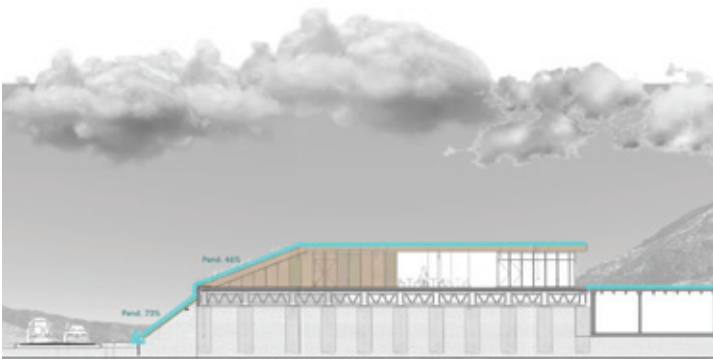
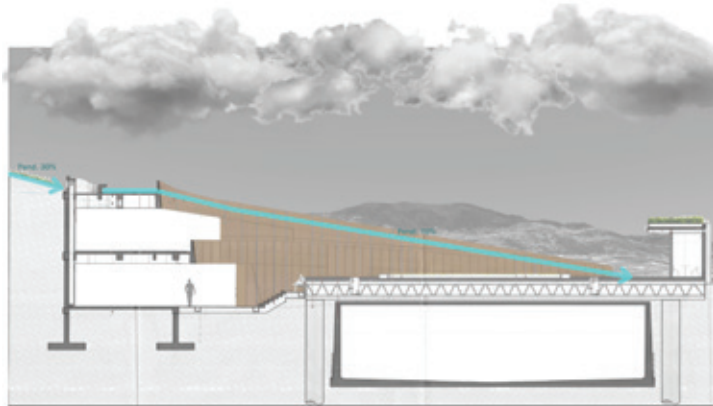




Secciones de UVA de la Alegría, Empresas Públicas de Medellín [1].
Modificado por autores, 2025.

Análisis de materiales frente a precipitaciones en el espacio público en laderas

Analysis of Materials in Response to Precipitation in Hillside Public Spaces

David Osorio-Díez y Yury Andrea Hernández-Duque

RESUMEN: En ciudades montañosas como Medellín (Colombia), los espacios públicos ubicados en laderas deberían incorporar suficientes suelos permeables para mitigar problemas derivados del exceso de escorrentía. El objetivo de esta investigación fue analizar el comportamiento frente a precipitaciones de un espacio público de ladera, en función del porcentaje de suelos permeables e impermeables. Se calculan los caudales de escorrentía para diferentes escenarios de cobertura de suelos y para lluvias intensificadas según proyecciones de cambio climático. Se encuentra que cerca del 70 % del suelo analizado es impermeable y que la pendiente es un factor determinante en el aumento de la escorrentía. Aun considerando el aumento previsto en la precipitación, incrementar los suelos permeables reduciría significativamente el caudal de escorrentía respecto al escenario actual. Se concluye que, para contrarrestar el efecto de la pendiente sobre la escorrentía, los espacios públicos en ladera deben incorporar más suelos absorbentes.

PALABRAS CLAVE: Ciudad en montaña, espacio público, escorrentía urbana, cambio climático

ABSTRACT: In mountainous cities such as Medellín (Colombia), public spaces located on hillsides should include sufficient permeable soils to mitigate problems caused by excessive surface runoff. The objective of this research was to analyze the response of a hillside public space to rainfall events, depending on the percentage of permeable and impermeable soils. Runoff flows are calculated for different surface coverage scenarios and for intensified rainfall events projected under climate change scenarios. The study finds that about 70 % of the analyzed surface is impermeable and that slope is a determining factor in increasing runoff. Even when considering the projected increase in precipitation, increasing the proportion of permeable soils would significantly reduce runoff compared to the current scenario. It is concluded that, to counteract the effect of slope on runoff, hillside public spaces should incorporate more absorbent soils.

KEYWORDS: Mountain city, public space, urban runoff, climate change.

RECIBIDO: 15 julio 2025

ACEPTADO: 07 noviembre 2025

Introducción

Frente a escenarios de cambio climático, la humanidad se enfrenta a diversos eventos extremos, que varían desde fenómenos como el aumento en el nivel del mar y en las precipitaciones, hasta islas de calor y sequías. Según el informe más reciente del grupo intergubernamental de expertos en cambio climático (IPCC), en el escenario C7 se espera un aumento de las precipitaciones anuales en casi todas las regiones continentales [2]. Este aumento en las precipitaciones se relaciona de manera causal con inundaciones urbanas, que son el desastre de mayor ocurrencia en los últimos 20 años [3]. Para las ciudades montañosas, eventos como deslizamientos de tierra, avenidas torrenciales e inundaciones rápidas, están directamente asociados con el aumento en el nivel de precipitaciones. Estas problemáticas se acentúan cuando se carece de infraestructura óptima para responder a los efectos climáticos.

