

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO OPERACIONAL POR APORTES DE CAUDAL POR CONEXIONES ERRADAS EN EL INTERCEPTOR CAUCA – UNO PERTENECIENTE AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN – CAUCA.**



**WEIMAR ALEJANDRO MARTINEZ GAMBOA**

**CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
PASANTIA  
POPAYAN, 2023**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO OPERACIONAL POR APORTES DE CAUDAL POR CONEXIONES ERRADAS EN EL INTERCEPTOR CAUCA – UNO PERTENECIENTE AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN – CAUCA.**



**WEIMAR ALEJANDRO MARTINEZ GAMBOA**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario**

**Director:**

**Ingeniero Ambiental**

**Ronald Edinson Cerón**

**CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
PASANTIA  
POPAYAN, 2023**

## Nota de aceptación

El director y los jurados del trabajo de grado en modalidad pasantía titulado “**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO OPERACIONAL POR APORTES DE CAUDAL POR CONEXIONES ERRADAS EN EL INTERCEPTOR CAUCA – UNO PERTENECIENTE AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN – CAUCA**” realizado por el estudiante Weimar Alejandro Martínez Gamboa. Una vez realizado el informe final y aprobado la sustentación, autorizan para que se realicen los trámites referentes para optar al título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitario.



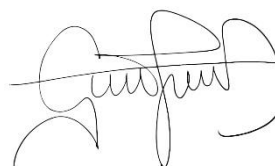
---

**Ronald Edinson Cerón**  
Director  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca



---

**Juan Pablo Prado**  
Jurado  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca



---

**Edwin Fernando Sierra Gaviria**  
Jurado  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

## Dedicatoria

Este trabajo va dedicado en un principio para Dios, ya que, con ayuda de él, he podido sobrepasar todas las dificultades que se me han presentado en este arduo camino académico, regalándome sabiduría para iluminar mi camino, paciencia en los instantes de tomar algunas decisiones, fuerza en las circunstancias más complejas y mucha fe para aliviar mi espíritu.

También le dedico este logro a mis padres Weimar Martinez Muñoz y Sandra Milena Gamboa Delgado, que con sus esfuerzos han podido darme la oportunidad de estudiar y así poder superarme cada día un más. Quiero aprovechar este espacio para siempre recordarles lo orgulloso que me siento de ser su hijo y darme el mejor ejemplo a seguir, en lo personal como en lo profesional.

Por último, pero no menos importante, también les quiero dedicar este logro al resto de mi familia, en especial a mi abuelo que en paz descansa Dilberto Gamboa Lasso, ya que siempre me daba motivación, ver lo orgulloso que se sentía, el que yo me formara como ingeniero y que algún día consiguiera mi titulación, por eso desde el lugar donde este, este esfuerzo también fue por él.

## Agradecimientos

Expreso infinitas gracias al ser supremo por regalarme la oportunidad de poder cumplir uno de mis sueños en la vida, que fue formarme como profesional y decir en algún momento “soy ingeniero ambiental y sanitario”.

A mis padres por sus sacrificios constantes para sacar nuestra familia adelante, por sus consejos que me han guiado siempre en el camino, la disciplina que me han inculcado, la confianza que me han dado, pero, sobre todo, por el amor y cariño incondicional que siempre me han brindado. Igualmente, para toda mi familia les quiero dar las gracias por ser parte de mi vida, muchas veces fueron mi apoyo y me dieron ánimo para seguir adelante.

También quiero agradecerle a Erika Natalia Lara Cerón que ha sido una persona muy importante para mí en esta etapa de la vida, a la cual le tengo mucho que reconocer, por darme ese gran afecto que me ha ayudado a crecer como persona.

Agradezco además a mi compañero Holman Yair Caicedo quien me colaboro con el trabajo de campo del proyecto, a mi tutor Ronald Edinson Cerón quien siempre fue una persona presta para brindarme la ayuda necesaria para resolver mis inquietudes, a el ingeniero Pablo Cano que desde su rol en la empresa me asesoro, a mi primo Carlos Augusto Mamian quien me brindo ayuda en la redacción del documento y por ultimo a los docentes Juan Pablo Prado y Jhony Bolaños lo cuales me brindaron espacios para mejorar el planteamiento del proyecto.

Finalmente agradecer a toda la planta docente de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, quienes me aportaron conocimientos y valores en la formación de mi vida académica, las cuales van a ser las bases para desempeñarme en la vida laboral. A su vez, agradecer a la empresa Acueducto y Alcantarillado de Popayán por abrirme el espacio y poder dar los primeros pasos en mi vida profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>14</b>
<b>SIGLAS Y ACRÓNIMOS .....</b>	<b>15</b>
<b>1. CAPITULO I. PROBLEMA.....</b>	<b>17</b>
1.1. Planteamiento del Problema .....	17
1.2. Justificación .....	18
1.3. Objetivos .....	19
1.3.1. Objetivo General .....	19
1.3.2. Objetivos Específicos.....	19
<b>2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO Y DE REFERENTES CONCEPTUALES .....</b>	<b>20</b>
2.1. Antecedentes .....	20
2.2. Referentes Conceptuales.....	22
2.2.1. Sistema de alcantarillado .....	22
2.2.2. Aguas residuales.....	22
2.2.3. Infraestructura .....	22
2.2.4. Interceptor.....	22
2.2.5. Cámaras de inspección.....	23
2.2.6. Vertimiento.....	23
2.2.7. Sistema pluvial .....	23
2.2.8. Sumideros.....	23
2.2.9. Aguas pluviales .....	23
2.2.10. Conexiones erradas.....	23
2.2.11. Aliviaderos .....	23
2.3. Bases Legales.....	24
<b>3. CAPITULO III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>26</b>
3.1. Fase 1: Diagnosticar las condiciones de diseño y funcionamiento del sistema de alcantarillado en el sector que involucra a este interceptor .....	26
3.1.1. Actividad 1: Revisión Bibliográfica.....	26
3.1.2. Actividad 2: Revisión de línea base de la empresa Acueducto y Alcantarillado de Popayán <sup>27</sup>	26
3.1.3. Actividad 3: Identificar el interceptor Cauca – uno (Georreferenciación) .....	27
3.1.4. Actividad 4: Verificar cálculos de caudales teóricos .....	28
3.1.5. Actividad 5: Determinar los aportantes de agua lluvia en el sistema .....	36

3.2.	Fase 2: Estimar los caudales que transporta el sistema del interceptor Cauca – uno, mediante aforos en los puntos más significativos de esta red.....	40
3.2.1.	Actividad 1: Jornadas de inspección de la red de alcantarillado (medición de variables hidráulicas directas) .....	40
3.2.2.	Actividad 2: Análisis y comparación de datos de caudales teóricos y reales para determinar las conexiones erradas en el sistema de alcantarillado del interceptor .....	44
3.2.3.	Actividad 3: Relacionar los caudales obtenidos en los aforos con los caudales a tubo lleno de las tuberías del sistema. ....	45
3.2.4.	Actividad 4: Estimar el factor de dilución que se esté presentando entre el caudal de escorrentía y el caudal sanitario que transporte el interceptor .....	46
3.2.5.	Actividad 5: Análisis de datos.....	47
3.3.	Fase 3: Proponer alternativas que contribuyan con la mitigación de los excesos de aguas residuales por conexiones erradas que existan en este tramo.....	48
3.3.1.	Actividad 1: Sugerir un plan de operación para el correcto funcionamiento del sistema de alcantarillado en el interceptor.....	48
3.3.2.	Actividad 2: Recomendar estrategias de control para las conexiones erradas existentes.....	48
3.3.3.	Actividad 3: Plantear estrategias de educación ambiental.....	48
<b>4.</b>	<b>CAPIULO IV. RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
4.1.	Fase 1: Diagnostico de las condiciones de diseño y funcionamiento del sistema de alcantarillado en el sector que involucra a este interceptor .....	49
4.1.1.	Resultado 1: Revisión Bibliográfica .....	49
4.1.2.	Resultado 2: Revisión de línea base de la empresa Acueducto y Alcantarillado de Popayán51	
4.1.3.	Resultado 3: Identificación del interceptor Cauca – uno (Georreferenciación).....	55
4.1.4.	Resultado 4: Verificación de los cálculos de caudales teóricos .....	57
4.1.5.	Resultado 5: Determinación de los aportantes de agua lluvia en el sistema.....	59
4.2.	Fase 2: Estimado de los caudales que transporta el sistema del interceptor Cauca – uno, mediante aforos en los puntos más significativos de esta red.....	61
4.2.1.	Resultado 1: Jornadas de inspección de alcantarillado (medición de variables hidráulicas directas) .....	61
4.2.2.	Resultado 2: Análisis y comparación de datos de caudales teóricos y reales que determinaron las conexiones erradas en el sistema de alcantarillado del interceptor .....	73
4.2.3.	Resultado 3: Relación de los caudales obtenidos en los aforos con los caudales a tubo lleno de las tuberías del sistema.....	74
4.2.4.	Resultado 4: Estimado del factor de dilución que se esté presentando entre el caudal de escorrentía y el caudal sanitario que transporte el interceptor .....	75
4.2.5.	Resultado 5: Análisis de datos .....	76

4.3. Fase 3: Alternativas que contribuyen con la mitigación de los excesos de aguas residuales por conexiones erradas que existan en este tramo.....	77
4.3.1. Resultado 1: Plan de operación para el correcto funcionamiento del sistema de alcantarillado del interceptor.....	77
4.3.2. Resultado 2: Estrategias de control para las conexiones erradas existentes.....	79
4.3.3. Resultado 3: Estrategias de educación ambiental .....	81
<b>5. CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>83</b>
5.1. Conclusiones .....	83
5.2. Recomendaciones .....	85
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>90</b>



## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Articulación marco legal y reglamentario .....	24
<b>Tabla 2.</b> Clasificación tipo semáforo de los puntos inspeccionados en los recorridos A y B de la red del Interceptor Cauca – uno. ....	28
<b>Tabla 3.</b> Proyección de población y área total atendida en el año 2022 por parte del Interceptor Cauca – uno.....	31
<b>Tabla 4.</b> Aportes unitarios de aguas residuales NO Domesticas .....	33
<b>Tabla 5.</b> Coeficiente de escorrentía típicos .....	37
<b>Tabla 6.</b> Tiempos de concentración escogidos del manual de drenaje del INVIAS .....	38
<b>Tabla 7.</b> Intensidades máximas para la cuenca del Interceptor – Cauca uno, utilizando la curva IDF de la empresa AAPSA en un tiempo de retorno de 10 años .....	39
<b>Tabla 8.</b> Valores de los caudales necesarios para determinar los aportes de caudal por conexiones erradas .....	45
<b>Tabla 9.</b> Diámetros y pendientes de las tuberías aforadas por cada tramo, además de sus caudales medidos .....	46
<b>Tabla 10.</b> Verificación del diseño del Interceptor Cauca – uno para el año 2022 e información de caudales teóricos .....	58
<b>Tabla 11.</b> Caudales promedios aforados en los tramos seleccionados .....	67
<b>Tabla 12.</b> Porcentaje de utilización de los caudales medidos en los aforos, sobre las tuberías de los tramos seleccionados en el proyecto .....	74
<b>Tabla 13.</b> Resultados de velocidades reales y esfuerzos cortantes hallados por la verificación del diseño y operación del Tramo 5 .....	76

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Población atendida por los colectores que conforman el Interceptor Cauca – uno, según el POT Y DANE.....	30
<b>Figura 2.</b> Población cubierta del servicio de alcantarillado en 2018 por los colectores que conforman el Interceptor Cauca – uno según la empresa AAPSA.....	30
<b>Figura 3.</b> Curva IDF de la empresa acueducto y alcantarillado de Popayán .....	38
<b>Figura 4.</b> Intensidades diarias a las que estuvo expuesto el Interceptor Cauca -uno, durante las jornadas de aforos realizadas por cada tramo.....	39
<b>Figura 5.</b> Mapa perímetro POT en el municipio de Popayán.....	51
<b>Figura 6.</b> Área de Influencia del Interceptor Cauca – uno .....	52
<b>Figura 7.</b> Área de prestación del servicio de alcantarillado del Interceptor Cauca – uno y su problemática colindante.....	53
<b>Figura 8.</b> Áreas sugeridas de expansión de cobertura del servicio por parte del Interceptor Cauca – uno.....	54
<b>Figura 9.</b> Inspección por la trayectoria de la red del Interceptor Cauca – uno, durante el recorrido A, en la fecha y horario siguiente: 26 / 07 / 2022 – 9:00 a 13:00. ....	55
<b>Figura 10.</b> Inspección por la trayectoria de la red del Interceptor Cauca – uno, durante el recorrido B, en la fecha y horario siguiente: 02 / 08 / 2022 – 9:00 a 15:00. ....	56
<b>Figura 11.</b> Aportantes de agua lluvia al sistema de alcantarillado del interceptor Cauca – uno.	59
<b>Figura 12.</b> Representación gráfica de las variables halladas de la metodología empleada para los aforos.....	61
<b>Figura 13.</b> Caudales promedios medidos durante una semana en el Tramo 1 (Puntos 9-10 de la Figura 8).....	62
<b>Figura 14.</b> Caudales promedios medidos durante una semana en el Tramo 2 (Puntos 12-13 de la Figura 8).....	63
<b>Figura 15.</b> Caudales promedios medidos durante una semana en el Tramo 3 (Puntos 18-19 de la Figura 8).....	64
<b>Figura 16.</b> Caudales promedios medidos durante una semana en el Tramo 4 (Puntos 13-NR de la Figura 9).....	65
<b>Figura 17.</b> Caudales promedios medidos durante una semana en el Tramo 5 (Puntos 20-21 de la Figura 9).....	66
<b>Figura 18.</b> Crecimiento del caudal que transporta el Interceptor Cauca – uno sobre los tramos aforados.....	68
<b>Figura 19.</b> Caudales medidos durante la precipitación presentada el día miércoles en el Tramo 1 .....	69
<b>Figura 20.</b> Caudales medidos durante la precipitación presentada el día lunes en el Tramo 3 .	70
<b>Figura 21.</b> Caudales medidos durante las precipitaciones presentadas los días lunes y viernes en el Tramo 4.....	71
<b>Figura 22.</b> Caudales medidos durante las precipitaciones presentadas los días lunes y miércoles en el Tramo 5.....	72
<b>Figura 23.</b> Propuesta de alternativas de solución para el correcto funcionamiento del sistema del Interceptor Cauca – uno.....	78

## Lista de Ecuaciones

<b>Ecuación 1.</b> Área de influencia .....	28
<b>Ecuación 2.</b> Densidad de población .....	29
<b>Ecuación 3.</b> Aportes medio diario de aguas residuales .....	31
<b>Ecuación 4.</b> Caudal medio diario de aguas residuales.....	32
<b>Ecuación 5.</b> Caudal Máximo Horario Final.....	34
<b>Ecuación 6.</b> Caudal por infiltración.....	34
<b>Ecuación 7.</b> Caudal por conexiones erradas .....	35
<b>Ecuación 8.</b> Caudal de diseño.....	35
<b>Ecuación 9.</b> Caudal de escorrentía o superficial.....	36
<b>Ecuación 10.</b> Velocidad media del flujo .....	41
<b>Ecuación 11.</b> Ángulo entre el centro de la sección y los puntos de contacto entre la superficie libre y la circunferencia de una tubería .....	42
<b>Ecuación 12.</b> Área mojada transversal.....	42
<b>Ecuación 13.</b> Formula de Manning en función a la velocidad .....	43
<b>Ecuación 14.</b> Formula de Manning en función al caudal.....	43
<b>Ecuación 15.</b> Caudal del flujo aforado .....	43
<b>Ecuación 16.</b> Aportes de caudal por conexiones erradas al caudal medio diario.....	44
<b>Ecuación 17.</b> Aportes de caudal por conexiones erradas al caudal máximo horario.....	44
<b>Ecuación 18.</b> Aportes de caudal por conexiones erradas y escorrentía al caudal medio diario	44
<b>Ecuación 19.</b> Caudal a tubo lleno .....	45
<b>Ecuación 20.</b> Porcentaje de utilización de la tubería .....	45
<b>Ecuación 21.</b> Factor de dilución .....	47

## Lista de Anexos

<b>Anexo 1.</b> Evidencias de las jornadas de aforos que fueron desarrolladas en el proyecto, utilizando algunos instrumentos .....	90
<b>Anexo 2.</b> Formato de recoleccion de datos en campo .....	90
<b>Anexo 3.</b> Jornadas de medicion de caudal en en Tramo 1 .....	91
<b>Anexo 4.</b> Jornadas de medicion de caudal en en Tramo 2 .....	91
<b>Anexo 5.</b> Jornadas de medicion de caudal en en Tramo 3 .....	92
<b>Anexo 6.</b> Jornadas de medicion de caudal en en Tramo 4 .....	92
<b>Anexo 7.</b> Jornadas de medicion de caudal en en Tramo 5 .....	93
<b>Anexo 8.</b> Chequeo hidraulico con el caudal del diseño teorico (QD) en el Tramo 5 .....	93
<b>Anexo 9.</b> Chequeos hidraulicos con los caudales medidos en las jornadas de aforos (Qmd-QMH-Qcomb) en el Tramo 5.....	94
<b>Anexo 10.</b> Fallo en el funcionamiento hidráulico del sistema del interceptor Cauca – uno por obstrucción.....	94
<b>Anexo 11.</b> Baja capacidad hidraulica de evacuacion de aguas lluvias e inundaciones presentadas en el sector del colector V.Norte.....	95
<b>Anexo 12.</b> Baja capacidad hidraulica de evacuacion de aguas lluvias e inundaciones presentadas en el sector del colector V.Gonzales .....	95
<b>Anexo 13.</b> Inundaciones presentadas en las areas de servicio del colector Cauca 1 por la baja capacidad hidraulica en cuestion a la evacuacion de aguas lluvias.....	95
<b>Anexo 14.</b> Evidencias de residuos sólidos encontrados en las redes y cámaras de inspección del sistema del Interceptor Cauca – uno .....	96
<b>Anexo 15.</b> Evidencias de conexiones erradas evidenciadas en uno de los tramos que se aforaron .....	96

## RESUMEN

Este proyecto de pasantía, ejecutado dentro de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. evaluó el comportamiento operacional por aportes de caudal por conexiones erradas en la red denominada Interceptor Cauca – uno, perteneciente al sistema de alcantarillado del municipio de Popayán – Cauca, puesto que se presenta una problemática asociada al mal funcionamiento de sus líneas, respecto a la capacidad de evacuar y conducir caudales en excesos, que son contribuidos durante las precipitaciones que se presentan, en las áreas de prestación del servicio de esta obra de saneamiento. Este aumento de flujo de aguas residuales, ha ocasionado afectaciones a la comunidad servida y a su vez, a la correcta operación de estos sistemas, provocando incluso, algunos daños a sus estructuras, por este factor a tener en cuenta, en la puesta en marcha de este tipo de infraestructuras.

Es importante considerar, que, para el desarrollo de esta investigación, se requirió tomar como base, información de diferentes estudios publicados, que tengan alguna relación con la problemática a tratar en este documento, de conexiones erradas y funcionamiento de un sistema de alcantarillado. Posteriormente, fue importante, además, conocer los conceptos técnicos y normativos que van apareciendo, para lograr un adecuado entendimiento de este tema. Estos términos y mecanismos, son explicados en su gran mayoría, por diferentes lineamientos dictados por instituciones, encargas a nivel nacional, de brindar instrucciones para la correcta prestación de este servicio, y que fue punto de partida para dar inicio a la evaluación desarrollada.

La totalidad del proyecto, se logró mediante un diagnóstico realizado de las condiciones de diseño y funcionamiento del sistema de alcantarillado, en el sector que involucra a la red analizada, para posteriormente, estimar los caudales que transporta el sistema del Interceptor Cauca – uno, mediante jornadas de aforos efectuados, en algunos tramos que fueron seleccionados para estas mediciones, finalmente, se logró proponer alternativas que contribuirán con la mitigación de los excesos de aguas residuales, por conexiones erradas que se evidenciaron durante la ejecución de este estudio.

Los resultados de las actividades realizadas muestran un adecuado comportamiento, en la operación del sistema del Interceptor Cauca – uno en tiempo seco, cuando la red actúa con vocación netamente sanitaria, sin embargo, en los escenarios de cuando se presentaron lluvias, si alteraron o influyeron en gran manera, la eficiencia de la operatividad en cuestión a la recolección y transporte de aguas residuales de esta red.

## ABSTRACT

This internship project, executed within the company of Aqueduct and Sewerage of Popayan S.A. evaluated the operational behavior by flow inputs by wrong connections in the network called Interceptor Cauca - one, belonging to the sewerage system of the municipality of Popayan - Cauca, since it presents a problem associated with the malfunction of its lines, regarding the ability to evacuate and drive flows in excess, which are contributed during the rainfall that is presented, in the areas of service provision of this sanitation work. This increase in waste water flow has caused damage to the community and in turn to the proper operation of these systems, even causing some damage to their structures, for this factor to take into account, in the implementation of this type of infrastructure.

It is important to consider that, for the development of this research, it was required to take as a basis, information from different published studies, which have some relation with the problem to be treated in this document, of faulty connections and operation of a sewage system. Subsequently, it was also important to know the technical and normative concepts that are appearing, to achieve a proper understanding of this topic. These terms and mechanisms are explained in their vast majority, by different guidelines dictated by institutions, commissioned at the national level, to provide instructions for the correct provision of this service, and that was the starting point to start the evaluation developed.

The entire project was achieved through a diagnosis of the conditions of design and operation of the sewerage system, in the sector that involves the analyzed network, to subsequently estimate the flow rates carried by the Cauca Interceptor system - one, by means of capacity days carried out, in some sections that were selected for these measurements, Finally, it was possible to propose alternatives that will contribute to the mitigation of wastewater excesses, due to wrong connections that were evident during the execution of this study.

The results of the activities carried out show an adequate behavior, in the operation of the system of the Interceptor Cauca - one in dry weather, when the network acts with purely sanitary vocation, however, in the scenarios of when rainfall occurred, if they greatly altered or influenced the efficiency of the operation in question to the collection and transport of wastewater from this network.

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

- **AR:** Aguas Residuales
- **ARD:** Aguas Residuales Domesticas
- **ARND:** Aguas Residuales No Domesticas
- **PTAR:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- **Qmd:** Caudal Medio Diario
- **QMH:** Caudal Máximo Horario
- **Qinf:** Caudal de Infiltración
- **QCE:** Caudal de Conexiones Erradas
- **Qesc:** Caudal de Escorrentía
- **Qafo:** Caudal Aforado
- **PSMV:** Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos
- **POT:** Plan de Ordenamiento Territorial
- **AAPSA:** Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A.
- **MADES:** Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
- **IDEAM:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- **MVCT:** Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- **NI:** No se encuentra Información

## INTRODUCCION

Las poblaciones cada día crecen y los sistemas de alcantarillados implementados en las comunidades se van deteriorando, estos dos factores hacen que se deba realizar estudios previos e investigaciones, con el fin de prevenir averías en las redes. Esta labor se hace importante y necesaria para el desarrollo de actividades y planes que conlleven al mejoramiento o la ampliación del diseño de un sistema de alcantarillado para una población. Es necesario inspeccionar y evaluar la infraestructura del sistema de alcantarillado del municipio de Popayán para prevenir, controlar y solucionar posibles daños de todas sus estructuras, teniendo como finalidad la optimización del manejo del agua y el diseño o adecuación de dicho sistema, para posteriormente realizar la conexión a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR.

El sistema de alcantarillado es un activo invisible e importante de nuestra sociedad, sin embargo, su extensión y complejidad hace difícil el reconocimiento de zonas susceptibles a fallar. La incorrecta operación del sistema de alcantarillado, produce colapso de estructuras superficiales, exposición a agentes contaminantes y traumatismos en las actividades domésticas, institucionales, comerciales e industriales. A pesar del impacto que tienen estos problemas en la sociedad, se cuentan con recursos limitados para la evaluación de las redes de alcantarillado y la determinación de la necesidad de rehabilitación. Por esta razón, es importante conocer los sectores con mayor probabilidad de falla para la administración eficaz de los esfuerzos destinados al mantenimiento preventivo. La determinación de estas zonas, involucra encontrar relaciones entre la información existente, los mecanismos de falla más frecuentes y sus consecuencias [1].

En base algunos precedentes, se ha podido observar cómo en varias ocasiones, resultan afectadas diferentes poblaciones por inundaciones y colapsos de tuberías o colectores. Muchos de estos elementos, por ejemplo, se encuentran subdimensionados; lo cual genera una falta de capacidad hidráulica ante el aumento de caudales generados, principalmente por las fuertes lluvias. Por tal motivo, es necesario un estudio de la red tanto en su aspecto estructural, hidráulico y ambiental [2]

En este documento, se mostrará la información recolectada por recorridos de campo realizados sobre la red de alcantarillado, en el tramo correspondiente al Interceptor Cauca – uno en el municipio de Popayán – Cauca; de igual manera, la revisión de algunos documentos y archivos arrojaron datos catastrales y topográficos de la red. Además, se evaluó el funcionamiento hidráulico, de operación de esta parte del sistema, para el año 2022.



## 1. CAPITULO I. PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del Problema

La evacuación de las aguas residuales y pluviales con sistema de alcantarillado de una población, se realiza a través de instalaciones que desaguan a conductos impermeables subterráneos unidos en forma de red, formada por los laterales, cámaras, colectores, interceptores y emisarios [3], sin embargo, existen diferentes tipos de alcantarillados y por ende su funcionamiento cambia, generando una discusión sobre las ventajas en la implementación de un sistema u otro [4]. Estos sistemas se diseñan de acuerdo a lineamientos establecidos según la localización del proyecto, donde el caudal de diseño es un factor determinante para su correcto comportamiento, sin embargo, por la cantidad de variables que posee resulta complejo definirlo, entre ellas, se encuentra los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado sanitario, cuando este es separado, provenientes de diversos orígenes; a estos se le llaman conexiones erradas [4].

Es de resaltar que el sistema de alcantarillado del municipio de Popayán es combinado en gran parte de la ciudad y cuenta con más de 40 años de antigüedad; sin embargo, en los últimos años la empresa AAPSA, está realizando la reposición de las redes, buscando adicional a ello, que se evacue por separado las aguas lluvias y sanitarias; para posteriormente, poner en marcha un alcantarillado de tipo sanitario, el cual se tiene proyectado que descargue su caudal a la PTAR del municipio; surgiendo la necesidad de identificar y controlar, las conexiones erradas que están incrementando o aportando caudales diluidos a estas redes, afectando así, el funcionamiento hidráulico de este sistema, además del tratamiento biológico de la planta.

Normalmente, para los diseños de alcantarillados en Colombia se asume el valor para conexiones erradas de  $0.2 \text{ L/s} * \text{ha}$ , o se debe estimar a partir de la información existente en la localidad según la normativa vigente [5], sin embargo, se observan casos que exceden esta cifra como sucede con el sistema de alcantarillado del municipio de Arauca, donde la empresa EMSERPA, realiza un llamado de atención a la comunidad, para que evite conectar las aguas lluvias de las viviendas al alcantarillado sanitario, ya que estas conexiones erradas están aumentando el caudal de las aguas sanitarias, lo que provoca, que los pozos de inspección colapsen y se presenten rebosamientos en varios sectores de la ciudad [6]. Desde el punto de vista local, el sistema de alcantarillado del municipio de Popayán es complejo; dado que el crecimiento poblacional y territorial, ha carecido de una buena planificación, a causa de algunas situaciones tales como: el establecimiento de asentamientos urbanos en terrenos de pendientes muy elevadas o la

construcción de viviendas en sectores que no cuentan con servicios públicos, lo que ha provocado que el trazado de los colectores, haya obedecido más a dar soluciones a situaciones de coyuntura que a criterios técnicos y de planeación urbana [7]. Este es el caso del interceptor Cauca-uno, que cruza y opera por el barrio campo bello, en donde su funcionamiento resultó alterado en el año 2012, por el colapso de los sistemas individuales de aguas residuales de las viviendas, al recibir aportes de caudales de todo tipo, en una de las cámaras de inspección, por medio de bombeo desde los pozos hacia este tramo del alcantarillado [8], lo que pudo desencadenar en ese momento, una saturación en el sistema; sin embargo, fue una medida de contingencia necesaria para la problemática de este sector.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, se desarrolló una evaluación enfocada en la prestación del servicio, correspondiente a la red llamada interceptor Cauca – uno y su área determinada, dentro de la empresa de acueducto y alcantarillado de Popayán AAPSA, la cual, reconoce una situación problemática, respecto a la sobrecarga hidráulica que se está evidenciando en la actualidad en el sistema de alcantarillado del municipio, por aportes de caudales de aguas lluvias por conexiones erradas que existen en las redes.

## **1.2. Justificación**

Este proyecto de pasantía se llevó a cabo dentro de la empresa AAPSA, específicamente en la dirección de división ambiental, la cual ha venido desarrollando el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos PSMV, donde se identificó una situación, respecto a las conexiones erradas en el alcantarillado del municipio [9], por aportes de caudales de aguas lluvias y de otros orígenes, los cuales están afectando el funcionamiento hidráulico del sistema de alcantarillado sanitario.

La evaluación del interceptor Cauca - uno es de gran pertinencia, ya que se determinaron los sectores de esta red, que están siendo afectados por el incremento de aguas residuales, especificando que la reposición de algunas secciones debe ser prioritario, por cuanto permite el mejoramiento del servicio de alcantarillado, mediante el cambio de la tubería antigua y en mal estado, por una nueva de mejores características técnicas [10], buscando adicional a ello separar el sistema de alcantarillado del municipio, ya que "La separación de las aguas de escorrentía de las aguas negras domésticas, frecuentemente es recomendable desde el punto de vista financiero, pues permite, que las primeras se descarguen por líneas cortas y directas a las fuentes hídricas cercanas y en muchos casos que el costo del tratamiento de una PTAR se vea reducido" [11].

Este estudio además tiene como finalidad cumplir las metas de reducción de carga contaminante para mitigar el problema de contaminación de las fuentes hídricas de la ciudad, mejorar el funcionamiento hidráulico del sistema de alcantarillado, minimizar los pagos de las tasas retributivas del municipio ante la autoridad ambiental [12], etc. La factibilidad del proyecto, dependió de la disponibilidad de recursos con la que se contó, sin embargo, aparecieron alternativas o métodos para llevar a cabo este proyecto en cuestión de identificar las conexiones irregulares que llegan al sistema [13]. Con la detección de las conexiones erradas, la comunidad se verá directamente beneficiada, ya que estas causan olores ofensivos, disminuyen la capacidad hidráulica para el almacenamiento y evacuación de agua, causando posibles inundaciones; logrando mejorar como tal, las condiciones de saneamiento básico de esta población [14].

Siguiendo los lineamientos normativos colombianos, la estimación de conexiones erradas en el interceptor Cauca uno, que se realizó y evaluó, logro diagnosticar, el porcentaje de aportes de caudal, al sistema de alcantarillado de Popayán en este sector, durante algunas precipitaciones, con las herramientas a disposición con las que conto el pasante. Posteriormente, se sugirieron alternativas que pueden mejorar el comportamiento o funcionamiento de la red, que opera la empresa de acueducto y alcantarillado de Popayán, si estas son implementadas [15].

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

- Evaluar el comportamiento operacional por aportes de caudal por conexiones erradas en el interceptor Cauca-uno perteneciente al sistema de alcantarillado del municipio de Popayán – Cauca.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Diagnosticar las condiciones de diseño y funcionamiento del sistema de alcantarillado en el sector que involucra a este interceptor.
- Estimar los caudales que transporta el sistema del interceptor Cauca – uno, mediante aforos en los puntos más significativos de esta red.
- Proponer alternativas que contribuyan con la mitigación de los excesos de aguas residuales por conexiones erradas que existan en este tramo.

## 2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO Y DE REFERENTES CONCEPTUALES

### 2.1. Antecedentes

Por medio de revisión bibliográfica de fuentes digitales, se encontraron estudios realizados en diferentes escenarios internacionales en cuestión a la temática central que tiene este documento, donde a continuación, se iniciara en un orden de ideas con los antecedentes referenciados con respecto a los objetivos de esta pasantía, aclarando que los primeros tres estudios se tomaron en cuenta para el primer objetivo específico, como a su vez intentando completar la etapa más práctica, se apoyó en los demás artículos.

Se desarrollo un diagnóstico del sistema de alcantarillado separado de la comunidad de san Benito, ubicada en la ciudad de Bogotá (Colombia), con el objetivo de realizar una investigación para determinar el estado de esta infraestructura, identificando situaciones que alteran el buen comportamiento del sistema de alcantarillado del barrio san Benito y posteriormente proponer alternativas de solución a su problemática. Se implementaron dos herramientas, un equipo de televisión, y trazadores químicos, arrojando como resultado que el sistema de alcantarillado presenta serios problemas estructurales y de funcionamiento, donde se destaca la existencia de conexiones erradas y presencia de residuos sólidos, provenientes de la actividad industrial del curtido de pieles, que ocasionan un incorrecto funcionamiento hidráulico del sistema [16].

