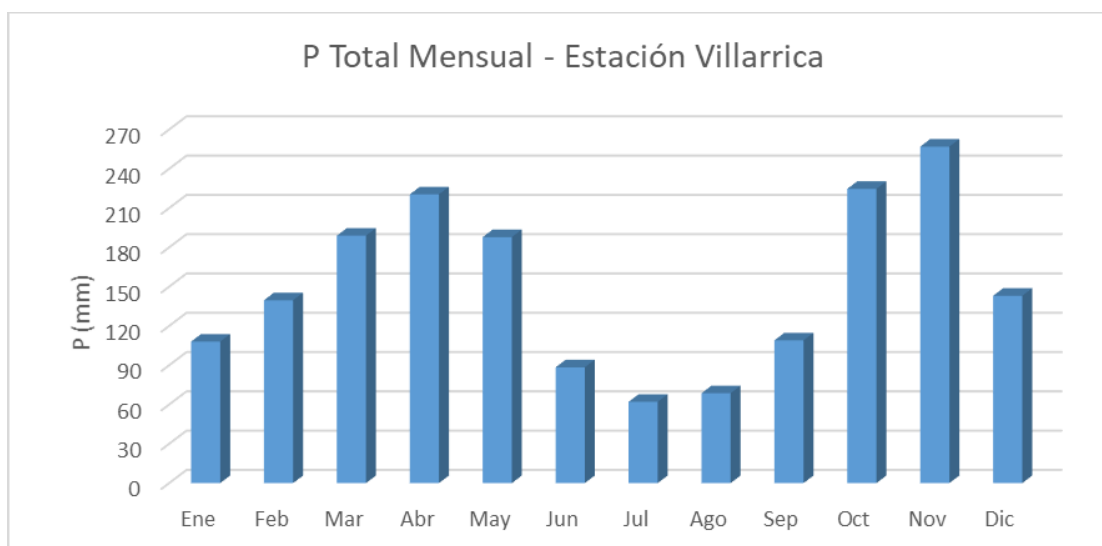


Fuente: Contrato 213 de 2018.

Para la precipitación el análisis se realizó con los valores totales medios de cada una de las estaciones mencionadas. En la Ilustración 13 e Ilustración 14 se puede observar que en la zona de estudio existe un régimen bimodal, con los picos en los meses de abril y noviembre, mientras los meses de menor precipitación corresponden con julio, agosto y diciembre, enero.

Ilustración 13.

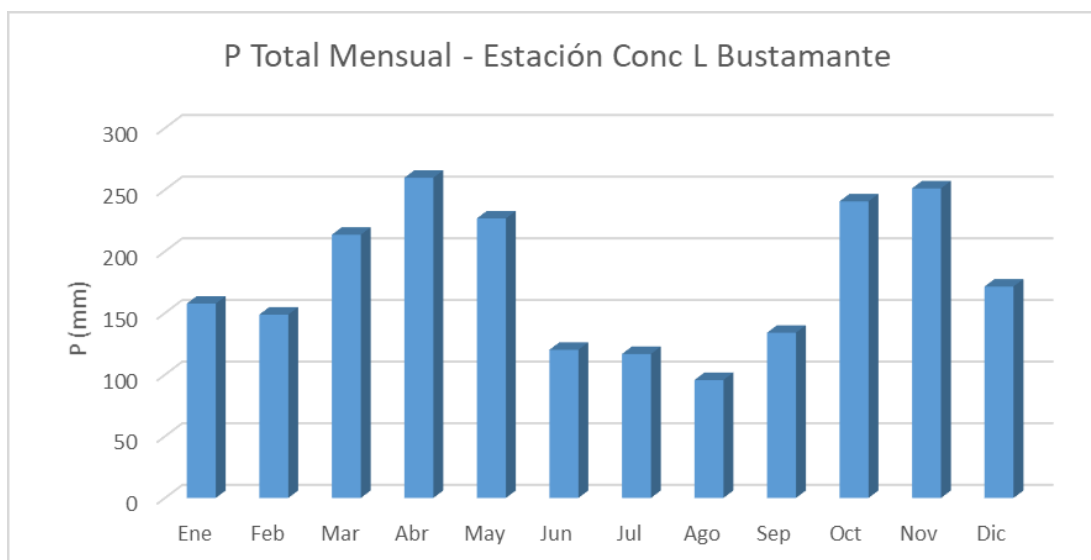
Precipitación total mensual multianual. Estación Villarrica.



Fuente: Contrato 213 de 2018.

Ilustración 14.

Precipitación total mensual multianual. Estación Conc. L Bustamante.



Fuente: Contrato 213 de 2018.

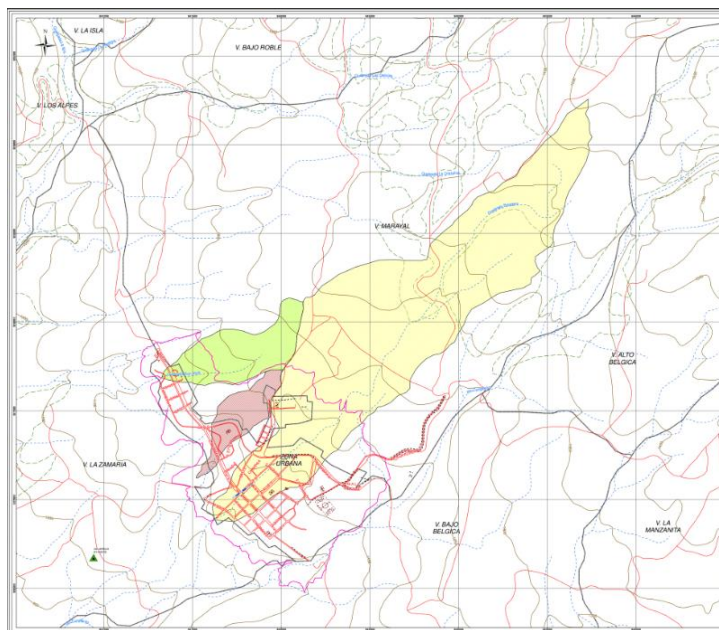
Caracterización morfométrica de la cuenca.

La delimitación manual de la cuenca de la quebrada El Botadero fue tomada del resultado del contrato 213-2018 (Ilustración 15); donde se utilizó como información cartográfica para la delimitación la plancha 265IIC1 del IGAC a escala 1:10000, la topografía recopilada en información secundaria con curvas de nivel cada 2 metros y la topografía tomada del estudio que abarcaba toda el área de interés. Así mismo y con el fin de tener una estimación cuantitativa de la morfología de la cuenca y un entendimiento aproximado de la variación espacial de los elementos del régimen hidrológico (Monsalve Saénz, 1995) se determina algunos parámetros característicos de la cuenca hidrográfica como se ve en la (Tabla 5).

En la cuenca Botadero las cuatro subcuencas delimitadas fueron: 1) hasta la finca Waterloo; 2) hasta la parte alta del barrio Andalucía; 3) hasta el inicio del canal subterráneo al respaldo del hospital La Milagrosa y 4) por la quebrada Botadero hasta el final del canal en concreto, en la carrera 4.

Ilustración 15.

Mapa de cuenca quebrada Botadero.



Fuente: Contrato 213 de 2018.

Tabla 5.

Características de forma y drenaje de la cuenca.

	BOTA- DERO	BOT 1	BOT 2	BOT 3	BOT 4
Área (ha)	135.37	41.24	23.02	6.72	117.3 2
Área (km ²)	1.3537	0.412 4	0.230 2	0.067 2	1.173 2
Perímetro (km)	7.10	3.20	2.36	1.79	6.36
Cota más alta (msnm)	1500	1500	1330	1270	1500
Cota más baja (msnm)	1090	1300	1215	1160	1135
Longitud del cauce principal (km)	3.62	1.56	1.18	0.94	3.26
Longitud total de drenajes (km)	8.33	2.20	1.31	0.94	7.41
Pendiente del cauce principal (m/m)	0.113	0.128	0.098	0.117	0.112
Número de cauces de primer orden	13	3	3	1	9
<i>Fuente: Contrato 213-2018.</i>					

Tabla 6.

