

**ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y DETERMINACIÓN DEL CAUDAL EN LA PLAZA DE
MERCADO LEOPOLDO ROTHER, GIRARDOT, CUNDINAMARCA**

**LINA TATIANA RIVERA GONZÁLEZ
YASIRLEY SEVILLA ROA**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
GIRARDOT, CUNDINAMARCA
2025**

**ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y DETERMINACIÓN DEL CAUDAL EN LA PLAZA DE
MERCADO LEOPOLDO ROTHER, GIRARDOT, CUNDINAMARCA**

LINA TATIANA RIVERA GONZÁLEZ
lina-rivera2@upc.edu.co
YASIRLEY SEVILLA ROA
yasirley-sevilla@upc.edu.co

Trabajo de grado

Asesor:

GENARO PENAGOS CRUZ
Ingeniero Industrial
g-gpenagos@unipiloto.edu.co
JESUS FLAMINIO OSPITIA PRADA
Ingeniero Civil
jesus-ospitia@unipiloto.edu.co

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
GIRARDOT, CUNDINAMARCA
2025**

Nota de aceptación

El presente trabajo de grado, titulado “Análisis hidrológico y determinación del caudal en la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, Girardot, Cundinamarca”, realizado por Lina Tatiana Rivera González y Yasirley Sevilla Roa, fue revisado y aprobado por el jurado evaluador designado por la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia-Seccional del Alto Magdalena, como requisito parcial para optar al título de Ingeniera Civil.

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

AGRADECIMIENTOS

Las autoras expresan su más profundo agradecimiento a Dios, por haberle concedido la fortaleza, la claridad y la perseverancia necesarias para culminar con éxito este proceso académico, y por guiar cada paso de su formación profesional con sabiduría y propósito.

De igual manera, extiende su sincero reconocimiento a las familias de las autoras, por su constante apoyo, comprensión y amor incondicional, que se convirtieron en el motor fundamental para alcanzar los objetivos propuestos. Su paciencia, confianza y aliento fueron esenciales en los momentos de mayor exigencia y compromiso.

A los docentes y asesores de la Facultad de Ingeniería Civil, quienes con su orientación, conocimiento y exigencia académica contribuyeron al desarrollo de las competencias necesarias para la ejecución de este trabajo de grado. Su acompañamiento riguroso y su disposición permanente favorecieron el crecimiento profesional y humano durante todo el proceso de investigación.

Asimismo, se agradece a la Universidad Piloto de Colombia-Seccional del Alto Magdalena, por brindar los espacios, recursos y herramientas que hicieron posible la consolidación de este proyecto, y por su compromiso con la formación integral de profesionales capaces de aportar soluciones sostenibles, técnicas y socialmente responsables al país.

Este trabajo representa el resultado del esfuerzo conjunto, la disciplina y la convicción de que el conocimiento, guiado por la fe y el apoyo familiar, puede transformar la realidad y contribuir al desarrollo de la ingeniería civil y al bienestar de la comunidad.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	1
2. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	3
2.1. FORMULACION DEL PROBLEMA	4
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. OBJETIVOS	7
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
5. MARCO REFERENCIAL.....	8
5.1. ANTECEDENTES	8
5.2. MARCO TEÓRICO.....	10
5.2.1. MÉTODO RACIONAL	11
5.3. MARCO CONCEPTUAL.....	19
5.4. MARCO LEGAL.....	21
5.5. MARCO GEOGRAFICO	23
5.6. MARCO DEMOGRAFICO	28
6. DELIMITACIÓN.....	30
7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	31
7.1. TIPO DE INVESTIGACION	31
7.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	31
7.2.1. Revisión bibliográfica y antecedentes	32
7.2.2. Recolección de datos hidrometeorológicos	32
7.2.3. Cálculo de parámetros hidrológicos	32
7.2.4. Análisis de resultados y conclusiones	33
7.3. TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	33
7.4. INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	33
8. RECURSOS.....	35
8.1. RECURSO HUMANO.....	35
8.2. RECURSO MATERIAL.....	35
9. DESARROLLO PROPUESTA.....	37
9.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	37
9.2. PRECIPITACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.....	42
9.3. INTENSIDAD DE LA LLUVIA Y CURVAS IDF	44
9.3.1. Periodo de retorno.....	47
9.4. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.....	48
9.5. CÁLCULO DEL CAUDAL DE DISEÑO	48
9.5.1. Características fisiográficas de la cuenca y condiciones del entorno	50
9.6. CURVA IDF Y CAUDAL - ESTACION GUAMO (GUAMO)	55
9.7. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	58
10. CONCLUSIONES.....	63
11. RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS	67
ANEXOS.....	77

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Rango de aplicabilidad del método racional en Colombia</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2: Coeficiente de escurrimiento comunes para su uso con el método racional</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 3: Valores del coeficiente de escorrentía en áreas urbanas</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 4: Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 5: Marco legal aplicable al estudio hidrológico de la Plaza de Mercado Leopoldo Rother</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 6: Precipitación anual máxima en 24 horas (Estación: Aeropuerto Santiago Vila)</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 7: Valores de intensidad (mm/h)</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 8: Periodos de retorno.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 9: Valores determinados para el caudal.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 10: Interpolación lineal de la intensidad</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 11: Tabla de valores para el cálculo del caudal.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 12: Cuadro comparativo de resultados hidrológicos.....</i>	<i>59</i>

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 2: Mapa conceptual del estudio hidrológico de la Plaza de mercado de Girardot</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 3: Mapa de Colombia-Cundinamarca-Girardot.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 4: Cartografía Básica de Girardot</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 5: Cartografía de la Plaza de Mercado</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 6: Georreferenciación de la Plaza de Mercado</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 7: Identificación del sitio - Plaza de Mercado Leopoldo Rother</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 8: Indicadores demográficos del municipio de Girardot (2018).....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 9: Indicadores demográficos del municipio de Girardot (2018-2025)</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 10: Diagrama de flujo del proceso metodológico.....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 11: Delimitación del área de la cubierta</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 12: Registro grafico de la estructura</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 13: Planos arquitectónicos en planta del Nivel 1 y Nivel 2.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 14: Área de la cubierta</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 15: Estado de la cubierta.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 16: Ortofoto Plaza de Mercado Leopoldo Rother</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 17: Estación meteorológica Aeropuerto Santiago Vila.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 18: Curvas IDF: Estación Aeropuerto Santiago Vila (Flandes) código: 21185040.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 19: Distribución de municipios de la cuenca del rio Bogotá.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 20: Localización de la plaza de mercado en la zona hidrográfica del Alto Magdalena</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 21: Distribución de precipitaciones mensuales en la cuenca del rio Bogotá</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 22: Zonificación climática en la cuenca del rio Bogotá</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 23: Distribución registro de eventos amenazantes dentro de la cuenca del rio Bogotá</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 24: Curvas IDF Estación Guamo (Guamo)</i>	<i>56</i>

LISTA DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1: Método racional.....</i>	<i>11</i>
<i>Ecuación 2: Intensidad de precipitación</i>	<i>16</i>
<i>Ecuación 3: Ecuación de Kirpich</i>	<i>17</i>
<i>Ecuación 4: Ecuación de Ventura - Heras</i>	<i>18</i>
<i>Ecuación 5: Calculo caudal de diseño en m³ /s (Plaza de mercado)</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 6: Calculo del caudal de diseño en L/s (Plaza de mercado).....</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 7: Interpolación.....</i>	<i>57</i>
<i>Ecuación 8: Calculo del caudal en m³ /s (Guamo).....</i>	<i>58</i>
<i>Ecuación 9: Calculo del caudal en L/s (Guamo)</i>	<i>58</i>

LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo A. Cálculo caudal de diseño</i>	82
--	-----------

RESUMEN

El trabajo de grado titulado “Análisis hidrológico y determinación del caudal en la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, Girardot, Cundinamarca” se desarrolló con el propósito de evaluar el comportamiento pluvial sobre la cubierta del inmueble, identificar las causas de los problemas de drenaje y establecer los parámetros hidrológicos necesarios para su futura intervención. El estudio surge ante la necesidad de mejorar la funcionalidad hidráulica de una edificación de alto valor patrimonial que presenta anegamientos recurrentes y deterioro estructural debido a la insuficiencia de su sistema de evacuación de aguas lluvias.

La investigación se estructuró en cinco capítulos. En el primero se contextualiza el origen y los antecedentes del problema, así como los objetivos y la importancia del estudio dentro del ámbito de la ingeniería civil y la gestión del recurso hídrico urbano. El segundo capítulo desarrolla el marco teórico, donde se abordan los fundamentos de la hidrología aplicada, el método racional y la construcción de las curvas IDF con base en las directrices del RAS (2017) y del Manual de Drenaje de INVIAS (2009). El tercer capítulo describe la metodología empleada, la cual se basó en un enfoque cuantitativo y analítico apoyado en la recopilación y procesamiento de datos pluviométricos de las estaciones El Guamo y Aeropuerto Santiago Vila, reportadas por el IDEAM. En el cuarto capítulo se presentan los resultados obtenidos del análisis estadístico, el cálculo de intensidades y la determinación de los caudales de escorrentía. Finalmente, el quinto capítulo expone las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio, orientadas a la mejora del sistema de drenaje y al aprovechamiento sostenible de las aguas pluviales.

Los resultados evidenciaron diferencias notables en los caudales de diseño calculados con cada estación: $0,396 \text{ m}^3 / \text{s}$ (395,93 L/s) para la estación Aeropuerto Santiago Vila y $0,127 \text{ m}^3 / \text{s}$ (126,78 L/s) para la estación El Guamo, confirmando la sensibilidad del método racional frente a la variación de la intensidad de precipitación y la relevancia de utilizar información pluviométrica local actualizada. A partir de estos hallazgos, se determinó que la red de drenaje de la plaza es insuficiente frente a eventos de lluvia intensa, lo que explica los anegamientos recurrentes y la pérdida de funcionalidad hidráulica del inmueble.

El trabajo aporta una línea base hidrológica para futuras intervenciones técnicas en la Plaza de Mercado Leopoldo Rother y ofrece criterios aplicables al diseño de sistemas de captación, almacenamiento y manejo sostenible de aguas lluvias en edificaciones urbanas de características similares. Asimismo, promueve la integración entre la ingeniería civil, la sostenibilidad ambiental y la conservación patrimonial, contribuyendo al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, relativo al uso eficiente y seguro del agua.

PALABRAS CLAVE: hidrología urbana, método racional, curvas IDF, caudal de diseño, drenaje pluvial, aprovechamiento de aguas lluvias, sostenibilidad hídrica, patrimonio arquitectónico.

ABSTRACT

The undergraduate thesis entitled “Hydrological Analysis and Determination of Flow at the Leopoldo Rother Marketplace, Girardot, Cundinamarca” was developed with the purpose of evaluating the rainfall behavior over the building’s roof, identifying the causes of drainage problems, and establishing the hydrological parameters necessary for its future intervention. The study arises from the need to improve the hydraulic functionality of a building of high patrimonial value that presents recurrent flooding and structural deterioration due to the insufficiency of its rainwater drainage system.

The research was structured in five chapters. The first chapter contextualizes the origin and background of the problem, as well as the objectives and importance of the study within the field of civil engineering and urban water resource management. The second chapter develops the theoretical framework, where the fundamentals of applied hydrology, the rational method, and the construction of IDF curves are addressed, based on the guidelines of RAS (2017) and the INVIAS Drainage Manual (2009). The third chapter describes the methodology used, which was based on a quantitative and analytical approach supported by the collection and processing of pluviometric data from the El Guamo and Aeropuerto Santiago Vila stations, reported by IDEAM. The fourth chapter presents the results obtained from the statistical analysis, the calculation of intensities, and the determination of runoff flow rates. Finally, the fifth chapter presents the conclusions and recommendations derived from the study, aimed at improving the drainage system and the sustainable use of rainwater.

The results showed notable differences in the design flow rates calculated with each station: 0.396 m³/s (395.93 L/s) for the Aeropuerto Santiago Vila station and 0.127 m³/s (126.78 L/s) for the El Guamo station, confirming the sensitivity of the rational method to the variation in rainfall intensity and the relevance of using updated local pluviometric information. Based on these findings, it was determined that the market’s drainage network is insufficient when facing intense rainfall events, which explains the recurrent flooding and the loss of hydraulic functionality of the building.

The work provides a hydrological baseline for future technical interventions in the Leopoldo Rother Marketplace and offers applicable criteria for the design of collection, storage, and sustainable management systems for rainwater in urban buildings with similar characteristics. Likewise, it promotes the integration between civil engineering, environmental sustainability, and heritage conservation, contributing to the fulfillment of Sustainable Development Goal 6, related to the efficient and safe use of water.

KEYWORDS: urban hydrology, rational method, IDF curves, design flow rate, storm drainage, rainwater use, water sustainability, architectural heritage.

1. INTRODUCCION

El presente trabajo de grado se desarrolló a partir de la necesidad de comprender y dar respuesta a las problemáticas de drenaje pluvial que afectaban a la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, ubicada en el municipio de Girardot, Cundinamarca. Este edificio, de alto valor histórico y patrimonial, presentaba deficiencias en el manejo de aguas lluvias que habían generado recurrentes episodios de encharcamiento y deterioro en las cubiertas, afectando su funcionalidad y conservación. Estas situaciones, advertidas en el Plan Especial de Manejo y Protección (PEMP) emitido por el Ministerio de Cultura (2021), motivaron la realización de un estudio técnico para diagnosticar el comportamiento hidrológico del inmueble y establecer parámetros de diseño que garantizaran una adecuada gestión pluvial.

El origen de esta investigación se enmarcó en la importancia de integrar los principios de la ingeniería civil y la sostenibilidad ambiental en la conservación de edificaciones patrimoniales. La Plaza de Mercado Leopoldo Rother, diseñada por el arquitecto alemán del mismo nombre, constituye un referente de la arquitectura moderna en Colombia y representa un punto estratégico para el desarrollo social y económico de Girardot. No obstante, el aumento en la frecuencia de lluvias intensas, derivado de la variabilidad climática, sumado a la obsolescencia de su sistema de drenaje, evidenció la necesidad de aplicar criterios hidrológicos actualizados que respondieran a las condiciones reales del entorno urbano.

En este contexto, el estudio tuvo como objetivo general realizar un análisis hidrológico de la plaza para determinar el caudal de diseño mediante la aplicación del método racional, con el fin de establecer una base técnica para el redimensionamiento y aprovechamiento de las aguas lluvias. Los objetivos específicos incluyeron el análisis de los registros meteorológicos de las estaciones de referencia, la construcción de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para la zona de estudio y el cálculo de los caudales de escorrentía asociados a la cubierta del inmueble.

El alcance del trabajo comprendió el análisis y procesamiento de información pluviométrica proveniente de las estaciones El Guamo y Aeropuerto Santiago Vila, considerando la variación espacial y temporal de las precipitaciones y su incidencia en la generación de escorrentía. Se limitó al cálculo del caudal máximo de diseño para la superficie de la plaza, sin incluir el dimensionamiento detallado de las estructuras de drenaje ni la modelación hidráulica de la red existente, con el propósito de concentrar los esfuerzos en el diagnóstico hidrológico y en la generación de parámetros de referencia aplicables a futuros proyectos de adecuación.

Las bases teóricas y prácticas del estudio se sustentaron en los principios de la hidrología aplicada y el manejo del agua en entornos urbanos. Se adoptaron los lineamientos del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS, 2017), el Manual de Drenaje de INVIAS (2009) y los fundamentos conceptuales propuestos por Gómez (2007) y Gribbin (2017), quienes destacan la pertinencia del método racional en superficies pequeñas y de alta impermeabilidad. Estas referencias brindaron el marco metodológico

necesario para garantizar la validez técnica de la investigación y su coherencia con la normativa nacional.

La metodología aplicada fue de enfoque cuantitativo y descriptivo. Se realizó un análisis estadístico de los datos pluviométricos y su transformación en curvas IDF ajustadas a la realidad local. Posteriormente, se aplicó el método racional para determinar el caudal máximo de escorrentía, considerando las variables de intensidad, área y coeficiente de escorrentía. Los resultados obtenidos se interpretaron con criterios técnicos para evaluar la suficiencia del sistema de drenaje actual y su respuesta frente a eventos de lluvia intensa.

El impacto esperado de esta investigación radica en aportar información técnica que contribuya a mejorar la eficiencia del sistema de drenaje pluvial de la plaza, reduciendo los riesgos de encharcamientos y deterioro estructural, y promoviendo su conservación como bien de interés cultural. Además, los resultados servirán como base de referencia para la formulación de proyectos similares en otras infraestructuras patrimoniales de Girardot, fortaleciendo la gestión del recurso hídrico urbano y la planificación territorial.

Este trabajo se estructura en cinco capítulos. En el primer capítulo se presenta la introducción y el contexto general de la investigación. En el segundo capítulo se abordan los antecedentes, el marco teórico y los fundamentos normativos. El tercer capítulo describe la metodología utilizada. El cuarto capítulo desarrolla el análisis e interpretación de los resultados, y finalmente, el quinto capítulo expone las conclusiones y recomendaciones, destacando los aportes y proyecciones de la investigación.

2. DEFINICION DEL PROBLEMA

La Plaza de Mercado Leopoldo Rother, construida entre 1946 y 1948 y declarada Monumento Nacional en 1990, ha presentado anegamientos frecuentes durante las temporadas de lluvia, ocasionados principalmente por la obsolescencia de su red de drenaje pluvial y la limitada capacidad de evacuación y almacenamiento de aguas lluvias. Estos eventos afectan directamente la operación normal de la plaza, comprometiendo la integridad de la infraestructura, la movilidad interna y el confort de usuarios y comerciantes. Según el IDEAM (2024), durante el primer semestre del año se registró un aumento significativo en la frecuencia e intensidad de lluvias en la región de Girardot, lo que ha intensificado la vulnerabilidad de infraestructuras urbanas frente a eventos hidrometeorológicos de alta intensidad y corta duración.

Paralelamente, la combinación de filtraciones en cubiertas y grietas en muros con un sistema de alcantarillado deficiente ha generado acumulación de aguas residuales y estancamientos en zonas internas. Aunque estos problemas tienen repercusiones sanitarias, su relevancia técnica radica en la sobrecarga hidráulica que impide una evacuación eficiente de las aguas lluvias. De acuerdo con Hernan (2024) y la Alcaldía de Girardot (2024), estas condiciones no solo afectan la percepción de salubridad y seguridad en la actividad comercial de la plaza, sino que también agravan el impacto funcional de los encharcamientos y evidencian la necesidad de intervenciones hidráulicas urgentes.

En el ámbito estructural, el Plan Especial de Manejo y Protección (PEMP) aprobado en 2020 reconoce la vulnerabilidad de la estructura original frente a sobrecargas hidráulicas, alertando sobre el deterioro progresivo de las membranas de concreto de la cubierta y la corrosión de las tuberías (Ministerio de Cultura, 2021). A pesar de que el año 2025 la Gobernación de Cundinamarca y el Ministerio de las Culturas iniciaron un programa de restauración patrimonial, las redes hidráulicas y de drenaje aún no han sido intervenidas, manteniéndose el riesgo de fallas funcionales durante eventos de lluvia intensa.

Adicionalmente, la falta de un análisis estadístico actualizado de las precipitaciones extremas en Girardot limita la posibilidad de diseñar sistemas de drenaje técnicamente dimensionados. No se cuenta con una evaluación detallada de las series históricas de lluvia ni con un ajuste riguroso a distribuciones de probabilidad que permita definir periodos de retorno adecuados. Este vacío técnico contribuye a que las soluciones hidráulicas existentes sean empíricas y poco eficientes frente a eventos extremos, comprometiendo la seguridad y funcionalidad de la plaza.

La problemática también se enmarca en la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (Ley 1523 de 2012), que establece la obligación de integrar criterios de adaptación y mitigación en la planificación urbana. La insuficiencia del drenaje pluvial de la Plaza Leopoldo Rother no solo representa un riesgo operativo, sino que constituye un factor de vulnerabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos cada vez más intensos, agravados por la variabilidad y el cambio climático (Congreso de Colombia, 2012).

2.1. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cómo determinar, a partir del análisis hidrológico y las curvas IDF, el caudal de aguas de lluvia captado por la cubierta de la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, que permita optimizar su sistema de drenaje pluvial?

3. JUSTIFICACIÓN

Este estudio hidrológico es esencial para la planificación y optimización del recurso hídrico en la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, debido a que proporcionará datos precisos sobre la escorrentía superficial y la cantidad de aguas de lluvia potencialmente aprovechable. Si bien el objetivo principal de la investigación es el análisis hidrológico y la determinación del caudal, su importancia radica en que estos resultados servirán de base para el diseño de un sistema de captación de aguas de lluvia, un proyecto presentado por los docentes de la Universidad Piloto de Colombia-SAM, en donde se describe cómo “aprovechamiento de aguas pluviales en la plaza de mercado de Girardot - Cundinamarca: estrategias para la sostenibilidad” con código PID-CRV-15169-2025, contribuyendo así a una gestión más eficiente y sostenible del agua en la plaza de mercado.

En términos de sostenibilidad, este proyecto se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6, el cual se describe como “*Garantizar acceso a agua limpia y saneamiento para todos, mejorando su calidad y uso eficiente*” (Naciones Unidas, 2015). De manera específica, se relaciona con las siguientes metas:

- 6.4 Aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos.
- 6.b Apoyar y fortalecer la participación comunitaria en la gestión del agua.

Además, el estudio contribuye a la identificación de oportunidades para la reducción del impacto ambiental causado por la inadecuada gestión de las aguas pluviales en la plaza. Una adecuada captación y aprovechamiento del agua de lluvia no solo ayuda a mitigar problemas de inundación, sino que también ofrece una fuente de abastecimiento alternativa para tareas como limpieza, descarga, riego o procesos dentro del mercado.

Desde una perspectiva económica y operativa, la implementación de sistemas de aprovechamiento pluvial representa una estrategia costo-efectiva para edificaciones públicas. Al disminuir la dependencia de fuentes convencionales de agua, se reducen significativamente los costos de operación y mantenimiento asociados al consumo de agua potable, además de prolongar la vida útil de las redes de alcantarillado. De acuerdo con la CEPAL (2022) y el Min. de Vivienda, Ciudad y Territorio (2023), la integración de soluciones sostenibles de drenaje urbano contribuye a la resiliencia económica de las infraestructuras, especialmente en zonas de alta demanda hídrica o con limitaciones en la oferta de servicios públicos.

Por otra parte, desde una perspectiva técnica y académica, este análisis hidrológico aporta conocimiento fundamental sobre el comportamiento hidrológico del área de estudio, lo que puede servir como referencia para futuras investigaciones o proyectos de infraestructura relacionados con la captación y uso sostenible del agua en entornos urbanos. Adicionalmente, este trabajo se constituye en un insumo relevante para fortalecer la línea de investigación en hidráulica urbana del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia, al

generar información base que puede ser replicada en otras edificaciones con problemáticas similares.

Adicionalmente, el estudio cobra relevancia en el marco de la conservación del patrimonio arquitectónico, pues la Plaza de Mercado Leopoldo Rother es un Bien de Interés Cultural sujeto a un PEMP. De acuerdo con el Ministerio de Cultura (2021), cualquier intervención en bienes de este tipo debe considerar tanto la preservación de sus valores históricos como la implementación de soluciones técnicas compatibles con su integridad. Así, la justificación de este trabajo no solo responde a un requerimiento hidráulico, sino también a la protección de un bien patrimonial de valor nacional.

Por último, desde la perspectiva normativa y técnica, este trabajo también se justifica por su alineación con el RAS 2017, el cual establece parámetros específicos para el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial en Colombia (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017). En este sentido, la investigación proporciona la línea base hidrológica requerida para dar cumplimiento a dichas disposiciones, constituyéndose en un referente aplicable no solo a la plaza de Girardot, sino a otras infraestructuras urbanas de características similares en el país.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis hidrológico y determinar el caudal de diseño de las aguas de lluvia captadas por la cubierta de la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, ubicada en el municipio de Girardot, Cundinamarca, con el fin de establecer parámetros técnicos que sirvan de base para la optimización del sistema de drenaje pluvial.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el registro meteorológico de la zona de estudio, obteniendo información sobre precipitaciones históricas para determinar los parámetros hidrológicos relevantes.
- Calcular las curvas IDF para la zona de estudio con validación estadística, y compararlas con los datos disponibles en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- Calcular el caudal de aguas de lluvia considerando las características fisiográficas de la cuenca y las condiciones de la plaza de mercado, aplicando el método racional.
- Analizar los resultados obtenidos y proponer lineamientos de aplicación para el rediseño del sistema pluvial, enmarcando la investigación dentro de criterios de sostenibilidad y gestión eficiente del recurso hídrico.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. ANTECEDENTES

La Plaza de Mercado Leopoldo Rother, ubicada en el municipio de Girardot, Cundinamarca, fue construida entre 1946 y 1948 y es reconocida como uno de los hitos más representativos del movimiento moderno en Colombia. Diseñada por el arquitecto alemán Leopoldo Rother, su estructura de concreto abierto permite una ventilación cruzada natural aprovechando las brisas del río Magdalena, lo cual en su momento representó un avance significativo en diseño bioclimático (Murcia, 2022). Sin embargo, las condiciones actuales de uso, junto con la antigüedad de su sistema hidráulico, han evidenciado deficiencias en la capacidad de evacuación pluvial frente a eventos de lluvia intensa.