La evaluación del funcionamiento del sistema de alcantarillado condominal en la Zona R - Huaycán, Ate Vitarte, en 2018, determino el estado operativo del alcantarillado condominal, a través de encuestas y fichas de observación, usando una metodología no experimental, debido a que la investigación se efectuó sin manipular las variables. Se selecciono el sector de estudio, se realizaron fichas de encuestas y de reportes, procesamiento de datos y recomendaciones. Esta evaluación, se puede emplear como una alternativa económica en áreas densamente pobladas, teniendo presente los beneficios en costos económicos y eficiencia respecto al tiempo para su ejecución [17].

La evaluación del sistema hidráulico de la red de alcantarillado de la población de ama kella en San Martín de Porres encontrada en Lima (Perú), tuvo como objetivo estudiar las características y propiedades hidráulicas del sistema de alcantarillado de esta urbanización, implementando un método aplicativo y de alcance descriptivo, adicionalmente busca especificar tendencias en el uso del alcantarillado por parte de este grupo o comunidad. Los resultados de esta investigación

fueron que, en algunos tramos del sistema de alcantarillado, se observaron deficiencias en las velocidades mínimas del flujo y en las pendientes de las tuberías, además se hizo un rediseño del cálculo hidráulico proyectado a 20 años [18].

La metodología para mediciones de caudales e instructivo de manejo de molinete, define algunos procedimientos a seguir para la obtención de valores del caudal circulante por conducciones de aguas residuales de carácter urbano y/ o industrial, así como también para aquellos cursos de agua, ya sean estos de carácter natural o artificial. En este apartado se incluyen los diversos aspectos que es preciso considerar, para la realización de las operaciones apropiadas, logrando una adecuada valoración del caudal mediante el uso del instrumental que posee el departamento de Monitoreo de AGQ [19].

La utilización del método para la identificación y corrección de conexiones erradas en el sistema de alcantarillado de Bogotá por la EAB-ESP, revela un método usado por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, para la identificación de las conexiones erradas. Inicialmente este método desarrolla una inspección (visual) del alcantarillado, fundamentalmente enfocado dónde se genera un vertimiento, posterior a esto, se delimita el área aferente al sistema de alcantarillado pluvial del sector y se determina las condiciones de operación del sistema; finalmente las diversas inspecciones de identificación son llevadas a cabo utilizando un sistema de televisión de Circuito Cerrado de Televisión (CCTV). La identificación de las conexiones erradas contribuye a la correcta operación del sistema de alcantarillado, igualmente aporta en la descontaminación de las fuentes hídricas a las cuales desembocan los vertimientos de los sistemas de alcantarillado [20].

El diseño y evaluación de las redes de alcantarillado sanitario del megaproyecto inmobiliario challapampa de Arequipa, en base al aforo de caudales de consumo y evacuación de agua, sustenta técnicamente una respuesta y/o solución ante la problemática de la población Arequipeña de la zona, por temor al colapso de sus instalaciones de saneamiento básico de sus aguas residuales, tomando como punto de partida el análisis del alcantarillado sanitario, empleando un método de lecturas históricas de consumos mensuales y aforo de caudales en redes de alcantarillado, generando como resultado que los valores del RNE fueran aproximadamente 3 veces mayores que los obtenidos en campo [21].

En este artículo investigado, se explica un método para aforar colectores a través de medición de manual. Dentro de las metodologías conocidas para determinar caudales, se encuentran los que utilizan trazadores y los que implementan bases de hidráulica. Este estudio aporta una tabla que

puede ser empleada para aforar colectores o redes. La primera columna señala el nombre de cada fila, la segunda indica el parámetro analizado y la tercera, muestra si la variable es obtenida directamente por medición en el campo o resulta de tablas hidráulicas [22].

La determinación del caudal actual, experimental y teórica, con la evaluación del sistema de alcantarillado sanitario de la colonia planes norte, zona 5 de villa nueva, Guatemala, tiene como objetivo evaluar hidráulicamente el sistema de alcantarillado sanitario de la colonia Planes Norte, mediante el valor del caudal teórico y experimental, calculado mediante aforos. Dentro de las metodologías de aforo que existen, se encuentran 2 categorías: los métodos de descarga directa y por cómputo de área-velocidad. Al utilizar estos métodos, se obtuvo que el funcionamiento hidráulico del sistema de alcantarillado es aceptable, no obstante, muy por debajo de su capacidad. Los resultados de los caudales experimentales y teóricos obtenidos, respecto a los valores del censo, son similares, por lo que se desestiman posibles obstrucciones en la red [23].

## **2.2. Referentes Conceptuales**

### **2.2.1. Sistema de alcantarillado**

Es un conjunto de tuberías y obras complementarias, que se hacen necesarias cuando aparece la obligación no sólo de recibir, sino también, de evacuar todas las aguas residuales de la población y la escorrentía superficial que es generada por la lluvia, mediante el uso de todo un conjunto de redes.

### **2.2.2. Aguas residuales**

Son aguas con contaminantes que provienen de vertidos de diferentes actividades, domésticas, comerciales, institucionales e industriales. De esta manera, este tipo de agua pueden contener elementos perjudiciales para las fuentes hídricas, salud de las personas y el medio ambiente.

### **2.2.3. Infraestructura**

Aquella construcción humana diseñada y liderada por profesionales de ingeniería, urbanismo, etc., que ayudan como soporte para el desarrollo de otras actividades. Su implementación es necesaria en la organización estructural de las ciudades y comunidades.

### **2.2.4. Interceptor**

Conducto cerrado donde llegan los efluentes de las redes principales llamadas colectores, regularmente se instalan paralelamente a las fuentes hídricas, con el fin de evitar el vertimiento de las aguas residuales a los mismas.

### **2.2.5. Cámaras de inspección**

Elementos fundamentales en los sistemas de alcantarillados, construidas en donde se presentan cambios de diámetro, dirección o pendiente, además, son empleadas en la red de alcantarillado, ya que permiten el mantenimiento de esta infraestructura y recopilar datos sobre su estado de operación.

### **2.2.6. Vertimiento**

Son las descargas finales de aguas, que se le genera a un cuerpo de agua, alcantarillado o al suelo, en donde se pueden encontrar elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.

### **2.2.7. Sistema pluvial**

Son una serie de conductos, estructuras de captación y complementarias. Su objetivo es el manejo, control y conducción de las aguas lluvias que caen sobre las cubiertas de las edificaciones, las calles, avenidas, ventanas, jardines, etc; durante alguna precipitación.

### **2.2.8. Sumideros**

Estructuras que tienen la finalidad de realizar la recolección de las aguas de lluvia, e impedir el ingreso de elementos sólidos de tamaños grandes, que son llevadas por la escorrentía del agua sobre la superficie de las vías o áreas, hacia el sistema de alcantarillado pluvial o combinado, también, añaden corrientes de agua en exceso, dado que rebosan sus depósitos o cauces naturales y artificiales.

### **2.2.9. Aguas pluviales**

Se consideran aguas provenientes de la lluvia y que no es absorbida por el suelo, sino que escurren de edificios, calles, estacionamientos y otras superficies. Las aguas pluviales ingresan por los sumideros y fluyen a colectores pluviales, los cuales finalmente vierten a los cuerpos de agua más cercanos. En su defecto también son drenadas por gravedad a los puntos más bajos del terreno.

### **2.2.10. Conexiones erradas**

Aportes adicionales de caudal que se dan por la adición de aguas lluvias en la red de aguas sanitarias y viceversa. Pueden provenir de distintos orígenes tales como: patios, techos, canales y bajantes.

### **2.2.11. Aliviaderos**

El objetivo de esta infraestructura es disminuir los caudales en exceso combinados entre aguas residuales y aguas lluvias, que son conducidas o transportados hasta el sitio de disposición final que puede ser una planta de tratamiento de aguas residuales, en caso de que ésta exista.

### 2.3. Bases Legales

En Colombia, la legislación con respecto al servicio de alcantarillado se encuentra regulado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y son aplicables a cada una de las empresas prestadoras de servicios públicos de alcantarillado, además, a toda infraestructura que sea construida para este fin. A continuación, en la Tabla 1 se mencionan algunas normas:

**Tabla 1.** Articulación marco legal y reglamentario

<b>NORMATIVA</b>	<b>AÑO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Ley 142</b>	<b>1994</b>	Establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios entre ellos el de alcantarillado, así como de actividades que realicen las personas que los presten.
<b>Ley 1450</b>	<b>2011</b>	Tiene como objetivo consolidar la seguridad, con la meta de alcanzar la paz, dar un gran salto de progreso social, lograr un dinamismo económico regional que permita desarrollo sostenible y crecimiento sostenido, más empleo formal y menor pobreza y, en definitiva, mayor prosperidad para toda la población.
<b>Decreto 2785</b>	<b>1994</b>	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994 se establecen disposiciones para la transformación y adecuación estatutaria de las entidades prestadoras de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y Saneamiento básico, para la creación de nuevas empresas de servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Saneamiento Básico, y se dictan otras disposiciones.
<b>Decreto 1429</b>	<b>1995</b>	El objeto es organizar la participación comunitaria en la vigilancia de la gestión y en la fiscalización de las entidades de carácter privado, oficial, o mixto, que presten los servicios públicos domiciliarios.
<b>Decreto 302</b>	<b>2000</b>	El presente decreto contiene el conjunto de normas que regulan las relaciones que se generan entre la entidad prestadora de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado y los suscriptores y usuarios, actuales y potenciales, del mismo.
<b>Decreto 057</b>	<b>2006</b>	Se establecen reglas para la aplicación del factor de aporte solidario para los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado.
<b>Decreto 4715</b>	<b>2010</b>	
<b>Decreto 4924</b>	<b>2011</b>	
<b>Decreto 3930</b>	<b>2010</b>	Establece las disposiciones relacionadas con los usos y ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.
<b>Decreto 2667</b>	<b>2012</b>	Reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del recurso hídrico como receptor de vertimientos puntuales.
<b>Decreto 1873</b>	<b>2012</b>	Se crea el Mecanismo Departamental para la evaluación y viabilización de proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico en el marco de los Planes Departamentales de Agua y otros Programas regionales para el manejo de agua potable y saneamiento básico; se establecen sus requisitos y procedimientos para la presentación, viabilización y aprobación de proyectos de este sector financiados exclusivamente con recursos de las entidades territoriales.
<b>Decreto 1350</b>	<b>2012</b>	Reglamenta el subsidio de conexiones intradomiciliarias para inmuebles de los estratos 1 y 2 con el fin de garantizar la conexión efectiva a los servicios de agua potable y saneamiento básico.
<b>Decreto 3050</b>	<b>2013</b>	Establece los términos y condiciones para el trámite de las solicitudes de viabilidad y disponibilidad de prestación de los servicios públicos



		domiciliarios que se presenten ante las personas prestadoras de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y/o alcantarillado.
<b>Resolución 0693</b>	<b>2012</b>	Proporciona orientaciones básicas para la formulación de los proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico, que sean presentados por las entidades territoriales para acceder a recursos de financiamiento a través del PDA.
<b>Resolución 0494</b>	<b>2012</b>	Establece los lineamientos para la implementación del Programa de Conexiones Intradomiciliarias de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado -PCI- para los inmuebles de estrato 1 con prioridad en los habitados por los hogares pertenecientes al programa de Red Unidos de la Presidencia de la Republica o el programa local vinculado a este, de conformidad con lo establecido en el Decreto 1350 de 2012.
<b>Resolución 0154</b>	<b>2014</b>	Se adoptan los lineamientos para la formulación de los planes de Emergencia y Contingencia para el manejo de desastres y emergencias asociados a la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo, se dictan otras disposiciones.
<b>Resolución 0330</b>	<b>2017</b>	Reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo.
<b>Resolución 0501</b>	<b>2017</b>	Señala los requisitos técnicos mínimos asociados con la composición química de los materiales y, la estandarización de la información mínima sobre los requisitos técnicos que deben tener presentes los prestadores de servicios públicos domiciliarios, constructores y urbanizadores, con el fin de garantizar la calidad del servicio.
<b>Resolución 661</b>	<b>2019</b>	Se establece el mecanismo y los requisitos para presentación, evaluación, viabilización, reformulación y expedición de conceptos técnicos para los proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico que sean presentados por las entidades territoriales que soliciten apoyo financiero de la nación.
<b>Resolución 799</b>	<b>2021</b>	Ajusta algunas disposiciones contenidas en la Resolución 0330 de 2017 con el objetivo de brindar mayor claridad en su aplicación.
<b>Resolución 00170</b>	<b>2021</b>	Por medio de la cual se aprueba Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos – PSMV del municipio de Popayán y se toman otras Disposiciones.
<b>Resolución 1710</b>	<b>2021</b>	“Por la cual se otorga licencia ambiental para la PTAR de Popayán (primera etapa) y se toman otras determinaciones”.
<b>Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - Título D</b>	<b>2016</b>	Se realizan recomendaciones mínimas para formulación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, de forma que se logre con esta infraestructura prestar un servicio con una calidad determinada
<b>Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - Título E</b>	<b>2021</b>	Brinda orientaciones básicas para la planeación, el diseño, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales y la gestión de subproductos del tratamiento, implementados en Colombia,

### 3. CAPITULO III. METODOLOGÍA

Este proyecto es de tipo aplicativo con un enfoque mixto, puesto que se utilizó información primaria y secundaria, para lograr la evaluación operativa de la red de estudio, ya que inicialmente, se realizó un diagnóstico de las condiciones de diseño y funcionamiento del sistema del interceptor Cauca – uno, apreciando todos los factores que estuvieran influyendo en la correcta operación y prestación del servicio de la red; posteriormente, mediante aforos en diferentes tramos o puntos que se identificaron óptimos y representativos basados en el diagnóstico inicial, se midieron algunas variables hidráulicas del sistema, que ayudaron a estimar los caudales que transporta este, por último, se desarrolló un adecuado análisis de los resultados obtenidos de las diferentes fases del proyecto para proporcionar alternativas que contribuyan con la reducción de los excesos de aguas residuales por conexiones erradas que existan en este tramo, además de las problemáticas que fueron evidenciadas durante la ejecución del proyecto.

Cumpliendo los objetivos propuestos que se plantearon en esta pasantía, se establecieron las siguientes fases y actividades, las cuales se realizarían a lo largo de todo el proyecto.

#### **3.1. Fase 1: Diagnosticar las condiciones de diseño y funcionamiento del sistema de alcantarillado en el sector que involucra a este interceptor**

##### **3.1.1. Actividad 1: Revisión Bibliográfica**

Se realizó una revisión previa de documentos que a nivel nacional fueran fundamentales en el tema de este estudio, como también en el transcurso del proyecto fueron apareciendo otros que se consideraron importantes destacar. Teniendo en cuenta la investigación que se desarrolló durante la revisión bibliográfica, se encontraron algunas normativas muy relevantes, como lo son: la Ley 142 de 1994, Decreto 302 del 2000, Decreto 3050 de 2013, Resolución 501 del 2017, Resolución 0330 del 2017, Resolución 661 del 2019 y Resolución 799 del 2021; en cuestión a los aspectos, información, orientaciones o lineamientos técnicos que se dictan a nivel nacional y que se encuentran vigentes a la actualidad del 2023, con respecto al diseño, construcción, supervisión técnica, operación, mantenimiento y seguimiento de los sistemas de alcantarillado. Es importante mencionar que el cumplimiento adecuado de estos, permitiría un correcto funcionamiento hidráulico de estos sistemas, el cual es uno de los propósitos de toda empresa que ofrece este servicio y usuario que hace uso de este.

### **3.1.2. Actividad 2: Revisión de línea base de la empresa Acueducto y Alcantarillado de Popayán**

Se analizó la línea base de la empresa AAPSA de Popayán, que es la información con la que cuenta la empresa, por las diferentes investigaciones y estudios realizados por parte de esta misma entidad, lo cual arrojó en primer lugar, información fundamental como planos disponibles que hacen parte de un posible catastro de redes, los cuales se han venido creando y actualizando, a partir del trámite que se hizo para la obtención del PSMV con el que actualmente cuenta el municipio. Estos planos brindaron ayuda en la identificación de la zona o sector de influencia, como también para observar que tramos de este interceptor son de tipo combinado o separado.

### **3.1.3. Actividad 3: Identificar el interceptor Cauca – uno (Georreferenciación)**

Se realizaron recorridos de campo, de acuerdo a la anterior actividad por los sectores identificados que están haciendo uso del interceptor Cauca-uno, el cual hace parte del sistema de alcantarillado de Popayán. A su vez se hizo una georreferenciación de los puntos más representativos de este tramo, usando un dispositivo móvil con la app SpotLens, la cual arrojó coordenadas que tuvieron como fin delimitar el espacio de este estudio, identificar y darles una numeración a los pozos supervisados que comprenden y conforman este interceptor.

Teniendo en cuenta que el área de prestación del servicio de alcantarillado y la trayectoria de la red del Interceptor Cauca – uno, es demasiado extensa, se prefirió estipular 2 jornadas de inspección de la línea, para mejorar el rendimiento de la actividad y tratar de encontrar en su gran mayoría posible, todas las inconsistencias que se presentaron. En estas dos visitas, se tuvieron acceso algunas de las cámaras de inspección del interceptor y en otras no; dadas las condiciones externas de la tapa, que se presentaban en diferentes puntos. Otro aspecto a tener en cuenta por la inspección realizada a la red en los recorridos, es lo que se pudo observar en cuestión de la operación del sistema, por lo que, en este documento, se tuvo en cuenta una clasificación tipo semáforo, para darle prioridad, algunos puntos que necesitan o no mantenimiento y control de la línea por parte de la empresa. Esta clasificación se encuentra resumida en la Tabla 2 de los puntos obtenidos de la siguiente manera:

**Tabla 2.** Clasificación tipo semáforo de los puntos inspeccionados en los recorridos A y B de la red del Interceptor Cauca – uno.

<b>CLASIFICACION DE LOS PUNTOS INSPECCIONADOS EN LOS RECORRIDOS A Y B</b>	
	Cámaras de inspección o puntos donde se observa que el sistema <b>NO</b> presenta alguna irregularidad o falla representativa en su funcionamiento, como de las condiciones que puedan dificultar su correcto mantenimiento.
	Puntos o cámaras de inspección que presentan <b>ALGUN</b> tipo de inconsistencia, pero no son significativamente de gran importancia.
	Puntos o cámaras de inspección en donde <b>SI</b> se presentan irregularidades, daños y fallas en el funcionamiento del sistema de alcantarillado, como también de las condiciones que puedan dificultar su correcto mantenimiento.

Fuente: Propia.

#### **3.1.4. Actividad 4: Verificar cálculos de caudales teóricos**

Se verificaron algunos documentos y archivos con los que cuenta la empresa [24] con respecto a las áreas aferentes y densidad poblacional del sector, lo cual dejo como resultado, diferentes caudales sanitarios teóricos proyectados para el año 2022 que transporta el Interceptor Cauca – uno. Se tuvo en cuenta también, los estudios del POT y el DANE, a los cuales se les realizaron ajustes con las áreas de prestación del servicio de alcantarillado y lineamientos normativos, como técnicos colombianos con respecto a la elaboración y diseño de estudios de generación de caudal de aguas residuales en los alcantarillados del país.

Dicho lo anterior, para verificar los caudales sanitarios teóricos hallados en este estudio, se tuvieron en cuenta las siguientes operaciones que necesitan de algunas variables que serán explicadas a continuación [25].

**Ecuación 1.** Área de influencia

$$A_i = A_{afe} + \sum A_{aa}$$

$A_i$  =Área de influencia (ha)

$A_{afe}$  = Área parcial o aferente a cada colector (ha)

$\sum A_{aa}$ = Área aguas arriba, se produce de la acumulación de las áreas anteriores (ha)

Según los lineamientos nacionales, la determinación de las áreas de drenaje a cada colector debe considerar el plano topográfico de la comunidad y el trazado de las redes en AutoCAD, el área bruta de drenaje de cada colector se logra trazando las diagonales sobre las manzanas de la población. Las zonas de uso recreacional tienen que añadirse en dicha área [25].

**Ecuación 2.** Densidad de población

$$D = \frac{P}{A}$$

D = Densidad de población (hab/ha)

P = Población o número de suscriptores del sector (hab)

A = Área total de servicio o influencia del interceptor Cauca-uno (ha)

Según el documento [24] “De acuerdo con la solicitud de la CRC, las estimaciones de población deben ser realizadas teniendo como marco el censo DANE más actual, en este caso el del año 2018. Para estas proyecciones se tiene en cuenta la delimitación de las áreas donde la EAAP SA ESP presta el servicio de alcantarillado, la distribución de la población por colectores y los datos del censo 2018, así como el estudio de población de Findeter [26]. Para el cálculo de población se trabajó con base en densidades y proyecciones de población en base a las áreas de servicio, censo del 2018 y POT, principalmente. A partir de la información de áreas servidas y densidades por comuna, fue posible realizar un estimado de población por colector en el año 2018 y contrastarlo con el dato del censo. Esto se hizo para contar con un análisis de la información que emplea planeación municipal y conocer el grado de cercanía con las cifras que maneja la EAAP SA ESP” [24].

En la Figura 1, se ilustra la población en habitantes atendidos por el interceptor Cauca – uno, que de acuerdo con las densidades y áreas POT, como del marco censal del DANE, es de 26.331 habitantes para el año 2018, esto sin tener en cuenta algunas poblaciones subnormales como las flotantes permanentes y migrantes desplazadas, que poco después si se adicionaran en la estimación total de la población aferente al Interceptor Cauca – uno.

**Figura 1.** Población atendida por los colectores que conforman el Interceptor Cauca – uno, según el POT Y DANE.

ÁREAS ASOCIADAS A COLECTORES INCLUYEN ZONAS CON COBERTURA Y SIN COBERTURA DE ALCANTARILLADO	COMUNA 1	COMUNA 2	COMUNA 3	COMUNA 4	COMUNA 5	COMUNA 6	COMUNA 7	COMUNA 8	COMUNA 9	TOTAL
V. NORTE	0	8170	0	0	0	0	0	0	0	8170
V. GONZALEZ	0	13510	0	0	0	0	0	0	0	13510
Q. QUITACALZON	0	16730	0	0	0	0	0	0	0	16730
Q. CHAMIZAL	0	14832	0	0	0	0	0	0	0	14832
Q. GARROCHAL	0	8652	0	0	0	0	0	0	0	8652
CAUCA I	1596	3055	0	0	0	0	0	0	0	4651
CAUCA II	715	246	0	0	0	0	0	0	0	961
MACHANGARA	3875	0	740	0	0	0	0	0	0	4615
PALACE	0	2154	5703	0	0	0	0	0	0	7857
AERONAUTICA CIVIL	6816	0	23733	0	0	0	0	0	0	30549
PANDIGUANDO	0	0	15984	1681	0	0	0	5674	0	23339
MINUTO DE DIOS	0	0	0	18541	17732	12269	0	4523	0	53064
EDEN CHUNE	0	0	0	0	0	17752	10521	12556	7862	48692
PUBUS	0	0	0	0	444	4979	32943	0	25485	63851
<b>TOTAL</b>	13002	67348	46159	20222	18176	35000	43464	22753	33347	299472

Fuente: AAPSA

En cambio, el estudio que realizó la empresa AAPSA, con respecto a la población que se le presta el servicio de alcantarillado en el año 2018 con la red de estudio, es de 19.409 habitantes, ya que la proyección de la población, se le realizó un ajuste en la densidad poblacional y a las áreas aferentes. Estas cifras aun no tienen en cuenta las poblaciones subnormales mencionadas anteriormente y se representan en la Figura 2.

**Figura 2.** Población cubierta del servicio de alcantarillado en 2018 por los colectores que conforman el Interceptor Cauca – uno según la empresa AAPSA

Colector	Población	Área
V. NORTE	5810	74.22
V. GONZALEZ	9636	87.6
Q. QUITACALZON	13970	127
Q. CHAMIZAL	13090	119
Q. GARROCHAL	5995	54.5
CAUCA I	3963	54.3
CAUCA II	438	10.59
MACHANGARA	3649	74.4
PALACE	3431	25.8
AERONAUTICA CIVIL	27988	326.35
PANDIGUANDO	20703	174.07
MINUTO DE DIOS	47147	316.37
EDEN CHUNE	42197	228.78
PUBUS	60228	396.58
<b>TOTAL</b>	258245	2069.56

Fuente: AAPSA

Ahora bien, teniendo en cuenta las poblaciones y áreas cubiertas por el servicio de alcantarillado en el año 2018, además de las proyecciones de poblaciones flotantes permanentes y migrantes desplazadas y algunas áreas que se fueron anexando año a año, se procedió a calcular la

proyección de los habitantes para el año 2022, que tendrían cobertura del servicio de alcantarillado por parte del Interceptor Cauca – uno, año al cual se realizaron los aforos necesarios para la evaluación del comportamiento hidráulico de este sistema. En la Tabla 3, se encuentran las cifras de las poblaciones totales y las áreas al cual, les presta el servicio la red de estudio para el año 2022.

**Tabla 3.** Proyección de población y área total atendida en el año 2022 por parte del Interceptor Cauca – uno

RED	AREA (ha)	POBLACION (hab)
V.NORTE	79.23	7228
V.GONZALES	116.9	10398
CAUCA I	57.55	4276
INTERCEPTOR CAUCA UNO	253.68	21902

Fuente: AAPSA.

Puesto que se utilizó como punto de partida la proyección de población, se debe determinar con la Ecuación 3. Los aportes de aguas residuales tienen que calcularse de acuerdo a datos de consumos y/o mediciones recientes registrados de la población, además de las densidades previstas para el período de diseño [25]., en este caso se tomó como base, el Plan de Ordenamiento Territorial, como se hizo también en el documento revisado de la empresa.

**Ecuación 3.** Aportes medio diario de aguas residuales

$$Q = \frac{CR \times P_S \times D_{NETA}}{86.400}$$

Q = Caudal de aporte unitario de aguas residuales domesticas (L/s)

CR = Coeficiente de retorno (adimensional)

$P_S$  = Número de habitantes proyectados al periodo diseño (hab)

$D_{NETA}$  = Dotación neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab \* dia)

El coeficiente de retorno (CR) debe estimarse a partir del análisis de información existente en la localidad y/o de mediciones de campo realizadas por la persona prestadora del servicio. De no contar con datos de campo, se debe tomar un valor de 0.85 [5].

De tal manera, al contar con la proyección de la población del año 2022 identificada anteriormente, que es de 21.902 habitantes, con la dotación de agua promedio para Popayán considerada de 125 L/hab\*día por el documento y además con el coeficiente de retorno escogido de 0.85 según la Res 0799 del 2021, se pudo obtener un caudal de aporte unitario de aguas residuales domesticas de 26.93 L/s.

Asumiendo que en el área total aferente del interceptor Cauca – uno es 100% domestico, se debe multiplicar el aporte unitario de agua residual doméstico por 1 para calcular el aporte unitario ponderado, sin embargo, existe la posibilidad de la contribución de aportes comerciales, institucionales e industriales, lo cual genero añadir otros pasos más para la cuantificación del aporte ponderado [25].

Estas contribuciones son llamadas como, aportes medio diario al alcantarillado sanitario, resultan de sumar los aportes aguas residuales domésticas y no domésticas correspondientes al área aferente, más los caudales recibidos por el colector aguas arriba. Es importante resaltar que este caudal se asumirá como la cantidad de flujo que transita por el final de la red del del interceptor Cauca – uno en un día sin lluvia, comportándose en un alcantarillado de tipo sanitario [25].

**Ecuación 4.** Caudal medio diario de aguas residuales

$$Q_{md} = Q_{Dom} + Q_{Ind} + Q_{Com} + Q_{Inst}$$

$Q_{md}$  = Caudal medio diario de aguas residuales (L/s)

$Q_{Dom}$  = Caudal de aporte unitario de aguas residuales domesticas (L/s)

$Q_{Ind}$  = Caudal de aporte unitario de aguas industriales (L/s)

$Q_{Com}$  = Caudal de aporte unitario de aguas comerciales (L/s)

$Q_{Inst}$  = Caudal de aporte unitario de aguas institucionales (L/s)

El documento “Diseño de la PTAR” diferencia los aportes institucionales/oficiales, industriales, comerciales y otros, considera por un lado los datos de facturación de usuarios no residenciales y las áreas de aporte de estos usuarios. Dado que no existe información sistematizada de estas áreas por colector, la distribución se hace por población. Es decir, la distribución de los aportes de aguas residuales no residenciales correspondientes a cada colector, se hace de acuerdo con el tamaño de la población servida, dado que la presencia de estos sectores se relaciona



directamente con el número de personas, a las que se les presta el servicio. Se decide trabajar con los valores máximos hallados, con el fin de tener un margen de seguridad en estas estimaciones inicialmente, dado que los caudales no residenciales están asociados a la facturación, se decide ajustar los caudales no residenciales, con el % de cobertura en alcantarillado, es decir, los volúmenes facturados corresponden al 100% de los usuarios no residenciales de acueducto, como no existe cobertura del 100% de alcantarillado, sino un 96%, los caudales no residenciales que vierten al sistema de alcantarillado corresponderán al 94% del facturado. En este orden de ideas, se sumarán los aportes unitarios de las ARnD encontrados en el documento [24] a las ARD calculadas, para conformar el caudal medio diario como se explicó en la Formula 4. Se muestran los aportes de caudales de aguas residuales No domésticos mencionados en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Aportes unitarios de aguas residuales NO Domesticas

RED	V.NORTE	V.GONZALES	CAUCA I	INTERCEPTOR CAUCA UNO
CAUDAL ARND (L/s)	2.3	3.3	1.4	7

Fuente: AAPSA.

Acorde con lo anterior, al sumar el caudal por aportes de aguas residuales domesticas que corresponde al valor de 26.93 L/s, con el valor identificado de aportes de aguas residuales no domésticas, el cual es de 7 L/s, arroja el caudal medio diario de aguas residuales (Qmd).

Para cuantificar el caudal teórico en horas de alta generación de caudal, que es igual a la cantidad de flujo de agua que transita por el interceptor Cauca – uno en horas pico, se debe seguir considerando la misma guía que se ha utilizado para el caudal medio diario, pero en este caso calculando el caudal máximo horario (QMH) [25]. Este caudal que no ha sido tenido en cuenta en el documento base de la empresa, se halló por medio de un factor de mayoración utilizado en la estimación del QMH, este factor debe calcularse haciendo uso de mediciones de campo, en las cuales se tengan en cuenta los patrones de consumo de la población [27]. En ausencia de datos de campo, se debe estimar con las ecuaciones aproximadas, teniendo en cuenta las limitaciones que puedan presentarse en su aplicabilidad. Actualmente con la normativa vigente, este valor se asume que debe estar entre 1.4 y 3.8 como dice la Res 0799 del 2021, sin embargo, se opta por escoger, el valor recomendado en el RAS, para poblaciones servidas entre 20.000 y 50.000 habitantes, que arroja un factor de 2.5. En la Ecuación 5, se explica el procedimiento para calcular el QMH final de la red.

**Ecuación 5.** Caudal Máximo Horario Final

$$Q_{MH} = Q_{md} * F$$

$Q_{MH}$  = Caudal máximo diario final de aguas residuales (L/s)

$Q_{md}$  = Caudal medio diario de aguas residuales domesticas (L/s)

$F$  = Factor de mayoración (adimensional)

En cuanto al valor del aporte de caudal por infiltración, que se ve sometido la red del Interceptor Cauca – uno, se evidencia en el documento que, si se tuvo en cuenta en el estudio, ya que se adoptaron factores de infiltración de 0.1 L/s\*ha y 0.05 L/s\*ha. De acuerdo con lo estimado por la Res 0330 de 2017, un análisis más preciso, implicaría tener información de suelos en las áreas cubiertas por los colectores de alcantarillado. Es este documento base, se observan puntos en los que se realizaron estudios de suelos en esos últimos años, a profundidades entre 1.20 m y 6.0 m. En todos los puntos señalados en el informe, NO se encontró nivel freático [24].

Tomando en consideración, lo expuesto por la resolución 0330 del 2017- Art. 134, ítem 6: “Para situaciones en las cuales el nivel freático se encuentre por debajo del nivel de cimentación de la red, el caudal de infiltración podrá excluirse como componente del caudal de diseño”. El límite superior para infiltración, se toma de la resolución 0330 del 2017. Art. 166: “El caudal medio corresponde al valor medio de tiempo seco según se define en el artículo 134, inciso tercero, más un caudal de infiltración que se calcula con base en un factor de 0.1 L/s ha, aplicado al área de aferencia de infiltración del alcantarillado”. Para las áreas localizadas en el norte se adoptó un factor de 0.05 L/s\*ha, que corresponde al sector de influencia del Interceptor Cauca – uno. Se decide proponer que el % de cobertura de área de alcantarillado asociado a infiltración sea del 100% para todas las áreas. En base a la información anterior y al área de aferencia de la red de estudio, se procedió a utilizar la Ecuación 6, para verificar y calcular un caudal por infiltración.

