MEJORAMIENTO Y PAVIMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA PARA TRÁFICO VEHICULAR DE VÍAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DE ANOLAIMA, CUNDINAMARCA,

VOLUMEN ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

MUNICIPIO DE ANOLAIMA
DEPARTAMENTO CUNDINAMARCA
SEPTIEMBRE 2025

MEJORAMIENTO Y PAVIMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA PARA TRÁFICO VEHICULAR DE VÍAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DE ANOLAIMA, CUNDINAMARCA,

VOLUMEN ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

Responsable:
LAURA ANDREA GUTIERRZ MOLANO
Ingeniera Ambiental - Esp. En Recursos Hídricos
M.P.: 15238-348332 BYC
Cel: 3102731152
Laura.gutierrezmolano15@gmail.com

MUNICIPIO ANOLAIMA
SEPTIEMBRE DE 2025

TÍTULO DEL DOCUMENTO	VOLUMEN ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
CONSULTOR Elaboración	LAURA ANDREA GUTIERREZ M. Ingeniera Ambiental 15238-348332 BYC TRAMOS VIALES ANOLAIMA CUNDINAMARCA HIDROLOGICO E HIDRÁULICO Firma septiembre 2025 **LAURA ANDREA GUTIERRZ MOLANO** Ingeniera Ambiental - Esp. En Recursos Hídricos M.P.: 15238-348332 BYC
APROBACIÓN	
REVISIÓN Y APROBACION	

VERSIÓN No.	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA MODIFICACIÓN	RESPONSABLE
0	Septiembre de 2025	Emisión Original	Laura Gut

Anolaima, Septiembre de 2025

Ref. "MEJORAMIENTO Y PAVIMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA PARA TRÁFICO VEHICULAR DE VÍAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DE ANOLAIMA, CUNDINAMARCA"

Asunto: VOLUMEN ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

Cordial saludo

Remitimos el informe correspondiente al Volumen hidrológico e hidráulico del contrato de consultoría de la referencia, de los tramos 1. Vía desde la intersección de la carrera 5 con calle 1 en dirección a acceso municipal vía Anolaima-corralejas. 2. Vía desde la intersección de la calle 3 con la carrera 6 en dirección a acceso municipal de la vía Anolaima- la florida. 3. Vía desde calle 6 entre carrera 6 hasta la carrera 12 salida Cayetano, 4. Vía circunvalar desde la urbanización Omega hasta el barrio las margaritas, donde se proyecta el "MEJORAMIENTO Y PAVIMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA PARA TRÁFICO VEHICULAR DE VÍAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DE ANOLAIMA, CUNDINAMARCA"

Cordialmente



LAURA ANDREA GUTIERRZ MOLANO
Esp. En Recursos Hídricos
Cel: 3102731152
Laura.gutierrezmolano15@gmail.com

cc. Archivo.

CONTENIDO

Pág.

1. OBJETIVOS 11

1.1. OBJETIVO GENERAL 11

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 11

2. LOCALIZACIÓN 12

3. ASPECTOS GENERALES 13

4. INFORMACION CONSULTADA E IMPLEMENTADA EN EL PROYECTO 16

4.1. INFORMACION PRELIMINAR O SECUNDARIA 16

4.2. INFORMACION PRIMARIA LEVANTADA EN EL SECTOR 18

5. COMPONENTE HIDROLÓGICO 20

5.1. DIAGNOSTICO DE TIEMPO Y CLIMA EN ANOLAIMA 20

5.2. PROCESAMIENTO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN 21

5.2.1. DIAGNOSTICO DATOS DE PRECIPITACIÓN. 21

5.2.2. DETECCIÓN DE DATOS ANÓMALOS 24

5.2.3. COMPLETAMIENTO DE DATOS FALTANTES EN SERIES DE PRECIPITACION- 33

5.2.4. HOMOGENEIDAD Y CONSISTENCIA DE DATOS DE PRECIPITACIÓN 39

5.2.5. ESPACIALIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN 42

5.2.6. ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN A ESCALA MENSUAL 44

5.2.7. ANALISIS DE PRECIPITACION A ESCALA DIARIA 47

5.3. INTENSIDAD DURACION Y FRECUENCIA (IDF) Y TORMENTA DE DISEÑO 50

5.3.1. DISTRIBUCION ESTADISTICA DE la PRECIPITACION MAXIMa DIARIa 50

5.3.2. ESTIMACIÓN DE INTENSIDAD 53

5.3.3. CURVAS IDF 53

6. HIDRÁULICA DE DRENAJE VIAL 56

6.1. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE CAUDALES DE AGUAS LLUVIAS 56

6.1.1. CAPACIDAD HIDRÁULICA DE ESTRUCTURAS 60

6.1.2. MÉTODO RACIONAL – CAUDAL DE DISEÑO 60

6.2. ÁREAS DE DRENAJE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE DISEÑO 61

6.3. EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LAS ALCANTARILLAS PROPUESTAS 62

6.4. SUMIDEROS PROPUESTOS 64

6.5. CAPACIDAD DE INUNDACIÓN PERMISIBLE DE LA VÍA 76

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 80

BIBLIOGRAFÍA 83

GLOSARIO 84

LISTA DE FIGURAS

Pág.

FIGURA 1 LOCALIZACIÓN TRAMOS DE ESTUDIO 12

FIGURA 2 ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA 13

FIGURA 3 SUELOS 14

FIGURA 4 DRENAJES 15

FIGURA 5 PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA 21

FIGURA 6. SERIES DE DATOS FALTANTES ESTACIÓN LA FLORIDA [21205670] PERIODO 1970 - 2025 23

FIGURA 7. SERIES DE DATOS FALTANTES A ESCALA MENSUAL EN MESES HÚMEDOS EN LA ESTACIÓN LA FLORIDA [21205670] PERIODO 1970 – 2025 23

FIGURA 8 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS IDEAM CONSULTADAS 24

FIGURA 9. MATRIZ DE CORRELACIÓN DE ESTACIONES A ESCALA DIARIA 26

FIGURA 10. MATRIZ DE CORRELACIÓN DE ESTACIONES A ESCALA MENSUAL 27

FIGURA 11. ANOMALÍAS EN LA ESTACIÓN LA FLORIDA [21205670] DEFINIDAS POR NO SIMILITUD CON ESTACIONES VECINAS 28

FIGURA 12. ANOMALÍAS EN LA ESTACIÓN LA FLORIDA [21205670] REFERIDA A VALORES MAYORES AL PERCENTIL 99.99 30

FIGURA 13. ANOMALÍAS POR VALORES IGUALES CONSECUTIVOS EN LA ESTACIÓN LA FLORIDA [21205670]. 32

FIGURA 14. SERIES DIARIAS DE PRECIPITACIÓN COMPLETAS EN ESTACIONES DEL ÁREA DE ESTUDIO 37

FIGURA 15. CURVAS DE DOBLE MASA DE CADA UNA DE LAS ESTACIONES CONSULTADAS PARA EL PRESENTE ESTUDIO 41

FIGURA 16. CURVAS DE DOBLE MASA ESTACIÓN LA FLORIDA [21205670]. 42

FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MULTIANUAL POR MEDIO DE ISOYETAS E IDW 43

FIGURA 18 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN POR MEDIO DE POLÍGONOS DE THIESSEN 44

FIGURA 19. DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES MENSUAL ESTACIÓN LA FLORIDA [21205670] 45

FIGURA 20 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL EN LAS DISTINTAS ESTACIONES CONTEMPLADAS EN EL ESTUDIO 46

FIGURA 21 BOX PLOT ESTACIONES CONTEMPLADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO ESCALA MENSUAL 46

FIGURA 22 PRECIPITACIÓN MENSUAL MÁXIMA EN 24H Y BOXPLOT ESCALA MULTIANUAL ESTACIÓN LA FLORIDA [21205670] 47

FIGURA 23. ANÁLISIS DE FRECUENCIA BAJO LA DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL EN LOS DATOS MÁXIMOS DIARIOS ESTACIÓN LA FLORIDA [21205670]. 51

FIGURA 24 CURVAS IDF ESTACIÓN LA FLORIDA [21205670] 55

FIGURA 25 SUELOS 57

FIGURA 26 COBERTURAS 58

FIGURA 27 COEFICIENTE DE ESCORRENTIA 59

FIGURA 28 ÁREAS AFERENTES 61

FIGURA 29 ÁREA AFERENTE ALCANTARILLA Y BOX CULVERT 62

FIGURA 30 SECCIÓN ALCANTARILLA CAJÓN ALETA TRAMO 1 63

FIGURA 31 SECCIÓN BOX CULVERT TRAMO 4 63

FIGURA 32 DETALLE DE SUMIDERO PROPUESTO 65

FIGURA 33 ÁREAS AFERENTES SUMIDERO PROPUESTOS 65

FIGURA 34 PERFIL VIAL 76

LISTA DE TABLAS

Pág.

TABLA 1 ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS CONSULTADAS PARA EL PRESENTE ESTUDIO..... 18

TABLA 2 FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADA E IMPLEMENTADA EN EL PRESENTE ESTUDIO..... 19

TABLA 3. ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS CONSULTADAS PARA EL PRESENTE ESTUDIO. 22

TABLA 4 CORRELACIÓN PRECIPITACIÓN MENSUAL E ÍNDICE ONI A DIFERENTES PERIODOS DE REZAGO..... 31

TABLA 5. DATOS ANÓMALOS DESCARTADOS EN LAS ESTACIONES CONSULTADAS POR EL ESTUDIO. 32

TABLA 6.ESTACIONES CONSIDERADAS PARA LA ESPACIALIZACIÓN DE LA LLUVIA EN EL ÁREA DE ESTUDIO. 42

TABLA 7 REGISTRO DE PRECIPITACIÓN ANUAL MÁXIMA EN 24 HRS ESTACIÓN LA FLORIDA [21205670]... 48

TABLA 8. PRUEBAS ESTADÍSTICAS PROYECCIÓN DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA 50

TABLA 9 PARÁMETROS DE AJUSTE DE LA REGRESIÓN (VALORES PARA COLOMBIA) 53

TABLA 10. DATOS INTENSIDAD FRECUENCIA DURACIÓN EN LA ESTACIÓN LA FLORIDA [21205670]. 54

TABLA 11 PERIODOS DE RETORNO DE OBRAS DE DRENAJE VIAL - INVIAS 56

TABLA 12 COEFICIENTES DE ESCORRENTIA EN ÁREAS URBANAS Y RURALES 59

TABLA 13 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA 60

TABLA 14 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN ALCANTARILLAS PROYECTADAS 64

TABLA 15 CAUDAL DE DISEÑO DE ALCANTARILLA PROYECTADA 64

TABLA 16 ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA ALCANTARILLA Y BOX CULVERT PROPUESTO..... 64

TABLA 17 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE SUMIDEROS PROPUESTOS 66

TABLA 18 CAUDALES ÁREAS AFERENTES 68

TABLA 19 CAPACIDAD HIDRÁULICA DE SUMIDEROS PROPUESTOS 70

TABLA 20 VERIFICACIÓN HIDRÁULICA DE SUMIDEROS PROPUESTOS 71

TABLA 21 CAPACIDAD HIDRÁULICA TUBERÍA DE CONEXIÓN DEL SUMIDERO AL POZO 73

TABLA 22 CUNETAS PROVISTA POR TRAMOS VIALES..... 76

TABLA 23 ANCHO DE INUNDACIÓN ADMISIBLE SEGÚN CLASIFICACIÓN DE LA VÍA. 77

TABLA 24 CAPACIDAD HIDRÁULICA DE CUNETAS – CAPACIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN..... 77

TABLA 25 VERIFICACIÓN DE ANCHO DE INUNDACIÓN PERMISIBLE O CUNETA VIAL 78

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar el estudio hidrológico e hidráulico del drenaje vial para el proyecto "MEJORAMIENTO Y PAVIMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA PARA TRÁFICO VEHICULAR DE VÍAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DE ANOLAIMA, CUNDINAMARCA".

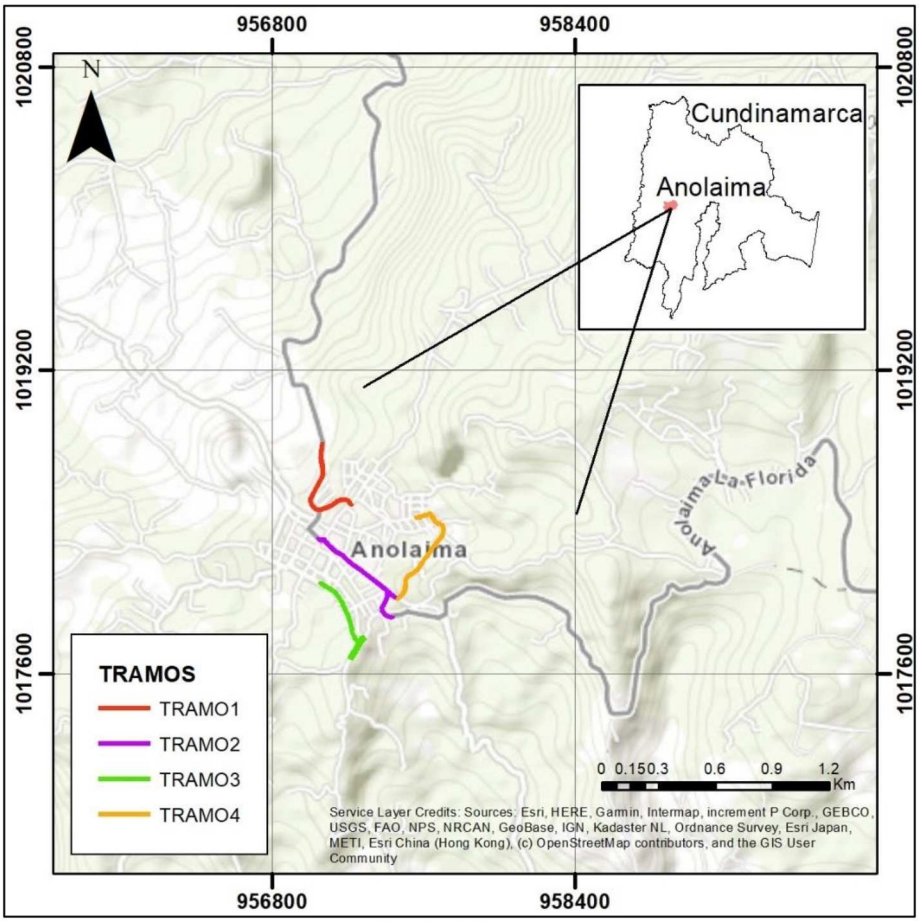
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar la información existente del tramo de estudio, así como también el levantamiento topográfico detallado del proyecto.
- Elaborar el estudio hidrológico, con el fin de conocer el régimen de lluvias y distribución de estas a partir de estaciones hidrometeorológicas operadas por el IDEAM, con históricos superiores a 25 años, y proyectar las intensidades de lluvia de la estación representativa de la zona de estudio
- Calcular caudales máximos para periodos de retorno correspondientes para cada área aferente a través del método racional y/o el método más adecuado de acuerdo con la delimitación de áreas aferentes.
- Realizar el análisis hidráulico de las obras proyectadas para la recolección del drenaje vial, con el propósito de conocer el diseño óptimo y el cumplimiento hidráulico de este, para el adecuado manejo de drenaje vial, considerando obras hidráulicas para aquellos casos que existan intersecciones con drenajes permanentes o intermitentes.

2. LOCALIZACIÓN

Los estudios hidrológico e hidráulico de los tramos viales para el proyecto "MEJORAMIENTO Y PAVIMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA PARA TRÁFICO VEHICULAR DE VÍAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DE ANOLAIMA, CUNDINAMARCA", se localiza como se observa en la siguiente figura.

Figura 1 Localización tramos de estudio

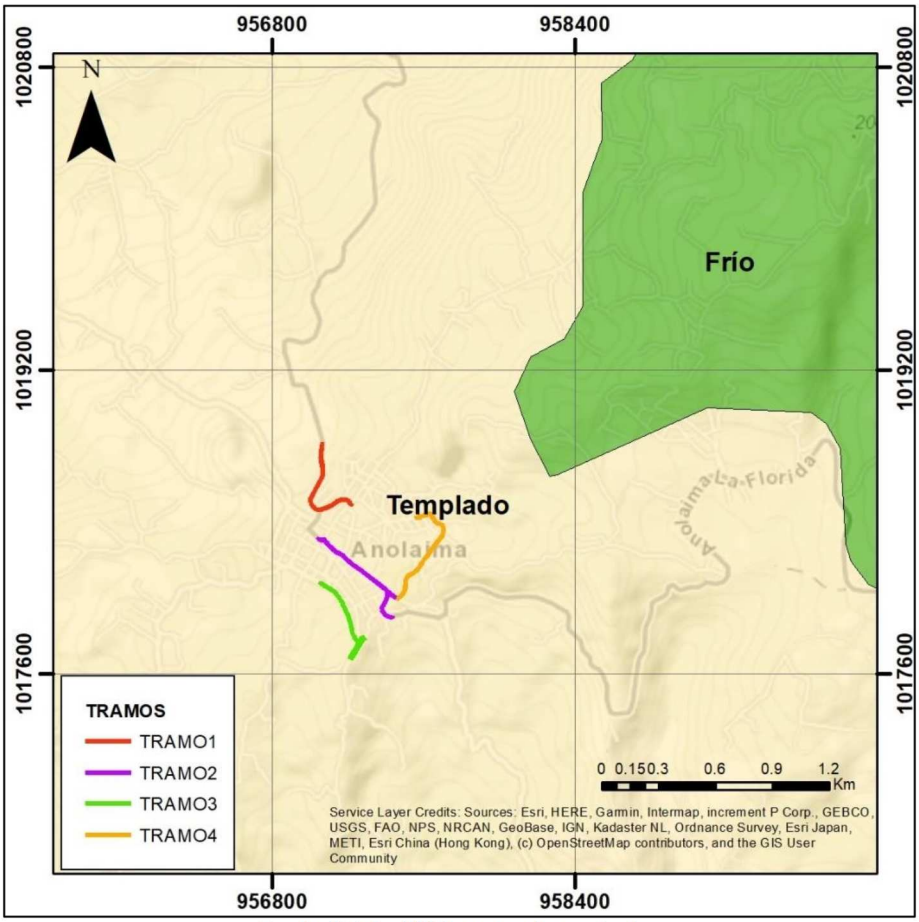


Fuente: El Estudio

3. ASPECTOS GENERALES

De acuerdo con la cartografía del IGAC, el área de estudio está localizada en un clima templado, seco, con temperaturas entre los 18°C y 24°C, con precipitaciones entre 1.001 – 2000 mm/año, a una altura entre los 800 y 1800 m.s.n.m

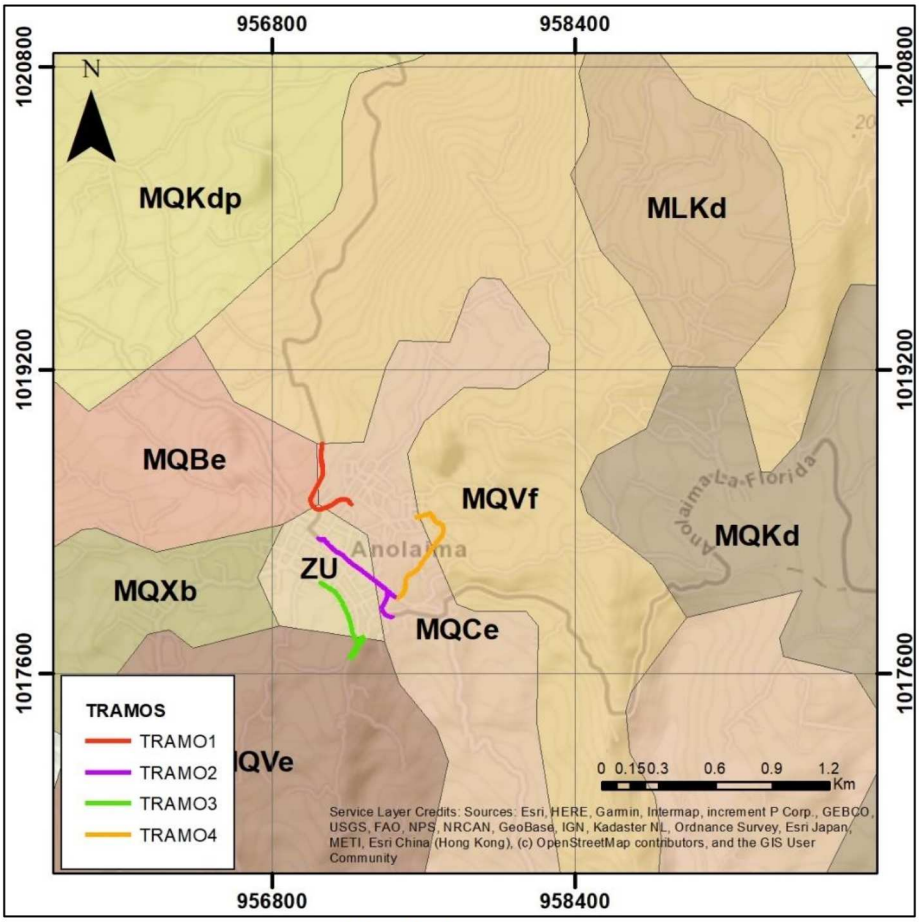
Figura 2 Zonificación Climática



Fuente: IGAC y ESRI, procesado por el autor.

El área de estudio está clasificada zona urbana y MQCe, paisaje de Montaña y relieve Lomas. Su litología son Rocas clásticas limo arcillosas y mantos de ceniza volcánica. En la siguiente figura se ilustra la clasificación de suelos en los tramos de estudio.

Figura 3 Suelos

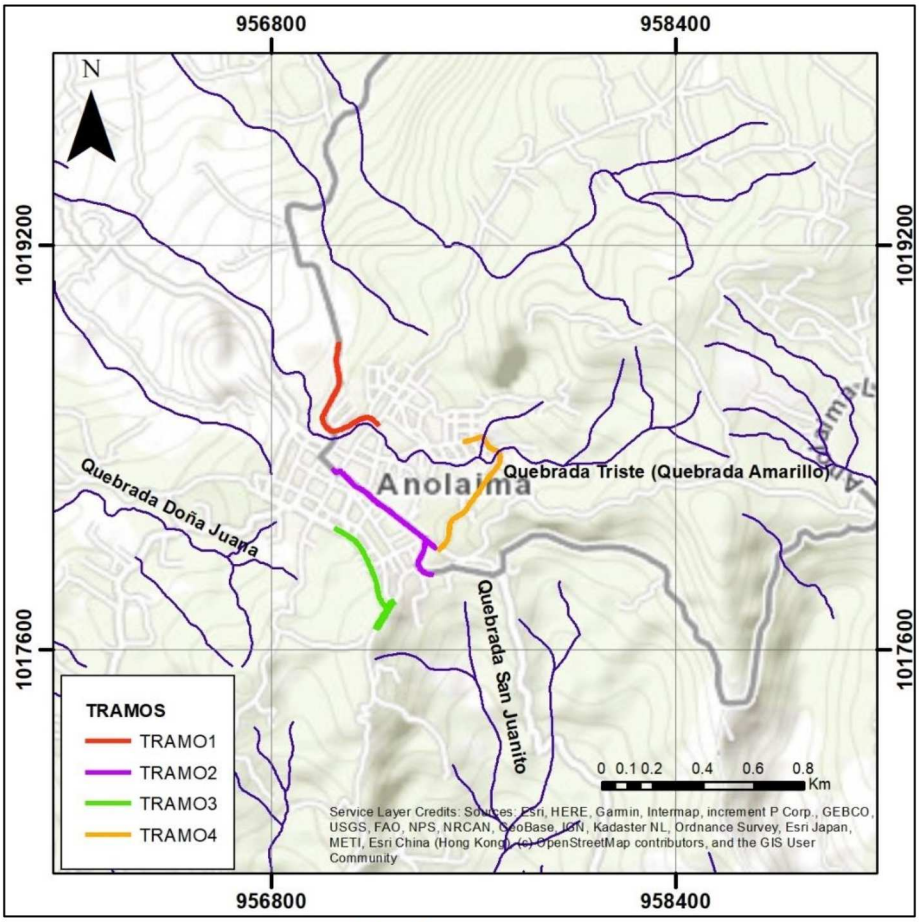


Fuente: IGAC y ESRI, procesado por el autor.

En la siguiente figura se observa la red hidrológica cercanas a la via de estudio, evidenciándose que sobre el tramo 4 pasa un drenaje identificado en la cartografia del IGAC como la Quebrada Triste (Quebrada Amarillo)

Lo anterior se observa en la siguiente figura:

Figura 4 Drenajes



Fuente: IGAC y ESRI, procesado por el autor

4. INFORMACION CONSULTADA E IMPLEMENTADA EN EL PROYECTO

4.1. INFORMACION PRELIMINAR O SECUNDARIA

El proyecto comprende el diseño de las vías urbanas 1. Vía desde la intersección de la carrera 5 con calle 1 en dirección a acceso municipal vía Anolaima-corralejas. 2. Vía desde la intersección de la calle 3 con la carrera 6 en dirección a acceso municipal de la vía Anolaima- la florida. 3. Vía desde calle 6 entre carrera 6 hasta la carrera 12 salida Cayetano, 4. Vía circunvalar desde la urbanización Omega hasta el barrio las margaritas. Con la siguiente ubicación.

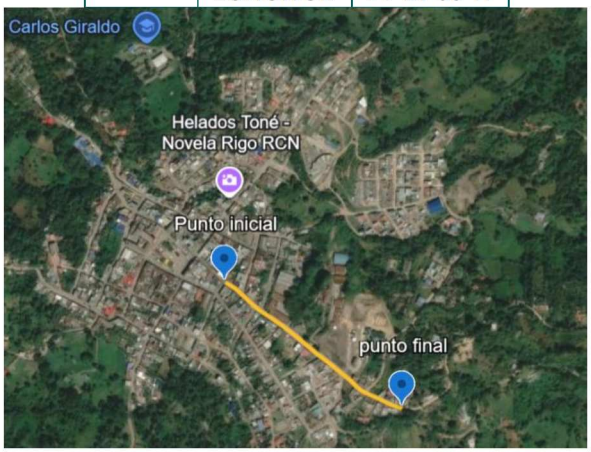
- **Tramo 1:**

COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
INICIAL	LATITUD	4°45'47"N
	LONGITUD	74°27'47"W
FINAL	LATITUD	4°45'57"N
	LONGITUD	74°27'52"W



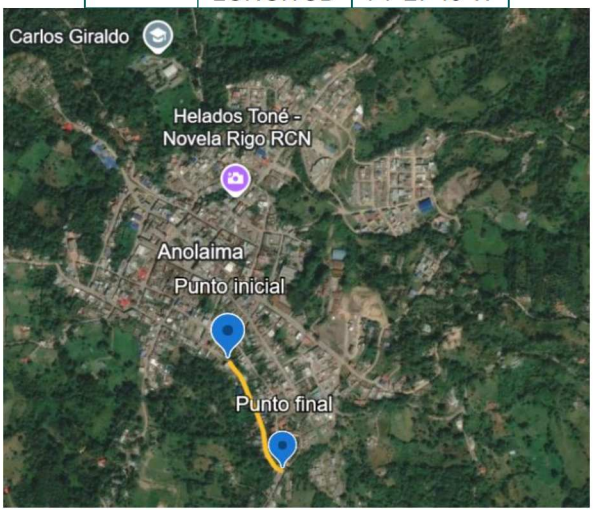
- **Tramo 2:**

COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
INICIAL	LATITUD	4°45'39"N
	LONGITUD	74°27'49"W
FINAL	LATITUD	4°45'30"N
	LONGITUD	74°27'36"W



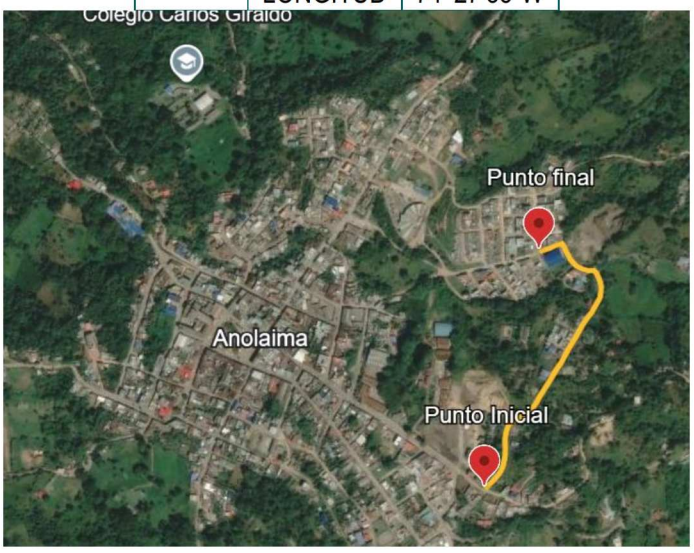
- **Tramo 3:**

COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
INICIAL	LATITUD	4°45'32"N
	LONGITUD	74°27'50"W
FINAL	LATITUD	4°45'24"N
	LONGITUD	74°27'45"W



- **Tramo 4:**

COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
INICIAL	LATITUD	4°45'31"N
	LONGITUD	74°27'39"W
FINAL	LATITUD	4°45'45"N
	LONGITUD	74°27'35"W



El alcance del presente proyecto aborda el desarrollo de los componentes hidrológico e hidráulico del drenaje vial del área de estudio comprendida por los cuatro tramos viales en el municipio de Anolaima Cundinamarca.

El componente hidrológico cuenta con la consulta de los registros hidrometeorológicos de las estaciones cercanas al área de estudio suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) que permiten la proyección de caudales de diseño basados en la escorrentía en la cuenca, la información consultada se muestra a continuación.

Tabla 1 Estaciones hidrometeorológicas consultadas para el presente estudio.

ESTACIÓN	TIPO	INICIO	FIN
ACAPULCO [21206280]	Climática Principal	2/12/1990	8/31/2025
BASE AEREA MADRID [21205770]	Climática Ordinaria	7/10/1974	9/29/2023
CASABLANCA [21206060]	Meteorológica	1/1/1981	8/29/2025
EL CORAZON [21201070]	Pluviométrica	7/26/1974	2/27/2025
EL SILENCIO [23060290]	Pluviométrica	3/1/1986	12/31/2024
HIDROPARAISO [21202160]	Pluviométrica	6/1/1984	8/30/2025
LA ESTANCIA [23060370]	Pluviométrica	1/1/2009	8/24/2025
LA FLORIDA [21205670]	Climática Principal	11/4/1970	8/30/2025
MERCEDES [21205660]	Climática Principal	9/24/1970	8/27/2025
PRIMAVERA D' MATIMA [21206180]	Climática Ordinaria	5/1/1986	11/27/2024
SABANETA [23065100]	Climática Ordinaria	12/1/1986	3/31/2016
SAN JUAN D RIOSECO [21230070]	Pluviométrica	12/8/1974	5/30/2025
SANTA TERESA [23065060]	Climática Ordinaria	3/10/1989	8/30/2014
VILLA INES [21205940]	Climática Principal	6/1/1994	8/24/2025

Fuente: Datos IDEAM, Compilado por El Autor.

4.2. INFORMACION PRIMARIA LEVANTADA EN EL SECTOR

En el componente hidrológico contó con un levantamiento topográfico detallado desarrollado por el consultor del proyecto, con la Ortofotografía de la zona de estudio, así como el perfil de los tramos viales y el inventario de pozo de alcantarillado existentes.