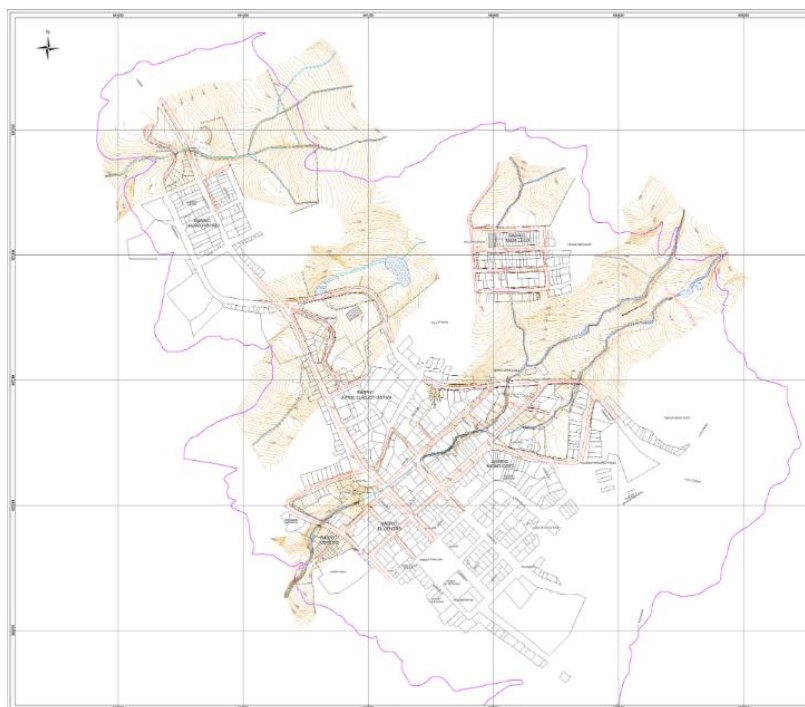
Características de forma y drenaje de la cuenca.

		Q. El Botadero
Índice de Compacidad KC		1.72
Factor de Forma KF		0.103
Densidad de Drenaje D _d (km ⁻¹)		6.15
Índice de Torrencialidad CT		9.60
Número de Melton		0.352
Tiempo de Concentración T _c	Kirpich (horas) (minutos)	0.413
		24.77
	Témez (horas) (minutos)	1.206
		72.37
	V. T. Chow (horas) (minutos)	1.248
		74.91

Fuente: Contrato 213-2018.

Ilustración 16.

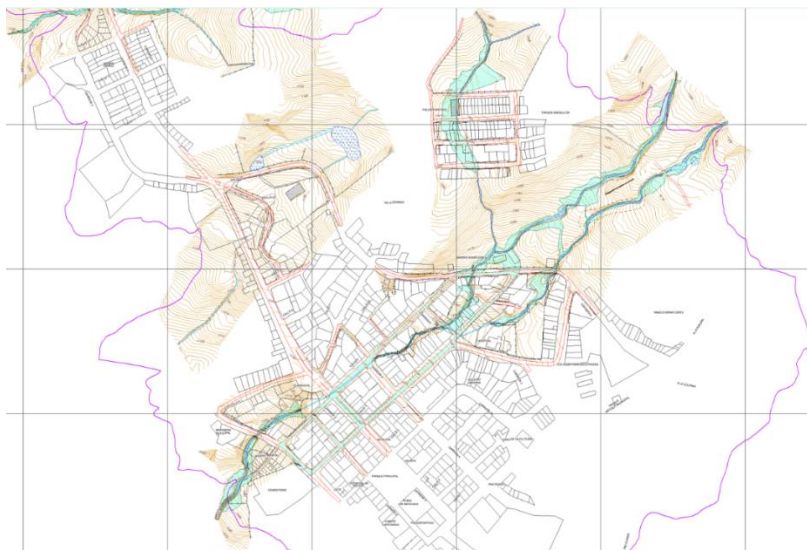
Mapa de cartografía base.



Fuente: Contrato 213 de 2018.

Ilustración 17.

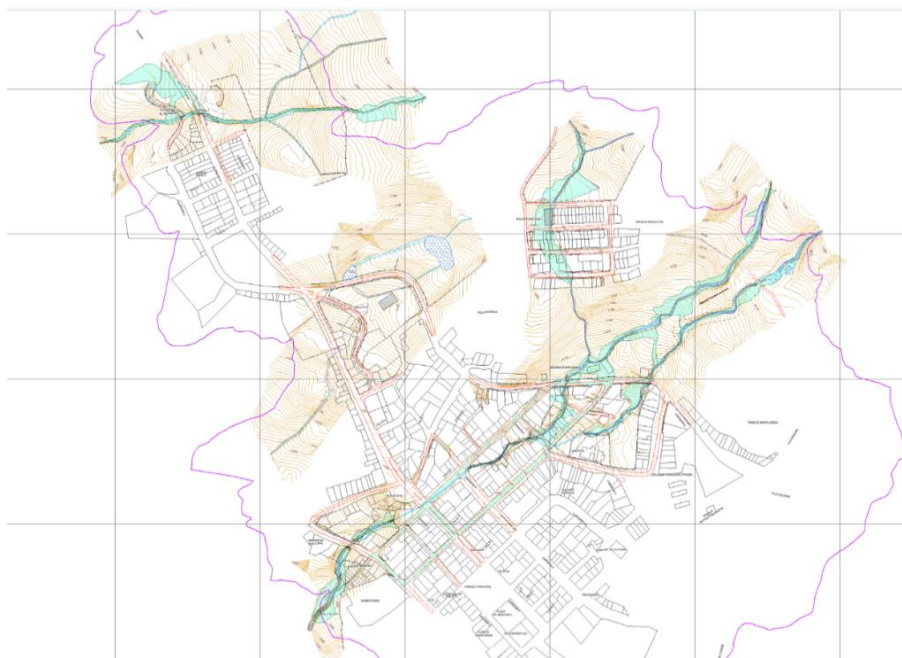
Mapa de inundación Tr 25 años.



Fuente: Contrato 213 de 2018.

Ilustración 18.

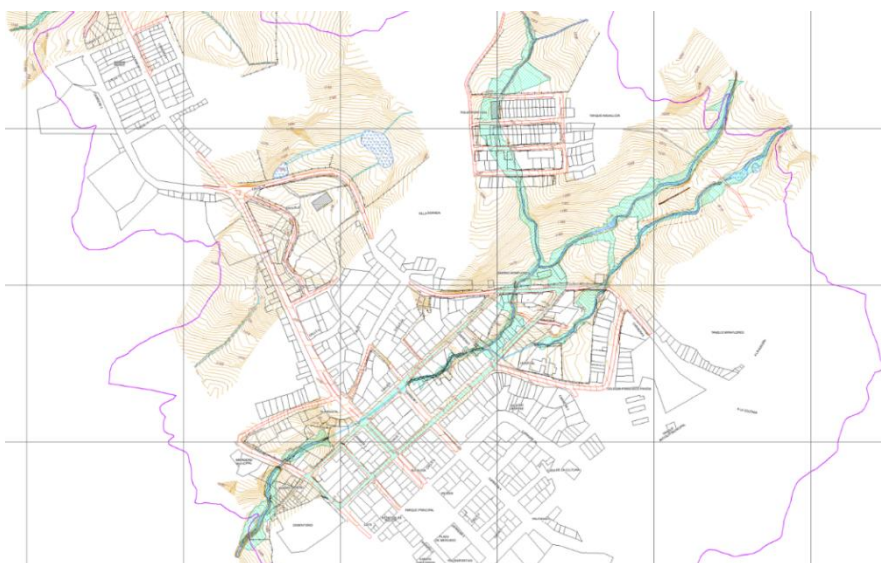
Mapa de inundación Tr 50 años.



Fuente: Contrato 213 de 2018.

Ilustración 19.

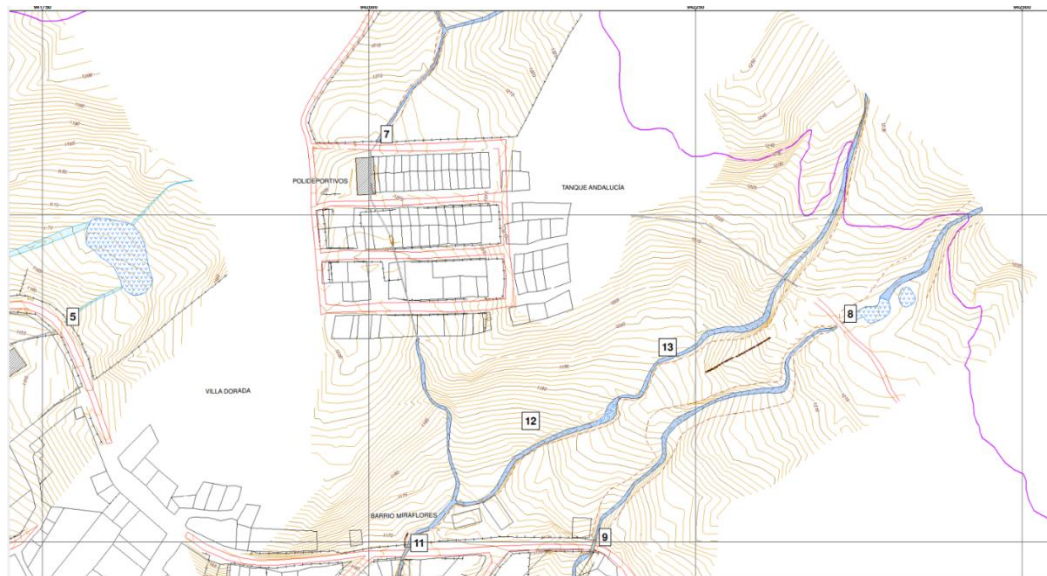
Mapa de inundación Tr 100 años.



