



Diagnóstico de problemática de drenaje de aguas lluvias y análisis de alternativas, del Centro Comercial Campanario, en Popayán – Departamento del Cauca.



CENTRO COMERCIAL CAMPANARIO

Diagnóstico de problemática de drenaje de aguas lluvias y análisis de alternativas, del Centro Comercial Campanario, en Popayán – Departamento del Cauca.

ESTUDIO TÉCNICO

ING. RAFAEL CLEMENT OLIVEROS

SANTIAGO DE CALI, JUNIO DEL 2021

Tabla de contenido

1.	<u>DATOS E INFORMACIÓN DEL PERITO</u>	<u>6</u>
2.	<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>8</u>
3.	<u>RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN</u>	<u>8</u>
4.	<u>LOCALIZACIÓN GENERAL</u>	<u>9</u>
5.	<u>ANÁLISIS DE REGISTROS DE PRECIPITACIONES.....</u>	<u>10</u>
5.1.	<u>CURVAS IDF</u>	<u>11</u>
5.1.1.	MARCO TEÓRICO	11
5.1.2.	RESULTADOS.....	12
5.2.	<u>ANÁLISIS DE FRECUENCIAS.....</u>	<u>13</u>
5.2.1.	MARCO TEÓRICO	13
5.2.2.	RESULTADOS.....	17
6.	<u>CAUDALES PROBABLES</u>	<u>21</u>
6.1.	<u>METODOLOGÍA.....</u>	<u>21</u>
6.1.1.	MÉTODO RACIONAL.....	21
6.1.2.	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	22
6.2.	<u>RESULTDOS</u>	<u>23</u>
6.2.1.	CUENCAS EXTERNAS.....	23
6.2.2.	CÁLCULO DE CAUDALES	25
7.	<u>DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA</u>	<u>28</u>

	<p align="center">Diagnóstico de problemática de drenaje de aguas lluvias y análisis de alternativas, del Centro Comercial Campanario, en Popayán – Departamento del Cauca.</p>	
---	--	---

7.1. EVENTOS HISTÓRICOS	28
7.2. INSPECCIONES IN SITU DEL SISTEMA DE DRENAJE EXTERNO	34
7.3. ANÁLISIS DEL DRENAJE SUPERFICIAL DE AGUAS EXTERNAS	36
7.3.1. MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL DE DETALLE	36
7.3.2. MODELO DE DIRECCIONES Y ACUMULACIÓN DE FLUJO CON TOPOGRAFÍA DE DETALLE	37
7.3.3. MODELO DE DIRECCIONES Y ACUMULACIÓN DE FLUJO CON TOPOGRAFÍA DE SATELITAL (12.5 M/PIX)	40
7.3.4. CAPACIDAD HIDRÁULICA DE VÍAS Y CAUDALES DESBORDADOS	42
7.4. ANÁLISIS DE COLECTOR DE LA AVENIDA PAPAL	47
7.5. CONCLUSIONES DIAGNÓSTICO.....	48
 8. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	 50
 9. CONCLUSIONES.....	 52
 10. ANEXOS	 53
 11. BIBLIOGRAFÍA	 54

LISTADO DE FIGURAS

Figura 4.1 Mapa de localización general del proyecto	9
Figura 5.1 Mapa de localización general de estaciones.....	10
Figura 5.2 Curvas IDF estación Aeropuerto L G Valencia (IDEAM)	13
Figura 5.3 Distribución de probabilidad acumulada – Serie estación Aeropuerto G L Valencia	17
Figura 5.4 Distribución de probabilidad acumulada – Serie estación Sate	19
Figura 6.1 Cuencas de drenaje urbano (Modelo de elevación digital)	23
Figura 6.2 Cuencas de drenaje urbano (Google Hybrid)	24
Figura 7.1 Captura de inundación C.C. Campanario 03-10-2018 (Fuente: Radio Super Popayán).....	29
Figura 7.2 Captura de inundación C.C. Campanario 12-03-2021 (Fuente: Novedades Televisión Popayán)	31
Figura 7.3 Fotografía de inundación C.C. Campanario 31-05-2021 (Fuente: C.C. Campanario)	33
Figura 7.4 Fotografía de interior de colector Calle 25N y Carrera 15	34
Figura 7.5 Fotografía separador Avenida 25N (Google Street, 2019)	35
Figura 7.6 Mapa de modelo digital de elevaciones en el sector del C.C. Campanario (Detalle).....	36
Figura 7.7 Mapa de dirección de flujo en sector del C.C. Campanario (Detalle)	38
Figura 7.8 Mapa de acumulación de flujo en sector del C.C. Campanario (Detalle)	40
Figura 7.9 Mapa de acumulación de flujo en sector del C.C. Campanario (Macro).....	42
Figura 7.10 Esquema de distribución del sentido de flujo de aguas superficiales en vías	44
Figura 7.11 Esquema en planta de alternativa 01 – Aguas lluvias	47

LISTADO DE TABLAS

Tabla 5.1. Ficha técnica de estaciones (IDEAM)	11
Tabla 5.2. Cuantiles superiores para Kolmogorov.....	15
Tabla 5.3. Valores percentiles para la distribución Chi – Cuadrado con v grados de libertad	16
Tabla 5.4. Resultados de precipitaciones proyectadas según datos de estación Aeropuerto G L Valencia	18
Tabla 5.5. Resultados de precipitaciones proyectadas según datos de estación Sate..	19
Tabla 6.1. Resultados de cálculo de tiempo de concentración cuencas externas	25
Tabla 6.2. Periodo de retorno según Art. 135 (RAS 2017)	25
Tabla 6.3. Coeficiente de escorrentía.....	26
Tabla 6.4. Resultados de caudales de cuencas externas.....	27
Tabla 7.1 Resultados de caudales de capacidad máxima en vías	43
Tabla 7.2 Caudales máximos.....	45
Tabla 7.3 Resultados de caudales desbordados en las vías.....	46

	<p align="center">Diagnóstico de problemática de drenaje de aguas lluvias y análisis de alternativas, del Centro Comercial Campanario, en Popayán – Departamento del Cauca.</p>	
---	--	---

1. DATOS E INFORMACIÓN DEL PERITO

El presente informe de diagnóstico técnico fue realizado con carácter de dictamen, para el cual, se especifican a continuación, la procedencia, según lo consagrado en el artículo 226 del Código General del Proceso.

Elaborado por

Rafael Clement Oliveros a título de persona natural.
Ingeniero Civil de la Pontificia Universidad Javeriana.
Master of Science (Msc) en hidrología e hidráulica del Politécnico de Torino.

En el Anexo 1, se entrega la información personal del profesional a cargo.

Información de contacto

Dirección : Calle 14 Oeste # 2D-04
Celular : +57 323 363 1728
Cédula : C.C. 1.144.052.558
Matrícula profesional : M.P. 76202-333735 VLL

Experiencia profesional

En el Anexo 2 se entrega documentación que demuestra la experiencia profesional en el ejercicio de consultorías en el área de hidrología e hidráulica, aplicado al territorio sea rural o urbano.

Casos anteriores con participación en dictamen pericial

Ninguno.
No se tiene participación en curso en ningún caso con objeto de dictamen.

Exclusión de la lista

Ing. Civil Msc Rafael Clement Oliveros

	<p align="center">Diagnóstico de problemática de drenaje de aguas lluvias y análisis de alternativas, del Centro Comercial Campanario, en Popayán – Departamento del Cauca.</p>	
---	--	---

Yo Rafael Clement Oliveros, declaro que no pertenezco a las exclusiones como auxiliar de la justicia, según el artículo 50 del Código General del Proceso.

Metodologías empleadas

Declaro que las metodologías empleadas para el presente estudio, no son diferentes a aquellos que se emplean regularmente en mi ejercicio como ingeniero consultor en el campo de la hidrología e hidráulica. En efecto, son metodologías, también relacionadas con efectos de diseño.

Ing. Civil Msc Rafael Clement Oliveros

2. INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene como finalidad realizar un diagnóstico de la problemática existente de inundaciones constantes que se vienen presentando bajo ciertas circunstancias por diversos factores detonantes los cuales generan ese tipo de fenómenos, todo este análisis se lleva a cabo desde una perspectiva hidrológica e hidráulica, pero también de manera integral determinando así las condiciones de precipitación-escorrentía existentes con la intención de poder generar diferentes alternativas de solución para el manejo integral de las aguas de escorrentía en el Centro Comercial Campanario.

3. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se realiza una recopilación de información propia al centro comercial y se recopila adicionalmente información secundaria, que permita complementar el estudio. La información recopilada fue la siguiente:

- Modelo de elevación digital ALOS PALSAR (Resolución 12.5 m) de la zona de estudio.
- Curvas IDF de estación con registros de precipitaciones cercana a la zona de estudio, de la red climatológica del IDEAM.
- Levantamiento topográfico de la zona de interés.
- Trazado de redes existentes en el C.C Campanario.
- Conceptos varios para modificaciones del manejo de las aguas lluvias.

4. LOCALIZACIÓN GENERAL

La zona de estudio se encuentra en zona urbana de la cabecera municipal de Popayán en el departamento del Cauca, al sur-occidente de Colombia. El proyecto objeto de estudio corresponde al Centro Comercial Campanario, ubicado al occidente de la intersección entre la avenida Papal (Calle 25N) y la vía Panamericana (Carrera 9).

El centroide del centro comercial, se encuentra a aproximadamente 650 m del extremo nor-oriental de la pista de aterrizaje del aeropuerto del municipio de Popayán. En la **Figura 4.1** se presenta el mapa de localización general del proyecto estudiado.

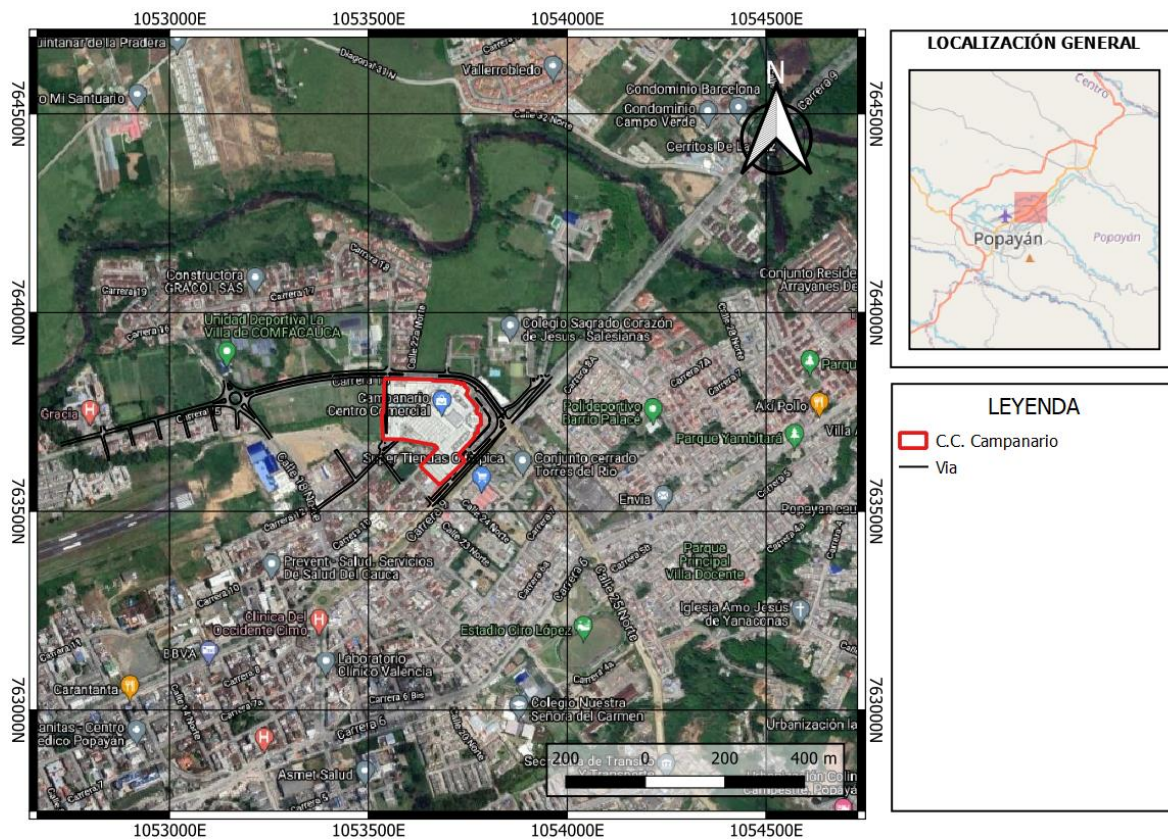


Figura 4.1 Mapa de localización general del proyecto

5. ANÁLISIS DE REGISTROS DE PRECIPITACIONES

A través del portal de consultas de estaciones de la red climatológica del IDEAM, se identifican aquellas estaciones con series históricas (más de 15 años) en la el sector del municipio de Popayán. Se encuentran dos estaciones cercanas, de las cuales, la más cercana es la estación Aeropuerto G L Valencia, a cerca de 1.70 km del centroide del C.C Campanario. En la **Figura 4.1** se presenta el mapa de localización de las estaciones de interés, y en la **Tabla 5.1** se presentan sus respectivas fichas técnicas.