En Colombia, la gestión pluvial ha cobrado especial relevancia en la última década debido a la variabilidad climática y al incremento en la frecuencia de lluvias intensas. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2022), mediante sus Lineamientos para potencializar el uso del agua lluvia, establece directrices para la medición pluviométrica, determinación de caudales de escorrentía y aplicación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), resaltando la importancia de aprovechar las aguas pluviales en entornos urbanos como fuente complementaria y como estrategia de mitigación ante inundaciones.

Entre las investigaciones más recientes, Molina y Ortiz (2023) desarrollaron un estudio de evaluación de sistemas de captación de agua lluvia en un conjunto residencial de Manizales, obteniendo reducciones significativas en el consumo de agua potable y en el volumen de escorrentía superficial. De forma similar, Avendaño (2023), en un proyecto desarrollado en la Universidad Piloto de Colombia SAM, diseñó un sistema de captación y reutilización de aguas lluvias aplicando el método racional, demostrando su efectividad para estimar caudales en cubiertas impermeables y su aplicabilidad directa a edificaciones institucionales. Estas investigaciones aportan evidencia actualizada sobre la viabilidad técnica y económica de implementar soluciones hidráulicas sostenibles en infraestructuras urbanas.

En el mismo sentido, Berbeo y Nova (2019) demostraron la efectividad de estos sistemas en viviendas urbanas de Bogotá, donde la incorporación de tanques de almacenamiento y sistemas de conducción pluvial generó beneficios en la reducción de demanda hídrica convencional. Este tipo de soluciones, además de ser técnica y económicamente viables, contribuyen a disminuir la presión sobre las redes municipales de abastecimiento y alcantarillado.

A nivel internacional, Campisano et al. (2017) destacan en su revisión que la integración de SUDS en infraestructuras urbanas mejora la resiliencia frente a tormentas de alta intensidad, mientras que Alim et al. (2020) evidencian que el agua de lluvia recolectada desde techos puede usarse para fines potables y no potables si se aplican tratamientos básicos, convirtiéndose en una fuente complementaria eficiente. Estas investigaciones coinciden en

que la captación pluvial no es solo una medida hidráulica, sino también una herramienta estratégica de adaptación frente a la variabilidad climática.

En el contexto colombiano, estas tendencias resultan particularmente relevantes debido a los cambios en los patrones de precipitación registrados en regiones como el Alto Magdalena, donde se encuentra Girardot. La intensidad y concentración de las lluvias en cortos periodos de tiempo incrementan la presión sobre infraestructuras con sistemas de drenaje antiguos, como la Plaza de Mercado Leopoldo Rother. Por esta razón, el uso de metodologías hidrológicas actualizadas, como el método racional y la construcción de curvas IDF con validación estadística, se vuelve indispensable para dimensionar soluciones técnicas acordes con la realidad local.

Por otra parte, la regionalización de curvas IDF ha sido objeto de múltiples estudios recientes como herramienta para mejorar la precisión de los cálculos hidráulicos. Casallas (2022) desarrolló un modelo para Boyacá mediante interpolación de datos pluviométricos, evidenciando que los parámetros regionales mejoran la confiabilidad en el diseño de sistemas pluviales. En la región Andina, Becerra, Sánchez, Acosta y Díaz (2015) propusieron ecuaciones regionales aplicables a zonas urbanas e intermedias, mientras que Pedro y Caro (2016) plantearon metodologías para zonas con registros limitados. A nivel internacional, Corapi y Núñez (2022) mostraron que no considerar la variabilidad espacial de la lluvia conduce a subestimaciones importantes en el dimensionamiento hidráulico. Esto refuerza la pertinencia de que el presente estudio utilice registros específicos de la estación Aeropuerto Santiago Vila, garantizando representatividad hidrológica en el cálculo del caudal de diseño para la Plaza.

Asimismo, organismos internacionales como la Organización Meteorológica Mundial (2020) y el USGS (2018) han establecido lineamientos para la estimación de caudales extremos a partir del análisis estadístico de precipitaciones máximas mediante distribuciones de probabilidad (como Gumbel o Log-Pearson tipo III) y la construcción de curvas IDF. Estas herramientas permiten caracterizar la recurrencia de eventos de lluvia intensa y proporcionan una base técnica confiable para el diseño de drenajes urbanos. El IDEAM, en concordancia, ha dispuesto bases de datos y guías técnicas, aunque existe una carencia de estudios aplicados a inmuebles patrimoniales, lo cual hace que este proyecto sea pionero en este campo.

En cuanto al cálculo hidrológico, el método racional continúa siendo ampliamente utilizado para áreas urbanas pequeñas debido a su simplicidad, confiabilidad y respaldo normativo. Froehlich (2024) propuso una versión modificada que incorpora la “primera descarga” para mejorar la calidad del agua pluvial y el control de contaminación, mientras que Akan (2002) desarrolló un modelo racional adaptado al diseño de estructuras de infiltración, compatible con SUDS. Estas adaptaciones reflejan su vigencia y flexibilidad para su aplicación en escenarios urbanos contemporáneos.

Aunque existen estudios previos que abordan el aprovechamiento de aguas lluvias en instituciones educativas y residenciales como Estupiñán y Zapata (2010), el enfoque en

edificaciones patrimoniales es limitado. Por lo tanto, este trabajo representa un aporte novedoso al aplicar metodologías hidrológicas actuales en una infraestructura declarada Bien de Interés Cultural.

Finalmente, todos estos antecedentes convergen en un mismo principio: la gestión eficiente de las aguas lluvias es una herramienta clave para reducir la vulnerabilidad urbana frente a eventos extremos y promover la sostenibilidad hídrica. En el caso de Girardot, la Plaza de Mercado Leopoldo Rother representa un escenario ideal para integrar la ingeniería hidráulica moderna con la conservación patrimonial, asegurando funcionalidad, resiliencia y aprovechamiento responsable del recurso hídrico.

5.2. MARCO TEÓRICO

El estudio hidrológico permite evaluar el comportamiento del agua en un sistema natural o intervenido, su aplicación en entornos urbanos es clave para el diseño de infraestructuras hidráulicas eficientes y sostenibles, especialmente en el contexto del cambio climático y la creciente variabilidad de los patrones de precipitación. En la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, ubicada en Girardot, Cundinamarca, el análisis hidrológico tiene como objetivo la determinación del caudal de diseño generado en el área, utilizando el método racional. Esta información servirá como insumo fundamental para el diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de aguas de lluvia, aportando la optimización del recurso hídrico y reduciendo escorrentías no controladas.

Por otro lado, La hidrología urbana se centra en el estudio de la interacción entre la precipitación, la infraestructura construida y los cuerpos receptores de agua. Algunos de los conceptos clave dentro de este campo incluyen: El ciclo hidrológico, el cual, describe la circulación del agua a través de sus diferentes fases (evaporación, condensación, precipitación, infiltración y escorrentía) nos permite entender cómo se mueve el agua en una zona específica para una planificación detallada en este caso de un diseño hidráulico. En entornos urbanos, las superficies impermeables reducen la infiltración y aumentan la escorrentía superficial, generando mayores caudales que requieren sistemas adecuados de drenaje y almacenamiento. Las precipitaciones son la principal fuente de agua en el ciclo hidrológico y juegan un papel clave en la generación de escorrentía superficial (Bedient, Huber, & Vieux, 2013). Su estudio incluye la recopilación y análisis de datos históricos de lluvia, los cuales permiten caracterizar el comportamiento de las tormentas en una región determinada. En Colombia, el IDEAM es la entidad encargada de recopilar y gestionar estos datos, proporcionando información esencial para proyectos de drenaje urbano, manejo de aguas pluviales, entre otros.

Siendo el aprovechamiento de aguas de lluvia, una estrategia clave en la gestión del recurso hídrico, especialmente en regiones donde las variaciones climáticas pueden afectar la disponibilidad de agua. Para lograr realizar el estudio hidrológico, se calcula el diseño del caudal con el método racional.

5.2.1. Método racional

El método racional es uno de los procedimientos hidrológicos más utilizados para la estimación del caudal pico de escorrentía en cuencas pequeñas y homogéneas. Su simplicidad radica en que integra, en una sola ecuación, las variables más representativas de la generación de escorrentía: el coeficiente de escorrentía (C), la intensidad de precipitación (I) y el área de drenaje (A). Según Gómez (2007), este método es adecuado cuando el tiempo de concentración de la cuenca es menor a una hora y la superficie de estudio no supera algunas decenas de hectáreas, condiciones que suelen cumplirse en áreas urbanas de alta impermeabilización como la Plaza de Mercado Leopoldo Rother. Sin embargo, el propio autor advierte que su principal limitación radica en que no considera de manera explícita procesos de infiltración, almacenamiento o pérdidas iniciales, lo que obliga a realizar una selección cuidadosa de los parámetros para obtener resultados confiables.

El uso del método racional en la Plaza de Mercado Leopoldo Rother permitirá estimar el caudal de escorrentía máxima, lo que contribuirá a la toma de decisiones para la implementación de estrategias de captación y almacenamiento de aguas lluvias. Según Gribbin (2017), el método racional es una de las metodologías más utilizadas para estimar el caudal de escorrentía en áreas urbanas. Se basa en la ecuación:

Ecuación 1: Método racional

$$Q_p = \frac{C \times I \times A}{360} = m^3 / s \quad \text{ó} \quad Q_p = 2.78 \times C \times I \times A = \frac{L}{s}$$

Fuente: Gribbin, John. (2017). Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la Administración del agua pluvial. E-books, edición (4), pág. 220.

Donde:

A = area aferente o tributaria

C = coeficiente de escorrentia

I = intensidad de lluvia

Este método se usa para calcular el escurrimiento máximo Q_p , después de un fenómeno pluvial. No intenta calcular el escurrimiento antes o después del punto máximo, sino simplemente calcula la mayor cantidad de flujo (Gribbin, 2017).

Es importante señalar que la aplicación del método racional depende fuertemente del análisis estadístico de precipitaciones extremas. Para definir la intensidad de lluvia de diseño se requiere ajustar las series históricas a distribuciones de probabilidad como Gumbel, Log-Pearson III o Normal, lo cual permite relacionar la frecuencia de ocurrencia de eventos con el nivel de servicio esperado del sistema (USGS Headquarters, 2018). Esta dependencia

estadística asegura que el caudal calculado no solo responda a una tormenta aislada, sino a un rango de escenarios probables en el tiempo.

En relación con lo anterior, el método racional, tradicionalmente empleado para la estimación de caudales máximos de escorrentía en áreas pequeñas, se basa en la relación entre la intensidad de lluvia, el coeficiente de escorrentía y el área de drenaje. No obstante, su aplicación en entornos urbanos densamente impermeables ha motivado el desarrollo de variantes metodológicas. Lyngfelt (1991) propuso una versión mejorada del método racional que incorpora factores de corrección para la variabilidad temporal y espacial de la intensidad de precipitación, ajustando los valores de caudal a condiciones reales de urbanización. Esta versión ajustada refuerza la aplicabilidad del método racional en estudios urbanos, como el de la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, donde las condiciones de impermeabilidad y concentración rápida de escorrentía demandan una aproximación más precisa a los picos de caudal.

De manera complementaria, de acuerdo con lo establecido en el RAS 2017 (Resolución 0330 de 2017), el método racional puede aplicarse únicamente en áreas de drenaje menores a 80 hectáreas, siempre que se cumplan condiciones de homogeneidad en la cobertura y tiempos de concentración relativamente cortos. En su Artículo 135, la norma establece que este método es apropiado para la estimación de caudales de aguas lluvias en sistemas de drenaje urbano y redes de captación, cuando el comportamiento hidrológico pueda modelarse de forma simplificada mediante la relación entre precipitación, escorrentía y área.

El RAS (2017) indica que, para la correcta aplicación del método, deben considerarse cuatro factores fundamentales:

- Periodo de retorno, determinado según la importancia de la zona y los posibles daños o molestias derivados de las inundaciones. En el caso de áreas comerciales con superficies tributarias menores a 2 hectáreas, como la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, se recomienda un periodo de retorno mínimo de 5 años, conforme a la Tabla 16 de la Resolución 0330.
- Intensidad de lluvia, la cual debe obtenerse a partir de las curvas IDF representativas de la zona o derivarse mediante análisis estadístico de series pluviográficas recientes, incorporando los efectos de variabilidad y cambio climático.
- Tipo de cobertura, que debe analizarse en función de su permeabilidad y del uso del suelo, para definir adecuadamente el coeficiente de escorrentía (C).
- Tiempo de concentración, calculado considerando los tiempos de entrada y recorrido del flujo, dentro de un rango mínimo de 3 a 10 minutos, con el fin de evaluar la sensibilidad del caudal frente a diferentes condiciones hidráulicas.

En este contexto, el método racional se considera plenamente aplicable al presente estudio, dado que el área de aporte de la Plaza de Mercado Leopoldo Rother es menor a 2 hectáreas, conformada principalmente por superficies impermeables (cubiertas de concreto y pavimentos), lo que cumple con las restricciones establecidas por el RAS (2017) y el Manual

de Drenaje para Carreteras del INVIAS (2009). La Tabla 4 sintetiza los rangos de aplicabilidad del método racional conforme a los criterios técnicos y normativos vigentes en Colombia:

Tabla 1: Rango de aplicabilidad del método racional en Colombia

Parámetro	Rango de aplicación recomendado	Fuente normativa / técnica
Área de drenaje (A)	≤ 80 ha	RAS 2017 (Resolución 0330, Art. 135)
Tiempo de concentración (Tc)	3 – 60 min (ó < 1 h)	Gómez (2007); INVIAS (2009); RAS (2017)
Tipo de cobertura	Homogénea, alta impermeabilidad	INVIAS (2009); RAS (2017)
Periodo de retorno (T)	3-10 años (según tipo de zona)	RAS 2017 (Tabla 16)
Intensidad de lluvia (I)	Derivada de curvas IDF locales	INVIAS (2009); RAS (2017); IDEAM
Escala de aplicación típica	Cuencas pequeñas urbanas (< 200 ha)	Bedient, Huber & Vieux (2013)

Fuente: Elaboración propia. (2025).

5.2.1.1. *Coeficiente de Escorrentía (C)*

El coeficiente de escorrentía representa la capacidad de infiltración y retención del agua en el terreno. Su valor varía según el tipo de superficie como lo muestra la siguiente tabla 1:

Tabla 2: Coeficiente de escurrimiento comunes para su uso con el método racional

Tipo de superficie	Coeficiente de escurrimiento	
	Intervalo de valores	Diseño típico
Impermeable (pavimento, techos)	0.75–0.95	0.95
Jardines	0.05–0.35	0.30
Sin construir (bosques, maleza)	0.10–0.30	0.20

Nota: *Estos valores de c son comunes para las tormentas de baja intensidad (hasta un periodo de retorno de 25 años). Los valores mayores son adecuados para las tormentas de diseño mayores. Una lista más amplia de valores c se presenta en el apéndice C-1.*

Fuente: Gribbin, John. (2017). Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la Administración del agua pluvial. E-books, edición (4), pág. 222.

En el caso de la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, donde predominan superficies pavimentadas y techadas, se espera un coeficiente alto, lo que indica una escorrentía significativa.

Por su parte, el coeficiente de escorrentía (C) es un valor adimensional que expresa la proporción de la lluvia que se convierte en escorrentía superficial. El Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS (2009) presenta tablas de referencia para diferentes tipos de superficies: desde valores bajos de 0,10-0,30 para suelos vegetados y con alta capacidad de infiltración, hasta valores elevados de 0,85-0,95 en superficies impermeables como cubiertas de concreto y techos metálicos. Estas tablas permiten realizar un cálculo ponderado de C cuando existen subáreas con diferentes coberturas, ajustando el valor global de acuerdo con la realidad de la cuenca urbana. En el caso de la Plaza de Mercado, donde predominan superficies de concreto y techos impermeables, se adoptan coeficientes cercanos al rango superior, reflejando una baja infiltración y una alta generación de caudal superficial.

Tabla 3: Valores del coeficiente de escorrentía en áreas urbanas

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

Fuente: INVIAS. (2009). Manual de Drenaje para Carreteras. Pág. 78.

5.2.1.2. *Intensidad de la Lluvia (I) y Curvas IDF*

La intensidad de la lluvia es un parámetro fundamental en el cálculo hidrológico, dado que expresa la cantidad de precipitación que cae en un intervalo de tiempo específico y se encuentra directamente relacionada con la duración del evento y el periodo de retorno seleccionado. En el método racional, la intensidad se asocia con el tiempo de concentración de la cuenca y con el nivel de protección que se quiera garantizar en la infraestructura a diseñar. De acuerdo con el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS (2009), cuando no se dispone de registros pluviográficos de alta resolución, la intensidad puede calcularse mediante el método simplificado regionalizado, el cual permite construir curvas IDF a partir de

la precipitación máxima promedio anual en 24 horas (M) de la estación representativa. La expresión general adoptada es:

Ecuación 2: Intensidad de precipitación

$$i = \frac{a \times T^b \times M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^c} = \text{mm/h}$$

Fuente: INVIAS. (2009). Manual de Drenaje para Carreteras. Pág. 110.

Donde:

i = Intensidad de precipitación, en milímetros por hora $\left(\frac{\text{mm}}{\text{h}}\right)$

T = Periodo de retorno, en años.

M = Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual

t = Duración de la lluvia, en minutos (min).

a, b, c, d = Parámetros de ajuste de la regresión.

Los valores de estos parámetros han sido definidos por el INVIAS para cuatro macro-regiones del país (Andina, Caribe, Pacífica y Orinoquía), como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4: Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: INVIAS. (2009). Manual de Drenaje para Carreteras. Pág. 110.

En el caso de Girardot, el municipio pertenece a la región Andina, por lo que se deben utilizar los valores de la primera fila. La precipitación máxima en 24 horas (M) se obtiene a partir de los registros multianuales del IDEAM en la estación más representativa.

El procedimiento consiste en seleccionar diferentes periodos de retorno (T) y duraciones (t), calcular las intensidades con la ecuación anterior y, posteriormente, graficar las curvas IDF. Estas curvas permiten identificar, para cada tiempo de concentración calculado en el proyecto, la intensidad de diseño que se utilizará en la ecuación racional.

De acuerdo con Pérez Humberto (2023), la correcta definición de las curvas IDF es esencial para la estimación confiable de caudales de diseño, puesto que un subdimensionamiento de la intensidad puede llevar a fallas en el sistema de captación de aguas lluvias. En este sentido, las curvas IDF no solo constituyen una herramienta de cálculo, sino también un soporte técnico para la planeación de infraestructura urbana sostenible.

5.2.1.3. *Determinación del Área de Drenaje (A)*

El área de drenaje (A) corresponde a la superficie que contribuye al escurrimiento hacia un punto de salida definido. En hidrología urbana, este parámetro debe considerar tanto la delimitación natural de la cuenca como las modificaciones introducidas por la infraestructura vial y de alcantarillado (Gomez, 2007). La precisión en su determinación es fundamental, pues un error en el cálculo del área puede trasladarse de forma proporcional al caudal estimado con el método racional. En el caso de la Plaza de Mercado, el área de drenaje corresponde principalmente a las cubiertas y espacios pavimentados que concentran sus escorrentías hacia puntos de captación específicos.

5.2.1.4. *Tiempo de Concentración y Periodo de Retorno*

El tiempo de concentración (Tc) se define como el tiempo requerido para que una gota de agua precipitada en el punto más alejado de la cuenca alcance la salida. Diversos autores han propuesto fórmulas empíricas para su cálculo, como las de Kirpich o Ventura, siendo seleccionadas en función de la extensión y características de la cuenca (Gomez, 2007). En términos de diseño, el Tc determina la duración de la tormenta crítica para consultar en las curvas IDF. Según ecuaciones empíricas como la de Kirpich, se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 3: Ecuación de Kirpich

$$T_c = 0,066 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

Fuente: INVIAS. (2009). Manual de Drenaje para Carreteras. Pág. 41.

Donde:

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h)
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)
S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima (pendiente total)
del cauce principal, en metros por metro (m/m)

o la de Ventura,

Ecuación 4: Ecuación de Ventura - Heras

$$Tc = \alpha * \frac{S^{0.5}}{i}$$

Fuente: INVIAS. (2009). Manual de Drenaje para Carreteras. Pág. 43.

Donde:

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h)
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%)

Por otra parte, el periodo de retorno (T) representa la frecuencia con la cual se espera la ocurrencia de un evento de determinada magnitud. Según el RAS (2017), la selección del periodo de retorno depende de la importancia de la infraestructura y del nivel de protección requerido: para sistemas de drenaje urbano se recomiendan valores entre 5 y 25 años. En el presente proyecto se adopta un periodo de retorno consistente con la función social y comercial de la Plaza de Mercado, garantizando seguridad y operación continua en condiciones de lluvia intensa.

Finalmente, aunque el método racional es ampliamente utilizado, debe reconocerse que presenta limitaciones relacionadas con el tamaño de la cuenca y la homogeneidad de la lluvia. Su uso es recomendable en áreas pequeñas (menores a 200 hectáreas) y con tiempos de concentración cortos, condiciones que se cumplen en la cubierta de la Plaza Leopoldo Rother. Complementariamente, la literatura reciente enfatiza la necesidad de integrar estos cálculos con enfoques de SUDS, que permiten mitigar caudales pico, mejorar la calidad del agua y aprovecharla para usos no potables (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio & Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2022).

5.3. MARCO CONCEPTUAL

El estudio hidrológico en la Plaza de Mercado Leopoldo Rother se estructura a partir de conceptos fundamentales que permiten comprender cómo la precipitación se transforma en escorrentía y, finalmente, en un caudal de diseño que debe ser manejado por la infraestructura de drenaje. En primer lugar, las precipitaciones se entienden como el punto de partida del ciclo hidrológico, dado que representan la entrada de agua al sistema. Según Gribbin (2017), estas precipitaciones, cuando ocurren en un entorno urbano impermeabilizado, generan respuestas rápidas de escurrimiento que requieren sistemas de captación adecuados para evitar problemas de inundación.

A partir de las precipitaciones se construyen las curvas IDF, que constituyen una herramienta clave para la estimación de la intensidad de lluvia de diseño. Dichas curvas permiten relacionar la magnitud de la precipitación con la duración del evento y la probabilidad de que se repita en el tiempo. De acuerdo con el INVIAS (2009), su formulación simplificada permite disponer de intensidades representativas incluso en lugares donde no existen registros pluviográficos detallados, mientras que Pérez Humberto (2023) señala que estas curvas proporcionan el soporte estadístico necesario para tomar decisiones en el diseño de drenajes urbanos.

En consecuencia, el valor de la intensidad de precipitación obtenido a través de las curvas IDF se incorpora en la ecuación del método racional junto con el coeficiente de escorrentía y el área de drenaje. El coeficiente de escorrentía, de carácter adimensional, refleja la proporción de la lluvia que escurre superficialmente; este depende del tipo de superficie, de modo que en zonas urbanas pavimentadas o con techos de concreto, como la Plaza de Mercado, alcanza valores cercanos a 1 (INVIAS, 2009). Por su parte, el área de drenaje corresponde a la superficie efectiva que contribuye al escurrimiento, y en este caso incluye tanto las cubiertas del mercado como las áreas pavimentadas circundantes.

