PAVIMENTOS POROSOS UNA ALTERNATIVA PARA MEJORAR FILTRACIÓN DE AGUA DE ESCORRENTÍA

OPCIÓN DE GRADO: MONOGRAFÍA

Propuesta de estrategias para la implementación de pavimentos porosos como alternativa para la mitigación de la escorrentía pluvial en la ciudad de Bogotá

Lizeth Fernanda Lizarazo Estepa

Arturo Gabriel Mendoza Comas

Wilmer Adrián Palacios Jácome

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

abril de 2026

PAVIMENTOS POROSOS UNA ALTERNATIVA PARA MEJORAR FILTRACIÓN DE AGUA DE ESCORRENTÍA

Propuesta de estrategias para la implementación de pavimentos porosos como alternativa para la mitigación de la escorrentía pluvial en la ciudad de Bogotá

Lizeth Fernanda Lizarazo Estepa

Arturo Gabriel Mendoza Comas

Wilmer Adrián Palacios Jácome

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos

Asesor: Sergio Andrés Zabala Vargas
Doctor en Tecnología Educativa

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

abril de 2026

Contenido

Lista de tablas 7
Lista de figuras 8
Lista de anexos 9
Resumen 10
Abstract 11
Introducción 12
1. Planteamiento del problema 14
1.1. Descripción del problema 14
1.2. La pregunta de investigación 16
1.3. Los objetivos de investigación 16
1.3.1. Objetivo general 16
1.3.2. Objetivos específicos 17
1.4. Justificación de la investigación 17
2. MARCO DE REFERENCIA 19
2.1. Marco de Antecedentes 19
2.1.1. (2016) Ahiablame, L. & Engel, B. 20
2.1.2. (2017) Scholz, M. & Grabowiecki, P. 20
2.1.3. (2018) Li, H. et al. 20
2.1.4. (2019) Montes Sánchez, J. et al. 21
2.1.5. (2020) Zhang, K. et al. 21
2.1.6. (2021) Guo, Y. et al. 21
2.1.7. (2022) Pantoja Cárdenas, J. & Zambrano Nájera, J. 22
2.1.8. (2021) Montes Sánchez, L. et al. 22
2.1.9. (2020) Wang, J. et al. 23
2.1.10. (2018) Huang, J. & Zhang, Z. 23
2.1.11. (2022) Thives, L. & Ghisi, E. 24
2.1.12. (2024) Weber, J. 24

2.2. Marco Teórico 25
2.2.1. Escorrentía pluvial 25
2.2.2. Pavimentos porosos 25
2.2.3. Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) 26
2.2.4. Infraestructura verde 26
2.2.5. Urbanización y cambio del uso del suelo 27
2.2.6. Gestión sostenible del agua urbana 27
2.3. Marco normativo 28
3. Metodología 30
3.1. Enfoque y alcance de la investigación 30
3.1.1. Enfoque 30
3.1.2. Alcance 30
3.2. Población y muestra 31
3.2.1. Definición de la población 31
3.2.2. Cálculo y selección de la muestra 31
3.2.3. Criterios de selección 33
3.3. Instrumento(s) 33
3.3.1. Estructura del instrumento 34
3.3.2. Instrumento de revisión documental 35
3.4. Descripción de procedimientos 36
3.4.1. Diseño del instrumento 36
3.4.2. Validación del instrumento 37
3.4.3. Selección y contacto de participantes 37
3.4.4. Aplicación del instrumento 37
3.4.5. Recolección de la información 38
3.4.6. Control de calidad de los datos 38
3.4.7. Procedimiento de revisión documental 38
3.5. Análisis de la información 39
3.5.1. Preparación y limpieza de datos 39
3.5.2. Codificación de la información 40

3.5.3. Análisis de la información por tipo de instrumento 41
3.5.4. Software utilizado 43
3.5.5. Presentación de resultados 43
3.6. Consideraciones éticas 43
3.6.1. Consentimiento informado 44
3.6.2. Análisis de consideraciones éticas 44
3.6.3. Instrumentos de aceptación y autorización 45
4. HIPÓTESIS 46
4.1. Variables de la investigación 47
4.1.1. Variable independiente 47
4.1.2. Variable dependiente 48
4.2. Planteamiento de la hipótesis 49
5. RESULTADOS 49
5.1. Resultados de la encuesta 50
5.1.1. Caracterización de la población 50
5.1.2. Percepción sobre la escorrentía pluvial y pavimentos porosos 54
5.1.3. Propiedades físicas del pavimento poroso 57
5.1.4. Reducción de escorrentía mediante pavimentos porosos 59
5.1.5. Criterios técnicos y ambientales 61
5.2. Análisis documental 63
5.3. Análisis de resultados en función de los objetivos específicos. 68
5.3.1. Desarrollo del análisis documental. 71
5.4. Propuesta al sector 73
5.4.1. Enfoque general de la propuesta 73
5.4.2. Estrategias propuestas 73
5.4.3. La implementación de la propuesta permitirá: 86
5.4.4. Viabilidad de la propuesta 87
5.4.5. Articulación con la gerencia de proyectos 87
6. DISCUSIÓN 88
7. CONCLUSIONES 92

8. RECOMENDACIONES 94
8.1. Recomendaciones institucionales 94
8.2. Recomendaciones técnicas 95
8.3. Recomendaciones ambientales y urbanas 95
8.4. Recomendaciones académicas y para futuras investigaciones 96
9. REFERENCIAS 97
10. ANEXOS 100
10.1. Anexo 1. Encuesta 100
10.2. Anexo 2. Consentimiento informado 104

Lista de tablas

Tabla 1. Género de los participantes. 50
Tabla 2. Edad de los participantes. 50
Tabla 3. Nivel educativo 51
Tabla 4. Pregunta N°4 Lugar de residencia 52
Tabla 5. Tiempo de residencia. 52
Tabla 6. Proximidad a zonas con escorrentía. 53
Tabla 7. Percepción del aumento de lluvias 54
Tabla 8. Nivel de acumulación de agua 55
Tabla 9. Problemas generados por la escorrentía 55
Tabla 10. Frecuencia de afectaciones 56
Tabla 11. Capacidad de infiltración. 57
Tabla 12. Conocimiento sobre pavimentos porosos. 57
Tabla 13. Relación filtración - deterioro 58
Tabla 14. Tiempo de drenaje 58
Tabla 15. Reducción de escorrentía. 59
Tabla 16. Nivel de efectividad 60
Tabla 17. Cocimiento técnico 60
Tabla 18. Desempeño hidráulico. 61
Tabla 19. Conocimiento normativo. 61
Tabla 20. Frecuencia de mantenimiento. 62
Tabla 21. Aceptación de implementación. 62
Tabla 22. Matriz de revisión documental (bases de datos científicas). 63

Lista de figuras

Lista de anexos

10.1. Anexo 1. Encuesta 100
10.2. Anexo 2. Consentimiento informado 104

Resumen

La creciente urbanización en la ciudad de Bogotá ha intensificado la impermeabilización del suelo, generando un aumento significativo de la escorrentía pluvial y, en consecuencia, problemas recurrentes de inundaciones, deterioro de la infraestructura vial y afectaciones ambientales. Ante este contexto, surge la necesidad de implementar soluciones sostenibles que contribuyan a la gestión eficiente del agua lluvia, siendo los pavimentos porosos una alternativa viable.

El objetivo de esta investigación es proponer estrategias para la implementación de pavimentos porosos como alternativa para la mitigación de la escorrentía pluvial en la ciudad de Bogotá. La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto con alcance descriptivo–propositivo, apoyado en la revisión documental de estudios recientes y la aplicación de una encuesta a 51 profesionales del sector de la construcción e ingeniería civil.

Los resultados evidencian que el 83,6% de los encuestados ha percibido un aumento en la intensidad de las lluvias, mientras que el 50,8% considera alta la acumulación de agua en las vías. Asimismo, el 90,2% reconoce que los pavimentos porosos reducen la escorrentía superficial y el 85,2% manifiesta estar de acuerdo con su implementación. Sin embargo, se identifican limitaciones asociadas al desconocimiento técnico (45,9%), los costos iniciales y la ausencia de lineamientos normativos claros.

En conclusión, los pavimentos porosos representan una solución viable para mejorar la gestión del drenaje urbano en Bogotá, contribuyendo a la reducción de la escorrentía y al fortalecimiento de la sostenibilidad urbana. A partir de estos resultados, se propone la formulación de estrategias orientadas a la capacitación técnica, el fortalecimiento normativo y la promoción de su implementación en proyectos de infraestructura vial, con el fin de facilitar su adopción en el contexto colombiano.

Palabras clave: Pavimentos porosos, escorrentía pluvial, drenaje urbano sostenible, infraestructura sostenible, gestión del agua.

Abstract

The rapid urbanization of Bogotá has intensified soil impermeabilization, leading to a significant increase in stormwater runoff and, consequently, recurring flooding, deterioration of road infrastructure, and environmental impacts. In this context, there is a growing need to implement sustainable solutions for efficient stormwater management, where porous pavements emerge as a viable alternative.

The objective of this research is to propose strategies for the implementation of porous pavements as an alternative to mitigate stormwater runoff in the city of Bogotá. The study was conducted under a mixed-method approach with a descriptive–propositional scope, supported by a documentary review of recent studies and the application of a survey to 51 professionals in the construction and civil engineering sector.

The results show that 83.6% of respondents have perceived an increase in rainfall intensity, while 50.8% consider water accumulation on roads to be high. Additionally, 90.2% recognize that porous pavements reduce surface runoff, and 85.2% agree with their implementation. However, limitations were identified related to technical knowledge gaps (45.9%), initial costs, and the lack of clear regulatory guidelines.

In conclusion, porous pavements represent a viable solution to improve urban drainage management in Bogotá, contributing to runoff reduction and sustainable urban development. Based on these findings, strategies focused on technical training, regulatory strengthening, and the promotion of their implementation in road infrastructure projects are proposed to facilitate their adoption in the Colombian context.

Keywords:

Porous pavements, stormwater runoff, sustainable infrastructure, urban drainage, water management.

Introducción

El acelerado proceso de urbanización en las grandes ciudades ha generado importantes transformaciones en el uso del suelo, caracterizadas principalmente por el incremento de superficies impermeables como vías, edificaciones y zonas pavimentadas. En el caso de la ciudad de Bogotá, este fenómeno, sumado al crecimiento poblacional y a la variabilidad climática, ha intensificado la ocurrencia de eventos de escorrentía pluvial, provocando inundaciones recurrentes, sobrecarga en los sistemas de drenaje y deterioro progresivo de la infraestructura vial. Estas problemáticas no solo afectan la movilidad urbana, sino que también generan impactos ambientales, económicos y sociales que comprometen la sostenibilidad del desarrollo urbano.

En este contexto, surge la necesidad de implementar soluciones innovadoras que permitan gestionar de manera eficiente las aguas lluvias, reduciendo los efectos negativos asociados a la escorrentía superficial. Los pavimentos convencionales, diseñados principalmente para soportar cargas vehiculares, presentan una alta impermeabilidad que impide la infiltración del agua, contribuyendo al aumento de caudales pico y a la saturación de los sistemas de alcantarillado. Frente a esta limitación, los pavimentos porosos o permeables se posicionan como una alternativa técnica sostenible, al permitir la infiltración del agua hacia el subsuelo, favoreciendo la recarga de acuíferos y disminuyendo el volumen de escorrentía superficial.

Diversos estudios han evidenciado la efectividad de los pavimentos permeables como parte de los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS), destacando su capacidad para mitigar inundaciones y mejorar la calidad del agua al filtrar contaminantes durante el proceso de infiltración (Ahiablame & Engel, 2017). Asimismo, investigaciones como las de Li et al. (2019) han demostrado que estos sistemas pueden reducir significativamente los caudales pico y contribuir a la regulación hidrológica en entornos urbanos. Por su parte, Scholz y Grabowiecki (2007) resaltan que los pavimentos permeables no solo cumplen funciones hidráulicas, sino que

también aportan beneficios ambientales y urbanos, como la reducción del efecto de isla de calor y la mejora de las condiciones de transitabilidad.

La implementación de pavimentos porosos en ciudades como Bogotá enfrenta diversos retos asociados a factores técnicos, económicos, normativos y de conocimiento por parte de los actores del sector construcción. Diversos estudios han señalado que, aunque estos sistemas presentan ventajas significativas en la reducción de escorrentía y mejora de la infiltración, su adopción se ve limitada por costos iniciales elevados, falta de mantenimiento adecuado y escasa normativa específica (Thives & Ghisi, 2022; Montes Sánchez et al., 2021).

Asimismo, investigaciones internacionales destacan que la efectividad de los pavimentos permeables depende de condiciones como el tipo de suelo, la intensidad de las precipitaciones y la correcta planificación del sistema (Ahiablame & Engel, 2016; Zhang et al., 2020).Asimismo, estudios recientes evidencian que los procesos de urbanización y el aumento de superficies impermeables incrementan significativamente los volúmenes de escorrentía, generando mayores riesgos de inundación y presión sobre los sistemas de drenaje existentes (Pantoja & Zambrano, 2024).

Adicionalmente, investigaciones internacionales señalan que la implementación de pavimentos permeables se ve afectada por desafíos asociados al cambio climático, el crecimiento urbano desordenado y la falta de infraestructura adecuada para la gestión del agua lluvia (Thives & Ghisi, 2022). En este sentido, aunque los pavimentos porosos representan una alternativa sostenible para el manejo de aguas pluviales, su adopción en ciudades como Bogotá requiere la integración de criterios técnicos, normativos y de planificación urbana que permitan su adecuada implementación.

En este sentido, la presente investigación adopta un enfoque metodológico mixto, combinando técnicas cuantitativas y cualitativas para el análisis del problema. Desde el componente cuantitativo, se emplean herramientas de modelación hidrológica y análisis de datos para evaluar la reducción de la escorrentía superficial mediante la implementación de pavimentos porosos. Por otro lado, el enfoque cualitativo permite analizar aspectos técnicos, normativos y

ambientales asociados a su aplicación, así como la interpretación de resultados en función del contexto urbano de Bogotá. Esta integración metodológica permite una comprensión más completa del fenómeno estudiado y fortalece la validez de los resultados obtenidos.

El presente trabajo se encuentra estructurado en siete capítulos. El primer capítulo aborda el planteamiento del problema, incluyendo la descripción del problema, pregunta de investigación, objetivos y justificación. El segundo capítulo desarrolla el marco de referencia compuesto por antecedentes, marco teórico y marco normativo. El tercer capítulo presenta la metodología empleada en la investigación. El cuarto capítulo corresponde a la formulación de la hipótesis. El quinto capítulo expone los resultados obtenidos y la propuesta dirigida al sector. El sexto capítulo desarrolla la discusión de los hallazgos, el séptimo capítulo presenta las conclusiones y finalmente el capítulo ocho muestra las recomendaciones del estudio.

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción del problema

El crecimiento urbano acelerado a nivel mundial ha generado una transformación significativa en el uso del suelo, caracterizada principalmente por el aumento de superficies impermeables como carreteras, aceras y edificaciones. Esta situación ha provocado una alteración del ciclo hidrológico natural, incrementando la escorrentía superficial y, en consecuencia, el riesgo de inundaciones urbanas. Diversos estudios han evidenciado que la urbanización reduce la capacidad de infiltración del suelo, lo que ocasiona sobrecargas en los sistemas de drenaje y un aumento en la frecuencia de eventos de inundación (Ahiablame & Engel, 2017; Li et al., 2019).

En América Latina, esta problemática se intensifica debido a la expansión descontrolada de las ciudades, la limitada planificación urbana y la insuficiencia de infraestructura de drenaje sostenible. En este contexto, los sistemas tradicionales de evacuación de aguas lluvias resultan insuficientes frente a eventos de precipitación cada vez más intensos, asociados al cambio

climático. Investigaciones recientes destacan la necesidad de implementar soluciones basadas en infraestructura verde, como los pavimentos porosos, que permitan gestionar el agua pluvial de manera más eficiente (Montes Sánchez et al., 2021).

A nivel nacional, Colombia no es ajena a esta problemática. Ciudades como Bogotá presentan un crecimiento urbano constante acompañado de un aumento en la impermeabilización del suelo, lo cual ha generado dificultades en la gestión de aguas lluvias. Según diversos estudios, los sistemas de alcantarillado en muchas zonas urbanas operan al límite de su capacidad, lo que incrementa el riesgo de inundaciones y afecta tanto la infraestructura como la calidad de vida de la población (Rodríguez Hernández, 2008).

En la ciudad de Bogotá, particularmente, la escorrentía pluvial se ha convertido en un problema recurrente que impacta negativamente la movilidad, la infraestructura vial y el entorno ambiental. La acumulación de agua en las vías genera deterioro prematuro del pavimento, formación de baches, pérdida de adherencia y riesgos para la seguridad vial. Asimismo, las aguas de escorrentía arrastran contaminantes como aceites, metales pesados y residuos sólidos hacia fuentes hídricas, deteriorando la calidad del agua y afectando los ecosistemas urbanos (Scholz & Grabowiecki, 2007).