Fuente: Contrato 213 de 2018.

Ilustración 21.

Propuestas medidas de mitigación.

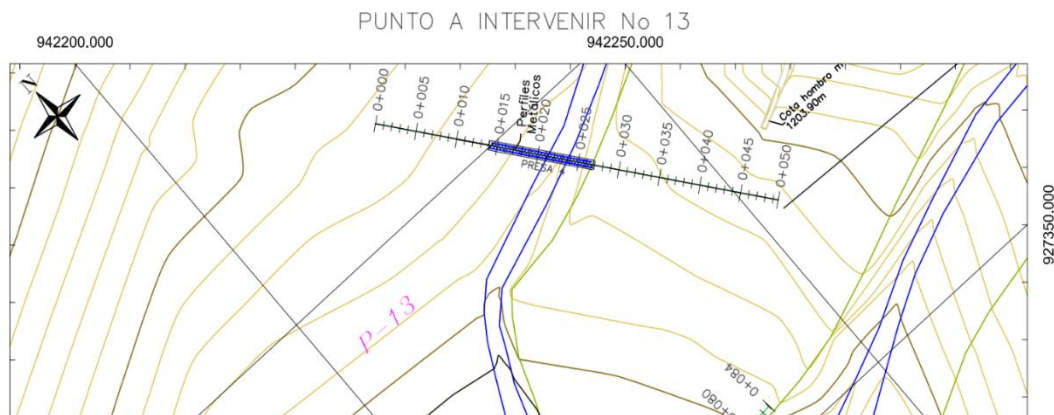


Fuente: Contrato 213 de 2018.

Las estructuras de control hidráulico, están conformadas por la construcción de muros en gaviones con malla de alambre galvanizado cal.13 y construcción de estructura en Geocontainer Hydroblock (Ilustración 25 y 28), así mismo la construcción de presa abierta en concreto ciclópeo, con perfiles metálicos IPE200 e IPE120, hincado sobre el concreto ciclópeo (Ilustración 22).

Ilustración 22.

Presa abierta.



Fuente: Contrato 213 de 2018.

Ilustración 23.

Imagen aérea presa abierta.

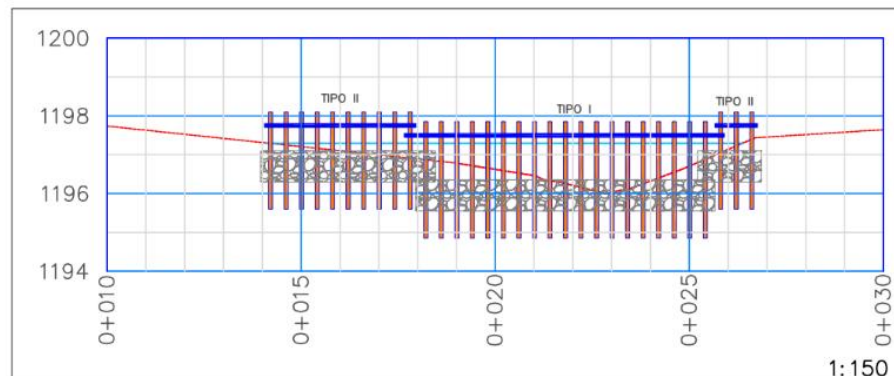


Fuente: Propia - Dron matrices.2024

La presa abierta para retención de material proveniente de creciente de la quebrada, fue construida en concreto ciclópeo, con las siguientes especificaciones técnicas; 60% concreto simple $f'_c = 17\text{MPa}$ y 40% rajón, altura del ciclópeo de 80 cm; hincado de perfiles metálicos IPE 200 (ASTM A572 - Grado 50) e IPE 120 (ASTM A572 - Grado 50), con aplicación de anticorrosivo en ellos, altura de perfiles IPE 200 de 3m y altura de perfiles IPE 120 de 2,50m; embebidos 1,50m (Ilustración 24).

Ilustración 24.

Perfil presa abierta.

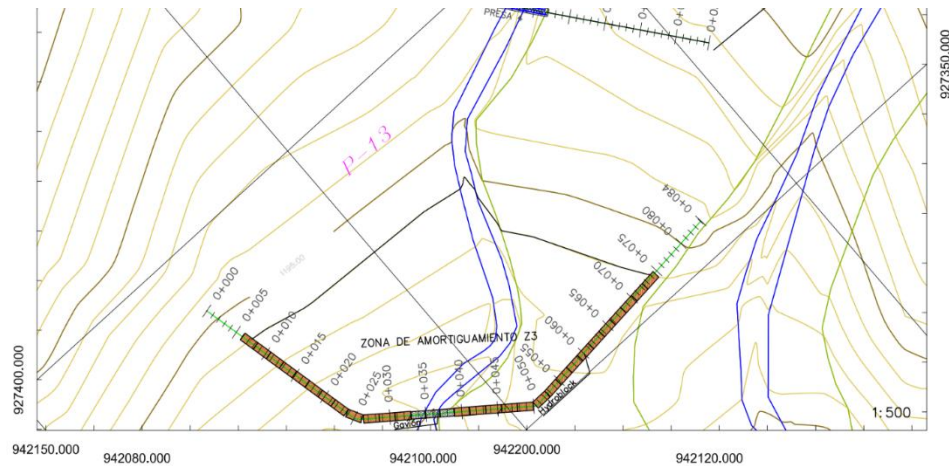


Fuente: Contrato 213 de 2018.

La zona de amortiguamiento 3 está compuesta por muro en gavión, altura de 4 m con malla de alambre galvanizado cal.13, lleno con rajón; el primer cuerpo del muro está por debajo del lecho de la quebrada. A lado y lado del muro en gavión, se realizó la conformación de muro en Geocontainer - Formaleta Geotextil 2,20x1,10x0,60m (HYDROBLOCK 1,452m³ o equivalente).

Ilustración 25.

Zona de amortiguamiento 3.



Fuente: Contrato 213 de 2018.

Ilustración 26.

Imagen aérea zona de amortiguamiento 3.

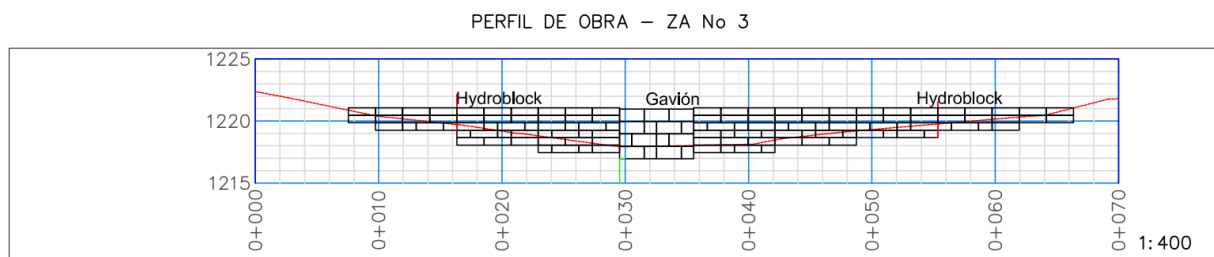


Fuente: Propia - Dron matrices.2024

De acuerdo a las especificaciones técnicas el espesor del muro es de 3,3 m y altura de 3,60 m; el primer cuerpo contra el gavión se ubica 60 cm por debajo de la cota del terreno, llegando a 1,80 m por debajo de la cota de terreno; esta dimensión varía de acuerdo a lo establecido en el plano de perfil (Ilustración 27).

Ilustración 27.

Perfil zona de amortiguamiento 3.