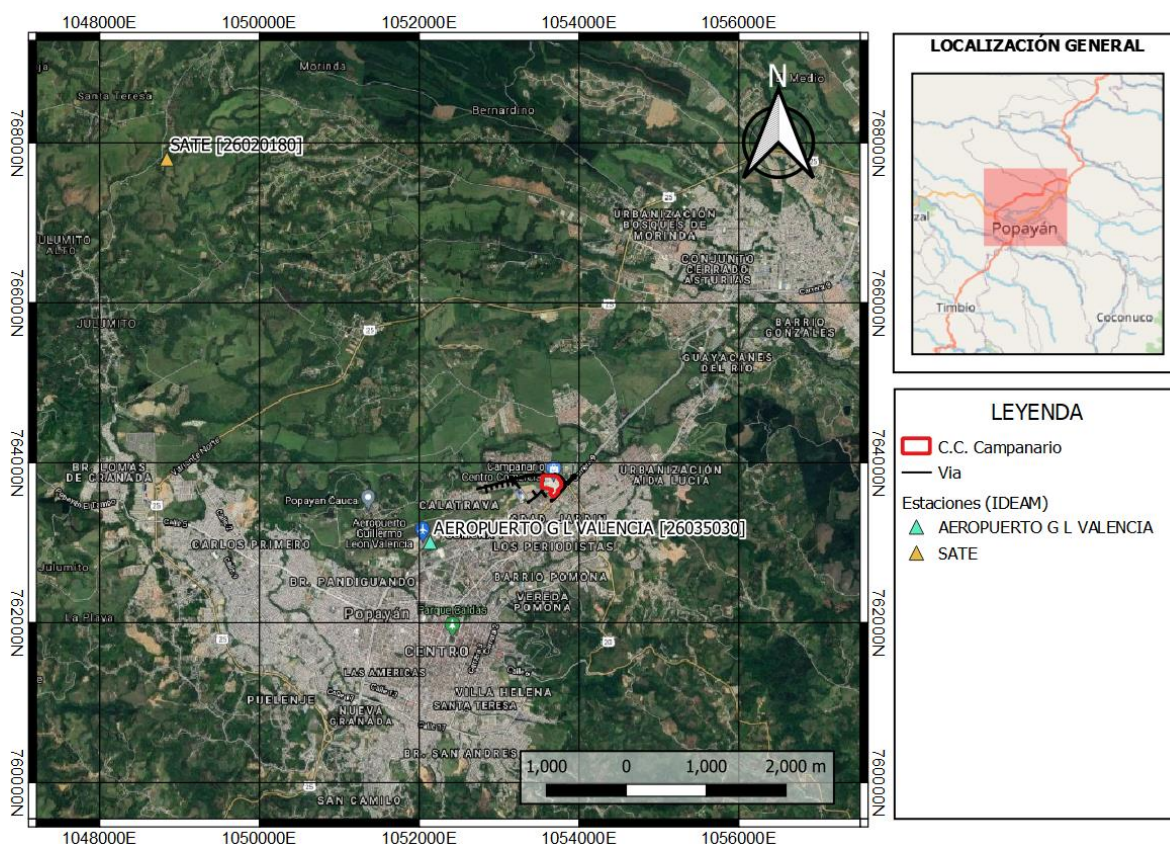


Figura 5.1 Mapa de localización general de estaciones

Tabla 5.1. Ficha técnica de estaciones (IDEAM)

Estación	Aeropuerto G L Valencia	Sate
Código	26035030	26020180
Departamento	Cauca	Cauca
Municipio	Popayán	Popayán
Categoría	Sináptica	Pluviométrica
Latitud	2.452888889	2.49625
Longitud	-76.60875	-76.63836111
Altitud	1752	1742
Entidad	IDEAM	IDEAM
Fecha de inicio	15/06/1941	15/05/1970

5.1.CURVAS IDF

5.1.1. Marco teórico

El estudio de los eventos extremos de precipitación mediante las curvas de intensidad – duración - frecuencia (IDF), es una de las principales herramientas para la estimación de tormentas de diseño en el cálculo de caudales máximos de diseño, asociadas a un cierto período de retorno o nivel dado de probabilidad de no excedencia. La metodología tradicional para estimar las curvas IDF considera que los cuantiles de igual probabilidad están determinísticamente ligados por una expresión empírica. Puesto que, en la mayoría de los casos, no se dispone de datos de precipitación suficientes, habitualmente se recurre a fórmulas empíricas para la estimación de las curvas IDF estimando los valores de los parámetros correspondientes al lugar de interés.

El IDEAM, considera diferentes estaciones con sus propias curvas IDF, específicas a cada estación. Al consultar cualquiera de las curvas IDF que existen para las diferentes estaciones, se tienen los parámetros de ajuste para la ecuación siguiente:

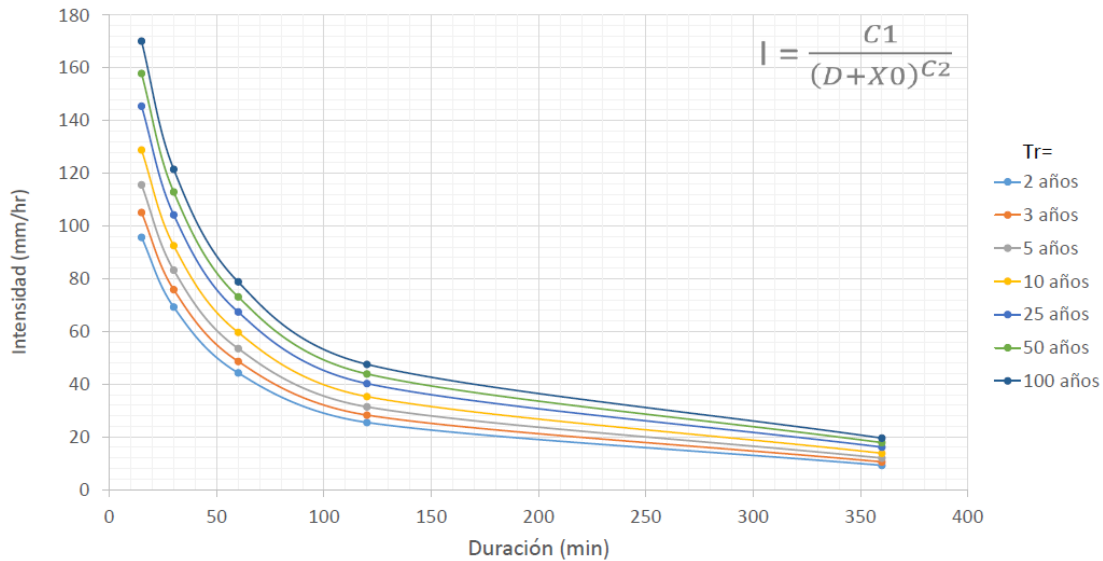
$$I = \frac{C1}{(D+X0)^{C2}}$$

Ecuación 1

Donde D es la duración de la lluvia, en minutos y el resultado de la intensidad, está dado en mm/hr. Luego, las constantes están ajustadas para cada periodo de retorno.

5.1.2. Resultados

Se realiza el cálculo de las diferentes intensidades para la curva IDF, de la estación Aeropuerto G L Valencia (Código: 2603503), obtenida a través del portal de consulta del IDEAM, con una ventana temporal de datos comprendida entre 1974 y 2010, y publicado en diciembre de 2016. Las curvas presentadas se han calculado a partir de las constantes determinadas por el IDEAM, para las precipitaciones de la estación mencionada, es decir se trata de las curvas IDF específicas a esta estación. El documento donde se presentan las curvas IDF, la ecuación y sus respectivas constantes, se obtuvo a través del portal de consulta de la red climatológica del IDEAM.



TR (años)	C1	X0	C2
2	4813.654	26.564	1.051
3	4341.871	24.450	1.012
5	4022.922	22.598	0.979
10	3794.207	20.788	0.946
25	3656.696	19.055	0.914
50	3618.443	18.045	0.895
100	3614.472	17.208	0.880

D (min)	I _{TR=2}	I _{TR=3}	I _{TR=5}	I _{TR=10}	I _{TR=25}	I _{TR=50}	I _{TR=100}
15	95.7	105.2	115.8	129.1	145.9	158.4	170.8
30	69.3	75.6	82.7	91.6	102.8	111.1	119.3
60	44.5	49.1	54.3	60.9	69.1	75.3	81.3
120	25.0	27.8	31.0	34.9	39.9	43.5	47.2
360	9.5	10.7	11.9	13.5	15.6	17.0	18.5

Figura 5.2 Curvas IDF estación Aeropuerto L G Valencia (IDEAM)

5.2. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS

5.2.1. Marco teórico

El análisis de frecuencias mediante funciones de distribución de probabilidad permite aproximar el comportamiento de fenómenos naturales, tales como la lluvia o caudales, mediante un modelo probabilístico. Con estas funciones se puede aproximar un valor (lluvia o caudal, por ejemplo) asociado a la probabilidad ocurrencia, la cual depende directamente del período de retorno.

Entre un gran número de funciones de distribución de probabilidad (FDP), se emplean en especial, pues se ajustan de manera adecuada con el comportamiento de lluvias máximas en la zona continental del occidente colombiano. A continuación, se presentan las mencionadas funciones. Donde en cada función (x) representa la variable que en

estudios hidrológicos puede tratarse de caudales o precipitación, por ejemplo; μ la media de la muestra y σ la desviación.

- **Log-Pearson III:**

Esta función de distribución de probabilidad es una de las más usadas en hidrología, junto con su forma no logarítmica (Pearson III), presenta un excelente ajuste con valores máximos.

$$f(x) = \frac{1}{x|\beta|\Gamma(\alpha)} \left(\frac{\ln(x)-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} * \exp \left(-\frac{\ln(x)-\gamma}{\beta} \right) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde α y β son parámetros de forma y escala respectivamente y γ el parámetro de localización, los cuales se definen de la siguiente manera.

$$\alpha = \left(\frac{2}{Cs} \right)^2; \quad \beta = \frac{Cs}{2} S_y; \quad Cs = \frac{\sigma}{\mu} \quad \text{Ecuación 3}$$

- **Log-Normal:**

Se ajusta a variables extremas en hidrología, tanto mínimas como máximas y permite una reducción de la mayor proporción de los datos mayores al hacer uso de logaritmos.

$$f(x) = \frac{\exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma} \right)^2 \right)}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \quad \text{Ecuación 4}$$

- **Gumbel:**

Se emplea en diferentes campos, donde se evalúan valores extremos (mínimos y máximos), cuando se analizan valores máximos la distribución de Gumbel se ajusta a través de la teoría de los valores extremos.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp(-1 - \exp(-z)) \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde: $z = \frac{x-\mu}{\sigma}$

Por otro lado, en la probabilidad se realizan pruebas para determinar la discrepancia entre los valores observados y los valores esperados en el modelo de estudio,

denominadas pruebas de bondad. Estas ayudan a corroborar si los datos de la muestra se ajustan a la distribución de probabilidad utilizada. En este caso las pruebas de bondad usadas fueron:

- **Kolmogorov- Smirnov:**

La prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra es un procedimiento de "bondad de ajuste" que pertenece a la familia de las pruebas no paramétricas y permite medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica específica. Su objetivo es señalar si los datos provienen de una población que tiene la distribución teórica especificada, es decir, compara si las observaciones podrían razonablemente proceder de la distribución especificada. A continuación, se muestran los valores cuantiles superiores de la distribución estadística de Kolmogorov-Smirnov según la abstracción de Lindgren (1962).

Tabla 5.2. Cuantiles superiores para Kolmogorov.

Tamaño de muestra	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.3	0.34	0.4
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
40	0.19	0.21	0.25
$n > 40$	$1.22/\sqrt{n}$	$1.36/\sqrt{n}$	$1.63/\sqrt{n}$

Fuente: *Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers, Jack R. B.*

- **Chi-Cuadrado**

La prueba de bondad Chi-Cuadrado o χ^2 relaciona la consistencia del ajuste a través del error cuadrático medio. Usualmente se compara el resultado de la prueba de bondad, con los valores asociados a una significancia $S = 0.05$, para m grados de libertad. El valor de Chi-Cuadrado (también denotado C , para la variable resultante de la prueba de bondad), debe ser menor que el valor asociado a sus grados de libertad y significancia, según la siguiente tabla.