Entre las principales causas del incremento de la escorrentía pluvial en entornos urbanos es la creciente impermeabilización del suelo derivada del proceso de urbanización. La expansión de superficies pavimentadas limita la infiltración natural del agua lluvia, generando mayores volúmenes de escorrentía superficial y aumentando la presión sobre los sistemas de drenaje urbano (Pantoja Cárdenas & Zambrano Nájera, 2024; Thives & Ghisi, 2022). Esta situación se agrava en ciudades con características topográficas complejas, donde las pendientes favorecen el aumento de la velocidad del flujo y, en consecuencia, incrementan los caudales pico durante eventos de precipitación intensa (Zhou, 2014).

Como consecuencia, se presentan múltiples afectaciones en la infraestructura urbana, especialmente en la red vial, donde el contacto constante con el agua genera deterioro prematuro, aparición de fisuras, baches e incluso fallas estructurales en los pavimentos. Además, el aumento

de la escorrentía contribuye a la ocurrencia de inundaciones urbanas, afectando la movilidad, la seguridad de los ciudadanos y la calidad de vida (Liu et al., 2018; Fletcher et al., 2015). Estas problemáticas evidencian la necesidad de implementar soluciones sostenibles que permitan mejorar la gestión del agua lluvia y reducir los impactos asociados a la impermeabilización del suelo.

En este contexto, surge la necesidad de analizar alternativas sostenibles que permitan mitigar la escorrentía pluvial y mejorar la gestión del agua en entornos urbanos. Los pavimentos porosos se presentan como una solución viable, ya que permiten la infiltración del agua hacia el subsuelo, reduciendo el volumen de escorrentía superficial y aliviando la carga sobre los sistemas de drenaje. No obstante, su implementación en Bogotá aún es limitada, lo que evidencia la necesidad de desarrollar estrategias que faciliten su adopción en proyectos de infraestructura vial urbana.

1.2. La pregunta de investigación

¿Cómo una propuesta con estrategias para la implementación de pavimentos porosos en la construcción de vías urbanas puede mitigar la escorrentía pluvial y reducir el riesgo de inundaciones en la ciudad de Bogotá?

1.3. Los objetivos de investigación

1.3.1. Objetivo general

Proponer estrategias para la implementación de pavimentos porosos como alternativa para la mitigación de la escorrentía pluvial en la ciudad de Bogotá.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar las principales problemáticas asociadas a la escorrentía pluvial y las limitaciones de los pavimentos convencionales en la ciudad de Bogotá, mediante revisión documental.
- Analizar experiencias, metodologías y estrategias implementadas en otros contextos para el uso de pavimentos porosos, a partir de literatura académica reciente.
- Determinar la percepción, conocimiento y disposición de profesionales del sector frente a la implementación de pavimentos porosos, mediante la aplicación de encuestas.
- Formular una propuesta de estrategias técnicas, ambientales y de gestión para la implementación de pavimentos porosos en la ciudad de Bogotá.

1.4. Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica en la necesidad de abordar una problemática urbana creciente asociada a la gestión inadecuada de las aguas lluvias en ciudades altamente urbanizadas como Bogotá. El incremento de superficies impermeables, producto del desarrollo urbano, ha generado alteraciones en el ciclo hidrológico natural, incrementando significativamente la escorrentía superficial.

Este fenómeno ha sido ampliamente documentado en estudios internacionales, donde se evidencia que la urbanización puede aumentar el volumen de escorrentía hasta en un 55 % en comparación con condiciones naturales (Ahiablame & Engel, 2017). En este sentido, resulta fundamental investigar alternativas sostenibles que permitan mitigar estos impactos y mejorar la resiliencia urbana.

Desde el enfoque académico y científico, esta investigación cobra relevancia al contribuir al desarrollo y aplicación del conocimiento relacionado con los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS), particularmente en el contexto colombiano, donde su implementación aún es incipiente. Diversos estudios han demostrado que los pavimentos porosos permiten reducir

significativamente la escorrentía pluvial, mejorar la infiltración del agua y disminuir la carga sobre los sistemas de alcantarillado (Li et al., 2019; Scholz & Grabowiecki, 2007).

En el contexto colombiano, la implementación de pavimentos porosos es aún limitada debido a la falta de normativas específicas, desconocimiento técnico y barreras económicas, lo que restringe su adopción en proyectos de infraestructura urbana (Ríos et al., 2021; Pantoja Cárdenas & Zambrano Nájera, 2022).Desde el ámbito social, la adecuada gestión del agua pluvial contribuye a mejorar la calidad de vida de la población urbana, reduciendo afectaciones por inundaciones y deterioro de la infraestructura, lo cual ha sido ampliamente documentado en estudios sobre infraestructura verde en ciudades latinoamericanas (Montes Sánchez et al., 2021; Torres et al., 2024).

La implementación de pavimentos porosos representa una alternativa que no solo contribuye a la reducción de estos riesgos, sino que también promueve entornos urbanos más sostenibles, seguros y funcionales. Adicionalmente, estos sistemas favorecen la reducción de contaminantes transportados por el agua de escorrentía, contribuyendo a la protección de los recursos hídricos y al equilibrio ambiental (Montes Sánchez et al., 2021).

Desde una perspectiva práctica y profesional, esta investigación se orienta a la formulación de estrategias que faciliten la implementación de pavimentos porosos en proyectos de infraestructura vial urbana. Este enfoque resulta pertinente debido a la necesidad de contar con lineamientos claros que orienten a los profesionales del sector en la adopción de soluciones innovadoras.

Factores como el desconocimiento técnico, los costos iniciales y la ausencia de normativas específicas han limitado su aplicación, lo cual hace necesario generar propuestas que integren criterios técnicos, ambientales y de gestión para su adecuada implementación.

En cuanto a los beneficiarios, esta investigación impacta a diversos actores. Las entidades gubernamentales pueden emplear los resultados como base para la formulación de políticas públicas orientadas a la sostenibilidad urbana. El sector de la construcción se beneficia al contar con herramientas que permitan innovar en el diseño de infraestructura vial. La comunidad

obtiene beneficios directos en términos de reducción de inundaciones, mejora en la movilidad y calidad ambiental.

Asimismo, los estudiantes investigadores fortalecen sus competencias en análisis crítico, investigación aplicada y formulación de propuestas, contribuyendo a su desarrollo profesional. De igual manera, la Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO Virtual fortalece su misión institucional al promover investigaciones con impacto social y pertinencia territorial.

Finalmente, esta investigación aporta al sector de la ingeniería civil y la gestión ambiental mediante la formulación de estrategias orientadas a la implementación de pavimentos porosos como solución sostenible para el manejo de aguas lluvias en Bogotá.

En este sentido, la implementación de pavimentos porosos representa una alternativa sostenible que contribuye al equilibrio del ciclo hidrológico, mejora la infiltración del agua y reduce la presión sobre los sistemas de drenaje tradicionales (Guo et al., 2021; Thives & Ghisi, 2022).

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Marco de Antecedentes

Para la construcción del marco de antecedentes se realizó una revisión sistemática de literatura científica relacionada con el uso de pavimentos porosos y su impacto en la mitigación de la escorrentía pluvial en entornos urbanos.

Ecuación de búsqueda:
("porous pavement" OR "permeable pavement" OR "pavimentos porosos") AND ("stormwater runoff" OR "escorrentía pluvial") AND ("urban drainage" OR "drenaje urbano sostenible")

Rango temporal: 2015 – 2025

Bases de datos utilizadas: Scopus, ScienceDirect, Google Scholar y SpringerLink.

Se seleccionaron 12 estudios relevantes, organizados cronológicamente, que abordan metodologías, tecnologías y estrategias aplicadas al manejo de escorrentía mediante pavimentos permeables.

2.1.1. *(2016) Ahiablame, L. & Engel, B.*

Ahiablame y Engel (2016) analizaron el desempeño de los pavimentos permeables como parte de sistemas de drenaje urbano sostenible en diferentes contextos urbanos. La investigación se desarrolló mediante la recopilación de datos experimentales y modelaciones hidrológicas que permitieron evaluar la reducción de escorrentía superficial. Los resultados evidenciaron que este tipo de pavimentos puede reducir significativamente los picos de escorrentía, contribuyendo a disminuir el riesgo de inundaciones. Asimismo, se identificó que su efectividad depende de factores como el tipo de suelo, el mantenimiento y la intensidad de las precipitaciones. Este estudio aporta una base metodológica importante para comprender el comportamiento hidráulico de estas tecnologías.

2.1.2. *(2017) Scholz, M. & Grabowiecki, P.*

Scholz y Grabowiecki (2017) evaluaron la eficiencia de los pavimentos porosos en la mejora de la calidad del agua y la reducción de contaminantes urbanos. A través de ensayos de laboratorio y estudios de campo, analizaron la capacidad de estos sistemas para filtrar metales pesados y sedimentos. Los resultados demostraron que los pavimentos permeables no solo reducen la escorrentía, sino que también actúan como sistemas de tratamiento natural del agua. Este aporte es relevante para la investigación, ya que amplía la perspectiva ambiental del uso de estas tecnologías más allá del control hidráulico.

2.1.3. *(2018) Li, H. et al.*

Li et al. (2018) desarrollaron un estudio enfocado en la modelación del comportamiento hidrológico de pavimentos permeables en entornos urbanos densamente poblados. Utilizando

herramientas de simulación, analizaron diferentes escenarios de precipitación y tipos de diseño de pavimento. Los resultados indicaron que los pavimentos porosos pueden reducir considerablemente el volumen de escorrentía y mejorar la infiltración del agua. Este estudio es clave, ya que aporta metodologías de análisis que permiten evaluar la efectividad de estas soluciones sin necesidad de intervención experimental directa.

2.1.4. *(2019) Montes Sánchez, J. et al.*

Montes Sánchez et al. (2019) realizaron un análisis del uso de infraestructura verde en América Latina, destacando los pavimentos porosos como una solución sostenible para el manejo de aguas lluvias. El estudio se basó en la revisión de múltiples casos de implementación en ciudades de la región. Se concluyó que, aunque existe un alto potencial de aplicación, su adopción se ve limitada por factores económicos y normativos. Este trabajo aporta un enfoque regional que permite contextualizar la investigación en el entorno latinoamericano.

2.1.5. *(2020) Zhang, K. et al.*

Zhang et al. (2020) evaluaron el desempeño hidráulico de pavimentos permeables bajo diferentes condiciones climáticas. A través de experimentación controlada, analizaron variables como la tasa de infiltración y la capacidad de almacenamiento. Los resultados evidenciaron que estos sistemas mantienen un alto nivel de eficiencia incluso en eventos de lluvia intensa, siempre que se realice un mantenimiento adecuado. Este estudio aporta evidencia técnica sobre la viabilidad de implementación en contextos con variabilidad climática.

2.1.6. *(2021) Guo, Y. et al.*

Guo et al. (2021) analizaron la integración de pavimentos porosos dentro de estrategias de drenaje urbano sostenible mediante el uso de modelos hidrológicos y simulaciones de escenarios urbanos. La investigación evaluó el comportamiento de estos sistemas tanto de manera individual como en combinación con otras infraestructuras verdes, tales como jardines de

lluvia y techos verdes. Los resultados evidenciaron que la implementación conjunta de estas soluciones genera una reducción significativa en los volúmenes de escorrentía, mejora la infiltración del agua y optimiza el funcionamiento del sistema de drenaje urbano en su conjunto. Asimismo, se concluyó que la planificación integrada de estas tecnologías permite maximizar sus beneficios ambientales y urbanos. Este estudio aporta una visión sistémica que fortalece el enfoque estratégico de la presente investigación, al evidenciar que los pavimentos porosos deben considerarse como parte de soluciones integrales y no de manera aislada.

2.1.7. *(2022) Pantoja Cárdenas, J. & Zambrano Nájera, J.*

Pantoja Cárdenas y Zambrano Nájera (2022) evaluaron el uso de pavimentos permeables como técnica para mitigar picos de escorrentía en entornos urbanos mediante el desarrollo de análisis hidrológicos y la simulación de escenarios de precipitación. La investigación permitió analizar variables como el caudal pico, el volumen de escorrentía y la capacidad de infiltración del sistema bajo diferentes condiciones. Los resultados evidenciaron reducciones significativas en los caudales máximos y una mejora notable en los procesos de infiltración, lo que contribuye a disminuir la carga sobre los sistemas de drenaje convencional. Asimismo, el estudio resalta la importancia del diseño adecuado y las condiciones del suelo para optimizar el desempeño de estos sistemas. Este antecedente es altamente relevante, ya que se desarrolla en un contexto latinoamericano, lo cual permite una mayor aplicabilidad de sus resultados en ciudades con problemáticas similares a las del presente estudio, fortaleciendo la pertinencia de la investigación.

2.1.8. *(2021) Montes Sánchez, L. et al.*

Montes Sánchez et al. (2021) analizaron la implementación de infraestructura verde en América Latina mediante una revisión de experiencias y estudios de caso en diferentes ciudades de la región. La investigación identificó a los pavimentos permeables como una alternativa eficiente para la gestión del agua lluvia, destacando su capacidad para reducir la escorrentía superficial y mejorar la infiltración. No obstante, los autores evidenciaron que su adopción

enfrenta diversas limitaciones, entre ellas la falta de normativas específicas, el desconocimiento técnico en el sector de la construcción y la limitada inversión en este tipo de soluciones. Además, se resalta la necesidad de fortalecer la planificación urbana sostenible y la articulación institucional para promover su implementación. Este antecedente es fundamental, ya que permite contextualizar la investigación en el entorno latinoamericano, evidenciando barreras similares a las que se presentan en Colombia y justificando la necesidad de estudios aplicados en este campo.

2.1.9. *(2020) Wang, J. et al.*

Wang et al. (2020) evaluaron el desempeño hidrológico de pavimentos permeables mediante el uso de simulaciones numéricas y estudios experimentales en condiciones controladas. La investigación se centró en analizar variables como la tasa de infiltración, la capacidad de almacenamiento y la reducción del volumen de escorrentía bajo diferentes intensidades de lluvia. Los resultados indicaron mejoras significativas en la infiltración del agua y una disminución considerable de la escorrentía superficial en comparación con pavimentos convencionales. Asimismo, se evidenció que el desempeño de estos sistemas puede variar en función del diseño estructural y las condiciones del entorno**.** Este estudio refuerza la evidencia técnica sobre la eficiencia de los pavimentos porosos y aporta fundamentos científicos que respaldan su implementación en estrategias de drenaje urbano sostenible.

2.1.10. *(2018) Huang, J. & Zhang, Z.*

Huang y Zhang (2018) analizaron la efectividad de los pavimentos permeables en la gestión del agua lluvia en entornos urbanos mediante la evaluación de su capacidad de infiltración y su impacto en la reducción de inundaciones. A través de estudios experimentales y análisis comparativos, evidenciaron que estos sistemas permiten disminuir significativamente la escorrentía superficial y mejorar la recarga de aguas subterráneas. Además, se identificó que su implementación contribuye a reducir la presión sobre los sistemas de drenaje tradicionales, especialmente en zonas con alta impermeabilización del suelo. Este antecedente aporta evidencia

adicional sobre los beneficios ambientales y funcionales de los pavimentos porosos, fortaleciendo el sustento teórico de la presente investigación.

2.1.11. *(2022) Thives, L. & Ghisi, E.*

Thives y Ghisi (2022) realizaron una revisión sistemática sobre los avances y desafíos en el uso de pavimentos permeables como solución para la gestión del agua urbana. El estudio analizó múltiples investigaciones a nivel internacional, identificando beneficios como la reducción de escorrentía, la mejora en la calidad del agua y la contribución a la sostenibilidad urbana. Sin embargo, también se señalaron desafíos importantes relacionados con los costos de implementación, el mantenimiento y la falta de conocimiento técnico en algunos contextos. Asimismo, los autores destacan la necesidad de continuar investigando y promoviendo estas tecnologías como parte de estrategias integrales de drenaje urbano sostenible. Este estudio aporta una visión actualizada del estado del arte, permitiendo fundamentar teóricamente la investigación y evidenciar la relevancia global del tema.

2.1.12. *(2024) Weber, J.*

Weber (2024) propuso una metodología para el diseño hidrológico de pavimentos porosos en entornos urbanos complejos, considerando variables como la intensidad de la lluvia, la capacidad de infiltración del suelo y las características estructurales del pavimento. La investigación incluyó el desarrollo de modelos de simulación que permiten optimizar el diseño y mejorar la eficiencia de estos sistemas en la gestión del agua lluvia. Los resultados evidenciaron que una adecuada planificación y diseño pueden maximizar el rendimiento hidráulico y garantizar su funcionalidad a largo plazo. Asimismo, se destaca la importancia de integrar estos sistemas dentro de estrategias urbanas sostenibles. Este antecedente aporta directamente al enfoque técnico y metodológico de la presente investigación, ya que proporciona herramientas y criterios que pueden ser aplicados en la formulación de propuestas.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Escorrentía pluvial

La escorrentía pluvial se define como el flujo superficial del agua de lluvia que no logra infiltrarse en el suelo y se desplaza sobre la superficie terrestre hacia sistemas de drenaje o cuerpos de agua. Este fenómeno se intensifica en áreas urbanas debido a la alta presencia de superficies impermeables como concreto y asfalto (Chow, Maidment & Mays, 2017).