**Ecuación 6.** Caudal por infiltración

$$Q_{inf} = A * F$$

$Q_{inf}$  = Caudal por infiltración (L/s)

$A$  = Área de aferencia de infiltración del alcantarillado (ha)

$F$  = Factor de infiltración (L/s\*ha)

De manera similar respecto al caudal máximo horario, se sigue la misma guía para obtener el aporte de caudal por conexiones erradas, ya que el documento [24] no tuvo en cuenta estas contribuciones en la proyección de caudal que se realizó en el estudio, de tal manera es fundamental calcular un  $Q_{errad}$ , para así poder comparar y evaluar, el caudal de diseño que encontró posteriormente, con el caudal aforado de las mediciones realizadas y así, poder encontrar diferencias en estos caudales. Respecto a los aportes por conexiones erradas siguiendo los lineamientos establecidos por la Res 0799 del 2021, deben estimarse a partir de la información existente en la localidad. En ausencia de esta información deberá utilizar un valor máximo de 0.2 L/s\*ha, el cual fue escogido [28]. La Ecuación 7, se usa para determinar los aportes de caudal por conexiones erradas.

**Ecuación 7.** Caudal por conexiones erradas

$$Q_{CE} = A * F$$

$Q_{erraad}$  = Caudal por conexiones erradas (L/s)

$A$  = Área de aferencia de infiltración del alcantarillado (ha)

$F$  = Factor de conexiones erradas (L/s\*ha)

Finalmente, al contar con el caudal máximo horario y los aportes de caudales por conexiones erradas y de infiltración, se pudo obtener el caudal de diseño del tramo seleccionado que hace parte del Interceptor Cauca – uno, a su vez se aporta información como punto de partida, referente al diseño de este tramo que hace parte del sistema de alcantarillado, como, por ejemplo, el por qué el diámetro de la tubería instalada y su pendiente, el cumplimiento de las relaciones hidráulicas, entre otras.

**Ecuación 8.** Caudal de diseño

$$Q_D = Q_{MH} + Q_{inf} + Q_{CE}$$

$Q_D$  = Caudal de diseño (L/s)

$Q_{MH}$  = Caudal máximo diario final de aguas residuales (L/s)

$Q_{inf}$  = Caudal por infiltración (L/s)

$Q_{CE}$  = Caudal por conexiones erradas (L/s)

### 3.1.5. Actividad 5: Determinar los aportantes de agua lluvia en el sistema

Para esta actividad se realizaron nuevamente recorridos de campo en las áreas aferentes del Interceptor Cauca – uno, para determinar el número de aportantes de agua lluvia que aumentan el flujo o caudal al sistema de la red de estudio, esto debido a las conexiones erradas existentes de los sumideros en el sector de influencia, si se quiere asumir que el sistema es de tipo separado con vocación sanitaria, para así obtener el caudal de escorrentía del área de influencia que comprende y transporta el interceptor evaluado. A su vez se hizo una georreferenciación de los puntos identificados como sumideros, usando un dispositivo móvil con la app SpotLens, la cual arrojó coordenadas que tuvieron como fin, ilustrar la cantidad de aportantes de agua lluvia.

Para cuantificar el caudal teórico en días de alta pluviosidad, que es igual a la cantidad de flujo de agua que transita por determinados colectores del interceptor Cauca – uno por la conexión de sumideros de la zona en un día de lluvia, se empleó el método racional dada su simplicidad y como se recomienda, cuando se trata de superficies menores a 1300 ha [25]], en este caso el alcantarillado se comportaría de tipo sanitario y pluvial. En la Ecuación 9, se explica la manera en que se debe hallar el caudal superficial.

**Ecuación 9.** Caudal de escorrentía o superficial

$$Q_{esc} = 2.78 \times C \times I \times A$$

$Q_{esc}$  = Caudal de escorrentía o superficial (L/s)

$C$  = Coeficiente de escorrentía (adimensional)

$I$  = Intensidad de la lluvia o precipitación (mm/h)

$A$  = Área de drenaje o escorrentía (ha)

### 3.1.5.1. Área de drenaje o escorrentía

Para determinar el área de drenaje, se asume el dato obtenido por el software Google Earth Pro y datos de la empresa modificados, respecto a la delimitación de las áreas de influencia por escorrentía, que se cree que aportan, a cada colector que hace parte del Interceptor Cauca – uno., mediante criterios de observación de curvas de nivel y por el análisis en campo del Recorrido C. En ese orden de ideas, la sumatoria de los polígonos elaborados en la Figura 11, arroja un valor del área de escorrentía de 343.21 ha.

### 3.1.5.2. Coeficiente de escorrentía

En la Tabla 5 se dan algunas descripciones de criterios para la selección del coeficiente de escorrentía, ya que la determinación absoluta es muy difícil realizarla, según indicaciones de la EAAB.

**Tabla 5.** Coeficiente de escorrentía típicos

TIPO DE SUPERFICIE	COEFICIENTE
Zonas comerciales	0.90
Desarrollos residenciales con casas contiguas y predominio de zonas duras	0.75
Desarrollos residenciales multifamiliares con bloques contiguos y zonas duras entre ellos	0.75
Desarrollo residencial unifamiliar con casas contiguas y predominio de jardines	0.55
Desarrollo residencial con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0.45
Áreas residenciales con predominio de zonas verdes y cementerios tipo jardines	0.30
Laderas desprovistas de vegetación	0.60
Laderas protegidas con vegetación	0.30

Fuente: [12].

El coeficiente de escorrentía escogido de la Tabla 5, fue de 0.60 ya que como se pudo observar en los Recorridos A, B y C, existe una gran variedad de superficies, por lo que se decidió tomar un valor intermedio entre los coeficientes de zonas comerciales y áreas residenciales con predominio de zonas verdes.

### 3.1.5.3. Intensidad promedio de la lluvia

Este valor se obtuvo a través de un estudio hidrológico que realizó la empresa AASPA, especializado para el diseño de las redes de alcantarillado del municipio o zona de servicio, donde se analizó información pluviográfica a nivel local, del cual se obtiene la intensidad promedio, teniendo en cuenta los tiempos de retorno, duración y tiempos de concentración como lo dicta la

Res 0799 del 2021. Esta variable depende en gran medida, de la duración de la lluvia y el tiempo de concentración del área de la cuenca a analizar. En este caso se acogió la información de la curva hidrológica de la empresa AAPSA (Popayán), como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3.** Curva IDF de la empresa acueducto y alcantarillado de Popayán

$I = \frac{kT r^{\mu}}{t^{\lambda}}$		$I$ = Intensidad (mm/hr) $T_r$ = Tiempo retorno (años) $t$ = Duración de la tormenta (minutos) $k, \mu$ y $\lambda$ son parámetros de la función de distribución
$i = 288.10 \frac{T_r^{0.1736255}}{t^{0.6676185}}$	Para $T_r$ de 2 a 100 años y duración de 5 minutos	$I$ = Intensidad, mm/hr. $T_r$ = Tiempo retorno, años $t$ = duración, minutos
$i = 422.35 \frac{T_r^{0.1736255}}{t^{0.6676185}}$	Para duración 10 minutos $T_r$ = 2 a 100 años	
$i = 553.08 \frac{T_r^{0.1736255}}{t^{0.6676185}}$	Para duración de 20 a 360 minutos y $T_r$ = 2 a 100 años	

Fuente: AAPSA.

El tiempo de concentración se aplica, en las fórmulas de intensidad como la variable t mostrada en la Figura 3 y se obtiene por medio de un promedio, de algunas de las diferentes fórmulas utilizadas, las cuales son indicadas, en el manual de drenaje para carreteras del INVIAS [29], con los datos de la cuenca y del tramo escogido para aforar como lo son:

- Cota máxima: 1907.0 (m)
- Pendiente de la cuenca: 0.0275 (m/m)
- Cota mínima: 1744.5 (m)
- Longitud de la cuenca: 5883 (m)

Las fórmulas que fueron escogidas del manual para el tiempo de concentración del drenaje de la cuenca, se encuentran calculadas en la Tabla 6. De igual manera, se encuentra el promedio de los tiempos que se utilizó en las diferentes fórmulas de la curva de intensidad de la empresa.

**Tabla 6.** Tiempos de concentración escogidos del manual de drenaje del INVIAS

TIEMPO DE CONCENTRACION (min)	
1. Ecuación de Kirpich	62.1
2. Ecuación de Témez	57.1
3. Ecuación de SCS – Ranser	62.0
4. Ecuación de ventura – Heras	56.2
<b>PROMEDIO</b>	59.4

Fuente: INVIAS.

En la Tabla 7, se resumieron los cálculos realizados, en cuestión de las diferentes fórmulas usadas, para hallar las intensidades de las precipitaciones, que dependen a su vez, de las duraciones de la lluvia en el municipio de Popayán, en este caso se escogió el valor calculado con la duración de la lluvia de 20 minutos o mayores, ya que este fue el tiempo promedio, al cual se estuvo expuesto durante los aforos efectuados, cuando se presentaron las precipitaciones,

arrojando un valor de intensidad de 53.85 mm/h. Igualmente es de resaltar que se tiene en cuenta un TR de 10 años, para todas las intensidades mostradas, ya que por normativa nacional y reglamentado en la Res 0330, se debe tener en cuenta para este tipo de proyectos este periodo.

**Tabla 7.** Intensidades máximas para la cuenca del Interceptor – Cauca uno, utilizando la curva IDF de la empresa AAPSA en un tiempo de retorno de 10 años

<b>INTENSIDADES MAXIMAS DE LAS PRECIPITACIONES PARA POPAYAN – CAUCA EN LA CUENCA DEL INTERCEPTOR CAUCA – UNO</b>			
<b>D (min)</b>	5	10	20 a 360
<b>INTENSIDAD (mm/h)</b>	28.0	41.1	53.8

Fuente: AAPSA.

Contando con las variables necesarias para aplicar en la Formula 9, como lo es el área de drenaje, el coeficiente de escorrentía y la intensidad, se procedió a calcular, en un tiempo de retorno de 10 años, el Qesc máximo al cual puede verse expuesto el Interceptor Cauca – uno, en este caso, si los aportantes en su totalidad evacuaran el agua lluvia por todo este sistema.

Por otra parte, se tienen como evidencia, las mediciones realizadas por la estación Guillermo León Valencia, en relación a las intensidades de las precipitaciones presentadas, durante el desarrollo de los de aforos hechos, ya que como se demostró en las jornadas de medición de caudal real, existe un incremento notable de caudal cuando se presentaron estas lluvias, lo cual indico que el alcantarillado opera de manera combinada cuando ocurren precipitaciones de intensidad baja o alta. En la Figura 4, se señalan algunas de las intensidades diarias de las precipitaciones presentadas en las jornadas de medición y otras en donde no se encontró la información o el valor era 0.

**Figura 4.** Intensidades diarias a las que estuvo expuesto el Interceptor Cauca -uno, durante las jornadas de aforos realizadas por cada tramo

<b>INTENSIDADES DIARIAS DE LAS PRECIPITACIONES</b>								
<b>DIA</b>	<b>TRAMO 1</b>		<b>TRAMO 3</b>		<b>TRAMO 4</b>		<b>TRAMO 5</b>	
	<b>FECHA</b>	<b>INTENSIDAD (mm)</b>	<b>FECHA</b>	<b>INTENSIDAD (mm)</b>	<b>FECHA</b>	<b>INTENSIDAD (mm)</b>	<b>FECHA</b>	<b>INTENSIDAD (mm)</b>
<b>LUNES</b>			18/10/2022	19,2	NI	NI	31/10/2022	7,3
<b>MIERCOLES</b>	28/09/2022	18,4					NI	NI
<b>VIERNES</b>					28/10/2022	7,1		

Fuente: IDEAM.

### **3.2. Fase 2: Estimar los caudales que transporta el sistema del interceptor Cauca – uno, mediante aforos en los puntos más significativos de esta red**

#### **3.2.1. Actividad 1: Jornadas de inspección de la red de alcantarillado (medición de variables hidráulicas directas)**

Respecto a los caudales reales necesarios en este estudio que fueron analizados en las últimas actividades de esta fase, se necesitaron los siguientes tipos de aforos:

- Aforos en horario normal y tiempo seco ( $Q_{md}$ )
- Aforos en horas pico y tiempo seco ( $Q_{MH}$ )
- Aforos en temporada de alta pluviosidad ( $Q_{combinado}$ )

Se realizaron mediciones directas evidenciadas en el Anexo 1, de tipo manual, con instrumentos hidráulicos como lo son flotadores, para determinar el tiempo que se demora este objeto en pasar de cámara a cámara. En los distintos aforos mencionados anteriormente, se necesitaron de instrumentos, como por ejemplo el de medición longitudinal que fue construido y se le llamó regleta, esta permitió medir las láminas de agua, de los caudales que pasaron durante las diferentes horas programadas en las jornadas de aforos establecidos, así mismo de un cronometro para determinar el tiempo de recorrido de los flotadores, un metro para medir distancias de los tramos, entre otros; para así obtener variables tales como: velocidad del flujo, tirante o altura de agua en el conducto.

##### **3.2.1.1. Medición de lámina o tirante de agua**

Esta variable hidráulica, se midió por medio del uso de un instrumento construido durante el desarrollo del proyecto, al cual se le denominó regleta, esta herramienta de medición está conformada por una regla graduada y materiales que le puedan dar más longitud. El funcionamiento de este equipo, es simple, ya que consiste en un método manual, el cual inicialmente trata, en embadurnar al dispositivo de una anilina, para así posteriormente medir físicamente, el tirante de agua sobre el fondo del conducto que lavará este producto por el paso del flujo sobre el instrumento, indicando así una medida de longitud que será tomada en cuenta como lámina de agua. Es importante verificar que no se produzca resalto o resistencia, en el momento de contacto de la regla con el agua y que esta toque el fondo de la tubería, para evitar distorsión en la lectura del tirante [30]. Otro aspecto que se consideró, es que se debe tomar las



láminas de agua en la entrada y salida del tramo a aforar, para así poder determinar al final de la operación un caudal promedio que se está evacuando en la red.

### 3.2.1.2. Cálculo de velocidad

La velocidad se pudo obtener mediante el uso del método de flotadores, que consta en determinar la relación entre longitud y tiempo, estimando el tiempo que demora un flotador en recorrer una longitud establecida: En el caso de las redes de alcantarillado, es fundamental medir la velocidad en el tramo donde se realizara el aforo. Existen diferentes tipos de flotadores, como los de superficie o simples, dobles o sub superficiales y flotadores lastrados. Al usar los instrumentos como el metro y cronometro, se obtuvo información de distancias y tiempos promedios, los cuales posteriormente se aplicaron en la Ecuación 10. Esta metodología da como resultados variables  $V$  = velocidades medias del flujo (m/s) [30] en todos los aforos que se realizaron.

**Ecuación 10.** Velocidad media del flujo

$$V = \frac{D}{t}$$

$V$  = Velocidad media del flujo (m/s)

$D$  = Distancia del tramo que se va aforar o de cámara a cámara de inspección (m)

$t$  = Tiempo del recorrido del flotador (s)

La pendiente del tramo escogido, el diámetro y material de la tubería se facilitaron de la línea base de la empresa de acueducto y alcantarillado de Popayán, todo esto a su vez para aplicarlos en la fórmula de Manning, ya que el interceptor Cauca-uno es un conducto que trabaja por gravedad [31]. Se realizaron aforos, en los tramos seleccionados en la Fase 1, que hacen parte del interceptor Cauca – uno del sistema de alcantarillado, bajo 3 diferentes escenarios, esto a su vez, para comparar los resultados que indiquen algún tipo de comportamiento y analizar cómo se incrementa el caudal, durante el transcurso del trayecto de la red, que puedan dar un estimativo de los puntos críticos o normales de su operación.

Al realizar los cálculos que se mostraran a continuación, se necesitaron aplicar diferentes fórmulas, que con la información recolectada de la anterior actividad (velocidad, diámetro y lámina de agua) se logró cuantificar aproximadamente los caudales reales que están siendo transportados por el sistema, en otras palabras, la cantidad de flujo de aguas residuales por un determinado tiempo.

### 3.2.1.3. Cálculo de área mojada de una tubería

Las propiedades geométricas de la sección transversal circular fluyendo parcialmente llena, se describen teniendo en cuenta, el diámetro real interno de la tubería y el ángulo subtendido entre el centro de la sección transversal y los puntos de contacto entre la superficie libre y la circunferencia de la tubería [25], el ángulo subtendido desde el centro de la sección transversal y los puntos de contacto entre la superficie libre y la circunferencia de la tubería está dado por la siguiente Ecuación 11.

**Ecuación 11.** Ángulo entre el centro de la sección y los puntos de contacto entre la superficie libre y la circunferencia de una tubería

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left( 1 - \frac{2y}{D} \right)$$

Teniendo en cuenta el ángulo antes descrito y el diámetro real interno de la tubería, el área mojada de la sección transversal se calcula de acuerdo con la Ecuación 12.

**Ecuación 12.** Área mojada transversal

$$A = \frac{D^2}{8} (\theta - \text{sen } \theta)$$

A = Área mojada transversal (m<sup>2</sup>).

$\theta$  = Ángulo subtendido entre el centro de la sección transversal y los puntos de contacto entre la superficie libre y la circunferencia de una tubería (rad).

Y = Profundidad o tirante del agua (m).

D = Diámetro real interno de la tubería (m).

### 3.2.1.4. Ecuación de Manning

Para el dimensionamiento de la sección transversal de la tubería también se puede utilizar la Ecuación 13 [25], mostrada a continuación, la cual es aplicable únicamente para el caso de flujo uniforme turbulento hidráulicamente rugoso:

**Ecuación 13.** Formula de Manning en función a la velocidad

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

Esta expresión se despejó y convirtió en la Ecuaciones 14 y 15, que relaciona el caudal que pasa por la tubería como función del área mojada, del radio hidráulico, de la pendiente de la tubería y del coeficiente de rugosidad de Manning [25]. Es de resaltar que las velocidades se van asumir por el empleo del método de flotadores, tomando lo valores de velocidades medias del flujo.

**Ecuación 14.** Formula de Manning en función al caudal

$$Q = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \times A$$

**Ecuación 15.** Caudal del flujo aforado

$$Q_{Afo} = V \times A$$

$Q_{Afo}$  = Caudal del flujo aforado (m<sup>3</sup>/s)

V = Velocidad media del flujo (m/s)

A = Área mojada transversal (m<sup>2</sup>)

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente longitudinal de la tubería (%)

n = Coeficiente de rugosidad (adimensional)

Una vez se estableció la metodología anterior, se estableció un formato que, permitió llevar un registro ordenado de los datos en campo para la colecta de información. Esta herramienta empleada en los aforos se puede observar en el Anexo 2.

Posteriormente, se realizó el análisis correspondiente, acorde a lo mencionado en la metodología y dada que la cantidad de información recolectada y calculada en esta actividad es muy extensa, se procedió a emplear una hoja Excel, para minimizar y facilitar los resultados obtenidos, aplicando las fórmulas descritas anteriormente. Se puede ver evidenciado en los Anexos 3, 4, 5, 6 y 7, los cuales son los formatos sacados de la hoja de Excel, que se diseñó para simplificar esta actividad y que se utilizó, en cada jornada de los aforos desarrollados.

### 3.2.2. Actividad 2: Análisis y comparación de datos de caudales teóricos y reales para determinar las conexiones erradas en el sistema de alcantarillado del interceptor

Se determinaron las conexiones erradas en el sistema de alcantarillado del interceptor Cauca – uno, a través del análisis y resultados de las anteriores fases, restando los caudales de agua residual teóricos del diseño de la red, a los caudales promedio del último tramo escogido para aforos (caudales reales), como se observa en las Ecuaciones 16, 17 y 18. Esto es posible a que se relacionaron las áreas aferentes y densidad poblacional, arrojándonos el valor de conexiones erradas en este tramo.

**Ecuación 16.** Aportes de caudal por conexiones erradas al caudal medio diario

$$Q_{CE} = Q_{md_{afo}} - Q_{md}$$

**Ecuación 17.** Aportes de caudal por conexiones erradas al caudal máximo horario

$$Q_{CE} = Q_{MH_{afo}} - Q_{MH}$$

**Ecuación 18.** Aportes de caudal por conexiones erradas y escorrentía al caudal medio diario

$$Q_{CE} = Q_{comb_{afo}} - Q_{md_{afo}}$$

$Q_{CE}$  = Caudal de conexiones erradas (L/s)

$Q_{md}$  = Caudal medio diario (L/s)

$Q_{MH}$  = Caudal máximo horario (L/s)

$Q_{comb}$  = Caudal combinado (L/s)

$Q_{Afo}$  = Caudal del flujo aforado del tramo seleccionado (L/s)

A partir de la verificación efectuada del diseño de la red y de las mediciones realizadas en las jornadas de aforos, se obtuvieron los datos respecto a los caudales necesarios, para aplicar en las Ecuaciones 16, 17 y 18, que tienen como finalidad, tener un valor aproximado de los aportes de caudal, que generan las conexiones erradas en el sistema del Interceptor Cauca – uno. En la Tabla 9, se presentan los caudales requeridos, para esta actividad, los cuales fueron recopilados de los resultados 4 de la Fase 1 y resultados 1 de la Fase 2, que brindaron los datos de las variables necesarias, para utilizar en las fórmulas antes descritas.

**Tabla 8.** Valores de los caudales necesarios para determinar los aportes de caudal por conexiones erradas

CAUDALES OBTENIDOS DE LA VERIFICACION DEL DISEÑO DE LA RED Y POR LAS JONADAS DE AFOROS		
CAUDALES (L/s)	TEORICOS	REALES
Qmd	33.93	95.2
QMH	84.93	124.0
Qcomb (Qesc + Qmd)	30852.83	328.0

Fuente: Propia.

### 3.2.3. Actividad 3: Relacionar los caudales obtenidos en los aforos con los caudales a tubo lleno de las tuberías del sistema

Para relacionar los caudales obtenidos en los aforos, con los caudales a tubo lleno de las tuberías del sistema, se determinó el porcentaje de utilización de las redes y se identificaron algunos fallos representativos, que se están presentando en el Interceptor Cauca – uno. Estas relaciones se lograron, mediante el uso de la Ecuaciones 19 y 20, las cuales están expresadas de la siguiente manera:

**Ecuación 19.** Caudal a tubo lleno

$$Q_0 = 312 \left( \frac{D^{8/3} * S^{1/2}}{n} \right)$$

**Ecuación 20.** Porcentaje de utilización de la tubería

$$\frac{Q_{afo}}{Q_0} * 100 < 85\%$$

$Q_0$  = Caudal a tubo lleno (m<sup>3</sup>/s)

$Q_{Afo}$  = Caudal del flujo (m<sup>3</sup>/s)

D = Diámetro real interno de la tubería (m).

S = Pendiente longitudinal de la tubería (m/m)

n = Coeficiente de rugosidad (adimensional)

Con base en las jornadas de aforos desarrolladas, por los tramos seleccionados sobre la trayectoria del Interceptor y a los planos con los que cuenta la empresa, se obtuvieron datos que

son útiles para aplicar en la Ecuación 20. Pero se debe antes conocer, las variables necesarias para la Ecuación 19, donde fue indispensable, la línea base de la empresa AAPSA, la cual brindo información respecto al diámetro de la tubería y de las pendientes de los tramos monitoreados. Los caudales máximos horarios aforados, son producto de los cálculos que se realizaron con las variables medidas en las jornadas de aforos y que son descritas en los Anexos 3, 4, 5, 6 y 7, estos valores van a depender a cada tramo que se analizó y se pueden encontrar como tal, en el resultado 1 de la Fase 2. Por último, el coeficiente de rugosidad, se seleccionó teniendo en cuenta el material de la tubería y a los valores que brinda la guía de elementos de diseño de acueductos y alcantarillados. En la Tabla 9, se señalan los datos que se emplearon en la Ecuaciones 19 y 20, para estimar el porcentaje de utilización que tienen estas tuberías, en los tramos aforados durante el año 2022.

**Tabla 9.** Diámetros y pendientes de las tuberías aforadas por cada tramo, además de sus caudales medidos

DATOS DEL PLANO DE ALCANTARILLADO DE LA EMPRESA AAPSA Y CAUDALES MEDIDOS POR CADA TRAMO AFORADO					
TRAMO	1	2	3	4	5
Diámetro Interno de la Tubería (m)	0.584	0.584	0.737	0.584	0.584
Pendiente del Tramo (m/m)	0.008	0.005	0.003	NI	0.006
Coefficiente de Rugosidad	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013
QMHafo (L/s)	68.5	64.6	81.4	102.8	124.0
Qcomb (L/s)	248.1	NI	296.2	320.6	328

Fuente: Propia.

#### **3.2.4. Actividad 4: Estimar el factor de dilución que se esté presentando entre el caudal de escorrentía y el caudal sanitario que transporte el interceptor**

Se estimo el factor de dilución que se está presentando entre el caudal combinado aforado y el caudal medio diario sanitario que transporta el interceptor Cauca – uno, este factor es muy importante hallarlo, ya que por este aporte de agua lluvia al sistema, se puede ver alterado el tratamiento biológico que realizara la planta de tratamiento de aguas residuales con la que contara el municipio de Popayán. En la Ecuación 21, se explica la manera de como encontrar, el factor de dilución al que puede estar expuesto la PTAR, por los aportes de aguas residuales por parte de la red de estudio.

**Ecuación 21.** Factor de dilución

$$F_d = \frac{V_d}{V_c} \quad F_d = \frac{Qmd_{afo}}{Q_{comb}}$$

$F_d$  = Factor de dilución

$V_d$  = Volumen de agua diluida (m<sup>3</sup>)

$V_c$  = Volumen de agua residual (m<sup>3</sup>)

$Qmd_{afo}$  = Caudal medio diario aforado (m<sup>3</sup>/s)

$Q_{comb}$  = Caudal combinado aforado (m<sup>3</sup>/s)

Los datos necesarios para usar en la Ecuación 21, se toman del último tramo aforado y corresponden a unos valores de: 95.2 L/s para el Qmd y 328 L/s para el Qcomb.

### **3.2.5. Actividad 5: Análisis de datos**

Se realizó un análisis, con los datos e información recolectada anteriormente, por parte de toda la metodología expuesta a lo largo del proyecto, para lograr resultados que permitan identificar fallos representativos en el sistema del interceptor Cauca – uno. Siguiendo la guía [25] e información de los planos como: Los diámetros de las tuberías de los tramos escogidos, al igual que sus respectivas pendientes y distancias de los tramos a analizar, que se eligieron para ser evaluados, se dispuso a verificar si el diseño de esta red, cumple con los valores de las relaciones hidráulicas mínimos y máximos requeridos, por parte de los lineamientos técnicos que se dictan en la normativa vigente colombiana, los cuales arrojaron un criterio para establecer, si se está realizando una correcta operación teórica en el Tramo 5, por parte del sistema del Interceptor Cauca – uno. Igualmente, se realizó una verificación, pero, esta vez para la operación del sistema en el Tramo 5, con los caudales que se obtuvieron por medio de los aforos ejecutados en la Fase 2, lo cuales son:  $Qmd_{afo}$ ,  $QMH_{afo}$  y  $Qcomb_{afo}$ . Es importante resaltar que todos estos chequeos hidráulicos realizados, se llevaron a cabo para el año 2022, la cual es la fecha establecida para la ejecución del proyecto. Para simplificar esta actividad, se utilizó un formato Excel, para cada uno de los chequeos efectuados, estas verificaciones se pueden encontrar al final de este documento en algunos de los Anexos 8 y 9.

### **3.3. Fase 3: Proponer alternativas que contribuyan con la mitigación de los excesos de aguas residuales por conexiones erradas que existan en este tramo**

#### ***3.3.1. Actividad 1: Sugerir un plan de operación para el correcto funcionamiento del sistema de alcantarillado en el interceptor***

Se sugirió un plan de operación para el correcto funcionamiento del sistema de alcantarillado en el Interceptor Cauca – uno y el cumplimiento de los lineamientos establecidos por las normativas vigentes, para su posterior conexión y optimización a la futura Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Popayán. En el plan sugerido, esta implementar infraestructura especializada en la red de estudio, para controlar los excesos de aguas transportados por este sistema, como por ejemplo aliviaderos en la líneas existentes y construcción de redes pluviales paralelas al Interceptor Cauca – uno y a los colectores afluentes.

#### ***3.3.2. Actividad 2: Recomendar estrategias de control para las conexiones erradas existentes***

Se recomendaron estrategias de control para esta problemática, como desconectar los sumideros que sean posibles, para mejorar la operación y realizar monitoreos constantes e inspecciones al sistema de alcantarillado, para verificar su correcto funcionamiento. Además, se brindó una guía para reportar daños por parte de los usuarios que se vean afectados por el servicio de alcantarillado que presta la empresa AAPSA, para así mejorar y optimizar la identificación de los fallos que se estén presentando en el funcionamiento del sistema de alcantarillado.

#### ***3.3.3. Actividad 3: Plantear estrategias de educación ambiental***

Se plantearon estrategias de educación ambiental por medios de comunicación virtual y el uso de volantes informativos hacia la población, con el fin de orientar a la comunidad de la problemática que se puede presentar en este sector, por las conexiones erradas que se realicen y las posibles soluciones que se pueden ejecutar desde casa para evitar estas inconsistencias de la red de alcantarillado.



## 4. CAPIULO IV. RESULTADOS

### 4.1. Fase 1: Diagnostico de las condiciones de diseño y funcionamiento del sistema de alcantarillado en el sector que involucra a este interceptor

#### 4.1.1. Resultado 1: Revisión Bibliográfica

Desde el punto de vista administrativo y legal, aparece la Ley 142 de 1994, Decreto 302 del 2000, Decreto 3050 de 2013 y Res 501 del 2017, estableciendo los derechos y deberes de los usuarios y los prestadores del servicio público de alcantarillado, así como las competencias de las entidades encargadas de supervisar y controlar la prestación de este servicio, para garantizar la gestión integral del recurso hídrico en Colombia, regulando la identificación, medición, monitoreo y control del uso del agua que se le da para este fin, en el país.

En relación con el documento o reglamento RAS – Título D, enuncia los requisitos de diseño y construcción para los sistemas de alcantarillado, incluidas las especificaciones técnicas de tuberías, materiales y equipos para estas actividades. Así mismo, aparece para actualizar este reglamento en el 2017 la Resolución 0330, sin embargo, esta exige como también lo hace la Resolución 661 del 2017, la realización de estudios previos para garantizar la viabilidad técnica y económica de los proyectos de agua potable y saneamiento básico.

Ahora bien, la Resolución 799 del 2021, son los lineamientos más actuales, que se encuentra vigente y que, además, modifica la Res 0330 del 2017. No obstante, esta normativa proporciona los requisitos para la operación y mantenimiento de los sistemas de alcantarillado, incluyendo la inspección y limpieza periódica, la reparación y reposición de equipos y materiales, además de la implementación de medidas preventivas y de control ante cualquier situación de contingencia.

En el caso de la supervisión técnica y seguimiento de los sistemas de alcantarillado, el RAS – Título D, explica las condiciones y recomendaciones, para la medición o monitoreo de caudales en los vertimientos de aguas residuales y dentro de los sistemas, así mismo sugiere las metodologías y los equipos que se deben utilizar para llevar a cabo estas mediciones. De igual manera en la Res 0330 y Res 799, también se establecen los requisitos técnicos, para la medición de caudales en las redes de alcantarillado y a su vez, exige que los prestadores de servicios públicos de este tipo, realicen mediciones periódicas para garantizar el correcto funcionamiento de esta infraestructura que alimentará la PTAR, con el fin de garantizar información de tiempo seco y húmedo. Por último la Res 799 argumenta que se deben realizar aforos o mediciones de

caudales, con el fin de estimar el flujo que transporta el sistema, a partir de consideraciones sobre la naturaleza y permeabilidad del suelo, la topografía de la zona y su drenaje, la cantidad y distribución temporal de la precipitación, la variación del nivel freático con respecto a las cotas clave de las redes, las dimensiones, estado y tipo de tuberías, además de los tipos, número y calidad constructiva de uniones y juntas, el número de estructuras de conexión y demás estructuras, y su calidad constructiva.

Por otra parte, el ICONTEC como institución reconocida en Colombia, cuyo mandato incluye la certificación de normas técnicas, estándares de calidad para empresas y directrices en las actividades profesionales de diferentes campos, brinda una serie de Normas Técnicas, que hablan acerca de lineamientos que son aplicados en el ámbito de la construcción y supervisión técnica del servicio de alcantarillado. Este ente gubernamental sin ánimo de lucro, brinda como por ejemplo la NTC 1500 del 2020, que proporciona disposiciones aplicables en la instalación, modificación, reparaciones, reubicación, reemplazo, ampliación y mantenimiento de instalaciones hidráulicas y sanitarias, que son utilizadas en edificaciones residenciales unifamiliares o bifamiliares de máximo de tres pisos de altura. La finalidad de este documento, es que las conexiones o acometidas que hace la población al alcantarillado, se hagan de una manera correcta y no dañen la infraestructura ya construida. También se encuentra la NTC – ISO 5667 – 1 del año 2010, que da los principios generales sobre el diseño de programas y técnicas de muestreo para todos los aspectos de muestreo del agua, incluyendo las aguas residuales. Por último, está la NTC – ISO 5657 – 10 del 2022, que aporta información a la anterior norma técnica en el diseño de programas de muestreo, pero que, además, contiene detalles sobre el muestreo de ARD Y ARnD, estos se tratan de distintas técnicas de muestreo utilizadas, para la recolección de muestras y las reglas que se aplican para garantizar que las muestras sean representativas.