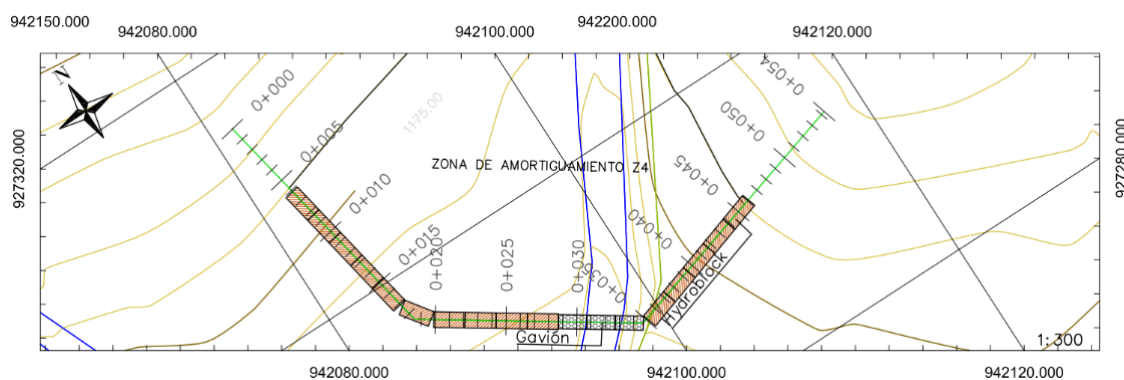


Fuente: Contrato 213 de 2018.

La zona de amortiguamiento 4 (Ilustración 28) está compuesta por muro en gavión, altura de 5 m con malla de alambre galvanizado cal.13, lleno con rajón; el primer y segundo cuerpo del muro está por debajo del lecho de la quebrada. A lado y lado del muro en gavión, se realizó la conformación de muro en Geocontainer - Formaleta Geotextil 2,20x1,10x0,60m (HYDROBLOCK 1,452m³ o equivalente).

Ilustración 28.

Zona de amortiguamiento 4.



Fuente: Contrato 213 de 2018.

Ilustración 29.

Imagen aérea zona de amortiguamiento 4.



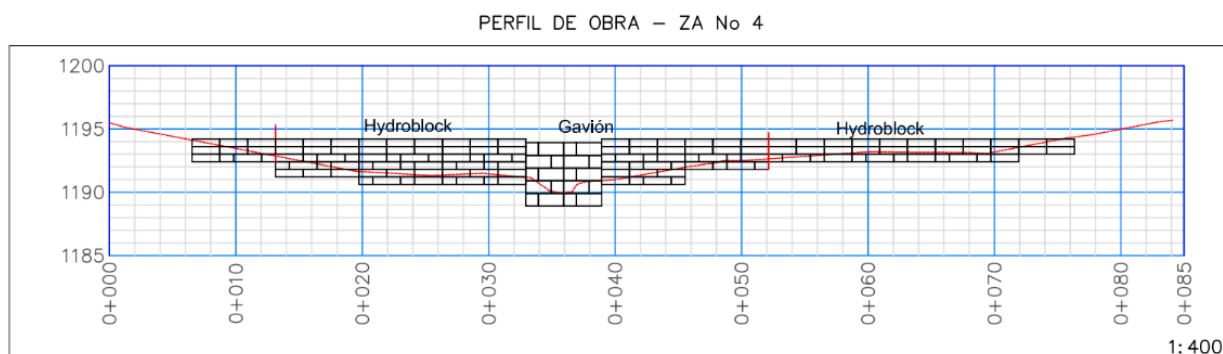
Fuente: Propia - Dron matrices.2024

De acuerdo a las especificaciones técnicas el espesor del muro es de 3,3 m y altura de 3,60 m; el primer cuerpo contra el gavión se ubica 60 cm por debajo de la cota del terreno, llegando a

1,20 m por debajo de la cota de terreno; esta dimensión varía de acuerdo a lo establecido en el plano de perfil (Ilustración 30).

Ilustración 30.

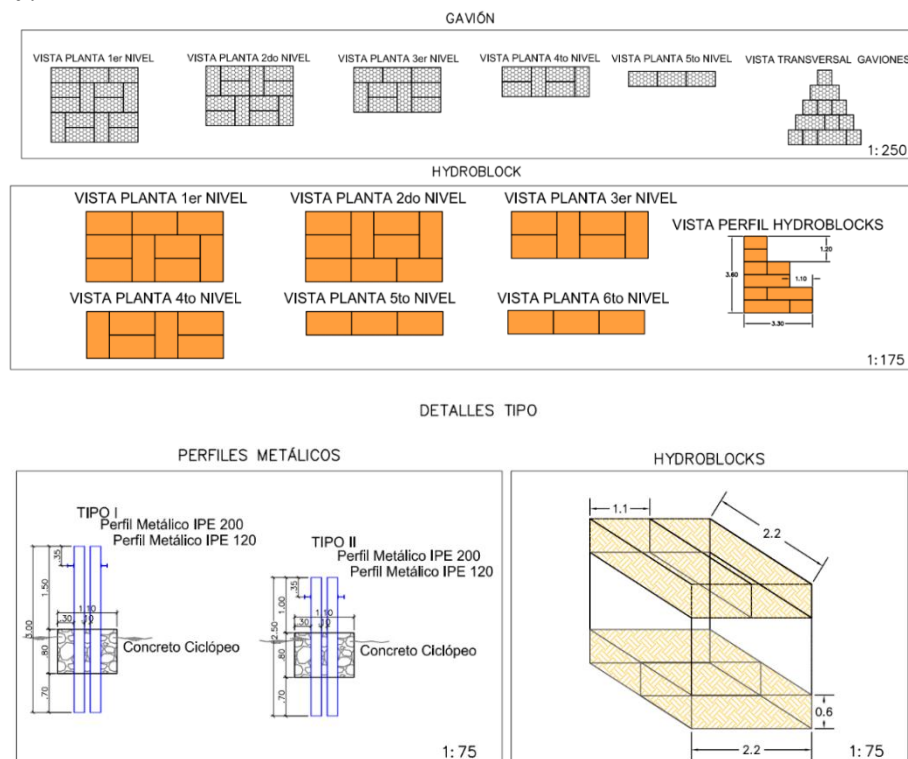
Perfil zona de amortiguamiento 4.



Fuente: Contrato 213 de 2018.

Ilustración 31.

Detalle de obra.



Fuente: Contrato 213 de 2018.

19. Datos de las lesiones.

El seguimiento a las lesiones para el desarrollo del presente estudio de patología, se inicio en el mes de febrero de 2024, con la inspección ocular de las obras de mitigación sobre la quebrada el Botadero del municipio de Villarrica Tolima, donde se encontró lo siguiente:

1. Muro en gavión.

Con relación al muro, se pudo encontrar establecidos organismos vegetales (arvenses y pastos de porte bajo), así como la colmatación de material granular fino, en medio de los vacíos de las piedras, impidiendo la permeabilidad de 1 m/s (estudios y diseños) que garantizara el flujo controlado y constante. (tabla 4 y tabla 5).

Es importante mencionar, que incluido en el acta de entrega de las obras de mitigación temporal sobre la quebrada el Botadero, se indicaba la realización de actividades de mantenimiento y limpieza de las obras, lavado a presión de los muros de gavión y retiro de material procedente de las crecientes de la quebrada; lo cual no se realizó por parte de la administración municipal.

2. Muro en hidrobloc.

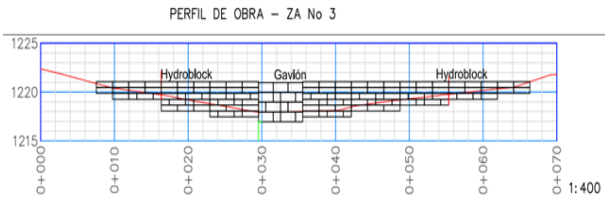
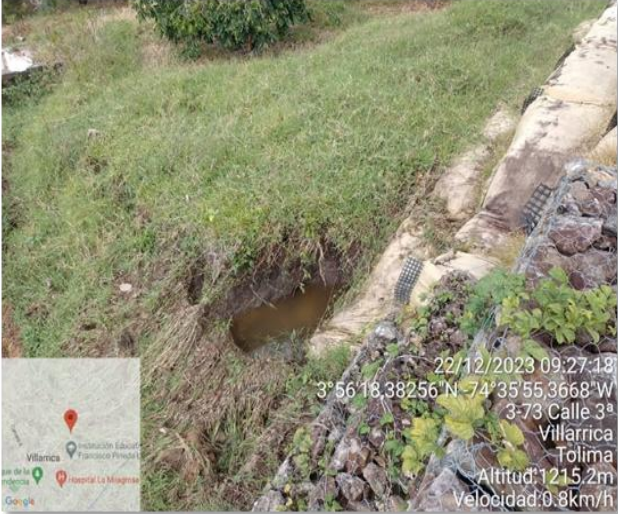
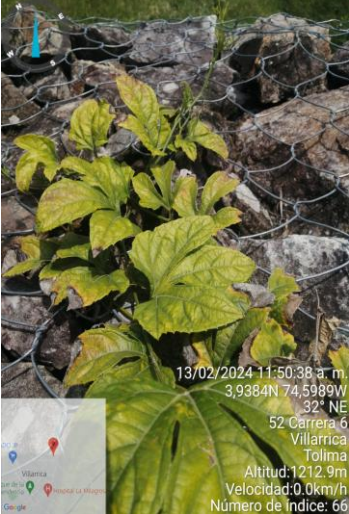
A lado y lado del muro en gavión, se establece muro en hidrobloc, el cual hace parte de la presa, construida para controlar el paso del agua durante crecientes súbitas de la quebrada el Botadero. En las inspecciones realizadas en noviembre de 2022, febrero-mayo y septiembre de 2024 y febrero de 2025, se ha observado una deformación continua del primer cuerpo de sacos de hidrobloc que se ubican a lado y lado del gavión, deformación que, para la última visita, mostraba una separación superior a 60cm del cuerpo deformado, con respecto al siguiente módulo de sacos de hidrobloc. (tabla 6).