En el contexto urbano, la escorrentía pluvial representa una problemática significativa, ya que incrementa el riesgo de inundaciones, deteriora la infraestructura vial y transporta contaminantes hacia fuentes hídricas. En ciudades como Bogotá, este fenómeno se ha intensificado debido al crecimiento urbano descontrolado y la insuficiencia de sistemas de drenaje eficientes.

La comprensión de la escorrentía pluvial es fundamental para esta investigación, ya que constituye el problema central que se busca mitigar mediante la implementación de pavimentos porosos. Analizar su comportamiento permite justificar la necesidad de soluciones sostenibles en la gestión del agua urbana.

2.2.2. Pavimentos porosos

Los pavimentos porosos forman parte de las estrategias de drenaje urbano sostenible (SUDS), las cuales buscan gestionar el agua lluvia mediante procesos de infiltración, almacenamiento y reutilización. Diversos estudios han demostrado que estos sistemas permiten reducir significativamente la escorrentía superficial y mejorar la calidad del agua (Scholz & Grabowiecki, 2017; Bean et al., 2022).

Además, el desempeño hidráulico de estos pavimentos depende de factores como el diseño estructural, la capacidad de infiltración del suelo y el mantenimiento del sistema (Li et al., 2018; Zhang et al., 2020).

Su implementación en entornos urbanos ha demostrado ser una solución eficaz para el manejo sostenible de aguas lluvias, ya que disminuyen la carga sobre los sistemas de alcantarillado y contribuyen a la recarga de acuíferos. Además, ayudan a mejorar la calidad del agua al filtrar contaminantes presentes en la escorrentía.

En esta investigación, los pavimentos porosos representan la solución principal propuesta para mitigar la problemática de la escorrentía pluvial en Bogotá, lo que los convierte en un eje central del análisis teórico y aplicado.

2.2.3. Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS)

Los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) son un conjunto de técnicas y estrategias diseñadas para gestionar el agua de lluvia de manera más natural, imitando los procesos hidrológicos del entorno previo a la urbanización (Marsalek et al., 2018).

Estos sistemas incluyen soluciones como pavimentos permeables, techos verdes, zanjas de infiltración y humedales artificiales, cuyo objetivo es reducir la escorrentía, mejorar la calidad del agua y minimizar los impactos ambientales. Su implementación ha sido promovida en diferentes países como una alternativa sostenible frente a los sistemas tradicionales de drenaje.

La relación de los SUDS con esta investigación radica en que los pavimentos porosos forman parte de estas estrategias, lo que permite enmarcar la propuesta dentro de un enfoque integral de sostenibilidad urbana.

2.2.4. Infraestructura verde

La infraestructura verde se refiere a una red de espacios y sistemas naturales o seminaturales diseñados para proporcionar beneficios ambientales, sociales y económicos. En el contexto urbano, incluye soluciones que permiten gestionar el agua, mejorar la calidad del aire y aumentar la resiliencia frente al cambio climático (Benedict & McMahon, 2017).

Dentro de esta categoría se encuentran los pavimentos porosos, los cuales contribuyen a la reducción de escorrentía y a la mejora del ciclo hidrológico urbano. La infraestructura verde se presenta como una alternativa frente a la infraestructura gris tradicional, ofreciendo soluciones más sostenibles y adaptativas.

Este concepto es clave en la investigación, ya que permite entender los pavimentos porosos no solo como una solución técnica, sino como parte de una estrategia más amplia de planificación urbana sostenible.

2.2.5. Urbanización y cambio del uso del suelo

La urbanización implica la transformación del suelo natural en superficies construidas, lo que conlleva una disminución de la capacidad de infiltración del agua. Este proceso altera significativamente el ciclo hidrológico, incrementando la escorrentía superficial y reduciendo la recarga de acuíferos (United Nations, 2019).

El crecimiento urbano acelerado en ciudades como Bogotá ha generado un aumento considerable en la impermeabilización del suelo, lo que agrava los problemas de drenaje y aumenta la vulnerabilidad frente a eventos de precipitación intensa.

Este concepto es fundamental para la investigación, ya que explica el origen del problema que se busca mitigar, proporcionando un contexto claro sobre la necesidad de implementar soluciones como los pavimentos porosos.

2.2.6. Gestión sostenible del agua urbana

La gestión sostenible del agua urbana se enfoca en el uso eficiente y responsable de los recursos hídricos dentro de las ciudades, integrando aspectos técnicos, ambientales y sociales. Este enfoque busca minimizar los impactos negativos del desarrollo urbano sobre el ciclo del agua (WWAP, 2020).

Incluye estrategias como la reutilización del agua, la infiltración controlada y la implementación de tecnologías sostenibles para el manejo de aguas lluvias. Su objetivo es garantizar la disponibilidad del recurso hídrico y reducir riesgos asociados a inundaciones y contaminación.

En el marco de esta investigación, este concepto permite integrar la propuesta de pavimentos porosos dentro de una visión más amplia de sostenibilidad, reforzando su importancia como solución viable para la ciudad de Bogotá.

2.3. Marco normativo

El marco normativo establece el conjunto de leyes, decretos y regulaciones que orientan la gestión del agua, el desarrollo urbano y la infraestructura vial en Colombia, proporcionando un sustento legal para la implementación de soluciones sostenibles como los pavimentos porosos.

En primer lugar, la **Constitución Política de Colombia** reconoce en su artículo 79 el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano, así como el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente (Constitución Política de Colombia, 1991, art. 79). Este principio fundamenta la necesidad de implementar soluciones sostenibles en la gestión del agua urbana, como los pavimentos permeables, los cuales contribuyen a la reducción de impactos ambientales asociados a la escorrentía.

La **Ley 99 de 1993**, por la cual se crea el Ministerio de Ambiente y se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA), establece los lineamientos para la protección de los recursos naturales y la promoción del desarrollo sostenible (Congreso de la República de Colombia, 1993). Esta normativa respalda la adopción de tecnologías ambientalmente sostenibles, como los pavimentos porosos, al promover estrategias que reduzcan la contaminación hídrica y favorezcan el uso eficiente de los recursos.

Por su parte, el **Decreto 1076 de 2015**, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente, regula aspectos relacionados con la gestión integral del recurso hídrico, incluyendo el

control de vertimientos y la protección de las fuentes de agua (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). En este sentido, la implementación de pavimentos permeables se articula con esta normativa al contribuir a la disminución de la escorrentía contaminante y a la infiltración natural del agua lluvia.

En el ámbito urbano, el **Decreto 1077 de 2015**, correspondiente al sector vivienda, ciudad y territorio, establece lineamientos para la planificación y el desarrollo urbano sostenible (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015). Este decreto promueve la incorporación de criterios ambientales en proyectos de infraestructura, lo cual permite integrar soluciones como los pavimentos porosos dentro del diseño urbano.

Adicionalmente, la **Resolución 0330 de 2017**, que adopta el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), define criterios técnicos para el diseño y operación de sistemas de drenaje (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017). Esta normativa abre la posibilidad de incluir soluciones alternativas de drenaje urbano sostenible, como los pavimentos permeables, dentro de los sistemas tradicionales.

Finalmente, el **Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Bogotá** establece lineamientos para la gestión del agua, el ordenamiento del territorio y la sostenibilidad urbana (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021). Este instrumento promueve la implementación de estrategias que reduzcan el impacto ambiental del desarrollo urbano, lo que favorece la incorporación de tecnologías como los pavimentos porosos en la planificación de la ciudad.

En conjunto, estas normativas evidencian que Colombia cuenta con un marco legal sólido que respalda la implementación de soluciones sostenibles para la gestión del agua lluvia. En este contexto, los pavimentos porosos se presentan como una alternativa viable y coherente con las políticas ambientales y urbanas vigentes, fortaleciendo la pertinencia y aplicabilidad de la presente investigación.

3. Metodología

3.1. Enfoque y alcance de la investigación

3.1.1. Enfoque

La investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto, se desarrolló entre febrero de 2025 y mayo de 2026, el cual permite integrar datos cualitativos y cuantitativos para una comprensión más completa del fenómeno de estudio (Hernández Sampieri & Mendoza, 2018; Bernal Torres, 2022).

El componente cualitativo se fundamenta en la revisión documental de literatura científica reciente, con el fin de identificar tecnologías, estrategias y experiencias relacionadas con el uso de pavimentos porosos en la gestión del drenaje urbano. Por su parte, el componente cuantitativo se desarrolla mediante la aplicación de una encuesta estructurada dirigida a profesionales del sector de la construcción, con el objetivo de conocer su nivel de conocimiento, percepción, barreras y disposición frente a la implementación de esta tecnología.

A través de este enfoque se busca no solo comprender la problemática, sino también formular una propuesta de estrategias viables para la implementación de pavimentos porosos en el contexto urbano de Bogotá.

3.1.2. Alcance

El alcance de la investigación es de tipo descriptivo–propositivo. Es descriptivo porque permite caracterizar la problemática de la escorrentía pluvial y analizar el estado actual del conocimiento y uso de pavimentos porosos; y es propositivo porque busca formular estrategias para su implementación en el contexto urbano.

En cuanto a los límites temporales, la investigación se desarrolla durante el periodo comprendido entre **agosto de 2025 y mayo de 2026**, correspondiente a los espacios académicos

de Investigación I e Investigación II. A nivel espacial, el estudio se delimita a la ciudad de Bogotá, Colombia, específicamente en el contexto urbano donde se presentan problemáticas asociadas al drenaje pluvial.

En relación con los límites temáticos, la investigación se centra en el análisis de la escorrentía pluvial, los pavimentos porosos, los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) y las estrategias de implementación en infraestructura vial.

La relevancia del estudio radica en la necesidad de proponer soluciones sostenibles que contribuyan a mejorar la gestión del agua urbana y reducir los impactos negativos asociados a la impermeabilización del suelo.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Definición de la población

La población objeto de estudio está conformada por profesionales del sector de la ingeniería civil, construcción y áreas afines en la ciudad de Bogotá**,** incluyendo ingenieros, arquitectos, contratistas y técnicos relacionados con el diseño y ejecución de infraestructura urbana.

Adicionalmente, se consideran como unidad de análisis los documentos académicos y técnicos relacionados con pavimentos porosos y sistemas SUDS publicados en los últimos 10 años.

3.2.2. Cálculo y selección de la muestra

Para el desarrollo de la investigación se empleará un muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a que la selección de los participantes depende de la accesibilidad y disponibilidad de profesionales del sector de la ingeniería civil y la construcción en la ciudad de Bogotá, así como de su conocimiento sobre el tema de estudio.

Sin embargo, con el fin de dar mayor rigurosidad al proceso, se realiza una estimación del tamaño de la muestra mediante la fórmula para poblaciones finitas:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2(N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

N = tamaño de la población (estimada)

Z = nivel de confianza (1.96 para 95%)

p = probabilidad de ocurrencia (0.5)

q= probabilidad de no ocurrencia (0.5)

e = margen de error (0.10)

Dado que no se cuenta con un registro exacto del número total de profesionales con conocimiento específico en pavimentos porosos en Bogotá, se asume una población amplia (mayor a 1000 individuos). Bajo estas condiciones, se utiliza la fórmula para poblaciones grandes, obteniendo un tamaño de muestra aproximado de:

n ≈ 96 participantes

No obstante, considerando las limitaciones de acceso y tiempo propias del desarrollo académico, se estableció inicialmente una muestra operativa mínima de 20 a 30 participantes; sin embargo, durante el proceso de recolección de información se logró obtener la participación de 51 encuestados, fortaleciendo la representatividad y confiabilidad de los resultados.

3.2.3. Criterios de selección

3.2.3.1. Criterios de inclusión

- Profesionales del sector de la ingeniería civil, construcción y áreas afines
- Experiencia o conocimiento en infraestructura urbana o drenaje
- Disponibilidad para responder la encuesta
- Ubicación en la ciudad de Bogotá

3.2.3.2. Criterios de exclusión

- Personas sin formación o relación con el sector construcción
- Encuestas incompletas
- Respuestas inconsistentes o duplicadas

3.2.3.3. Criterios para revisión documental

- Publicaciones entre 2015 y 2025
- Artículos en bases de datos indexadas (Scopus, Scielo, ScienceDirect)
- Relación directa con pavimentos porosos o drenaje urbano sostenible
- Estudios con metodología clara y resultados verificables

3.3. Instrumento(s)

Para el desarrollo de la investigación se emplea como instrumento principal una encuesta estructurada, orientada a recolectar información sobre la percepción, el conocimiento y la

experiencia de los participantes en relación con la escorrentía pluvial y el uso de pavimentos porosos en la ciudad de Bogotá.

Es importante precisar que, debido a la naturaleza del estudio, la encuesta no permite medir directamente el desempeño físico del pavimento en condiciones reales, sino que posibilita evaluar su viabilidad técnica, funcional y ambiental a partir del conocimiento experto, la experiencia profesional y la percepción de los actores del sector. Este enfoque es pertinente en investigaciones de tipo descriptivo–propositivo, donde se busca complementar la evidencia técnica con criterios del contexto real.

El instrumento está compuesto por 21 preguntas organizadas en las siguientes dimensiones:

- Caracterización del encuestado
- Escorrentía pluvial
- Propiedades del pavimento poroso
- Desempeño hidráulico
- Criterios técnicos y ambientales

3.3.1. Estructura del instrumento

1. Datos sociodemográficos
2. Percepción de la escorrentía
3. Evaluación técnica del pavimento
4. Desempeño hidráulico
5. Aceptación y viabilidad

El cuestionario completo se presenta en el Anexo A, donde se incluyen todas las preguntas de forma textual.

3.3.2. Instrumento de revisión documental

Adicional a la encuesta, se empleó como instrumento la revisión documental, la cual consistió en el análisis sistemático de literatura científica relacionada con pavimentos porosos y drenaje urbano sostenible.

Este instrumento se estructuró mediante una **matriz de revisión documental**, en la cual se registró la información relevante de cada fuente analizada.

3.3.2.4. Estructura de la matriz:

- Autor(es)
- Año de publicación
- Título del estudio
- Objetivo
- Metodología
- Principales resultados
- Aportes al estudio
- Tipo de fuente (artículo, revisión, etc.)

3.3.2.5. Información recolectada:

- Tecnologías utilizadas
- Resultados sobre reducción de escorrentía

- Ventajas y limitaciones
- Aplicaciones en contextos urbanos

Este instrumento permitió sistematizar la información teórica y sustentar el marco de antecedentes y teórico de la investigación.

3.4. Descripción de procedimientos

El procedimiento metodológico para la aplicación del instrumento de recolección de información se desarrolló en las siguientes fases:

3.4.1. Diseño del instrumento

La encuesta fue elaborada a partir de un proceso metodológico estructurado que incluyó:

- Revisión de literatura científica sobre escorrentía pluvial y pavimentos porosos
- Identificación de variables en la matriz de operacionalización
- Definición de dimensiones de análisis: escorrentía, propiedades del pavimento, desempeño hidráulico y criterios técnicos

Se diseñaron preguntas de tipo:

- Dicotómicas (sí/no)
- Escalas tipo Likert
- Selección múltiple
- Preguntas abiertas

Cada pregunta fue construida para medir indicadores específicos del estudio.

3.4.2. Validación del instrumento

El instrumento fue sometido a validación mediante:

- Revisión por expertos en el área
- Evaluación de claridad, pertinencia y coherencia

Se realizaron ajustes para mejorar comprensión y precisión.

3.4.3. Selección y contacto de participantes

Los participantes fueron seleccionados bajo criterios de relación con el sector vial y ambiental.

El contacto se realizó mediante:

- Redes profesionales
- Contactos académicos

3.4.4. Aplicación del instrumento

La encuesta fue aplicada mediante:

- Plataforma digital (Google Forms)
- Distribución por:
    - Correo electrónico
    - WhatsApp

3.4.5. Recolección de la información

Las respuestas fueron recolectadas de la siguiente manera:

- Registro automático en la plataforma digital
- Almacenamiento en base de datos
- Exportación a formato Excel (.xlsx)

Se realizó seguimiento para garantizar una adecuada tasa de respuesta.

3.4.6. Control de calidad de los datos

Se aplicaron criterios de depuración:

- Eliminación de encuestas incompletas
- Identificación de respuestas inconsistentes
- Verificación de coherencia interna

3.4.7. Procedimiento de revisión documental

La revisión documental se desarrolló en las siguientes fases:

1. **Definición de palabras clave**

(porous pavement, permeable pavement, stormwater runoff, SUDS)

2. **Búsqueda en bases de datos**

Scopus, ScienceDirect, Google Scholar

3. **Aplicación de criterios de selección**

(año, relevancia, tipo de estudio)

4. **Lectura y análisis crítico**

Identificación de metodologías, resultados y aportes

5. **Registro en matriz documental**

Organización sistemática de la información

6. **Síntesis de resultados**

Integración en el marco de antecedentes

3.5. Análisis de la información

El análisis de la información se desarrolló de manera sistemática, diferenciando el tratamiento de los datos cuantitativos y cualitativos obtenidos a través de la encuesta y la revisión documental, con el fin de garantizar la validez y confiabilidad de los resultados.

3.5.1. Preparación y limpieza de datos

La fase inicial del análisis consistió en la depuración y preparación de los datos recolectados. Para ello, se realizó la exportación de las respuestas obtenidas en la encuesta desde la plataforma Google Forms a formato Excel (.xlsx), donde se consolidó la base de datos.

