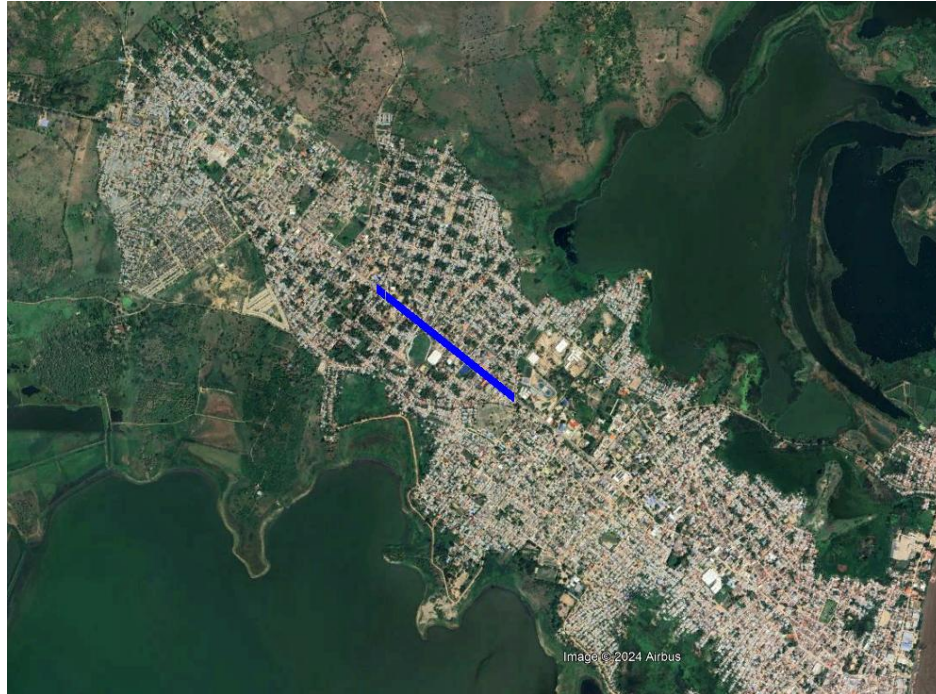


MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL CORREDOR PRINCIPAL DEL MUNICIPIO DE MAGANGUE, PERMITIENDO LA INTERCONEXIÓN VIAL CON LA DEPRESIÓN MOMPOSINA EN EL DEPARTAMENTO DE BOLIVAR



Fuente: Google Earth, 2025

**DISEÑADOR
HYDRAULIKOS SAS**


INGENIERO: HERNAN MEZA PERNETT

LOCALIZACIÓN

CARTAGENA, BOLIVAR

**CARTAGENA DE INDIAS
DICIEMBRE DE 2025**

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO	7
2.1. UBICACIÓN ZONA DE ESTUDIO	7
3. CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS Y CONDICIONES ACTUALES	7
3.1. TOPOGRAFÍA	7
3.2. CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES	9
3.3. ESTACIONES METEOROLÓGICAS	22
4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	24
4.1. ALTERNATIVA 1	24
4.2. ALTERNATIVA 2	24
4.3. ALTERNATIVA 3	25
5. DELIMITACIÓN DE ÁREAS DE APOORTE	28
5.1. DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS DE APOORTE Y CARACTERÍSTICAS	28
5.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS ÁREAS DE APOORTE	29
6. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	32
6.1. PERIODO DE RETORNO	32

6.2. CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF)	33
6.2.1. AJUSTE DE VALORES EXTREMOS GUMBEL (GVE) PARA LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24H (PM24H).....	34
6.2.2. CONSTRUCCIÓN DE CURVAS IDF SINTÉTICAS	37
<u>7. ESTIMACIÓN DE CAUDALES POR MÉTODO RACIONAL</u>	<u>39</u>
7.1. DATOS DE ENTRADA	39
7.1.1. ÁREA DE DRENAJE	39
7.1.2. ESTIMACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA	39
7.1.3. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	58
7.1.4. ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD DE DISEÑO	62
7.2. CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS – MÉTODO RACIONAL	63
<u>8. DISEÑO DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA VÍA.....</u>	<u>66</u>
8.1. GENERALIDADES DEL DISEÑO.....	66
8.2. TOPOLOGÍA Y NOMENCLATURA PARA EL CÁLCULO	67
8.2.1. CÁLCULO HIDRÁULICO DE ANCHOS DE INUNDACIÓN.....	67
<u>9. BIBLIOGRAFÍA.....</u>	<u>81</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización general zona de estudio.	7
Figura 2. Topografía general de la zona del Proyecto.....	8
Figura 3. Levantamiento topográfico y diseño de la Vía.....	8
Figura 4. Cuneta K0+120-K0+145.....	9
Figura 5. Cuneta K0+120-K0+145.....	9
Figura 6. Box culvert K0+145	10
Figura 7. Box Culvert K0+145	10
Figura 8. Canal K0+120-K0+145 zona sur	12
Figura 9. Canal K0+120-K0+145 zona sur	12
Figura 10. Canal K0+340-K0+900.....	13
Figura 11. Canal K0+340-K0+900 zona sur	14
Figura 12. Cuneta abscisa K0+020 – K0+140 zona norte	15
Figura 13. Cuneta abscisa K0+020 – K0+140 zona norte – levantamiento topografico.....	16
Figura 14. Cruce vial K1+090 zona norte	16
Figura 15. Cruce vial K1+090 zona norte – levantamiento topografico	18
Figura 16. Análisis hidráulico.....	18
Figura 17. Canal abscisa K1+080-0+970	19
Figura 18. Canal abscisa K1+080-K0+970levantamiento topográfico.....	19
Figura 19. Canal abscisa K1+080-K0+970 Análisis hidráulico	21
Figura 20. Canal abscisa K1+080-K0+970.....	21
Figura 21. Canal abscisa K1+080-K0+970 Levantamiento topográfico.....	22
Figura 22. Localización Estaciones Meteorológicas IDEAM	23
Figura 23. Delimitación de las área de aporte (Ver Planos Anexos)	28
Figura 24. Ajuste de la PM24H con GVE – Estación AEROPUERTO BARACOA [25025100]	36
Figura 25. Curvas IDF Sintéticas –.....	37

Figura 26. Imagen RGB para clasificación de coberturas.	39
Figura 27. Clasificación de coberturas para las subcuencas.	40
Figura 28. Cuneta K0+120-K0+145.....	69
Figura 29. Cuneta K0+120-K0+145.....	70
Figura 30. Box culvert K0+145	70
Figura 31. Box Culvert K0+145	71
Figura 32. Canal K0+120-K0+145 zona sur	71
Figura 33. Canal K0+120-K0+145 zona sur	72
Figura 34. Canal K0+340-K0+900.....	72
Figura 35. Canal K0+340-K0+900 zona sur	73
Figura 36. Cuneta abscisa K0+020 – K0+140 zona norte	74
Figura 37. Cuneta abscisa K0+020 – K0+140 zona norte – levantamiento topografico.....	75
Figura 38. Cruce vial K1+090 zona norte	76
Figura 39. Cruce vial K1+090 zona norte – levantamiento topografico	76
Figura 40. Análisis hidráulico.....	77
Figura 41. Canal abscisa K1+080-0+970	77
Figura 42. Canal abscisa K1+080-K0+970levantamiento topográfico.....	78
Figura 43. Canal abscisa K1+080-K0+970 Análisis hidráulico	79
Figura 44. Canal abscisa K1+080-K0+970.....	79
Figura 45. Canal abscisa K1+080-K0+970 Levantamiento topográfico.....	79

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características fisiográficas de las subcuencas	29
Cuadro 2. Períodos de Retorno de diseño (RAS 2017)	32
Cuadro 3. Precipitación Máxima Anual en 24h – Estación AEROPUERTO BARACOA [25025100].	35
Cuadro 4. Resumen Ajuste de distribución de Gumbel – Estación AEROPUERTO BARACOA [25025100].	35
Cuadro 5. Coberturas actuales para cada subcuenca.	40
Cuadro 6. Porcentaje de cobertura y Ce futuros para cada cuenca.	48
Cuadro 7. Morfometría general de las cuencas de aporte.	56
Cuadro 8. Ecuaciones empleadas para estimar el tiempo de concentración	58
Cuadro 9. Cálculo tiempos de Concentración	59
Cuadro 10. Cálculo de las intensidades de diseño para los diferentes periodos de retorno.	62
Cuadro 11. Caudales Máximos Instantáneos – Método Racional.	63
Cuadro 12. Ancho Max Inundación – Resolución 0330 de 2017.	66
Cuadro 13. Cálculos anchos de inundación	67

1. INTRODUCCIÓN

Para la proyección de la esorrentía superficial, se demanda de un análisis hidrológico y diseño hidráulico de las estructuras de drenaje que se requieran. Muchas veces sólo es necesario la proyección de canales principales, pero en otros casos, dependiendo de las condiciones de drenaje del sitio, es necesario proyectar rejillas de piso, sumideros, canales, box-culverts y demás estructuras que, desde el punto de vista hidráulico, necesitan una apropiada definición y dimensionamiento. En este sentido, para el proyecto de expansión de la vía Juan Arias en Magangué Bolívar, requiere de un análisis hidrológico e hidráulico que permita estimar el volumen y caudal de aguas lluvias que cae y drena a través de la vía y así definir la configuración geométrica e hidráulica para los canales y estructuras que permitan drenar en condiciones óptimas la esorrentía superficial.

Es por lo anterior que el presente estudio tiene como objetivo diseñar y evaluar el apartado hidráulico de los canales y las estructuras de cruce proyectadas. Para lo cual es necesario realizar una evaluación hidrológica, que permita cuantificar la esorrentía en la zona de acuerdo con eventos de precipitación para el periodo de retorno del diseño de acuerdo con la Resolución 0330 de 2017.

2. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1. UBICACIÓN ZONA DE ESTUDIO

El proyecto se encuentra ubicado en Magangué, Bolívar (ver Figura 1).

Figura 1. Localización general zona de estudio.



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth, 2025

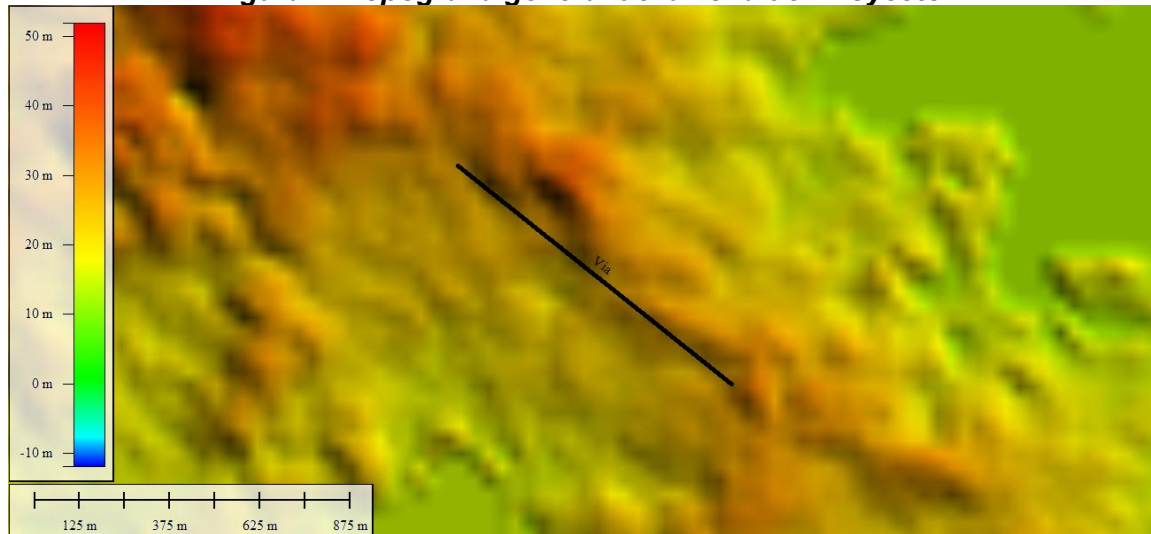
3. CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS Y CONDICIONES ACTUALES

3.1. TOPOGRAFÍA

Para el desarrollo de este estudio se utilizaron fuentes de información primaria y secundaria para las elevaciones del terreno, el Modelo digital Terrestre obtenido de Google Earth Pro, además de la herramienta “Street view” y la información topográfica levantada directamente en el área de estudio, suministrada por el contratante. La zona en la que se encuentra localizado el proyecto, es una zona alta y no cuenta con áreas de aporte externo muy significativas, dado que se encuentra

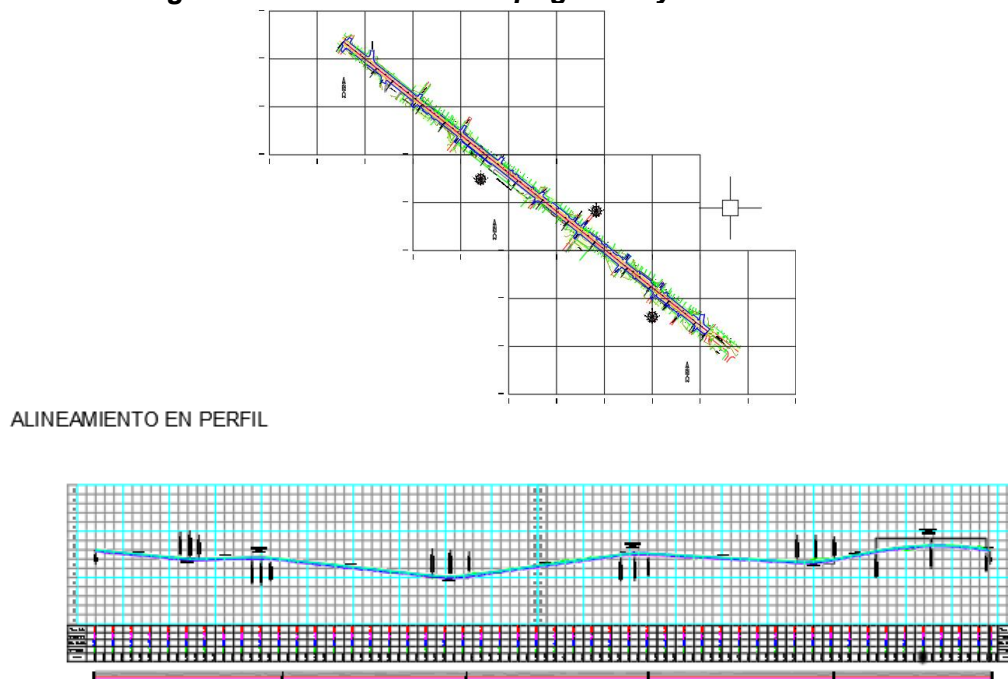
sobre una divisoria de subcuencas de la zona (ver Figura 2).

Figura 2. Topografía general de la zona del Proyecto.



Fuente: Autores, 2025. Datos: SRTM.¹

Figura 3. Levantamiento topográfico y diseño de la Vía.



¹ SRTM Worldwide Elevation Data (1-arc-second Resolution, SRTM Plus V3)

Fuente: Suministrado por contratante, 2025.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

- Cuneta K0+120-K0+145

Se evidencia una estructura existente la cual pasa por la sobre el cruce con la carrera 22 debe ser modificada debido a la ampliación de la vía.

Figura 4. Cuneta K0+120-K0+145



Fuente: Google Earth, 2025.

Se presenta la imagen de la estructura en color naranja con la ampliación de la via en color azul donde se evidencia la superposición de esta respecto al nuevo diseño.

Figura 5. Cuneta K0+120-K0+145



Fuente: Los Autores, 2025.

- Box culvert K0+145

Se evidencia una estructura existente que realiza el cruce de los caudales acumulados en la zona norte el cual debe ser modificado por la ampliación de la vía,

adicionalmente se requiere mejorar las dimensiones para mejorar el manejo de los caudales pluviales y realizar un análisis de la localización de este para ver si su ubicación es la más óptima respecto a los puntos altos y bajos de la vía.

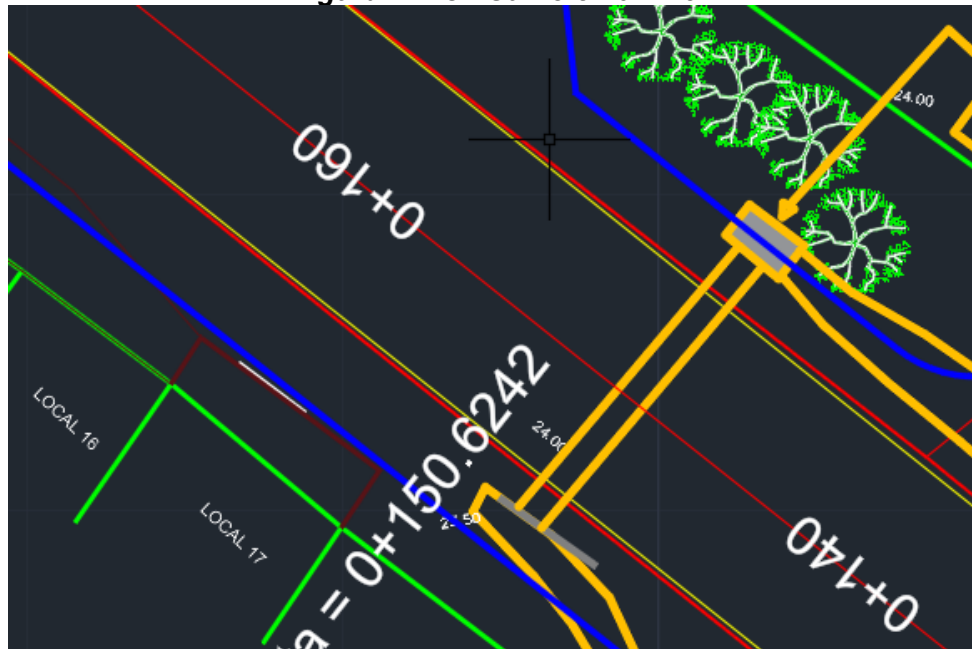
Figura 6. Box culvert K0+145



Fuente: Google Earth, 2025.

Se presenta la imagen de la estructura en color naranja con la ampliación de la vía en color azul donde se evidencia que la estructura existente no tiene la longitud necesaria por lo que debe ser ampliada.