Medellín es uno de los diez municipios que conforman la conurbación del área metropolitana del Valle de Aburrá, ubicado en el sistema montañoso de la Cordillera Central de Los Andes, en el departamento de Antioquia, Colombia. El clima del valle es tropical andino, con temperaturas entre los 17 °C y 28 °C, y una precipitación anual media entre 1501 y 2000 mm de agua precipitada. Con respecto al contexto geomorfológico, el Valle de Aburrá presenta zonas de importante ladera hacia los costados oriente y occidente, y algunas zonas de mayor planicie hacia el centro del valle, cruzado por el río Medellín, que lo atraviesa en sentido sur-norte [4]. Debido a su condición geomorfológica, en Medellín es común que se presenten fenómenos de deslizamientos e inundaciones durante la temporada de lluvias. Según el informe del Plan Integral de Cambio Climático de Antioquia (PIGCCT) en el departamento se espera para finales del siglo XXI un aumento, en promedio, del 9,3 % de precipitaciones anuales con respecto a los valores actuales [5] (Figura 1).

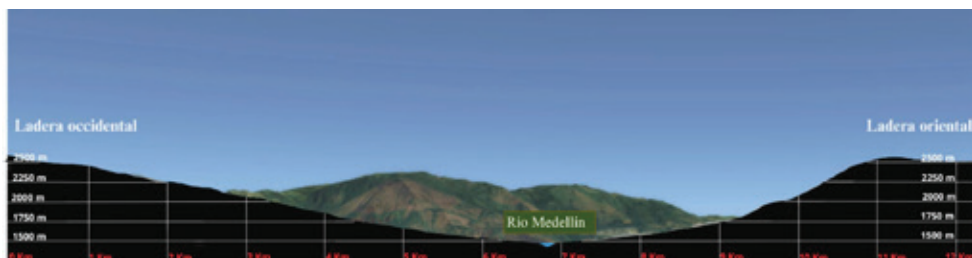


Figura 1. Diferencia de altura sobre el nivel del mar en el Valle de Aburrá. Fuente: Asoleamiento y radiación solar en diferentes zonas geográficas del Valle de Aburrá [8]. Modificado por autores, 2024.

La ciudad está dividida en seis zonas geográficas, que a su vez se dividen en 16 comunas, siendo la zona nororiental del municipio de Medellín la más densamente poblada del Valle de Aburrá [6]. Gran parte del suelo urbanizado de la zona nororiental presenta una importante condición de ladera. Las comunas de esta zona han presentado un crecimiento urbano acelerado que se ha venido dando desde la segunda mitad del siglo XX [7]. Esta ocupación ha llevado a la creación de suelo urbano con importantes déficits de espacio público [8] y con esto, a la predominancia de suelos impermeables en estas comunas. También es importante mencionar que las laderas presentan condiciones climáticas distintas a las de la planicie, sin embargo, el desarrollo urbano que se ha dado no tiene en cuenta la condición climática cambiante, trabajando solo a partir de información bioclimática homogeneizada [9].

- [1] UVA de la Alegría. Empresas Públicas de Medellín. Archivo EPM-AG-10-01-11-DT-P.
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Synthesis report of the IPCC Sixth Assessment Report [AR6] Summary for Policymakers [Internet]. 2023 [cited: 2025 Aug 23]. Available from: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf
- [3] Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). EM-DAT Annual Report 2024 [Internet]. Brussels: Université Catholique de Louvain; 2025 [cited: 2025 Aug 23]. Available from: https://files.emdat.be/reports/2024_EMDAT_report.pdf
- [4] AMVA. Área Metropolitana del Valle de Aburrá [página en Internet]. Medellín: AMVA; 2022 [consultado: 21 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/area/Paginas/somos/Historia.aspx>
- [5] Departamento Nacional de Planeación (DNP). Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Territorial de Antioquia (PIGCCT). Bogotá: DNP; 2018 [consultado: 26 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/PNACC/PIGCCT%20Antioquia.pdf>
- [6] Secretaría de Salud de Medellín [página en Internet]. Medellín: Alcaldía de Medellín; 2024 [consultado: 28 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/es/secretaria-de-salud/>
- [7] Infante OA. Regeneración urbana en Medellín [tesis de grado]. Valencia: Universitat Politècnica de València; 2021 [consultado: 26 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/180943>
- [8] Torres LF. Actualización del sistema de gestión del espacio público (SGEP) [tesis de grado]. Antioquia: Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria; 2020 [consultado: 11 de agosto de 2025]. Disponible en: <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/1004>
- [9] Marín-Bedoya LM, Orozco-Gallo DA, Villegas-Echavarría JC, Arango-Flórez J, Hernández-Duque YA, López-Álvarez D. Asoleamiento y radiación solar en diferentes zonas geográficas del Valle de Aburrá. Arquitectura y Urbanismo [Internet]. 2023 [consultado: 15 de agosto de 2025]; 44(1):51-60. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3768/376875562006/html/>

