

**Propuesta de optimización de la red de alcantarillado de la vereda Morca, del
municipio de Sogamoso – Boyacá empleando el software SewerCAD**

Xiomara Daniela Parra Monroy
Xiomara Lucia Alcantar Junco

Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Ingeniería Sanitaria
Tunja
2024

**Propuesta de optimización de la red de alcantarillado de la vereda Morca, del
municipio de Sogamoso – Boyacá empleando el software SewerCAD**

Xiomara Daniela Parra Monroy

Xiomara Lucia Alcantar Junco

**Trabajo de grado para optar al título de:
Ingeniero Sanitario**

Director (a):

David Felipe Bermúdez Duarte

Ing. Ambiental y Sanitario

**Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Ingeniería Sanitaria**

Tunja

2024

Nota de aceptación:

Firma presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, 05 de junio del 2024

“Únicamente el graduando es responsable de las ideas expuestas en el presente trabajo”

(Lineamientos constitucionales, legales e institucionales que rigen la propiedad intelectual).

Este proyecto de grado es un homenaje a nuestros padres para honrar cada uno de sus esfuerzos en la búsqueda de desarrollo profesional y personal. Su apoyo ha sido fundamental para alcanzar a ser personas integra con conocimientos morales e inquebrantables, igualmente está dedicado a nuestros hermanos por la paciencia en todo ese tiempo que hemos vivido, por darnos la mano en momentos cuando lo necesitamos.

Los momentos no nos los quita nadie y la sensación de tener todo cerca siempre fue más que las palabras. De igual manera agradecemos a nuestros familiares y amigos que nos dieron su apoyo de una forma u otra durante todo el recorrido que hemos vivido durante todos estos años.

Agradecimientos

Agradecemos a nuestros profesores de cada materia vista, ya que nos mostraron un amplio mundo de la Ingeniería Sanitaria y sus diferentes matices.

Por último y no menos importante a la comunidad del sector de la vereda de Morca, del municipio de Sogamoso, por brindarnos su disposición y colaboración frente al desarrollo del trabajo de grado.

Contenido

| | Pág. |
|--|------|
| Introducción..... | 18 |
| Diagnóstico del alcantarillado actual de la vereda de Morca del municipio Sogamoso. | 20 |
| Localización | 20 |
| División político administrativa | 20 |
| Generalidades | 21 |
| Climatología | 21 |
| Precipitación | 22 |
| Hidrografía | 25 |
| Hidrología..... | 26 |
| Geología y suelos | 33 |
| Topografía | 35 |
| Aspectos socioeconómicos..... | 35 |
| Estado actual del servicio del alcantarillado sanitario..... | 36 |
| Catastro de la red de alcantarillado inventario de colectores y pozos | 37 |
| Áreas de drenaje | 45 |
| Sistema de tratamiento de aguas residuales..... | 47 |
| Proyecciones de poblaciones y demanda..... | 47 |
| Caudales de descarga (cálculo de caudales)..... | 51 |
| Caudal para aguas residuales domesticas | 52 |
| Aguas residuales industriales (QI)..... | 52 |
| Caudal de aguas residuales comerciales (QC)..... | 52 |
| Caudal de aguas residuales institucionales (Qin) | 53 |
| Caudal medio diario de aguas residuales..... | 53 |
| Factor de mayoración | 53 |
| Caudal máximo horario. | 54 |
| Caudal de aguas residuales por conexiones erradas. | 54 |
| Modelación del sistema de alcantarillado actual | 59 |
| Resultados de modelación del catastro actual en diferentes tiempos de retorno..... | 62 |

| | |
|--|-----|
| Escenario 1 -Periodo de retorno 2 años | 62 |
| Escenario 2-Periodo de retorno de 5 años | 73 |
| Escenario 3 periodo de retorno 10 años | 85 |
| Planteamiento, análisis y selección de alternativas | 98 |
| Planteamiento alternativas de alcantarillado | 98 |
| Alternativa 1 | 99 |
| Alternativa 2 | 99 |
| Alternativa 3 | 100 |
| Aspectos técnicos | 101 |
| Área requerida | 101 |
| Materiales y equipos a usar (fácil y no costosa adquisición) | 102 |
| Flexibilidad de ajustes y ampliación | 102 |
| Requerimientos de bombeo | 102 |
| Facilidad y flexibilidad de operación | 102 |
| Facilidad y flexibilidad de mantenimiento | 102 |
| Durabilidad | 103 |
| Aspectos de orden socio-ambientales..... | 103 |
| Requerimientos de energía | 103 |
| Generación de contaminación | 104 |
| Generación de empleo de trabajadores de localidad | 104 |
| Generación de obstrucciones del espacio público | 104 |
| Contaminación de cursos de agua superficial | 104 |
| Cambios en el paisaje | 104 |
| Contaminación y daños al suelo | 104 |
| Incidencias sobre la flora y fauna..... | 105 |
| Generación de contaminación | 105 |
| Generación de empleo de trabajadores de localidad | 105 |
| Calidad de vida..... | 105 |
| Contaminación de cursos de agua superficial | 105 |
| Cambios en el paisaje | 106 |
| Contaminación y daños al suelo | 106 |

| | |
|--|-----|
| Volumen de residuos sólidos generados..... | 106 |
| Aspectos económicos | 106 |
| Valor de la tierra a adquirir | 107 |
| Costos de construcción | 107 |
| Costos de operación y mantenimiento..... | 107 |
| Selección de alternativas | 116 |
| Conclusiones..... | 118 |
| Recomendaciones | 120 |
| Anexos | 124 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Información de las estaciones..... | 27 |
| Tabla 2. Valores mensuales de precipitación de la Estación Monguí | 30 |
| Tabla 3. Inventario de pozos existentes en el área de influencia..... | 38 |
| Tabla 4. Inventario de conductos existentes en el área de influencia..... | 41 |
| Tabla 5. Método aritmético | 48 |
| Tabla 6. Método geométrico..... | 49 |
| Tabla 7. Método exponencial | 50 |
| Tabla 8. Caudal por tramos del sistema..... | 56 |
| Tabla 9. Cálculos hidráulicos de la modelación en el escenario 1 | 72 |
| Tabla 10. Resultado parámetros hidráulicos escenario 2 | 84 |
| Tabla 11. Resultados de los parámetros hidráulicos escenario 3 | 96 |
| Tabla 12. Alternativa 1 | 99 |
| Tabla 13. Alternativa 2 | 100 |
| Tabla 14. Alternativa 3 | 100 |
| Tabla 15. Análisis comparativo de materiales..... | 108 |
| Tabla 16. Matriz de evaluación alternativas de alcantarillado | 109 |
| Tabla 17. Matriz y ponderación de las alternativas | 110 |

Lista de figuras

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Localización general del proyecto | 20 |
| Figura 2. División político administrativa de Sogamoso | 21 |
| Figura 3. Temperatura de Sogamoso – Boyacá..... | 22 |
| Figura 4. Precipitación de Sogamoso | 23 |
| Figura 5. Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas..... | 23 |
| Figura 6. Precipitaciones presentadas durante el año | 24 |
| Figura 7. Curvas IDF | 25 |
| Figura 8. Hidrografía de Morcá..... | 26 |
| Figura 9. Distribución espacial de las estaciones | 27 |
| Figura 10. Precipitaciones en el transcurso del año | 29 |
| Figura 11. Geología de la zona de estudio..... | 34 |
| Figura 12. Topografía de la vereda Morca y sector el portillo..... | 35 |
| Figura 13. Catastro de redes de alcantarillado actúa del centro poblado Morca y Sector el portillo | 38 |
| Figura 14. Estado actual de los Pozos | 40 |
| Figura 15. Estado actual del alcantarillado..... | 43 |
| Figura 16. Diámetros de conductos en el área de estudio | 44 |
| Figura 17. Áreas de drenaje en el área de estudio | 46 |
| Figura 18. Métodos de proyección | 51 |
| Figura 19. Topología de Modelo | 61 |
| Figura 20. Velocidad escenario 1 | 63 |
| Figura 21. Capacidad hidráulica escenario 1 | 65 |
| Figura 22. Caudal transportado escenario 1 | 67 |
| Figura 23. Numero de froude escenario 1 | 69 |
| Figura 24. Fuerza Tractiva escenario 1 | 71 |
| Figura 25. Velocidad escenario 2 | 75 |
| Figura 26. Capacidad hidráulica escenario 2..... | 77 |
| Figura 27. Caudal transportado | 79 |

| | |
|---|----|
| Figura 28. Numero de Froude escenario 2 | 81 |
| Figura 29. Fuerza tractiva escenario 2..... | 83 |
| Figura 30. Velocidad escenario 3 | 87 |
| Figura 31. Capacidad hidráulica escenario 3..... | 89 |
| Figura 32. Caudal transportado escenario 3 | 91 |
| Figura 33. Numero de Froude escenario 3 | 93 |
| Figura 34. Fuerza tractiva escenario 3..... | 95 |
| Figura 35. Proyección de colectores planteados..... | 98 |

Lista de anexos

| | Pág. |
|--|------|
| Anexo A. Anteproyecto..... | 125 |
| Anexo B. Levantamiento topográfico detallado centro poblado de morca - el portillo Sogamoso – Boyacá | 145 |
| Anexo C. Catastro de redes de alcantarillado del centro poblado de morca – el portillo Sogamoso – Boyacá | 146 |
| Anexo D. Planos tiempo de retención 2 años..... | 147 |
| Anexo E. Planos tiempo de retención 5 años | 148 |
| Anexo F. Planos tiempo de retención 10 años | 149 |

Glosario

Aguas residuales: se refiere a aguas las cuales han sido utilizadas en actividades humanas y que como resultado han adquirido contaminantes, las cuales las hacen inadecuadas para. (Davis ,2019).

Alcantarillado: es un sistema de infraestructura que comprende a una red de tuberías, pozos de inspección, colectores y estaciones de bombeo, diseñado para la recolección, transporte y tratamiento de aguas residuales y pluviales, con el fin de proteger la salud pública y el medio ambiente. (Tchobanoglous et al., 2003).

Caudal: es el volumen de agua que fluye por una sección determinada de una corriente o conducto por un tiempo determinado. (Chanson, 2004)

Colector: es la tubería principal en un sistema de alcantarillado, el cual, es el encargado de recoger y transportar las aguas residuales desde varios tramos hacia la planta de tratamiento o el punto de vertido. (Menon, 2011)

Conductos: los conductos son tuberías utilizadas en los sistemas de alcantarillado con el fin de transportar ya sea aguas residuales o pluviales desde su origen hasta el destino final. (Donald y Hobart, 2012)

Modelo: un modelo es la representación simplificada de un sistema, proceso o fenómeno del mundo real, el cual, es utilizado para estudiar el comportamiento, realizar predicciones y es influyente en la toma de decisiones. Den el contexto científico, los modelos pueden ser físicos, matemáticos, computacionales o conceptuales y se construyen utilizando datos, teorías y suposiciones relevantes. (Banks et al. 2005)

Pozos de inspección: es una estructura construida en el sistema de alcantarillado para permitir el acceso a las tuberías con el propósito de inspeccionar, limpiar y mantener el

sistema. Estos pozos están diseñados para facilitar el mantenimiento y la reparación e la red de alcantarillado. (Hammer y Hammer, 2014).

Salud Pública: la salud pública es el campo de estudio y practica que se enfoca en la promoción, protección y mejora de la salud de las poblaciones y comunidades. Se logra, por medio de intervenciones políticas destinadas a prevenir enfermedades, prolongar la vida y fomentar estilos de vida saludables, así mismo, mediante la vigilancia y el control de enfermedades y lesiones. (Turnock, 2016).

Tramos: son segmentos de tuberías en un sistema de alcantarillado, los cuales, conectan a puntos de entrada y salida, que pueden tener diferentes características hidráulicas. (Butler y Davies, 2000)

Vertimiento: es la liberación controlada de aguas residuales tratadas o no tratadas al medio ambiente, generalmente transportada por medio de un sistema de alcantarillado o directamente a cuerpos de aguas. (Tchobanoglous et al., 2003).

Resumen

Propuesta de optimización de la red de alcantarillado de la vereda Morca, del municipio de Sogamoso-Boyacá empleando el software SewerCAD:

El presente trabajo de grado expone el actual estado de la red sanitaria en la vereda de Morca del municipio de Sogamoso en el departamento de Boyacá, donde el principal objetivo es proponer una solución integral para optimizar el sistema actual de alcantarillado actual del sector.

Para dar desarrollo al proyecto, inicialmente se realiza un análisis del estado actual del sistema de alcantarillado, donde se identifican aquellos puntos críticos en el sistema, problemas de funcionamiento y continuidad del mismo, donde se analizan las características hidráulicas del terreno y las condiciones climáticas.

Posteriormente y con base en el diagnóstico realizado se desarrolla una modelación del sistema actual en el software SewerCAD en condiciones reales, donde se generan resultados pertinentes para observar el comportamiento de la red sanitaria, de igual forma, permite la evaluación de la eficiencia basados en los resultados generados en dicha modelación.

Finalmente, basados en los resultados generados por el modelo y considerando el diagnóstico, donde fue pertinente tomar el RAS 2000 y sus modificaciones, donde se plantea la propuesta que mejor se adapte a las condiciones del sistema, minimizando costos y tiempo.

Palabras Clave: Red sanitaria, normativa, catastro, modelación, drenaje, saneamiento, alcantarillado, aguas residuales.

Abstract

Proposal for the optimization of the sewerage network in the Morca district of the municipality of Sogamoso- Boyacá using SewerCAD software:

The present degree work exposes the current state of the sanitary network in the Morca district of the municipality of Sogamoso in the department of Boyacá, where the main objective is to propose a comprehensive solution to optimize the current sewage system of the sector.

To develop the project, initially an analysis of the current state of the sewage system is carried out, where those critical points in the system, problems of operation and continuity of the system are identified, where the hydraulic characteristics of the terrain and the climatic conditions are analyzed.

Subsequently, and based on the diagnosis made, a modeling of the current system is developed in the SewerCAD software in real conditions, where pertinent results are generated to observe the behavior of the health network, in the same way, it allows the evaluation of efficiency based on the results generated in said modeling.

Finally, based on the results generated by the model and considering the diagnosis, where the RAS 2000 and its modifications were relevant, the proposal that best adapts to the conditions of the system is proposed, minimizing costs and time.

Keywords: health network, normative, cadastre, modeling, sewer system, sanitation, sewage water.

Introducción

Actualmente, la implementación de sistemas de abastecimiento de agua y de saneamiento, son factores importantes en la conservación del bienestar de los pueblos y que en mayor grado disfrutan los países desarrollados. El estudio se basó en las investigaciones, con relación en el campo de saneamiento y específicamente el transporte de aguas residuales, para los cuales en la mayorías de los casos, busca la incorporación de tuberías complementarias, ampliación de diámetros en sectores pertinentes y mejoramiento del diseño del sistema en general, partiendo de la recolección de información primaria y secundaria, tomando en cuenta la normativa vigente no solo para generar modelos donde se simule en condiciones reales el comportamiento de la estructura, asimismo, busca garantizar a las comunidades una red eficiente.

Pues bien, morca siendo un lugar tan importante para el municipio de Sogamoso, departamento de Boyacá, se puede evidenciar la ausencia de una red de alcantarillado eficiente, lo cual, refleja la poca gestión sobre el manejo de las aguas residuales. Es evidente la necesidad de diseñar e implementar un sistema de alcantarillado que no solo cumpla con estándares técnicos elevados, sino que también se ajuste a las realidades y necesidades específicas de la comunidad.

Por tal motivo, se ve pertinente, en un enfoque metodológico del presente trabajo, es de carácter experimental y aplicada pues será necesario el uso de herramientas y técnicas para la recolección de información que serán aplicadas para dar solución al objetivo general, por consiguiente, se debe realizar una revisión bibliográfica acerca de optimización de alcantarillados, donde es pertinente identificar puntos críticos en la zona de estudio, posteriormente se aplicará un modelo con los parámetros establecidos para conocer el comportamiento de la red bajo condiciones reales mediante el software SewerCAD, generando resultados en cuanto a parámetros operacionales y de eficiencia dentro del sistema.

Posteriormente, según los resultados de la modelación presentada del sistema actual de alcantarillado, se propone y se sugiere la implementación 1409.34 metros de tuberías y de 31 pozos nuevos de inspección, el cual mantendrá el régimen de alcantarillado combinado, pero será en material PVC, con esto ya no se realizarían vertimientos inadecuados a predios

baldíos o privados, y al contrario se conduciría de manera unificada hacia la Quebrada las Torres.

Diagnóstico del alcantarillado actual de la vereda de Morca del municipio Sogamoso

Localización

La vereda Morca se encuentra en el municipio de Sogamoso, ubicado a una latitud de 5.71667 y una longitud de -72.90004, con una altitud de 2.569 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Sogamoso está situado aproximadamente a 80 kilómetros de Tunja, la capital del departamento de Boyacá como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Localización general del proyecto



Fuente: Google Earth. (2023)

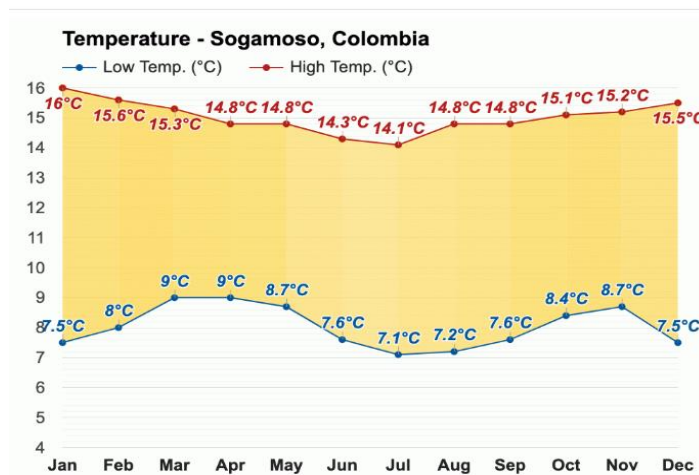
División político administrativa

Como se puede observar en la figura 5, limita al norte con el sector de San José, al noroccidental con La Ramada, en la zona sur occidental limita con Ombachita, al sur con El Motiñal, y al oriente con el municipio de Tópaga.

climáticas similares a la primavera. Desde el mediodía hasta las 5 pm se asemeja al verano, seguido de características otoñales hasta las 10 u 11 pm. El punto más bajo es alrededor de las 3 am., pudiendo llegar a cero grados e incluso menos. Atribuido a la altitud en la que se encuentra ubicado el municipio referente al nivel del mar.

Figura 3

Temperatura de Sogamoso – Boyacá



Fuente: secretaria de Salud de Sogamoso. (2019). Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de Salud, municipio de Sogamoso Boyacá 2019. Secretaria de Salud

Precipitación

De acuerdo a la figura 5, la temporada más mojada se extiende, desde marzo hasta junio y desde septiembre hasta noviembre, sin embargo, el mes con más días de solo lluvia en Sogamoso es abril. Por otro lado, la temporada más seca abarca desde diciembre hasta febrero. El mes con la menor cantidad de días mojados en Sogamoso es enero.

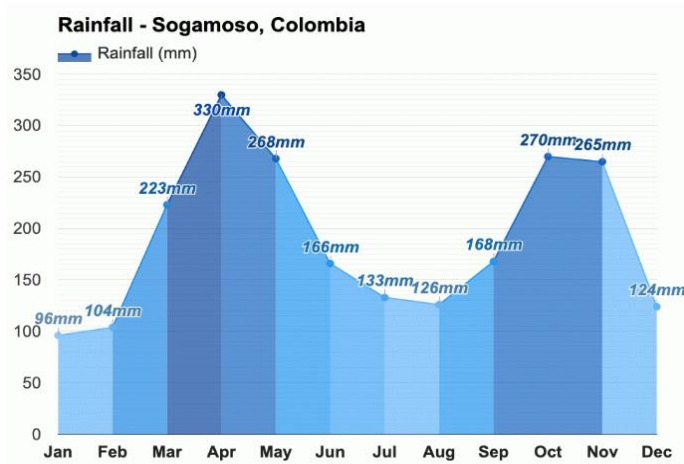
Esta información sobre la distribución y frecuencia de días mojados y el tipo de precipitación puede ser valiosa para diversas actividades y planificación, ya que permite tener en cuenta los patrones climáticos para diferentes propósitos, como agricultura, gestión del agua y desarrollo de proyectos en la región.

Debe usarse en la estimación del caudal pico de aguas lluvias, corresponde a la intensidad media de precipitación dada por la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia

(IDF) para el periodo de retorno de diseño definido y una precipitación equivalente al tiempo de concentración de la escorrentía.

Figura 4

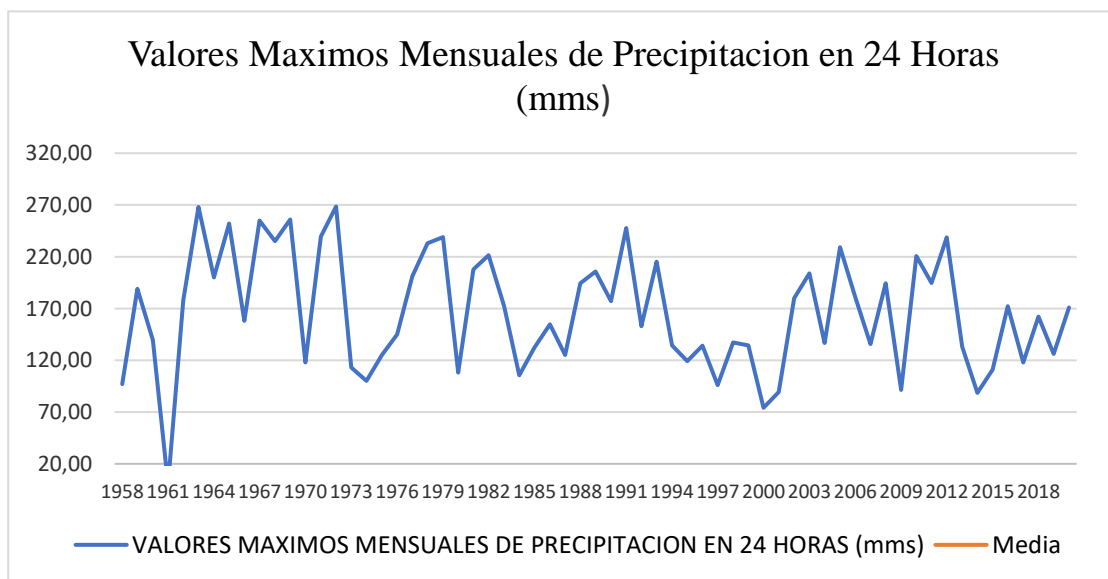
Precipitación de Sogamoso



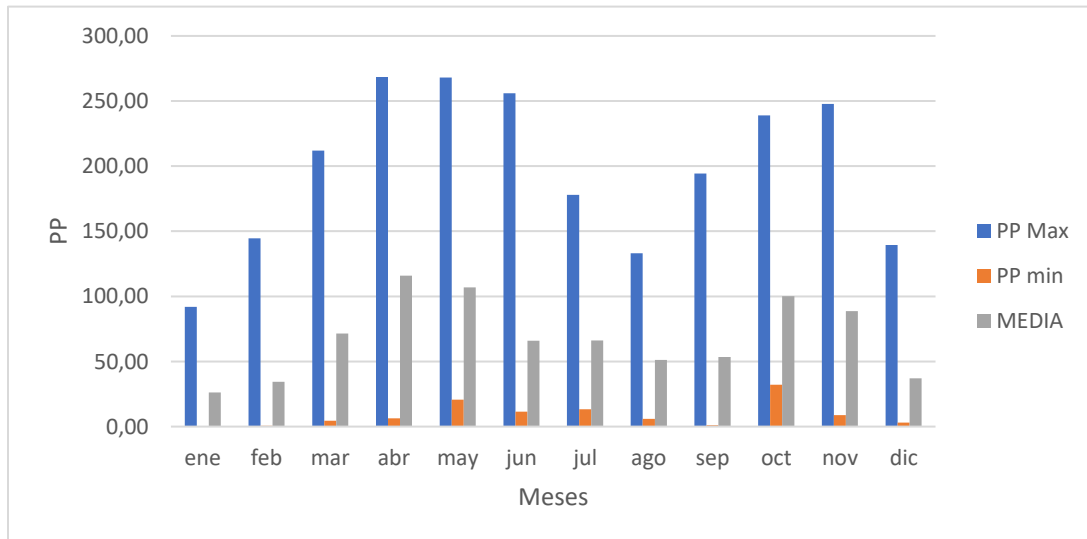
Fuente: secretaria de Salud de Sogamoso. (2019). *Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de Salud, municipio de Sogamoso Boyacá 2019*. Secretaria de Salud

Figura 5

Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas.

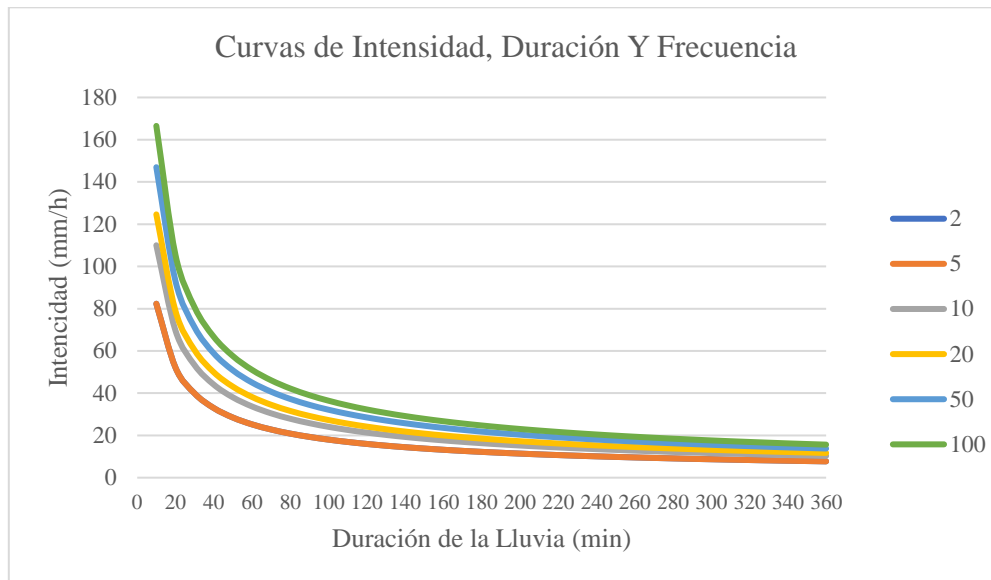


Fuente: Autores

Figura 6*Precipitaciones presentadas durante el año*

Fuente: Autores

De acuerdo a los valores de precipitación, presentados por la Estación Monguí, se realizan las Curvas IDF, las cuales nos proporcionan valores de intensidad, frecuencia y duración de la lluvia. La curva IDF típica muestra cómo la intensidad de la lluvia varía con la duración del evento y la probabilidad de que ocurra dicho evento en un período de tiempo dado. Estas curvas son fundamentales en el diseño de infraestructuras hidrológicas y de drenaje, como sistemas de alcantarillado, presas, y para evaluar riesgos de inundaciones.

Figura 7*Curvas IDF*

Fuente: Autores

Hidrografía

Según la información descrita en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), del año 2017, del municipio de Sogamoso, se reporta que la Quebrada las Torres en las proximidades del centro poblado de Morcá. Esta Corriente a la cual llegan los vertimientos de la mayoría de las explotaciones de carbón del área de Morcá. De igual forma se ubica como una de las corrientes más importantes dentro del municipio de Sogamoso esta tiene un recorrido aproximado de 6 kilómetros de oriente a occidente. Así como se observa en la siguiente figura.

Figura 8*Hidrografía de Morcá*

Fuente: Municipio de Sogamoso. (2012). *Plan de Desarrollo Municipal. Sogamoso- Boyacá*.
<https://sogamoso.org/PDM-SOGAMOSO-2012-2015/1%20-%20GENERALIDADES.pdf>

Hidrología

Información hidroclimatológica. En la zona de estudio se dispone de varias estaciones hidrometeorológicas que permiten caracterizar los regímenes de las principales variables climáticas e hidrométricas: precipitación, evaporación, humedad relativa, temperatura y caudales.

Como se evidencia en la Tabla 1. Se relaciona las estaciones más cercanas al proyecto, además se relacionan las características principales de las estaciones empleadas en este estudio y en la siguiente tabla se presenta su localización respecto a la zona de estudio. Esta estación es operada por el IDEAM.

Estaciones cercanas al proyecto

Tabla 1

Información de las estaciones

| Municipio | Nombre | COD | Categoría | Altitud | Coordenadas |
|-----------|--------|----------|------------------------|---------|----------------------|
| Monguí | Monguí | 24035150 | Climática Principal | 2530 | 5.781583° 72.894306° |

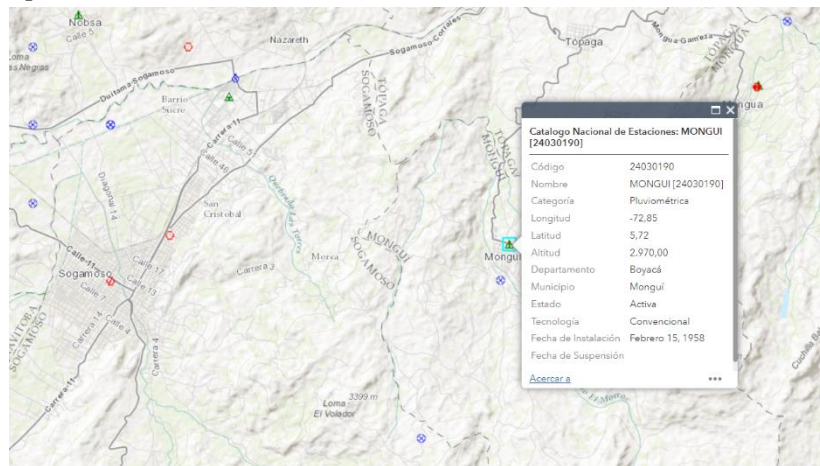
Fuente: IDEAM – adaptada por Autor

Se entiende como estación meteorológica al equipo de medición con el que se hacen observaciones y mediciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos en un sitio determinado, con el fin de establecer el comportamiento atmosférico en las diferentes zonas de un territorio.

En la siguiente figura 9, se puede observar la distribución espacial de las estaciones que tienen influencia en el área de trabajo definida.

