



Disparidades en la distribución de áreas verdes con respecto a los niveles socioeconómicos de la población de la ciudad de Medellín, para el año 2018.

Laura Vanessa Londoño Cadavid
Carolina Rico Ramírez

Trabajo de grado para optar al título de Administrador Ambiental y Sanitario

Asesor:
Emmanuel Salvador Nieto López
Profesor asociado-FNSP Universidad de Antioquia

Universidad de Antioquia
Facultad Nacional de Salud Pública "Héctor Abad Gómez"
Administración Ambiental y Sanitaria
Medellín
2024

Cita	Londoño Cadavid y Rico Ramírez (1)	
Referencia	(1)	Londoño Cadavid LV, Rico Ramírez C. Disparidades en la distribución de áreas verdes con respecto a los niveles socioeconómicos de la población de la ciudad de Medellín, para el año 2018. [Trabajo de grado profesional]. Medellín, Colombia. Universidad de Antioquia; 2024.
Estilo Vancouver/ICMJE (2018)		



Grupo de Investigación de Salud Ambiental y Seguridad y Salud en el Trabajo.

Grupo de Investigación de Salud y Sociedad.



Biblioteca Salud Pública

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Edwin González Marulanda

Jefe departamento: Luz Mery Mejía Ortega, Luz Helena Barrera Pérez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres y a mi hermana, quienes han sido mi apoyo durante todo este proceso, gracias por su amor incondicional; por creer en mí; por brindarme el ánimo necesario en los momentos difíciles y por ser mi fuente de motivación. Paula Cadavid y José Londoño, no tengo las palabras para agradecerles todo el apoyo, dedicación y amor que me han brindado durante todo este proceso. Gracias por brindarme la mejor educación que me ha traído hasta acá, este logro es por y para ustedes. A Luisa gracias por su apoyo incondicional, constante ánimo y por ser parte fundamental de este logro.

Laura Vanessa Londoño Cadavid

Agradezco y dedico este trabajo de grado con todo mi amor a mi madre Isabel Ramírez que está en el cielo, quien siempre ha sido mi mayor inspiración y fortaleza. Este logro es un homenaje a su memoria, porque sentí su compañía y amor en cada paso y porque fue luz y guía en este caminar lleno de aprendizajes. Agradezco también a mi padre Cesar Rico, quien me ha inculcado la importancia de la educación, la perseverancia y el amor por el conocimiento. Su constante fe en mis capacidades y los sacrificios que ha realizado por mí, han sido fundamentales para que hoy me encuentre logrando este sueño. Agradezco profundamente a mi pareja, por su paciencia, amor incondicional y constante apoyo. Su confianza en mí y sus palabras de aliento me han recordado que siempre soy capaz de lograr lo que me propongo.

Carolina Rico Ramírez

Agradecimientos

Agradecemos al docente Emmanuel Salvador Nieto y a Santiago Mejía; su conocimiento y su orientación han sido muy importantes para el desarrollo de la investigación. Gracias por ser guías en el camino de la educación y por creer en este proyecto tan maravilloso.

Finalmente, nos dedicamos este trabajo de grado a nosotras mismas, por brindarnos compañía y comprensión en los momentos de mayor desafío, por nuestra amistad y apoyo incondicional para hacer de este proceso una experiencia inolvidable. La paciencia, determinación y compromiso nos llevaron a superar cada obstáculo y nos permitieron alcanzar este importante logro.

Tabla de contenido

1. Planteamiento del problema	3
2. Pregunta de investigación.....	9
3. Objetivos	10
3.1 Objetivo general	10
3.2 Objetivos específicos.....	10
4. Justificación	11
5. Marcos	13
5.1 Marco teórico.....	13
5.1.1 <i>Justicia ambiental</i>	13
5.1.2 <i>Índice de pobreza multidimensional (IPM)</i>	16
5.1.3 <i>Áreas verdes urbanas</i>	18
5.1.4 <i>Relación de las áreas verdes y el nivel socioeconómico.</i>	20
5.2 Marco geográfico territorial	24
5.2.1 <i>Condiciones geográficas</i>	25
5.3 Marco normativo y legal.....	29
6. Metodología.....	33
6.1 Tipo de estudio	33
6.2 Área de estudio	33
6.3 Procedimientos de captación de la información	35
6.3.1 <i>Índice de Pobreza Multidimensional</i>	35
6.3.2 <i>Área verde</i>	36
6.3.3. <i>Covariable</i>	38
6.4 Operacionalización de variables.....	38
6.5 Análisis estadístico	39
6.5.1 <i>Análisis univariado</i>	39
6.5.2 <i>Análisis bivariado</i>	40
6.5.3 <i>Análisis multivariado</i>	41
6.5.4 <i>Síntesis análisis estadístico por objetivos</i>	42
7. Consideraciones éticas	44
8. Estrategias de divulgación de resultados	45
9. Aspectos administrativos.....	46
9.1 Cronograma.....	46
9.2 Presupuesto	46
10.1 Análisis univariado.....	47
10.1.1 <i>Índice de Pobreza Multidimensional</i>	47

10.1.2 Áreas verdes.....	51
10.2 Análisis bivariado.....	54
10.2.1 Prueba de normalidad.....	54
10.2.2 Estimación del coeficiente de correlación	55
10.2.3 Áreas verdes según cuartiles de pobreza	56
10.2.4 Regresión lineal simple	56
10.3 Análisis multivariado.....	57
11. Discusión	59
12. Conclusión.....	64
13. Referencias	66

Lista de figuras

Figura 1. Dimensiones e indicadores del Índice de Pobreza Multidimensional (IPM)	18
Figura 2. División Político-Administrativa Urbana y Rural Municipio de Medellín	25
Figura 3. Cerros tutelares de Medellín.	26
Figura 4. Áreas protegidas de Medellín.	27
Figura 5. Corredores verdes de Medellín.	27
Figura 6. Cantidad de árboles sembrados por la Alcaldía de Medellín 2014 – 2020.	28
Figura 7. Siembra de árboles por el AMVA, 2020.	28
Figura 8. División político-administrativa de las comunas y barrios de Medellín.	34
Figura 9. Distribución espacial de IPM por barrio	48
Figura 10. Gráfico de bigotes IPM por barrio.	49
Figura 11. Distribución espacial de IPM por barrio sin exclusión.	50
Figura 12. Índice I de Moran, IPM.	50
Figura 13. Distribución espacial del % de área verde por barrio	52
Figura 14. Gráfico de bigotes, % de área verde por barrio.	53
Figura 15. Índice de I de Moran, % de área verde.	53
Figura 16. Gráfico de nubes de puntos entre el área verde y el IPM.	55
Figura 17. Gráfico de cuartiles de IPM y % de área verde	56
Figura 18. Gráfico de cuartiles de densidad poblacional y % de área verde	58

Lista de tablas

Tabla 1. Marco normativo y legal.....	29
Tabla 2. Operacionalización de variables	38
Tabla 3. Síntesis análisis estadístico por objetivos.....	42
Tabla 4. Cronograma.....	46
Tabla 5. Presupuesto	46
Tabla 6. Medidas de tendencia central y dispersión	47
Tabla 7. Prueba de normalidad IPM y % área verde por barrio.....	54
Tabla 8. Correlación, IPM y % de área verde por barrio.....	55
Tabla 9. Regresión lineal simple de IPM y % de área verde por barrio	57
Tabla 10. Regresión lineal múltiple, IPM, % de área verde y densidad poblacional. 57	

Siglas, acrónimos y abreviaturas

AMVA	Área Metropolitana del Valle de Aburrá
CNPV	Censo Nacional de Población y Vivienda
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DSS	Determinantes sociales de salud
EPA	Environmental Protection Agency
GeoMedellín	Portal Geográfico de Medellín
ICV	Índice de Condiciones de Vida
IPM	Índice de Pobreza Multidimensional
IPM Global	Índice de Pobreza Multidimensional Global
ISGlobal	Instituto de Salud Global de Barcelona
NBI	Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMS	Organización Mundial de la Salud
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SINAP	Sistema Nacional de Áreas Protegidas

Resumen

Este trabajo aborda la relación entre desigualdades sociales y la distribución de áreas verdes en Medellín, destacando la importancia de la justicia ambiental. Se discute cómo las disparidades socioeconómicas afectan el acceso a recursos ambientales. El principal objetivo es determinar las disparidades en la distribución de áreas verdes con respecto a los niveles socioeconómicos de la población según los barrios en la ciudad de Medellín para el año 2018.

Como metodología se plantea un estudio descriptivo de corte transversal y carácter ecológico, soportado en información secundaria, las variables de interés son el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM), las áreas verdes y la densidad poblacional, con estas se realizará un análisis univariado, bivariado y multivariado.

El análisis espacial del IPM y el porcentaje de áreas verdes evidencia una autocorrelación positiva, lo que sugiere que la distribución de estos factores no es aleatoria. Los resultados revelaron una amplia variabilidad en el IPM y el porcentaje de área verde por barrio, reflejando disparidades marcadas. Los barrios con mayores índices de pobreza mostraron consistentemente menos áreas verdes disponibles, una relación respaldada por pruebas estadísticas que indicaron una correlación negativa entre el IPM y el porcentaje de área verde.

El estudio es uno de los primeros en analizar las desigualdades socioeconómicas relacionadas con las áreas verdes en Medellín, proporcionando una base para que los planificadores urbanos y los formuladores de políticas aborden estas desigualdades en futuros planes territoriales. Sin embargo, presenta limitaciones, como la exclusión de ciertos barrios y la falta de consideración de la calidad de las áreas verdes, además sugiere explorar otros factores influyentes.

Palabras clave: Justicia ambiental; Área verde; Índice de pobreza multidimensional; Desigualdad; Disparidad; Distribución.

Abstract

This work addresses the relationship between social inequalities and the distribution of green spaces in Medellín, highlighting the importance of environmental justice. It discusses how socioeconomic disparities affect access to environmental resources. The main objective is to establish disparities in the distribution of green area concerning the socioeconomic levels of the population according to neighborhoods in the city of Medellín for the year 2018.

The proposed methodology is a descriptive cross-sectional ecological study, supported by secondary information. The variables of interest are the Multidimensional Poverty Index (MPI), green areas, and population density. These variables will be used for univariate, bivariate, and multivariate analysis.

The spatial analysis of the MPI and the percentage of green areas shows a positive autocorrelation, suggesting that the distribution of these factors is not random. The results revealed a wide variability in the MPI and the percentage of green area by neighborhood, reflecting marked disparities. Neighborhoods with higher poverty indices consistently showed fewer available green areas, a relationship supported by statistical tests indicating a negative correlation between the MPI and the percentage of green area.

This study is one of the first to analyze socioeconomic inequalities related to green areas in Medellín, providing a basis for urban planners and policymakers to address these inequalities in future territorial plans. However, it has limitations, such as the exclusion of certain neighborhoods and the lack of consideration of the quality of green areas, and it suggests exploring other influencing factors.

Keywords: Environmental justice; Green area; Multidimensional poverty index; Inequality; Disparity; Distribution.

1. Planteamiento del problema

Las desigualdades sociales están relacionadas con la desigualdad ambiental, que es la distribución desigual de las cargas y los recursos ambientales, una problemática que se aborda desde el concepto de justicia ambiental. Este enfoque busca evaluar la asignación de ventajas y desventajas originadas por acciones humanas, las cuales pueden considerarse externalidades entre distintos lugares y segmentos de la población. Estas desigualdades pueden verse intensificadas por los determinantes sociales de la salud (DSS) (1,2).

Los DSS son definidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como "las circunstancias en que las personas nacen crecen, trabajan, viven y envejecen, incluido el conjunto más amplio de fuerzas y sistemas que influyen sobre las condiciones de la vida cotidiana" (3). Es decir, que los DSS buscan entender cómo el contexto socioeconómico, la posición social y los factores conductuales, psicosociales y biológicos actúan sobre la salud de la población.

En este sentido, la pobreza y la desigualdad no solo configuran un entorno que limita el acceso a recursos esenciales, sino que también dificultan alcanzar niveles adecuados de bienestar y progreso económico, social y político. Así, los DSS revelan cómo estas condiciones estructurales e intermediarias mantienen las disparidades que afectan la salud y el desarrollo integral de las comunidades (4).