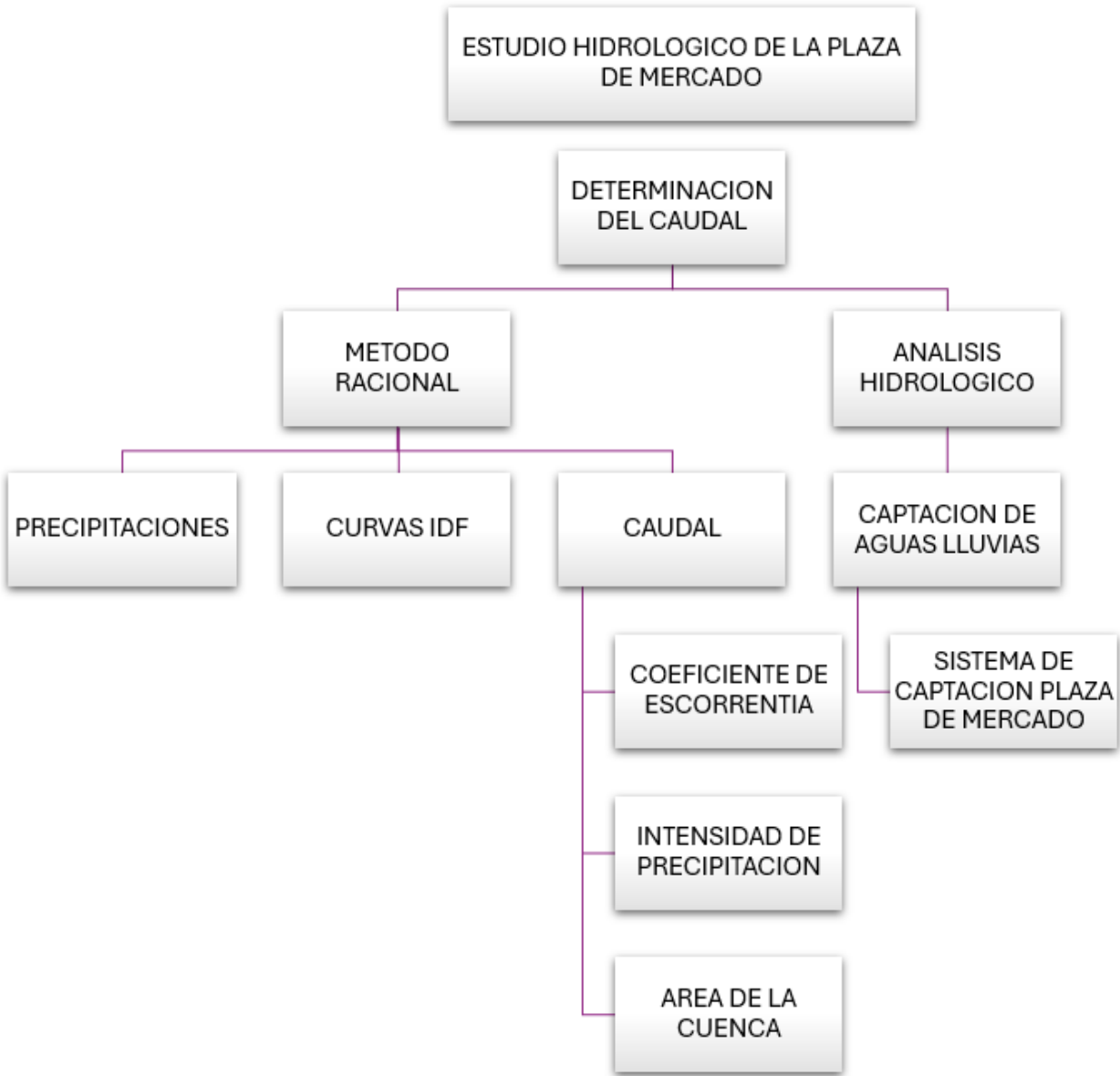
De igual forma, la determinación del caudal exige conocer el tiempo de concentración (T_c), entendido como el lapso requerido para que una gota de agua que cae en el punto más alejado de la cuenca llegue al punto de salida. Gómez (2007) explica que este parámetro es decisivo porque establece la duración crítica de la tormenta a considerar en las curvas IDF. En este sentido, el INVIAS (2009) propone expresiones empíricas como las de Kirpich y Ventura, que relacionan la longitud del cauce, la pendiente y el desnivel de la cuenca.

Asimismo, el análisis se complementa con la definición del periodo de retorno (T), que se refiere a la frecuencia estadística con que un evento de determinada magnitud puede ser igualado o superado. El RAS (2017), modificado por la Resolución 799 de 2021, recomienda para los sistemas urbanos de drenaje periodos de entre 5 y 25 años, según la importancia de la infraestructura. En el caso particular de la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, un periodo de retorno mayor resulta pertinente debido a la concentración de actividades económicas y sociales en este espacio, lo que hace necesario garantizar un nivel de seguridad hidráulica adecuado.

En consecuencia, el caudal de diseño se concibe como el resultado de la interacción de todas estas variables y constituye la base para el dimensionamiento de las obras de drenaje. Bedient, Huber y Vieux (2013) destacan que el cálculo del caudal no solo es un ejercicio matemático, sino una herramienta de planificación urbana que busca reducir la vulnerabilidad de las comunidades frente a lluvias intensas. Finalmente, la captación de aguas lluvias se refiere al conjunto de prácticas e infraestructuras orientadas a recolectar, conducir y eventualmente almacenar el recurso hídrico precipitado, tanto para reducir impactos de inundación como para su aprovechamiento sostenible (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio & Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2022).

Estos conceptos sustentan la determinación del caudal de diseño en la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, constituyendo la base técnica para la planeación, optimización y aprovechamiento sostenible de su sistema de drenaje y captación de aguas lluvias. A continuación, en la Ilustración 1 se encuentra la representación de un esquema del análisis hidrológico de la Plaza de mercado, identificando las variables principales que llevan al cálculo del caudal de diseño, facilitando la comprensión de los elementos clave y su aplicación.

Ilustración 1: Mapa conceptual del estudio hidrológico de la Plaza de mercado de Girardot



Fuente: Elaboración propia. (2025).

5.4. MARCO LEGAL

El desarrollo de proyectos de infraestructura hidráulica en Colombia se encuentra regulado por un marco normativo robusto, cuyo propósito es garantizar la adecuada gestión del recurso hídrico, la seguridad de las comunidades y la conservación del patrimonio cultural. En este contexto, el presente estudio sobre la Plaza de Mercado Leopoldo Rother se fundamenta en las siguientes disposiciones legales y técnicas presentadas en la tabla 5:

Tabla 5: Marco legal aplicable al estudio hidrológico de la Plaza de Mercado Leopoldo Rother

Norma o Documento	Entidad Emisora	Año	Contenido o Aplicación Relevante
Constitución Política de Colombia	Asamblea Nacional Constituyente	1991	Artículos 79 y 80: derecho a un ambiente sano y deber del Estado de planificar el manejo sostenible de los recursos naturales (Corte Constitucional de Colombia, 2024).
Ley 397 de 1997 y Ley 1185 de 2008 - Ley General de Cultura	Congreso de la República de Colombia	1997-2008	Regulan la protección de bienes de interés cultural. Aplicable a la Plaza de Mercado Leopoldo Rother como patrimonio arquitectónico nacional (Ministerio de Cultura, 2021).
PEMP Plaza de Mercado Leopoldo Rother	Ministerio de Cultura	2020	Define lineamientos técnicos y patrimoniales para intervenciones, incluyendo redes hidráulicas y pluviales.
Ley 1523 de 2012 – Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres	Congreso de la República de Colombia	2012	Obliga a integrar el análisis de riesgo hidrometeorológico en los proyectos de infraestructura.
Decreto 3930 de 2010	Departamento Administrativo de la Función Pública	2010	Reglamenta los usos del agua y vertimientos en cuerpos hídricos y alcantarillados.
Resolución 0631 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	2015	Fija parámetros y valores máximos permisibles de vertimiento para aguas residuales domésticas e industriales.
RAS – Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	2017	Norma fundamental para el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial; establece parámetros técnicos y de cálculo de caudales.
Resolución 799 de 2021	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	2021	Modifica el RAS 2017, actualizando criterios de diseño hidráulico y gestión del agua en sistemas pluviales.
NTC 1500 – Instalaciones hidráulicas y sanitarias	Icontec Internacional	2004	Regula el diseño y la instalación de redes de abastecimiento y evacuación de aguas.
Resolución 699 de 2021	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	2021	Establece requisitos para el vertimiento de aguas residuales tratadas en cuerpos hídricos.
Resolución 1256 de 2021	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	2021	Regula el reúso de aguas residuales domésticas tratadas, fomentando prácticas sostenibles de aprovechamiento.
Guía Metodológica para SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible)	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio & Departamento Nacional de Planeación (DNP)	2022	Promueve la implementación de estrategias de drenaje sostenible, infiltración y aprovechamiento de aguas pluviales en áreas urbanas.
NSR-10 – Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	2010	Incluye criterios de cargas de agua sobre cubiertas; aplicable a intervenciones estructurales asociadas a sistemas pluviales.

Fuente: Elaboración propia. (2025).

Este conjunto de normas permite garantizar que el análisis hidrológico y el cálculo del caudal de diseño en la Plaza de Mercado Leopoldo Rother se desarrollen bajo parámetros técnicos y legales vigentes. La aplicación del RAS (2017) y su modificación mediante la Resolución 799 de 2021 proporciona el soporte técnico fundamental para la determinación de caudales y el diseño del drenaje pluvial. Por su parte, las disposiciones del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021) aseguran que cualquier manejo o vertimiento de aguas cumpla con los criterios de calidad ambiental y reúso sostenible.

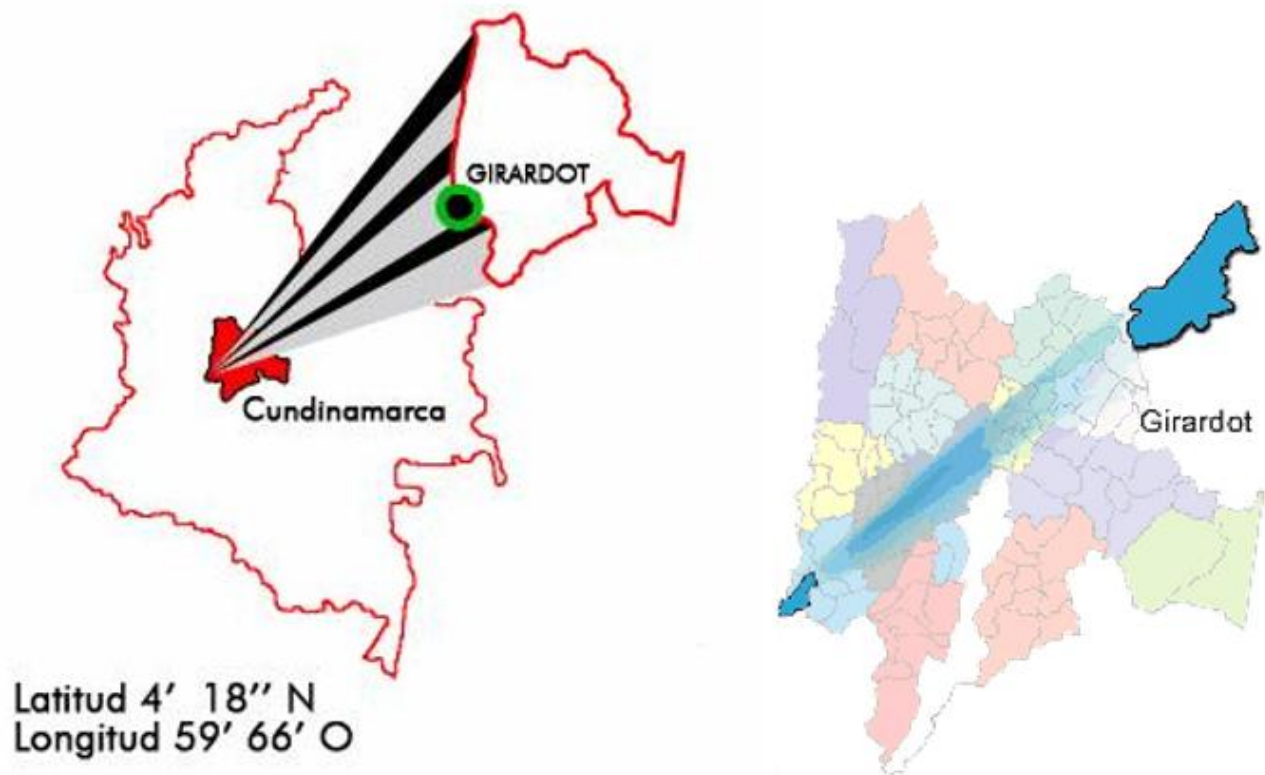
Asimismo, la Ley 1523 de 2012 y la Guía Metodológica para SUDS (Ministerio de Vivienda, 2022) refuerzan la necesidad de integrar la gestión del riesgo y la sostenibilidad en las soluciones hidráulicas urbanas, mientras que las Leyes 397 de 1997 y 1185 de 2008 garantizan la preservación de los valores patrimoniales del inmueble durante cualquier intervención. De esta manera, el marco legal aquí compilado sustenta el rigor técnico, ambiental y cultural que orienta el desarrollo del presente proyecto hidrológico.

5.5. MARCO GEOGRAFICO

El municipio de Girardot, uno de los 116 del departamento de Cundinamarca, se encuentra ubicado estratégicamente en el centro del país, formando parte de la región del Alto Magdalena. Ocupa una extensión de 12.986 hectáreas. A su vez, limita al este con Ricaurte, al oeste con Nariño, al norte con Tocaima y al sur con Flandes (Tolima), lo que le otorga una posición clave de conectividad regional. Por otro lado, está situada a 289 m s. n. m., sobre la margen derecha del río Magdalena, y sus coordenadas aproximadas son 4°18'07" N, 74°48'52" O. El terreno es esencialmente llano, con leves elevaciones puntuales en su parte nororiental, que corresponden a las estribaciones de la cordillera Oriental (Arias S. S., 2024).

Climáticamente, destaca por un clima cálido de sabana, con temperaturas máximas diarias que pueden alcanzar los 39 °C y mínimas nocturnas cercanas a los 22 °C, favorecidas por la constante brisa del río Magdalena, lo que genera una temperatura promedio anual cercana a los 29 °C.

Ilustración 2: Mapa de Colombia-Cundinamarca-Girardot



Fuente: Alcaldía de Girardot. (2025). Galería de mapas.

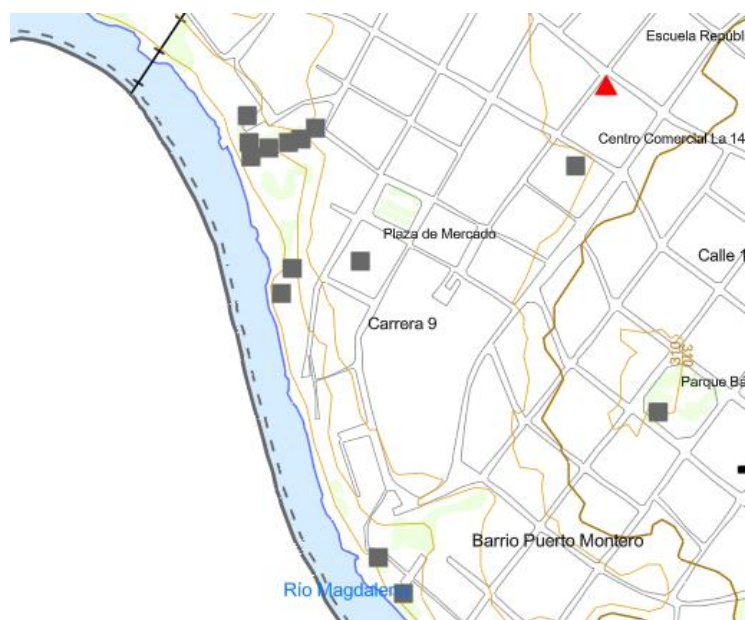
Ahora bien, Girardot es reconocido por su papel estratégico como centro de comercio y servicios en el centro del país, siendo un punto de articulación entre los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Huila. Su economía se sustenta en sectores como el turismo, el comercio y los servicios, destacando la plaza de mercado Leopoldo Rother como un nodo de abastecimiento y un referente arquitectónico y cultural (Congreso de Colombia, 2008).

Ilustración 3: Cartografía Básica de Girardot



Fuente: López, Nicolas. (2025). Cartografía básica Girardot.

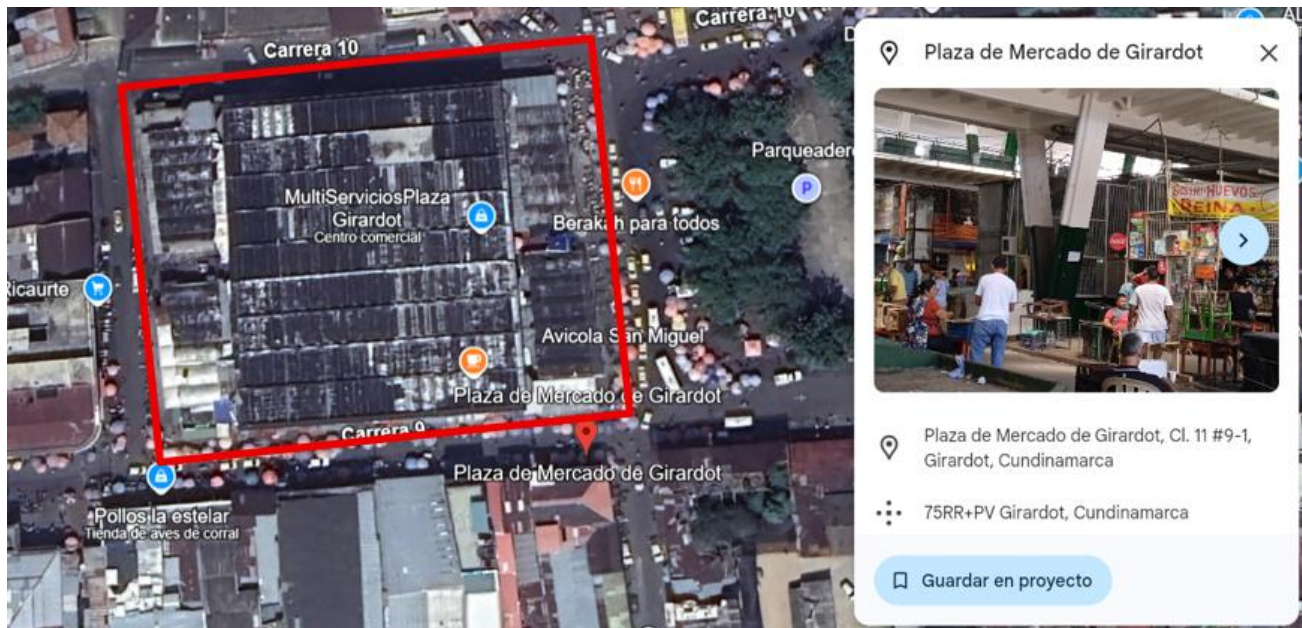
Ilustración 4: Cartografía de la Plaza de Mercado



Fuente: López, Nicolas. (2025). Cartografía básica Girardot.

En otro aspecto, la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, declarada Bien de Interés Cultural de Carácter Nacional (BIC), se ubica en el centro histórico de Girardot, sobre la carrera 10 con calle 13. La edificación, diseñada por el arquitecto alemán Leopoldo Rother en 1946, constituye una pieza de arquitectura moderna con valor patrimonial y funcional, porque concentra actividades comerciales que abastecen tanto a la población local como a municipios aledaños (Alfonso, 2025).

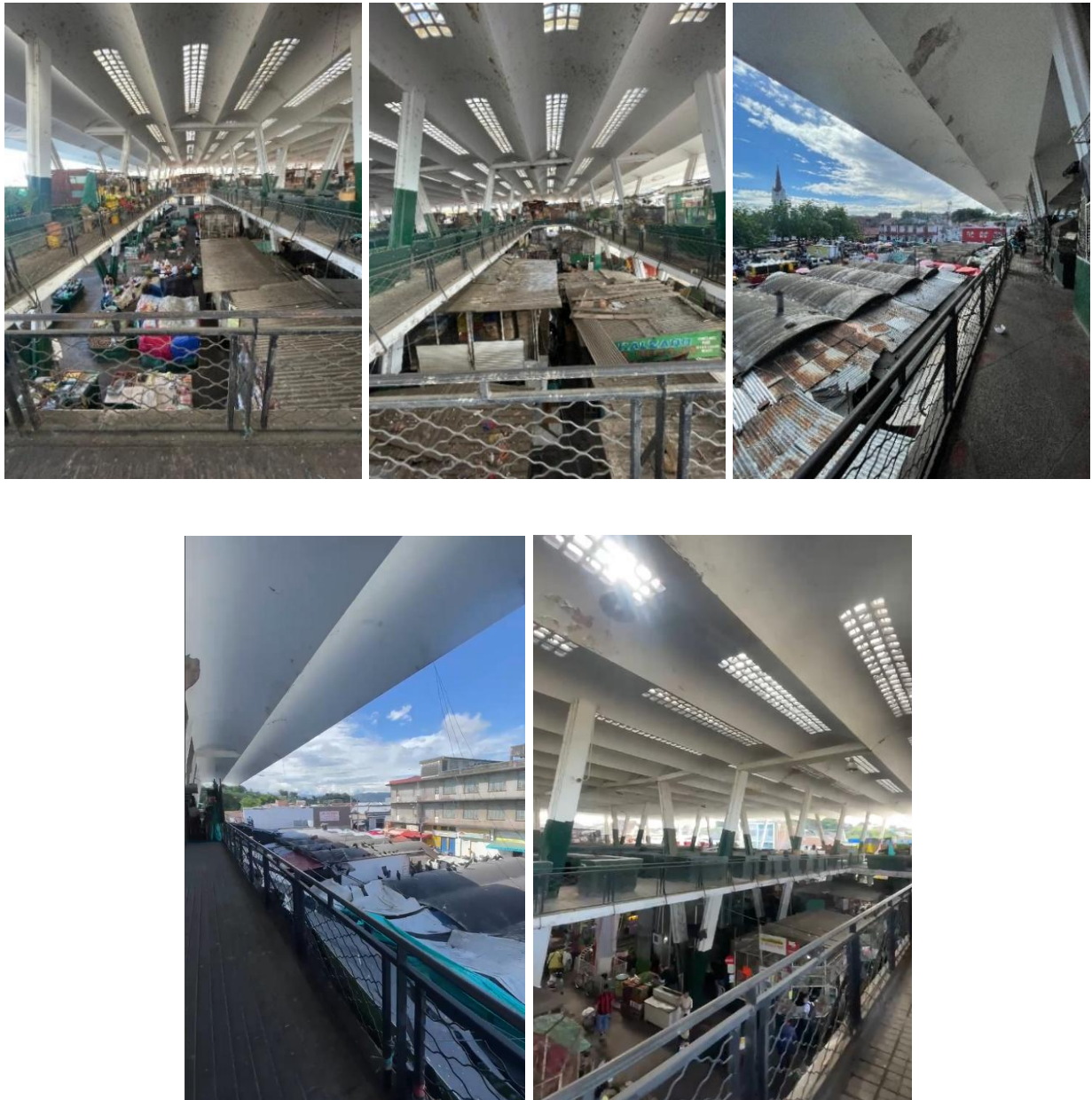
Ilustración 5: Georreferenciación de la Plaza de Mercado



Fuente: Elaboración propia. (2025). Google Earth.

En cuanto a las condiciones de drenaje urbano, el Plan de Desarrollo Municipal 2024-2028 de Girardot señala que la red de alcantarillado pluvial y sanitario no cumple con la capacidad hidráulica requerida para los flujos asociados al crecimiento urbano reciente y la impermeabilización del suelo. La planificación local establece como meta la modernización del sistema de drenaje, la ampliación de colectores secundarios y la implementación de infraestructura complementaria antes del cierre del periodo, reflejando la urgencia de diseñar intervenciones hidráulicas que apoyen la evacuación de aguas lluvias y la funcionalidad de zonas críticas como el centro histórico (Arias S. S., 2024).

Ilustración 6: Identificación del sitio - Plaza de Mercado Leopoldo Rother



Fuente: Elaboración propia. (2025).