Adicional y causa de la deformación mencionada, se aprecia socavación por erosión hídrica sobre el lado derecho e izquierdo del muro de hidrobloc; siendo más notoria sobre el lado derecho del elemento, aguas abajo de la quebrada. (tabla 9).

En todo el dique se observa presencia de organismos vegetales, establecidos en ellos, lo que ha contribuido con el deterioro prematuro de los sacos, en algunos de ellos se observa, como las especies vegetales han perforado el material, lesión que genera que por estos orificios salga el material de lleno. (tabla 7).

Tabla 7.

Registro y caracterización de lesiones organismos vegetales en gavión.

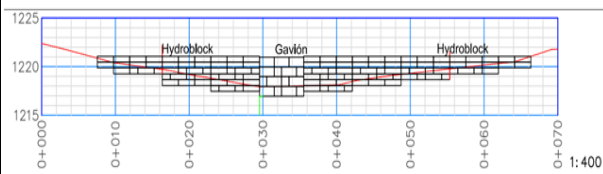
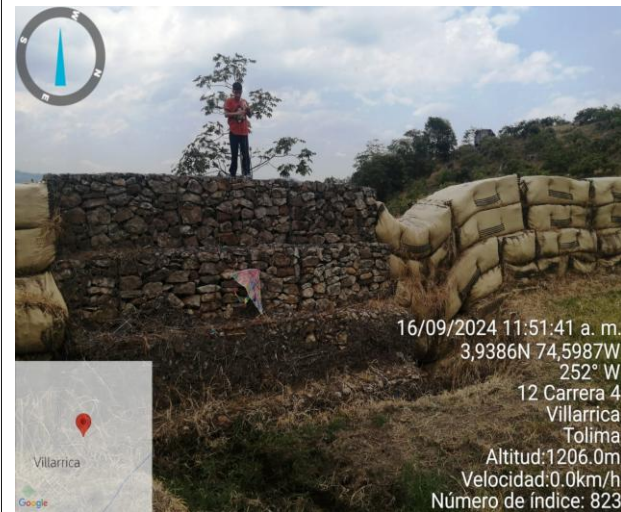
FICHA	1	INMUEBLE	LOCALIZACION
		Obras de mitigación temporal	Quebrada Botadero vereda Bajo Roble municipio de Villarrica Departamento del Tolima
		USO	
		Mitigación de riesgo	
		FECHA DE CONSTRUCCION	
		2019-2022	
SITUACION DE LA LESION:			REFERENCIA EN PLANO
Muro en gavion			N/A
ELEMENTO			UBICACION EN PLANO
Lleno de muro			
SISTEMA ESTRUCTURAL			
N/A			
TIPO DE LESION			
FISICA	QUIMICA	MECANICA	
Presencia de organismos vegetales.			
DESCRIPCION LESION:			ANALISIS Y POSIBLES CAUSAS
Presencia de organismos vegetales, con años de haberse establecido en el elemento, dada la altura de la especie arborea Yarumo, así como de los arvenses (punta de lanza) y pastos de porte bajo (pasto estrella).			La presencia de los organismos vegetales encontrados al momento de la visita, se deben a la falta de mantenimiento de la estructura, que impidiera el desarrollo de las especies arboreas, arvenses y pastos.
CLASIFICACION			DIAGNOSTICO Y POSIBLES ACCIONES Y ENSAYOS
ELEMENTO ESTRUCTURAL:			Se recomienda realizarlos mantenimientos regulares y preventivos que minimicen el desarrollo de organismos vegetales en la estructura.
SI		NO	
PELIGRO DE ESTABILIDAD:			
BAJA	MEDIA	ALTA	
URGENCIA DE INTERVENCION:			
BAJA	MEDIA	ALTA	
FOTOGRAFÍA			
 22/12/2023 09:27:18 3° 56' 18.38256" N - 74° 35' 55.3668" W 3-73 Calle 3ª Villarrica Tolima Altitud: 1215.2m Velocidad: 0.8km/h  13/02/2024 11:50:38 a.m. 3,9384N 74.5989W 32° NE 52 Carrera 6 Villarrica Tolima Altitud: 1212.9m Velocidad: 0.0km/h Número de índice: 66			

Fuente: Fichas lesiones obras de mitigación temporal Q. el Botadero.

Elaboró: Propia.

Tabla 8.

Registro y caracterización de lesiones colmatación material granular fino en gavión

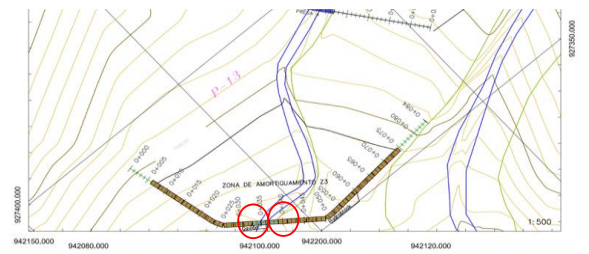
FICHA	2	INMUEBLE	LOCALIZACION
		Obras de mitigación temporal	Quebrada Botadero vereda Bajo Roble municipio de Villarrica Departamento del Tolima
		USO	
		Mitigación de riesgo	
		FECHA DE CONSTRUCCION	
		2019-2022	
SITUACION DE LA LESION:			REFERENCIA EN PLANO
Muro en gavion			N/A
ELEMENTO			UBICACION EN PLANO
Gavión			PERFIL DE OBRA - ZA No 3 
SISTEMA ESTRUCTURAL			
N/A			
TIPO DE LESION			
FISICA	QUIMICA	MECANICA	
Colmatación material granular fino.			
DESCRIPCION LESION:			ANALISIS Y POSIBLES CAUSAS
Los espacios vacios entre los materiales granulares gruesos (piedras), se encuentran colmatados por particulas finas de material granular, lo cual esta imposibilitando el flujo constante y controlado de la quebrada el Botadero.			La carencia de mantenimiento y limpieza del muro en gravión, ha ocasionado la no permabilidad del flujo de agua; la no realizacion de las actividades recomendadas en acta de entrega, contribuye a la patologia observada; adicional se podría considerar la carencia de lloraderos dentro del muro en gavion, que garantizara el flujo constante, no se contemplo en el diseño.
CLASIFICACION			DIAGNOSTICO Y POSIBLES ACCIONES Y ENSAYOS
ELEMENTO ESTRUCTURAL:			Se recomienda realizarlos mantenimientos regulares y preventivos que disminuyan el colmate de material fino en la estructura. Recomendar la instalacion de lloraderos a nivel visible del gavion, que permita el paso controlado y constante del agua.
SI			
PELIGRO DE ESTABILIDAD:			
BAJA	MEDIA	ALTA	
URGENCIA DE INTERVENCION:			
BAJA	MEDIA	ALTA	
FOTOGRAFÍA			
 16/09/2024 11:51:41 a. m. 3,9386N 74,5987W 252° W 12 Carrera 4 Villarrica Tolima Altitud:1206.0m Velocidad:0.0km/h Número de índice: 823 			

Fuente: Fichas lesiones obras de mitigación temporal Q. el Botadero.

Elaboró: Propia.

Tabla 9.

Registro y caracterización de lesiones deformación sacos de hidroblock.