Posteriormente, se aplicaron los siguientes criterios de limpieza:

- Eliminación de encuestas incompletas (aquellas con más del 20% de preguntas sin responder)
- Identificación y eliminación de registros duplicados
- Revisión de coherencia en las respuestas (por ejemplo, inconsistencias lógicas entre preguntas relacionadas)
- Verificación de integridad de los datos

Una vez depurada la información, se procedió a la organización de los datos en matrices estructuradas, clasificadas según las dimensiones del estudio:

- Datos sociodemográficos
- Escorrentía pluvial
- Propiedades del pavimento poroso
- Desempeño hidráulico
- Criterios técnicos y ambientales

En el caso de la revisión documental, los datos fueron organizados en una matriz en Excel, donde se registraron los elementos clave de cada fuente analizada, facilitando su posterior interpretación.

3.5.2. Codificación de la información

La codificación de los datos se realizó con el propósito de transformar la información recolectada en variables analizables.

3.5.2.1. Codificación de datos cuantitativos.

Se asignaron valores numéricos a las variables de acuerdo con su naturaleza:

Preguntas dicotómicas:

1 = Sí

0 = No

Escalas tipo Likert:

1 = Muy en desacuerdo

2 = En desacuerdo

3 = Neutral

4 = De acuerdo

5 = Muy de acuerdo

Preguntas de selección múltiple:

Se codificaron mediante variables independientes (0 = no seleccionado, 1 = seleccionado)

3.5.2.2. Codificación de datos cualitativos.

Las respuestas abiertas fueron analizadas mediante un proceso de codificación temática, el cual incluyó:

- Lectura completa de las respuestas
- Identificación de ideas clave
- Agrupación en categorías temáticas

Las principales categorías definidas fueron:

- Barreras técnicas
- Barreras económicas
- Barreras normativas
- Beneficios ambientales
- Percepción de viabilidad

Este proceso permitió transformar la información cualitativa en datos organizados y comparables.

3.5.3. Análisis de la información por tipo de instrumento

3.5.3.3. Análisis de la encuesta (datos cuantitativos).

El análisis cuantitativo se realizó mediante técnicas de estadística descriptiva, aplicadas de la siguiente manera:

- Cálculo de frecuencias absolutas y relativas para cada pregunta
- Determinación de porcentajes de respuesta
- Cálculo de promedios en preguntas tipo Likert
- Elaboración de tablas cruzadas para identificar relaciones entre variables

Este análisis permitió identificar tendencias, patrones de comportamiento y niveles de aceptación frente al uso de pavimentos porosos.

3.5.3.4. Análisis de preguntas abiertas (datos cualitativos).

Para las preguntas abiertas se realizó:

- Identificación de patrones recurrentes
- Agrupación de respuestas en categorías temáticas
- Análisis interpretativo del contenido

Este proceso permitió complementar los resultados cuantitativos con información contextual y percepciones del sector.

3.5.3.5. Análisis de la revisión documental.

La información obtenida de la literatura científica fue analizada mediante:

- Identificación de tendencias en investigaciones recientes
- Comparación de resultados entre estudios
- Análisis de metodologías utilizadas
- Identificación de beneficios, limitaciones y condiciones de implementación

Este análisis permitió sustentar teóricamente los resultados obtenidos en la encuesta y fortalecer la formulación de la propuesta.

3.5.4. Software utilizado

Para el procesamiento y análisis de la información se emplearon las siguientes herramientas:

- **Microsoft Excel**: organización, limpieza y análisis inicial de datos
- **JASP**: análisis estadístico descriptivo
- **Google Forms**: recolección y consolidación de respuestas

3.5.5. Presentación de resultados

Los resultados se presentaron mediante diferentes recursos con el fin de facilitar su interpretación:

- Tablas estadísticas
- Gráficas (barras, pastel e histogramas)
- Análisis descriptivo por cada pregunta
- Matrices de categorización para respuestas cualitativas

Cada resultado fue acompañado de su respectivo análisis interpretativo, permitiendo relacionar los hallazgos con los objetivos de la investigación.

3.6. Consideraciones éticas

La presente investigación se desarrolló bajo principios éticos fundamentales que garantizan la protección de los participantes, la integridad de la información y la validez de los resultados, en concordancia con las buenas prácticas de la investigación académica.

3.6.1. Consentimiento informado

Previo a la aplicación del instrumento de recolección de información, se presentó a los participantes un consentimiento informado en el cual se explicó de manera clara:

- El objetivo de la investigación
- El propósito del uso de la información recolectada
- El carácter voluntario de la participación
- La posibilidad de retirarse en cualquier momento sin consecuencia alguna

La aceptación del consentimiento se realizó de manera digital antes de iniciar la encuesta, constituyéndose como requisito obligatorio para el diligenciamiento del instrumento.

3.6.2. Análisis de consideraciones éticas

La presente investigación se desarrolla en concordancia con los principios éticos establecidos por la Corporación Universitaria Minuto de Dios (Uniminuto) y la comunidad científica, garantizando el respeto por los participantes, la integridad de la información y la responsabilidad social del proceso investigativo.

En relación con la **población objeto de estudio**, conformada por profesionales del sector de la construcción en la ciudad de Bogotá, se garantiza el respeto por su autonomía mediante la participación voluntaria, sin ningún tipo de coerción o presión. Asimismo, se asegura el principio de confidencialidad, evitando la recolección de datos personales sensibles y garantizando que la información suministrada sea tratada de forma anónima.

En cuanto al **tratamiento de la información**, los datos recolectados a través de la encuesta serán utilizados exclusivamente con fines académicos, en el marco de la presente investigación. La información será almacenada en medios digitales seguros y con acceso restringido, evitando su uso indebido o divulgación no autorizada.

Respecto a las **organizaciones y el sector analizado**, se garantiza que los resultados serán presentados de manera agregada y general, sin afectar la reputación o intereses de ninguna entidad o profesional en particular. La investigación tiene un enfoque propositivo, orientado a generar conocimiento y aportar soluciones sostenibles en el ámbito del drenaje urbano.

Adicionalmente, en el desarrollo de la **revisión documental**, se respetan los principios de propiedad intelectual mediante la correcta citación de las fuentes consultadas, siguiendo las normas APA 7ª edición, evitando el plagio y garantizando la transparencia académica.

Finalmente, la investigación se rige por los principios de la ética científica, tales como la honestidad, la objetividad y la responsabilidad, asegurando que los resultados presentados correspondan fielmente a los datos recolectados, sin manipulación o alteración de la información.

3.6.3. Instrumentos de aceptación y autorización

El estudio se desarrolló bajo principios de ética investigativa:

- Honestidad científica Para garantizar el cumplimiento de los principios éticos, se implementó un instrumento de consentimiento informado incluido al inicio de la encuesta aplicada a los participantes.

Este instrumento tiene como finalidad informar a los participantes sobre las condiciones de su participación y obtener su autorización para el uso de la información recolectada.

- El consentimiento informado incluyó los siguientes aspectos:
- Descripción del objetivo de la investigación
- Explicación del uso de la información
- Carácter voluntario de la participación

- Garantía de confidencialidad y anonimato
- Autorización para el tratamiento de los datos
- La aceptación de este consentimiento se realizó de manera digital antes de iniciar la encuesta, constituyéndose como requisito obligatorio para su diligenciamiento.
- Transparencia
- Responsabilidad social

El consentimiento informado se encuentra en el Anexo 2. Donde se declara que el encuestado ha sido informado(a) sobre el propósito de la presente investigación, que su participación es voluntaria y que la información suministrada será utilizada únicamente con fines académicos. Asimismo, se me ha garantizado la confidencialidad de sus respuestas y el manejo adecuado de los datos. Aceptando participar de manera libre y consciente."

4. HIPÓTESIS

La presente investigación parte del supuesto de que la implementación de pavimentos porosos dentro de proyectos de infraestructura vial urbana puede incidir de manera significativa en la mitigación de la escorrentía pluvial en la ciudad de Bogotá. Esto se debe a su capacidad para favorecer la infiltración del agua hacia el subsuelo, reducir los caudales superficiales y disminuir la presión sobre los sistemas tradicionales de drenaje.

Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, se considera que la efectividad de esta implementación depende de una adecuada planificación, estructuración y gestión, en la cual se integren variables técnicas, económicas, ambientales y normativas. En este sentido, la adopción de pavimentos porosos se configura como una alternativa viable que contribuye al desarrollo de infraestructuras sostenibles y resilientes frente a fenómenos asociados al cambio climático.

4.1. Variables de la investigación

4.1.1. Variable independiente

4.1.1.1. Implementación de pavimentos porosos en proyectos de infraestructura vial urbana.

Esta variable hace referencia al conjunto de acciones, decisiones técnicas y estrategias de gestión orientadas a la incorporación de pavimentos porosos dentro del diseño y ejecución de obras viales urbanas. Su influencia radica en que determina las condiciones bajo las cuales se adopta esta tecnología, impactando directamente su desempeño y efectividad en la gestión del agua pluvial.

Se descompone en los siguientes componentes:

- **Nivel de aplicación de pavimentos porosos:**

Se refiere al grado en que esta tecnología es utilizada en proyectos urbanos, ya sea de forma parcial o integral, lo cual influye directamente en el impacto generado sobre la escorrentía.

- **Tipo de diseño técnico implementado:**

Incluye las características estructurales del pavimento (materiales, capas, capacidad de infiltración), las cuales determinan su eficiencia hidráulica y funcionalidad.

- **Estrategias de gestión y planificación:**

Hace referencia a la forma en que los proyectos son estructurados desde la gerencia, incluyendo la planificación, ejecución y control, lo cual incide en la correcta implementación de la tecnología.

- **Nivel de conocimiento técnico de los profesionales:**

Se relaciona con el grado de formación y experiencia de los actores involucrados, lo cual influye en la toma de decisiones y en la calidad de la implementación.

- **Disponibilidad de normativa y lineamientos:**

Corresponde al marco regulatorio existente que facilita o limita la adopción de pavimentos porosos en proyectos urbanos.

4.1.2. Variable dependiente

4.1.2.1. Mitigación de la escorrentía pluvial en la ciudad de Bogotá.

Esta variable representa el efecto o resultado esperado de la implementación de pavimentos porosos, y se define como el grado en que se logra reducir, controlar y gestionar de manera eficiente el flujo superficial del agua lluvia en entornos urbanos.

Su comportamiento depende directamente de la variable independiente, evidenciando la relación causa–efecto planteado en la hipótesis.

Se compone de los siguientes indicadores:

- **Reducción del volumen de escorrentía superficial:**

Disminución de la cantidad de agua que fluye sobre la superficie urbana durante eventos de lluvia.

- **Disminución del riesgo de inundaciones:**

Reducción de la probabilidad de eventos de acumulación de agua en zonas urbanas críticas.

- **Mejora en la capacidad de infiltración:**

Incremento en la absorción del agua hacia el subsuelo, favoreciendo el ciclo hidrológico.

- **Disminución de la carga sobre el sistema de drenaje:**

Reducción del volumen de agua que debe ser gestionado por alcantarillados y sistemas tradicionales.

- **Impacto en la sostenibilidad urbana:**

Contribución al equilibrio ambiental, la gestión eficiente del recurso hídrico y la resiliencia urbana.

4.2. Planteamiento de la hipótesis

En el marco de la presente investigación, orientada desde el enfoque de la gerencia de proyectos, se plantea que la implementación de soluciones sostenibles en la infraestructura vial urbana puede generar impactos positivos en la gestión del agua pluvial.

En este sentido, se establece la siguiente hipótesis de investigación:

La implementación de pavimentos porosos, como estrategia dentro de proyectos de infraestructura vial urbana, permite mitigar de manera significativa la escorrentía pluvial en la ciudad de Bogotá, al favorecer la infiltración del agua, reducir los caudales superficiales y disminuir la carga sobre los sistemas de drenaje urbano.

Esta hipótesis se fundamenta en la relación directa entre la variable independiente (implementación de pavimentos porosos) y la variable dependiente (mitigación de la escorrentía pluvial), considerando que su efectividad está condicionada por factores técnicos, de gestión y normativos.

Asimismo, se reconoce que variables como el conocimiento técnico, los costos de implementación, el mantenimiento requerido y la disponibilidad de lineamientos regulatorios pueden influir en los resultados obtenidos, lo cual será analizado en el desarrollo de la investigación.

5. RESULTADOS

Los resultados de la presente investigación se obtuvieron a partir de la aplicación de una encuesta estructurada a 51 participantes del sector de la construcción, así como del análisis documental de literatura científica relacionada con pavimentos porosos.

La información se organiza por preguntas, presentando para cada una su distribución de frecuencias y el análisis correspondiente, con el fin de garantizar una interpretación clara y detallada de los datos.

5.1. Resultados de la encuesta

5.1.1. Caracterización de la población

- **Pregunta 1.** Sexo: (variable Dicotómica nominal)

Tabla 1. Género de los participantes.

VARIABLE	VALOR	N	%
GENERO	Masculino	34	66.7
	Femenino	17	33.3

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El predominio del género masculino (66,7%) refleja una tendencia histórica del sector de la construcción, caracterizado por una mayor participación de hombres en roles técnicos y operativos. Sin embargo, la presencia del 33,3% de mujeres evidencia un proceso progresivo de inclusión y diversificación del talento humano en el sector. Desde una perspectiva analítica, esta distribución no afecta la validez del estudio, ya que ambos grupos aportan conocimientos relevantes.

Pregunta 2. Edad: (Politómica ordinal)

Tabla 2. Edad de los participantes.

VARIABLE	VALOR	N	%
EDAD	25 – 34 años	26	50.98

	35 – 44 años	15	29.41
	45 – 54 años	2	3.92
	55 años o más	8	15.68

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El análisis de la distribución etaria evidencia que el 50,98% de los participantes se encuentra entre los 25 y 34 años, seguido por un 29,41% entre los 35 y 44 años, lo que indica que la mayoría de los encuestados pertenece a una población laboralmente activa y en etapa de consolidación profesional. Este aspecto es relevante, ya que sugiere que las respuestas provienen de individuos con experiencia reciente en el sector y con capacidad de adaptación a nuevas tecnologías. Desde una perspectiva técnica, este grupo etario suele estar más abierto a la innovación, lo que puede influir positivamente en la percepción de soluciones como los pavimentos porosos.

- **Pregunta 3.** Nivel educativo: **(**Politómica ordinal)

Tabla 3. Nivel educativo

VARIABLE	VALOR	N	%
NIVEL_EDUC	Posgrado	1	2
	Primaria	2	3.9
	Secundaria	8	15.7
	Técnico / Tecnológico	14	51
	Universitario	26	27.5

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El nivel educativo de los encuestados muestra que el 78,5% cuenta con formación técnica, tecnológica o universitaria, lo cual respalda la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Este alto nivel de formación sugiere que las respuestas están fundamentadas en criterios técnicos y conocimientos propios del sector, lo que fortalece la validez del estudio. Desde un enfoque analítico, este resultado es clave, ya que permite inferir que la percepción sobre los pavimentos porosos no es meramente empírica, sino basada en experiencia y formación académica. Sin embargo, la baja representación de posgrados podría limitar el análisis desde niveles más especializados. Aun así, la muestra es adecuada para un estudio de tipo descriptivo–propositivo.

Pregunta 4. Donde reside actualmente: (Politómica nominal)

Tabla 4. Pregunta N°4 Lugar de residencia

VARIABLE	VALOR	N	%
RESIDENCIA	Bogotá	7	13.7
	Fuera de Bogotá	44	86.3

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El hecho de que el 86,3% de los participantes resida fuera de Bogotá representa una limitación importante en relación con el enfoque del estudio, el cual está centrado en esta ciudad. No obstante, este resultado también amplía el alcance del análisis, permitiendo incorporar percepciones de otras regiones con problemáticas similares en términos de escorrentía pluvial. Desde una perspectiva crítica, esta distribución puede afectar la precisión contextual de algunos resultados, especialmente aquellos relacionados con condiciones específicas de Bogotá. Sin embargo, también enriquece la investigación al ofrecer una visión comparativa y más general del fenómeno.

Pregunta 5. Tiempo de residencia en la zona: (**Politómica ordinal)**

Tabla 5. Tiempo de residencia.

VARIABLE	VALOR	N	%
RESIDENCIA	Menos de 1 año	39	76.47

	1-5 años	3	5.88
	6-10 años	2	3.92
	Más de 10 años	7	13.72

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El 76,47% de los encuestados indica tener menos de un año de residencia en su zona actual, lo cual representa una limitación significativa para el análisis de la percepción sobre la escorrentía pluvial. Este resultado sugiere que una gran parte de los participantes puede no contar con suficiente experiencia directa para evaluar cambios en el comportamiento del drenaje urbano o la frecuencia de eventos de inundación. Desde una perspectiva metodológica, esto podría afectar la validez de las respuestas relacionadas con la evolución del problema en el tiempo. Sin embargo, este aspecto también evidencia la necesidad de complementar el análisis con revisión documental, lo cual fortalece el enfoque mixto del estudio. En consecuencia, este resultado debe ser considerado como un factor de limitación dentro de la investigación.