La degradación ambiental y la distribución desigual de los recursos naturales suele acentuar los problemas de pobreza, ya sea por el agotamiento de los recursos naturales o por las catástrofes ambientales. Los más afectados son quienes están en situación de vulnerabilidad como las personas, grupos y comunidades con poca capacidad de adopción a los impactos ambientales o eventos extremos, ya sea por su edad, género, estado físico o mental, o por situaciones sociales, ambientales, económicas, étnicas y culturales. Estas condiciones dificultan el pleno ejercicio de los derechos reconocidos por el ordenamiento jurídico ante el sistema de justicia (3).

En las ciudades, uno de los recursos naturales de interés, son aquellas áreas verdes como parques, jardines, patios, bosques y toda área abierta que contiene

vegetación y que son esenciales no solo por su valor estético, sino también por su papel en la creación de corredores ecológicos que conectan a las especies con sus hábitats naturales. Estas áreas verdes al encontrarse en las ciudades requieren de intervención humana para su planeación y conservación, por lo que su distribución podría estar influenciada por factores socioeconómicos que conllevan a una accesibilidad desigual a estas áreas verdes (4).

En consecuencia, de lo expuesto, el tema del acceso a las áreas verdes urbanas ha recibido una creciente atención en el análisis de las desigualdades ambientales, especialmente, al considerar que las zonas que tienen menos áreas verdes suelen estar ubicadas en las periferias de las ciudades donde habitualmente se concentra la población con niveles socioeconómicos bajos. Las desigualdades en la disponibilidad de las áreas verdes relacionadas con la segregación socioeconómica son objeto de acción en la toma de decisiones de planificación urbana. Por lo tanto, la concentración de la pobreza en el espacio puede resultar en una exposición dispar a los peligros ambientales y al acceso a los servicios ecosistémicos (5).

La OMS recomienda un acceso universal a los espacios verdes, que debe ser de 10 a 15 m² por habitante, para mitigar los impactos generados por la urbanización. En Europa el 62% de la población vive en zonas con menos áreas verdes de lo recomendado. Por lo cual, la provisión de áreas verdes adecuadas es un desafío debido a que la vivienda, los desarrollos comerciales y la infraestructura de transporte compiten por un espacio limitado. Por lo tanto, la cantidad y la calidad de las áreas verdes frente a la creciente urbanización es un desafío global apremiante, reconocido en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (8–11).

Estudios previos han revelado la existencia de un acceso diferencial a los beneficios y cargas ambientales según el nivel socioeconómico. En México, un estudio demostró claramente esta desigualdad en la distribución de áreas verdes en Ciudad Juárez, encontrando que el 34% de áreas verdes se localizan en áreas habitadas por personas de mayor nivel socioeconómico, mientras que aquellos con menor privilegio económico apenas tienen acceso al 3% (6). De igual manera, en Cali, Colombia, se observó una marcada diferencia en la cantidad de árboles por habitante, dependiendo de las condiciones socioeconómicas de los diferentes barrios (12). Así mismo, en

Bogotá, Colombia, un estudio obtuvo resultados similares, indicando una estrecha relación entre los patrones espaciales de segregación socioeconómica y la baja calidad de vida, con una baja distribución de árboles por persona (13).

En la región Metropolitana del Valle de Aburrá, subregión conformada por diez municipios incluido Medellín capital del departamento de Antioquia; la expansión desorganizada de las áreas urbanas ha generado un conflicto en la conservación y el adecuado desarrollo de áreas verdes, lo cual ha disminuido su potencial ambiental, paisajístico y recreativo para el beneficio de su población (14).

Dentro del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) se identifica una red ecológica urbana compuesta por 2.404 elementos (102 nodos, 824 fragmentos y 1.478 enlaces), que a su vez conforman 43 corredores biológicos, 17 de los cuales están asociados directamente al sistema hídrico, 13 al sistema de movilidad y 13 al sistema artificial y construido. Dichos elementos abarcan cerca de 1.600 hectáreas que representan el 74% de la superficie total de espacio público verde urbano registrado para la región. Esta es una extensión importante de la cual se perdieron cerca de 84 hectáreas en el periodo 2006 - 2011 (4% del área total de red), debido al desarrollo de nuevas construcciones (15).

La rápida expansión experimentada por Medellín forma parte de un fenómeno que tuvo lugar a lo largo del siglo XX, donde las ciudades recibieron una gran afluencia de personas y se generaron espacios urbanos desproporcionados, incluyendo la urbanización de laderas. Como resultado de la proliferación del crecimiento informal, numerosos sectores periféricos se incorporaron a las áreas urbanas en condiciones de extrema marginalidad y vulnerabilidad económica, social, política y ecológica (16).

De este modo en Medellín para el 2011 nace BIO 2030 como un plan de carácter estratégico, que, bajo el concepto de urbanismo y planeación territorial sostenible, amplía el horizonte de planificación urbana al año 2030. Se trata de una propuesta de planificación que propone la conformación de una red de corredores ecológicos configurada por todas las áreas y corredores que sostienen y conducen la biodiversidad, los procesos ecológicos esenciales y el suministro de servicios ambientales a través del territorio urbano, suburbano y rural en miras de fortalecer las

funciones ecológicas y ambientales en las áreas verdes públicas. La intención es recuperar porciones importantes de áreas verdes y altas densidades de arbolado urbano, proteger la cobertura vegetal nativa, el hábitat para la fauna y el incremento de la actividad biológica (17).

Luego en el 2014 el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) (18), para la ciudad de Medellín, se propuso establecer una ciudad compacta, para mejorar las áreas verdes urbanas y promover una movilidad sostenible. En sus apartados se evidencia el enfoque en un modelo de ocupación compacta y policéntrica, renovando áreas estratégicas a lo largo del río, consolidando la relación entre lo urbano y lo rural, y creando conexión regional de oriente a occidente.

Según la Secretaría de Medio Ambiente de la ciudad de Medellín, desde 2018 se viene ejecutando la propuesta de organizar 30 corredores verdes para lograr la conexión de vías, quebradas, cerros y parques de la ciudad que estarán distribuidos en 3.000 hectáreas conformados por 18 ejes viales, 12 cuencas de quebradas, los cerros Nutibara, El Volador y La Asomadera. Además, en el Plan de Desarrollo 2020-2023, se trata el concepto de “Eco ciudad”, a partir del cual se espera lograr aumentar las áreas verdes por habitantes y el número de árboles en zonas urbanas mediante el desarrollo de estrategias de aprovechamiento y recuperación ambiental del espacio urbano, en todas sus áreas verdes y ecosistemas urbanos estratégicos (19,20).

Sin embargo, la distribución del espacio público y las áreas verdes urbanas entre los distintos barrios ha mostrado que no todos los habitantes tienen cerca áreas verdes, pues mientras que algunos sectores de la ciudad concentran grandes extensiones, otros carecen completamente de ellos. Además, de acuerdo con información del año 2020 del “proyecto de adecuación y conservación de áreas verdes y senderos ecológicos de Medellín”, se reconoce que la ciudad cuenta con 4m² de espacio público verde por habitante y acorde con el estándar definido por la OMS se debe contar como mínimo con 10m²; es decir que se tiene un déficit de 6m² de espacio público verde por habitante (8,11,21–22).

Adicional a la problemática anterior, en Medellín se reconocen varios problemas relacionados con las áreas verdes, como la falta de conectividad ecológica, la

distribución desequilibrada del espacio público verde y un alto índice de daños mecánicos a la flora urbana, representando una amenaza para la población y la infraestructura. Además, se registran numerosas solicitudes de tala y poda por parte de la comunidad, lo que aumenta el riesgo de deterioro progresivo de las áreas verdes públicas (23).

El crecimiento de la población y las altas concentraciones de habitantes en los centros urbanos de la ciudad de Medellín presenta importantes retos para la planificación del espacio urbano, en cuanto a la necesidad de satisfacer la demanda de infraestructura. Esta realidad ha demostrado la necesidad de enfrentar el gran desarrollo industrial y urbanístico de Medellín, el impacto generado por el uso y ocupación del suelo y los problemas asociados al espacio público y a la preservación del patrimonio natural (14).

Aunque se tiene información de lo que se ha planeado en materia de áreas verdes para la ciudad de Medellín, los informes acerca de los resultados y/o avances son ambiguos. En los hallazgos se identifica que 3.000 personas han sido impactadas con los procesos de sensibilización sobre buenas prácticas ambientales y cuidado de las áreas verdes y públicas; en desarrollo de la intervención de los corredores verdes de Medellín asociados a los retiros o zonas aledañas a las quebradas. Si bien, estas acciones se han adelantado en 13 de las 16 comunas de Medellín, no hay evidencia de cuáles son las comunas intervenidas y las razones de su elección (19).

Además, aunque se presenta información acerca de las actividades de mantenimiento y conservación de 4.000.000 de m² de los corredores verdes en donde se sembraron 8.965 individuos arbóreos (incluyendo 4.209 árboles, 3.003 arbustos y 1.753 palmas), no se especifica claramente cómo se distribuyen estas plantaciones entre las diferentes comunas (19).

Bajo el panorama anterior y con el objetivo de encontrar posibles estudios sobre desigualdades socioeconómicas asociadas a las áreas verdes en Medellín, se realizó una búsqueda en distintas bases de datos y plataformas como Scielo, Pubmed e ISGlobal. De esta búsqueda, se identificó únicamente una reseña periodística que cita un estudio llevado a cabo por investigadores del Research in Spatial Economics, y del

Centro de Estudios Urbanos y Ambientales de EAFIT, ambos pertenecientes a la red internacional Peak Urban liderada por la Universidad de Oxford. No obstante, al no tener acceso al documento oficial del estudio, la única información disponible sobre el tema de interés es la proporcionada por la nota periodística de EAFIT que presenta los resultados de la investigación, afirmando que en la ciudad de Medellín las zonas más desfavorecidas en términos socioeconómicos tienen menor cantidad de áreas verdes (24).

Bajo un panorama en donde se encuentra que la relación de áreas verdes y desigualdades socioeconómicas aún no ha sido estudiada en detalle para la ciudad de Medellín y en un contexto de notable aumento de los estudios sobre áreas verdes y niveles socioeconómicos en otros lugares del mundo, surge la necesidad de preguntarnos por dicha relación a partir del siguiente interrogante: ¿En qué magnitud se presentan disparidades en la distribución de áreas verdes con respecto a los niveles socioeconómicos de la población en la ciudad de Medellín, para el año 2018?

2. Pregunta de investigación

¿En qué magnitud se presentan disparidades en la distribución de áreas verdes con respecto a los niveles socioeconómicos de la población en la ciudad de Medellín, para el año 2018?

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar las disparidades en la distribución de áreas verdes con respecto a los niveles socioeconómicos de la población según los barrios en la ciudad de Medellín para el año 2018.

3.2 Objetivos específicos

3.2.1 Describir la distribución espacial del Índice de Pobreza Multidimensional por los barrios de la ciudad de Medellín para el año 2018.

3.2.2 Describir la distribución espacial de las áreas verdes por los barrios de la ciudad de Medellín para el año 2018.

3.2.3 Establecer la asociación entre la distribución de las áreas verdes y el Índice de Pobreza Multidimensional en los barrios de la ciudad de Medellín para el año 2018.

4. Justificación

Cada vez se está prestando más atención a la evidencia que vincula el nivel socioeconómico con la distribución de las cargas y los recursos ambientales como causantes de desigualdad. En este contexto, la presencia o ausencia de áreas verdes en Medellín actúa como un factor protector o de riesgo para sus habitantes, dependiendo de su acceso a estas áreas.

Entender la relación entre el nivel socioeconómico y las exposiciones ambientales en varios niveles se vuelve fundamental, ya que proporciona información sobre qué grupos poblacionales se ven más afectados o beneficiados. Esta información es fundamental para introducir criterios o propósitos de igualdad a los procesos de planeación de la ciudad, especialmente en un contexto donde el desarrollo de zonas urbanas está estrechamente relacionado con el deterioro de los recursos naturales (25).

Medellín es una ciudad con una población diversa en términos socioeconómicos y enfrenta un crecimiento constante en la densificación de las viviendas urbanas, pues en el 2016, la ciudad contaba con 824.807 viviendas y para el 2019 la cifra aumentó a 886.293, reflejando un rápido desarrollo. En este contexto de ciudad densificada, la desigualdad socioeconómica en el área urbana de la ciudad de Medellín se puede ver manifestada a través del coeficiente de Gini del 2019 que da un valor de 0,56. Esto ha puesto en consideración el concepto de justicia socioambiental, dado que se evidencian marcadas diferencias en la distribución espacial de la riqueza y de los recursos naturales (26,27).