El objetivo de esta investigación es analizar la respuesta que los materiales del espacio público en ladera presentan frente a las precipitaciones, y al potencial aumento de estas, debido al cambio climático. Concretamente, se busca conocer la manera en que las proporciones entre distintos tipos de superficies de cobertura de suelos, divididas entre superficies duras y blandas, o impermeables y permeables, puede influir como factor que aumente o disminuya la escorrentía superficial generada por la lluvia, y de esta forma, determinar cuáles son los porcentajes óptimos de superficies de suelos, y qué tanto pueden ayudar las superficies blandas en la disminución de efectos adversos como inundaciones y deslizamientos en la ladera.

Materiales y método

Marco teórico

Materiales y escorrentía

La gran mayoría del suelo urbanizado en zonas de ladera de Medellín presenta superficies impermeables como el hormigón, que sella al suelo. El sellado del suelo es la forma más intensa de degradación de la tierra y afecta todos los servicios ecosistémicos [10]. Para disminuir el riesgo de inundación en entornos urbanos, una de las estrategias que puede aplicarse es la disminución de superficies de suelos impermeables, las cuales presentan mayores niveles de escorrentía.

La escorrentía se refiere al flujo de agua lluvia que circula sobre la superficie del suelo, cuando el volumen de agua supera la capacidad de infiltración y evaporación en el suelo. Esta se puede dar por dos mecanismos; un exceso en la infiltración y un exceso en la saturación [11]. Con respecto al primero, el exceso en la infiltración ocurre cuando el material de la superficie es altamente impermeable, como es el caso de las superficies de hormigón. Los materiales tienen un coeficiente de escorrentía asociado, el cual representa la relación entre la cantidad de agua precipitada sobre la superficie, y la lámina de agua que discurre en la superficie. Esto varía, en función de la capacidad de absorción del material, así como la pendiente con la que cuente, aumentando en función de esta.

Previamente, se han llevado a cabo investigaciones acerca de la escorrentía superficial como causa de inundaciones en zonas urbanas, con alcances de escala barrial e incluso urbana. Varias de estas investigaciones, realizadas en diversidad de latitudes y zonas geoclimáticas, como la ciudad de San Sebastián en España [12], el centro de la ciudad de Bogotá, en Colombia [13] o Cracovia en Polonia [14] han hecho uso de sistemas de información geográfica como QGIS o ARCGIS, y han demostrado la efectividad de estas herramientas para predecir el efecto de las precipitaciones en entornos urbanos, de forma sencilla y transversal a diversas áreas del conocimiento. Estas investigaciones han contado con escalas urbanas mayores a la propuesta en el presente estudio, por lo que la metodología propuesta debe adaptarse para la escala de un espacio público y su área circundante.

Caudal de escorrentía

Para la investigación se utilizaron los coeficientes de escorrentía del Manual de Drenaje Urbano del Instituto Americano de Ingenieros Civiles (ASCE) [15] (Tabla 1). Para el cálculo del caudal de escorrentía en metros cúbicos que discurrió en el espacio se utilizó el método racional desarrollado por Emil Kuichling [16], (1).