La información relacionada en el desarrollo del proyecto se encuentra relaciona en el siguiente cuadro

Tabla 2 Fuentes de Información consultada e implementada en el presente Estudio.

ESTUDIO	INFORMACION	FUENTE
Hidrológico e hidráulico	Levantamiento Topográfico	Componente Topográfico – Suministrado por la Consultoría
	Orto fotografía área de estudio	Componente Topográfico – Suministrado por la Consultoría
	Perfiles viales	Componente Topográfico – Suministrado por la Consultoría
	Estructuras hidraulicas existentes y pozos existentes	Componente Topográfico – Suministrado por la Consultoría
	Visita y medidas descriptivas de campo	Componente Topográfico – Suministrado por la Consultoría

Fuente: Compilado por El Autor

Cada una de las fuentes mencionadas anteriormente serán mencionadas y desarrolladas en mayor pertinencia en capítulos posteriores del presente documento.

5. COMPONENTE HIDROLÓGICO

La gestión adecuada de recursos hídricos es fundamental para el desarrollo de proyectos de infraestructura, especialmente en un país como Colombia, donde la variabilidad climática y los fenómenos hidrológicos son relevantes. La implementación de estudios de hidrología e hidráulica permite a los ingenieros diseñar obras que no solo resuelvan las necesidades de drenaje, sino que también mitiguen el riesgo de inundaciones y deslizamientos, así como protejan las estructuras existentes.

El análisis hidrológico es esencial para comprender cómo el agua se distribuye, se mueve y se acumula en un área específica. Por otro lado, el estudio hidráulico se enfoca en cómo se comporta el agua en estructuras diseñadas para conducirla o contenerla. Ambas disciplinas son interdependientes y su análisis conjunto es crucial para la evaluación de proyectos de infraestructura, ya que permiten establecer criterios de diseño adecuados y garantizar la seguridad y funcionalidad de las obras.

El "Manual de Drenaje de INVÍAS" proporciona un marco normativo y técnico para la realización de estudios hidrológicos e hidráulicos en Colombia. Este documento integral establece directrices claras sobre cómo debe llevarse a cabo el análisis de drenaje en carreteras y otras infraestructuras, abordando temas como la captación de datos, la modelación de escorrentías, el dimensionamiento de estructuras de drenaje y la evaluación de impactos ambientales.

La metodología propuesta en el manual es aplicable a diversos tipos de estudios hidrológicos que requieren un enfoque detallado, incluyendo la planificación y diseño de sistemas de drenaje que manejan la escorrentía generada por precipitaciones extremas. Estas estructuras deben ser capaces de operar eficientemente durante eventos de lluvia significativa, minimizando así el riesgo de inundaciones y erosiones.

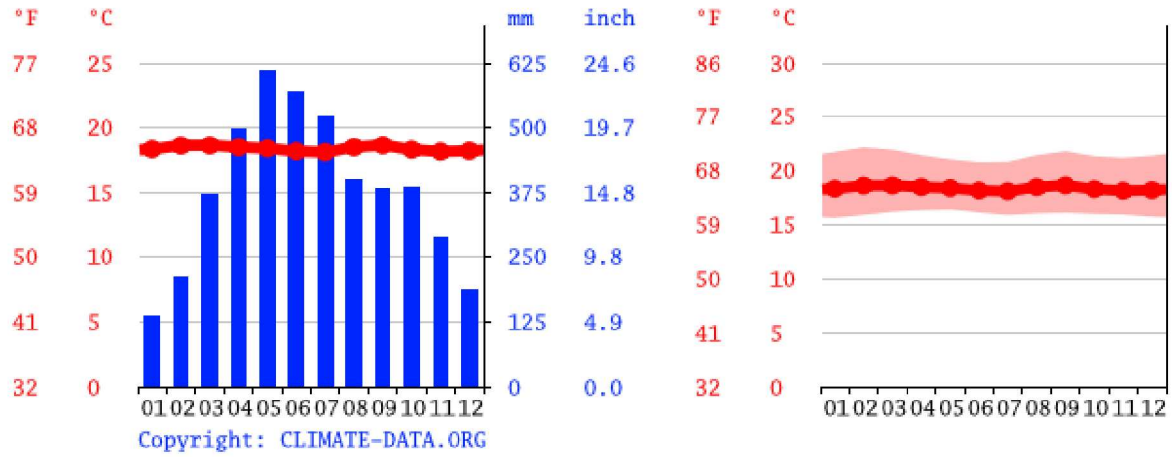
El manual detalla los requisitos que deben cumplirse al realizar un estudio de drenaje, comenzando con la recopilación y análisis de datos meteorológicos e hidrológicos de la zona de interés. Es importante llevar a cabo una correcta identificación de la cuenca, considerando factores como la topografía, uso del suelo y características geológicas, que influyen en el comportamiento del agua.
Además, se especifican procedimientos para la estimación de caudales de diseño, mediante el uso de métodos como el racional o el de SCS (Soil Conservation Service). El dimensionamiento de obras de drenaje, tales como alcantarillas, cunetas y pozos de absorción, debe seguir los lineamientos indicados en el manual para garantizar su eficacia y durabilidad.

La recopilación de datos y el análisis riguroso del comportamiento hidrológico e hidráulico son pasos fundamentales en la ejecución de proyectos de infraestructura. El "Manual de Drenaje de INVÍAS" representa una herramienta valiosa para ingenieros en Colombia, permitiendo la implementación de prácticas estandarizadas que responden a las complejidades locacionales y meteorológicas del país.

5.1. DIAGNOSTICO DE TIEMPO Y CLIMA EN ANOLAIMA

El régimen de temperatura presente en el municipio de Anolaima es consultado de la página climatedata.org. En la siguiente figura se observa la distribución media mensual de temperatura y precipitación del municipio de estudio.

Figura 5 Precipitación y temperatura



Fuente: Climatedata.org

En Anolaima, el clima es tropical. La precipitación en la ciudad de Anolaima es notable, con una cantidad considerable de lluvia incluso durante los meses típicamente secos. Köppen y Geiger clasifican este clima como Af. La temperatura promedio en Anolaima es de 18.4 °C (65.1 °F). Anolaima está en el centro de nuestro planeta y los veranos no son fáciles de definir. El mes con la temperatura más alta es septiembre, con una temperatura promedio de hasta 18,6 °C (65,6 °F). Julio se considera la época más fría del año, con temperaturas promedio de alrededor de 18,1 °C (64,6 °F).

El mes con mayor humedad relativa es mayo (87,91). El mes con menor humedad relativa es febrero (80,72). El mes con mayor precipitación es mayo (28,63 días), mientras que el mes con menor precipitación es febrero (22,50). En la región de Anolaima, se ha observado que agosto es el mes con mayor cantidad de horas de sol diarias, con una duración promedio de aproximadamente 8,92. El total de horas de sol durante este período asciende a la asombrosa cifra de 276,46.
La localidad de Anolaima registra la menor cantidad de horas de sol diarias durante enero, con una duración promedio de tan solo 6,93. El total de horas de sol registradas este mes es de 207,98.
Se estima que la duración total anual de la luz solar en Anolaima es de aproximadamente 2949,44 horas. Esto se traduce en un promedio mensual de aproximadamente 245,79 horas por mes, de forma constante.

5.2. PROCESAMIENTO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN

5.2.1. DIAGNOSTICO DATOS DE PRECIPITACIÓN.

El área de estudio actualmente cuenta con el respaldo de 14 estaciones de medición de lluvia en un radio de 26 Km, teniéndose la más cercana a 3.28 Km de los tramos viales de estudio en el área urbana Anolaima Cundinamarca con aproximadamente 54 años de datos y un 7.25 % de datos faltantes. La mayoría de ellas presentan registros hasta finales del año de 2024 y principios del 2025. A continuación, se muestran listadas las estaciones consultadas en los canales del Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM).

Tabla 3. Estaciones hidrometeorológicas consultadas para el presente estudio.

ESTACIÓN	TIPO	INICIO	FIN	DISTANCIA KM	N° FALTANTES	% FALTANTES
ACAPULCO [21206280]	Climática Principal	2/12/1990	8/31/2025	20.17	754	5.81%
BASE AEREA MADRID [21205770]	Climática Ordinaria	7/10/1974	9/29/2023	21.44	2943	16.37%
CASABLANCA [21206060]	Meteorológica	1/1/1981	8/29/2025	23.76	2602	15.95%
EL CORAZON [21201070]	Pluviométrica	7/26/1974	2/27/2025	22.43	288	1.56%
EL SILENCIO [23060290]	Pluviométrica	3/1/1986	12/31/2024	24.09	475	3.35%
HIDROPARAISO [21202160]	Pluviométrica	6/1/1984	8/30/2025	21.55	2880	19.12%
LA ESTANCIA [23060370]	Pluviométrica	1/1/2009	8/24/2025	25.09	422	6.94%
LA FLORIDA [21205670]	Climática Principal	11/4/1970	8/30/2025	3.28	1482	7.40%
MERCEDES [21205660]	Climática Principal	9/24/1970	8/27/2025	21.21	1684	8.39%
PRIMAVERA D' MATIMA [21206180]	Climática Ordinaria	5/1/1986	11/27/2024	5.35	1721	12.21%
SABANETA [23065100]	Climática Ordinaria	12/1/1986	3/31/2016	23.21	599	5.59%
SAN JUAN D RIOSECO [21230070]	Pluviométrica	12/8/1974	5/30/2025	20.31	554	3.00%
SANTA TERESA [23065060]	Climática Ordinaria	3/10/1989	8/30/2014	8.94	424	4.56%
VILLA INES [21205940]	Climática Principal	6/1/1994	8/24/2025	12.04	1558	13.66%

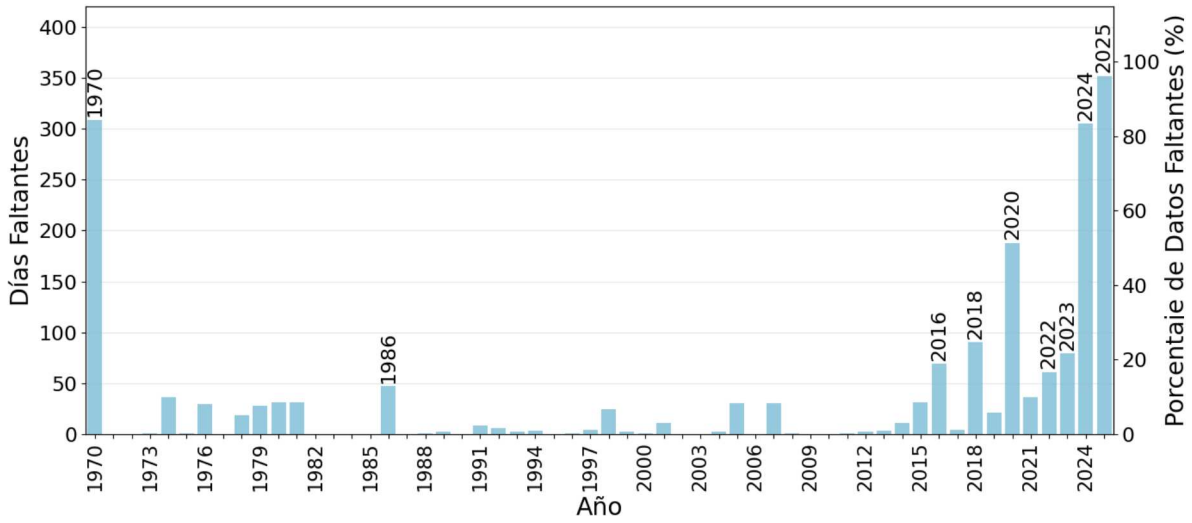
Fuente: Datos IDEAM, Procesado por El Autor.

En términos de la distancia planimétrica existente entre los tramos viales de estudio y las diferentes estaciones, estos valores oscilan entre 3.28 km y 25.09 Km, estas distancias se consideran importantes y por ello la información podría tener limitaciones en términos de representatividad dada la existencia de variaciones locales en la distribución de la precipitación debido a factores como la topografía, la vegetación o microclimas particulares.

Como es de apreciar en la tabla anterior, no todas las estaciones cuentan con la misma temporalidad informativa, durante los periodos de instrumentación se aprecian datos faltantes que oscilan entre el 1.56% y el 19.12% de los registros. Por esta razón se considera implementar el llenado de estos registros faltantes tal como se describirá más adelante, con el fin de ser considerados en las etapas descriptivas del estudio hidrológico. En la siguiente figura se aprecia cronológicamente como se

encuentran los datos faltantes en la estación LA FLORIDA [21205670], nótese que el año inicial de registro 1970 se tienen muchos datos faltantes y que a partir del año 2016 hasta la fecha del presente estudio se evidencia una creciente perdida de frecuencia en la toma de los registros de la estación LA FLORIDA [21205670], siendo el año 2024 un periodo con más datos faltantes comparado con el año 2016. Sin embargo, fuera de este periodo podría haber registros clave para análisis de frecuencias y avenidas máximas que no se pueden descartar.

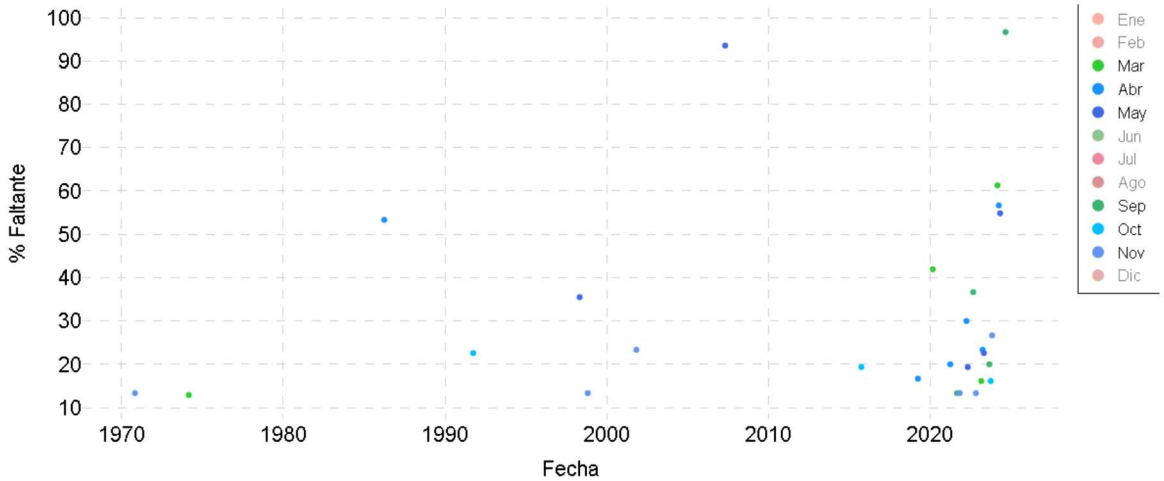
Figura 6. Series de datos faltantes Estación LA FLORIDA [21205670] Periodo 1970 - 2025



Fuente: Datos IDEAM, Procesado por El Autor.

Complementariamente a lo descrito en el grafico anterior se encuentran ploteados los meses húmedos con mayor cantidad de datos faltantes y se evidencia que estos presentan ausencias importantes en los registros a partir del año 2016. Por lo que se puede afirmar que durante estos años existe la posibilidad de que no se hubiesen registrado días en los cuales se pudieron presentar eventos de lluvia de gran magnitud.

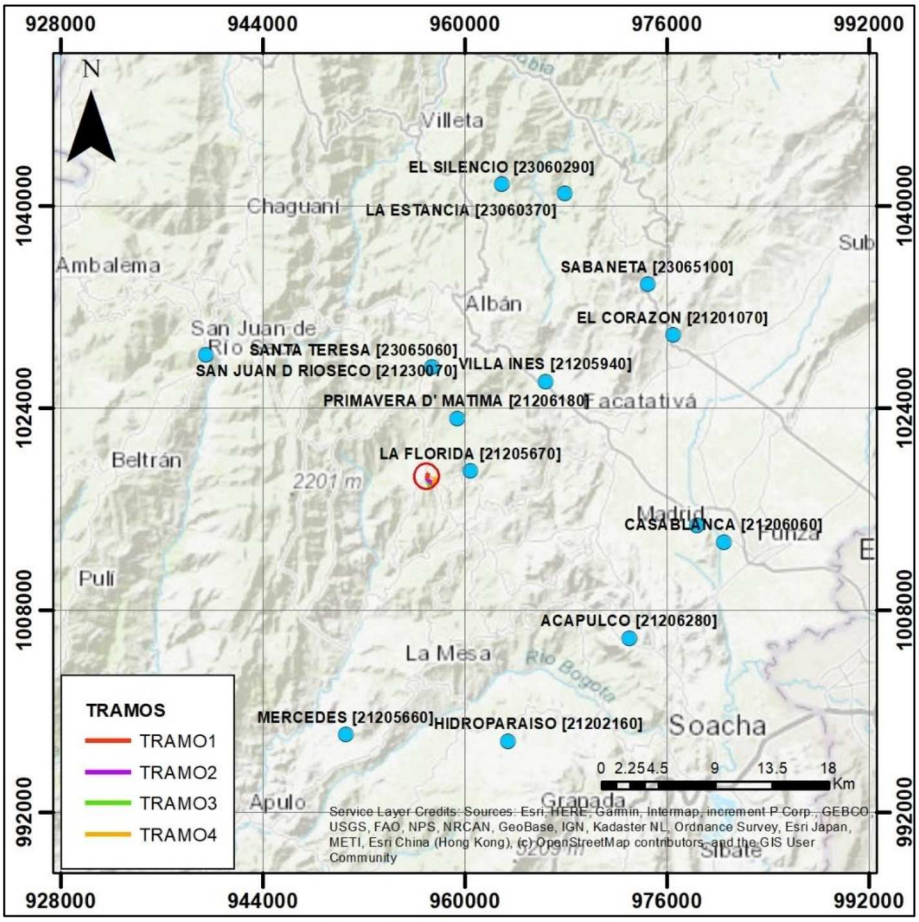
Figura 7. Series de datos faltantes a escala mensual en meses húmedos en la Estación LA FLORIDA [21205670] Periodo 1970 – 2025



Fuente: Datos IDEAM, Procesado por El Autor.

En la siguiente figura se ilustra la ubicación espacial de las estaciones consultadas para el presente estudio en las bases de datos del IDEAM. En donde la estación más cercana es LA FLORIDA [21205670].

Figura 8 Distribución espacial de estaciones hidrometeorológicas IDEAM consultadas



Fuente: Datos IDEAM, Procesado por El Autor.

5.2.2. DETECCIÓN DE DATOS ANÓMALOS

Los datos anómalos (outliers) son registros errados que pueden presentarse por problemas en la transcripción de los datos, por inconvenientes funcionales en los equipos de instrumentación, por cambios de estos en términos tecnológicos, por concepto de reparación o sencillamente por situaciones adversas a la medición. La identificación de estos se realiza mediante análisis exploratorio datos y no por análisis estadístico en los mismos dado que un dato anómalo también puede presentarse por una tormenta extraordinaria o un día pluviométricamente anómalo. situaciones que si son de interés en el diseño hidrológico y que no pueden ser descartas.

Sin embargo, el presente estudio propone varios criterios sistemáticos que permiten sugerir datos anómalos que posteriormente deberán ser evaluados manualmente. El método propone evaluar en primera instancia anómalos por inconsistencias vecinas, anómalos por encima del percentil 99.99 de los datos, anómalos por factores climáticos globales como el ENSO. Los registros similares

encontrados en estas tres evaluaciones serán el conjunto de anómalos a revisar manualmente con el fin de preservar aquellos que se hayan presentado en un periodo lluvioso registrado por la estación y finalmente se complementarán con anómalos picos de datos repetidos consecutivamente en el tiempo por el registro ya que probabilidad de que un valor pico se presente en la misma magnitud dos días seguidos por la misma estación es muy baja.

La detección anomalías por inconsistencias en registros vecinos sugieren una mejora de la calidad de los datos hidrológicos en una estación especifica basándose en lo que está sucediendo al mismo tiempo en otras estaciones cercanas y/o con comportamiento hidrológico similar. si bien puede ser complejo para la precipitación debido a su alta variabilidad, sigue siendo relevante, especialmente para eventos de mayor escala (sistemas frontales, depresiones). La detección de anomalías asume que la cantidad de lluvia registrada en una estación (s_{target}) durante un día (t) debería, en ausencia de errores de medición o fenómenos convectivos extremadamente localizados, guardar relación con las cantidades registradas simultáneamente en estaciones vecinas que históricamente exhiben patrones de precipitación similares.

Inicialmente, los datos brutos de precipitación diaria se reestructuran en una matriz D donde las filas representan los días (t) y las columnas las estaciones (s). Así, D[t,s] contiene la lámina de precipitación diaria P(t,s) la cual usualmente se representa en mm para la estación (s) en el día (t).

La selección de estaciones vecinas para una estación objetivo (s_{target}) se basa en la correlación histórica de sus registros de precipitación diaria. Se calcula la matriz de correlación de Pearson (R) y entre las series temporales P(S_i) y P (S_i) para todos los pares de estaciones. El coeficiente r (S_i, S_j) indica en qué medida las dos estaciones tienden a registrar lluvia (o ausencia de ella) de forma concomitante a lo largo del tiempo:

$$r(s_i, s_j) = \frac{\mathrm{cov}\left(P(s_i), P(s_j)\right)}{\sigma(P(s_i))\sigma\left(P(s_j)\right)}$$

Donde cov es la covarianza y σ es la desviación estándar de las series de precipitación diaria. Para cada (s_{target}) se identifica el conjunto N(s_{target}) de las k estaciones (Numero de vecinos de correlación) con correlación absoluta |r (s_{target}, s_j)| excluyendo a (s_{target}) misma ($s_j \neq s_{target}$). Estas estaciones representan el vecindario hidrológicamente más relevante para (s_{target}) en términos de patrones de precipitación.

El núcleo del algoritmo evalúa cada registro $P(t, s_{target})$. Se estima un valor de precipitación diaria de referencia regional $P_{ref}(t, s_{target})$basado en los vecinos correlacionados. Este valor se calcula como la media aritmética de las precipitaciones diarias registradas en las estaciones vecinas $N'(t, s_{target})$. (subconjunto de $N(s_{target})$) con datos válidos y con precipitación distinta de cero para ese día t:

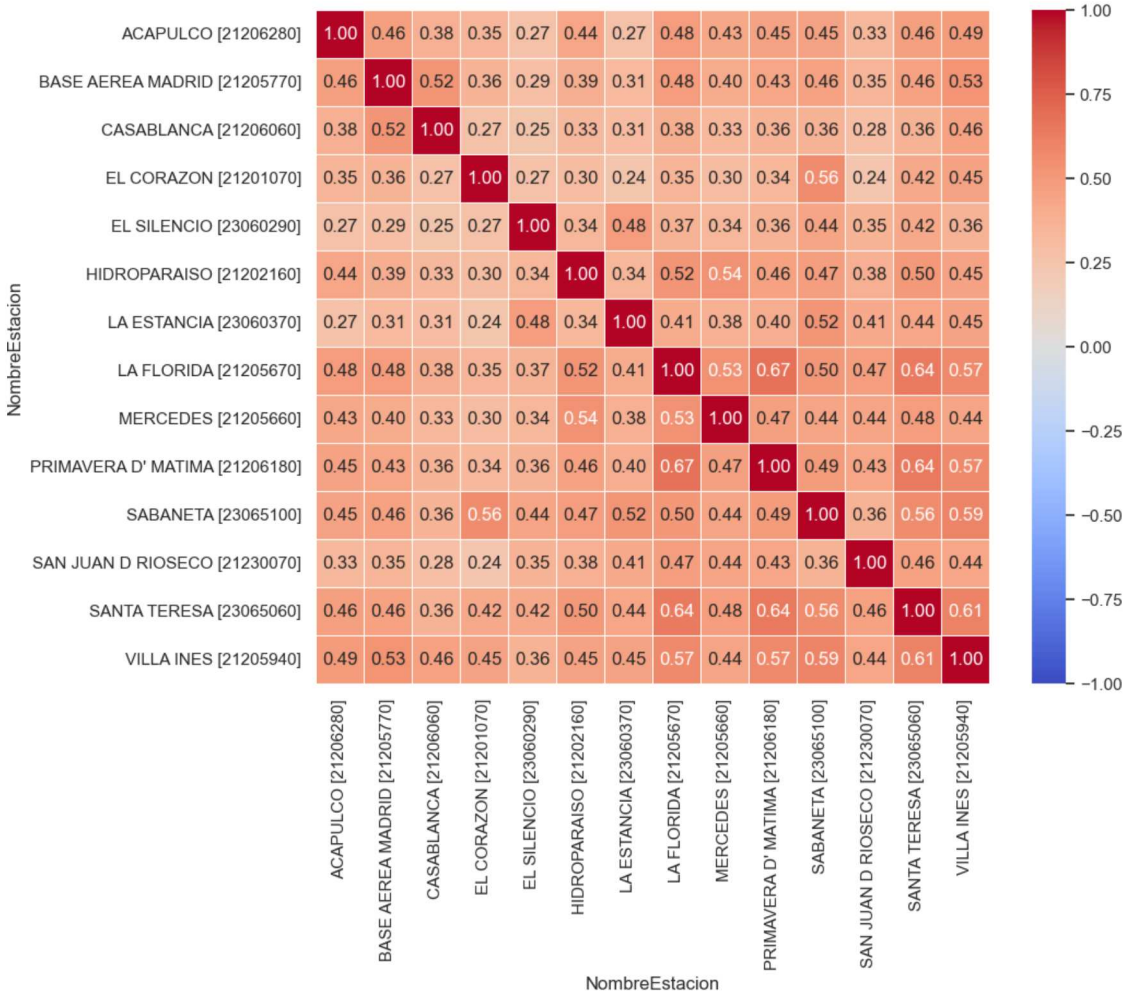
$$P_{ref}(t, s_{target}) = \frac{1}{\left|N'(t, s_{target})\right|} \sum_{s_j \in N'(t, s_{target})} P(t, s_j)$$

Este cálculo requiere un número mínimo de vecinos con datos válidos y no nulos, típicamente

$$| N'(t, s_{target}) | \geq 2$$

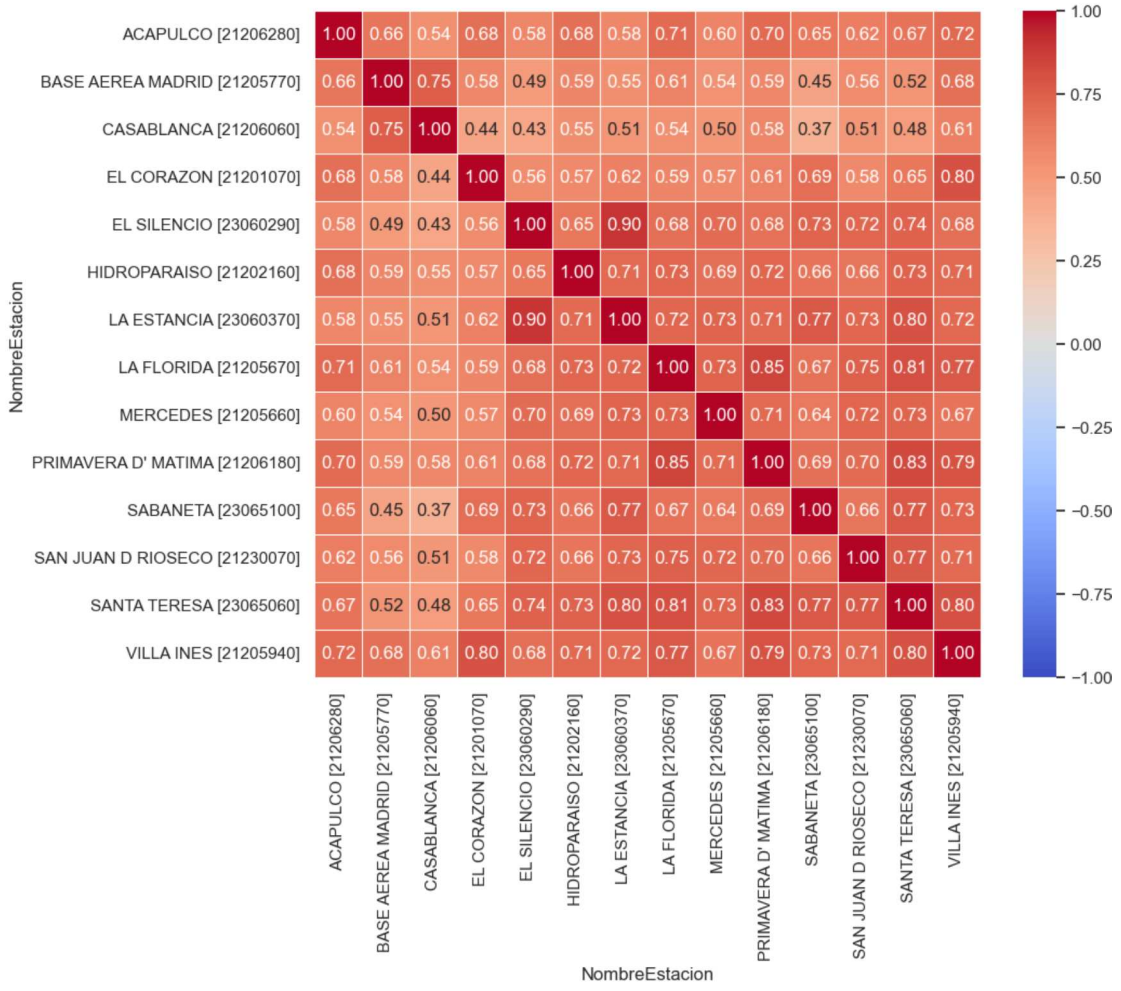
A continuación, se muestra en escala diaria y mensual el coeficiente de correlación entre las distintas estaciones del área de estudio. Nótese que los coeficientes a escala mensual son mejores numéricamente que los de escala diaria dada la perdida de la variabilidad de los datos al ser agregados de escala diaria a mensual. Por ejemplo, la Estación LA FLORIDA [21205670] presenta una buena correlación con la estación HIDROPARAISO [21202160] y con la estación PRIMAVERA D' MATIMA [21206180], este aspecto permite encontrar anómalos por inconsistencias de registros vecinos entre estas dos estaciones, así como también estimar datos faltantes.

Figura 9. Matriz de correlación de estaciones a escala diaria



Fuente: Datos IDEAM, Procesado por El Autor.

Figura 10. Matriz de correlación de estaciones a escala mensual



Fuente: Datos IDEAM, Procesado por El Autor.

Se evalúa la discrepancia entre la precipitación $P(t, s_{target})$ y la referencia $P_{ref}(t, s_{target})$ usando la diferencia absoluta (Δ_{abs}) y la diferencia relativa porcentual (Δ_{rel}):

$$\Delta_{abs}(t, s_{target}) = \left|P(t, s_{target}) - P_{ref}(t, s_{target})\right|$$

$$\Delta_{rel}(t, s_{target}) = \frac{\Delta_{abs}(t, s_{target})}{\left|P_{ref}(t, s_{target})\right|} \times 100 \ (\text{si } P_{ref}(t, s_{target}) > 0)$$

Un registro se considera *potencialmente* anómalo si $\Delta_{abs}(t, s_{target}) > U_{abs}$.(Umbral de diferencia) o si $\Delta_{rel}(t, s_{target}) > U_{rel}$ (Umbral de diferencia relativa). El umbral relativo U_{rel} es particularmente importante para la precipitación, ya que permite detectar inconsistencias significativas cuando los montos promedio vecinos P_{ref} son bajos.