Tabla 5.3. Valores percentiles para la distribución Chi – Cuadrado con v grados de libertad

ν	$\chi^2_{0.995}$	$\chi^2_{0.99}$	$\chi^2_{0.975}$	$\chi^2_{0.95}$	$\chi^2_{0.90}$	$\chi^2_{0.75}$	$\chi^2_{0.50}$	$\chi^2_{0.25}$	$\chi^2_{0.10}$	$\chi^2_{0.05}$	$\chi^2_{0.025}$	$\chi^2_{0.01}$	$\chi^2_{0.005}$
1	7.88	6.63	5.02	3.84	2.71	1.32	0.455	0.102	0.0158	0.0039	0.0010	0.0002	0.0000
2	10.6	9.21	7.38	5.99	4.61	2.77	1.39	0.575	0.211	0.103	0.0506	0.0201	0.0100
3	12.8	11.3	9.35	7.81	6.25	4.11	2.37	1.21	0.584	0.352	0.216	0.115	0.072
4	14.9	13.3	11.1	9.49	7.78	5.39	3.36	1.92	1.06	0.711	0.484	0.297	0.207
5	16.7	15.1	12.8	11.1	9.24	6.63	4.35	2.67	1.61	1.15	0.831	0.554	0.412
6	18.5	16.8	14.4	12.6	10.6	7.84	5.35	3.45	2.20	1.64	1.24	0.872	0.676
7	20.3	18.5	16.0	14.1	12.0	9.04	6.35	4.25	2.83	2.17	1.69	1.24	0.989
8	22.0	20.1	17.5	15.5	13.4	10.2	7.34	5.07	3.49	2.73	2.18	1.65	1.34
9	23.6	21.7	19.0	16.9	14.7	11.4	8.34	5.90	4.17	3.33	2.70	2.09	1.73
10	25.2	23.2	20.5	18.3	16.0	12.5	9.34	6.74	4.87	3.94	3.25	2.56	2.16
11	26.8	24.7	21.9	19.7	17.3	13.7	10.3	7.58	5.58	4.57	3.82	3.05	2.60
12	28.3	26.2	23.3	21.0	18.5	14.8	11.3	8.44	6.30	5.23	4.40	3.57	3.07
13	29.8	27.7	24.7	22.4	19.8	16.0	12.3	9.30	7.04	5.89	5.01	4.11	3.57
14	31.3	29.1	26.1	23.7	21.1	17.1	13.3	10.2	7.79	6.57	5.63	4.66	4.07
15	32.8	30.6	27.5	25.0	22.3	18.2	14.3	11.0	8.55	7.26	6.26	5.23	4.60
16	34.3	32.0	28.8	26.3	23.5	19.4	15.3	11.9	9.31	7.96	6.91	5.81	5.14
17	35.7	33.4	30.2	27.6	24.8	20.5	16.3	12.8	10.1	8.67	7.56	6.41	5.70
18	37.2	34.8	31.5	28.9	26.0	21.6	17.3	13.7	10.9	9.39	8.23	7.01	6.26
19	38.6	36.2	32.9	30.1	27.2	22.7	18.3	14.6	11.7	10.1	8.91	7.63	6.84
20	40.0	37.6	34.2	31.4	28.4	23.8	19.3	15.5	12.4	10.9	9.59	8.26	7.43
21	41.4	38.9	35.5	32.7	29.6	24.9	20.3	16.3	13.2	11.6	10.3	8.90	8.03
22	42.8	40.3	36.8	33.9	30.8	26.0	21.3	17.2	14.0	12.3	11.0	9.54	8.64
23	44.2	41.6	38.1	35.2	32.0	27.1	22.3	18.1	14.8	13.1	11.7	10.2	9.26
24	45.6	43.0	39.4	36.4	33.2	28.2	23.3	19.0	15.7	13.8	12.4	10.9	9.89
25	46.9	44.3	40.6	37.7	34.4	29.3	24.3	19.9	16.5	14.6	13.1	11.5	10.5
26	48.3	45.6	41.9	38.9	35.6	30.4	25.3	20.8	17.3	15.4	13.8	12.2	11.2
27	49.6	47.0	43.2	40.1	36.7	31.5	26.3	21.7	18.1	16.2	14.6	12.9	11.8
28	51.0	48.3	44.5	41.3	37.9	32.6	27.3	22.7	18.9	16.9	15.3	13.6	12.5
29	52.3	49.6	45.7	42.6	39.1	33.7	28.3	23.6	19.8	17.7	16.0	14.3	13.1
30	53.7	50.9	47.0	43.8	40.3	34.8	29.3	24.5	20.6	18.5	16.8	15.0	13.8
40	66.8	63.7	59.3	55.8	51.8	45.6	39.3	33.7	29.1	26.5	24.4	22.2	20.7
50	79.5	76.2	71.4	67.5	63.2	56.3	49.3	42.9	37.7	34.8	32.4	29.7	28.0
60	92.0	88.4	83.3	79.1	74.4	67.0	59.3	52.3	46.5	43.2	40.5	37.5	35.5
70	104.2	100.4	95.0	90.5	85.5	77.6	69.3	61.7	55.3	51.7	48.8	45.4	43.3
80	116.3	112.3	106.6	101.9	96.6	88.1	79.3	71.1	64.3	60.4	57.2	53.5	51.2
90	128.3	124.1	118.1	113.1	107.6	98.6	89.3	80.6	73.3	69.1	65.6	61.8	59.2
100	140.2	135.8	129.6	124.3	118.5	109.1	99.3	90.1	82.4	77.9	74.2	70.1	67.3

Fuente: INVIAS, 2011

5.2.2. Resultados

Para el análisis de frecuencias de las precipitaciones máximas diarias, se emplearon las series de precipitaciones de las estaciones Aeropuerto G L Valencia y Sate, de la red climatológica del IDEAM, en términos de una serie de valores máximos diarios anuales.

Se ingresan los datos de la estación Aeropuerto G L Valencia al software para los análisis estadísticos y probabilístico Easyfit, en el cual se obtiene el siguiente gráfico que represente el ajuste a través de la probabilidad acumulada de los ajustes y la muestra; posteriormente se presentan los resultados tabulares.

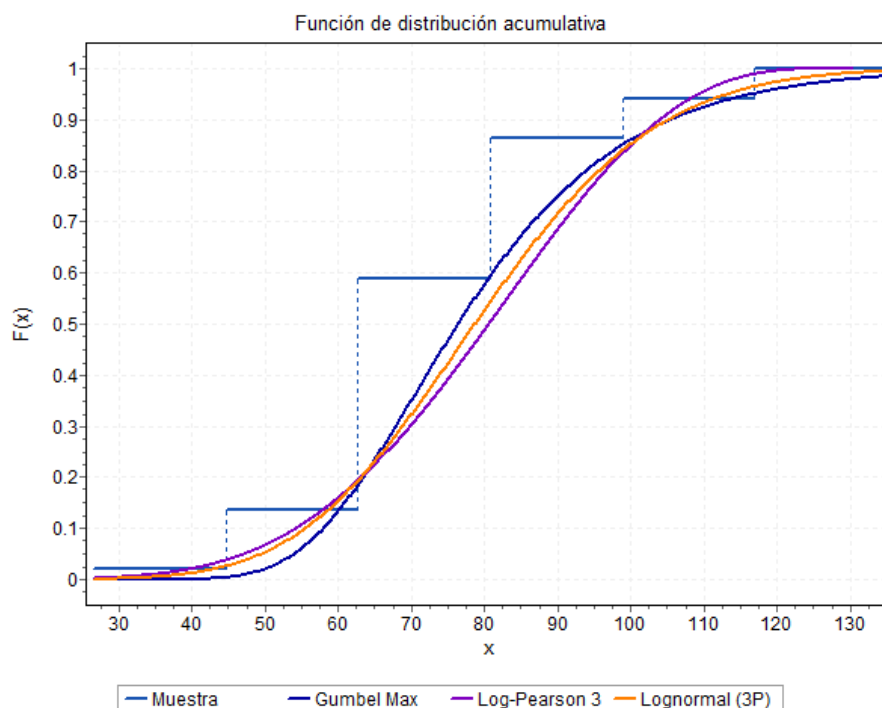


Figura 5.3 Distribución de probabilidad acumulada – Serie estación Aeropuerto G L Valencia

Como se puede observar en los resultados de pruebas de bondad de la **Tabla 5.4**, la función de probabilidad con la cual se presentó el mejor ajuste, para la serie de precipitaciones máximas de Aeropuerto G L Valencia, fue la función Gumbel, para valores máximos. Se satisface una confiabilidad del 5%, en las pruebas de bondad de Kolmogorov-Smirnov y Xi-Cuadrado, es decir que el ajuste se ajuste de manera confiable a la muestra.

Tabla 5.4. Resultados de precipitaciones proyectadas según datos de estación Aeropuerto G L Valencia

ESTACIÓN AEROPUERTO G L VALENCIA (IDEAM)			
TR	LOG Pearson III	Log-Normal	Gumbel
5	96.59	95.63	93.84
10	103.87	105.07	105.40
20	109.16	113.18	116.49
30	111.82	117.84	123.03
50	114.29	122.66	130.85
100	117.22	129.19	141.61
Kolgomorov Smirnov	0.09863	0.08993	0.06705
Kolg. Smirnov - Teó	0.19044	0.19044	0.19044
K-S - Cumple 5%	SI	SI	SI
Chi-Cuadrado - Exp	NA	4.2672	3.9697
Chi-Cuadrado - Teo	11.07	11.07	11.07
X² - Cumple 5%	NO	SI	SI
Orden	3	2	1

Para cálculos posteriores se empleará el ajuste resultante a través de la función de probabilidad Gumbel.

Luego, se ingresan los datos de la estación Sate al software para los análisis estadísticos y probabilístico Easyfit, en el cual se obtiene el siguiente gráfico que represente el ajuste

a través de la probabilidad acumulada de los ajustes y la muestra; posteriormente se presentan los resultados tabulares.

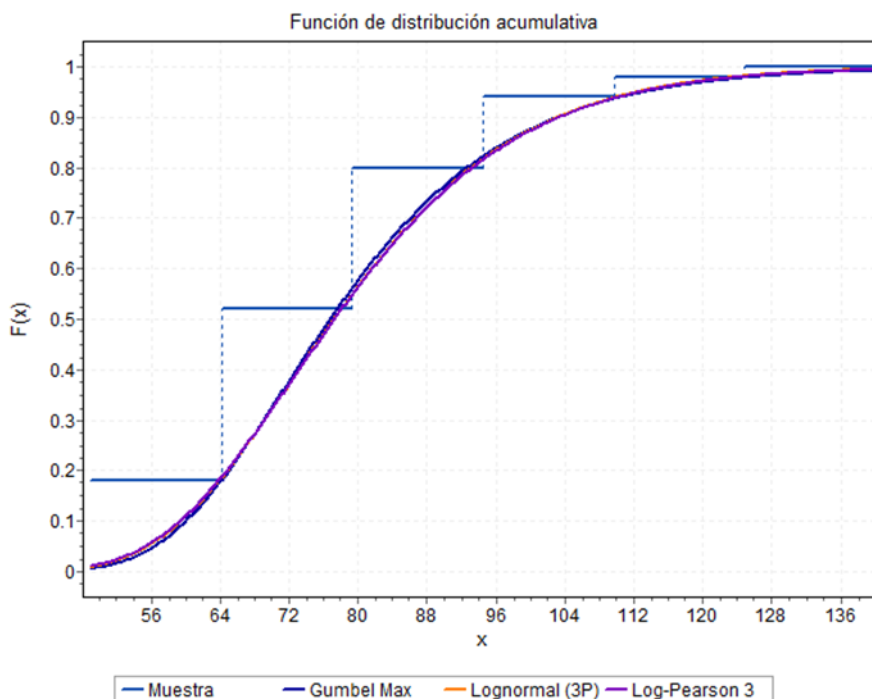


Figura 5.4 Distribución de probabilidad acumulada – Serie estación Sate

Como se puede observar en los resultados de pruebas de bondad de la **Tabla 5.4**, la función de probabilidad con la cual se presentó el mejor ajuste, para la serie de precipitaciones máximas de Sate, fue la función Gumbel, para valores máximos. Se satisface una confiabilidad del 5%, en las pruebas de bondad de Kolmogorov-Smirnov y Xi-Cuadrado, es decir que el ajuste se ajuste de manera confiable a la muestra.

Tabla 5.5. Resultados de precipitaciones proyectadas según datos de estación Sate

ESTACIÓN SATE (IDEAM)			
TR	LOG Pearson III	Log-Normal	Gumbel
5	93.16	93.10	92.57

	Diagnóstico de problemática de drenaje de aguas lluvias y análisis de alternativas, del Centro Comercial Campanario, en Popayán – Departamento del Cauca.	
---	--	---

ESTACIÓN SATE (IDEAM)			
TR	LOG Pearson III	Log-Normal	Gumbel
10	103.24	103.09	103.05
20	112.64	112.37	113.11
30	118.41	118.00	119.37
50	124.57	124.05	126.12
100	133.42	132.66	135.87
Kolgomorov Smirnov	0.06133	0.0616	0.07033
Kolg. Smirnov - Teó	0.19233	0.19233	0.19233
K-S - Cumple 5%	SI	SI	SI
Chi-Cuadrado - Exp	0.6171	0.6176	2.1577
Chi-Cuadrado - Teo	11.07	11.07	11.07
X ² - Cumple 5%	SI	SI	SI
Orden	1	2	3

Para cálculos posteriores se empleará el ajuste resultante a través de la función de probabilidad Log-Pearson III.