- [10] Criado M, Santos-Francés F, Martínez-Graña A, Sánchez Y, Merchán L. Multitemporal Analysis of Soil Sealing and Land Use Changes Linked to Urban Expansion of Salamanca (Spain) Using Landsat Images and Soil Carbon Management as a Mitigating Tool for Climate Change. *Remote Sens* [Internet]. 2020 [cited: 2025 August 15];12(7):1131. Available from: <https://doi.org/10.3390/rs12071131>
- [11] Zhenghui X, Fengge S, Xu L, Qingcun Z, Zhenchun H, Yufu G. Applications of a surface runoff model with Horton and Dunne runoff for VIC. *Advances in Atmospheric Sciences* [Internet]. 2003 [cited: 2025 August 21]; 20(2):165-172. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00376-003-0001-z>
- [12] Jato-Espino D, Charlesworth SM, Bayon JR, Warwick F. Rainfall-Runoff Simulations to Assess the Potential of SuDS for Mitigating Flooding in Highly Urbanized Catchments. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [Internet]. 2016 [cited:2025 August 23];13(1):149. Available from: <https://doi.org/10.3390/ijerph13010149>
- [13] Acosta JC. Cálculo de la escorrentía urbana para el centro de la Ciudad de Bogotá por medio de sistemas de información geográfico [tesis de grado]. Bogotá: Universidad de los Andes; 2017 [consultado: 23 de agosto de 2025]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/1992/13514>
- [14] Porębska A, Muszyński K, Godyń I, Racoń-Leja K. City and Water Risk: Accumulated Runoff Mapping Analysis as a Tool for Sustainable Land Use Planning. *Land* [Internet]. 2023 [cited: 2025 August 23];12(7):1345. Available from: <https://doi.org/10.3390/land12071345>
- [15] American Society of Civil Engineers (ASCE). Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems. Reston (USA): ASCE; 1992.
- [16] Dhakal N, Fang X, Cleveland TG, Thompson DB, Asquith WH, Marzen LJ. Estimation of Volumetric Runoff Coefficients for Texas Watersheds Using Land-Use and Rainfall-Runoff Data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* [Internet]. 2012 [cited: 2025 August 21]; 138(1):43-54. Available from: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000368](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000368)

Tabla 1. Coeficientes de escorrentía para distintos materiales en el espacio público.

Material	Pendiente					
	0-5%	6-10%	11-15%	16-20%	21-25%	26-30%
Suelos impermeables (asfalto, hormigón)	0,70	0,95	0,98	1,0	1,0	1,0
Suelo con césped	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
Suelo con vegetación (arborización)	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50

Fuente: Autores, 2024.

$$Q=C \times i \times A \quad (1)$$

Donde:

Q = Caudal de escorrentía (metros cúbicos / unidad de tiempo)

C = Coeficiente de escorrentía

i = Intensidad de las precipitaciones (milímetros / unidad de tiempo)

A = Área analizada (metros cuadrados)

Caso de estudio

Se utilizó como caso de estudio, un espacio público que presentase las siguientes condiciones: ubicación en ladera, cercanía a una estación meteorológica, y diversidad de materiales y pendientes. Este espacio público fue caracterizado a partir de los materiales de acabados de sus superficies de suelos y las disposiciones de estos, según su pendiente, con el objetivo de utilizar ambos datos en el cálculo del coeficiente de escorrentía de cada superficie. El espacio público escogido fue la UVA de La Alegría, ubicada en el barrio Santa Inés en la comuna de Manrique. El espacio cuenta con un área total de 2276,80 m². En Manrique se presenta una acentuada condición de ladera, con una altura de 1562 msnm en su punto más bajo y 2147 msnm en su punto más alto, por lo que las pendientes constituyen importantes elementos constitutivos del entorno construido. (Figura 2)

En el sitio se observa también un déficit significativo de espacios públicos, siendo a su vez, una de las comunas con mayor densidad poblacional de todo el valle, y, según el Departamento Administrativo de Gestión de Riesgo de Desastres de Antioquia (DAGR) una de las más afectadas por fenómenos como inundaciones y