Dada la alta heterogeneidad espacial inherente a la precipitación, especialmente la de origen convectivo (tormentas), es fundamental aplicar un filtro de similaridad individual para evitar falsos

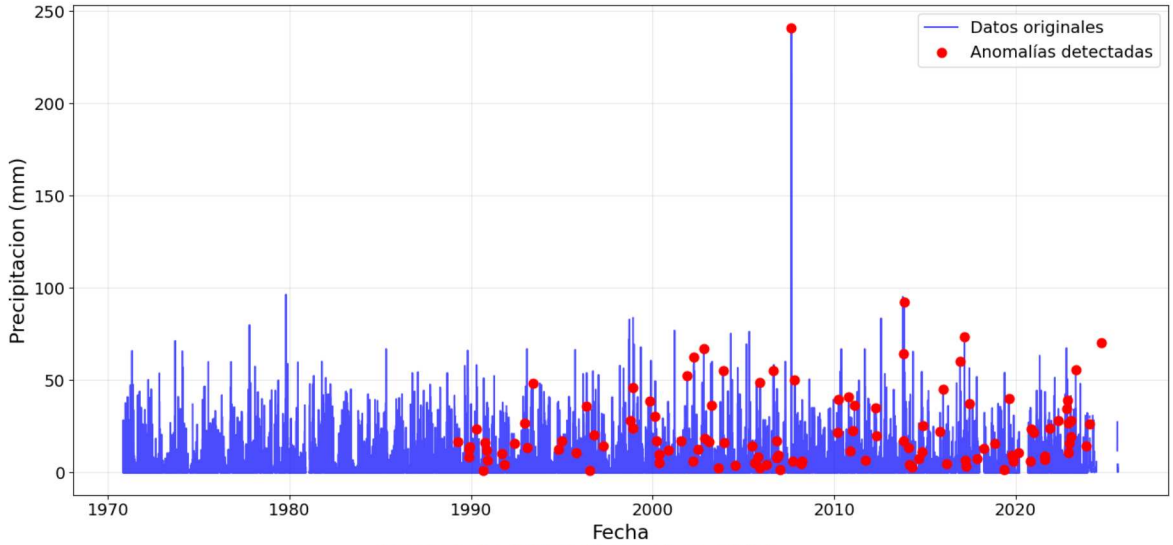
positivos. Antes de marcar $\mathrm{P(t, s_{target})}$ como anómalo, se comprueba si al menos una estación vecina individual $s_j \in N'(t, s_{target})$ registró una cantidad de lluvia "suficientemente similar". La similaridad se evalúa mediante la diferencia proporcional δ_{prop}:

$$\delta_{prop}(s_{target}, s_j) = \frac{|P(t, s_{target}) - P(t, s_j)|}{\max\left(P(t, s_{target}), P(t, s_j)\right)}$$

Si para algún vecino $s_j, \delta_{prop}(s_{target}, s_j) \leq U_{sim}$ (donde U_{sim} es el umbral de similaridad/100, se considera que el valor $P(t, s_{target})$ aunque difiera del promedio regional P_{ref}, está respaldado por al menos una estación hidrológicamente similar. Esto es crucial para no descartar erróneamente registros válidos de lluvias intensas pero localizadas que afectaron a s_{target} y a uno o pocos de sus vecinos. En este caso, $P(t, s_{target})$. no se considera anómalo.

La detección de anómalos por inconsistencias en los registros de la Estación LA FLORIDA [21205670]en comparación con unas estaciones vecinas altamente correlacionadas se presentan a continuación, nótese que la mayor cantidad de datos anómalos son precipitaciones medias a bajas. Aunque también es gráficamente evidente un registro de más de 230 mm/día el cual no fue corroborado por ninguna otra estación apuntándose bajo este criterio un dato anómalo que afectaría posteriores estimaciones. Por ende, Los datos extremos presentes tendrán que ser comparados con los resultados de próximos procedimientos de detección de anómalos.

Figura 11. Anomalías en la Estación LA FLORIDA [21205670] definidas por no similitud con estaciones vecinas



Fuente: Datos IDEAM, Procesado por El Autor.

Otro tipo de anomalías a analizar es la referida a datos anómalos que se encuentran sobre el percentil 99.99 de los datos para cada uno de los meses del año (análisis mensual multianual), dado que a medida que el percentil es más bajo la probabilidad de eliminar datos anómalos realmente representativos es mayor: El percentil es alto debido a que como se mencionó con anterioridad este

procedimiento es de naturaleza exploratoria y no estadística. El enfoque implementado se basa en el análisis de frecuencia univariado, considerando explícitamente la estacionalidad del régimen de precipitación. La premisa fundamental es que la ocurrencia de una lámina de lluvia diaria excepcionalmente alta en una estación debe evaluarse en relación con la distribución histórica de las precipitaciones registradas en esa misma estación y durante ese mismo período del año (mes). No se realiza una comparación espacial con estaciones vecinas como en el caso anterior, sino una evaluación temporal de la rareza estadística de un evento en su propio contexto local e histórico.

El concepto central es determinar un umbral de precipitación diaria para cada mes calendario (m) y cada estación (s) que represente un nivel muy raramente superado según los registros históricos. Este umbral se establece calculando un percentil muy alto de la distribución empírica de las precipitaciones diarias observadas exclusivamente durante ese mes específico (m) a lo largo de todos los años disponibles para la estación. (s). El percentil 99.99, denotado como $P_{0.9999}(m, s)$ Que por definición es la lámina de precipitación diaria tal que aproximadamente el 99.99% de las mediciones históricas de precipitación diaria P(t',s) ocurridas durante el mes (m) (es decir, donde mes(t') =m) en la estación s fueron menores o iguales a él. Matemáticamente, se expresa como:

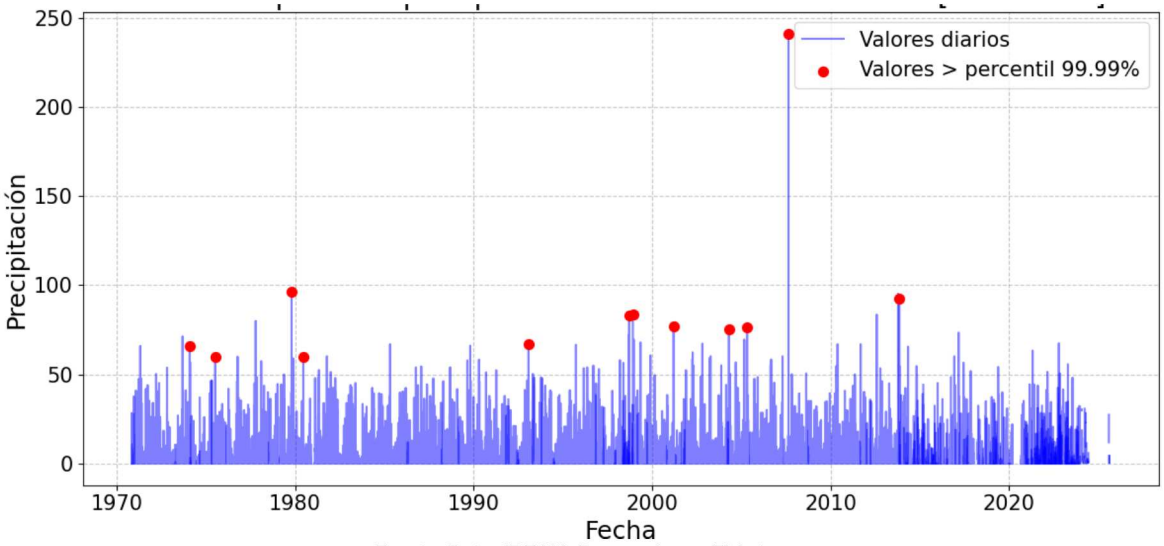
$$\text{Prob}(P(t', s) \leq P_{0.9999}(m, s) | \text{mes}(t') = m) \approx 0.9999$$

El criterio para identificar un registro de precipitación diaria P(t,s) como un evento extremo se basa en la superación de este umbral mensual específico. Si la precipitación observada en un día t (perteneciente al mes m=mes(t)) en la estación s, excede el percentil 99.99 calculado para ese mes m y esa estación s, entonces se clasifica como un valor extremo o potencialmente anómalo en términos de magnitud:

$$P(t, s) > P_{0.9999}(\text{mes}(t), s)$$

La inclusión del análisis mensual (m=1,…,12) es hidrológicamente crucial, ya que reconoce que los umbrales de precipitación extrema varían significativamente a lo largo del año en la mayoría de los climas. Una lluvia de 50 mm puede ser extrema en una estación seca pero común en la estación húmeda para la misma localidad. Al calcular P0.9999(m,s) para cada mes por separado, el método se adapta a esta variabilidad estacional intrínseca. Las anomalías encontradas para la Estación LA FLORIDA [21205670]se presentan a continuación, nótese que estas se encuentran bien distribuidas a lo largo de la serie temporal menos afectada por datos faltantes y estos pertenecen a distintos meses, con este resultado se revisara la representatividad de estos datos anómalos en meses secos.

Figura 12. Anomalías en la Estación LA FLORIDA [21205670] referida a valores mayores al percentil 99.99



Fuente: Datos IDEAM, Procesado por El Autor.

Considerando el fenómeno climático Oscilación de Sur El Niño (ENSO) mediante la revisión del índice oceánico de El Niño (ONI) publicado por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), es posible identificar los periodos Niña, Niño y Neutral en el tiempo y realizar apreciaciones sobre la incidencia del ENSO sobre los valores de la precipitación mensual registrados por las estaciones presentes en el área de estudio

Para entender como el ENSO puede promover la presencia de días lluviosos y por ende se justifiquen climatológicamente anomalías por esta circunstancia, se consideró importante relacionar los valores mensuales de precipitación respecto al índice ONI en las llamadas condiciones Lag o de retraso debido a los procesos físicos y geográficos que retrasan la respuesta de las lluvias frente a variaciones en la temperatura superficial del mar (TSM) del pacifico Ecuatorial. En la siguiente tabla se observan los coeficientes de correlación entre cada una de las estaciones y el índice ONI retrasado-determinada cantidad de meses, a su vez se muestra el mejor coeficiente obtenido en las distintas correlaciones y el tiempo de retraso para su obtención. Obsérvese que es muy frecuente encontrar retrasos de 0,1,2 y 3 mes lo que muestra que este es el patrón temporal de incidencia del ONI. Los mejores ajustes correlativos entre el ONI y la precipitación en cada una de las estaciones del área de estudio considerando rezago se encuentra entre -0.11 y -0.32, lo que significa que existe una relación inversa entre las condiciones oceánicas del Pacífico tropical y la precipitación regional. Esta relación sugiere que cuando el ONI presenta valores más positivos, característicos de eventos El Niño, tiende a observarse una reducción en las precipitaciones, mientras que cuando el ONI muestra valores más negativos, asociados con La Niña, se registra un incremento en las lluvias. Sin embargo, la magnitud de esta correlación, especialmente hacia el extremo inferior del rango (-0.11), indica que la relación es relativamente débil, lo que significa que el índice ONI explica solo una pequeña proporción de la variabilidad total de las precipitaciones en la región estudiada. Esto es consistente con el comportamiento climático típico de Colombia, donde los fenómenos ENSO efectivamente influyen en los patrones de precipitación, pero otros factores locales, topográficos y de circulación atmosférica regional también desempeñan roles importantes en la determinación de los regímenes pluviométricos.

Tabla 4 Correlación precipitación mensual e Índice ONI a diferentes periodos de rezago

NOMBRE	RETRASO (MESES)							MEJOR CORRELACIÓN	
	0	1	2	3	4	5	6	COEF. CORRELACIÓN	RETRASO (MESES)
ACAPULCO [21206280]	-0.2	-0.22	-0.21	-0.2	-0.17	-0.14	-0.14	-0.22	1
BASE AEREA MADRID [21205770]	-0.21	-0.22	-0.2	-0.17	-0.13	-0.1	-0.09	-0.22	1
CASABLANCA [21206060]	-0.14	-0.17	-0.19	-0.18	-0.18	-0.17	-0.16	-0.19	2
EL CORAZON [21201070]	-0.18	-0.2	-0.19	-0.17	-0.13	-0.11	-0.1	-0.2	1
EL SILENCIO [23060290]	-0.17	-0.17	-0.16	-0.14	-0.12	-0.09	-0.07	-0.17	1
HIDROPARAISO [21202160]	-0.26	-0.27	-0.27	-0.26	-0.24	-0.23	-0.21	-0.27	1
LA ESTANCIA [23060370]	-0.31	-0.32	-0.32	-0.29	-0.24	-0.2	-0.21	-0.32	1
LA FLORIDA [21205670]	-0.17	-0.19	-0.2	-0.19	-0.16	-0.14	-0.12	-0.2	2
MERCEDES [21205660]	-0.17	-0.18	-0.17	-0.15	-0.13	-0.11	-0.09	-0.18	1
PRIMAVERA D' MATIMA [21206180]	-0.22	-0.26	-0.27	-0.25	-0.21	-0.17	-0.14	-0.27	2
SABANETA [23065100]	-0.26	-0.26	-0.22	-0.2	-0.17	-0.14	-0.1	-0.26	0
SAN JUAN D RIOSECO [21230070]	-0.11	-0.11	-0.1	-0.1	-0.08	-0.07	-0.06	-0.11	0
SANTA TERESA [23065060]	-0.22	-0.24	-0.22	-0.19	-0.15	-0.14	-0.11	-0.24	1
VILLA INES [21205940]	-0.21	-0.23	-0.23	-0.21	-0.18	-0.17	-0.16	-0.23	1

Fuente: IDEAM, NOAA procesado por El Autor.

Las anomalías encontradas por incoherencias con el ENSO, es decir lluvias anómalas en periodos secos se relacionan inmediatamente con las anomalías por inconsistencia en registros de estaciones vecinas y anomalías por exceso de percentil 99.99 para obtener un registro único de anomalías compuesto por aquellos registros que presenten las tres condiciones anómalas evaluadas.

Finalmente, se evalúan las Anomalías por repetividad cronológica en los datos dado que hidrológicamente, la ocurrencia natural de la misma cantidad exacta de lluvia (no nula) durante varios días seguidos en una misma ubicación es extremadamente improbable. La precipitación diaria es un proceso inherentemente variable, influenciado por la dinámica atmosférica, la duración e intensidad de los eventos, y la precisión del instrumento de medición. Por lo tanto, la repetición idéntica de un valor no nulo sugiere fuertemente un problema con la adquisición, registro o transmisión de los datos, más que un fenómeno meteorológico real.

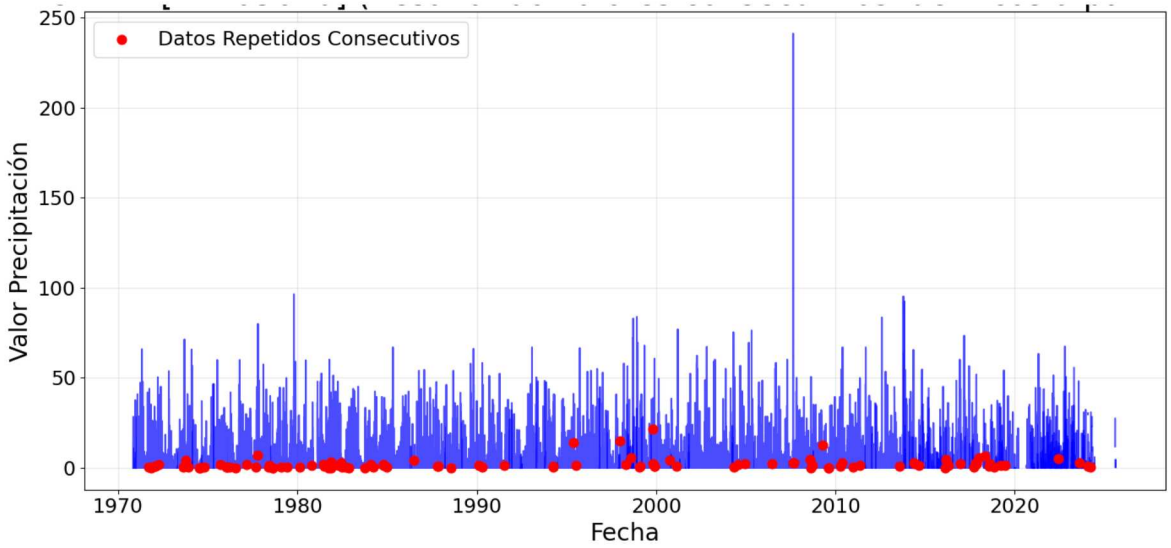
La lógica subyacente considera una secuencia de registros de precipitación diaria para una estación

dada s denotados como P(t,s) donde t representa el día. El método busca identificar tramos donde se cumplen simultáneamente tres condiciones para una secuencia de días consecutivos:

- La precipitación registrada no es cero: P(t,s)>0
- La precipitación registrada es idéntica numéricamente a la del día inmediatamente anterior: P(t,s)=P(t-1,s)
- Los registros corresponden efectivamente a días consecutivos (la diferencia temporal es de exactamente 1 día).

En la siguiente gráfica se muestran las anomalías detectadas por repetitividad consecutiva en la estación LA FLORIDA [21205670]. En donde es observable que la mayoría de las repeticiones se dan en registros de precipitación bajos y medios. Sin embargo, los registros que se consideran en este análisis son los anómalos picos dado que estas son las menos probables hidrológicamente, de los cuales para esta estación son ausentes.

Figura 13. Anomalías por valores iguales consecutivos en la Estación LA FLORIDA [21205670].



Fuente: Datos IDEAM, Procesado por El Autor.

Finalmente, en la siguiente tabla se observan los datos descartados de las series evaluadas en el estudio hidrológico del Tramos viales urbanos de estudio, en donde es importante resaltar la pequeña cantidad de datos descartados, el cual siempre debe ser el fin de este proceso con el fin de evitar llenados de datos medios en espacios importantes de estudios de máximos hidrológicos.

Tabla 5. Datos anómalos descartados en las estaciones consultadas por el estudio.

NOMBRE DE LA ESTACION	ESTE	NORTE	ALTURA	FECHA	VALOR	INDICE	PERIODO	CRITERIO
ACAPULCO [21206280]	4853604	2071761	2680	1991-12-23	112.4	1.19	Niño	Vecindad, percentil 99.99 y ENSO
ACAPULCO [21206280]	4853604	2071761	2680	2016-01-06	45.6	2.65	Niño	
ACAPULCO [21206280]	4853604	2071761	2680	2018-10-20	121.3	0.47	Niño	
ACAPULCO [21206280]	4853604	2071761	2680	2023-11-03	59.2	1.72	Niño	
BASE AEREA MADRID [21205770]	4858926	2080657	2550	2015-04-16	60	0.47	Niño	

NOMBRE DE LA ESTACION	ESTE	NORTE	ALTURA	FECHA	VALOR	INDICE	PERIODO	CRITERIO
CASABLANCA [21206060]	4861049	2079360	2575	1991-03-28	38	0.45	Neutral	
EL SILENCIO [23060290]	4843508	2107695	1425	1993-12-16	119.7	0.01	Neutral	
EL SILENCIO [23060290]	4843508	2107695	1425	2015-01-22	79	0.72	Niño	
LA ESTANCIA [23060370]	4848538	2106966	1280	2015-01-30	110	0.72	Niño	
LA ESTANCIA [23060370]	4848538	2106966	1280	2017-08-19	41	0.25	Neutral	
SAN JUAN D RIOSECO [21230070]	4820110	2094275	1364	2002-12-17	61.3	1.31	Niño	
SAN JUAN D RIOSECO [21230070]	4820110	2094275	1364	2004-09-24	93	0.72	Niño	
ACAPULCO [21206280]	4853604	2071761	2680	1991-12-23	112.4	1.19	Niño	
EL CORAZON [21201070]	4857079	2095752	2845	1981-02-11	99.5	-0.38	Neutral	
EL SILENCIO [23060290]	4843508	2107695	1425	1993-12-16	119.7	0.01	Neutral	
HIDROPARAISO [21202160]	4843935	2063631	1685	1998-12-28	115.5	-1.38	Niña	
HIDROPARAISO [21202160]	4843935	2063631	1685	1987-01-07	103	1.24	Niño	
LA ESTANCIA [23060370]	4848538	2106966	1280	2015-01-30	110	0.72	Niño	Exploratorio
LA FLORIDA [21205670]	4841001	2085022	1915	2007-08-25	241.2	-0.36	Niña	
MERCEDES [21205660]	4831093	2064165	765	2001-12-15	101.4	-0.41	Neutral	
SABANETA [23065100]	4855094	2099778	2475	1990-12-07	92	0.48	Neutral	
SABANETA [23065100]	4855094	2099778	2475	2013-01-17	72.5	-0.53	Neutral	
-+SANTA TERESA [23065060]	4837974	2093228	2200	2009-12-19	97.1	1.45	Niño	

Fuente: Datos IDEAM, Procesado por El Autor.

5.2.3. COMPLETAMIENTO DE DATOS FALTANTES EN SERIES DE PRECIPITACION-

La ausencia de datos de precipitación se evaluó en el interior de los registros, por tanto, esta fue estimada por técnicas de interpolación mas no de extrapolación. Dentro de las técnicas implementadas para realizar el llenado de los datos se implementó en primera instancia el método Ponderación Inversa de la distancia IDW, el cual considera la proximidad de las estaciones soporte para el llenado del dato faltante y el grado de correlación existente entre los registros de las estaciones involucradas

Para el método IDW se requiere conocer las coordenadas de cada una de las estaciones involucradas en el cálculo, registros compatibles cronológicamente, identificar los datos faltantes a ser llenados los cuales deben poseer información en estaciones auxiliares.

Matemáticamente el método soporta el cálculo entre la estación sin dato y las estaciones vecinas con información mediante la siguiente ecuación

$$d_i = \sqrt{\left\{\left(X_{Objetivo} - X_i\right)^2 + \left(Y_{Objetivo} - Y_i\right)^2\right\}}$$

Donde el sufijo i marca la coordenada de las estaciones vecinas, di es la distancia euclidiana entre la estación objetivo y cada una de las estaciones vecinas. Posterior mente se calculan los pesos de asignación IDW, mediante la siguiente expresión:

$$w_i = \frac{1}{d_i^p}$$

Siendo p un factor de influencia de las estaciones más cercanas sobre el cálculo, el cual usualmente es 2. Realizando este cálculo múltiples veces es necesario normalizar los pesos mediante la siguiente ecuacion:

$$w_{\text{normalizado},i} = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^{n} w_j}$$

En donde n es el número de estaciones vecinas seleccionadas, Finalmente se estima la precipitación para el punto o registro de interés mediante la siguiente formula:

$$P_{\text{estimada}} = \sum_{i=1}^{n} \left(w_{\text{normalizado},i} \times P_i \right)$$

Este proceso se repite iterativamente para cada uno de los registros hasta que sean estimados la mayor cantidad de datos faltantes posibles, para el desarrollo de este estudio se implementó un código Python programado por el Autor para estimar los datos faltantes en todas las estaciones dentro del periodo del registro sin generar extrapolaciones.

En segunda instancia se implementó para el llenado de datos técnicas Machine Learning (ML), cuando no se poseía ningún registro de precipitación en ninguna de las estaciones que funcionara como soporte de llenado de datos, cuando no se tenía una buena correlación entre estaciones, cuando las estaciones correlacionadas no eran suficientes y/o estas quedaban muy lejos. El ML se implementó sobre registros ya llenos con la técnica IDW con una menor cantidad de datos faltantes que los considerados en el comienzo. La técnica ML es Random Forest y se explica a continuación

Random Forest es una poderosa técnica de aprendizaje automático, se fundamenta en la construcción de múltiples árboles de decisión. Su aplicación a la imputación de datos meteorológicos faltantes se sustenta en sólidos principios teóricos y matemáticos. En esencia, Random Forest opera como un meta-estimador. Esto significa que ajusta un número B de árboles de decisión independientes. Cada uno de estos árboles se entrena sobre diferentes submuestras aleatorias del conjunto de datos original. La magia ocurre al promediar las predicciones de todos estos árboles. Para un problema de regresión, como es el caso de la imputación de valores meteorológicos, la predicción final del modelo Random Forest, denotada por $\widehat{f_{\text{RF}}}(x)$, se calcula como la media aritmética de las predicciones individuales de cada árbol, $\widehat{\text{f}_\text{b}}(\text{x})$, donde b varía de 1 a B. Matemáticamente, esto se expresa como:

$$\widehat{\text{f}_{\text{RF}}}(\text{x}) = \frac{1}{\text{B}} \sum_{\text{b}=1}^{\text{B}} \widehat{\text{f}_\text{b}}(\text{x})$$

La construcción de cada árbol individual dentro del bosque aleatorio incorpora dos fuentes fundamentales de aleatoriedad, que son cruciales para su buen desempeño. Primero, se utiliza una técnica conocida como Bootstrap Aggregating (o Bagging). Esto implica que cada árbol se entrena, no sobre el conjunto de datos completo, sino sobre una muestra bootstrap de este. Una muestra

bootstrap, denotada $\mathcal{D}_{\mathcal{b}}$, se obtiene del conjunto de entrenamiento original, $\mathcal{D}$, seleccionando n observaciones con reemplazo, donde n es el tamaño del conjunto original. Esto significa que algunas observaciones pueden aparecer varias veces en una muestra bootstrap, mientras que otras pueden quedar fuera. La segunda fuente de aleatoriedad proviene de la selección aleatoria de características. En cada nodo de un árbol, en lugar de considerar todas las p características disponibles para encontrar la mejor división, se selecciona aleatoriamente un subconjunto de $\mathrm{m_{try}}$ características. Para problemas de regresión, una regla general comúnmente utilizada es establecer m_{try} aproximadamente igual a p/3.

Esta aleatorización tiene un propósito importante: reducir la varianza del modelo. Sabemos, por la teoría estadística, que la varianza del promedio de B variables aleatorias independientes, cada una con varianza σ^2, es simplemente σ^2/B. Si los árboles en el Random Forest fueran completamente independientes, la varianza de la predicción del ensamble se reduciría en un factor de $1/\mathrm{B}$. Sin embargo, en la práctica, los árboles no son totalmente independientes; existe cierta correlación entre ellos, que denotamos por ρ. Por lo tanto, la varianza real de la predicción del Random Forest viene dada por la expresión:

$$\mathrm{Var}\left(\widehat{\mathrm{f_{RF}}}\right) = \rho\sigma^2 + \frac{1-\rho}{\mathrm{B}}\sigma^2$$

La aleatorización introducida en la selección de características ayuda a disminuir el valor de ρ, lo que a su vez contribuye a reducir la varianza general del modelo y mejorar su capacidad de generalización.

Dentro de cada árbol de decisión (que es un árbol de regresión en este caso), el algoritmo busca, en cada nodo, la mejor manera de dividir los datos. El criterio para determinar la "mejor" división se basa en la reducción de la Suma de Errores Cuadráticos (RSS). El objetivo es encontrar la división que maximice la diferencia entre el RSS antes de la división $\mathrm{RSS_{antes}}$ y la suma de los RSS de los dos nodos resultantes (izquierdo y derecho: $\mathrm{RSS_{izquierda}}$ y $\mathrm{RSS_{derecha}}$. Esta diferencia se denota como $\Delta\mathrm{RSS}$ y se calcula como:

$$\Delta\mathrm{RSS} = \mathrm{RSS_{antes}} - \left(\mathrm{RSS_{izquierda}} + \mathrm{RSS_{derecha}}\right)$$

El RSS, a su vez, se calcula como la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados $\mathrm{y_i}$ y el valor medio de las observaciones en el nodo

$$\overline{y_{\mathrm{nodo}}}\colon \mathrm{RSS} = \sum_{i\in\mathrm{nodo}} (y_i - \overline{y_{\mathrm{nodo}}})^2$$

La aplicación específica de Random Forest a la imputación de series temporales meteorológicas se beneficia de la incorporación de características que capturan la naturaleza particular de estos datos. Por ejemplo, la descomposición de la fecha en sus componentes temporales (año, mes, día del año y hora) permite al modelo aprender patrones estacionales y cíclicos. Esta descomposición se alinea con la teoría clásica de descomposición de series temporales, que postula que una serie observada $\mathrm{Y_t}$ puede expresarse como la suma de una componente de tendencia $\mathrm{T_t}$, una componente estacional $\mathrm{S_t}$ y un término de error ε_t

Además, la inclusión de una variable como 'Valor_otros', que representa información de estaciones cercanas, permite al modelo incorporar la correlación espacial, un concepto fundamental en la geografía que se resume en la primera ley de Tobler. Finalmente, la restricción de que los valores predichos sean no negativos $y_{pred} \geq 0$ incorpora conocimiento del dominio sobre las propiedades físicas de las variables meteorológicas.