Figura 9

Distribución espacial de las estaciones



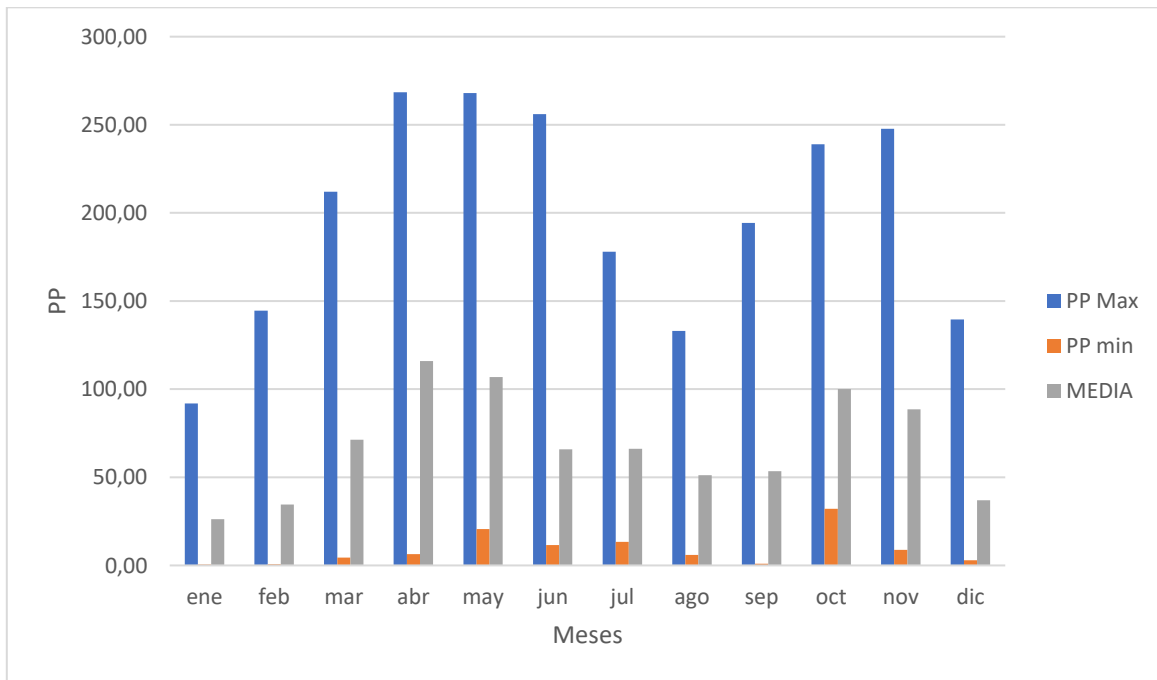
Fuente: VISOR CNE Catálogo Nacional de Estaciones, 2024

Análisis estaciones pluviométricas. Con relación a la información de precipitación empelada, se usa con la Estación Belencito la cual tiene un periodo de datos más robusto que

estaciones aledañas, sumado a que dicha estación se encuentra cercana al punto de interés de la quebrada Las Torres.

La hidrología para el diseño de estructuras se puede definir como la estimación de la escorrentía máxima de un área o cuenca aportante para un período de retorno o de recurrencia definido. Para poder evaluar la cantidad de agua superficial en un punto de interés es necesario efectuar un estudio hidrológico del área que drena en el tramo en estudio. En este capítulo se estimará la cantidad de agua lluvia que se convierte en escorrentía a lo largo de la vía objeto de este estudio.

Información analizada. La distribución temporal o comportamiento durante el año es de tipo bimodal, es decir, hay dos periodos húmedos y dos periodos secos. Las lluvias comienzan en el mes de marzo y van aumentando hasta llegar al tope máximo en el mes de mayo, presentando valores promedio de 106.8 mm, durante este primer periodo húmedo se mantiene las lluvias pues se presentan altas precipitaciones. Durante el mes de junio hasta el mes de septiembre se presenta un periodo de estiaje, con precipitaciones promedio mínimas de 68.85 mm siendo el mes de agosto el más crítico, con precipitaciones de 51.17 mm y desde el mes de octubre hasta el mes de diciembre se genera la segunda época húmeda del año, presentando la mayor precipitación promedio en el mes de diciembre de 37.05 mm. Finalmente, para completar el ciclo entre el mes de enero y febrero se presenta otro periodo de sequía siendo, con precipitaciones de 26.19 y 34.84 mm.

Figura 10*Precipitaciones en el transcurso del año*

Fuente: Autores

Tabla 2*Valores mensuales de precipitación de la Estación Monguí***Valores Máximos Mensuales de Precipitación en 24 Horas (mms)**

Fecha de Proceso:

Estación: Monguí [24030190]

| | | | | | | | |
|------------------|-------------|------------------|---------------------|------------------|--------|--------------------------|-----------|
| <u>Latitud</u> | 5,724555556 | <u>Tipo Est:</u> | Climática Principal | <u>Depto.</u> | Boyacá | <u>Fecha-Instalación</u> | 4/05/1971 |
| <u>Longitud</u> | -72,8478611 | <u>Entidad</u> | 01 IDEAM | <u>Municipio</u> | Mongua | <u>Fecha-Suspensión</u> | |
| <u>Elevación</u> | 2970 | <u>Regional</u> | Boyacá-Casan | | | | |

| Año | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | MAX |
|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1958 | | 34,00 | 14,00 | 48,00 | 86,00 | 62,00 | 23,00 | 59,00 | 28,00 | 97,00 | 29,00 | 50,00 | 97,00 |
| 1959 | 7,00 | 15,00 | 29,00 | 25,00 | 117,00 | 42,00 | 87,00 | 50,00 | 75,00 | 189,00 | 69,00 | 25,00 | 189,00 |
| 1960 | 42,00 | 25,00 | 116,00 | 34,00 | 97,00 | 44,00 | 130,00 | 71,00 | 41,00 | 126,00 | | 139,50 | 139,50 |
| 1961 | | | | | | | | | | | | | 0,00 |
| 1962 | 58,00 | 18,00 | 110,00 | 34,00 | 178,00 | 106,00 | 128,00 | 22,00 | 28,00 | 94,00 | 114,00 | 36,00 | 178,00 |
| 1963 | 6,00 | 10,00 | 24,00 | 208,00 | 268,00 | 126,00 | 64,00 | 54,00 | 40,00 | 116,00 | 60,00 | | 268,00 |
| 1964 | | | | 112,00 | 200,00 | 112,00 | 124,00 | 32,00 | 40,00 | 100,00 | 80,00 | 8,00 | 200,00 |
| 1965 | | | 8,00 | 252,00 | 140,00 | | 16,00 | 48,00 | | 74,00 | 188,00 | 78,00 | 252,00 |
| 1966 | | 16,00 | 108,00 | 56,00 | 140,00 | 56,00 | 26,00 | 36,00 | 40,00 | 158,00 | 50,40 | 127,00 | 158,00 |
| 1967 | 5,00 | 25,00 | 212,00 | 255,00 | 131,00 | 134,00 | 178,00 | 12,00 | 119,00 | 60,00 | 100,00 | 20,00 | 255,00 |
| 1968 | 17,00 | 35,00 | 35,00 | 235,00 | 130,00 | 125,00 | 78,00 | 40,00 | 25,00 | 77,00 | 65,00 | 10,00 | 235,00 |
| 1969 | 90,00 | 10,00 | 5,00 | 221,00 | 187,00 | 256,00 | 61,00 | 133,00 | 51,00 | 207,00 | 112,00 | 5,00 | 256,00 |
| 1970 | 30,50 | 59,00 | 29,00 | 8,00 | 71,00 | 93,00 | 83,00 | 78,00 | 82,50 | 108,50 | 118,00 | 29,00 | 118,00 |
| 1971 | 78,00 | 99,00 | 148,50 | 149,50 | 239,50 | 47,00 | 88,50 | 83,00 | 105,50 | 107,50 | 36,50 | 30,00 | 239,50 |
| 1972 | 87,00 | 33,50 | 115,00 | 268,50 | 81,50 | 108,00 | 43,00 | 13,00 | 39,00 | 48,00 | 49,00 | 23,00 | 268,50 |
| 1973 | 10,00 | | 49,00 | 50,00 | 36,00 | 50,00 | 36,00 | 57,00 | 74,00 | 106,00 | 113,00 | 57,00 | 113,00 |
| 1974 | 18,00 | 63,00 | 90,00 | 70,00 | 88,00 | 45,00 | 67,00 | 32,00 | 100,00 | 56,00 | 94,00 | 12,00 | 100,00 |
| 1975 | | 47,00 | 23,00 | 82,00 | 73,00 | 73,00 | 70,00 | 32,00 | 80,00 | 125,00 | 72,00 | 92,00 | 125,00 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 1976 | 12,00 | 31,00 | 131,00 | 110,00 | 36,00 | 94,00 | 145,00 | 47,00 | 41,80 | 127,00 | 104,00 | 49,00 | 145,00 |
| 1977 | | | 60,00 | 102,00 | 108,00 | 76,00 | 40,00 | 82,00 | 90,00 | 115,00 | 201,00 | 23,00 | 201,00 |
| 1978 | 2,00 | 25,00 | 81,00 | 233,00 | 95,00 | 69,00 | 56,00 | 60,00 | 121,00 | 120,00 | 92,00 | 27,00 | 233,00 |
| 1979 | | 13,00 | 134,00 | 162,00 | 108,00 | 167,00 | 82,00 | 51,00 | 51,00 | 239,00 | 187,00 | 29,00 | 239,00 |
| 1980 | 17,00 | 61,00 | 11,00 | 40,00 | 56,00 | 106,00 | 89,00 | 56,00 | 82,00 | 108,00 | 65,00 | 3,00 | 108,00 |
| 1981 | 8,00 | 22,50 | 19,00 | 154,70 | 207,80 | 68,70 | 68,20 | 68,60 | 72,40 | 118,80 | 51,10 | 26,00 | 207,80 |
| 1982 | 2,10 | 49,70 | 105,70 | 221,30 | 135,80 | 20,40 | 33,00 | 62,30 | 32,50 | 135,10 | 101,90 | 20,90 | 221,30 |
| 1983 | | 23,20 | 43,20 | 172,50 | 145,80 | 29,90 | 49,10 | 42,10 | 24,00 | 63,70 | 41,00 | 28,90 | 172,50 |
| 1984 | 17,30 | 25,30 | 9,40 | 105,50 | 83,80 | 11,50 | 29,20 | 104,40 | 61,60 | 32,20 | 83,50 | 13,40 | 105,50 |
| 1985 | 19,50 | 25,70 | 64,30 | 52,50 | 90,50 | 32,60 | 42,00 | 54,50 | 90,30 | 132,30 | 42,10 | | 132,30 |
| 1986 | 8,50 | 144,50 | 92,60 | 151,70 | 54,60 | 71,40 | 107,40 | 73,00 | 13,00 | 154,80 | 68,60 | | 154,80 |
| 1987 | | | 33,00 | | 125,20 | | 103,30 | 90,30 | 67,20 | 91,90 | 114,30 | 27,90 | 125,20 |
| 1988 | | 23,80 | | 67,60 | 80,60 | 15,30 | 104,20 | 31,30 | 194,30 | 153,90 | 41,40 | 18,50 | 194,30 |
| 1989 | | 20,50 | 167,30 | 19,20 | 205,70 | 56,60 | 44,80 | 20,80 | 71,00 | 44,90 | 53,20 | 21,40 | 205,70 |
| 1990 | 6,40 | 44,00 | 130,70 | 177,10 | 80,50 | 46,90 | 54,70 | 36,30 | 9,80 | 99,20 | 154,30 | 79,80 | 177,10 |
| 1991 | 33,80 | 12,20 | 120,50 | 122,30 | 127,60 | 21,70 | 53,70 | 41,20 | 50,10 | 45,00 | 247,70 | 61,40 | 247,70 |
| 1992 | 0,50 | 39,90 | 33,70 | 116,00 | 56,80 | 16,70 | 65,00 | 59,80 | 84,70 | 45,20 | 152,80 | 21,30 | 152,80 |
| 1993 | 18,10 | 42,30 | 45,60 | 147,00 | 215,30 | 59,90 | 106,80 | 16,00 | 27,80 | 59,10 | 131,70 | 18,60 | 215,30 |
| 1994 | 31,20 | 59,00 | 112,10 | 87,00 | 134,30 | 42,10 | 56,70 | 72,60 | 39,90 | 102,20 | 83,80 | | 134,30 |
| 1995 | 0,50 | 79,00 | 74,20 | 76,50 | 64,30 | 119,10 | 48,70 | 45,10 | 24,80 | 18,60 | 8,90 | 86,80 | 119,10 |
| 1996 | 91,90 | 44,50 | 131,90 | 80,40 | 78,30 | 50,30 | 107,80 | 59,20 | 28,20 | 134,20 | 41,30 | 19,80 | 134,20 |
| 1997 | 31,50 | 0,60 | 66,30 | 59,20 | 95,90 | 84,30 | 85,10 | 27,40 | 32,10 | 49,30 | 44,20 | 13,70 | 95,90 |
| 1998 | 7,10 | 25,50 | 61,40 | 132,00 | 137,20 | 58,10 | 74,70 | 69,60 | 92,50 | 109,40 | 28,70 | 92,40 | 137,20 |
| 1999 | 57,20 | 63,20 | 77,30 | 106,30 | 20,60 | 66,30 | 62,40 | 90,10 | 134,40 | 82,30 | 64,30 | 14,80 | 134,40 |
| 2000 | 49,00 | 63,50 | 67,40 | 69,30 | 29,00 | 46,20 | 57,10 | 53,80 | 70,10 | 74,20 | 40,10 | 9,60 | 74,20 |
| 2001 | 0,50 | 44,10 | 14,20 | 6,40 | 52,60 | 39,80 | 59,10 | 38,00 | 70,70 | 49,90 | 39,50 | 89,20 | 89,20 |
| 2002 | 9,20 | 9,40 | 45,60 | 179,90 | 64,80 | 48,40 | 42,10 | 40,30 | 29,90 | 47,90 | 41,40 | 24,50 | 179,90 |
| 2003 | 2,20 | 37,50 | 94,50 | 129,30 | 43,10 | 62,30 | 89,50 | 1,60 | 78,20 | 203,80 | 89,20 | 63,70 | 203,80 |
| 2004 | 27,70 | 49,50 | 32,70 | 136,70 | 115,70 | 31,90 | 33,90 | 51,00 | 59,30 | 104,50 | 59,50 | | 136,70 |
| 2005 | 24,60 | 23,30 | 33,40 | 81,40 | 229,20 | 32,20 | 13,40 | 45,70 | 38,00 | 187,70 | 90,50 | | 229,20 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 2006 | 33,40 | | 107,10 | 181,10 | 165,40 | 51,80 | 40,80 | 74,30 | 28,40 | 129,20 | 92,60 | 22,70 | 181,10 |
| 2007 | 7,10 | 12,30 | 41,70 | 135,60 | 104,90 | 61,70 | 25,40 | 71,90 | 16,00 | 133,60 | 72,00 | 25,00 | 135,60 |
| 2008 | 60,80 | 38,40 | 38,60 | 63,30 | 123,50 | 29,20 | 92,20 | 71,30 | 40,80 | 102,70 | 194,40 | 25,40 | 194,40 |
| 2009 | 58,50 | 13,80 | 68,00 | 54,60 | 91,30 | 78,10 | 45,30 | 61,30 | 25,40 | 90,20 | 36,20 | | 91,30 |
| 2010 | 6,50 | 7,60 | 22,60 | 220,60 | 118,80 | 93,50 | 141,90 | 61,20 | 62,50 | 115,50 | 157,20 | 47,50 | 220,60 |
| 2011 | 2,20 | 64,70 | 97,60 | 194,70 | 137,10 | 51,50 | 42,10 | 54,70 | 35,70 | 131,20 | 155,90 | 126,00 | 194,70 |
| 2012 | 26,10 | 2,10 | 111,70 | 238,80 | 61,50 | 23,90 | 111,90 | 28,60 | 24,20 | 74,50 | 38,20 | 4,30 | 238,80 |
| 2013 | | 42,10 | 4,50 | 133,10 | 83,50 | 14,90 | 84,50 | 49,40 | 19,90 | 48,30 | 95,00 | 21,80 | 133,10 |
| 2014 | 8,30 | 39,50 | 75,60 | 53,00 | 43,00 | 65,20 | 38,20 | 5,90 | 9,40 | 71,10 | 88,60 | 37,60 | 88,60 |
| 2015 | 4,80 | 29,80 | 59,00 | 34,50 | 28,70 | 111,00 | 58,70 | 57,70 | 1,00 | 49,60 | 42,00 | 10,20 | 111,00 |
| 2016 | 17,90 | | 38,30 | 73,10 | 46,10 | 14,00 | 37,60 | 31,30 | 34,90 | 84,20 | 172,30 | 29,80 | 172,30 |
| 2017 | 52,70 | 28,40 | 88,60 | 8,50 | 117,80 | 63,90 | 48,50 | | | | | | 117,80 |
| 2018 | 21,80 | 25,60 | 32,80 | 162,10 | 35,70 | 23,90 | 53,90 | 21,90 | 21,20 | 123,90 | 43,10 | | 162,10 |
| 2019 | 39,20 | 5,90 | 60,30 | 126,10 | 72,30 | 79,10 | 41,80 | 44,80 | 20,60 | 74,90 | 90,50 | 18,30 | 126,10 |
| 2020 | 21,80 | 28,30 | 44,30 | 27,10 | 26,00 | 75,60 | 36,40 | 68,70 | 43,40 | 37,60 | 170,90 | 8,40 | 170,90 |
| 2021 | 2,10 | 22,30 | 64,80 | 109,80 | 88,80 | 72,10 | 18,20 | 89,60 | 20,30 | 75,40 | 25,00 | 24,20 | 109,80 |
| 2022 | 62,20 | 42,80 | 78,40 | 79,70 | 143,90 | 47,30 | 30,00 | 31,60 | 62,90 | 63,10 | 107,50 | 11,50 | 143,90 |
| 2023 | 36,40 | 4,30 | 254,20 | 121,00 | 117,40 | 68,00 | 47,00 | 7,40 | | | | | 254,20 |
| MAX | 91,90 | 144,50 | 212,00 | 268,50 | 268,00 | 256,00 | 178,00 | 133,00 | 194,30 | 239,00 | 247,70 | 139,50 | 268,50 |
| MIN | 0,50 | 0,60 | 4,50 | 6,40 | 20,60 | 11,50 | 13,40 | 5,90 | 1,00 | 32,20 | 8,90 | 3,00 | 0,00 |
| MEDIA | 26,19 | 34,48 | 71,37 | 115,99 | 106,87 | 65,85 | 66,17 | 51,17 | 53,50 | 100,05 | 88,63 | 37,05 | 68,11 |

Fuente: Autores

La precipitación es un factor fundamental en el diseño y la gestión de sistemas de alcantarillado. Se deben considerar los datos de precipitación para dimensionar adecuadamente los sistemas, prevenir inundaciones, gestionar el exceso de caudal, planificar sistemas de almacenamiento, evaluar impactos climáticos, asegurar la calidad del agua, y controlar la erosión y sedimentación, los datos del último año ilustrados en la tabla 12, son pertinentes para tanto para la modelación.

Geología y suelos

Formación guaduas. La base se compone de 250 m de arcillolitas grises con intercalaciones ocasionales de areniscas fiabes, sobre las que yacen 270 metros acilliolitas grises, areniscas friables y mantos de carbón explotable. El techo llega a 50 metros, compuesto por arcillolitas verduscas y violáceas, con bancos de areniscas fiabes. Su espesor sobre pasa los 550 metros, se localiza principalmente en los alrededores. (Peñarete y Rodríguez, 2015).

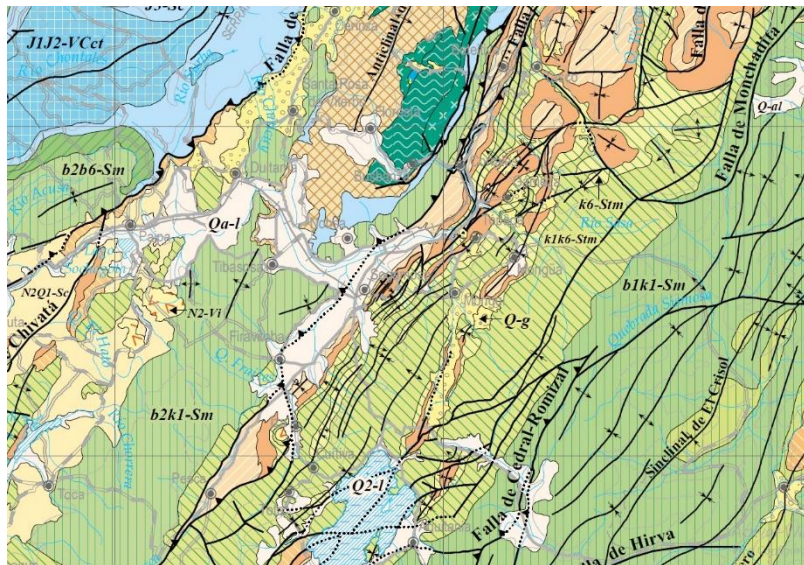
Formación guaduas (Ksg). Geológicamente el término Guaduas fue creado por Hettner al llamar “Piso de Guaduas” a rocas sedimentarias que suprayacían el “Piso de Guadalupe” en el Sinclinal de Guaduas. Desde entonces ha tenido diversas modificaciones. Está representada primordialmente por arcillas negras, grises, pardas, amarillas y rojas, en general muy meteorizadas. En menor proporción hay delgadas capas de arenisca blanca o café y algunas en bandas grises y blancas dando laminación ondulada y lenticular. Su grano es generalmente fino, pero también lo hay muy fino y medio. De acuerdo con la litología, descrita por varios autores, el conjunto presenta la transición de la deposición de sedimentos en condiciones marinas del Cretáceo a las condiciones continentales que prevalecieron en el Terciario.

Litológicamente esta formación está constituida por dos miembros fácilmente diferenciables; el Miembro inferior conformado básicamente por arcillolitas físciles y lutitas pardas a negras de considerable espesor, intercaladas con niveles arenosos de espesor variable. El miembro Superior consta de continuas alternancias de niveles de areniscas delgadas, arcillolitas grises y amarillentas y mantos de carbón económicamente explotables

con espesores que oscilan entre 0.60 y 4.0 m. Las areniscas presentes en la parte media de este miembro son de carácter lajoso de grano fino a medio y miden alrededor de 12 m. La edad asignada a esta formación es del Maestrichtiano Superior, correspondiendo a un depósito de "facies parállica" en lagunas y pantanos de gran extensión adyacentes a la línea de costa. (Municipio de Sogamoso, 2012)

Figura 11

Geología de la zona de estudio



Fuente: Municipio de Sogamoso. (2012). *Plan de Desarrollo Municipal. Sogamoso- Boyacá.*
<https://sogamoso.org/PDM-SOGAMOSO-2012-2015/1%20-%20GENERALIDADES.pdf>

Depósitos aluviales antiguos (Tsa). Depósitos constituidos por conglomerados aluviales de gran espesor pueden observarse en varios sitios de la región. Al occidente de Sogamoso el conglomerado presenta elementos de dimensiones variables, pero con mayor frecuencia entre 20 a 25 cm. Los cantos son exclusivamente de areniscas proveniente de las formaciones cretáceas.

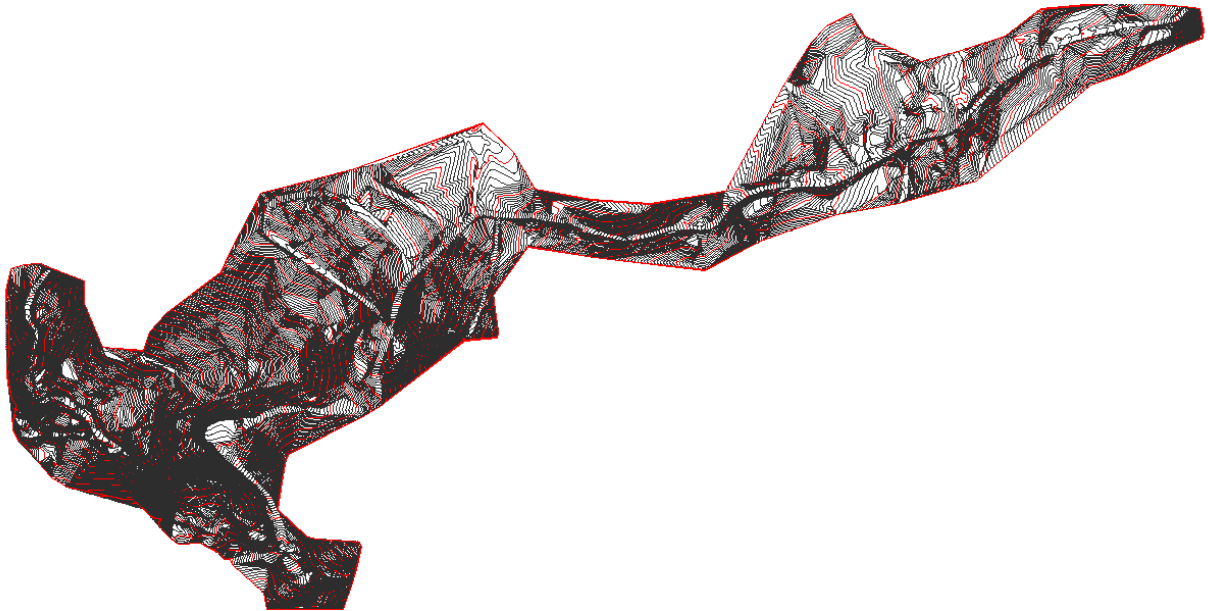
Los depósitos aluviales de este tipo son probablemente los terrenos postandinos más antiguos de la región y su edad se coloca en toda probabilidad en el pleistoceno inferior. El hecho de estar constituidos de material proveniente de areniscas cretáceas indica que los conglomerados se acumularon al quedar expuestos a extensas áreas de las formaciones cretáceas, fenómeno debido tal vez a un “destape”. (Municipio de Sogamoso, 2012).

Topografía

La topografía del terreno es un influyente para el diseño de la red de alcantarillado, donde a simple vista se evidencia una pendiente natural, gracias a esta se puede identificar áreas bajas y depresiones en las que se pueden acumular aguas lluvias, y sean lugares en los cuales se puede estar saturando dicho sistema. Por otro lado, es pertinente para determinar la correcta ubicación de los pozos de inspección.

Figura 12

Topografía de la vereda Morca y sector el portillo



Fuente: Municipio de Sogamoso. (2010). Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Sogamoso – Boyacá.
<http://sogamoso.org/pot/archivos/03SERVICIOSPUBLICOS.pdf>

Aspectos socioeconómicos

El carbón, las arcillas y la caliza son minerales importantes y con gran potencial para la economía del sector. Los cuales se encuentran distribuidos geológicamente en diferentes zonas del departamento de Boyacá, una de ellas es en Sogamoso en la zona del sector de Morcá.

La principal actividad económica en Morcá es la minería, puesto que los hombres del sector (57,5%) se dedican a picar o cortar carbón. Por su parte, las mujeres (47%) se dedican a la alfarería. Otros habitantes del sector realizan sus labores económicas a la agricultura, Sin embargo, y según la tradición histórica tanto del municipio de Sogamoso como del sector de Morcá, se transforman las cerámicas en artesanías de Colombia y el gobierno nacional al centro artesanal, a partir de esfuerzo públicos y privados que garanticen el capital de inversión, la organización del sector, el aprovechamiento eficaz y eficientemente los recursos existentes y las condiciones de comercialización. (Peñarete y Rodríguez, 2015).

Estado actual del servicio del alcantarillado sanitario

El sistema de alcantarillado sanitario existente, atiende la población ubicada en dos sectores de la vereda de morca, el centro poblado y en el sector denominado el portillo referente a la información proporcionada por COSERVICIOS S.A. E.S.P. superior al 90% del total de los habitantes ubicados en los lugares anteriormente mencionados se encuentran conectadas a las redes del servicio de alcantarillado existente.

El sistema de alcantarillado del centro poblado de Morca, está conformado por redes en concreto simple de 10” en mal estado, con una antigüedad superior a los 30 años por lo que se consideran obsoletas, puesto que estas abarcan pocos tramos, partiendo de las necesidades de cobertura de este servicio, por otro lado, se destaca la carencia de un colector unificado y de un sistema de tratamiento de garantice el cumplimiento de las normativas ambientales y sanitarias vigentes, por otro lado, cabe resaltar que los pozos de inspección están conformados por ladrillo y tapas de concreto, por lo que la estructura de varios de estos pozos se encuentra colapsada y varias de estas tapas rotas, asimismo, en algunos tramos de la tubería interna.

Ahora bien, el sector el Portillo se tiene la presencia de dos ramales que convergen al final en un solo pozo, según información suministrada por COSERVICIOS S.A E.S.P. la tubería se encuentra conformada por una sola red de 8” en PVC; el primer ramal presenta una sección inicial de aproximadamente 220 m de tubería en concreto simple de 16”, posteriormente cambia a tubería tipo Novafort de 8”. El segundo ramal, el cual, cruza por el centro de la vía, está construido con tubería de PVC- tipo Novafort de 6” y 8”. Sin embargo,

en cuanto a la infraestructura de PVC y los pozos aferentes, asociados en ambos ramales, se encuentran en buenas condiciones, en tanto que el tramo de red construido en concreto simple y sus pozos correspondientes, se encuentran deteriorados.

Por el momento, el tramo de alcantarillado procedente de este sector, no se encuentra conectado a la red del centro poblado de Morca, significando así, la falta de continuidad del sistema, por lo que el vertimiento de estas aguas se realiza sobre un lote adjunto a la vía, realizándose la descargar por medio de la tubería de 10” tipo Novafort. Con pozos de inspección colmatados, sin tapas y sin cañuelas, agregado a esto el sistema no cuenta con planta de tratamiento para aguas residuales.