6. CAUDALES PROBABLES

El objetivo principal de este capítulo es determinar los caudales máximos probables que lleguen al C.C. Campanario, a través de las vías circundantes, con base a la topografía macroscópica (Modelo de elevación digital, ALOS PALSAR) y las observaciones de imágenes satelitales.

6.1.METODOLOGÍA

6.1.1. Método racional

Para el cálculo de los caudales máximos aportantes a cada una de las obras de drenaje, se utilizará el método racional que se basa teóricamente en la ocurrencia de una lluvia con intensidad (I) que empieza en forma instantánea y continúa en forma indefinida, la tasa de escorrentía continuará hasta que se llegue al tiempo de concentración T_c , en el cual toda la cuenca está contribuyendo al flujo en la salida. El producto de la intensidad de lluvia I y el área de la cuenca A es el caudal de entrada al sistema, $I*A$, y la relación entre este caudal y el caudal pico Q (que ocurre en el tiempo T_c) se conoce como el coeficiente de escorrentía C ($0 \leq C \leq 1$), (Chow et al., 1994). Expresado dentro de la fórmula racional como:

$$Q = \frac{A*I*C}{3.6} \quad \text{Ecuación 6}$$

En donde

- Q: Caudal de aguas lluvias (m^3/s)
- C: Coeficiente de escorrentía adimensional
- I: Intensidad de la lluvia (mm/hr)
- A: Área que por topografía drena al tramo (km^2)

Según el artículo 135 (RAS, 2017) es válido aplicar este método siempre y cuando el área de drenaje sea inferior a las 80 hectáreas.

6.1.2. Tiempo de concentración

El tiempo mínimo en el cual se alcanza el caudal máximo es conocido como tiempo de concentración, y para sistemas de recolección de aguas lluvias, se define este como la suma del tiempo de entrada (T_e) y el tiempo de recorrido (T_t).

El tiempo de entrada se calcula empleando la ecuación de la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos. Esta ecuación es recomendada por el RAS y se presenta a continuación.

$$T_e = \frac{0.707 * (1.1 - C) * L^{0.5}}{S^{0.5}}$$

Ecuación 7

En donde

- T_e Tiempo de entrada (min)
- C Coeficiente de escorrentía adimensional
- L Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m)
- S Pendiente media entre el punto más alejado y el punto de entrada (m/m)

El tiempo de recorrido, se define como el periodo de tiempo que tarda una partícula de agua en recorrer el sistema de recolección de aguas lluvias, desde el punto de entrada. Se emplea la ecuación propuesta en el RAS:

$$T_t = \frac{L}{60 * v}$$

Ecuación 8

En donde

- T_t : Tiempo de recorrido (min)
- L : Longitud del tramo (m)
- V : Velocidad media del flujo (m/s)

Según el artículo 135 de la resolución 330 de 2017 (RAS, 2017) se deberá emplear un tiempo de concentración entre 3 y 10 minutos, convencionalmente, en otras metodologías se emplea hasta tiempos de concentración mínimos de 15 min, luego se adopta para este estudio, un tiempo de concentración mínimo de 10 minutos, con el fin de no sobredimensionar las obras para el drenaje pluvial.

6.2.RESULTADOS

Para el análisis de las cuencas de drenaje urbano, en el sector de campanario, se emplea el modelo de elevación digital, con resolución 12.5 m, el cual se muestra a continuación, con la respectiva localización de las cuencas. Para el trazado de las mismas, se consideró el mapa de acumulación de flujo presentado en el apartado 7.3.3.

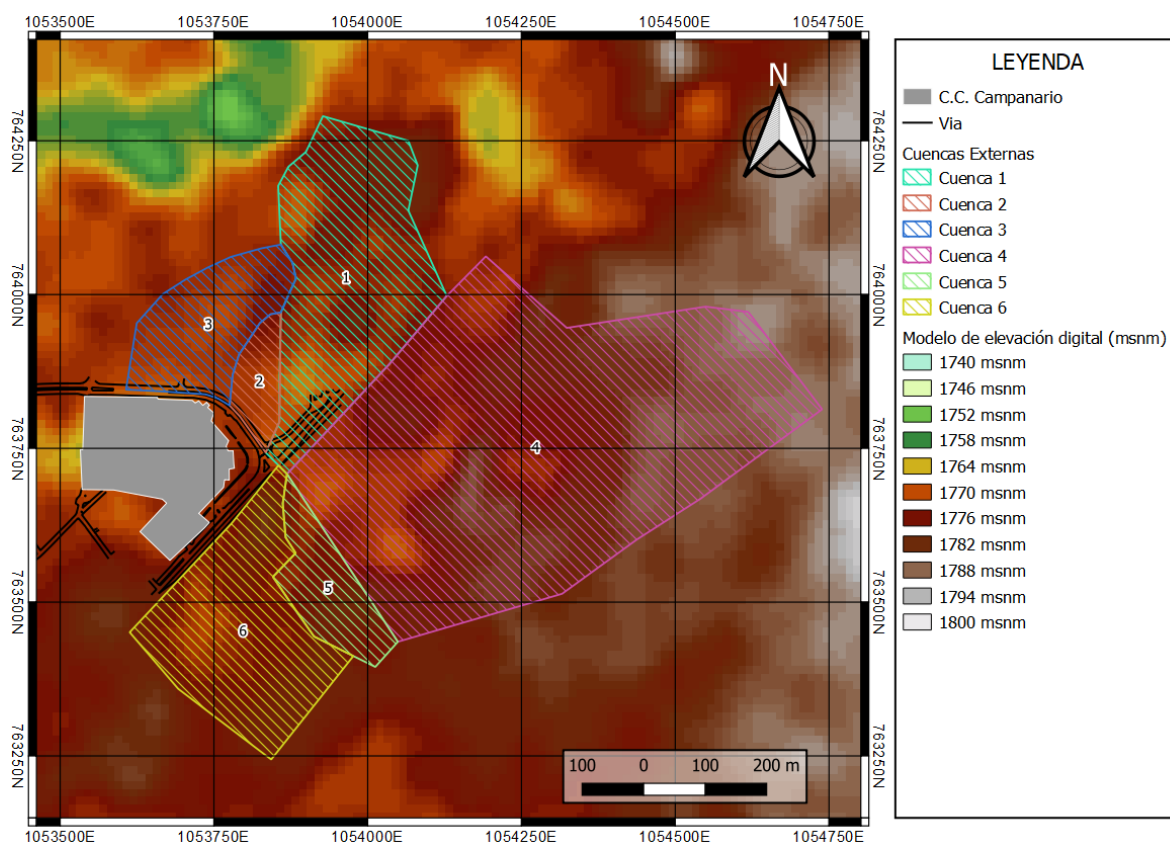


Figura 6.1 Cuencas de drenaje urbano (Modelo de elevación digital)

6.2.1. Cuencas externas

Se identifican 6 cuencas urbanas externas, las cuales drenan hacia el sector del C.C. Campanario, en la **Figura 6.2** se presenta la respectiva localización de las cuencas, con el mapa de base de Google Hybrid.

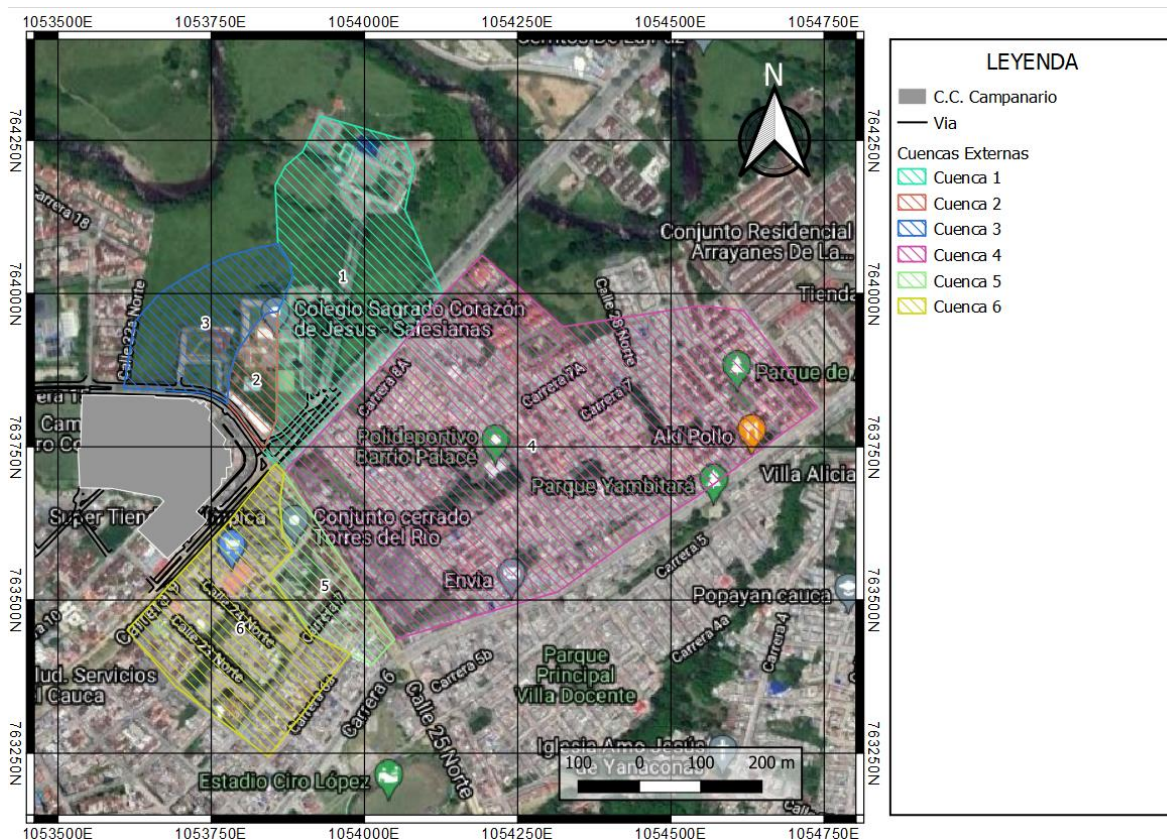


Figura 6.2 Cuencas de drenaje urbano (Google Hybrid)

Se extraen los parámetros de pendiente, longitud del encauzamiento principal de las aguas y la respectiva promedio de cada cuenca, así mismo, se determina con estas variables se calcula el tiempo de concentración, cuyos resultados se reportan en la tabla a continuación.

	Diagnóstico de problemática de drenaje de aguas lluvias y análisis de alternativas, del Centro Comercial Campanario, en Popayán – Departamento del Cauca.	
---	--	---

Tabla 6.1. Resultados de cálculo de tiempo de concentración cuencas externas

Cuenca	Área	Tiempo de concentración						
		Tiempo de entrada			V _{asum}	T _t	T _c	T _{c ajustado}
		L	S	Te				
AD	m ²	m	m/m	min	m/s	min	min	min
1	100349.50	389.00	8.255	0.97	0.70	9.26	10.23	10.23
2	12600.80	200.00	5.446	0.86	0.70	4.76	5.62	10.00
3	41018.90	181.00	5.210	0.83	0.70	4.31	5.14	10.00
4	300816.80	983.00	6.926	2.95	0.70	23.40	26.35	26.35
5	26043.60	331.00	7.902	0.92	0.70	7.88	8.80	10.00
6	76881.90	467.00	7.096	1.15	0.70	11.12	12.27	12.27

6.2.2. Cálculo de caudales

Para el cálculo de los caudales de las cuencas urbanas externas se requiere calcular una intensidad de lluvia, a partir del tiempo de concentración. El RAS 2017, en su artículo 135 especifica el periodo de retorno de diseño para colectores pluviales, en función de las áreas captadas.

Tabla 6.2. Periodo de retorno según Art. 135 (RAS 2017)

Características del área de drenaje	Período de retorno (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

Se cuenca con cuencas con áreas que varían entre 1.3 a 30.1 Ha, se aginan para las áreas inferiores a 10 Ha, un periodo de retorno de 1 vez en 5 años, mientras que, para áreas mayores, un periodo de retorno de 1 vez en 10 años.

Con respecto al coeficiente de escorrentía denotado C, se emplean los valores propuestos por la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHA), los cuales se presentan a continuación.