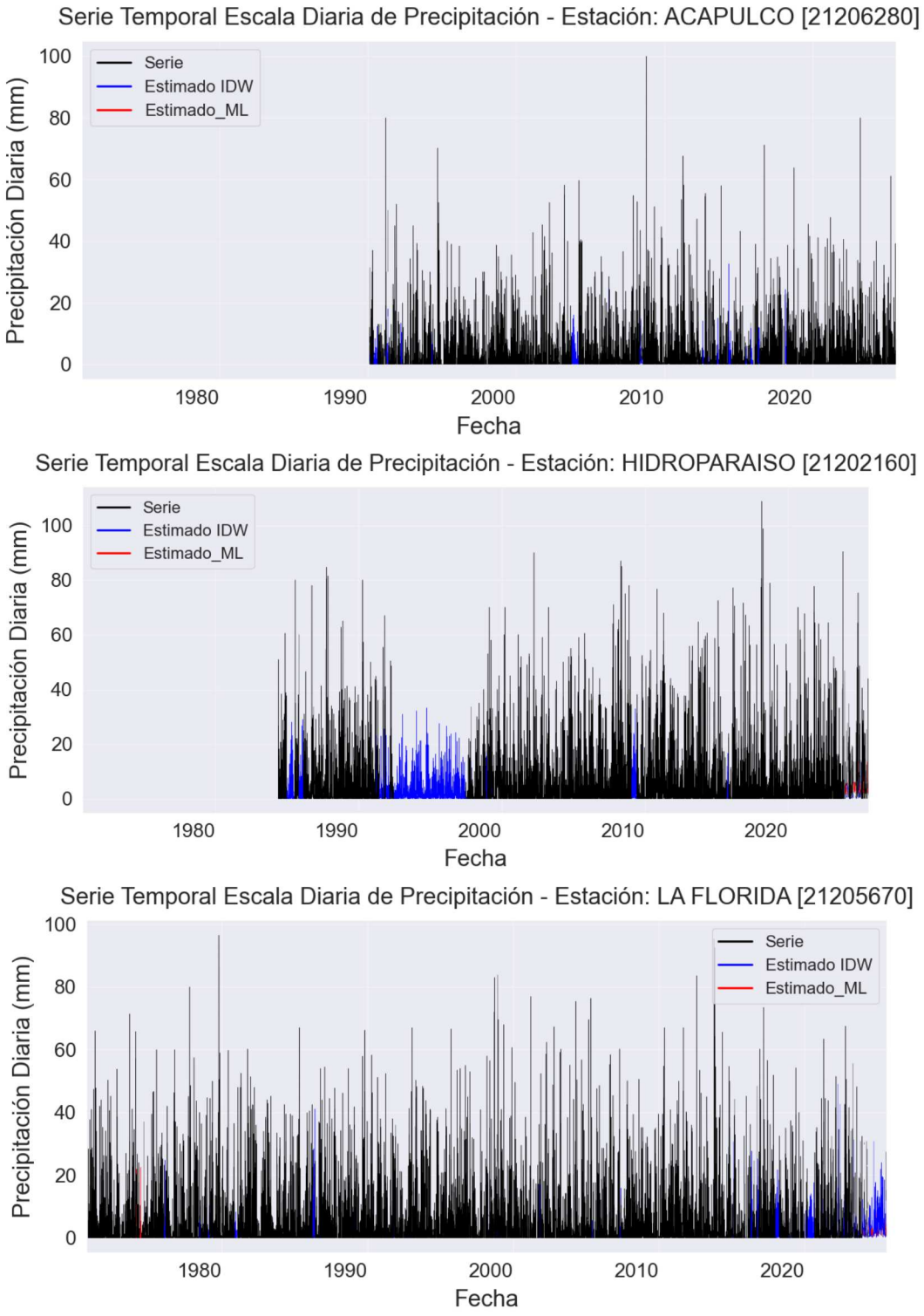
Random Forest presenta varias ventajas teóricas que lo hacen adecuado para la tarea de imputación. Su naturaleza de ensemble lo hace robusto frente a datos ruidosos, ya que el promedio de múltiples modelos tiende a mitigar el impacto de observaciones atípicas. Además, los árboles de decisión son capaces de capturar relaciones no lineales complejas, que son comunes en los fenómenos meteorológicos, sin necesidad de que estas relaciones se especifiquen explícitamente. El algoritmo también proporciona medidas de la importancia de cada variable. Esta importancia se calcula como la disminución media en la impureza (medida por RSS) a lo largo de todos los árboles. Matemáticamente, la importancia de la variable X_j se expresa como:

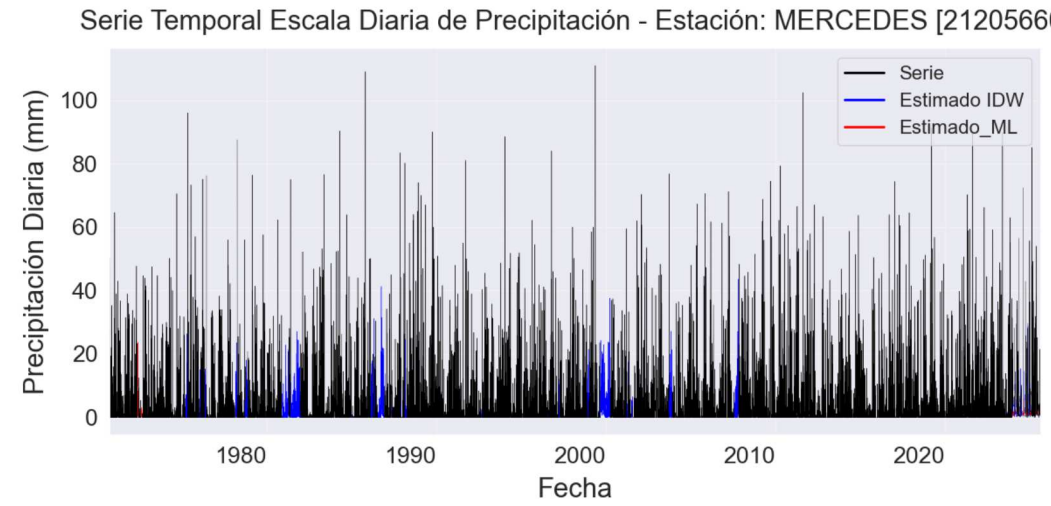
$$\mathrm{Imp}(X_j) = \frac{1}{n_{trees}} \sum_{t=1}^{n_{trees}} \sum_{n \in N_t} \Delta RSS_{j,n} \cdot 1(v(n) = j)$$

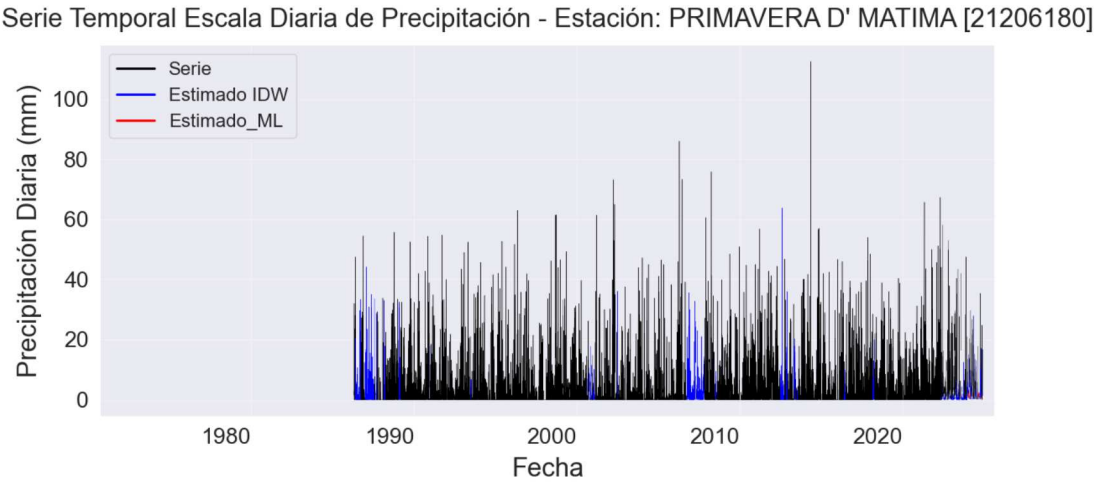
En esta fórmula, n_{trees} es el número de árboles, N_t es el conjunto de nodos en el árbol t, $\Delta RSS_{j,n}$ es la reducción en RSS al dividir el nodo n utilizando la variable j, y $1(v(n) = j$ es una función indicadora que es igual a 1 si el nodo n se dividió usando la variable j, y 0 en caso contrario. Tras la implementación de IDW y Random forest en todas las estaciones consultadas.

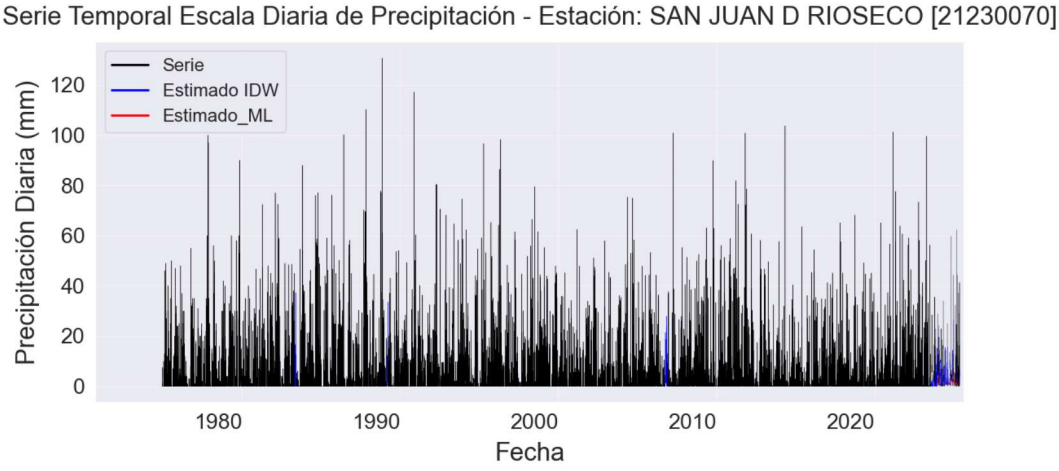
En las siguientes figuras se aprecian las series temporales consultadas en el proyecto en donde se distinguen los valores propios de serie, en azul los estimados mediante la técnica IDW y los rojos los estimados mediante Machine Learning – Random Forest. Nótese que estas últimas estimaciones son menores en cantidad en comparación con las estimaciones IDW en la estación LA FLORIDA [21205670], por lo que las estimaciones de la técnica Random Forest no serán tenidas en cuenta en posteriores análisis dada la debilidad de pronóstico de datos pico.

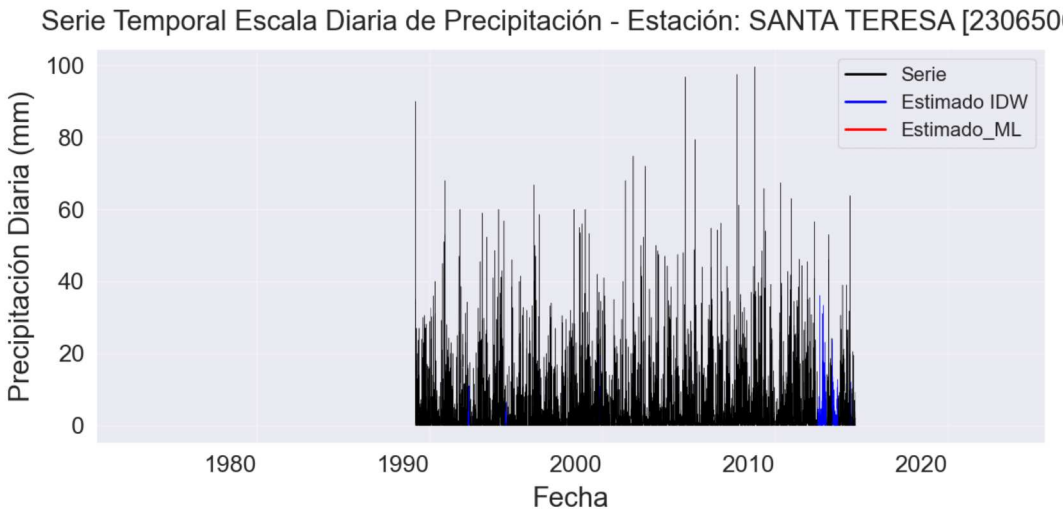
Figura 14. Series diarias de precipitación completas en estaciones del área de estudio

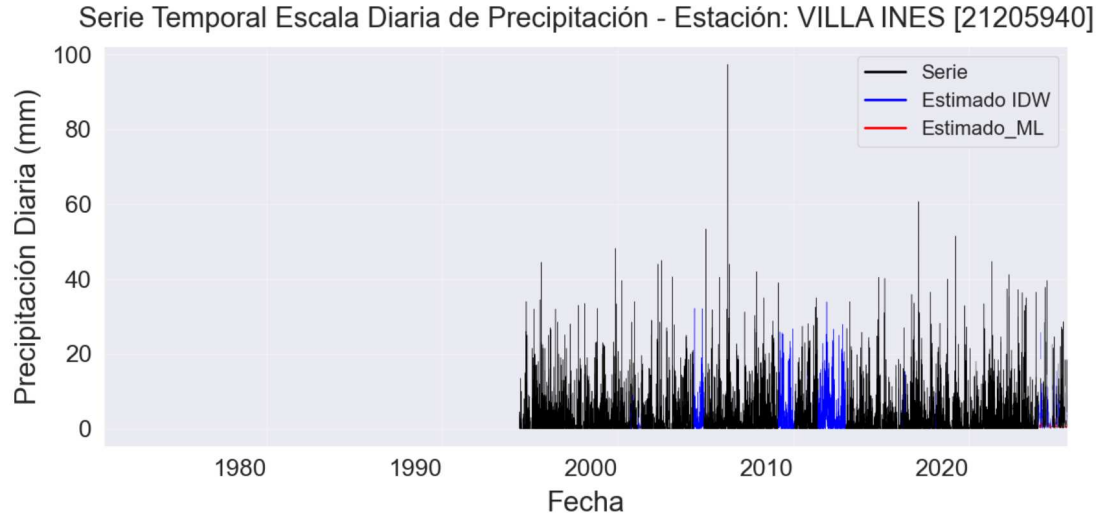



Serie Temporal Escala Diaria de Precipitación - Estación: MERCEDES [21205660]
Serie
Estimado IDW
Estimado_ML
Precipitación Diaria (mm)
0
20
40
60
80
100
1980
1990
2000
2010
2020
Fecha


Serie Temporal Escala Diaria de Precipitación - Estación: PRIMAVERA D' MATIMA [21206180]
Serie
Estimado IDW
Estimado_ML
Precipitación Diaria (mm)
0
20
40
60
80
100
1980
1990
2000
2010
2020
Fecha


Serie Temporal Escala Diaria de Precipitación - Estación: SAN JUAN D RIOSECO [21230070]
Serie
Estimado IDW
Estimado_ML
Precipitación Diaria (mm)
0
20
40
60
80
100
120
1980
1990
2000
2010
2020
Fecha





Fuente: Datos IDEAM, Procesado por El Autor.

5.2.4. HOMOGENEIDAD Y CONSISTENCIA DE DATOS DE PRECIPITACIÓN

La técnica de la Curva de Doble Masa es una herramienta gráfica clásica en hidrología utilizada primordialmente para evaluar la consistencia de un registro hidrometeorológico (en este caso, precipitación) en una estación específica (s) a lo largo del tiempo, comparándolo con un estándar de referencia que representa el comportamiento regional o de un conjunto de estaciones base. Su objetivo principal es identificar posibles cambios sistemáticos o inhomogeneidades en la serie de datos de la estación bajo estudio. Estas inhomogeneidades pueden surgir debido a factores no climáticos, como cambios en la instrumentación, reubicación de la estación, cambios en el entorno inmediato que afecten la captura de precipitación (e.g., crecimiento de árboles, construcción de edificios), o alteraciones en los procedimientos de observación o procesamiento de datos.

El fundamento metodológico se basa en la comparación de las sumas acumuladas de precipitación. Primero, se calcula una serie temporal de referencia, P(t,ref) construyéndose por el promedio de los valores de precipitación de *todas* las estaciones disponibles en cada instante de tiempo t. Hidrológicamente, se asume que este promedio regional suaviza las variaciones locales y los errores

aleatorios individuales, proporcionando una representación más estable del patrón de precipitación general en la zona durante el período analizado.

$$P(t, ref) = \frac{1}{N_{estaciones}} \sum_{i=1}^{N_{estaciones}} P(t, s_i)$$

Luego, tanto para la estación bajo análisis (*s*) como para la serie de referencia (ref), se calculan las sumas acumuladas a lo largo del tiempo. La precipitación acumulada hasta el tiempo T para la estación s es $P_{acc}(T, s)$, y para la referencia es $P_{acc}(T, ref)$

$$P_{acc}(T, s) = \sum_{t=t_{inicio}}^{T} P(t, s)$$

$$P_{acc}(T, ref) = \sum_{t=t_{inicio}}^{T} P(t, ref)$$

El núcleo de la técnica es la representación gráfica de $P_{acc}(T, s)$, en el eje vertical (ordenadas) contra $P_{acc}(T, ref)$ en el eje horizontal (abscisas). Si el registro de la estación s consistente y homogéneo en relación con el patrón regional representado por la serie de referencia, la relación entre sus acumulados debería ser aproximadamente lineal. Es decir, la gráfica de la curva de doble masa debería aproximarse a una línea recta que pasa cerca del origen:

$$P_{acc}(T, s) \approx c \cdot P_{acc}(T, ref)$$

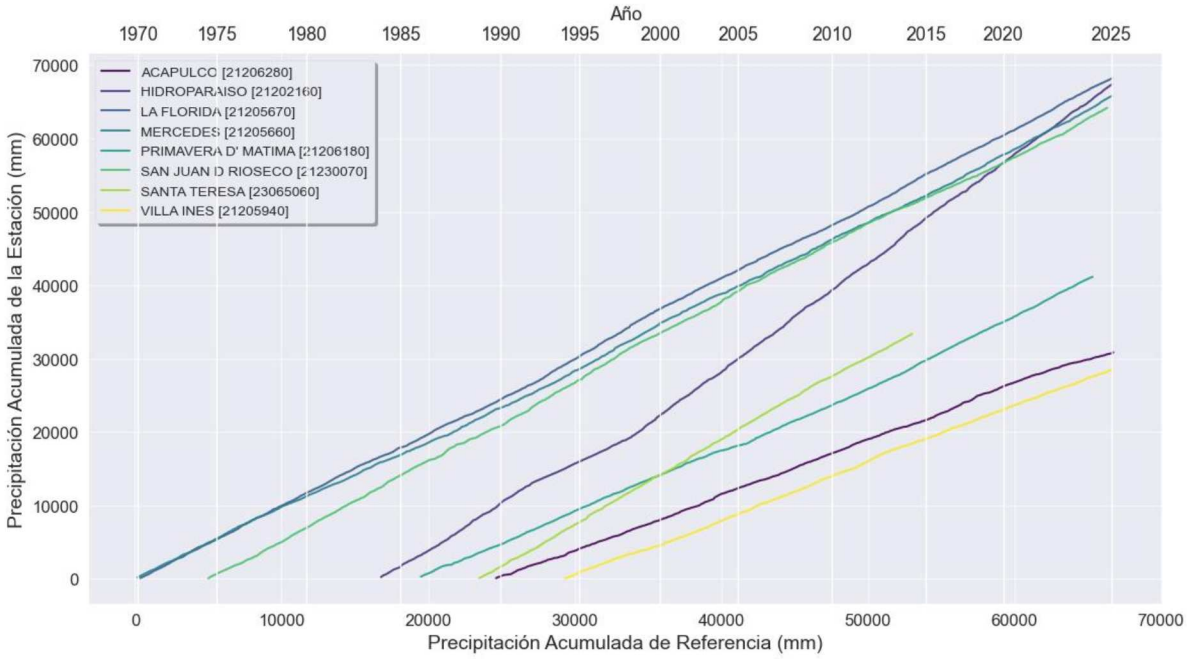
Donde c es una constante de proporcionalidad que representa la relación media a largo plazo entre la precipitación en la estación s y la precipitación regional de referencia.

La detección de una inhomogeneidad ocurre cuando se observa un cambio persistente en la pendiente de la curva de doble masa. Un "quiebre" o "punto de inflexión" en la curva sugiere que la relación proporcional c entre la estación y la referencia cambió a partir de cierto momento $\mathrm{t_{cambio}}$. Esto indica que, después de $\mathrm{t_{cambio}}$., la estación comenzó a registrar consistentemente más o menos precipitación en relación con la referencia que lo que lo hacía antes. La magnitud del cambio de pendiente cuantifica la magnitud del sesgo o inconsistencia introducida. Si la pendiente aumenta, sugiere que la estación empezó a registrar comparativamente más lluvia (o la referencia menos); si disminuye, sugiere lo contrario.

En la siguiente figura, la mayoría de las curvas trazadas muestran una tendencia predominantemente lineal a lo largo de sus respectivos períodos de registro (aunque es posible apreciar unas pequeñas irregularidades en la linealidad de algunas curvas). Esto es un indicativo positivo, sugiriendo que, en general, muchas de las estaciones han mantenido una relación proporcional relativamente constante con el patrón de precipitación regional representado por la serie de referencia. Hidrológicamente, esto implica que los registros de estas estaciones son, en gran medida, consistentes y homogéneos en el tiempo, sin cambios sistemáticos abruptos (más bien leves) o derivas significativas evidentes a simple

vista en términos generales.

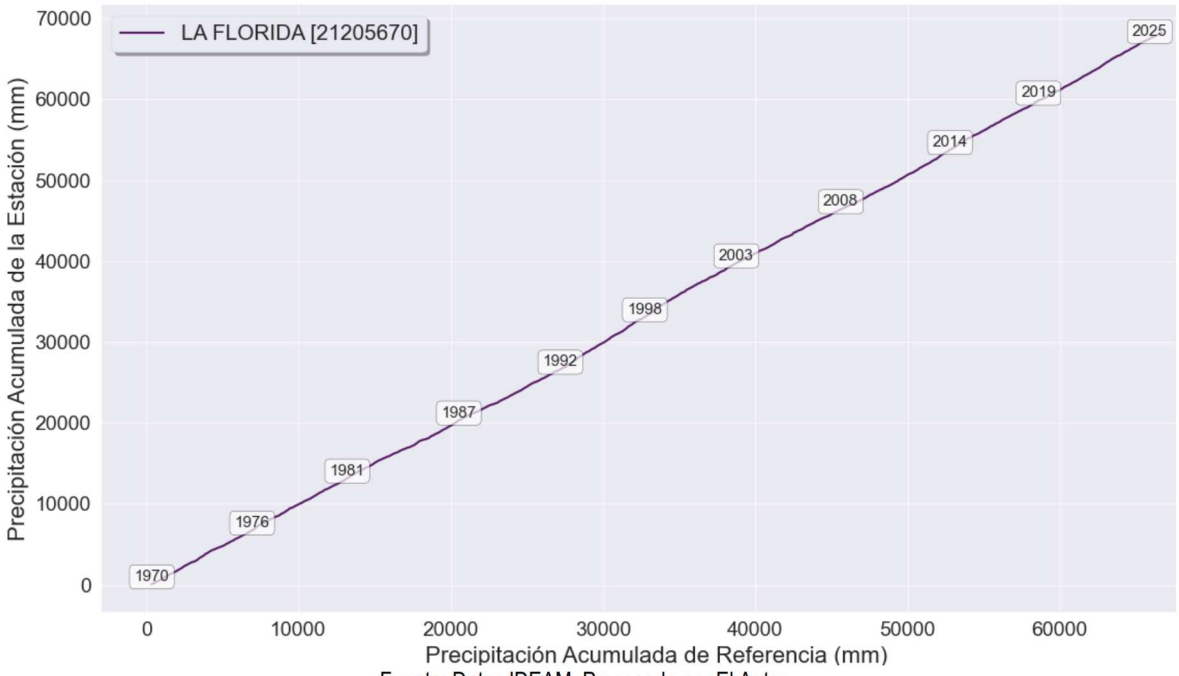
Figura 15. Curvas de doble masa de cada una de las estaciones consultadas para el presente estudio



Fuente: Datos IDEAM, Procesado por El Autor.

En la siguiente figura se aprecia la curva de doble masa de la estación LA FLORIDA [21205670], en la cual durante el periodo común de registro 1970-2025 presenta linealidad en su trazado y una ligera mayor cantidad de precipitación acumulada en comparación a la precipitación acumulada de referencia, lo que indica que en esta estación las lluvias son más fuertes que en el promedio de las estaciones encontradas en el área de estudio

Figura 16. Curvas de doble masa Estación LA FLORIDA [21205670].



Fuente: Datos IDEAM, Procesado por El Autor.

5.2.5. ESPACIALIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

Para la distribución de lluvias se tuvo en cuenta la precipitación media multianual (PMM) resultante del histórico suministrado por el IDEAM en cada una de las estaciones que contaban con mayor robustez en sus datos, menos ausencias, mayor correlación entre sí y mayor proximidad a los tramos viales de estudio, lo cual esta descrito a continuación, considérese que este valor también representa el valor PMM de cada uno de los polígonos de Thiessen en donde la estación es el centro de este.

Tabla 6.Estaciones consideradas para la espacialización de la lluvia en el área de estudio.

NOMBRE DE LA ESTACION	PMM (MM)
ACAPULCO [21206280]	868.83
HIDROPARAISO [21202160]	1640.33
LA FLORIDA [21205670]	1249.19
MERCEDES [21205660]	1199.09
PRIMAVERA D' MATIMA [21206180]	1070.6
SAN JUAN D RIOSECO [21230070]	1274.91
SANTA TERESA [23065060]	1319.77
VILLA INES [21205940]	916.99

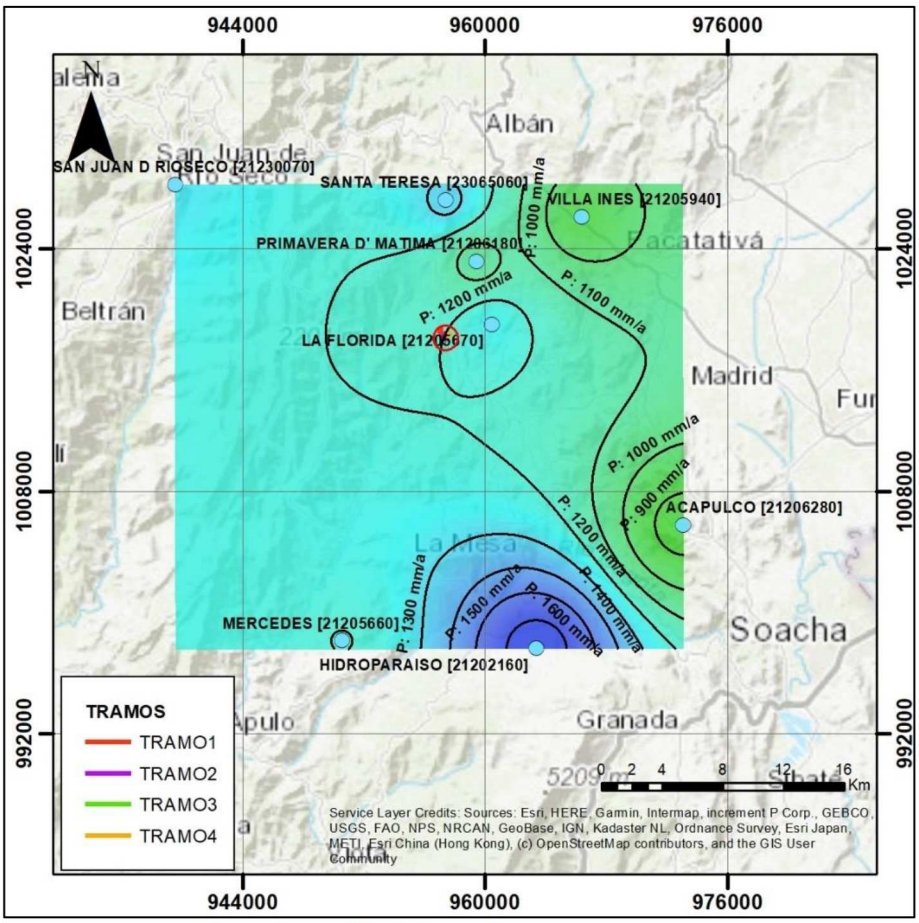
Fuente: Datos IDEAM, Procesado por El Autor.

Adicionalmente, se representa espacialmente la distribución de la lluvia por medio de IDW, el cual se implementa cuando la precipitación presenta variaciones locales, su efectividad mejora en función de una adecuada distribución de los puntos de medición. La siguiente grafica muestra la especialización de la PMM, en donde la distribución de la lluvia no es homogénea para una evaluación anual

promedio. La zona más lluviosa se encuentra en la Estación HIDROPARAISO [21202160], reduciéndose en sentido Noroeste en donde ese encuentra el área de Estudio, En cada una de las estaciones se presentan focos de precipitación lo que muestra una importante variabilidad espacial de la precipitación a escala anual. La estación LA FLORIDA [21205670] se presenta un foco de aumento de precipitación menor que en HIDROPARAISO [21202160], el cual influye en la precipitación del área de Estudio.

Por criterios de proximidad, correlación longitud de registro, Homogeneidad y menor de cantidad de datos faltantes estimados se selecciona la Estación LA FLORIDA [21205670] como la estación representativa del tramo vial de estudio.

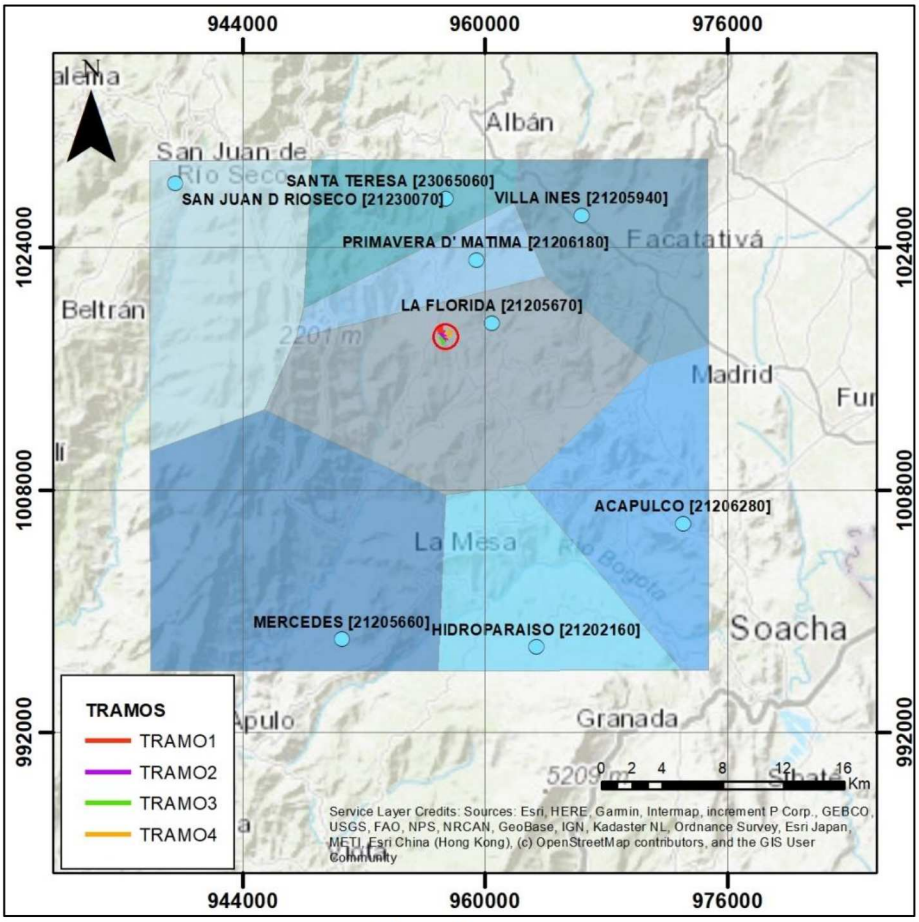
Figura 17. Distribución Espacial de la precipitación media multianual por medio de Isoyetas e IDW



Fuente: Base ESRI, IDEAM, IGAC, procesado por el autor

Considerando la ubicación de las estaciones completadas anteriormente se realiza la distribución de la lluvia considerando polígonos de Thiessen en donde cada polígono define la región donde la precipitación es representativa: Este enfoque permite suponer que la precipitación es homogénea y que varía linealmente entre estaciones, sin considerarse la influencia de la topografía en la definición de estas regiones de similitud hidrológica. La representación mediante polígonos de Thiessen puede verse en la siguiente figura

Figura 18 Distribución espacial de la precipitación por medio de polígonos de Thiessen



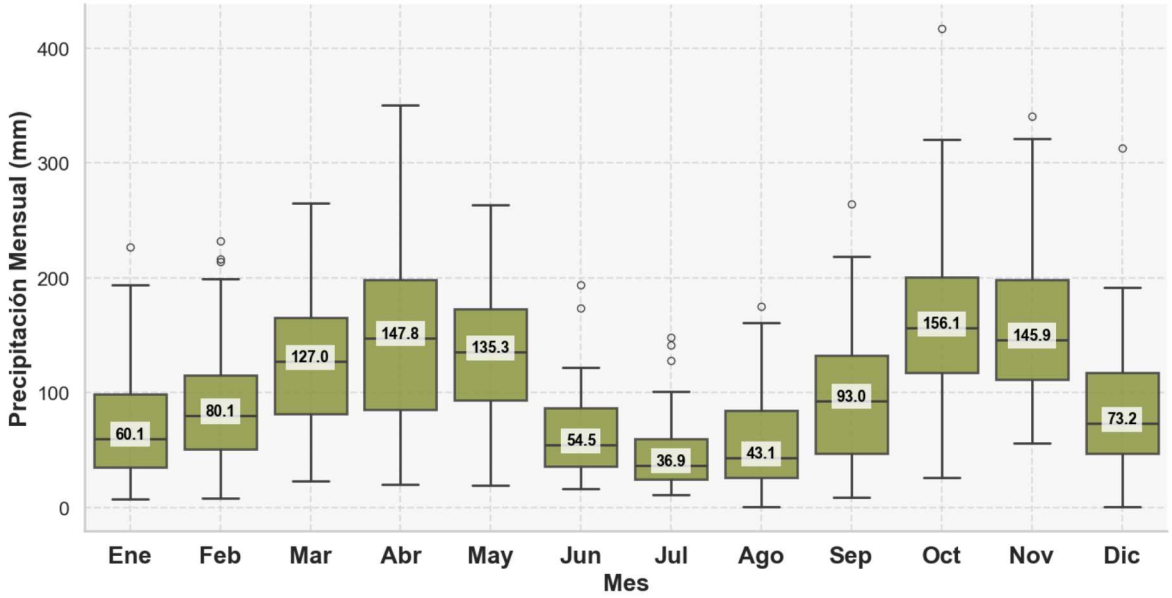
Fuente: Base ESRI, IDEAM, procesado por el autor

De acuerdo con los resultados anteriores, se solicitó información al IDEAM de datos de precipitación mensual multianual en 24 horas de LA FLORIDA [21205670], localizada en las coordenadas latitud 4.767988 y longitud -74.434235 a una elevación de 1915 msnm, clase Climática Principal. La estación registra una precipitación promedio multianual de 1249.19 mm/año. Esta estación pertenece al municipio de Anolaima Cundinamarca y se encuentra en estado activo, esta conviene más por contar con datos específicos de precipitaciones máximas en 24HR hasta el año 2025.