Figura 7. Box Culvert K0+145



Fuente: Los Autores, 2025.

- Canal K0+120-K0+145 zona sur

Se evidencia una estructura existente la cual pasa por la sobre el cruce con la carrera 22 en la zona sur que transporta el caudal del box culvert mencionado anteriormente.

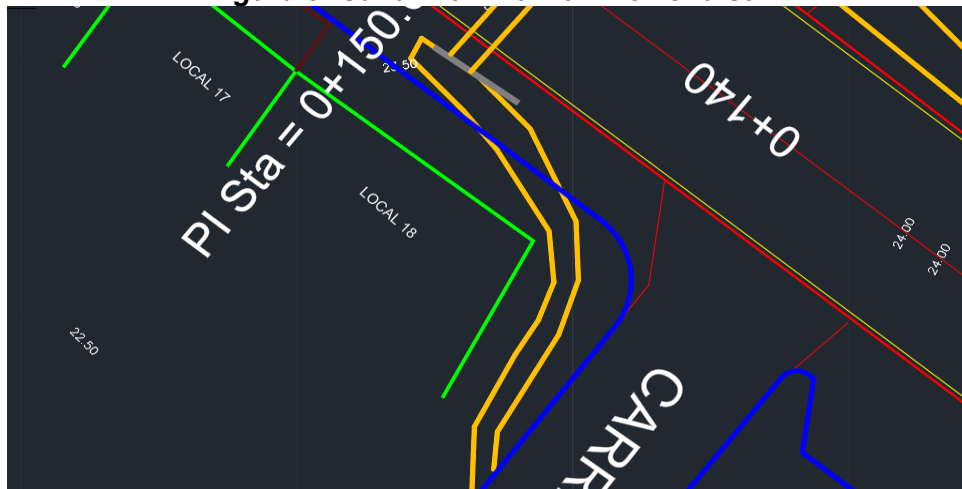
Figura 8. Canal K0+120-K0+145 zona sur



Fuente: Google Earth, 2025.

Se presenta la imagen de la estructura en color naranja con la ampliación de la vía en color azul donde se evidencia la superposición de esta respecto al nuevo diseño y se requiere la relocalización de este para no interferir con la nueva propuesta.

Figura 9. Canal K0+120-K0+145 zona sur



Fuente: Los Autores, 2025.

- Canal K0+340-K0+900

Se evidencia serie de estructuras conformadas en su mayor parte por un canal además de otras estructuras como pasa canales para no generar problemas en las entradas a las viviendas, todas las estructuras se deben relocalizar debido a la ampliación de la vía.

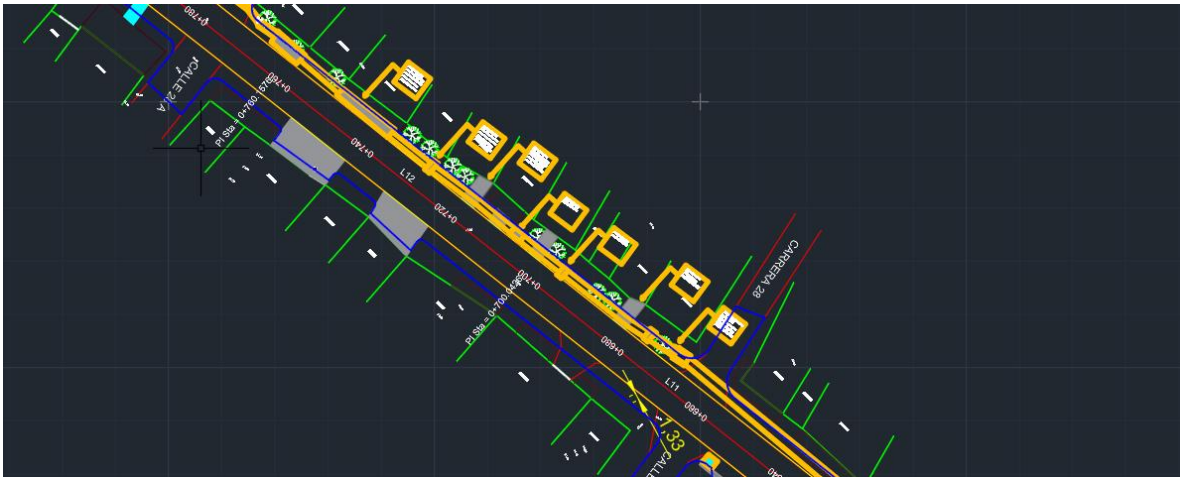
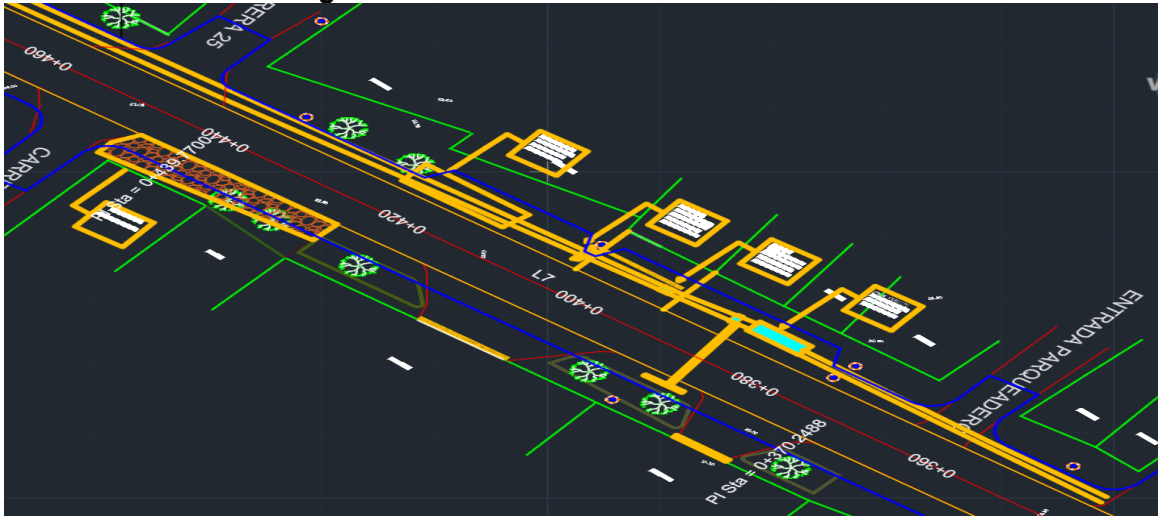
Figura 10. Canal K0+340-K0+900



Fuente: Google Earth, 2025.

Se presenta la imagen de la estructura en color naranja con la ampliación de la vía en color azul donde se evidencia la superposición de esta respecto al nuevo diseño y se requiere la relocalización de este para no interferir con la nueva propuesta.

Figura 11. Canal K0+340-K0+900 zona sur



Fuente: Los Autores, 2025.

Para todas las entidades presentes entre las abscisas 340 a 900 se requiere realizar la relocalización de los canales y pasa canales ya que debido a la ampliación de la vía.

- Cuneta abscisa K1+230 – K1+100 zona norte

Entre la abscisa K1+230 – K1+100 de la zona norte se evidencia la presencia de una estructura de drenaje hidráulico de tipo cuneta, con presencia de 3 pasa canales en servicio a las viviendas.

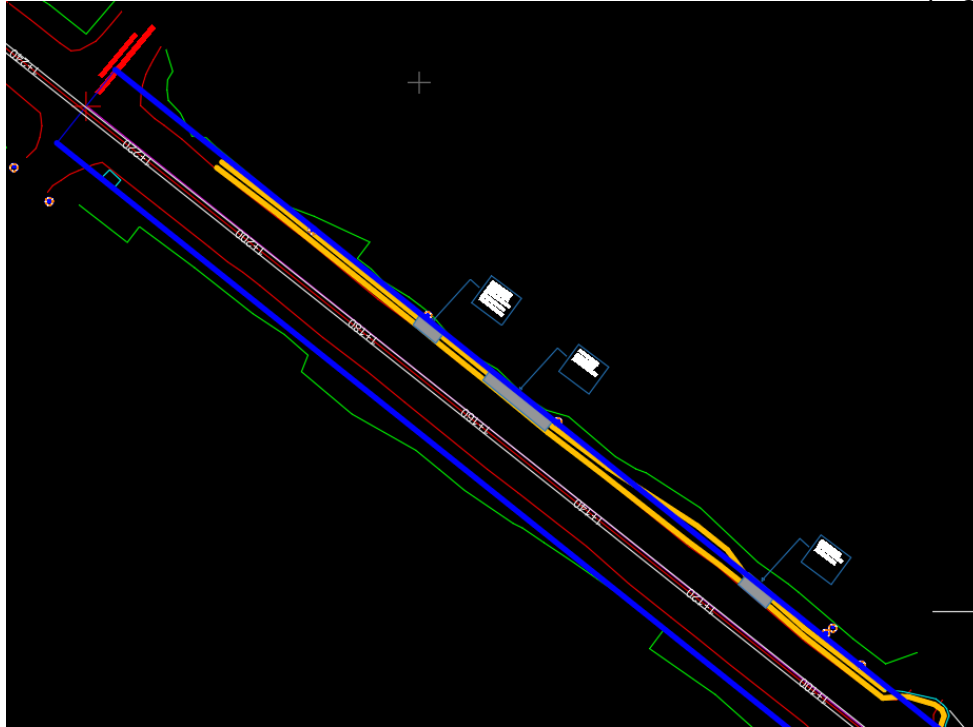
Figura 12. Cuneta abscisa K0+020 – K0+140 zona norte



Fuente: Google Earth, 2025.

Sin embargo, como resultado del proceso de ampliación vial, la cuneta existente (representada con trazado amarillo en la imagen) pierde su funcionalidad y se considera obsoleta frente al nuevo diseño planteado (trazado azul). Esta condición se presenta debido a la modificación del alineamiento y sección de la vía, lo que altera el flujo hidráulico previsto en la cuneta original. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta la disposición de los pasacanales (rectángulos grises), cuya ubicación y dimensiones influyen directamente en la eficiencia y compatibilidad de las estructuras de drenaje con la propuesta de diseño.

Figura 13. Cuneta abscisa K0+020 – K0+140 zona norte – levantamiento topografico



Fuente: Los Autores, 2025.

- Cruce vial K1+090 zona norte

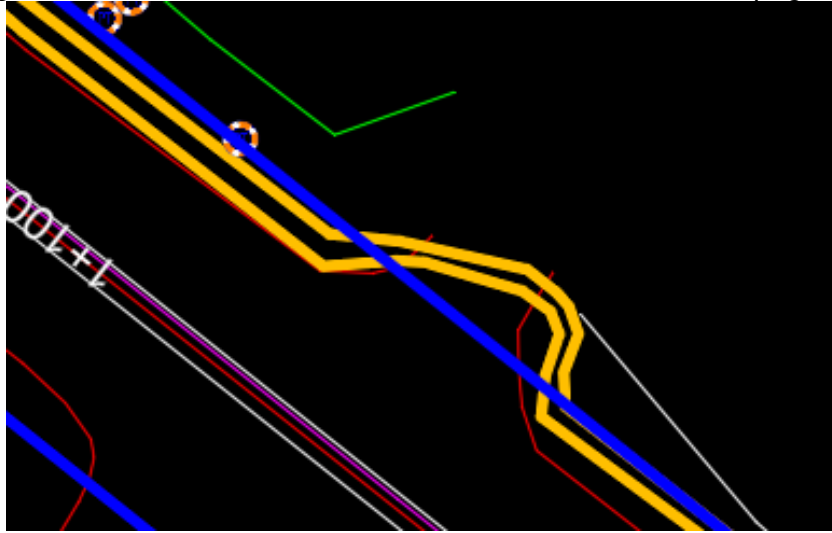
Dentro del levantamiento topográfico se identifica el cruce vial abscisa K1+0.90, a continuación.

Figura 14. Cruce vial K1+090 zona norte



Fuente: Google Earth, 2025.

Figura 15. Cruce vial K1+090 zona norte – levantamiento topografico



Fuente: Los Autores, 2025.

Si bien el cruce se encuentra por fuera del área de ampliación vial, la estructura existente resulta insuficiente para conducir el caudal generado por las áreas de aporte, estimado en $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$. Esto se debe a su reducida profundidad, que limita su capacidad hidráulica a un máximo de $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$, tal como se evidencia a continuación.

Figura 16. Análisis hidráulico

cruce_1

Type: **Triangular** Define...

Side Slope 1 (Z1): **0.1** H: 1V

Side Slope 2 (Z2): **50.0** H: 1V

Channel Width (B): **0.60000001** (m)

Pipe Diameter (D): **0.0** (m)

Longitudinal Slope: **0.005** (m/m)

Manning's Roughness: **0.0200**

☐ Enter Flow: **0.119** (cms)

☒ Enter Depth: **0.100** (m)

Calculate

Plot... Compute Curves...

Parameter	Value	Units
Flow	0.119	cms
Depth	0.100	m
Area of Flow	0.251	m ²
Wetted Perimeter	5.101	m
Hydraulic Radius	0.049	m
Average Velocity	0.474	m/s
Top Width (T)	5.010	m
Froude Number	0.677	
Critical Depth	0.225	m
Critical Velocity	0.094	m/s
Critical Slope	0.000...	m/m
Critical Top Width	1413...	m
Calculated Max Shear...	4.901	N/m...
Calculated Avg Shear...	2.407	N/m...

OK Cancel

Fuente: Los Autores, 2025.

- Canal abscisa K1+080-K0+970

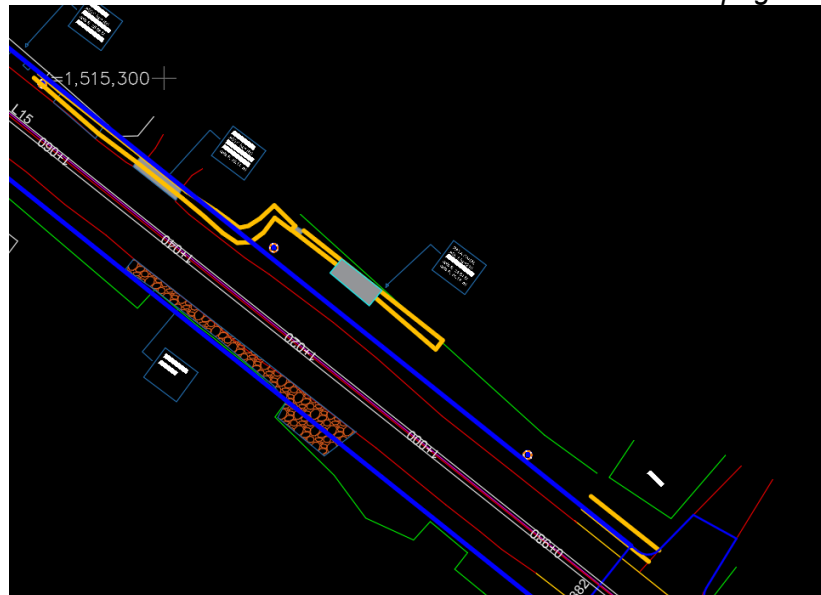
En esta sección de la vía, se encuentra una estructura hidráulica de tipo canal que genera una descarga superficial sobre la abscisa 0+970

Figura 17. Canal abscisa K1+080-0+970



Fuente: Google Earth, 2025.

Figura 18. Canal abscisa K1+080-K0+970 levantamiento topográfico



Fuente: Los Autores, 2025.

En el tramo comprendido entre la abscisa K1+080 y K1+935, el diseño proyectado se solapa con la ampliación vial, lo que ocasiona que esta sección de la estructura quede sin funcionalidad. Para el resto del canal, se efectuó el análisis hidráulico considerando un ancho de 0,80 m y una pendiente de 0,003 m/m, obteniéndose una

capacidad de conducción de 0,402 m³/s. Dicho valor resulta insuficiente frente al
caudal esperado de 0,60 m³/s.

Figura 19. Canal abscisa K1+080-K0+970 Análisis hidráulico

canal k0+970-k1+040

Type: Rectangular Define...

Side Slope 1 (Z1): 0.0 H:1V

Side Slope 2 (Z2): 0.0 H:1V

Channel Width (B): 0.8 (m)

Pipe Diameter (D): 0.0 (m)

Longitudinal Slope: 0.003 (m/m)

Manning's Roughness: 0.0200

Enter Flow: 0.402 (cms)

Enter Depth: 0.500 (m)

Calculate

Plot... Compute Curves...

Parameter	Value	Units
Flow	0.402	cms
Depth	0.500	m
Area of Flow	0.400	m ²
Wetted Perimeter	1.800	m
Hydraulic Radius	0.222	m
Average Velocity	1.005	m/s
Top Width (T)	0.800	m
Froude Number	0.454	
Critical Depth	0.295	m
Critical Velocity	1.702	m/s
Critical Slope	0.012...	m/m
Critical Top Width	0.800	m
Calculated Max Shear...	14.703	N/m...
Calculated Avg Shear...	6.535	N/m...

OK Cancel

Fuente: Los Autores, 2025.

- Cuneta K0+960 – K0+920

Se evidencia la presencia de una estructura de drenaje hidráulico de tipo cuneta, con presencia de 2 pasa canales en servicio a las viviendas.

Figura 20. Canal abscisa K1+080-K0+970



Fuente: Google Earth, 2025.