Tabla 6.3. Coeficiente de escorrentía

Tipo de área de drenaje	Rango
Zona céntrica	0.70-0.95
Zonas residuales	0.50-0.70
Residencial:	
Zonas unifamiliares	0.30-0.50
Unidades múltiples, independientes	0.40-0.60
Unidades múltiples, dependientes	0.60-0.75
Suburbano	0.25-0.40
Áreas de viviendas de apartamentos	0.50-0.70
Industrial:	
Zonas blandas	0.50-0.80
Zonas duras	0.60-0.90
Parques, cementerios	0.10-0.25
Patios	0.20-0.40
Patios de vías férreas	0.20-0.40
Áreas no intervenidas	0.10-0.30
Suelo:	
Suelo arenoso, plano, < 2%	0.05-0.10
Suelo arenoso, promedio, 2 to 7%	0.10-0.15
Suelo arenoso, inclinado, > 7%	0.15-0.20
Tierra pesada, plano, < 2%	0.13-0.17
Tierra pesada, promedio, 2 to 7%	0.18-0.22
Tierra pesada, inclinado, > 7%	0.25-0.35
Calles:	
Asfalto	0.70-0.95
Concreto	0.80-0.95
Ladrillos	0.70-0.85
Vías y senderos	0.75-0.85
Cubiertas	0.75-0.95

Fuente: Tabla 5.7 (Federal Highway Administration, 2002)

Se emplea de forma conservadora, considerando la saturación parcial del suelo, un coeficiente de escorrentía de 0.95 para todas las cuencas, salvo para la Cuenca 04, donde para esta donde se tiene el área más grande, existe una proporción mayor de agua que ingrese al sistema de alcantarillado, es decir, que no resultará en escorrentía superficial en el punto de interés, en la intersección de Calle 25N con Carrera 9; para la Cuenca 04 se emplea un coeficiente de escorrentía de 0.75.

Tabla 6.4. Resultados de caudales de cuencas externas

Cuenca	Área	Cálculo de caudal de diseño			
		Tr	I	C	Q
AD	m ²	años	mm/hr		m ³ /s
1	100349.50	10	147.24	0.90	3.69
2	12600.80	5	132.78	0.90	0.42
3	41018.90	5	132.78	0.90	1.36
4	300816.80	10	99.10	0.75	6.21
5	26043.60	5	132.78	0.90	0.86
6	76881.90	5	124.32	0.90	2.39

7. DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA

En el diagnóstico de la problemática se recopila en primer lugar la información histórica disponible que permita conocer los eventos que se han presentado, para posteriormente realizar un análisis hidrológico e hidráulico, que permita comprender el comportamiento del drenaje superficial de las aguas lluvias del sector de Campanario y su posible relación con las inundaciones presentadas en el centro comercial.

7.1. EVENTOS HISTÓRICOS

Con base a información propia del C.C. Campanario y artículos de noticia, investigados para el presente informe, se estudian los eventos para los cuales se presentaron inundaciones en el Centro Comercial. Los eventos históricos a los cuales se hace referencia en el presente apartado, se consultaron a través de los portales web de periódicos, cuyos enlaces se encuentran en la bibliografía.

- **Inundación 03 de octubre de 2018**

Según el periódico la campana, el día 03 de octubre del año 2018, se presentó una inundación en el centro comercial, que alcanzó una profundidad de lámina de agua de 40 cm en el primer piso, afectando 200 locales comerciales. El título de este artículo, publicado el 04 de octubre de 2018 es: "No es un problema de Campanario, es un problema de toda la zona". Posteriormente, aclara que el centro comercial debió evacuar las aguas que habían ingresado, provenientes de las vías Calle 25N y Carrera 9. Dicha información fue consultada, en la página web del Periódico La Campana, en el enlace siguiente:

<https://www.periodicolacampana.com/no-es-un-problema-de-campanario-es-un-problema-de-toda-la-zona/>.

En la fotografía, tomada de un video de la noticia del 03 de octubre de 2018, publicado por Radio Super Popayán, se observa la inundación de las aguas dentro del centro

comercial. Cabe destacar, que al observar la estela de agua se forma, con el pie de la persona que sale del interior del C.C Campanario, sugiere una dirección del flujo hacia el interior del centro comercial, es decir, el agua proviene de afuera. Lo cual es soportado, por la rampa de acceso, que se ve a lo lejos en la izquierda de la fotografía, la cual facilita el ingreso de las aguas desbordadas de la calle, hacia el interior del centro comercial. Para generar los niveles de inundación que se observan, en la fotografía, esto es posible únicamente si la vía se convierte en un canal, drenando las aguas superficialmente y no a través de su sistema de recolección urbano de aguas lluvias.



Figura 7.1 Captura de inundación C.C. Campanario 03-10-2018 (Fuente: Radio Super Popayán)

Según los reportes de precipitaciones de la estación Sináptica del IDEAM “Aeropuerto G L Valencia”, se presenta el día 03 de octubre del año 2018, una precipitación de 24.0

	<p align="center">Diagnóstico de problemática de drenaje de aguas lluvias y análisis de alternativas, del Centro Comercial Campanario, en Popayán – Departamento del Cauca.</p>	
---	--	---

mm, es asociado a un periodo de retorno de 1 vez en 1 año, además, se contaba con un antecedente de precipitación acumulada de 5 días, de 59.0 mm, lo cual favorece la escorrentía superficial.

La condición de antecedente de humedad probablemente favoreció la inundación. Además, cabe resaltar que estos datos son medidos en un punto específico, que, si bien es cercano a la zona del proyecto, pueden existir variaciones y haberse presentado valores mayores en el sector específico del C.C. Campanario.

- **Inundación 12 de marzo de 2021**

En el centro comercial se presentaron inundaciones, según el artículo de noticias “Lluvias en Popayán: reportan inundación en centro comercial Campanario” del periodo El Tiempo. En este artículo hacen referencia a múltiples fuentes de registros en video, de lo sucedido aquel día, en uno de estos videos, cuya fuente original corresponde al canal “Novedades Televisión Popayán”, a continuación, se presenta una captura de uno del video, donde se observa que se presenta una inundación con una profundidad de lámina de agua cercana a los 25 cm.



Figura 7.2 Captura de inundación C.C. Campanario 12-03-2021 (Fuente: Novedades Televisión Popayán)

Para esta fecha no se cuenta con registros de precipitaciones de la estación Aeropuerto G L Valencia (la más cercana), sin embargo, se cuenta con información de otra estación cercana con registros de precipitaciones. El día 12 de marzo 2021, se presentó una precipitación en esta estación de 2 mm, sin embargo, en los días anteriores, del 09 al 11 de octubre del mismo año, se presentan precipitaciones diarias de 43, 4 y 10 mm en orden cronológico. La precipitación de mayor magnitud (43 mm) en este lapso de tiempo de días anteriores al evento de inundación, puede asociarse a un periodo de retorno de 1 vez en 1 año aproximadamente.

Lo anterior permite demostrar que se presentaron lluvias en los días anteriores a la inundación, que condicionaron la saturación del suelo y posiblemente las condiciones del

colector de la avenida papal (dada su condición de colmatación), lo cual para una lluvia que pudo ser más fuerte en el sector de campanario, generando el desbordamiento de las aguas.

- **Inundación 31 de mayo de 2021**

Según lo reporta el perfil del Centro Comercial, el día 31 de mayo de 2021, se presentaron precipitaciones, que resultaron en la inundación de la Calle 25N (avenida papal). En la **Figura 7.3** se presenta una fotografía tomada en sitio, donde es posible observar que la lámina de agua supera el nivel del andén y del separador, con una profundidad probable de 25 cm de lámina de agua, en las zonas más profundas.

Para esta fecha no se cuenta con registros de precipitaciones de ninguna de las estaciones de la red climatológica del IDEAM, a la fecha actual de la consulta.



Figura 7.3 Fotografía de inundación C.C. Campanario 31-05-2021 (Fuente: C.C. Campanario)

Las inundaciones del año presente, permite inferir que el sistema de recolección pluvial en la zona es deficiente ante las lluvias que se presentan en el sector, dado que, para 2 eventos de lluvia, se tienen registros de una lámina que desborda la capacidad del colector, almacenándose superficialmente sobre la vía, las cuales son a su vez superadas ingresando y perjudicando los diferentes predios adyacentes a las vías.

7.2.INSPECCIONES IN SITU DEL SISTEMA DE DRENAJE EXTERNO

Si bien, ante la sospecha por parte del centro comercial que las inundaciones estuvieran relacionadas con la capacidad del colector, de la Calle 25N, que posteriormente continúa a través de la Carrera 15; el C.C. Campanario, realiza una inspección visual al interior del colector, donde se encuentra que las tuberías en concreto se encuentran sedimentadas, dejando libre únicamente cerca de un 20% a 15% de la capacidad de la tubería en la parte superior (ver **Figura 7.4**). Luego, según el artículo 151 de la resolución 330 de 2017, la profundidad máxima en un colector pluvial/combinado, no podrá exceder una profundidad de flujo superior al 93% del diámetro, lo cual deja una capacidad útil de cerca del 13% en el mejor de los casos, en condiciones de diseño, y cerca del 20% para tubería con flujo lleno. Luego, las raíces sugieren que existen varias penetraciones en las paredes o juntas del colector, por lo cual, se podría esperar infiltración en condiciones de suelo saturado. Los sedimentados que ocupan el 80% de la sección aproximadamente, generan, además, una condición de rugosidad superior que reduce la capacidad de evacuar las aguas, con velocidades menores.

Adicionalmente, en estas fotografías se observa múltiples raíces que han penetrado el colector, en las fotografías tomadas en el mes de agosto del año 2019, a continuación.



Figura 7.4 Fotografía de interior de colector Calle 25N y Carrera 15

Las raíces que se observan que han penetrado el colector, según las observaciones de este análisis, es muy probable que provengan de los árboles que se encuentran en el

separador. Como es posible ver en la **Figura 7.5**, se evidencian las raíces de los árboles extenderse a más de 3 metros aproximadamente con respecto al árbol, lo cual a su vez podría ocurrir en profundidad, de tal manera que logre afectar el colector combinado, resultando así en el ingreso de raíces como se observó en las imágenes anteriores.



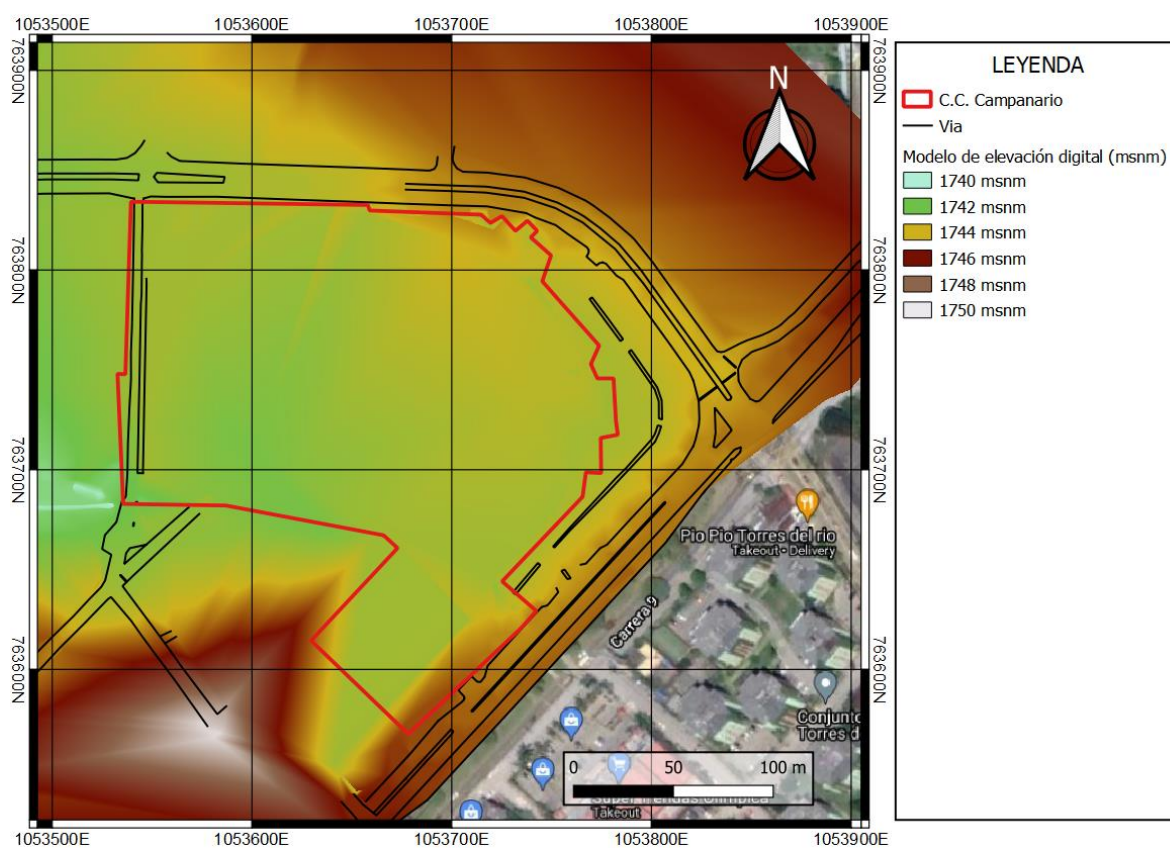
Figura 7.5 Fotografía separador Avenida 25N (Google Street, 2019)

El grado de colmatación que ha alcanzado el sistema, demuestra que se han realizado pocas labores de mantenimiento y limpieza en el colector, por parte de la empresa encargada o del responsable de tal tarea.