Aunque múltiples investigaciones a nivel mundial han llegado a la conclusión de que existe una disparidad espacial en el acceso a áreas verdes urbanas, en el contexto específico de Colombia, y particularmente en la ciudad de Medellín, persisten vacíos significativos en nuestro conocimiento al respecto. Actualmente, se carece de estudios que aborden de manera integral las áreas verdes en Medellín y su relación con los niveles socioeconómicos (6,7,12,28–31).

Dado este escenario, Medellín es un espacio de estudio interesante para explorar el tema de justicia ambiental al ser una ciudad que se caracteriza por un constante crecimiento y aumento en la densificación urbana y poblacional, presentando desigualdades socioeconómicas bastante notorias. Además, es reconocida como una de las ciudades de Colombia que más le apuesta a ser verde y biodiversa a través de las diversas intervenciones realizadas para la construcción de nuevas áreas verdes urbanas (18).

En este contexto, el año 2018 se presenta como el año ideal de referencia para realizar la investigación en la ciudad de Medellín, debido a la disponibilidad de información del IPM por barrio, de las áreas verdes y del más reciente censo del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Esta elección permite basar los análisis en cifras actualizadas y confiables, lo que es fundamental para comprender la situación de Medellín en términos de las áreas verdes y desigualdad socioeconómica.

Por otra parte, el Programa de Administración Ambiental y Sanitaria se vincula a esta problemática al abordar temas como la gestión del medio ambiente, la sostenibilidad urbana y la igualdad en la distribución de recursos naturales, elementos claves para la salud pública. La formación en este programa busca contribuir en la reducción de las desigualdades socioeconómicas que impactan negativamente en la salud de la población, promoviendo un acceso a áreas verdes y a entornos saludables. Esto es esencial para mejorar la calidad de vida, prevenir enfermedades y fortalecer el bienestar general de las comunidades, especialmente en las zonas más vulnerables de Medellín.

Este estudio sería uno de los primeros en analizar la relación entre los niveles socioeconómicos y a las áreas verdes urbanas en Medellín. Esto lo convierte en un caso relevante para explorar un aspecto poco estudiado de la justicia ambiental urbana, representando una valiosa oportunidad para abordar una significativa brecha en la investigación sobre justicia ambiental en el contexto particular de una ciudad como Medellín.

5. Marcos

5.1 Marco teórico

5.1.1 *Justicia ambiental*

El debate sobre justicia ambiental surgió en los años setenta, a causa de los movimientos sociales que se oponían a la desigual distribución espacial de los residuos peligrosos de las industrias contaminantes en los Estados Unidos. El Diccionario de Geografía Humana establece inicialmente la definición de justicia ambiental como un “un movimiento social que considera que la justicia social y la política ambiental son fundamentalmente inseparables” (32,33)

Por esta época aparece un cambio en el enfoque del movimiento ambientalista, pasando de la conservación de la vida silvestre a la preocupación por los grupos más vulnerables afectados por la contaminación y la depredación de recursos naturales. Este cambio lleva a un movimiento social por la justicia ambiental, buscando una distribución equitativa de cargas y beneficios (34).

En 1991, la "primera cumbre de líderes ambientales de personas de color" se establecieron principios de justicia ambiental, exigiendo autodeterminación, responsabilidad de productores, compensación para las víctimas, participación igualitaria y entornos laborales saludables. En Estados Unidos la Environmental Protection Agency (EPA), responde creando una "oficina de justicia ambiental" y en 1994 la orden ejecutiva obliga a las agencias federales a abordar la justicia ambiental, identificando impactos desproporcionados, aplicando estándares en áreas vulnerables y promoviendo la participación pública (35–37).

La EPA define la justicia ambiental como “el trato justo y la participación significativa de todas las personas sin importar su raza, color, origen nacional ni ingresos en relación con el desarrollo, la aplicación y el cumplimiento de las leyes, los reglamentos y las políticas ambientales” (38).

En Europa, a pesar de la relevancia del derecho ambiental, el debate sobre justicia ambiental ha sido menos prominente, centrándose más en la situación socioeconómica que en el origen racial anteriormente analizado por los Estados Unidos. En el ámbito global, el debate se ha extendido a reclamos contra gobiernos y corporaciones, especialmente en foros internacionales relacionados con el comercio y el cambio climático. En este punto se empieza a reconocer la inequidad en la afectación de los países más pobres (39–42).

El debate sobre justicia ambiental se ha desarrollado en tres ejes conceptuales: raza u origen étnico en Estados Unidos, condición socioeconómica en Europa, y diferencias entre países desarrollados y en desarrollo a nivel internacional. El elemento común es la existencia de disparidades en la distribución de cargas y beneficios ambientales en las comunidades, ya sea a nivel nacional o internacional (41).

Robert D. Bullard, considerado el padre de la justicia ambiental, expone que la justicia ambiental es el principio bajo el cual:

Todos las personas, grupos y comunidades tienen igual derecho a la protección medioambiental y a las leyes y regulaciones de salud pública... y cuando cualquier política, práctica o directiva afecte de manera diferente o ponga en desventaja (ya sea de manera intencionada o no) a cualquiera de estos, se puede hablar de racismo medioambiental... siendo ésta una forma de injusticia medioambiental implementada por las instituciones gubernamentales, legales, económicas, políticas y militares (43).

Algunos movimientos indican que la concepción de justicia ambiental no debe limitarse únicamente a las injusticias en la distribución, sino que debe abarcar aspectos como el reconocimiento, la participación y las capacidades. El alcance de la justicia ambiental se evidencia en un proyecto político que incorpore cuestiones de distribución y de reconocimiento cultural, participación política, capacidades y funcionamiento (44).

Por lo cual la equidad y la imparcialidad son fundamentales en la justicia ambiental, lo que significa que se busca asegurar procesos y resultados equitativos.

Esto implica no solo proporcionar igualdad de oportunidades en la planificación y la toma de decisiones, sino también garantizar imparcialidad en la distribución de los efectos resultantes (2).

El concepto de justicia ambiental no puede dissociarse del concepto de justicia espacial, que incorpora las consideraciones de justicia social. La noción de justicia espacial tiene similitudes con la justicia ambiental, ya que ambas comparten un enfoque común de evaluar cómo se distribuyen los beneficios y perjuicios generados por acciones humanas, muchas de las cuales pueden considerarse externalidades, entre distintos lugares y grupos de población (2,44).

Considerando lo anterior, la justicia ambiental se entiende como la equidad en la distribución de los beneficios y las cargas ambientales en la sociedad. Esta entiende que algunas poblaciones están sometidas a mayor riesgo de contaminación ambiental que otras, sufren más perjuicios ambientales, y están excluidas del acceso a los procesos de formulación y toma de decisiones. En un sentido más amplio, la justicia ambiental implica garantizar que todas las personas, independientemente de su raza, clase social o ubicación geográfica, tengan el mismo derecho a vivir en un entorno seguro, saludable y sostenible (2).

Algunos movimientos sociales asociados al concepto de justicia ambiental responden a aquellas poblaciones expuestas a una mayor contaminación ambiental y a riesgos como la erosión, la deforestación y la contaminación de los ríos, causados por la alteración a los elementos naturales. Otros movimientos, buscan la equidad al destacar que ciertas poblaciones sufren más daños ambientales debido a su proximidad a infraestructuras contaminantes, como plantas de tratamiento, vertederos y fábricas. Además, existen movimientos que están más ligados a las luchas de ciertas poblaciones que son excluidas de los procesos de toma de decisiones relacionados con su entorno ambiental (45).

La justicia ambiental urbana examina las ramificaciones de la distribución de la población en entornos urbanos, considerando tanto la distribución de los problemas ambientales como las disparidades en el acceso a los beneficios ambientales de la ciudad. Al igual que los efectos negativos del medio ambiente, las funciones

beneficiosas proporcionadas por áreas verdes urbanas, también se distribuyen de manera desigual en la población. Por lo tanto, la justicia ambiental urbana no solo se centra en cómo los impactos ambientales negativos afectan de manera desigual a diferentes grupos sociales, sino también en cómo se distribuyen de manera desigual los aspectos positivos del entorno entre la población (46).

Investigaciones realizadas previamente en entornos urbanos han aportado experiencia en la evaluación de la justicia ambiental, utilizando métodos y tecnologías para operativizar este concepto. Estos esfuerzos han destacado la necesidad de ahondar en el tema, subrayando la importancia de desarrollar instrumentos de medida para responder de manera rigurosa a preguntas cruciales sobre la equidad socioambiental. Respuestas bien fundamentadas a estos interrogantes pueden orientar decisiones correctivas o compensatorias, resaltando la imperiosa necesidad de abordar la justicia ambiental como un componente esencial en la formulación de políticas y estrategias de desarrollo (44).

5.1.2 Índice de pobreza multidimensional (IPM)

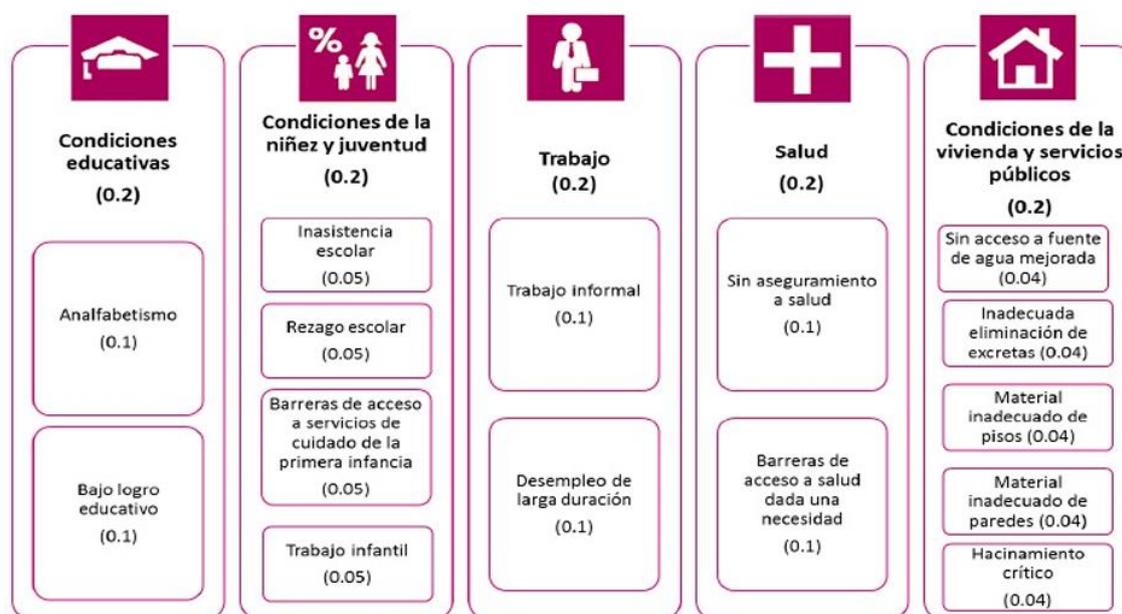
Habitualmente la pobreza se ha venido midiendo en función de la privación de ingresos, utilizando indicadores asociados a la línea de pobreza. Sin embargo, en años recientes, se ha conceptualizado que la pobreza va más allá de la privación de ingresos, constituyéndose en una problemática más compleja y multidimensional. En este contexto, para el análisis de pobreza, surge la necesidad de utilizar medidas multidimensionales, ya que permiten identificar las múltiples carencias que enfrentan simultáneamente los hogares, ofreciendo una visión integrada y detallada (47,48).

El Índice de Pobreza Multidimensional Global (IPM Global) refleja tanto la incidencia como la intensidad de la pobreza multidimensional. Esta herramienta flexible y adaptable permite comparaciones a nivel global y regional, y ha sido adoptada por varios países para desarrollar un IPM nacional como una estadística oficial para medir la pobreza multidimensional. Es por tanto que para el año 2011, en Colombia se empezó a implementar la medición de la pobreza a través del IPM, ya

que captura una gama más amplia de factores que afectan la calidad de vida de las personas (47,48) .