Figura 21. Canal abscisa K1+080-K0+970 Levantamiento topográfico



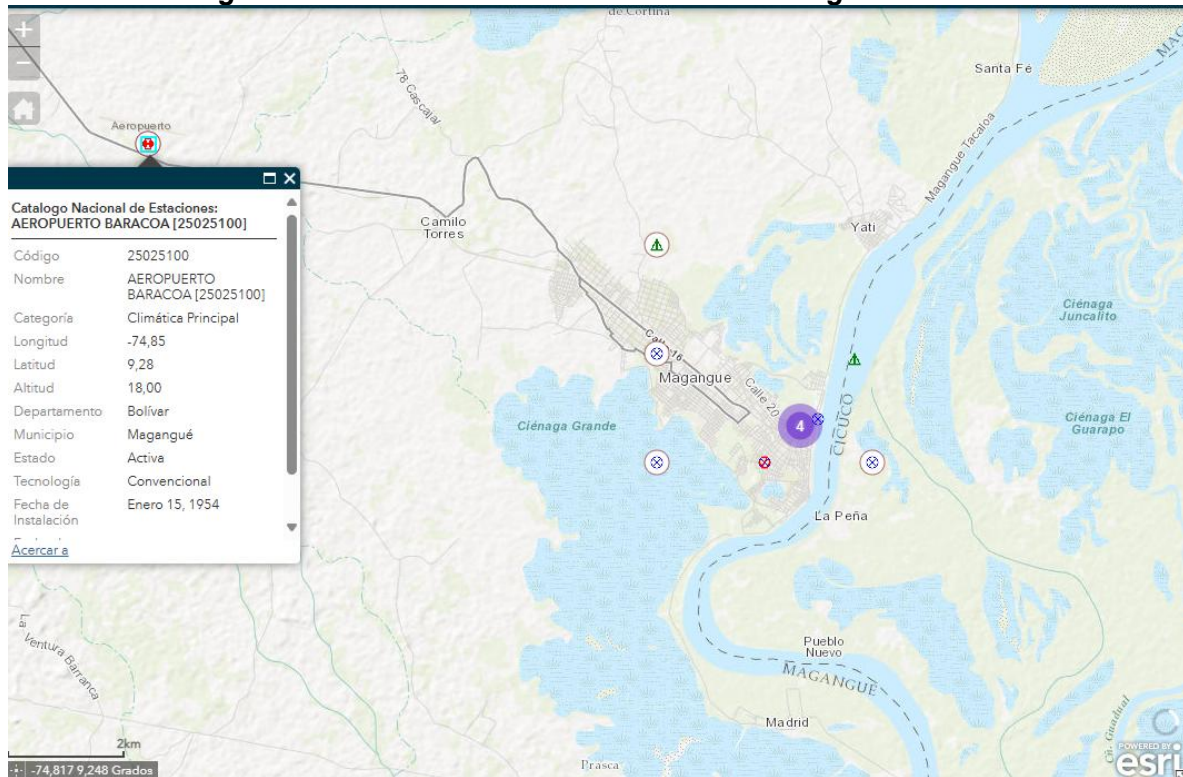
Fuente: Los Autores, 2025.

Sin embargo, como resultado del proceso de ampliación vial, la cuneta existente (representada con trazado amarillo en la imagen) pierde su funcionalidad y se considera obsoleta frente al nuevo diseño planteado (trazado azul).

3.3. ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Teniendo en cuenta la información del IDEAM, se realizó el análisis de las variables climatológicas de la zona con registros de información entre 1970 y 2024. La estación evaluada y su localización se muestran en la siguiente Figura.

Figura 22. Localización Estaciones Meteorológicas IDEAM



Fuente: Tomado y Modificado de Google Earth, 2025

La estación meteorológica activa más cercana al área del proyecto es la estación **AEROPUERTO BARACOA [25025100]** de la cual se tomaron los registros de precipitación en mm/24h para estimar las precipitaciones máximas en los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 50 y 100 años a partir del ajuste de probabilidades de Gumbel curvas IDF para definir las intensidades de diseño.

4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Teniendo en cuenta las características del proyecto y las estructuras existente se presentan 3 posibles alternativas para el drenaje de la escorrentía superficial de la vía.

4.1. ALTERNATIVA 1

La Alternativa 1 plantea la reutilización de las estructuras hidráulicas actualmente presentes en el área de intervención, conforme a lo descrito en *CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES* del presente documento. Sin embargo, dicha propuesta presenta limitaciones técnicas significativas. Las estructuras existentes fueron diseñadas bajo condiciones geométricas y funcionales previas a la ampliación de la vía, por lo que su ubicación y capacidad hidráulica no se ajustan a los nuevos requerimientos del proyecto. En particular, la ampliación del perfil vial genera una superposición física con las estructuras actuales, lo que compromete su operatividad y anula su función principal: la conducción eficiente de los caudales de aguas lluvias hacia los puntos de descarga establecidos.

Además, se ha identificado que estas estructuras no cumplen con los criterios de capacidad hidráulica establecidos por la normativa vigente, lo que podría derivar en fenómenos de represamiento, desbordamiento superficial y afectación a la infraestructura vial y urbana circundante. Por tanto, aunque la reutilización de dichas estructuras podría representar una reducción en los costos iniciales de inversión, desde el punto de vista técnico y funcional, esta alternativa no garantiza la eficiencia hidráulica ni la sostenibilidad del sistema de drenaje propuesto.

4.2. ALTERNATIVA 2

La Alternativa 2 propone la incorporación de un sistema de alcantarillado pluvial convencional, compuesto por estructuras de captación como sumideros, pozos de inspección y una red de tuberías subterráneas destinadas a la conducción de aguas lluvias hacia puntos de descarga definidos. Esta solución, si bien responde a

criterios técnicos de eficiencia hidráulica y control de escorrentía superficial, presenta limitaciones estructurales y normativas que impiden su viabilidad en el contexto específico del área de estudio.

En primer lugar, el municipio no cuenta actualmente con una red de alcantarillado pluvial ni con un sistema combinado que permita la integración de nuevas conexiones. Esto implica que cualquier infraestructura diseñada bajo esta alternativa requeriría la construcción de una red completamente nueva, lo cual incrementaría significativamente los costos de inversión, operación y mantenimiento, además de requerir una planificación interinstitucional compleja.

Adicionalmente, las condiciones topográficas del área y la naturaleza superficial de las descargas previstas en el proyecto representan un obstáculo técnico relevante. Para que un sistema de alcantarillado pluvial funcione adecuadamente, es indispensable cumplir con las cotas mínimas de pendiente y profundidad establecidas por la normativa que garantizan la capacidad de autolimpieza, velocidad mínima de flujo y eficiencia hidráulica. En este caso, dichas cotas no pueden ser alcanzadas debido a la escasa diferencia de nivel entre los puntos de captación y los posibles puntos de descarga, lo que compromete la funcionalidad del sistema y podría generar acumulaciones, obstrucciones y retrocesos de flujo.

Por lo tanto, aunque esta alternativa representa una solución estructurada desde el punto de vista técnico, su implementación resulta inviable dadas las condiciones actuales del entorno urbano, la ausencia de infraestructura base y las restricciones geométricas del terreno. Se recomienda, en consecuencia, considerar soluciones superficiales o semiprofundas que se adapten mejor a las condiciones locales y que garanticen la eficiencia en la recolección y conducción de aguas lluvias sin comprometer la sostenibilidad del sistema.

4.3. ALTERNATIVA 3

La Alternativa 3 contempla la implementación de un sistema de drenaje pluvial mixto, en el cual el escurrimiento superficial se conduce inicialmente a través de la vía hasta alcanzar el ancho máximo de lámina de agua admisible según los criterios hidráulicos de diseño. A partir de este umbral, el sistema incorpora elementos de captación como sumideros y cárcamos de bombeo con tapas removibles. Esta solución se fundamenta en un enfoque adaptativo, en el cual las vías cumplen la función primaria de captar y conducir los caudales de escorrentía superficial generados por eventos de precipitación, mientras que los cárcamos actúan como elementos complementarios en aquellos sectores donde el ancho máximo de la lámina de agua supera las necesidades hidráulicos establecidas por la normativa.

La selección de esta alternativa responde a criterios técnicos de eficiencia, viabilidad constructiva y compatibilidad con las condiciones topográficas del área de intervención. A diferencia de las propuestas anteriores, esta solución incorpora exclusivamente estructuras nuevas, diseñadas con base en cálculos actualizados de caudales máximos esperados, considerando variables como intensidad de lluvia, tiempo de concentración, coeficientes de escorrentía y características geomorfológicas del terreno. Esto garantiza que cada componente del sistema ya sea diseño vial o cárcamo posea la capacidad hidráulica adecuada para transportar los volúmenes de agua previstos sin generar sobrecargas ni afectaciones a la infraestructura vial.

Una ventaja adicional de esta alternativa es su capacidad para superar las limitaciones asociadas a las descargas superficiales, que en la Alternativa 2 representaban un obstáculo técnico insalvable debido a la falta de cotas mínimas y redes receptoras. En este caso, los cárcamos permiten elevar los caudales recolectados hacia puntos de descarga viables, incluso en condiciones de pendiente reducida o ausencia de colectores pluviales, lo que amplía significativamente la flexibilidad del diseño.

Desde el punto de vista operativo, esta solución también facilita el mantenimiento y la inspección periódica, al segmentar el sistema en unidades funcionales independientes. Asimismo, permite una mejor integración con el entorno urbano, minimizando el impacto visual y físico sobre la vía y sus zonas adyacentes.

Por todo lo anterior, la Alternativa 3 ha sido seleccionada como la opción más adecuada para el proyecto, al ofrecer una solución técnica robusta, adaptable a las condiciones locales, y alineada con los principios de sostenibilidad y eficiencia hidráulica requeridos para la ampliación vial.

5. DELIMITACIÓN DE ÁREAS DE APOORTE

5.1. DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS DE APOORTE Y CARACTERÍSTICAS

Las subcuencas identificadas en la zona de estudio se muestran en la siguiente figura, las cuales se delimitaron de acuerdo con la información topográfica suministrada y la información de bases de datos como la SRTM, Google Earh, y Google Street view.

Figura 23. Delimitación de las área de aporte (Ver Planos Anexos)



Fuente: Los Autores, 2025.

En los ANEXOS se incluye el plano topográfico empleado para la delimitación de las áreas de aporte, así mismo anexo a este estudio se presentan los diferentes planos en formato SHP y CAD para su respectiva verificación y evaluación. Es importante resaltar que tanto la red de drenaje como la delimitación de las subcuencas se realizó empleando herramientas de procesamiento SIG con su posterior post-procesamiento de acuerdo con las características reales del sistema de drenaje en la zona.

5.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS ÁREAS DE APOORTE

A las subcuencas se les determinaron los parámetros morfométricos más importantes como: El Área de Drenaje (A), Cota Máxima (Hmax), Cota Mínima (Hmin), Longitud Cauce Principal (L) y Pendiente Media (Smed); éstos fueron determinadas con ayuda del software AUTOCAD, de acuerdo con la información de campo disponible siguiendo la metodología propuesta por Monsalve (1998), como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Cuadro 1. Características fisiográficas de las subcuencas

ELEMENTOS		CARACTERÍSTICAS FISIográfICAS DE LAS CUENCAS				
		ÁREA DRENAJE PROPIA (A)	COTA MÁXIMA (H _{máx})	COTA MÍNIMA (H _{mín})	LONGITUD CANAL (L)	PENDIENTE CAUCE (S _{med})
Identificación	Tipo	(m ²)	(m)	(m)	(m)	(m/m)
A1	S	1385	25,35	25,08	48,53	0,005
A2	S	1354	25,35	25,06	38,30	0,008
A3	S	1658	24,75	22,38	73,94	0,032
A4	S	1687	24,13	23,60	103,68	0,005
A5	S	1627	24,41	22,09	61,10	0,038
A6	S	2295	24,41	22,76	131,85	0,012
A7	S	478	22,69	22,00	59,65	0,012
A8	S	318	22,00	19,85	54,85	0,039
A9	S	1706	23,54	19,83	118,05	0,031
A10	S	1401	24,07	22,43	58,25	0,028
A11	S	659	24,08	21,96	49,17	0,043
A12	S	308	23,93	22,77	28,81	0,040
A13	S	515	24,13	22,86	30,71	0,041
A14	S	888	24,57	23,33	43,82	0,028
A15	S	506	24,79	24,06	26,88	0,027
A16	S	420	24,87	24,71	16,00	0,010
A17	S	4544	29,00	24,71	72,40	0,059
A18	S	1986	24,71	23,91	86,26	0,009
A19	S	1861	24,02	23,91	57,34	0,002
A20	S	986	28,00	24,02	65,50	0,061
A21	S	1145	28,00	23,66	46,18	0,094
A22	S	4815	23,53	22,41	102,37	0,011
A23	S	4552	29,00	22,41	102,00	0,065
A24	S	343	28,00	22,18	20,16	0,289

ELEMENTOS		CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DE LAS CUENCAS				
		ÁREA DRENAJE PROPIA (A)	COTA MÁXIMA (H _{máx})	COTA MÍNIMA (H _{mín})	LONGITUD CANAL (L)	PENDIENTE CAUCE (S _{med})
Identificación	Tipo	(m ²)	(m)	(m)	(m)	(m/m)
A25	S	3397	28,00	22,00	55,00	0,109
A26	S	1911	28,00	22,12	55,00	0,107
A27	S	5359	28,00	22,67	105,00	0,051
A28	S	4414	24,15	22,86	101,36	0,013
A29	S	1726	30,00	24,15	61,00	0,096
A30	S	1352	24,48	24,32	61,00	0,003
A31	S	234	24,48	24,45	18,80	0,002
A32	S	3204	32,00	24,45	102,00	0,074
A33	S	860	24,45	24,17	51,15	0,005
A34	S	7329	35,00	24,17	220,00	0,049
A35	S	12524	35,00	24,09	220,00	0,050
A36	S	5529	28,60	23,90	198,17	0,024
A37	S	2227	23,89	23,60	64,85	0,004
A38	S	3307	34,00	23,60	158,00	0,066
A39	S	7672	34,00	23,60	236,00	0,044
A40	S	12275	33,00	23,67	175,00	0,053
A41	S	5687	32,00	25,33	182,00	0,037
A42	S	1048	32,00	25,34	106,00	0,063
A43	S	1189	25,34	25,04	42,32	0,007
A44	S	3056	32,00	24,92	117,00	0,061
A21A	S	778	28,00	23,66	46,18	0,094
A45	S	3778	25,50	25,00	83,37	0,006
A46	S	1498	27,00	25,00	76,4	0,026
A47	S	3612	28,00	25,50	176	0,014
A48	S	894	26,50	25,50	78,84	0,013
A49	S	1141	27,63	26,00	72	0,023
A50	S	8835	31,50	30,00	233	0,006
A51	S	2684	32,00	27,00	109,82	0,046
A52	S	1834	26,00	25,00	116,33	0,009
A53	S	1487	32,00	26,50	125,8	0,044

Fuente: Los Autores, 2025

Es importante anotar que la simbología definida para cada elemento se estableció de acuerdo con su naturaleza y para establecer una identificación simplificada en la topología del Modelo de Cuenca empleado en el programa HEC-HMS (Sistema de Modelación Hidrológica HMS por sus siglas en inglés). En tal sentido: **S** es

Subcuenca o área de aporte, U es Unión o Salida, E es Embalse y T es Tramo.

6. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

De acuerdo con la información topográfica y la distribución de los cursos de agua en la zona de estudio, se identificaron las diferentes subcuencas, de tal manera que se pudieran determinar sus características morfométricas, así como la estimación de la escorrentía superficial generada por la precipitación efectiva incidente. Para la estimación de la escorrentía se utilizó el Método Racional, dado que las áreas de aporte no son significativamente grandes.

6.1. PERIODO DE RETORNO

Los períodos de retorno definidos para el análisis hidráulico se definieron con base en los criterios de diseño establecidos en la normatividad vigente (RAS 2017) y las especificaciones consultadas en estudios y literaturas de referencia. En el Cuadro 5 se muestran los períodos de retorno definidos en el RAS 2017.

Cuadro 2. Períodos de Retorno de diseño (RAS 2017)

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

Fuente: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, Resolución 0330 de 2017.

De acuerdo con lo anterior y la determinación de las subcuencas de aporte, estos son tramos iniciales que cuentan con áreas menores a 2 Hectáreas por lo cual, los análisis y diseños se deben realizar para un evento de lluvia que correspondan un periodo de retorno de **5 años**, atendiendo lo estipulado en la Resolución 0330 de 2017.

6.2. CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF)

Como la precipitación no ocurre simultáneamente en toda la cuenca ni tiene la misma duración, el método Racional, supone para su aplicación que la duración de la lluvia es la misma en toda la cuenca y es igual al tiempo de concentración de esta, en ese caso toda la cuenca está drenando y se presenta la mayor cantidad de flujo de escorrentía.

Teniendo en cuenta lo que establece la Resolución 0330 de 2017, en su artículo 135, en el que se indica: *“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 pluviométrica de la zona, incluyendo los datos más recientes, para derivar las curvas de frecuencia correspondientes mediante análisis puntuales de frecuencia de eventos extremos máximos...en el análisis se deben incluir los cambios en las intensidades producidos por fenómenos de variabilidad y cambio climático sucedidos en Colombia...”*, para la determinación de las intensidades de diseño se construyeron Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) sintéticas, aplicando el método simplificado con base en la Metodología de Díaz Granados (Manual de Drenaje de INVIAS, 2009), a partir de coeficientes de regionalización de la Precipitación Máxima en 24 horas (PM24H), a partir de registros pluviométricos de la estación **AEROPUERTO BARACOA [25025100]**, para el período

comprendido entre **1970 a 2024** (52 años), con el fin de incluir los efectos de cambio climático y variabilidad en la zona.

La ecuación tiene la siguiente expresión:

$$I(mm/h) = \frac{a * T^b * M^d}{(t_c / 60)^c}$$

Donde:

I: Es la Intensidad de la lluvia (mm/h)

T: Es el periodo de retorno en años.

t_c : Es el tiempo de concentración en minutos

a, b, c y d: Son parámetros que dependen de la Región

M: Es Precipitación Máxima en 24 h a nivel multianual, para cada período de retorno

Para la Región Caribe, los valores de estos parámetros son:

$$a = 24.85$$

$$b = 0.22$$

$$c = 0.50$$

$$d = 0.10$$

Para obtener los valores del parámetro M se realizó un ajuste de valores extremos GVE para el registro de datos de Precipitación Máxima en 24 horas, en el período de **1970 a 2024**, para la estación del **AEROPUERTO BARACOA [25025100]**.

6.2.1. Ajuste de Valores Extremos Gumbel (GVE) para la Precipitación Máxima en 24H (PM24H)

Se analizó el comportamiento de la precipitación máxima en 24 horas (PM24H) en la estación meteorológica **AEROPUERTO BARACOA [25025100]**, para el período de **1970 a 2024**, con el fin de obtener las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia sintéticas, de tal manera que se incluyera en éstas, el efecto de variabilidad climática de la zona, con la inclusión de registros del último quinquenio, como lo establece la norma (Resolución 0330 de 2017).

Cuadro 3. Precipitación Máxima Anual en 24h – Estación AEROPUERTO BARACOA [25025100].