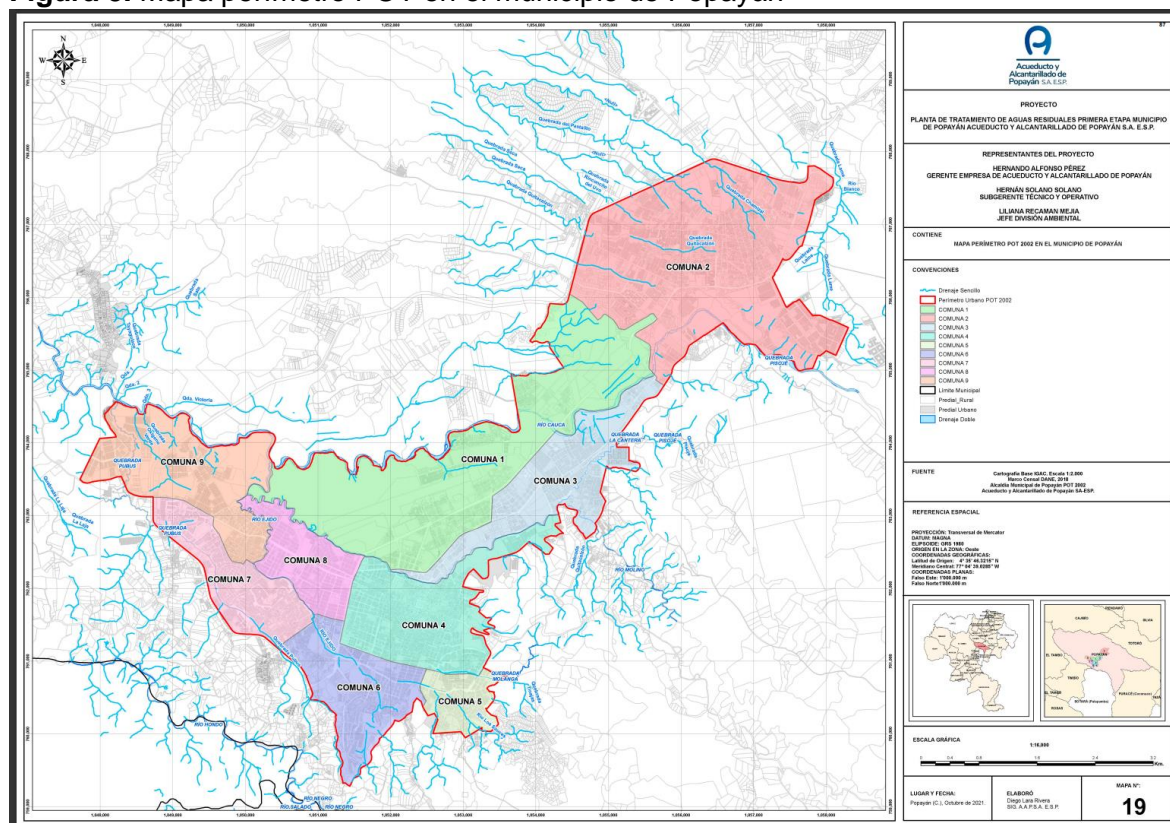
Finalmente, la revisión bibliográfica brindo diferentes herramientas que ayudaron a facilitar el desarrollo, análisis y evaluación del proyecto, pero también, para recomendar a la empresa AAPSA como prestador del servicio público de alcantarillado en Popayán Cauca, que cumpla con estos requisitos y lineamientos para garantizar un funcionamiento seguro, eficiente y ambientalmente sostenible de estos sistemas.

#### 4.1.2. Resultado 2: Revisión de línea base de la empresa Acueducto y Alcantarillado de Popayán

La información suministrada por los planos disponibles, brindaron ayuda en la identificación de la zona o sector de influencia del interceptor Cauca – uno, permitiendo afirmar que gran parte de las áreas de prestación del servicio de alcantarillado de esta red, según el POT del 2002 y el documento “Construcción Etapa I Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipio de Popayán”, se encuentran ubicadas en la comuna 2 y otro porcentaje mínimo, específicamente el final de la red en la comuna 1, principalmente en los barrios cercanos al margen derecho del Río Cauca en dirección al flujo de esta fuente hídrica.

Algunos de los sectores principales que hacen parte de la zona de servicio son los siguientes: Bello horizonte, San Eduardo, La Paz, Villa del Norte, Vereda Gonzales, Arpe Cauca, Conjunto Residencial Camino Viejo, Hacienda Belalcázar, Campo Bello y entre otros. En la siguiente Figura 4, se puede observar la división por comunas de la zona urbana del municipio de Popayán.

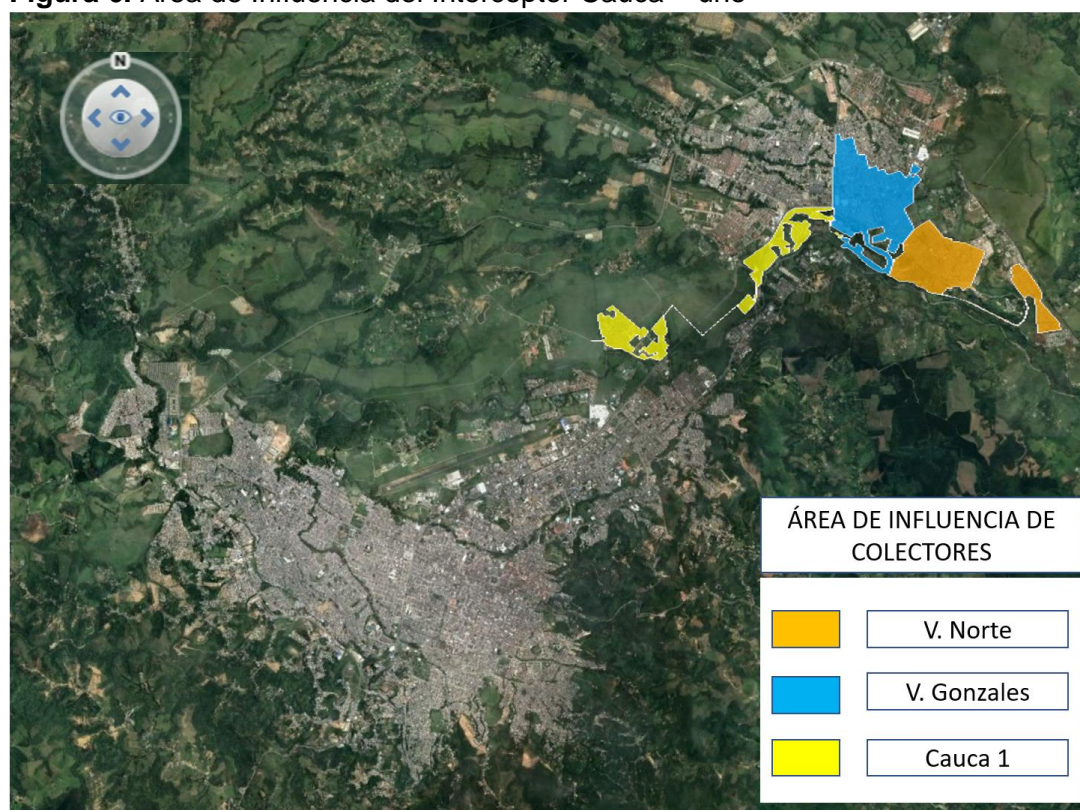
**Figura 5.** Mapa perímetro POT en el municipio de Popayán



Fuente: AAPSA

Otro de los datos fundamentales de la revisión de los planos, es la identificación de los tramos, trayecto y aportantes del interceptor Cauca – uno, el cual se encuentra conformado y contribuido por diferentes colectores, entre ellos se encuentran: Colector Villa del Norte, Colector Vereda Gonzales y Colector Cauca – uno. Esta red según la información de la empresa en un alto porcentaje, es de tipo combinada, es decir que el sistema transporta tanto agua lluvia, como agua residual, pero es importante mencionar que se vienen realizando diseños y obras, en el transcurso de los años, para que el sistema evacue los dos tipos de agua por separado y que se reduzcan los aportes de agua lluvia que vaya tratar la planta de tratamiento, igualmente, se destacan los materiales de las tuberías que conforman el sistema del Interceptor Cauca – uno, dado que el colector Cauca uno es relativamente nuevo y está conformado en su totalidad de PVC, pero los colectores V.Gonzales y V.Norte, aun son de concreto en su gran mayoría por su antigüedad. Es de señalar que la PTAR que será operada por la empresa AAPSA, según el PSMV, comenzara, su funcionamiento con los efluentes que son transportados por la totalidad de los interceptores Cauca, por lo que este estudio, facilitara, el conocimiento en la información de los caudales que serán tratados en la planta. En la Figura 6, se muestra el área de influencia en el cual presta el servicio, la red del Interceptor con respecto a la zona urbana del municipio [32].

**Figura 6.** Área de Influencia del Interceptor Cauca – uno

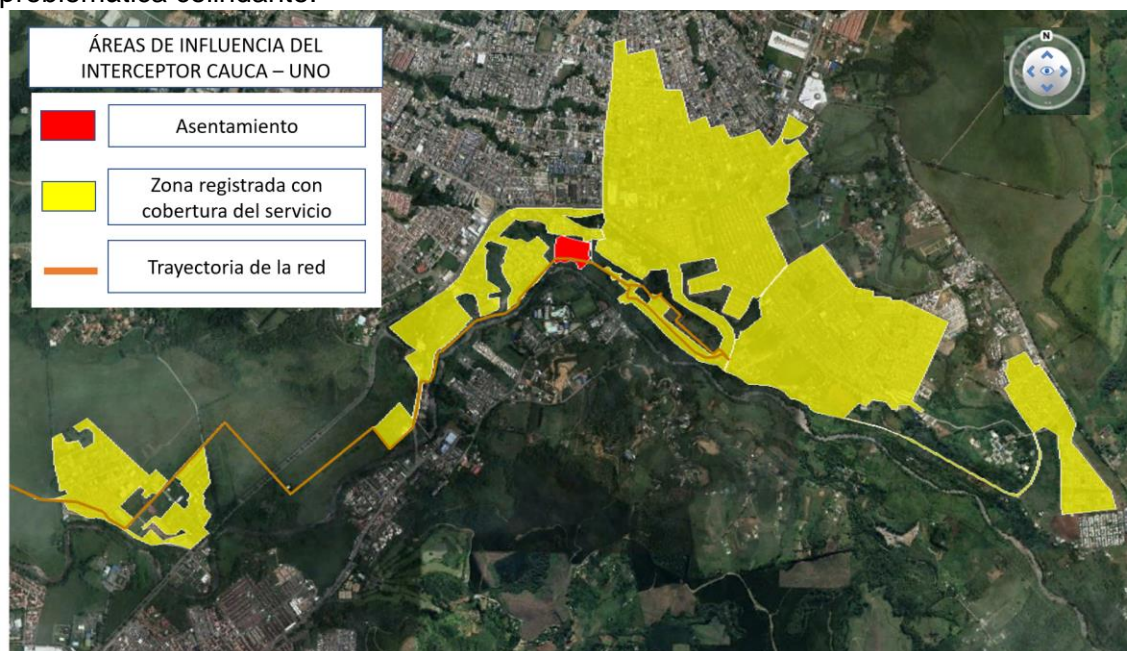


**Fuente:** Archivo AAPSA modificado con Google Earth Pro.

Cabe resaltar que la infraestructura de la red de estudio, fue construida con el fin de mitigar los impactos negativos que se le puede generar a una de las fuentes hídricas más importantes del país, como lo es el río Cauca, debido a la numerosa cantidad de vertimientos que se le entregarían a lo largo de su paso por la zona urbana del municipio de Popayán, si estos fuesen directos, sin embargo, a pesar de los esfuerzos para mejorar esta situación, siguen existiendo en algunos casos descargas contaminantes al cuerpo de agua.

Por otra parte, sobresale la problemática que ocurre en la zona norte del municipio, ya que unos de los mayores crecimientos de las asociaciones comunitarias, se ha concentrado en este sector, generando sobrecostos y deficiencia en la prestación de los servicios públicos, entre ellos el de alcantarillado, con el agravante de que solamente pagan los servicios las familias que están registradas. A esta problemática se suman los graves efectos ambientales que se generan por el vertimiento de residuos sólidos y líquidos a las fuentes hídricas [33]. A continuación, la Figura 7, muestra un área que fue habitada por asentamientos y que, gracias a los recorridos de campo desarrollados a lo largo del proyecto, se evidencio, como estas comunidades se instalaban encima de la línea, sin tener ningún tipo de planificación. Otro aspecto fue también, las conexiones indebidas a la infraestructura del interceptor que realizaron, estas posiblemente según lo observado, podrían estar generando una afectación al funcionamiento de esta red, por aportes atípicos al sistema.

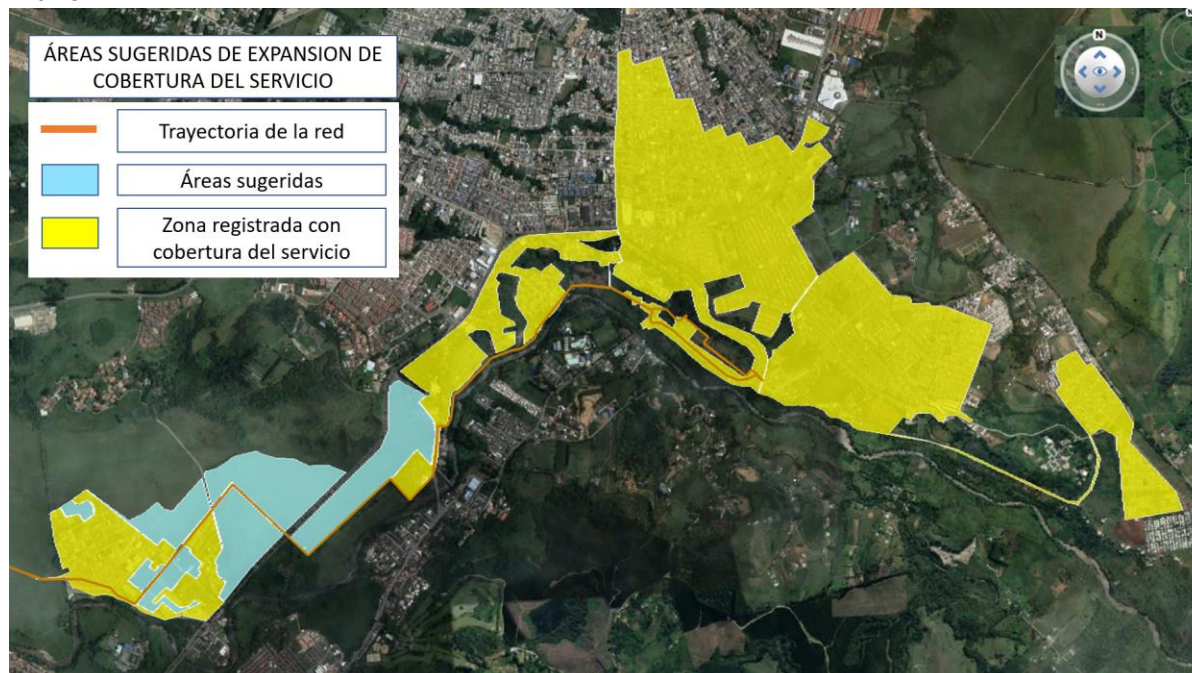
**Figura 7.** Área de prestación del servicio de alcantarillado del Interceptor Cauca – uno y su problemática colindante.



**Fuente:** Archivo AAPSA modificado con Google Earth Pro.

Respecto a las áreas que podrían hacer uso en un futuro del interceptor por la proximidad de la red, se tomó en cuenta el documento [33], que habla acerca de algunas zonas que en el corto plazo podrían ser incorporadas al perímetro urbano, especialmente en el sector de influencia de esta red, ya que podrían darse crecimientos poblacionales imprevistos. En la Figura 8, se muestra las zonas potenciales de conexión del servicio de alcantarillado del Interceptor Cauca – uno.

**Figura 8.** Áreas sugeridas de expansión de cobertura del servicio por parte del Interceptor Cauca – uno



Fuente: Archivo AAPSA modificado con Google Earth Pro.

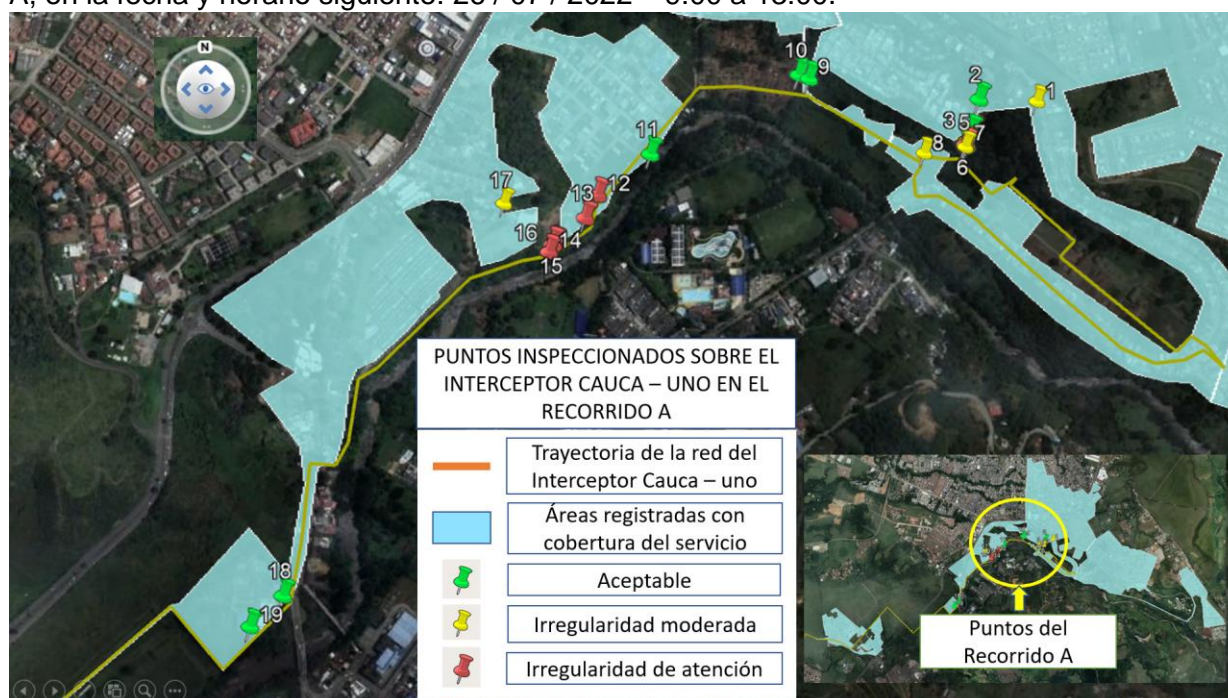
Para finalizar, con respecto a la revisión total de la línea base, algunos de los datos más relevantes que se lograron reconocer son, la proyección de población, el número y consumo de los suscriptores registrados a la empresa, al cual se le presta el servicio de alcantarillado en la zona de influencia del interceptor Cauca – uno, obteniendo así datos significativos para tener en cuenta en la evaluación del comportamiento operacional de la red. El dato más actualizado se encuentra, en el Plan de Desarrollo del 2020 – 2023, el cual argumenta que el número de usuarios registrados que se les presta el servicio de alcantarillado, para el año 2019 en el municipio de Popayán es de 82.390 suscriptores y que el consumo de agua promedio por usuario en el área urbana de Popayán es de 14,4 m<sup>3</sup> al mes, lo que equivale a 120 L de agua diaria per cápita [33].

#### 4.1.3. Resultado 3: Identificación del interceptor Cauca – uno (Georreferenciación)

Para las 2 jornadas de inspección que se realizaron en la identificación del Interceptor Cauca – uno, se escogieron las siguientes fechas y horarios, respecto al reconocimiento de la red de estudio: Recorrido A. (26 / 07 / 2022 – 9:00 a.m. a 13:00 p.m.) y el Recorrido B. (02 / 08 / 2022 – 9:00 a.m. a 15:00 p.m.).

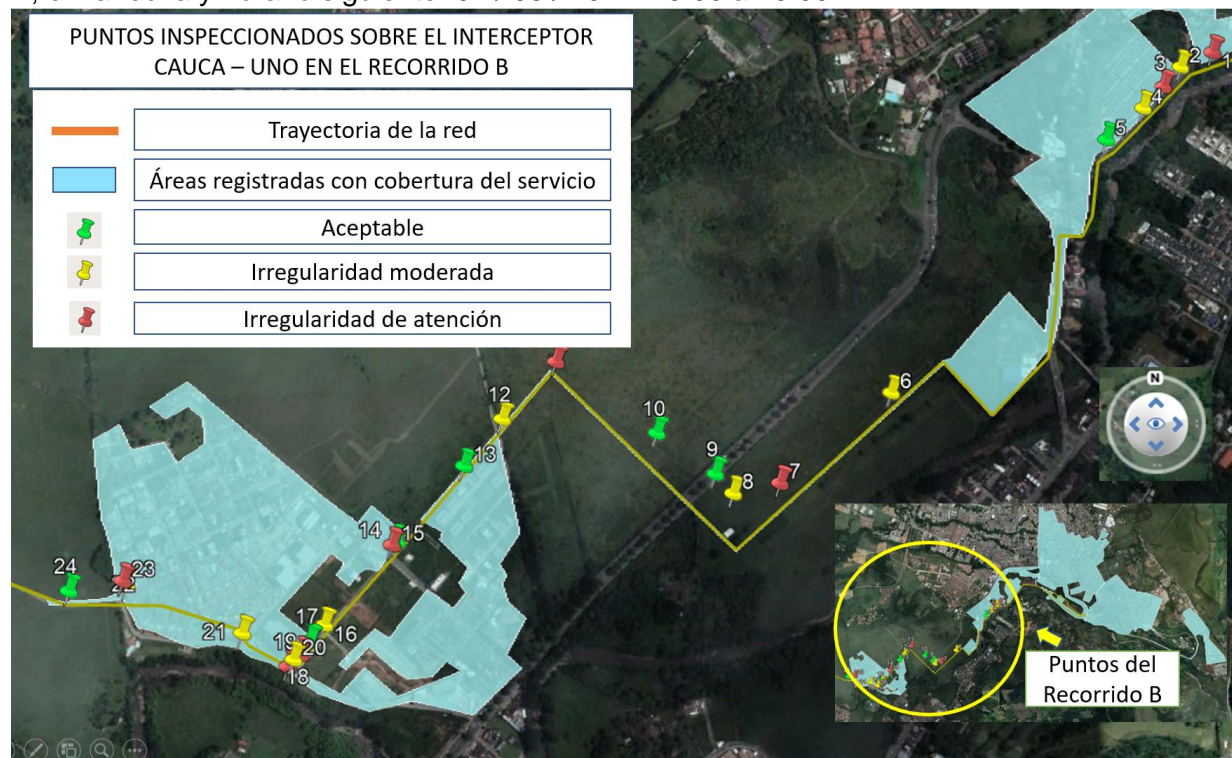
En la Figura 9 y 10 se representaron los puntos supervisados en estos días de los recorridos, los cuales fueron clasificados de acuerdo con los criterios representados en la Tabla 2. Es preciso resaltar que estas ilustraciones fueron obtenidas y modificadas de la información de la empresa por medio del software Google Earth Pro.

**Figura 9.** Inspección por la trayectoria de la red del Interceptor Cauca – uno, durante el recorrido A, en la fecha y horario siguiente: 26 / 07 / 2022 – 9:00 a 13:00.



Fuente: Archivo AAPSA modificado con Google Earth Pro.

**Figura 10.** Inspección por la trayectoria de la red del Interceptor Cauca – uno, durante el recorrido B, en la fecha y horario siguiente: 02 / 08 / 2022 – 9:00 a 15:00.



Fuente: Archivo AAPSA modificado con Google Earth Pro.

Respecto a la inspección de la red del Interceptor Cauca – uno, en los recorridos realizados durante las 2 jornadas elegidas, se encontró el punto final de esta red representado en el punto 24 de la Figura 10, el cual se une con su Interceptor paralelo Cauca – dos y donde se convierten en Cauca – tres. Igualmente, se identificaron fallos muy importantes, los cuales se representan en los puntos 14, 15 y 16 de la Figura 9 y puntos 18 y 19 de la Figura 10 en la trayectoria de la línea, lo cual está produciendo una afectación al cuerpo de agua más cercano (Río Cauca), por contaminantes que se están vertiendo de manera irregular a esta fuente hídrica; de esta misma forma una alteración en el comportamiento hidráulico del sistema, especialmente por los puntos 14, 15 y 16 de la Figura 9, ya que se está presentando una pérdida significativa de caudal que no está siendo evacuado y transportado por esta red en su parte final. Este hallazgo se puede ver en el Anexo 10, el cual se reportó a la empresa AAPSA, para que sea mitigado oportunamente y así poder resolver esta problemática en cuanto al fallo en la operación del Interceptor.

Otro de los hallazgos fue evidenciar visualmente que el sistema del Interceptor Cauca – uno, cuenta con una capacidad baja de evacuación de agua pluvial en su totalidad, ya que como se observa en los Anexos 11, 12 y 13, la operación durante los aportes de estas aguas lluvias, hicieron que el sistema colapsara y se presentaran inundaciones en estos sectores, por la



saturación en la evacuación de aguas residuales en algunos tramos de la tubería, por lo que se puede verse afectado el sistema aparentemente, por los aportes que se generen durante las precipitaciones. Esto se contrastó y evaluó con los resultados obtenidos de los aforos desarrollados en la Fase 2.

Por otra parte, los sumideros observados en estas visitas no fueron georreferenciados en Google Earth Pro, sin embargo, se percibe que, en la gran mayoría, existe saturación por sedimentos, residuos y objetos arrastrados por la escorrentía superficial de la lluvia, lo cual indica una falta de educación ambiental por parte de la población beneficiada por el servicio de alcantarillado, o de mantenimiento por parte de la empresa. Es importante dejar claro que el inadecuado manejo de residuos sólidos por parte de la comunidad, afecta evidentemente el funcionamiento hidráulico del sistema de las redes del Interceptor, ya que se observan diferentes tipos de objetos y materiales en las cámaras de inspección, ilustrado en el Anexo 14, ocasionado fallas representativas en los puntos inspeccionados, que se encuentran representados en las Figuras 9 y 10. De acuerdo con el informe entregado a la empresa AAPSA, es de vital importancia que las cámaras de inspección, sean sitios claves para realizar el mantenimiento del sistema de alcantarillado y que se pueda llevar una correcta operación en el saneamiento de las aguas residuales de la comunidad, por tal motivo, se debe tener las mejores condiciones externas posibles para facilitar la vigilancia técnica.

Por último, es fundamental aclarar que al final de esta actividad y con base en las anteriores, como lo fue la revisión bibliográfica y de la línea base de la empresa Acueducto y Alcantarillado de Popayán, se seleccionaron algunos tramos para los aforos correspondientes en la Fase 2, por la información con la que se cuenta, como: pendiente, diámetro y longitud de la tubería). Además, se consideró que no se tenga un cambio de dirección muy fuerte y conexiones de otros colectores, sin embargo, a pesar de que no cumplieran con algunas de las características anteriores, se seleccionaron algunos tramos para aforar. Entre estos puntos se encuentran los siguientes tramos: Puntos (9 – 10), (12 – 13) y (18 – 19) de la Figura 8; Puntos (13 - NR) y (20 – 21) de la Figura 9.

#### **4.1.4. Resultado 4: Verificación de los cálculos de caudales teóricos**

Entre la información primordial hallada en la línea base de la empresa, se encontró el documento llamado “Construcción Etapa I Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipio de Popayán”, el cual brinda datos, que siguiendo la metodología planteada en el documento sobre

esta actividad y los lineamientos nacionales que rigen los proyectos de alcantarillado, cumplen con el propósito del cálculo de caudales de diseño teóricos contemplados en el Artículo 134 de la Res 0330 del 2017 y Artículo 41 de la Res 0799 del 2021, ya que se tiene en cuenta además, la proyección de población por colector utilizando los diferentes métodos recomendados por el RAS y los tipos de poblaciones, como población permanente, migrante y desplazada, áreas aferentes de la red y densidad poblacional de la comunidad beneficiada. Este estudio parte de la estimación de población con base a la Ecuaciones 1 y 2. A partir de ese producto es posible estimar o calcular los caudales por aportes unitarios de aguas residuales domésticas, incorporando el coeficiente de retorno y la dotación; en otras palabras, es necesario utilizar la Ecuación 3 para obtener esta variable hidráulica teórica.

Ahora bien, al relacionar los caudales de ARD, ARnD y partiendo de los aportes de aguas residuales domésticas, institucionales, industriales y comerciales, se determinó el caudal medio diario como se establece en la Ecuación 4. Posteriormente, con la ayuda de este Qmd, se halló el caudal máximo diario, el cual tiene en cuenta el factor de mayoración establecido por el RAS – Titulo D, que establece para este caso un valor de 2.5, los cuales se aplicaron en la Ecuación 5, para obtener el QMH.

Finalmente, se procedió a calcular el caudal de diseño de ese tramo del Interceptor, teniendo en cuenta la Ecuación 8, con los datos anteriormente obtenidos de las Ecuaciones 6 y 7, los cuales arrojaron como resultados los caudales de infiltración y conexiones erradas. Por otra parte, considerando lo dicho anteriormente, es fundamental tener en cuenta estos datos, ya que según la directriz del RAS – Titulo E, menciona que el caudal de diseño que se implementa para el tratamiento de una PTAR, depende en gran medida de estos caudales. Además, se van a tomar como base en este proyecto, para la comparación y evaluación de los caudales, en este caso se tomó el caudal medio diario y máximo horario. En la Tabla 10, se muestran datos teóricos proyectados a partir del año 2018, que se estimaron del documento [24] para el año 2022, es importante resaltar que se tendrá en cuenta los datos de Qmd, QMH y QD.

**Tabla 10.** Verificación del diseño del Interceptor Cauca – uno para el año 2022 e información de caudales teóricos

INFORMACION DE LA VERIFICACION DEL DISEÑO DEL INTERCEPTOR CAUCA - UNO PARA EL AÑO 2022								
AREA (ha)	POBLACION (hab)	QARD (L/s)	QARnD (L/s)	Qmd (L/s)	QMH (L/s)	Qinf (L/s)	QCE (L/s)	QD (L/s)
253.68	21902	26.93	7.00	33.93	84.93	12.68	50.74	148.35

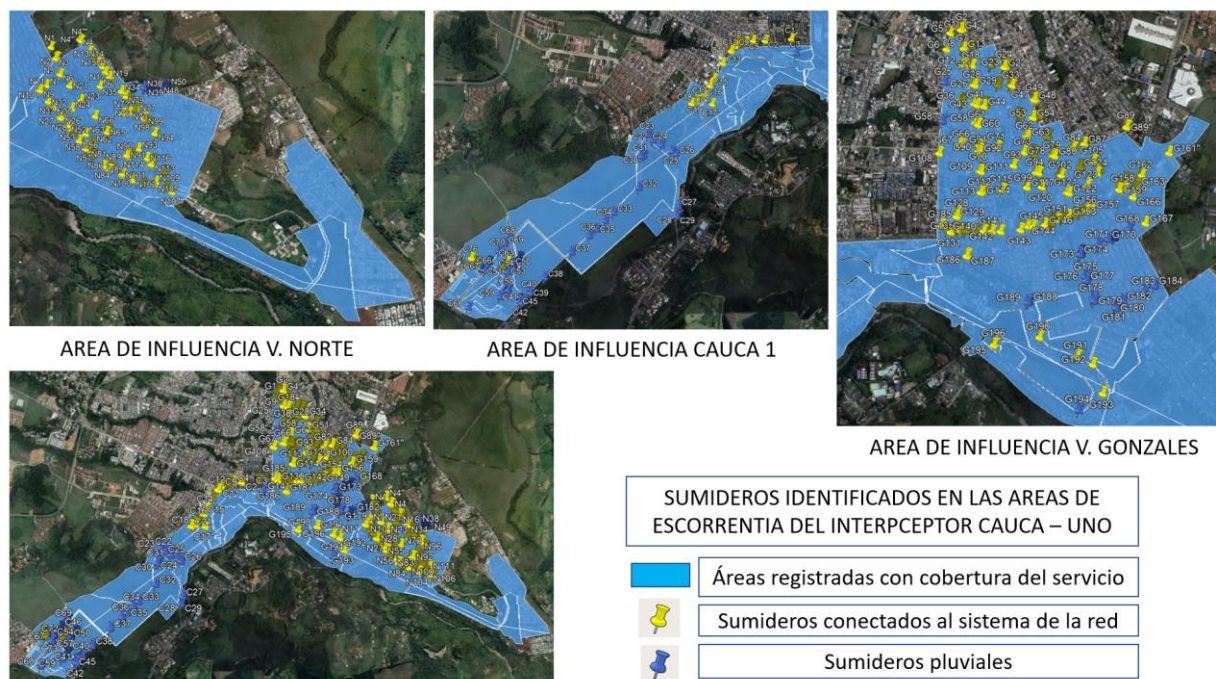
Fuente: AAPSA

El Qmd teórico revisado por las condiciones de diseño de la PTAR, en el documento referenciado de la línea base de la empresa, referente al Interceptor Cauca – uno es de 46.62 L/s, ya que se suman sus afluentes, en este caso los colectores V. Norte, V. Gonzales y Cauca 1 y teniendo en cuenta, además, el aporte de caudal por infiltración, sin embargo, los aportes por conexiones erradas no se tienen en consideración en el documento de la empresa, pero que por la verificación realizada, arroja un valor máximo de 50.74 L/s. Por otra parte, en este documento tampoco se encontró información acerca del caudal máximo horario, por lo que se dispuso a calcular este caudal con la información que brinda el documento base, dando como resultado un valor de QMH de 84.93 L/s. Los valores que serán comparados y evaluados como caudales teóricos son el Qmd que corresponde a 33.93 L/s y QMH de 84.93 L/s, en la Fase 2, respecto a los caudales aforados en las jornadas de medición.