5.2.6. ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN A ESCALA MENSUAL

Según el siguiente gráfico se aprecia que la distribución de la lluvia en la estación LA FLORIDA [21205670]. es de régimen bimodal en donde el periodo el año posee dos periodos de lluvias fuertes en el mes de Mayo y octubre- noviembre mientras que los periodos más secos son diciembre-enero y junio- julio.

Figura 19. Diagrama de cajas y bigotes mensual Estación LA FLORIDA [21205670]

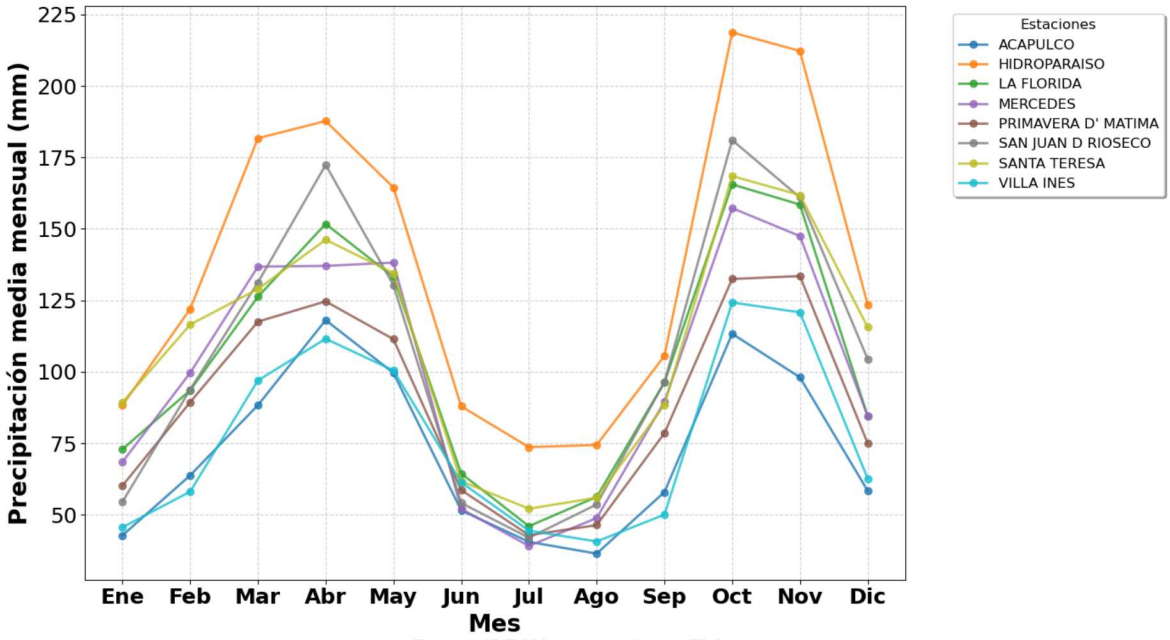


Fuente: IDEAM, procesado por El Autor

Según en grafico anterior estos periodos lluviosos son los que poseen la mayor variabilidad climática en donde se evidencia la presencia de años lluviosos más lluviosos que otros hasta el punto de presentarse importantes anomalías climáticas en estos periodos por lo que las estructuras hidráulicas deben ser eficaces en la evacuación del caudal durante estas temporadas. Periodos secos muestran baja a moderada variabilidad, óptimos para el chequeo y mantenimiento de estas con el fin de estar preparados para periodos lluviosos.

En la siguiente figura se aprecia que el comportamiento Bimodal es característico de todas las estaciones contempladas en el presente estudio en la etapa de espacialización en donde la estación HIDROPARAISO [21202160] presenta las lluvias más fuertes en el área de estudio la cual está ubicada a 21.55 km aproximadamente.

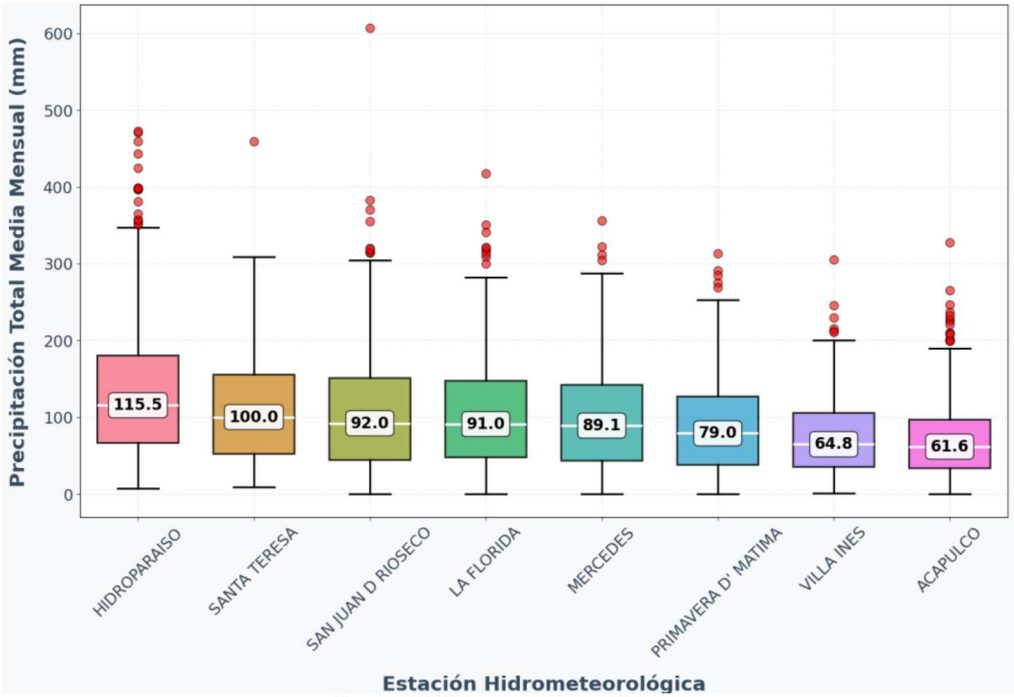
Figura 20 Precipitación media mensual multianual en las distintas estaciones contempladas en el estudio



Fuente: IDEAM, procesado por El Autor

Los diagramas de cajas y bigotes mostrados en la siguiente grafica muestran que las estaciones comparadas entre si no presentan una variabilidad moderada en términos de precipitación media mensual (variante entre 61.6- 125 mm/mes).

Figura 21 Box plot estaciones contempladas en el área de estudio escala mensual

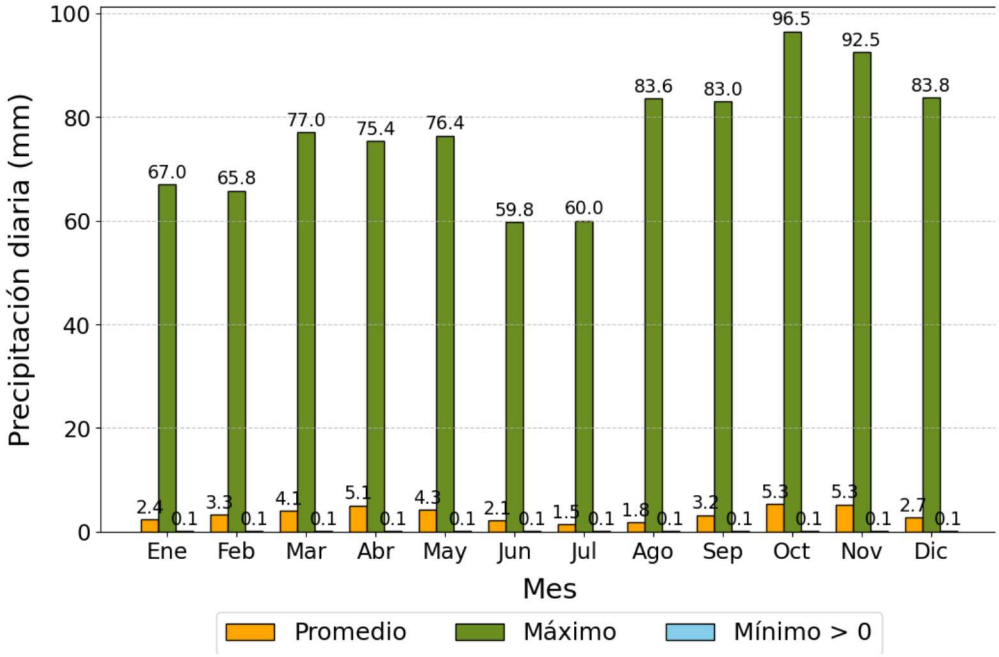


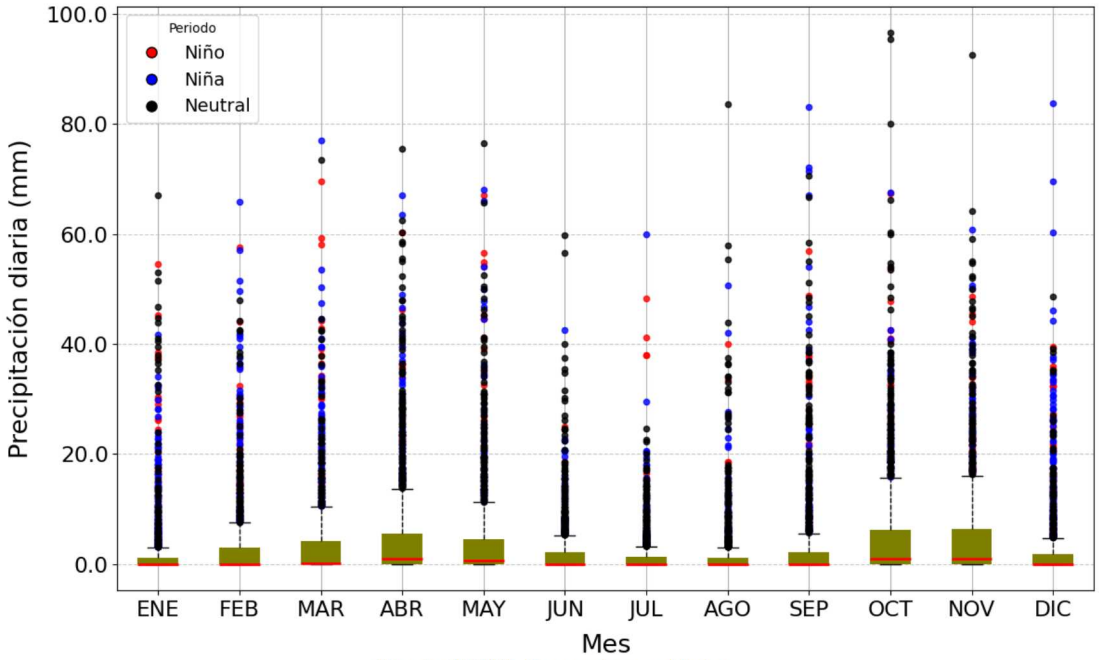
Fuente: IDEAM, procesado por El Autor

5.2.7. ANALISIS DE PRECIPITACION A ESCALA DIARIA

La precipitación máxima en 24 horas mensual en la estación se analizó para la estación representativa LA FLORIDA [21205670]. En la siguiente figura, se aprecia que el histórico diario más fuerte se presenta en el mes de octubre 96.5mm/día. El mes de octubre presenta la mayor variabilidad climática del año tal como se ve en el diagrama boxplot, en este periodo se han presentado días secos, pero estos no son tan comunes por lo que es importante preservar en optimo funcionamiento las estructuras hidráulicas del proyecto. El mes de noviembre es otro mes lluvioso, pero en menor magnitud comparado con el mes de octubre, su variabilidad en términos de precipitación también es alta y presenta días extremos con precipitaciones de 92.5mm/día. Los meses de junio y julio son los más secos con una alta probabilidad de días sin lluvia ideales para mantenimiento de redes de evacuación de aguas en el tramo vial de estudio.

Figura 22 Precipitación mensual máxima en 24h y Boxplot escala multianual Estación LA FLORIDA [21205670]





Fuente: IDEAM, Procesado por el Autor

Preferencialmente, las lluvias pico se presentan durante periodos Neutrales o periodos niña. Sin embargo, en meses secos como Julio se han presentado lluvias diarias importantes durante periodos secos. En la siguiente tabla se muestra el registro de lluvias máximas en 24 horas para la estación representativa del área de estudio compilado de la información suministrada por el IDEAM.

Tabla 7 Registro de precipitación anual máxima en 24 HRS Estación LA FLORIDA [21205670].

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1970											28.4	37.7
1971	28.1	41	47.4	15.3	66	9.3	5.4	42	44	35.3	24.1	26.3
1972	34.1	26.1	50.3	40.6	45.2	26.2	8.4	18.5	7.5	53.8	38.5	20.6
1973	6.6	4.3	7.7	10.6	10.8	27	20.5	21.6	71.4	12.8	41.1	34.6
1974	18.1	65.8	26.7	24	10.4		3.8	6.8	37	9.8	16.7	26.1
1975	6.7	12.3	39.5	46.5	46.7	22.8	60	26.9	25.5	29	29.6	33.5
1976	23.2		21.4	42	19.6	8.5	4.1	12.5	28.1	60	25.5	35.5
1977	20.4	30	19.1	27.6	33.1	17	6	15.5	45.1	80	48.6	16.4
1978	17.5	57.5	30.4	43.7	29.3	40	12	36.4	13.3	13.3	21.7	39.1
1979	44.7		44.5	31	50	13.9	5.9	31.9	23	96.5	59	13
1980	29	29.3	14.5	12.9	35.2	59.8	8.5	11	10.5	15.4	36.5	
1981		48	10.1	48	52.5	15.5	13.6	34	16.4	60.2	42	21
1982	51.4	42.5	40.8	48	36	6	5.5	2.3	21.4	25.5	34	27.4
1983	38.5	44	42.9	30.5	45.2	7.2	6.7	3	2.8	33.5	15	28.2
1984	32	17	18.4	42.5	39.5	12.4	14.2	18.1	39.5	24.4	39	20.4
1985	24	24	32.5	67	22.5	7.4	9.5	12	14	23	39.9	16
1986	40.5	30.2	42.5	28		24.5	13	4	37	54	44	13.1

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1987	54.5	29	36.5	17.3	44.5	18.5	38	10.5	33.8	47.8	26.4	7.2
1988	24.5	14.5	34.2	46.2	18.5	18.1	19.4	27.6	54	36.1	27.3	34.5
1989	13.6	41.8	26.3	16.8	23.9	4.9	10.7	57.9	41.6	66.2	46.5	14
1990	37.2	18.6	33.3	58.3	46.3	18.2	7.4	14.8	51.2	30.6	38	35.3
1991	11.4	14.2	30.6	52.4	19.6	4.2	10.1	33.5	38	32.5	27	36
1992	30	8.2	21.2	15.3	21.1	7.5	6	9.5	12.2	23	41.3	27
1993	67	23.4	10.2	50.3	48.2	22.5	14.1	8.4	34.2	48.4	47.7	26
1994	43.8	28	22.8	41	40.7	6.4	2.7	11.2	14	38.5	33.9	4.6
1995	17	20.8	20.8	28.3	41.2	35.5	9.6	33	66.6	25	17.5	29
1996	18.8	16	53.5	19.7	54	34.8	18.8	34	55	38.5	45	12.4
1997	53	12	32	31.5	21	7.5	3.6	9.5	2.6	40.9	27.6	14.8
1998	14.8	25.2	58	20.6	56.5	18.6	38	11	83	28.4	22.6	83.8
1999	22	37.4	41	28.3	68	15.6	5.5	24.7	23	38.2	60.7	22.3
2000	21.2	49.6	23.8	15.9	13	15.5	29.5	14.9	24.7	7.5	38.5	12.5
2001	7.2	23	77	5	18.7	8.3	17.3	0	23.2	36.2	52.4	9.1
2002	24	18.1	36.2	62.4	27	31.6	12.4	8.5	48.8	67.3	28	33.4
2003	12.4	17.2	59.2	60.2	5.5	13.2	14.2	14.2	38.4	20.4	55.1	20.5
2004	9.4	44.2	13.6	75.4	50.4	12.4	12.7	4.6	56.8	42.6	34.3	13.2
2005	17.8	24.7	69.6	23.4	76.4		17.6	17.6	47.6	33.8	23.8	48.6
2006	12.1	28.6	28.6	24.5	25.3	30.2	22.6	55.3	58.4	18.6	45.4	32.4
2007	7.5	7.2	27.2	60.2	13.5	10.4	5	241.2	7	42.5	50.1	31.5
2008	32.4	28	39.4	16.2	27.6	20.6	10.6	50.6	18.7	35.2	35.2	7.5
2009	14.2	30.2	32.2	14.5	20.5	24.5	8	11.4	34.5	35	22.8	39.5
2010	16.8	32.4	21.9	39.5	67	14.2	22.2	12.9	23.6	40.9	30	29.8
2011	22.7	36.4	24.8	43.8	50	15.6	18	12.4	67	27.9	40.2	37.2
2012	22.8	10.6	36	35	20	9	14.1	83.6	8.3	53.5	46.2	17.5
2013	20.4	29.2	19	45	30.8	16.2	4.2	17	6.9	95.3	92.5	38.4
2014	13.3	38.4	42.4	17.2	65.6	16.8	5.8	7.6	26.7	54.7	50	19
2015	10.8	18.9	44.2	22.4	7.5	25	11	8.8	8.7	5.4	32.5	0.5
2016	45.2	22.5	26.2	36.2		8.8	24.6	4.6	48.4		27.4	60.2
2017	19	23	73.5	28.3	21.5	56.6	8.9	36.2	18.8	28.2	51.9	12.5
2018	14			32.5	24.8	6.6	12.7	8.5	35	25.5	21.8	6.2
2019	37.4	35.8	33.8	23.6	54.2	9.8	11.6	40	26	18.7	31	7.7
2020	0	17.8	22.1						27.2	35.2	23.8	23.4
2021	21.8	17	44.5	63.4	44.5	19.6	9.8	43.8	7.6	28.5	32.4	28.2
2022	14.4	51.5	19.4	28.2	34.6	20.7	12.3	8.7	42.6	67.5	50.6	17.6
2023	41.6	23.8	36.1	55.6	19.4	20.8	48.2	4.5	19.2	18.9	30.8	32.4
2024	30.4	18.6	30.8	28.3	26.8	17.2	10.8	37.5	70.5			
2025								27.4				

Fuente: IDEAM, procesado por el autor.

5.3. INTENSIDAD DURACION Y FRECUENCIA (IDF) Y TORMENTA DE DISEÑO

5.3.1. DISTRIBUCION ESTADISTICA DE LA PRECIPITACION MAXIMA DIARIA

En la siguiente tabla se relacionan la prueba estadística Smimov Kolmogorov, con diferentes distribuciones de probabilidad, con el fin de verificar si la prueba es aceptada para determinada distribución con una confiabilidad del 90%, con el fin de estimar precipitaciones máximas diarias a diferentes periodos de retorno. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 8. Pruebas estadísticas proyección de precipitación máxima diaria

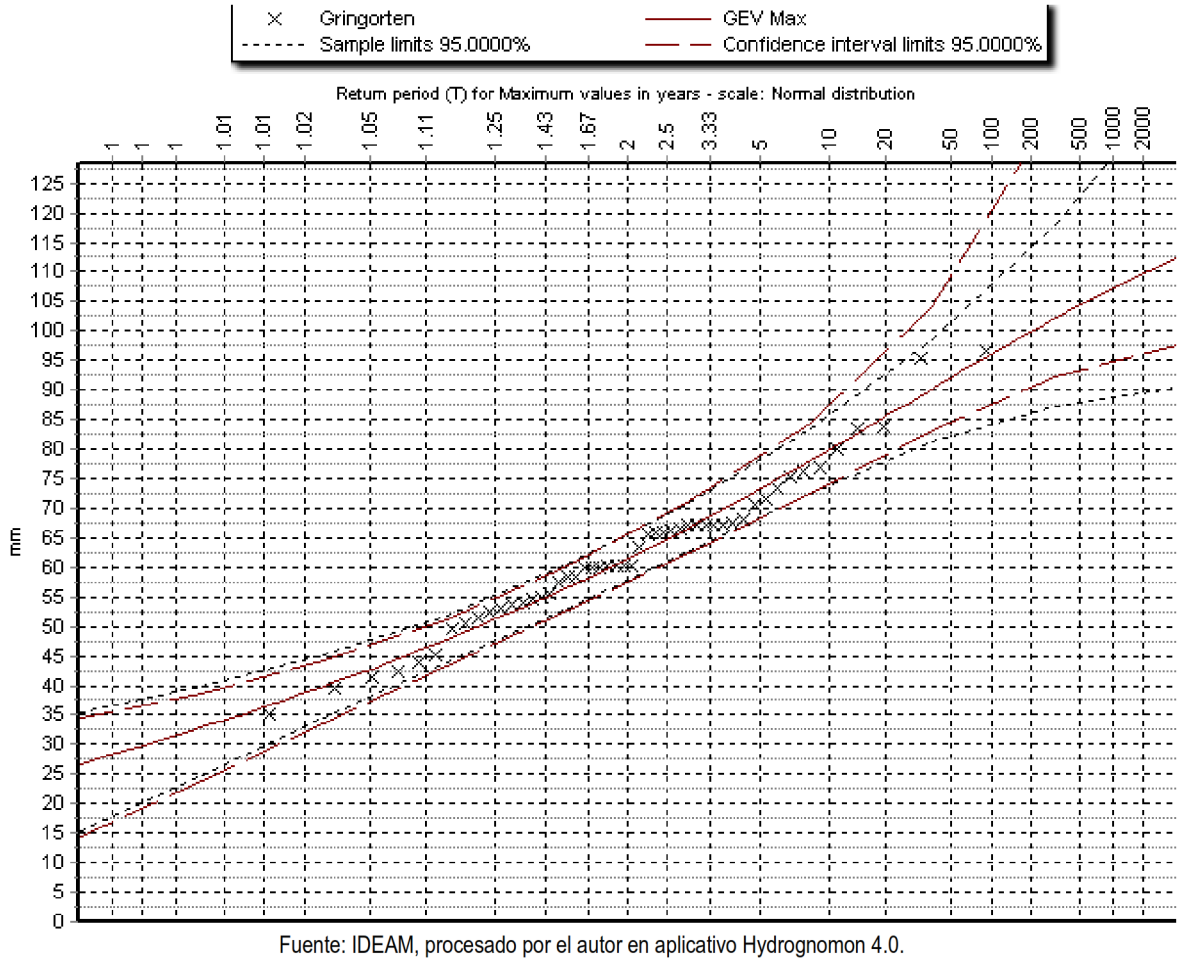
Distribución probabilística	a=10%	ALCANZADA A	DMax	PRECIPITACIÓN DIARIA MM A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN AÑOS				
				5	10	25	50	100
Normal	ACCEPT	0.72	0.098	73.36	79.09	85.20	89.15	92.70
Normal (L-Moments)	ACCEPT	0.74	0.097	73.24	78.91	84.95	88.86	92.37
LogNormal	ACCEPT	0.85	0.086	72.68	79.59	87.69	93.36	98.76
Galton	ACCEPT	0.92	0.079	73.00	79.49	86.84	91.83	96.49
Exponential	ACCEPT	0.14	0.163	70.34	79.37	91.30	100.34	109.37
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	0.12	0.168	71.26	81.33	94.66	104.73	114.81
Gamma	ACCEPT	0.92	0.078	73.01	79.57	86.96	91.97	96.63
Pearson III	ACCEPT	0.91	0.079	73.04	79.54	86.86	91.81	96.40
Log Pearson III	ACCEPT	0.70	0.100	72.73	80.66	90.51	97.77	104.99
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	0.52	0.115	71.77	79.40	89.03	96.18	103.28
EV2-Max	ACCEPT	0.17	0.157	69.91	77.82	89.11	98.53	108.87
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	0.24	0.146	73.10	76.74	80.14	82.12	83.78
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	0.48	0.119	73.59	78.49	83.36	86.34	88.91
GEV-Max	ACCEPT	0.92	0.079	73.16	79.83	87.18	91.95	96.18
GEV-Min	ACCEPT	0.86	0.085	73.43	79.90	86.88	91.42	95.50
Pareto	REJECT	0.00	0.279	75.08	81.62	86.88	89.27	90.83
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	0.88	0.083	73.21	79.59	86.44	90.77	94.54
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	0.83	0.088	73.34	79.51	86.10	90.34	94.13
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	0.55	0.112	72.07	79.94	89.89	97.26	104.59
EV2-Max (L-Momments)	ACCEPT	0.20	0.152	70.64	79.59	92.54	103.49	115.64
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	0.22	0.148	73.44	77.20	80.71	82.75	84.47
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	0.49	0.118	73.51	78.37	83.21	86.16	88.71
Pareto (L-Moments)	REJECT	0.02	0.214	75.21	80.57	84.31	85.78	86.62
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	0.16	0.159	69.81	77.71	89.07	98.59	109.10
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	0.43	0.124	73.59	78.30	82.94	85.75	88.16
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	0.21	0.150	70.73	79.63	92.41	103.13	114.95

Distribución probabilística	a=10%	ALCANZADA A	DMax	PRECIPITACIÓN DIARIA MM A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN AÑOS				
				5	10	25	50	100
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	0.44	0.123	73.52	78.19	82.80	85.59	87.99
Promedio distribuciones aceptadas (mm)				72.46	79.11	87.07	92.81	98.45
Desviación Estándar distribuciones aceptadas (mm)				1.25	1.05	3.70	6.42	9.62
Máximo distribuciones aceptadas (mm)				73.59	81.33	94.66	104.73	115.64
Mínimo distribuciones aceptadas (mm)				69.81	76.74	80.14	82.12	83.78

Fuente: IDEAM, procesado por el autor en aplicativo Hydrognomon 4.0.

La tabla anterior se muestra que distribuciones como la GEV MAX cumplen las pruebas de hipótesis estadísticas, se descartan de la consideración aquellas distribuciones que se encuentran diseñadas para valores mínimos asi como también las que poseen hipótesis rechazadas al 10% de significancia. Los valores de precipitación diaria promedios estimados para diferentes periodos de retorno son muy similares dada la baja desviación estándar de los mismos.

Figura 23. Análisis de frecuencia bajo la distribución log normal en los datos máximos diarios Estación LA FLORIDA [21205670].



Fuente: IDEAM, procesado por el autor en aplicativo Hydrognomon 4.0.

En la Grafica anterior se tiene que las distribuciones que presenta mayor aceptabilidad es la GEV MAX dado el buen cumplimiento de la prueba Smirnov – Kolmogorov, lo que permite comprender que las lluvias máximas en 24 horas presentadas en la estación LA FLORIDA [21205670] corresponden a un periodo de retorno aproximadamente de 90 años. El grafico muestra que para una confiabilidad del 95% la distribución GEV MAX almacena todos los valores máximos anuales registrados por la estación. Dentro de este grafico se muestra que la mayor incertidumbre se encuentra en la estimación de precipitaciones diarias a periodos de retorno inferiores a 1.1 año y superiores a 20 años. Mostrándose para ello que las lluvias en un periodo de 100 años podrían oscilar entre 97 mm/día y 120mm/día.

5.3.2. ESTIMACIÓN DE INTENSIDAD

Según (Corzo & Pinilla, 2015) "*Las curvas IDF permiten la estimación de volúmenes de drenaje superficial mediante modelos de lluvia- escorrentía en cuencas que no cuentan con registros históricos de caudales. Los Ingenieros Rodrigo Vargas y Mario Díaz-Granados, a partir de curvas IDF generadas para aproximadamente 165 estaciones ubicadas en diversas zonas del territorio nacional, y los resúmenes pluviométricos multianuales de las mismas, elaboraron un estudio en el cual se evaluaron las principales ecuaciones de curvas propuestas por diferentes autores y establecieron nuevas ecuaciones para las principales cuatro regiones geográficas nacionales (Diaz-granados, 1998).*"

El método simplificado de cálculo de las curvas intensidad – duración – frecuencia, se debe llevar a cabo siempre y cuando no se disponga de datos históricos de precipitación de corta duración (datos pluviográficos). Para Colombia se propone la ecuación:

$$i = \frac{aT^b M^d}{\left(\frac{d}{60}\right)^c}$$

Donde:

i: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).
T: Periodo de retorno, en años.
M: Promedio multianual de la precipitación máxima anual en 24 horas.
d: Duración de la lluvia de diseño, en minutos (min).
a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la regresión.

La intensidad es la tasa de lluvia en milímetros por intervalo de tiempo para una cuenca, la cual se selecciona con base en la duración de la lluvia de diseño. Para las constantes para cada región geográfica en Colombia, son:

Tabla 9 Parámetros de ajuste de la regresión (valores para Colombia)

Región	a	b	c	d
Andina	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: Instituto Nacional de Vías, 2009.

Según datos historicos del IDEAM el promedio multianual de la precipitación media anual máxima en la Estación FLORIDA [21205670] en 24 horas es de aproximadamente 62.4 mm.

5.3.3. CURVAS IDF

Las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) son herramientas fundamentales en la ingeniería hidráulica y en el diseño de sistemas de drenaje y control de inundaciones. En la siguiente tabla, se observan las intensidades de precipitación en la Estación LA FLORIDA [21205670] para distintos periodos de retorno y tiempos de duración, lo que permite evaluar el comportamiento de las lluvias en esta región específica. Los datos se organizan de tal manera que cada intervalo de tiempo refleja un

aumento en las intensidades con periodos de retorno más prolongados, lo que es consistente con el principio de que eventos más extremos son menos probables, pero cuando ocurren, generan intensidades más altas.