MAGANGUE							
Año	Datos	Año	Datos	Año	Datos	Año	Datos
1970	78	1987	82	2002	96.8	2016	181.1
1971	88	1988	96.6	2003	1.5	2017	131.4
1973	47	1989	59	2004	157.4	2018	93.6
1974	65	1990	65	2005	90.5	2019	99.3
1975	49	1991	70	2006	65	2020	138.2
1976	75	1993	66.5	2007	100.5	2021	105
1977	50.3	1994	36.9	2008	80.5	2022	73
1978	110	1995	81.7	2009	80.3	2023	96.6
1979	60	1996	77.8	2010	98.7	2024	59.5
1981	20.7	1997	69.1	2011	92.5		
1983	33.3	1998	54.6	2012	60.7		
1984	64	1999	83.5	2013	117.5		
1985	48	2000	83	2014	74.4		
1986	76	2001	51.5	2015	90.9		

Fuente: Autores – Datos: IDEAM, 2024.

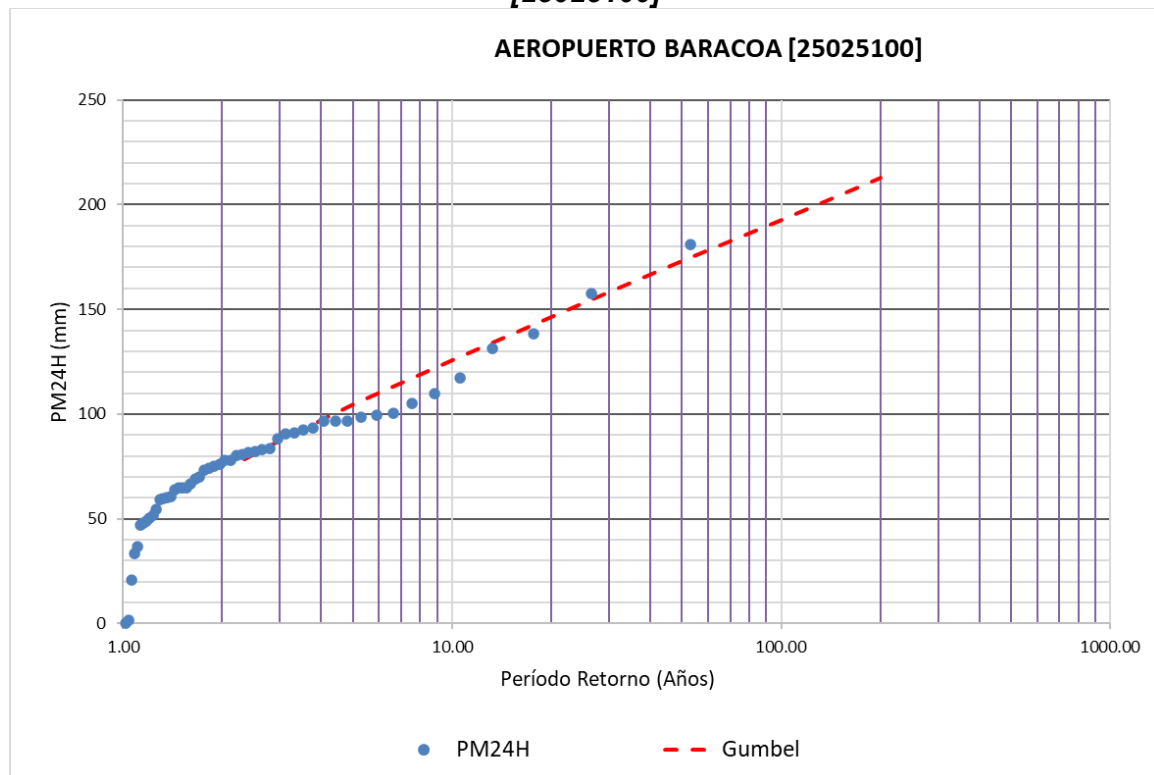
Cuadro 4. Resumen Ajuste de distribución de Gumbel – Estación AEROPUERTO BARACOA [25025100].

Ajuste PM24H Distribución Gumbel					
Estación		AEROPUERTO BARACOA [25025100]			
Año Inicial	1970	Año Final	2024	n	52
Promedio	77.43	Desviación	33.16	α	0.035
μ_v	0.5493	σ_v	1.1638	β	61.777

Ajuste con Distribución Gumbel		
Tr (años)	Precipitacion (mm)	Prob(Pmax<=x)
2.33	78.27	0.5708
3	87.50	0.6667
5	104.52	0.8000
10	125.91	0.9000
25	152.93	0.9600
50	172.97	0.9800
100	192.87	0.9900
200	212.69	0.9950

Fuente: Autores – Datos: IDEAM, 2024.

Figura 24. Ajuste de la PM24H con GVE – Estación AEROPUERTO BARACOA [25025100]



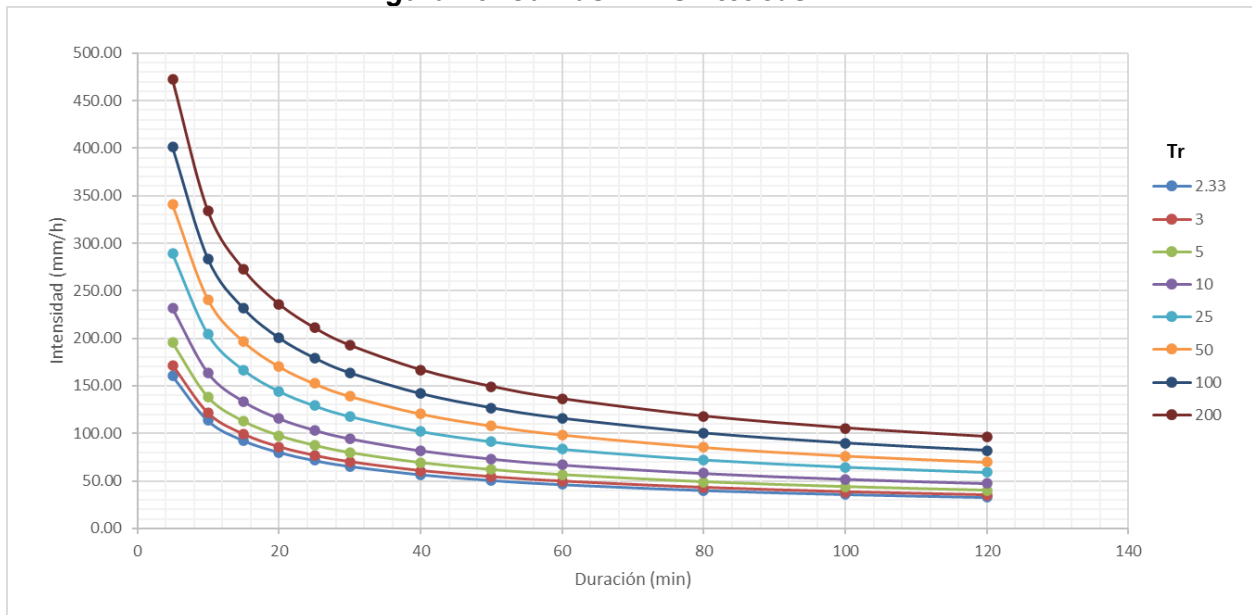
Fuente: Autores, 2025

De acuerdo con los datos anteriores, el valor promedio máximo multianual de la serie es de **77.43 mm**, con un valor máximo de **181 mm** para el mes de septiembre del año 2016. En la Figura 24 se presenta el ajuste de las precipitaciones máximas en 24 horas para el registro anterior, para diferentes períodos de retorno, mediante la metodología de Gumbel de Valores Extremos (GVE).

6.2.2. Construcción de Curvas IDF Sintéticas

A partir de los valores de PM24H corregidos (Corrección de Intervalo Fijo) y ajustados para cada período de retorno son los que se emplearán como el parámetro M en la construcción de las Curvas IDF Sintéticas, aplicando la ecuación de Intensidad descrita anteriormente, para cada período de retorno y para diferentes duraciones de eventos de lluvia, tal como se muestra a continuación.

Figura 25. Curvas IDF Sintéticas –



Fuente: Autores, 2025

Dado que la elaboración de las curvas IDF abarca un periodo de 34 años, comprendido entre 1970 y 2024, se incluyen en el análisis todos los fenómenos que

pueden influir en las precipitaciones de la zona, como el ciclo ENSO, responsable de los eventos de El Niño y La Niña. En particular, este último suele incrementar de manera significativa los niveles de lluvia. Sin embargo, el estudio ya considera los registros de precipitación diaria acumulada, es decir, se utiliza el valor máximo de lluvia total diaria correspondiente a cada año.

7. ESTIMACIÓN DE CAUDALES POR MÉTODO RACIONAL

A continuación, se muestra la estimación de caudales por el método racional.

7.1. Datos de entrada

7.1.1. Área de Drenaje

Este parámetro se determinó a partir del diseño del alcantarillado pluvial y el levantamiento topográfico suministrado, se definieron las divisorias de agua para la delimitación física de cada una de las subcuencas. Estas áreas identificadas en la Figura 23 y están consignadas en el Cuadro 7.

7.1.2. Estimación de los Coeficientes de escorrentía

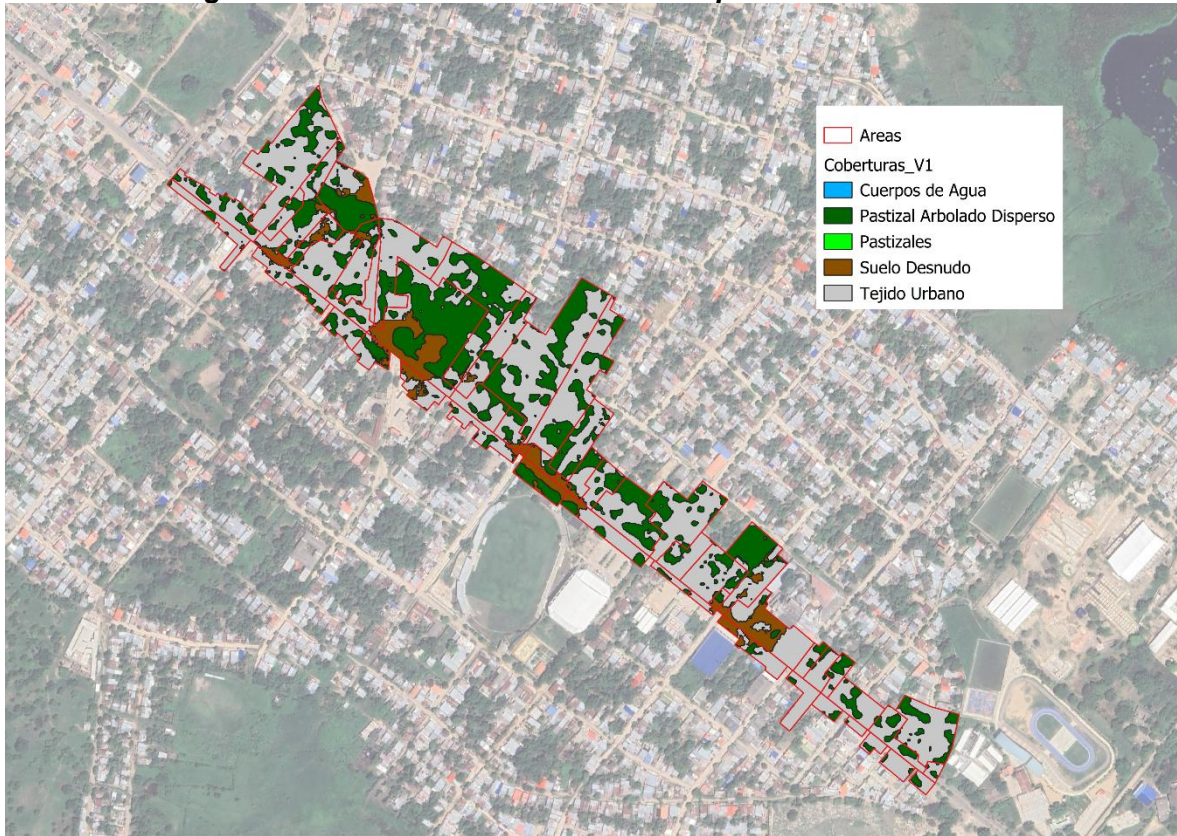
Para la estimación del Coeficiente de escorrentía (C_e), se tuvo en cuenta el análisis de coberturas de las áreas de aporte. Este análisis se realizó a partir de una imagen en RGB obtenida de Google Earth Pro, con un tamaño de Pixel de 0.1m y se realizó la clasificación de las coberturas con algoritmos de *machine learning*. Este proceso da como resultado, polígonos de coberturas con una alta precisión.

Figura 26. Imagen RGB para clasificación de coberturas.



Fuente: Autores, 2025

Figura 27. Clasificación de coberturas para las subcuencas.



Fuente: Autores, 2025

Teniendo en cuenta lo anterior la clasificación anterior y las características propias de infiltración de cada una de las coberturas, se seleccionaron los coeficientes de escorrentía (C_e) para cada uno de los tipos de cobertura de acuerdo con las referencias bibliográficas. Luego se procedió con el cálculo ponderado de los C_e para cada una de las áreas de aporte de acuerdo con las coberturas presentes en cada una.

Cuadro 5. Coberturas actuales para cada subcuenca.

Subcuenca	Tipo de cobertura	Área (m2)	Área (Ha)	Área Total (Ha)	% Área-Actual
A1	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1385	0.00%
A1	Pastizales	0.00	0.00		0.00%

Subcuenca	Tipo de cobertura	Área (m2)	Área (Ha)	Área Total (Ha)	%_Área-Actual
A1	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A1	Tejido Urbano	963.43	0.10		69.55%
A1	Pastizal Arbolado Disperso	421.87	0.04		30.45%
A2	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1354	0.00%
A2	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A2	Suelo Desnudo	250.70	0.03		18.52%
A2	Tejido Urbano	639.85	0.06		47.26%
A2	Pastizal Arbolado Disperso	463.31	0.05		34.22%
A3	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1658	0.00%
A3	Pastizales	2.00	0.00		0.12%
A3	Suelo Desnudo	636.47	0.06		38.39%
A3	Tejido Urbano	980.54	0.10		59.15%
A3	Pastizal Arbolado Disperso	38.76	0.00		2.34%
A4	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1687	0.00%
A4	Pastizales	10.91	0.00		0.65%
A4	Suelo Desnudo	116.86	0.01		6.93%
A4	Tejido Urbano	1341.58	0.13		79.54%
A4	Pastizal Arbolado Disperso	217.23	0.02		12.88%
A5	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1626	0.00%
A5	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A5	Suelo Desnudo	763.53	0.08		46.95%
A5	Tejido Urbano	0.00	0.00		0.00%
A5	Pastizal Arbolado Disperso	862.87	0.09		53.05%
A6	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.2296	0.00%
A6	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A6	Suelo Desnudo	270.33	0.03		11.78%
A6	Tejido Urbano	1498.85	0.15		65.29%
A6	Pastizal Arbolado Disperso	526.43	0.05		22.93%
A7	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.0478	0.00%
A7	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A7	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A7	Tejido Urbano	361.90	0.04		75.70%
A7	Pastizal Arbolado Disperso	116.15	0.01		24.30%
A8	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.0319	0.00%
A8	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A8	Suelo Desnudo	41.36	0.00		12.99%
A8	Tejido Urbano	269.47	0.03		84.61%
A8	Pastizal Arbolado Disperso	7.67	0.00		2.41%

Subcuenca	Tipo de cobertura	Área (m2)	Área (Ha)	Área Total (Ha)	%_Área-Actual
A9	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1705	0.00%
A9	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A9	Suelo Desnudo	523.04	0.05		30.67%
A9	Tejido Urbano	1048.87	0.10		61.50%
A9	Pastizal Arbolado Disperso	133.58	0.01		7.83%
A10	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1401	0.00%
A10	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A10	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A10	Tejido Urbano	1339.16	0.13		95.57%
A10	Pastizal Arbolado Disperso	62.12	0.01		4.43%
A11	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.0659	0.00%
A11	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A11	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A11	Tejido Urbano	537.85	0.05		81.62%
A11	Pastizal Arbolado Disperso	121.13	0.01		18.38%
A12	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.0308	0.00%
A12	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A12	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A12	Tejido Urbano	295.22	0.03		95.86%
A12	Pastizal Arbolado Disperso	12.76	0.00		4.14%
A13	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.0515	0.00%
A13	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A13	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A13	Tejido Urbano	438.19	0.04		85.07%
A13	Pastizal Arbolado Disperso	76.93	0.01		14.93%
A14	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.0888	0.00%
A14	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A14	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A14	Tejido Urbano	825.05	0.08		92.88%
A14	Pastizal Arbolado Disperso	63.20	0.01		7.12%
A15	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.0506	0.00%
A15	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A15	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A15	Tejido Urbano	380.50	0.04		75.26%
A15	Pastizal Arbolado Disperso	125.06	0.01		24.74%
A16	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.0420	0.00%
A16	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A16	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%

Subcuenca	Tipo de cobertura	Área (m2)	Área (Ha)	Área Total (Ha)	%_Área-Actual
A16	Tejido Urbano	347.52	0.03		82.69%
A16	Pastizal Arbolado Disperso	72.75	0.01		17.31%
A17	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.4544	0.00%
A17	Pastizales	0.07	0.00		0.00%
A17	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A17	Tejido Urbano	3391.54	0.34		74.65%
A17	Pastizal Arbolado Disperso	1151.93	0.12		25.35%
A18	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1985	0.00%
A18	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A18	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A18	Tejido Urbano	1389.64	0.14		70.00%
A18	Pastizal Arbolado Disperso	595.70	0.06		30.00%
A19	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.2230	0.00%
A19	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A19	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A19	Tejido Urbano	1740.36	0.17		78.05%
A19	Pastizal Arbolado Disperso	489.40	0.05		21.95%
A20	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.0986	0.00%
A20	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A20	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A20	Tejido Urbano	537.84	0.05		54.54%
A20	Pastizal Arbolado Disperso	448.24	0.04		45.46%
A21	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1146	0.00%
A21	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A21	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A21	Tejido Urbano	1006.23	0.10		87.84%
A21	Pastizal Arbolado Disperso	139.28	0.01		12.16%
A21A	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.0778	0.00%
A21A	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A21A	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A21A	Tejido Urbano	546.05	0.05		70.22%
A21A	Pastizal Arbolado Disperso	231.56	0.02		29.78%
A22	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.4536	0.00%
A22	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A22	Suelo Desnudo	1778.03	0.18		39.20%
A22	Tejido Urbano	2608.67	0.26		57.51%
A22	Pastizal Arbolado Disperso	149.18	0.01		3.29%
A23	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.4552	0.00%