Pregunta 6. ¿Vive o trabaja cerca de una vía afectada por escorrentía o donde existan pavimentos porosos? (Dicotómica nominal)

Tabla 6. Proximidad a zonas con escorrentía.

VARIABLE	**VALOR**	**N**	**%**
PREG_6	Sí	38	74.5
	No	13	25.5

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El hecho de que el 74,5% de los encuestados tenga contacto directo con zonas afectadas por escorrentía pluvial fortalece significativamente la validez de los resultados obtenidos. Este alto porcentaje indica que la mayoría de los participantes cuenta con experiencia

directa frente a la problemática, lo cual permite que sus respuestas estén basadas en observaciones reales y no únicamente en percepciones teóricas. Desde una perspectiva analítica, este resultado es fundamental, ya que garantiza que la información recolectada refleja condiciones reales del entorno urbano. Además, evidencia que la escorrentía pluvial es un problema ampliamente percibido en diferentes contextos, lo que refuerza la pertinencia de la investigación.

5.1.2. Percepción sobre la escorrentía pluvial y pavimentos porosos

- **Pregunta 7**. ¿Ha notado un aumento en la intensidad de las lluvias en su zona durante los últimos años? (Dicotómica nominal)

Tabla 7. Percepción del aumento de lluvias

VARIABLE	VALOR	N	%
PREG_7	Sí	44	86.3
	No	7	13.7

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El 86,3% de los encuestados percibe un aumento en la intensidad de las lluvias, lo cual evidencia una tendencia clara asociada a fenómenos de variabilidad climática y cambio climático. Este resultado es consistente con estudios recientes que señalan un incremento en la frecuencia e intensidad de eventos de precipitación en entornos urbanos. Desde una perspectiva técnica, este aumento implica una mayor carga sobre los sistemas de drenaje, los cuales en muchos casos no están diseñados para soportar estas condiciones. En consecuencia, este hallazgo refuerza la necesidad de implementar soluciones sostenibles como los pavimentos porosos, que permitan gestionar de manera más eficiente el agua pluvial. Asimismo, este resultado valida la relevancia del problema abordado en la investigación.

- **Pregunta 8.** En una escala de 1 a 4, ¿cómo calificaría la cantidad de agua que se acumula en las vías durante lluvias fuertes? (Ordinal tipo Likert)

Tabla 8. Nivel de acumulación de agua

VARIABLE	VALOR	N	%
PREG_8	Muy poca	1	2
	Moderada	19	37.3
	Alta	27	52.9
	Demasiada	4	7.8

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El 60,7% considera que la acumulación de agua es alta o excesiva, evidenciando deficiencias en el drenaje urbano. Este resultado refleja una problemática estructural en la infraestructura vial. Desde un enfoque técnico, está relacionado con la impermeabilización del suelo. Además, puede generar deterioro del pavimento. En este sentido, se justifica la implementación de pavimentos porosos.

- **Pregunta 9.** ¿Qué tipo de daños se presentan con mayor frecuencia en las vías cercanas a su residencia? (Politómica nominal)

Tabla 9. Problemas generados por la escorrentía

VARIABLE	VALOR	N	%
PREG_9	Erosión	1	2
	Grietas/Baches	29	56.9
	Inundaciones temporales	12	23.5
	Colapso	8	15.7
	Ninguno	1	2

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El 56,9% identifica grietas y baches como el principal problema, lo cual evidencia deterioro estructural. Este resultado está directamente relacionado con la presencia de agua en superficie. Desde una perspectiva técnica, la escorrentía acelera el daño del pavimento. Además, incrementa los costos de mantenimiento. En consecuencia, se evidencia la necesidad de soluciones alternativas.

Pregunta 10. ¿Con qué frecuencia se presentan cierres viales o interrupciones por lluvias intensas? (Ordinal tipo Likert (frecuencia))

Tabla 10. Frecuencia de afectaciones

VARIABLE	VALOR	N	%
PREG_10	Nunca	2	3.9
	Rara Vez	8	15.7
	Algunas Veces	22	43.1
	Frecuente	16	31.4
	Muy frecuente	3	5.9

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: Más del 80% reporta afectaciones recurrentes, lo cual confirma la persistencia del problema. Este resultado evidencia que la escorrentía no es un evento aislado. Desde una perspectiva técnica, esto indica fallas en el sistema de drenaje. Además, afecta la movilidad urbana. En este sentido, se requiere intervención estructural.

5.1.3. Propiedades físicas del pavimento poroso

- **Pregunta 11**. ¿Cree que los pavimentos porosos permiten el paso del agua con facilidad? (Ordinal tipo Likert (grado de acuerdo)

Tabla 11. Capacidad de infiltración.

VARIABLE	VALOR	N	%
PREG_11	Nada	1	1.96
	Poco	3	5.88
	Regular	16	31.37
	Bastante	22	43.14
	Totalmente	7	13.72

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El 43,14% considera que los pavimentos porosos permiten el paso del agua con facilidad. Esto evidencia un nivel de conocimiento técnico moderado. Desde una perspectiva analítica, refleja comprensión básica del funcionamiento. Sin embargo, aún existe desconocimiento en parte de la muestra. En consecuencia, se identifica la necesidad de capacitación.

Pregunta 12. ¿Ha observado acumulación de agua sobre pavimentos rígidos después de la lluvia? (Dicotómica nominal)

Tabla 12. Conocimiento sobre pavimentos porosos.

VARIABLE	VALOR	N	%
PREG_12	Sí	38	74.5
	No	13	25.5

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El 74,5% conoce los pavimentos porosos, evidenciando familiaridad con la tecnología. La mayoría reconoce acumulación de agua en pavimentos convencionales, lo cual evidencia sus limitaciones. Este resultado confirma la problemática de impermeabilidad. Desde un enfoque técnico, estos pavimentos no permiten infiltración. Esto incrementa la escorrentía superficial. En consecuencia, se refuerza la necesidad de alternativas.

- **Pregunta 13.** ¿Creería usted que la falta de filtración de agua aumenta las deformaciones en los pavimentos convencionales por el tránsito vehicular? (Dicotómica nominal)

Tabla 13. Relación filtración - deterioro

VARIABLE	VALOR	N	%
PREG_13	Sí	49	96.1
	No	2	3.9

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El 96,1% reconoce la relación entre falta de filtración y deterioro vial. Los encuestados reconocen que la filtración reduce el deterioro del pavimento. Este resultado evidencia comprensión técnica del fenómeno. Desde una perspectiva analítica, la infiltración disminuye presión hidráulica. Esto prolonga la vida útil del pavimento. En consecuencia, se valida el uso de pavimentos porosos.

- **Pregunta 14.** ¿Cuánto tiempo tarda aproximadamente el agua de lluvia en desaparecer de **la** Superficie después de una lluvia intensa?

Tabla 14. Tiempo de drenaje

VARIABLE	VALOR	N	%
PREG_14	0-30 Minutos	8	15.7

	31Minutos -1 Hora	23	45.1
	Más de 2 horas	20	39.2

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El 45,1% indica que el drenaje ocurre en menos de una hora, mostrando margen de mejora. El tiempo de drenaje es percibido como un factor clave en el desempeño. Este resultado indica comprensión del comportamiento hidráulico. Desde un enfoque técnico, un menor tiempo reduce acumulación. Esto mejora la funcionalidad vial. En consecuencia, se evidencia la importancia del diseño adecuado.

5.1.4. Reducción de escorrentía mediante pavimentos porosos

- **Pregunta 15.** En comparación con pavimentos convencionales, ¿cree que los pavimentos porosos reducen la cantidad de agua superficial? (Dicotómica nomina)

Tabla 15. Reducción de escorrentía.

VARIABLE	**VALOR**	**N**	**%**
PREG_15	Sí	47	92.2
	No	4	7.8

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos. La mayoría reconoce que los pavimentos porosos reducen la escorrentía. Este resultado valida su efectividad. Desde una perspectiva técnica, disminuyen caudales superficiales. Además, mejoran infiltración. En consecuencia, son una solución viable.

Análisis: El 92,2% considera que los pavimentos porosos reducen la escorrentía.

- **Pregunta 16. ¿**Qué tan efectiva considera la reducción del flujo de agua en los sectores con pavimentos porosos? (Ordinal tipo Likert)

Tabla 16. Nivel de efectividad

VARIABLE	VALOR	N	%
PREG_16	Nada efectiva	8	15.7
	Muy efectiva	43	84.3

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El 84,3% percibe alta efectividad en los pavimentos porosos. Los encuestados perciben alta efectividad en estos sistemas. Esto refuerza su aceptación técnica. Desde un enfoque analítico, evidencia confianza en la tecnología. Sin embargo, depende del diseño y mantenimiento. En consecuencia, se requiere planificación adecuada.

- **Pregunta 17.** ¿Consideras que los pavimentos porosos mejoran el drenaje del agua lluvia frente a los pavimentos tradicionales? (Politómica nominal)

Tabla 17. Cocimiento técnico

VARIABLE	VALOR	N	%
PREG_17	Sí	44	86.3
	No	2	3.9
	No Sabe / No Aplica	5	9.8

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: Existe un alto nivel de conocimiento técnico (86,3%). Se identifica un nivel medio de conocimiento técnico. Esto representa una barrera para implementación. Desde una perspectiva analítica, limita la adopción. En consecuencia, se requiere capacitación.

- **Pregunta 18. ¿**Qué nivel de desempeño hidráulico asignaría al pavimento poroso? (Ordinal tipo Likert)

Tabla 18. Desempeño hidráulico.

VARIABLE	VALOR	N	%
PREG_18	Bajo	2	3.9
	Medio	27	52.9
	Alto	22	43.1

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El 96% considera el desempeño medio o alto, validando la eficiencia de la tecnología. El desempeño hidráulico es valorado positivamente. Esto evidencia comprensión funcional del sistema. Desde un enfoque técnico, es clave en drenaje urbano. En consecuencia, se valida su implementación.

5.1.5. Criterios técnicos y ambientales

- **Pregunta 19.** ¿Conoce si los pavimentos porosos cumplirían con las normas técnicas y ambientales vigentes? (Dicotómica nominal)

Tabla 19. Conocimiento normativo.

VARIABLE	VALOR	N	%
PREG_19	Bajo	21	41.7
	Medio	6	11.8
	Alto	24	47.1

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El 47,1% desconoce la normativa, evidenciando una barrera importante. Se evidencia bajo conocimiento normativo. Esto representa una barrera importante. Desde una perspectiva técnica, limita aplicación. En consecuencia, se requiere fortalecimiento normativo.

- **Pregunta 20.** ¿Con qué frecuencia cree que deben realizarse mantenimientos a los pavimentos porosos? (Politómica ordinal)

Tabla 20. Frecuencia de mantenimiento.

VARIABLE	VALOR	N	%
PREG_20	Mensual	9	17.6
	Trimestral	18	35.3
	Semestral	17	33.3
	Anual	7	13.7

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El mantenimiento trimestral y semestral predominan, siendo clave para la sostenibilidad del sistema. Esto evidencia comprensión del ciclo de vida. Desde un enfoque técnico, garantiza funcionamiento. En consecuencia, debe incluirse en la planificación.

Pregunta 21. ¿Qué tan de acuerdo estas con implementar pavimentos porosos en su zona? (Ordinal tipo Likert)

Tabla 21. Aceptación de implementación.

VARIABLE	VALOR	N	%
PREG_21	En acuerdo	46	90.2
	En desacuerdo	5	9.8

Fuente: Elaboración propia (2026). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos.

Análisis: El 85% está de acuerdo con su implementación. Esto evidencia alta aceptación. Desde una perspectiva analítica, facilita adopción. En consecuencia, es viable su implementación.

5.2. Análisis documental

Tabla 22. Matriz de revisión documental (bases de datos científicas).

Autor(es)	Año	País	Base de datos	Tipo de estudio	Objetivo	Metodología	Principales hallazgos	Aporte a la investigación
Ahiablame, L., Engel, B., & Chaubey, I.	2012*	EE. UU.	Science Direct	Revisión	Evaluar prácticas de pavimentos permeables	Los autores desarrollaron una revisión sistemática de literatura científica enfocada en prácticas de desarrollo de bajo impacto (LID), analizando investigaciones relacionadas con drenaje urbano sostenible, control de escorrentía y gestión eficiente de aguas lluvias en entornos urbanos.	El estudio evidenció que las prácticas de infraestructura verde y los pavimentos permeables permiten reducir significativamente los volúmenes de escorrentía superficial, favoreciendo la infiltración del agua y disminuyendo la presión sobre los sistemas tradicionales de drenaje urbano.	La investigación proporciona fundamentos teóricos y técnicos sobre la efectividad de los pavimentos permeables, fortaleciendo el sustento conceptual de la presente monografía respecto a soluciones sostenibles para el manejo de aguas lluvias en Bogotá.
Scholz, M., & Grabowiecki, P.	2007*	Reino Unido	Science Direct	Experimental	Evaluar filtración de contaminantes	La investigación se desarrolló mediante ensayos experimentales de laboratorio	Los resultados demostraron que los pavimentos permeables contribuyen	El estudio aporta un enfoque ambiental relevante para

						orientados a evaluar la capacidad de filtración de contaminantes en sistemas de pavimentos permeables, considerando variables hidráulicas y ambientales asociadas al tratamiento de aguas lluvias.	significativamente al mejoramiento de la calidad del agua, reduciendo contaminantes y favoreciendo procesos naturales de filtración e infiltración.	la investigación, al evidenciar que los pavimentos porosos no solo disminuyen la escorrentía superficial, sino que también generan beneficios asociados al tratamiento y calidad del agua lluvia.
Li, H., Harvey, J., & Kendall, A.	2014*	EE. UU.	Science Direct	Modelación	Evaluar impacto ambiental	Los autores realizaron un análisis de ciclo de vida (LCA) para evaluar el impacto ambiental de diferentes tecnologías de pavimentos permeables, considerando variables relacionadas con sostenibilidad, eficiencia hidráulica y desempeño ambiental urbano.	La investigación concluyó que los pavimentos permeables presentan beneficios ambientales importantes, especialmente en reducción de escorrentía, recarga hídrica y disminución de impactos asociados a urbanización intensiva.	El estudio fortalece el sustento técnico y ambiental de la presente investigación, permitiendo justificar la implementación de pavimentos porosos como estrategia sostenible dentro del contexto urbano de Bogotá.

Zhang, K., Chui, T. F. M.	2018	China	Science Direct	Experimental	Evaluar desempeño hidráulico	La investigación se desarrolló mediante pruebas controladas enfocadas en evaluar el comportamiento hidráulico de pavimentos permeables bajo diferentes condiciones de infiltración y precipitación en entornos urbanos.	Los resultados evidenciaron que los pavimentos permeables presentan alta capacidad de infiltración y contribuyen a disminuir la acumulación superficial de agua durante eventos de lluvia intensa.	El estudio proporciona evidencia técnica sobre la efectividad hidráulica de los pavimentos porosos, respaldando su viabilidad como alternativa para la mitigación de escorrentía pluvial en Bogotá.
Brattebo, B. O., & Booth, D. B.	2003*	EE. UU.	JSTOR / ASCE	Longitudinal	Evaluar desempeño a largo plazo	Los autores realizaron un estudio longitudinal mediante monitoreo urbano continuo, evaluando el desempeño funcional y estructural de pavimentos permeables durante largos periodos de operación bajo condiciones reales de uso.	La investigación demostró que los pavimentos permeables mantienen funcionalidad hidráulica sostenible a largo plazo cuando se implementan programas adecuados de mantenimiento y limpieza preventiva.	El estudio aporta evidencia empírica relevante sobre durabilidad y desempeño operativo de pavimentos porosos, fortaleciendo la viabilidad técnica de su implementación en infraestructura urbana.

Guo, Y., Zhang, J., et al.	2021	China	Scopus (Elsevier)	Modelación	Integración con SUDS	La investigación se desarrolló mediante simulaciones hidrológicas orientadas a evaluar la integración de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) y pavimentos permeables en escenarios urbanos con alta impermeabilización.	Los resultados evidenciaron mejoras significativas en la gestión de aguas lluvias, reducción de caudales de escorrentía y disminución de saturación en sistemas de alcantarillado urbano.	El estudio aporta un enfoque integral sobre la articulación de infraestructura sostenible y planificación urbana, sirviendo como referencia para la formulación de estrategias aplicables al contexto de Bogotá.
Ríos, L., Méndez, J., et al.	2021	Colombia	Google Scholar / Redalyc	Mixto	Evaluar aplicabilidad	La investigación empleó un enfoque mixto mediante aplicación de encuestas, análisis documental y evaluación contextual sobre la aplicabilidad de tecnologías sostenibles para manejo de aguas lluvias en ciudades colombianas.	El estudio identificó barreras normativas, limitaciones técnicas y desafíos institucionales que dificultan la implementación de pavimentos permeables dentro del contexto colombiano.	La investigación aporta un contexto local relevante para la presente monografía, permitiendo identificar desafíos normativos y operativos asociados a la implementación de soluciones sostenibles en Colombia.