7.3. ANÁLISIS DEL DRENAJE SUPERFICIAL DE AGUAS EXTERNAS

7.3.1. Modelo de elevación digital de detalle

Para el análisis detallado del comportamiento del drenaje de las aguas externas en proximidad del C.C. Campanario, se genera el modelo de elevación digital, a partir de las curvas de nivel del levantamiento topográfico. A continuación, se presenta el modelo de elevación de detalle en la zona correspondiente al centro comercial.



**Figura 7.6 Mapa de modelo digital de elevaciones en el sector del C.C. Campanario
(Detalle)**

7.3.2. Modelo de direcciones y acumulación de flujo con topografía de detalle

Con el fin de estudiar el posible comportamiento del flujo de aguas superficiales resultantes de escorrentía de lluvia, se emplean modelos de dirección y acumulación de flujo, a través del análisis de un modelo de elevación digital generado a partir de las curvas de nivel del levantamiento topográfico. Para ello se emplean las herramientas del módulo GRASS disponibles en el software Quatum GIS (QGIS), en su versión 3.14, de libre acceso, el cual se caracteriza por sus amplias aplicaciones en el campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Como primer resultado se obtiene el mapa de dirección de drenaje, el cual se complementa con el direccionamiento promedio en expresión vectorial. En la **Figura 7.7** se presenta el mapa de dirección de flujo, en la zona de interés, correspondiente al centro comercial Campanario, y sus respectivos elementos vectoriales.

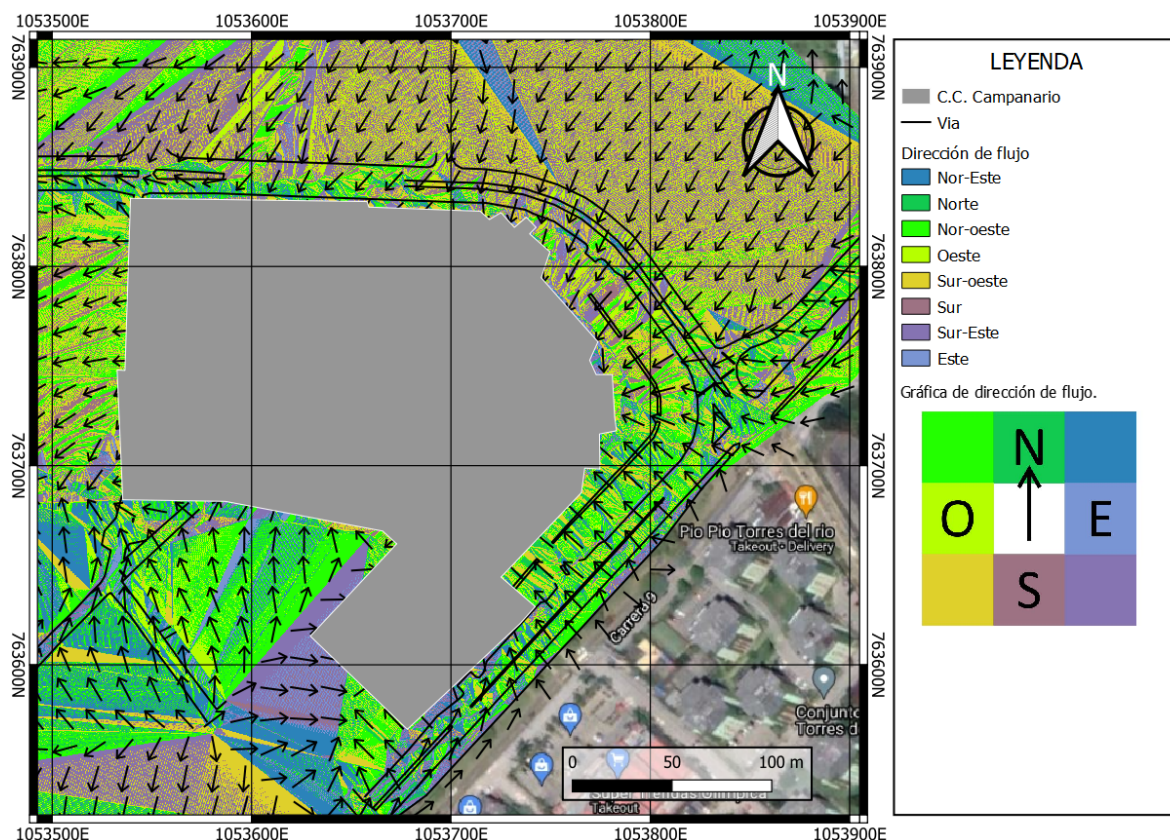


Figura 7.7 Mapa de dirección de flujo en sector del C.C. Campanario (Detalle)

Se observa que en la intersección de la Calle 25N y la Carrera 9N el flujo se dirige directamente hacia el interior del predio del centro comercial, en efecto, esto se debe a que la rasante de la vía se encuentra a un nivel superior al del centro comercial. Sin embargo, si el sistema de alcantarillado municipal funciona de manera apropiada, acorde a las normativas para diseños hidráulicos (RAS 2000 y 2017) y las recomendaciones de seguridad vial, el agua no debe superar por ninguna circunstancia la altura del sardinel o andén, en otras palabras, la vía no puede convertirse en un canal de aguas lluvias. Dicho esto, aunque drene hacia el centro comercial, y exista una diferencia de nivel, si el sistema de recolección de aguas lluvias funcionará de forma adecuada, no ocurrirían los fenómenos de inundación que se han presentado.

Se observa que este direccionamiento del flujo no se presenta únicamente en la intersección; en efecto, este mismo se extiende aproximadamente 150 m en la Carrera

9 y sobre toda la carrera 25N hasta el cambio de dirección que a su paso da lugar a la Carrera 15, a lo largo de cerca de 485 metros. En la zona sur se observa que también el flujo es propenso a dirigirse hacia el interior del centro comercial, sin embargo, esto puede no ser determinante dada su cercanía con la quebrada Machángara y considerando que hay una vía en la zona que permite evacuar hacia el sur-occidente hacia un punto más bajo que el centro comercial. En ese orden de ideas, según este análisis el foco del posible ingreso de aguas superficiales externas proviene de la Calle 25N y Carrera 9.

Adicionalmente, se determinó el modelo de acumulación de flujo para el modelo de elevación digital del terreno resultado de la topografía de detalle levantada por el Centro Comercial Campanario. En la **Figura 7.8**, se presenta el modelo de acumulación de flujo superficial de las aguas, con las flechas correspondiente al direccionamiento vectorial del agua.

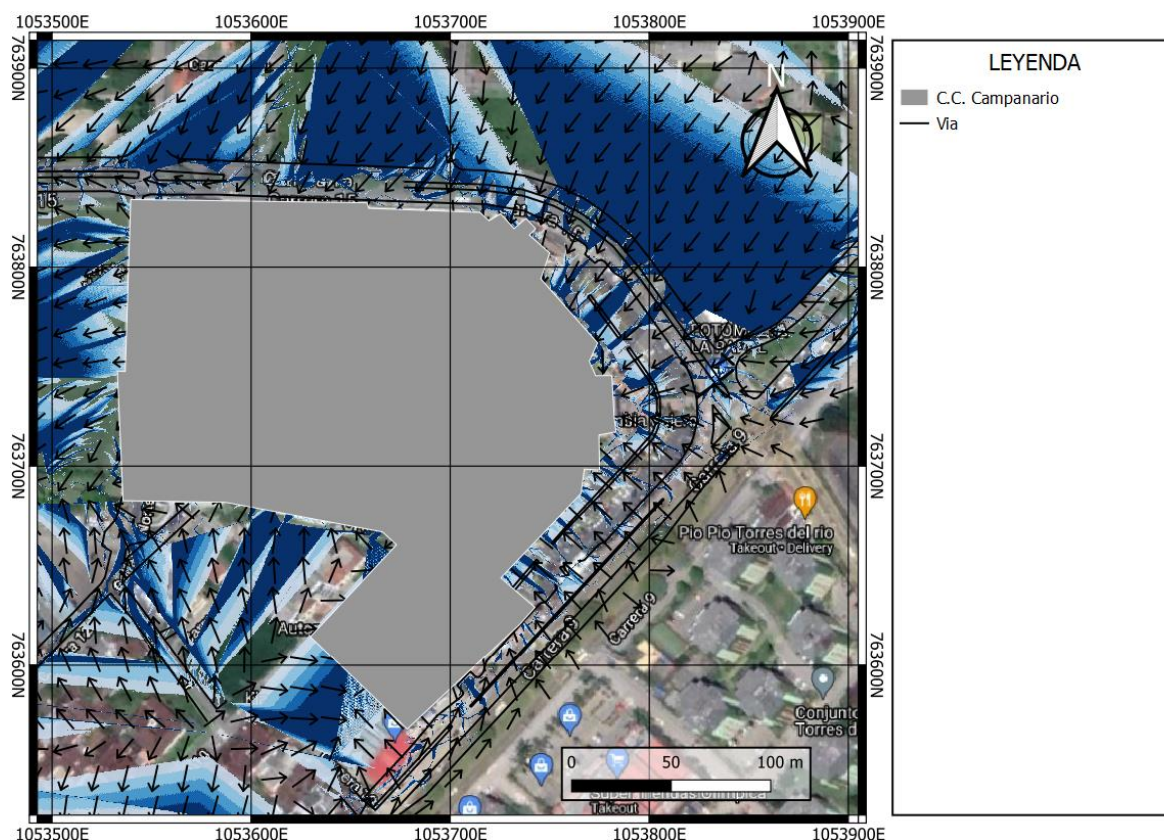


Figura 7.8 Mapa de acumulación de flujo en sector del C.C. Campanario (Detalle)

En este mapa de acumulación de flujo con la topografía de detalle, se observa que hay tendencia a acumularse hacia el nor-este y posteriormente una acumulación puntual por zonas, que drena hacia el interior del Centro Comercial Campanario. Las aguas acumuladas que drenan hacia el centro comercial posteriormente salen a acumularse hacia el oeste.

7.3.3. Modelo de direcciones y acumulación de flujo con topografía de satelital (12.5 m/pix)

Siguiendo el mismo método aplicado para el apartado anterior, para la determinación del mapa de acumulación de flujo de las aguas superficiales de escorrentía, a través del análisis hidrológico en software SIG, del modelo de elevación digital, se determina el

mapa de acumulación de flujo para una escala macroscópica. Para un análisis desde una perspectiva macro, se emplea un modelo de elevación digital resultante de imágenes satelitales (ALOS PALSAR), con una resolución de 12.5 m, este modelo de elevación digital se presenta en el apartado 6.2.1.

En la **Figura 7.9** se presenta el mapa de acumulación de flujo, y sus respectivas flechas de dirección vectorial de las partículas de agua en la superficie. Se observa que se genera un drenaje con un componente de dirección principal hacia el oeste, es decir desde el barrio Palacé hacia el C.C. Campanario, donde se observa que las aguas tienen a concentrarse inicialmente como cuenca urbana cerca el Polideportivo del Barrio Palacé. Luego, en la intersección entre calle 25N y Carrera 9, las aguas provenientes de la Calle 25 Norte (entre carrera 9 y carrera 6) y Calle 26B entre (entre carrera 9 y carrera 6), se concentran en la intersección, que finalmente resulta en el ingreso hacia el Centro Comercial Campanario.

Nuevamente, como en el modelo de elevación determinado a partir de la topografía de detalle, se observa que las aguas provenientes del sector entre el Centro Comercial y el río Cauca, drenan (parte de dicha área) hacia la Calle 25N, que colinda con el centro comercial y cuyas aguas drenan a su vez hacia la intersección vial.