Subcuenca	Tipo de cobertura	Área (m2)	Área (Ha)	Área Total (Ha)	%_Área-Actual
A23	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A23	Suelo Desnudo	477.60	0.05		10.49%
A23	Tejido Urbano	1978.10	0.20		43.46%
A23	Pastizal Arbolado Disperso	2095.83	0.21		46.05%
A24	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.0343	0.00%
A24	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A24	Suelo Desnudo	128.95	0.01		37.56%
A24	Tejido Urbano	115.39	0.01		33.61%
A24	Pastizal Arbolado Disperso	98.95	0.01		28.82%
A25	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.3397	0.00%
A25	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A25	Suelo Desnudo	30.85	0.00		0.91%
A25	Tejido Urbano	2596.82	0.26		76.44%
A25	Pastizal Arbolado Disperso	769.45	0.08		22.65%
A26	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1911	0.00%
A26	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A26	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A26	Tejido Urbano	1585.44	0.16		82.96%
A26	Pastizal Arbolado Disperso	325.69	0.03		17.04%
A27	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.5359	0.00%
A27	Pastizales	0.60	0.00		0.01%
A27	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A27	Tejido Urbano	3843.89	0.38		71.73%
A27	Pastizal Arbolado Disperso	1514.24	0.15		28.26%
A28	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.4414	0.00%
A28	Pastizales	32.00	0.00		0.73%
A28	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A28	Tejido Urbano	2272.55	0.23		51.49%
A28	Pastizal Arbolado Disperso	2108.95	0.21		47.78%
A29	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1726	0.00%
A29	Pastizales	4.30	0.00		0.25%
A29	Suelo Desnudo	38.74	0.00		2.24%
A29	Tejido Urbano	1053.66	0.11		61.05%
A29	Pastizal Arbolado Disperso	629.23	0.06		36.46%
A30	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1352	0.00%
A30	Pastizales	0.97	0.00		0.07%
A30	Suelo Desnudo	101.14	0.01		7.48%
A30	Tejido Urbano	726.75	0.07		53.74%

Subcuenca	Tipo de cobertura	Área (m2)	Área (Ha)	Área Total (Ha)	%_Área-Actual
A30	Pastizal Arbolado Disperso	523.50	0.05		38.71%
A31	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.0234	0.00%
A31	Pastizales	2.00	0.00		0.86%
A31	Suelo Desnudo	195.38	0.02		83.54%
A31	Tejido Urbano	9.47	0.00		4.05%
A31	Pastizal Arbolado Disperso	27.02	0.00		11.55%
A32	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.3204	0.00%
A32	Pastizales	11.03	0.00		0.34%
A32	Suelo Desnudo	1.85	0.00		0.06%
A32	Tejido Urbano	1965.87	0.20		61.36%
A32	Pastizal Arbolado Disperso	1225.10	0.12		38.24%
A33	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.0860	0.00%
A33	Pastizales	3.75	0.00		0.44%
A33	Suelo Desnudo	513.60	0.05		59.70%
A33	Tejido Urbano	183.83	0.02		21.37%
A33	Pastizal Arbolado Disperso	159.18	0.02		18.50%
A34	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.7328	0.00%
A34	Pastizales	4.25	0.00		0.06%
A34	Suelo Desnudo	103.38	0.01		1.41%
A34	Tejido Urbano	5056.30	0.51		69.00%
A34	Pastizal Arbolado Disperso	2164.36	0.22		29.53%
A35	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	1.2523	0.00%
A35	Pastizales	15.89	0.00		0.13%
A35	Suelo Desnudo	72.73	0.01		0.58%
A35	Tejido Urbano	7767.13	0.78		62.02%
A35	Pastizal Arbolado Disperso	4667.33	0.47		37.27%
A36	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1235	0.00%
A36	Pastizales	1.11	0.00		0.09%
A36	Suelo Desnudo	102.34	0.01		8.29%
A36	Tejido Urbano	707.90	0.07		57.34%
A36	Pastizal Arbolado Disperso	423.27	0.04		34.28%
A37	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.2227	0.00%
A37	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A37	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A37	Tejido Urbano	1606.77	0.16		72.16%
A37	Pastizal Arbolado Disperso	619.90	0.06		27.84%
A38	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.3307	0.00%
A38	Pastizales	2.00	0.00		0.06%

Subcuenca	Tipo de cobertura	Área (m2)	Área (Ha)	Área Total (Ha)	%_Área-Actual
A38	Suelo Desnudo	108.33	0.01		3.28%
A38	Tejido Urbano	2391.59	0.24		72.32%
A38	Pastizal Arbolado Disperso	804.82	0.08		24.34%
A39	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.7671	0.00%
A39	Pastizales	26.69	0.00		0.35%
A39	Suelo Desnudo	65.14	0.01		0.85%
A39	Tejido Urbano	3480.48	0.35		45.37%
A39	Pastizal Arbolado Disperso	4099.08	0.41		53.43%
A40	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	1.2274	0.00%
A40	Pastizales	5.31	0.00		0.04%
A40	Suelo Desnudo	2939.49	0.29		23.95%
A40	Tejido Urbano	1954.13	0.20		15.92%
A40	Pastizal Arbolado Disperso	7374.72	0.74		60.09%
A41	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.5686	0.00%
A41	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A41	Suelo Desnudo	115.39	0.01		2.03%
A41	Tejido Urbano	4519.49	0.45		79.48%
A41	Pastizal Arbolado Disperso	1051.34	0.11		18.49%
A42	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1048	0.00%
A42	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A42	Suelo Desnudo	3.88	0.00		0.37%
A42	Tejido Urbano	1008.93	0.10		96.31%
A42	Pastizal Arbolado Disperso	34.78	0.00		3.32%
A43	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1189	0.00%
A43	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A43	Suelo Desnudo	6.98	0.00		0.59%
A43	Tejido Urbano	856.80	0.09		72.08%
A43	Pastizal Arbolado Disperso	324.86	0.03		27.33%
A44	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.3056	0.00%
A44	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A44	Suelo Desnudo	237.61	0.02		7.78%
A44	Tejido Urbano	1888.14	0.19		61.79%
A44	Pastizal Arbolado Disperso	929.75	0.09		30.43%
A44A	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.4295	0.00%
A44A	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A44A	Suelo Desnudo	876.47	0.09		20.41%
A44A	Tejido Urbano	1069.94	0.11		24.91%
A44A	Pastizal Arbolado Disperso	2348.55	0.23		54.68%

Subcuenca	Tipo de cobertura	Área (m2)	Área (Ha)	Área Total (Ha)	%_Área-Actual
A45	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.3813	0.00%
A45	Pastizales	0.02	0.00		0.00%
A45	Suelo Desnudo	79.26	0.01		2.08%
A45	Tejido Urbano	3098.58	0.31		81.26%
A45	Pastizal Arbolado Disperso	635.30	0.06		16.66%
A46	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1498	0.00%
A46	Pastizales	7.98	0.00		0.53%
A46	Suelo Desnudo	421.44	0.04		28.13%
A46	Tejido Urbano	656.97	0.07		43.86%
A46	Pastizal Arbolado Disperso	411.60	0.04		27.48%
A47	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.3612	0.00%
A47	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A47	Suelo Desnudo	248.55	0.02		6.88%
A47	Tejido Urbano	2165.13	0.22		59.94%
A47	Pastizal Arbolado Disperso	1198.60	0.12		33.18%
A48	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.0928	0.00%
A48	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A48	Suelo Desnudo	333.04	0.03		35.89%
A48	Tejido Urbano	570.23	0.06		61.44%
A48	Pastizal Arbolado Disperso	24.79	0.00		2.67%
A49	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1141	0.00%
A49	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A49	Suelo Desnudo	0.34	0.00		0.03%
A49	Tejido Urbano	837.23	0.08		73.39%
A49	Pastizal Arbolado Disperso	303.27	0.03		26.58%
A50	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.8835	0.00%
A50	Pastizales	2.00	0.00		0.02%
A50	Suelo Desnudo	4.00	0.00		0.05%
A50	Tejido Urbano	6581.45	0.66		74.49%
A50	Pastizal Arbolado Disperso	2247.80	0.22		25.44%
A51	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.2684	0.00%
A51	Pastizales	0.00	0.00		0.00%
A51	Suelo Desnudo	0.00	0.00		0.00%
A51	Tejido Urbano	1878.26	0.19		69.97%
A51	Pastizal Arbolado Disperso	806.19	0.08		30.03%
A52	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1841	0.00%
A52	Pastizales	5.00	0.00		0.27%
A52	Suelo Desnudo	133.83	0.01		7.27%

Subcuenca	Tipo de cobertura	Área (m2)	Área (Ha)	Área Total (Ha)	%_Área-Actual
A52	Tejido Urbano	1358.89	0.14		73.80%
A52	Pastizal Arbolado Disperso	343.53	0.03		18.66%
A53	Cuerpo de Agua	0.00	0.00	0.1680	0.00%
A53	Pastizales	3.00	0.00		0.18%
A53	Suelo Desnudo	18.98	0.00		1.13%
A53	Tejido Urbano	1492.15	0.15		88.81%
A53	Pastizal Arbolado Disperso	166.01	0.02		9.88%

Fuente: Autores, 2025.

Cuadro 6. Porcentaje de cobertura y Ce futuros para cada cuenca.

Subcuenca	Tipo de cobertura	%_Área-Actual	%_Área-Futuro	Ce	Ce_Pond
A1	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.73
A1	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	
A1	Suelo Desnudo	0.00%	10.00%	0.50	
A1	Tejido Urbano	69.55%	79.55%	0.80	
A1	Pastizal Arbolado Disperso	30.45%	5.45%	0.35	
A2	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.65
A2	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	
A2	Suelo Desnudo	18.52%	28.52%	0.50	
A2	Tejido Urbano	47.26%	57.26%	0.80	
A2	Pastizal Arbolado Disperso	34.22%	9.22%	0.35	
A3	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.68
A3	Pastizales	0.12%	0.52%	0.40	
A3	Suelo Desnudo	38.39%	39.19%	0.50	
A3	Tejido Urbano	59.15%	59.95%	0.80	
A3	Pastizal Arbolado Disperso	2.34%	0.34%	0.35	
A4	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.74
A4	Pastizales	0.65%	2.65%	0.40	
A4	Suelo Desnudo	6.93%	10.93%	0.50	
A4	Tejido Urbano	79.54%	83.54%	0.80	
A4	Pastizal Arbolado Disperso	12.88%	2.88%	0.35	
A5	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.48
A5	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	
A5	Suelo Desnudo	46.95%	56.95%	0.50	
A5	Tejido Urbano	0.00%	10.00%	0.80	
A5	Pastizal Arbolado Disperso	53.05%	28.05%	0.35	

Subcuenca	Tipo de cobertura	%_Área-Actual	%_Área-Futuro	Ce	Ce_Pond
A6	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.70
A6	Pastizales	0.00%	3.00%	0.40	
A6	Suelo Desnudo	11.78%	17.78%	0.50	
A6	Tejido Urbano	65.29%	71.29%	0.80	
A6	Pastizal Arbolado Disperso	22.93%	7.93%	0.35	
A7	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.73
A7	Pastizales	0.00%	3.00%	0.40	
A7	Suelo Desnudo	0.00%	6.00%	0.50	
A7	Tejido Urbano	75.70%	81.70%	0.80	
A7	Pastizal Arbolado Disperso	24.30%	9.30%	0.35	
A8	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.76
A8	Pastizales	0.00%	0.40%	0.40	
A8	Suelo Desnudo	12.99%	13.79%	0.50	
A8	Tejido Urbano	84.61%	85.41%	0.80	
A8	Pastizal Arbolado Disperso	2.41%	0.41%	0.35	
A9	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.69
A9	Pastizales	0.00%	1.00%	0.40	
A9	Suelo Desnudo	30.67%	32.67%	0.50	
A9	Tejido Urbano	61.50%	63.50%	0.80	
A9	Pastizal Arbolado Disperso	7.83%	2.83%	0.35	
A10	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.79
A10	Pastizales	0.00%	0.40%	0.40	
A10	Suelo Desnudo	0.00%	0.80%	0.50	
A10	Tejido Urbano	95.57%	96.37%	0.80	
A10	Pastizal Arbolado Disperso	4.43%	2.43%	0.35	
A11	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.75
A11	Pastizales	0.00%	3.00%	0.40	
A11	Suelo Desnudo	0.00%	6.00%	0.50	
A11	Tejido Urbano	81.62%	87.62%	0.80	
A11	Pastizal Arbolado Disperso	18.38%	3.38%	0.35	
A12	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.79
A12	Pastizales	0.00%	0.40%	0.40	
A12	Suelo Desnudo	0.00%	0.80%	0.50	
A12	Tejido Urbano	95.86%	96.66%	0.80	
A12	Pastizal Arbolado Disperso	4.14%	2.14%	0.35	
A13	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.76
A13	Pastizales	0.00%	2.00%	0.40	
A13	Suelo Desnudo	0.00%	4.00%	0.50	

Subcuenca	Tipo de cobertura	%_Área-Actual	%_Área-Futuro	Ce	Ce_Pond
A13	Tejido Urbano	85.07%	89.07%	0.80	
A13	Pastizal Arbolado Disperso	14.93%	4.93%	0.35	
A14	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.78
A14	Pastizales	0.00%	1.00%	0.40	
A14	Suelo Desnudo	0.00%	2.00%	0.50	
A14	Tejido Urbano	92.88%	94.88%	0.80	
A14	Pastizal Arbolado Disperso	7.12%	2.12%	0.35	
A15	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.73
A15	Pastizales	0.00%	3.00%	0.40	
A15	Suelo Desnudo	0.00%	6.00%	0.50	
A15	Tejido Urbano	75.26%	81.26%	0.80	
A15	Pastizal Arbolado Disperso	24.74%	9.74%	0.35	
A16	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.76
A16	Pastizales	0.00%	3.00%	0.40	
A16	Suelo Desnudo	0.00%	6.00%	0.50	
A16	Tejido Urbano	82.69%	88.69%	0.80	
A16	Pastizal Arbolado Disperso	17.31%	2.31%	0.35	
A17	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.75
A17	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	
A17	Suelo Desnudo	0.00%	10.00%	0.50	
A17	Tejido Urbano	74.65%	84.65%	0.80	
A17	Pastizal Arbolado Disperso	25.35%	0.35%	0.35	
A18	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.73
A18	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	
A18	Suelo Desnudo	0.00%	10.00%	0.50	
A18	Tejido Urbano	70.00%	80.00%	0.80	
A18	Pastizal Arbolado Disperso	30.00%	5.00%	0.35	
A19	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.74
A19	Pastizales	0.00%	3.00%	0.40	
A19	Suelo Desnudo	0.00%	6.00%	0.50	
A19	Tejido Urbano	78.05%	84.05%	0.80	
A19	Pastizal Arbolado Disperso	21.95%	6.95%	0.35	
A20	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.66
A20	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	
A20	Suelo Desnudo	0.00%	10.00%	0.50	
A20	Tejido Urbano	54.54%	64.54%	0.80	
A20	Pastizal Arbolado Disperso	45.46%	20.46%	0.35	
A21	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.77

Subcuenca	Tipo de cobertura	%_Área-Actual	%_Área-Futuro	Ce	Ce_Pond
A21	Pastizales	0.00%	2.00%	0.40	
A21	Suelo Desnudo	0.00%	4.00%	0.50	
A21	Tejido Urbano	87.84%	91.84%	0.80	
A21	Pastizal Arbolado Disperso	12.16%	2.16%	0.35	
A21A	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.73
A21A	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	
A21A	Suelo Desnudo	0.00%	10.00%	0.50	
A21A	Tejido Urbano	70.22%	80.22%	0.80	
A21A	Pastizal Arbolado Disperso	29.78%	4.78%	0.35	
A22	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A22	Pastizales	0.00%	0.40%	0.40	
A22	Suelo Desnudo	39.20%	40.00%	0.50	
A22	Tejido Urbano	57.51%	58.31%	0.80	0.67
A22	Pastizal Arbolado Disperso	3.29%	1.29%	0.35	
A23	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A23	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	
A23	Suelo Desnudo	10.49%	20.49%	0.50	0.62
A23	Tejido Urbano	43.46%	53.46%	0.80	
A23	Pastizal Arbolado Disperso	46.05%	21.05%	0.35	
A24	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A24	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	0.62
A24	Suelo Desnudo	37.56%	47.56%	0.50	
A24	Tejido Urbano	33.61%	43.61%	0.80	
A24	Pastizal Arbolado Disperso	28.82%	3.82%	0.35	
A25	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A25	Pastizales	0.00%	3.00%	0.40	
A25	Suelo Desnudo	0.91%	6.91%	0.50	
A25	Tejido Urbano	76.44%	82.44%	0.80	0.73
A25	Pastizal Arbolado Disperso	22.65%	7.65%	0.35	
A26	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A26	Pastizales	0.00%	3.00%	0.40	
A26	Suelo Desnudo	0.00%	6.00%	0.50	0.76
A26	Tejido Urbano	82.96%	88.96%	0.80	
A26	Pastizal Arbolado Disperso	17.04%	2.04%	0.35	
A27	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A27	Pastizales	0.01%	5.01%	0.40	0.74
A27	Suelo Desnudo	0.00%	10.00%	0.50	
A27	Tejido Urbano	71.73%	81.73%	0.80	