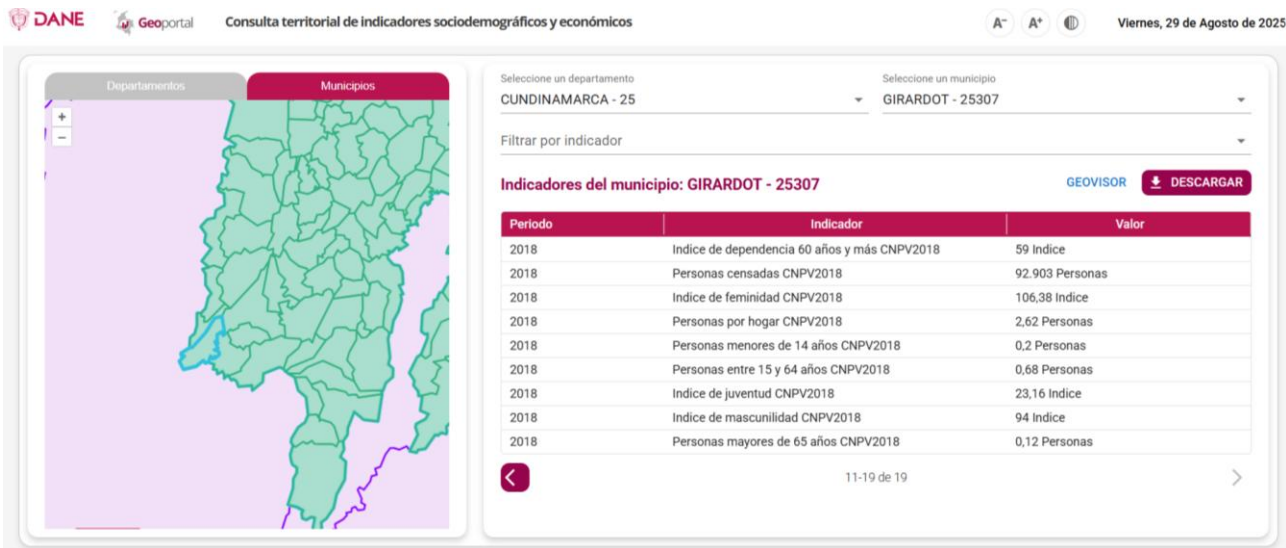
Finalmente, la localización de la Plaza Leopoldo Rother, en un sector céntrico densamente urbanizado, hace que los procesos de drenaje pluvial dependan de sistemas de conducción que han quedado insuficientes frente al crecimiento poblacional y a los cambios en la cobertura superficial. Este aspecto justifica la necesidad de evaluar el caudal de diseño mediante el método racional, como herramienta base para dimensionar sistemas que garanticen la funcionalidad y protección del inmueble patrimonial.

5.6. MARCO DEMOGRAFICO

Según las proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la población del municipio de Girardot para el año 2024 asciende a 123.329 habitantes, lo que representa una tasa de crecimiento anual promedio del 2,81% respecto al censo de 2018. Asimismo, se proyecta que para el año 2035 la población alcance los 161.551 habitantes, consolidando al municipio como uno de los de mayor expansión demográfica en el departamento de Cundinamarca (Arias S. S., 2024).

En la Ilustración 7, se presentan los indicadores básicos de población según el DANE (2018), donde se evidencia que Girardot contaba con 92.903 personas censadas en el último censo, con un promedio de 2,62 personas por hogar. La pirámide poblacional muestra que el 68 % de la población se encuentra en edad productiva (15-64 años), el 20% corresponde a menores de 14 años y cerca del 12% a adultos mayores de 65 años, reflejando un índice de envejecimiento de 63,36 y un índice de dependencia de 46,81 para personas de 60 años y más. Por otro lado, en cuanto a la composición por sexo, el índice de feminidad de 106,38 indica una ligera mayoría de mujeres, equivalente al 51,2% de la población, frente a un 48,8 % de hombres. Esta diferencia es consistente con la tendencia nacional y tiene implicaciones sociales, visto que se ha identificado que las mujeres presentan un 9,13 % más de probabilidad de experimentar pobreza multidimensional frente a los hombres.

Ilustración 7: Indicadores demográficos del municipio de Girardot (2018)



Fuente: DANE. (2025). Consulta territorial de indicadores sociodemográficos y económicos.

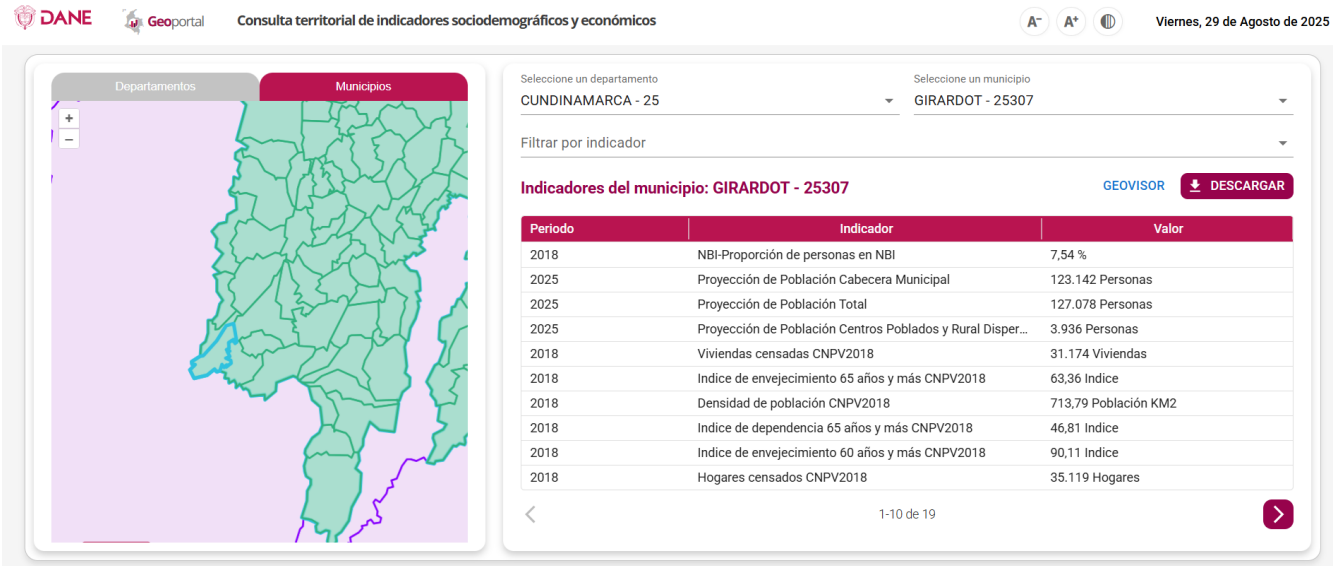
Seguidamente, la distribución espacial de la población se presenta en la ilustración 8, donde se observa que el 96,8% (119.427 habitantes) reside en la cabecera municipal, mientras que apenas un 3,2% (3.902 habitantes) habita en las zonas rurales, principalmente en los

corregimientos de Barzalosa y San Lorenzo. Esto explica la elevada densidad poblacional de 713,79 habitantes por km^2 , que genera una presión considerable sobre la infraestructura urbana.

En materia socioeconómica, también muestra que la proporción de personas con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) en Girardot es de 7,54%, cifra menor que la media departamental, pero con una marcada diferencia entre el sector rural y el urbano. Asimismo, el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) fue del 13,4% en 2018, alcanzando el 31,0% en la zona rural y el 12,4% en la cabecera, lo que refleja desigualdades territoriales que se suman a la concentración urbana.

En términos de vivienda y hogares, se registran 35.119 hogares censados y 31.174 viviendas, lo que confirma el proceso de densificación en el casco urbano y la reducción del tamaño promedio de los hogares, fenómeno que se asocia con la transición demográfica y las dinámicas sociales actuales.

Ilustración 8: Indicadores demográficos del municipio de Girardot (2018-2025)



Fuente: DANE. (2025). Consulta territorial de indicadores sociodemográficos y económicos.

En síntesis, los indicadores presentados en las ilustraciones 7 y 8 permiten concluir que Girardot cuenta con una población predominantemente urbana, en crecimiento sostenido y con tendencia al envejecimiento, donde la concentración en la cabecera municipal y la presencia de población flotante intensifican la presión sobre los sistemas urbanos. Estas condiciones tienen un impacto directo en la planeación de la infraestructura de servicios y justifican la necesidad de estudios técnicos como el análisis hidrológico aplicado a la Plaza de Mercado Leopoldo Rother.

6. DELIMITACIÓN

El presente estudio se enfoca en el análisis hidrológico de la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, ubicada en Girardot, Cundinamarca, mediante la determinación del caudal de escorrentía utilizando el método racional. La investigación se centra en el área física de la plaza y se fundamenta en el análisis de datos de precipitaciones y en la aplicación de curvas IDF, considerando como marco temporal los registros meteorológicos disponibles en los últimos años.

Cabe destacar que este estudio se limita a caracterizar el comportamiento hidrológico del sitio, sin abarcar el diseño, implementación o evaluación de un sistema de captación de aguas de lluvias. De este modo, se pretende transformar un problema amplio en un análisis específico y manejable, facilitando la obtención de resultados que contribuyan a la gestión del recurso hídrico en la zona.

En este contexto, la delimitación temporal se fundamenta en el uso de series históricas de precipitación obtenidas del IDEAM, cuya disponibilidad en Girardot asegura la confiabilidad de los datos y su representatividad en términos estadísticos. El análisis se orienta a registros de al menos diez años, dado que este horizonte temporal es recomendado para estudios hidrológicos que buscan estimar caudales de diseño mediante distribuciones de probabilidad y curvas IDF.

Por su parte, la delimitación espacial, restringida a la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, responde a la necesidad de enfocar el estudio en un entorno urbano patrimonial donde la impermeabilización de superficies es predominante. Esta condición convierte a la plaza en un laboratorio urbano idóneo para evaluar la respuesta hidrológica en condiciones de máxima escorrentía, sin extender el análisis a toda la cuenca urbana de Girardot, lo que asegura manejabilidad y pertinencia en los resultados.

Finalmente, se aclara que el estudio no abarca el diseño estructural ni la construcción de obras hidráulicas, sino que se concentra exclusivamente en el análisis del caudal de escorrentía superficial como insumo técnico y de planificación. Esta delimitación metodológica garantiza que los resultados puedan ser replicados en estudios similares y que se constituyan en una herramienta objetiva de consulta para futuras fases de diseño e implementación.

7. DISEÑO METODOLÓGICO

7.1. TIPO DE INVESTIGACION

Este proyecto se desarrolla dentro del marco de una investigación aplicada, porque busca brindar una solución concreta a un problema real que afecta directamente a la comunidad: la ineficiencia del sistema de captación de aguas de lluvias en la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, en Girardot. A partir del análisis hidrológico y del cálculo del caudal de escorrentía, se pretende generar información útil que pueda ser utilizada en el rediseño o mejora del sistema actual. Tal como explican Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2023), este tipo de investigación se caracteriza por transformar el conocimiento en una herramienta práctica para intervenir en situaciones reales y mejorar condiciones existentes.

Desde el punto de vista metodológico, se adopta un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos, como los registros históricos de precipitación y las características físicas de la cuenca. En este caso, se utilizaron los registros del Aeropuerto Santiago Vila (1992-2022) y de la Estación El Guamo (1964-2009), obtenidos del Portal Hidroclimático del IDEAM. La elección de estas series se debe a su representatividad climática y cercanía al área de estudio, permitiendo calcular el caudal mediante el método racional con un enfoque de precisión y validación estadística. Además, se trata de una investigación descriptiva, porque busca detallar las condiciones hidrológicas del entorno sin manipularlas, enfocándose en cómo se comporta el sistema actual y qué factores influyen en su desempeño. Como señala Guillermina Baena Paz (2017), este tipo de investigación permite observar, describir y analizar fenómenos tal como se presentan, con el fin de comprenderlos mejor.

Por otra parte, aunque el enfoque principal es cuantitativo, el proyecto también incorpora elementos mixtos, debido a que no solo se calculan valores y parámetros, sino que se reflexiona sobre el impacto de esos resultados en la sostenibilidad, la eficiencia del recurso hídrico y el bienestar de quienes dependen de este espacio. Según Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2023), combinar herramientas cuantitativas y cualitativas en una investigación permite entender el problema de forma más integral, captando tanto los datos duros como sus implicaciones sociales y ambientales.

7.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La metodología adoptada busca asegurar la reproducibilidad y trazabilidad del proceso investigativo, de modo que otro investigador pueda aplicar los mismos pasos y obtener resultados equivalentes en condiciones semejantes. Para ello, se emplea un procedimiento sistemático que incluye la recolección de datos en fuentes oficiales (IDEAM, Min Vivienda, Min Ambiente), la organización y tratamiento de la información en hojas de cálculo, y la aplicación rigurosa de fórmulas hidrológicas estandarizadas.

Asimismo, el diseño metodológico se estructura bajo los principios de la investigación aplicada y descriptiva: aplicada porque aporta soluciones prácticas a un problema real (deficiencia en la captación pluvial de la plaza), y descriptiva porque permite caracterizar el fenómeno hidrológico tal como se manifiesta, sin manipulación de variables. Esto se complementa con técnicas de análisis estadístico de extremos (ajuste a distribuciones de probabilidad, cálculo de periodos de retorno), que proporcionan validez y solidez al cálculo de intensidades de precipitación.

Para alcanzar los objetivos propuestos, se seguirá un enfoque basado en las siguientes etapas:

7.2.1. Revisión bibliográfica y antecedentes

- Consulta de investigaciones previas sobre hidrología urbana y aprovechamiento de aguas lluvias.
- Análisis de metodologías utilizadas en proyectos similares a nivel nacional.
- Revisión de la normativa técnica aplicable (RAS 2017, INVIAS 2009).

7.2.2. Recolección de datos hidrometeorológicos

- Obtención de registros de precipitación histórica en la zona de estudio a partir de bases de datos del IDEAM.
- Caracterización de las condiciones meteorológicas y su variabilidad en el tiempo.

7.2.3. Cálculo de parámetros hidrológicos

- Identificación del coeficiente de escorrentía con base en el uso y tipo de suelo de la plaza.
- Construcción de curvas IDF para estimar la intensidad de precipitación en diferentes periodos de retorno.
- Aplicación del método racional para calcular el caudal de escorrentía máximo.

- Comparación de resultados entre las estaciones El Guamo y Aeropuerto Santiago Vila, estableciendo diferencias porcentuales en intensidades y caudales.

7.2.4. Análisis de resultados y conclusiones

- Interpretación de los caudales obtenidos y evaluación de su aplicabilidad en el rediseño del sistema pluvial.
- Identificación del potencial de aprovechamiento de aguas lluvias para usos no potables.
- Formulación de lineamientos de aplicación orientados a la sostenibilidad hídrica y patrimonial.

7.3. TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

- Análisis de bases de datos meteorológicas: series históricas de lluvia obtenidas del IDEAM (Aeropuerto Santiago Vila y El Guamo).
- Interpretación de imágenes y modelado digital: uso de Dron, QT Reader y Civil 3D para obtener nubes de puntos, visualizar la cubierta en 3D y calcular el área de drenaje.
- Cartografía y análisis espacial: empleo de ArcGIS para la delimitación de la cuenca urbana y la determinación de pendientes.
- Modelación hidrológica: aplicación de la ecuación del método racional, integrando variables de intensidad, coeficiente de escorrentía y área de drenaje.

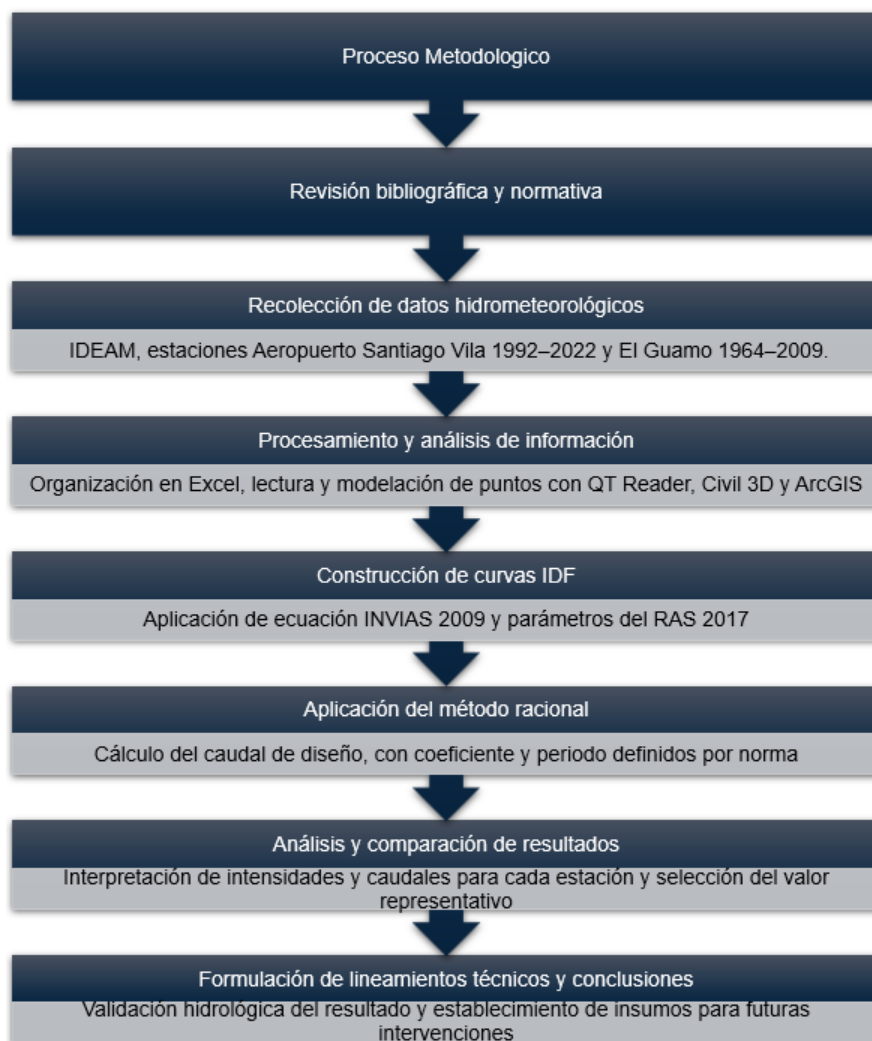
7.4. INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

- IDEAM Portal Hidroclimático: fuente oficial para la obtención de los registros de precipitación.
- Microsoft Excel: herramienta principal para la construcción de curvas IDF, regresiones y cálculos del método racional.
- ArcGIS y AutoCAD Civil 3D: para la delimitación del área de drenaje y modelación de la topografía.

- QT Reader: visualización tridimensional y medición de la cubierta a partir de la nube de puntos generada por el dron.
- Normas RAS (2017) e INVIAS (2009): referencia técnica para el tratamiento de parámetros hidrológicos y diseño de drenaje urbano.

El proceso metodológico se desarrolló siguiendo una secuencia lógica que integró la revisión documental, la obtención de datos hidrometeorológicos, el procesamiento técnico y la aplicación del método racional, con el fin de determinar el caudal de diseño de la Plaza de Mercado Leopoldo Rother. En la siguiente ilustración 9, se resume de manera general el procedimiento aplicado:

Ilustración 9: Diagrama de flujo del proceso metodológico



Fuente: Elaboración propia. (2025).

8. RECURSOS

8.1. RECURSO HUMANO

El presente trabajo de grado se desarrolló bajo la dirección y acompañamiento de la Universidad Piloto de Colombia-Seccional Alto Magdalena, en el programa de Ingeniería Civil, contando con la orientación de dos docentes asesores experimentados en el área.

En cuanto a la ejecución práctica de la investigación, los recursos humanos involucrados se pueden clasificar en tres niveles:

- Investigador principal (Est. Lina Rivera y Est. Yasirley Sevilla): responsables de la planeación, recolección de información, procesamiento de datos hidrológicos, construcción de curvas IDF, aplicación del método racional y redacción del documento final.

- Docentes asesores (Ing. Jesús Flaminio e Ing. Genaro Penagos): encargados de supervisar la rigurosidad metodológica, verificar la validez de los cálculos y orientar el cumplimiento de las normas académicas y técnicas vigentes.

Apoyo institucional: participación indirecta de entidades como el IDEAM, que provee las series de datos de precipitación, y la Alcaldía Municipal de Girardot, que suministra información catastral, urbana y de planeación territorial relevante para la caracterización del área de estudio.

La intervención de estos actores asegura que el proceso tenga validez académica, científica y técnica, y que los resultados puedan ser considerados un insumo aplicable a la planificación municipal y a futuras fases de diseño hidráulico.

8.2. RECURSO MATERIAL

Para la realización de este trabajo, se hizo uso de recursos materiales divididos en tres categorías:

Fuentes de información y datos

- Registros pluviométricos e hidrológicos del IDEAM
- Documentos normativos y técnicos
- Información urbanística y de planeación obtenida en la Alcaldía de Girardot
- Proyectos de investigación y tesis académicas relacionadas disponibles en el repositorio institucional de la Universidad Piloto de Colombia y en sitios web

Herramientas tecnológicas:

- Software Microsoft Excel: para organización de bases de datos, construcción de tablas de frecuencias, regresiones lineales y ajustes de distribuciones de probabilidad
- Herramientas estadísticas (Análisis en Excel) para el ajuste probabilístico de series históricas
- Google Earth Pro y cartografía oficial IGAC: para apoyo en la delimitación espacial del área de estudio y cálculo de áreas contributivas.
- Civil 3D y QT Reader: para la adquisición de datos topográficos de la cubierta, cuya información fue procesada en QT Reader para la visualización tridimensional y medición directa de la superficie, e integrada en Autodesk Civil 3D para la digitalización, delineación de bordes y cálculo del área efectiva de escurrimiento.

Material de consulta y redacción:

- Bibliografía especializada en hidrología aplicada e hidráulica urbana
- Normativa nacional disponible en bases oficiales del Ministerio de Vivienda y Ministerio de Ambiente
- Material académico de la Universidad Piloto de Colombia: guías metodológicas y protocolos de trabajo de grado.

9. DESARROLLO PROPUESTA

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados, en este capítulo se expone el procedimiento desarrollado para la determinación del caudal de diseño en la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, a partir de la aplicación del método racional. Para ello, se parte de la caracterización física del área de estudio y de la recopilación de la información hidrometeorológica disponible, lo que permite establecer los parámetros necesarios para el cálculo: intensidad de precipitación, coeficiente de escorrentía, área de drenaje y periodo de retorno. Posteriormente, dichos valores se integran en la ecuación del método racional para estimar el caudal máximo esperado en el sector analizado. Finalmente, se presenta el análisis e interpretación de los resultados, los cuales constituyen un insumo técnico fundamental para la gestión del recurso hídrico y la planificación urbana de la zona, sin abordar aspectos de diseño constructivo, en coherencia con la delimitación establecida para el proyecto.

9.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Plaza de Mercado Leopoldo Rother, ubicada en el municipio de Girardot (Cundinamarca), constituye un referente urbano, arquitectónico y social de gran relevancia. Desde su construcción en 1946, este inmueble ha funcionado como un espacio de abastecimiento y encuentro, aportando no solo a la dinámica comercial del municipio, sino también a su identidad cultural. Actualmente, se localiza en la carrera 9 con calle 11, barrio San Miguel, en un predio de $5521,46 \text{ m}^2$ y un área construida de $3493,77 \text{ m}^2$ (Amaya & Pardo, 2014). La ilustración 9 muestra la ubicación precisa del bien cultural mediante una imagen satelital, en la que también se destaca la superficie de la cubierta equivalente a 0,3603 ha que constituye el área de aporte para el presente análisis hidrológico.

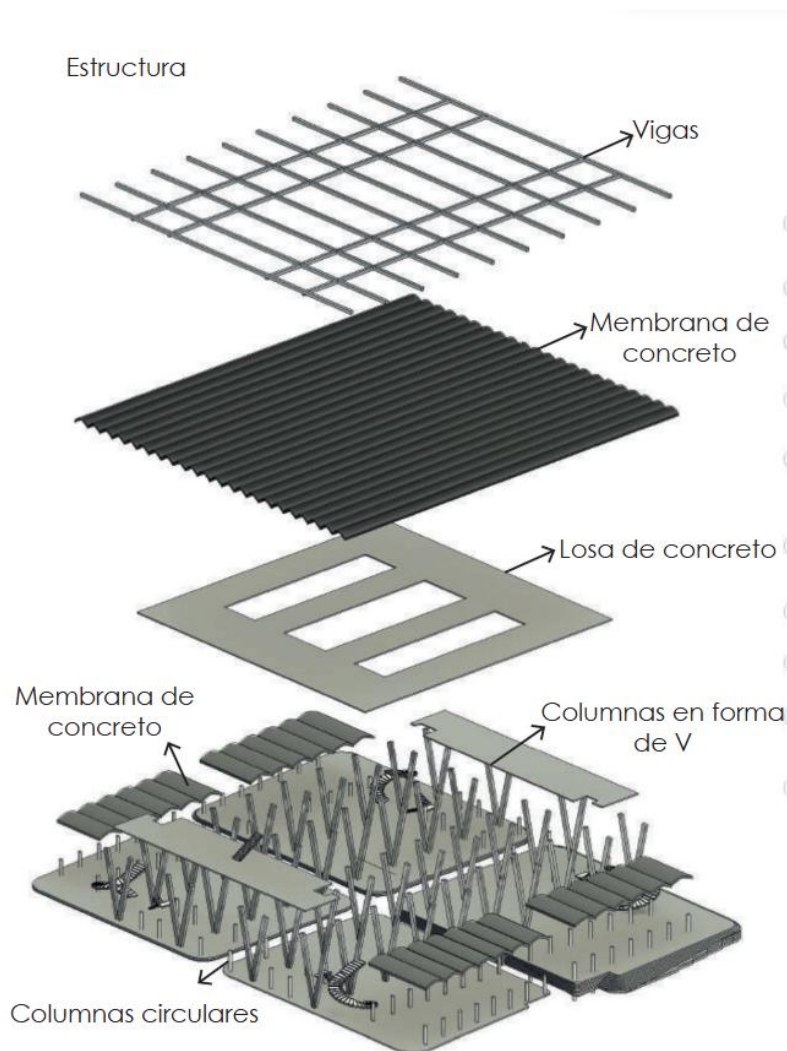
Ilustración 10: Delimitación del área de la cubierta



Fuente: Elaboración propia. (2025). Google Earth.