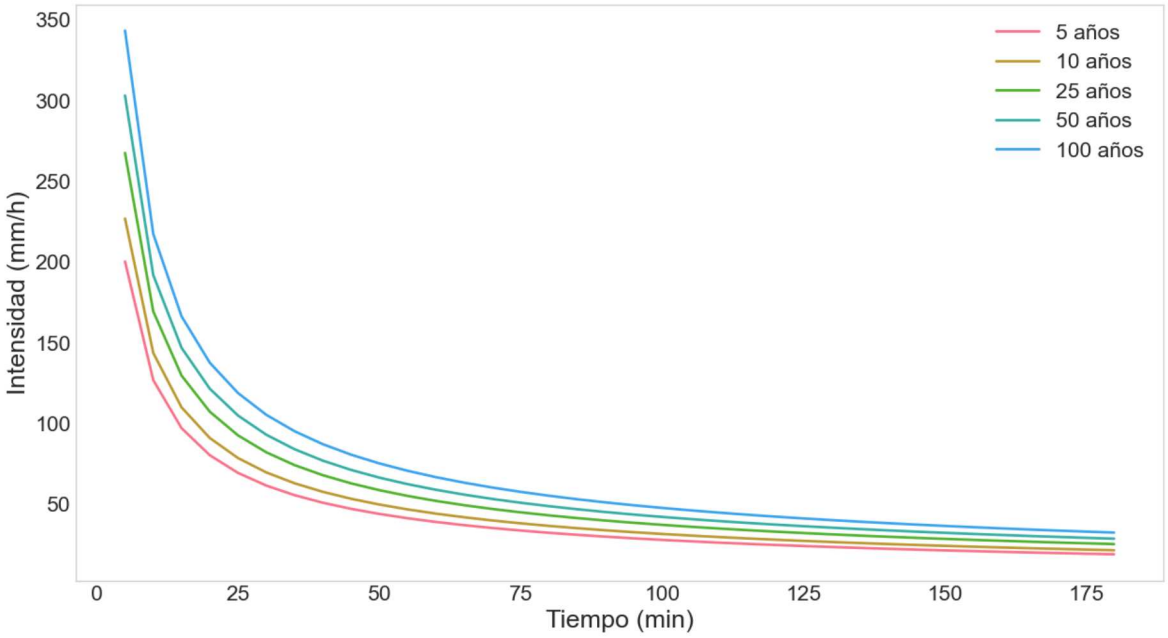
Tabla 10. Datos Intensidad frecuencia duración en la Estación LA FLORIDA [21205670].

TIEMPO (MIN)	PERIODO DE RETORNO				
	5 AÑOS	10 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS
5	200.07	226.66	267.30	302.82	343.06
10	126.62	143.45	169.17	191.65	217.11
15	96.89	109.77	129.45	146.65	166.14
20	80.14	90.78	107.06	121.29	137.41
30	61.32	69.47	81.93	92.81	105.14
40	50.72	57.46	67.76	76.76	86.96
50	43.77	49.59	58.48	66.25	75.05
60	38.81	43.97	51.85	58.74	66.54
70	35.05	39.71	46.83	53.06	60.11
80	32.10	36.36	42.88	48.58	55.04
90	29.70	33.64	39.67	44.95	50.92
100	27.70	31.38	37.01	41.93	47.50
110	26.01	29.47	34.75	39.37	44.60
120	24.56	27.82	32.81	37.17	42.11
130	23.30	26.39	31.13	35.26	39.95
140	22.18	25.13	29.64	33.58	38.04
150	21.20	24.01	28.32	32.08	36.35
160	20.31	23.01	27.14	30.75	34.83
170	19.52	22.11	26.07	29.54	33.47
180	18.79	21.29	25.11	28.45	32.23

Fuente: Autor

En la siguiente figura se observa la distribución de curvas IDF de la estación LA FLORIDA [21205670]

Figura 24 Curvas IDF estación LA FLORIDA [21205670]



Fuente: Autor

Al analizar la figura anterior, se constata que las intensidades obtenidas para los primeros minutos de precipitación son elevadas, lo cual es un comportamiento esperado dentro de la dinámica de eventos pluviales. Sin embargo, es crucial destacar que estas intensidades altas en intervalos cortos no afectan negativamente los cálculos hidráulicos, ya que la mayoría de los diseños considera un menor tiempo de concentración que, a su vez, impulsa a mayores intensidades.

6. HIDRÁULICA DE DRENAJE VIAL

Los estudios hidrológicos e hidráulicos son fundamentales para la adecuada planificación y diseño de infraestructuras viales en áreas con características hidrológicas complejas. Estos estudios tienen como objetivo principal establecer un entendimiento profundo de los regímenes de caudal, especialmente en condiciones de máximas y extraordinarias, permitiendo así una evaluación precisa de los riesgos asociados al comportamiento hidráulico de los cuerpos de agua adyacentes. La elaboración de un programa de estudio debe considerar de manera rigurosa la recolección de datos, la realización de trabajos de campo y el análisis de gabinete, adaptando su alcance a la magnitud del proyecto y al riesgo que este conlleva.

En la primera fase del estudio es esencial llevar a cabo una evaluación de estudios previos realizados en la zona, lo que proporciona un contexto importante y permite identificar conceptos aplicados en proyectos similares. La visita de campo, por su parte, facilita un reconocimiento exhaustivo tanto del área de cruce como de la cuenca en su totalidad, permitiendo una observación directa de las condiciones existentes. La recolección y análisis de datos hidrométricos y meteorológicos son igualmente cruciales, ya que constituyen la base sobre la cual se fundamentarán las estimaciones sobre los caudales máximos. La caracterización hidrológica de la cuenca debe realizarse con especial atención, tomando en cuenta los patrones de respuesta lluvia-escorrentía y considerando también los aportes de áreas adyacentes.

6.1. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE CAUDALES DE AGUAS LLUVIAS

La estimación de los caudales de aguas lluvias para el diseño de colectores y canales se debe realizar mediante modelos lluvia - escorrentía, basados en modelos de abstracciones. Se puede utilizar el método racional, siempre y cuando el área de drenaje sea inferior a 2.5km2. Para su estimación, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- **Período de retorno**. Para el análisis hidráulico de las vías de estudio se tiene en cuenta los periodos de retorno dados por INVIAS.

Tabla 11 Periodos de retorno de obras de drenaje vial - INVIAS

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)[1]
Cunetas	5
Zanjas de Coronación[2]	10
Estructuras de Caída[2]	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

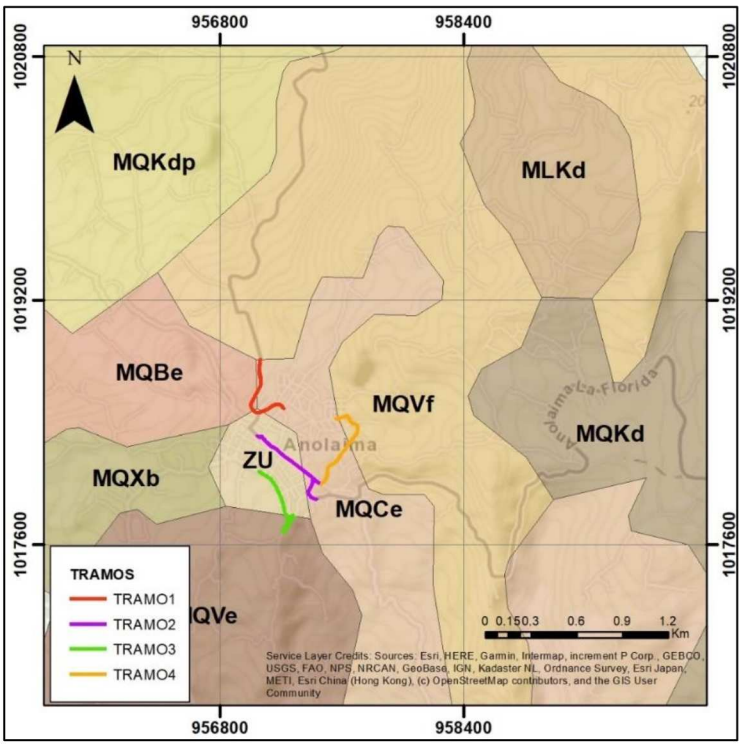
Fuente: Manual de drenaje de INVIAS Tabla 2.8

- **Intensidad de lluvia**. Se deben seleccionar las curvas IDF de cada localidad o región en particular y verificar su validez. Si no existen o no contemplan datos del último quinquenio, se deben obtener a partir de información pluviográfica de la zona, incluyendo los datos más recientes, para derivar las curvas de frecuencia correspondientes mediante análisis puntuales de frecuencia de eventos extremos máximos. Si esto no permite derivar curvas IDF aceptables para el proyecto, deben ajustarse curvas IDF por métodos sintéticos, derivados con información pluviográfica colombiana. En el análisis se deberán incluir los cambios en las intensidades producidos por los fenómenos de variabilidad y cambio climático sucedidos en Colombia, teniendo en cuenta los lineamientos desarrollados en las comunicaciones nacionales sobre cambio climático, elaborados por el IDEAM.

- **Tipo de cobertura.** Se debe realizar un análisis detallado de las coberturas de las áreas de estudio, tanto para la situación al inicio como al final del periodo de diseño. Se consideró el análisis de la cobertura de la tierra y el uso del suelo en el presente estudio. Por lo general, son factores estáticos que pueden ser incluidos como capas de información independientes, representando las condiciones actuales de vegetación o la dinámica antrópica dentro de determinado territorio (van Westen et al., 2008). El mapa de unidades de Coberturas de la Tierra, es descargada y analizada de la capa de coberturas del IGAC. Esta capa el IGAC la elaboro por medio de la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000 (IDEAM, 2010), siendo modificada con fines del cálculo de coeficiente de escorrentía para el presente estudio, como lo recomienda el manual de drenaje de INVIAS.

En la siguiente figura se observa la clasificación de suelos en el tramo de estudio

Figura 25 Suelos

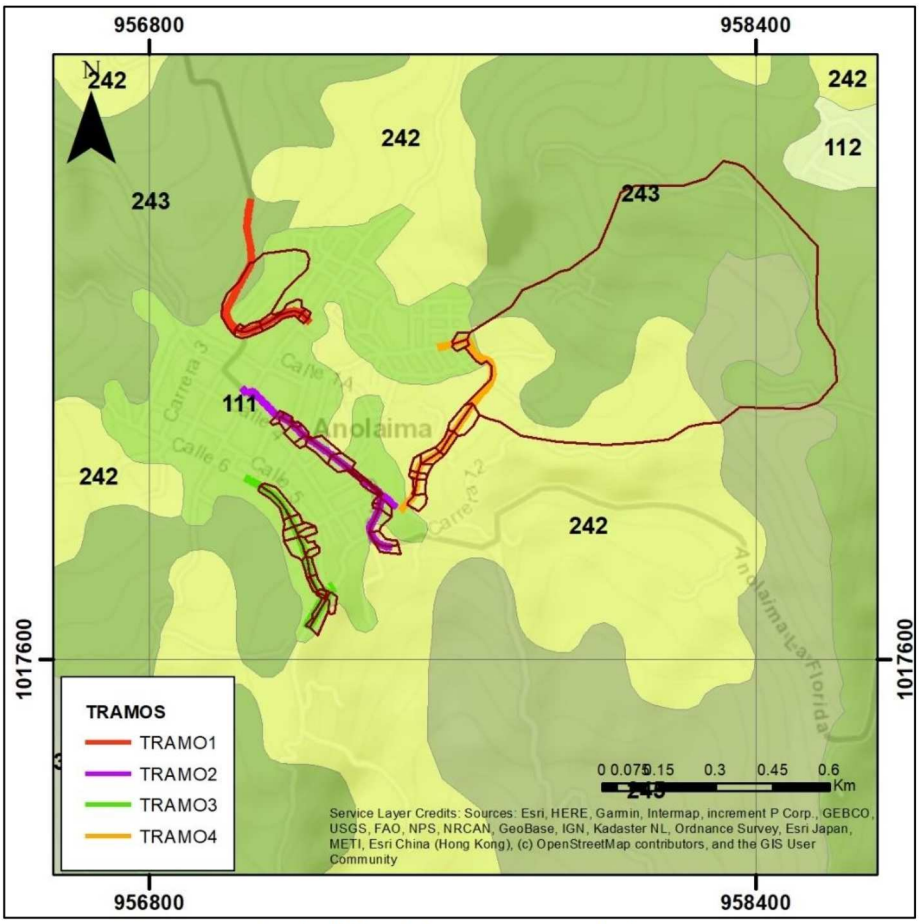


Fuente: IGAC y ESRI, procesado por el autor.

El área de estudio está clasificada zona urbana y MQCe, paisaje de Montaña y relieve Lomas. Su litología son Rocas clásticas limo arcillosas y mantos de ceniza volcánica. En la siguiente figura se ilustra la clasificación de suelos en los tramos de estudio.

Las coberturas en la zona de estudio teniendo en cuenta la metodología Corine Land Cover, es 1.1.1. Tejido urbano continuo, y para el tramo 4 y la alcantarilla del tramo 4 2.4.3 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, 2.4.2 Mosaico de pastos y cultivos y 2.4.5 Mosaico de cultivos con espacios naturales, lo anterior se observa espacializado en la siguiente figura:

Figura 26 Coberturas



Fuente: IGAC y ESRI, procesado por el autor.

En la siguiente tabla se observa la clasificación de coeficiente de escorrentia según el tipo de suelo, la topografia y las coberturas, tanto para áreas urbanas como rurales; el insumo de topografia se toma de un modelo digital de elevación regional de la zona de estudio.

Tabla 12 Coeficientes de escorrentia en áreas urbanas y rurales

TIPO DE ÁREA DE DRENAJE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C
PRADOS	
Suelos arenosos, planos, 2%	0.05 - 0.10
Suelos arenosos, promedio, 2 -7 %	0.15 - 0.20
Suelos pesados (arcillosos), planos, 2%	0.13 - 0.17
Suelos pesados (arcillosos), promedio, 2 -7 %	0.18 - 0.22
Suelos pesados (arcillosos), pendientes, 7%	0.25 - 0.35
DISTRITOS COMERCIALES	
Áreas de centro de ciudad	0.70 - 0.95
Áreas vecinas	0.50 - 0.70
RESIDENCIAL	
Casas individuales separadas	0.30 - 0.50
Casas multifamiliares separadas	0.40 - 0.60
Casas multifamiliares unidas	0.60 - 0.75
Suburbana	0.25 - 0.40
Áreas de apartamentos de vivienda	0.50 - 0.70
INDUSTRIAL	
Áreas livianas	0.50 - 0.80
Áreas pesadas	0.60 - 0.90
PARQUES CEMENTERIOS	0.10 - 0.25
CAMPOS DE JUEGOS	0.20 - 0.35
ÁREAS DE PATIOS DE FERROCARRILES	0.20 - 0.40
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0.10 - 0.30
CALLES	
Asfaltadas	0.70 - 0.95
Concreto	0.80 - 0.95
Ladrillo	0.70 - 0.85
CALZADAS Y ALAMEDAS	0.75 - 0.85
TECHOS	0.75 - 0.95

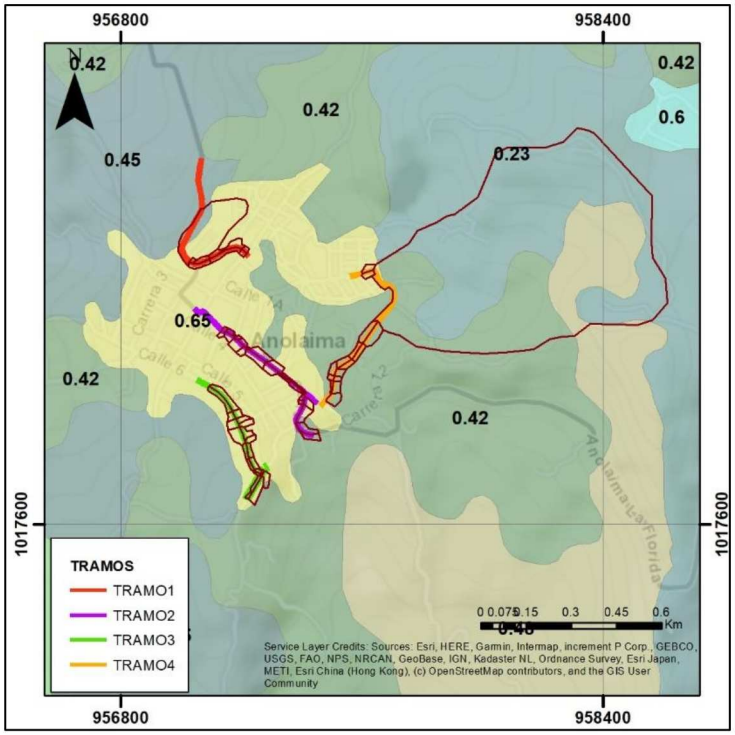
VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
BOSQUES			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
PASTOS			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
TIERRAS CULTIVADAS			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82

Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.

Fuente: Manual de drenaje de INVIAS

A partir del cruce de mapas de coberturas, tipo de suelo y topografia regional, se realiza la espacialización del coeficiente de escorrentia, como se observa en la siguiente figura.

Figura 27 Coeficiente de escorrentia



Fuente: ESRI, procesado por el autor.

De acuerdo con los resultados anteriores el análisis de coeficiente de escorrentia se clasifica para cada área así:

Tabla 13 coeficiente de escorrentía

POLIGONO	CE_FUTURO	UBICACIÓN
1	0.65	Áreas tramos viales
2	0.23	Box Culvert tramo 4
3	0.60	Alcantarilla tramo 1

Fuente: El autor.

- **Tiempo de concentración.** Se debe considerar el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido de las áreas aferentes, y desde el punto de vista de seguridad en relación con tiempos menores a 15 minutos (Mayores intensidades de precipitación y/o histogramas de lluvias más concentradas), se tomará el tiempo mínimo de concentración de 10 minutos, con el fin de tener en cuenta el tiempo inicial que tarda el agua en concentrarse en una hoya y no sobreestimar la intensidad de precipitación que resultaría con valores calculados menores a este tiempo de concentración.

6.1.1. CAPACIDAD HIDRÁULICA DE ESTRUCTURAS

El tamaño de la cuneta y los diámetros de las tuberías que se requieren para el drenaje se determinan con la fórmula de Manning para flujo uniforme y las relaciones hidráulicas para tuberías circulares.

Formula de Manning.

$$Q = \frac{ARH^{2/3}S^{0.5}}{n}$$

Q: Caudal transportado por la cuneta, m^3/s.
n: Coeficiente de rugosidad de Manning, valor adimensional. Se ha supuesto igual a 0.015 para concreto bien terminado
A: Área hidráulica, m^2.
R*H*: Radio hidráulico, m. Es igual al área hidráulica, A, sobre el perímetro mojado, P.
S: Pendiente, m/m.

6.1.2. MÉTODO RACIONAL – CAUDAL DE DISEÑO

El método racional parte de la definición del coeficiente de escorrentía C, el cual se puede definir como la relación entre el volumen de escorrentía superficial y el volumen de precipitación total dando un valor adimensional.

En este método, se considera que sí la lluvia cayese a rata constante sobre una superficie impermeable, la escorrentía llegaría a tomar una intensidad igual a la de la lluvia. El tiempo necesario para llegar a este equilibrio es el tiempo de concentración Tc, y para pequeñas áreas impermeables

se puede considerar que se la lluvia persiste con un ritmo uniforme durante un periodo como mínimo igual al tiempo de concentración, la escorrentía máxima será igual a la intensidad de la lluvia.

Según INVIAS el método racional, existe discrepancia entre los diferentes autores sobre el rango de aplicabilidad del método en relación con el área de drenaje de las hoyas. Valores entre 0.65 y 12.5 km2 han sido citados en la literatura técnica. En este Manual se deberá adoptar un área de drenaje igual o máximo a 2.5 km2 para el uso de este método.

El método tiene aplicación en el diseño de drenaje superficial, especialmente en carreteras en superficies pequeñas, en el presente estudio se aplicará a cuencas con áreas menores a 1,0 km2 para sumideros, además se usa en el diseño de obras menores.

$$Q = c * i * A$$

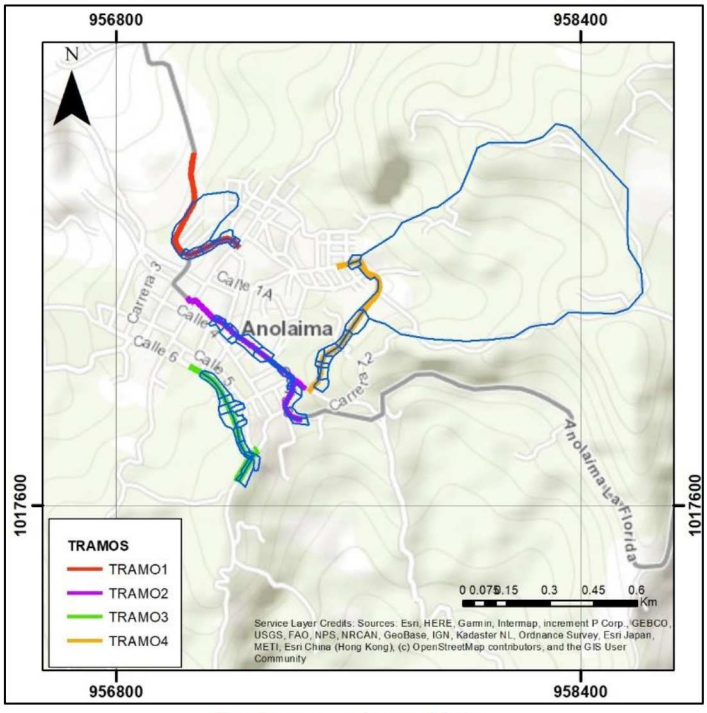
Dónde:

Q Caudal pico de escorrentía (m^3 /s)
C Coeficiente de escorrentía
i Intensidad uniforme repartida sobre el área de la cuenca (mm/h)
A Área de la cuenca en estudio (km^2).

6.2. ÁREAS DE DRENAJE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE DISEÑO

En las siguientes figuras se observa la delimitación de cada una de las áreas aferentes para las alcantarillas y/o estructuras de diseño.

Figura 28 Áreas aferentes



Fuente: procesado por el Autor

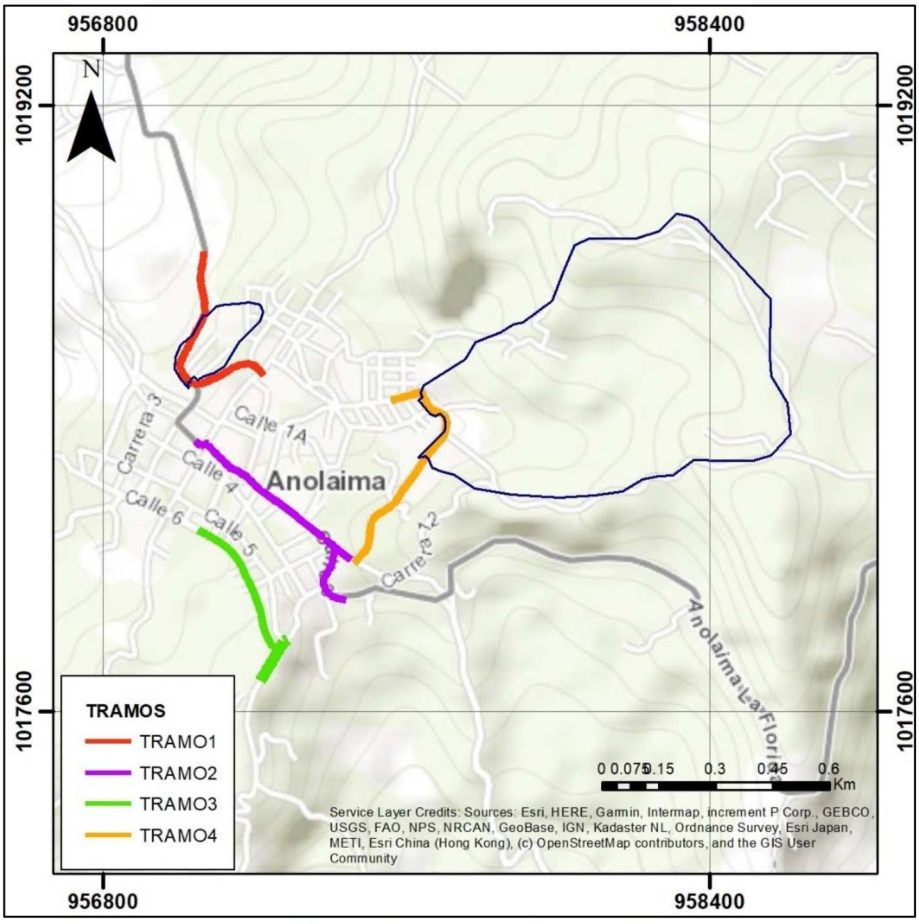
Nota: El plano de detalles hidráulicos y áreas aferentes se encuentra en el plano hidráulico.

6.3. EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LAS ALCANTARILLAS PROPUESTAS

En el eje vial de estudio, actualmente se ubica un box culvert sobre el tramo 4 en la abscisa 0+162 y en el tramo 1 una alcantarilla en la abscisa 0+414, las cuales se encuentran completamente colmatas de vegetación y en mal estado.

De acuerdo con lo anterior, las alcantarillas existentes, se proyectan como demolición y reemplazo. En la siguiente figura se observa el área aferente de las obras a reemplazar, identificada en los planos hidráulicos.

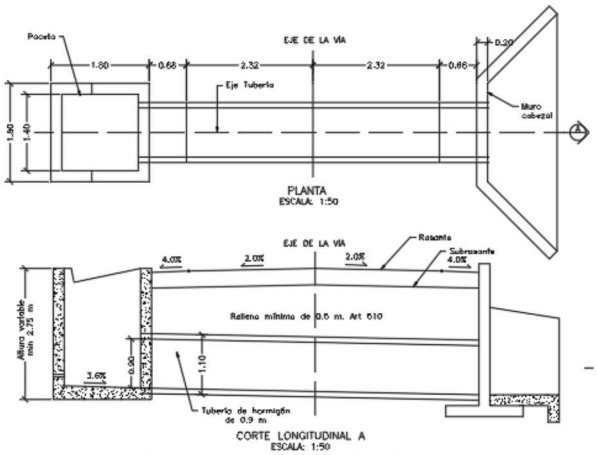
Figura 29 Área aferente alcantarilla y box culvert



Fuente: Google Earth, procesado por el autor

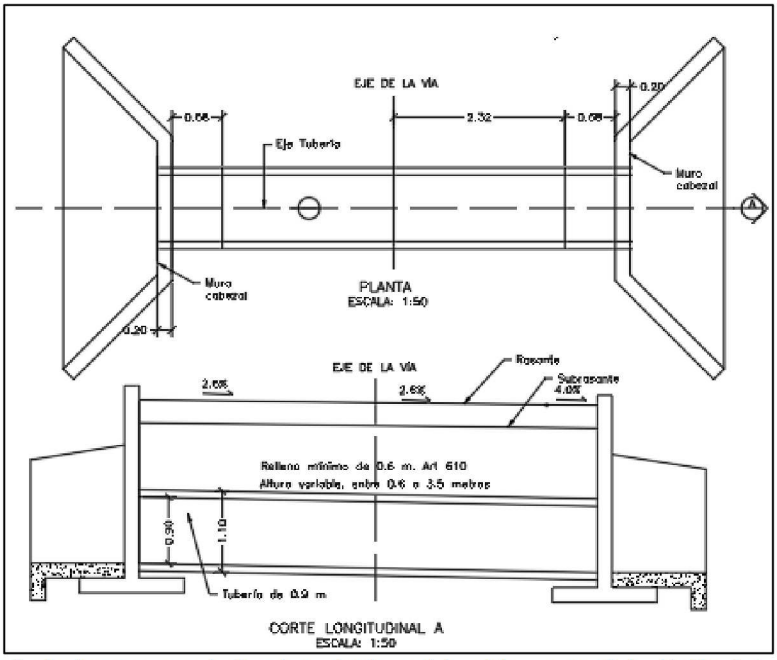
En la siguiente figura, se ilustra el perfil de la alcantarilla a reemplazar en la vía de estudio.

Figura 30 Sección Alcantarilla cajón aleta tramo 1



Fuente: Guía de diseño de obras menores de drenaje y estructuras viales, del programa Colombia Rural, procesado por el autor.

Figura 31 Sección box culvert tramo 4



Fuente: Guía de diseño de obras menores de drenaje y estructuras viales, del programa Colombia Rural, procesado por el autor.

La localización de la alcantarilla y el box culvert del proyecto se observan en el plano hidraulico

Este tipo de estructuras están localizadas en puntos estratégicos donde se presenta caídas de pendientes. En la siguiente tabla, se adjunta el cálculo de tiempo de concentración para el área aferente de las dos alcantarillas.

Tabla 14 Tiempo de concentración alcantarillas proyectadas

Tramo	Area AF en el tramo vial	diferencia m	distancia m	distancia km	CAUCE TAYLOR-SCHWARZ =	A) Método de Rowe	B) Método de Kirpich	C) Método del SCS	Tc calculado HRS	Tc calculado Min	MINIMO REQUERIDO EN Min
1	Alc Tramo 1	32	169.82	0.16982	0.188	0.032	0.032	0.032	0.032	1.9	15.0
4	Alc Tramo 2	112	907.67	0.90767	0.123	0.138	0.138	0.136	0.136	8.2	15.0

Fuente: Autor

En las siguientes tablas se observa el cálculo de caudal de diseño de la alcantarilla proyectada.

Tabla 15 Caudal de diseño de alcantarilla proyectada

Alc Tramo 1		ALCANTARILLA 36" PROYECTADA					
Tc (min)	Tr (Años)	i (mm/h)	i (mm/s)	i (m/s)	A (m2)	c	Q (m3/s)
15.0	10	109.770	0.030	3.04917E-05	27005.46	0.60	0.494
Alc Tramo 4		**BOXCULVERT 2.5X2.5 PROYECTADA**					
Tc (min)	Tr (Años)	i	i (mm/s)	i (m/s)	A (m2)	c	Q (m3/s)
15.0	10	109.770	0.030	3.04917E-05	484517.38	0.23	3.398

Al análisis hidráulica de cada área aferente en relación con la capacidad hidráulica se observa en la siguiente tabla, dando como resultado el cumplimiento hidráulico.