El IPM, surgió para abordar las limitaciones de los índices multidimensionales previamente utilizados, como el Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), el Índice de Condiciones de Vida (ICV) y el Índice de Focalización del Gasto Social (SISBEN). Aunque estos índices han sido útiles, presentan deficiencias en cuanto a la representación y evaluación integral de la pobreza. Una de las principales ventajas del IPM es que permite focalizar a los grupos poblaciones con múltiples carencias y en base a esto permite hacer el diseño y el seguimiento de políticas públicas destinadas a la reducción de la pobreza. Sin embargo, su metodología y cálculo pueden resultar complejos (47).

En este contexto, el IPM es un indicador compuesto que abarca cinco aspectos de la calidad de vida. Su valor radica en la capacidad para evaluar diversas dimensiones de la pobreza que pueden experimentar en un hogar. Las cinco dimensiones que lo conforman y se evalúan a nivel de hogar son: 1) condiciones educativas, 2) situaciones durante la infancia y juventud, 3) estado de salud, 4) empleo y 5) condiciones de vivienda y servicios públicos. Estas dimensiones se desglosan en 15 indicadores. Además, se utiliza una ponderación equitativa en las dimensiones, es decir, que cada una tiene el mismo peso (20%) en el índice y cada indicador tiene el mismo peso al interior de cada dimensión. De esta manera se considera que un hogar está en situación de pobreza multidimensional si presenta carencias en al menos 5 variables (equivalentes al 33% de las privaciones) (49,50).

Figura 1. Dimensiones e indicadores del Índice de Pobreza Multidimensional (IPM)

* Nota. Fuente: DANE - Pobreza Multidimensional, resultados 2020 (51).

5.1.3 Áreas verdes urbanas

En el “plan maestro de espacios públicos verdes urbanos de la región metropolitana del Valle de Aburrá” (14) podemos encontrar que las áreas verdes se refieren a aquellos lugares donde la naturaleza, las coberturas vegetales o las plantaciones con propósitos ornamentales prevalecen en el entorno urbano. Estos lugares están caracterizados por la presencia de vegetación y pueden ser reconocidas como parques, plazas, plazoletas, áreas laterales de corredores viales, zonas de vegetación alrededor de cuerpos hídricos y áreas de especial interés ecológico como los bosques urbanos, así como jardines y antejardines. A una escala amplia, estas áreas se presentan como bosques periurbanos o metropolitanos, mientras que, a una escala más reducida, conforman la red verde de la ciudad y en conjunto, constituyen las áreas públicas verdes.

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial logra hacer una aproximación similar al concepto definiendo las áreas verdes urbanas como aquellas superficies brutas de espacio público cuya cobertura predominante está constituida por vegetación y entre las cuales se pueden destacar los parques y jardines públicos, alamedas y corredores viales, cauces de aguas, rondas de los ríos y también áreas

sociales de carácter privado pero con acceso a segmentos significativos de la población. Por otro lado, La Secretaría de Medio Ambiente de Medellín, define el área pública verde como “el área libre revegetalizada y/o arborizada destinada al ornato o a la recreación, de libre acceso para todas las personas, por ser de propiedad común de la colectividad” (14).

El concepto de área verde va más allá del reconocimiento de ser espacios delimitados con fines solamente estéticos y recreativos y pasa a ser pensado como áreas de gran importancia porque proporcionan beneficios tanto de índole social como ambiental. El reconocimiento de estos beneficios ha llevado a que la OMS contemple las áreas verdes como un medio para mejorar la calidad de vida urbana y por tanto reconoce la necesidad del acceso a estos espacios definiendo la obligatoriedad de 10 a 15 m² de espacio verde por habitante en la ciudad. Lo anterior con el fin de garantizar la normativa requerida para salvaguardar la continuidad y el equilibrio de la calidad de vida de los residentes en las áreas urbanas (8,11,52,53).

Partiendo de la evidencia científica de que las áreas verdes ofrecen grandes beneficios para la salud pública, el ODS número 11.7 de las Naciones Unidas afirma que las áreas verdes y espacios públicos en las ciudades ofrecen oportunidades para mejorar la salud física y psicológica, la calidad de vida de los habitantes, el fortalecimiento de comunidades, la oportunidad de acceder a una vida sana y la transformación de espacios en lugares más atractivos para el disfrute de la sociedad. Este objetivo se centra en la provisión de áreas verdes de manera universal, segura, inclusiva y accesible resaltando la importancia de asegurar la conservación de las áreas verdes y espacios públicos en las ciudades (54).

La definición más común de área verde describe las áreas con vegetación que involucran servicios ecosistémicos; esto servicios ecosistémicos están vinculados con la mitigación de la exposición a peligros ambientales como la contaminación del aire y las temperaturas extremas. Además de concebir las áreas verdes urbanas como toda área abierta que contenga vegetación, al encontrarse en las ciudades se hace necesario resaltar que requieren de la intervención humana para su planeación, éxito, y conservación (7,55).

Existen diferentes metodologías que combinan técnicas y tecnológicas, geoespaciales y de observación directa para identificar las áreas verdes. Una de ellas son los Sistemas de Información Geográficos (SIG), los cuales son herramientas que permiten la recopilación, almacenamiento, análisis y visualización de datos geoespaciales, es decir, que integran información espacial (incluyen coordenadas) y no espacial (características), facilitando la representación y análisis de fenómenos que tienen una dimensión geográfica (56–58).

Los SIG son muy importantes para la gestión ambiental y la salud pública, ya que permiten obtener información precisa y actualizada sobre el territorio, los recursos naturales, la biodiversidad y, la vigilancia y la monitorización de eventos en salud. En otras palabras, un análisis basado en SIG permite realizar diagnósticos detallados de la situación de salud ambiental en un territorio. Esto se debe a que se pueden considerar factores que influyen en los estilos de vida de la población, así como variables ambientales, aspectos culturales, económicos, entre otros (57–59).

Dentro del marco de la investigación, los SIG permiten identificar y analizar las áreas verdes en Medellín, relacionándolas con el IPM. Al mapear esta información, se pueden observar patrones de la distribución de áreas verdes en diferentes contextos socioeconómicos.

5.1.4 Relación de las áreas verdes y el nivel socioeconómico.

Las desigualdades socioeconómicas y la disparidad en la distribución de áreas verdes públicas son temas estrechamente relacionados y de creciente importancia en la investigación contemporánea. A nivel mundial, diversos estudios han evidenciado una relación entre la presencia de áreas verdes y las desigualdades sociales.

El Instituto de Salud Global de Barcelona (ISGlobal) (60) se caracteriza por la investigación científica en dos áreas; por un lado, las enfermedades infecciosas y, por otro, las enfermedades no transmisibles y el medio ambiente. De nuestro interés es la segunda área, la cual está en el programa de “medio ambiente y salud a lo largo del ciclo de vida”. Este programa tiene múltiples investigaciones principalmente en Europa

y está compuesto por tres grupos de investigación; uno de “infancia y medio ambiente”; otro de “enfermedades no transmisibles”; otro de “medio ambiente y radiación”.

Las investigaciones realizadas por ISGlobal (61) en cuanto a las áreas verdes se caracterizan por un enfoque multidisciplinario y su objetivo de comprender cómo la presencia y accesibilidad de áreas verdes en entornos urbanos impactan diversos aspectos de la salud física, mental y cardiovascular de las personas desde la infancia hasta la vejez; a través de estudios epidemiológicos y análisis de datos geoespaciales. Además, también examina cómo la distribución de áreas verdes puede afectar a diferentes grupos socioeconómicos, investigando si existe equidad en el acceso, tema de interés en esta investigación.

En un estudio realizado en la zona central de Lodz, Polonia se obtuvo como resultado que la existencia de disparidades socioeconómicas en el acceso a las áreas verdes, ocurren como un fenómeno a microescala; es decir, para un grupo de edificios, un vecindario o una comunidad. Según los resultados, las disparidades a microescala en la disponibilidad de áreas verdes están vinculadas a patrones espaciales de segregación socioeconómica que se dan a pesar de la heterogeneidad de la ciudad. Estos hallazgos aportan al análisis de cómo las políticas locales de vivienda influyen en las desigualdades en el acceso a áreas verdes, la justicia ambiental y la segregación socioeconómica en las ciudades de Europa central y oriental (29).

Como se mencionó anteriormente, en Alemania se han realizado estudios que están en línea con los resultados descritos. En Berlín, por ejemplo, se identificó que la mayoría de los subdistritos cumplen con el umbral de 6 m² de áreas verdes urbanas por habitante, pero la distribución no es equitativa. Los distritos exteriores, tienen grandes cantidades de áreas verdes urbanas, mientras que los distritos del centro tienen menos áreas verdes urbanas y una alta densidad de población. Además, los inmigrantes y las personas mayores están distribuidos de manera desigual, con inmigrantes concentrados en el centro y personas mayores en las periferias (30).

En el estudio realizado en Ruhr, Alemania, se analizó la temperatura superficial, el índice de vegetación (NDVI) y la proporción de habitantes no alemanes. Se encontró

una alta autocorrelación espacial para estos indicadores. Las altas temperaturas se concentran en los distritos centrales densamente poblados, mientras que la cobertura vegetal es mayor en las zonas rurales. La proporción de no alemanes es mayor en los centros urbanos y menor en las áreas rurales. La correlación negativa entre el estatus social (no alemán) y la cobertura vegetal varía significativamente entre ciudades, siendo más fuerte en Essen y más débil en Dortmund. La relación entre la temperatura superficial y no alemanes es ambigua, con variaciones significativas entre ciudades (62).

Dos estudios realizados en China destacan que la desigualdad en la distribución y accesibilidad de las áreas verdes urbanas varían según el contexto urbano y el nivel socioeconómico. El estudio realizado en 254 ciudades mostró una baja accesibilidad general a las áreas verdes, con una relación desigual entre la oferta y la demanda y es más evidente en ciudades con altos precios de vivienda. Por otro lado, la investigación centrada en Zhengzhou reveló que las comunidades periféricas tienen menos acceso a áreas verdes y que existe una correlación negativa entre precios de alquiler y exposición a estos espacios; es decir que, una comunidad con un precio de vivienda más alto generalmente disfruta de una baja exposición a las áreas verdes (28,63).

En Oslo, Noruega, se llevó a cabo un estudio que reveló que, a pesar del perfil verde de la ciudad se evidencian patrones claros de desigualdad ambiental que corresponden a patrones de desigualdad socioeconómica. Este análisis se centró en la identificación de áreas azules, cómo lagos, ríos o fiordos; áreas verdes, cómo jardines, árboles de calle, parques y bosques, y en los peligros ambientales como la contaminación del aire y peligro de calor. Los subdistritos que tienen ingresos bajos y poca cobertura de área verdes se localización en sectores específicos de la ciudad; en contraste, los subdistritos con ingresos más altos y mayor acceso a áreas verdes se concentran en una zona opuesta, evidenciando una disparidad histórica asociada a la división espacial que ha perpetuado la segregación socioeconómica (7).

En América Latina, el interés por este tipo de investigaciones ha ido en aumento. En línea con esta tendencia, un estudio realizado en Santiago de Chile tuvo como objetivo conocer la superficie total de áreas verdes de la ciudad evaluando

diversos atributos. Se demostró que las áreas verdes de Santiago de Chile presentan una distribución desigual en términos de superficie, tamaño y accesibilidad, lo cual está vinculado al nivel socioeconómico de la población. En concreto, se observó que a medida que aumenta el ingreso de los hogares, también lo hace la superficie total de áreas verdes, junto con su tamaño y accesibilidad (31).

En el contexto mexicano, un estudio examinó la distribución de áreas verdes públicas en relación con las condiciones socioeconómicas de la población. Para llevar a cabo este análisis, se empleó tanto la cartografía oficial como una cartografía generada a partir de un índice socioeconómico propuesto. Se creó un indicador específico adaptado a las particularidades de Ciudad Juárez, incorporando cuatro variables que abarcan aspectos como educación, acceso a servicios de salud, características de la vivienda y disponibilidad de servicios. Los resultados de este estudio destacaron una marcada desigualdad en la distribución de las áreas verdes públicas en relación con las condiciones socioeconómicas de la población de Ciudad Juárez, establecidas según las categorías del índice socioeconómico (7).