Desde la perspectiva arquitectónica, el edificio marcó un hito en la historia de la construcción en Colombia al introducir el uso de membranas de concreto, recurso estructural que hasta ese momento no se había implementado en el país. El arquitecto Leopoldo Rother diseñó una cubierta conformada por 198 membranas largas, de 7 metros de longitud, 2,5 metros de ancho y 5 centímetros de espesor, con una flecha de 0,50 metros (20% de la anchura). Ante la ausencia de experiencia local en el cálculo de este tipo de elementos, se realizó un ensayo a escala real en el Edificio Murillo Toro de Bogotá, que demostró una resistencia muy superior a la estimada inicialmente (Pardo, 2022). Esta innovación no solo permitió cubrir amplias luces, sino también configurar un sistema de triángulos estructurales que aportaron estabilidad y funcionalidad al diseño. En la ilustración 10 se observa un esquema tridimensional de la cubierta de la plaza de mercado Leopoldo Rother, en el que se detallan los principales elementos estructurales: vigas, losa de concreto, membranas y columnas en forma de “V”.

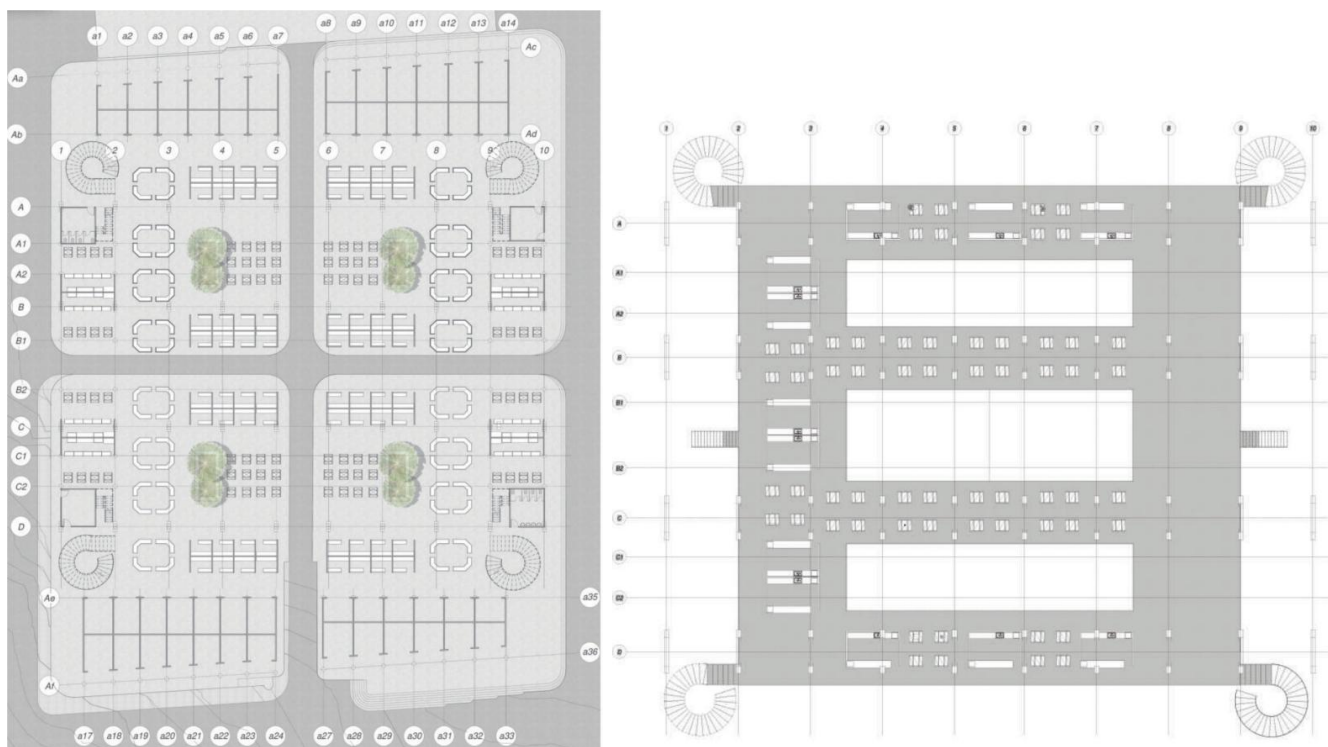
Ilustración 11: Registro grafico de la estructura



Fuente: Pardo, Ana M. (2022). Renovación de la plaza de mercado de Girardot, pág. 22.

La configuración estructural responde a la combinación de columnas en forma de “V” con vigas de galería y vigas invisibles, lo cual conforma un entramado triangular que asegura la estabilidad del conjunto. La decisión de prescindir de muros perimetrales fue clave para favorecer la ventilación cruzada, lo que permitió aprovechar la brisa proveniente del río Magdalena y mantener condiciones de frescura en el interior de la plaza (Pardo, 2022). De manera complementaria, se implementó un sistema de drenaje integrado: las columnas huecas funcionan como bajantes, mientras que en los ejes intermedios se promueve la evaporación del agua acumulada en los triángulos de las membranas. El diseño contempló, además, un declive del 1% en dirección longitudinal y la inclusión de tubos horizontales para facilitar la evacuación. En la ilustración 11 se presenta el plano en planta que permitió delimitar la superficie de aporte y, en la ilustración 12, una imagen de dron que ofrece un detalle más preciso de la cubierta.

Ilustración 12: Planos arquitectónicos en planta del Nivel 1 y Nivel 2



Fuente: Pardo, Ana M. (2022). Renovación de la plaza de mercado de Girardot, pág. 19.

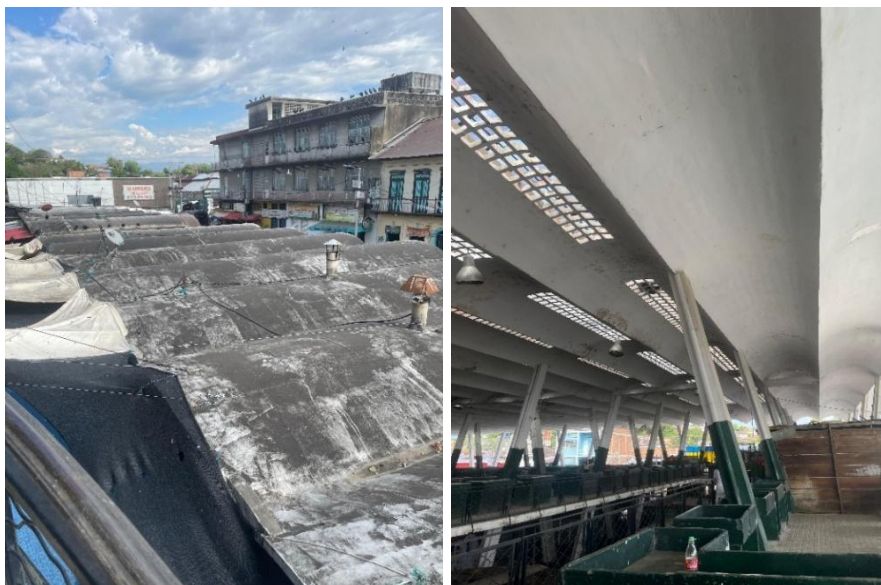
Ilustración 13: Área de la cubierta



Fuente: Elaboración propia. (2025). Obtenido de Jesús Flaminio Ospitia.

En cuanto a su estado de conservación, la Plaza ha experimentado cambios significativos a lo largo del tiempo. Mientras que en 1948 se encontraba en buen estado, con dos pisos y uso exclusivo como mercado, en la actualidad el inmueble presenta tres niveles, un deterioro evidente en la cubierta y múltiples intervenciones que han modificado su carácter original. La falta de mantenimiento ha generado problemas de humedad, alteraciones de color y adiciones no previstas que afectan su valor histórico (Amaya & Pardo, 2014). La ilustración 13 y 14 se expone el estado actual de la estructura, en el que se evidencia la incidencia del deterioro sobre las membranas.

Ilustración 14: Estado de la cubierta



Fuente: Elaboración propia. (2025).

Ilustración 15: Ortofoto Plaza de Mercado Leopoldo Rother



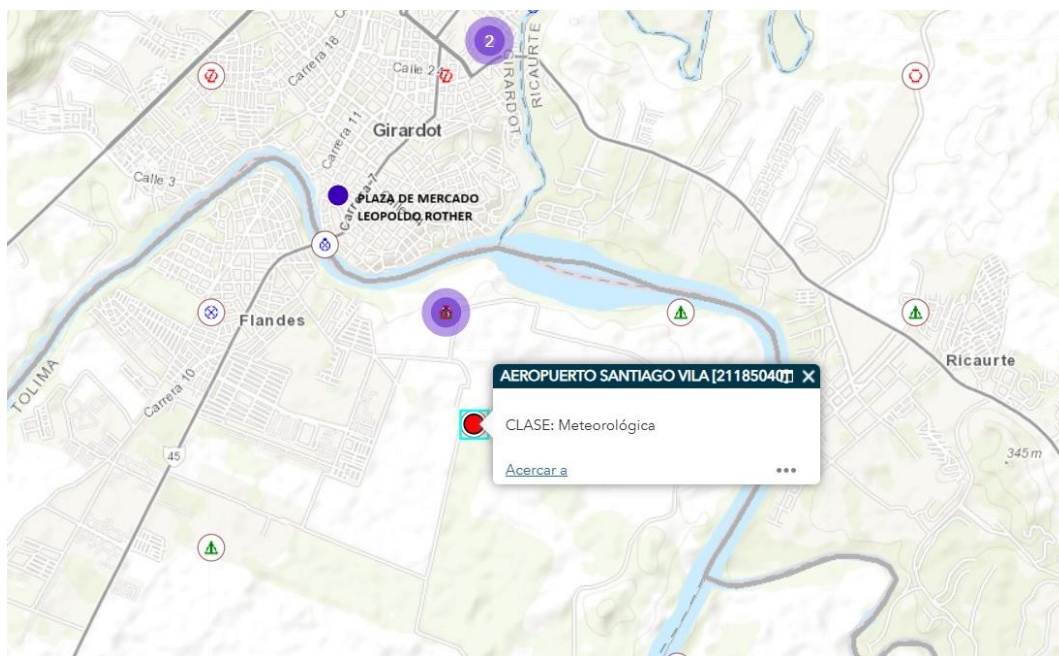
Fuente: Elaboración propia. (2025). Obtenido de Jesús Flaminio Ospitia.

En conclusión, la Plaza de Mercado Leopoldo Rother no solo es un inmueble representativo para la dinámica socioeconómica de Girardot, sino también un referente de innovación en la ingeniería y la arquitectura colombiana. La caracterización de su cubierta como superficie impermeable resulta esencial para el análisis hidrológico, dado que el diseño estructural y las particularidades materiales determinan directamente el comportamiento de la escorrentía y, en consecuencia, el cálculo de los caudales de diseño mediante el método racional.

9.2. PRECIPITACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

Para la caracterización de la precipitación en el área de estudio se emplearon los registros oficiales del IDEAM, correspondientes a la estación meteorológica Aeropuerto Santiago Vila (código 21185040), localizada en el municipio de Flandes, Tolima, por ser la más cercana y representativa de las condiciones hidrometeorológicas del sector. La serie seleccionada comprende un periodo de 30 años (1992–2022), lo que proporciona una base sólida para el análisis estadístico y la determinación de las variables requeridas en el diseño hidrológico.

Ilustración 16: Estación meteorológica Aeropuerto Santiago Vila



Fuente: Elaboración propia. (2025). Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos, (IDEAM).

A partir de esta información se identificaron las precipitaciones máximas anuales en 24 horas, las cuales fueron organizadas y sistematizadas para calcular los valores promedio, máximo y mínimo, que constituyen los insumos para la construcción de las curvas IDF. La Tabla 4

presenta los resultados obtenidos, evidenciándose un comportamiento variable en los registros anuales, con eventos extremos que destacan por su magnitud frente al promedio.

Tabla 6: Precipitación anual máxima en 24 horas (Estación: Aeropuerto Santiago Vila)

Valores precipitación anual máxima en 24 horas	
1992	147,3
1993	216,1
1994	225,5
1995	164,6
1996	206
1997	176,1
1998	219,4
1999	238,9
2000	247,7
2001	320,2
2002	255,2
2003	249,5
2004	217,4
2005	374,3
2006	302,4
2007	331
2008	224,5
2009	272,2
2010	502,7
2011	213,3
2012	263,6
2013	199,7
2014	287,2
2015	304,5
2016	406,9
2017	326,3
2018	290,2
2019	243,1
2020	268,7
2021	197,6
2022	218
No. Datos	30
Promedio	261,6
Max.	502,7
Min.	147,3

Fuente: Elaboración propia. (2025).

Del análisis de los datos se observa que la precipitación máxima en 24 horas alcanzó un valor de 502.7 mm, mientras que la mínima fue de 147.3 mm, y el promedio se situó en 261.6 mm. Estos resultados reflejan la alta variabilidad de las lluvias intensas en la región, asociada a las dinámicas propias del clima cálido de Girardot y su interacción con fenómenos atmosféricos de escala regional. Esta información constituye la base para el cálculo de la intensidad de lluvia (I) mediante la ecuación propuesta en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIA (2009), complementada por los lineamientos de la Resolución 0330 de 2017.

9.3. INTENSIDAD DE LA LLUVIA Y CURVAS IDF

La determinación de la intensidad de la lluvia (I) constituye un paso fundamental para la aplicación del método racional, puesto que este parámetro incorpora la magnitud de la precipitación extrema al cálculo del caudal de diseño. Para su estimación se empleó la Ecuación 2 descrita en el marco teórico, la cual corresponde al modelo empírico definido en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIA (2009). Esta ecuación integra los parámetros regionales a, b, c, d, definidos para la región en la que se ubica el municipio de Girardot, así como el valor de la precipitación máxima media en 24 horas (M). Los coeficientes adoptados se presentan en la Tabla 4 del marco teórico, que corresponde a los valores establecidos para la zona andina.

Con base en esta formulación se construyó la Tabla 7, que muestra los valores de intensidad de la lluvia (mm/h) para diferentes periodos de retorno (2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años) y para distintas duraciones comprendidas entre 10 y 360 minutos. Se observa que, para todos los periodos de retorno, la intensidad disminuye a medida que aumenta la duración, comportamiento característico de las precipitaciones extremas, donde los eventos de corta duración generan mayores intensidades que aquellos de mayor duración.

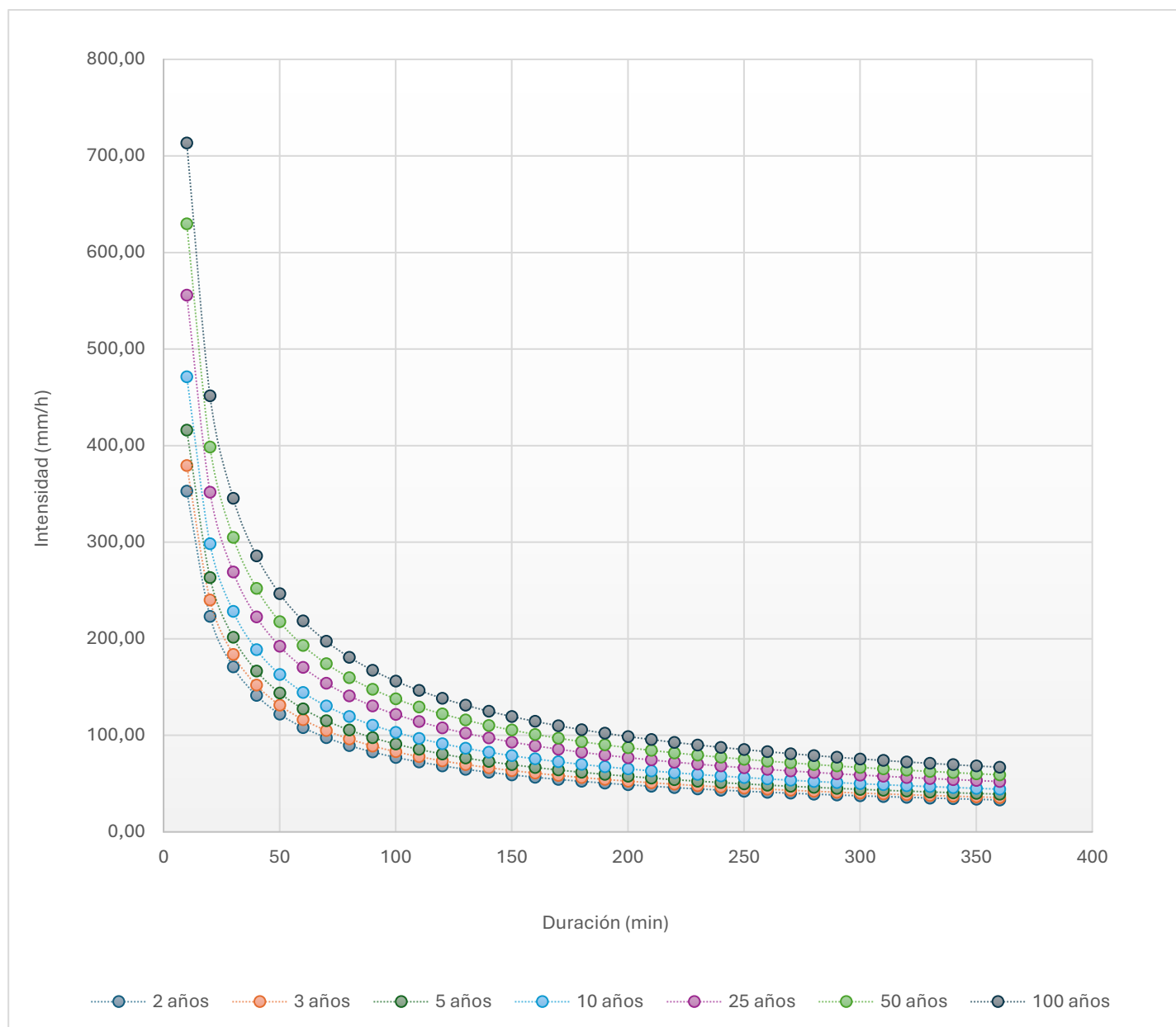
Tabla 7: Valores de intensidad (mm/h)

Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	3	5	10	25	50	100
10	352,82	379,53	416,09	471,38	555,90	629,77	713,46
20	223,29	240,20	263,33	298,32	351,82	398,57	451,53
30	170,87	183,80	201,50	228,28	269,21	304,99	345,52
40	141,32	152,02	166,66	188,80	222,66	252,25	285,77
50	121,96	131,20	143,83	162,95	192,17	217,70	246,63
60	108,14	116,32	127,53	144,47	170,38	193,02	218,67
70	97,68	105,07	115,19	130,50	153,90	174,35	197,52
80	89,44	96,21	105,47	119,49	140,92	159,64	180,85
90	82,75	89,01	97,59	110,55	130,38	147,70	167,33
100	77,19	83,03	91,03	103,13	121,62	137,78	156,09
110	72,48	77,97	85,48	96,84	114,20	129,38	146,57
120	68,44	73,62	80,71	91,43	107,83	122,16	138,39
130	64,92	69,83	76,56	86,73	102,28	115,87	131,27
140	61,82	66,50	72,90	82,59	97,40	110,34	125,00
150	59,07	63,54	69,66	78,91	93,06	105,43	119,44
160	56,60	60,89	66,75	75,62	89,18	101,03	114,46
170	54,38	58,50	64,13	72,66	85,68	97,07	109,97
180	52,37	56,33	61,76	69,97	82,51	93,48	105,90
190	50,53	54,36	59,59	67,51	79,62	90,20	102,19
200	48,85	52,55	57,61	65,27	76,97	87,20	98,78
210	47,30	50,88	55,79	63,20	74,53	84,43	95,65
220	45,87	49,35	54,10	61,29	72,28	81,88	92,76
230	44,55	47,92	52,53	59,52	70,19	79,51	90,08
240	43,31	46,59	51,08	57,87	68,24	77,31	87,59
250	42,16	45,35	49,72	56,33	66,43	75,26	85,26
260	41,08	44,19	48,45	54,89	64,73	73,33	83,08
270	40,07	43,11	47,26	53,54	63,14	71,53	81,03
280	39,12	42,08	46,14	52,27	61,64	69,83	79,11
290	38,23	41,12	45,08	51,07	60,23	68,23	77,30
300	37,38	40,21	44,08	49,94	58,90	66,72	75,59
310	36,58	39,35	43,14	48,87	57,64	65,30	73,97
320	35,82	38,53	42,25	47,86	56,44	63,94	72,44
330	35,10	37,76	41,40	46,90	55,31	62,66	70,98
340	34,42	37,02	40,59	45,98	54,23	61,43	69,60
350	33,77	36,32	39,82	45,11	53,20	60,27	68,28
360	33,14	35,65	39,09	44,28	52,22	59,16	67,02

Fuente: Elaboración propia. (2025).

Posteriormente, los valores calculados fueron representados en forma gráfica para construir las curvas IDF (Ilustración 16). Estas curvas permiten visualizar de manera clara la relación inversa entre la duración del evento y la intensidad de la precipitación, así como la influencia del periodo de retorno en la magnitud de la lluvia de diseño. De las curvas se aprecia que, para periodos de retorno altos, las intensidades alcanzan valores significativamente mayores, reflejando la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos más severos.

*Ilustración 17: Curvas IDF: Estación Aeropuerto Santiago Vila (Flandes)
código: 21185040*



Fuente: Elaboración propia. (2025).

9.3.1. Periodo de retorno

De acuerdo con lo estipulado en el artículo 135 de la Resolución 0330 de 2017, el periodo de retorno a adoptar en el diseño hidráulico de sistemas de evacuación de aguas lluvias debe seleccionarse en función del área de aporte y de la categoría de la infraestructura. En el caso de áreas de aporte menores a 2 hectáreas, el reglamento establece que se debe emplear un periodo de retorno de 5 años, mientras que, para superficies mayores o sistemas de mayor complejidad, los valores pueden oscilar entre 10 y 100 años dependiendo de la infraestructura a diseñar, como lo señala la Tabla (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Tabla 8: Periodos de retorno

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: Min. de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 0330 del 2017, pág. 85.

En el presente estudio, al tratarse de una cubierta de 0,3603 ha, que corresponde a un área impermeable inferior al umbral de 2 ha, se seleccionó un periodo de retorno de 5 años, cumpliendo lo indicado por la normativa vigente. Esta decisión garantiza que el diseño hidrológico sea consistente con las disposiciones regulatorias y con las condiciones reales del proyecto.

Una vez definido el periodo de retorno, se procede a seleccionar la intensidad correspondiente. El análisis de las curvas IDF mostró que el valor máximo de intensidad se presenta en una duración de 10 minutos, con un resultado de 416,09 mm/h para un periodo de retorno de 5 años. Este valor se adopta como la intensidad de lluvia de diseño para la aplicación del método racional en la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, constituyéndose en uno de los parámetros principales en el cálculo del caudal de escorrentía.

9.4. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía (C) es un parámetro adimensional que representa la proporción de la precipitación que se transforma en escorrentía directa sobre una superficie determinada. Su valor depende principalmente del tipo de cobertura, la pendiente del terreno y las condiciones de infiltración del suelo o material de la superficie.

De acuerdo con el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS (2007), sintetizado en las Tablas 1 y 2 del marco teórico, los coeficientes varían entre 0,05 y 1,00, siendo cercanos a 1 en superficies completamente impermeables como el concreto y el asfalto, y más bajos en áreas con suelos permeables o cubiertas vegetales.

En el caso específico de la cubierta de la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, conformada por membranas de concreto, se considera una superficie prácticamente impermeable, en la que el agua de lluvia no presenta infiltración ni almacenamiento significativo. Por esta razón, y de acuerdo con los rangos establecidos por el INVIAS para superficies de concreto en cubiertas, que oscilan entre 0,75 y 0,95, se adoptó el valor de 0,95, al considerarse el más representativo de la condición analizada. Este valor refleja un comportamiento hidrológico en el que prácticamente la totalidad del agua precipitada es conducida como escorrentía hacia los sistemas de evacuación.