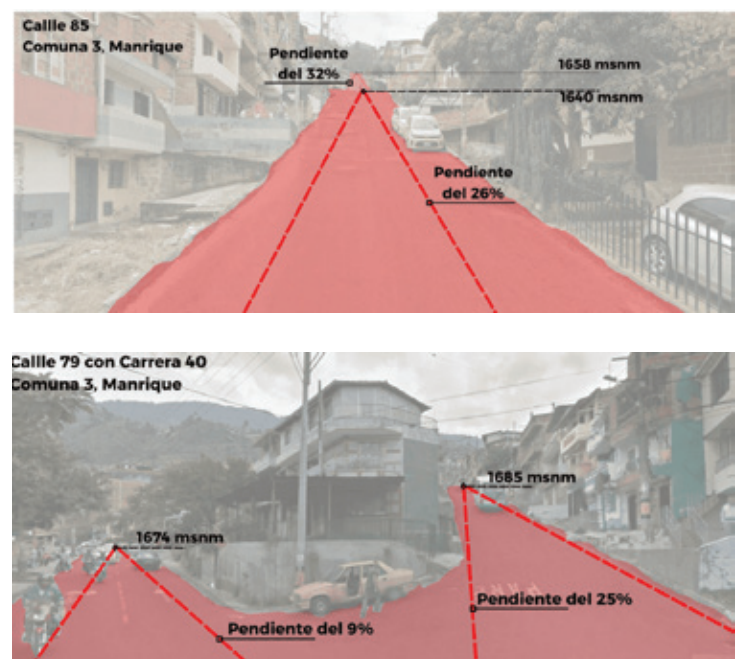


Figura 2. Algunas de las pendientes presentes en la comuna de Manrique. Fuente: Autores, 2024.

deslizamientos durante las temporadas de lluvia [17]. Lo anterior refuerza la importancia de estudiar un espacio público en este sector. (Figura 3)

En este espacio público las superficies identificadas fueron: suelo con césped, suelo con vegetación y suelos impermeables (asfalto, hormigón). Mediante el *software* QGIS estos materiales fueron graficados como capas poligonales, que permitieron calcular las áreas de cada uno de estos materiales, añadiendo una capa que contase con las pendientes de cada uno de estos materiales (Figura 4). La superposición de capas permitió calcular el coeficiente de escorrentía, según los valores enunciados en la Tabla 1 (Figura 5).

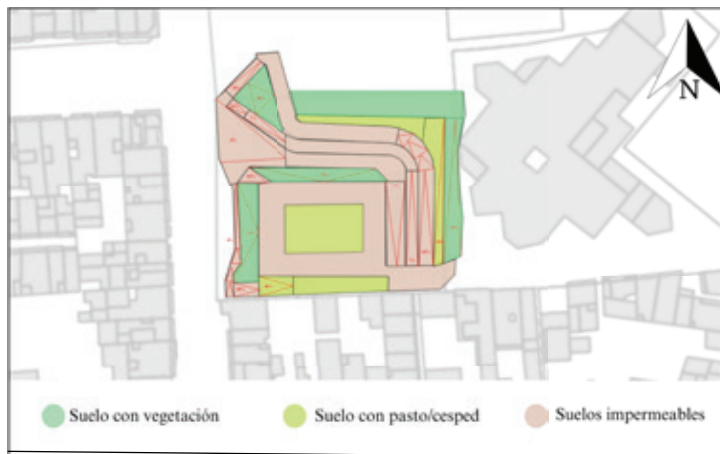


Figura 4. Materiales y pendientes por cada fragmento del espacio. Fuente: Autores, 2024.

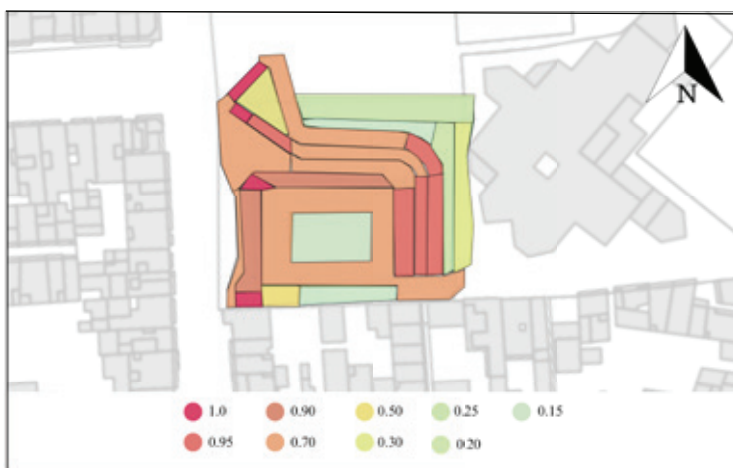


Figura 5. Coeficientes de escorrentía. Fuente: Autores, 2024.

[17] Valencia N. La historia de cómo Medellín convirtió sus tanques de agua en verdaderos parques públicos. ArchDaily [Internet]. 28 de junio de 2016 [consultado: 26 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.archdaily.co/co/787787/la-historia-de-como-medellin-convirtio-sus-tanques-de-agua-en-verdaderos-parques-publicos>

[18] DAGRD. Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres [página en Internet]. Medellín: DAGRD; 2024 [consultado: 17 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/es/dagrd/>



Figura 3. UVA de la Alegría. Fuente: <https://www.archdaily.co/co/787787/la-historia-de-como-medellin-convirtio-sus-tanques-de-agua-en-verdaderos-parques-publicos>. Modificado por autores, 2024.