#### 4.1.5. Resultado 5: Determinación de los aportantes de agua lluvia en el sistema

Para la jornada de inspección denominada como Recorrido C, se escogió la siguiente fecha y horario: (26 / 07 / 2022 – 7:00 am a 17:00 pm), que tuvo como fin, identificar los sumideros que posiblemente aportan caudal al interceptor, al estar en su zona de influencia. En la Figura 11, se representaron los puntos supervisados en este día de recorrido.

**Figura 11.** Aportantes de agua lluvia al sistema de alcantarillado del interceptor Cauca – uno



Fuente: Archivo AAPSA modificado con Google Earth Pro.

Al cuantificar los aportantes de agua lluvia que fueron identificados en el Recorrido C, se contabilizaron alrededor de un valor de 393 sumideros, de los cuales según la Figura 11, se pueden separar en 2 clasificaciones, como lo son los puntos azules, los cuales se consideran que por la infraestructura presente en la zona y la cercanía a una fuente hídrica evacuan el agua lluvia por fuera del sistema de alcantarillado. Por otra parte, se encuentran los puntos amarillos, los cuales se cree que aportan caudal a la red del Interceptor Cauca – uno, ya que son sectores que, por su topografía, se es difícil evacuar y transportar el agua lluvia a otro punto más bajo, al cual pueda ser descargado, como por ejemplo a humedales, quebradas, lagos, ríos, entre otros.

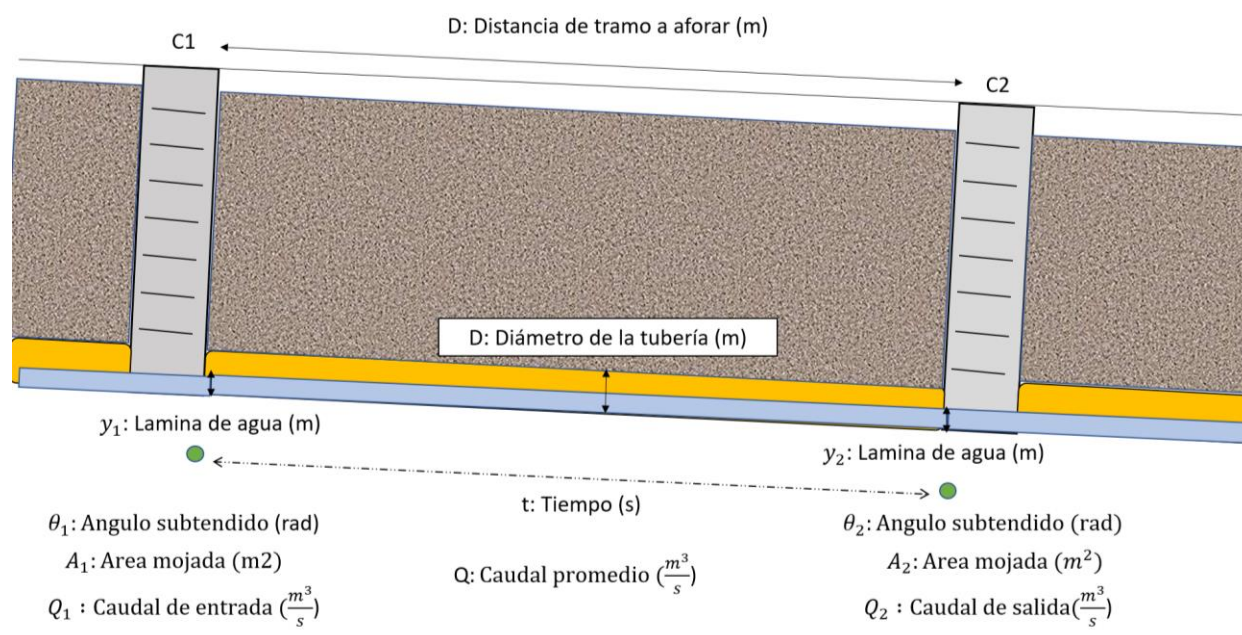
Como resultado de emplear la Ecuación 9, se logró un valor de 30818.9 L/s, para un caudal de escorrentía máxima, al cual está expuesto el interceptor Cauca – uno, en una precipitación en el municipio de Popayán. Como se observa, esta cantidad de caudal es bastante alto, por lo que infiere, que, si la red sigue recibiendo aportes de aguas combinadas, en algún momento puede colapsar y sufrir daños estructurales, ya que esta no es diseñada, para evacuar esa cantidad de agua.

## 4.2. Fase 2: Estimado de los caudales que transporta el sistema del interceptor Cauca – uno, mediante aforos en los puntos más significativos de esta red

### 4.2.1. Resultado 1: Jornadas de inspección de alcantarillado (medición de variables hidráulicas directas)

Las mediciones, se encuentran resumidas en los Anexos 3, 4, 5, 6 y 7, las cuales arrojaron resultados de: diámetros internos de las tuberías, láminas de agua de los caudales de entradas (1) y salidas (2) de los tramos aforados, como sus respectivos ángulos y áreas mojadas. A su vez, se midieron distancias de cámaras 1 a cámaras 2, que conforman los tramos escogidos, además de los tiempos en los cuales, se demoraban en ser transportados, los flotadores empleados en las diferentes jornadas, para tener como fin, velocidades medias de estos flujos de agua. Al tener las variables antes descritas, se hallaron los caudales de entradas y salidas que transportaban las tuberías determinadas, durante los diferentes horarios establecidos en el Anexo 2, para finalmente hallar los caudales promedios, que pasan por las tuberías aforadas como se representa en la siguiente Figura 12.

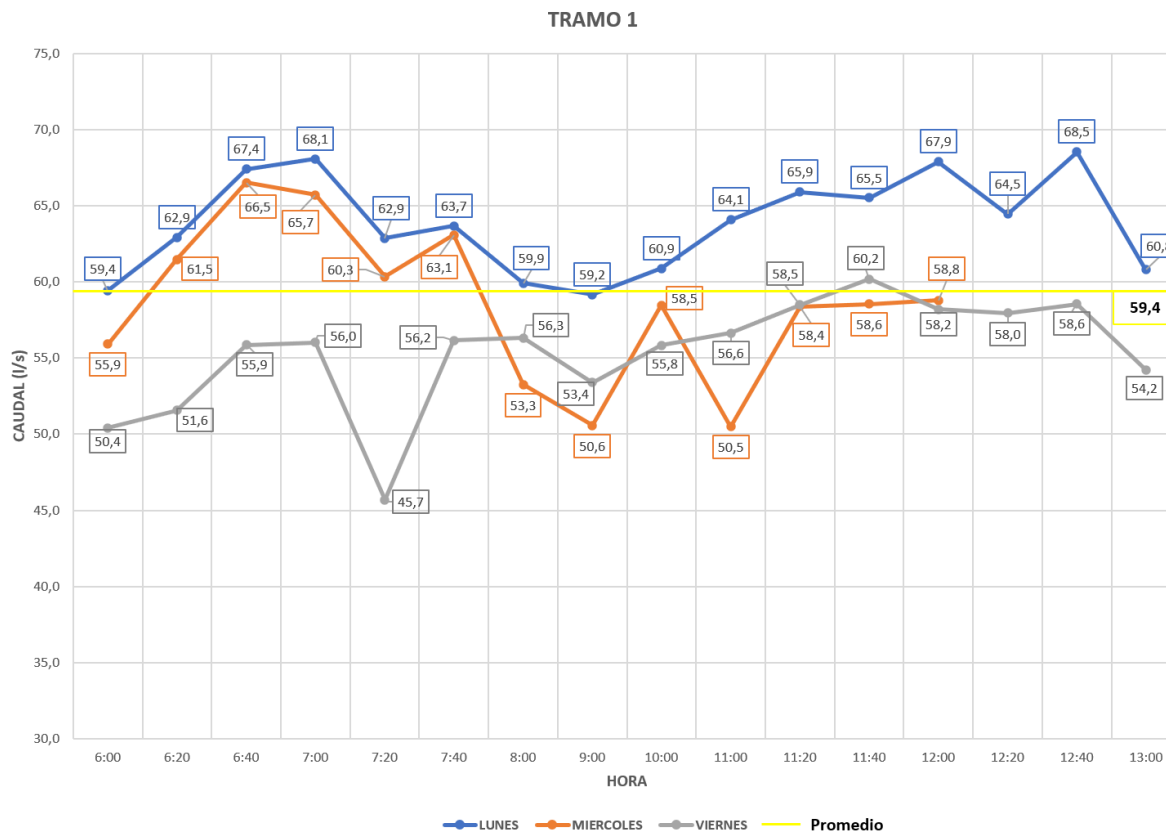
**Figura 12.** Representación gráfica de las variables halladas de la metodología empleada para los aforos.



Fuente: Propia.

En las siguientes Figuras 13, 14, 15, 16 y 17, se encuentran los caudales estimados por lo menos en 3 días de una semana por cada tramo escogido y en los horarios fijados.

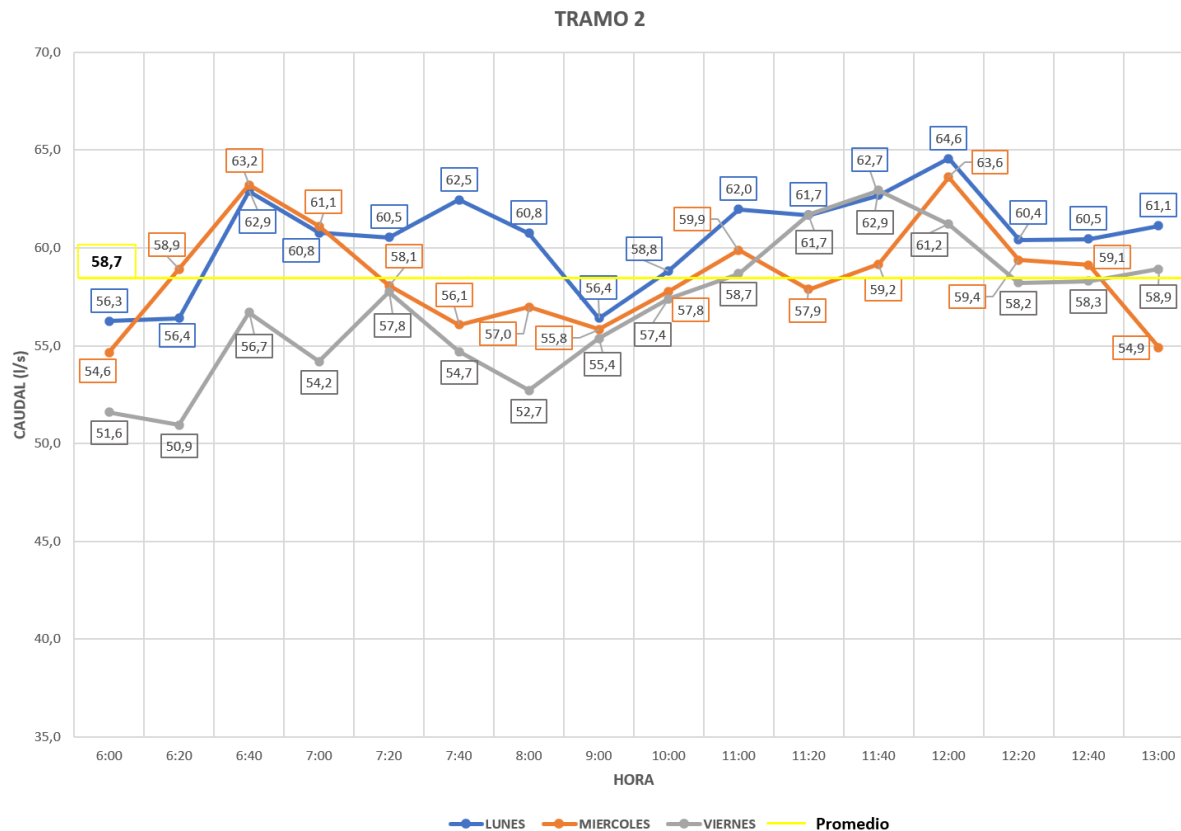
**Figura 13.** Caudales promedios medidos durante una semana en el Tramo 1 (Puntos 9-10 de la Figura 8)



Fuente: Propia.

En la Figura 13, están representadas las primeras mediciones desarrolladas del estudio, donde se puede observar el caudal aproximado de los aportes de los colectores V. Norte y V. Gonzales, ya que este tramo se encuentra ubicado en la parte inicial del Interceptor Cauca – uno. Su comportamiento con base en las 3 jornadas realizadas, resulta similar en los horarios establecidos, teniendo unos QMH, en las horas siguientes: 6:40 a 7:00 am y nuevamente a las 11:20 am a 12:30 pm, esto puede deberse a las características de las comunidades servidas, las cuales, al parecer, tienen su mayor consumo de agua potable, en estas horas debido tal vez a sus jornadas laborales.

**Figura 14.** Caudales promedio medidos durante una semana en el Tramo 2 (Puntos 12-13 de la Figura 8)

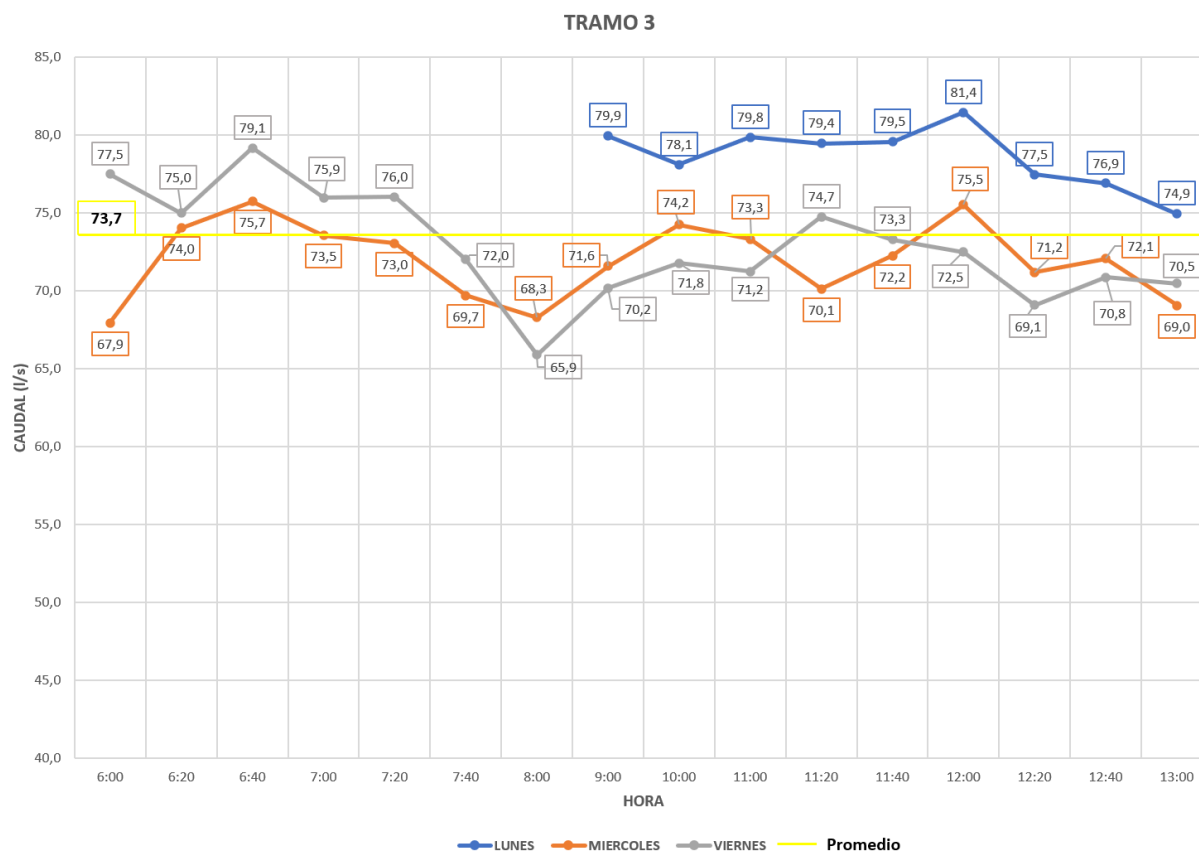


Fuente: Propia.

En cuanto a la Figura 14, se muestran los monitoreos realizados, en un tramo anterior, a una de las fallas más representativas, que fue identificada en el sistema del Interceptor, como lo es, una obstrucción en la red por la saturación de sedimentos (arenas y materiales de construcción), provocando, que el aliviadero de la cámara de inspección posterior de este tramo, operara de manera continua y vertiera todo el caudal que lleva consigo, a la fuente hídrica cercana evidenciado en el Anexo 10. Su comportamiento es muy similar al anterior tramo aforado, donde los QMH, se presentan en las horas típicas de mayor consumo de agua potable, pero con la diferencia de que se supone que este caudal debería ser mayor al del Tramo 1, por los nuevos aportes que recibe del barrio Arpe Cauca y otros asentamientos. Al no cumplirse este valor más alto del Tramo 2, respecto al anterior, se infiere que el fallo en la operación, de los puntos o cámaras siguientes, afecta esta medición y arroja datos menores, que influyen en el resultado final de los caudales medidos. Esta falla está generando como tal, que se pierda el caudal que transportaba el Interceptor, en la parte inicial, por lo que a los Tramos 3, 4 y 5, se decidió sumarles

los caudales aforados del Tramo 2, de cada horario a estos tramos siguientes y así poder determinar un estimado, del caudal que estaría pasando por la parte final de esta red.

**Figura 15.** Caudales promedio medidos durante una semana en el Tramo 3 (Puntos 18-19 de la Figura 8)

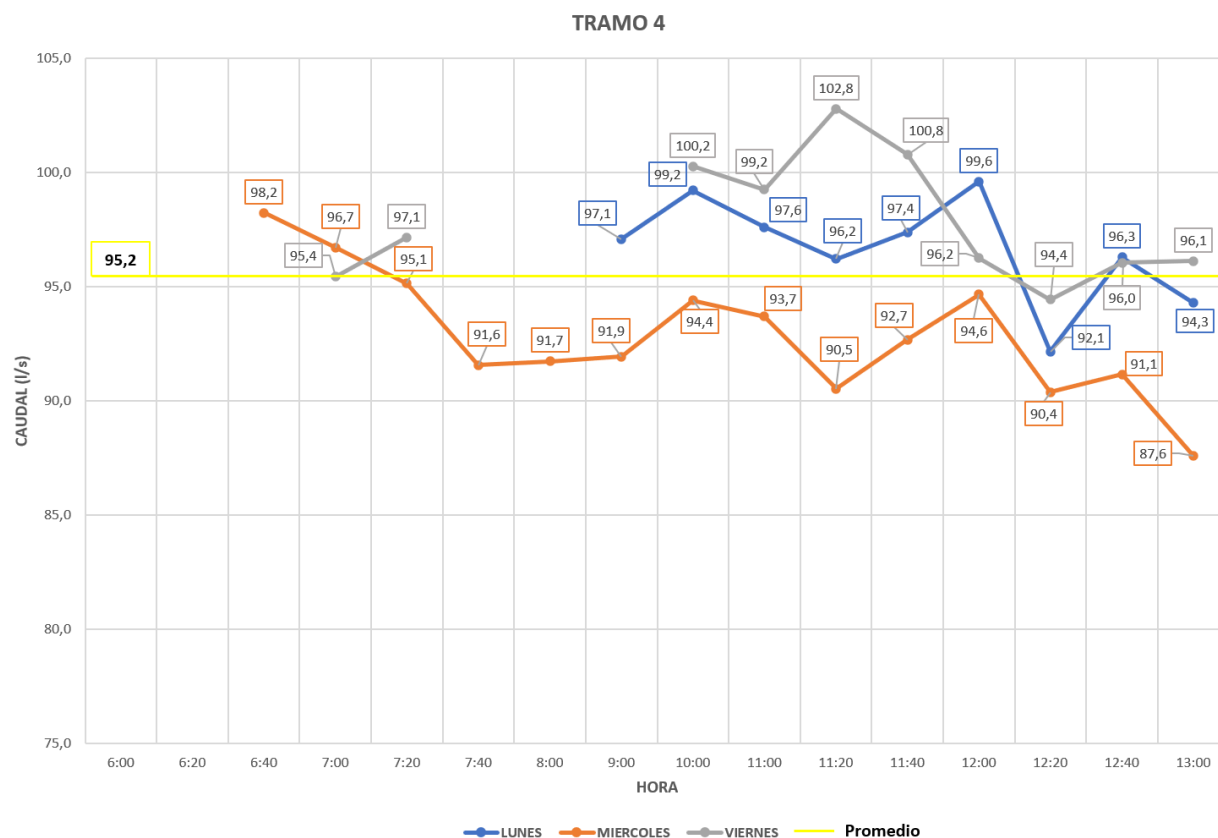


Fuente: Propia.

Ahora bien, en la Figura 15, se presentan los caudales aforados de un tramo posterior a la falla antes descrita, que se encuentra georreferenciada en los puntos 14, 15 y 16 de la Figura 9. Esta deficiencia altera la correcta operación de la red, lo cual genera, que el caudal que pasaba en los tramos previos, se vea reducido como tal, no obstante, se alcanzan a medir nuevos aportes de caudal de las áreas de aferencia, siguientes a la falla, o como se observa en la Figura 9 desde el Punto 4, georreferenciado en esta imagen. Hecha esta salvedad, se puede considerar, que las láminas de agua medidas en estos puntos, son las nuevas contribuciones de caudal al Interceptor. Con respecto al comportamiento de este tramo aforado, es similar al de los anteriores, con una mayor generación de caudal, el día lunes y que se va disminuyendo en el transcurso de la semana, hasta llegar al menor que es el día viernes.



**Figura 16.** Caudales promedio medidos durante una semana en el Tramo 4 (Puntos 13-NR de la Figura 9)

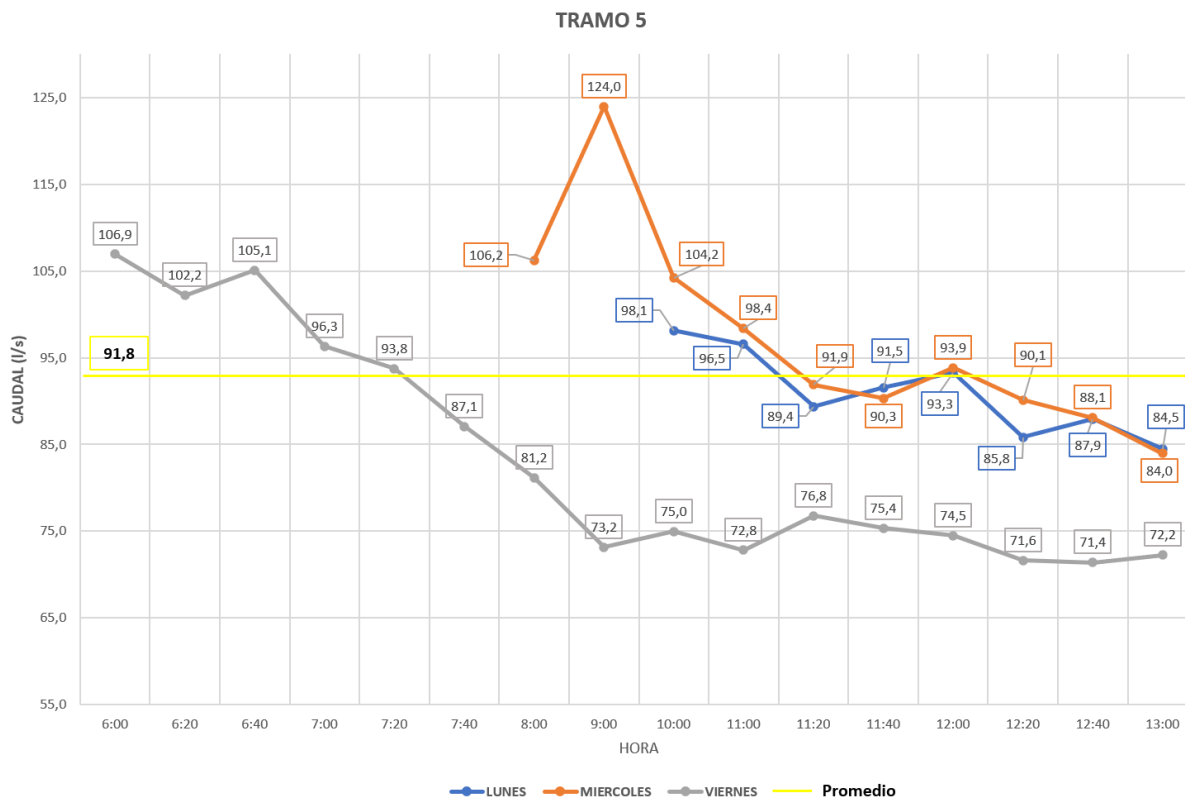


Fuente: Propia.

Sobre la Figura 16, es de anotar que uno de los puntos o cámara de inspección del tramo, no se encuentra georreferenciado en ninguna de las Figuras, en las cuales previamente se representaron (NR), se debe agregar que no se pudieron medir los horarios iniciales, por factores externos al estudio. Por otra lado, se evidencia un aporte de caudal notable, aproximadamente de 21.5 L/s, si se compara con el anterior tramo, aunque, es importante dejar como anotación, que la zona que separa el Tramo 3 y 4, es un sector con áreas verdes en su totalidad, en donde se supone que no debería incrementarse el caudal, ya que no existen contribuciones de aguas residuales por viviendas aledañas, por lo que se deduce, que existe un aporte por infiltración alto, o de conexiones erradas que se le hagan de fuertes hídricas que pasen cerca al Interceptor. El comportamiento del caudal cambia, al comparar con los tramos previos aforados, ya que el viernes en este tramo, se encuentra casi al mismo rango que el lunes, el cual siempre ha sido mayor anteriormente. El día miércoles se sigue manteniendo como un valor intermedio, aunque en esta ocasión, bajo al menor caudal producido. Es de aclarar, que los sectores de influencia de

esta red aforada, también cambian su estrato social o capacidad económica de la población servida, por lo que el consumo de agua puede verse alterado, por este aspecto socioeconómico.

**Figura 17.** Caudales promedio medidos durante una semana en el Tramo 5 (Puntos 20-21 de la Figura 9)



Fuente: Propia.

Acerca de la Figura 17, los cuales son datos base, para partir hacia la comparación del Qmd real contra el Qmd teórico, aunque se es significativo mencionar los siguientes factores: la disminución que sufre estos caudales medidos, al verse afectados por un cambio de dirección de 90° y al ser una cámara de caída en el primer punto de este Tramo, lo cual, dificulto a su vez la medición en este. Otro aspecto es que, como tal, en este tramo no se encuentra el punto final del interceptor, por lo que se desprecian los aportes de las áreas finales, como lo es el conjunto valle robledo y alguna parte del barrio campo bello. Respecto a su comportamiento, cambia también, ya que se observa una mayor generación el miércoles en esta ocasión, se sigue manteniendo el lunes, pero esta vez, el caudal del viernes si baja considerablemente. De acuerdo con este tramo, se procedió igualmente a estimar, el valor del QMH, para comparar en la próxima actividad. Para este caudal máximo horario real, se acogerá un valor máximo de 124.0 L/s, que fue medido a las 9:00 am del día miércoles en este tramo final y para el caudal medio diario real, el valor más alto con respecto a los promedios hallados, arrojando un valor de 95.2 L/s como se muestra en la Tabla 11.

Es pertinente aclarar, que las jornadas de medición, se hicieron durante 5 semanas, esto a su vez para monitorear cada tramo establecido, procurando tomar un día al inicio, en el medio y al final semanalmente, con la finalidad de comparar y obtener el promedio estos 3 días. Otro aspecto a tener en cuenta de las figuras anteriores, es que no se consideraron los caudales que se vieron afectados o incrementados por las precipitaciones, ya que estos datos graficados previamente, pretendieron arrojar el Qmd y QMH sanitario real del Interceptor. Estos aportes pluviales se mostrarán, en una parte posterior de este documento, para obtener el Qesc.

A continuación, se calcularon los promedios de cada tramo, teniendo en cuenta un promedio de cada hora de las jornadas de los 3 días de la semana, para así resumir aún más, la información como se evidencia en la Tabla 11.

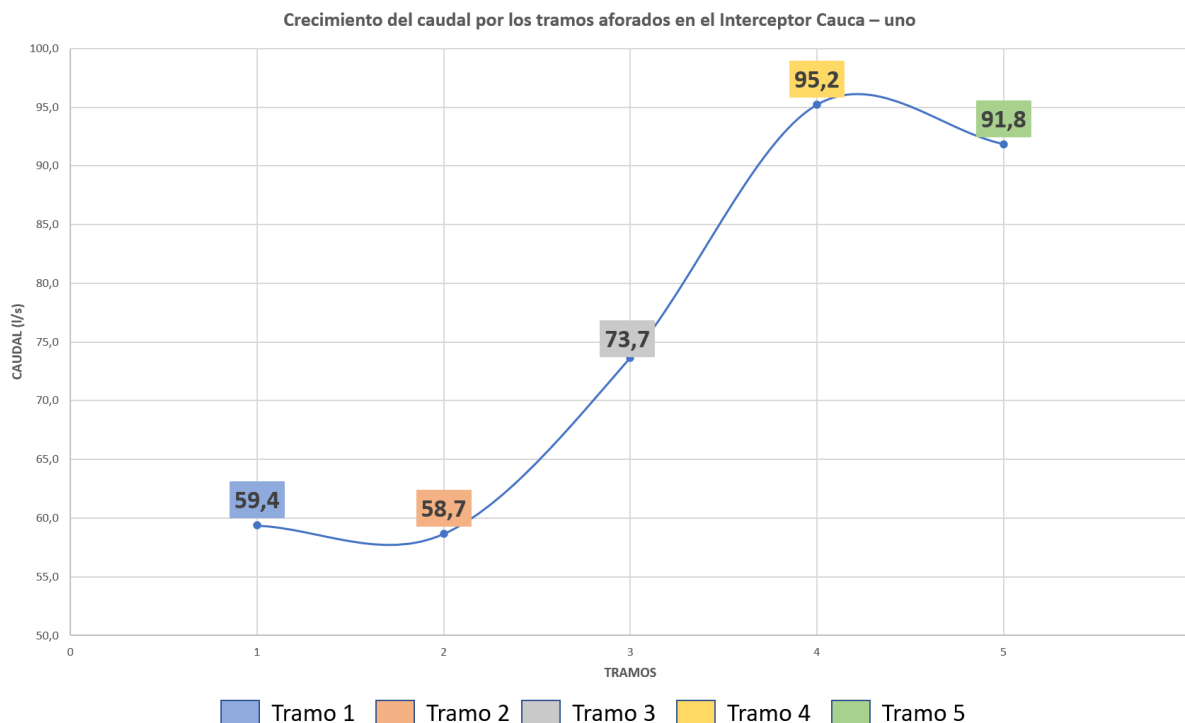
**Tabla 11.** Caudales promedios aforados en los tramos seleccionados

CAUDALES PROMEDIOS (L/s)					
HORA	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5
6:00	55,3	54,2	72,7		106,9
6:20	58,7	55,4	74,5		102,2
6:40	63,2	60,9	77,4	98,2	105,1
7:00	63,3	58,7	74,7	96,1	96,3
7:20	56,3	58,8	74,5	96,1	93,8
7:40	61,0	57,7	70,8	91,6	87,1
8:00	56,5	56,8	67,1	91,7	93,7
9:00	54,4	55,9	73,9	94,5	98,6
10:00	58,4	58,0	74,7	97,9	92,4
11:00	57,1	60,2	74,8	96,8	89,2
11:20	60,9	60,4	74,8	96,5	86,0
11:40	61,4	61,6	75,0	96,9	85,7
12:00	61,6	63,1	76,5	96,8	87,2
12:20	61,2	59,3	72,6	92,3	82,5
12:40	63,5	59,3	73,3	94,5	82,5
13:00	57,5	58,3	71,5	92,7	80,2
<b>PROMEDIO</b>	<b>59,4</b>	<b>58,7</b>	<b>73,7</b>	<b>95,2</b>	<b>91,8</b>

Fuente: Propia.