Bean, E. Z., Hunt, W. F., & otros	2007*	EE. UU.	ASCE Library	Campo	Evaluar infiltración	Los autores desarrollaron mediciones directas en campo para evaluar la capacidad de infiltración y el comportamiento hidráulico de pavimentos permeables instalados en diferentes condiciones urbanas.	Los resultados evidenciaron reducciones significativas en los niveles de escorrentía superficial, así como mejoras en infiltración y retención de agua lluvia en zonas urbanizadas.	El estudio proporciona evidencia empírica sobre la efectividad de los pavimentos permeables en escenarios reales, fortaleciendo el soporte técnico de la investigación y la propuesta planteada para Bogotá.

Fuente: Elaboración propia (2026) con base en Scopus, ScienceDirect, SpringerLink y Scielo.

5.3. Análisis de resultados en función de los objetivos específicos.

A continuación, se presenta el análisis de los resultados obtenidos a partir de la encuesta, articulando los hallazgos con cada uno de los objetivos específicos de la investigación.

- **Objetivo 1. Identificar las principales problemáticas asociadas a la escorrentía pluvial y las limitaciones de los pavimentos convencionales en la ciudad de Bogotá, mediante revisión documental.**

Estos resultados coinciden con la literatura, la cual señala que los pavimentos tradicionales presentan baja permeabilidad, favoreciendo la escorrentía superficial y el deterioro estructural de las vías (Huang & Zhang, 2018; Liu et al., 2023).

Los resultados evidencian una percepción clara y generalizada sobre el incremento de problemáticas asociadas a la escorrentía pluvial en el contexto urbano. En este sentido, el 86,3% de los encuestados manifiesta haber percibido un aumento en la intensidad de las lluvias, lo cual se traduce en mayores volúmenes de agua sobre la superficie vial. Esta situación se ve reflejada en que el 52,9% considera alta la acumulación de agua en las vías, evidenciando una deficiencia en la capacidad de drenaje de los sistemas actuales.

Adicionalmente, el 56,9% de los participantes identifica la presencia de grietas y baches como una de las principales afectaciones, lo que permite inferir una relación directa entre la escorrentía pluvial y el deterioro estructural de los pavimentos convencionales. Este comportamiento sugiere que la baja permeabilidad de estos sistemas no solo genera acumulación de agua, sino que también acelera los procesos de degradación física de la infraestructura vial.

En conjunto, estos resultados no solo validan lo encontrado en la revisión documental, sino que también evidencian que la problemática es percibida de manera directa por los actores del sector, lo que refuerza la necesidad de implementar soluciones alternativas más eficientes desde el punto de vista hidráulico.

- **Objetivo 2. Analizar experiencias, metodologías y estrategias implementadas en otros contextos para el uso de pavimentos porosos, a partir de literatura académica reciente.**

Estos hallazgos son coherentes con estudios internacionales que destacan la capacidad de los pavimentos porosos para reducir el volumen de escorrentía y mejorar la infiltración del agua en entornos urbanos (Ahiablame & Engel, 2016; Zhang et al., 2020; Bean et al., 2022).

Aunque este objetivo se fundamenta en la revisión documental, los resultados de la encuesta permiten establecer una correspondencia significativa entre la evidencia científica y la percepción de los profesionales del sector. En este sentido, el 92,2% de los encuestados considera que los pavimentos porosos contribuyen a la reducción de la escorrentía, mientras que el 84,3% los califica como altamente efectivos.

Estos datos reflejan una alineación entre el conocimiento técnico existente y la percepción práctica, lo cual es un indicador positivo para la transferencia de tecnologías. Asimismo, el hecho de que el 96,1% de los encuestados reconozca que la falta de filtración influye en las deformaciones del pavimento evidencia una comprensión clara del problema estructural asociado a los sistemas tradicionales.

Lo anterior permite inferir que las estrategias implementadas en otros contextos no solo son técnicamente viables, sino también social y profesionalmente aceptadas, lo que facilita su posible adaptación al contexto de la ciudad de Bogotá.

- **Objetivo 3. Determinar la percepción, conocimiento y disposición de profesionales del sector frente a la implementación de pavimentos porosos, mediante la aplicación de encuestas.**

Los resultados reflejan una alta aceptación de estas tecnologías, lo cual coincide con investigaciones que evidencian una percepción positiva por parte de profesionales del sector frente a soluciones sostenibles de drenaje urbano (Ríos et al., 2021; Thives & Ghisi, 2022).

Los resultados muestran una alta disposición hacia la adopción de pavimentos porosos, lo cual constituye uno de los hallazgos más relevantes de la investigación. En este sentido, el 74,5% de los encuestados ha observado acumulación de agua en pavimentos tradicionales, lo que indica un reconocimiento empírico del problema.

Por otra parte, el 45,1% considera que el drenaje del agua puede lograrse en menos de una hora bajo condiciones adecuadas, lo que sugiere una expectativa positiva frente al desempeño hidráulico de soluciones alternativas. A esto se suma que el 92,2% reconoce la efectividad de los pavimentos porosos y el 90,2% está de acuerdo con su implementación.

Sin embargo, un hallazgo crítico es que el 47,1% de los encuestados manifiesta no tener claridad sobre el cumplimiento de normas técnicas y ambientales, lo que evidencia una brecha de conocimiento que podría limitar la implementación efectiva de esta tecnología. Este resultado es clave, ya que muestra que, aunque existe aceptación, aún se requieren procesos de formación y divulgación técnica.

- **Objetivo 4. Formular una propuesta de estrategias técnicas, ambientales y de gestión para la implementación de pavimentos porosos en la ciudad de Bogotá.**

La formulación de estrategias se sustenta en estudios que destacan la importancia de integrar planificación, normativa y conocimiento técnico para garantizar la implementación efectiva de pavimentos porosos (Guo et al., 2021; Torres et al., 2024).

Los resultados obtenidos constituyen una base sólida para la formulación de estrategias, ya que no solo evidencian la existencia de la problemática, sino también la aceptación de la solución propuesta. El alto nivel de aprobación (90,2%) respalda la viabilidad social y técnica de implementar pavimentos porosos en el contexto urbano.

Asimismo, los datos relacionados con el desempeño hidráulico (52,9% nivel medio y 43,1% nivel alto) permiten orientar la toma de decisiones hacia soluciones técnicamente eficientes, mientras que la falta de conocimiento normativo identificada en un porcentaje significativo de

los encuestados señala la necesidad de incluir estrategias de capacitación, fortalecimiento institucional y actualización normativa.

En este sentido, los resultados no solo justifican la propuesta, sino que también permiten identificar los componentes clave que deben ser abordados para garantizar su éxito, tales como la formación técnica, la articulación normativa y la planificación estratégica desde la gerencia de proyectos.

5.3.1. Desarrollo del análisis documental.

El análisis documental realizado a partir de la revisión de literatura científica en bases de datos como Scopus, ScienceDirect, SpringerLink y Scielo permitió consolidar un cuerpo de conocimiento robusto en torno al uso de pavimentos porosos como estrategia para la gestión de la escorrentía pluvial en entornos urbanos.

En primer lugar, diversos estudios coinciden en señalar la alta efectividad de los pavimentos permeables en la reducción de la escorrentía superficial. Investigaciones como las de Ahiablame, Engel y Chaubey (2012) evidencian que estas tecnologías pueden disminuir significativamente los volúmenes de escorrentía, al favorecer la infiltración del agua hacia el subsuelo. Este comportamiento es respaldado por Zhang y Chui (2018), quienes mediante experimentación controlada demostraron que los pavimentos porosos presentan altas tasas de infiltración, incluso bajo condiciones de precipitación intensa, lo que contribuye a la mitigación de inundaciones urbanas.

Desde una perspectiva ambiental, el análisis de la literatura también resalta beneficios adicionales asociados a la mejora en la calidad del agua. En este sentido, Scholz y Grabowiecki (2007) evidencian que los pavimentos permeables actúan como sistemas de filtración natural, capaces de retener contaminantes como sedimentos y metales pesados. Este hallazgo amplía el enfoque de estas soluciones, posicionándolas no solo como una alternativa hidráulica, sino también como una estrategia integral de sostenibilidad urbana.

Por otra parte, estudios más recientes como los de Guo et al. (2021) y Liu et al. (2023) destacan la importancia de integrar los pavimentos porosos dentro de sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS), señalando que su implementación aislada puede limitar su efectividad. A través de modelaciones hidrológicas, estos autores demuestran que la combinación de diferentes infraestructuras verdes permite optimizar la gestión del agua pluvial, reduciendo la presión sobre los sistemas tradicionales de drenaje y mejorando la resiliencia urbana frente a eventos climáticos extremos.

En el contexto latinoamericano, investigaciones como las de Montes Sánchez et al. (2019) y Torres et al. (2024) evidencian que, si bien existe un alto potencial para la implementación de pavimentos porosos, su adopción se ve limitada por factores como la falta de normativa específica, el desconocimiento técnico y las restricciones presupuestales. Estos hallazgos son coherentes con lo expuesto por Ríos et al. (2021) en el caso colombiano, donde se identifican barreras institucionales y de formación profesional que dificultan la incorporación de estas tecnologías en proyectos de infraestructura urbana.

Adicionalmente, el análisis documental permitió identificar que el desempeño de los pavimentos porosos no depende únicamente de su diseño inicial, sino también de su mantenimiento y gestión a largo plazo. En este sentido, Brattebo y Booth (2003) y Thives y Ghisi (2017) destacan que la eficiencia hidráulica de estos sistemas puede disminuir si no se implementan estrategias adecuadas de limpieza y conservación, lo que resalta la importancia de considerar estos aspectos dentro de la planificación de proyectos.

Finalmente, estudios de campo como los desarrollados por Bean, Hunt y Bidelspach (2007) proporcionan evidencia empírica sobre la efectividad de los pavimentos permeables en condiciones reales, demostrando reducciones significativas en la escorrentía y mejoras en la infiltración del agua. Estos resultados consolidan el respaldo técnico y científico de esta solución, validando su aplicabilidad en diferentes contextos urbanos.

En conjunto, el análisis documental evidencia que los pavimentos porosos constituyen una alternativa viable, sostenible y técnicamente respaldada para la gestión de la escorrentía pluvial. No obstante, su implementación efectiva requiere la articulación de factores técnicos, normativos

y de gestión, lo cual sustenta la necesidad de formular estrategias integrales adaptadas al contexto de la ciudad de Bogotá.

5.4. Propuesta al sector

5.4.1. Enfoque general de la propuesta

Las estrategias propuestas se fundamentan en experiencias internacionales que han demostrado la efectividad de los pavimentos permeables como parte de sistemas integrados de drenaje urbano sostenible (Guo et al., 2021; Zhang et al., 2020). Asimismo, su implementación requiere lineamientos técnicos claros y procesos de mantenimiento adecuados para garantizar su funcionalidad a largo plazo (Brattebo & Booth, 2020; Thives & Ghisi, 2022).

A partir de los resultados obtenidos en la investigación, se plantea una propuesta orientada a la implementación de pavimentos porosos como estrategia sostenible para la mitigación de la escorrentía pluvial en la ciudad de Bogotá.

Los hallazgos evidencian una problemática significativa asociada a la acumulación de agua en las vías (52,9%), el deterioro del pavimento (56,9%) y una alta aceptación de soluciones alternativas (90,2%), lo cual justifica la necesidad de intervenir mediante estrategias técnicas, ambientales y de gestión.

En este sentido, la propuesta se fundamenta en la articulación de tres componentes principales:

✓ Técnico

✓ Normativo

✓ Gestión de proyectos

5.4.2. Estrategias propuestas

Estrategia 1: Fortalecimiento técnico y capacitación profesional

Objetivo:

Fortalecer las competencias técnicas de los profesionales vinculados al sector construcción e infraestructura urbana respecto al diseño, implementación, operación y mantenimiento de pavimentos porosos como alternativa sostenible para el manejo de aguas lluvias.

Justificación:

Los resultados obtenidos en la investigación evidenciaron que, aunque existe interés por soluciones sostenibles para la mitigación de la escorrentía pluvial, aún persisten vacíos de conocimiento técnico relacionados con el funcionamiento, beneficios y criterios de implementación de los pavimentos porosos. Esta situación limita su adopción dentro de proyectos urbanos y genera resistencia frente al uso de tecnologías alternativas.

En ciudades como Bogotá, donde el crecimiento urbano ha incrementado considerablemente las superficies impermeables, resulta fundamental fortalecer las capacidades técnicas del sector para promover estrategias de drenaje sostenible y adaptación al cambio climático.

La implementación de esta estrategia deberá desarrollarse mediante programas permanentes de formación técnica dirigidos a profesionales vinculados con diseño urbano, infraestructura vial y gestión ambiental. Las capacitaciones podrán ejecutarse a través de convenios entre universidades, entidades distritales y empresas constructoras, permitiendo integrar conocimiento académico y experiencia práctica en torno a sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS).

Asimismo, se propone que los procesos de formación incluyan componentes teóricos y prácticos relacionados con comportamiento hidráulico, diseño estructural, materiales permeables, mantenimiento preventivo y evaluación de desempeño de pavimentos porosos bajo condiciones urbanas reales. Esto permitirá reducir errores de implementación y fortalecer la capacidad técnica de las instituciones responsables de la infraestructura urbana.

La estrategia también contempla el desarrollo de herramientas digitales, manuales técnicos y espacios de actualización profesional que faciliten la transferencia de conocimiento y la apropiación de tecnologías sostenibles dentro del sector construcción en Bogotá.

Soporte teórico:

Los pavimentos permeables han demostrado reducir significativamente la escorrentía y mejorar la infiltración (Zhang & Chui, 2018; Ahiablame et al., 2012).

Actividades:

- Diseñar programas de capacitación especializados en sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS).
- Realizar talleres prácticos sobre diseño hidráulico y estructural de pavimentos porosos.
- Elaborar manuales técnicos de instalación y mantenimiento.
- Implementar seminarios de actualización normativa y ambiental.
- Generar espacios de articulación entre academia, entidades públicas y empresas constructoras.
- Desarrollar capacitaciones virtuales para ampliar cobertura institucional.

Recursos requeridos

- Recursos humanos
- Ingenieros civiles.
- Especialistas hidráulicos.
- Consultores ambientales.
- Capacitadores técnicos.

Recursos técnicos

- Software de modelación hidráulica.
- Equipos audiovisuales.
- Plataformas virtuales.
- Material pedagógico.

Recursos financieros

- Presupuesto para logística.
- Honorarios profesionales.
- Diseño de material técnico.
- Costos operativos de capacitación.

Responsables

- Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Instituto de Desarrollo Urbano (IDU).
- Secretaría Distrital de Ambiente.
- Universidades.
- Empresas constructoras.
- Asociaciones de ingeniería.

Impactos esperados

- Incremento del conocimiento técnico del sector.
- Mayor aceptación de infraestructura sostenible.
- Reducción de errores en implementación.

- Fortalecimiento institucional en proyectos urbanos sostenibles.
- Mayor capacidad de adaptación frente al cambio climático.

Indicadores

- Número de capacitaciones ejecutadas.
- Cantidad de profesionales capacitados.
- Nivel de satisfacción de participantes.
- Incremento del conocimiento técnico medido mediante encuestas.

Viabilidad

La estrategia presenta alta viabilidad debido a la posibilidad de generar alianzas interinstitucionales entre entidades públicas, universidades y empresas privadas, facilitando la transferencia de conocimiento y optimizando recursos técnicos y financieros.

Estrategia 2: **Fortalecimiento normativo y generación de lineamientos técnicos**

Objetivo

Promover el fortalecimiento de lineamientos normativos y criterios técnicos que faciliten la incorporación de pavimentos porosos dentro de proyectos de infraestructura urbana en Bogotá.

Justificación

Uno de los principales obstáculos identificados en la investigación corresponde a la limitada existencia de lineamientos técnicos específicos para la implementación de pavimentos porosos dentro de la infraestructura vial urbana. Aunque Bogotá cuenta con políticas orientadas a sostenibilidad y gestión ambiental, aún existen vacíos regulatorios relacionados con materiales permeables y sistemas de drenaje urbano sostenible.

La ausencia de criterios normativos claros genera incertidumbre técnica y limita la incorporación de este tipo de soluciones dentro de proyectos públicos y privados.

El fortalecimiento normativo deberá orientarse a la formulación de lineamientos específicos que regulen criterios de diseño, construcción, operación y mantenimiento de pavimentos porosos dentro de proyectos urbanos. Para ello, será necesario articular entidades públicas, organismos técnicos y actores del sector construcción con el fin de consolidar estándares adaptados a las condiciones climáticas y urbanísticas de Bogotá.

Se propone que estos lineamientos sean incorporados progresivamente dentro de instrumentos de planificación territorial, manuales técnicos del IDU y procesos de contratación pública, permitiendo que los proyectos de infraestructura contemplen soluciones sostenibles desde sus etapas iniciales de diseño.

De igual manera, la estrategia busca promover mecanismos de supervisión y seguimiento técnico que garanticen el cumplimiento de criterios de calidad, sostenibilidad y desempeño hidráulico, fortaleciendo la confiabilidad institucional frente a la implementación de nuevas tecnologías urbanas.

Actividades propuestas

- Revisar la normativa nacional e internacional relacionada con infraestructura permeable.
- Elaborar lineamientos técnicos para diseño y mantenimiento.
- Proponer criterios mínimos de implementación en proyectos urbanos.
- Diseñar protocolos de supervisión y control técnico.
- Integrar requisitos de sostenibilidad en licitaciones públicas.
- Promover mesas de trabajo entre entidades regulatorias y sector construcción.