De esta forma, el coeficiente adoptado garantiza que el cálculo del caudal de diseño por el método racional considere de manera adecuada la naturaleza impermeable de la superficie de estudio y se alinee con las disposiciones técnicas establecidas en la normativa nacional.

9.5. CÁLCULO DEL CAUDAL DE DISEÑO

De acuerdo con la Ecuación 1 del método racional presentada en el marco teórico, se procedió a calcular el caudal de diseño sustituyendo los parámetros definidos para el área de estudio (ver Tabla 7). Los valores adoptados fueron los siguientes: un coeficiente de escorrentía (C) de 0,95, representativo de cubiertas en concreto; una intensidad de la lluvia (I) de 416,09 mm/h, correspondiente a la duración crítica de 10 minutos y periodo de retorno de 5 años; y un área de aporte (A) de 0,3603 ha, determinada mediante inspección directa y validación con imágenes aéreas.

Tabla 9: Valores determinados para el caudal

Tabla de valores		
Coeficiente de Escorrentía	0,95	
Intensidad	416,09	mm/h
Área	0,36	ha

Fuente: Elaboración propia. (2025).

La sustitución de estos valores en la ecuación se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 5: Calculo caudal de diseño en m³ /s (Plaza de mercado)

$$Q_p = \frac{0.95 \times 416.09 \frac{mm}{h} \times 0.3603ha}{360} = 0.396 m^3 /s$$

Fuente: Elaboración propia. (2025).

Ecuación 6: Calculo del caudal de diseño en L/s (Plaza de mercado)

$$Q_p = 2.78 \times 0.95 \times 416.09 \frac{mm}{h} \times 0.3603ha = 396 \frac{L}{s}$$

Fuente: Elaboración propia. (2025).

El valor obtenido corresponde al caudal máximo de escorrentía superficial esperado en la cubierta de la Plaza de Mercado bajo un evento de lluvia de diseño. Este resultado refleja la importancia de las superficies impermeables en la generación de escorrentía, a causa de que el coeficiente de escorrentía cercano a la unidad (0,95) evidencia que casi la totalidad de la precipitación registrada se convierte en caudal directo.

Asimismo, la alta intensidad de lluvia calculada (416,09 mm/h), propia de eventos de corta duración en la región andina, genera una respuesta hidrológica inmediata, lo que implica que el sistema de drenaje debe ser capaz de manejar volúmenes elevados en tiempos muy reducidos.

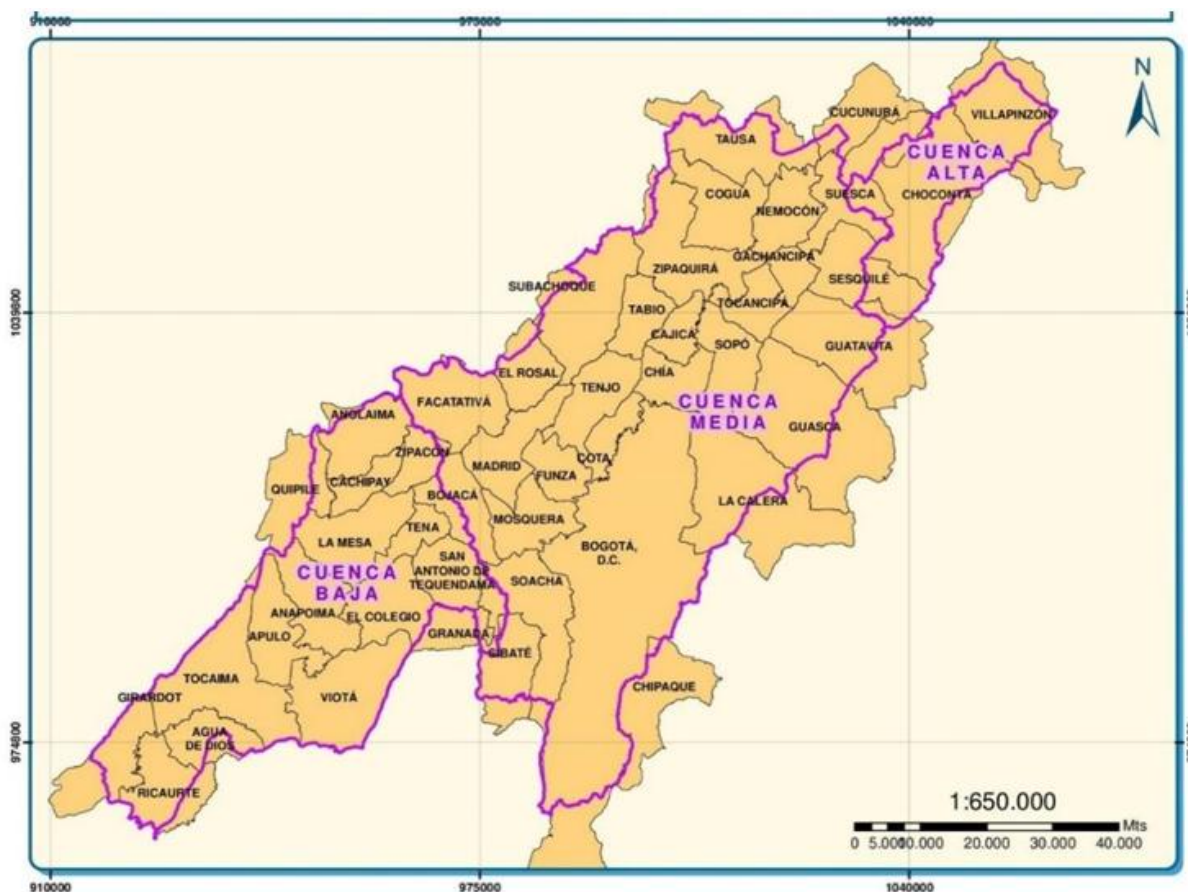
En concordancia con lo establecido en la Resolución 0330 de 2017, la selección de un periodo de retorno de 5 años resulta adecuada para áreas de aporte menores a 2 ha, garantizando un diseño acorde a las exigencias normativas. De este modo, el caudal de 0,396 m³ /s constituye la base de referencia para la evaluación y dimensionamiento de las estructuras de recolección y conducción de aguas lluvias en la cubierta, asegurando su funcionalidad y reduciendo el riesgo de afectaciones estructurales o de salubridad.

En síntesis, el cálculo confirma que la cubierta, debido a su naturaleza impermeable y a la magnitud de los eventos de precipitación en la zona, demanda soluciones de drenaje eficientes y técnicamente sustentadas, siendo el método racional una herramienta adecuada y confiable para este propósito.

9.5.1. Características fisiográficas de la cuenca y condiciones del entorno

La cuenca hidrográfica del río Bogotá hace parte de la gran cuenca del río Magdalena, la cual constituye el eje hídrico más importante del país. En los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) del río Bogotá, fase de diagnóstico, se establece que la cuenca presenta una extensión aproximada de 589.143 hectáreas y se encuentra delimitada entre la cordillera Oriental y el valle del Magdalena, abarcando un número significativo de municipios de Cundinamarca, entre ellos Girardot, que ocupa un lugar estratégico por su ubicación en la zona de confluencia con el río Magdalena (POMCA, 2018). En la Ilustración 17 se observa la distribución de los municipios que conforman la cuenca del río Bogotá, donde se destaca la presencia de Girardot como nodo estratégico en la transición hacia la cuenca del río Magdalena.

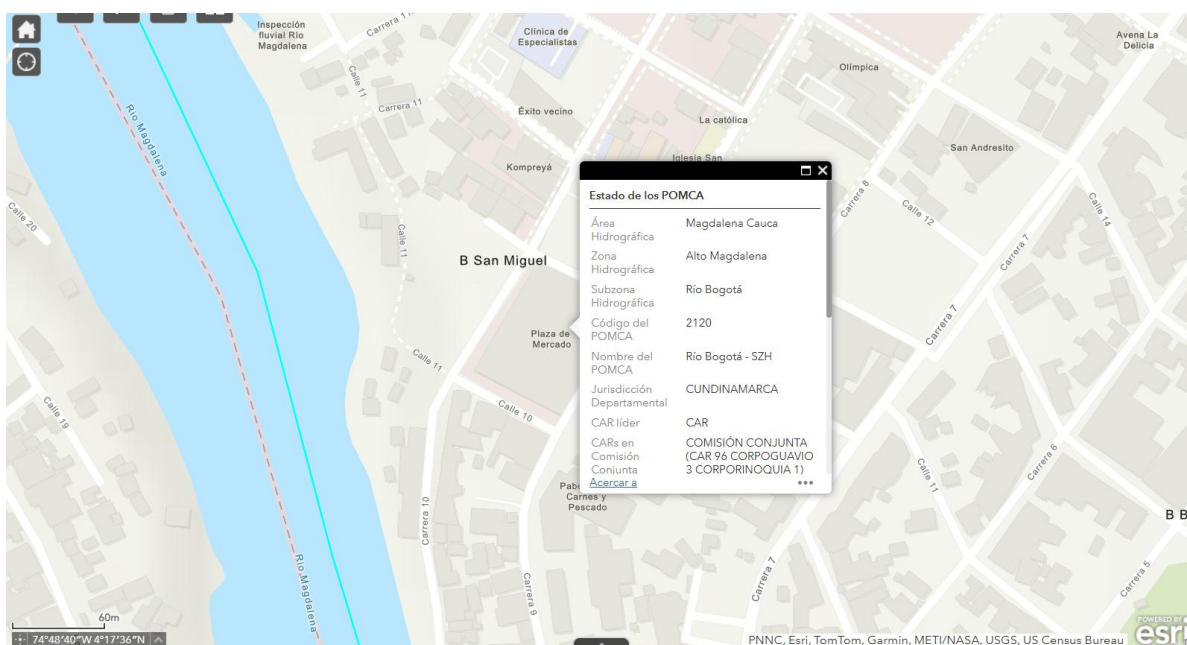
Ilustración 18: Distribución de municipios de la cuenca del río Bogotá



Fuente: POMCA. (2017). Ajuste del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Bogotá, pág. 90.

Desde el punto de vista fisiográfico, la cuenca está conformada por un relieve heterogéneo que incluye áreas montañosas en sus nacimientos, zonas de ladera media y una amplia planicie en los sectores bajos, donde el río Bogotá desemboca en el Magdalena. En este contexto, Girardot se localiza en una zona de valle aluvial, caracterizada por pendientes suaves y suelos de origen aluvial, lo que genera condiciones propicias para la acumulación de agua y la presencia de procesos de inundación en periodos de lluvia intensa. La Ilustración 18 muestra la localización del municipio de Girardot y, en particular, el área de influencia de la plaza de mercado dentro de la zona hidrográfica del Alto Magdalena, evidenciando su interacción directa con el río Bogotá y el río Magdalena.

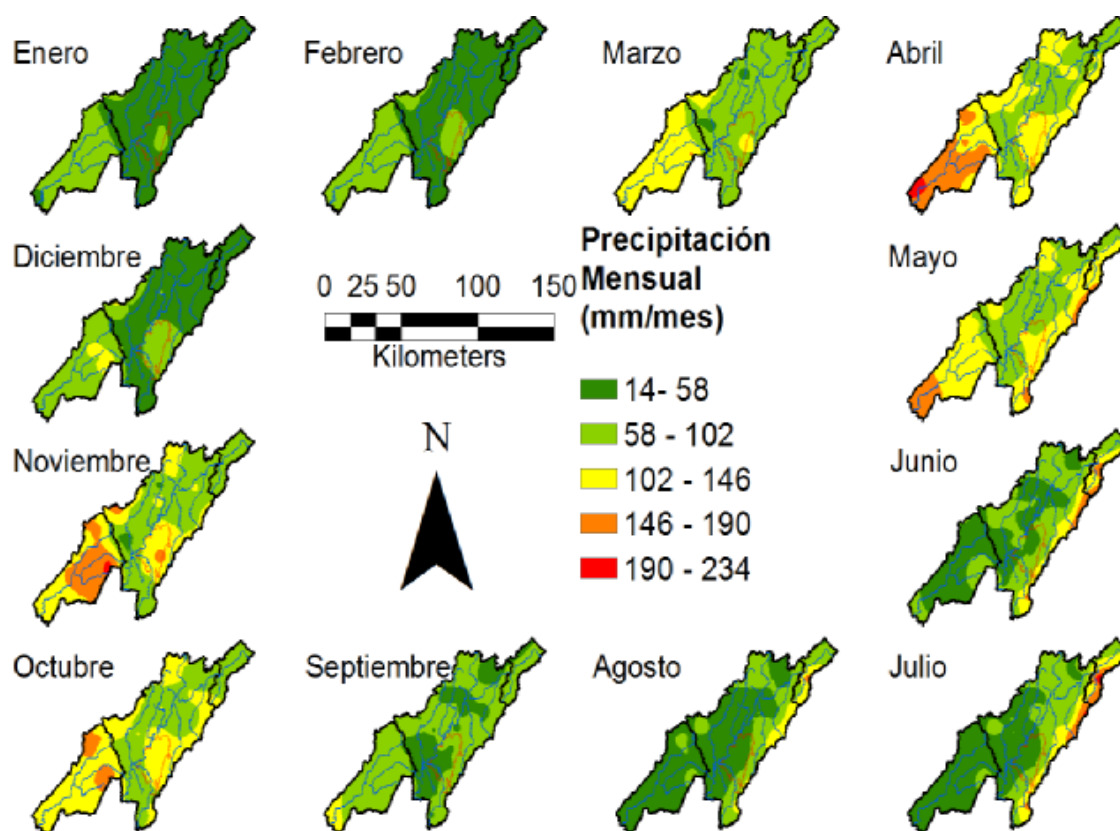
Ilustración 19: Localización de la plaza de mercado en la zona hidrográfica del Alto Magdalena



Fuente: Min Ambiente y Desarrollo S. (2023). Visor POMCA.

En cuanto a los aspectos climáticos, el POMCA de diagnóstico indica que la cuenca presenta un régimen bimodal de lluvias, con dos periodos húmedos al año y precipitaciones promedio que oscilan entre 1.000 y 1.500 mm anuales, dependiendo del sector. Para el municipio de Girardot, debido a su ubicación en el valle del Magdalena, las temperaturas son elevadas durante todo el año, con promedios superiores a 27°C, lo que condiciona no solo la disponibilidad hídrica sino también la dinámica de evaporación y escorrentía en superficies urbanas como la cubierta de la plaza de mercado Leopoldo Rother (POMCA, 2018). En la Ilustración 19 se presenta la distribución de la precipitación mensual en la cuenca del río Bogotá, donde se evidencia la marcada variabilidad climática que incide en los patrones de escorrentía y, en consecuencia, en el diseño de obras hidráulicas en áreas urbanas como Girardot.

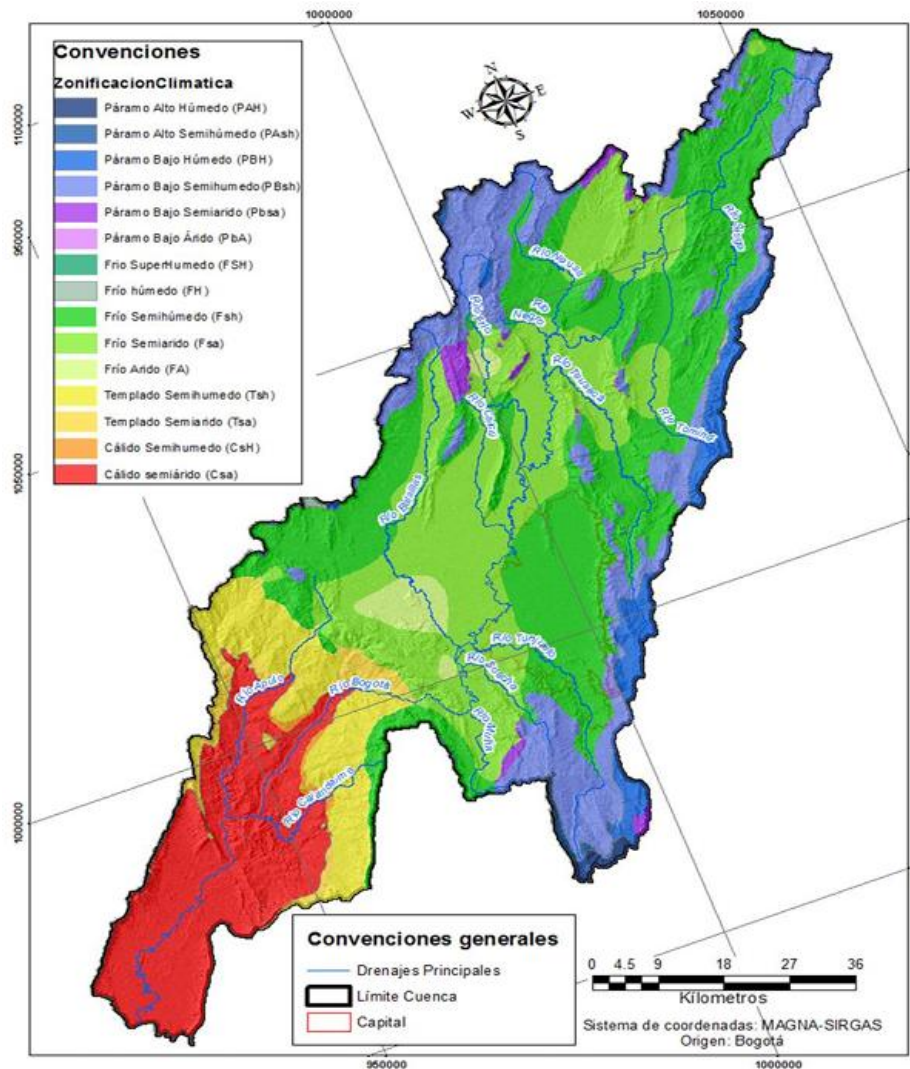
Ilustración 20: Distribución de precipitaciones mensuales en la cuenca del río Bogotá



Fuente: POMCA. (2018). Ajuste del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Bogotá, pág. 31.

Adicionalmente, el análisis hidrológico del POMCA en su fase de formulación señala que el río Bogotá, al llegar a su tramo bajo, recibe un caudal significativo de afluentes menores, lo cual incrementa el riesgo de inundaciones en municipios ribereños. En el caso de Girardot, su localización en la margen del río Magdalena lo hace doblemente sensible, pues recibe la influencia tanto del régimen hidrológico del río Bogotá como del comportamiento del Magdalena, que es el principal colector del país (POMCA, 2018). La Ilustración 20 se puede observar la zonificación climática de la cuenca del río Bogotá, la cual permite comprender las variaciones espaciales de temperatura y precipitación que afectan directamente el comportamiento hidrológico en municipios como Girardot.

Ilustración 21: Zonificación climática en la cuenca del río Bogotá



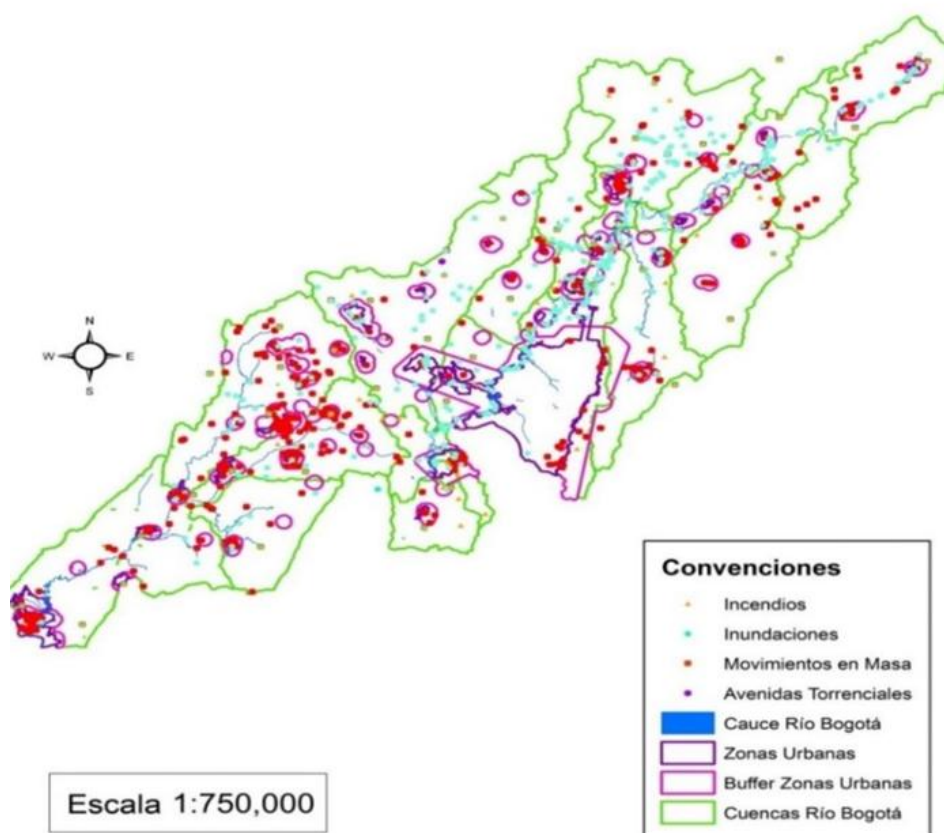
Fuente: POMCA. (2018). Ajuste del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Bogotá, pág. 37.

Por otra parte, los estudios de la fase de prospectiva y zonificación ambiental del POMCA advierten que las áreas bajas de Girardot están clasificadas dentro de zonas con amenaza media y alta por inundación, asociadas a crecientes súbitas del río Magdalena y al colapso de drenajes urbanos en temporadas de lluvia intensa. Estas condiciones, sumadas a los efectos del cambio climático, plantean la necesidad de fortalecer las infraestructuras de drenaje urbano mediante diseños hidráulicos ajustados a la realidad local, como el que se proyecta para la cubierta de la plaza de mercado (POMCA, 2019).

El Informe de aprestamiento del POMCA también hace énfasis en que la cuenca se encuentra sometida a una fuerte presión antrópica, derivada de la expansión urbana, la deforestación en

áreas altas y el uso intensivo del suelo para actividades económicas. Estas presiones se concentran en municipios de rápido crecimiento urbano, como Girardot, donde la demanda de servicios básicos y la gestión de aguas lluvias adquieren relevancia prioritaria (POMCA, 2016). En la Ilustración 21 se presenta la distribución espacial de eventos amenazantes en la cuenca del río Bogotá, donde se observa la concentración de zonas con riesgo de inundaciones y deslizamientos, información que resulta relevante para el análisis de proyectos de infraestructura urbana en municipios ribereños como Girardot.

Ilustración 22: Distribución registro de eventos amenazantes dentro de la cuenca del río Bogotá



Fuente: POMCA. (2016). Ajuste del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Bogotá, pág. 83.

De forma complementaria, la ANLA (2018) señala que la subzona hidrográfica del Alto Magdalena, en la cual se encuentra Girardot, presenta un papel fundamental en la regulación hídrica regional, pero también muestra una creciente vulnerabilidad frente a fenómenos de variabilidad climática como El Niño y La Niña. Este contexto repercute directamente en la planificación de sistemas de drenaje pluvial que deben considerar intensidades de precipitación extremas y periodos de retorno ajustados a la magnitud del riesgo.

Finalmente, la UNAD (2022) destaca que la gestión integrada de la cuenca alta del río Magdalena debe orientarse hacia instrumentos de evaluación y planificación que permitan articular las necesidades locales con los lineamientos nacionales de ordenamiento ambiental. En este sentido, el estudio hidrológico de la plaza de mercado de Girardot representa un ejercicio aplicado de gestión integrada del recurso hídrico, porque aborda una problemática urbana concreta dentro de un sistema hídrico mayor que condiciona su dinámica.

En conclusión, la cuenca hidrográfica del río Bogotá, en conexión con la del Alto Magdalena, constituye el marco ambiental y territorial en el que se inserta el presente proyecto. Sus características fisiográficas, climáticas e hidrológicas, junto con la vulnerabilidad particular de Girardot frente a inundaciones y crecientes, hacen indispensable el análisis detallado de la precipitación y la escurrimiento para diseñar soluciones de drenaje urbano que respondan a las condiciones reales del territorio.