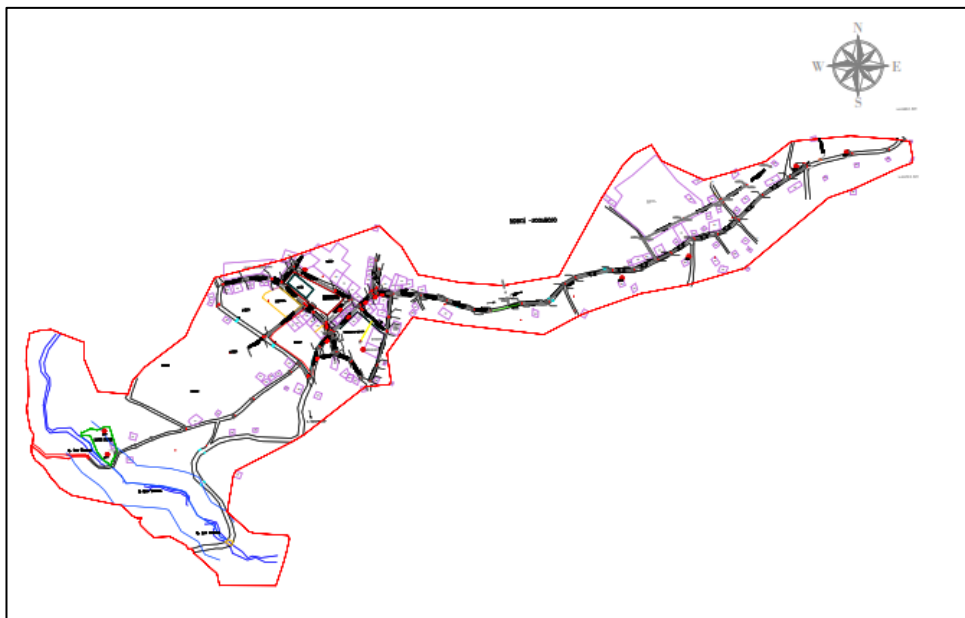
Catastro de la red de alcantarillado inventario de colectores y pozos

La red de alcantarillado del centro poblado de Morcá y el portillo se destaca el catastro de redes, debido a que esta información fue suministrada por la compañía de Servicio Público de Sogamoso S.A. E.S.P.

El catastro de la red de alcantarillado es una herramienta esencial para facilitar mapeo y documentación de la infraestructura existente en la zona de influencia, incluyendo tuberías, pozos de inspección, colectores, entre otros. De tal manera conocer el estado actual del sistema.

Figura 13

Catastro de redes de alcantarillado actúa del centro poblado Morca y Sector el portillo



Fuente: Municipio de Sogamoso. (2010). *Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Sogamoso – Boyacá.*
<http://sogamoso.org/pot/archivos/03SERVICIOSPUBLICOS.pdf>

Tabla 3

Inventario de pozos existentes en el área de influencia

| Pozo | Coordenada X | Coordenada Y | Elevación | Cota batea |
|---------|--------------|---------------|-----------|------------|
| PZ-4 | 1132176.7233 | 1124721.2355 | 2867.52 | 2866.52 |
| PZ-5 | 1132151.0100 | 1124706.6290 | 2865.62 | 2864.27 |
| PZ-6 | 1132110.2285 | 1124680.3916 | 2861.86 | 2860.51 |
| PZ-7 | 1132074.2186 | 1124644.2276 | 2859.33 | 2857.98 |
| PZ-8 | 1132042.4196 | 1124625.0589 | 2856.47 | 2855.12 |
| PZ-9 | 1132006.9708 | 1124619.2307 | 2853.64 | 2852.29 |
| PZ-10 | 1131972.6749 | 1124598.2070 | 2850.43 | 2849.08 |
| PZ-11 | 1131952.7677 | 1124589.5275 | 2848.98 | 2847.47 |
| PZ-12 | 1131917.1350 | 1124575.5430 | 2847.01 | 2845.70 |
| PZ-13 | 1131885.3720 | 1124576.4890 | 2845.48 | 2843.87 |
| PZ-14 | 1131830.4465 | 1124566.1029 | 2842.09 | 2839.74 |
| PZ-15 | 1131815.3498 | 1124556.4225 | 2840.80 | 2838.41 |
| PZ-16 | 1131790.2531 | 1124530.3455 | 2837.70 | 2835.41 |
| PZ-17 | 1131750.2500 | 1124530.8040 | 2834.96 | 2833.56 |
| PZ - V1 | 1131739.0950 | 11244511.8370 | 2832.11 | 2832.11 |

| | | | | |
|---------|--------------|--------------|----------|----------|
| PZ-18 | 1131707.7352 | 1124521.2161 | 2831.87 | 2830.04 |
| PZ-19 | 1131678.9665 | 1124523.5316 | 2839.89 | 2827.45 |
| PZ-20 | 1131639.1375 | 1124538.9644 | 2826.20 | 2824.37 |
| PZ-21 | 1131600.6582 | 1124546.8359 | 2822.10 | 2820.66 |
| PZ-22 | 1131560.1390 | 1124549.7905 | 2818.35 | 2816.92 |
| PZ-23 | 1131537.8490 | 1124551.6247 | 2816.27 | 2813.81 |
| PZ-24 | 1131530.6715 | 1124548.1761 | 2815.56 | 2813.72 |
| PZ-25 | 1131511.9138 | 1124532.4020 | 2813.69 | 2812.25 |
| PZ-26 | 1131472.0283 | 1124493.9361 | 2808.64 | 2806.80 |
| PZ-27 | 1131450.4588 | 1124471.9430 | 2805.93 | 2804.49 |
| PZ - V2 | 1131437.2020 | 1124428.1710 | 2800.79 | 2799.35 |
| PZ-38 | 1132125.4612 | 1124724.2466 | 2863.59 | 2862.01 |
| PZ-39 | 1132087.5790 | 1124695.9897 | 2859.46 | 2857.88 |
| PZ-40 | 1132051.5433 | 1124674.7806 | 2857.15 | 2854.47 |
| PZ-41 | 1131990.8906 | 1124651.6172 | 2851.827 | 2850.246 |
| PZ-42 | 1131934.1189 | 1124621.2022 | 2847.13 | 2846.139 |
| PZ-47 | 1131525.2702 | 1124421.0332 | 2827.092 | 2825.654 |
| PZ-48 | 1131537.1170 | 1124447.1138 | 2826.127 | 2824.289 |
| PZ-49 | 1131552.9774 | 1124496.2982 | 2822.5 | 2821.462 |
| PZ-49 a | 1131560.6280 | 1124497.6290 | 2820.5 | 2819.462 |
| PZ-50 | 1131543.4315 | 1124587.1893 | 2815.411 | 2815.219 |
| PZ-51 | 1131538.8195 | 1124600.0849 | 2815.77 | 2814.418 |
| PZ-53 | 1131531.8937 | 1124511.9155 | 2822.382 | 2820.944 |
| PZ-55 | 1131524.0178 | 1124419.0435 | 2823.382 | 2821.944 |
| PZ-56 | 1131513.6881 | 1124425.6248 | 2816.843 | 2815.41 |
| PZ-57 | 1131497.3022 | 1124453.9578 | 2813.651 | 2812.21 |
| PZ-58 | 1131473.9204 | 1124462.9307 | 2813.651 | 2812.113 |
| PZ-58 a | 1131478.4000 | 1124464.1750 | 2808.64 | 2806.802 |
| PZ-59 | 1131509.5774 | 1124537.2196 | 2813.41 | 2811.972 |
| PZ-60 | 1131460.1618 | 1124566.4663 | 2811.5 | 2810.562 |
| PZ-61 | 1131419.2660 | 1124567.6070 | 2809.311 | 2807.873 |
| PZ-62 | 1131397.4091 | 1124569.1927 | 2807.04 | 2805.602 |
| PZ-63 | 1131433.1726 | 1124536.7802 | 2806.766 | 2804.328 |
| PZ-64 | 1131371.2475 | 1124489.2681 | 2794.787 | 2792.787 |
| PZ - V3 | 1131353.3690 | 1124450.0610 | 2789.85 | 2789.5 |
| PZ-65 | 1131420.7737 | 1124599.5354 | 2809.79 | 2808.752 |
| PZ-66 | 1131468.7969 | 1124499.0842 | 2808.308 | 2806.317 |
| PZ-67 | 1131461.7296 | 1124508.3652 | 2807.473 | 2805.435 |
| PZ-67 a | 1131447.9540 | 1124504.1240 | 2806.766 | 2804.528 |
| PZ-68 | 1131497.7803 | 1124541.8556 | 2812.148 | 2810.757 |

| | | | | |
|---------|--------------|--------------|----------|----------|
| PZ-69 | 1131393.5527 | 1124570.6058 | 2806.826 | 2805.388 |
| PZ-70 | 1131367.6220 | 1124580.1079 | 2800.5 | 2799.512 |
| PZ-71 | 1131308.7213 | 1124568.8949 | 2796.699 | 2795.261 |
| PZ-71 a | 1131304.2620 | 1124557.2130 | 2794.5 | 2793.222 |
| PZ-71 b | 1131294.998 | 112495.998 | 2792.63 | 2791.352 |
| PZ- V-4 | 1131291.843 | 1124603.233 | 2789.73 | 2788.442 |
| PZ - 73 | 1131897.766 | 1124588.921 | 2846.139 | 2843 |

Fuente: Municipio de Sogamoso. (2010). Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Sogamoso – Boyacá.
<http://sogamoso.org/pot/archivos/03SERVICIOSPUBLICOS.pdf>

El sistema de pozos de inspección se encuentra construido en ladrillo y tapas de concreto. Sin embargo, se evidencia un notable deterioro en el sistema, con varios pozos colapsados y tapas rotas. Además, es fácil percatarse del deterioro superficial en la parte interna de los pozos, así como se puede evidenciar en las siguientes figuras.

Figura 14

Estado actual de los Pozos



Fuente. Autores

Del inventario de pozos de inspección existente, se determinó que solo 15 pozos (30%) se encuentran en buen estado, mientras que 45 pozos (70%) están en mal estado. Los pozos en mal estado corresponden a los siguientes números: 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 67a, 70, 71, 71a, 73.

Tabla 4*Inventario de conductos existentes en el área de influencia*

| Conducto | Pozo Inicial | Pozo Final | Diámetro (mm) | CBI | CBF | Material | Manning |
|----------|--------------|------------|---------------|----------|----------|-----------------|---------|
| CO-4 | 4 | 5 | 160 | 2866.52 | 2864.27 | PVC | 0.010 |
| CO-5 | 5 | 6 | 160 | 2864.27 | 2860.51 | PVC | 0.010 |
| CO-6 | 6 | 7 | 160 | 2860.51 | 2857.98 | PVC | 0.010 |
| CO-7 | 7 | 8 | 160 | 2857.98 | 2855.12 | PVC | 0.010 |
| CO-8 | 8 | 9 | 160 | 2855.12 | 2852.29 | PVC | 0.010 |
| CO-9 | 9 | 10 | 160 | 2852.29 | 2849.08 | PVC | 0.010 |
| CO-10 | 10 | 11 | 160 | 2849.08 | 2847.47 | PVC | 0.010 |
| CO-11 | 11 | 12 | 160 | 2847.47 | 2845.70 | PVC | 0.010 |
| CO-12 | 12 | 13 | 160 | 2845.70 | 2843.87 | PVC | 0.010 |
| CO-13 | 13 | 14 | 160 | 2843.87 | 2839.74 | PVC | 0.010 |
| CO-14 | 38 | 39 | 400 | 2862.01 | 2857.88 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-15 | 39 | 40 | 400 | 2857.88 | 2854.47 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-16 | 40 | 41 | 400 | 2854.47 | 2850.246 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-17 | 41 | 42 | 400 | 2850.246 | 2846.139 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-18 | 42 | 73 | 200 | 2846.139 | 2843 | PVC | 0.010 |
| CO-19 | 73 | 14 | 200 | 2843 | 2839.74 | PVC | 0.010 |
| CO-20 | 14 | 15 | 200 | 2839.74 | 2838.41 | PVC | 0.010 |
| CO-21 | 15 | 16 | 200 | 2838.41 | 2835.41 | PVC | 0.010 |
| CO-22 | 16 | 17 | 200 | 2835.41 | 2833.56 | PVC | 0.010 |
| CO-23 | 17 | V-1 | 200 | 2833.56 | 2832.11 | PVC | 0.010 |
| CO-24 | 18 | 19 | 250 | 2830.04 | 2827.45 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-25 | 19 | 20 | 250 | 2827.45 | 2824.37 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-26 | 20 | 21 | 250 | 2824.37 | 2820.66 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-27 | 21 | 22 | 250 | 2820.66 | 2816.92 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-28 | 22 | 23 | 250 | 2816.92 | 2813.81 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-29 | 47 | 48 | 200 | 2825.654 | 2824.289 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-30 | 48 | 49 | 200 | 2824.289 | 2821.462 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-33 | 49 | 49a | 200 | 2821.462 | 2819.462 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-34 | 49a | 22 | 200 | 2819.462 | 2816.92 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-35 | 50 | 23 | 160 | 2815.219 | 2813.81 | PVC | 0.010 |
| CO-36 | 23 | 24 | 250 | 2813.81 | 2813.72 | PVC | 0.010 |
| CO-37 | 51 | 24 | 160 | 2814.418 | 2813.72 | PVC | 0.010 |
| CO-38 | 24 | 25 | 250 | 2813.72 | 2812.25 | PVC | 0.010 |

| | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|----------|----------|-----------------|-------|
| CO-39 | 53 | 25 | 250 | 2820.944 | 2812.25 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-40 | 25 | 26 | 250 | 2812.25 | 2806.80 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-41 | 55 | 56 | 250 | 2821.944 | 2815.41 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-42 | 56 | 57 | 250 | 2815.41 | 2812.21 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-43 | 57 | 58 | 250 | 2812.21 | 2812.113 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-44 | 58 | 58a | 250 | 2812.113 | 2806.802 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-46 | 58a | 26 | 200 | 2806.802 | 2806.80 | PVC | 0.010 |
| CO-47 | 26 | 27 | 250 | 2806.80 | 2804.49 | PVC | 0.010 |
| CO-48 | 27 | V-2 | 250 | 2804.49 | 2799.35 | PVC | 0.010 |
| CO-49 | 26 | 66 | 250 | 2806.80 | 2806.317 | PVC | 0.010 |
| CO-50 | 66 | 67 | 200 | 2806.317 | 2805.435 | PVC | 0.010 |
| CO-51 | 68 | 67 | 200 | 2810.757 | 2805.435 | PVC | 0.010 |
| CO-52 | 67 | 67a | 250 | 2805.435 | 2804.528 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-54 | 67a | 63 | 250 | 2804.528 | 2804.328 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-55 | 63 | 64 | 250 | 2804.328 | 2792.787 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-56 | 64 | V-3 | 250 | 2792.787 | 2789.5 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-57 | 62 | 63 | 250 | 2805.602 | 2804.328 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-58 | 59 | 60 | 200 | 2811.972 | 2810.562 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-59 | 60 | 61 | 200 | 2810.562 | 2807.873 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-60 | 65 | 61 | 250 | 2808.752 | 2807.873 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-62 | 61 | 62 | 250 | 2807.873 | 2805.602 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-63 | 62 | 69 | 250 | 2805.602 | 2805.388 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-64 | 69 | 70 | 250 | 2805.388 | 2799.512 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-65 | 70 | 71 | 250 | 2799.512 | 2795.261 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-67 | 71 | 71a | 250 | 2795.261 | 2793.222 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-68 | 71a | 71b | 250 | 2793.222 | 2791.352 | Concreto Simple | 0.013 |
| CO-69 | 71b | V-4 | 250 | 2791.352 | 2788.442 | Concreto Simple | 0.013 |

Fuente: Municipio de Sogamoso. (2010). Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Sogamoso – Boyacá.
<http://sogamoso.org/pot/archivos/03SERVICIOSPUBLICOS.pdf>

De los tramos existentes de la red de alcantarillado, se ha determinado que 46 de ellos (75.4%) se encuentran en mal estado. Tres tramos (5%) están en estado regular y solo 12 tramos (19.6%) se encuentran en buen estado. Es importante destacar que la mayoría de los tramos en mal estado están contruidos con material de concreto, el cual no ha sido renovado en más de 30 años, como se mencionó anteriormente.

Actualmente, el tramo de alcantarillado procedente del sector El Portillo no está conectado a la red del centro poblado de Morca, como se puede observar en el plano del catastro de red existente, lo que indica una falta de continuidad funcional en el sistema. Las aguas residuales procedentes de este sector se vierten en un lote adyacente a la vía, utilizando una tubería de 10" tipo Novafort para la descarga, así como se puede evidenciar en las siguientes figuras

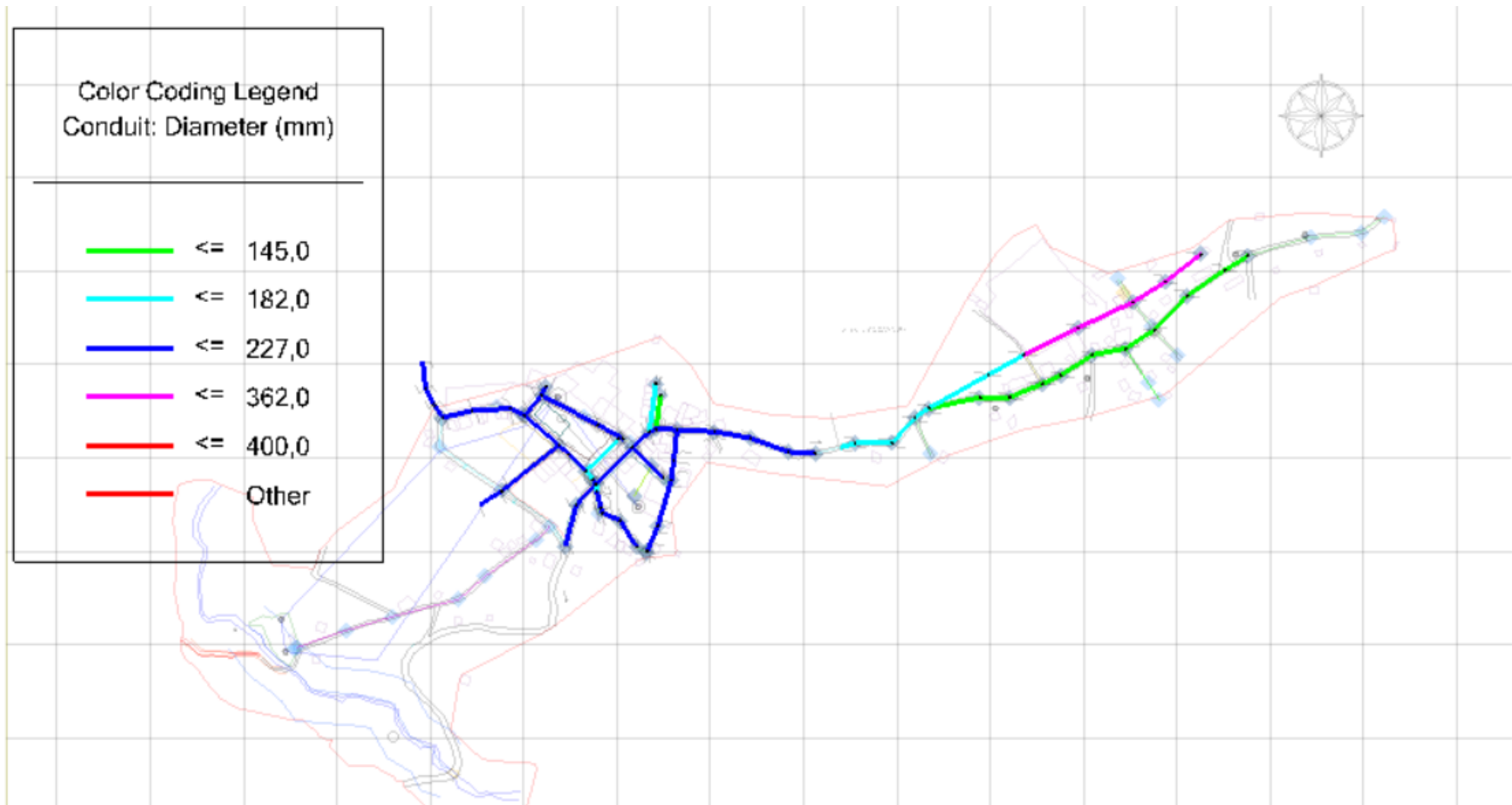
Figura 15

Estado actual del alcantarillado



Fuente: Autores

A lo largo de la red, también se identificó que varios tramos de la red de concreto exhiben un deterioro superficial en las paredes internas de la tubería. Este hallazgo sugiere una degradación generalizada en la infraestructura.

Figura 16*Diámetros de conductos en el área de estudio*

Fuente: Autores de la Investigación

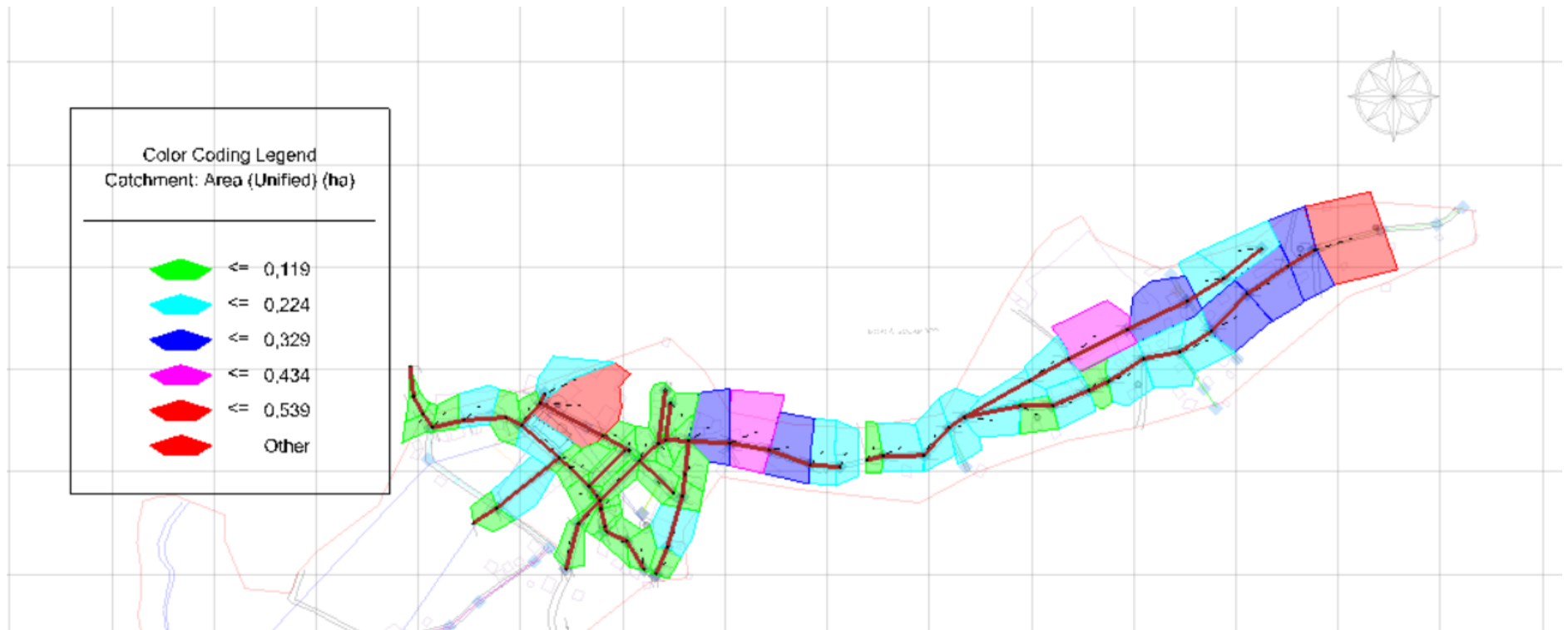
Como se puede evidenciar en la figura 16, los tramos de tubería han sido clasificados por colores en función de sus diámetros. Los tramos identificados con color verde tienen un diámetro de 6 pulgadas, abarcando un total de 12 tramos. Los tramos de color verde azulado claro corresponden a tuberías de 8 pulgadas de diámetro, con un total de 5 tramos. El color azul oscuro indica tramos de tubería de 10 pulgadas, sumando un total de 33 tramos. Finalmente, los tramos de color rosado representan tuberías de 16 pulgadas de diámetro, con un total de 4 tramos.

Áreas de drenaje

Con el fin de establecer los caudales de modelación para cada uno de los tramos del sistema de alcantarillado combinado, se determinaron las áreas aferentes teniendo en cuenta la conectividad del sistema actual, se consideró un área total de 8.52 ha distribuidas en 60 áreas de drenaje, como se observa en la figura 17.

Figura 17

Áreas de drenaje en el área de estudio



Fuente: Autores de la Investigación

Sistema de tratamiento de aguas residuales

En la actualidad el municipio de Sogamoso y la vereda Morca, no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Proyecciones de poblaciones y demanda

Se emplearon datos suministrados por COSERVICIOS S.A. E.S.P. quienes suministraron el dato del número de suscriptores. Para la proyección de la población se emplearon los métodos Aritmético, Geométrico y Exponencial, donde se manejó el dato para el centro poblado Morca y sector el portillo, en el municipio de Sogamoso, departamento de Boyacá. Como lo establece la Resolución 0330 del 2017, insta que esta proyección debe ser en periodo de 25 años, donde, se puede apreciar que tiene un comportamiento ascendente correspondiente al periodo comprendido entre los años 2024 al 2049, por tal motivo, se calcula el caudal de abastecimiento para la cantidad de personas que se proyecta sean usuarias del servicio.

Método aritmético. El Método Aritmético supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} * (T_f - T_{uc})$$

Donde, P_f es la población (hab) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población, P_{uc} es la población (hab) correspondiente al último año censado con información, P_{ci} es la población (hab) correspondiente al censo inicial con información, T_{uc} es el año correspondiente al último año censado con información, T_{ci} es el año correspondiente al censo inicial con información y T_f es el año al cual se quiere proyectar la información.

La siguiente tabla presenta los datos de la proyección de la población utilizados para determinar la población proyectada mediante el método aritmético. De igual manera, los datos de la tabla se esquematizaron obteniendo como resultado la gráfica mostrada.

Tabla 5*Método aritmético*

| Censos de Vivienda | | Método Aritmético | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|-------------------|-------------------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Año | Población | Ka | 2024 | 2029 | 2034 | 2039 | 2044 | 2049 |
| 2011 | 425 | 19.4 | 677 | 774 | 871 | 968 | 1064 | 1161 |
| 2012 | 430 | 21.4 | 687 | 794 | 901 | 1009 | 1116 | 1223 |
| 2013 | 455 | 20.8 | 684 | 788 | 893 | 997 | 1101 | 1205 |
| 2014 | 490 | 18.0 | 670 | 760 | 850 | 940 | 1030 | 1120 |
| 2015 | 495 | 21.3 | 686 | 793 | 899 | 1005 | 1111 | 1218 |
| 2016 | 500 | 26.7 | 713 | 847 | 980 | 1113 | 1247 | 1380 |
| 2017 | 515 | 32.5 | 743 | 905 | 1068 | 1230 | 1393 | 1555 |
| 2018 | 544 | | | | | | | |
| 2019 | 580 | Promedio: | 694 | 809 | 923 | 1037 | 1152 | 1266 |
| Desviación Estándar: | | | 25 | 50 | 76 | 101 | 126 | 151 |
| | | | Intervalo de Confianza | | | | | |
| Zo = | 1.8 | | 649 | 719 | 786 | 855 | 925 | 994 |
| | | | 739 | 899 | 1060 | 1219 | 1379 | 1538 |

Fuente: Autores

Método geométrico. El Método Geométrico es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. La ecuación que se emplea es:

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

Donde r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual que para el método anterior. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc}-T_{ci})}} - 1$$

La siguiente tabla presenta los datos de la proyección de la población utilizados para determinar la población proyectada mediante el método geométrico. De igual manera, los datos de la tabla se esquematizaron obteniendo como resultado la gráfica mostrada.

Tabla 6*Método geométrico*

| Censos de Vivienda | | Método Geométrico | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|-------------------|-------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Año | Población | r | 2024 | 2029 | 2034 | 2039 | 2044 | 2049 |
| 2011 | 425 | 0.03963 | 704 | 856 | 1039 | 1262 | 1533 | 1861 |
| 2012 | 430 | 0.04368 | 718 | 889 | 1101 | 1364 | 1689 | 2091 |
| 2013 | 455 | 0.04128 | 710 | 869 | 1064 | 1303 | 1595 | 1952 |
| 2014 | 490 | 0.03430 | 687 | 813 | 962 | 1139 | 1348 | 1595 |
| 2015 | 495 | 0.04041 | 707 | 862 | 1051 | 1281 | 1562 | 1904 |
| 2016 | 500 | 0.05072 | 743 | 951 | 1218 | 1560 | 1998 | 2559 |
| 2017 | 515 | 0.06123 | 781 | 1051 | 1414 | 1904 | 2563 | 3449 |
| 2018 | 544 | 0.06618 | 799 | 1101 | 1517 | 2089 | 2878 | 3966 |
| 2019 | 580 | Promedio: | 731 | 924 | 1171 | 1488 | 1896 | 2422 |
| Desviación Estándar: | | | 40 | 102 | 197 | 339 | 547 | 850 |
| | | | Intervalo de Confianza | | | | | |
| Zo= | 1.8 | | 659 | 740 | 816 | 878 | 911 | 892 |
| | | | 803 | 1108 | 1526 | 2098 | 2881 | 3952 |

Fuente: Autores

Método exponencial. Su aplicación se recomienda a poblaciones que muestre y posee abundantes áreas de expansión. Para su cálculo se utilizó la siguiente expresión:

$$P_f = P_{ci} * e^{k*(T_f-T_{ci})}$$

Donde K es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculas para cada par de censos, así:

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

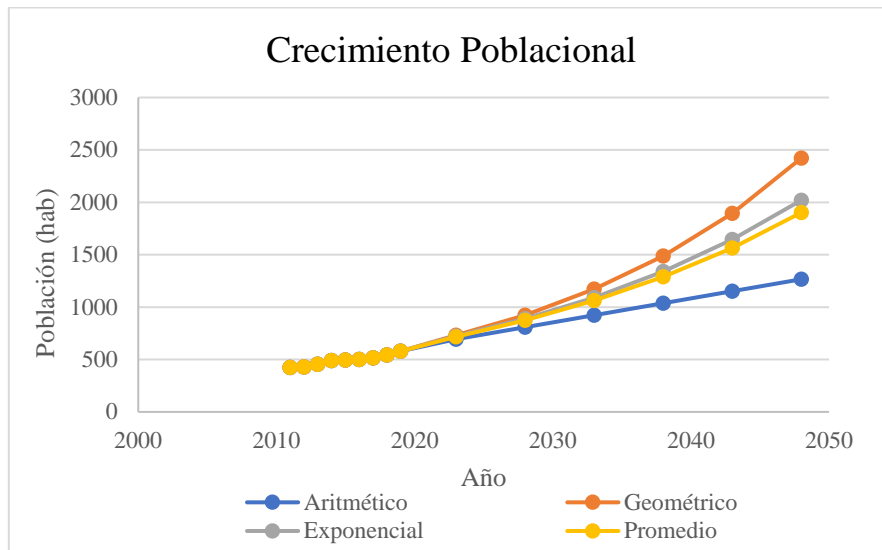
La siguiente tabla presenta los datos de la proyección de la población utilizados para determinar la población proyectada mediante el método exponencial.