Conforme a los aforos desarrollados, en los tramos seleccionados sobre la trayectoria del Interceptor Cauca – uno, de donde resultaron los caudales promedios anteriormente hallados, se realizó la Figura 18, para reconocer el crecimiento de caudal, al que se ve expuesta esta red de alcantarillado.

**Figura 18.** Crecimiento del caudal que transporta el Interceptor Cauca – uno sobre los tramos aforados.

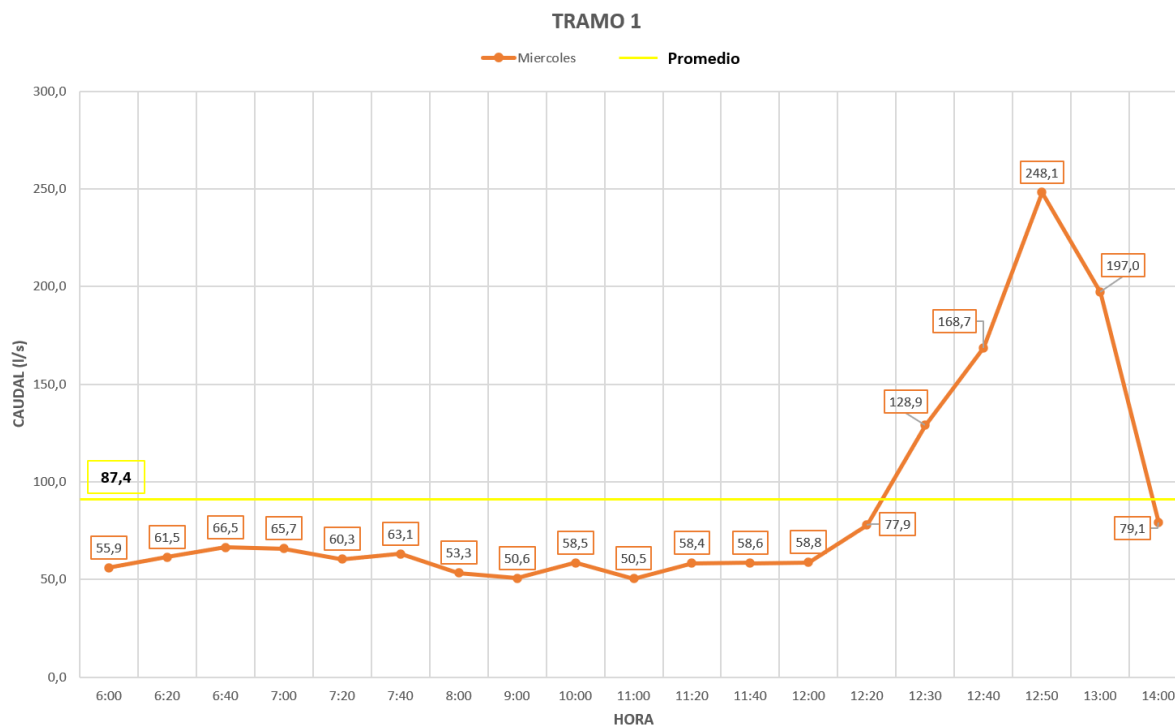


Fuente: Propia.

En relación con los aportes de caudales por agua lluvia, al sistema del Interceptor, que se presentó durante las precipitaciones, mientras se realizaban algunas de las jornadas de aforos, se tomaron en cuenta nuevamente, los datos que se pueden encontrar en los Anexos 3, 5, 6 y 7, dejando claro que las casillas que aparecen en azul, indican las contribuciones pluviales a la red, por cada tramo y día de la semana con sus respectivos horarios.

En las Figuras 19, 20, 21 y 22, se muestran los valores de caudales calculados, en el momento de presentarse estas precipitaciones, con las diferentes intensidades mostradas en la Figura 4 y que, por las conexiones de algunos sumideros existentes en la zona de influencia de la red, se evidenció que evacuaron estas aguas por este sistema de alcantarillado.

**Figura 19.** Caudales medidos durante la precipitación presentada el día miércoles en el Tramo 1



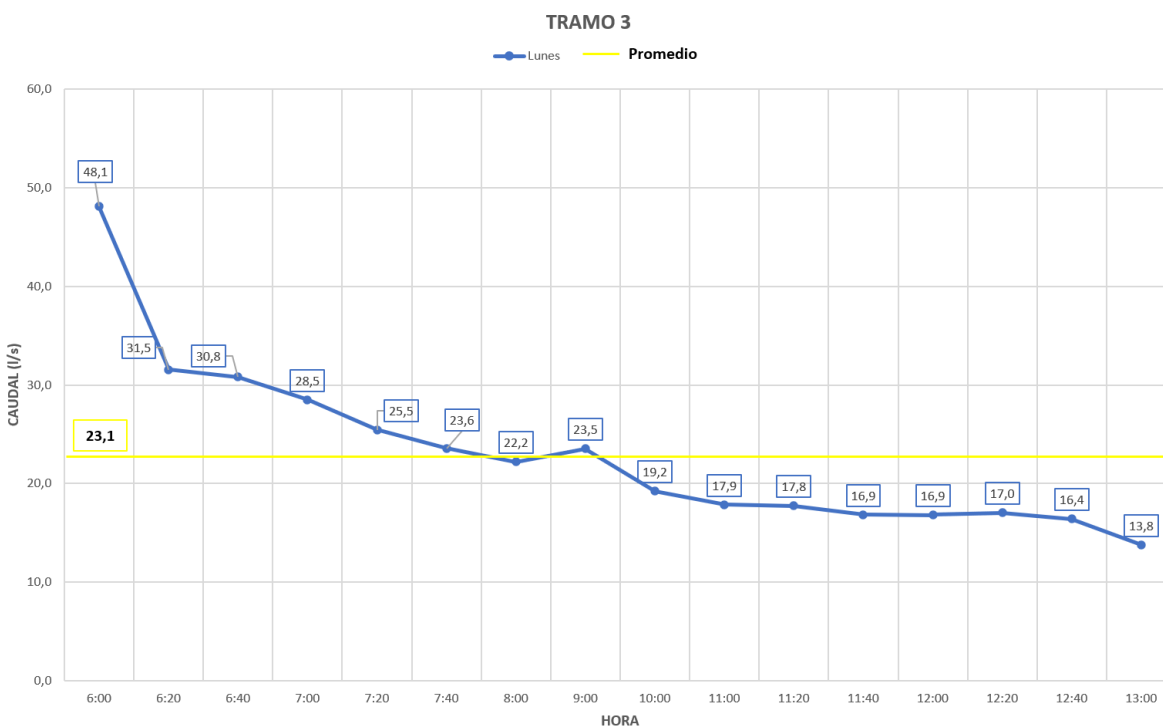
Fuente: Propia.

En la figura 19, se observan los aportes de caudal de agua lluvia, que transportan los colectores V. Norte y V. Gonzales al Interceptor Cauca – uno, ya que este tramo es la parte inicial de esta red, en donde confluyen las líneas mencionadas. Uno de los rasgos identificados en estos puntos aforados, es el incremento de caudal de aguas residuales, que se evidencia por la precipitación presentada el miércoles en este tramo, indicando, que los colectores afluentes al Interceptor, a pesar de tener vocación de tipo sanitaria, también evacuan aguas lluvias de las áreas de influencia. Así mismo, es significativo mencionar, que esta jornada fue la más extensa de todas las desarrolladas y también, se destaca que la intensidad de la lluvia en ese día, fue la más alta presenciada, en los aforos que tienen en cuenta estas contribuciones. En relación con lo anterior, la cámara de inspección o punto 1 de este tramo, tiene una característica muy importante y es que fue construida, para operar como aliviadero cuando se sube la lámina de agua a determinada altura. A pesar de que, en este día, la lámina de agua se aumentó considerablemente, no se evidenció, operar esta infraestructura especializada, para retirar los excesos de agua en este sistema de alcantarillado.

Por otra parte, es fundamental mencionar, que este es el único registro con el que se cuenta, respecto a los aportes pluviales, antes de la falla identificada posterior al Tramo 2, por lo que para

los Tramos 3, 4 y 5, se realizaron nuevas estimaciones de caudales que fueron medidos y están siendo transportados por los sectores finales del Interceptor. Realizando una comparación de lo que se hizo con los caudales medios diarios que se pierden, por la deficiencia del funcionamiento de la red, para este caso, de las contribuciones pluviales al sistema, no se tendrán en cuenta los caudales del Tramo 1, para sumarlos a los tramos posteriores, dado que las intensidades de las lluvias se comportan muy fluctuantes, al igual que los horarios en los cuales se dan estas precipitaciones.

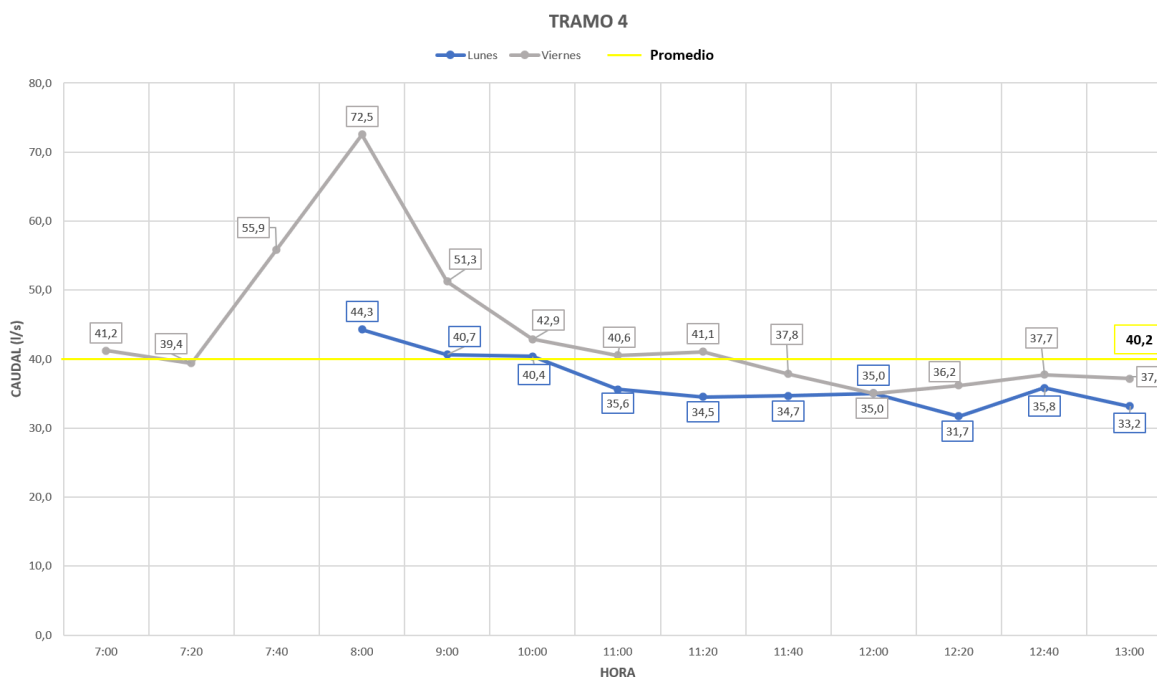
**Figura 20.** Caudales medidos durante la precipitación presentada el día lunes en el Tramo 3



Fuente: Propia.

Sobre la Figura 20, se presentan los caudales aforados del tramo siguiente a la falla, de donde se pierde el caudal que transportaba el Interceptor en su parte inicial, por lo que se estima, según las mediciones realizadas en estos puntos que conforman el Tramo 3, nuevos aportes de aguas lluvias que drenan, las áreas de influencia o escorrentía de esta red. Un aspecto demasiado importante de resaltar, son las evidencias de conexiones erradas, encontradas en la zona que comprende este tramo, donde se observa que se han realizado, contribuciones de aguas lluvias, que provienen, de las cubiertas de la infraestructura aledaña y que aportan caudal al sistema del Interceptor Cauca – uno, este hallazgo esta señalado en el Anexo 15.

**Figura 21.** Caudales medidos durante las precipitaciones presentadas los días lunes y viernes en el Tramo 4

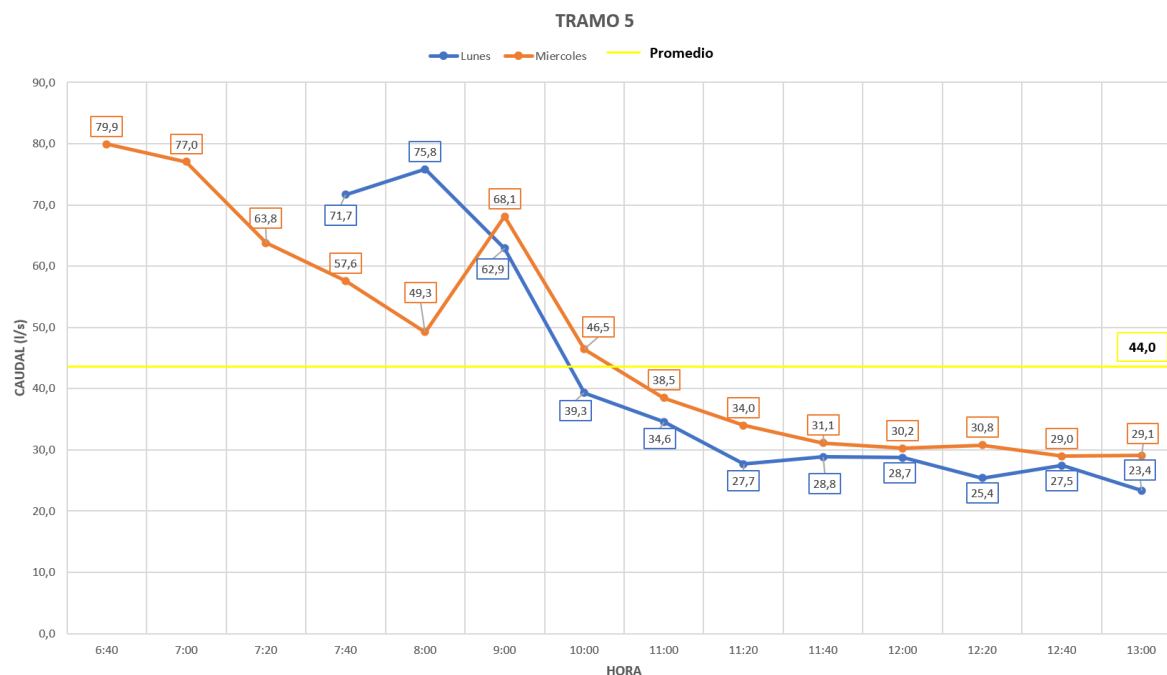


Fuente: Propia.

Acerca de la Figura 21, se puede apreciar en esta vez, 2 registros de aportes de caudales por aguas lluvias en un solo tramo, donde se visualiza un comportamiento mayor, por los valores medidos en la jornada del viernes, con respecto al lunes, esto se debe a las intensidades presentadas, de las precipitaciones de cada día. A parte de eso, se verifica nuevamente, que existen aportes de caudales, pero en esta ocasión, por aguas provenientes de la escorrentía del terreno o de las zonas verdes, que separan al Tramo 3 del 4.

Se evidencio además un sistema de alcantarillado pluvial paralelo, al Interceptor en este sector, que comienza desde el Punto 11 hasta el Punto 20 de la Figura 10, que se supone que transporta las aguas lluvias de esta zona, hacia la fuente hídrica más cercana que es el rio Cauca, sin embargo, en el Tramo 5, se comprobara que si existen algunos aportes de aguas lluvias de este barrio, que cuenta con un sistema de alcantarillado separado.

**Figura 22.** Caudales medidos durante las precipitaciones presentadas los días lunes y miércoles en el Tramo 5



Fuente: Propia.

En cuanto a la Figura 22, se puede observar nuevamente, 2 registros de aportes de caudales por aguas lluvias en un solo tramo, donde se aprecia un comportamiento diferente al anterior, ya que los valores de caudales medidos en la jornada del miércoles son mayores, con respecto al lunes, esto se debe a las intensidades presentadas de las precipitaciones de cada día. Se comprueba que hay aportes nuevos caudal de agua lluvia provenientes del sector de influencia del Tramo 5, lo cual indica deficiencias en conexiones de sumideros al alcantarillado sanitario, que, aunque existe un sistema paralelo pluvial, siguen conectados a este alcantarillado de aguas residuales, como se evidencio en uno de los recorridos de campo desarrollados.

Por otra parte, para la obtención de un Qesc se utilizaron los caudales máximos de aguas lluvias del Tramo 1 y 5, para poder tener como resultado un valor aproximado que estaría siendo transportado por el Interceptor Cauca – uno, cuando se presentan precipitaciones, en vista de que por el fallo del sistema en la parte inicial de la red, se esté perdiendo una cantidad significativa de caudal, por lo cual se tomó la decisión de sumar 248.1 L/s a 79.9 L/s, arrojando un valor de caudal por escorrentía de 328 L/s, que se supone que estaría pasando por este punto.



#### **4.2.2. Resultado 2: Análisis y comparación de datos de caudales teóricos y reales que determinaron las conexiones erradas en el sistema de alcantarillado del interceptor**

Para comenzar con esta actividad, se debe recalcar, que los cálculos efectuados de QCE con la ayuda de las Ecuaciones 16, 17 y con algunos de los datos expuestos en la Tabla 8, dieron como resultado, aportes de aguas residuales en exceso, que se están generando al sistema y que fueron cuantificados, pero que no pueden considerarse, en sí, conexiones erradas, ya que estas se producen en su gran mayoría, cuando se presentan precipitaciones, como se evidencia en los Anexos 3, 5, 6 y 7, sin embargo, la procedencia de estos caudales de más, son difíciles de saber, dado que se aleja del alcance de la metodología del proyecto planteada.

Al aplicar la Ecuación 16, con el Qmd aforado y Qmd teórico, se logra como resultado un valor de conexiones erradas en tiempo seco de 61.27 L/s, lo cual indica una diferencia notable, respecto algunos excesos de aguas residuales, que fueron contabilizados con esta metodología. En cuanto al resultado, por el uso de la Ecuación 17, teniendo en cuenta el dato de QMH teórico, como también el QMH aforado, se obtiene un valor de conexiones erradas en los horarios de mayor generación de caudal y tiempo seco, de 39.07 L/s, donde se infiere de manera semejante al anterior, una disparidad en estos valores comparados. Los valores de los caudales medio diario y máximo horario reales, resultan estar por encima, de los que se proyectaban que iban a pasar para el año 2022, de acuerdo con la información verificada, respecto al diseño del sistema del Interceptor Cauca – uno. Se comprueba que el valor calculado, excede el valor máximo que se le puede otorgar, en el diseño a estos aportes, lo que implica, que el sistema este recibiendo caudales que son superiores a los aceptados por la norma, en cuestión a la procedencia de estas contribuciones.

Por otra parte, al emplear la Ecuación 18, con los datos restantes de la Tabla 8, como son el Qcomb aforado y Qmd aforado, se determinó, el único valor estimado que se puede asegurar, que proviene de conexiones erradas que se le generan al sistema del Interceptor Cauca – uno, considerando que esta red de alcantarillado, opera con vocación sanitaria. El valor correspondiente a esta operación, es de 232.8 L/s y se deduce, que son los caudales aportados, por la evacuación de agua lluvia procedente de los sumideros y de las conexiones erradas existentes, que se encuentran en las áreas de drenaje del Interceptor.

#### 4.2.3. Resultado 3: Relación de los caudales obtenidos en los aforos con los caudales a tubo lleno de las tuberías del sistema

Al relacionar los valores de caudales obtenidos, por medio de las mediciones desarrolladas en el proyecto, con los caudales a tubo lleno de las tuberías que comprenden los tramos aforados, se lograron estimar los porcentajes de utilización de las redes estudiadas, generando datos fundamentales, respecto a la evaluación del funcionamiento hidráulico del Interceptor Cauca – uno para el año 2022. En la Tabla 12, se muestran ordenadamente los porcentajes de uso, de las tuberías que se encuentran en cada uno de los tramos seleccionados.

**Tabla 12.** Porcentaje de utilización de los caudales medidos en los aforos, sobre las tuberías de los tramos seleccionados en el proyecto

PORCENTAJE DE UTILIZACION DE LOS CAUDALES MEDIDOS EN LOS AFOROS					
TRAMO	1	2	3	4	5
Qo (l/s)	512,0	404,8	581,7	NI	443,4
USO DE RED CON QMHafo (%)	13.4	15.9	13.9	NI	27.9
USO DE RED CON Qcomb (%)	48.5	NI	50.9	NI	73.9

Fuente: Propia.

La tabla anterior, sirve como punto de partida, para el análisis que se realizó en el resultado 5 de esta fase, proporcionando información clave, para reconocer, que partes del sistema del Interceptor Cauca – uno, se encuentran operando con normalidad, conforme a esta variable, o, por el contrario, donde se pueden encontrar o en su defecto prevenir, las fallas hidráulicas más representativas que estén alterando el funcionamiento de esta red.

Según los valores hallados, de los porcentajes de utilización de las tuberías, para los QMH aforados, todos los tramos se encuentran operando en óptimas condiciones, indicando que, para la evacuación de aguas residuales en los máximos horarios, el sistema da abasto y no necesita, por el momento, de alguna medida de control por parte de la empresa para la evacuación de estos caudales.

Por el contrario, para los datos obtenidos de los porcentajes de uso de la red, en cuanto a la evacuación de los Qcomb aforados, por los tramos estudiados, si se cuantifican valores altos, estando aun dentro del margen aceptable de 85%, pero alarmando en el sentido, en que, si se presentan precipitaciones de mayores intensidades, los aportes de aguas lluvias que se le están

produciendo, pueden ser igualmente mucho más altos. Estos aportes pueden llegar a que este sistema de alcantarillado, comience a operar a presión y generar que colapse, respecto a la capacidad de transportar, las aguas residuales de este sector, durante estos sucesos naturales. Finalmente, para cada tramo se recomendarán algunas medidas y acciones oportunas, para controlar estos tipos de caudales pluviales, que son aportados por las conexiones erradas, de los sumideros y otras infraestructuras, que generan aguas residuales en exceso, si se asume que esta red es de tipo separada.

#### ***4.2.4. Resultado 4: Estimado del factor de dilución que se esté presentando entre el caudal de escorrentía y el caudal sanitario que transporte el interceptor***

Se estimó el factor de dilución, que sufren las aguas residuales transportadas por el Interceptor Cauca – uno, aplicando la Ecuación 21 y mediante el uso del  $Q_{md}$  obtenido por las mediciones realizadas y el  $Q_{comb}$  igualmente aforado, arrojando un valor de 0.29. Este  $F_d$  hallado anteriormente, confirma la variación a la que pueden verse expuestos, los parámetros fisicoquímicos contenidos en las aguas residuales, por las precipitaciones que se presentan en esta zona, donde aproximadamente se deduce, que afecta un 71 % las concentraciones de los contaminantes de estos afluentes. Un aspecto fundamental en esta actividad, es, además, las consecuencias que trae consigo, que el caudal de aguas residuales que lleva el Interceptor hacia la PTAR, estén diluidas; entre estos efectos, están las variaciones que se le genera al diseño y operación de esta planta, dado que se reducen las concentraciones de contaminantes a tratar, por el incremento de caudal durante las lluvias que se den en la zona de influencia, aumentando los tiempos de retención de los procesos de tratamientos biológicos, como también, provocando que se tengan que ampliar las dimensiones de las estructuras, que a su vez con todo lo anterior dicho, elevarían los costos de operación y tratamiento de las aguas residuales. De acuerdo con lo previamente dicho, aparece la necesidad como tal, de comenzar a separar y reducir los aportes de agua lluvia a este sistema, ya que como se evidencio en las anteriores actividades, las contribuciones pluviales de las áreas de escorrentías, son importantes a tener en cuenta, por lo que este proyecto, en la Fase 3, propone algunas actividades, para mejorar el funcionamiento del sistema de la red de estudio y también alternativas, que ayuden a disminuir o mitigar, esta problemática que fue reportada e identificada por la empresa AAPSA.

#### 4.2.5. Resultado 5: Análisis de datos

Para comenzar con esta actividad, es necesario enfatizar que para la evaluación del funcionamiento hidráulico del Interceptor Cauca – uno, en general, se seguirá la metodología planteada en el libro “Elementos de diseño de acueductos y alcantarillados”, respecto a las operaciones que se deben desarrollar, para calcular las relaciones hidráulicas deseadas, para el análisis de la operación de la red. Otro aspecto fundamental, son los lineamientos establecidos en la Res 0799 del 2021 y 0330 del 2017, las cuales indican que los caudales evaluados, deben tener velocidades reales entre 0.5 m/s a 5 m/s, y un esfuerzo cortante mayor a 1 Pa. En el Anexo 11, se muestra los valores calculados respecto a las relaciones hidráulicas obtenidas, al verificar el diseño del Tramo 5 teórico, si cumple con los valores mínimos y máximos requeridos, por parte de los lineamientos técnicos, que se dictan en la normativa vigente colombiana. Por otro lado, en el Anexo 12, se verifico la operación del sistema, con los caudales que se obtuvieron con aforos ejecutados, en la Fase 2, lo cuales son:  $Qmd_{afo}$ ,  $QMH_{afo}$  y  $Qcomb_{afo}$ . Es importante resaltar que todos estos chequeos hidráulicos realizados, tuvieron en cuenta las condiciones ya construidas de la red de alcantarillado. Los resultados de las velocidades reales y esfuerzos cortantes hallados con los caudales antes mencionados, se encuentran expuestos en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Resultados de velocidades reales y esfuerzos cortantes hallados por la verificación del diseño y operación del Tramo 5

CHEQUEO DE VARIABLES HIDRAULICAS EN EL TRAMO 5				
CAUDALES EVALUADOS	Caudal de diseño teórico (L/s)	Caudal medio diario aforado (L/s)	Caudal máximo horario aforado (L/s)	Caudal combinado aforado (L/s)
Velocidad real (m/s)	1.22	1.08	1.16	1.57
Esfuerzo cortante (Pa)	7.79	6.53	7.31	9.94

Fuente: Propia.

Los valores de las relaciones hidráulicas, indican que el funcionamiento del sistema del Interceptor Cauca – uno, está llevándose de manera correcta, ya que estos datos se encuentran, entre los límites permisibles dictados por la normativa nacional, lo que genera, además, beneficios en la autolimpieza de la red, por el constante movimiento de los sedimentos transportados, logrando que no se precipiten por la gravedad y que el flujo de aguas residuales se evacue de manera eficiente.

### **4.3. Fase 3: Alternativas que contribuyen con la mitigación de los excesos de aguas residuales por conexiones erradas que existan en este tramo**

Posteriormente al diagnóstico del diseño y funcionamiento del sistema del interceptor, además de la estimación del aumento de caudal que se ha generado a causa de conexiones erradas y de contribuciones irregulares al sistema, se identificaron problemáticas tales como: La falta de educación ambiental de la comunidad servida, ya que se observa un inadecuado manejo de residuos sólidos, por parte de los habitantes, dado que se hicieron visibles durante los recorridos realizados, una gran variedad de objetos y materiales, encontrados en las tuberías y cámaras de inspección, que hacen parte de este sistema; por otra parte, es notable indicar también, la baja capacidad hidráulica que tiene esta red, durante las precipitaciones habituales que se dan en esta zona, en cuestión al limitado transporte y evacuación de aguas lluvias o de escorrentía, que son aportadas por los sumideros, conectados a este sistema sanitario. Estos aportes logran en ocasiones, saturar la correcta operación del Interceptor Cauca – uno, causando rebosamientos e inundaciones por las aguas residuales diluidas, que sobrepasan la capacidad hidráulica de esta red, afectando las áreas de prestación del servicio de alcantarillado.

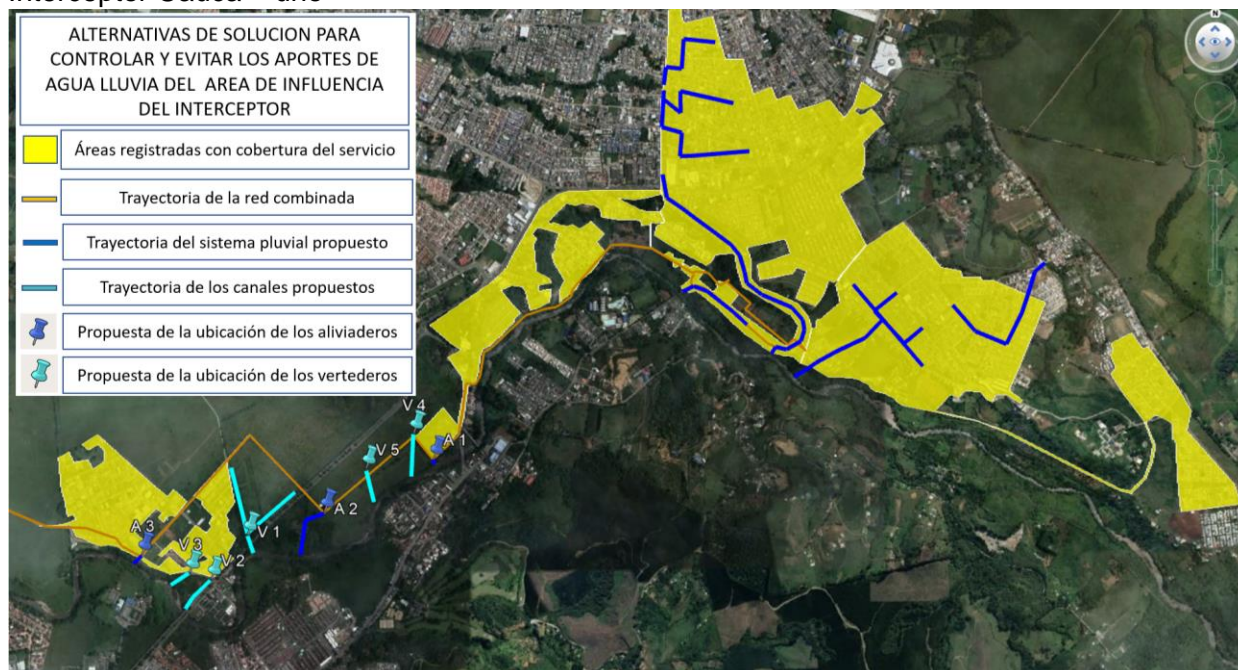
Por tal motivo, para mejorar el funcionamiento y operación de la red de estudio, se generaron las siguientes propuestas, para que sean implementadas, por la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán.

#### ***4.3.1. Resultado 1: Plan de operación para el correcto funcionamiento del sistema de alcantarillado del interceptor***

Como se ha mencionado anteriormente, la PTAR logrará un mejor rendimiento de remoción de contaminantes, si su caudal de entrada llega sin aportes de agua lluvia, dado que si esta diluido, va dificultar la eficiencia de los tratamientos biológicos, que serán realizados en esta planta, además de generar la necesidad, de aumentar la capacidad de algunas estructuras, alterando los diseños iniciales de este proyecto de saneamiento. Por tal motivo, se sugiere a la empresa AAPSA, que, en los tramos representados en la Figura 23, donde se evidencia inconsistencias en la conducción de aguas pluviales y residuales, se construyan redes y sistemas paralelos que sean netamente para la evacuación y transporte de aguas lluvias, mejorando el funcionamiento del sistema de alcantarillado del Interceptor Cauca – uno. Otra alternativa para esta problemática y que se muestra en la misma figura, es implementar infraestructura especializada, para retirar los

excesos de aguas residuales, cuando se presentan precipitaciones, para no que se produzcan rebosamientos o daños estructurales al sistema, como canales y vertederos.

**Figura 23.** Propuesta de alternativas de solución para el correcto funcionamiento del sistema del Interceptor Cauca – uno



Fuente: Archivo AAPSA modificado con Google Earth Pro.

Convertir un sistema en su totalidad o parcialmente combinado, a uno plenamente separado, como ocurre y se propone en este caso, según lo que se deduce del estudio referenciado, no cambiará el volumen de escorrentía de aguas lluvias de determinada área de drenaje, sino que se distribuirán de una mejor manera, los volúmenes descargados entre la planta de tratamiento y el cuerpo de agua receptor [34]. Aunque en primera instancia, las conexiones erradas impiden alcanzar un funcionamiento 100% exitoso de este sistema separado, en el que cada red trabaja bajo las condiciones de diseño establecidas desde el principio. Con lo anterior se genera una discusión, dado que se determinó igualmente en este estudio [34], la presencia de contaminantes transportados por las aguas lluvias que son vertidas a las fuentes hídricas, los cuales indican un problema en el saneamiento básico de las áreas urbanas, dando como resultado que sea difícil definir si esta opción es viable, para lograr una operación correcta, puesto que también se argumenta en algunos casos, esta alternativa, si logra el objetivo de mejorar la operación respecto a recolección y evacuación de aguas lluvias y servidas de una población [34].