Subcuenca	Tipo de cobertura	%_Área-Actual	%_Área-Futuro	Ce	Ce_Pond
A27	Pastizal Arbolado Disperso	28.26%	3.26%	0.35	0.64
A28	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A28	Pastizales	0.73%	5.73%	0.40	
A28	Suelo Desnudo	0.00%	10.00%	0.50	
A28	Tejido Urbano	51.49%	61.49%	0.80	
A28	Pastizal Arbolado Disperso	47.78%	22.78%	0.35	0.69
A29	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A29	Pastizales	0.25%	5.25%	0.40	
A29	Suelo Desnudo	2.24%	12.24%	0.50	
A29	Tejido Urbano	61.05%	71.05%	0.80	
A29	Pastizal Arbolado Disperso	36.46%	11.46%	0.35	0.67
A30	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A30	Pastizales	0.07%	5.07%	0.40	
A30	Suelo Desnudo	7.48%	17.48%	0.50	
A30	Tejido Urbano	53.74%	63.74%	0.80	
A30	Pastizal Arbolado Disperso	38.71%	13.71%	0.35	0.52
A31	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A31	Pastizales	0.86%	2.86%	0.40	
A31	Suelo Desnudo	83.54%	87.54%	0.50	
A31	Tejido Urbano	4.05%	8.05%	0.80	
A31	Pastizal Arbolado Disperso	11.55%	1.55%	0.35	0.69
A32	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A32	Pastizales	0.34%	5.34%	0.40	
A32	Suelo Desnudo	0.06%	10.06%	0.50	
A32	Tejido Urbano	61.36%	71.36%	0.80	
A32	Pastizal Arbolado Disperso	38.24%	13.24%	0.35	0.57
A33	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A33	Pastizales	0.44%	3.44%	0.40	
A33	Suelo Desnudo	59.70%	65.70%	0.50	
A33	Tejido Urbano	21.37%	27.37%	0.80	
A33	Pastizal Arbolado Disperso	18.50%	3.50%	0.35	0.73
A34	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A34	Pastizales	0.06%	5.06%	0.40	
A34	Suelo Desnudo	1.41%	11.41%	0.50	
A34	Tejido Urbano	69.00%	79.00%	0.80	
A34	Pastizal Arbolado Disperso	29.53%	4.53%	0.35	0.69
A35	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A35	Pastizales	0.13%	5.13%	0.40	

Subcuenca	Tipo de cobertura	%_Área-Actual	%_Área-Futuro	Ce	Ce_Pond
A35	Suelo Desnudo	0.58%	10.58%	0.50	
A35	Tejido Urbano	62.02%	72.02%	0.80	
A35	Pastizal Arbolado Disperso	37.27%	12.27%	0.35	
A36	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.68
A36	Pastizales	0.09%	5.09%	0.40	
A36	Suelo Desnudo	8.29%	18.29%	0.50	
A36	Tejido Urbano	57.34%	67.34%	0.80	
A36	Pastizal Arbolado Disperso	34.28%	9.28%	0.35	0.74
A37	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A37	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	
A37	Suelo Desnudo	0.00%	10.00%	0.50	
A37	Tejido Urbano	72.16%	82.16%	0.80	
A37	Pastizal Arbolado Disperso	27.84%	2.84%	0.35	0.72
A38	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A38	Pastizales	0.06%	3.06%	0.40	
A38	Suelo Desnudo	3.28%	9.28%	0.50	
A38	Tejido Urbano	72.32%	78.32%	0.80	
A38	Pastizal Arbolado Disperso	24.34%	9.34%	0.35	0.62
A39	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A39	Pastizales	0.35%	5.35%	0.40	
A39	Suelo Desnudo	0.85%	10.85%	0.50	
A39	Tejido Urbano	45.37%	55.37%	0.80	
A39	Pastizal Arbolado Disperso	53.43%	28.43%	0.35	0.52
A40	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A40	Pastizales	0.04%	5.04%	0.40	
A40	Suelo Desnudo	23.95%	33.95%	0.50	
A40	Tejido Urbano	15.92%	25.92%	0.80	
A40	Pastizal Arbolado Disperso	60.09%	35.09%	0.35	0.75
A41	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A41	Pastizales	0.00%	3.00%	0.40	
A41	Suelo Desnudo	2.03%	8.03%	0.50	
A41	Tejido Urbano	79.48%	85.48%	0.80	
A41	Pastizal Arbolado Disperso	18.49%	3.49%	0.35	0.79
A42	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	
A42	Pastizales	0.00%	0.40%	0.40	
A42	Suelo Desnudo	0.37%	1.17%	0.50	
A42	Tejido Urbano	96.31%	97.11%	0.80	
A42	Pastizal Arbolado Disperso	3.32%	1.32%	0.35	

Subcuenca	Tipo de cobertura	%_Área-Actual	%_Área-Futuro	Ce	Ce_Pond
A43	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.74
A43	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	
A43	Suelo Desnudo	0.59%	10.59%	0.50	
A43	Tejido Urbano	72.08%	82.08%	0.80	
A43	Pastizal Arbolado Disperso	27.33%	2.33%	0.35	
A44	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.70
A44	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	
A44	Suelo Desnudo	7.78%	17.78%	0.50	
A44	Tejido Urbano	61.79%	71.79%	0.80	
A44	Pastizal Arbolado Disperso	30.43%	5.43%	0.35	
A44A	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.56
A44A	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	
A44A	Suelo Desnudo	20.41%	30.41%	0.50	
A44A	Tejido Urbano	24.91%	34.91%	0.80	
A44A	Pastizal Arbolado Disperso	54.68%	29.68%	0.35	
A45	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.76
A45	Pastizales	0.00%	3.00%	0.40	
A45	Suelo Desnudo	2.08%	8.08%	0.50	
A45	Tejido Urbano	81.26%	87.26%	0.80	
A45	Pastizal Arbolado Disperso	16.66%	1.66%	0.35	
A46	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.65
A46	Pastizales	0.53%	5.53%	0.40	
A46	Suelo Desnudo	28.13%	38.13%	0.50	
A46	Tejido Urbano	43.86%	53.86%	0.80	
A46	Pastizal Arbolado Disperso	27.48%	2.48%	0.35	
A47	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.69
A47	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	
A47	Suelo Desnudo	6.88%	16.88%	0.50	
A47	Tejido Urbano	59.94%	69.94%	0.80	
A47	Pastizal Arbolado Disperso	33.18%	8.18%	0.35	
A48	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.69
A48	Pastizales	0.00%	0.40%	0.40	
A48	Suelo Desnudo	35.89%	36.69%	0.50	
A48	Tejido Urbano	61.44%	62.24%	0.80	
A48	Pastizal Arbolado Disperso	2.67%	0.67%	0.35	
A49	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.74
A49	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	
A49	Suelo Desnudo	0.03%	10.03%	0.50	

Subcuenca	Tipo de cobertura	%_Área-Actual	%_Área-Futuro	Ce	Ce_Pond
A49	Tejido Urbano	73.39%	83.39%	0.80	
A49	Pastizal Arbolado Disperso	26.58%	1.58%	0.35	
A50	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.75
A50	Pastizales	0.02%	5.02%	0.40	
A50	Suelo Desnudo	0.05%	10.05%	0.50	
A50	Tejido Urbano	74.49%	84.49%	0.80	
A50	Pastizal Arbolado Disperso	25.44%	0.44%	0.35	
A51	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.73
A51	Pastizales	0.00%	5.00%	0.40	
A51	Suelo Desnudo	0.00%	10.00%	0.50	
A51	Tejido Urbano	69.97%	79.97%	0.80	
A51	Pastizal Arbolado Disperso	30.03%	5.03%	0.35	
A52	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.73
A52	Pastizales	0.27%	3.27%	0.40	
A52	Suelo Desnudo	7.27%	13.27%	0.50	
A52	Tejido Urbano	73.80%	79.80%	0.80	
A52	Pastizal Arbolado Disperso	18.66%	3.66%	0.35	
A53	Cuerpo de Agua	0.00%	0.00%	0.90	0.76
A53	Pastizales	0.18%	1.18%	0.40	
A53	Suelo Desnudo	1.13%	3.13%	0.50	
A53	Tejido Urbano	88.81%	90.81%	0.80	
A53	Pastizal Arbolado Disperso	9.88%	4.88%	0.35	

Fuente: Autores, 2025.

Cuadro 7. Morfometría general de las cuencas de aporte.

ELEMENTO		TIPO DE CUENCA	ÁREA DRENAJE (A)			LONGITUD CAUCE PRINCIPAL (L _{CP})	PENDIENTE CAUCE PRINCIPAL (S _{CP})	COEFICIENTE DE ESCORRENTIA (CE)
IDENTIFICACIÓN	TIPO		(M ²)	(HA)	(KM ²)	(M)	(M/M)	(ADM)
A1	S	Mixta	1385	0,14	0,0014	48,53	0,0055	0,79
A2	S	Mixta	1354,05	0,14	0,0014	38,3	0,0075	0,79
A3	S	Mixta	1658,002	0,17	0,0017	73,94	0,0321	0,79
A4	S	Mixta	1686,82	0,17	0,0017	103,68	0,0051	0,79
A5	S	Mixta	1626,62	0,16	0,0016	61,1	0,0380	0,79
A6	S	Mixta	2295	0,23	0,0023	131,85	0,0125	0,79
A7	S	Mixta	478	0,05	0,0005	59,65	0,0116	0,79
A8	S	Mixta	318	0,03	0,0003	54,85	0,0392	0,79
A9	S	Mixta	1705,73	0,17	0,0017	118,05	0,0314	0,79
A10	S	Mixta	1401	0,14	0,0014	58,25	0,0282	0,79
A11	S	Mixta	659	0,07	0,0007	49,17	0,0431	0,79
A12	S	Mixta	308,02	0,03	0,0003	28,81	0,0403	0,79
A13	S	Mixta	515,19	0,05	0,0005	30,71	0,0414	0,79
A14	S	Mixta	888,37	0,09	0,0009	43,82	0,0283	0,79
A15	S	Mixta	505,63	0,05	0,0005	26,88	0,0272	0,79
A16	S	Mixta	420,3	0,04	0,0004	16	0,0100	0,79
A17	S	Mixta	4544	0,45	0,0045	72,4	0,0593	0,79
A18	S	Mixta	1985,6	0,20	0,0020	86,26	0,0093	0,79
A19	S	Mixta	1861,07	0,19	0,0019	57,34	0,0019	0,79
A20	S	Mixta	986	0,10	0,0010	65,5	0,0608	0,79
A21	S	Mixta	1145	0,11	0,0011	46,18	0,0940	0,79
A22	S	Mixta	4815	0,48	0,0048	102,37	0,0109	0,79
A23	S	Mixta	4552,16	0,46	0,0046	102	0,0646	0,79
A24	S	Mixta	343	0,03	0,0003	20,16	0,2887	0,79
A25	S	Mixta	3397	0,34	0,0034	55	0,1091	0,79
A26	S	Mixta	1911,39	0,19	0,0019	55	0,1069	0,79
A27	S	Mixta	5359	0,54	0,0054	105	0,0508	0,79
A28	S	Mixta	4414	0,44	0,0044	101,36	0,0127	0,79
A29	S	Mixta	1726	0,17	0,0017	61	0,0959	0,79

ELEMENTO		TIPO DE CUENCA	ÁREA DRENAJE (A)			LONGITUD CAUCE PRINCIPAL (L _{CP})	PENDIENTE CAUCE PRINCIPAL (S _{CP})	COEFICIENTE DE ESCORRENTIA (CE)
IDENTIFICACIÓN	TIPO		(M ²)	(HA)	(KM ²)	(M)	(M/M)	(ADM)
A30	S	Mixta	1352	0,14	0,0014	61	0,0025	0,79
A31	S	Mixta	234	0,02	0,0002	18,8	0,0016	0,79
A32	S	Mixta	3204,29	0,32	0,0032	102	0,0740	0,79
A33	S	Mixta	860	0,09	0,0009	51,15	0,0055	0,79
A34	S	Mixta	7329	0,73	0,0073	220	0,0492	0,79
A35	S	Mixta	12524	1,25	0,0125	220	0,0496	0,79
A36	S	Mixta	5528,961	0,55	0,0055	198,17	0,0237	0,79
A37	S	Mixta	2227	0,22	0,0022	64,85	0,0045	0,79
A38	S	Mixta	3307,2	0,33	0,0033	158	0,0658	0,79
A39	S	Mixta	7672,47	0,77	0,0077	236	0,0441	0,79
A40	S	Mixta	12275,38	1,23	0,0123	175	0,0533	0,79
A41	S	Mixta	5687,02	0,57	0,0057	182	0,0366	0,79
A42	S	Mixta	1047,74	0,10	0,0010	106	0,0628	0,79
A43	S	Mixta	1188,81	0,12	0,0012	42,32	0,0071	0,79
A44	S	Mixta	3055,94	0,31	0,0031	117	0,0605	0,79
A21A	S	Mixta	778	0,08	0,0008	46,18	0,0940	0,79
A45	S	Mixta	3777,99	0,38	0,0038	83,37	0,0060	0,79
A46	S	Mixta	1497,978	0,15	0,0015	76,4	0,0262	0,79
A47	S	Mixta	3612,276	0,36	0,0036	176	0,0142	0,79
A48	S	Mixta	894,257	0,09	0,0009	78,84	0,0127	0,79
A49	S	Mixta	1140,845	0,11	0,0011	72	0,0226	0,79
A50	S	Mixta	8835,233	0,88	0,0088	233	0,0064	0,79
A51	S	Mixta	2684,435	0,27	0,0027	109,82	0,0455	0,79
A52	S	Mixta	1834,021	0,18	0,0018	116,33	0,0086	0,79
A53	S	Mixta	1487,12	0,15	0,0015	125,8	0,0437	0,79

Fuente: Los Autores, 2025.

7.1.3. Tiempo de Concentración

Teniendo en cuenta la definición establecida en el artículo 256 de la resolución 0330 de 2017, el tiempo de concentración corresponde al “*tiempo de recorrido de la escorrentía superficial desde el punto más alejado de la cuenca de drenaje hasta el punto de salida considerado. En alcantarillados es la suma del tiempo de entrada y de recorrido*”. A continuación, se presenta un resumen de las ecuaciones utilizadas en el presente estudio y tomadas de diferentes fuentes.

Cuadro 8. Ecuaciones empleadas para estimar el tiempo de concentración

AUTOR	ECUACIÓN	VARIABLES
KERBY	$t_c = \left[\frac{0,67 \cdot n \cdot L_p}{\sqrt{S}} \right]^{0,467}$	t_c = Tiempo de concentración (min.) L_p = Longitud la trayectoria principal del flujo (pies) S = Pendiente de la trayectoria principal del flujo (m/m) n = Coeficiente de retardo (adm)
FAA	$t_c = 3,26 \cdot (1,1 - C) \cdot \frac{(L \cdot 1000)^{0,5}}{(S \cdot 100)^{0,333}}$	t_c = Tiempo de concentración (min.) L = Longitud la trayectoria principal del flujo (km) S = Pendiente de la trayectoria principal del flujo (m/m) C = Coeficiente de Escorrentía del Método Racional
SCS	$T_e = \frac{L}{(60 \cdot V_s)}$	T_e = Tiempo de concentración (min.) L = Longitud la trayectoria principal del flujo (m) V_s = Velocidad Media de Escorrentía Superficial (m/s) = $aS^{1/2}$
KIRPICH	$t_c = 0,0078 \cdot L_p^{0,77} \cdot S^{-0,385}$	t_c = Tiempo de concentración (min.) L_p = Longitud la trayectoria principal del flujo (pies) S = Pendiente de la trayectoria principal del flujo (m/m)
BRANSBY - WILLIAMS	$t_c = 14,6 \cdot L \cdot A^{-0,1} \cdot S^{-0,2}$	t_c = Tiempo de concentración (min.) L = Longitud la trayectoria principal del flujo (km) A = Área de Drenaje de la cuenca (km ²)

AUTOR	ECUACIÓN	VARIABLES
		S = Pendiente de la trayectoria principal del flujo (m/m)
ARMY CORPS USA (TEMEZ)	$T_c = 0,3 \cdot \left[\frac{L}{S^{0,25}} \right]^{0,76}$	T _c = Tiempo de concentración (hr.) L = Longitud la trayectoria principal del flujo (m) S = Pendiente de la trayectoria principal del flujo (m/m)

Fuente: RAS 2000, Título D. Sistemas de Evacuación de Aguas. D.4.3.7

Cuadro 9. Cálculo tiempos de Concentración

CUENCA	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN							
	KERBY	FAA	SCS (Veloc. De Concentr.)	Kirpich	Bransby-Williams	Cuerpo de Ingenieros USA	Promedio	Adoptado
Nombre	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)
A1	3.78	16.78	5.47		3.84	4.86	6.95	15.00
A2	3.14	13.38	3.67		2.85	3.82	5.37	15.00
A3	3.04	11.48	3.44		4.04	4.78	5.36	15.00
A4	5.47	25.11	12.11		8.16	8.77	11.92	15.00
A5	2.67	9.87	2.61		3.23	4.00	4.48	15.00
A6	4.97	21.00	9.83		8.41	8.88	10.62	15.00
A7	3.49	14.49	4.62		4.52	4.93	6.41	15.00
A8	2.52	9.25	2.31		3.39	3.67	4.23	15.00
A9	3.80	14.60	5.55		6.45	6.85	7.45	15.00
A10	2.80	10.64	2.89		3.32	4.09	4.75	15.00
A11	2.35	8.48	1.97		2.77	3.31	3.78	15.00
A12	1.86	6.64	1.20		1.78	2.24	2.74	15.00
A13	1.90	6.80	1.26		1.79	2.34	2.82	15.00
A14	2.45	9.21	2.17		2.61	3.29	3.95	15.00
A15	1.97	7.32	1.36		1.71	2.29	2.93	15.00
A16	1.95	7.88	1.33		1.26	1.86	2.86	15.00
A17	2.61	9.26	2.48		3.16	4.19	4.34	15.00
A18	4.37	18.75	7.46		5.93	6.80	8.66	15.00
A19	5.21	25.85	10.91		5.34	6.73	10.81	15.00
A20	2.47	8.73	2.21		3.31	3.86	4.12	15.00
A21	1.90	6.34	1.26		2.11	2.73	2.87	15.00
A22	4.55	19.33	8.16		6.27	7.51	9.16	15.00
A23	3.00	10.68	3.34		4.38	5.34	5.35	15.00

CUENCA	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN							
	KERBY	FAA	SCS (Veloc. De Concentr.)	Kirpich	Bransby-Williams	Cuerpo de Ingenieros USA	Promedio	Adoptado
Nombre	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)
A24	0.99	2.88	0.31		0.83	1.17	1.24	15.00
A25	1.99	6.58	1.39		2.19	3.03	3.03	15.00
A26	2.00	6.63	1.40		2.33	3.04	3.08	15.00
A27	3.22	11.74	3.88		4.65	5.72	5.84	15.00
A28	4.37	18.29	7.49		6.04	7.24	8.69	15.00
A29	2.15	7.24	1.64		2.66	3.35	3.41	15.00
A30	5.02	24.28	10.08		5.64	6.69	10.34	15.00
A31	3.23	15.74	3.92		2.27	2.99	5.63	15.00
A32	2.91	10.20	3.12		4.41	5.21	5.17	15.00
A33	3.87	17.21	5.76		4.25	5.05	7.23	15.00
A34	4.58	17.17	8.26		9.50	10.09	9.92	15.00
A35	4.57	17.13	8.23		8.99	10.08	9.80	15.00
A36	5.17	20.78	10.72		11.83	10.71	11.84	15.00
A37	4.53	20.73	8.08		5.10	6.29	8.95	15.00
A38	3.66	13.21	5.13		6.97	7.43	7.28	15.00
A39	4.85	18.45	9.37		10.37	10.87	10.78	15.00
A40	4.04	14.91	6.32		7.06	8.35	8.14	15.00
A41	4.49	17.23	7.92		8.55	9.24	9.49	15.00
A42	3.07	10.99	3.52		5.30	5.53	5.68	15.00
A43	3.33	14.37	4.19		3.23	4.17	5.86	15.00
A44	3.25	11.69	3.96		5.29	6.01	6.04	15.00
A21A	1.90	6.34	1.26		2.19	2.73	2.88	15.00
A45	4.76	21.32	8.97		5.86	7.20	9.62	15.00
A46	3.24	12.49	3.93		4.39	5.09	5.83	15.00
A47	5.51	23.24	12.31		10.46	10.79	12.46	15.00
A48	3.89	16.15	5.83		5.49	5.99	7.47	15.00
A49	3.26	12.72	3.99		4.37	5.01	5.87	15.00
A50	7.56	34.81	24.20		14.83	15.52	19.38	24.20
A51	3.37	12.45	4.29		5.33	6.04	6.30	15.00
A52	5.11	22.33	10.46		8.18	8.66	10.95	15.00
A53	3.62	13.51	5.01		6.45	6.75	7.07	15.00

Fuente: Los Autores, 2025

Desde el punto de vista hidráulico, la adopción de un tiempo de concentración de 15 minutos en el diseño de sistemas de drenaje urbano mediante el método racional se justifica por la necesidad de garantizar que la duración de la lluvia de diseño

coincida con el tiempo que tarda el escurrimiento superficial en recorrer la cuenca hasta el punto de salida (WASA-GN, 2011).