Tabla 7*Método exponencial*

| Censos de Vivienda | | Método Exponencial | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Año | Población | k | 2024 | 2029 | 2034 | 2039 | 2044 | 2049 |
| 2011 | 425 | 0.01170 | | | | | | |
| 2012 | 430 | 0.05651 | | | | | | |
| 2013 | 455 | 0.07411 | | | | | | |
| 2014 | 490 | 0.01015 | | | | | | |
| 2015 | 495 | 0.01005 | | | | | | |
| 2016 | 500 | 0.04217 | | | | | | |
| 2017 | 515 | 0.05943 | | | | | | |
| 2018 | 544 | 0.06408 | | | | | | |
| 2019 | 580 | 0.04102 | 724 | 889 | 1092 | 1340 | 1646 | 2020 |
| | Desviación Estándar: | | 0.026668956 | | | | | |
| | | | Intervalo de Confianza | | | | | |
| | Zo = | 1.8 | -0.00697925 | | | | | |
| | | | 0.089028991 | | | | | |

Fuente: Autores

Se grafican los tres métodos, obteniendo los siguiente.

Figura 18*Métodos de proyección*

Fuente: Autores

Método de proyección seleccionado. De acuerdo a las proyecciones realizadas y al comportamiento de los diferentes métodos, se ha seleccionado para este proyecto es el **método aritmético**, debido a varias razones técnicas y prácticas que lo hacen adecuado y confiable, como lo es la minimización de la incertidumbre, de igual forma, en contextos rurales como el de la vereda Morca, donde el crecimiento poblacional suele ser más moderado y menos influenciado por factores migratorios extremos, el método aritmético proporciona una aproximación realista y práctica. Este método es adecuado para áreas con crecimiento poblacional predecible y constante, esto último puede mostrarse en la gráfica de crecimiento poblacional donde el crecimiento de la misma tiende a ser más realista.

Caudales de descarga (cálculo de caudales)

Según las recomendaciones del RAS 2000 Titulo D se emplea el método racional para la determinación de los caudales de diseño, este método es adecuado para el cálculo de los caudales generados en superficies menores de 700Ha como el caso del centro poblado de Morcá. Este método establece que el caudal superficial producido por una precipitación es:

La cual depende del coeficiente de escorrentía, la intensidad promedio de la lluvia y el área de drenaje.

Para el nivel de complejidad de la vereda de Morca, del municipio de Sogamoso, es medio, por lo que se adopta un coeficiente de retorno de 0.85 de acuerdo a las especificaciones del RAS 2000 descritas en la Tabla D.3.1 Coeficiente de retorno de aguas residuales domésticas.

$$QD = \frac{Cr * P * D_{neta}}{86400}$$

Caudal para aguas residuales domesticas

$$QD = \frac{0.85 * 694 * 120 \text{ L/hab * d}}{86400}$$

$$QD = 0.81 \text{ L/s}$$

Aguas residuales industriales (QI)

De acuerdo al RAS 2000 título D, el nivel de complejidad del sistema se encuentra en un rango bajo, esto conforme a lo mencionado en la Tabla D.3.2 Contribución de aguas residuales industriales para industrias pequeñas. Por ende, tendrá una contribución industrial de 0,4 L/s*ha industrial.

$$QI = \text{Contribución Industrial} * \text{Área}$$

$$QI = 0.4 \text{ L/s} * \text{Ha} * 0$$

$$QI = 0$$

Caudal de aguas residuales comerciales (QC)

Según lo descrito en el RAS 2000, en el numeral 3.3.3.3. Caudal de aguas residuales comerciales, Cuando el área objeto existen normas mixtas tanto comerciales como residenciales se usa la contribución de caudal del 0,5 L/s*Ha comercial.

El polígono de estudio presenta áreas comerciales mixtas de 0 Ha.

$$QC = \text{Contribución} * \text{Área}$$

$$QC = 0.5 \text{ L/s} * Ha * 0. Ha$$

$$Qc = 0 \text{ L/s}$$

Caudal de aguas residuales institucionales (Qin)

Esto se hallaron multiplicando los aportes definidos anteriormente por el área que ocupan dentro sector analizado. De acuerdo con el RAS 2000, en la Tabla D. 1.1. Asignación del nivel de complejidad del sistema, el cual se definió como bajo, por lo que tiene una contribución según el literal 3.3.3.4. Caudal de Aguas Residuales Institucionales, donde estipula que los aportes institucionales en zonas residenciales se pueden estimar en 0.5 L/s*Ha Institucional.

$$Qin = \text{Contribución} * \text{Área}$$

$$Qin = 0.5 \text{ L/s} * Ha * 0.094 Ha$$

$$Qin = 0.047 \text{ L/s}$$

Caudal medio diario de aguas residuales

Se calculó multiplicando el área aferente del tramo por el aporte unitario ponderado, el cual hace referencia a la sumatoria de caudales en el área de estudio.

$$QMD = QD + QI + QC + Qin$$

$$QMD = 0.81 \text{ L/s} + 0 \text{ L/s} + 0 \text{ L/s} + 0.047 \text{ L/s}$$

$$QMD = 0.857 \text{ L/s}$$

Factor de mayoración

El factor de mayoración del caudal máximo horario, se define para los niveles de complejidad del sistema como se describe en el RAS 2000 Título D. Según la Tabla D.3.4

Máximo factor de mayoración de acuerdo con la población servida, teniendo en cuenta que la población es <20.000, el factor de mayoración corresponde a 3,00.

Caudal máximo horario

Se calculó multiplicando el factor de mayoración por el Caudal Medio Diario.

$$QMHF = F * QMD$$

$$QMHF = 3 * 0.857 L/s$$

$$QMHF = 2.571 L/s$$

Caudales de infiltración

Se asumieron los aportes y con estos se calcularon los caudales, multiplicando por el área para cada tramo. El centro poblado de Morca, cuenta con un Nivel de Complejidad del Sistema bajo, lo que indica una infiltración de 0.1 L/s*Ha descrito en la Tabla D.3.3 Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales, RAS 2000 Título D.

Caudal de aguas residuales por conexiones erradas

De acuerdo con lo establecido en el RAS 2000, Título D, literal 3.3.3.5 Caudal de Aguas Residuales por Conexiones Erradas, el aporte máximo a un sistema de alcantarillado de aguas residuales existente o proyectado debe ser de 2,0 L/s*Ha.

Caudal de diseño

Según lo descrito en la resolución 0330 de 2017, en la sección 1, “Consideraciones Técnicas Generales de la Redes de Alcantarilla”, Artículo 134. Literal 7, implanta para el caudal de diseños, para obtenerse es preciso sumar el caudal máximo horario, aportes por infiltración y conexiones erradas. Si este valor calculado es menor de 1.5 L/s, se debe tomar este último como caudal de diseño del tramo.

Pendiente

El valor corresponderá al porcentaje de inclinación que tiene el tramo evaluado, medido a partir de la longitud del tramo y las cotas de las tuberías a evaluar.

$$s = \frac{\text{Cota clave superior} - \text{Cota clave inferior}}{\text{Longitud del Tramo}}$$

Caudal Sanitario Asignado por Tramos del Sistema

Tabla 8

Caudal por tramos del sistema

Cálculo de los caudales de diseño-sectores El Portillo y Centro Poblado

| Pozo (De -> a) | Área Tributaria (ha) | | Aporte medio diario Doméstico | | | | Caudal Industrial | | Caudal Comercial | | Caudal Institucional | | TOTAL ÁREA | Aporte unitario ponderado L/s.ha | Caudal medio diario AR L/s | Factor de Mayoración-Valor maximo 3 F (Flores) | Caudal Máximo Horario L/s | Infiltración | | | Conexiones erradas | | Caudal de aguas negras L/s |
|-------------------|-------------------------|--------|-------------------------------|----------|-----------|--------|-------------------|--------|------------------|--------|----------------------|--------|------------|-------------------------------------|-------------------------------|---|------------------------------|--------------|------|-------|--------------------|--------|-------------------------------|
| | Parcial | Total | % de Área | Densidad | Población | L/s.ha | % de Área | L/s.ha | % de Área | L/s.ha | % de Área | L/s.ha | | | | | | L/s/ha | L/s | L/s | L/s | L/s/ha | |
| [1] | [1] | [2] | [3] | [4] | [5] | [6] | [7] | [8] | [9] | [10] | [11] | [12] | [13] | [14] | [15] | [16] | [17] | [18] | [19] | [20] | [21] | [22] | |
| 4 | 5 | 0.5390 | 0.5390 | 100 | 44 | 24 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.028 | 1.8 | 0.05 | 0.05 | 0.027 | 0.00 | 0.000 | 0.077 |
| 5 | 6 | 0.2790 | 0.8180 | 100 | 44 | 36 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.042 | 1.8 | 0.08 | 0.05 | 0.041 | 0.00 | 0.000 | 0.117 |
| 6 | 7 | 0.2660 | 1.0840 | 100 | 44 | 48 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.056 | 1.8 | 0.10 | 0.05 | 0.054 | 0.00 | 0.000 | 0.156 |
| 7 | 8 | 0.2650 | 1.3490 | 100 | 44 | 59 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.070 | 1.8 | 0.13 | 0.05 | 0.067 | 0.00 | 0.000 | 0.194 |
| 8 | 9 | 0.1640 | 1.5130 | 100 | 44 | 67 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.079 | 1.8 | 0.14 | 0.05 | 0.076 | 0.00 | 0.000 | 0.217 |
| 9 | 10 | 0.2240 | 1.7370 | 100 | 44 | 76 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.090 | 1.8 | 0.16 | 0.05 | 0.087 | 0.00 | 0.000 | 0.249 |
| 10 | 11 | 0.1930 | 1.9300 | 100 | 44 | 85 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.100 | 1.8 | 0.18 | 0.05 | 0.097 | 0.00 | 0.000 | 0.277 |
| 11 | 12 | 0.0900 | 2.0200 | 100 | 44 | 89 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.105 | 1.8 | 0.19 | 0.05 | 0.101 | 0.00 | 0.000 | 0.290 |
| 12 | 13 | 0.1520 | 2.1720 | 100 | 44 | 96 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.113 | 1.8 | 0.20 | 0.05 | 0.109 | 0.00 | 0.000 | 0.312 |
| 13 | 14 | 0.1110 | 2.2830 | 100 | 44 | 100 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.119 | 1.8 | 0.21 | 0.05 | 0.114 | 0.00 | 0.000 | 0.328 |
| 38 | 39 | 0.2230 | 0.2230 | 100 | 44 | 10 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.012 | 1.8 | 0.02 | 0.05 | 0.011 | 0.00 | 0.000 | 0.032 |
| 39 | 40 | 0.1480 | 0.3710 | 100 | 44 | 16 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.008 | 1.8 | 0.01 | 0.05 | 0.019 | 0.00 | 0.000 | 0.032 |
| 40 | 41 | 0.2950 | 0.6660 | 0 | 44 | 29 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.5 | 0 | 100 | 0.500 | 0.148 | 1.8 | 0.27 | 0.05 | 0.033 | 0.00 | 0.000 | 0.299 |
| 41 | 42 | 0.3330 | 0.9990 | 0 | 44 | 44 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.5 | 0 | 100 | 0.500 | 0.167 | 1.8 | 0.30 | 0.05 | 0.050 | 0.00 | 0.000 | 0.350 |
| 42 | 73 | 0.1590 | 1.1580 | 70 | 44 | 51 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 30 | 0.5 | 0 | 100 | 0.186 | 0.030 | 1.8 | 0.05 | 0.05 | 0.058 | 0.00 | 0.000 | 0.111 |
| 73 | 14 | 0.1400 | 1.2980 | 70 | 44 | 57 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 30 | 0.5 | 0 | 100 | 0.186 | 0.026 | 1.8 | 0.05 | 0.05 | 0.065 | 0.00 | 0.000 | 0.112 |
| 14 | 15 | 0.1300 | 3.7110 | 100 | 44 | 63 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.007 | 1.8 | 0.01 | 0.05 | 0.186 | 0.00 | 0.000 | 0.198 |
| 15 | 16 | 0.1690 | 3.8800 | 100 | 44 | 70 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.5 | 200 | 0.552 | 0.093 | 1.8 | 0.17 | 0.05 | 0.194 | 0.00 | 0.000 | 0.362 |
| 16 | 17 | 0.1620 | 4.0420 | 100 | 44 | 77 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.5 | 200 | 0.552 | 0.089 | 1.8 | 0.16 | 0.05 | 0.202 | 0.00 | 0.000 | 0.363 |
| 17 | V-1 | 0.2540 | 4.2960 | 100 | 44 | 89 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 0.5 | 130 | 0.202 | 0.051 | 1.8 | 0.09 | 0.05 | 0.215 | 0.00 | 0.000 | 0.307 |
| 18 | 19 | 0.2720 | 0.2720 | 100 | 44 | 12 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.127 | 1.8 | 0.23 | 0.05 | 0.014 | 0.00 | 0.000 | 0.242 |
| 19 | 20 | 0.2480 | 0.5200 | 100 | 44 | 23 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.131 | 1.8 | 0.24 | 0.05 | 0.026 | 0.00 | 0.000 | 0.263 |
| 20 | 21 | 0.3300 | 0.8500 | 100 | 44 | 37 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.017 | 1.8 | 0.03 | 0.05 | 0.043 | 0.00 | 0.000 | 0.073 |
| 21 | 22 | 0.2360 | 1.0860 | 100 | 44 | 48 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.024 | 1.8 | 0.04 | 0.05 | 0.054 | 0.00 | 0.000 | 0.097 |
| 22 | 23 | 0.0560 | 1.1420 | 100 | 44 | 50 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.011 | 1.8 | 0.02 | 0.05 | 0.057 | 0.00 | 0.000 | 0.076 |
| 47 | 48 | 0.0620 | 0.0620 | 100 | 44 | 3 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.003 | 1.8 | 0.01 | 0.05 | 0.003 | 0.00 | 0.000 | 0.009 |
| 48 | 49 | 0.1630 | 0.2250 | 100 | 44 | 10 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.012 | 1.8 | 0.02 | 0.05 | 0.011 | 0.00 | 0.000 | 0.032 |
| 49 | 49a | 0.0720 | 0.2970 | 100 | 44 | 13 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.015 | 1.8 | 0.03 | 0.05 | 0.015 | 0.00 | 0.000 | 0.043 |
| 49a | 22 | 0.1040 | 0.4010 | 100 | 44 | 18 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.021 | 1.8 | 0.04 | 0.05 | 0.020 | 0.00 | 0.000 | 0.058 |
| 50 | 23 | 0.0790 | 0.0790 | 100 | 44 | 3 | 0.0519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.052 | 0.004 | 1.8 | 0.01 | 0.05 | 0.004 | 0.00 | 0.000 | 0.011 |
| 23 | 24 | 0.0340 | 1.1760 | 100 | 103 | 4 | 0.1216 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.122 | 0.004 | 1.8 | 0.01 | 0.05 | 0.059 | 0.00 | 0.000 | 0.066 |
| 51 | 24 | 0.0960 | 0.0960 | 100 | 103 | 10 | 0.1216 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.122 | 0.012 | 1.8 | 0.02 | 0.05 | 0.005 | 0.00 | 0.000 | 0.026 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|--------|--------|-----|-----|----|--------|---|---|----|-----|----|-----|-----|-------|-------|-----|------|------|-------|------|-------|-------|
| 24 | 25 | 0.0600 | 0.0600 | 100 | 103 | 6 | 0.1216 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.122 | 0.007 | 1.8 | 0.01 | 0.05 | 0.003 | 0.00 | 0.000 | 0.016 |
| 53 | 25 | 0.1130 | 0.1130 | 85 | 103 | 12 | 0.1216 | 0 | 0 | 15 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.178 | 0.020 | 1.8 | 0.04 | 0.05 | 0.006 | 0.00 | 0.000 | 0.042 |
| 25 | 26 | 0.0770 | 0.1900 | 85 | 103 | 20 | 0.1216 | 0 | 0 | 15 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.178 | 0.034 | 1.8 | 0.06 | 0.05 | 0.010 | 0.00 | 0.000 | 0.070 |
| 55 | 56 | 0.0910 | 0.0910 | 80 | 103 | 9 | 0.1216 | 0 | 0 | 20 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.197 | 0.018 | 1.8 | 0.03 | 0.05 | 0.005 | 0.00 | 0.000 | 0.037 |
| 56 | 57 | 0.0840 | 0.1750 | 80 | 103 | 18 | 0.1216 | 0 | 0 | 20 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.197 | 0.035 | 1.8 | 0.06 | 0.05 | 0.009 | 0.00 | 0.000 | 0.071 |
| 57 | 58 | 0.0180 | 0.1930 | 100 | 103 | 20 | 0.1216 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.122 | 0.037 | 1.8 | 0.07 | 0.05 | 0.010 | 0.00 | 0.000 | 0.076 |
| 58 | 58a | 0.0530 | 0.2460 | 100 | 103 | 25 | 0.1216 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 50 | 0.5 | 150 | 0.372 | 0.056 | 1.8 | 0.10 | 0.05 | 0.012 | 0.00 | 0.000 | 0.114 |
| 58a | 26 | 0.0160 | 0.2620 | 100 | 103 | 27 | 0.1216 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.122 | 0.058 | 1.8 | 0.11 | 0.05 | 0.013 | 0.00 | 0.000 | 0.118 |
| 26 | 27 | 0.0280 | 0.0280 | 80 | 103 | 3 | 0.1216 | 0 | 0 | 20 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.197 | 0.006 | 1.8 | 0.01 | 0.05 | 0.001 | 0.00 | 0.000 | 0.011 |
| 27 | V-2 | 0.1020 | 0.1300 | 80 | 103 | 13 | 0.1216 | 0 | 0 | 20 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.197 | 0.026 | 1.8 | 0.05 | 0.05 | 0.007 | 0.00 | 0.000 | 0.053 |
| 26 | 66 | 0.0140 | 0.0140 | 85 | 103 | 1 | 0.1216 | 0 | 0 | 15 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.178 | 0.063 | 1.8 | 0.11 | 0.05 | 0.001 | 0.00 | 0.000 | 0.114 |
| 66 | 67 | 0.0580 | 0.0720 | 85 | 103 | 7 | 0.1216 | 0 | 0 | 15 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.178 | 0.047 | 1.8 | 0.08 | 0.05 | 0.004 | 0.00 | 0.000 | 0.088 |
| 68 | 67 | 0.0870 | 0.0870 | 85 | 103 | 9 | 0.1216 | 0 | 0 | 15 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.178 | 0.016 | 1.8 | 0.03 | 0.05 | 0.004 | 0.00 | 0.000 | 0.032 |
| 67 | 67a | 0.1070 | 0.1070 | 85 | 103 | 11 | 0.1216 | 0 | 0 | 15 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.178 | 0.019 | 1.8 | 0.03 | 0.05 | 0.005 | 0.00 | 0.000 | 0.040 |
| 67a | 63 | 0.0310 | 0.1380 | 85 | 103 | 14 | 0.1216 | 0 | 0 | 15 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.178 | 0.006 | 1.8 | 0.01 | 0.05 | 0.007 | 0.00 | 0.000 | 0.017 |
| 63 | 64 | 0.2120 | 0.2120 | 100 | 103 | 22 | 0.1216 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.122 | 0.094 | 1.8 | 0.17 | 0.05 | 0.011 | 0.00 | 0.000 | 0.180 |
| 64 | V-3 | 0.0880 | 0.3000 | 100 | 103 | 31 | 0.1216 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.122 | 0.058 | 1.8 | 0.10 | 0.05 | 0.015 | 0.00 | 0.000 | 0.119 |
| 62 | 63 | 0.1560 | 0.1560 | 100 | 103 | 16 | 0.1216 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.122 | 0.092 | 1.8 | 0.17 | 0.05 | 0.008 | 0.00 | 0.000 | 0.174 |
| 59 | 60 | 0.0770 | 0.0770 | 85 | 103 | 8 | 0.1216 | 0 | 0 | 15 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.178 | 0.014 | 1.8 | 0.02 | 0.05 | 0.004 | 0.00 | 0.000 | 0.029 |
| 60 | 61 | 0.4530 | 0.5300 | 85 | 103 | 55 | 0.1216 | 0 | 0 | 15 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.178 | 0.095 | 1.8 | 0.17 | 0.05 | 0.027 | 0.00 | 0.000 | 0.197 |
| 65 | 61 | 0.1390 | 0.6690 | 85 | 103 | 14 | 0.1216 | 0 | 0 | 15 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.178 | 0.119 | 1.8 | 0.21 | 0.05 | 0.033 | 0.00 | 0.000 | 0.248 |
| 61 | 62 | 0.0380 | 0.8630 | 85 | 103 | 18 | 0.1216 | 0 | 0 | 15 | 0.5 | 0 | 0 | 100 | 0.178 | 0.021 | 1.8 | 0.04 | 0.05 | 0.043 | 0.00 | 0.000 | 0.080 |
| 62 | 69 | 0.1180 | 0.9810 | 50 | 103 | 12 | 0.1216 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 0.5 | 100 | 0.311 | 0.037 | 1.8 | 0.07 | 0.05 | 0.049 | 0.00 | 0.000 | 0.115 |
| 69 | 70 | 0.1250 | 1.1060 | 50 | 103 | 25 | 0.1216 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 0.5 | 100 | 0.311 | 0.039 | 1.8 | 0.07 | 0.05 | 0.055 | 0.00 | 0.000 | 0.125 |
| 70 | 71 | 0.0690 | 1.1750 | 50 | 103 | 32 | 0.1216 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 0.5 | 100 | 0.311 | 0.021 | 1.8 | 0.04 | 0.05 | 0.059 | 0.00 | 0.000 | 0.097 |
| 71 | 71a | 0.0640 | 1.2390 | 100 | 103 | 39 | 0.1216 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.122 | 0.008 | 1.8 | 0.01 | 0.05 | 0.062 | 0.00 | 0.000 | 0.076 |
| 71a | 71b | 0.0400 | 1.2790 | 100 | 103 | 43 | 0.1216 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.122 | 0.005 | 1.8 | 0.01 | 0.05 | 0.064 | 0.00 | 0.000 | 0.073 |
| 71b | V-4 | 0.0170 | 1.2960 | 100 | 103 | 45 | 0.1216 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.122 | 0.002 | 1.8 | 0.00 | 0.05 | 0.065 | 0.00 | 0.000 | 0.069 |

Fuente: Autores

Según las recomendaciones del RAS 2000 Título D se emplea el método racional para la determinación de los caudales de diseño, este método es adecuado para el cálculo de los caudales generados en superficies menores de 700 Ha como el caso de la vereda Morcá y parte del sector el Portillo.

El cálculo de caudales, es permitiente conocer en qué puntos las tuberías existentes no dan abasto en el sistema, esto debido a diferentes factores donde el crecimiento poblacional pudo causar que las cargas hidráulicas actuales y futuras no soporten estas.

Por otro lado, los datos presentados en la tabla 8, que incluyen el caudal de descarga por área aferente, sugieren que algunas de las deficiencias del sistema pueden atribuirse a factores como los diámetros de las tuberías, la pendiente y la capacidad del sistema. El crecimiento poblacional ha provocado que dichos caudales y velocidad del agua a través de las tuberías o canales no sea óptima, debido a las limitaciones impuestas por estos parámetros.

De igual forma, nos permite evaluar en el simulador y determinar la capacidad de manejar tanto demandas actuales como futuras, especialmente es determinante en aquellas áreas envejecidas que requieren rehabilitación, ya que muestra una mejor perspectiva de que tramos es pertinente realizarles ampliación

Modelación del sistema de alcantarillado actual

La modelación hidráulica de la red de alcantarillado combinado existente en la zona de estudio en la vereda de Morca y el sector portillo, en los cuales se tendrá en cuenta un tiempo de concentración de 15 minutos para periodos de retorno de 2, 5, y 10 años de acuerdo a las curvas IDF, con el fin de determinar cuál de estas configuraciones presenta un escenario de simulación más crítico, en el cual, se evidencien los diferentes problemas existentes en la red de alcantarillado combinado.

La modelación del sistema de alcantarillado en la vereda Morca se realizó utilizando el software SewerCAD de Bentley Systems, dicha herramienta es usada el diseño y análisis de redes de alcantarillado.

Para la generación de la modelación se realizó la recopilación de información y preparación de datos, tanto topográficos como hidrológicos y de la estructura existente, de esta última fue importante conocer coordenadas de pozos, ubicación de pozos, cota batea, cota clave, tubería, material de dicha tubería, diámetros, pendientes, velocidades, población, áreas, caudal de descarga, catastro existente, entre otros.

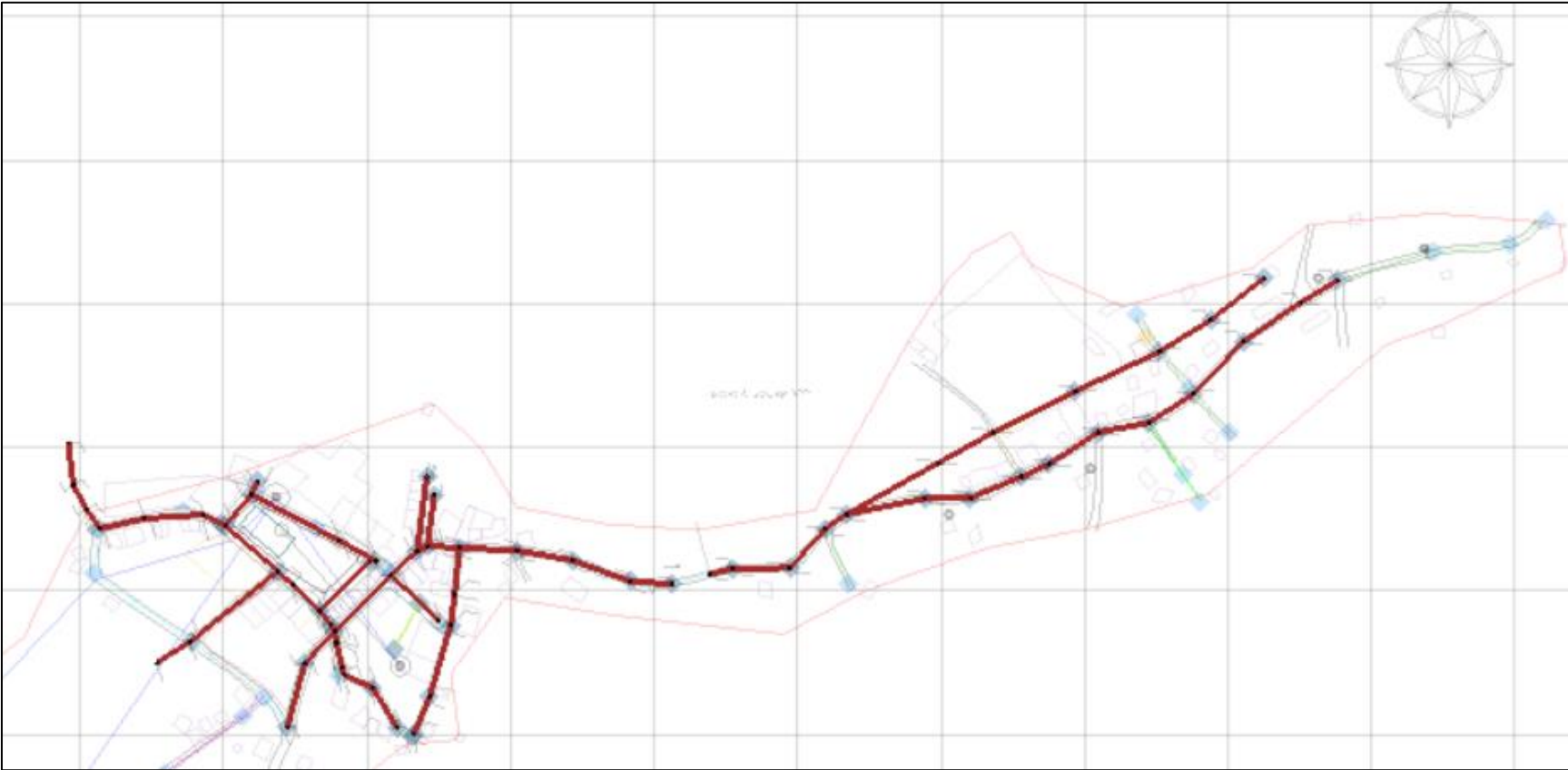
Posteriormente, se realizó el traslado de la información para la configuración del proyecto en SewerCAD, de tal forma que se estructure los parámetros iniciales del sistema como lo son las unidades de medida, características de terreno, de tal forma, que se definan los nodos, tramos de tubería con su respectivo diámetro, pozos de inspección y otros elementos del sistema asociándolas con sus respectivas características físicas y operativas

Seguidamente, se asignaron caudales a los nodos del sistema basándose en la recolección de la información preliminar, donde se aplicó el método aritmético para proyección de población. Además, se estableció las condiciones de contorno, incluyendo las descargas y condiciones de entradas y salidas

Finalmente, con los elementos y parámetros definidos, se corre la simulación del sistema actual de la red de alcantarillado de la vereda Morca en SewerCAD, de tal forma que se generen, perfiles de flujo, velocidades, niveles de llenado en cada tramo de tubería bajo diferentes escenarios, para este caso se crearon 3, el primero a un periodo de retorno de 2 años, el segundo escenario con un periodo de retorno de 5 años y el tercero a un periodo de retorno de 10 años. Esto con el fin, de identificar los problemas de la red, como en los lugares

puntuales donde se presentan sobrecargas, puntos de inundación y posibles tramos subdimensionados.

Figura 19
Topología de Modelo



Fuente: Autores de la Investigación

Resultados de modelación del catastro actual en diferentes tiempos de retorno***Escenario 1 -Periodo de retorno 2 años***

En el escenario 1, los colectores que conforman la red de alcantarillado combinado en el área de estudio se modelan para un tiempo de retorno de 2 años y tiempo de concentración de 15 minutos, de acuerdo a las curvas IDF establecidas para el Municipio. A continuación, se presentan los resultados generales de la simulación hidráulica del alcantarillado combinado existente.