No obstante, de acuerdo con lo anterior para este caso, por la investigación realizada y a su vez por las condiciones de algunos tramos y zonas específicas del área de influencia del Interceptor

Cauca – uno, como se observa en la Figura 23, se sigue sugiriendo que esta alternativa, debe ser considerada por la empresa AAPSA, para mitigar la saturación de esta red.

Siguiendo con el plan de operación, aparece como opción para mejorar el funcionamiento de esta red y que se recomendó en la Figura 23, para implementar de una forma más inmediata, dado que es económicamente más factible que la anterior, son los llamados aliviaderos, los cuales tienen diferentes tipos para ser escogidos, que se pueden aplicar dependiendo a la situación o necesidad de cada caso en particular. El principio de operación de los aliviaderos en alcantarillado, es dividir el caudal combinado de aguas lluvias y residuales, con el fin de disminuir el caudal conducido por las tuberías ya existentes del sistema del Interceptor Cauca – uno [35]. La forma de operar de estas estructuras, es permitir que el caudal de aguas servidas en tiempo seco continúe por las tuberías y no evacuar el agua residual hacia los canales o cuerpos receptores, igualmente controlar los caudales que son transportados durante algunas precipitaciones que superan el nivel al cual fueron diseñados para operar, vertiendo los sobrantes de aguas transportadas a la fuente hídrica cercana [35].

Finalmente, se debe agregar que, para todo plan de operación que mejore el funcionamiento de un sistema de alcantarillado, es importante incluir que se hagan periódicamente mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos en las redes, con registros detallados de cada acción que se le desarrolle durante estas jornadas, puesto que se debe tener en cuenta que la limpieza y vigilancia de sus componentes, es fundamental para permitir el óptimo funcionamiento y a su vez evitar los sobrecostos que se producen por la inoperatividad de los sistemas; así como por los arreglos y reparaciones que deben ser efectuadas en la líneas [36], como es necesario para este caso, en algunos de los tramos identificados, que fueron evidenciados durante los recorridos de campo ejecutados.

#### **4.3.2. Resultado 2: Estrategias de control para las conexiones erradas existentes**

Las estrategias de control, que se recomendaron para controlar el aumento de caudal, aportado al sistema de alcantarillado por las contribuciones de conexiones erradas son las siguientes: En primer lugar, desconectar los sumideros que más sean posibles del sistema del Interceptor Cauca – uno, que por sus condiciones de proximidad a las cuencas hidrográficas o a las fuentes hídricas en sí, el agua pueda fluir de manera natural o por gravedad a los puntos más bajos. Esta estrategia requiere de un estudio a fondo, por lo que este proyecto abre la posibilidad de futuras investigaciones acerca de este tema.

En cuestión a los monitoreos e inspecciones que se recomiendan realizar, a lo largo de la vida útil, de todas aquellas redes que conforman la totalidad del sistema de alcantarillado de Popayán, es importante implementar un manual de operación de medición de caudal, para conocer el comportamiento que está llevando a cabo la operación de cada sistema y los cambios atípicos que sufra este, derivado a diferentes escenarios que se puedan enfrentar habitualmente, como lo es, las contribuciones por conexiones erradas. Partiendo desde el anterior punto de vista, se recomienda, la metodología empleada en este proyecto, para aforar cualquier red de alcantarillado, la cual fue ilustrada y ejecutada en conjunto con la pasantía “Evaluación del funcionamiento operativo por contribución de agua lluvia por conexiones erradas en el colector garrochal de la red de alcantarillado de Popayán (cauca)”. Esta metodología se presenta mediante un video, en el link que se muestra a continuación ([https://drive.google.com/file/d/1rBzDX7nDngbxm-C3Z1\\_v1cuiFB3aT\\_ku/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1rBzDX7nDngbxm-C3Z1_v1cuiFB3aT_ku/view?usp=sharing)).



Otra de las estrategias, que se propone igualmente, trabajando de la mano, con el proyecto anterior que se ejecutó dentro de la empresa, es el paso a paso, de cómo el usuario que es beneficiario de la empresa AAPSA, debe reportar un daño al cual se vea vulnerado, por el



funcionamiento del sistema de alcantarillado, que sea presente cercano a su vivienda o lugar de residencia, para que así esta empresa realice todas las acciones pertinentes, para solucionar la afectación que se le haya generado por esta actividad. Cabe señalar que todo usuario puede reportar las conexiones erradas que observe en su zona y así ayudar desde su rol, a controlar esta problemática, ya que estas, pueden desencadenar insuficiencias en la correcta operación de la red de alcantarillado. El paso a paso que se requiere para realizar este trámite se puede observar, dando clic en siguiente link (<https://drive.google.com/file/d/1FphQhmAeh4yoGbB4HxjloK6erItCKCg1/view?usp=sharing>) el cual direcciona al video de esta guía.

## ¿Sabes reportar un daño de alcantarillado en la empresa AAPSA?



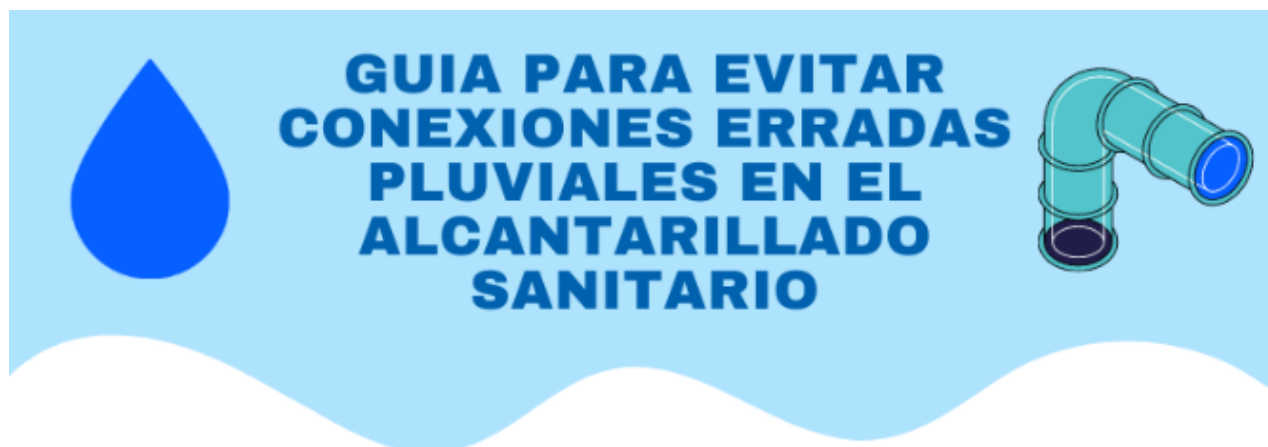
Acueducto y  
Alcantarillado de  
Popayán S.A. ESP



### **4.3.3. Resultado 3: Estrategias de educación ambiental**

La estrategia de educación ambiental que se planteó para orientar a la comunidad de la problemática que se puede presentar en este sector, por las conexiones erradas que se evidenciaron y por otro lado de las posibles soluciones que se pueden ejecutar desde casa, es el siguiente volante. Para ampliar la información del volante, véase en el siguiente link ([https://drive.google.com/file/d/1E0ZuK\\_rdq6VmjHUQMt6tUeqCBHB--1fN/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1E0ZuK_rdq6VmjHUQMt6tUeqCBHB--1fN/view?usp=sharing)), donde aparecen conceptos importantes para entender el problema, las consecuencias que

pueden acarrear estas conexiones y como se puede evitarlas, desde el rol de usuario del servicio de alcantarillado.



Del mismo modo, trabajando en conjunto con el proyecto de la red Garrochal que se ejecutó en la empresa, se planteó otra estrategia ambiental, utilizando nuevamente un volante informativo, que brinda algunas indicaciones, de la adecuada gestión de residuos sólidos que pueden desarrollar la comunidad servida por la red de estudio, dado a que se evidenciaron diferentes tipos de residuos, los cuales pudieron haber llegado al sistema, por el agua lluvia drenada de las áreas aferentes del interceptor o por la mala disposición que realizan los habitantes de la zona. Teniendo en cuenta, que estos objetos o residuos, en su gran mayoría están compuestos de materiales o elementos inorgánicos, que pueden generar obstrucciones al sistema, deteniendo el flujo normal de las aguas residuales y por otra parte, aumentar los costos de operación y mantenimiento de la empresa. Para conocer la información contenida en esta propuesta, se puede dirigir al volante, dando clic en el siguiente link ([https://drive.google.com/file/d/1nnZx\\_FINPvp\\_lawOfMNMtfvFV4LFCBJn/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1nnZx_FINPvp_lawOfMNMtfvFV4LFCBJn/view?usp=sharing)), donde se presenta como tal, las estrategias para mantener la red de alcantarillado en buen estado.

## **ESTRATEGIAS PARA MANTENER LA RED DE ALCANTARILLADO EN BUEN ESTADO**

## 5. CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Mediante la elaboración de este documento se inicia, con la elaboración de un plan maestro de alcantarillado de la red de estudio, con el que va contar la empresa, dado que, incentiva a registrar las características de la operación del sistema, ya que reúne diferentes datos, cálculos y variables hidráulicas que son muy importantes, para supervisar el estado en el que se encontró funcionando esta red, durante el periodo de tiempo, el cual fue necesario para llevar a cabo, la verificación del diseño, el cual arroja como tal, un caudal de diseño que cumple con la capacidad necesaria, para evacuar el caudal medio diario sanitario teórico, proyectado para el año 2022, logrando un correcto servicio de alcantarillado, para esta zona de aferencia, durante este escenario.
- Se sigue desconociendo el porcentaje de aporte de agua lluvia, por parte de los sumideros conectados a este sistema, si se presentan precipitaciones, no obstante, queda demostrado que la capacidad del Interceptor, no alcanza cumplir la necesidad de evacuar este tipo de aportes, dado que la generación de caudal de escorrentía al que está expuesto, sobrepasa hasta su caudal a tubo lleno, si en su totalidad todas las áreas de influencia contribuyeran a la red, pero que con los pocas identificadas, logran saturarla.
- En la verificación del diseño, el valor del factor de aportes por infiltración está siendo relativamente bajo, ya que este es escogido, por las recomendaciones de los estudios que ha realizado la empresa, en cuestión a este tema, pero esta investigación, no está de acuerdo con este valor, ya que se observa, que al sumar el Qmd con el Qinf y Qerrad, este dato es muy similar, al aforado en el último tramo, donde se realizaron las mediciones de caudal, por lo que se deduce, que el valor del factor escogido de la Res 799 del 2021, para las contribuciones que provienen por infiltración, está aumentando de manera considerable, o ya es mayor, al mostrado en uno de los documentos, de la línea base.
- Analizando la metodología empleada en este proyecto, para estimar los aportes de caudal por conexiones erradas, se concluye, que se no es seguro afirmar que en su totalidad, estos excesos de aguas, provengan solo de estos orígenes, dado que, al medir caudales, en tiempo seco y durante precipitaciones, además de comparar con los parámetros de

diseño, si se van a tener como tal, diferencias entre los valores del flujo, pero se concluye que las contribuciones generadas por el agua lluvia al sistema, van a ser originadas por diferentes factores y no solamente por este tipo de conexiones.

- Se evidencian conexiones erradas en el sistema del Interceptor Cauca – uno, que, en su gran mayoría, se puede considerar, que provienen de los sumideros conectados a esta red, si se tiene en cuenta que las líneas operan con vocación sanitaria, puesto que, en las mediciones realizadas durante las jornadas de aforos, se lograron valores de caudales calculados, que afirman incrementos de aguas residuales significativos en la red.
- La metodología desarrollada, tuvo siempre en consideración evitar en su gran mayoría, errores de medición, por lo que se decidió desde un principio, que las jornadas de monitoreo, iban a tener diferentes horarios en los cuales, se utilizaron los instrumentos para ir tomando una gran cantidad de datos, que, si se analizan, no tienen cambios muy fuertes, pero los existentes son dados por el consumo de agua potable o situaciones de cada sector. Como conclusión el grado de confianza que tuvieron estas mediciones es alto, por la repetición de estos procesos durante un día y en cada hora establecida.
- Con los datos de caudales aforados, se realizaron unas pruebas llamadas, chequeos hidráulicos, utilizando como referencia el Tramo 5 seleccionado en este estudio, que hace parte del Interceptor, para conocer que la operación y puesta en marcha de esta red, esté funcionando de una manera eficiente en tiempo seco. Según los cálculos realizados, se indica que el diseño, aun cumple con la capacidad de evacuar y recolectar el caudal sanitario de la comunidad servida, dado que para el año 2022, este sistema transporta un caudal medio diario aproximadamente de 95.2 l/s, estando por debajo del su valor límite máximo de porcentaje de utilización de la tubería que es de 371.8 l/s, bajo estas condiciones de diseño, sin embargo, para el agua lluvia, es necesario determinar con ayuda de estudios hidro climatológicos en un estudio posterior, cual es el la intensidad máxima que puede recibir esta red, puesto que se evidencio, con las precipitaciones presentadas, que el sistema, se está acercando a su máxima capacidad, respecto a la conducción de aguas lluvias, ya que llego a estimarse un valor aproximado de 326.7 l/s.
- Las propuestas que se sugirieron a la empresa AAPSA, respecto al buen funcionamiento de alcantarillado de Popayán, ayudarán a mejorar la operación de las redes, considerando

que, actualmente la comunidad servida por el Interceptor Cauca – uno, realiza conexiones erradas al sistema y da un manejo inadecuado a algunos residuos sólidos, que se evidenciaron estar contenidos en algunas de las tuberías y cámaras de inspección de esta estructura, brindando guías de cómo llevar a cabo, desde el rol de un usuario, buenas prácticas para mejorar la operatividad de las líneas en términos de saneamiento básico de las aguas residuales.

- La medición de caudal que se desarrolla con ayuda de esta metodología y que fue explicada en una de las alternativas de solución, para contribuir a él buen funcionamiento de esta red, desde los trabajos correspondientes a las entidades que prestan el servicio de alcantarillado, puede seguir siendo ejecutada por parte de la empresa de acueducto y alcantarillado de Popayán, ya que por sus bajos costos de implementación es factible aplicar, en cualquier red que requiera, ser monitoreada.

## **5.2. Recomendaciones**

- Es muy importante conocer los caudales teóricos y llevar un registro de estos, los cuales son determinados por los parámetros de diseño y que se suponen son los transportados, por las redes de alcantarillado teóricamente, para así tener datos como puntos de partida, que puedan ser comparados, con los caudales medidos en campo, por los equipos o metodologías empleadas por parte de la empresa, para saber si ocurren inconsistencias, en cuestión a los aumentos de caudales significativos que se puedan dar, indicando si existen sub dimensionamientos o sobredimensionamientos en la implementación de tuberías para estos sistemas. Cabe resaltar, que si entre los valores de los caudales de diseño y los medidos en campo, sean más parecidos y estén entre un rango aproximado o iguales, se puede decir que la operación de estas infraestructuras, se están dando de manera correcta.
- Mejorar y actualizar los datos existentes en el catastro de redes, con los que cuenta la empresa AAPSA, para que así, se lleve un control más organizado, de todas las actividades que se deben realizar, para lograr una apropiada prestación del servicio de alcantarillado.

- Se deben realizar monitoreos periódicos, del funcionamiento de todas las redes, para así determinar que sectores pueden verse expuestos a colapsos en la evacuación de aguas residuales y lluvias, evitando o prediciendo en algunos casos, daños que se puedan presentar por estas inconsistencias.
- Se requiere hacer seguimientos más a fondo, a los sistemas sanitarios y pluviales existentes, en las áreas de prestación del servicio de alcantarillado para evitar las contribuciones de caudal por conexiones erradas.
- Se deben realizar jornadas de inspección, limpieza y adecuamiento frecuentemente, sobre la trayectoria de las redes, para contribuir a preservar en buen estado, las estructuras que fueron diseñadas y construidas para el saneamiento de aguas residuales.
- Fomentar la cultura ciudadana oportunamente, respecto a las obligaciones, deberes y buenos manejos que debe realizar, todo suscriptor que se beneficia del servicio de alcantarillado, mediante campañas de educación ambiental que sean desarrolladas por parte de la empresa AAPSA y con el apoyo de entidades que resulten estar involucradas.
- Es necesario tener un sistema exclusivamente sanitario para la correcta operación de la PTAR, que debe ir acompañado de redes pluviales que viertan a las fuentes o cuencas hídricas.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. J. P. España, «Modelo para priorizar la inspección de redes de alcantarillado», Tesis doctoral, Uniandes, España, 2007.
- [2] Nathalie Verónica Chávez Pullas, «Plan de rehabilitación de las tuberías matrices y pozos de inspección de alcantarillado de la subcuenca alta del colector sucre—sector Centro Histórico de Quito», PUCE, Ecuador.
- [3] F. U. Opazo, Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública, Limusa nor. México, 2000.
- [4] J. B. Noguera, Ingeniería ambiental Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales, Grupo Alfa. México, 2011.
- [5] C. y T. Ministerio de Vivienda, “RESOLUCIÓN 0799,” p. 39, 2021, [Online]. Available: [www.minvivienda.gov.co](http://www.minvivienda.gov.co).
- [6] H. Morales, “Conexiones erradas en el sistema de alcantarillado de Arauca originan rebosamientos,” Empresa municipal de servicios de Arauca EMSERPA, 2017. <https://www.emserpa.gov.co/sitio/es/445-conexiones-erradas-en-el-sistema-de-alcantarilladooriginan-rebosamientos.html> (accessed Sep. 24, 2021)
- [7] J. A. Santacruz, “Memorias técnicas de diseño ajuste interceptor margen derecha rio ejido, entre cámara 43 y 48,” Popayán, 2013. Accessed: Sep. 24, 2021. [Online]. Available: <https://aplicaciones.crc.gov.co/docucrc/archivos/RECIBIDA/2013-11/091081.PDF>. [6] Arturo Bravo Ante, “ACCIÓN O MEDIO DE CONTROL POPULAR,” Sentencia, Dec. 13, 2018. [https://www.ramajudicial.gov.co/documents/2218210/23690329/2012177\\_Pop\\_Goce+ambiente+sano.pdf/7c2b2287-ff6c-480b-9743-9f3e284b37e1](https://www.ramajudicial.gov.co/documents/2218210/23690329/2012177_Pop_Goce+ambiente+sano.pdf/7c2b2287-ff6c-480b-9743-9f3e284b37e1).
- [8] J. C. P. García, «Diagnóstico del sistema de alcantarillado del barrio San Benito en la ciudad de Bogotá para identificar conexiones erradas y alternativas de solución», Universidad de La Salle, Bogotá, 2002.
- [9] L. I. O. Vivas, “Informe de gestión año 2017,” Popayán, 2017. Accessed: Sep. 24, 2021. [Online]. Available: <https://aapsa.com.co/wpcontent/uploads/Informe-gestion-2017.pdf>
- [10] J. A. C. Castro, «Informe de gestión 2020», Acueducto y alcantarillado de Popayán, Popayán, Cauca, ene. 2020.
- [11] E. G. Gómez, «¿Combinar o separar? Una discusión con un siglo de antigüedad y de gran actualidad para los bogotanos», Revista de Ingeniería, n.o 11, pp. 21-30, ene. 2000, doi: 10.16924/revinge.11.5.
- [12] A. A. F. Toledo, “Apoyo técnico en ingeniería civil en la empresa de acueducto y alcantarillado de Popayán S.A. - E.S.P. División de alcantarillado,” Universidad del Cauca, 2020.
- [13] L. V. M. Ramírez, “utilización del método para la identificación y corrección de conexiones erradas del sistema de alcantarillado de Bogotá por la eab-esp,” Universidad de Cundinamarca, 2016. [20]

- [14] G. Torres, "Identificación, justificación y priorización de proyectos," Bogotá, Colombia, Guía Ras-002, 2000. doi: 958 8137152.
- [15] J. Mihelcic y J. Zimmerman, Ingeniería ambiental fundamentos, sustentabilidad, diseño, Grupo Alfa. México, 2012.
- [16] J. C. P. García, «Diagnóstico del sistema de alcantarillado del barrio San Benito en la ciudad de Bogotá para identificar conexiones erradas y alternativas de solución», Universidad de La Salle, Bogotá, 2002.
- [17] J. L. G. Rojas, «Evaluación del funcionamiento del sistema de alcantarillado condominial en la Zona R - Huaycán, Ate Vitarte, 2018», Diseño de obras hidráulicas y saneamiento, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú, 2018.
- [18] N. O. Jesús, «Evaluación del sistema hidráulico de la red de alcantarillado de la urbanización Ama Kella -San Martín de Porres - Lima-Perú», Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú, 2019. Accedido: 24 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/reader/346608574>.
- [19] AGQLabs, «Metodología para mediciones caudales e instructivo de manejo de molinete». ARCADIS, 18 de diciembre de 2019.
- [20] L. V. M. Ramírez, «Utilización del método para la identificación y corrección de conexiones erradas en el sistema de alcantarillado de Bogotá por la eab-esp.», Thesis, Universidad de Cundinamarca, Bogotá, 2016. Accedido: 24 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/957>.
- [21] D. P. Llave Torres y B. W. Hilacondo Condori, «Diseño y evaluación de las redes de alcantarillado sanitario del megaproyecto inmobiliario Challapampa de Arequipa, en base al aforo de caudales de consumo y evacuación de agua», Tesis, Universidad nacional de san Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú, 2017. Accedido: 24 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4450>.
- [22] J. C. De los Ríos Zorrilla, «Aforo de colectores método de medición manual (no instrumental)». mayo de 2000.
- [23] J. M. V. Marroquín, «Determinación del caudal actual, experimental y teórico, y evaluación del sistema de alcantarillado de la colonia Planes Norte, zona 5 de Villa Nueva, Guatemala», other, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2017. Accedido: 24 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>.
- [24] AAPSA, «Estudios y diseños de proyecciones de población para la construcción etapa I Planta de tratamiento de aguas Residuales municipio de Popayán». 2022.
- [25] R. A. L. Cualla, Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Escuela Co. Bogotá, 2003.
- [26] FINDETER, Alcaldía de Popayán, «ESTUDIO DE HUELLA URBANA Y ESCENARIOS DE CRECIMIENTO».
- [27] Minvivienda de Colombia, «Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - Título D». 2016.



[28] Minvivienda de Colombia, Resolución 0330. 2017, p. 182. [En línea]. Disponible en: [https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion\\_minviviendact\\_0330\\_2017.htm](https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minviviendact_0330_2017.htm).

[29] Ministerio de transporte de Colombia, «Manual de drenaje para carreteras». 2009.

[30] IDEAM, “Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales,” instructivo, Sep. 10, 2017.

[http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma\\_Muestras\\_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428) (accessed Feb. 7, 2022).

[31] J. M. V. Marroquín, «Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil», Tesis, San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2017.

[32] CRC, *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos – PSMV del municipio de Popayán y se toman otras disposiciones*. p. 34.

[33] Alcaldía de Popayán, «Plan de desarrollo municipal de Popayán 2020 - 2023».

[34] D. R. Betancourt, «¿Se justifica la separación de alcantarillado en la ciudad de bogotá?», Uniandes, Colombia, 2016.

[35] L. A. M. Novoa, «Evaluación de sistemas de control para la operación de redes de alcantarillado», Magister, Uniandes, Colombia.

[36] C. L. Lozano, «Propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para la manutención, limpieza y recuperación hidráulica de las tuberías de alcantarillado sanitario y pluvial en las empresas sanitarias». 2012.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Evidencias de las jornadas de aforos que fueron desarrolladas en el proyecto, utilizando algunos instrumentos



Implementos, herramientas e instrumentos utilizados durante las jornadas de aforos



**Anexo 2.** Formato de recolección de datos en campo

DIA:		PUNTO:											
VARIABLES				LAMINA DE AGUA 1 (m)		LAMINA DE AGUA 2 (m)		TIEMPO FLOTADOR C1-C2 (seg)					
HORA	FECHA	DIAMETRO COMERCIAL (pulg)	DISTANCIA CAMPO C1- C2 (m)	LAMINA DE AGUA C1 (cm)	LAMINA DE AGUA C1 (cm)	LAMINA DE AGUA C2 (cm)	LAMINA DE AGUA C2 (cm)	TIEMPO FLOTADOR C1-C2 (seg)	TIEMPO FLOTADOR C1-C2 (seg)	TIEMPO FLOTADOR C1-C2 (seg)	TIEMPO FLOTADOR C1-C2 (seg)		
1	6:00												
2	6:20												
3	6:40												
4	7:00												
5	7:20												
6	7:40												
7	8:00												
8	9:00												
9	10:00												
10	11:00												
11	11:20												
12	11:40												
13	12:00												
14	12:20												
15	12:40												
16	13:00												
OBSERVACIONES:													

Anexo 3. Jornadas de medicion de caudal en en Tramo 1

JORNADA 1														
TRAMO 1		AREA					VELOCIDAD			CAUDAL				
DIA	HORA	DIAMETRO INTERNO TUBERIA (m)	LAMINA DE AGUA 1 (m)	LAMINA DE AGUA 2 (m)	ANGULO 1 (°)	ANGULO 2 (°)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 1 (m2)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 2 (m2)	DISTANCIA (m)	TIEMPO FLOTADOR (seg)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL 1 (m3/s)	CAUDAL 2 (m3/s)	CAUDAL PROMEDIO (m3/s)
6:00	0.584	0.108	0.124	1.778	1.915	0.034	0.042	22.00	14.00	1.571	0.054	0.065	<b>59.4</b>	
6:20	0.584	0.115	0.133	1.839	1.990	0.037	0.046	22.00	14.55	1.512	0.056	0.069	<b>62.9</b>	
6:40	0.584	0.106	0.143	1.760	2.070	0.033	0.051	22.00	13.72	1.603	0.053	0.082	<b>67.4</b>	
7:00	0.584	0.128	0.120	1.548	1.882	0.043	0.040	22.00	13.43	1.638	0.071	0.065	<b>68.1</b>	
7:20	0.584	0.108	0.133	1.778	1.990	0.034	0.046	22.00	14.00	1.571	0.054	0.072	<b>63.7</b>	
7:40	0.584	0.105	0.126	1.751	1.932	0.033	0.043	22.00	13.00	1.692	0.055	0.072	<b>63.7</b>	
8:00	0.584	0.108	0.123	1.778	1.907	0.034	0.041	22.00	13.80	1.594	0.054	0.065	<b>59.9</b>	
8:20	0.584	0.103	0.118	1.733	1.865	0.032	0.039	22.00	13.12	1.677	0.053	0.065	<b>59.2</b>	
8:40	0.584	0.107	0.121	1.769	1.890	0.034	0.040	22.00	13.33	1.650	0.056	0.066	<b>60.0</b>	
9:00	0.584	0.106	0.123	1.760	1.905	0.033	0.041	22.00	12.75	1.725	0.057	0.071	<b>64.1</b>	
9:20	0.584	0.110	0.124	1.795	1.915	0.035	0.042	22.00	12.78	1.721	0.060	0.072	<b>65.5</b>	
9:40	0.584	0.116	0.125	1.847	1.924	0.038	0.042	22.00	13.40	1.642	0.062	0.069	<b>65.9</b>	
10:00	0.584	0.113	0.128	1.822	1.948	0.036	0.043	22.00	12.94	1.700	0.062	0.074	<b>67.9</b>	
10:20	0.584	0.108	0.124	1.778	1.915	0.034	0.042	22.00	12.91	1.704	0.058	0.071	<b>64.5</b>	
10:40	0.584	0.116	0.125	1.847	1.924	0.038	0.042	22.00	12.81	1.717	0.065	0.072	<b>66.5</b>	
11:00	0.584	0.103	0.121	1.733	1.890	0.032	0.040	22.00	13.02	1.690	0.054	0.068	<b>60.6</b>	

JORNADA 2														
TRAMO 1		AREA					VELOCIDAD			CAUDAL				
DIA	HORA	DIAMETRO INTERNO TUBERIA (m)	LAMINA DE AGUA 1 (m)	LAMINA DE AGUA 2 (m)	ANGULO 1 (°)	ANGULO 2 (°)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 1 (m2)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 2 (m2)	DISTANCIA (m)	TIEMPO FLOTADOR (seg)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL 1 (m3/s)	CAUDAL 2 (m3/s)	CAUDAL PROMEDIO (m3/s)
6:00	0.584	0.108	0.115	1.773	1.834	0.034	0.037	22.00	13.96	1.576	0.053	0.058	<b>55.9</b>	
6:20	0.584	0.105	0.129	1.751	1.957	0.033	0.044	22.00	13.72	1.603	0.052	0.070	<b>61.5</b>	
6:40	0.584	0.107	0.130	1.765	1.961	0.033	0.044	22.00	12.84	1.714	0.057	0.076	<b>64.5</b>	
7:00	0.584	0.108	0.132	1.778	1.977	0.034	0.045	22.00	13.27	1.658	0.057	0.075	<b>65.7</b>	
7:20	0.584	0.107	0.126	1.765	1.932	0.033	0.043	22.00	13.84	1.590	0.053	0.068	<b>60.3</b>	
7:40	0.584	0.109	0.125	1.782	1.919	0.034	0.042	22.00	13.27	1.658	0.057	0.069	<b>63.1</b>	
8:00	0.584	0.102	0.121	1.720	1.886	0.031	0.040	22.00	14.68	1.499	0.047	0.060	<b>53.8</b>	
8:20	0.584	0.095	0.115	1.660	1.834	0.028	0.037	22.00	14.21	1.546	0.044	0.057	<b>56.6</b>	
8:40	0.584	0.104	0.120	1.738	1.882	0.032	0.040	22.00	13.50	1.630	0.052	0.065	<b>58.5</b>	
9:00	0.584	0.098	0.114	1.683	1.826	0.029	0.037	22.00	14.39	1.529	0.048	0.056	<b>56.5</b>	
9:20	0.584	0.101	0.121	1.715	1.886	0.031	0.040	22.00	13.35	1.648	0.051	0.066	<b>58.4</b>	
9:40	0.584	0.101	0.119	1.711	1.869	0.031	0.039	22.00	13.09	1.681	0.052	0.065	<b>58.6</b>	
10:00	0.584	0.102	0.118	1.720	1.865	0.031	0.039	22.00	13.08	1.682	0.052	0.065	<b>58.8</b>	
10:20	0.584	0.119	0.143	1.873	2.064	0.039	0.051	22.00	12.68	1.751	0.068	0.088	<b>77.8</b>	
10:40	0.584	0.140	0.189	2.042	2.420	0.049	0.075	22.00	10.60	2.076	0.102	0.156	<b>128.9</b>	
11:00	0.584	0.194	0.208	2.457	2.557	0.078	0.086	22.00	10.66	2.065	0.181	0.177	<b>188.7</b>	
11:20	0.584	0.233	0.212	3.285	2.582	0.146	0.088	22.00	10.37	2.123	0.310	0.186	<b>248.1</b>	
11:40	0.584	0.260	0.191	2.921	2.431	0.115	0.076	22.00	10.88	2.063	0.238	0.156	<b>197.0</b>	
12:00	0.584	0.129	0.115	1.957	1.839	0.044	0.037	22.00	13.30	1.948	0.086	0.073	<b>79.1</b>	