Información climática

Los datos de precipitaciones utilizados fueron extraídos del Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA) [18], que cuenta con una serie de estaciones que recogen, minuto a minuto, información climática de diversas zonas del valle. En específico, se utilizó la información de la estación meteorológica 645 Bello Oriente, ubicada en la ladera nororiental, a 1600 metros al noreste del caso de estudio. De esta estación se descargó la información pluviométrica del mes de mayo del año 2024.

Por medio del programa Microsoft Excel, los datos fueron organizados y se identificaron un total de 44 eventos de precipitaciones, lloviendo 23 días de 31 en el mes. Los datos, minuto a minuto, de cada evento fueron sumados, dando como resultado el registro de lluvia acumulada en milímetros, para cada uno. Posteriormente, se registraron los intervalos de tiempo, en horas, de cada uno de estos. Se escogió trabajar con duraciones de una hora, debido a que las

intensidades dentro de este rango de tiempo pueden ser suficientemente altas como para desembocar en inundaciones y deslizamientos. El dato de lluvia acumulada se dividió entre el intervalo de tiempo del evento, dando como resultado la intensidad de cada uno, en milímetros/hora. Por último, se promediaron los eventos, dando un valor de 0,124 mm/hora. Este promedio fue utilizado como el valor i en la fórmula (1).

Transformación de porcentajes de materiales de superficies

Para determinar los porcentajes óptimos de los materiales del espacio público frente a la escorrentía superficial, se alteraron los porcentajes de materiales en el espacio público analizado. Para la conversión de estos, se determinó qué proporción de cada uno de los materiales identificados está presente actualmente en el espacio. Del área total del espacio público, un 69 % de suelos son impermeables y un 31 % de suelos son permeables, estos últimos divididos en un 13 % de suelo con césped/pasto y un 18 % de suelo con vegetación.

Para conocer el cambio del coeficiente de escorrentía en función del aumento de superficies permeables, se creó un escenario en que los suelos impermeables y permeables ocuparon porcentajes iguales del proyecto, teniendo un 50 % de suelos impermeables y un 50 % de suelos permeables, estos últimos divididos en un 25 % de suelo con césped/pasto y un 25 % de suelo con vegetación. (Tabla 2)

Tabla 2. Transformaciones de porcentajes de suelo permeable propuestas.

Materiales	Escenario 1 (actual)	Escenario 2 (transformado)
Suelos impermeables	69%	50%
Suelo con césped	13%	25%
Suelo con vegetación	18%	25%

Fuente: Autores, 2024.

Resultados

Caudales de escorrentía en el escenario actual

Para el desarrollo de la fórmula (1) en el escenario actual, en un primer momento se identificaron los coeficientes de escorrentía correspondientes a cada tipo de superficie presente en el área de estudio. Dichos coeficientes fueron multiplicados por el área específica que cada material ocupa dentro del espacio analizado, con el fin de reflejar de manera más precisa el aporte diferenciado de cada cobertura al caudal de escorrentía.

Una vez obtenidos estos valores parciales, se procedió a multiplicarlos por la intensidad de precipitación utilizada en el escenario base, equivalente a $i = 0,124$ m/hora. De esta manera se calcularon caudales de escorrentía específicos para cada área, los cuales permiten entender mejor cómo varía la respuesta hidrológica dependiendo del material superficial.

El caudal de escorrentía total (Q) se obtuvo sumando todos los caudales de escorrentía específicos, de acuerdo con el procedimiento descrito. Los

resultados consolidados de este cálculo se presentan en la Tabla 3, donde se muestran los aportes individuales y el valor total de escorrentía generado bajo las condiciones actuales.

Tabla 3. Caudales de escorrentía para áreas específicas del espacio.

Coeficiente de Escorrentía específico (Ce)	Área específica (Ae) (m ²)	Fórmula (1) para áreas específicas (Ae) $Q = \sum (Ce \times Ae \times 0,124 \text{ m/hora})$
0,15	196,50	3,65
0,20	83,05	2,05
0,25	131,55	4,07
0,30	76,80	2,85
0,50	49,95	3,09
0,70	1397,15	121,27
0,90	131,90	14,72
0,95	158,15	18,63
1,0	51,75	6,41
Total	2276,80	176,78

Fuente: Autores, 2024.

Se obtuvo que, para el escenario actual, el caudal de escorrentía en el área total del espacio público analizado fue de 176,78 m³/hora.