Tabla 16 Análisis hidráulico de la alcantarilla y box culvert propuesto

AREA AFERENTE		CAPACIDAD HIDRAULICA (m3/s)	CAUDAL DE DRENAJE (m3/s)	Cumple / No Cumple
Alc Tramo 1	ALCANTARILLA 36" PROYECTADA	1.20	0.4941	CUMPLE
Alc Tramo 4	BOXCULVERT 2.5X2.5 PROYECTADA	3.46	3.40	CUMPLE

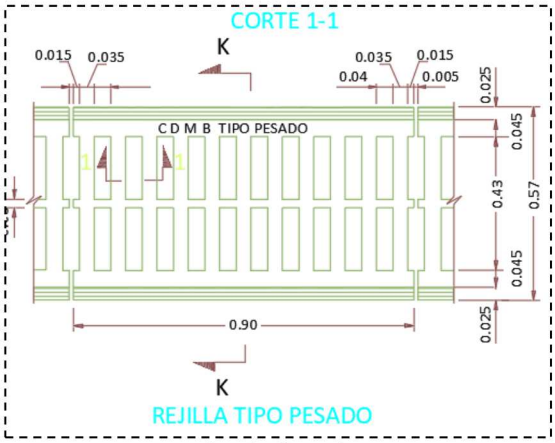
Diametro (Pulgadas)	Pendiente (S)	Caudal (m3/s)	Profundidad a la entrada (m)	Profundidad Normal (m)	Profundidad crítica (m)	Profundidad de Salida (m)	Velocidad de Salida (m3/s)
36"	0.02	1.2	1.06	0.45	0.65	0.53	3.08
2.5mX2.5m	0.03	3.46	2.5	0.33	0.58	2.5	0.55

Fuente: Autor

6.4. SUMIDEROS PROPUESTOS

El sumidero propuesto para el presente estudio y verificado en la siguiente tabla, es la estructura **SL-200.** El detalle del sumidero propuesto se ilustra en la siguiente figura:

Figura 32 Detalle de Sumidero propuesto

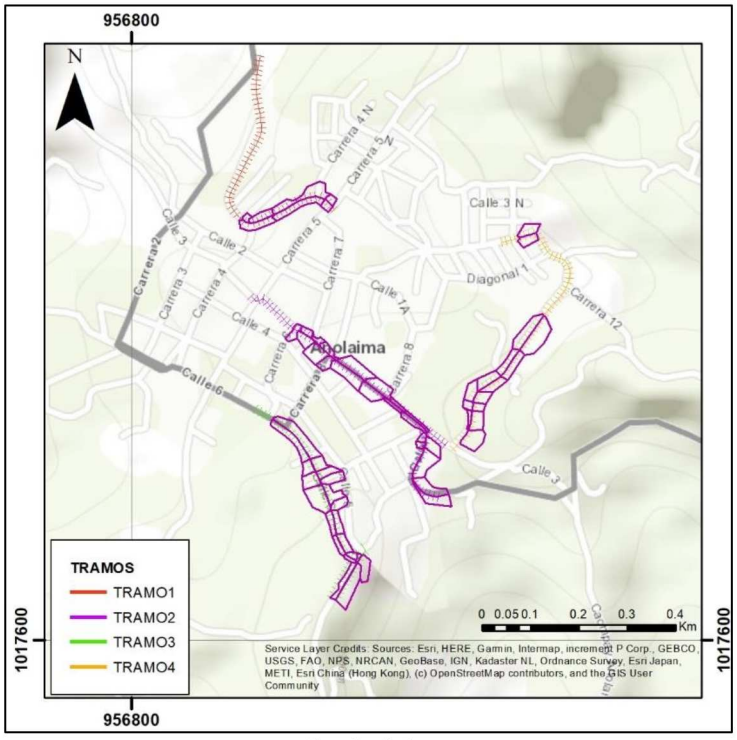


Fuente: Proyecto

Cada sumidero debe tener como mínimo 10" de diámetro nominal, con una pendiente mínima de 2%. Según la resolución 0330 de 2017 presenta como requisitos de diseño de sumideros, como la ubicación de estos antes de los cruces de vías, antes de la zona de tránsito de los peatones, en la reducción de la pendiente longitudinal de la vía en sentido de la escorrentía, en puntos bajos y depresiones.

La delimitación de áreas aferentes para cada uno de los sumideros propuestos se observa en la siguiente figura:

Figura 33 áreas aferentes Sumidero propuestos



Fuente: Autor

Las características de diseño de cada sumidero se observan en la siguiente tabla:

Tabla 17 Características de diseño de sumideros propuestos

TRAMO	SUMIDERO	AREA AF M2	PENDIENTE	LONG TUBO	COTA TERRENO SUMIDERO	COTA BATEA SUMIDERO	COTA TERRENO FINAL	COTA BATEA FINAL	ALTURA SUMIDERO M
1	1	309.14	0.02	5.94	1657.68	1656.68	1657.28	1656.5612	1
1	2	340.02	0.02	2.47	1657.34	1656.34	1657.28	1656.2906	1
1	3	2057.49	0.02	5.55	1650.64	1649.64	1650.83	1649.529	1
1	4	1480.177	0.02	1.54	1650.65	1649.65	1650.83	1649.6192	1
1	5	221.229	0.02	2.74	1646.2	1645.2	1646.47	1645.1452	1
1	6	1123.31	0.02	6.36	1646.53	1645.53	1646.47	1645.4028	1
1	7	727.08	0.02	10.36	1646.9	1645.9	1646.47	1645.6928	1
2	1	1277.03	0.02	4.1	1685.88	1684.88	1685.8	1684.798	1
2	2	1419.37	0.02	3.27	1685.69	1684.69	1685.8	1684.6246	1
2	3	1718.45	0.02	5.55	1686.98	1685.98	1687.17	1685.869	1
2	4	226.46	0.02	2.84	1687.75	1686.75	1687.68	1686.6932	1
2	5	860.52	0.02	4	1687.8	1686.8	1687.68	1686.72	1
2	6	254.73	0.02	1.98	1687.86	1686.86	1687.92	1686.8204	1
2	7	860.52	0.02	9.74	1688.4	1687.4	1688.54	1687.2052	1
2	8	234.19	0.02	8.18	1688.3	1687.3	1688.54	1687.1364	1
2	9	317.803	0.02	4.43	1686.48	1685.48	1686.16	1685.3914	1
2	10	632.38	0.02	3.99	1686.14	1685.14	1686.16	1685.0602	1
2	15	1711.12	0.02	15.1	1683.91	1682.91	1683.65	1682.608	1
2	16	1586.56	0.02	5.77	1683.92	1682.92	1683.65	1682.8046	1
2	17	661.62	0.02	9.37	1683.4	1682.4	1683.65	1682.2126	1
2	18	532.32	0.02	12.37	1681.61	1680.01	1680.76	1679.7626	1.6
2	19	1292.85	0.02	4.65	1681.02	1680.02	1680.76	1679.927	1
2	20	278.294	0.02	8.63	1680.16	1679.16	1680.76	1678.9874	1
2	21	344.44	0.02	11.16	1677.7	1676.1	1676.93	1675.8768	1.6
2	22	753.64	0.02	6.78	1677.6	1676	1676.93	1675.8644	1.6
2	23	575.22	0.02	3.25	1676.63	1675.83	1676.93	1675.765	0.8
3	1	819.31	0.02	3.07	1716.01	1715.21	1716.4	1715.1486	0.8
3	2	2054.89	0.02	5.38	1716.2	1715.4	1716.4	1715.2924	0.8
3	3	988.32	0.02	2.25	1716.97	1715.97	1716.77	1715.925	1
3	4	129.33	0.02	4.74	1716.97	1715.97	1716.77	1715.8752	1
3	5	262.65	0.02	1.96	1712.2	1711.2	1712.16	1711.1608	1
3	6	208.52	0.02	1.38	1712.35	1711.35	1712.16	1711.3224	1
3	7	722.49	0.02	1.36	1705.71	1704.51	1705.44	1704.4828	1.2
3	8	408.86	0.02	1.76	1705.66	1704.46	1705.44	1704.4248	1.2
3	9	722.04	0.02	1.23	1693.93	1692.93	1693.58	1692.9054	1
3	10	574.77	0.02	2.25	1693.8	1692.8	1693.58	1692.755	1

TRAMO	SUMIDERO	AREA AF M2	PENDIENTE	LONG TUBO	COTA TERRENO SUMIDERO	COTA BATEA SUMIDERO	COTA TERRENO FINAL	COTA BATEA FINAL	ALTURA SUMIDERO M
3	11	636.26	0.02	2.01	1692.4	1691.8	1693.051	1691.7598	0.6
3	12	960.73	0.02	5.78	1685.8	1684.2	1685.1	1684.0844	1.6
3	13	1983.63	0.02	5.01	1685.4	1684.2	1685.1	1684.0998	1.2
3	14	863.51	0.02	4.58	1685.9	1684.3	1685.1	1684.2084	1.6
3	15	692.13	0.02	1.99	1680.7	1679.3	1680.4	1679.2602	1.4
3	16	993.26	0.02	1.44	1680.72	1679.32	1680.4	1679.2912	1.4
3	17	746.64	0.02	2.04	1673.88	1672.48	1673.5	1672.4392	1.4
3	18	607.29	0.02	2.45	1673.94	1672.54	1673.5	1672.491	1.4
3	19	2172.86	0.02	3.82	1663.59	1662.19	1663.34	1662.1136	1.4
3	20	1514.88	0.02	3.67	1663.21	1662.21	1663.34	1662.1366	1
4	1	242.11	0.02	4.57	1694.18	1693.18	1694.32	1693.0886	1
4	2	1515.03	0.02	4.35	1695.13	1693.93	1694.9	1693.843	1.2
4	3	222.85	0.02	3.61	1694.84	1693.84	1694.9	1693.7678	1
4	4	1020.01	0.02	2.16	1698.05	1697.05	1698.08	1697.0068	1
4	5	299.09	0.02	1.86	1698.11	1697.11	1698.08	1697.0728	1
4	6	429.46	0.02	1.85	1702.18	1701.18	1702.13	1701.143	1
4	7	349.43	0.02	2.26	1702.21	1701.21	1702.13	1701.1648	1
4	8	714.61	0.02	4.9	1704.18	1703.18	1704.16	1703.082	1
4	9	839.44	0.02	1.99	1704.04	1703.04	1704.16	1703.0002	1
4	10	830.61	0.02	4.68	1701.8	1700.6	1701.63	1700.5064	1.2
4	11	994.24	0.02	4.34	1702.01	1700.81	1701.63	1700.7232	1.2
4	12	982.33	0.02	2.95	1699.46	1698.26	1699.19	1698.201	1.2
4	13	804.98	0.02	3.83	1699.36	1698.16	1699.19	1698.0834	1.2
4	14	2456.66	0.02	3.7	1695.98	1694.78	1695.73	1694.706	1.2
4	15	1672.79	0.02	4.2	1695.9	1694.7	1695.73	1694.616	1.2
4	16	716.84	0.02	12.14	1687.47	1686.47	1687.6	1686.2272	1
4	17	831.6	0.02	13.56	1687.85	1686.85	1687.6	1686.5788	1

Fuente: Autor

A partir de la delimitación de áreas aferentes, es posible calcular los caudales de aporte correspondientes a cada una de estas áreas hacia los sumideros propuestos. Este proceso es esencial para determinar la capacidad de drenaje y el diseño adecuado de los sistemas de recolección de aguas pluviales, asegurando que estos sean capaces de manejar el volumen de agua que se espera en diversos escenarios de precipitación.

Para llevar a cabo este cálculo, se deben considerar varios factores, incluyendo la pendiente del terreno, el tipo de suelo, la cobertura vegetal y el uso del suelo (Calculado en los apartados anteriores). Cada uno de estos elementos influye en la tasa de escorrentía, lo cual es crucial para determinar el caudal de aportación.

La correcta estimación de los caudales de aporte a los sumideros propuestos asegura un manejo

eficiente del agua, minimizando potenciales problemas de acumulación y contribuyendo al bienestar general de la infraestructura urbana. En la siguiente tabla se observan el cálculo de caudales para cada una de las áreas aferentes.

Tabla 18 Caudales áreas aferentes

TRAMO	SUM	TC (MIN)	TR (AÑOS)	I (MM/H)	A (M2)	C	Q (M3/S)	Q (L/S)
1	1	10	5	96.89	309.14	0.8	0.007	6.66
1	2	10	5	96.89	340.02	0.8	0.007	7.32
1	3	10	5	96.89	2057.49	0.8	0.044	44.30
1	4	10	5	96.89	1480.18	0.8	0.032	31.87
1	5	10	5	96.89	221.23	0.8	0.005	4.76
1	6	10	5	96.89	1123.31	0.8	0.024	24.19
1	7	10	5	96.89	727.08	0.8	0.016	15.65
2	1	10	5	96.89	1277.03	0.8	0.027	27.50
2	2	10	5	96.89	1419.37	0.8	0.031	30.56
2	3	10	5	96.89	1718.45	0.8	0.037	37.00
2	4	10	5	96.89	226.46	0.8	0.005	4.88
2	5	10	5	96.89	860.52	0.8	0.019	18.53
2	6	10	5	96.89	254.73	0.8	0.005	5.48
2	7	10	5	96.89	860.52	0.8	0.019	18.53
2	8	10	5	96.89	234.19	0.8	0.005	5.04
2	9	10	5	96.89	317.80	0.8	0.007	6.84
2	10	10	5	96.89	632.38	0.8	0.014	13.62
2	11	10	5	96.89	237.74	0.8	0.005	5.12
2	12	10	5	96.89	326.57	0.8	0.007	7.03
2	13	10	5	96.89	1185.67	0.8	0.026	25.53
2	14	10	5	96.89	1180.39	0.8	0.025	25.42
2	15	10	5	96.89	1711.12	0.8	0.037	36.84
2	16	10	5	96.89	1586.56	0.8	0.034	34.16
2	17	10	5	96.89	661.62	0.8	0.014	14.25
2	18	10	5	96.89	532.32	0.8	0.011	11.46
2	19	10	5	96.89	1292.85	0.8	0.028	27.84
2	20	10	5	96.89	278.29	0.8	0.006	5.99
2	21	10	5	96.89	344.44	0.8	0.007	7.42
2	22	10	5	96.89	753.64	0.8	0.016	16.23
2	23	10	5	96.89	575.22	0.8	0.012	12.39
3	1	10	5	96.89	819.31	0.8	0.018	17.64
3	2	10	5	96.89	2054.89	0.8	0.044	44.24
3	3	10	5	96.89	988.32	0.8	0.021	21.28
3	4	10	5	96.89	129.33	0.8	0.003	2.78
3	5	10	5	96.89	262.65	0.8	0.006	5.66

TRAMO	SUM	TC (MIN)	TR (AÑOS)	I (MM/H)	A (M2)	C	Q (M3/S)	Q (L/S)
3	6	10	5	96.89	208.52	0.8	0.004	4.49
3	7	10	5	96.89	722.49	0.8	0.016	15.56
3	8	10	5	96.89	408.86	0.8	0.009	8.80
3	9	10	5	96.89	722.04	0.8	0.016	15.55
3	10	10	5	96.89	574.77	0.8	0.012	12.38
3	11	10	5	96.89	636.26	0.8	0.014	13.70
3	12	10	5	96.89	960.73	0.8	0.021	20.69
3	13	10	5	96.89	1983.63	0.8	0.043	42.71
3	14	10	5	96.89	863.51	0.8	0.019	18.59
3	15	10	5	96.89	692.13	0.8	0.015	14.90
3	16	10	5	96.89	993.26	0.8	0.021	21.39
3	17	10	5	96.89	746.64	0.8	0.016	16.08
3	18	10	5	96.89	607.29	0.8	0.013	13.08
3	19	10	5	96.89	2172.86	0.8	0.047	46.78
3	20	10	5	96.89	1514.88	0.8	0.033	32.62
4	1	10	5	96.89	242.11	0.8	0.005	5.21
4	2	10	5	96.89	1515.03	0.8	0.033	32.62
4	3	10	5	96.89	222.85	0.8	0.005	4.80
4	4	10	5	96.89	1020.01	0.8	0.022	21.96
4	5	10	5	96.89	299.09	0.8	0.006	6.44
4	6	10	5	96.89	429.46	0.8	0.009	9.25
4	7	10	5	96.89	349.43	0.8	0.008	7.52
4	8	10	5	96.89	714.61	0.8	0.015	15.39
4	9	10	5	96.89	839.44	0.8	0.018	18.07
4	10	10	5	96.89	830.61	0.8	0.018	17.88
4	11	10	5	96.89	994.24	0.8	0.021	21.41
4	12	10	5	96.89	982.33	0.8	0.021	21.15
4	13	10	5	96.89	804.98	0.8	0.017	17.33
4	14	10	5	96.89	2456.66	0.8	0.053	52.89
4	15	10	5	96.89	1672.79	0.8	0.036	36.02
4	16	10	5	96.89	716.84	0.8	0.015	15.43
4	17	10	5	96.89	831.60	0.8	0.018	17.91

Fuente: Autor

Es necesario conocer el comportamiento hidráulico de los sumideros propuestos, con el fin de estimar así su capacidad y respuesta frente a los caudales de aporte de las áreas aferentes. En la siguiente tabla se adjunta la capacidad hidráulica de los sumideros propuestos, evaluándolo inicialmente con la condición de mayor aporte de caudal y finalmente verificando cada uno de los sumideros por tramos.

Tabla 19 Capacidad hidráulica de Sumideros propuestos

1. Calle			
Pendiente Longitudinal de la Vía	**S_0[%]**	**=**	2.31
Bombeo o Pendiente Transversal	**S_x[%]**	**=**	2.00
2. Capacidad de la via			
Flujo Frontal transportado por ancho cuneta W	**QW [m3/s]**	**=**	0.3234
Flujo lateral transportado por ancho via	**QX [m3/s]**	**=**	0.1951
Flujo transportado por la calle	**Qsmc [m3/s]**	**=**	0.5185
Velocidad del flujo	**Vs[m/s]**	**=**	2.2300
3. Constantes			
Factor de obstruccion de rejilla		**=**	0.5000
2. Geometría			
Tipo de rejilla (1-7)		**=**	7.0
Numero de rejillas			1.0
Ancho rejilla	**W[m]**	**=**	0.570
Longitud de la rejilla	**L[m]**	**=**	1.0
Capacidad de intercepcion ideal del sumidero de rejilla			
Relacion de flujo frontal Qw/Qs	Ew	=	0.6238
Relación de flujo lateral Qx/Qs	(1-Ew)	=	0.3762
Lontitud total del la rejilla	Lg[m]	=	1.0000
Velocidad de salpicadura de la rejilla			
p		=	0.0853
q		=	2.2800
r		=	0.5906
s		=	0.1076
Velocidad de salpicadura de la rejilla	Vo[m/s]	=	3.0635
Porcentaje de intercepción del flujo frontal	Rf	=	1.0000
Porcentaje de intercepción del flujo lateral	Rs	=	0.0539
Capacidad de intercepción ideal	Qi[m3/s]	=	0.3339
Capacidad de intercepcion aplicando el factor de obstrucción a la capacidad sumidero de rejilla			
Capacidad de intercepcion aplicando el factor de obstrucción	Qa[m3/s]	=	0.1670
Flujo de arrastre	Qc[m	=	0.3515
Capacidad de intercepcion aplicando el factor de obstrucción a la longitud en pendiente en sumidero de rejilla			
Lontitud total del la rejilla	Lg[m]	=	1.0000
Longitud efectiva	Le[m]	=	0.5000
Velocidad de salpicadura de la rejilla			
p		=	0.0853
q		=	2.2800
r		=	0.5906
s		=	0.1076
Velocidad de salpicadura de la rejilla	Vo[m/s]	=	1.3864
Porcentaje de intercepción del flujo frontal	Rf	=	0.7511
Porcentaje de intercepción del flujo lateral	Rs	=	0.0114
Capacidad de intercepcion aplicando el factor de obstrucción	Qa[m3/s]	=	0.2452
Flujo de arrastre	Qc[m3	=	0.2733

Fuente: Escuela Colombiana de Ingeniería. Alfonso Rodríguez Díaz, procesado por el autor

La verificación para cada uno de los sumideros es:

Tabla 20 Verificación hidráulica de sumideros propuestos

TRAMO	SUM	Q M3/S ÁREA AFERENTE	CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN APLICANDO EL FACTOR DE OBSTRUCCIÓN QA[M3/S]	CUMPLE
1	1	0.007	0.245	OK
1	2	0.007	0.245	OK
1	3	0.044	0.245	OK
1	4	0.032	0.245	OK
1	5	0.005	0.245	OK
1	6	0.024	0.245	OK
1	7	0.016	0.245	OK
2	1	0.027	0.245	OK
2	2	0.031	0.245	OK
2	3	0.037	0.245	OK
2	4	0.005	0.245	OK
2	5	0.019	0.245	OK
2	6	0.005	0.245	OK
2	7	0.019	0.245	OK
2	8	0.005	0.245	OK
2	9	0.007	0.245	OK
2	10	0.014	0.245	OK
2	11	0.005	0.245	OK
2	12	0.007	0.245	OK
2	13	0.026	0.245	OK
2	14	0.025	0.245	OK
2	15	0.037	0.245	OK
2	16	0.034	0.245	OK
2	17	0.014	0.245	OK
2	18	0.011	0.245	OK
2	19	0.028	0.245	OK
2	20	0.006	0.245	OK
2	21	0.007	0.245	OK
2	22	0.016	0.245	OK
2	23	0.012	0.245	OK
3	1	0.018	0.245	OK
3	2	0.044	0.245	OK
3	3	0.021	0.245	OK
3	4	0.003	0.245	OK
3	5	0.006	0.245	OK
3	6	0.004	0.245	OK
3	7	0.016	0.245	OK
3	8	0.009	0.245	OK
3	9	0.016	0.245	OK
3	10	0.012	0.245	OK
3	11	0.014	0.245	OK
3	12	0.021	0.245	OK
3	13	0.043	0.245	OK

TRAMO	SUM	Q M3/S ÁREA AFERENTE	CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN APLICANDO EL FACTOR DE OBSTRUCCIÓN QA[M3/S]	CUMPLE
3	14	0.019	0.245	OK
3	15	0.015	0.245	OK
3	16	0.021	0.245	OK
3	17	0.016	0.245	OK
3	18	0.013	0.245	OK
3	19	0.047	0.245	OK
3	20	0.033	0.245	OK
4	1	0.005	0.245	OK
4	2	0.033	0.245	OK
4	3	0.005	0.245	OK
4	4	0.022	0.245	OK
4	5	0.006	0.245	OK
4	6	0.009	0.245	OK
4	7	0.008	0.245	OK
4	8	0.015	0.245	OK
4	9	0.018	0.245	OK
4	10	0.018	0.245	OK
4	11	0.021	0.245	OK
4	12	0.021	0.245	OK
4	13	0.017	0.245	OK
4	14	0.053	0.245	OK
4	15	0.036	0.245	OK
4	16	0.015	0.245	OK
4	17	0.018	0.245	OK

Fuente: Autor

De acuerdo con los resultados anteriores todos los sumideros cumplen con la capacidad hidráulica, el drenaje de exceso que se pueda llegar a presentar pasara al siguiente sumidero, con el fin de evacuar así el drenaje vial completo.

Teniendo en cuenta lo estipulado en la resolución 0330 de 2017, se debe verificar la capacidad de recolección de la escorrentía de los sumideros aportantes a un colector que sea consistente con la capacidad de evacuación de este, por lo tanto, se analizó la capacidad hidráulica del tubo de salida de este, que será conectado el pozo de alcantarillado más cercano, lo anterior se muestra en la siguiente tabla para todos los sumideros:

Tabla 21 Capacidad hidráulica tubería de conexión del sumidero al pozo

ID TRAMO	ID	ID	QT	L (m)	D (nominal)	S	D (interno)	TRAMO	Material	Rugosidad (n)	Q	V	Fuerza T	q/Q	y	y/D
		-	L/s	m	"	-	m	-		-	L/s	m/s	(kgf/m²)	-	m	%
1	1	TUBO 1	6.66	5.94	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	7.1%	0.04	18%
1	2	TUBO 2	7.32	2.47	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	7.8%	0.04	19%
1	3	TUBO 3	44.30	5.55	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	47.2%	0.13	55%
1	4	TUBO 4	31.87	1.54	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	33.9%	0.10	45%
1	5	TUBO 5	4.76	2.74	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	5.1%	0.03	15%
1	6	TUBO 6	24.19	6.36	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	25.8%	0.09	39%
1	7	TUBO 7	15.65	10.36	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	16.7%	0.07	30%
2	1	TUBO 8	27.50	4.10	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	29.3%	0.09	42%
2	2	TUBO 9	30.56	3.27	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	32.5%	0.10	44%
2	3	TUBO 10	37.00	5.55	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	39.4%	0.11	50%
2	4	TUBO 11	4.88	2.84	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	5.2%	0.03	15%
2	5	TUBO 12	18.53	4	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	19.7%	0.07	33%
2	6	TUBO 13	5.48	1.98	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	5.8%	0.04	16%
2	7	TUBO 14	18.53	9.74	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	19.7%	0.07	33%
2	8	TUBO 15	5.04	8.18	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	5.4%	0.03	15%
2	9	TUBO 16	6.84	4.43	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	7.3%	0.04	18%
2	10	TUBO 17	13.62	3.99	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	14.5%	0.06	27%
2	15	TUBO 18	36.84	15.1	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	39.2%	0.11	49%
2	16	TUBO 19	34.16	5.77	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	36.4%	0.11	47%
2	17	TUBO 20	14.25	9.37	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	15.2%	0.06	28%
2	18	TUBO 21	11.46	12.37	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	12.2%	0.06	25%
2	19	TUBO 22	27.84	4.65	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	29.6%	0.10	42%
2	20	TUBO 23	5.99	8.63	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	6.4%	0.04	17%
2	21	TUBO 24	7.42	11.16	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	7.9%	0.04	19%
2	22	TUBO 25	16.23	6.78	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	17.3%	0.07	31%
2	23	TUBO 26	12.39	3.25	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	13.2%	0.06	26%
3	1	TUBO 27	17.64	3.07	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	18.8%	0.07	32%
3	2	TUBO 28	44.24	5.38	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	47.1%	0.13	55%
3	3	TUBO 29	21.28	2.25	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	22.7%	0.08	36%
3	4	TUBO 30	2.78	4.74	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	3.0%	0.02	11%
3	5	TUBO 31	5.66	1.96	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	6.0%	0.04	16%
3	6	TUBO 32	4.49	1.38	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	4.8%	0.03	14%
3	7	TUBO 33	15.56	1.36	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	16.6%	0.07	30%
3	8	TUBO 34	8.80	1.76	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	9.4%	0.05	21%
3	9	TUBO 35	15.55	1.23	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	16.6%	0.07	30%
3	10	TUBO 36	12.38	2.25	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	13.2%	0.06	26%
3	11	TUBO 37	13.70	2.01	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	14.6%	0.06	28%
3	12	TUBO 38	20.69	5.78	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	22.0%	0.08	35%
3	13	TUBO 39	42.71	5.01	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	45.5%	0.12	54%
3	14	TUBO 40	18.59	4.58	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	19.8%	0.07	33%
3	15	TUBO 41	14.90	1.99	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	15.9%	0.07	29%
3	16	TUBO 42	21.39	1.44	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	22.8%	0.08	36%
3	17	TUBO 43	16.08	2.04	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	17.1%	0.07	30%
3	18	TUBO 44	13.08	2.45	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	13.9%	0.06	27%
3	19	TUBO 45	46.78	3.82	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	49.8%	0.13	57%
3	20	TUBO 46	32.62	3.67	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	34.7%	0.10	46%
4	1	TUBO 47	5.21	4.57	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	5.6%	0.04	16%
4	2	TUBO 48	32.62	4.35	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	34.7%	0.10	46%
4	3	TUBO 49	4.80	3.61	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	5.1%	0.03	15%
4	4	TUBO 50	21.96	2.16	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	23.4%	0.08	36%
4	5	TUBO 51	6.44	1.86	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	6.9%	0.04	18%
4	6	TUBO 52	9.25	1.85	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	9.8%	0.05	22%
4	7	TUBO 53	7.52	2.26	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	8.0%	0.04	19%
4	8	TUBO 54	15.39	4.9	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	16.4%	0.07	30%
4	9	TUBO 55	18.07	1.99	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	19.2%	0.07	32%
4	10	TUBO 56	17.88	4.68	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	19.0%	0.07	32%
4	11	TUBO 57	21.41	4.34	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	22.8%	0.08	36%
4	12	TUBO 58	21.15	2.95	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	22.5%	0.08	36%
4	13	TUBO 59	17.33	3.83	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	18.5%	0.07	32%
4	14	TUBO 60	52.89	3.7	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	56.3%	0.14	61%
4	15	TUBO 61	36.02	4.2	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	38.4%	0.11	49%
4	16	TUBO 62	15.43	12.14	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	16.4%	0.07	30%
4	17	TUBO 63	17.91	13.56	10	2.0	0.227	Proyectado	PVC	0.009	93.91	2.32	1.1350	19.1%	0.07	32%