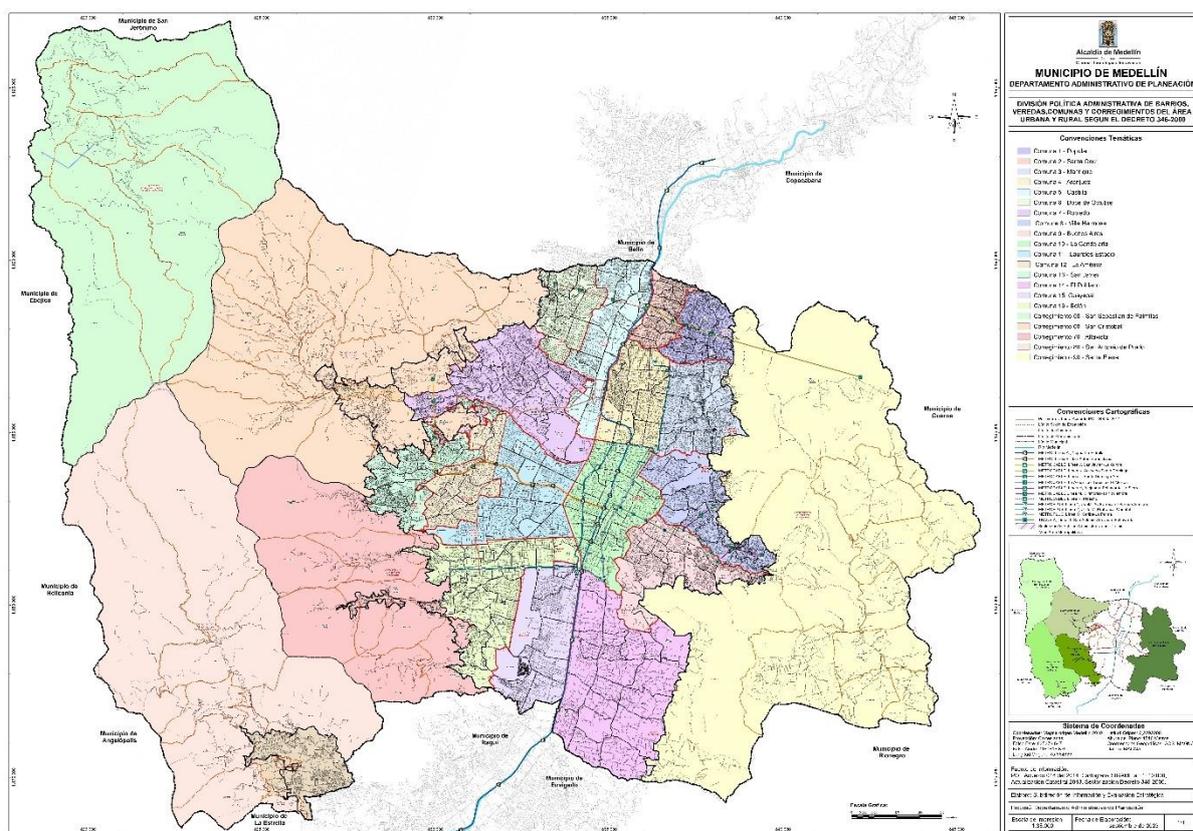
Investigaciones sobre la asociación entre las desigualdades socioeconómicas y las áreas verdes urbanas aún son escasas en Colombia. De los pocos estudios que se han llevado a cabo con aproximación a las desigualdades socioeconómicas y las áreas verdes, son los realizados en Cali y en Medellín por la red internacional Peak Urban liderada por la Universidad de Oxford. La investigación realizada en Medellín reveló que las zonas más desfavorecidas en términos socioeconómicos en la ciudad cuentan con una menor cantidad de áreas verdes. Por otro lado, el estudio de Cali, al investigar la relación entre los espacios verdes y las disparidades de salud, incluyó el nivel socioeconómico como una covariable. Los resultados indicaron que el verdor del vecindario está asociado con una mejor salud y que sus beneficios parecen ser mucho más fuertes para las personas que viven en lugares con un nivel socioeconómico medio a alto (12,24).

5.2 Marco geográfico territorial

El área de estudio comprende el municipio de Medellín, esta ciudad está en la región noroccidental de Colombia, sobre la cordillera central a 1.479 metros sobre el nivel del mar, específicamente en el Valle de Aburrá, subregión conformada por diez municipios. Su territorio abarca una extensión de 111,61 km² de suelo urbano, 263,04 km² de suelo rural y 1,75 km² de suelo de expansión. La principal cuenca hídrica de la ciudad es el río Medellín, que cruza de sur a norte la ciudad, y la temperatura promedio de la zona es de aproximadamente 24°C (64).

Medellín es capital del Departamento de Antioquia, se constituye como el ente territorial núcleo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y su territorio limita al norte con San Jerónimo, Bello y Copacabana, al este con Guarne y Rionegro, al sur con Retiro, Envigado, Itagüí y La Estrella y al oeste con Heliconia, Angelópolis y Ebéjico (65).

El municipio está dividido político-administrativamente por 16 comunas en la zona urbana: Popular, Santa Cruz, Manrique, Aranjuez, Castilla, Doce de Octubre, Robledo, Villa Hermosa, Buenos Aires, La Candelaria, Laurales – Estadio, La América, San Javier, El Poblado, Guayabal, y Belén, los cuales agrupan 249 barrios. Además, a nivel rural cuenta con 5 corregimientos: San Sebastián de Palmitas, San Cristóbal, Altavista, San Antonio de Prado, y Santa Elena, los que agrupan 54 veredas (64).

Figura 2. División Político-Administrativa Urbana y Rural Municipio de Medellín

* Nota. Fuente: Alcaldía de Medellín - Catalogo cartográfico de Medellín (66).

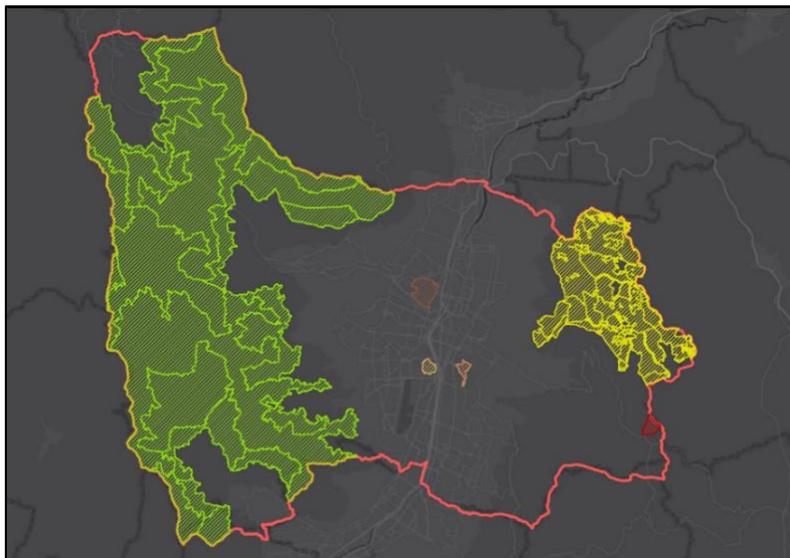
5.2.1 Condiciones geográficas

El Valle de Aburrá tiene una forma alargada de 35km aproximadamente y se ensancha en su parte media 7km aproximadamente. La topografía del terreno de Medellín es montañosa en su mayor parte y corresponde a la cordillera Central, con alturas que alcanzan los 3.000 metros sobre el nivel del mar, en donde se destacan los cerros El Volador, Nutibara, Pan de Azúcar y Picacho, que se sobresalen en el paisaje urbano. Estas montañas que rodean a Medellín generan una variedad de microclimas, cascadas, bosques y lugares de gran valor paisajístico y ecológico (65).

Figura 3. Cerros tutelares de Medellín.

*Nota. Fuente: El Colombiano (67).

En Antioquia para el 2021 se habían declarado 102 Áreas Protegidas, de las cuales, 16 se encuentran en la subregión del Valle de Aburrá; de esas, solo siete se localizan en suelo urbano, y 6 de estas áreas protegidas con declaratoria e inscritas en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) están en la jurisdicción de Medellín, estas son la Reserva Forestal Protectora del Río Nare es de carácter nacional; el Distrito de Manejo Integrado Divisoria Valle de Aburrá - Río Cauca es de carácter regional; el Parque Natural Regional Metropolitano Cerro El Volador, el Área de Recreación Parque Ecológico Cerro Nutibara y el Área de Recreación Parque Ecológico Cerro La Asomadera son de carácter metropolitano; y la Reserva de la Sociedad Civil Montevivo. Estas áreas protegidas están subdivididas en zonas de restauración, uso sostenible, preservación y restauración, que corresponden a 80,25 hectáreas (68,69).

Figura 4. Áreas protegidas de Medellín.

* Nota. Fuente: Alcaldía de Medellín - Catalogo cartográfico de Medellín (69).

De igual manera, desde 2018 se viene ejecutando la propuesta de organizar 30 corredores verdes para lograr la conexión de vías, quebradas, cerros y parques de la ciudad.

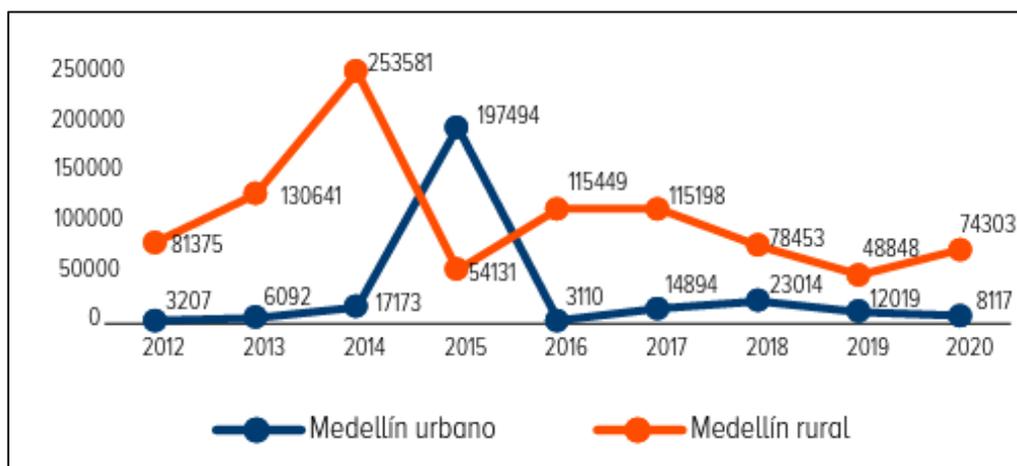
Figura 5. Corredores verdes de Medellín.

* Nota. Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial 2014 - 2027 (70).

La siembra de árboles permite mejorar la calidad ambiental del Valle de Aburrá y mejorar los espacios públicos verdes, disminuir el déficit arbóreo urbano y fortalecer ecosistemas estratégicos de la región. En 2020, en Medellín se sembraron 82.420

árboles por la Secretaría de Medio Ambiente de Medellín, 74.303 en suelo rural (90,2%) y 8117 por suelo urbano (9,8%), comparando las cifras históricas las siembras de árboles se han centrado en el área rural (71).

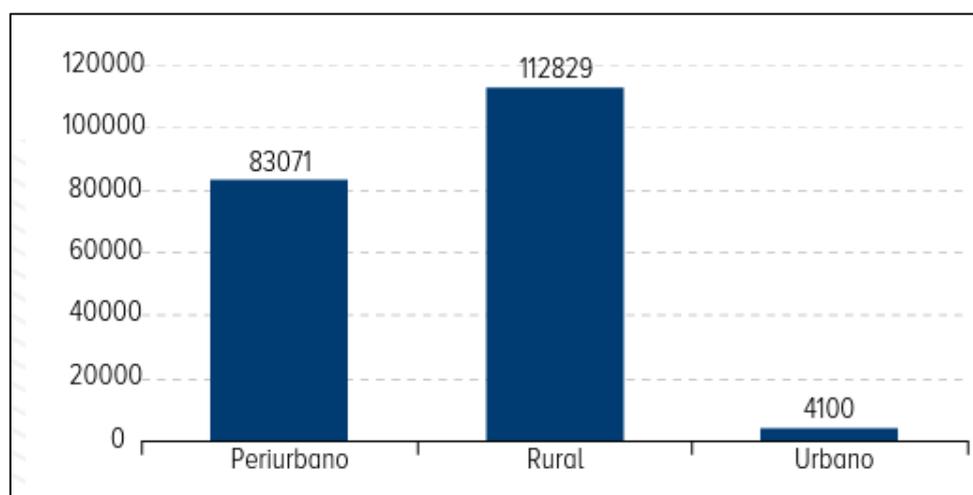
Figura 6. Cantidad de árboles sembrados por la Alcaldía de Medellín 2014 – 2020.