Caudales de escorrentía con aumento en las superficies permeables

Para el cálculo en el escenario 2, se buscó determinar un coeficiente de escorrentía representativo que considerara no sólo las características de los materiales presentes en el espacio público, sino también la influencia de las pendientes en la generación de escorrentía. Para ello, se calculó un coeficiente de escorrentía equivalente (Ce), el cual se obtuvo a partir del caudal total de escorrentía (Q) previamente determinado. Este es calculado en la fórmula (2)

$$Ce = \frac{176,78}{(0,124 \times 2276,8)}$$

$$Ce = 0,62 \quad (2)$$

Una vez definido este valor equivalente, se aplicó una regla de proporcionalidad con el fin de estimar el coeficiente de escorrentía correspondiente al escenario 2 (C2). Este procedimiento se fundamenta en los valores asociados al suelo impermeable, dado que este tipo de superficie ejerce la mayor influencia en el aumento o la reducción del caudal total de escorrentía. De esta manera, la proporcionalidad establecida permitió ajustar el coeficiente de escorrentía al nuevo escenario, garantizando que el cálculo refleje de manera más precisa la realidad hidrológica del espacio en condiciones de pendiente. El desarrollo matemático de este procedimiento se presenta en la fórmula (3).

$$C_e = \frac{176,78}{(0,124 \times 2276,8)}$$

$$C_e = 0,62$$

$$\frac{C_2}{0,62} = \frac{50}{69}$$

$$C_2 = 0,45 \quad (3)$$

Se obtuvo entonces que el coeficiente de escorrentía para el escenario 2 es $C_2 = 0,45$. Con esto, se aplicó la fórmula (4), dando como resultado el caudal de escorrentía que discurriría en el espacio, con el cambio de proporciones de materiales.

$$Q = 0,45 \times 0,124 \frac{m}{h} \times 2276,80 m^2$$

$$Q = 127,04 \frac{m^3}{h} \quad (4)$$

Caudales de escorrentía frente al aumento en las precipitaciones

Por último, al valor de la intensidad de lluvia i , se aplicó el incremento proyectado del 9,3 %, correspondiente al aumento esperado en las precipitaciones para el departamento de Antioquia hacia finales del siglo XXI. Este nuevo valor ajustado se denominó i_2 y fue considerado en el cálculo de ambos escenarios propuestos. En el escenario 1, correspondiente a las condiciones actuales, i_2 se multiplicó nuevamente por cada uno de los caudales de escorrentía específicos y por las áreas asociadas a los distintos tipos de superficie, obteniendo así caudales ajustados a las proyecciones climáticas. Para el escenario 2, se reemplazó el valor de i por i_2 en la fórmula (1). Finalmente, los resultados obtenidos en ambos casos permitieron calcular cuatro valores de caudal de escorrentía, los cuales se presentan de manera comparativa en la Tabla 4. Los cuatro escenarios analizados fueron: porcentaje de suelo impermeable actual con intensidad de la lluvia actual; porcentaje de suelo impermeable disminuido con intensidad de lluvia actual; porcentaje de suelo impermeable actual con intensidad de lluvia aumentada; porcentaje de suelo impermeable disminuido con intensidad de lluvia aumentada.

Tabla 4. Caudales de escorrentía para los cuatro escenarios analizados.

Escenarios	2024: i (0,124 m/hora)	2090: i_2 (0,135 m/hora)
Escenario 1 (actual)	176,78 m ³ /hora	192,46 m ³ /hora
Escenario 2 (menor porcentaje de suelo impermeable)	127,04 m ³ /hora	138,31 m ³ /hora

Fuente: Autores, 2024.

Discusión

Como parte de los resultados fue posible identificar el efecto que las superficies permeables tienen sobre la disminución del caudal de escorrentía, así como el incremento que la pendiente de las superficies representa en este último.

El espacio público analizado cuenta con una gran cantidad de suelos impermeables, que representan casi un 70 % de la totalidad de suelos del proyecto. Esto termina generando un coeficiente de escorrentía alto, de 0,62, que en zonas urbanas puede representar un riesgo de inundación, en especial si se considera que dicho factor es aún mayor en el espacio circundante al proyecto, compuesto por calles y manzanas con poco o nulo suelo permeable.

A la alta cantidad de suelos impermeables, se suma la presencia de numerosas superficies con inclinación, que terminaron teniendo una influencia sobre el coeficiente global mayor a la esperada. La presencia de estas inclinaciones incluso afectó de forma considerable la absorbencia de los suelos blandos, en específico, los suelos con vegetación perimetrales al proyecto.