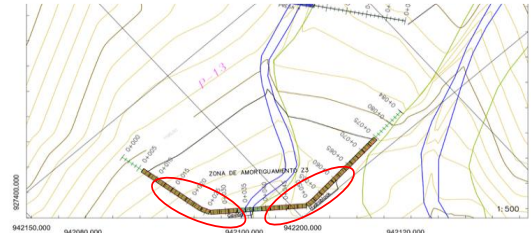
FICHA	3	INMUEBLE	LOCALIZACION
		Obras de mitigación temporal	Quebrada Botadero vereda Bajo Roble municipio de Villarrica Departamento del Tolima
		USO	
		Mitigación de riesgo	
		FECHA DE CONSTRUCCION	
		2019-2022	
SITUACION DE LA LESION:			REFERENCIA EN PLANO
Muro en hidroblock			N/A
ELEMENTO			UBICACION EN PLANO
Saco hidroblock			
SISTEMA ESTRUCTURAL			
N/A			
TIPO DE LESION			
FISICA	QUIMICA	MECANICA	
Deformación sacos de hidroblock, a lado derecho e izquierdo de gavión.			
DESCRIPCION LESION:			ANALISIS Y POSIBLES CAUSAS
Deformación sacos de hidroblock, por socavación causada por erosión hídrica, cambio de curso de la quebrada, al no ser permeable el muro en gavión.			La Deformación de los sacos de hidroblock, por socavación causada por erosión hídrica a consecuencia del cambio de curso de la quebrada, al no ser permeable el muro en gavión ; pudo presentarse debido a un inadecuado proceso constructivo, no se respetaron las recomendaciones dadas en los diseños; así mismo puede obedecer a procesos erosivos no contemplados en diseños, inexistencia de lloraderos de facil mantenimiento; tambien pueden ser causados por falta de mantenimiento a la estructura de contención.
CLASIFICACION			DIAGNOSTICO Y POSIBLES ACCIONES Y ENSAYOS
ELEMENTO ESTRUCTURAL:			Se recomienda realizar las reparaciones necesarias, para devolver la estabilidad al elemento; es necesario, reinstalar los sacos de hidroblock de acuerdo a diseños e instalar lloraderos que garanticen el flujo constante durante aguas minimas de la quebrada.
SI NO			
PELIGRO DE ESTABILIDAD:			
BAJA MEDIA ALTA			
URGENCIA DE INTERVENCION:			
BAJA MEDIA ALTA			
FOTOGRAFÍA			
			

Fuente: Fichas lesiones obras de mitigación temporal Q. el Botadero.

Elaboró: Propia.

Tabla 10.

Registro y caracterización de lesiones presencia de organismos vegetales en hidroblock.

FICHA	4	INMUEBLE	LOCALIZACION
		Obras de mitigación temporal	Quebrada Botadero vereda Bajo Roble municipio de Villarrica Departamento del Tolima
		USO	
		Mitigación de riesgo	
		FECHA DE CONSTRUCCION	
SITUACION DE LA LESION:			REFERENCIA EN PLANO
Muro en hidroblock			N/A
ELEMENTO			UBICACION EN PLANO
Saco hidroblock			
SISTEMA ESTRUCTURAL			
N/A			
TIPO DE LESION			
FISICAQUIMICAMECANICA			
Organismos vegetales establecidos en sacos de hidroblock.			
DESCRIPCION LESION:			ANALISIS Y POSIBLES CAUSAS
Presencia de organismos vegetales, con altura de especies arboreas, de aprox. 2 años de crecimiento.			La no realización de mantenimientos y limpieza de las obras, favorece el desarrollo de especies arboreas, arvenses y pastos de porte bajo, ocasionando el daño del material de los sacos de hidroblock, a causa de las raíces y el brote de organismos vegetales.
CLASIFICACION			DIAGNOSTICO Y POSIBLES ACCIONES Y ENSAYOS
ELEMENTO ESTRUCTURAL:			Se recomienda realizarlos mantenimientos y limpiezas periodicas de los muros, con el fin de evitar que los organismos vegetales, se establezcan y generen daño a los materiales del hidroblock.
SI NO			
PELIGRO DE ESTABILIDAD:			
BAJAMEDIAALTA			
URGENCIA DE INTERVENCION:			
BAJAMEDIAALTA			
FOTOGRAFÍA			
			

Fuente: Fichas lesiones obras de mitigación temporal Q. el Botadero.

Elaboró: Propia.

Tabla 11.

Registro y caracterización de lesiones socavación por erosión hídrica.

FICHA	5	INMUEBLE	LOCALIZACION	
		Obras de mitigación temporal	Quebrada Botadero vereda Bajo Roble municipio de Villarrica Departamento del Tolima	
		USO		
		Mitigación de riesgo		
		FECHA DE CONSTRUCCION		
		2019-2022		
SITUACION DE LA LESION:			REFERENCIA EN PLANO	
Quebrada el Botadero			N/A	
ELEMENTO			UBICACION EN PLANO	
Cauce de la quebrada				
SISTEMA ESTRUCTURAL				
N/A				
TIPO DE LESION				
FISICA QUIMICA MECANICA				
Socavación por erosión hídrica.				
DESCRIPCION LESION:			ANALISIS Y POSIBLES CAUSAS	
Socavación sobre margen derecha e izquierda del cauce de la quebrada; lo cual ha ocasionado la deformación de los sacos de hidrobloc.			El cambio en curso del cauce que viene presentando la quebrada el Botadero, a consecuencia de la no permeabilidad del muro en gavión, ha ocasionado que se adelante un proceso erosivo por acción hídrica, sobre los márgenes derecho e izquierdo a lado y lado del gavión.	
CLASIFICACION			DIAGNOSTICO Y POSIBLES ACCIONES Y ENSAYOS	
ELEMENTO ESTRUCTURAL:			Se recomienda la instalacion de lloraderos que permitan el flujo permanente de la quebrada, dado que actualmente el cauce se ve obstaculizado por el gavión, el cual por colmatación de material granular fino, no es permeable.	
SI NO				
PELIGRO DE ESTABILIDAD:				
BAJA MEDIA ALTA				
URGENCIA DE INTERVENCION:				
BAJA MEDIA ALTA				
FOTOGRAFÍA				
				

Fuente: Fichas lesiones obras de mitigación temporal Q. el Botadero.

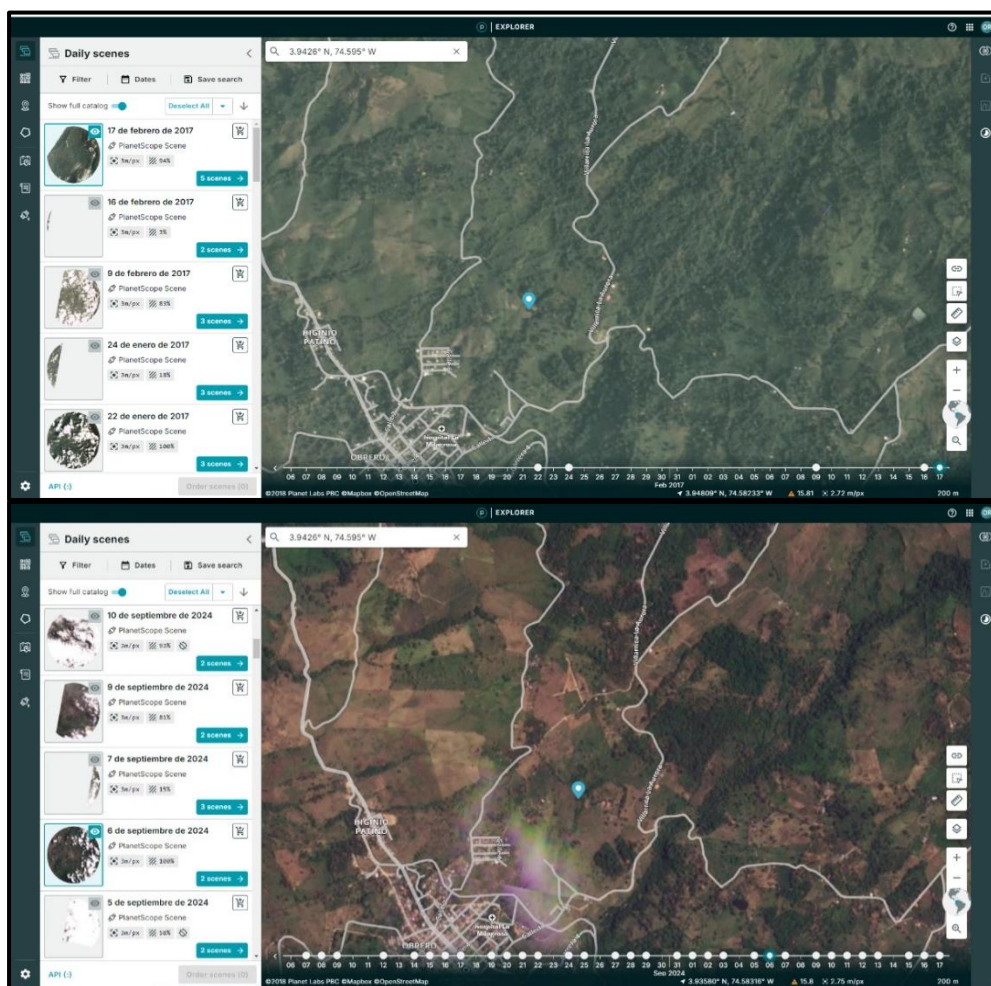
Elaboró: Propia.