El método racional, ampliamente utilizado en Colombia y recomendado por entidades como el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), establece que el caudal pico se calcula como $Q=0.278 \cdot C \cdot I \cdot$, donde la intensidad de la lluvia I debe corresponder a una duración igual al tiempo de concentración (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2020).

En este contexto, seleccionar un T_c de 15 minutos permite utilizar las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) disponibles para ese intervalo, las cuales son estándar en la mayoría de los estudios climáticos regionales y están incorporadas en las normas de diseño de drenaje urbano de INVÍAS y EAAB (EAAB-Norma Técnica, 2023).

Además, en cuencas urbanas pequeñas con pendientes suaves, como las que predominan en la región norte de Colombia, el escurrimiento superficial es rápido debido a la alta impermeabilización, pero también está sujeto a variabilidad por efectos locales como almacenamiento temporal, rugosidad superficial y obstrucciones en el sistema de drenaje. Por ello, aunque los métodos empíricos aplicados arrojen valores inferiores, adoptar un T_c de 15 minutos permite incorporar un margen de seguridad que compensa dichas incertidumbres y asegura que el caudal pico calculado sea representativo del evento crítico (Meza & Molina, 2019). Esta práctica está alineada con las recomendaciones de la EAAB, que en sus manuales técnicos sugiere no utilizar tiempos de concentración inferiores a 10 minutos para evitar subestimaciones del caudal de diseño, y con las directrices de INVÍAS (INVÍAS, 2011), que reconocen la validez del método racional para áreas menores a 200 hectáreas siempre que se utilicen tiempos de concentración compatibles con las curvas IDF disponibles. En consecuencia, el uso de 15 minutos como T_c no solo es hidráulicamente coherente, sino que también cumple con los

criterios normativos y técnicos establecidos para el diseño de infraestructura urbana en Colombia.

7.1.4. Estimación de la intensidad de Diseño

De acuerdo con lo definido en las curvas IDF, se seleccionó el método de Díaz Granados para el cálculo de las intensidades de diseño.

Cuadro 10. Cálculo de las intensidades de diseño para los diferentes periodos de retorno.

CUENCA	INTENSIDAD DE DISEÑO (I)								FACT. DE REDUCC. (R)
	2.33	3	5	10	25	50	100	200	
Nombre	(mm/h)								(adm)
A1	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A2	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A3	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A4	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A5	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A6	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A7	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A8	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A9	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A10	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A11	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A12	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A13	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A14	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A15	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A16	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A17	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A18	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A19	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A20	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A21	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A22	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A23	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A24	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A25	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A26	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A27	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A28	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A29	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A30	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00

CUENCA	INTENSIDAD DE DISEÑO (I)								FACT. DE REDUCC. (R)
	2.33	3	5	10	25	50	100	200	
Nombre	(mm/h)								(adm)
A31	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A32	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A33	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A34	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A35	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A36	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A37	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A38	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A39	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A40	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A41	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A42	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A43	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A44	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A21A	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A45	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A46	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A47	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A48	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A49	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A50	72.9	77.9	88.8	105.3	131.4	153.0	182.4	214.5	1.00
A51	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A52	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00
A53	92.6	99.0	112.7	133.8	166.9	194.3	231.7	272.5	1.00

Fuente: Los Autores, 2025.

7.2. CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS – MÉTODO RACIONAL

Debido al tamaño de las áreas de aporte, se definió el método racional para estimar los caudales de cada una de las áreas de aporte.

Cuadro 11. Caudales Máximos Instantáneos – Método Racional.

CUENCA	CAUDAL DE ESCORRENTÍA (Q)							Caudal Diseño
	2	3	5	10	25	50	100	
Nombre	(m3/s)							5
A1	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.03
A2	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06	0.07	0.03
A3	0.03	0.03	0.04	0.04	0.06	0.07	0.09	0.04
A4	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.04
A5	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.02

CUENCA	CAUDAL DE ESCORRENTÍA (Q)							Caudal Diseño
	2	3	5	10	25	50	100	
Nombre	(m3/s)							5
A6	0.04	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.13	0.05
A7	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01
A8	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
A9	0.03	0.03	0.04	0.04	0.06	0.08	0.09	0.04
A10	0.03	0.03	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.03
A11	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02
A12	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
A13	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.01
A14	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.06	0.02
A15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01
A16	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01
A17	0.09	0.09	0.11	0.13	0.17	0.22	0.27	0.11
A18	0.04	0.04	0.05	0.05	0.07	0.09	0.12	0.05
A19	0.04	0.05	0.05	0.06	0.08	0.11	0.13	0.05
A20	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.02
A21	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06	0.07	0.03
A22	0.08	0.08	0.10	0.11	0.15	0.20	0.24	0.10
A23	0.07	0.08	0.09	0.10	0.14	0.18	0.23	0.09
A24	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
A25	0.06	0.07	0.08	0.09	0.13	0.16	0.20	0.08
A26	0.04	0.04	0.05	0.05	0.07	0.09	0.12	0.05
A27	0.10	0.11	0.12	0.15	0.20	0.26	0.32	0.12
A28	0.07	0.08	0.09	0.10	0.14	0.18	0.23	0.09
A29	0.03	0.03	0.04	0.04	0.06	0.08	0.10	0.04
A30	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05	0.06	0.07	0.03
A31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
A32	0.06	0.06	0.07	0.08	0.11	0.14	0.18	0.07
A33	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02
A34	0.14	0.15	0.17	0.20	0.27	0.35	0.43	0.17
A35	0.22	0.24	0.27	0.32	0.44	0.56	0.70	0.27
A36	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.03
A37	0.04	0.05	0.05	0.06	0.08	0.11	0.13	0.05
A38	0.06	0.07	0.07	0.09	0.12	0.15	0.19	0.07
A39	0.12	0.13	0.15	0.18	0.24	0.31	0.38	0.15
A40	0.16	0.18	0.20	0.24	0.33	0.41	0.51	0.20
A41	0.11	0.12	0.13	0.16	0.22	0.28	0.34	0.13
A42	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.03
A43	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06	0.07	0.03
A44	0.06	0.06	0.07	0.08	0.11	0.14	0.17	0.07

CUENCA	CAUDAL DE ESCORRENTÍA (Q)							Caudal Diseño
	2	3	5	10	25	50	100	
Nombre	(m3/s)							5
A21A	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.02
A45	0.07	0.08	0.09	0.11	0.15	0.19	0.23	0.09
A46	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.03
A47	0.06	0.07	0.08	0.09	0.13	0.16	0.20	0.08
A48	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.02
A49	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.03
A50	0.13	0.14	0.16	0.19	0.27	0.34	0.42	0.16
A51	0.05	0.05	0.06	0.07	0.10	0.13	0.16	0.06
A52	0.03	0.04	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.04
A53	0.03	0.04	0.04	0.05	0.07	0.08	0.10	0.04

Fuente: Los Autores, 2025.

8. DISEÑO DEL DRENAJE PLUVIAL DE LA VÍA

8.1. GENERALIDADES DEL DISEÑO

Teniendo en cuenta que el municipio no cuenta con alcantarillado pluvial y que el drenaje pluvial se maneja de forma superficial por las vías en su mayoría, el concepto del diseño está planteado teniendo en cuenta estas condiciones y se dio prioridad a las descargas superficiales. Por tal motivo, el uso de estructuras de drenaje como tuberías, manholes queda descartado, debido a que este tipo de sistemas requiere una cobertura mínima obligando a profundizar el sistema y dificultando las descargas superficiales.

Por lo tanto, el sistema se trató de manejar, en la medida de lo posible con drenaje superficial, hasta cumplir con los anchos máximos de inundación en la vía, definidos por la Resolución 0330 de 2017.

Cuadro 12. Ancho Max Inundación – Resolución 0330 de 2017.

ARTÍCULO 156. Requisitos de diseño de sumideros. Deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Deben ubicarse antes de los cruces de vías, antes de las zonas de tránsito de peatones, en la reducción de la pendiente longitudinal de la vía en el sentido de la esorrentía, en puntos bajos y depresiones.
2. Se deben justificar los métodos utilizados en el análisis del comportamiento hidráulico de los sumideros. Los anchos de inundación admisibles deben ser los establecidos en la Tabla 21.

Tabla 21. 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.

8.2. TOPOLOGÍA Y NOMENCLATURA PARA EL CÁLCULO

Para efectos del cálculo hidráulico de cada uno de los elementos proyectados, se toman los nombres y numeraciones señaladas en los planos. (Ver planos anexos).

8.2.1. Cálculo hidráulico de anchos de inundación.

A continuación, se muestra el resumen del cálculo de los anchos máximos de inundación y las tirantes para cada uno de los tramos.

Cuadro 13. Cálculos anchos de inundación

Nombre	Area de Aporte	Tipo de Sección Canal de Descarga	Caudal de Diseño Q_D (m^3/s)	Pendiente	Tirante (m)	Ancho Lámina de agua (m)	Ancho Inundación (Max)
			5 años	(m/m)	(m)	(m)	(m)
T-01	A15	Superficial	0.023	0.0097	0.043	2.15	3.000
T-02	A14	Superficial	0.036	0.0096	0.051	2.55	3.000
T-03	A13	Superficial	0.024	0.0089	0.044	2.20	3.000
T-04	A12	Superficial	0.015	0.0011	0.055	2.75	3.000
T-05	A16	Superficial	0.020	0.0101	0.040	2.00	3.000
T-07	A20	Superficial	0.039	0.003	0.062	3.10	3.500
T-11	A11	Superficial	0.027	0.0022	0.027	1.35	3.000
T-12	A10	Superficial	0.052	0.0100	0.058	2.90	3.000
T-13	A9	Superficial	0.051	0.0093	0.058	2.90	3.000
T-14	A21	Superficial	0.054	0.0102	0.059	2.95	3.000
T-17	A7	Superficial	0.015	0.0115	0.035	1.75	3.000
T-18	A24	Superficial	0.024	0.0118	0.042	2.10	3.000
T-19	A24-25	Rectangular	0.178	0.0050	0.369	0.40	
T-20	A26	Superficial	0.087	0.0137	0.066	3.30	3.500
T-21	A26	Rectangular	0.087	0.0061	0.195	0.40	
T-22	A7-8-24-25-26	Rectangular	0.293	0.028	0.186	0.60	
T-23	A6	Superficial	0.059	0.0125	0.058	2.90	3.000
T-24	A30	Superficial	0.035	0.0094	0.050	2.50	3.000
T-25	A28-29-30	Rectangular	0.233	0.0135	0.307	0.40	

Nombre	Area de Aporte	Tipo de Sección Canal de Descarga	Caudal de Diseño Q_D (m^3/s)	Pendiente	Tirante (m)	Ancho Lámina de agua (m)	Ancho Inundación (Max)
			5 años	(m/m)	(m)	(m)	(m)
T-26	A6-28-29-30	Rectangular	0.291	0.023	0.197	0.60	
T-27	A5	Superficial	0.062	0.0131	0.057	2.85	3.000
T-28	A31	Superficial	0.008	0.0014	0.041	2.05	3.000
T-29	A31-32-33	Rectangular	0.149	0.0055	0.307	0.40	
T-30	A5-31-32-33-34-35	Rectangular	0.737	0.061	0.273	0.60	
T-31	A4	Superficial	0.041	0.0051	0.060	3.00	3.000
T-32	A36	Superficial	0.042	0.0055	0.060	3.00	3.000
T-33	A36-37	Rectangular	0.103	0.0046	0.247	0.40	
T-34	A3	Superficial	0.058	0.0174	0.054	2.70	3.000
T-35	A40-41	Rectangular	0.509	0.0156	0.345	0.60	
T-36	A3-36-37-38-39-40-41	Rectangular	0.966	0.015	0.581	0.60	
T-37	A2	Superficial	0.047	0.0075	0.059	2.95	3.000
T-38	A1	Superficial	0.043	0.0055	0.060	3.00	3.000
T-39	A42-43-44	Rectangular	0.177	0.006	0.345	0.40	
CV-01	A16-17	Rectangular	0.195	0.0097	0.304	0.40	
CV-02	A19-20	Rectangular	0.086	0.0030	0.254	0.40	
CV-03	A16-17-18-19-20	Rectangular	0.336	0.0080	0.325	0.60	
CV-04	A21	Rectangular	0.054	0.0106	0.113	0.40	
CV-05	A23	Rectangular	0.160	0.0050	0.338	0.40	
CV-06	A21-22-23	Rectangular	0.345	0.0050	0.396	0.60	
CV-07	A24-25	Rectangular	0.178	0.0104	0.275	0.40	
CV-08	A24-25-26	Rectangular	0.265	0.0050	0.324	0.60	
CV-09	A27	Rectangular	0.181	0.0050	0.373	0.40	
CV-10	A29	Rectangular	0.075	0.0134	0.131	0.40	
CV-11	A28-29-30	Rectangular	0.233	0.0300	0.154	0.60	
CV-12	A34-35	Rectangular	0.527	0.0080	0.459	0.60	

Nombre	Area de Aporte	Tipo de Sección Canal de Descarga	Caudal de Diseño Q_D (m^3/s)	Pendiente	Tirante (m)	Ancho Lámina de agua (m)	Ancho Inundación (Max)
			5 años	(m/m)	(m)	(m)	(m)
CV-13	A31-32-33-34-35	Rectangular	0.675	0.0300	0.334	0.60	
CV-14	A38-39	Rectangular	0.296	0.0050	0.352	0.60	
CV-15	A41	Rectangular	0.153	0.0052	0.322	0.40	
CV-16	A36-37-38-39-40-41	Rectangular	0.908	0.0150	0.552	0.60	
CV-17	A42	Rectangular	0.036	0.0050	0.111	0.40	
CV-18	A42-43-44	Rectangular	0.177	0.0050	0.367	0.40	

Actualmente el área del proyecto cuenta con estructuras de drenaje vial existentes, las cuales serán evaluadas a continuación, con el fin de identificar su utilidad, teniendo en cuenta los caudales y dimensiones establecidos anteriormente, además de su compatibilidad con el diseño propuesto.

- Cuneta K0+120-K0+145

Se evidencia una estructura existente la cual pasa por la sobre el cruce con la carrera 22 debe ser modificada debido a la ampliación de la vía.

Figura 28. Cuneta K0+120-K0+145



Fuente: Google Earth, 2025.

Se presenta la imagen de la estructura en color naranja con la ampliación de la via en color azul donde se evidencia la superposición de esta respecto al nuevo diseño.

Figura 29. Cuneta K0+120-K0+145



Fuente: Los Autores, 2025.