Teniendo en cuenta la influencia que las pendientes del sitio tienen sobre el aumento del coeficiente de escorrentía, la selección de materiales de superficies de pisos en proyectos de espacio público en ladera debería darse en función de las pendientes del espacio. Se entiende que, debido a su localización, es común que los espacios públicos en ladera presenten considerables pendientes, que respondan de forma óptima al contexto circundante. Aun así, valdría la pena revisar cómo un cambio en la disposición de las superficies, disminuyendo las pendientes en algunas de estas, podría reducir el caudal de escorrentía, conversión que no se exploró en la presente investigación.

El cambio en el porcentaje de superficies permeables logró reducir en un 28 % el valor del caudal de escorrentía, lo que demuestra el considerable efecto que los suelos permeables pueden tener en la reducción de la escorrentía superficial urbana. Aún así, esto se logró tras pasar de un 31 % de superficies permeables a un 50 % de superficies permeables dentro del área total, es decir, un aumento del 61,29 % del total de estas, lo cual no tuvo en cuenta las consideraciones preexistentes del proyecto, tan solo fue propuesto con fines exploratorios. En futuras investigaciones, se podría analizar de qué maneras puede aumentar el porcentaje de superficies permeables de forma más realista, teniendo en cuenta las condiciones arquitectónicas y urbanísticas actuales del espacio, en lugar de proponerse un aumento abrupto en las superficies permeables.

Se podría analizar con mayor especificidad los tipos de suelos permeables e impermeables, revisando más a fondo la capacidad de absorción según tipo de vegetación en los primeros, y la posibilidad de comparar pavimentos permeables y demás alternativas en los segundos. Se insiste en una mayor integración de suelos verdes, teniendo en cuenta las demás ventajas que este tipo de superficies presentan en zonas urbanas, como son la reducción del efecto isla de calor, o el valor paisajístico y ecosistémico, aparte de que las soluciones basadas en elementos naturales resultan más rentables a la hora de mitigar desastres ambientales [19]. Por último, se considera también interesante la posibilidad de responder a la escorrentía en ladera, mediante el almacenamiento del agua para su aprovechamiento en zonas urbanas, y la revisión de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en estos espacios.

[19] SIATA. Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá [página en Internet]. Medellín: SIATA; 2024 [consultado: 10 de julio de 2024]. Disponible en: https://siata.gov.co/siata_nuevo/

Conclusiones

La investigación analizó el comportamiento de un espacio público de ladera frente a diferentes intensidades de lluvia y porcentajes de superficies permeables. Se calculó el caudal de escorrentía para el estado actual y para escenarios con mayor proporción de suelos permeables. De igual forma, se calculó el caudal con el aumento de la intensidad de lluvia, que se prevé según escenarios de cambio climático. Los resultados mostraron que el aumento propuesto en el porcentaje de superficies permeables logró una reducción del caudal de escorrentía en un 28 %, y que el volumen de escorrentía, aún con la intensidad de lluvia aumentada, fue menor que el volumen de escorrentía con el porcentaje de superficies permeables actuales e intensidad actual.

Las altas pendientes demostraron ser un factor determinante en el aumento del caudal, llegando incluso a incrementar el coeficiente de escorrentía en algunas zonas con suelos permeables. Por ello, es fundamental que en el diseño de espacios públicos en ladera se considere cuidadosamente la influencia de la pendiente y se incorporen suficientes suelos permeables, que ayuden a contrarrestarlo.

De igual manera es importante que en los espacios públicos propuestos a futuro, se tenga en cuenta los efectos que el cambio climático tendrá sobre la lluvia. Esto para asegurar entornos más resilientes que sirvan para mitigar amenazas de origen natural en entornos urbanos, en especial en los más vulnerables.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a los docentes de la asignatura Énfasis en bioclimática, de la facultad de arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.



David Osorio-Díez

Estudiante de arquitectura. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Medellín – Colombia.

E-mail: Dosoriod@unal.edu.co

<https://orcid.org/0009-0001-0650-5697>



Yuri Andrea Hernández-Duque

Arquitecta. Magister en Bioclimática. Docente asociada Universidad de San Buenaventura, Medellín – Colombia.

E-mail: yuri.hernandez@tau.usbmed.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-2172-568X>

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que representen riesgos para la publicación del artículo.

DECLARACIÓN DE LA RESPONSABILIDAD AUTORAL

David Osorio-Díez: Conceptualización, Redacción, Revisión y edición del manuscrito original y de la versión final.

Yuri Andrea Hernández-Duque: Supervisión, Redacción, Revisión y edición del manuscrito original y de la versión final.

Editora:

Dr.C. Arq. Mabel R. Matamoros-Tuma