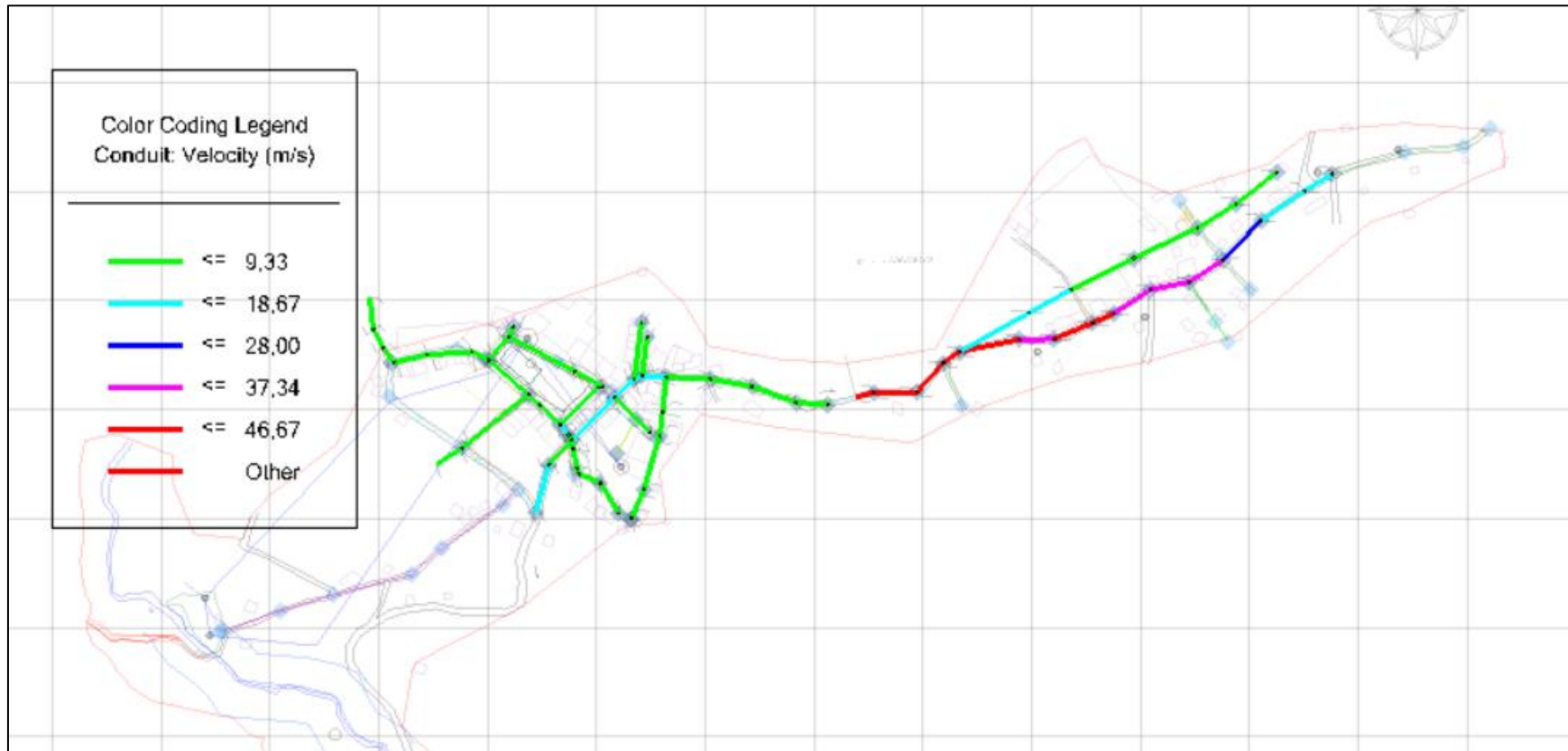
Velocidad. La velocidad en los tramos de alcantarillado para un evento crítico de simulación, presenta valores mínimos 0.87 m/s a 46.67 m/s como velocidad máxima, debido a las pendientes de la tubería y caudal transportado, en este sentido se presenta la siguiente situación donde se tienen valores que sobrepasan la norma ya que la norma exige que para diámetros menores a 450 mm las velocidades que se permiten es de 0.75 m/s a 5m/s.

Lo cual afecta dentro del sistema como se puede observar se podría presentar desbordamiento dentro del sistema de alcantarillado, pues las redes existentes no tienen la capacidad de soportar estas velocidades tan altas, por lo que se presentaría daños dentro de estas estructuras en los colapsos, por lo que se vería afectado el suelo principalmente y la comunidad por riesgos como inundaciones o erosiones al suelo.

En la siguiente imagen se puede observar a lo largo del sistema de alcantarillado las velocidades presentadas en las modelaciones durante los primeros 15 minutos.

Figura 20

Velocidad escenario 1



Fuente: Autores de la Investigación

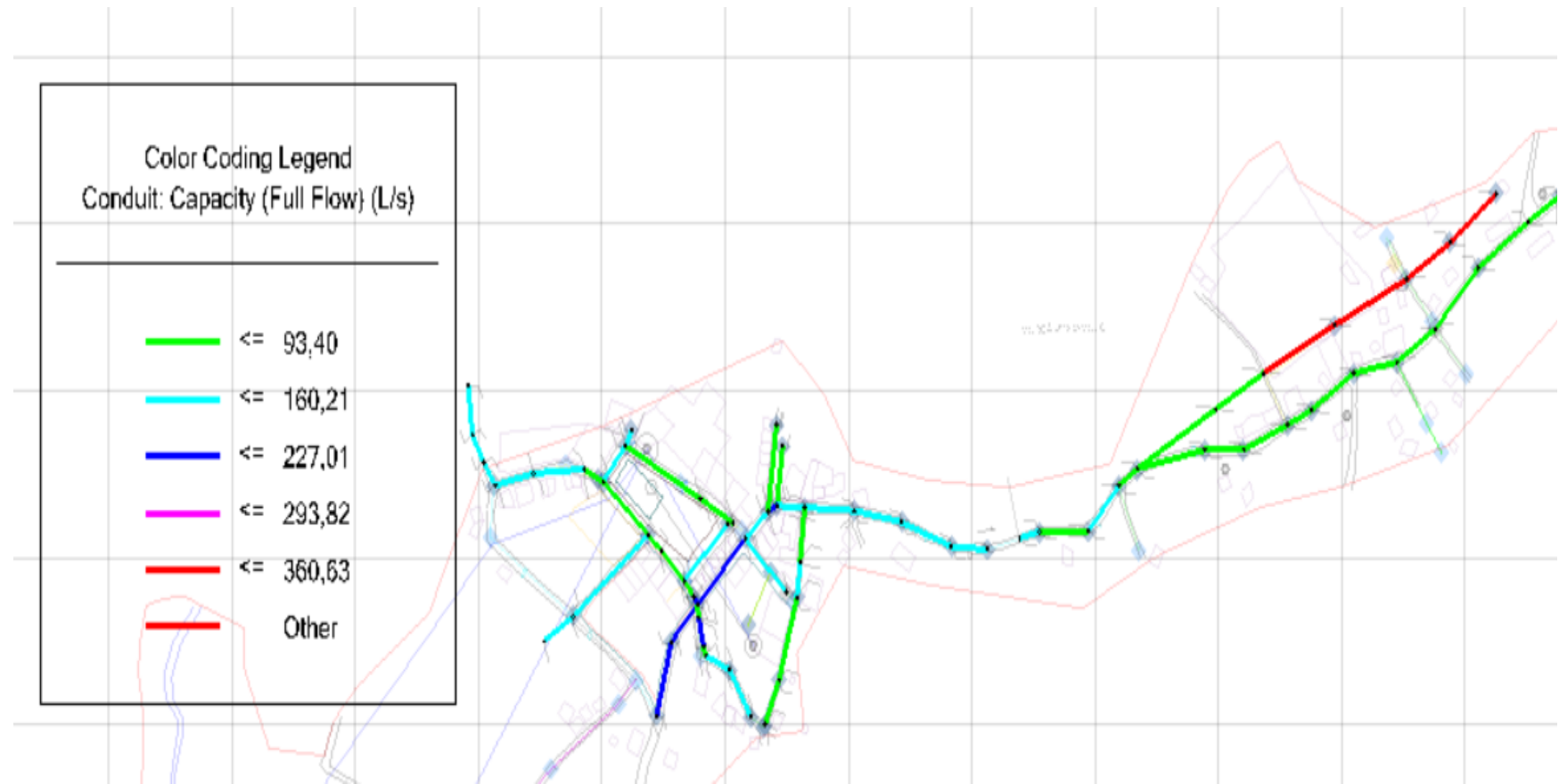
Capacidad hidráulica a tubo lleno. Para el análisis de capacidad hidráulica se planteó la relación q/Q en porcentaje, que representa la relación de simulación y el caudal a tubo lleno, dentro de los tramos de análisis supera la capacidad hidráulica máxima en el tiempo de concentración bajo condiciones críticas de simulación, considerando que el sistema funciona combinado.

De acuerdo a esto según la norma RAS 2017, se especifica dentro del artículo 151, que la relación máxima entre profundidad y diámetro de la tubería no debe superar un valor máximo del 93%, por lo que observamos colectores, que sobrepasan este valor, ocurriendo o generando situaciones de desbordamientos, provocando inundaciones, daños a la infraestructura, y posibles riesgos para la salud pública.

Como se puede observar dentro del sistema de alcantarillado existen tramos que no cumplen la normatividad vigente, para un periodo crítico de tormenta.

Figura 21

Capacidad hidráulica escenario 1



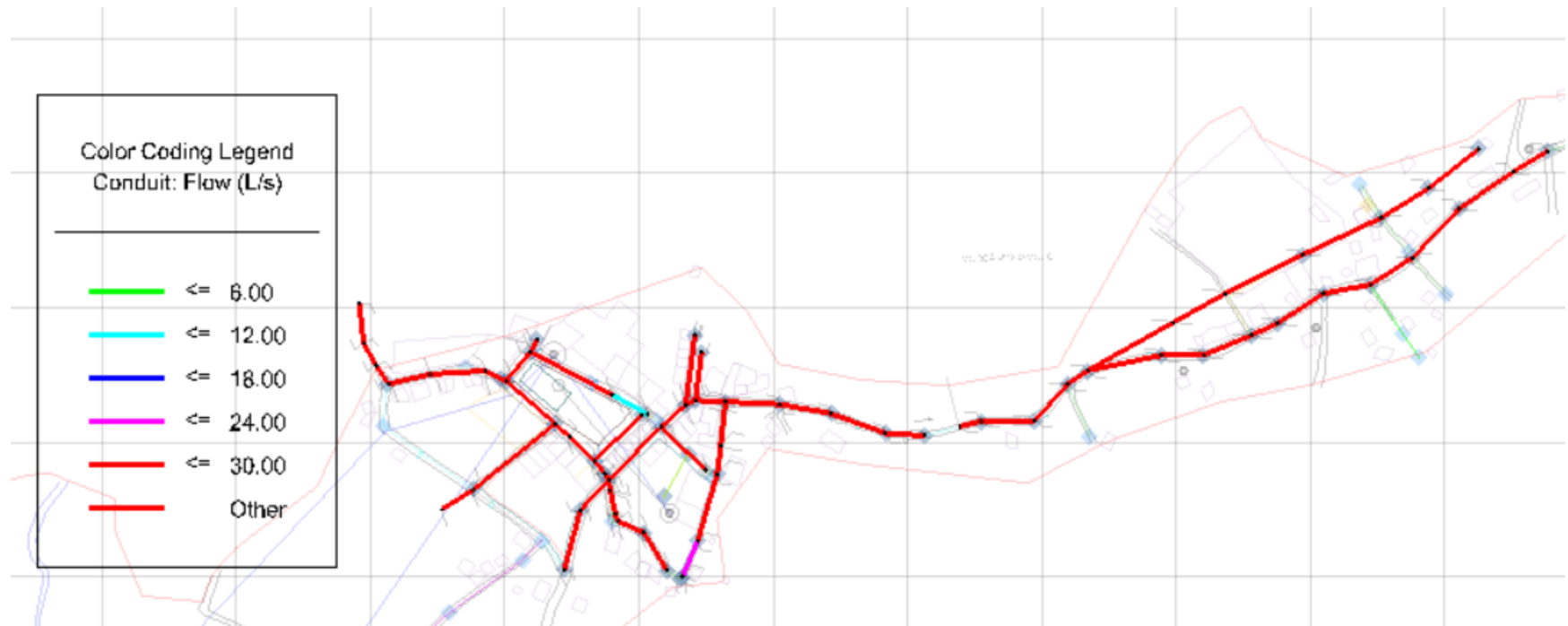
Fuente: Autores de la Investigación

Caudal transportado. A continuación, se presenta la tabla resumen en donde se evidencia el caudal transportado por tramos del sistema de colectores de alcantarillado combinado, además de las variables hidráulicas anteriormente mencionadas.

Este caudal presentado, es durante el tiempo de concentración de 15 minutos, por lo que se presentan valores de caudal de aproximadamente desde 8.48 l/s en adelante, todo esto varía de acuerdo a los aportes.

Figura 22

Caudal transportado escenario 1



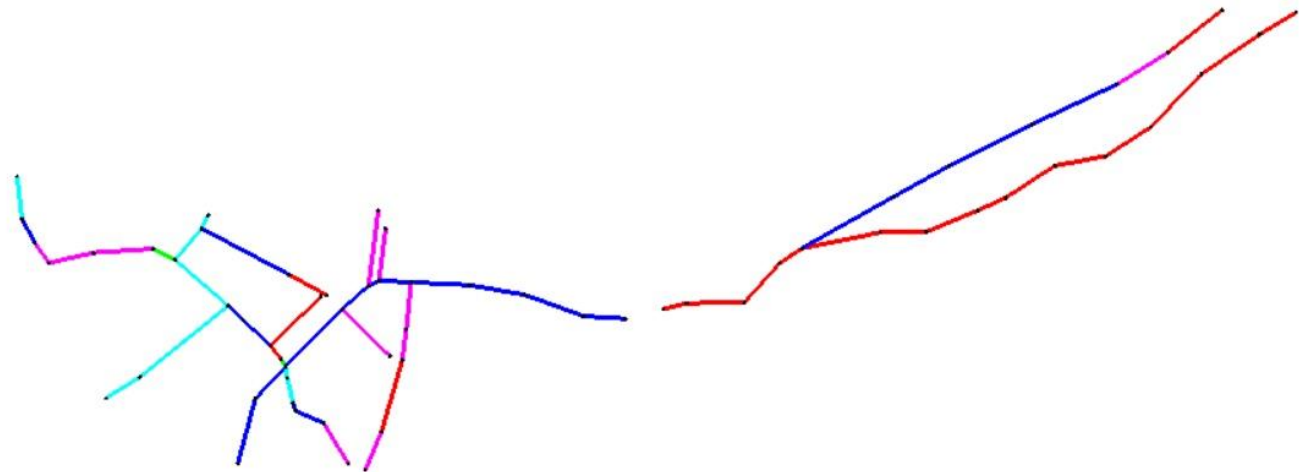
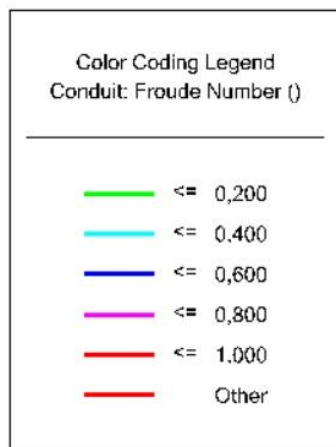
Fuente: Autores de la Investigación

Numero de froude. A continuación, se presenta el cálculo del Número de Froude, necesario para clasificar el régimen de flujo en subcrítico, crítico y supercrítico en cada uno de los colectores que conforman la red de alcantarillado combinado en el área de estudio, se puede evidenciar que en el periodo de análisis el régimen de flujo en la red de drenaje corresponde a subcrítico y supercrítico.

Dentro de este parámetro generalmente se busca mantener el número de froude por debajo de 1 para evitar condiciones de flujo rápido los cuales pueden causar erosión o daños dentro de la estructura del sistema de alcantarillado.

Figura 23

Numero de froude escenario 1



Fuente: Autores de la Investigación

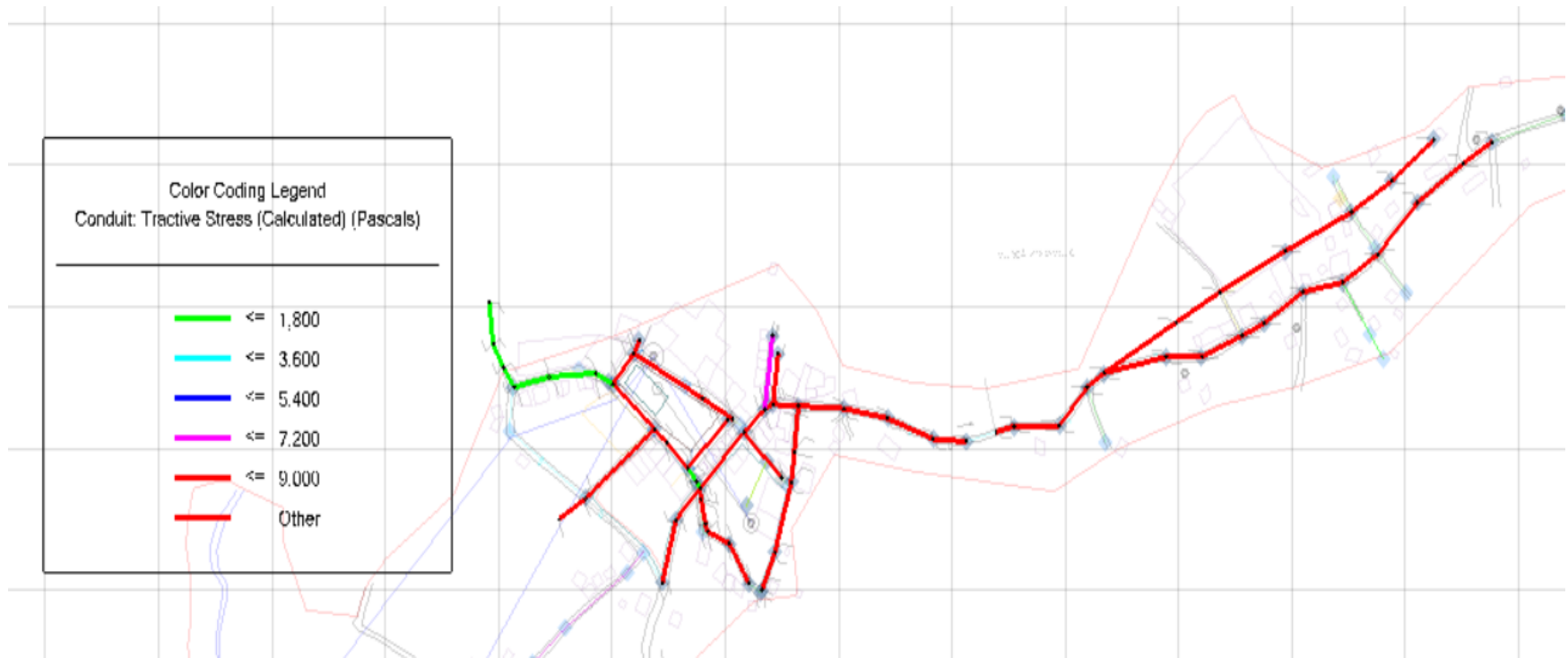
Fuerza tractiva. A continuación, se presenta el cálculo del parámetro de fuerza tractiva, necesario para determinar el criterio de autolimpieza en las tuberías a partir del esfuerzo cortante mínimo que permite esta condición, se puede evidenciar que en el periodo de análisis el criterio de autolimpieza los tramos no cumplen este criterio.

De acuerdo a los sistemas de alcantarillados combinados, el valor de la fuerza cortante no debe sobrepasar los 2 Pa, por lo que, en la siguiente figura, se presentan valores que sobrepasan estos valores y adicionalmente de esto son muy altos, por lo que significa que la velocidad del flujo como también se presentaba anteriormente, son muy altas como para arrastrar sólidos o sedimentos presentes dentro del sistema.

Esto puede provocar la erosión de las paredes de los conductos dentro del sistema y el desgaste de la tubería. Adicionalmente como se viene planteando puede aumentar los riesgos de inundaciones provocados por obstrucciones o bloqueos dentro del sistema.

Figura 24

Fuerza Tractiva escenario 1



Fuente: Autores

Teniendo en cuenta los parámetros analizados en el escenario 1, se consolida un análisis de forma general donde se presenta el no cumplimiento de los parámetros hidráulicos mínimos partir de los 60 tramos analizados en dicho escenario.

Tabla 9

Cálculos hidráulicos de la modelación en el escenario 1

| Label | Flow (Middle) (L/s) | Velocity (m/s) | Flow Capacity (Design) (%) | Froude Number | Tractive Stress (Calculated) (Pascals) |
|--------------|------------------------------------|---------------------------|---|--------------------------|---|
| CO-53 | 8,40 | 0,87 | 11,0 | 0,000 | 13,997 |
| CO-36 | 20,32 | 1,55 | 26,6 | 0,000 | 20,387 |
| CO-32 | 24,53 | 1,48 | 92,3 | 0,661 | 9,281 |
| CO-54 | 25,70 | 1,56 | 36,9 | 0,611 | 19,293 |
| CO-52 | 26,96 | 1,92 | 24,8 | 0,611 | 36,243 |
| CO-41 | 28,36 | 2,01 | 18,1 | 0,959 | 73,252 |
| CO-35 | 28,77 | 1,43 | 105,8 | 0,780 | 6,360 |
| CO-40 | 37,18 | 2,54 | 24,4 | 0,852 | 78,271 |
| CO-16 | 39,80 | 2,38 | 38,0 | 0,806 | 44,243 |
| CO-63 | 43,74 | 1,12 | 42,4 | 0,806 | 44,816 |
| CO-42 | 54,42 | 3,15 | 40,0 | 0,852 | 76,009 |
| CO-43 | 59,65 | 1,47 | 124,6 | 0,745 | 11,557 |
| CO-26 | 73,37 | 2,72 | 20,3 | 0,745 | 53,815 |
| CO-37 | 74,08 | 2,27 | 89,9 | 0,745 | 36,827 |
| CO-44 | 76,10 | 4,02 | 45,5 | 0,745 | 121,159 |
| CO-56 | 76,91 | 1,90 | 135,0 | 0,673 | 14,613 |
| CO-57 | 77,57 | 1,92 | 196,9 | 0,619 | 0,000 |
| CO-45 | 80,76 | 3,75 | 92,8 | 0,687 | 37,191 |
| CO-17 | 90,13 | 2,65 | 95,3 | 0,578 | 48,871 |
| CO-38 | 97,89 | 2,98 | 91,1 | 0,468 | 62,749 |
| CO-58 | 113,24 | 3,64 | 85,4 | 0,438 | 0,000 |
| CO-27 | 122,05 | 3,09 | 35,0 | 0,437 | 62,815 |
| CO-48 | 125,01 | 3,09 | 186,3 | 0,420 | 20,265 |
| CO-39 | 132,06 | 3,26 | 143,0 | 0,382 | 38,360 |
| CO-49 | 144,36 | 3,57 | 345,4 | 0,361 | 7,862 |
| CO-59 | 150,73 | 3,86 | 117,1 | 0,453 | 0,000 |
| CO-60 | 171,55 | 4,24 | 138,7 | 0,369 | 0,000 |
| CO-18 | 172,20 | 4,25 | 159,6 | 0,456 | 52,377 |
| CO-61 | 180,05 | 4,45 | 164,0 | 0,342 | 0,000 |

| | | | | | |
|-------|----------|-------|---------|-------|--------|
| CO-62 | 185,23 | 4,58 | 129,2 | 0,487 | 0,000 |
| CO-1 | 185,62 | 11,23 | 371,8 | 0,494 | 27,073 |
| CO-55 | 198,74 | 4,91 | 199,9 | 0,498 | 44,502 |
| CO-28 | 219,63 | 3,29 | 70,5 | 0,418 | 65,034 |
| CO-29 | 219,68 | 3,26 | 71,3 | 0,262 | 63,814 |
| CO-50 | 277,38 | 6,85 | 205,6 | 0,538 | 81,880 |
| CO-2 | 277,58 | 16,80 | 553,5 | 0,534 | 27,319 |
| CO-19 | 280,88 | 6,94 | 262,3 | 0,518 | 51,591 |
| CO-46 | 328,40 | 8,11 | 190,5 | 0,541 | 0,000 |
| CO-30 | 329,49 | 12,66 | 372,2 | 0,428 | 31,794 |
| CO-47 | 333,10 | 12,80 | 378,9 | 0,501 | 0,000 |
| CO-51 | 343,29 | 8,48 | 282,3 | 0,364 | 66,507 |
| CO-24 | 377,75 | 9,33 | 230,0 | 0,436 | 42,031 |
| CO-4 | 381,13 | 23,07 | 940,1 | 0,240 | 17,849 |
| CO-31 | 381,95 | 14,68 | 544,8 | 0,507 | 19,935 |
| CO-25 | 387,12 | 9,56 | 193,8 | 0,239 | 62,129 |
| CO-5 | 468,36 | 28,35 | 933,2 | 0,434 | 27,350 |
| CO-34 | 477,60 | 11,80 | 407,8 | 0,910 | 61,721 |
| CO-33 | 518,14 | 12,80 | 288,0 | 0,918 | 50,449 |
| CO-6 | 522,47 | 31,62 | 1.027,5 | 1,981 | 28,079 |
| CO-22 | 555,30 | 13,72 | 380,4 | 1,912 | 33,201 |
| CO-7 | 596,18 | 36,08 | 1.173,7 | 1,910 | 28,024 |
| CO-10 | 600,01 | 36,31 | 1.385,0 | 1,912 | 20,390 |
| CO-23 | 608,80 | 15,04 | 325,3 | 1,920 | 54,515 |
| CO-9 | 622,27 | 37,66 | 1.599,9 | 2,001 | 16,427 |
| CO-11 | 636,85 | 38,55 | 1.300,3 | 1,969 | 26,049 |
| CO-8 | 659,79 | 39,93 | 1.322,1 | 1,948 | 27,032 |
| CO-12 | 1.105,13 | 42,46 | 1.233,0 | 2,133 | 32,577 |
| CO-64 | 1.144,47 | 43,98 | 1.166,8 | 2,120 | 39,017 |
| CO-13 | 1.160,86 | 44,61 | 1.220,9 | 2,270 | 36,666 |
| CO-14 | 1.214,55 | 46,67 | 1.704,9 | 2,134 | 20,572 |

Fuente: Autores

Escenario 2-Periodo de retorno de 5 años

En el escenario 2, los colectores que conforman la red de alcantarillado combinado en el área de estudio se modelan para un tiempo de retorno de 5 años y tiempo de concentración de 15 minutos, de acuerdo a las curvas IDF establecidas para el área de estudio.

A continuación, se presentan los resultados generales de la simulación hidráulica del alcantarillado combinado existente.

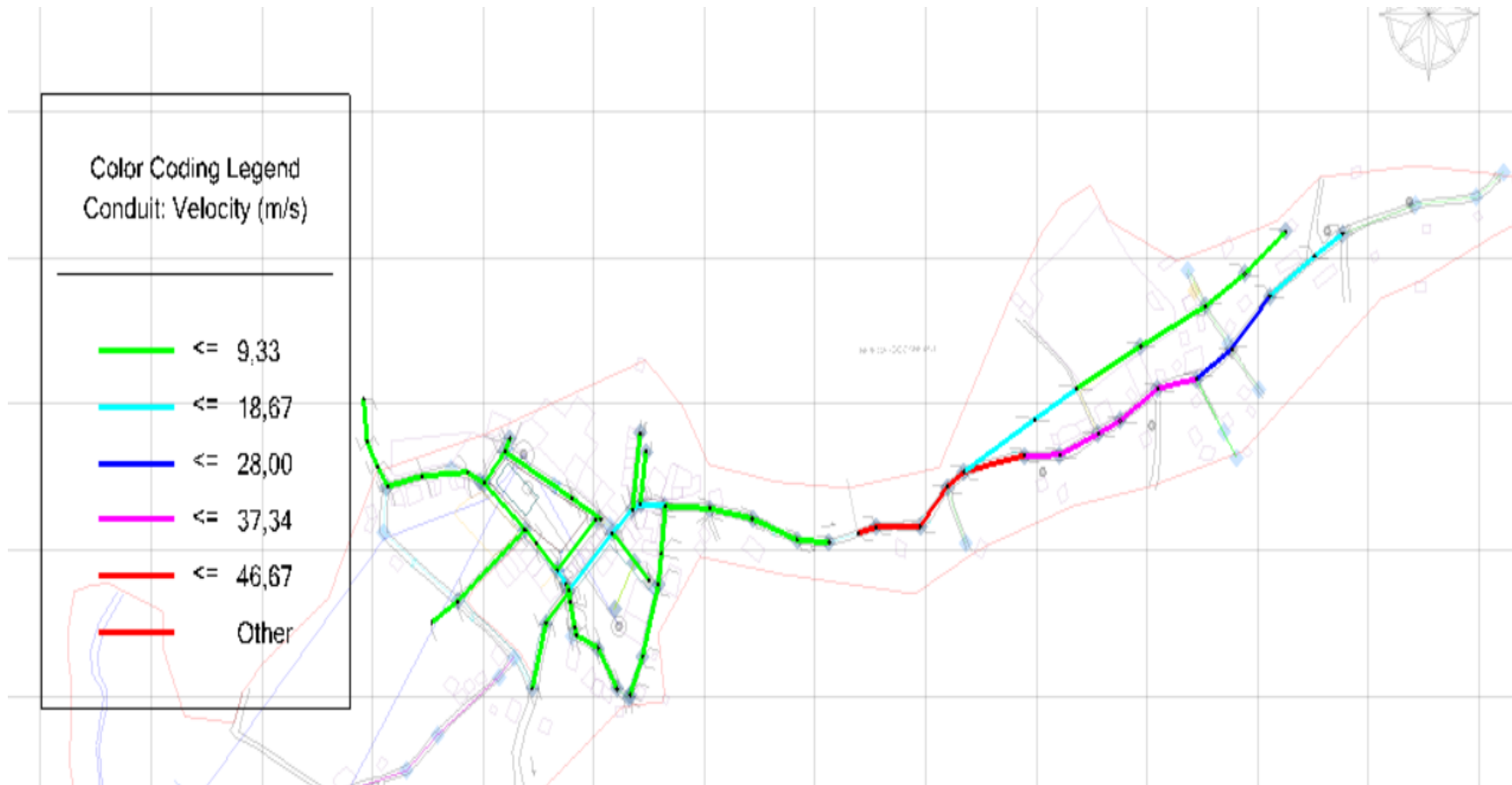
Velocidad. La velocidad en los tramos de alcantarillado para un evento crítico de simulación, presenta valores mínimos 0.80 m/s a 43.98 m/s como velocidad máxima, debido a las pendientes de la tubería y caudal transportado, en este sentido se presenta la siguiente situación donde se tienen valores que sobrepasan la norma ya que la norma exige que para diámetros menores a 450 mm las velocidades que se permiten es de 0.75 m/s a 5m/s.