* Nota. Fuente: Medellín Cómo Vamos. Informe de Calidad de Vida de Medellín de 2020 (71).

Por otro lado, el AMVA (71), en conjunto con los 10 municipios del Valle de Aburrá, en el 2020 sembraron 200.000 árboles, 112.829 árboles en zonas rurales (56%), 83.071 en áreas periurbanas (42%) y 4.100 en zonas urbanas (2%).

Figura 7. Siembra de árboles por el AMVA, 2020.



* Nota. Fuente: Medellín Cómo Vamos. Informe de Calidad de Vida de Medellín de 2020 (71).

5.3 Marco normativo y legal

En la tabla 1 se presenta la recopilación de convenios, acuerdos y/o tratados internacionales adoptados por Colombia en materia de áreas verdes. Esta información es precedida por la legislación más significativa respecto a las áreas verdes dentro del territorio colombiano y finalmente se presenta la recopilación de la legislación establecida para el AMVA y para Medellín.

Tabla 1. Marco normativo y legal.

Norma / Requisito y/o Convenio	Objeto / Argumento
Internacional	
Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) - Objetivo 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles	Adoptados por las Naciones Unidas en 2015, esta agenda establece 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para abordar desafíos globales, incluyendo el ODS 11, que se enfoca en hacer que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, donde las áreas verdes y espacios públicos son fundamentales para lograr este objetivo (72).
Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, Cumbre de la Tierra, 1992	Su objetivo principal fue abordar los desafíos ambientales y de desarrollo sostenible a nivel global. La conferencia subrayó la relación entre el desarrollo sostenible y la conservación de los recursos naturales, incluyendo las áreas verdes, para garantizar un futuro más saludable y equitativo para todos (73).
Convenio de Diversidad Biológica	Este es un acuerdo internacional que fue adoptado durante la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992. El cual promueve la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos naturales, lo que incluye la protección y restauración de áreas verdes (74).
Metas Aichi hacen referencia al cumplimiento del Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020	Consiste sobre 20 metas agrupadas en cinco objetivos estratégicos, planteados para los 196 países firmantes del Convenio de Biodiversidad. Este tiene el propósito de detener la pérdida de la naturaleza, así como el soporte vital de todas las formas de vida en el planeta (75).

Norma / Requisito y/o Convenio	Objeto / Argumento
Agenda 21	Es un plan de acción global para el desarrollo sostenible que fue adoptado en la Cumbre de la Tierra de 1992. En la Sección II. Conservación y gestión de los recursos para el desarrollo, se especifica nuestro tema de interés en los apartados de lucha contra la deforestación y conservación de la diversidad biológica (76).
Acuerdo de París, tratado internacional sobre el cambio climático, 2015	Es un tratado internacional sobre el cambio climático adoptado en 2015 durante la COP21 en París. Aunque no se enfoca directamente con las áreas verdes, está estrechamente relacionado con la conservación y la promoción de estas como parte de una estrategia global para enfrentar los desafíos ambientales (77).
Nacional	
Constitución Política de Colombia (1991)	Art 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. Art 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución (78).
Ley 99 de 1993 “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones”	Establece el marco general para la gestión ambiental en Colombia. Contiene disposiciones relacionadas con la conservación de áreas verdes y la protección de ecosistemas (79).
Ley 388 de 1997. “Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones”	Esta ley regula la planificación urbana y el ordenamiento territorial en Colombia. Contiene disposiciones que promueven la creación y conservación de áreas verdes en entornos urbanos y rurales, en el artículo 8. Acción Urbanística (80).
Decreto 1504 de 1998. “Por el cual se reglamenta el manejo del	Establece la protección de la integridad del espacio público y por su destinación al uso común. En cuanto las áreas verdes establecen en el artículo 25: los parques y áreas verdes que tengan el

Norma / Requisito y/o Convenio	Objeto / Argumento
espacio público en los planes de ordenamiento territorial"	carácter de bienes de uso público no podrán ser encerrados en forma tal que priven a la ciudadanía de su uso, goce, disfrute visual y libre tránsito. Y de igual manera se genera una sanción si esto pasa según el artículo 28 (81).
Local	
Resolución 1510 de 2009, Acuerdo 327 de 2009, Resolución 510 de 2009, Resolución 857 de 2011, Resolución 511 de 2009 y Resolución 0185 de 2005	Declaración de áreas protegidas de Medellín (82).
Decreto 2119 de 2011 "Por medio del cual se reestructura el Comité de Silvicultura Urbana y Paisajismo para el Municipio de Medellín y se adoptan otras determinaciones"	El Comité de Silvicultura Urbana y Paisajismo es organismo asesor del Municipio de Medellín y de sus entes descentralizados, con el objeto de orientar el sistema de espacios públicos verdes del municipio de Medellín, en cumplimiento al derecho al ambiente sano consagrado en la Constitución Política (83).
Acuerdo 23 de 2012 "Por el cual se establece para nuestra ciudad, la Política Pública de "Medellín Ciudad Verde y Sostenible"	La política pública de "Medellín Ciudad Verde y Sostenible" se coordina con otras políticas ambientales del Municipio, para implementar soluciones integrales a los problemas ambientales y para alcanzar el desarrollo ambientalmente sostenible del Municipio de Medellín. Uno de los indicadores ambientales a seguir para el logro del cumplimiento y desarrollo de la política, es el crecimiento de áreas verdes urbanas y rurales (84).
Acuerdo 48 de 2014 "Por medio del cual se adopta la revisión y ajuste de largo plazo del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín y se dictan otras disposiciones complementarias"	El Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín 2014 contiene los objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas adoptadas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo (18).
Acuerdo 47 de 2015 "Por medio del cual se institucionaliza la estrategia para la generación y mantenimiento de espacios públicos que propicien la compensación arbórea y de suelo	A partir de esta estrategia se busca reservar y conservar las áreas verdes, los recursos naturales y el entorno medioambiental; asegurar la sostenibilidad medioambiental y la estructura ecológica; generar nuevas áreas verdes en los entornos urbanos y rurales del municipio de Medellín, crear cultura para la protección del

Norma / Requisito y/o Convenio	Objeto / Argumento
verde en el municipio de Medellín”	entorno ecológico y medioambiental entre las personas de la ciudad y procurar porque el desarrollo de la ciudad sea sostenible ecológicamente (85).
Acuerdo metropolitano No 19 de 2017 “Por el cual se adoptan lineamientos y determinaciones en torno a la gestión del espacio público verde urbano, se crea el Fondo Verde Metropolitano y se reglamenta la reposición por tala autorizada de árboles en el área urbana del Valle de Aburrá”	Promoción y fomento para conservar, restituir, incrementar y sostener el espacio público verde urbano. Los entes territoriales que integran el Área Metropolitana del Valle de Aburrá promoverán la conservación, restitución, incremento y sostenibilidad del espacio público verde, especialmente en las áreas urbanas donde se registran índices deficientes que afectan sustancialmente la calidad ambiental del territorio (86).
Acuerdo 106 de 2018 “Por medio del cual se establecen los lineamientos para la preservación y restauración de los ecosistemas estratégicos de Medellín”	Establece los lineamientos para la preservación y restauración de los ecosistemas estratégicos en el Municipio de Medellín, de acuerdo con la normatividad vigente, propendiendo por la preservación y conservación de los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas urbanos y rurales existentes en el territorio (87).
Decreto 0598 de 2019 “Por medio del cual se define el manejo y protección para la preservación de los Árboles y Palmas, Patrimonio Natural y Cultural del Municipio de Medellín y se asignan unas funciones”	Tiene como objeto definir el manejo y protección para la preservación de los Árboles y Palmas, Patrimonio Natural y Cultural del Municipio de Medellín y asignar a la Secretaría de Medio Ambiente o la entidad que haga las veces, su implementación, así como la realización del inventario y su actualización (88).
Acuerdo 2 de 2020 CONMED “Por medio del cual se adopta el Plan de Desarrollo de Medellín - Medellín Futuro 2020 – 2023”	El presente Plan de Desarrollo municipal tiene como referentes directrices globales como los ODS. Además, contiene una propuesta para lograr tener una ecociudad a través de diferentes estrategias en donde se incluye el aumentando el área verde por habitante y el número de árboles en zonas urbanas (89).

6. Metodología

6.1 Tipo de estudio

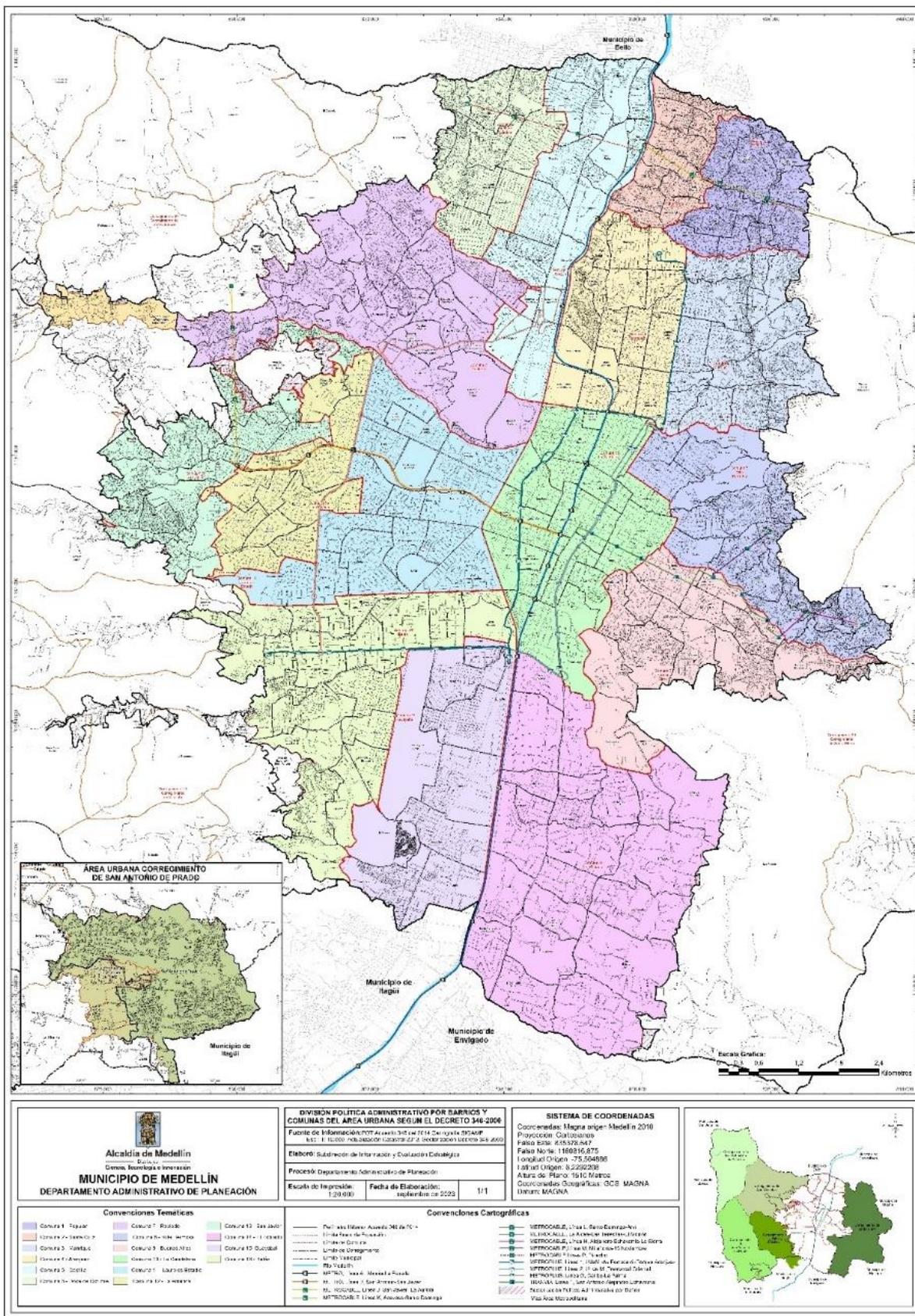
Se plantea un estudio descriptivo de corte transversal, soportado en información secundaria del año 2018 del IPM, procedente del DANE, y las áreas verdes, procedentes de la “actualización de redes ecológicas” del AMVA y las “coberturas terrestres” del Portal Geográfico de Medellín (GeoMedellín). Es un estudio de carácter ecológico que asume como unidad de análisis los barrios de la ciudad de Medellín.