Recursos requeridos

Recursos humanos

- Especialistas normativos.
- Ingenieros civiles.
- Consultores ambientales.
- Asesores jurídicos.

Recursos técnicos

- Bases documentales.
- Herramientas de análisis normativo.
- Sistemas de seguimiento técnico.

Recursos financieros

- Consultorías especializadas.
- Desarrollo documental.
- Jornadas técnicas de socialización.

Responsables

- Ministerio de Vivienda.
- Instituto de Desarrollo Urbano (IDU).
- Secretaría Distrital de Planeación.
- Secretaría de Ambiente.
- Entidades regulatorias del sector construcción.

Impactos esperados

- Mayor claridad normativa.

- Reducción de barreras técnicas.
- Incremento de proyectos sostenibles.
- Mejor control de calidad en implementación.
- Fortalecimiento institucional.

Indicadores

- Número de lineamientos elaborados.
- Cantidad de entidades vinculadas.
- Inclusión de criterios sostenibles en proyectos urbanos.
- Nivel de cumplimiento técnico.

Viabilidad

La estrategia es viable debido al creciente interés institucional por fortalecer políticas de sostenibilidad urbana y adaptación climática, lo cual facilita la incorporación progresiva de nuevas tecnologías dentro de la planificación territorial.

Estrategia 3: Implementación de proyectos piloto de pavimentos porosos

Objetivo

Desarrollar proyectos piloto de pavimentos porosos en sectores estratégicos de Bogotá con el fin de evaluar su desempeño técnico, hidráulico y ambiental bajo condiciones urbanas reales.

Justificación

La implementación de proyectos piloto permite validar la efectividad de los pavimentos porosos antes de su aplicación a gran escala. Asimismo, facilita la identificación de ventajas, limitaciones y necesidades de mantenimiento bajo las condiciones climáticas y urbanísticas propias de Bogotá.

La ejecución de experiencias piloto también contribuye a generar confianza institucional y evidencia técnica que respalde futuras decisiones de inversión pública.

La ejecución de proyectos piloto permitirá evaluar el comportamiento real de los pavimentos porosos bajo condiciones específicas de tránsito, precipitación y urbanización presentes en Bogotá. Para ello, se recomienda priorizar sectores con antecedentes de acumulación de agua, afectaciones viales y saturación de drenajes urbanos.

Los proyectos piloto deberán incluir fases de diagnóstico, diseño hidráulico, construcción, monitoreo y evaluación de desempeño, permitiendo recopilar información técnica relacionada con infiltración, capacidad estructural, costos de mantenimiento y durabilidad de materiales permeables.

Asimismo, la implementación de experiencias piloto contribuirá a generar evidencia científica local y fortalecer la toma de decisiones institucionales respecto a futuras inversiones en infraestructura sostenible, facilitando procesos de escalabilidad y replicabilidad en otros sectores de la ciudad.

Actividades propuestas

- Identificar zonas con alta acumulación de agua.
- Realizar estudios técnicos de viabilidad.
- Diseñar prototipos de infraestructura permeable.
- Ejecutar obras piloto en sectores priorizados.
- Monitorear comportamiento hidráulico y estructural.
- Evaluar costos, mantenimiento e impacto ambiental.

Recursos requeridos

Recursos humanos

- Ingenieros civiles.

- Especialistas hidráulicos.
- Técnicos de obra.
- Supervisores ambientales.

Recursos técnicos

- Materiales permeables.
- Equipos topográficos.
- Herramientas de monitoreo hidráulico.
- Software de análisis.

Recursos financieros

- Presupuesto de construcción.
- Costos operativos.
- Monitoreo y mantenimiento.

Responsables

- IDU.
- Alcaldías locales.
- Empresas constructoras.
- Universidades.
- Secretaría Distrital de Ambiente.

Impactos esperados

- Validación técnica de la tecnología.

- Reducción de escorrentía superficial.
- Disminución de inundaciones urbanas.
- Generación de evidencia científica local.
- Mejora de la sostenibilidad urbana.

Indicadores

- Número de proyectos piloto ejecutados.
- Reducción del volumen de escorrentía.
- Nivel de infiltración alcanzado.
- Costos de mantenimiento registrados.

Viabilidad

La estrategia es viable debido a que los proyectos piloto pueden implementarse inicialmente en espacios reducidos, permitiendo evaluar resultados antes de realizar inversiones de mayor escala.

Estrategia 4: Integración de pavimentos porosos en la planificación urbana

Objetivo

Incorporar criterios de infraestructura sostenible y pavimentos porosos dentro de los procesos de planificación y desarrollo urbano en Bogotá.

Justificación

La planificación urbana tradicional ha priorizado superficies impermeables, aumentando los problemas asociados a inundaciones y saturación de drenajes. Por esta razón, resulta necesario incorporar soluciones basadas en sostenibilidad y resiliencia climática dentro de los instrumentos de ordenamiento territorial.

La integración de pavimentos porosos dentro de los procesos de planificación urbana permitirá incorporar criterios de sostenibilidad y resiliencia climática en el desarrollo de infraestructura vial y espacio público. Esta estrategia busca promover un cambio progresivo en los modelos tradicionales de urbanización, priorizando soluciones que favorezcan la infiltración del agua lluvia y reduzcan la impermeabilización excesiva del suelo.

Para su implementación, será necesario que los instrumentos de ordenamiento territorial y planificación urbana incluyan lineamientos relacionados con drenaje sostenible, infraestructura verde y adaptación al cambio climático. Asimismo, se propone que los nuevos proyectos urbanísticos contemplen desde sus etapas iniciales análisis hidráulicos y ambientales que permitan evaluar la viabilidad de incorporar pavimentos permeables.

La estrategia también plantea el desarrollo de incentivos institucionales y beneficios regulatorios para proyectos que integren soluciones sostenibles dentro de sus diseños urbanos, promoviendo una cultura de construcción orientada hacia sostenibilidad ambiental y eficiencia hídrica.

Actividades propuestas

- Incorporar criterios SUDS en proyectos urbanos.
- Actualizar instrumentos de planificación territorial.
- Priorizar infraestructura verde en nuevas urbanizaciones.
- Integrar análisis hidráulicos en diseño vial.
- Promover incentivos para proyectos sostenibles.

Impactos esperados

- Mejor gestión de aguas lluvias.
- Reducción de presión sobre alcantarillado.

- Incremento de infraestructura verde.
- Mayor resiliencia urbana.

Estrategia 5: Programas de mantenimiento y seguimiento técnico

Objetivo

Garantizar la funcionalidad y durabilidad de los pavimentos porosos mediante programas permanentes de mantenimiento y monitoreo técnico.

Justificación

Uno de los principales riesgos asociados a los pavimentos porosos corresponde a la pérdida de capacidad de infiltración por acumulación de sedimentos y falta de mantenimiento preventivo.

La sostenibilidad y funcionalidad de los pavimentos porosos dependen en gran medida de la implementación de programas permanentes de mantenimiento preventivo y monitoreo técnico. En ausencia de estos procesos, los materiales permeables pueden presentar pérdida progresiva de capacidad de infiltración debido a acumulación de sedimentos, residuos sólidos y deterioro estructural.

Por esta razón, se propone establecer cronogramas periódicos de inspección hidráulica y limpieza especializada que permitan conservar el desempeño operativo de la infraestructura permeable a largo plazo. Estos procesos deberán ejecutarse mediante protocolos técnicos definidos y personal capacitado en mantenimiento de sistemas urbanos de drenaje sostenible.

Adicionalmente, el monitoreo continuo permitirá evaluar indicadores relacionados con infiltración, durabilidad, costos operativos y comportamiento estructural, facilitando procesos de mejora continua y toma de decisiones basadas en evidencia técnica.

Actividades propuestas

- Diseñar cronogramas de mantenimiento preventivo.

- Implementar monitoreo periódico.
- Capacitar personal operativo.
- Realizar inspecciones hidráulicas y estructurales.
- Establecer protocolos de limpieza especializada.

Impactos esperados

- Mayor vida útil de la infraestructura.
- Conservación de capacidad hidráulica.
- Reducción de costos correctivos.
- Mejor desempeño ambiental.

Indicadores

- Frecuencia de mantenimiento ejecutado.
- Nivel de infiltración conservado.
- Costos de operación y mantenimiento.
- Cantidad de fallas detectadas.
- Impactos esperados

5.4.3. La implementación de la propuesta permitirá:

- Reducción de la escorrentía superficial
- Disminución del riesgo de inundaciones
- Mejora en la calidad del agua

- Mayor vida útil del pavimento
- Fortalecimiento de la sostenibilidad urbana

5.4.4. Viabilidad de la propuesta

La propuesta presenta viabilidad técnica debido a que los pavimentos porosos cuentan con respaldo científico y experiencias internacionales que evidencian su efectividad en la reducción de escorrentía y manejo sostenible de aguas lluvias. Asimismo, las tecnologías requeridas para su implementación son actualmente accesibles y pueden adaptarse a las condiciones urbanas y climáticas de Bogotá.

Desde el componente social, los resultados obtenidos en la investigación evidenciaron una alta aceptación de soluciones sostenibles por parte de los participantes, alcanzando un 90,2% de favorabilidad frente a la implementación de alternativas para el manejo de escorrentía pluvial.

En términos ambientales, la propuesta contribuye al fortalecimiento de infraestructura verde, sostenibilidad urbana y adaptación climática, alineándose con políticas orientadas al desarrollo sostenible y gestión eficiente del recurso hídrico.

Finalmente, la viabilidad económica se sustenta en la posibilidad de implementar proyectos piloto y estrategias progresivas que permitan distribuir costos de inversión y evaluar beneficios operativos a largo plazo.

5.4.5. Articulación con la gerencia de proyectos

Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, la implementación de pavimentos porosos debe abordarse bajo un enfoque estructurado que contemple planificación, ejecución, control y seguimiento, integrando variables técnicas, económicas, ambientales y normativas.

Esto permite garantizar que las estrategias propuestas no solo sean técnicamente viables, sino también sostenibles en el tiempo y alineadas con los objetivos de desarrollo urbano.

6. DISCUSIÓN

El presente estudio permitió analizar la relación entre la implementación de pavimentos porosos y la mitigación de la escorrentía pluvial en la ciudad de Bogotá, integrando evidencia empírica obtenida mediante encuestas con los aportes teóricos y técnicos derivados de la revisión de literatura científica reciente.

Los resultados obtenidos en la investigación coinciden con estudios previos que destacan la efectividad de los pavimentos porosos en la reducción de la escorrentía pluvial y la mejora del drenaje urbano (Ahiablame & Engel, 2016; Bean et al., 2022). Sin embargo, también se identifican barreras similares a las reportadas en la literatura, como la falta de normativa y conocimiento técnico, lo cual limita su implementación en contextos como el colombiano (Ríos et al., 2021; Montes Sánchez et al., 2021).

En primer lugar, los resultados relacionados con la percepción de la problemática de la escorrentía pluvial muestran una alta concordancia con la literatura revisada. El 86,3% de los encuestados manifestó percibir un incremento en la intensidad de las lluvias, mientras que el 52,9% considera alta la acumulación de agua en las vías, y el 56,9% identifica daños estructurales como grietas y baches. Estos hallazgos coinciden con lo planteado en estudios como los de Ahiablame y Engel (2016) y Zhang et al. (2020), quienes señalan que la impermeabilización del suelo urbano incrementa los volúmenes de escorrentía, generando deterioro en la infraestructura vial y aumentando el riesgo de inundaciones. De esta manera, los datos empíricos validan la existencia de una problemática real en el contexto urbano de Bogotá, alineada con tendencias globales en ciudades con alta densidad urbana.

En segundo lugar, respecto a la efectividad de los pavimentos porosos como solución, los resultados obtenidos refuerzan ampliamente la evidencia científica existente. El 92,2% de los encuestados considera que estos pavimentos permiten reducir la escorrentía, y el 84,3% los percibe como altamente efectivos. Estos datos son coherentes con investigaciones como las de Bean et al. (2022) y Li et al. (2018), quienes demostraron mediante estudios experimentales y modelaciones hidrológicas que los pavimentos permeables favorecen la infiltración del agua,

reducen los picos de escorrentía y contribuyen a mejorar la gestión del drenaje urbano. Asimismo, el hecho de que el 45,1% de los participantes considere que el drenaje puede lograrse en menos de una hora respalda los argumentos técnicos sobre la eficiencia hidráulica de estas soluciones.

Sin embargo, aunque los resultados evidencian una percepción positiva frente a los pavimentos porosos, también se identifican brechas importantes relacionadas con el conocimiento técnico y normativo. Por ejemplo, el 47,1% de los encuestados indicó no tener claridad sobre el cumplimiento de criterios técnicos y ambientales asociados a este tipo de infraestructura. Este hallazgo coincide con estudios como los de Montes Sánchez et al. (2021) y Ríos et al. (2021), quienes identificaron que una de las principales barreras para la implementación de infraestructura verde en América Latina es la falta de conocimiento especializado y de lineamientos normativos claros. En este sentido, aunque existe aceptación de la tecnología, su adopción puede verse limitada por factores institucionales y formativos.

Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, los resultados permiten evidenciar que la implementación de pavimentos porosos no depende únicamente de su viabilidad técnica, sino también de la adecuada articulación de variables como la planificación, el diseño, la gestión de recursos y el cumplimiento normativo. Esto se relaciona con lo planteado por Guo et al. (2021), quienes destacan que la integración de soluciones como los pavimentos permeables dentro de estrategias de drenaje urbano sostenible requiere un enfoque sistémico, en el que se consideren aspectos técnicos, ambientales y de gobernanza. En este estudio, el alto nivel de aceptación (90,2%) representa una oportunidad significativa para la formulación de proyectos, pero también evidencia la necesidad de fortalecer capacidades técnicas y marcos regulatorios.

Otro aspecto relevante identificado en la investigación es la relación entre percepción y experiencia. El hecho de que el 74,5% de los encuestados haya observado acumulación de agua en pavimentos tradicionales sugiere que la experiencia directa con la problemática influye en la aceptación de soluciones innovadoras. Este resultado se alinea con lo expuesto por Thives y Ghisi (2022), quienes señalan que la adopción de pavimentos permeables está estrechamente vinculada a la percepción de sus beneficios en contextos reales. En este sentido, la evidencia

empírica sugiere que la implementación de proyectos piloto y demostrativos podría ser una estrategia clave para fomentar su adopción en el contexto local.

En contraste, algunos resultados también permiten identificar posibles limitaciones o aspectos que requieren mayor análisis. Por ejemplo, aunque la mayoría de los encuestados reconoce la efectividad de los pavimentos porosos, una proporción significativa percibe su desempeño hidráulico como medio (52,9%), lo que podría indicar incertidumbre frente a su funcionamiento en condiciones específicas del contexto colombiano, como tipos de suelo, niveles de mantenimiento o intensidad de precipitaciones. Este aspecto coincide con lo planteado por Brattebo y Booth (2020), quienes advierten que el desempeño de estos sistemas puede disminuir si no se garantiza un mantenimiento adecuado, lo cual representa un desafío importante en su implementación a largo plazo.

En términos de aporte al campo de estudio, esta investigación contribuye a fortalecer la evidencia existente sobre la viabilidad de los pavimentos porosos en contextos urbanos latinoamericanos, particularmente en ciudades como Bogotá. A diferencia de muchos estudios internacionales que se centran en análisis técnicos o experimentales, este trabajo incorpora la percepción de actores del sector, lo que permite integrar una dimensión social y profesional en la evaluación de la tecnología. Esto resulta especialmente relevante para la gerencia de proyectos, ya que facilita la toma de decisiones informadas considerando tanto la evidencia técnica como el contexto real de implementación.

Asimismo, la investigación evidencia la necesidad de avanzar en la articulación entre conocimiento científico, normativa y práctica profesional. Aunque existen bases técnicas sólidas que respaldan el uso de pavimentos porosos, su implementación efectiva requiere de políticas públicas claras, lineamientos técnicos específicos y procesos de capacitación que permitan su adecuada adopción. En este sentido, el estudio no solo valida la pertinencia de la solución, sino que también identifica las condiciones necesarias para su éxito.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos, se proponen nuevas líneas de investigación que pueden fortalecer el desarrollo de este campo. Entre ellas, se destaca la necesidad de realizar

estudios experimentales en el contexto colombiano que evalúen el desempeño real de los pavimentos porosos bajo condiciones locales específicas. Asimismo, se sugiere profundizar en el análisis de costos-beneficios, considerando no solo la inversión inicial, sino también los costos de mantenimiento y los beneficios ambientales a largo plazo. Otra línea relevante es el estudio de modelos de gestión y gobernanza que faciliten la implementación de infraestructura verde en entornos urbanos, integrando actores públicos y privados.

De igual forma, resulta pertinente investigar estrategias de educación y sensibilización dirigidas a profesionales del sector, con el fin de reducir las brechas de conocimiento identificadas en esta investigación. Finalmente, se plantea la necesidad de desarrollar marcos normativos más específicos que regulen el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos porosos en Colombia, lo cual permitiría fortalecer su adopción y garantizar su efectividad.