- **Box culvert K0+145**

Se evidencia una estructura existente que realiza el cruce de los caudales acumulados en la zona norte el cual debe ser modificado por la ampliación de la vía, adicionalmente se requiere mejorar las dimensiones para mejorar el manejo de los caudales pluviales y realizar un análisis de la localización de este para ver si su ubicación es la mas optima respecto a los puntos altos y bajos de la vía

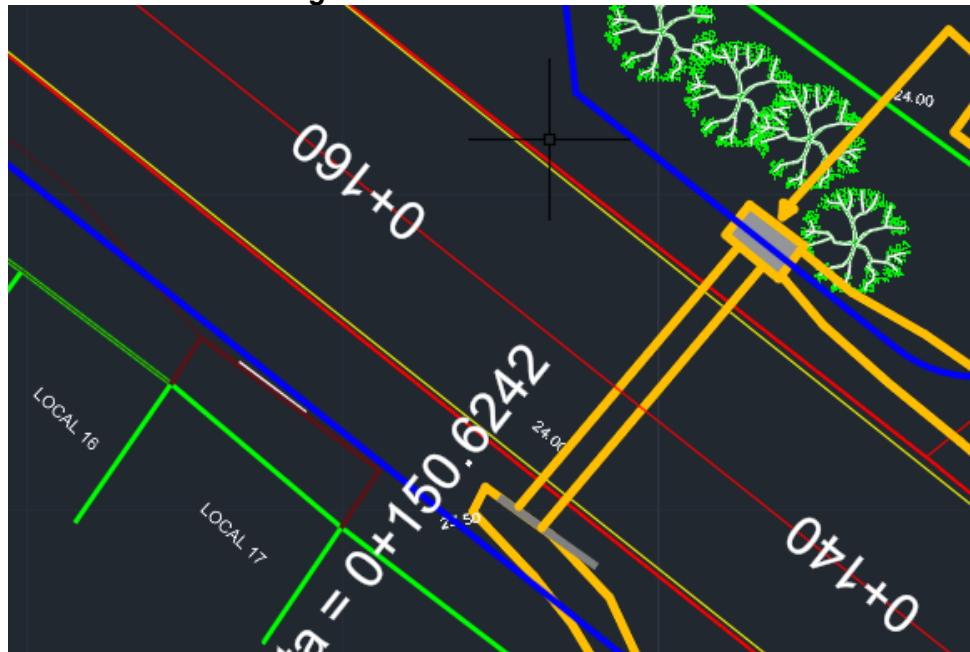
Figura 30. Box culvert K0+145



Fuente: Google Earth, 2025.

Se presenta la imagen de la estructura en color naranja con la ampliación de la vía en color azul donde se evidencia que la estructura existente no tiene la longitud necesaria por lo que debe ser ampliada.

Figura 31. Box Culvert K0+145



Fuente: Los Autores, 2025.

- Canal K0+120-K0+145 zona sur

Se evidencia una estructura existente la cual pasa por la sobre el cruce con la carrera 22 en la zona sur que transporta el caudal del box culvert mencionado anteriormente

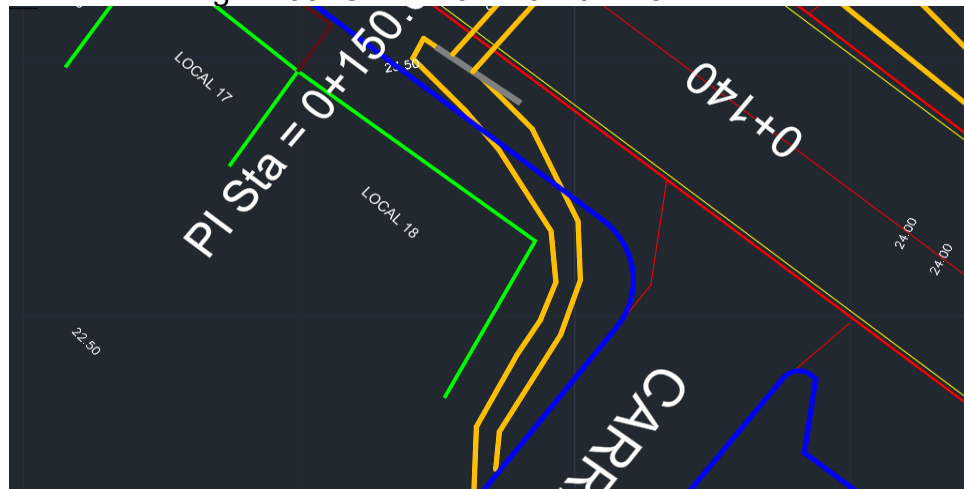
Figura 32. Canal K0+120-K0+145 zona sur



Fuente: Google Earth, 2025.

Se presenta la imagen de la estructura en color naranja con la ampliación de la vía en color azul donde se evidencia la superposición de esta respecto al nuevo diseño y se requiere la relocalización de este para no interferir con la nueva propuesta.

Figura 33. Canal K0+120-K0+145 zona sur



Fuente: Los Autores, 2025.

- Canal K0+340-K0+900

Se evidencia serie de estructuras conformadas en su mayor parte por un canal además de otras estructuras como pasa canales para no generar problemas en las entradas a las viviendas, todas las estructuras se deben relocalizar debido a la ampliación de la vía.

Figura 34. Canal K0+340-K0+900

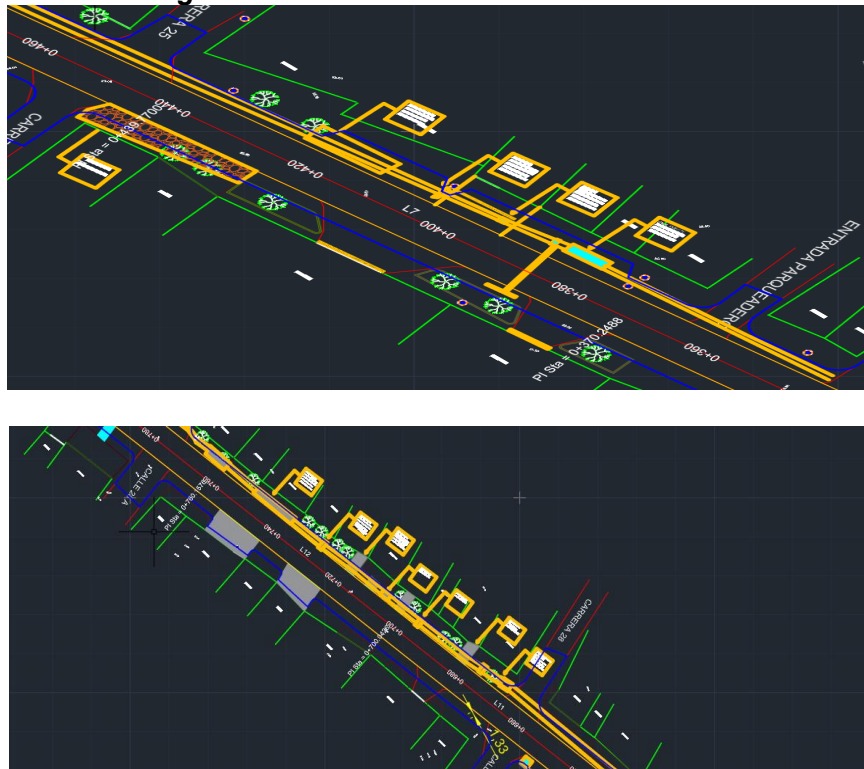




Fuente: Google Earth, 2025.

Se presenta la imagen de la estructura en color naranja con la ampliación de la vía en color azul donde se evidencia la superposición de esta respecto al nuevo diseño y se requiere la relocalización de este para no interferir con la nueva propuesta.

Figura 35. Canal K0+340-K0+900 zona sur



Fuente: Los Autores, 2025.

Para todas las entidades presentes entre las abscisas 340 a 900 se requiere realizar la relocalización de los canales y pasa canales ya que debido a la ampliación de la vía.

- Cuneta abscisa K1+230 – K1+100 zona norte

Entre la abscisa K1+230 – K1+100 de la zona norte se evidencia la presencia de una estructura de drenaje hidráulico de tipo cuneta, con presencia de 3 pasa canales en servicio a las viviendas.

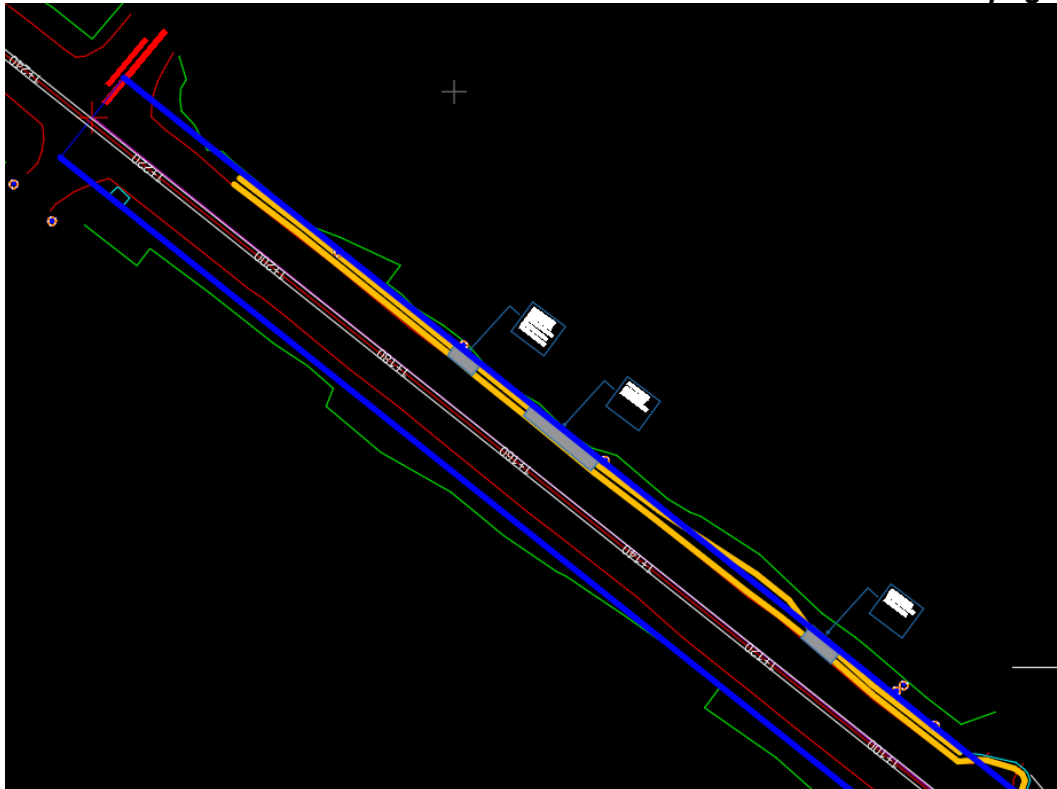
Figura 36. Cuneta abscisa K0+020 – K0+140 zona norte



Fuente: Google Earth, 2025.

Sin embargo, como resultado del proceso de ampliación vial, la cuneta existente (representada con trazado amarillo en la imagen) pierde su funcionalidad y se considera obsoleta frente al nuevo diseño planteado (trazado azul). Esta condición se presenta debido a la modificación del alineamiento y sección de la vía, lo que altera el flujo hidráulico previsto en la cuneta original. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta la disposición de los pasacanales (rectángulos grises), cuya ubicación y dimensiones influyen directamente en la eficiencia y compatibilidad de las estructuras de drenaje con la propuesta de diseño.

Figura 37. Cuneta abscisa K0+020 – K0+140 zona norte – levantamiento topografico



Fuente: Los Autores, 2025.

- Cruce vial K1+090 zona norte

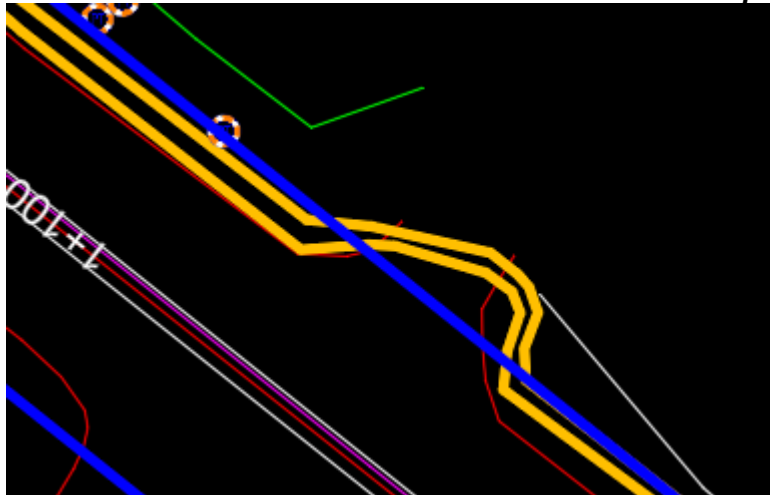
Dentro del levantamiento topográfico se identifica el cruce vial abscisa K1+0.90, a continuación.

Figura 38. Cruce vial K1+090 zona norte



Fuente: Google Earth, 2025.

Figura 39. Cruce vial K1+090 zona norte – levantamiento topografico



Fuente: Los Autores, 2025.

Si bien el cruce se encuentra por fuera del área de ampliación vial, la estructura existente resulta insuficiente para conducir el caudal generado por las áreas de aporte, estimado en $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$. Esto se debe a su reducida profundidad, que limita su capacidad hidráulica a un máximo de $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$, tal como se evidencia a continuación.

Figura 40. Análisis hidráulico

cruce_1

Type: Triangular Define...

Side Slope 1 (Z1): 0.1 H: 1V

Side Slope 2 (Z2): 50.0 H: 1V

Channel Width (B): 0.60000001 (m)

Pipe Diameter (D): 0.0 (m)

Longitudinal Slope: 0.005 (m/m)

Manning's Roughness: 0.0200

☐ Enter Flow: 0.119 (cms)

☒ Enter Depth: 0.100 (m)

Calculate

Plot... Compute Curves...

Parameter	Value	Units
Flow	0.119	cms
Depth	0.100	m
Area of Flow	0.251	m ²
Wetted Perimeter	5.101	m
Hydraulic Radius	0.049	m
Average Velocity	0.474	m/s
Top Width (T)	5.010	m
Froude Number	0.677	
Critical Depth	0.225	m
Critical Velocity	0.094	m/s
Critical Slope	0.000...	m/m
Critical Top Width	1413....	m
Calculated Max Shear...	4.901	N/m...
Calculated Avg Shear...	2.407	N/m...

OK Cancel

Fuente: Los Autores, 2025.

- Canal abscisa K1+080-K0+970

En esta sección de la vía, se encuentra una estructura hidráulica de tipo canal que genera una descarga superficial sobre la abscisa 0+970

Figura 41. Canal abscisa K1+080-0+970



Fuente: Google Earth, 2025.

Figura 42. Canal abscisa K1+080-K0+970 levantamiento topográfico



Fuente: Los Autores, 2025.

"En el tramo comprendido entre la abscisa K1+080 y K1+935, el diseño proyectado se solapa con la ampliación vial, lo que ocasiona que esta sección de la estructura quede sin funcionalidad. Para el resto del canal, se efectuó el análisis hidráulico considerando un ancho de 0,80 m y una pendiente de 0,003 m/m, obteniéndose una capacidad de conducción de 0,402 m³/s. Dicho valor resulta insuficiente frente al caudal esperado de 0,60 m³/s.

Figura 43. Canal abscisa K1+080-K0+970 Análisis hidráulico

canal k0+970-k1+040

Type: Rectangular Define...

Side Slope 1 (Z1): 0.0 H: 1V

Side Slope 2 (Z2): 0.0 H: 1V

Channel Width (B): 0.8 (m)

Pipe Diameter (D): 0.0 (m)

Longitudinal Slope: 0.003 (m/m)

Manning's Roughness: 0.0200

☐ Enter Flow: 0.402 (cms)

☒ Enter Depth: 0.500 (m)

Calculate

Plot... Compute Curves...

OK Cancel

Parameter	Value	Units
Flow	0.402	cms
Depth	0.500	m
Area of Flow	0.400	m ²
Wetted Perimeter	1.800	m
Hydraulic Radius	0.222	m
Average Velocity	1.005	m/s
Top Width (T)	0.800	m
Froude Number	0.454	
Critical Depth	0.295	m
Critical Velocity	1.702	m/s
Critical Slope	0.012...	m/m
Critical Top Width	0.800	m
Calculated Max Shear...	14.703	N/m...
Calculated Avg Shear...	6.535	N/m...

Fuente: Los Autores, 2025.

- Cuneta K0+960 – K0+920

Se evidencia la presencia de una estructura de drenaje hidráulico de tipo cuneta, con presencia de 2 pasa canales en servicio a las viviendas.

Figura 44. Canal abscisa K1+080-K0+970



Fuente: Google Earth, 2025.

Figura 45. Canal abscisa K1+080-K0+970 Levantamiento topográfico



Fuente: Los Autores, 2025.

Sin embargo, como resultado del proceso de ampliación vial, la cuneta existente (representada con trazado amarillo en la imagen) pierde su funcionalidad y se considera obsoleta frente al nuevo diseño planteado (trazado azul).

9. BIBLIOGRAFÍA

- Hydrologic Engineering Center HEC HMS Reference manual.
- Hydrologic Engineering Center HEC RAS Reference manual.
- Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1. Revised September 2015
- Instituto Nacional de Vías - INVIAS, Manual de Drenaje para Carreteras, Bogotá, 2009.
- J.A. Maza Socavación en Cauces Naturales, Secretaría de Obras Públicas, México, 1968
- V. T. Chow, Hidrología Aplicada, Bogotá D.C.: McGraw-Hill Interamericana S.A., 1994.
- V.T. Chow Handbook of Applied Hydrology McGraw Hill, 1964
- V.T. Chow Hidráulica de Canales Abiertos, Mc Graw Hill, 2003
- Hidráulica de Tuberías y Canales, Arturo Rocha Felices, Bogotá, 1990.
- Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable de Saneamiento Básico. RAS 2017. Resolución 0330 de 2017. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, República de Colombia. Bogotá, 08 de Junio de 2017.
- Información suministrada por el IDEAM correspondiente a los datos climáticos y pluviométricos que se utilizaron para la realización del estudio, entre el período 1980 a 2019.
- Hidrología en la Ingeniería, 2ª Edición. Monsalve, Escuela Colombiana de Ingeniería. Editorial Alfa y Omega. 1998.
- Metodología Índice de Escasez, H. Rivera, IDEAM, 2004.
- Estudios y Diseños del Plan Maestro de Drenajes Pluviales del Distrito de Cartagena. Consorcio Consultores Cartagena – Convenio Alcaldía Distrital de Cartagena, 2009.

- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2020). *CÁLCULOS HIDROLÓGICOS*. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5fa5b37b6af8e.pdf>
- EAAB-Norma Técnica. (2023). *CRITERIOS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO*
- INVIAS. (2011). *Manual de drenaje para carreteras*. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras/file>
- Meza, B., & Molina, J. (2019). *DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN QUE MÁS SE AJUSTA A LAS CUENCAS URBANAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA*.
- WASA-GN. (2011). *PROYECTO “METODO RACIONAL.”* <https://www.wasa-gn.net/private/admin/ficheiros/uploads/47ac6decaf84e70811097da22ddab634.pdf>