6.2 Área de estudio

El estudio se realizó en un área de 195 barrios de los 249 barrios que tiene registrados la ciudad de Medellín en las comunas Popular, Santa Cruz, Manrique, Aranjuez, Castilla, Doce de Octubre, Robledo, Villa Hermosa, Buenos Aires, La Candelaria, Laurales – Estadio, La América, San Javier, El Poblado, Guayabal y Belén.

Los 195 barrios que fueron seleccionados para la investigación disponen de información completa sobre las dos variables principales del estudio y la covariable de interés. De los 54 barrios excluidos, 4 presentaban ausencia de datos sobre población y 50 no presentaban datos sobre la cobertura de área verde. La exclusión de estos barrios fue necesaria, ya que por un lado no era pertinente tener en cuenta barrios sin población, debido a que el interés es el nivel socioeconómico de las personas, y por otro lado tampoco era pertinente que, para el caso de las áreas verdes, la ausencia de información fuera considerada como valor cero, cuando en realidad representa un valor nulo (65).

Figura 8. División político-administrativa de las comunas y barrios de Medellín.



* Nota. Fuente: Alcaldía de Medellín - Catalogo cartográfico de Medellín (90).

6.3 Procedimientos de captación de la información

6.3.1 Índice de Pobreza Multidimensional

El IPM es una medida que reconoce que la pobreza no solo se trata de la falta de ingresos, sino también de la falta de acceso a servicios básicos y otras condiciones de vida esenciales (91).

Como se ha señalado en la sección anterior, el IPM lo componen cinco dimensiones con ponderaciones de 0,2 cada una: 1) condiciones educativas del hogar; 2) condiciones de la niñez y la juventud; 3) trabajo; 4) salud; 5) acceso a servicios públicos y domiciliarios y condiciones de la vivienda. Cada dimensión está compuesta por indicadores que suman un total de 15 variables, las cuales a su vez son ponderadas de modo tal que para cada dimensión sumen la ponderación correspondiente de 0,2. La métrica del IPM tiene un dominio que va de 0 a 100, el cual expresa el porcentaje de privación de los hogares en la unidad poblacional respectiva. De modo que si un hogar registra al menos un 33,3% de privaciones se considera en situación de pobreza multidimensional (49,92).

Si bien, el IPM mide la pobreza multidimensional por hogar, el DANE proporciona esta información a nivel manzana para el municipio de interés. Esto hace posible la transformación de la información de IPM disponible a nivel de manzana, en una medida de pobreza multidimensional por barrios, que es la unidad de análisis del presente estudio.

Para obtener el IPM por barrio, se utilizó una base de datos de la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia. Esta base de datos fue construida empleando datos del IPM de la ciudad de Medellín proporcionados por el DANE, obtenidos a partir del Censo Nacional de Población y Vivienda del 2018, para obtener el promedio de IPM por barrio de acuerdo con los datos extraídos por manzana. El promedio se obtuvo considerando el número de manzanas dentro de cada barrio y el valor de IPM correspondiente a cada una de ellas. De esta manera, los valores de IPM de todas las manzanas dentro de un barrio se sumaron y se

dividieron por la cantidad total de manzanas en ese barrio; así, el valor resultante se asignó como el promedio de IPM de cada barrio.

6.3.2 Área verde

El portal geográfico metropolitano del AMVA (93) permite a los usuarios visualizar, buscar o descargar información geoespacial para el ordenamiento territorial que puede permitir la realización de investigaciones en cada uno de los municipios pertenecientes al AMVA. La última actualización de las redes ecológicas del área metropolitana registrada en mapa en la base de datos del geoportal, corresponde al año 2020. Aunque estos datos fueron tomados por su gran relevancia para nuestro análisis en el contexto de las áreas verdes, fue necesario incorporar información complementaria del portal geográfico del municipio de Medellín GeoMedellín.

GeoMedellín (94) como portal reúne toda la información de las dependencias de la Alcaldía de Medellín con referente geográfico, para ser descargada en formato editable (GDB, shape y KML) con sus respectivos metadatos y atributos. Dentro de las diferentes temáticas con información, se encuentra “ambiente y desarrollo sostenible” que contiene los datos abiertos espaciales del inventario de zonas verdes urbanas tomando como base la ortofotografía de alta resolución del distrito.

La ortofotografía hace referencia a una imagen aérea o satelital en la que se produce una proyección ortogonal del terreno, similar a un mapa tradicional, lo que garantiza que la imagen conserve toda su información original mientras adquiere las propiedades geométricas de un plano cartográfico. Este proceso, que se da gracias a la ortorectificación y georreferenciación, es fundamental para el presente estudio, ya que garantiza que la imagen represente con precisión la realidad del terreno, eliminando cualquier distorsión espacial (95).

GeoMedellín, mediante la ortofotografía, realizó el inventario de zonas verdes urbanas, en el cual cada polígono fue clasificado según tipologías de espacios verdes urbanos definidos en el “manual de silvicultura urbana para Medellín (2015)” y en el “POT 2014”. El polígono prioritario fue delimitado considerando criterios del entorno

natural y construido, excluyendo copas de árboles o elementos de piso duro. Las áreas verdes fueron georreferenciadas y dibujadas con un nivel de detalle superior a 4m² maximizando la calidad estética o cartográfica de estas representaciones. (96).

Estas fuentes fueron seleccionadas considerando su carácter institucional y la calidad de la información que ofrecen para el análisis de las áreas verdes en Medellín. Esto garantizó que la información proporcionada fuera precisa y confiable, cumpliendo así con los objetivos de la investigación.

Para la caracterización y la descripción de las áreas verdes en términos de composición y distribución para el presente estudio, se utilizó QGis 3.32. Con la disponibilidad de las capas vectoriales de la actualización de redes ecológicas del AMVA y las coberturas terrestres de GeoMedellín, se integraron ambas bases de datos para obtener un vector de áreas verdes más completo. Esto se realizó por medio del algoritmo unión de QGis el cual comprueba la superposición entre los objetos espaciales, donde los objetos espaciales de cada capa se dividen en su superposición con los objetos espaciales de la otra, creando una capa que contiene todas las partes de las capas de entrada y de superposición. Se utilizó esta función, ya que solo se requería el polígono (vector) y no la información que contenía la tabla de atributos.

Para identificar: 1) el área total de áreas verdes por barrio, se utilizó la calculadora de campos de QGis tomando como referencia la unión vectorial de la actualización de redes ecológicas del área metropolitana, las coberturas terrestres y la división político administrativa de Medellín por barrios; y 2) el porcentaje de áreas verdes dentro del área total del barrio, se determinó la relación geométrica entre el área total de áreas verdes en cada barrio y la división político administrativa de Medellín por barrios, también utilizando la calculadora de campos de QGis. Este proceso consistió en dividir área total de zonas verdes entre el área de cada barrio correspondiente, y el resultado se multiplicó por 100 para obtener el porcentaje.

6.3.3. Covariable

La covariable densidad poblacional describe el número de personas en un área específica, siendo una opción valiosa para analizar las variaciones en la distribución de la población. Este concepto se centra en la relación cuantitativa entre la cantidad de población y la extensión territorial, y se expresa comúnmente en términos de habitantes por kilómetro cuadrado (Hab/km²). Es importante resaltar, que la distribución de población en el territorio no es uniforme, debido a que en ella influyen factores relacionados con las condiciones físicas, geográficas, ambientales y socioeconómicas (97).

Para obtener la densidad poblacional por barrio, se tomaron los datos del DANE de las proyecciones de población de Medellín a nivel de barrio, del Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) 2018, y se agregó el área en km² de cada barrio. De esta manera la densidad poblacional se obtuvo dividiendo el número de personas por barrio sobre el área total del barrio. Esto permitió incorporar esta covariable en el estudio para identificar cómo es la distribución de la población en los barrios de Medellín y cómo esto se relaciona con las áreas verdes.

6.4 Operacionalización de variables

Tabla 2. Operacionalización de variables

Variable	Categorías	Naturaleza	Nivel de medición
Índice de Pobreza Multidimensional (IPM)	Continua	Cuantitativa	Intervalo
	Categoría	Cualitativa	Nominal
Áreas verdes	Continua	Cuantitativa	Razón
	Categoría	Cualitativa	Nominal
Densidad poblacional	Continua	Cuantitativa	Razón

6.5 Análisis estadístico

6.5.1 Análisis univariado

Se realizó un análisis descriptivo de los datos recolectados en relación con el IPM, la densidad poblacional y las áreas verdes considerando como unidad de análisis el barrio. Este análisis univariado permitió estudiar por separado cada una de las variables de la siguiente manera:

- Índice de Pobreza Multidimensional: en este punto se realizó un análisis de las medidas de tendencia central y dispersión para el IPM de la ciudad de Medellín.
- Áreas verdes: para la caracterización de las áreas verdes se obtuvo la superficie total de áreas verdes por barrio y el porcentaje de áreas verdes dentro del área total del barrio. Sobre la base de esta información, se realizó un análisis de las medidas de tendencia central y dispersión para porcentaje de área verde de la ciudad de Medellín.
- Covariable: a la densidad poblacional se le realizó un análisis de las medidas de tendencia central para la ciudad de Medellín.

Este análisis estadístico se acompañó con la descripción espacial de las variables IPM y áreas verdes. Para facilitar la interpretación de los resultados, se elaboró un mapa de calor que ofrece una representación gráfica espacial de los datos. Este mapa utiliza una escala de colores para ilustrar visualmente el IPM y los porcentajes de área verde. La escala de colores muestra la distribución de las variables de interés, variando de colores claros para los valores más bajos hasta colores más oscuros para los valores más altos, según la división por cuartiles del conjunto de datos.

Las variables de interés se dividieron en cuartiles utilizando la función cuartil de Excel que permite dividir el conjunto de datos en cuatro partes iguales, permitiendo así analizar la distribución y dispersión de los datos de manera más detallada.

A efectos de establecer patrones de distribución espacial de las dos variables, se realizó un análisis de autocorrelación espacial mediante la estimación del índice I de Moran. Dicho índice toma valores entre -1 y 1, de modo que los valores cercanos a -1 indican una fuerte autocorrelación espacial negativa, donde los valores altos de la variable tienden a estar cerca de valores bajos de la misma; los valores cercanos a +1 indican una fuerte autocorrelación positiva, con marcado patrón espacial en donde los valores altos son vecinos de valores altos y los valores bajos vecinos de los valores bajos. El valor cero es indicativo de ausencia de autocorrelación espacial, lo cual significa la ausencia de patrón espacial o distribución aleatoria de la variable.

6.5.2 Análisis bivariado

Este análisis se realizó para las dos variables de interés, IPM y áreas verdes, así como para la covariable, densidad poblacional. Inicialmente se estima la matriz de correlación de los valores continuos de las tres variables. La correlación entre cada par de variables está determinada por el coeficiente de correlación de Spearman, con su respectivo valor P de significancia estadística del 5%. El coeficiente de correlación varía entre -1 y +1, donde una correlación igual a 0 significa ausencia de relación, con lo cual las variables analizadas son independientes. Así, los análisis de correlación permiten observar la fuerza y la dirección de la correlación.

Sabremos que tendremos una correlación directa (positiva) si el coeficiente de correlación es de signo positivo, pues en este caso cuando una variable aumenta la otra también aumenta o cuando una de ellas disminuye la otra también lo hace. Por otro lado, se determina una correlación inversa (negativa) si el coeficiente de correlación es de signo negativo, pues en este caso cuando una variable aumenta la otra disminuye o cuando una variable disminuye la otra aumenta. Entre más cercano a -1 o +1, mayor es la fuerza de la asociación.

La matriz de correlación está acompañada de gráficos de nubes entre el área verde y las otras dos variables, a fin de establecer visualmente el sentido y el tipo de relación entre cada par de variables. Luego de estimar la matriz de correlación, se procedió a categorizar las dos variables de interés, estableciendo niveles bajos,

medios, moderados y altos de pobreza multidimensional y porcentaje de áreas verdes teniendo en cuenta la división por cuartiles.