Lo cual afecta dentro del sistema como se puede observar se podría presentar desbordamiento dentro del sistema de alcantarillado, pues las redes existentes no tienen la capacidad de soportar estas velocidades tan altas, por lo que se presentaría daños dentro de estas estructuras en los colapsos, por lo que se vería afectado el suelo principalmente y la comunidad por riesgos como inundaciones o erosiones al suelo.

En la siguiente imagen se puede observar a lo largo del sistema de alcantarillado las velocidades presentadas en las modelaciones durante los primeros 15 minutos.

Figura 25

Velocidad escenario 2



Fuente: Autores

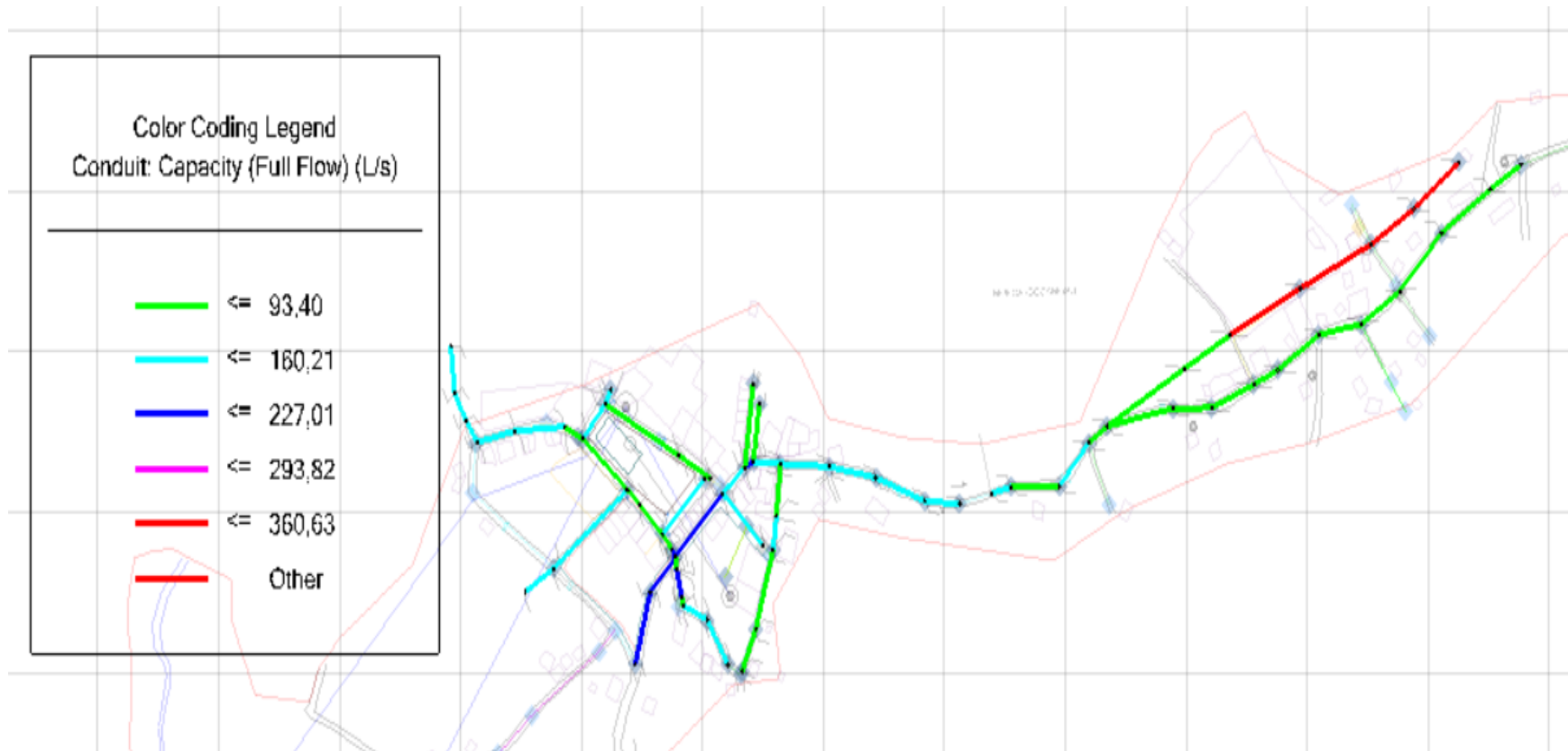
Capacidad hidráulica a tubo lleno. Para el análisis de capacidad hidráulica se planteó la relación q/Q en porcentaje, que representa la relación de simulación y el caudal a tubo lleno, dentro de los tramos de análisis supera la capacidad hidráulica máxima en el tiempo de concentración bajo condiciones críticas de simulación, considerando que el sistema funciona combinado.

De acuerdo a esto según la norma RAS 2017, se especifica dentro del artículo 151, que la relación máxima entre profundidad y diámetro de la tubería no debe superar un valor máximo del 93%, por lo que observamos colectores, que sobrepasan este valor, ocurriendo o generando situaciones de desbordamientos, provocando inundaciones, daños a la infraestructura, y posibles riesgos para la salud pública.

Como se puede observar dentro del sistema de alcantarillado existen tramos que no cumplen la normatividad vigente, para un periodo crítico de tormenta.

Figura 26

Capacidad hidráulica escenario 2



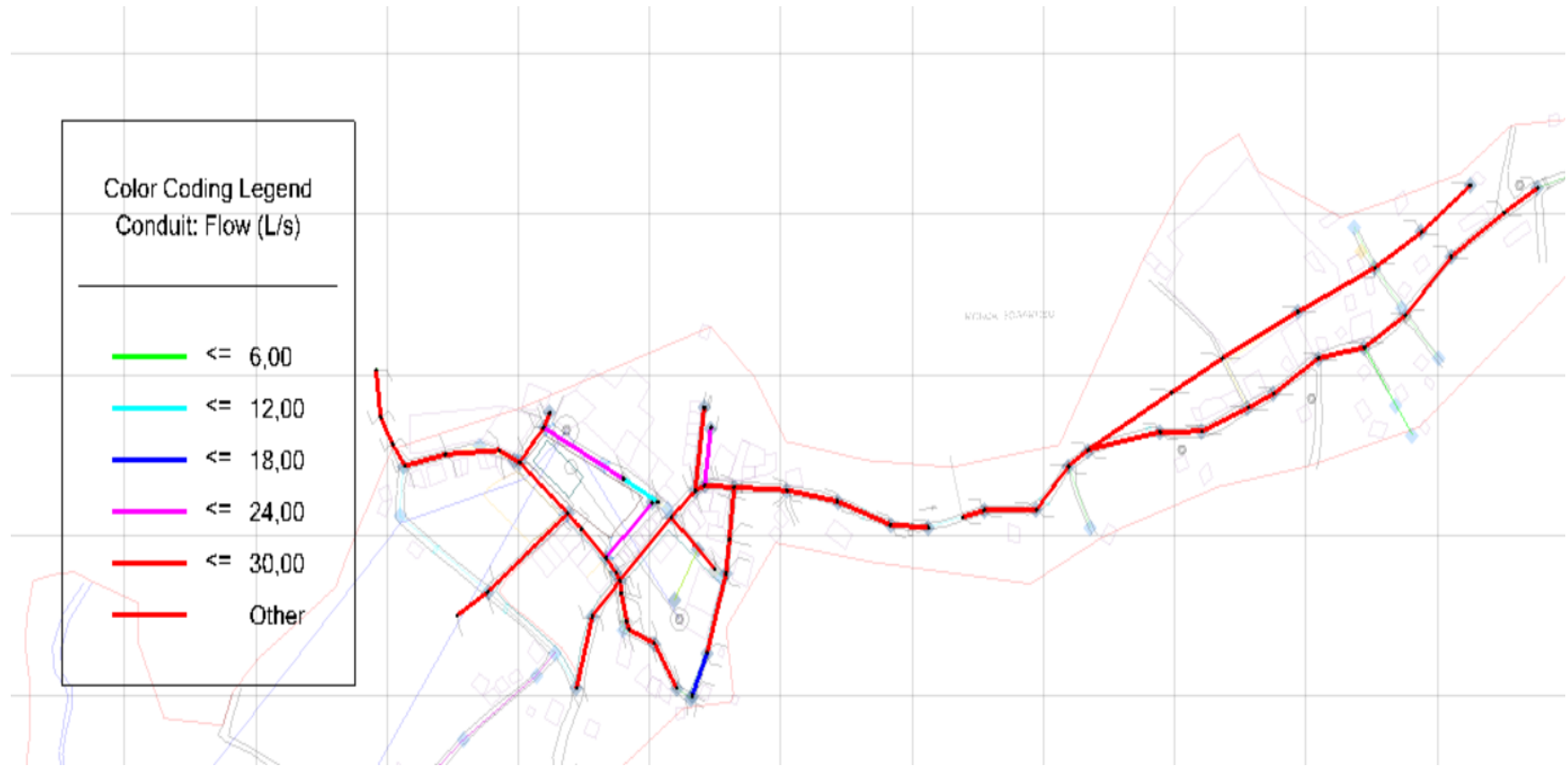
Fuente: Autores de la Investigación

Caudal transportado. A continuación, se presenta la tabla resumen en donde se evidencia el caudal transportado por tramos del sistema de colectores de alcantarillado combinado, además de las variables hidráulicas anteriormente mencionadas.

Este caudal presentado, es durante el tiempo de concentración de 15 minutos, por lo que se presentan valores de caudal de aproximadamente desde 7.42 l/s en adelante, todo esto varía de acuerdo a los aportes.

Figura 27

Caudal transportado



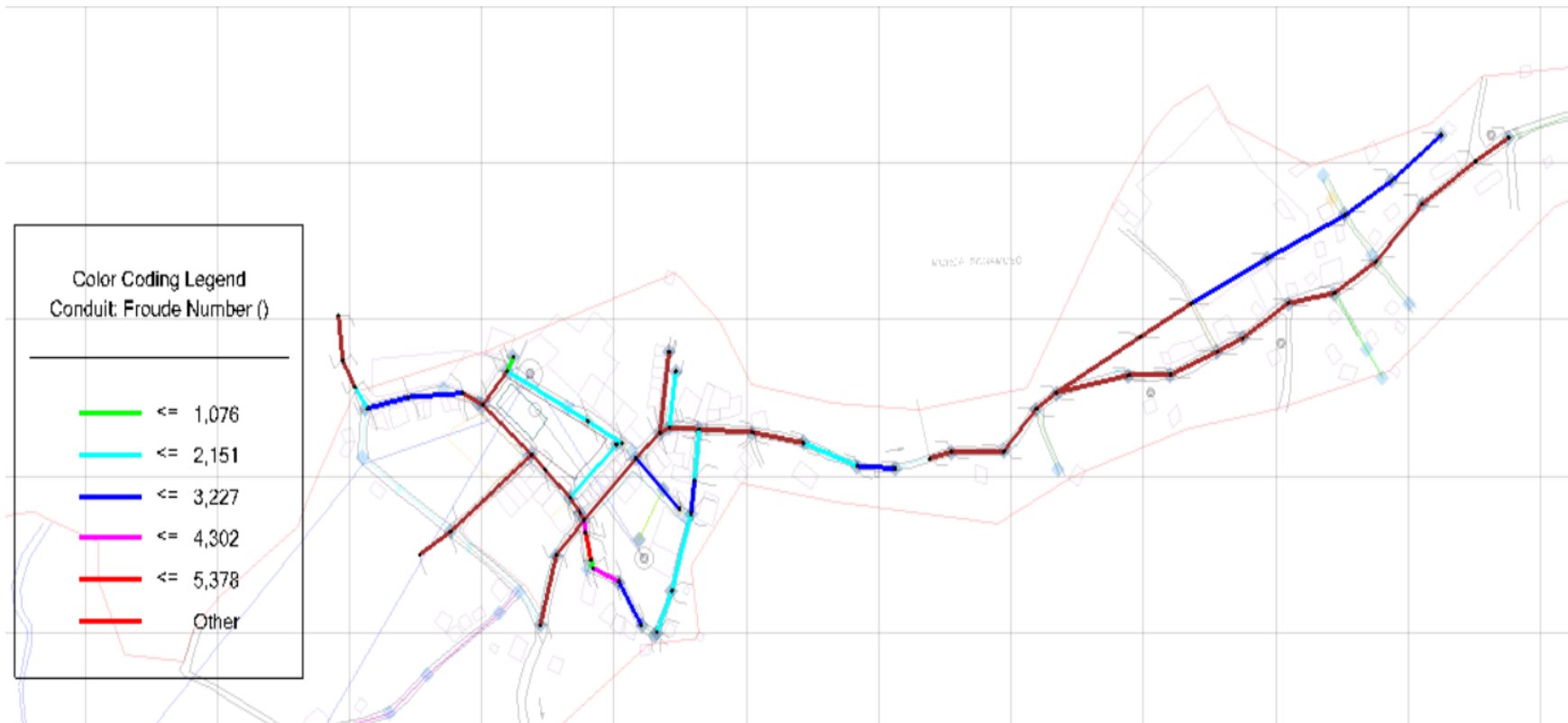
Fuente: Autores

Numero de froude. A continuación, se presenta el cálculo del Número de Froude, necesario para clasificar el régimen de flujo en subcrítico, crítico y supercrítico en cada uno de los colectores que conforman la red de alcantarillado combinado en el área de estudio, se puede evidenciar que en el periodo de análisis el régimen de flujo en la red de drenaje corresponde a subcrítico y supercrítico.

Dentro de este parámetro generalmente se busca mantener el número de froude por debajo de 1 para evitar condiciones de flujo rápido los cuales pueden causar erosión o daños dentro de la estructura del sistema de alcantarillado.

Figura 28

Numero de Froude escenario 2



Fuente: Autore

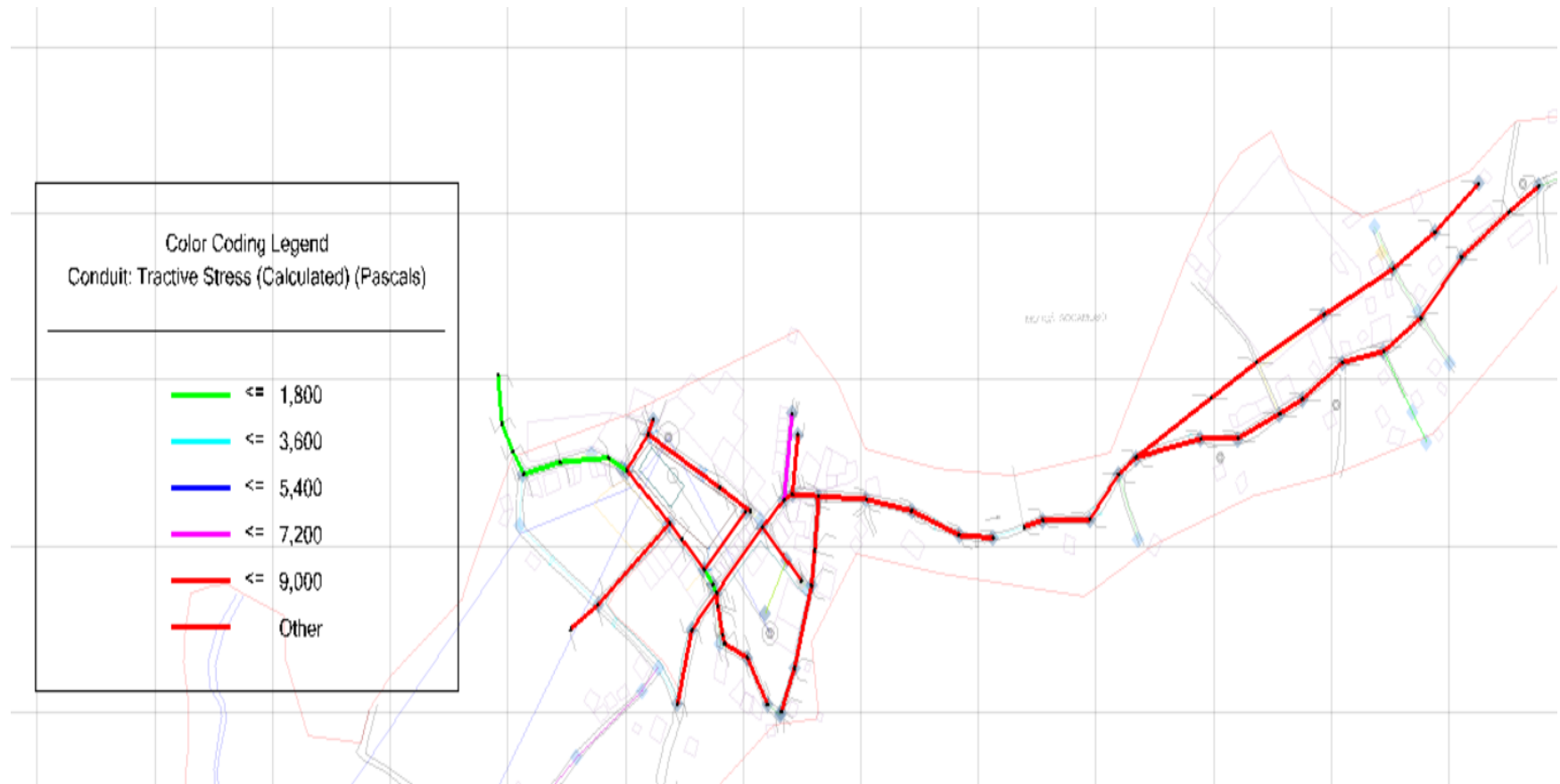
Fuerza tractiva. A continuación, se presenta el cálculo del parámetro de fuerza tractiva, necesario para determinar el criterio de autolimpieza en las tuberías a partir del esfuerzo cortante mínimo que permite esta condición, se puede evidenciar que en el periodo de análisis el criterio de autolimpieza los tramos no cumplen este criterio.

De acuerdo a los sistemas de alcantarillados combinados, el valor de la fuerza cortante no debe sobrepasar los 2 Pa, por lo que, en la siguiente figura, se presentan valores que sobrepasan estos valores y adicionalmente de esto son muy altos, por lo que significa que la velocidad del flujo como también se presentaba anteriormente, son muy altas como para arrastrar sólidos o sedimentos presentes dentro del sistema.

Esto puede provocar la erosión de las paredes de los conductos dentro del sistema y el desgaste de la tubería. Adicionalmente como se viene planteando puede aumentar los riesgos de inundaciones provocados por obstrucciones o bloqueos dentro del sistema

Figura 29

Fuerza tractiva escenario 2



Fuente: Autores

Teniendo en cuenta los parámetros analizados en el escenario 1, se consolida un análisis de forma general donde se presenta el no cumplimiento de los parámetros hidráulicos mínimos partir de los 60 tramos analizados en dicho escenario.

Tabla 10*Resultado parámetros hidráulicos escenario 2*

| Label | Flow (Middle) (L/s) | Velocity (m/s) | Flow / Capacity (Design) (%) | Froude Number | Tractive Stress (Calculated) (Pascals) |
|-------|---------------------------|-------------------|------------------------------------|------------------|---|
| CO-53 | 7,42 | 0,80 | 9,7 | 1,163 | 13,196 |
| CO-41 | 25,04 | 1,81 | 15,9 | 2,217 | 69,588 |
| CO-26 | 64,77 | 2,62 | 18,0 | 3,051 | 51,053 |
| CO-40 | 32,82 | 2,28 | 21,5 | 2,796 | 74,316 |
| CO-52 | 23,80 | 1,73 | 21,9 | 1,940 | 34,407 |
| CO-36 | 17,94 | 1,49 | 23,4 | 2,005 | 19,413 |
| CO-27 | 107,74 | 2,99 | 30,9 | 2,976 | 59,744 |
| CO-54 | 22,71 | 1,50 | 32,6 | 1,840 | 18,350 |
| CO-16 | 35,16 | 2,30 | 33,6 | 2,813 | 42,132 |
| CO-42 | 48,04 | 3,04 | 35,3 | 3,658 | 72,212 |
| CO-63 | 38,64 | 1,09 | 37,4 | 0,779 | 42,596 |
| CO-44 | 67,20 | 3,89 | 40,2 | 4,496 | 115,299 |
| CO-28 | 193,91 | 3,19 | 62,2 | 2,472 | 62,445 |
| CO-29 | 193,96 | 3,16 | 63,0 | 2,439 | 61,320 |
| CO-58 | 99,19 | 3,58 | 74,8 | 3,205 | 0,000 |
| CO-37 | 65,40 | 2,23 | 79,3 | 1,912 | 35,699 |
| CO-38 | 86,41 | 2,92 | 80,4 | 2,489 | 60,958 |
| CO-32 | 21,68 | 1,74 | 81,6 | 1,818 | 9,038 |
| CO-45 | 71,33 | 3,69 | 82,0 | 3,475 | 36,240 |
| CO-17 | 79,62 | 2,58 | 84,2 | 2,122 | 47,852 |
| CO-35 | 26,03 | 1,29 | 95,8 | (N/A) | 6,362 |
| CO-59 | 132,53 | 3,68 | 103,0 | 2,558 | 0,000 |
| CO-43 | 52,71 | 1,40 | 110,1 | 0,879 | 12,428 |
| CO-62 | 168,71 | 4,17 | 117,7 | (N/A) | 0,000 |
| CO-60 | 150,71 | 3,79 | 121,8 | 1,891 | 0,000 |
| CO-39 | 116,57 | 2,89 | 126,2 | 1,098 | 42,343 |
| CO-56 | 76,06 | 1,88 | 133,5 | (N/A) | 14,613 |
| CO-18 | 152,08 | 3,76 | 141,0 | (N/A) | 52,377 |
| CO-61 | 160,34 | 3,96 | 146,0 | (N/A) | 0,000 |

| | | | | | |
|-------|----------|-------|---------|-------|--------|
| CO-46 | 289,97 | 7,16 | 168,2 | (N/A) | 0,000 |
| CO-57 | 67,27 | 1,66 | 170,7 | (N/A) | 0,000 |
| CO-25 | 341,81 | 8,44 | 171,1 | (N/A) | 62,129 |
| CO-48 | 117,70 | 2,91 | 175,4 | (N/A) | 20,265 |
| CO-55 | 175,56 | 4,34 | 176,6 | (N/A) | 44,502 |
| CO-50 | 260,95 | 6,45 | 193,5 | (N/A) | 81,880 |
| CO-24 | 333,54 | 8,24 | 203,1 | (N/A) | 42,031 |
| CO-19 | 248,01 | 6,13 | 231,7 | (N/A) | 51,591 |
| CO-33 | 457,47 | 11,30 | 254,2 | (N/A) | 50,449 |
| CO-51 | 319,26 | 7,89 | 262,6 | (N/A) | 66,507 |
| CO-23 | 537,57 | 13,28 | 287,3 | (N/A) | 54,515 |
| CO-49 | 136,35 | 3,37 | 326,2 | (N/A) | 7,862 |
| CO-30 | 290,92 | 11,18 | 328,6 | (N/A) | 31,794 |
| CO-1 | 164,79 | 9,97 | 330,1 | (N/A) | 27,073 |
| CO-47 | 294,12 | 11,30 | 334,6 | (N/A) | 0,000 |
| CO-22 | 490,33 | 12,11 | 335,9 | (N/A) | 33,201 |
| CO-34 | 421,67 | 10,42 | 360,1 | (N/A) | 61,721 |
| CO-31 | 337,23 | 12,96 | 481,0 | (N/A) | 19,935 |
| CO-2 | 245,97 | 14,89 | 490,5 | (N/A) | 27,319 |
| CO-5 | 416,26 | 25,19 | 829,4 | (N/A) | 27,350 |
| CO-4 | 339,25 | 20,53 | 836,8 | (N/A) | 17,849 |
| CO-6 | 464,02 | 28,08 | 912,6 | (N/A) | 28,079 |
| CO-7 | 529,09 | 32,02 | 1.041,6 | (N/A) | 28,024 |
| CO-13 | 1.093,61 | 42,02 | 1.150,1 | (N/A) | 36,666 |
| CO-12 | 1.044,40 | 40,13 | 1.165,2 | (N/A) | 32,577 |
| CO-64 | 1.144,47 | 43,98 | 1.166,8 | (N/A) | 39,017 |
| CO-8 | 585,24 | 35,42 | 1.172,7 | (N/A) | 27,032 |
| CO-11 | 632,57 | 38,29 | 1.291,6 | (N/A) | 26,049 |
| CO-10 | 600,01 | 36,31 | 1.385,0 | (N/A) | 20,390 |
| CO-9 | 611,39 | 37,00 | 1.571,9 | (N/A) | 16,427 |
| CO-14 | 1.141,04 | 43,84 | 1.601,8 | (N/A) | 20,572 |

Fuente: Autores

Escenario 3 periodo de retorno 10 años

En el escenario 3, los colectores que conforman la red de alcantarillado combinado en el área de estudio se modelan para un tiempo de retorno de 10 años y tiempo de concentración de 15 minutos, de acuerdo a las curvas IDF establecidas para el Municipio. A

continuación, se presentan los resultados generales de la simulación hidráulica del alcantarillado combinado existente.

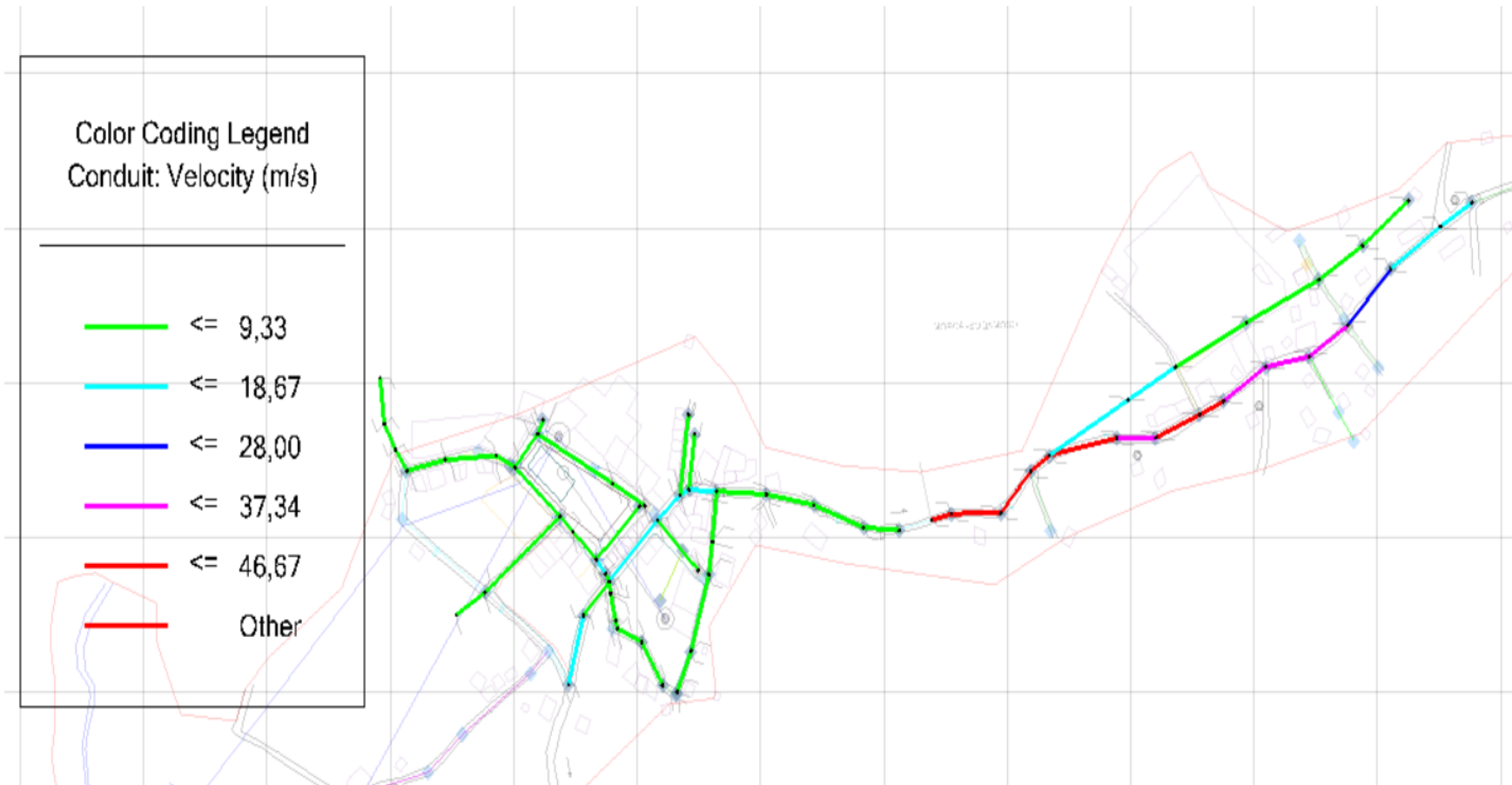
Velocidad. La velocidad en los tramos de alcantarillado para un evento crítico de simulación, presenta valores mínimos 0.87 m/s a 46.67 m/s como velocidad máxima, debido a las pendientes de la tubería y caudal transportado, en este sentido se presenta la siguiente situación donde se tienen valores que sobrepasan la norma ya que la norma exige que para diámetros menores a 450 mm las velocidades que se permiten es de 0.75 m/s a 5m/s.

Lo cual afecta dentro del sistema como se puede observar se podría presentar desbordamiento dentro del sistema de alcantarillado, pues las redes existentes no tienen la capacidad de soportar estas velocidades tan altas, por lo que se presentaría daños dentro de estas estructuras en los colapsos, por lo que se vería afectado el suelo principalmente y la comunidad por riesgos como inundaciones o erosiones al suelo.