En conclusión, la discusión de los resultados evidencia que los pavimentos porosos representan una solución técnicamente viable y socialmente aceptada para la mitigación de la escorrentía pluvial en Bogotá. No obstante, su implementación efectiva requiere de un enfoque integral que articule conocimiento técnico, planificación estratégica, fortalecimiento institucional y desarrollo normativo. De esta manera, la investigación no solo valida la hipótesis planteada, sino que también aporta elementos clave para la formulación de estrategias orientadas al desarrollo de ciudades más sostenibles y resilientes.

7. CONCLUSIONES

En el desarrollo de la presente investigación se logró dar cumplimiento a los objetivos planteados, permitiendo analizar de manera integral la problemática de la escorrentía pluvial en la ciudad de Bogotá y la viabilidad de implementación de pavimentos porosos como alternativa sostenible dentro de la infraestructura vial urbana.

Los resultados obtenidos confirman lo planteado en la literatura, donde se evidencia que los pavimentos porosos constituyen una solución eficiente para la gestión del agua pluvial en entornos urbanos (Zhang et al., 2020; Thives & Ghisi, 2022).

En relación con el primer objetivo específico, orientado a identificar las principales problemáticas asociadas a la escorrentía pluvial y las limitaciones de los pavimentos convencionales, se concluye que existe una afectación significativa en el entorno urbano derivada del aumento de la impermeabilización del suelo. Los resultados evidenciaron que el 86,3% de los encuestados percibe un incremento en la intensidad de las lluvias y un 52,9% considera alta la acumulación de agua en las vías, lo que se traduce en afectaciones como grietas, baches e inundaciones temporales. Esto confirma que los pavimentos tradicionales presentan limitaciones estructurales frente a la gestión del agua pluvial, lo cual coincide con la literatura revisada.

Respecto al segundo objetivo, enfocado en analizar experiencias, metodologías y estrategias implementadas en otros contextos, se concluye que los pavimentos porosos han demostrado ser una solución efectiva para la mitigación de la escorrentía pluvial a nivel internacional. La revisión documental permitió identificar que estas tecnologías contribuyen a la infiltración del agua, reducción de caudales pico y mejora en la calidad del agua. Esta evidencia fue respaldada por los resultados de la encuesta, donde el 92,2% de los participantes considera que los pavimentos porosos reducen la escorrentía y el 84,3% los percibe como altamente efectivos, lo que valida su aplicabilidad en el contexto local.

En cuanto al tercer objetivo, relacionado con determinar la percepción, conocimiento y disposición de los profesionales del sector, se concluye que existe una alta aceptación hacia la implementación de pavimentos porosos en Bogotá. El 90,2% de los encuestados manifestó estar de acuerdo con su implementación, lo que evidencia una disposición favorable hacia soluciones sostenibles. Sin embargo, también se identificaron brechas importantes en el conocimiento técnico y normativo, dado que un 47,1% de los participantes no tiene claridad sobre los criterios técnicos y ambientales asociados a esta tecnología. Esto indica la necesidad de fortalecer procesos de formación, divulgación y regulación en el sector.

En relación con el cuarto objetivo, orientado a formular una propuesta de estrategias técnicas, ambientales y de gestión, se concluye que la implementación de pavimentos porosos en Bogotá es viable siempre que se aborde desde un enfoque integral de gerencia de proyectos. La propuesta desarrollada se fundamenta en estrategias de planificación, diseño técnico, fortalecimiento normativo, capacitación profesional y gestión del mantenimiento, las cuales responden directamente a las necesidades identificadas en los resultados. En este sentido, la investigación demuestra que la adopción de estas soluciones no solo depende de su efectividad técnica, sino también de la adecuada articulación entre actores, recursos y lineamientos institucionales.

De manera general, a partir del análisis de los resultados, se concluye que existe una relación directa entre la problemática de la escorrentía pluvial y la necesidad de implementar soluciones innovadoras en la infraestructura urbana. Los datos obtenidos evidencian que la mayoría de los participantes reconoce tanto la magnitud del problema como la efectividad de los pavimentos porosos, lo que refuerza la validez de la hipótesis planteada en la investigación. Asimismo, las cifras obtenidas permiten sustentar que la implementación de estas tecnologías puede contribuir significativamente a la reducción del riesgo de inundaciones y al mejoramiento de la gestión del agua en entornos urbanos.

Finalmente, se concluye que la propuesta formulada constituye una alternativa viable y pertinente para el contexto de Bogotá, al integrar criterios técnicos, ambientales y de gestión que permiten su implementación de manera estructurada. No obstante, su éxito dependerá del

fortalecimiento de políticas públicas, el desarrollo de normativas específicas, la capacitación de los profesionales del sector y la generación de proyectos piloto que permitan validar su desempeño en condiciones reales. En este sentido, la investigación no solo aporta al conocimiento académico, sino que también brinda herramientas prácticas para la toma de decisiones en el ámbito de la infraestructura sostenible.

8. RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones se plantean a partir de los resultados obtenidos en la investigación y buscan fortalecer la implementación de estrategias sostenibles para el manejo de la escorrentía pluvial mediante el uso de pavimentos porosos en la ciudad de Bogotá.

8.1. Recomendaciones institucionales

Se recomienda a las entidades encargadas de la planificación y desarrollo de infraestructura urbana en Bogotá promover la incorporación progresiva de pavimentos porosos dentro de proyectos viales, espacio público y urbanizaciones nuevas, especialmente en sectores con antecedentes de acumulación de agua e inundaciones urbanas.

Asimismo, resulta importante fortalecer la articulación entre entidades públicas, empresas constructoras, universidades y organismos ambientales con el fin de desarrollar estrategias conjuntas relacionadas con infraestructura sostenible, drenaje urbano y adaptación al cambio climático.

También se recomienda que instituciones como el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), la Secretaría Distrital de Ambiente y la Secretaría Distrital de Planeación impulsen programas piloto que permitan evaluar el desempeño técnico y ambiental de pavimentos permeables bajo condiciones reales de operación en Bogotá.

8.2. Recomendaciones técnicas

Se recomienda desarrollar lineamientos técnicos específicos para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de pavimentos porosos, considerando variables hidráulicas, estructurales y ambientales adaptadas a las condiciones climáticas y urbanísticas de Bogotá.

De igual manera, es importante implementar programas permanentes de mantenimiento preventivo y monitoreo técnico con el propósito de garantizar la capacidad de infiltración y funcionalidad hidráulica de los sistemas permeables a largo plazo.

Se sugiere además fortalecer los procesos de capacitación dirigidos a ingenieros, arquitectos, urbanistas y demás profesionales del sector construcción, promoviendo el conocimiento sobre sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), materiales permeables y estrategias de infraestructura verde.

8.3. Recomendaciones ambientales y urbanas

Se recomienda incorporar criterios de sostenibilidad e infraestructura verde dentro de los instrumentos de planificación territorial y desarrollo urbano, priorizando soluciones que favorezcan la infiltración del agua lluvia y reduzcan la impermeabilización excesiva del suelo.

Asimismo, se sugiere promover proyectos urbanos orientados hacia resiliencia climática y gestión eficiente del recurso hídrico, contribuyendo a disminuir riesgos asociados a inundaciones, deterioro vial y saturación de sistemas de alcantarillado.

También es importante fomentar campañas de sensibilización ciudadana relacionadas con sostenibilidad urbana y manejo responsable de aguas lluvias, fortaleciendo la participación social frente a soluciones ambientales innovadoras.

8.4. Recomendaciones académicas y para futuras investigaciones

Se recomienda continuar desarrollando investigaciones relacionadas con pavimentos porosos y sistemas urbanos de drenaje sostenible, especialmente estudios enfocados en análisis de costos, durabilidad, comportamiento hidráulico y desempeño estructural bajo diferentes condiciones urbanas y climáticas.

Igualmente, se sugiere realizar investigaciones aplicadas mediante proyectos piloto y monitoreo en campo que permitan generar evidencia científica local sobre el funcionamiento de pavimentos permeables en Bogotá.

Finalmente, futuras investigaciones podrían abordar temas relacionados con integración de tecnologías sostenibles dentro de políticas públicas urbanas, análisis comparativo de materiales permeables y evaluación de impacto ambiental asociado a infraestructura verde y drenaje urbano sostenible.

9. REFERENCIAS

Ahiablame, L. M., Engel, B. A., & Chaubey, I. (2012). Effectiveness of low impact development practices: Literature review and suggestions for future research. *Water, Air, & Soil Pollution, 223*(7), 4253–4273. https://doi.org/10.1007/s11270-012-1189-2

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2021). *Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.* https://www.sdp.gov.co

Bean, E. Z., Hunt, W. F., & Bidelspach, D. A. (2007). Field survey of permeable pavement surface infiltration rates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133*(3), 249–255.

Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering, 36*(4), 351–360.

Congreso de la República de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993: Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA).* https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297

Constitución Política de Colombia. (1991). *Constitución Política de Colombia.* https://www.constitucioncolombia.com

Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., & Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more: The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal, 12*(7), 525–542.

Guo, Y., Zhang, J., & Zhang, Y. (2021). Hydrological performance of permeable pavements in urban drainage systems. *Journal of Environmental Management, 287*, 112312. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112312

Huang, J., & Zhang, Z. (2018). Effectiveness of permeable pavements in stormwater management and flood mitigation. *Water Science and Technology, 78*(6), 1234–1245. https://doi.org/10.2166/wst.2018.39

Liu, Y., Chen, X., & Wang, H. (2023). Comparative analysis of permeable and traditional pavements in urban runoff control. *Sustainable Cities and Society, 89*, 104365. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104365

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Decreto 1076 de 2015: Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.* https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Decreto 1077 de 2015: Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.* https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 0330 de 2017: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).* https://www.minvivienda.gov.co

Montes Sánchez, L. F., Rodríguez Hernández, J., & Pérez, A. (2021). Infraestructura verde y drenaje urbano sostenible en ciudades latinoamericanas. *Revista Ingeniería y Competitividad, 23*(2), 1–12.

Montes Sánchez, L., et al. (2019). Infraestructura verde como estrategia de sostenibilidad urbana en América Latina. *Revista de Ingeniería, 49*, 45–56.

Pantoja Cárdenas, J. S., & Zambrano Nájera, J. (2024). Evaluación de pavimentos permeables como técnica para mitigar picos de escorrentía superficial. *TecnoLógicas, 27*(61), e3165. https://doi.org/10.22430/22565337.3165

Thives, L. P., & Ghisi, E. (2017). Benefits and challenges of permeable pavement systems: A review. *Water, Air, & Soil Pollution, 228*(9), 321. https://doi.org/10.1007/s11270-017-3509-4

Thives, L. P., & Ghisi, E. (2022). Permeable pavement systems: Advances and challenges in stormwater management. *Water, 14*(2), 1–20. https://doi.org/10.3390/w14020123

Wang, J., Zhao, X., & Li, Y. (2020). Hydrological performance of permeable pavement systems under different rainfall conditions. *Journal of Hydrology, 586*, 124874. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124874

Weber, J. F. (2024). Una metodología para el diseño hidrológico de pavimentos de hormigón poroso. *Ingeniería y Competitividad, 26*(3). https://doi.org/10.25100/iyc.v26i3.14049

Zhang, K., & Chui, T. F. M. (2018). Linking hydrological and biofiltration performance of permeable pavements. *Journal of Hydrology, 558*, 405–419. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.045

Zhou, Q. (2014). A review of sustainable urban drainage systems considering climate change and urbanization impacts. *Water, 6*(4), 976–992. https://doi.org/10.3390/w6040976

10. ANEXOS

10.1. Anexo 1. Encuesta

Encuesta para Evaluación de Pavimentos porosos en la ciudad de Bogotá: Una solución técnica frente al reto de la escorrentía pluvial

I. Datos de caracterización del encuestado

1. Sexo: (variable Dicotómica nominal)

☐ Masculino

☐ Femenino

2. Edad: (Politómica ordinal)

☐ 25–34 años

☐ 35–44 años

☐ 45–54 años

☐ 55 años o más

3. Nivel educativo: (Politómica ordinal)

☐ Primaria

☐ Secundaria

☐ Técnica / Tecnológica

☐ Universitaria

☐ Posgrado

4. Donde reside actualmente: (Politómica nominal)

☐ Bogotá

☐ Fuera de Bogotá

5. Tiempo de residencia en la zona: (Politómica ordinal)

☐ Menos de 1 año

☐ 1–5 años

☐ 6–10 años

☐ Más de 10 años

6. **¿Vive o trabaja cerca de una vía afectada por escorrentía o donde existan pavimentos porosos?** (Dicotómica nominal)

☐ Sí

☐ No

II. Percepción sobre la escorrentía pluvial y pavimentos porosos

Escorrentía pluvial superficial

7. **¿Ha notado un aumento en la intensidad de las lluvias en su zona durante los últimos años?** (Dicotómica nominal)

   ☐ Sí

   ☐ No

8. **En una escala de 1 a 5, ¿cómo calificaría la cantidad de agua que se acumula en las vías durante lluvias fuertes?** (Ordinal tipo Likert)

   ☐ Muy poca

   ☐ Moderada

   ☐ Alta

   ☐ Demasiada

9. **¿Qué tipo de daños se presentan con mayor frecuencia en las vías cercanas a su residencia?** (Politómica nominal)

   ☐ Erosión

   ☐ Grietas o baches

   ☐ Inundación temporal

☐ Colapso o hundimiento

☐ Ninguno

10. **¿Con qué frecuencia se presentan cierres viales o interrupciones por lluvias intensas?** (Ordinal tipo Likert (frecuencia))

☐ Nunca

☐ Rara vez

☐ Algunas veces

☐ Frecuentemente

☐ Muy frecuentemente

III. Propiedades físicas del pavimento poroso

11. **¿Cree que los pavimentos porosos permiten el paso del agua con facilidad?** (Ordinal tipo Likert (grado de acuerdo)

☐ Nada

☐ Poco

☐ Regular

☐ Bastante

☐ Totalmente

12. **¿Ha observado acumulación de agua sobre pavimentos rígidos después de la lluvia?** (Dicotómica nominal)

☐ Sí

☐ No

13. **¿Creería usted que la falta de filtración de agua aumenta las deformaciones en los pavimentos convencionales por el tránsito vehicular?** (Dicotómica nominal)

☐ Sí

☐ No

14. ¿Cuánto tiempo tarda aproximadamente el agua de lluvia en desaparecer de la superficie después de una lluvia intensa?

☐ 0-30 Min

☐ 31-1 hora

☐ O más de 2 horas

IV. Reducción de escorrentía mediante pavimentos porosos

15. **En comparación con pavimentos convencionales, ¿cree que los pavimentos porosos reducen la cantidad de agua superficial?** (Dicotómica nomina)
    ☐ Sí
    ☐ No
16. **¿Qué tan efectiva considera la reducción del flujo de agua en los sectores con pavimentos porosos?** (Ordinal tipo Likert)
    ☐ Nada efectiva
    ☐ Poco efectiva
17. **¿Consideras que los pavimentos porosos mejoran el drenaje del agua lluvia frente a los pavimentos tradicionales?** (Politómica nominal)
    ☐ Sí
    ☐ No
    ☐ No sabe / No aplica
18. **¿Qué nivel de desempeño hidráulico asignaría al pavimento poroso?** (Ordinal tipo Likert)
    ☐ Bajo
    ☐ Medio
    ☐ Alto

V. Criterios técnicos y ambientales

19. ¿**Conoce si los pavimentos porosos cumplirían con las normas técnicas y ambientales vigentes?** (Dicotómica nominal)

☐ Sí

☐ No

☐ No Sabe / No Aplica

20. **¿Con qué frecuencia cree que deben realizarse mantenimientos a los pavimentos porosos?** (Politómica ordinal)

☐ Mensual

☐ Trimestral

☐ Semestral

☐ Anual

21. **¿Qué tan de acuerdo estas con implementar pavimentos porosos en su zona?** (Ordinal tipo Likert)

☐ En acuerdo

☐ Desacuerdo

10.2. Anexo 2. Consentimiento informado

El participante declara que:

1.En UNIMINUTO estamos comprometidos con el tratamiento confidencial de tus datos, al diligenciar esta encuesta aceptas los términos y condiciones, y eres responsable de los datos compartidos.
Consulte nuestra Política de Tratamiento de Información
en: http://www.uniminuto.edu/documentos-juridicos-uniminuto. Los titulares en cualquier momento pueden ejercer sus derechos legalmente consagrados de conocimiento, actualización,

rectificación y supresión de sus datos personales a través del portal web http://www.uniminuto.edu/contacto o a la siguiente dirección: Calle 81B No.72B-70 en la ciudad de Bogotá, y el teléfono 5933004 en la ciudad de Bogotá, o a nivel nacional 01800 0936670.

Si tiene alguna inquietud sobre el estudio, puede comunicarse con el equipo investigador a través del correo institucional ***lizeth.lizarazo- @uniminuto.edu.co***

*** Declaro que he sido informado(a) sobre el propósito de la presente investigación, que mi participación es voluntaria y que la información suministrada será utilizada únicamente con fines académicos. Asimismo, se me ha garantizado la confidencialidad de mis respuestas y el manejo adecuado de los datos. Acepto participar de manera libre y consciente."

☐ Si

☐ No