3. Deforestación en la ronda hídrica.

Durante las visitas de inspección ocular a las obras de mitigación de la quebrada el Botadero y después de revisar imágenes satelitales; se observa la disminución de vegetación nativa, propia de rondas hídricas, la cual ha venido siendo reemplazada por cultivos limpios (café, plátano, guanábano), lo cual ha contribuido con los procesos erosivos, inundaciones, aumento en la energía del agua durante las crecientes de la quebrada. Así mismo el uso para actividades de pastoreo.

Ilustración 32.

Imagen satelital cobertura vegetal año 2017 y año 2024.



Fuente: Planet explore.

Tabla 12. Registro fotográfico seguimiento a lesiones.

 12 nov. 2022 8:32:06 a. m. 3°56'18.89616" N - 74°35'55.98486" W 52 Carrera 6 Villarrica Tolima Altitud: 1197.9m Velocidad: 0.0km/h	 12 nov. 2022 8:31:45 a. m. 3°56'18.89958" N - 74°35'55.12634" W 52 Carrera 6 Villarrica Tolima Altitud: 1198.3m Velocidad: 0.0km/h
Fotografía 1. Estado deformación noviembre 2023	Fotografía 2. Socavación noviembre 2023
 13/02/2024 12:15:34 p. m. 3,9386N 74,5989W 228° SW 308-596 Icononzo - Villarrica Villarrica Tolima Altitud: 1192.3m Velocidad: 0.0km/h Número de índice: 76	 13/02/2024 12:08:29 p. m. 3,9390N 74,5982W 234° W 6 2 Calle 5 Villarrica Tolima Altitud: 1246.9m Velocidad: 0.0km/h Número de índice: 75
Fotografía 3. Estado deformación febrero 2024	Fotografía 4. Estado socavación febrero 2024
 14/05/2024 10:04:25 a. m. 3,9386N 74,5990W 153° SE Altitud: 1201.9m Velocidad: 1.7km/h Número de índice: 281	
Fotografía 5. Estado deformación mayo 2024.	Fotografía 6. Estado socavación mayo 2024

Fuente: Propia 2023 - 2024.

Tabla 13. Registro fotográfico seguimiento a lesiones.

	
Fotografía 7. Estado deformación septiembre 2024	Fotografía 8. Estado deformación marzo 2025
	
Fotografía 9. Estado separación marzo 2025	Fotografía 10. Estado deformación mayo 2025
	
Fotografía 11. Estado separación mayo 2025	Fotografía 12. Estado socavación mayo 2025

Fuente: Propia 2024 - 2025.

20. Diagnostico.

Una vez realizado el seguimiento ocular a las lesiones observadas en las obras de mitigación temporal sobre la quebrada el Botadero del municipio de Villarrica; y después de haber revisado la información existente que reposaba en CORTOLIMA, en lo relacionado con los estudios y diseños, así como el registro fotográfico del proceso constructivo, se establece lo siguiente:

- Estudios y diseños.

Considerando la recopilación de información previa, que finalmente determino la(s) actividades y obras más adecuadas para resolver la necesidad del municipio de Villarrica, por parte de la firma encargada de realizar las actividades de consultoría del contrato No. 213 de 2018; y considerando que lo diseñado para las obras de mitigación temporal de la quebrada el Botadero, fue realizado con un periodo de retorno de 50 años, encontramos que si bien las obras han cumplido con su objeto; la lesiones encontradas, nos indican que el gavión no ha sido funcional, en lo relacionado con la permeabilidad; dado que se ha convertido en un obstáculo para el paso constante del flujo de la quebrada.

Pese a haberse adelantado jornadas de limpieza en las estructuras, no ha sido posible la permeabilidad del elemento; generando el cambio en el curso de la quebrada, ocasionando con ello los procesos erosivos, socavación y deformación de hidrobloc.

Ahora bien, la realización de mantenimientos periódicos (lavado a presión del gavión), resulta una labor desgastante e insostenible para la administración municipal, toda vez que es un municipio de categoría 6, cuyos ingresos anuales no son suficientes para mantener en el tiempo el sostenimiento de personal encargado para esta labor.

Por lo anterior, se recomienda adelantar las gestiones necesarias con la firma consultora (contrato 213-2018), para que realice las adecuaciones necesarias a sus diseños, en lo referente al muro en gavión, con el propósito de permitir el paso del flujo constante de la quebrada el Botadero.

- Proceso constructivo.

Pese a haberse buscado información existente en CORTOLIMA, en lo relacionado con el proceso constructivo, no se encontró información relevante que nos esboce la realidad durante el periodo de construcción de las obras de mitigación de la quebrada el Botadero.

Un incipiente registro fotográfico, es la escasa evidencia de las actividades constructiva, las cuales no muestran detalles de la realidad constructiva; adicional se buscó bitácora de obra que nos acercara a las actividades constructivas, pero no fue posible la existencia de ella.

Indagando con el supervisor de las obras; tampoco cuenta con evidencia o soportes de seguimiento de las actividades de obra, manifiesta no tener información, indica que esta reposa en el contratista e interventor de obras; adicional y no menos relevante la profesión (geólogo) del supervisor, no es garante de asegurar la fidelidad de las obras con respecto a los diseños; además de ubicarse en Ibagué y no en el sitio donde se establecen las obras Villarrica.

Revisando con el contratista e interventor, manifiestan haber realizado las obras de acuerdo a lo establecido en los diseños, asegurando la fidelidad a la hora de construir; aseguran que la falta de mantenimientos a las estructuras, es la causante de las lesiones que vienen mostrándose desde octubre de 2022; tampoco cuentan con copia de las fotografías del proceso constructivo, bitácora de obra o cualquier otro producto que muestre el seguimiento durante la ejecución de las obras.

En atención a lo encontrado y apoyados en la documentación técnica existente, fue deducido que:

Los diseños no contemplaron las condiciones administrativas del municipio, en lo referente al mantenimiento periódico y preventivo; se revisó el componente técnico, pero se desvaluó el administrativo, no menos importante y que ha contribuido con el avance de las lesiones presentes en las obras.

Con relación al tema de seguimiento y supervisión de las obras y teniendo en cuenta que estas, contaban con el apoyo de interventor de profesión Ingeniero Civil, la gran mayoría de las veces, la ejecución y seguimiento a las actividades de obra, quedan en manos de un oficial, el profesional contratado para tal fin, pocas veces hace presencia en el sitio de obra y la fidelidad en la ejecución con respecto a los diseños, se aleja de la realidad; donde para no ir más lejos, se colocó concreto en algunas articulaciones del muro de hidrobloc, restando la flexibilidad en el elemento y aportando una rigidez para la cual no fue diseñado.

Con respecto a la lesión más evidente y preocupante para lo relacionado con la estabilidad de la obra; la deformación de los sacos de hidrobloc; a consecuencia de la socavación que se viene dando a pocos meses de entregarse las obras, es resultado de un mal proceso constructivo, toda vez que los diseños contemplan la instalación de 6 (seis) sacos de hidrobloc, colocando el primero a 60 cm aprox. Por debajo del lecho de la quebrada; lo cual no se ha podido comprobar en ninguna de las visitas realizadas; en cada una de ellas, se cuentan cinco (5) sacos de hidrobloc, totalmente deformados; de haberse instalado los contemplados en el diseño, se podrían observar los seis (6) deformados; adicional al hecho de encontrar únicamente material del lecho de la quebrada, por debajo de los cinco (5) sacos de hidrobloc deformados.

De haberse colocado los seis (6) sacos de hidrobloc y a la profundidad establecida en los diseños, el proceso erosivo no hubiese causado la socavación que se observa; el flujo de la quebrada, se hubiese encontrado con un material impermeable (saco de hidrobloc); lo cual se consideró en los diseños, de allí la profundidad de colocación del muro de hidrobloc; el proceso

erosivo hídrico posiblemente se hubiese extendido, profundizando y ampliando el vaso de la quebrada, generando el estancamiento del agua; situación que indicaría un tipo de falla en los diseños únicamente.