En la siguiente imagen se puede observar a lo largo del sistema de alcantarillado las velocidades presentadas en las modelaciones durante los primeros 15 minutos.

Figura 30

Velocidad escenario 3



Fuente: Autores

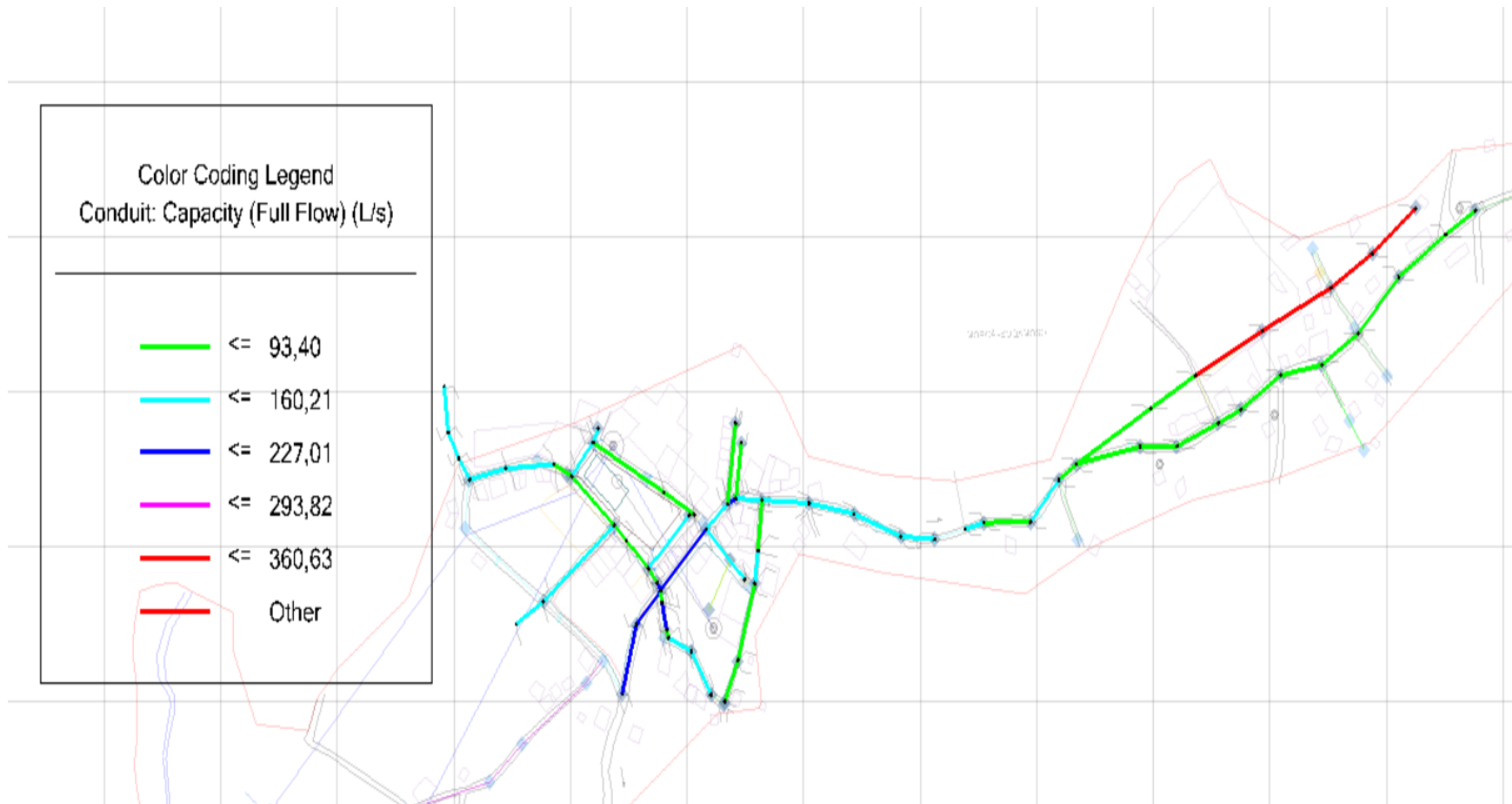
Capacidad hidráulica. Para el análisis de capacidad hidráulica se planteó la relación q/Q en porcentaje, que representa la relación de simulación y el caudal a tubo lleno, dentro de los tramos de análisis supera la capacidad hidráulica máxima en el tiempo de concentración bajo condiciones críticas de simulación, considerando que el sistema funciona combinado.

De acuerdo a esto según la norma RAS 2017, se especifica dentro del artículo 151, que la relación máxima entre profundidad y diámetro de la tubería no debe superar un valor máximo del 93%, por lo que observamos colectores, que sobrepasan este valor, ocurriendo o generando situaciones de desbordamientos, provocando inundaciones, daños a la infraestructura, y posibles riesgos para la salud pública.

Como se puede observar dentro del sistema de alcantarillado existen tramos que no cumplen la normatividad vigente, para un periodo crítico de tormenta.

Figura 31

Capacidad hidráulica escenario 3



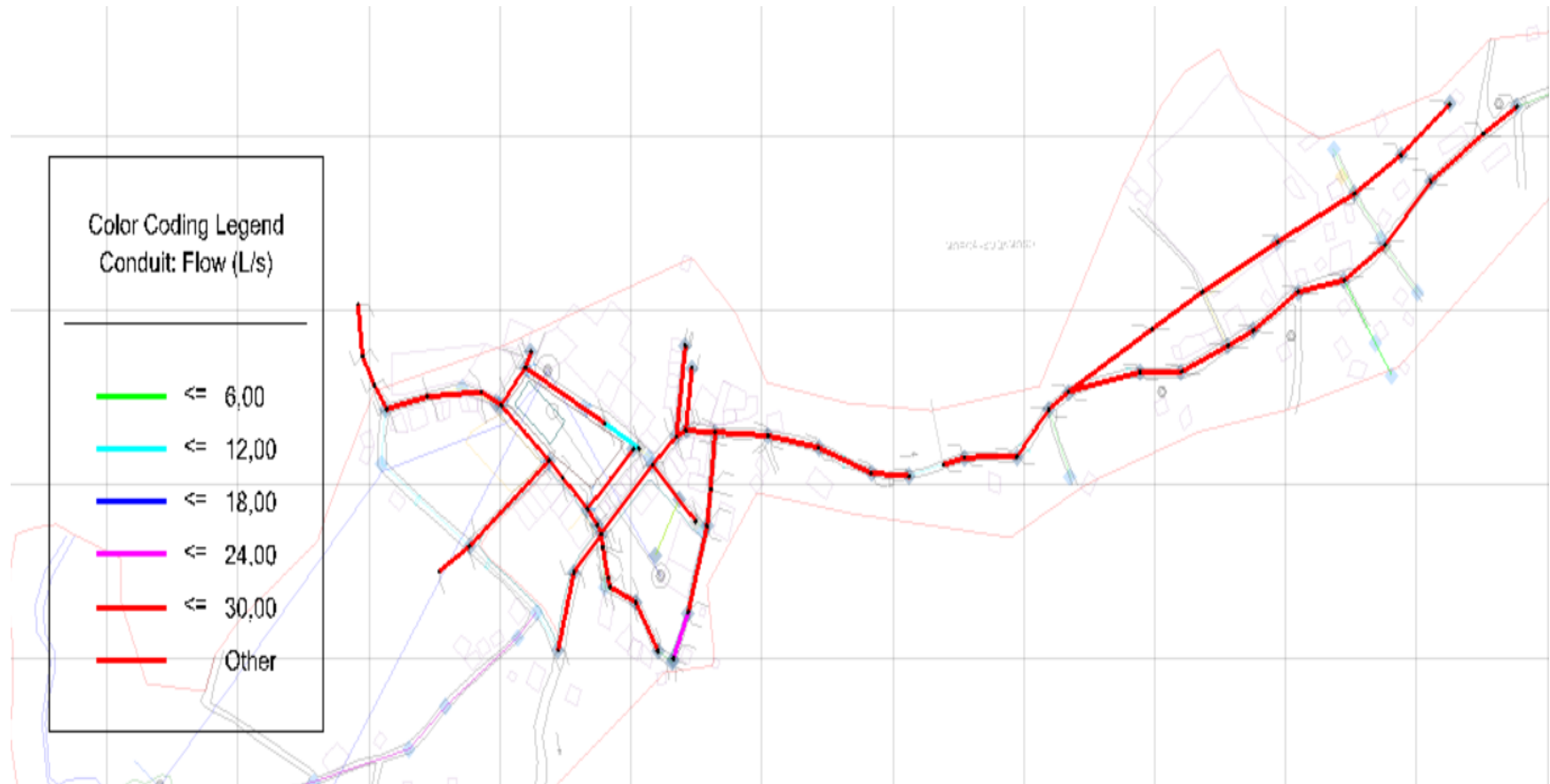
Fuente: Autores

Caudal transportado. A continuación, se presenta la tabla resumen en donde se evidencia el caudal transportado por tramos del sistema de colectores de alcantarillado combinado, además de las variables hidráulicas anteriormente mencionadas.

Este caudal presentado, es durante el tiempo de concentración de 15 minutos, por lo que se presentan valores de caudal de aproximadamente desde 7.42 l/s en adelante, todo esto varía de acuerdo a los aportes

Figura 32

Caudal transportado escenario 3



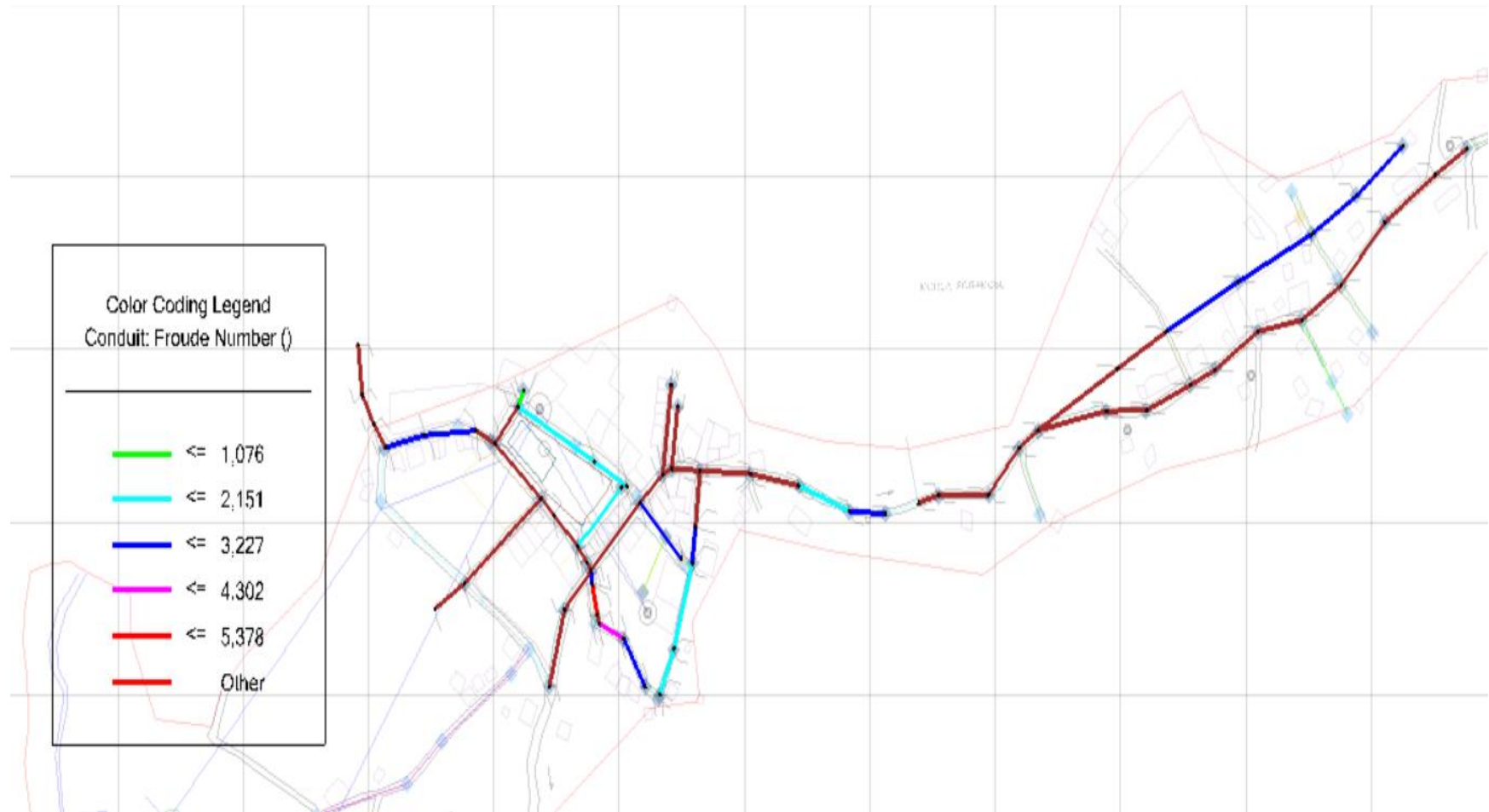
Fuente: Autores

Numero de froude. A continuación, se presenta el cálculo del Número de Froude, necesario para clasificar el régimen de flujo en subcrítico, crítico y supercrítico en cada uno de los colectores que conforman la red de alcantarillado combinado en el área de estudio, se puede evidenciar que en el periodo de análisis el régimen de flujo en la red de drenaje corresponde a subcrítico y supercrítico.

Dentro de este parámetro generalmente se busca mantener el número de froude por debajo de 1 para evitar condiciones de flujo rápido los cuales pueden causar erosión o daños dentro de la estructura del sistema de alcantarillado.

Figura 33

Numero de Froude escenario 3



Fuente: Autores

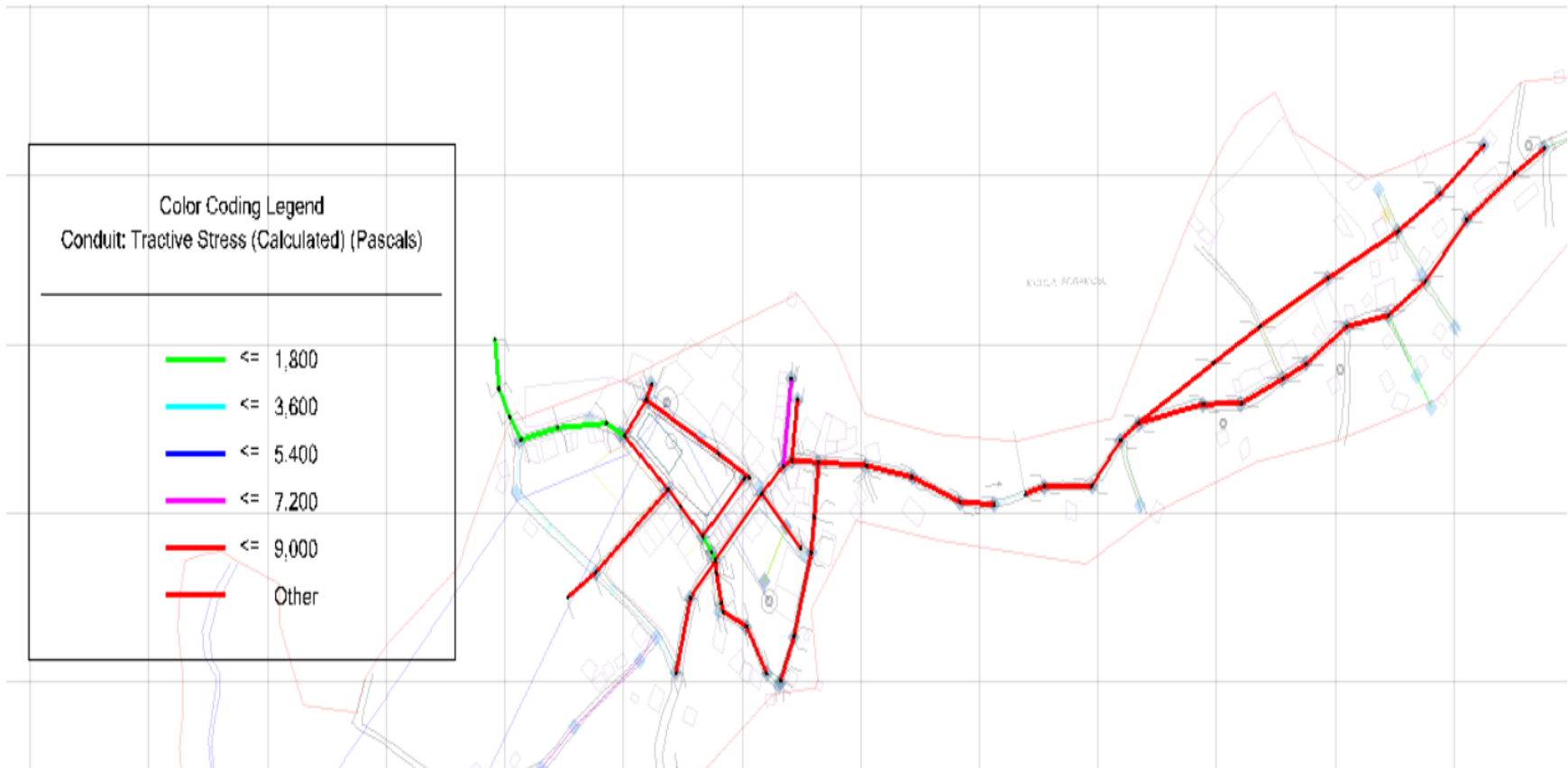
Fuerza tractiva. A continuación, se presenta el cálculo del parámetro de fuerza tractiva, necesario para determinar el criterio de autolimpieza en las tuberías a partir del esfuerzo cortante mínimo que permite esta condición, se puede evidenciar que en el periodo de análisis el criterio de autolimpieza los tramos no cumplen este criterio.

De acuerdo a los sistemas de alcantarillados combinados, el valor de la fuerza cortante no debe sobrepasar los 2 Pa, por lo que, en la siguiente figura, se presentan valores que sobrepasan estos valores y adicionalmente de esto son muy altos, por lo que significa que la velocidad del flujo como también se presentaba anteriormente, son muy altas como para arrastrar sólidos o sedimentos presentes dentro del sistema.

Esto puede provocar la erosión de las paredes de los conductos dentro del sistema y el desgaste de la tubería. Adicionalmente como se viene planteando puede aumentar los riesgos de inundaciones provocados por obstrucciones o bloqueos dentro del sistema.

Figura 34

Fuerza tractiva escenario 3



Fuente: Autores

Tabla 11*Resultados de los parámetros hidráulicos escenario 3*

| Label | Flow (Middle) (L/s) | Velocity (m/s) | Flow / Capacity (Design) (%) | Froude Number | Tractive Stress (Calculated) (Pascals) |
|--------------|------------------------------------|---------------------------|---|--------------------------|---|
| CO-14 | 1.214,55 | 46,67 | 1.704,9 | (N/A) | 20,572 |
| CO-13 | 1.160,86 | 44,61 | 1.220,9 | (N/A) | 36,666 |
| CO-64 | 1.144,47 | 43,98 | 1.166,8 | (N/A) | 39,017 |
| CO-12 | 1.105,13 | 42,46 | 1.233,0 | (N/A) | 32,577 |
| CO-8 | 659,79 | 39,93 | 1.322,1 | (N/A) | 27,032 |
| CO-11 | 636,85 | 38,55 | 1.300,3 | (N/A) | 26,049 |
| CO-9 | 622,27 | 37,66 | 1.599,9 | (N/A) | 16,427 |
| CO-10 | 600,01 | 36,31 | 1.385,0 | (N/A) | 20,390 |
| CO-7 | 596,18 | 36,08 | 1.173,7 | (N/A) | 28,024 |
| CO-6 | 522,47 | 31,62 | 1.027,5 | (N/A) | 28,079 |
| CO-5 | 468,36 | 28,35 | 933,2 | (N/A) | 27,350 |
| CO-4 | 381,13 | 23,07 | 940,1 | (N/A) | 17,849 |
| CO-2 | 277,58 | 16,80 | 553,5 | (N/A) | 27,319 |
| CO-23 | 608,80 | 15,04 | 325,3 | (N/A) | 54,515 |
| CO-31 | 381,95 | 14,68 | 544,8 | (N/A) | 19,935 |
| CO-22 | 555,30 | 13,72 | 380,4 | (N/A) | 33,201 |
| CO-33 | 518,14 | 12,80 | 288,0 | (N/A) | 50,449 |
| CO-47 | 333,10 | 12,80 | 378,9 | (N/A) | 0,000 |
| CO-30 | 329,49 | 12,66 | 372,2 | (N/A) | 31,794 |
| CO-34 | 477,60 | 11,80 | 407,8 | (N/A) | 61,721 |
| CO-1 | 185,62 | 11,23 | 371,8 | (N/A) | 27,073 |
| CO-25 | 387,12 | 9,56 | 193,8 | (N/A) | 62,129 |
| CO-24 | 377,75 | 9,33 | 230,0 | (N/A) | 42,031 |
| CO-51 | 343,29 | 8,48 | 282,3 | (N/A) | 66,507 |
| CO-46 | 328,40 | 8,11 | 190,5 | (N/A) | 0,000 |
| CO-19 | 280,88 | 6,94 | 262,3 | (N/A) | 51,591 |
| CO-50 | 277,38 | 6,85 | 205,6 | (N/A) | 81,880 |
| CO-55 | 198,74 | 4,91 | 199,9 | (N/A) | 44,502 |
| CO-62 | 185,23 | 4,58 | 129,2 | (N/A) | 0,000 |
| CO-61 | 180,05 | 4,45 | 164,0 | (N/A) | 0,000 |
| CO-18 | 172,20 | 4,25 | 159,6 | (N/A) | 52,377 |
| CO-60 | 171,55 | 4,24 | 138,7 | (N/A) | 0,000 |
| CO-44 | 76,10 | 4,02 | 45,5 | 4,440 | 121,159 |
| CO-59 | 150,73 | 3,86 | 117,1 | 2,169 | 0,000 |

| | | | | | |
|-------|--------|------|-------|-------|--------|
| CO-45 | 80,76 | 3,75 | 92,8 | 3,199 | 37,191 |
| CO-58 | 113,24 | 3,64 | 85,4 | 2,974 | 0,000 |
| CO-49 | 144,36 | 3,57 | 345,4 | (N/A) | 7,862 |
| CO-28 | 219,63 | 3,29 | 70,5 | 2,408 | 65,034 |
| CO-39 | 132,06 | 3,26 | 143,0 | (N/A) | 38,360 |
| CO-29 | 219,68 | 3,26 | 71,3 | 2,372 | 63,814 |
| CO-42 | 54,42 | 3,15 | 40,0 | 3,641 | 76,009 |
| CO-27 | 122,05 | 3,09 | 35,0 | 2,966 | 62,815 |
| CO-48 | 125,01 | 3,09 | 186,3 | (N/A) | 20,265 |
| CO-38 | 97,89 | 2,98 | 91,1 | 2,317 | 62,749 |
| CO-26 | 73,37 | 2,72 | 20,3 | 3,057 | 53,815 |
| CO-17 | 90,13 | 2,65 | 95,3 | 1,980 | 48,871 |
| CO-40 | 37,18 | 2,54 | 24,4 | 3,107 | 78,271 |
| CO-16 | 39,80 | 2,38 | 38,0 | 2,788 | 44,243 |
| CO-37 | 74,08 | 2,27 | 89,9 | 1,778 | 36,827 |
| CO-41 | 28,36 | 2,01 | 18,1 | 2,457 | 73,252 |
| CO-52 | 26,96 | 1,92 | 24,8 | 2,148 | 36,243 |
| CO-57 | 77,57 | 1,92 | 196,9 | (N/A) | 0,000 |
| CO-56 | 76,91 | 1,90 | 135,0 | (N/A) | 14,613 |
| CO-54 | 25,70 | 1,56 | 36,9 | 1,832 | 19,293 |
| CO-36 | 20,32 | 1,55 | 26,6 | 2,023 | 20,387 |
| CO-32 | 24,53 | 1,48 | 92,3 | (N/A) | 9,281 |
| CO-43 | 59,65 | 1,47 | 124,6 | (N/A) | 11,557 |
| CO-35 | 28,77 | 1,43 | 105,8 | (N/A) | 6,360 |
| CO-63 | 43,74 | 1,12 | 42,4 | 0,633 | 44,816 |
| CO-53 | 8,40 | 0,87 | 11,0 | 1,246 | 13,997 |

Fuentes: Autores

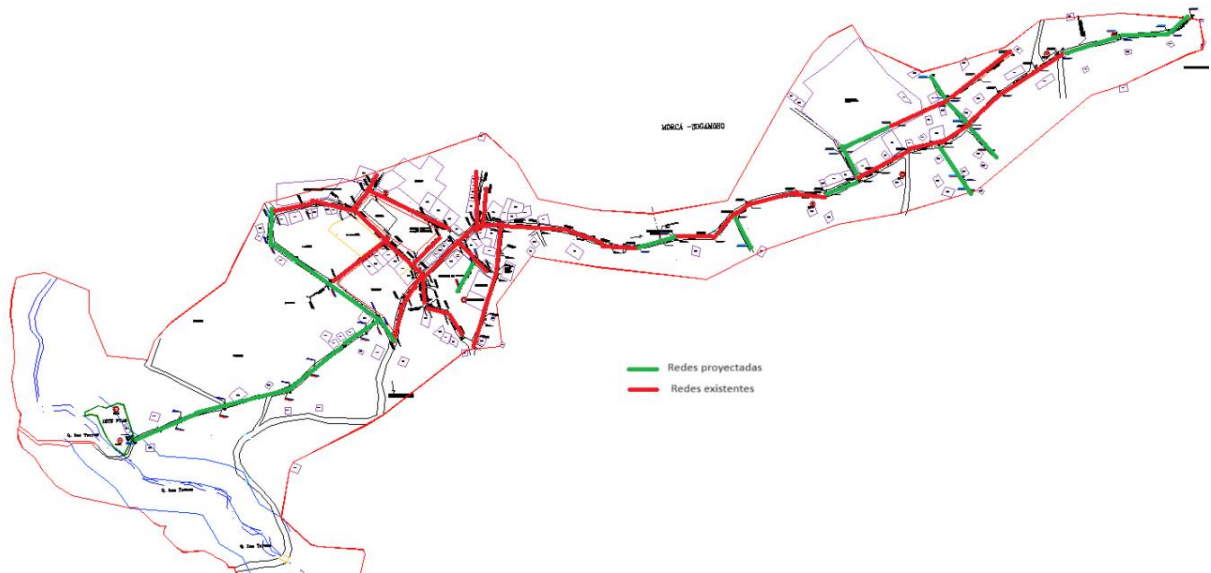
Planteamiento, análisis y selección de alternativas

Planteamiento alternativas de alcantarillado

El planteamiento de alternativas se llevó a cabo a partir de los escenarios y resultados de la fase de diagnóstico desarrollada previamente, considerando la capacidad hidráulica de los colectores el factor relevante para realizar el planteamiento de alternativas.

Figura 35

Proyección de colectores planteados



Fuente: Autores

Se plantea la unificación de las redes, donde se eliminen los vertimientos a predios, con el fin de conducirlos hacia la quebrada Torres, a continuación, se presenta las alternativas que se tendrían de acuerdo a este planteamiento, teniendo en cuenta unos costos aproximados, ya que estos cambiarían de acuerdo a cotizaciones y precios en actualización, adicionalmente se recomendaría realizar un presupuesto más detallado con las actividades constructivas que conlleva estas optimizaciones.