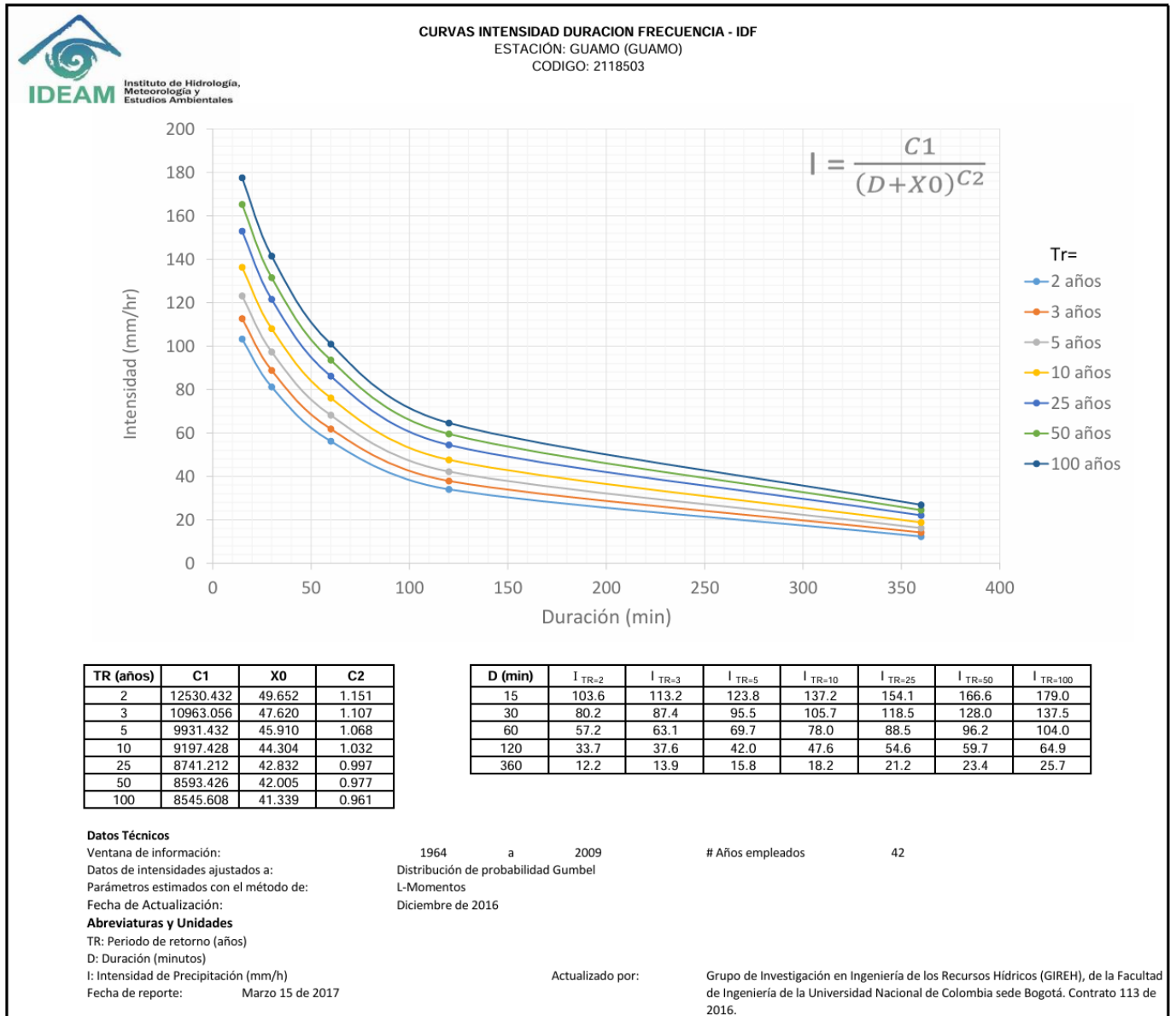
9.6. CURVA Y CAUDAL - ESTACION GUAMO (GUAMO)

En el marco del presente proyecto, se elaboraron curvas IDF para la estación del Aeropuerto Santiago Vila, debido a que el IDEAM no contaba con esta información procesada para dicho punto. La construcción de estas curvas permitió obtener las intensidades de precipitación ajustadas al área de estudio, garantizando mayor representatividad para el cálculo del caudal de diseño en la Plaza de Mercado de Girardot.

Sin embargo, con el fin de validar y contrastar los resultados obtenidos, se consideró pertinente realizar un ejercicio comparativo utilizando una curva IDF oficial proporcionada por el IDEAM. Para este propósito, se empleó la información correspondiente a la estación Guamo (código 2118503), la cual dispone de curvas IDF ajustadas mediante distribución de probabilidad de Gumbel y con una serie histórica robusta.

En la Ilustración 22, se presenta la curva IDF suministrada por el IDEAM para la estación Guamo, que muestra la relación entre la intensidad de la lluvia y la duración, considerando distintos periodos de retorno. Esta curva constituye el insumo principal para determinar los valores de intensidad requeridos en los cálculos posteriores.

Ilustración 23: Curvas IDF Estación Guamo (Guamo)



Fuente: IDEAM. (2017). Curva IDF.

Para determinar la intensidad de precipitación en una duración de 10 minutos, que no se encuentra reportada directamente en la tabla del IDEAM, se aplicó la ecuación de interpolación lineal (Ecuación 7), la cual permite estimar valores intermedios a partir de dos datos conocidos.

Ecuación 7: Interpolación

$$y = y_0 + \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} (y_1 - y_0)$$

Fuente: ACUS Ingeniería & Construcción. (2025). Interpolación lineal.

Mediante esta interpolación, se calcularon las intensidades correspondientes a diferentes duraciones críticas, entre ellas 10, 15, 30 y 60 minutos, cuyos resultados se resumen en la Tabla 8. Este procedimiento permitió obtener un valor de 133,2 mm/h para 10 minutos, que constituye la intensidad base utilizada en el cálculo del caudal.

Tabla 10: Interpolación lineal de la intensidad

Minutos	Interpolación (Intensidad mm/h)
10	133,2
15	123,8
30	95,5
60	69,7

Fuente: Elaboración propia. (2025).

Posteriormente, con los parámetros de diseño previamente definidos (el coeficiente de escorrentía ($C = 0,95$), el área de la cubierta (0,3603 ha) y la intensidad de 133,23 mm/h) se consolidó la información en la Tabla 9, la cual resume los valores empleados en la ecuación del método racional.

Tabla 11: Tabla de valores para el cálculo del caudal

Tabla de valores		
Coeficiente de Escorrentía	0,95	
Intensidad	133,23	mm/h
Área	0,3603	ha

Fuente: Elaboración propia. (2025).

Finalmente, sustituyendo los valores en la Ecuación 1 del Marco Teórico (Método Racional), se determinó el caudal de diseño. El cálculo se expresa en la Ecuación 8 para el caudal en metros cúbicos por segundo (m^3 / s) y en la Ecuación 9 para el caudal en litros por segundo

(L/s). Los resultados obtenidos indican un valor de $0,127 \text{ m}^3/\text{s}$ (126,78 L/s), los cuales se presentan a continuación.

Ecuación 8: Calculo del caudal en m^3/s (Guamo)

$$Q_p = \frac{0.95 \times 133.23 \frac{\text{mm}}{\text{h}} \times 0.3603 \text{ha}}{360} = 0.127 \text{ m}^3/\text{s}$$

Fuente: Elaboración propia. (2025).

Ecuación 9: Calculo del caudal en L/s (Guamo)

$$Q_p = 2.78 \times 0.95 \times 133.23 \frac{\text{mm}}{\text{h}} \times 0.3603 \text{ha} = 126.78 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Fuente: Elaboración propia. (2025).

En conclusión, el cálculo del caudal con base en la curva IDF de la estación Guamo arrojó un valor de $0,127 \text{ m}^3/\text{s}$ (126,78 L/s) para un periodo de retorno de 5 años y una duración crítica de 10 minutos. Este caudal resulta considerablemente menor al obtenido con la estación del Aeropuerto Santiago Vila, donde el valor alcanzó $0,396 \text{ m}^3/\text{s}$ (395,93 L/s). La diferencia se explica principalmente por la variación en la intensidad de precipitación registrada en cada estación, siendo mucho más elevada en el Aeropuerto Santiago Vila (416,09 mm/h) que en Guamo (133,2 mm/h). Este contraste evidencia la sensibilidad de los cálculos hidrológicos frente a la fuente de datos utilizada y resalta la importancia de contar con curvas IDF ajustadas específicamente al área de estudio para garantizar mayor precisión en el diseño hidráulico.

9.7. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El desarrollo hidrológico de la investigación permitió obtener resultados consistentes con el comportamiento esperado para cubiertas urbanas impermeables en una región como Girardot, caracterizada por condiciones climáticas de alta variabilidad en la precipitación. En primera instancia, los registros de la estación meteorológica Aeropuerto Santiago Vila evidenciaron un comportamiento anual con picos de precipitación máxima en cortos periodos de tiempo, lo cual resalta la importancia de contar con series históricas largas para garantizar representatividad estadística en la construcción de las curvas de IDF. Este procedimiento es coherente con lo recomendado por Gribbin (2017), quien señala que la confiabilidad de los análisis hidrológicos depende de la calidad y extensión de las bases de datos.

Por otra parte, Al aplicar la metodología establecida en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS (2009), complementada con los lineamientos de la Resolución 0330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, se definieron los parámetros básicos del método racional. En este sentido, la elección de un periodo de retorno de 5 años se justificó técnicamente al considerar un área de aporte menor a 2 hectáreas, lo que asegura un diseño en concordancia con los criterios normativos. De acuerdo con Bedient, Huber y Vieux (2013), la selección de periodos de retorno adecuados en función de la escala de la superficie es clave para garantizar la seguridad hidráulica sin incurrir en sobreestimaciones que conduzcan a sobredimensionamientos innecesarios.

Asimismo, los resultados de las curvas IDF construidas muestran que la máxima intensidad de precipitación corresponde a un valor de 416,09 mm/h para una duración de 10 minutos. Este valor es significativo si se compara con registros de otras estaciones de la región, como lo evidenció la interpolación realizada con la curva IDF del IDEAM en la estación del Guamo, donde se obtuvieron intensidades menores y, por consiguiente, caudales inferiores. Esta diferencia se explica principalmente por las variaciones micro climáticas propias del valle del río Magdalena, las cuales producen contrastes espaciales en la magnitud y concentración de las lluvias, aspecto que coincide con lo reportado por la Organización Meteorológica Mundial (2020), al señalar que en regiones intertropicales es frecuente la ocurrencia de precipitaciones intensas en cortos periodos de tiempo.

Con el fin de evaluar comparativamente los resultados obtenidos entre ambas estaciones, se elaboró un cuadro resumen que consolida los principales parámetros hidrológicos (intensidad, caudal, duración crítica y área de drenaje), permitiendo analizar las diferencias derivadas de las condiciones locales y de los periodos de registro:

Tabla 12: Cuadro comparativo de resultados hidrológicos

Parámetro	Estación Aeropuerto Santiago Vila (Flandes)	Estación El Guamo (Tolima)	Diferencia porcentual
Periodo analizado	1992-2022 (30 años)	1964-2009 (45 años)	-
Intensidad (mm/h)	416,09	133,23	212,30%
Caudal (m³/s)	0,396	0,127	211,80%
Duración crítica	10 min	10 min	-
Coefficiente de escorrentía (C)	0,95	0,95	0%
Área de drenaje (ha)	0,3603	0,3603	0%
Ubicación	Latitud: 4.2754444440 Longitud: -74.7980 Elevación: 305 msnm	Latitud: 4.0088333330 Longitud: -74.98138889 Elevación: 332 msnm	-

Fuente: Elaboración propia. (2025). IDEAM.

Como se observa en la tabla 12, la intensidad y el caudal estimados con la estación Aeropuerto Santiago Vila superan en más del doble a los obtenidos con la estación El Guamo, lo que refleja la sensibilidad del cálculo hidrológico frente a la fuente de información utilizada. Estas diferencias se justifican técnicamente por la ubicación geográfica, la altitud y la influencia orográfica de cada punto de medición.

Desde una perspectiva técnica, la estación Aeropuerto Santiago Vila, situada en la planicie del valle del río Magdalena y próxima a la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, registra mayores intensidades debido a la confluencia de masas de aire húmedo provenientes del cauce principal, que generan procesos convectivos locales de alta magnitud (IDEAM, 2024). En contraste, la estación El Guamo, ubicada a mayor altitud y alejada del valle, presenta un régimen de lluvias más estable y de menor intensidad. Este comportamiento obedece a la influencia orográfica y a los gradientes térmicos propios de las regiones intertropicales, donde las precipitaciones tienden a concentrarse en cortos lapsos de tiempo (Organización Meteorológica Mundial, 2020)

Por consiguiente, el incremento del 212,3% en la intensidad y del 211,8% en el caudal equivalentes a valores aproximadamente 3,12 veces mayores respecto a los obtenidos en la estación del Guamo demuestra que Girardot presenta un mayor potencial de escorrentía superficial. Esto refuerza la necesidad de emplear información local y actualizada como insumo técnico para el cálculo de caudales de diseño, tal como lo recomienda Gómez (2007).

Asimismo, al analizar los registros utilizados en la elaboración de las curvas IDF, se observa una diferencia importante en los periodos de tiempo considerados entre las estaciones evaluadas. En el caso del Aeropuerto Santiago Vila, los datos empleados corresponden a una serie histórica de 30 años, comprendida entre el 1 de enero de 1992 y el 1 de septiembre de 2022, según los registros del IDEAM. Este rango temporal permite obtener una caracterización hidrometeorológica más actual del comportamiento de la precipitación en el municipio de Girardot, lo que aporta una mayor precisión en la determinación de las intensidades y, por ende, en el cálculo del caudal de diseño. De acuerdo con Gómez (2007), la fiabilidad de los resultados hidrológicos está directamente relacionada con la representatividad de los periodos analizados, siendo preferibles aquellos que reflejan las condiciones climáticas recientes.

En contraste, la curva IDF oficial generada por el IDEAM para la estación del Guamo fue construida con base en una serie de 42 años (1964-2009), cuya última actualización se realizó en 2016. Aunque esta estación continúa registrando datos meteorológicos actualizados incluyendo precipitaciones recientes, su curva IDF no ha sido revisada ni recalculada desde esa fecha, lo que genera una discrepancia temporal significativa frente a las condiciones climáticas actuales. Este desfase entre los registros disponibles y las curvas publicadas resalta la importancia de que las entidades encargadas, como el IDEAM, mantengan actualizadas las herramientas hidrometeorológicas que sirven de soporte para la planificación y el diseño de obras hidráulicas en el país.

Además, la localización geográfica de cada estación influye directamente en la magnitud de los resultados obtenidos. La estación Aeropuerto Santiago Vila se encuentra situada en las inmediaciones de la cuenca hidrográfica del Alto Magdalena, próxima al cauce principal del río Magdalena y, por tanto, al entorno inmediato de la Plaza de Mercado Leopoldo Rother. Esta cercanía hace que las precipitaciones registradas representen con mayor exactitud las condiciones atmosféricas y de escurrimiento del área de estudio. Por el contrario, la estación del Guamo se localiza a una mayor distancia y en una zona con características topográficas y micro climáticas distintas, lo cual puede explicar las diferencias observadas en los valores de intensidad y en los caudales calculados. Según Sandoval y Aguilera (2014), las variaciones espaciales en la precipitación son determinantes en la estimación de caudales de diseño, por lo que el uso de estaciones locales mejora sustancialmente la precisión de los resultados.

En relación con el coeficiente de escurrimiento adoptado, el valor de 0,95 resulta consistente con las condiciones de la cubierta en membrana de concreto, considerada una superficie impermeable. Según Arroyo y García (2016), este tipo de cubiertas presenta una respuesta rápida al inicio de la precipitación, generando caudales elevados en tiempos muy cortos, lo que se reflejó en los cálculos del presente estudio. Este valor también se encuentra dentro del rango sugerido por el INVIAS (2009), entre 0,75 y 0,95 para superficies de este tipo, lo que respalda la pertinencia de la selección realizada.

Al integrar los parámetros en la ecuación del método racional, se obtuvo un caudal de diseño de $0,396 \text{ m}^3/\text{s}$ (equivalente a 395,93 L/s). Este resultado es coherente con los reportados en otros estudios nacionales que aplicaron el mismo método en superficies reducidas y altamente impermeables. Por ejemplo, Gálvez y Pimiento (2015) encontraron caudales proporcionales en proyectos de similar escala, lo que valida que los resultados aquí obtenidos no son atípicos, sino que corresponden al comportamiento hidrológico esperado. Adicionalmente, estudios como los de Gómez (2007) destacan que, en áreas urbanas pequeñas, el método racional tiende a reflejar con precisión las dinámicas de escurrimiento superficial, lo que da soporte técnico a su aplicación en la plaza de mercado de Girardot.

Desde un punto de vista práctico, los resultados obtenidos tienen implicaciones importantes para la gestión hídrica urbana. En primer lugar, confirman la necesidad de un adecuado diseño de drenaje pluvial en cubiertas de gran extensión, puesto que los caudales calculados superan la capacidad que podría manejar un sistema empírico o sin dimensionamiento técnico. Asimismo, abren la posibilidad de considerar estrategias de aprovechamiento del agua lluvia, tal como lo plantean Espiñán y Zapata (2010), quienes destacan que estas aguas pueden representar un recurso complementario en contextos urbanos, siempre que se implementen sistemas adecuados de almacenamiento y tratamiento.

Finalmente, los resultados obtenidos no solo aportan una base técnica para el dimensionamiento hidráulico, sino que también invitan a reflexionar sobre la sostenibilidad del drenaje urbano en edificaciones patrimoniales. En el caso particular de la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, la gestión de las aguas lluvias debe orientarse hacia un enfoque integral que combine la protección del inmueble con la eficiencia en el manejo del recurso hídrico. En este sentido, el Ministerio de Cultura (2021) y el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2022)

destacan que toda intervención sobre bienes de interés cultural debe salvaguardar su integridad estructural, promoviendo soluciones que armonicen la funcionalidad técnica y la conservación arquitectónica. Por ende, la determinación precisa del caudal de diseño constituye un insumo esencial para la planificación de futuras estrategias de manejo pluvial sostenible, contribuyendo a la resiliencia urbana y a la preservación del patrimonio histórico de Girardot.

10. CONCLUSIONES

- El análisis hidrológico desarrollado en la Plaza de Mercado Leopoldo Rother permitió establecer una comprensión precisa del comportamiento de las aguas lluvias sobre su cubierta, evidenciando la influencia de las condiciones locales en la generación de escorrentía. El estudio cumplió plenamente los objetivos planteados, al analizar los registros meteorológicos disponibles, construir las curvas IDF específicas para la zona, aplicar el método racional para la estimación del caudal de diseño y evaluar la aplicabilidad de los resultados como base para un futuro sistema de captación pluvial. De esta manera, se consolidó una línea base hidrológica confiable que sirvió como referencia técnica para la planificación y optimización del manejo hídrico del inmueble.
- La determinación del caudal máximo de escorrentía, obtenida a partir del método racional, permitió establecer dos valores representativos: $0,396 \text{ m}^3/\text{s}$ (395,93 L/s), derivado de la curva IDF construida con datos de la estación Santiago Vila, y $0,127 \text{ m}^3/\text{s}$ (126,78 L/s), correspondiente a la curva oficial del IDEAM en la estación Guamo. La diferencia entre ambos resultados equivalente a un incremento del 212% en la intensidad y del 211,8% en el caudal, es decir, aproximadamente 3,12 veces mayor en Girardot evidenció la sensibilidad del cálculo frente a la fuente de datos y reafirmó la importancia de emplear información pluviométrica local en zonas con alta variabilidad espacial. Este hallazgo constituyó el principal aporte técnico del trabajo, al demostrar que los valores de diseño pueden ser significativamente subestimados si no se consideran las particularidades hidrometeorológicas del entorno inmediato.
- El estudio permitió evidenciar que la red pluvial existente en la plaza presentaba una capacidad hidráulica limitada ante eventos de lluvia de alta intensidad, lo cual explicó la recurrencia de anegamientos y el deterioro de las condiciones sanitarias reportadas por los usuarios. Esta situación confirmó lo advertido en el Plan Especial de Manejo y Protección (Ministerio de Cultura, 2021) respecto a la vulnerabilidad estructural del bien patrimonial, reforzando la necesidad de adoptar soluciones técnicas que armonizaran la preservación arquitectónica con la funcionalidad hidráulica. En consecuencia, los resultados obtenidos brindaron soporte para la toma de decisiones orientadas al redimensionamiento del sistema de drenaje, el diseño de elementos de captación eficientes y la implementación de estrategias sostenibles de aprovechamiento del agua lluvia.
- Desde una perspectiva normativa, el procedimiento aplicado se ajustó a las directrices establecidas en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS, 2017), el Manual de Drenaje de INVIAS (2009) y la Ley 1523 de 2012 sobre gestión del riesgo. La elección de un periodo de retorno de cinco años resultó adecuada conforme al área de aporte (0,3603 ha), asegurando coherencia con la clasificación de proyectos de pequeña escala en entornos urbanos. Este enfoque técnico, respaldado por un análisis riguroso de los registros pluviométricos, garantizó la validez y aplicabilidad de los resultados obtenidos.
- El trabajo representó un aporte concreto a la gestión sostenible del recurso hídrico en la ciudad de Girardot, al promover el uso eficiente del agua y contribuir al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (Naciones Unidas, 2015). La caracterización del comportamiento hidrológico del inmueble aportó a la mitigación del riesgo por inundación y abrió la posibilidad de aprovechar las aguas lluvias en usos complementarios, como la limpieza de áreas comunes o el riego de zonas verdes, reduciendo la presión sobre las fuentes de abastecimiento convencionales. Este enfoque integrador reforzó el valor ambiental y social del estudio, que trascendió el ámbito académico y se convirtió en una herramienta de planeación urbana y patrimonial.

- Finalmente, los resultados de la investigación constituyeron una base científica y técnica para el desarrollo de futuros proyectos de infraestructura hidráulica y conservación patrimonial en Girardot. La información obtenida curvas IDF locales, parámetros hidrológicos ajustados y caudales de referencia proporcionó insumos sólidos para el diseño de sistemas de drenaje y captación de aguas lluvias en edificaciones históricas, bajo criterios de sostenibilidad, resiliencia climática y seguridad. Así, el estudio no solo respondió a un problema hidráulico específico, sino que también aportó al conocimiento aplicado de la hidrología urbana en contextos patrimoniales, contribuyendo al desarrollo técnico, ambiental y cultural de la región.

11.RECOMENDACIONES

- A partir de los resultados obtenidos en el análisis hidrológico de la Plaza de Mercado Leopoldo Rother, se recomendó utilizar como referencia principal la información derivada de la estación Aeropuerto Santiago Vila, debido a su cercanía geográfica y representatividad frente a las condiciones climáticas reales del área de estudio. El trabajo permitió evidenciar una diferencia significativa entre los caudales calculados con base en esta estación ($0,396 \text{ m}^3 / \text{s}$ o 395,93 L/s) y aquellos obtenidos con la estación El Guamo ($0,127 \text{ m}^3 / \text{s}$ o 126,78 L/s), lo que demostró la influencia directa de la fuente de datos en los resultados de diseño. En consecuencia, los proyectos futuros de drenaje o captación de aguas lluvias deberían priorizar el uso de registros locales actualizados y confiables, siguiendo las recomendaciones del IDEAM (2018) y del INVIAS (2009), que insisten en emplear la estación más próxima y representativa para los estudios hidrológicos urbanos.
- En caso de proyectarse un sistema de captación o almacenamiento de aguas lluvias, se consideró indispensable incorporar la variación de caudales derivada de las diferentes estaciones de registro, de manera que el diseño contemple un margen de seguridad que garantice la operatividad del sistema frente a escenarios de lluvia intensa. Se recomendó adoptar los datos de la estación Aeropuerto Santiago Vila como escenario de diseño principal y utilizar los valores de la estación El Guamo como referencia de contraste, permitiendo evaluar la sensibilidad de las estructuras ante fluctuaciones pluviométricas. Este criterio contribuiría a que el dimensionamiento sea más robusto y adaptable, reduciendo la incertidumbre frente a eventos extremos.
- Con base en los caudales determinados, se sugirió a la Alcaldía de Girardot y a la Gobernación de Cundinamarca emprender un proceso de redimensionamiento del sistema de drenaje pluvial de la plaza, adoptando soluciones que mejoren la capacidad hidráulica y la eficiencia en la evacuación de aguas lluvias. El nuevo diseño debería incorporar Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), tales como tanques de retención, pozos de infiltración o cubiertas verdes, que además de mitigar los picos de escorrentía, favorezcan la recarga del subsuelo y la resiliencia del inmueble ante episodios de lluvia intensa. Estas estrategias, planteadas en la Guía Metodológica para la Implementación de SUDS (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio & Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2022), representan alternativas de bajo impacto ambiental que pueden adaptarse a la estructura patrimonial sin alterar su valor arquitectónico.
- De igual forma, se recomendó al Ministerio de Cultura articular los lineamientos de conservación del Plan Especial de Manejo y Protección (PEMP) con las propuestas de intervención hidráulica. Toda adecuación técnica que se adelante en el inmueble debería ejecutarse en coherencia con las normas patrimoniales vigentes, particularmente con la Ley 397 de 1997 y el Decreto 1080 de 2015, garantizando que las obras conserven la autenticidad y estética del bien sin comprometer su funcionalidad hidráulica. Esta coordinación interinstitucional resulta esencial para compatibilizar la gestión patrimonial con la sostenibilidad ambiental.
- Asimismo, se sugirió implementar un sistema de captación y almacenamiento de aguas pluviales para usos no potables dentro del mercado, tales como la limpieza de áreas comunes, el riego de zonas verdes o las descargas sanitarias. Esta medida permitiría optimizar el consumo de agua potable, en concordancia con los Lineamientos para el uso del agua lluvia del Ministerio de Ambiente (2022), promoviendo el aprovechamiento del recurso hídrico como estrategia de sostenibilidad urbana. Para su aplicación, deberían incluirse sistemas de

prefiltrado, almacenamiento seguro y control de calidad, conforme a la Resolución 2115 de 2007.