PUNTO 1														
JORNADA 3		AREA					VELOCIDAD			CAUDAL				
DIA	HORA	DIAMETRO INTERNO TUBERIA (m)	LAMINA DE AGUA 1 (m)	LAMINA DE AGUA 2 (m)	ANGULO 1 (°)	ANGULO 2 (°)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 1 (m2)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 2 (m2)	DISTANCIA (m)	TIEMPO FLOTADOR (seg)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL 1 (m3/s)	CAUDAL 2 (m3/s)	CAUDAL PROMEDIO (m3/s)
6:00	0.584	0.104	0.101	1.742	1.715	0.032	0.031	22.00	13.80	1.594	0.051	0.049	<b>50.4</b>	
6:20	0.584	0.105	0.099	1.751	1.697	0.033	0.030	22.00	13.40	1.642	0.054	0.049	<b>51.6</b>	
6:40	0.584	0.106	0.099	1.760	1.697	0.033	0.030	22.00	12.46	1.766	0.059	0.053	<b>55.9</b>	
7:00	0.584	0.102	0.097	1.724	1.679	0.031	0.029	22.00	11.90	1.849	0.056	0.054	<b>56.0</b>	
7:20	0.584	0.104	0.096	1.742	1.670	0.032	0.029	22.00	14.70	1.497	0.048	0.043	<b>45.7</b>	
7:40	0.584	0.101	0.096	1.715	1.670	0.031	0.029	22.00	11.70	1.880	0.058	0.054	<b>56.2</b>	
8:00	0.584	0.103	0.093	1.733	1.642	0.032	0.027	22.00	11.59	1.898	0.060	0.052	<b>56.3</b>	
8:20	0.584	0.100	0.089	1.706	1.604	0.031	0.026	22.00	11.60	1.897	0.058	0.049	<b>53.4</b>	
8:40	0.584	0.101	0.094	1.715	1.651	0.031	0.028	22.00	11.60	1.897	0.059	0.053	<b>55.8</b>	
9:00	0.584	0.104	0.094	1.742	1.651	0.032	0.028	22.00	11.69	1.882	0.061	0.053	<b>56.4</b>	
9:20	0.584	0.102	0.097	1.724	1.679	0.031	0.029	22.00	11.40	1.930	0.061	0.056	<b>58.5</b>	
9:40	0.584	0.104	0.099	1.742	1.697	0.032	0.030	22.00	11.40	1.930	0.062	0.058	<b>60.2</b>	
10:00	0.584	0.101	0.096	1.715	1.670	0.031	0.029	22.00	11.29	1.949	0.060	0.056	<b>58.2</b>	
10:20	0.584	0.105	0.093	1.751	1.642	0.033	0.027	22.00	11.43	1.925	0.063	0.053	<b>58.0</b>	
10:40	0.584	0.101	0.095	1.715	1.660	0.031	0.028	22.00	11.14	1.975	0.061	0.056	<b>58.6</b>	
11:00	0.584	0.098	0.093	1.683	1.637	0.029	0.027	22.00	11.50	1.913	0.056	0.052	<b>54.2</b>	

Anexo 4. Jornadas de medicion de caudal en en Tramo 2

TRAMO 2														
JORNADA 4		AREA					VELOCIDAD			CAUDAL				
DIA	HORA	DIAMETRO INTERNO TUBERIA (m)	LAMINA DE AGUA 1 (m)	LAMINA DE AGUA 2 (m)	ANGULO 1 (°)	ANGULO 2 (°)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 1 (m2)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 2 (m2)	DISTANCIA (m)	TIEMPO FLOTADOR (seg)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL 1 (m3/s)	CAUDAL 2 (m3/s)	CAUDAL PROMEDIO (m3/s)
6:00	0.584	0.138	0.138	2.030	2.030	0.048	0.048	41.88	36.00	1.163	0.056	0.056	<b>56.3</b>	
6:20	0.584	0.133	0.138	1.990	2.030	0.046	0.048	41.88	35.00	1.196	0.055	0.058	<b>56.4</b>	
6:40	0.584	0.148	0.144	2.110	2.078	0.053	0.051	41.88	34.87	1.201	0.064	0.062	<b>62.9</b>	
7:00	0.584	0.135	0.146	2.006	2.094	0.047	0.052	41.88	34.20	1.224	0.057	0.064	<b>60.8</b>	
7:20	0.584	0.142	0.142	2.058	2.058	0.050	0.050	41.88	34.67	1.208	0.061	0.061	<b>60.5</b>	
7:40	0.584	0.148	0.139	2.110	2.034	0.053	0.049	41.88	34.20	1.224	0.065	0.060	<b>62.5</b>	
8:00	0.584	0.145	0.137	2.082	2.022	0.052	0.048	41.88	34.29	1.221	0.063	0.058	<b>60.8</b>	
8:20	0.584	0.139	0.137	2.034	2.022	0.049	0.048	41.88	35.82	1.169	0.057	0.056	<b>56.4</b>	
8:40	0.584	0.145	0.136	2.082	2.014	0.052	0.047	41.88	35.23	1.189	0.061	0.056	<b>58.8</b>	
9:00	0.584	0.148	0.145	2.106	2.082	0.053	0.052	41.88	35.39	1.183	0.063	0.061	<b>62.0</b>	
9:20	0.584	0.149	0.144	2.114	2.074	0.054	0.051	41.88	35.57	1.177	0.063	0.060	<b>61.7</b>	
9:40	0.584	0.145	0.139	2.082	2.028	0.052	0.049	41.88	33.56	1.248	0.064	0.061	<b>62.7</b>	
10:00	0.584	0.148	0.148	2.106	2.110	0.053	0.053	41.88	34.55	1.212	0.064	0.065	<b>64.6</b>	
10:20	0.584	0.146	0.143	2.094	2.070	0.052	0.051	41.88	35.77	1.171	0.061	0.060	<b>60.4</b>	
10:40	0.584	0.145	0.145	2.086	2.082	0.052	0.052	41.88	35.85	1.168	0.061	0.060	<b>60.5</b>	
11:00	0.584	0.146	0.139	2.090	2.038	0.052	0.049	41.88	34.60	1.210	0.063	0.059	<b>61.1</b>	

TRAMO 2														
JORNADA 5		AREA					VELOCIDAD			CAUDAL				
DIA	HORA	DIAMETRO INTERNO TUBERIA (m)	LAMINA DE AGUA 1 (m)	LAMINA DE AGUA 2 (m)	ANGULO 1 (°)	ANGULO 2 (°)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 1 (m2)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 2 (m2)	DISTANCIA (m)	TIEMPO FLOTADOR (seg)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL 1 (m3/s)	CAUDAL 2 (m3/s)	CAUDAL PROMEDIO (m3/s)
6:00	0.584	0.152	0.131	2.141	1.973	0.055	0.045	41.88	38.455	1.089	0.060	0.049	<b>54.64</b>	
6:20	0.584	0.153	0.143	2.140	2.070	0.056	0.051	41.88	37.868	1.103	0.062	0.056	<b>58.90</b>	
6:40	0.584	0.157	0.144	2.176	2.074	0.058	0.051	41.88	36.065	1.161	0.067	0.059	<b>63.20</b>	
7:00	0.584	0.154	0.145	2.157	2.086	0.056	0.052	41.88	37.120	1.128	0.064	0.059	<b>61.10</b>	
7:20	0.584	0.153	0.141	2.149	2.054</									

Anexo 5. Jornadas de medicion de caudal en en Tramo 3

JORNADA 7														
TRAMO 3		AREA					VELOCIDAD			CAUDAL				
DIA	HORA	DIAMETRO INTERNO TUBERIA (m)	LAMINA DE AGUA 1 (m)	LAMINA DE AGUA 2 (m)	ANGULO 1 (rad)	ANGULO 2 (rad)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 1 (m2)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 2 (m2)	DISTANCIA (m)	TIEMPO FLUJADOR (seg)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL 1 (m3/s)	CAUDAL 2 (m3/s)	CAUDAL PROMEDIO (m3/s)
LUNES	6:00	0,737	0,126	0,184	1,706	2,093	0,048	0,083	75,91	90,60	0,838	0,036	0,061	<b>55,2</b>
	6:20	0,737	0,108	0,178	1,568	2,052	0,039	0,079	75,91	123,60	0,614	0,021	0,042	<b>36,1</b>
	6:40	0,737	0,101	0,174	1,513	2,027	0,035	0,077	75,91	120,00	0,633	0,019	0,042	<b>35,3</b>
	7:00	0,737	0,095	0,166	1,469	1,979	0,032	0,072	75,91	121,20	0,626	0,018	0,039	<b>32,6</b>
	7:20	0,737	0,086	0,159	1,395	1,929	0,028	0,067	75,91	124,20	0,611	0,015	0,036	<b>29,1</b>
	7:40	0,737	0,086	0,148	1,395	1,859	0,028	0,061	75,91	125,40	0,605	0,015	0,032	<b>26,9</b>
	8:00	0,737	0,081	0,147	1,352	1,849	0,025	0,060	75,91	128,40	0,591	0,013	0,031	<b>25,3</b>
	8:20	0,737	0,079	0,141	1,330	1,808	0,024	0,057	75,91	130,80	0,580	0,012	0,029	<b>23,5</b>
	8:40	0,737	0,069	0,129	1,244	1,727	0,020	0,050	75,91	138,60	0,548	0,010	0,024	<b>19,2</b>
	9:00	0,737	0,068	0,125	1,235	1,695	0,020	0,048	75,91	143,10	0,530	0,009	0,022	<b>17,9</b>
	9:20	0,737	0,063	0,126	1,187	1,706	0,018	0,048	75,91	141,30	0,537	0,008	0,023	<b>19,8</b>
	9:40	0,737	0,064	0,122	1,192	1,673	0,018	0,046	75,91	143,70	0,528	0,008	0,021	<b>18,9</b>
	10:00	0,737	0,064	0,124	1,197	1,691	0,018	0,047	75,91	147,30	0,515	0,008	0,021	<b>16,9</b>
	10:20	0,737	0,068	0,125	1,230	1,695	0,020	0,048	75,91	149,70	0,507	0,009	0,021	<b>17,0</b>
	10:40	0,737	0,063	0,124	1,182	1,687	0,017	0,047	75,91	149,10	0,509	0,008	0,021	<b>16,4</b>
	11:00	0,737	0,074	0,119	1,286	1,651	0,022	0,044	75,91	182,70	0,415	0,008	0,016	<b>13,8</b>

JORNADA 8														
TRAMO 3		AREA					VELOCIDAD			CAUDAL				
DIA	HORA	DIAMETRO INTERNO TUBERIA (m)	LAMINA DE AGUA 1 (m)	LAMINA DE AGUA 2 (m)	ANGULO 1 (rad)	ANGULO 2 (rad)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 1 (m2)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 2 (m2)	DISTANCIA (m)	TIEMPO FLUJADOR (seg)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL 1 (m3/s)	CAUDAL 2 (m3/s)	CAUDAL PROMEDIO (m3/s)
MIÉRCOLES	6:00	0,737	0,062	0,125	1,173	1,695	0,017	0,048	75,91	184,8	0,411	0,007	0,020	<b>13,3</b>
	6:20	0,737	0,063	0,117	1,187	1,636	0,018	0,043	75,91	153,0	0,496	0,009	0,021	<b>15,1</b>
	6:40	0,737	0,058	0,123	1,133	1,680	0,015	0,047	75,91	187,8	0,404	0,006	0,019	<b>12,5</b>
	7:00	0,737	0,061	0,117	1,168	1,640	0,017	0,044	75,91	184,5	0,411	0,007	0,018	<b>12,4</b>
	7:20	0,737	0,057	0,120	1,122	1,658	0,015	0,045	75,91	152,1	0,459	0,007	0,022	<b>14,9</b>
	7:40	0,737	0,057	0,119	1,122	1,651	0,015	0,044	75,91	165,3	0,459	0,007	0,020	<b>13,6</b>
	8:00	0,737	0,058	0,114	1,138	1,617	0,016	0,042	75,91	193,2	0,393	0,006	0,016	<b>11,3</b>
	8:20	0,737	0,061	0,114	1,168	1,763	0,017	0,051	75,91	168,3	0,451	0,008	0,024	<b>15,7</b>
	8:40	0,737	0,062	0,125	1,177	1,695	0,017	0,048	75,91	149,4	0,508	0,009	0,024	<b>16,5</b>
	9:00	0,737	0,056	0,120	1,117	1,662	0,015	0,045	75,91	169,5	0,448	0,007	0,020	<b>13,4</b>
	9:20	0,737	0,059	0,119	1,148	1,651	0,016	0,044	75,91	187,2	0,406	0,006	0,018	<b>12,2</b>
	9:40	0,737	0,059	0,116	1,148	1,629	0,016	0,043	75,91	170,7	0,445	0,007	0,019	<b>13,1</b>
	10:00	0,737	0,057	0,114	1,122	1,614	0,015	0,042	75,91	180,9	0,420	0,006	0,017	<b>11,9</b>
	10:20	0,737	0,058	0,116	1,138	1,629	0,016	0,043	75,91	187,8	0,404	0,006	0,017	<b>11,8</b>
	10:40	0,737	0,069	0,117	1,240	1,636	0,020	0,043	75,91	185,4	0,409	0,008	0,018	<b>12,9</b>
	11:00	0,737	0,067	0,118	1,221	1,647	0,019	0,044	75,91	169,8	0,447	0,009	0,020	<b>14,1</b>

JORNADA 9														
TRAMO 3		AREA					VELOCIDAD			CAUDAL				
DIA	HORA	DIAMETRO INTERNO TUBERIA (m)	LAMINA DE AGUA 1 (m)	LAMINA DE AGUA 2 (m)	ANGULO 1 (rad)	ANGULO 2 (rad)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 1 (m2)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 2 (m2)	DISTANCIA (m)	TIEMPO FLUJADOR (seg)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL 1 (m3/s)	CAUDAL 2 (m3/s)	CAUDAL PROMEDIO (m3/s)
VIERNES	6:00	0,737	0,083	0,148	1,365	1,859	0,026	0,061	75,91	128,1	0,593	0,016	0,036	<b>25,9</b>
	6:20	0,737	0,080	0,142	1,339	1,815	0,025	0,057	75,91	129,6	0,586	0,015	0,034	<b>24,0</b>
	6:40	0,737	0,074	0,141	1,290	1,811	0,022	0,057	75,91	134,1	0,566	0,013	0,032	<b>22,4</b>
	7:00	0,737	0,074	0,135	1,286	1,770	0,022	0,054	75,91	132,0	0,575	0,013	0,031	<b>21,7</b>
	7:20	0,737	0,067	0,126	1,221	1,702	0,019	0,048	75,91	139,8	0,543	0,010	0,026	<b>18,3</b>
	7:40	0,737	0,067	0,125	1,221	1,695	0,019	0,048	75,91	146,4	0,519	0,010	0,025	<b>17,3</b>
	8:00	0,737	0,064	0,120	1,197	1,662	0,018	0,045	75,91	182,1	0,417	0,008	0,019	<b>12,2</b>
	8:20	0,737	0,064	0,122	1,197	1,673	0,018	0,046	75,91	164,4	0,462	0,008	0,021	<b>14,8</b>
	8:40	0,737	0,057	0,114	1,122	1,614	0,015	0,042	75,91	149,7	0,507	0,008	0,021	<b>14,4</b>
	9:00	0,737	0,054	0,115	1,097	1,621	0,014	0,042	75,91	170,1	0,446	0,006	0,019	<b>12,6</b>
	9:20	0,737	0,063	0,110	1,182	1,587	0,017	0,040	75,91	166,8	0,455	0,008	0,018	<b>13,0</b>
	9:40	0,737	0,059	0,104	1,143	1,537	0,016	0,036	75,91	191,7	0,396	0,006	0,014	<b>10,3</b>
	10:00	0,737	0,059	0,112	1,148	1,598	0,016	0,041	75,91	191,1	0,397	0,006	0,016	<b>11,2</b>
	10:20	0,737	0,057	0,108	1,122	1,568	0,015	0,039	75,91	187,5	0,405	0,006	0,016	<b>10,8</b>
	10:40	0,737	0,063	0,105	1,187	1,545	0,018	0,037	75,91	165,3	0,459	0,008	0,017	<b>12,5</b>
	11:00	0,737	0,055	0,105	1,107	1,545	0,014	0,037	75,91	168,9	0,449	0,006	0,017	<b>11,5</b>

Anexo 6. Jornadas de medicion de caudal en en Tramo 4

JORNADA 10														
PUNTO 4		AREA					VELOCIDAD			CAUDAL				
DIA	HORA	DIAMETRO INTERNO TUBERIA (m)	LAMINA DE AGUA 1 (m)	LAMINA DE AGUA 2 (m)	ANGULO 1 (rad)	ANGULO 2 (rad)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 1 (m2)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 2 (m2)	DISTANCIA (m)	TIEMPO FLUJADOR (seg)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL 1 (m3/s)	CAUDAL 2 (m3/s)	CAUDAL PROMEDIO (m3/s)
LUNES	6:00	0,584	0	0	0	0	0	0	59,7	0	0	0	0	0
	6:20	0,584	0	0	0	0	0	0	59,7	0	0	0	0	0
	6:40	0,584	0	0	0	0	0	0	59,7	0	0	0	0	0
	7:00	0,584	0	0	0	0	0	0	59,7	0	0	0	0	0
	7:20	0,584	0	0	0	0	0	0	59,7	0	0	0	0	0
	7:40	0,584	0	0	0	0	0	0	59,7	0,0	0	0	0	0
	8:00	0,584	0,126	0,153	1,928	2,145	0,042	0,056	59,7	66,0	0,905	0,038	0,050	<b>44,3</b>
	8:20	0,584	0,103	0,130	1,733	1,965	0,032	0,044	59,7	56,0	1,066	0,034	0,047	<b>40,4</b>
	8:40	0,584	0,123	0,120	1,903	1,882	0,041	0,040	59,7	59,5	1,003	0,041	0,040	<b>40,4</b>
	9:00	0,584	0,125	0,104	1,924	1,738	0,042	0,032	59,7	62,1	0,961	0,040	0,031	<b>35,6</b>
	9:20	0,584	0,123	0,107	1,903	1,765	0,041	0,033	59,7	64,2	0,930	0,038	0,031	<b>34,5</b>
	9:40	0,584	0,128	0,099	1,948	1,697	0,043	0,030	59,7	63,3	0,943	0,041	0,028	<b>34,7</b>
	10:00	0,584	0,127	0,107	1,936	1,769	0,043	0,034	59,7	65,1	0,917	0,039	0,031	<b>35,0</b>
	10:20	0,584	0,124	0,101	1,911	1,711	0,041	0,031	59,7	67,8	0,881	0,036	0,027	<b>31,7</b>
	10:40	0,584	0,129	0,102	1,953	1,720	0,044	0,031	59,7	62,4	0,957	0,042	0,030	<b>35,8</b>
	11:00	0,584	0,125	0,102	1,919	1,720	0,042	0,031	59,7	65,7	0,909	0,038	0,028	<b>33,2</b>

JORNADA 11														
PUNTO 4		AREA					VELOCIDAD			CAUDAL				
DIA	HORA	DIAMETRO INTERNO TUBERIA (m)	LAMINA DE AGUA 1 (m)	LAMINA DE AGUA 2 (m)	ANGULO 1 (rad)	ANGULO 2 (rad)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 1 (m2)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 2 (m2)	DISTANCIA (m)	TIEMPO FLUJADOR (seg)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL 1 (m3/s)	CAUDAL 2 (m3/s)	CAUDAL PROMEDIO (m3/s)
MIÉRCOLES	6:00	0,584	0	0	0	0	0	0	59,7	0	0	0	0	0
	6:20	0,584	0	0	0	0	0	0	59,7	0	0	0	0	0
	6:40	0,584	0,123	0,122	1,907	1,898	0,041	0,041	59,7	69,6	0,858	0,035	0,035	<b>35,0</b>
	7:00	0,584	0,124	0,119	1,915	1,869	0,042	0,039	59,7	67,5	0,884	0,037	0,034	<b>35,6</b>
	7:20	0,584	0,123	0,118	1,903	1,860	0,041	0,038	59,7	63,9	0,934	0,038	0,036	<b>37,0</b>
	7:40	0,584	0,124	0,119	1,915	1,869	0,041	0,039	59,7	67,5	0,884	0,037	0,034	<b>35,5</b>
	8:00	0,584	0,120	0,113	1,877	1,822	0,039	0,036	59,7	65,1	0,917	0,036	0,033	<b>34,8</b>
	8:20	0,584	0,128	0,110	1,944	1,791	0,043	0,035	59,7	64,5	0,926	0,040	0,032	<b>36,1</b>
	8:40	0,584	0,125	0,119	1,919	1,873	0,042	0,039	59,7	66,0	0,905	0,038	0,035	<b>36,6</b>
	9:00	0,584	0,121	0,108	1,886	1,773	0,040	0,034	59,7	65,1	0,917			

Anexo 7. Jornadas de medición de caudal en en Tramo 5

JORNADA 13														
PUNTO S		AREA						VELOCIDAD			CAUDAL			
DIA	HORA	DIAMETRO INTERNO TUBERIA (m)	LAMINA DE AGUA 1 (m)	LAMINA DE AGUA 2 (m)	ANGULO 1 (rad)	ANGULO 2 (rad)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 1 (m2)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 2 (m2)	DISTANCIA (m)	TIEMPO FLOTADOR (seg)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL 1 (m3/s)	CAUDAL 2 (m3/s)	CAUDAL PROMEDIO (m3/s)
6:00	0,584	0	0	0	0	0	0	0	113	0	0	0	0	0
6:20	0,584	0	0	0	0	0	0	0	113	0	0	0	0	0
6:40	0,584	0	0	0	0	0	0	0	113	0	0	0	0	0
7:00	0,584	0	0	0	0	0	0	0	113	0	0	0	0	0
7:20	0,584	0	0	0	0	0	0	0	113	0	0	0	0	0
7:40	0,584	0,130	0,135	1,965	2,006	0,044	0,047	113	72,0	1,569	0,070	0,074	<b>71,7</b>	
8:00	0,584	0,136	0,137	2,014	2,018	0,040	0,048	113	70,8	1,596	0,076	0,076	<b>75,8</b>	
8:20	0,584	0,120	0,121	1,882	1,886	0,040	0,040	113	71,4	1,583	0,063	0,063	<b>62,9</b>	
8:40	0,584	0,097	0,098	1,679	1,683	0,029	0,029	113	84,3	1,340	0,039	0,039	<b>39,3</b>	
11:00	0,584	0,093	0,092	1,642	1,628	0,027	0,027	113	88,8	1,273	0,035	0,034	<b>34,6</b>	
11:20	0,584	0,092	0,090	1,632	1,609	0,027	0,026	113	108,3	1,043	0,028	0,027	<b>27,7</b>	
11:40	0,584	0,080	0,083	1,516	1,541	0,022	0,023	113	88,5	1,277	0,028	0,029	<b>28,8</b>	
12:00	0,584	0,083	0,081	1,546	1,521	0,023	0,022	113	89,7	1,260	0,029	0,028	<b>28,7</b>	
12:20	0,584	0,088	0,081	1,594	1,526	0,025	0,022	113	106,5	1,061	0,027	0,024	<b>25,4</b>	
12:40	0,584	0,080	0,084	1,516	1,556	0,022	0,024	113	94,2	1,200	0,026	0,028	<b>27,5</b>	
13:00	0,584	0,080	0,081	1,516	1,526	0,022	0,022	113	107,7	1,049	0,023	0,024	<b>23,4</b>	

JORNADA 14														
PUNTO S		AREA						VELOCIDAD			CAUDAL			
DIA	HORA	DIAMETRO INTERNO TUBERIA (m)	LAMINA DE AGUA 1 (m)	LAMINA DE AGUA 2 (m)	ANGULO 1 (rad)	ANGULO 2 (rad)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 1 (m2)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 2 (m2)	DISTANCIA (m)	TIEMPO FLOTADOR (seg)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL 1 (m3/s)	CAUDAL 2 (m3/s)	CAUDAL PROMEDIO (m3/s)
6:00	0,584	0	0	0	0	0	0	0	113	0	0	0	0	0
6:20	0,584	0	0	0	0	0	0	0	113	0	0	0	0	0
6:40	0,584	0,129	0,129	1,953	1,953	0,044	0,044	113	61,8	1,828	0,080	0,080	<b>79,9</b>	
7:00	0,584	0,124	0,124	1,911	1,911	0,041	0,041	113	60,6	1,865	0,077	0,077	<b>77,0</b>	
7:20	0,584	0,111	0,111	1,800	1,800	0,035	0,035	113	62,4	1,811	0,064	0,064	<b>63,8</b>	
7:40	0,584	0,107	0,107	1,769	1,769	0,034	0,034	113	66,0	1,712	0,058	0,058	<b>57,6</b>	
8:00	0,584	0,096	0,096	1,670	1,670	0,029	0,029	113	66,0	1,712	0,049	0,049	<b>49,3</b>	
8:20	0,584	0,118	0,118	1,865	1,865	0,039	0,039	113	64,2	1,760	0,068	0,068	<b>68,1</b>	
10:00	0,584	0,097	0,097	1,674	1,674	0,029	0,029	113	70,5	1,603	0,046	0,046	<b>46,5</b>	
11:00	0,584	0,085	0,085	1,565	1,565	0,024	0,024	113	70,8	1,596	0,039	0,039	<b>38,5</b>	
11:20	0,584	0,081	0,081	1,521	1,521	0,022	0,022	113	74,1	1,525	0,034	0,034	<b>34,0</b>	
11:40	0,584	0,076	0,076	1,476	1,476	0,020	0,020	113	74,4	1,519	0,031	0,031	<b>31,1</b>	
12:00	0,584	0,075	0,075	1,461	1,461	0,020	0,020	113	74,4	1,519	0,030	0,030	<b>30,2</b>	
12:20	0,584	0,076	0,076	1,476	1,476	0,020	0,020	113	75,3	1,501	0,031	0,031	<b>30,8</b>	
12:40	0,584	0,075	0,075	1,461	1,461	0,020	0,020	113	77,7	1,454	0,029	0,029	<b>29,0</b>	
13:00	0,584	0,074	0,074	1,450	1,450	0,020	0,020	113	75,9	1,489	0,029	0,029	<b>29,1</b>	

JORNADA 15														
PUNTO S		AREA						VELOCIDAD			CAUDAL			
DIA	HORA	DIAMETRO INTERNO TUBERIA (m)	LAMINA DE AGUA 1 (m)	LAMINA DE AGUA 2 (m)	ANGULO 1 (rad)	ANGULO 2 (rad)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 1 (m2)	AREA MOJADA TRANSVERSAL 2 (m2)	DISTANCIA (m)	TIEMPO FLOTADOR (seg)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL 1 (m3/s)	CAUDAL 2 (m3/s)	CAUDAL PROMEDIO (m3/s)
6:00	0,584	0,115	0,115	1,839	1,839	0,037	0,037	113	76,2	1,483	0,055	0,055	<b>55,3</b>	
6:20	0,584	0,111	0,111	1,800	1,800	0,035	0,035	113	77,7	1,454	0,051	0,051	<b>51,2</b>	
6:40	0,584	0,107	0,107	1,765	1,765	0,033	0,033	113	78,0	1,449	0,048	0,048	<b>48,4</b>	
7:00	0,584	0,099	0,099	1,697	1,697	0,030	0,030	113	80,7	1,400	0,042	0,042	<b>42,1</b>	
7:20	0,584	0,092	0,092	1,632	1,632	0,027	0,027	113	84,9	1,331	0,036	0,036	<b>36,0</b>	
7:40	0,584	0,086	0,086	1,570	1,570	0,024	0,024	113	84,9	1,331	0,032	0,032	<b>32,4</b>	
8:00	0,584	0,081	0,081	1,521	1,521	0,022	0,022	113	88,5	1,277	0,028	0,028	<b>28,5</b>	
9:00	0,584	0,073	0,073	1,445	1,445	0,019	0,019	113	122,7	0,921	0,018	0,018	<b>17,8</b>	
10:00	0,584	0,073	0,073	1,440	1,440	0,019	0,019	113	123,0	0,919	0,018	0,018	<b>17,6</b>	
11:00	0,584	0,063	0,063	1,333	1,333	0,015	0,015	113	123,3	0,916	0,014	0,014	<b>14,1</b>	
11:20	0,584	0,065	0,065	1,355	1,355	0,016	0,016	113	120,9	0,935	0,015	0,015	<b>15,1</b>	
11:40	0,584	0,060	0,060	1,305	1,305	0,015	0,015	113	132,0	0,856	0,012	0,012	<b>12,4</b>	
12:00	0,584	0,061	0,061	1,316	1,316	0,015	0,015	113	126,6	0,899	0,013	0,013	<b>13,3</b>	
12:20	0,584	0,061	0,061	1,316	1,316	0,015	0,015	113	125,4	0,901	0,013	0,013	<b>13,4</b>	
12:40	0,584	0,060	0,060	1,299	1,299	0,014	0,014	113	123,9	0,912	0,013	0,013	<b>13,1</b>	
13:00	0,584	0,060	0,060	1,305	1,305	0,015	0,015	113	123,0	0,919	0,013	0,013	<b>13,3</b>	

Anexo 8. Chequeo hidraulico con el caudal del diseño teorico (QD) en el Tramo 5

Tramo	Longitud	Áreas tributarias			Calculo Q Agua Residual							S terreno	S colector	Sección plena			Relaciones				Velocidad real	Fuerza tractiva	Energia				Tramo			
		Area propia	Area acumulada	Area Total	Qmd AR	Factor de Mayoración	Factor de Mayoración max	QMH	Q Conexiones erradas	Q Infiltración	QD			ϕ	Qo	Vo	R	q/Qo	v/V0	d/Do			R/Ro	m/s	Nim2	v <sup>2</sup> /2g		Ya	E	m
1	113,00			253,68	33,93	2,5	2,5	84,93	50,74	12,68	148,35	23	0,5842	1,150	0,006	437,46	1,63	0,14	0,34	0,75	0,45	0,93	1,22	7,79	0,08	0,26	0,34	0,0		

**Anexo 9.** Cheques hidraulicos con los caudales medidos en las jornadas de aforos (Qmd-QMH-Qcomb) en el Tramo 5

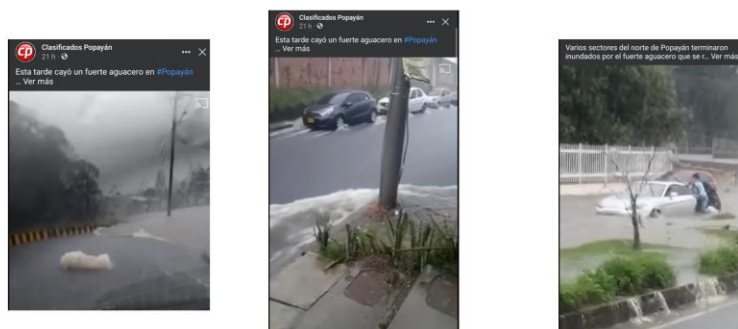
Caudales		ϕ		S terreno	S colector	Sección plena			Relaciones				Velocidad real	Fuerza tractiva
Qaforados	QD					Qo	Vo	R	q/Qo	v/V0	d/Do	R/Ro		
L/s	L/s	"	m	%	m/m	L/s	m/s	m					m/s	N/m2
Qmd	95,20	23	0,5842	1,150	0,006	437,46	1,63	0,11	0,22	0,66	0,35	0,78	1,08	6,53
QMH	124,00	23	0,5842	1,150	0,006	437,46	1,63	0,13	0,28	0,71	0,41	0,87	1,16	7,31
Qcomb	328,00	23	0,5842	1,150	0,006	437,46	1,63	0,17	0,75	0,96	0,72	1,19	1,57	9,94

**Anexo 10.** Fallo en el funcionamiento hidráulico del sistema del interceptor Cauca – uno por obstrucción



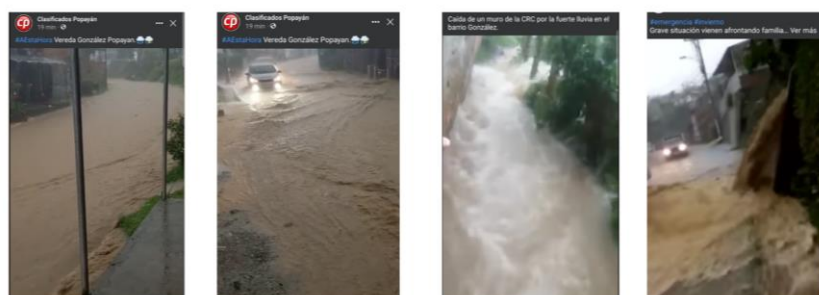
Obstrucción en el sistema

**Anexo 11.** Baja capacidad hidraulica de evacuacion de aguas lluvias e inundaciones presentadas en el sector del colector V.Norte



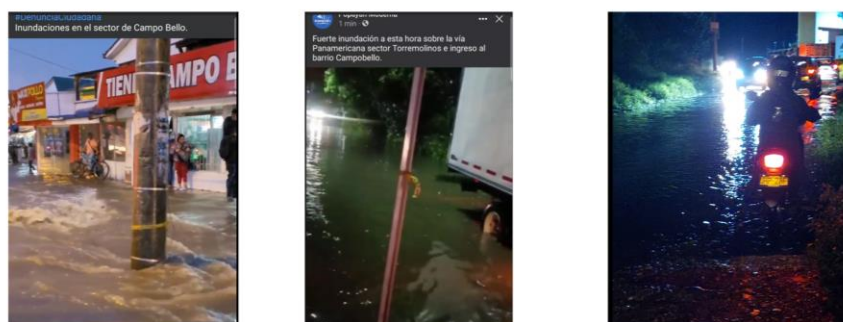
Colector V. Norte

**Anexo 12.** Baja capacidad hidraulica de evacuacion de aguas lluvias e inundaciones presentadas en el sector del colector V.Gonzales



Colector V. Gonzales

**Anexo 13.** Inundaciones presentadas en las areas de servicio del colector Cauca 1 por la baja capacidad hidraulica en cuestion a la evacuacion de aguas lluvias



Colector Cauca 1

**Anexo 14.** Evidencias de residuos sólidos encontrados en las redes y cámaras de inspección del sistema del Interceptor Cauca – uno

Residuos solidos  
encontrados en las redes



**Anexo 15.** Evidencias de conexiones erradas evidenciadas en uno de los tramos que se aforaron



Evidencias  
de  
conexiones  
erradas en  
el Tramo 3