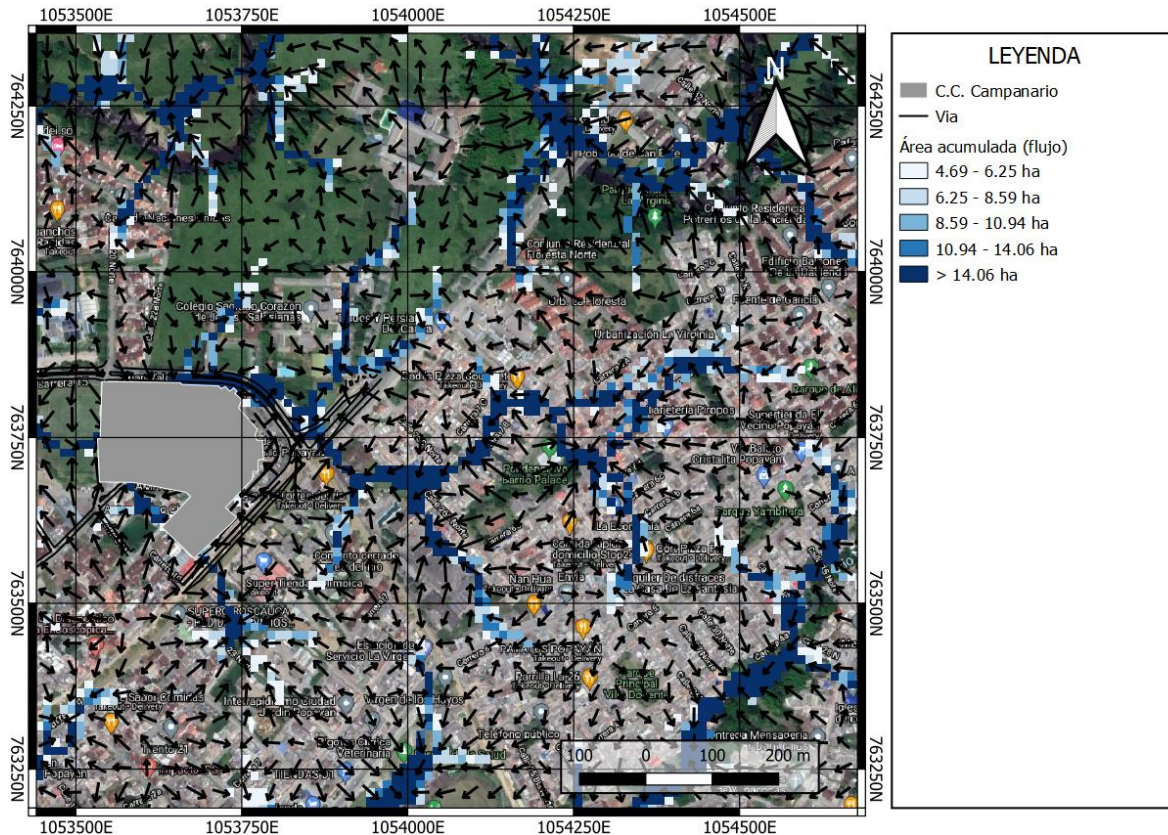


Figura 7.9 Mapa de acumulación de flujo en sector del C.C. Campanario (Macro)

7.3.4. Capacidad hidráulica de vías y caudales desbordados

Para el cálculo de la capacidad hidráulica en las vías, se determinan los anchos efectivos de las vías y la respectiva pendiente longitudinal, la cual se determina con base al levantamiento topográfico. Así mismo, también se determina el sentido del flujo en cada una de las vías.

Para el cálculo de la capacidad hidráulica de la vía, se emplea la ecuación de Chézy – Manning, correspondiente a la siguiente expresión:

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} * S_0^{1/2}$$

Ecuación 9

Donde:

- Q = Caudal (m^3/s)
 n = Rugosidad de Manning
 So = Pendiente longitudinal (m/m)
 A = Área de la sección hidráulica $b \cdot h$ (m^2)
 P = Perímetro mojado $2h+b$ (m)

Para el caso se asume una altura de andén de 12 cm y una rugosidad de Manning correspondiente al concreto de 0.015, luego los resultados de caudal máximo de capacidad son los que se reportan en la tabla a continuación.

Tabla 7.1 Resultados de caudales de capacidad máxima en vías

Vía	Dirección	h	B	n	So	Q_{max}
		m	m		%	m^3/s
Calle 25N (Av. Papal)	O	0.12	13.70	0.015	0.21%	1.203
Calle 25N	NO	0.12	11.00	0.015	1.46%	2.548
Carrera 9	N	0.12	15.00	0.015	0.56%	2.153
Carrera 9	SO	0.12	10.00	0.015	1.79%	2.560

Se puede observar que la vía con menor capacidad de drenaje superficial es la Calle 25N, pues es a su vez aquella que presenta la menor pendiente longitudinal. En la **Figura 7.10**, se presenta la distribución de la dirección del flujo. En la carrera 9, se muestra en sentido norte, dado que este es el sentido que resulta hacia el ingreso al C.C. Campanario, sin embargo, su componente longitudinal en la vía drena hacia el nor-este. Con respecto a la Calle 25N (que a su vez se extiende hacia la Carrera 15), se cuenta con dos cuencas, las cuales, drenan hacia dos puntos de ingreso hacia el Centro Comercial.

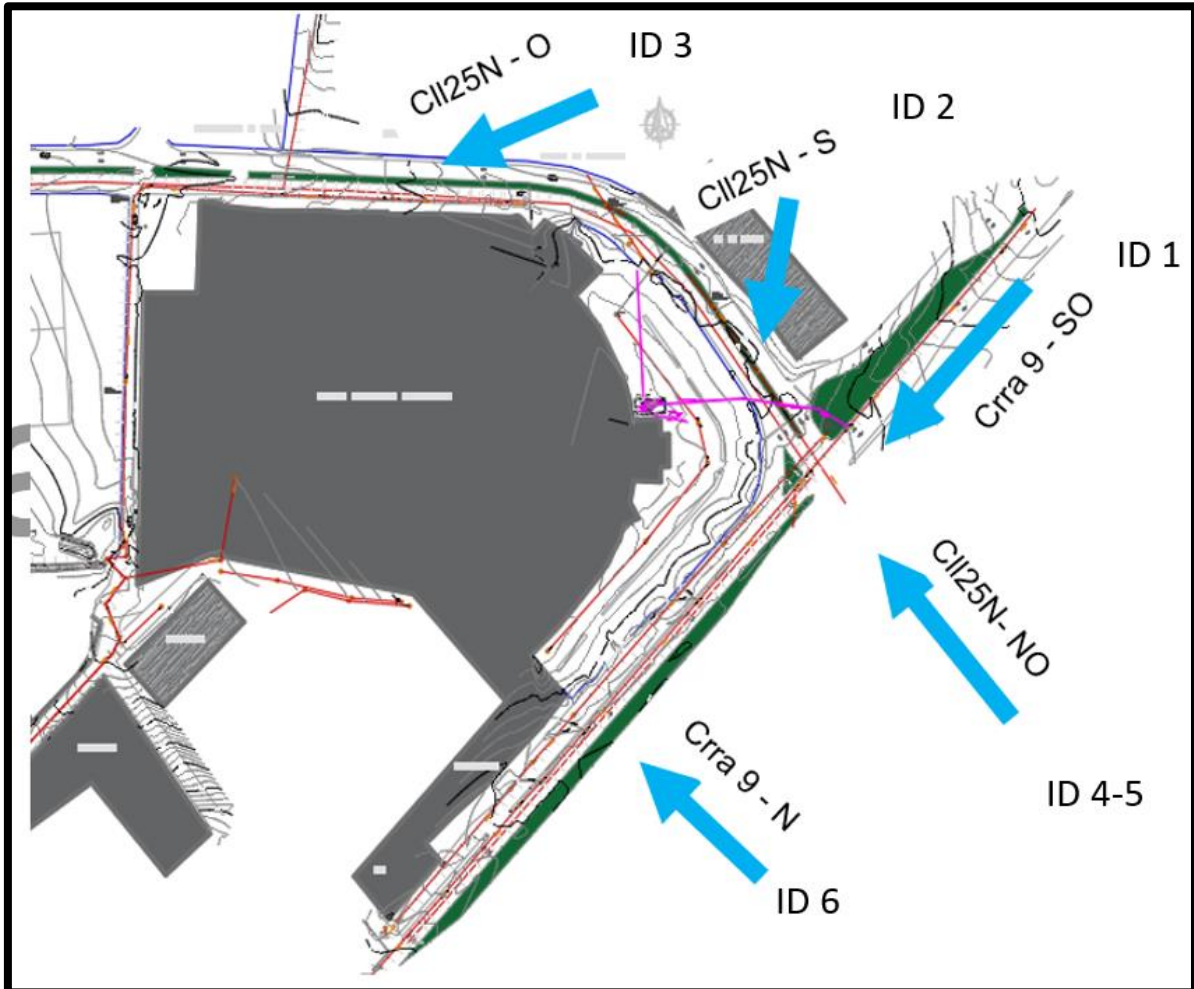


Figura 7.10 Esquema de distribución del sentido de flujo de aguas superficiales en vías

Conforme a las cuencas delimitadas en el apartado 6.2, se asocian a cada una de las vías, sus respectivos caudales ya determinados. Luego, se calcula el caudal desbordado como la diferencia del caudal máximo de capacidad de la vía y el caudal probable que le llega a la vía.

Además del drenaje de la vía, se considera la capacidad disponible, en la capacidad del alcantarillado de la Crra 9. Se consideran dos tramos, de este colector de la Crra 9, el primero de una longitud de 64.13 m y el segundo de 101.48 m, en ambos casos se cuenta con una tubería de 42" de diámetro. A continuación, se presentan los caudales de capacidad para cada tramo, y el sentido de flujo asociado, acorde al análisis del

direccionamiento de flujo y sus respectivos ID de área asociados. Se realiza este cálculo empleando la ecuación de Manning, para una sección circular a tubo lleno (lo cual considera la condición más crítica, pero técnicamente hablando no sería debería ser su condición de operación, acorde a las normativas aplicables).

Tabla 7.2 Caudales máximos

Tramo	CRRA 9	C25N
Sentido aguas	N	NO
ID Areas	6	4-5
CBI (msnm)	1742.847	1742.698
CBF (msnm)	1742.747	1742.496
L (m)	64.13	101.48
So (%)	0.16%	0.20%
D (pulg)	42	42
D (m)	1.0668	1.0668
Material	Concreto	Concreto
n	0.014	0.014
Yn (m)	1.013	1.013
θ (rad)	2.691	2.691
A (m²)	0.877	0.877
P (m)	2.870	2.870
Q (m³/s)	1.122	1.268

Con base a estos resultados de caudales de capacidad de los tramos, se considera entonces los caudales que el colector tiene capacidad de evacuar en esta zona, como caudal adicional de capacidad de transporte. En la tabla siguiente los asteriscos corresponden a lo descrito a continuación:

- *, el caudal al no considerarse captado por el sistema de alcantarillado (el cual corresponde a la Av Papal y no se considera apto para la evacuación de las aguas) es propenso a mantenerse superficialmente y drenar hacia a la intersección de Calle 25N con Crra 9, sumando a los caudales desbordados.
- **, se considera 2.548 m³/s de capacidad de transporte superficial de la vía y 1.27 m³/s de capacidad de transporte a través del sistema de alcantarillado, correspondiente a un tramo de 101.48 m, con tubería de 42" en concreto. En total la capacidad es de 3.818 m³/s.

- *** , los caudales desbordados en la intersección vial, generan que la capacidad de la vía esté saturada, por ende, solo se considera, la capacidad máxima de la tubería del tramo de 64.13 m de 42" en la Carrera 9.

Tabla 7.3 Resultados de caudales desbordados en las vías

Vía	Dirección	Áreas captadas		Q _{Total}	Q _{max}	Q _{desbordado}
				m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Calle 25N (Av. Papal)	O	3		1.362	1.203	0.159
Calle 25N (Av. Papal)	O	2		0.418	1.203	0.418*
Calle 25N	NO	4	5	7.075	2.548+1.27**	3.257
Carrera 9	N	6		2.390	1.12***	1.270
Carrera 9	SO	1		3.694	2.560	1.134

Se presentan los resultados en la **Tabla 7.3**, donde se observa que en todos los tramos se presentan desbordamientos, especialmente por las aguas provenientes de la Calle 25N en sentido nor-oeste, donde se presenta el mayor caudal desbordado. El desbordamiento de estos tramos genera que se supere el nivel máximo del andén, y las aguas fluyan directamente hacia el centro comercial, puesto que este se encuentra a una elevación inferior.

Los caudales determinados como caudales desbordados corresponden a los caudales que probablemente ingresan al centro comercial, en condiciones de fuertes lluvias, es decir un total de 6.238 m³/s como caudal máximo desbordado.

El flujo a través de las vías, y el desbordamiento en las mismas, ocurre por falta de capacidad del sistema de drenaje de recolección de aguas lluvias municipal. Para este caso se conoce que se cuenta con dos colectores, uno a lo largo de la carrera 9 y otro iniciando en la Calle 25N y extendiéndose hacia la Carrera 15, este último funciona con menos del 20% de su diámetro, por lo cual no se considera viable considerar la capacidad de este colector en el cálculo, pues podría subdimensionar los caudales superficiales, dada su condición de colmatación.

7.4. ANÁLISIS DE COLECTOR DE LA AVENIDA PAPAL

En este apartado, se presenta una de las alternativas que pueden ser consideradas para el manejo de las aguas lluvias, sin embargo, cabe resaltar de antemano, no es viable, pero se estudian las razones por las cuales no lo es. Se considera la descarga de las aguas lluvias al colector existente ubicado a lo largo del separado de la Calle 25N que se extiende hacia la Carrera 15.