- Además, se recomendó fortalecer la red de monitoreo hidrometeorológico local, mediante la instalación de un pluviógrafo o estación automática cercana a la plaza, con el fin de registrar series temporales de alta resolución y reducir la incertidumbre en las estimaciones de caudal. Según la Organización Meteorológica Mundial (2020), el uso de bases de datos extensas y actualizadas mejora la confiabilidad de los estudios hidrológicos, especialmente en regiones tropicales sujetas a variabilidad climática.

- Finalmente, desde el ámbito académico, se propuso replicar la metodología aplicada en este estudio en otras edificaciones patrimoniales o espacios públicos urbanos de Girardot y Cundinamarca. Esta práctica permitiría unificar criterios técnicos para la gestión del drenaje pluvial en contextos históricos y fortalecer la cultura de prevención del riesgo. Así, se fomentaría la generación de conocimiento aplicado en torno a la hidrología urbana y la conservación patrimonial, contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y a la resiliencia de los centros urbanos frente al cambio climático.

REFERENCIAS

- ACUS Ingeniería & Construcción. (s.f.). *Interpolacion lineal*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2025, de <https://www.youtube.com/shorts/Uom8Uu0tqsY>
- Akan, O. (Agosto de 2002). *Método racional modificado para dimensionar estructuras de infiltración*. Obtenido de <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/I02-038>
- Alcaldía de Girardot. (26 de Abril de 2024). *Alcaldía de Girardot intensifica despliegue del Plan Preventivo de Lluvias 2024*. Obtenido de Portal oficial de la Alcaldía de Girardot: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>
- Alcaldía de Girardot. (5 de Abril de 2025). *¡Aumentamos el pie de fuerza de la Policía en la Plaza de Mercado de Girardot!*. Obtenido de https://www.facebook.com/story.php?story_fbid=965404872373746&id=100067127259806&rdid=Rc8lo73n3elxVqrZ#
- Alcaldía de Girardot. (s.f.). *Mapas de Girardot Cundinamarca*. Recuperado el 25 de Agosto de 2025, de <https://www.girardot-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Galeria-de-Mapas.aspx>
- Alfonso, E. G. (13 de Febrero de 2025). *PEMP Plaza de Mercado Girardot: Plan Especial de Manejo y Protección*. Obtenido de Origen y Desarrollo del PEMP Plaza de Mercado: <https://girardotesvirtual.co/girardot/plaza-de-mercado/pemp-de-la-plaza-de-mercado-de-girardot>
- Alim, M. A., Rahman, A., Tao, Z., Samali, B., Khan, M. M., & Shirin, S. (1 de Marzo de 2020). *Idoneidad del agua de lluvia recolectada desde techos para la posible producción de agua potable: una revisión del alcance*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261934096X>
- Amaya, M., & Pardo, A. (2014). *Plaza de mercado de Girardot*. Recuperado el 1 de Septiembre de 2025, de Leopoldo Rother: <https://es.scribd.com/document/275736297/Plaza-de-Mercado-de-Girardot>
- ANLA. (Junio de 2018). *Reporte subzonas hidrográficas cuenca alta del río magdalena*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2025, de Instrumento de Regionalización, Subdirección de Instrumentos, Permisos y Tramites Ambientales: https://www.anla.gov.co/documentos/biblioteca/repaler_amen-redu.pdf
- Arias, S. S. (Mayo de 2024). *Plan de desarrollo municipal*. Obtenido de Proyecto de acuerdo: <https://fundacionexe.org.co/wp-content/uploads/2024/12/730587989-Proyecto-de-Acuerdo-PDT-Girardot-2024-2027-2024-04-29-Final-3-1.pdf>

- Arias, S. S. (2024). *Informe de gestión vigencia 2024*. Recuperado el 25 de Marzo de 2025, de Cumplimiento del Plan de Desarrollo 'Girardot Socialmente Justa': <https://es.scribd.com/document/838164385/INFORME-DE-GESTION-VIGENCIA-2024>
- Arroyo, H., & Garcia, H. (2016). *Estudio del comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje pluvial en cubiertas y áreas privadas de edificaciones*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2025, de <file:///C:/Users/linar/Downloads/TRABAJO%20DE%20GRADO/ESTUDIO%20DEL%20COMPORTAMIENTO%20HIDR%C3%81ULICO%20DE%20UN%20SISTEMA%20DE%20DRENAJE%20PLUVIAL%20EN%20CUBIERTAS%20Y%20%C3%81REAS%20PRIVADAS.pdf>
- Avendaño, C. A. (2023). *Diseño de sistema de captación y reutilización aguas lluvias, sede d universidad piloto de Colombia-SAM*. Recuperado el 25 de Febrero de 2025, de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/13452/PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Becerra, J., Sanchez, L., Acosta, P., & Diaz, J. (26 de Noviembre de 2015). *Regionalizacion de curvas IDF para el uso de modelos hidrometeorologicos en la Saba Occidental del departamento de Cundinamarca*. Obtenido de [file:///C:/Users/linar/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/P6TXVIP8/Dialnet-RegionalizacionDeCurvasIDFParaElUsoDeModelosHidrom-5432144\[1\].pdf](file:///C:/Users/linar/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/P6TXVIP8/Dialnet-RegionalizacionDeCurvasIDFParaElUsoDeModelosHidrom-5432144[1].pdf)
- Bedient, P. B., Huber, W. C., & Vieux, B. E. (2013). *Hydrology and Flood plain Analysis: International Edition*. PEARSON.
- Berbeo, J. L., & Nova, A. (21 de Mayo de 2019). *Sistema de captación, abastecimiento y aprovechamiento de aguas lluvias para viviendas urbanas*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/27599>
- Blaustein, J. (2002). *Una revisión de la recolección de agua de lluvia*. Recuperado el 1 de Octubre de 2025, de <https://www.semanticscholar.org/paper/A-REVIEW-OF-RAINWATER-HARVESTING-Blaustein/1d302594dcdcf9b250517fca188645253fd34e96#cited-papers>
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., DeBusk, K., . . . Han, M. (15 de Mayo de 2017). *Sistemas de captación de agua de lluvia urbana: investigación, implementación y perspectivas futuras*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135417301483>
- Casallas, C. J. (2022). *Regionalización de Curvas IDF en el Departamento de Boyacá – Colombia*. Recuperado el 05 de Octubre de 2025, de Ciencias: https://redcol.minciencias.gov.co/Record/SANTTOMAS2_870fbcecf273fe91983e9767a5546d6d/Details#description

- CENSO. (s.f.). *Meteorología*. Recuperado el 25 de Enero de 2025, de Generalidades: <https://www.inec.gob.pa/archivos/P3751generalidades.pdf>
- CEPAL. (2022). *Estudio Económico de América Latina y el Caribe*. Recuperado el 21 de Agosto de 2025, de Dinámica y desafíos de la inversión para impulsar una recuperación sostenible e inclusiva: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/f221aa4c-8df5-439f-aaa4-f4b1bb5c0e82/content>
- Congreso de Colombia. (12 de marzo de 2008). *Ley 1185 de 2008*. Obtenido de por la cual se modifica y adiciona la Ley 397 de 1997 –Ley General de Cultura– y se dictan otras disposiciones.: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=29324>
- Congreso de Colombia. (24 de Abril de 2012). *Ley 1523 de 2012*. Obtenido de Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>
- Corapi, P., & Nuñez, N. S. (Diciembre de 2022). *Regionalización de las Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en las Provincias de Santa Elena y Manabí*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/366713677_Regionalizacion_de_las_Curvas_de_Intensidad-Duracion-Frecuencia_IDF_en_las_Provincias_de_Santa_Elena_y_Manabi
- Corte Constitucional de Colombia. (2024). *Constitución política de Colombia 1991*. Recuperado el 25 de Agosto de 2025, de https://sidn.ramajudicial.gov.co/SIDN/NORMATIVA/TEXTOS_COMPLETOS/1_CONSTITUCION_POLITICA/Constituci%C3%B3n_2024.pdf
- DANE. (2018). *Consulta territorial de indicadores sociodemográficos y económicos*. Recuperado el 29 de Agosto de 2025, de Indicadores del municipio: GIRARDOT - 25307: <https://geoportal.dane.gov.co/servicios/mapa-indicadores/>
- DANE. (2025). *Indicadores del municipio: GIRARDOT - 25307*. Recuperado el 29 de Agosto de 2025, de Consulta territorial de indicadores sociodemográficos y económicos: <https://geoportal.dane.gov.co/servicios/mapa-indicadores/>
- Espiñan, J. L., & Zapata, H. O. (Diciembre de 2010). *Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpgclefindmkaj/https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1265/ing05.pdf>

- Froehlich, D. C. (2 de Febrero de 2024). *Un enfoque de método racional modificado para calcular los caudales de diseño de primera descarga para mitigar la contaminación de fuentes no puntuales causada por la escorrentía de aguas pluviales*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2306-5338/11/2/21>
- Funcion Publica. (25 de Octubre de 2010). *Decreto 3930 de 2010*. Obtenido de Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=40620>
- Funcion Publica. (24 de Abril de 2012). *Ley 1523 de 2012*. Obtenido de or la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>
- Galvez, J. P., & Pimimento, D. F. (2015). *Cálculo del caudal máximo de creciente de la quebrada la artesa que desemboca en la quebrada de Ortega, en el municipio de Güican (Boyacá), con el método racional*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2025, de file:///C:/Users/linar/Downloads/TRABAJO%20DE%20GRADO/PimientoRuedaDavidFernando.pdf
- Geographic, National. (05 de septiembre de 2011). *La Meteorología*. Obtenido de <https://www.nationalgeographic.es/ciencia/la-meteorologia>
- Gobernación de Cundinamarca. (18 de Enero de 2025). *¡La Plaza de Mercado de Girardot será restaurada!* Obtenido de https://www.facebook.com/story.php?story_fbid=917319857256581&id=100069357243129&rdid=meO90fYoC899uuQW#
- Gomez, M. (Noviembre de 2007). *Hidrologia Urbana*. Obtenido de Metodo racional en zona urbana; Bases conceptuales y aplicacion en medio urbano: file:///C:/Users/linar/Downloads/TRABAJO%20DE%20GRADO/Manuel-Gomez-Hidrologia-Urbana.pdf
- Gribbin, J. E. (2017). *Introduccion a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administracion del agua pluvial*. CENGAGE LEARNING.
- Hernan, J. P. (2024). *Plan de acción vigencia 2024* . Recuperado el 2 de Abril de 2025, de Empresa de servicios municipales y regionales "SER REGIONALES": https://ser-regionales-girardot.micolombiadigital.gov.co/sites/ser-regionales-girardot/content/files/000001/46_1plan-de-accion-2024.pdf

- Hernández Sampieri R., Mendoza Torres C. P. (2023). *Metodología de la investigación*. Obtenido de Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta: <https://www-ebooks7-24-com.unipiloto.basesdedatosezproxy.com/stage.aspx?il=&pg=&ed=>
- Icontec internacional. (3 de Noviembre de 2004). *Norma tecnica colombiana NTC 1500* . Obtenido de Código colombiano de fontanería: https://icfe.gov.co/site/wp-content/uploads/2023/12/ntc_1500_-_2004_-_codigo_colombiano_de_fontaneria.pdf
- IDEAM. (15 de Marzo de 2017). *Curvas intensidad duracion frecuencia - IDF*. Obtenido de ESTACIÓN: GUAMO (GUAMO): [file:///C:/Users/linar/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/P6TXVIP8/21185030_IDF_15032017.pdf%20\(1\)\[1\].pdf](file:///C:/Users/linar/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/P6TXVIP8/21185030_IDF_15032017.pdf%20(1)[1].pdf)
- IDEAM. (01 de Junio de 2023). *Hoja Metodológica del Índice de Retención y Regulación Hídrica (Versión 1.3)*. Obtenido de https://bart.ideam.gov.co/indiecosistemas/ind/agua/hm/HM_IRH.pdf
- IDEAM. (24 de Julio de 2024). *Condiciones Hidrometeorológicas Actuales* . Obtenido de Boletín No. 0616: https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-07-24/condiciones_hidrometeorologicas_actuales_ndeg_0616_24_de_julio_de_2024_0000.pdf
- IDEAM. (25 de Agosto de 2025). *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos*. Obtenido de <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- IDEAM. (s.f.). *Curvas de Intensidad Duracion Frecuencia*. Recuperado el 25 de Mayo de 2025, de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://archivo.ideam.gov.co/curvas-idf>
- IDEAM. (s.f.). *TIEMPO Y CLIMA*. Recuperado el 15 de Abril de 2025, de PRECIPITACION: <http://archivo.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>
- INVIAS. (Diciembre de 2009). *Manual de drenaje para carreteras* . Obtenido de Metodologías para el cálculo de caudales y crecientes máximos instantáneos anuales crecientes: file:///C:/Users/linar/Downloads/TRABAJO%20DE%20GRADO/manual_drenaje_dic2011.pdf
- J.P., C. A. (Septiembre de 2016). *Hoja metodológica del indicador Precipitación total*. Obtenido de Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia. Colombia: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM: https://bart.ideam.gov.co/indiecosistemas/ind/clima/hm/HM_precipitacion.pdf
- Lyngfelt, S. (1991). *Un método racional mejorado para la aplicación de la escorrentía urbana*. Recuperado el 06 de Octubre de 2025, de Investigación hidrológica:

https://watermark02.silverchair.com/149.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Er cy7Dm3ZL_9Cf3qfKA c485ysgAABAEwggP9BgkqhkiG9w0BBwagggPuMIID6glBADCC A-MGCSqGS Ib3DQEHATAeBg lghkgBZQMEAS4wEQQM9TQMfuu9wx9Jo_g lAgEQg lIDt BWHL1tK l hX_7tsOO1kTrNch4g5nZgfySGxdmaY_fePmOBwOa

Madrid, U. C. (s.f.). *Escorrentia*. Obtenido de <http://meteolab.fis.ucm.es/clima/escorrentia>

Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (20 de Noviembre de 2023). *Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas – POMCA*. Obtenido de Tablero Estado de los POMCA: <https://portalsirh.minambiente.gov.co/planes-de-ordenacion-y-manejo-de-cuencas-hidrograficas-pomca/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). *Resolución numero 0631 de 2015*. Obtenido de Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/resolucion-631-de-2015.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (23 de Noviembre de 2021). *Resolucion No 1256 del 2021*. Obtenido de “Por la cual se reglamenta el uso de las aguas residuales y se adoptan otras: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1256-de-2021.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (6 de Julio de 2021). *Resolución numero 0699 del 2021*. Obtenido de “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo, y se dictan otras disposiciones.”: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-0699-de-2021.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Lineamientos para potencializar el uso del agua lluvia*. Recuperado el 30 de Marzo de 2025, de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/07/LINEAMIENTOS-USO-AGUAS-LLUVIAS.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Enero de 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*. Obtenido de NSR-10: https://drive.google.com/file/d/0By_6bUd923HTZGUyNjU3YmEtMGfKMy00NDk1LWE xNDktMmQ1Y2Q5Y2UxZWY0/view?hl=es&pli=1&resourcekey=0-sDKImwWsVUiKkcOeE_mSAQ

Ministerio de Cultura. (30 de Marzo de 2021). *Resolución 1743 de 2020*. Obtenido de Por la cual se aprueba el Plan Especial de Manejo y Protección de la Plaza de Mercado de

Girardot (Cundinamarca) declarada por el Decreto 1932 de 1993 como Monumento Nacional Hoy Bien de Interés Cultural del ámbito Nacional.: https://normograma.mincultura.gov.co/compilacion/docs/resolucion_mincultura_1743_2020.htm

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio & Departamento Nacional de Planeación (DNP). (30 de Junio de 2022). *Guía metodológica para la formulación e implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible*. Obtenido de SUDS: https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/4040_1_2.9_2022_2_04_-guia-suds_v.0.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (8 de Junio de 2017). *Resolución numero 0330*. Obtenido de "Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1099 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009": <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (9 de Diciembre de 2021). *Resolucion numero 0799*. Obtenido de "Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017": <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/resolucion-799-de-2021.pdf>

Ministerio Protección Social; Ministerio Ambiente, Vivienda, Desarrollo Territorial. (22 de Junio de 2007). *Resolución numero 2115 del 2007*. Obtenido de Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano: https://archivo.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislacion_del_agua/Resolucion_2115.pdf

Molina, C., & Ortiz, P. (26 de Agosto de 2023). *Evaluación del sistema de captación de agua lluvia implementado en un proyecto de construcción*. Obtenido de [file:///C:/Users/linar/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/XBOUMKDU/Aguas_residuales_\(1\)\[1\].pdf](file:///C:/Users/linar/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/XBOUMKDU/Aguas_residuales_(1)[1].pdf)

Murcia, C. N. (9 de Marzo de 2022). *Plaza de Mercado de Girardot: Leopoldo Rother*. Obtenido de La primera de estas obras fue la de la Plaza de Mercado de Girardot (1946-1948), de Leopoldo Rother, un proyecto extraordinario, moderno como ninguno, eficiente y funcional.: <https://www.banrepcultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-114/plaza-de-mercado-de-girardot-leopoldo-rother>

Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*. Recuperado el 8 de Marzo de 2025, de Agenda 2030: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Nicolas, L. G. (9 de Junio de 2025). *CARTOGRAFÍA BÁSICA GIRARDOT*. Obtenido de Infraestructura de Datos Espaciales Cundinamarca IDEC:

<https://mapas.cundinamarca.gov.co/maps/cundinamarca-map::cartograf%C3%ADa-b%C3%A1sica-girardot/explore?location=4.343467%2C-74.817391%2C11&path=>

ONU. (2015). *¿Que son los Objetivos de Desarrollo Sostenibles?* Obtenido de <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

Organizacion Meteorologica Mundial. (2011). *Guía de prácticas hidrológicas Vol II*. Recuperado el 28 de Agosto de 2025, de Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas: https://library.wmo.int/records/item/33046-guia-de-practicas-hidrologicas-volumen-ii-gestion-de-recursos-hidricos-y-aplicacion-de-practicas-hidrologicas?language_id=13&back=&offset=

Organizacion Meteorologica Mundial. (2020). *Guía de Prácticas Hidrológicas, vol. I: Hidrología – De la medición a la información hidrológica*. Recuperado el 28 de Agosto de 2025, de https://library.wmo.int/records/item/32737-guia-de-practicas-hidrologicas-vol-i-hidrologia-de-la-medicion-a-la-informacion-hidrologica?language_id=13&back=&offset=

Ospina, Ó. E., & Ramírez, H. (30 de Octubre de 2014). *Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia*. Obtenido de <file:///C:/Users/linar/Downloads/TRABAJO%20DE%20GRADO/manfred,+Articulo+13.pdf>

Pardo, A. M. (2022). *Renovacion de la plaza de mercado de Girardot*. Recuperado el 1 de Septiembre de 2025, de Analisis del proyecto: https://issuu.com/anapardo1216/docs/presentacion_proyecto_de_grado

Paz, G. B. (2017). *Metodología de la Investigación*. Obtenido de Serie integral por competencias: <https://elibro.net/es/ereader/unipiloto/40513>

Pedro, A., & Caro, C. (Diciembre de 2016). *Regionalización de Parámetros Hidrológicos: Aplicación para Intensidad Media de Precipitación*. Obtenido de [file:///C:/Users/linar/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/ISI63T1O/1366-Texto_del_art%C3%ADculo-4168-2-10-20210709\[1\].pdf](file:///C:/Users/linar/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/ISI63T1O/1366-Texto_del_art%C3%ADculo-4168-2-10-20210709[1].pdf)

Perez, H. (2023). *Estimación de Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia a Partir del Método Regionalizado de Inviás 2003*. Recuperado el 25 de Agosto de 2025, de file:///C:/Users/linar/Downloads/TRABAJO%20DE%20GRADO/2023-PerezPedrero_Estimaci%C3%B3n_Curvas%20de%20Intensidad_Duraci%C3%B3n%20y%20Frecuencia..pdf

Perez, J. H. (2021). *Medición y caracterización de la calidad del agua lluvia de escorrentía en cubierta para el diseño de un sistema de aprovechamiento implementado a descargas*

en la institución educativa municipal nuevo horizonte de Girardot, Cundinamarca sede principal, B. Recuperado el 10 de Febrero de 2025, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/10087/MEDICI%c3%93N%20Y%20CARACTERIZACI%c3%93N%20DE%20LA%20CALIDAD%20DEL%20AGUA%20%20LLUVIA%20DE%20ESCORRENT%c3%8dA%20EN%20CUBIERTA%20PAR

POMCA. (Septiembre de 2016). *Fase de aprestamiento*. Obtenido de ajuste del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río bogotá : file:///C:/Users/linar/Downloads/TRABAJO%20DE%20GRADO/Resumen%20Ejecutivo.pdf

POMCA. (Enero de 2018). *Fase de diagnóstico*. Obtenido de ajuste del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río bogotá: file:///C:/Users/linar/Downloads/TRABAJO%20DE%20GRADO/Resumen%20Ejecutivo.pdf

POMCA. (Septiembre de 2018). *Fase de formulación*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2025, de AJUSTE Y/O ACTUALIZACIÓN DEL POMCA DEL RÍO BOGOTÁ: file:///C:/Users/linar/Downloads/TRABAJO%20DE%20GRADO/Volumen%20I.Formulaci%C3%B3n.pdf

POMCA. (02 de Abril de 2019). *Fase prospectiva & zonificación ambiental*. Obtenido de ajuste y/o actualización del pomca del río bogotá: file:///C:/Users/linar/Downloads/TRABAJO%20DE%20GRADO/Informe_P&ZA_RioBogota.pdf

Ruiz Romera, E., & Martinez Santos, M. (s.f.). OCW (OPEN COURSE WARE). Obtenido de Hidrología aplicada. Analisis de la precipitacion: https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/47722/mod_resource/content/1/Material_Docente/Tema_2.pdf

Sandoval, W. R., & Aguilera, E. P. (Diciembre de 2014). *Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica*. Obtenido de file:///C:/Users/linar/Downloads/TRABAJO%20DE%20GRADO/Dialnet-DeterminacionDeCaudalesEnCuencasConPocoInformacion-5210356.pdf

UNAD. (Noviembre de 2022). *Gestión integrada de la cuenca alta del río magdalena: instrumentos para su evaluación y planificación*. Obtenido de Herramientas para la evaluación y gestión integrada del recurso hídrico: https://libros.unad.edu.co/index.php/selloeditorial/catalog/download/162/147/2456?inline=1

USGS Headquarters. (1 de Enero de 2018). *Directrices para determinar la frecuencia de las crecidas - Boletín 17C*. Obtenido de <https://www.usgs.gov/publications/guidelines-determining-flood-flow-frequency-bulletin-17c>

Velasco, M., & Garaicoa, J. (Marzo de 2023). *Regionalización de la curva idf para las provincias de los rios, guayas y el oro*. Obtenido de file:///C:/Users/linar/Downloads/BMAT-H%2059-2023-Ing.%20CIVIL%20-%20VELASCO%20RAMOS%20MARCOS%20JESUS%20-%20GARAICOA%20VEL%C3%81SQUEZ%20JOSHUA%20JOSE.pdf

ANEXOS

<i>Anexo A. Cálculo caudal de diseño</i>	86
--	-----------

Fuente: Elaboración propia. (2025).

Nota: el archivo digital titulado Anexo A. Calculo caudal de diseño.xlsx se entrega como material complementario del presente trabajo de grado, conteniendo las hojas de cálculo correspondientes al análisis de precipitaciones, curvas IDF y determinación de caudales.