Alternativa 1

Consiste en mantener el sistema de alcantarillado combinado, se proyecta la ampliación de 1409,34 m de tubería en material de concreto de la siguiente manera:

Tabla 12**Alternativa 1**

| Redes Colectoras Proyectadas: | | | | |
|----------------------------------|------------------------|--------------|-------------------|--------------------------|
| Diámetro mm | Material | Longitud (m) | Precio por ml (*) | Costo Total |
| 6" | Concreto | 717,89 | \$ 55.481,43 | \$ 39.829.563,78 |
| 8" | Concreto | 165,51 | \$ 72.081,43 | \$ 11.930.197,48 |
| 10" | Concreto | 525,94 | \$ 122.901,43 | \$ 64.638.778,09 |
| 12" | Concreto | 0,00 | \$ 139.068,43 | \$ - |
| 14" | Concreto | 0,00 | \$ 197.341,43 | \$ - |
| Subtotal | | 1409,34 | | \$ 116.398.539,35 |
| Pozos de Inspección Proyectados: | | | | |
| Diámetro interno m | Profundidad (m) | Cantidad | Valor (**) | Costo Total |
| 1,0 | Menores a 1 m | 9 | \$ 1.519.181,66 | \$ 13.672.634,94 |
| 1,2 | Entre 1.0 m <H< 1.5 m | 22 | \$ 1.588.202,53 | \$ 34.940.455,66 |
| 1,2 | Entre 1.5 m <H< 2.0 m | 0 | \$ 2.451.553,56 | \$ - |
| 1,2 | Entre 2.0 m <H< 2.50 m | 0 | \$ 3.275.747,91 | \$ - |
| 1,5 | Entre 3.5 m <H< 5 m | 0 | \$ 5.108.376,39 | \$ - |
| Subtotal | | 31 | | \$ 48.613.090,60 |
| Total, Alternativa 1 | | | | \$ 165.011.629,95 |

Fuente: Autores

Alternativa 2

Consiste en mantener el sistema de alcantarillado combinado, se proyecta la ampliación de 1409,34 m de tubería en material PEAD se la siguiente manera:

Tabla 13*Alternativa 2*

| Redes Colectoras Proyectadas: | | | | |
|----------------------------------|------------------------------|--------------|-------------------|--------------------------|
| Diámetro mm | Material | Longitud (m) | Precio por ml (*) | Costo Total |
| 6" | Polietileno de alta densidad | 717,89 | \$ 198.541,90 | \$ 142.531.244,59 |
| 8" | Polietileno de alta densidad | 165,51 | \$ 115.666,41 | \$ 19.143.948,07 |
| 10" | Polietileno de alta densidad | 525,94 | \$ 186.682,24 | \$ 98.183.658,18 |
| 12" | Polietileno de alta densidad | 0,00 | \$ 298.547,99 | \$ - |
| 14" | Polietileno de alta densidad | 0,00 | \$ 379.622,89 | \$ - |
| Subtotal | | 1409,34 | | \$ 259.858.850,84 |
| Pozos de Inspección Proyectados: | | | | |
| Diámetro interno m | Profundidad (m) | Cantidad | Valor (**) | Costo Total |
| 1,0 | Menores a 1 m | 9 | \$ 1.519.181,66 | \$ 13.672.634,94 |
| 1,2 | Entre 1.0 m <H< 1.5 m | 22 | \$ 1.588.202,53 | \$ 34.940.455,66 |
| 1,2 | Entre 1.5 m <H< 2.0 m | 0 | \$ 2.451.553,56 | \$ - |
| 1,2 | Entre 2.0 m <H< 2.50 m | 0 | \$ 3.275.747,91 | \$ - |
| 1,5 | Entre 3.5 m <H< 5 m | 0 | \$ 5.108.376,39 | \$ - |
| Subtotal | | 31 | | \$ 48.613.090,60 |
| Total, Alternativa 2 | | | | \$ 308.471.941,44 |

Fuente: Autores

Alternativa 3

Consiste en mantener el sistema de alcantarillado combinado, se proyecta la ampliación de 1409,34 m de tubería en material de PVC se la siguiente manera:

Tabla 14*Alternativa 3*

| Redes Colectoras Proyectadas: | | | | |
|-------------------------------|----------|--------------|-------------------|------------------|
| Diámetro mm | Material | Longitud (m) | Precio por ml (*) | Costo Total |
| 6" | PVC | 717,89 | \$ 52.659,53 | \$ 37.803.749,99 |
| 8" | PVC | 165,51 | \$ 70.714,01 | \$ 11.703.875,80 |
| 10" | PVC | 525,94 | \$ 116.678,20 | \$ 61.365.732,51 |
| 12" | PVC | 0,00 | \$ 167.900,70 | \$ - |

| | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------|----------|------------|--------------|-----------|-----------------------|
| 14" | PVC | 0,00 | \$ | 198.009,20 | \$ | - |
| Subtotal | | 1409,34 | | | \$ | 110.873.358,30 |
| Diámetro interno m | Profundidad (m) | Cantidad | Valor (**) | Costo Total | | |
| 1,0 | Menores a 1 m | 9 | \$ | 1.519.181,66 | \$ | 13.672.634,94 |
| 1,2 | Entre 1.0 m <H< 1.5 m | 22 | \$ | 1.588.202,53 | \$ | 34.940.455,66 |
| 1,2 | Entre 1.5 m <H< 2.0 m | 0 | \$ | 2.451.553,56 | \$ | - |
| 1,2 | Entre 2.0 m <H< 2.50 m | 0 | \$ | 3.275.747,91 | \$ | - |
| 1,5 | Entre 3.5 m <H< 5 m | 0 | \$ | 5.108.376,39 | \$ | - |
| Subtotal | | 31 | | | \$ | 48.613.090,60 |
| Total, Alternativa 3 | | | | | \$ | 159.486.448,90 |

Fuente: Autores

Análisis de alternativas

La metodología a utilizarse basa en la creación de una matriz de calificación que incluye los distintos aspectos a evaluar, que sirvan como base para seleccionar la mejor alternativa de sistemas de recolección y transporte de aguas residuales y aguas lluvias, teniendo en cuenta criterios y puntajes de evaluación. La matriz de calificación se encuentra dividida en los siguientes aspectos:

Aspectos técnicos

Los aspectos técnicos aportan un peso máximo de 30 puntos sobre un total del 100 de los aspectos a evaluar en cada alternativa, pretende evaluar cuantitativamente variables relacionadas con la solución tecnológica escogida y con la operación y el mantenimiento. Son éstas las variables que finalmente reciben el puntaje.

Área requerida

Este ítem se refiere al área necesaria para la construcción y área disponible para futuras ampliaciones incluyendo el área del lote y la disponibilidad de terrenos adyacentes, a mayor área menor puntaje y viceversa.

Materiales y equipos a usar (fácil y no costosa adquisición)

Este ítem se refiere a la disponibilidad de materiales y equipos en la zona de influencia. es decir la facilidad de adquisición de materiales, equipos y accesorios tanto para la implantación como la operación y mantenimiento.

Flexibilidad de ajustes y ampliación

Este ítem se refiere a la posibilidad de ampliar sistemas de recolección y transporte de aguas residuales y aguas lluvias, adicionar y/o cambiar de tecnología. A mayor facilidad de ajustes de ampliación mayor puntuación.

Requerimientos de bombeo

Evalúa la necesidad de instalar un sistema de bombeo en los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales y aguas lluvias. A mayores requerimientos de bombeo menor puntaje.

Facilidad y flexibilidad de operación

Este ítem hace referencia al grado de complejidad en materia de operación de los sistemas de redes de acueducto y alcantarillado con sus respectivas estructuras para las actividades de operación. A mayor complejidad del sistema a operar menor será su puntuación.

Facilidad y flexibilidad de mantenimiento

Este ítem hace referencia al grado de complejidad en materia de mantenimiento de los sistemas de redes de acueducto y alcantarillado con sus respectivas estructuras para las actividades de mantenimiento. A mayor complejidad del sistema a mantener menor será su puntuación.

Durabilidad

Este ítem hace referencia al periodo de reposición de redes de acueducto y alcantarillado incluidas sus estructuras. Entre mayor sea el tiempo de reposición, mayor será su puntuación.

Aspectos de orden socio-ambientales

Dentro de este ítem se presentan las variables que afectan a la comunidad y al medio ambiente, divididos en dos etapas bien definidas: etapa de construcción y etapa de operación de los sistemas.

Para ello los hemos clasificado como componentes y los hemos definido como:

- ✓ Afectaciones o incidencias del proceso constructivo a la población
- ✓ Afectaciones o incidencias del proceso constructivo al medio ambiente
- ✓ Afectaciones o incidencias del proceso de operación a la población
- ✓ Afectaciones o incidencias del proceso de operación al medio ambiente

Los aspectos socioambientales aportan un peso máximo de 30 puntos sobre un total del 100 de los aspectos a evaluar en cada alternativa, pretende evaluar cuantitativamente variables relacionadas con los impactos generados en las fases constructivas y de operación en el ambiente y la población que se encuentra en la zona de estudio.

Requerimientos de energía

Este ítem hace referencia a la necesidad de emplear energía eléctrica en los procesos que hacen parte de captación, redes de aducción, estructuras de pretratamiento, líneas de conducción, redes de distribución y sistemas de transporte de aguas residuales y aguas lluvias. La mayor puntuación se obtendrá para un sistema que demande menor energía o viceversa.

En Lo Constructivo

Generación de contaminación

Este ítem hace referencia al impacto generado durante el proceso constructivo asociado con olores, ruidos, polvo y otros. Entre mayor sea el impacto generado menor será la calificación.

Generación de empleo de trabajadores de localidad

Este ítem hace referencia al número de trabajadores empleados durante el proceso constructivo. A mayor número de trabajadores empleados mayor será la puntuación.

Generación de obstrucciones del espacio público

Este ítem corresponde a la influencia de las obras en los espacios públicos. A mayor interferencia menor puntuación.

Contaminación de cursos de agua superficial

Este ítem se refiere al manejo de subproductos provenientes de la fase constructiva a las fuentes hídricas. A mayor manejo de desechos y/o subproductos en la obra mayor será su puntaje

Cambios en el paisaje

Este ítem se refiere a cambios que se generen durante la fase constructiva al entorno donde se emplazaran los sistemas; entre mayor sea la afectación, menor será la puntuación.

Contaminación y daños al suelo

Este ítem se refiere a las afectaciones que se den al suelo producto de los procedimientos constructivos: eliminación de capa vegetal, infiltraciones al suelo producto de derrames de aceites durante la operación y mantenimiento de equipos.

Incidencias sobre la flora y fauna

Este ítem se refiere a la afectación de la biota en el área de influencia del proyecto. Entre mayor sea la afectación menor será la puntuación.

En La Operación***Generación de contaminación***

Este ítem hace referencia al impacto generado durante el proceso operativo asociado con olores, ruidos, polvo, vectores y otros. Entre mayor sea la afectación menor será la calificación.

Generación de empleo de trabajadores de localidad

Este ítem hace referencia al número de trabajadores empleados durante el proceso operativo. A mayor número de trabajadores empleados mayor será la puntuación.

Calidad de vida

Este ítem hace referencia a la ampliación de la cobertura en materia de servicios públicos de acueducto y alcantarillado cumpliendo las necesidades básicas de suministro de agua potable y recolección y transporte de aguas residuales, entre mayor sea la cobertura mayor es su puntuación.

Contaminación de cursos de agua superficial

Este ítem se refiere al manejo de aguas excedentes que pueden afectar a los cursos de agua cercanos a la zona de influencia proporcionado en el proceso operativo. Tendrá mayor

puntaje si existen en el diseño estructuras de alivio y de pre-tratamiento antes de ser vertidas directamente a las fuentes.

Cambios en el paisaje

Este ítem se refiere a cambios estéticos en el paisaje que se ven afectados durante la operación de los sistemas de acueducto y alcantarillado incluyendo sus estructuras, como es el caso del manejo y la disposición de lodos y biosólidos. Entre mayor sea la afectación, menor será la puntuación.

Contaminación y daños al suelo

Este ítem se refiere a cambios que se generen durante las fases operativa y de mantenimiento, como es el caso del manejo y la disposición de lodos y biosólidos; Entre mayor sea el aprovechamiento y la correcta disposición de los mismos, mayor será la puntuación.

Volumen de residuos sólidos generados

Este ítem hace referencia al volumen de biosólidos generados durante la operación y mantenimiento de los sistemas. Entre mayor sea el volumen menor será la puntuación.

Aspectos Económicos

Los análisis desde el punto de vista económico son de vital importancia ya que mediante ella se pueden concretar los proyectos. Es importante que las alternativas presenten los menores costos de construcción, operación y mantenimiento. Para ello hemos dividido la evaluación en dos fases bien definidas:

- a) Construcción y b) operación.
- b) Por muy ventajosa que sea una alternativa al mirar sus aspectos técnicos y socioambientales, nada se logra si no existe la factibilidad económica.

Los aspectos económicos aportan un peso máximo de 40 puntos sobre un total del 100 de los aspectos a evaluar en cada alternativa, pretende evaluar cuantitativamente variables relacionadas con costos del terreno, construcción, operación y el mantenimiento del sistema.

Valor de la tierra a adquirir

Este ítem relaciona el costo por metro cuadrado del terreno donde se llevará a cabo la obra, teniendo en cuenta que se haya incluido las áreas para futuras ampliaciones. Este ítem tendrá mayor puntuación cuando el área del terreno seleccionado sea el más económico y sea el que aporte mayor beneficio para el proyecto.

Costos de construcción

Este ítem relaciona el costo por metro lineal en materia de redes y metros cuadrados para las estructuras para la alternativa seleccionada. Este ítem tendrá mayor puntaje cuando el costo sea menor o viceversa.

Costos de operación y mantenimiento

Este ítem relaciona el costo por metro lineal donde involucra costos de personal, insumos, energía, reposición de equipos y costos de mantenimiento anual. Este ítem tendrá mayor puntaje cuando el costo sea menor o viceversa.

Adicional a lo expuesta anteriormente se determinan los criterios de selección de materiales de tuberías indicado en el artículo 14 de la Resolución 0799 de 2021, por la cual se modifica el artículo 45 de la Resolución 0330 de 2027, en este caso se realiza una comparación de diferentes criterios para la selección del material de las tuberías a emplear en la alternativa seleccionada

Tabla 15*Análisis comparativo de materiales*

| Parámetro | PVC | PEAD | Concreto |
|---------------------------|---|---|--|
| hermeticidad | Impiden la exfiltración de agua de los conductos, protegiendo el medio ambiente al garantizar que las aguas transportadas no se exfiltren al medio y eventualmente Puedan contaminar el agua subsuperficial. impiden la infiltración, garantizando la estabilidad del relleno de la zanja, así como las estructuras en la superficie. Además, garantizan que el caudal transportado sea el caudal diseñado, asegurando el adecuado funcionamiento del sistema de alcantarillado y los caudales, que llegan a las plantas de tratamiento. Esta característica, igualmente, impide la penetración de raíces que pueden causar obstrucciones en los conductos. | Esta tubería presenta juntas de perfecta estanqueidad bidireccional a corto y a largo plazo, garantizado una completa hermeticidad del sistema | Baja Permeabilidad |
| Flexibilidad | Su flexibilidad, asegura excelente comportamiento a los movimientos del suelo, sismos y asentamientos diferenciales, brindando estabilidad al sistema. · La rigidez de la Tubería más la rigidez del suelo que la rodea, aportan la resistencia estructural necesaria para soportar las cargas de diseño, conservando las ventajas de su flexibilidad. | Radio de curvatura desde 50 veces el diámetro exterior, resistencia de deflexiones hasta un 30% sin presentar fracturas o agrietamientos debido a su alta flexibilidad. | Baja flexibilidad |
| Resistencia a la Abrasión | el proceso de abrasión se presenta gradualmente sobre una gran área y no en puntos localizados, como en otros materiales generando fallas más rápidas (menor vida útil). · La pared interna lisa y dureza del material, presentan un excelente comportamiento a la abrasión de los materiales presentes en el agua que transportan, con mínimo desgaste de sus paredes. | En los sistemas de alcantarillado como e los drenajes es muy evidente el ataque por abrasión producido principalmente en la parte inferior de la tubería, la tubería de PEAD resiste de mejor manera estos ataques. | A los ensayos de abrasión resiste 150.000 ciclos y el adelgazamiento de la pared de la tubería es mucho mayor (menor Vida útil). |
| Rigidez | Para diámetros grandes se presenta una rigidez de 28 PSI cumpliendo con la norma NTC 5055 ASTM F 794. | Presión de operación hasta de 1 bar. | Con mezclas secas con baja relación agua-cemento, con lo cual se obtiene un concreto de alta densidad. |

Fuente: Autores

Matriz de evaluación de alternativas de redes de alcantarillado

A continuación, se realiza la ponderación, de acuerdo a los aspectos, componentes y variables, teniendo en cuenta el proceso de construcción de estas obras civiles y cómo afectaría a las diferentes variables.

Tabla 16*Matriz de evaluación alternativas de alcantarillado*

| ASPECTOS | COMPONENTES | VARIABLES | PONDERACION | | | CALIFICACION | | | |
|--------------------------------------|--|--|---------------------------------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|---|
| | | | PUNTAJE | | | PUNTAJE ALTERNATIVAS | | | |
| | | | B | R | M | 1 | 2 | 3 | |
| TECNICOS (30 PUNTOS) | SOLUCION TECNOLOGICA | AREA REQUERIDA | 5 | 3 | 1 | 5 | 5 | 5 | |
| | | MATERIALES Y EQUIPOS A USAR (FACIL Y NO COSTOSA ADQUISICION) | 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 5 | |
| | | FLEXIBILIDAD DE AJUSTES Y AMPLIACION | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | |
| | | REQUERIMIENTOS DE BOMBEO (TODO POR GRAVEDAD =5PTS) | 5 | 3 | 1 | 5 | 5 | 5 | |
| | | VULNERABILIDAD | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | |
| | | FACILIDAD Y FLEXIBILIDAD DE OPERACIÓN | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | |
| | | FACILIDAD Y FLEXIBILIDAD DE MANTENIMIENTOS | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | |
| | | DURABILIDAD | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | |
| | | GENERACION DE CONTAMINACION | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | |
| | | AFECTACIONES AL PROCESO CONSTRUCTIVO | GENERACION DE EMPLEO | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 |
| | GENERACION DE OBSTRUCCIONES | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | | |
| | PREFACTIBILIDAD PERMISO SERVIDUMBRES | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | | |
| SOCIO- AMBIENTALES (30 PUNTOS) | AFECTACIONES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO AL MEDIO AMBIENTE | CONTAMINACION DE CURSOS DE AGUA | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | |
| | | INCIDENCIAS DEL CAMBIOS EN EL PAISAJE | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | |
| | | CONTAMINACION Y DAÑOS AL SUELO | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | |
| | | INCIDENCIAS SOBRE LA FLORA Y FAUNA | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | |
| | | AFECTACIONES DEL PROCESO DE OPERACIÓN A LA POBLACION | GENERACION DE CONTAMINACION | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| | | | GENERACION DE EMPLEO | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 |
| | | CONTAMINACION DE CURSOS DE AGUA | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | |
| | | INCIDENCIAS DEL PROCESO DE OPERACIÓN AL MEDIO AMBIENTE | CAMBIOS EN EL PAISAJE | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| | | | CONTAMINACION Y DAÑOS AL SUELO | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| | | | VOLUMEN DE RESIDUOS SOLIDOS GENERADOS | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| ECONOMICOS (40 PUNTOS) | FASE DE CONSTRUCCION | DE COSTOS DE CONSTRUCCION | 18 | 8 | 4 | 8 | 18 | 18 | |
| | | DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | 22 | 10 | 6 | 10 | 22 | 22 | |
| PUNTAJE TOTAL | | | 100 | 50 | 18 | 60 | 82 | 87 | |

Fuente: Autores de la Investigación

Teniendo en cuenta la metodología presentada anteriormente a continuación se relaciona la evaluación realizada para cada una de las alternativas.

Tabla 17*Matriz y ponderación de las alternativas*

| ASPECTOS | COMPONENTES | VARIABLES | PONDERACION | | | CALIFICACION | | | JUSTIFICACION |
|----------------------------|-------------------------|---|-------------|---|---|-------------------------|---|---|---|
| | | | PUNTAJE | | | PUNTAJE DE ALTERNATIVAS | | | |
| | | | B | R | M | 1 | 2 | 3 | |
| TECNICOS (30 PUNTOS) | SOLUCION TECNOLOGICA | 1. Área requerida | 5 | 3 | 1 | 5 | 5 | 5 | Las tres alternativas reciben la misma ponderación, pues ocuparían la misma extensión longitudinal de tubería, por lo tanto igual área de construcción. La alternativa 3, tiene un buen nivel de complejidad en tema de adquisición de materiales y equipos |
| | | 2. Materiales y equipos a usar (fácil y no costosa adquisición) | 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 5 | Las tres alternativas reciben la misma puntuación pues da la posibilidad a la ampliación del sistema de recolección y transporte de aguas residuales |
| | | 3. Flexibilidad de ajustes y ampliación | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | Las tres alternativas reciben la misma puntuación ya que ninguna requiere sistemas de bombeo. |
| | | 4. Requerimientos de bombeo | 5 | 3 | 1 | 5 | 5 | 5 | |

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | Todas las alternativas tienen la misma puntuación, ya que plantean la misma extensión longitudinal de tubería y en su etapa de construcción generaría la misma cantidad de polvo y ruido, por las actividades de excavaciones |
| | | 9. Generación de contaminación | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 |
| | | | | | | | | Las 3 alternativas plantean la ejecución en una misma extensión longitudinal de tubería, por lo que en la etapa de construcción generaría empleo en la zona |
| SOCIO-AMBIENTALES (30 PUNTOS) | AFECCIONES AL PROCESO CONSTRUCTIVO | 10. Generación de empleo | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 |
| | | | | | | | | Las 3 alternativas tienen la misma puntuación pues plantean la misma extensión longitudinal de tubería, por lo que en la etapa de construcción, generaría obstrucciones en el espacio público vehicular. |
| | | 11. generación de obstrucciones | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |

| | | | | | | | | |
|--|--|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | Las tres alternativas plantean el trazado de las redes por vía pública, por lo tanto, no sería necesaria la obtención de servidumbres para el proyecto, por lo que reciben la misma puntuación |
| | 12. Prefactibilidad permiso servidumbres | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | Todas las alternativas obtienen el mismo puntaje, ya que plantea el mismo sistema de alcantarillado combinado, por lo que tendrían el mismo impacto por los vertimientos de aguas servidas combinadas |
| | 13. Contaminación de cursos de agua | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | Las tres alternativas reciben la misma puntuación, ya que existe la probabilidad de cambio paisajístico por el planteamiento de extensión de tubería |
| AFECCIONES O INCIDENCIAS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO AL MEDIO AMBIENTE | 14. Cambios en el paisaje | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | Todas las alternativas reciben la misma puntuación, por que plantean la misma ejecución en cuestión de extensión longitudinal de |
| | 15. Contaminación y daños al suelo | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | |

tubería y en su etapa de 4

| | | | |
|---|---|--------------------|--|
| <p>AFECTACIONES DEL PROCESO DE OPERACIÓN A LA POBLACION</p> | <p>16. Incidencias sobre la flora y fauna</p> | <p>2 1 0 2 2 2</p> | <p>El grado de impacto sobre la flora y fauna en la etapa de ejecución de las alternativas planteadas sería mínima ya que la zona de impacto es de carácter urbano, por lo que todas las alternativas reciben la misma puntuación. Todas las alternativas obtienen el mismo puntaje, porque mantienen el mismo sistema combinado, por lo que se vería afectado el impacto por vertimientos sobre fuentes aledañas. En la fase de operación de la ejecución de las 3 alternativas se generaría la misma cantidad de empleo en la región como consecuencia reciben la misma puntuación</p> |
| | <p>17. generación de contaminación</p> | <p>3 1 0 1 1 1</p> | |
| | <p>18. Generacion de empleo</p> | <p>2 1 0 2 2 2</p> | |

puntuación para
este ítem

| | | | | | | | | |
|----------------------|---|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| FASE DE OPERACIÓN | 24. Costos de operación y mantenimiento | 22 | 10 | 6 | 10 | 22 | 22 | Las alternativas 2 y 3 reciben mayor puntuación debido a la operación y mantenimiento a largo plazo, y de acuerdo a esto se mantendría el mismo sistema por lo que actualmente se opera de la misma manera |
| PUNTAJE TOTAL | | 100 | 50 | 18 | 60 | 82 | 87 | |

Fuente: Autores

Selección de alternativas

Teniendo en cuenta los resultados hidráulicos de la modelación del alcantarillado actual, el sistema actual de alcantarillado, no tiene la capacidad hidráulica para soportar periodos de tormentas muy bruscos en este caso un tiempo de retorno de 2 años significa que se espera que ocurra un evento de lluvia o inundación de una cierta magnitud, como puede ser una lluvia intensa, una vez cada 2 años en promedio, pues se puede evidenciar que no cumplen con los parámetros hidráulicos, por lo que pueden generar colmataciones dentro del sistema, adicionalmente la red es antigua por lo que es necesario tener un material que a largo plazo sea de fácil mantenimiento y fácil operación.

Se selecciona de acuerdo al análisis técnico y operativo, la elección de la tubería en PVC, pues la pared lisa de los tubos, significa baja resistencia al flujo dando como resultado mayor capacidad hidráulica permitiendo menores pendientes y diámetro de diseño por lo que se reduce en el factor económico.

Teniendo en cuenta el análisis y evaluación de alternativas desarrollado en los ítems anteriores se llega a la conclusión que la alternativa 3 recibe una mayor calificación, por lo tanto es seleccionada para realizar la ejecución del diseño, el cual mantendrá el régimen de alcantarillado combinado pero será en material PVC donde se ampliara con 1409,34 y 31 pozos de inspección, ya no se realizarían vertimientos inadecuados en predios privados y lotes baldíos, se realizaría la descarga a la quebrada por lo que sería necesario que la empresa realizara los permisos ambientales necesarios.

Conclusiones

De acuerdo con el diagnóstico realizado, que incluyó el levantamiento de información tanto primaria como secundaria y visitas de campo, se evaluó el estado actual del sistema de alcantarillado de la vereda Morca en el municipio de Sogamoso, departamento de Boyacá. Los resultados ratificaron el estado deficiente del sistema, revelando que las tuberías no solo han superado su vida útil, sino que también no cumplen con los parámetros hidráulicos mínimos según la normatividad vigente. Además, varios pozos de inspección están colapsados y sus tapas están rotas, lo que afecta negativamente a los habitantes del sector.

Al realizar la modelación y su posterior análisis de resultados en los posibles 3 escenarios, donde los períodos de retorno de 2, 5 y 10 años se utilizan en el diseño de sistemas de alcantarillado para calcular la capacidad necesaria y garantizar que el sistema pueda manejar las precipitaciones extremas que ocurren con cierta frecuencia. Estos períodos representan diferentes niveles de riesgo y ayudan a dimensionar adecuadamente el sistema para eventos de lluvia de diferentes magnitudes

Por lo anteriormente mencionado, es imprescindible proponer alternativas para optimizar el sistema actual. De acuerdo con los resultados de la modelación, se planteó unificar los tramos del alcantarillado y dirigirlos hacia el efluente más cercano, que en este caso es la quebrada Las Torres. Se han considerado tres alternativas basadas en los posibles materiales a implementar para la optimización. La alternativa más viable, según la matriz de evaluación de impactos que considera aspectos técnicos, sociales, ambientales y económicos, es la número 3.

Esta alternativa consiste en mantener el sistema de alcantarillado combinado y proyecta la ampliación de 1,409.34 metros de tubería de PVC, con un costo aproximado de \$159,486,448.90. Además de su bajo costo, el material propuesto es de fácil adaptabilidad, lo que permite rescatar los tramos que actualmente se encuentran en buen estado. Esto mejoraría la capacidad hidráulica de los colectores, manteniendo la funcionalidad del alcantarillado combinado y permitiendo gestionar eficazmente las aguas durante situaciones críticas de precipitación.

Es importante aclarar que los costos presentados son aproximados y pueden variar según los precios establecidos por la gobernación, las cotizaciones y los costos asociados a los mecanismos de formulación y viabilidad.

Recomendaciones

Se recomienda realizar la construcción de los tramos anteriormente mencionados en las alternativas planteadas, con el fin de darle una continuidad al sistema actual, en el cual se mejoraría algunos tramos optimizando su diámetro y material, adicionalmente se construirían nuevos tramos para la recolección e unificación de este sistema tan importante.

Es prioritario conectar los tramos de alcantarillado a la red principal para garantizar la continuidad funcional del sistema y evitar vertimientos no controlados de aguas residuales en lotes adjuntos al sector.

Implementar un programa de inspección y mantenimiento regular para identificar y reparar daños en la red de alcantarillado antes de que se conviertan en problemas graves. Esto incluye la limpieza de tuberías y pozos de inspección para prevenir obstrucciones.

Rehabilitar los pozos de inspección que se encuentran colapsados y reemplazar las tapas de concreto que están rotas. Considerar el uso de materiales más duraderos para las tapas para evitar daños futuros. Revisar y actualizar el diseño del sistema de alcantarillado para asegurar que los diámetros de las tuberías, las pendientes y la capacidad sean adecuados para manejar el caudal actual y futuro, considerando el crecimiento poblacional.

Se recomienda que una vez se inicien las construcciones de estos tramos se verifiquen los procesos constructivos y la aplicación de normas de construcción establecidas dentro de las normas vigentes de agua y saneamiento básico.

Referencias

- Acción Contra el Hambre. (2022, 01 de abril). *Aguas negras: ¿qué son y cómo pueden tratarse?*. <https://www.accioncontraelhambre.org/es/aguas-negras-que-son>
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., y Nicol, D. M. (2005). *Discrete-event system simulation*. prentice hall. https://lpuguidecom.files.wordpress.com/2017/05/youblisher-com-165164-discrete_event_system_simulation.pdf
- Bently. (2024, 03 de febrero). *SewerCAD*. bently. <https://www.intercadsys.com/uploads/brochure/SewerCAD.pdf>
- Butler, D., y Davies, J. W. (2000). *Urban drainage*. Taylor y Francis
- Chanson, H. (2004). *Hydraulics of open channel flow*. Elsevier Science.
- Davis Mackenzie, L. (2019). *Water and wastewater engineering: design principles and practice*. (2 ed.). McGraw Hill LLC.
- Donald, C., Rennels., y Hobart M. (2012) "*Pipe flow: A practical and comprehensive guide*" Wiley
- El Tiempo. (2004, 06 de enero). *Morcá, Testimonio de Fe* <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1564988#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20historia%2C%20la%20ni%C3%B1a%20imagen%20de%20la%20Virgen>
- Empresas Públicas de Medellín. (2019). *Norma de Construcción Acometidas de Alcantarillado* EPM. https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Aguas/NC_AS_IL02_01_Acometidas_de_Alcantarillado.pdf?ver=2019-01-28-154218-640.
- Hammer, M., y Hammer, M. J. (2014). *Water and wastewater technology*. (7 ed.) Pearson.
- López, R. (1995). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. (2.^a ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Menon, S. (2011). *Pipeline planning and construction field manual*. Elsevier Science.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2007). *Manual para la gestión de vertidos*. https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/Manual_para_la_gestion_de_vertidos_tcm30-137170.pdf

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2016). Título D reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf
- Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2017). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. [Resolución 0330 de 2017]. https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483
- Monroy Fernández, G. (2014). *Problemática de los sistemas de alcantarillado*. (Trabajo de grado, Universidad Nacional Autónoma de México.) https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MONROY%202014.%200Problem%C3%A1tica%20de%20los%20sistemas%20de%20alcantar.PDF
- Municipio de Sogamoso. (2010). *Plan maestro de acueducto y alcantarillado de Sogamoso – Boyacá*. <http://sogamoso.org/pot/archivos/03SERVICIOSPUBLICOS.pdf>
- Municipio de Sogamoso. (2012). *Plan de desarrollo municipal. Sogamoso- Boyacá*. <https://sogamoso.org/PDM-SOGAMOSO-2012-2015/1%20-%20GENERALIDADES.pdf>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones. (2004, 11 de diciembre). *NTC 1500 Código Colombiano de fontanería*. (2ª ed.). ICONTEC <https://es.slideshare.net/farnebar70/ntc-1500-codigo-colombiano-de-fontanera>
- Padilla Santamaría, M. A. (2009). *Diseño de la red de alcantarillado sanitario y pluvial del corregimiento de La Mesa - Cesar*. (Trabajo de grado, Universidad de La Salle). Repositorio Universidad de la Salle https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/218
- Peñarete, L., y Rodríguez, A. (2015). *Parque tecnológico del carbón. Sogamoso, Vereda de Morcá*, (Trabajo de Grado, Universidad Santo Tomas). Repositorio USTA. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/29270/2014luisape%c3%blar%20ete.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez Carmona, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje de carreteras*. ECOE.
- Secretaria de Salud de Sogamoso. (2019). *Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de Salud, municipio de Sogamoso Boyacá 2019*. Secretaria de Salud

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., y Stensel, H. D. (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse*. McGraw-Hill.

Turnock, B. J. (2016). *Public Health: What it is and how it works*. Jones y Bartlett Learning.