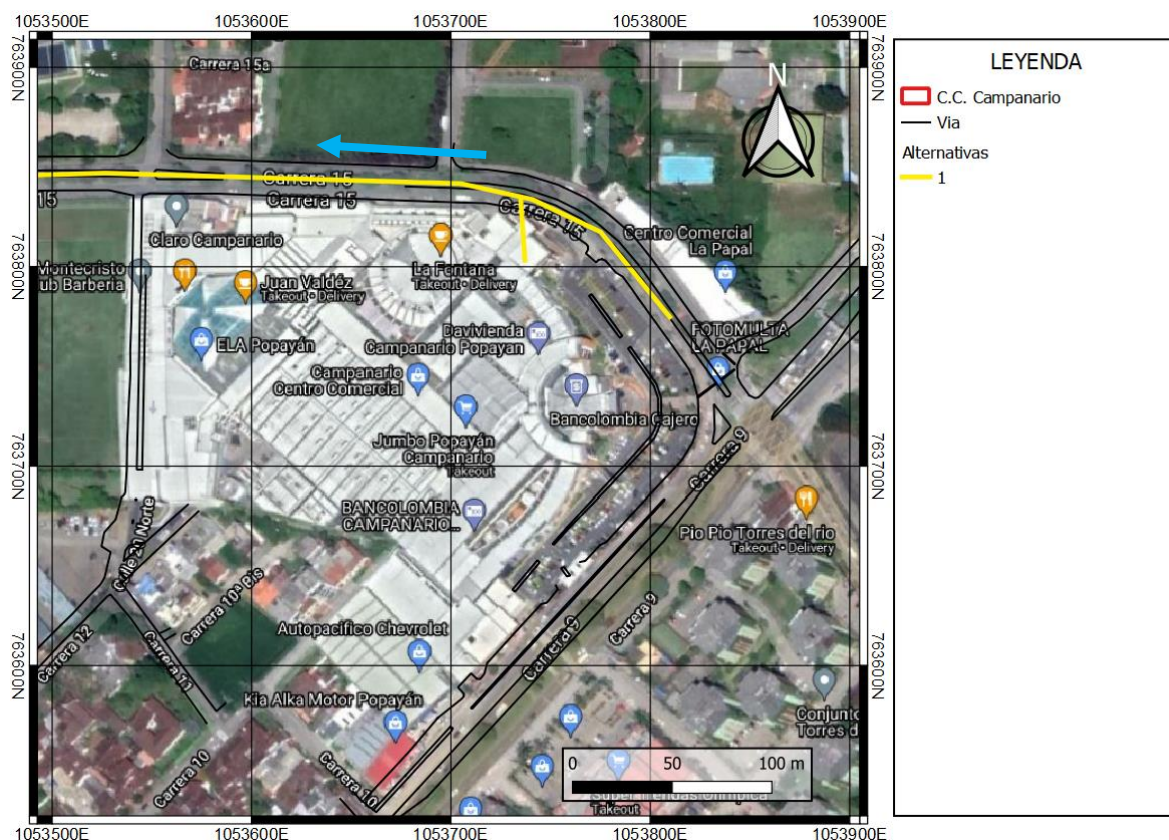


Figura 7.11 Esquema en planta de alternativa 01 – Aguas lluvias

Actualmente este colector se encuentra colmatado, por lo cual requeriría como primera actividad, la limpieza de este colector, sin embargo, dadas la profundidad a la cual ha llegado el nivel de los sedimentos, puede requerir equipos especializados. La principal causal, de la condición actual de este colector es la falta de limpieza y el mantenimiento precario del colector de la Avenida Papal. Adicionalmente, se han observado raíces dentro de las tuberías, por lo cual podría asumirse que han penetrado las raíces de los

árboles, luego las tuberías no se encuentran en condiciones operacionales y deberían ser reemplazadas por tuberías nuevas. Sin embargo, como el colector se encuentra sobre el separador y en este hay árboles, se requeriría intervenir una gran cantidad de árboles, cuyas raíces probablemente se han esparcido hasta la calzada de la vía vehicular, por ende, esto puede considerar un impacto ambiental importante y, además, debe considerarse que es posible que, por las raíces, no se logre garantizar la estabilidad del colector en su totalidad.

El proceso de cambio de tuberías podría tener un gran factor de incertidumbre acerca de la estabilidad del terreno, nuevamente por efecto de las raíces, por lo que, si bien, requeriría hacerse un estudio más detallado para confirmar esta afirmación, es poco probable que resulte viable hacer el cambio de tuberías.

Dicho esto, esta alternativa se descarga por inviabilidad constructiva y operacional.

7.5.CONCLUSIONES DIAGNÓSTICO

En el sector correspondiente al Centro Comercial Campanario, se ha presentado varias inundaciones, que demuestran que han tenido relación con los desbordamientos en del flujo superficial de agua en las vías.

Se observa que el colector de la conocida Avenida Papal (Calle 25N y Carrea 15) está colmatado en un 80% aproximadamente, lo que lo deja con poca capacidad hidráulica, y desde el punto de vista hidráulico no funciona en condiciones aptas para el drenaje pluvial. El colector presenta una condición que parece estar asociada a las raíces de los árboles del separador que se encuentran sobre el mismo eje que el colector.

La falta de obras de infraestructura para el drenaje pluvial de las vías provoca que se representen las aguas lluvias en la vía, y resulten en el desbordamiento de las mismas que posteriormente drena hacia el interior del Centro Comercial Campanario, dado que este se encuentra a un nivel inferior. Sin embargo, esto no debería de suceder si el sistema de recolección de aguas lluvias de la avenida papal y la carrera 9 funcionan de manera adecuada.

	<p align="center">Diagnóstico de problemática de drenaje de aguas lluvias y análisis de alternativas, del Centro Comercial Campanario, en Popayán – Departamento del Cauca.</p>	
---	--	---

El sistema de drenaje interno del C.C Campanario, se encuentra condicionado por sus descargas a colectores externos al centro comercial y las posibles inundaciones que se presenten en la carrera 15, luego, aunque este no puede funcionar en condiciones de lluvias fuertes, por gravedad y puede generar el desbordamiento interno de las aguas lluvias. En ese orden de ideas, existe la posibilidad que ingresen aguas externas a través de las tuberías, hacia el interior del centro comercial.

8. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

A lo largo del presente informe, se ha observado que la causa principal de las inundaciones que se han presentado en el Centro Comercial Campanario, por efecto de las aguas externas, es la falta de capacidad de drenaje a través del sistema de recolección de aguas lluvias del municipio. En efecto, para las aguas que drenan hacia la zona, se observa que el sistema no tiene capacidad, tampoco tiene la vía para drenar superficialmente (que es algo que no debe ocurrir, pero se evalúa de igual forma).

En ese orden de ideas, la solución ante estos eventos de inundación que se han presentado, radica en mejorar el sistema de alcantarillado municipal tanto de la Avenida Papal (recordando que el colector existente, desde el punto de vista hidráulico, no es funcional) y la carrera 9 que actualmente cuenta con un alcantarillado con tubería de 42". En el apartado 7.3.4, se determinaron los caudales de capacidad para dos tramos, correspondiente al colector de la Carrera 9, en el cual se tiene una capacidad de 1.27 m³/s en el caso más favorable, correspondiente al tramo de 101.48 m de longitud, con una tubería en concreto de 42" de diámetro. Se recuerda que la suma de los caudales, que drenan hacia la intersección de la Calle 25N con Carrera 9, suman un total de 14.939 m³/s. Considerando el drenaje sobre la vía, se obtienen caudales de desbordamiento de 6.06 m³/s en total, pues se excede totalmente la capacidad del sistema de alcantarillado municipal.

Por la magnitud de los caudales identificados que llegan a la intersección de la Crra 9 con Calle 25N, es posible que diámetros comerciales de tubería no sean suficientes, y, por ende, requiera la construcción de box culvert para garantizar el drenaje de las aguas lluvias, y que no se presenten láminas de agua sobre la vía, que puedan superar la altura del andén, provocando inundaciones y posibles afectaciones a los predios de la zona. Adicionalmente, el sistema de recolección municipal, deberá considerar descargas a cuerpos de agua (como el río Cauca, que es el más cercano) para aliviar la capacidad del sistema de alcantarillado y reducir la posibilidad de perfiles de flujo gradualmente variado con remansos dentro de las tuberías.

	<p align="center">Diagnóstico de problemática de drenaje de aguas lluvias y análisis de alternativas, del Centro Comercial Campanario, en Popayán – Departamento del Cauca.</p>	
---	--	---

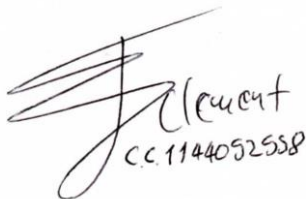
Se recuerda que, desde el punto de vista de seguridad vial, no es aceptable que las vías se conviertan en canales, por lo que, el diseño del sistema de recolección municipal, debería considerar el flujo de todas las aguas y el análisis integral del sistema de recolección, con una capacidad máxima del 93 % como lo especifica el RAS 2017.

9. CONCLUSIONES

Se identificó la información de estaciones que permitieran tener el componente hidrológico de la precipitación, para ello se recopilaron las curvas IDF de la estación Aeropuerto G L Valencia, de la red climatológica del IDEAM y la Estación SATE también perteneciente al IDEAM. Con base a información secundaria se realizó un análisis de las microcuencas urbanas, estimando caudales que drenan hacia el C.C Campanario.

En el diagnóstico de la problemática, se identificaron algunos eventos históricos documentados por noticias e información de funcionarios del C.C. Campanario. El colector de la avenida papal (Calle 25N a Carrera 15) se encuentran colmatado, por lo cual no es posible drenar las aguas de la vía y el centro comercial, no puede evacuar las aguas hacia el mismo, como se diseñó en un principio. Por ello, el centro comercial ha tenido que tomar medidas para drenar las aguas internas hacia otro punto de descarga. En el modelo de acumulación y direcciones de flujo, se observa que por las aguas tienden a drenar hacia el interior del centro comercial, especialmente, porque este se encuentra a una altitud inferior. Se identifica que, por falta del drenaje urbano funcional, especialmente en la Calle 25N y carrera 15, se acumulan las aguas, drenando hacia el interior del centro comercial; además, este cuenta con pasos que permiten el ingreso de aguas externas hacia el interior, y, especialmente a través de los ingresos peatonales y vehiculares.

INFORME ELABORADOR POR:



C.C. 1144052558

ING. CIVIL RAFAEL CLEMENT Msc. Hidrología e Hidráulica.
M.P 76202-333735 VLL
C.C. 1144052558

	<p>Diagnóstico de problemática de drenaje de aguas lluvias y análisis de alternativas, del Centro Comercial Campanario, en Popayán – Departamento del Cauca.</p>	
---	---	---

10. ANEXOS

Anexo 1 – Documentos personales y profesionales del perito

Anexo 2 – Acreditación de experiencia profesional

Anexo 3 – Registros de estaciones

Anexo 4 – Memorias de cálculo

	<p align="center">Diagnóstico de problemática de drenaje de aguas lluvias y análisis de alternativas, del Centro Comercial Campanario, en Popayán – Departamento del Cauca.</p>	
---	--	---

11. BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México D.F.: Editorial LIMUSA.
- Chow, V. T. (2000). *Hidrología aplicada*. (M. E. R., Ed.) Bogotá: McGraw Hill.
- Chow, V. T. (2004). *Hidráulica de canales abiertos*. (M. E. R., Ed.) McGraw Hill.
- El Tiempo. (12 de Marzo de 2021). Lluvias en Popayán: reportan inundación en centro comercial Campanario. *El Tiempo*. Recuperado el 2021 de Mayo de 28, de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/cauca-en-emergencias-por-las-lluvias-573072>
- Instituto Nacional de Vías. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*. Bogotá, Colombia.
- Periódico La Campana. (04 de Octubre de 2018). No es un problema de Campanario, es un problema de toda la zona”. *Periódico La Campana*. Recuperado el 28 de Mayo de 2021, de <https://www.periodicolacampana.com/no-es-un-problema-de-campanario-es-un-problema-de-toda-la-zona/>
- Radio Super Popayán. (03 de Octubre de 2018). *Radio Super Popayán*. Obtenido de Campanario, la facultad de Salud de Unicauca, entre otros inundados tras aguaceros: <http://www.radiosuperpopayan.com/2018/10/03/campanario-la-facultad-de-salud-de-unicauca-entre-otros-inundados-tras-aguaceros/>
- United States Environmental Protection Agency. (19 de Enero de 2017). *EPA*. Obtenido de EPA: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>
- US Army Corps of Engineers. (2016). *HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual Version 5.0*. Davis, California.
- US Army Corps of Engineers. (2016). *Hydrological Modeling System (HEC-HMS): User's Manual*. Davis, California.