ID TRAMO	ID	ID	d'/D	t/T	v/V	V	y	d'	F	T	DH	Yc	Vc
		-	-	-	-	m/s	m	m	-	(kgf/m²)	m	m	m/s
1	1	TUBO 1	0.140	0.485	0.473	1.12	0.04	0.03	2.01	0.55	0.12	0.068	0.82
1	2	TUBO 2	0.140	0.485	0.473	1.15	0.04	0.03	2.07	0.55	0.05	0.072	0.84
1	3	TUBO 3	0.436	1.052	0.853	1.96	0.13	0.10	1.99	1.19	0.11	0.177	1.32
1	4	TUBO 4	0.341	0.929	0.755	1.78	0.10	0.08	2.04	1.05	0.03	0.150	1.21
1	5	TUBO 5	0.116	0.415	0.426	1.02	0.03	0.03	2.00	0.47	0.05	0.058	0.75
1	6	TUBO 6	0.287	0.836	0.690	1.64	0.09	0.07	2.05	0.95	0.13	0.131	1.13
1	7	TUBO 7	0.221	0.697	0.606	1.44	0.07	0.05	2.06	0.79	0.21	0.105	1.01
2	1	TUBO 8	0.314	0.885	0.724	1.70	0.09	0.07	2.04	1.00	0.08	0.139	1.17
2	2	TUBO 9	0.334	0.918	0.747	1.76	0.10	0.08	2.04	1.04	0.07	0.147	1.20
2	3	TUBO 10	0.381	0.987	0.799	1.86	0.11	0.09	2.02	1.12	0.11	0.161	1.26
2	4	TUBO 11	0.116	0.415	0.426	1.02	0.03	0.03	2.01	0.47	0.06	0.059	0.76
2	5	TUBO 12	0.244	0.748	0.636	1.52	0.07	0.06	2.06	0.85	0.08	0.114	1.06
2	6	TUBO 13	0.116	0.415	0.426	1.06	0.04	0.03	2.08	0.47	0.04	0.062	0.78
2	7	TUBO 14	0.244	0.748	0.636	1.52	0.07	0.06	2.06	0.85	0.19	0.114	1.06
2	8	TUBO 15	0.116	0.415	0.426	1.03	0.03	0.03	2.04	0.47	0.16	0.060	0.76
2	9	TUBO 16	0.140	0.485	0.473	1.13	0.04	0.03	2.03	0.55	0.09	0.069	0.83
2	10	TUBO 17	0.205	0.668	0.586	1.38	0.06	0.05	2.05	0.76	0.08	0.098	0.98
2	15	TUBO 18	0.381	0.987	0.799	1.86	0.11	0.09	2.01	1.12	0.30	0.161	1.26
2	16	TUBO 19	0.361	0.959	0.778	1.82	0.11	0.08	2.03	1.09	0.12	0.155	1.23
2	17	TUBO 20	0.213	0.678	0.596	1.40	0.06	0.05	2.04	0.77	0.19	0.100	0.99
2	18	TUBO 21	0.188	0.615	0.564	1.32	0.06	0.04	2.03	0.70	0.25	0.090	0.94
2	19	TUBO 22	0.314	0.885	0.724	1.71	0.10	0.07	2.04	1.00	0.09	0.140	1.17
2	20	TUBO 23	0.128	0.452	0.450	1.09	0.04	0.03	2.04	0.51	0.17	0.065	0.80
2	21	TUBO 24	0.140	0.485	0.473	1.16	0.04	0.03	2.07	0.55	0.22	0.072	0.84
2	22	TUBO 25	0.229	0.715	0.616	1.46	0.07	0.05	2.04	0.81	0.14	0.107	1.02
2	23	TUBO 26	0.197	0.637	0.575	1.35	0.06	0.04	2.03	0.72	0.07	0.093	0.96
3	1	TUBO 27	0.236	0.732	0.626	1.49	0.07	0.05	2.06	0.83	0.06	0.111	1.05
3	2	TUBO 28	0.436	1.052	0.853	1.96	0.13	0.10	1.99	1.19	0.11	0.177	1.32
3	3	TUBO 29	0.266	0.794	0.664	1.58	0.08	0.06	2.05	0.90	0.05	0.122	1.10
3	4	TUBO 30	0.086	0.328	0.366	0.87	0.02	0.02	1.99	0.37	0.09	0.044	0.66
3	5	TUBO 31	0.128	0.452	0.450	1.07	0.04	0.03	2.00	0.51	0.04	0.063	0.79
3	6	TUBO 32	0.102	0.375	0.398	1.00	0.03	0.02	2.10	0.43	0.03	0.056	0.74
3	7	TUBO 33	0.221	0.697	0.606	1.44	0.07	0.05	2.05	0.79	0.03	0.105	1.01
3	8	TUBO 34	0.161	0.542	0.515	1.22	0.05	0.04	2.03	0.62	0.04	0.079	0.88
3	9	TUBO 35	0.221	0.697	0.606	1.44	0.07	0.05	2.05	0.79	0.02	0.105	1.01
3	10	TUBO 36	0.197	0.637	0.575	1.35	0.06	0.04	2.03	0.72	0.05	0.093	0.96
3	11	TUBO 37	0.205	0.668	0.586	1.39	0.06	0.05	2.05	0.76	0.04	0.098	0.98
3	12	TUBO 38	0.266	0.794	0.664	1.57	0.08	0.06	2.03	0.90	0.12	0.121	1.09
3	13	TUBO 39	0.422	1.037	0.840	1.94	0.12	0.10	2.00	1.18	0.10	0.173	1.30
3	14	TUBO 40	0.244	0.748	0.636	1.52	0.07	0.06	2.06	0.85	0.09	0.114	1.06
3	15	TUBO 41	0.213	0.678	0.596	1.42	0.07	0.05	2.07	0.77	0.04	0.102	1.00
3	16	TUBO 42	0.266	0.794	0.664	1.58	0.08	0.06	2.06	0.90	0.03	0.123	1.10
3	17	TUBO 43	0.229	0.715	0.616	1.45	0.07	0.05	2.04	0.81	0.04	0.106	1.02
3	18	TUBO 44	0.197	0.637	0.575	1.37	0.06	0.04	2.06	0.72	0.05	0.096	0.97
3	19	TUBO 45	0.450	1.067	0.860	1.99	0.13	0.10	1.99	1.21	0.08	0.182	1.33
3	20	TUBO 46	0.348	0.939	0.763	1.79	0.10	0.08	2.03	1.07	0.07	0.152	1.22
4	1	TUBO 47	0.116	0.415	0.426	1.05	0.04	0.03	2.06	0.47	0.09	0.061	0.77
4	2	TUBO 48	0.348	0.939	0.763	1.79	0.10	0.08	2.03	1.07	0.09	0.152	1.22
4	3	TUBO 49	0.116	0.415	0.426	1.02	0.03	0.03	2.00	0.47	0.07	0.058	0.76
4	4	TUBO 50	0.273	0.809	0.673	1.59	0.08	0.06	2.04	0.92	0.04	0.124	1.10
4	5	TUBO 51	0.128	0.452	0.450	1.11	0.04	0.03	2.08	0.51	0.04	0.067	0.81
4	6	TUBO 52	0.161	0.542	0.515	1.23	0.05	0.04	2.06	0.62	0.04	0.081	0.89
4	7	TUBO 53	0.151	0.515	0.495	1.16	0.04	0.03	2.00	0.58	0.05	0.073	0.85
4	8	TUBO 54	0.221	0.697	0.606	1.44	0.07	0.05	2.05	0.79	0.10	0.104	1.01
4	9	TUBO 55	0.244	0.748	0.636	1.50	0.07	0.06	2.04	0.85	0.04	0.113	1.05
4	10	TUBO 56	0.244	0.748	0.636	1.50	0.07	0.06	2.03	0.85	0.09	0.112	1.05
4	11	TUBO 57	0.266	0.794	0.664	1.58	0.08	0.06	2.06	0.90	0.09	0.123	1.10
4	12	TUBO 58	0.266	0.794	0.664	1.58	0.08	0.06	2.05	0.90	0.06	0.122	1.09
4	13	TUBO 59	0.236	0.732	0.626	1.49	0.07	0.05	2.05	0.83	0.08	0.110	1.04
4	14	TUBO 60	0.502	1.112	0.891	2.07	0.14	0.11	1.95	1.26	0.07	0.193	1.38
4	15	TUBO 61	0.374	0.978	0.792	1.84	0.11	0.08	2.02	1.11	0.08	0.159	1.25
4	16	TUBO 62	0.221	0.697	0.606	1.44	0.07	0.05	2.05	0.79	0.24	0.104	1.01
4	17	TUBO 63	0.244	0.748	0.636	1.50	0.07	0.06	2.04	0.85	0.27	0.112	1.05

ID TRAMO	ID	ID	ENERGIA		0.319Qd / f2.5	ENERGIA	CHEQUEO	ANÁLISIS POR CAPACIDAD	ANÁLISIS DE VELOCIDAD	ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE ARRASTRE	ANÁLISIS DE FLUJO
			Hc	He		y+ v2/2g					
		-	m	m							
1	1	TUBO 1	0.10	0.00	0.09	0.11	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
1	2	TUBO 2	0.11	0.00	0.10	0.11	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
1	3	TUBO 3	0.26	0.03	0.58	0.32	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
1	4	TUBO 4	0.22	0.01	0.41	0.26	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
1	5	TUBO 5	0.09	0.00	0.06	0.09	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
1	6	TUBO 6	0.20	0.01	0.31	0.22	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
1	7	TUBO 7	0.16	0.00	0.20	0.17	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	1	TUBO 8	0.21	0.01	0.36	0.24	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	2	TUBO 9	0.22	0.01	0.40	0.26	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	3	TUBO 10	0.24	0.02	0.48	0.29	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	4	TUBO 11	0.09	0.00	0.06	0.09	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	5	TUBO 12	0.17	0.00	0.24	0.19	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	6	TUBO 13	0.09	0.00	0.07	0.09	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	7	TUBO 14	0.17	0.00	0.24	0.19	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	8	TUBO 15	0.09	0.00	0.07	0.09	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	9	TUBO 16	0.10	0.00	0.09	0.11	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	10	TUBO 17	0.15	0.00	0.18	0.16	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	15	TUBO 18	0.24	0.02	0.48	0.29	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	16	TUBO 19	0.23	0.02	0.44	0.28	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	17	TUBO 20	0.15	0.00	0.19	0.16	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	18	TUBO 21	0.13	0.00	0.15	0.14	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	19	TUBO 22	0.21	0.01	0.36	0.24	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	20	TUBO 23	0.10	0.00	0.08	0.10	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	21	TUBO 24	0.11	0.00	0.10	0.11	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	22	TUBO 25	0.16	0.00	0.21	0.18	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
2	23	TUBO 26	0.14	0.00	0.16	0.15	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	1	TUBO 27	0.17	0.00	0.23	0.19	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	2	TUBO 28	0.26	0.03	0.57	0.32	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	3	TUBO 29	0.18	0.00	0.28	0.21	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	4	TUBO 30	0.07	0.00	0.04	0.06	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	5	TUBO 31	0.09	0.00	0.07	0.10	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	6	TUBO 32	0.08	0.00	0.06	0.08	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	7	TUBO 33	0.16	0.00	0.20	0.17	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	8	TUBO 34	0.12	0.00	0.11	0.12	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	9	TUBO 35	0.16	0.00	0.20	0.17	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	10	TUBO 36	0.14	0.00	0.16	0.15	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	11	TUBO 37	0.15	0.00	0.18	0.16	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	12	TUBO 38	0.18	0.00	0.27	0.20	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	13	TUBO 39	0.26	0.03	0.55	0.31	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	14	TUBO 40	0.17	0.00	0.24	0.19	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	15	TUBO 41	0.15	0.00	0.19	0.17	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	16	TUBO 42	0.18	0.00	0.28	0.21	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	17	TUBO 43	0.16	0.00	0.21	0.18	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	18	TUBO 44	0.14	0.00	0.17	0.16	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	19	TUBO 45	0.27	0.04	0.61	0.33	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
3	20	TUBO 46	0.23	0.01	0.42	0.27	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	1	TUBO 47	0.09	0.00	0.07	0.09	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	2	TUBO 48	0.23	0.01	0.42	0.27	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	3	TUBO 49	0.09	0.00	0.06	0.09	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	4	TUBO 50	0.19	0.00	0.29	0.21	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	5	TUBO 51	0.10	0.00	0.08	0.10	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	6	TUBO 52	0.12	0.00	0.12	0.13	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	7	TUBO 53	0.11	0.00	0.10	0.11	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	8	TUBO 54	0.16	0.00	0.20	0.17	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	9	TUBO 55	0.17	0.00	0.23	0.19	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	10	TUBO 56	0.17	0.00	0.23	0.19	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	11	TUBO 57	0.18	0.00	0.28	0.21	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	12	TUBO 58	0.18	0.00	0.27	0.21	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	13	TUBO 59	0.17	0.00	0.23	0.18	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	14	TUBO 60	0.29	0.05	0.69	0.36	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	15	TUBO 61	0.24	0.02	0.47	0.28	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	16	TUBO 62	0.16	0.00	0.20	0.17	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico
4	17	TUBO 63	0.17	0.00	0.23	0.19	OK	Cumple	Cumple	Cumple	Supercrítico

Tal y como se indica en las tablas anteriores, cada sumidero propuesto cumple con la capacidad hidráulica para el periodo de retorno correspondiente al mismo, así como la tubería de conexión interna a los pozos.

6.5. CAPACIDAD DE INUNDACIÓN PERMISIBLE DE LA VÍA

El tamaño de la cuneta altura de bordillo que se requiere para el drenaje se determina con la fórmula de Manning para flujo uniforme y las relaciones hidráulicas teniendo en cuenta la geometría de la obra hidráulica.

Formula de Manning.

$$Q = \frac{ARH^{2/3}S^{0.5}}{n}$$

Q: Caudal transportado por la cuneta, m3/s.
n: Coeficiente de rugosidad de Manning, valor adimensional. Se ha supuesto igual a 0.014 para concreto bien terminado
A: Área hidráulica, m2.
RH: Radio hidráulico, m. Es igual al área hidráulica, A, sobre el perímetro mojado, P.
S: Pendiente del fondo, m/m.

Para el caso del mejoramiento de las vías urbanas de estudio se consideró el ancho de la vía y la altura del bordillo como ancho de inundación permisible. Las dimensiones por tramos se observan la siguiente tabla:

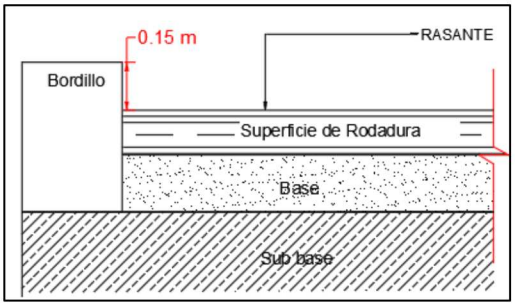
Tabla 22 Cunetas provista por tramos viales

ID	ANCHO DE INUNDACIÓN (M)	ALTO BORDILLO (M)	BOMBEO (%)
Tramo vial	1.0	0.15	2.0

Fuente: Consultoría

En la siguiente figura, se ilustra el perfil vial del tramo de estudio, que será para el eje izquierdo y derecho de esta la altura de bordillo propuesta.

Figura 34 Perfil vial



Fuente: Consultoría

En el caso de estudio, al ser una vía urbana, el diseño geométrico proyectó bordillo los cuales cumplían con el ancho permisible vial como corredor urbano, es por ello que para este caso, el ancho de cuneta más el ancho vial hace las veces de cuneta, tomando así un ancho máximo de inundación de 1 metros a ambos lados, estipulado así en la resolución 0330 de 2017 teniendo en cuenta que la vía es de un ancho promedio de 6.0 metros interno a la cuneta en cada una de las secciones típicas y presenta un bombeo a ambos lados de esta.

En la siguiente tabla se muestra los anchos de inundación admisibles, se observa que el tramo vial cumple con la capacidad hidráulica.

Tabla 23 Ancho de inundación admisible según clasificación de la vía.

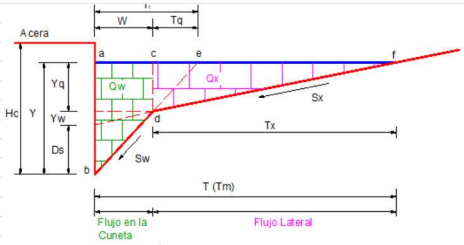
Ancho de la vía (m)	Ancho de inundación admisible (m)
< 6	2,00
≥ 6 y < 7	3,00
≥ 7 y < 9	3,50
≥ 9	4,00
** **Nota:** Si el bombeo es a los dos costados de la vía el ancho de inundación admisible deberá dividirse en dos (2).	

Fuente: Resolución 0330 de 2017

En la siguiente tabla se muestra el análisis hidráulico de las cunetas de la vía de estudio, analizado a partir del área aferentes promedio más crítica, correspondiente a los tramos de estudio.

Tabla 24 Capacidad hidráulica de cunetas – capacidad máxima de inundación

1. Geometría			
1.1 Calle			
Pendiente Longitudinal de la Vía	S_0[	=	4.00
Bombeo o Pendiente Transversal	S_x[%	=	2.00
Máximo esparcimiento en la calle	Tm[m	=	1.700
1.2 Cuneta			
Depresión en la Cuneta	D_S[	=	0.0600
Ancho de la cuneta	W	=	1.0000
Altura del andén	H_C	=	0.1500
2. Constantes			
Coef. Rugosidad de Manning		=	0.016
Factor de reducción capacidad de la vía		=	0.2



1. Capacidad Máxima de la calle.			
Geometría:			
Pendiente Transversal en la Cuneta	S_W['	=	8.0000
Esparcimiento total		=	4.5000
Esparcimiento	T	=	3.5000
Esparcimiento	T	=	0.8750
Profundidad de Flujo	Y	=	0.1500
Area de la sección	A_S [	=	0.2325
Flujo uniforme			
Propiedades del Flujo:			
Flujo Frontal transportado por ancho cuneta W	Q_W [m^3/	=	0.3234
Flujo lateral transportado por ancho via	Q_X [m^3/	=	0.1951
Flujo transportado por la calle	Qs_{mc} [m	=	0.5185
Velocidad máxima de la cuneta	Vs_{mc} [n	=	2.2300
		NF	3.13236496

2. Capacidad para el esparcimiento máximo.			
Geometría:			
Pendiente Transversal en la Cuneta	S_W[%]	=	8.0000
Esparcimiento total	T [m]	=	1.7000
Esparcimiento	T_X[m]	=	0.7000
Esparcimiento	T_q [m]	=	0.1750
Profundidad de Flujo	Y [m]	=	0.0940
Area de la sección	A_S [m^2]	=	0.0589
Flujo uniforme			
Propiedades del Flujo:			
Flujo Frontal transportado por ancho cuneta W	Q_W [m^3/s	=	0.1064
Flujo lateral transportado por ancho via	Q_X [m^3/s	=	0.0027
Flujo transportado por la calle	Qs_{mc} [m^3	=	0.1090
Velocidad máxima al esparcimiento	Vs_{me} [m	=	1.8512
		NF	3.17532304

Flujo critico			
Propiedades del Flujo:			
Flujo Frontal transportado por ancho cuneta W	Q_W [m³/	=	0.1162
Flujo lateral transportado por ancho via	Q_X [m³/	=	0.0812
Flujo transportado por la calle	Qs_{mc} [m	=	0.1973
Velocidad máxima de la cuneta	Vs_{mc} [n	=	0.8488

Flujo critico			
Propiedades del Flujo:			
Flujo Frontal transportado por ancho cuneta W	Q_W [m³/s	=	0.0421
Flujo lateral transportado por ancho via	Q_X [m³/s	=	0.0015
Flujo transportado por la calle	Qs_{mc} [m³	=	0.0435
Velocidad máxima de la cuneta	Vs_{mc} [m/	=	0.7388

3. Capacidad Permitida Sobre la Calle

Flujo máximo transportado por la calle	Qs_{mc} [m³	=	0.5185
Capacidad de esparcimiento máximo	Qs_{me} [m³/	=	0.1090
Flujo máximo transportado por la calle X F	xQs_{mc} [m³/s	=	0.1037
Capacidad Permitida sobre la Calle	**Q_{pc}[m³/s]**	=	**0.1037**

4. Verificación de la lamina de agua aguas arriba

Si la capacidad permitida sobre la calle, es la capacidad de esparcimiento maximo, debe verificarse que la altura aguas arriba de la cuneta para este caudal no sea superior a la altura del sardinel "Hc"

Geometria:				
Pendiente Transversal en la Cuneta	S_W[%	=	8.0000	
Esparcimiento total	T	=	1.2055	
Esparcimiento	T_2	=	0.2055	
Esparcimiento	T_1	=	0.0514	
Profundidad de Flujo	**Yc ó Yn según el caso [m]**	=	**0.0841**	ok
Area de la sección	A_S [	=	0.0445	

Finalmente:	**Q= m3/s**	**Cumple**
Capacidad Permitida sobre la Calle Qpc[m3/s] - Capacidad de la cuneta cuneta:	0.1037	
Tramo de cuneta de máximo de las áreas aferentes	0.043	SI
Altura de bordillo interno		
Ancho de cuneta interna		

El análisis detallado para el ancho de inundación de cada tramo vial se observa en la siguiente tabla:

Tabla 25 Verificación de ancho de inundación permisible o cuneta vial

APORTE DE CAUDAL AREA AFERENTE							
TRAMO	CUNETA DEL SUMIDERO	TR	K	C	I (mm/Hora)	A aferente Mayor (Km2)	Caudal (m3/s)
4	del 3-1	5	0.278	0.8	96.890	0.00151503	0.0326
4	del 5-3	5	0.278	0.8	96.890	0.00102001	0.0220
4	del 7-5	5	0.278	0.8	96.890	0.00042946	0.0093
4	del 9-7	5	0.278	0.8	96.890	0.00083944	0.0181
4	del9 -11	5	0.278	0.8	96.890	0.00099424	0.0214
4	del 11-13	5	0.278	0.8	96.890	0.00098233	0.0212
4	del 13-15	5	0.278	0.8	96.890	0.00245666	0.0529
4	17	5	0.278	0.8	96.890	0.0008316	0.0179
3	1	5	0.278	0.8	96.890	0.00205489	0.0443
3	del 4-3	5	0.278	0.8	96.890	0.00026265	0.0057
3	del 1-6	5	0.278	0.8	96.890	0.00026265	0.0057
3	del 6-8	5	0.278	0.8	96.890	0.00072249	0.0156
3	del 8-10	5	0.278	0.8	96.890	0.00072204	0.0156
3	del 10-12	5	0.278	0.8	96.890	0.00096073	0.0207
3	del 12-15	5	0.278	0.8	96.890	0.00198363	0.0427
3	del 15-18	5	0.278	0.8	96.890	0.00099326	0.0214
3	del18-20	5	0.278	0.8	96.890	0.00217286	0.0468
2	del 1	5	0.278	0.8	96.890	0.00127703	0.0275
2	del 1-3	5	0.278	0.8	96.890	0.00171845	0.0370
2	del 3-5	5	0.278	0.8	96.890	0.00086052	0.0185
2	del 5-6	5	0.278	0.8	96.890	0.00025473	0.0055
2	del 6-8	5	0.278	0.8	96.890	0.00086052	0.0185
2	del 8-10	5	0.278	0.8	96.890	0.00063238	0.0136
2	del 10-12	5	0.278	0.8	96.890	0.00032657	0.0070
2	del 12-14	5	0.278	0.8	96.890	0.00118039	0.0254
2	del14-16	5	0.278	0.8	96.890	0.00171112	0.0369
2	del16-18	5	0.278	0.8	96.890	0.00066162	0.0143
2	del18-21	5	0.278	0.8	96.890	0.00129285	0.0279
1	del 1	5	0.278	0.8	96.890	0.00030914	0.0067
1	del 2-4	5	0.278	0.8	96.890	0.00148018	0.0319
1	del4-6	5	0.278	0.8	96.890	0.00112331	0.0242

		CAPACIDAD HIDRÁULICA										
TRAMO	CUNETA DEL SUMIDERO	Profundidad (m)	Ancho (m)	Z1 (m/m)	Radio hidráulico (m)	A (m2)	P (m)	n	S (m/m)	Q que puede transportar la cuneta m3/s	Qc_llena>Qt	CUMPLE
4	del 3-1	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.04	0.187	17.5%	SI
4	del 5-3	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.09	0.267	8.2%	SI
4	del 7-5	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.09	0.275	3.4%	SI
4	del 9-7	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.03	0.161	11.2%	SI
4	del9 -11	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.05	0.190	11.3%	SI
4	del 11-13	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.04	0.177	11.9%	SI
4	del 13-15	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.04	0.178	29.8%	SI
4	17	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.01	0.090	20.0%	SI
3	1	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.01035	0.091	48.5%	SI
3	del 4-3	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.01958	0.125	4.5%	SI
3	del 1-6	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.14591	0.342	1.7%	SI
3	del 6-8	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.15928	0.358	4.4%	SI
3	del 8-10	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.23305	0.433	3.6%	SI
3	del 10-12	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.13664	0.331	6.2%	SI
3	del 12-15	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.15156	0.349	12.2%	SI
3	del 15-18	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.22461	0.425	5.0%	SI
3	del18-20	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.08682	0.264	17.7%	SI
2	del 1	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.01752	0.119	23.2%	SI
2	del 1-3	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.04571	0.192	19.3%	SI
2	del 3-5	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.00719	0.076	24.4%	SI
2	del 5-6	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.01291	0.102	5.4%	SI
2	del 6-8	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.03039	0.156	11.9%	SI
2	del 8-10	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.02687	0.147	9.3%	SI
2	del 10-12	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.00978	0.089	7.9%	SI
2	del 12-14	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.00222	0.042	60.2%	SI
2	del14-16	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.02211	0.133	27.7%	SI
2	del16-18	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.05793	0.216	6.6%	SI
2	del18-21	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.08101	0.255	10.9%	SI
1	del 1	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.05564	0.211	3.1%	SI
1	del 2-4	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.0568	0.214	14.9%	SI
1	del4-6	0.15	1.00	6.667	0.068	0.075	1.095	0.014	0.06261	0.224	10.8%	SI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La base de datos implementada en el proyecto para el estudio del tramo vial dispuso de una base de datos hidrológicos conformada por 14 estaciones de precipitación en un radio de 26 km. La estación LA FLORIDA [21205670], con aproximadamente 54 años de registro y ubicada a 3.28 km de los tramos viales de estudio en el área urbana del municipio de Anolaima, es la más cercana y presenta un porcentaje inicial de datos faltantes relativamente bajo (7.25%).

La calidad de los datos brutos requirió un procesamiento exhaustivo. Se identificaron y trataron datos faltantes (oscilando entre 1.56 % y 19.12% en las distintas estaciones) y se implementó un robusto proceso de detección de anomalías multicriterio (inconsistencia vecinal, percentiles extremos, influencia ENSO, repetición de picos), resultando en la justificada eliminación de una cantidad limitada de registros erróneos.

El completamiento de datos faltantes se realizó satisfactoriamente utilizando principalmente la Ponderación Inversa de la Distancia (IDW), complementada con técnicas de Machine Learning (Random Forest) en casos específicos. Sin embargo, se constató que las estimaciones de Random Forest subestimaban los eventos pico, por lo que los datos finales utilizados para análisis posteriores se basan predominantemente en los registros originales y los completados mediante IDW.

El análisis de homogeneidad y consistencia mediante Curvas de Doble Masa mostro que la mayoría de las estaciones, y en particular LA FLORIDA [21205670], presentan registros consistentes a lo largo del tiempo en relación con el patrón regional, validando su uso para análisis de largo plazo. La estación LA FLORIDA [21205670], muestra una tendencia de precipitación acumulada superior al promedio regional, indicando que es representativa de una zona con lluvias relativamente más intensas dentro del área de estudio.

La distribución espacial de la precipitación media multianual no es homogénea en la región La zona más lluviosa se encuentra en la Estación HIDROPARAISO [21202160], reduciéndose en sentido Noroeste en donde ese encuentra el área de Estudio, En cada una de las estaciones se presentan focos de precipitación lo que muestra una importante variabilidad espacial de la precipitación a escala anual. La estación LA FLORIDA [21205670] se presenta un foco de aumento de precipitación menor que en HIDROPARAISO [21202160], el cual influye en la precipitación del área de Estudio.

El régimen de precipitación en la estación representativa LA FLORIDA [21205670] es claramente bimodal, con los periodos más lluviosos concentrados en Mayo y Octubre-Noviembre, y los periodos más secos en Diciembre - Enero y Junio - Julio. El análisis diario revela que los eventos de máxima precipitación en 24 horas históricamente se han registrado principalmente en Octubre (hasta 96.5 mm/día) y Noviembre (hasta 92.5 mm/día), indicando una alta variabilidad y potencial de eventos extremos durante los meses lluviosos.

En base a los criterios de proximidad, longitud y calidad del registro (datos faltantes y homogeneidad), correlación con estaciones vecinas y representatividad del régimen pluviométrico, la Estación LA FLORIDA [21205670]se confirma como la fuente de datos de precipitación más adecuada y confiable para ser utilizada en los análisis hidrológicos detallados y el diseño hidráulico asociado a los tramos viales urbanos de estudio . Se dispone de su registro histórico de máximas diarias (PMAX24h)

actualizado hasta finales de 2024 y principios de 2025.

Se recomienda, tener bajo consideración los periodos secos identificados (Diciembre -Enero y Junio-Julio) para la planificación de actividades constructivas y de mantenimiento de las obras de drenaje, aprovechando las ventanas de menor probabilidad de lluvia.

Para la estimación de los valores de precipitación esperada en relación con varios periodos de retorno, se llevó a cabo un ajuste de los datos provenientes de la serie de precipitaciones máximas mediante la aplicación de una distribución de probabilidad bien fundamentada. Este proceso se realizó utilizando el método de Kolmogórov-Smirnov, implementado en el software especializado Hydrognomon 4.0. Los resultados obtenidos del análisis indicaron que la función que presenta el mejor ajuste a los datos registrados de precipitaciones máximas anuales es la distribución GEV MAX.

Las curvas IDF de la estación LA FLORIDA ha permitido cuantificar revelan un régimen de precipitaciones extremas de alta intensidad. Los resultados obtenidos indican que las tormentas de corta duración representan el escenario de diseño de obras de drenaje vial, con una intensidad máxima calculada de 96.89 mm/h para un evento de 15 minutos con un periodo de retorno de 5 años.

Se usó el método racional para hallar caudales de diseño ya que, tiene aplicación en el diseño de drenaje superficial, especialmente en carreteras en superficies pequeñas, en este estudio se aplicó a cuencas con áreas menores a 2.5 km2, además este método es usado en el diseño de obras. Para cada una de las estructuras, tanto las cunetas propuestas, y alcantarillas actuales, cumplen con la capacidad hidráulica. La alcantarilla y el boxculvert proyectado, cumplen con la capacidad hidráulica en relación con la demanda de caudal del área de drenaje de esta.

Para el análisis hidráulico se trazaron áreas aferentes en tramos identificados en el documento y los planos hidráulicos, esto con el fin de realizar un análisis riguroso y detallado para cada una de las estructuras de drenaje propuestas, siendo así, la localización y diseño el más adecuado cumpliendo con la demanda de caudal, condiciones topográficas y diseños geométricos que dieron lugar en cada tramo en particular.

En el tramo vial 1 se identificó una alcantarilla existente en mal estado y de igual manera en el tramo 4, por lo que se propone su demolición y reemplazo en tuberia de 36” para el tramo 1 y un box culvert de 2.5m X 2.5m. Esta revisión es crucial para garantizar que las infraestructuras no solo cumplan con los requerimientos actuales, sino que también sean resilientes ante eventos de precipitación extrema, alineándose con las mejores prácticas de ingeniería civil y la normativa vigente.

Se recomienda que la alcantarilla y el box culvert propuesto sean verificados en campo, previamente a la construcción con el fin de corroborar que las dimensiones propuestas corresponden de la cota terreno y la cota batea. Para la etapa de construcción, se recomienda que los diseños de obras de drenaje, expuestas en el presente estudio, se ubiquen en las abscisas recomendadas, con el fin de cumplir con la demanda de caudal de cada sumidero y la alcantarilla propuesta y así contar con un buen sistema de drenaje vial.

Para el tramo vial del presente estudio, se recomienda limpieza periódica para cada estructura propuesta, ya que esto permitirá un mejor y adecuado funcionamiento.

El resumen de obras propuestas es:

ESTRUCTURAS	TOTAL	UNIDAD
Alcantarillas Proyectadas tuberia 36”	1	UN
Box Culvert 2.5m x 2.5m	1	UN
Sumideros SL200 proyectados Tramo 1	7	UN
Sumideros SL200 proyectados Tramo 2	23	UN
Sumideros SL200 proyectados Tramo 3	20	UN
Sumideros SL200 proyectados Tramo 4	17	UN
Sumidero transversal rejilla Tramo 2	1	UN
Tuberia sumideros 10” Tramo 1	34.96	metros
Tuberia sumideros 10” Tramo 2	125.16	metros
Tuberia sumideros 10” Tramo 3	58.17	metros
Tuberia sumideros 10” Tramo 4	76.95	metros

BIBLIOGRAFÍA

CHOW VEN TE., MAIDMENT D.R., MAYS L.W., "Applied Hydrology", McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, New York, U.S.A., 1988.

Colombia Rural. Obras menores de drenajes y estructuras viales. Programa Colombia Rural. Universidad de Medellín, Ministerio de transporte e INVIAS.

G, R. S. (1998). *Hidrologia, Primera parte.* Mexico: UNAM.

Junco, J. A. (2004). *Analisis Morfometrico de cuencas.* Mexico: Instituto nacional de ecologia.

Ministerio De Transporte, Instituto Nacional De Vías. Manual de Drenaje para Carreteras, Bogotá D.C., 2009.

Mijares, F. J. (1989). *Fundamentos de la hidrologia de superficie.* Mexico: Grupo Noriega.

MONSALVE S. GERMÁN, "Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C., Colombia, Segunda Edición, 1999.

PONCE VICTOR M. "Engineering Hydrology, Principles and Practices", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1989.

VARGAS M.R., DÍAZ-GRANADOS O.M., Universidad de los Andes, "Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia", Santafé de Bogotá, 1998.

VILLELA M. S., MATTOS A., "Hidrología Aplicada", Editora McGraw-Hill Do Brasil, Ltda., 1975.

U.S ARMY CORPS OF ENGINEETS, HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, GENERALIZED COMPUTER PROGRAM, "HEC-HMS, Hydrologic

GLOSARIO

Referencia: Manual de drenaje de INVIAS

− Berma. Franja longitudinal contigua a la calzada que no está destinada al uso de vehículos más que en circunstancias excepcionales.

− Bombeo. Pendiente transversal en los tramos rectos de la carretera, que tiene por objeto facilitar el escurrimiento superficial del agua.

− Calzada. Zona de la carretera destinada a la circulación de vehículos.

− Caudal. Relación entre el volumen de agua y el tiempo producido por una corriente de agua.

− Curvas intensidad – duración - frecuencia. Curvas que relacionan la intensidad de precipitación contra la frecuencia (periodo de retorno) y el tiempo de duración de la lluvia.

− Drenaje. Remoción natural o artificial del agua superficial y subsuperficial de un área determinada.

− Escorrentía superficial. Agua que escurre laminarmente sobre el suelo o sobre depresiones (canales o corrientes de agua).

− Registro pluviográfico. Registro de precipitación obtenido por medio de un pluviógrafo (aparato que registra medidas continuas en el tiempo de precipitación).

− Registro pluviométrico. Registro de precipitación obtenido por medio de un pluviómetro (aparato que registra medidas discontinuas en el tiempo de precipitación).