Observando las únicas imágenes conseguidas del proceso constructivo, se pueden comprobar las hipótesis mencionadas, 1. La no colocación de los hidrobloc a la profundidad de diseño; si observamos la imagen de la derecha, en ella se evidencia que estos se colocaron a nivel del tercer (3) cuerpo de gavión y no como lo indicaban los diseños; 2. Se puede comprobar el hecho de haberse instalado cinco (5) y no seis (6) sacos de hidrobloc; no solo por no coincidir con la profundidad de diseño, sino que, de haberse colocado los seis (6) sacos de hidrobloc, partiendo del nivel de la imagen, estos hubiesen superado en altura por 60cm el muro en gavión (altura del saco de hidrobloc). (Ilustración 33).

Sumado a lo anterior, durante la ejecución de las obras se presentó la pandemia de COVID 19, situación que generó la suspensión de actividades de obra, lo que no solo afectó la programación y costos de obra, sino que también se vio representado en cambios en el personal de obra y el deterioro de las actividades, toda vez que debieron ser abandonadas, hasta que se reactivaron las actividades. Lo anterior se puede observar en la ilustración 27, donde el gavión muestra presencia de organismos vegetales en todo el elemento.

Ilustración 33.

Imagen proceso constructivo.



Fuente: CORTOLIMA.

- Deforestación.

Las rondas hídricas, cumplen una función vital en el ecosistema, son zonas de transición entre el cauce de la quebrada y la franja de protección donde se establecen especies vegetales arbóreas, arbustivas y arvenses, encargadas de absorber el agua, para que su infiltración no sea directa ocasionando inundaciones, sequías y procesos erosivos; a su vez, el sistema radicular, ofrece estabilidad al suelo, amarrando este a sus raíces, entre otras más ventajas.

Cuando estas se ven disminuidas o extinguidas, debido a cambios en el uso del suelo, todos los beneficios y/o ventajas se pierden, caso que ocurre en la ronda hídrica de la quebrada el Botadero; donde sobre toda la franja de protección se establecen cultivos de guanábano, se desarrollan actividades pastoriles, que lo único que aportan ambiental y socialmente, es el incremento en la energía del flujo de agua, durante las crecientes; situación que debe ser contrarrestada con obras como las objeto del presente estudio; concientizarnos con las inadecuadas acciones antrópicas, podrían disminuir y mitigar el riesgo que genera todas estas acciones equivocadas y direccionar mejor los recursos del Estado.

21. Análisis y propuesta de intervención.

Una vez realizado el seguimiento y revisión de lesiones en las obras de mitigación temporal sobre la quebrada el Botadero y a fin de devolver la estabilidad que se ha visto afectada, así como evitar que se pierda por completo el cuerpo de hidrobloc sobre el lado derecho del gavión y se continúe deformando sobre el lado izquierdo el muro de hidrobloc, se recomienda; realizar las reparaciones necesarias, a fin de reinstalar los sacos de hidrobloc conforme lo establecen los diseños; tanto en número de sacos, como en profundidad de instalación.

Ilustración 34.

Imagen intervención reparativa.



Fuente: Propia.

Con el fin de reparar los cuerpos de hidrobloc que actualmente se observan deformados, se debe retirar completamente los sacos que presentan deformación, a partir de donde se observa separación en “V” (línea roja vertical lado derecho imagen 34); seguidamente se debe realizar la excavación que se recomienda en estudios y diseños (área verde lado izquierdo imagen 34); posterior a ello se deben instalar seis (6) sacos de hidrobloc, no solamente reinstalar los cinco (5) que actualmente

se establecen en las obras, sino que debe adicionarse el que no fue colocado al momento de la construcción de las obras de mitigación.

Solicitar al diseñador, la pertinencia en la instalación de lloraderos en la estructura, a fin de disminuir la periodicidad de los mantenimientos y garantizar el paso controlado y constante del flujo de agua; si bien es cierto el muro en gavión, en la mayoría de los casos su uso regularmente es para contención de terrenos y control erosivo; en este caso su construcción buscaba garantizar un paso de flujo constante y controlado, ahora bien, la realidad observada ha sido muy diferente, dado que no está permitiendo el paso constante del agua, teniendo esta que direccionarse a los extremos del gavión, para socavar el lecho de la quebrada; por lo cual se recomienda que se revise la posibilidad de colocar tubos o aliviaderos a partir del nivel del lecho de la quebrada, que faciliten la limpieza, una vez se empieza a acumular sedimentos.

Ilustración 35.

Imagen propuesta de intervención.



Fuente: Imágenes de la Web.

Si bien es cierto, el mantenimiento y limpieza de la estructura hace parte de las recomendaciones dadas por parte del contratista y diseñador en acta de entrega de obras; estas

estructuras, pueden compenetrarse con la vegetación, sin que ello disminuya la estabilidad y la funcionalidad de las mismas; con lo cual se podrían disminuir la frecuencia y los costos por parte de la administración municipal en mantenimiento y limpieza.

Reforestar la franja de protección de la quebrada el Botadero, con la siembra de especies nativas, propias de zonas hídricas, buscando disminuir los procesos erosivos sobre los márgenes, controlar inundaciones y garantizando un flujo permanente; en la imagen 36, se propone la franja o área a reforestar; se deben retirar los frutales allí establecidos y reemplazarlos por la plantación de especies nativas de la región, ya que están mejor adaptadas al clima y ecosistema local.

Ilustración 36.

Imagen franja reforestación sobre quebrada el Botadero.



Fuente: Propia.

22. Conclusiones.

El estado actual de las obras de mitigación temporal sobre la quebrada el Botadero, vienen cumpliendo la función para la cual fueron construidas, ahora bien y considerando el avance en la socavación y deformación de los sacos de hidrobloc, se considera pertinente realizar la reparación de la estructura deformada, para devolver la estabilidad a las obras.

Se identifico la necesidad de solicitar al diseñador de las obras J.a.m. Ingeniería y Medio Ambiente, la instalación de lloraderos en estructura de contención, que garanticen el flujo constante de la quebrada el Botadero.

Reforestar franjas de protección de la quebrada el Botadero, apuntando a soluciones basadas en naturaleza (SBN), proteger los márgenes con vegetación y con alternativas amigables con el medio ambiente, disminuirá los procesos erosivos; los enrocados pueden ser una alternativa económica y viable.

Se realizaron fichas de las lesiones encontradas en las obras de mitigación temporal sobre la quebrada el Botadero.

La realización de las medidas correctivas y preventivas, contribuirá a garantizar la durabilidad, estabilidad y la funcionalidad de las obras de mitigación temporal sobre la quebrada el Botadero.

23. Referencias bibliográficas.

- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10: NSR-10.
- Contrato de obra No. 754-2019 “*Construcción de obras de mitigación temporal sobre la quebrada botadero y NN 1 en el municipio de Villarrica – Tolima*”.
- Contrato de consultoría No. 213-2018 “*Estudio hidrológico e hidráulico y elaboración de los diseños de las obras hidráulicas de protección y conducción de las quebradas el Botadero, NN1 y NN2 ubicadas al interior del perímetro urbano del municipio de Villarrica*”.
- Convenio Interadministrativo No. 9677-04-713-2014 “*Estudio para la evaluación de riesgo físico por movimientos en masa en el casco urbano a escala 1:2.000 y la zonificación de amenaza por movimientos en masa de parte de la zona rural a escala 1:10.000 en el municipio de Villarrica- Tolima, en el área delimitada y conforme a las especificaciones señaladas por la propuesta técnica presentada por el SGC*”.
- Enciclopedia Broto de patologías de la construcción. Sitio web.
https://higieneyseguridadlaboralcv.files.wordpress.com/2012/07/enciclopedia_broto_de_patologias_de_la_construccion.pdf.
- Remociones en masa online (2008). sitio web.
https://www.ucursos.cl/ingenieria/2008/1/GL62C/1/material_docente/bajar?id=159913.
- Análisis de los factores y evaluación de riesgos en taludes geológicos: Criterios de daños y mitigación (2023). Sitio web. <https://www.codeauni.com/comunidad/blog/258/>.
- Muros de contención – Qué son y qué tipos existen (2019). Sitio web.
<https://cimentacionespecial.es/blog/muros-de-contencion/>
- Proyecto de construcción de un muro de gaviones de 960 m3 (2008). Sitio web.
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6034/construcci%C3%B3n-muro-gaviones.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Los%20muros%20de%20contenci%C3%B3n%20de%20gaviones%20son%20estructuras%20de%20gran,con%20bloques%20sanos%20de%20roca>.
- Mapa de Villarrica Tolima.
https://satellites.pro/mapa_de_Villarrica.Colombia#3.938500,-74.598973,19.