6.5.3 Análisis multivariado

La relación entre el porcentaje de área verde por barrio y pobreza multidimensional se ajustó mediante el análisis multivariado con la covariable de densidad poblacional. Para los efectos se corrió un modelo de regresión lineal múltiple, tomando como variable dependiente el área verde por barrio (Y_i) y como variables independientes los registros por barrio del Índice de Pobreza Multidimensional (IPM_i) y la densidad poblacional (DPI_i). Con i igual a barrios, el modelo asume la siguiente forma:

$$Y_i = \alpha + \beta_1 IPM_i + \beta_2 DPI_i + u_i$$

El resultado de interés recae sobre el valor del β_1 asociado a la pobreza multidimensional. El signo positivo o negativo del coeficiente indica si la relación es directa o inversa. Su magnitud informa de la variación de Y_i asociada a la variación unitaria del IPM.

Los parámetros del modelo se estimaron mediante el procedimiento de mínimos cuadrados ordinarios, que hace mínima la distancia entre los valores de la variable y la recta de regresión. La bondad de ajuste del modelo de regresión lineal múltiple se inspeccionó con base en el coeficiente de determinación R^2 . Este coeficiente se mueve entre cero y uno, informando de la proporción de la variabilidad de Y_i explicada por las variables independientes del modelo, de modo que, entre más cercano a uno, mayor su capacidad explicativa. Tanto para los parámetros de las covariables como para el R^2 se estableció significancia estadística con valor $P=5\%$.

6.5.4 Síntesis análisis estadístico por objetivos

Tabla 3. Síntesis análisis estadístico por objetivos

Objetivo	Variables involucradas	Prueba o método estadístico
<p>1) Describir la distribución espacial del índice de pobreza multidimensional por barrios de la ciudad de Medellín para el año 2018.</p>	<p>Índice de Pobreza Multidimensional (IPM)</p>	<p>Se llevó a cabo un análisis univariado que consistió en examinar las medidas de tendencia central y dispersión para el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM). Este análisis se respaldó mediante la representación visual a través de mapas de calor. Con el objetivo de identificar patrones de distribución espacial, se ejecutó un análisis de autocorrelación espacial mediante la estimación del índice I de Moran.</p>
<p>2) Describir la distribución espacial de las áreas verdes por barrios de la ciudad de Medellín para el año 2018.</p>	<p>Áreas verdes</p>	<p>Se llevó a cabo un análisis univariado donde se obtuvo la superficie total de áreas verdes por barrio y el porcentaje de área verde dentro del área total del barrio. Además, se llevó a cabo un análisis detallado de las medidas de tendencia central y dispersión, considerando los barrios de la ciudad de Medellín. Este análisis se respaldó visualmente mediante la utilización de mapas de calor. Con el objetivo de identificar patrones de distribución espacial, se ejecutó un análisis de autocorrelación espacial mediante la estimación del índice I de Moran.</p>
<p>3) Establecer la asociación entre la distribución de las áreas verdes y el índice de pobreza multidimensional en los barrios de la ciudad de Medellín para el año 2018.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) • Áreas verdes • Densidad Poblacional 	<p>Se llevó a cabo un análisis bivariado donde se estimó una matriz de correlación de los valores continuos de las variables. La correlación entre cada par de variables se determinó por el coeficiente de correlación de Spearman. A fin de establecer visualmente el sentido y el tipo de relación entre cada par de variables, se realizó un gráfico de nubes entre el área verde y las otras dos variables. Luego se categorizaron las variables de interés (Áreas verdes e IPM), estableciendo niveles bajos, medios, moderados y altos.</p> <p>También se realizó un análisis multivariado para la relación entre el porcentaje de área verde por barrio y pobreza multidimensional,</p>

Objetivo	Variables involucradas	Prueba o método estadístico
		<p>se ajustó con la covariable de densidad poblacional. Para los efectos se corrió un modelo de regresión lineal múltiple, tomando como variable dependiente el área verde por barrio (Y_i) y como variables independientes los registros por barrio del índice de pobreza multidimensional (IPM_i) y la densidad poblacional (DPI_i). Con i igual a barrios, el modelo asume la siguiente forma:</p> $Y_i = \alpha + \beta_1 IPM_i + \beta_2 DPI_i + u_i$ <p>Los parámetros del modelo se estimaron mediante el procedimiento de mínimos cuadrados ordinarios. El ajuste del modelo de regresión lineal múltiple se inspeccionó con base en el coeficiente de determinación R^2.</p>

7. Consideraciones éticas

En el desarrollo de este proyecto de investigación, se ha priorizado la transparencia a lo largo de todo el proceso, desde la identificación de la fuente de los datos hasta el análisis, con el objetivo de fortalecer la confianza en la integridad de la investigación. Por lo cual, se puede afirmar que este trabajo se realizó sin riesgos significativos, respaldando así la integridad y responsabilidad ética en la investigación.

De acuerdo con el artículo 11 de la resolución 8430 de 1993, este estudio se clasifica dentro de las investigaciones sin riesgo, las cuales son estudios que emplean técnicas y métodos de investigación documental retrospectivos y aquellos en los que no se realiza ninguna intervención o modificación intencionada de las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los individuos que participan en el estudio, entre los que se consideran: revisión de historias clínicas, entrevistas, cuestionarios y otros en los que no se le identifique ni se traten aspectos sensitivos de su conducta (98).

En el proyecto no se previó un riesgo para las personas, dado que se realizó un estudio de descriptivo de corte transversal, el cual utilizó las bases de datos de entidades oficiales del nivel nacional y municipal. Se tomó como referencia la resolución 8430 de 1993 por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud destacando los siguientes artículos:

- “Artículo Nro. 2. Se pidió aprobación del proyecto en cuanto a los aspectos éticos de la investigación al comité de ética de investigación de la Facultad Nacional de Salud Pública” (98).
- “Artículo Nro. 8. La divulgación de los resultados nunca se realizó de forma puntual hacia algún individuo, estas siempre se hicieron de manera general sin incluir nombres, su identidad siempre será confidencial” (98).

8. Estrategias de divulgación de resultados

Como parte de la estrategia de divulgación de resultados, se llevará a cabo una presentación de los resultados obtenidos en la investigación en el Grupo de Desarrollo de Salud y Ambiente, Grupo de Desarrollo de Salud y Sociedad, y en eventos académicos nacionales o locales, así mismo se llevará a cabo la publicación del artículo en revistas indexadas. Esta iniciativa tiene como objetivo compartir de manera detallada y contextualizada los hallazgos significativos de la investigación, proporcionando una plataforma para el intercambio de conocimientos.

9. Aspectos administrativos

9.1 Cronograma

Tabla 4. Cronograma

Actividad	Semanas																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Recopilación de datos	■	■																
Análisis estadístico			■	■	■	■												
Mapeo geoespacial y procesamiento en Qgis						■	■	■	■									
Análisis de resultados										■	■	■						
Discusión y conclusiones													■	■	■			
Ajustes finales																■	■	
Presentación final de resultados del proyecto																		■

9.2 Presupuesto

Tabla 5. Presupuesto

Concepto	Descripción	Valor (COP)
Equipo y tecnología	Computador	2'000.000
	Memoria USB	40.000
	Disco duro externo	300.000
Honorarios profesionales	Asesor	4'400.000
	Experto en Qgis	300.000
	Investigadoras principales	5'400.000
Papelería, servicios de internet y demás	Internet y llamadas telefónicas	
	Fotocopias	200.000
	Solicitud de documentos	
Total		12'640.000

10. Resultados

En esta sección se presentan los hallazgos obtenidos a partir del análisis de la distribución de áreas verdes en relación con los niveles socioeconómicos de la población en los barrios de la ciudad de Medellín para el año 2018.

10.1 Análisis univariado

El análisis de los datos revela un panorama diverso del área urbana del municipio de Medellín. La amplia variabilidad en el IPM, con valores que van desde 0,73 hasta 58,65, indican una disparidad significativa en los niveles de pobreza entre los diferentes barrios. El porcentaje de área verde por barrio muestra una dispersión considerable, con valores entre 0,05 % y 64,58 %, destacando las desigualdades en cuanto a áreas verdes dentro del entorno urbano. Por otro lado, la densidad poblacional varía desde 121,89 hasta 78.154,12 habitantes por kilómetro cuadrado (Hab/km²), señalando diferencias significativas en la concentración de población en diferentes áreas del municipio. A continuación, se presenta la tabla 6 que reúne las variables de interés:

Tabla 6. Medidas de tendencia central y dispersión

	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar
IPM	0,73	58,65	13,74	11,15	10,70
Área verde por barrio (%)	0,05	64,58	13,78	10,16	12,67
Densidad poblacional (Hab/km²)	121,89	78154,12	24835,74	21563,68	16306,85

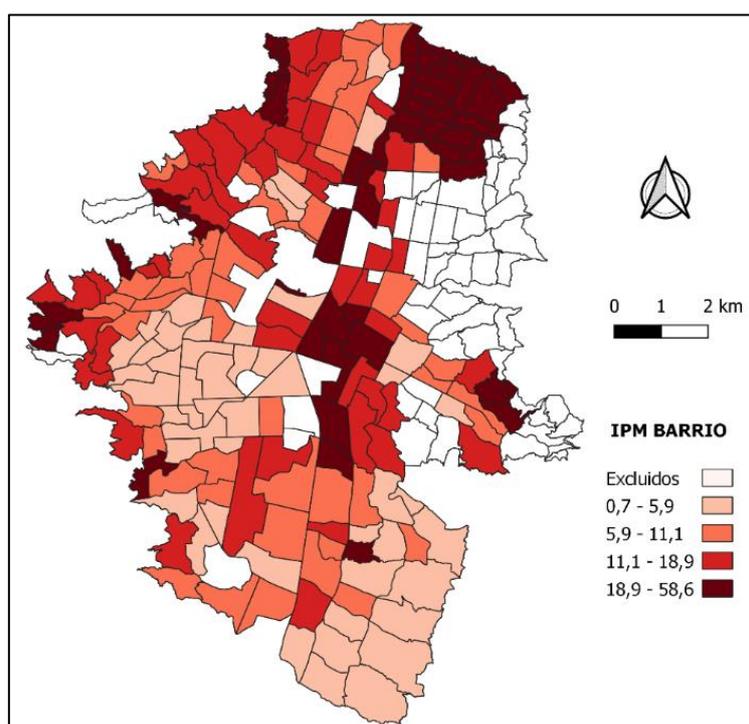
10.1.1 Índice de Pobreza Multidimensional

Los mapas presentados a continuación muestran la distribución espacial del IPM (Figura 9) y el porcentaje de área verde (Figura 13) en los barrios del municipio de Medellín. Estos mapas proporcionan una visión integral de las desigualdades y las áreas verdes en la ciudad, reforzando los resultados anteriormente descritos.

El IPM considera múltiples dimensiones de pobreza que van más allá de los ingresos, ofreciendo una visión comprensiva de las condiciones de vida y las carencias que enfrentan las familias. Como se mencionó anteriormente, este varía en un rango de 0,7 a 58,6%. La representación visual de estos resultados se realizó por medio de un mapa de calor (Figura 9). En este mapa, los barrios con menor pobreza, identificados con un color rojo claro, presentan un IPM entre 0.7 a 5,9%, estos se concentran principalmente en la zona suroriental, centroccidental y suroccidental, destacándose Santa María de Los Ángeles como el barrio con el IPM más bajo.

Los barrios con un IPM entre 5,9 a 11,1% representados con un rojo un poco más oscuro, se ubican en el suroriente, en la parte baja, y en las periferias del oriente. Mientras que ciertos barrios periféricos del noroccidente y centroriente se observa un incremento en la pobreza, con valores que oscilan entre 11,1 y 18,9%. Los barrios situados en las zonas nororiental, centrorienta y algunos barrios periféricos, presentan una alta concentración de pobreza con un IPM que varía entre 18,9% y 58,6%. Entre estos se destacan barrios como como Palermo, Altavista, La Salle, Villa Guadalupe. Finalmente, las zonas que aparecen en color blanco hacen referencia aquellos barrios que fueron excluidos del estudio, ya que no disponían de información.

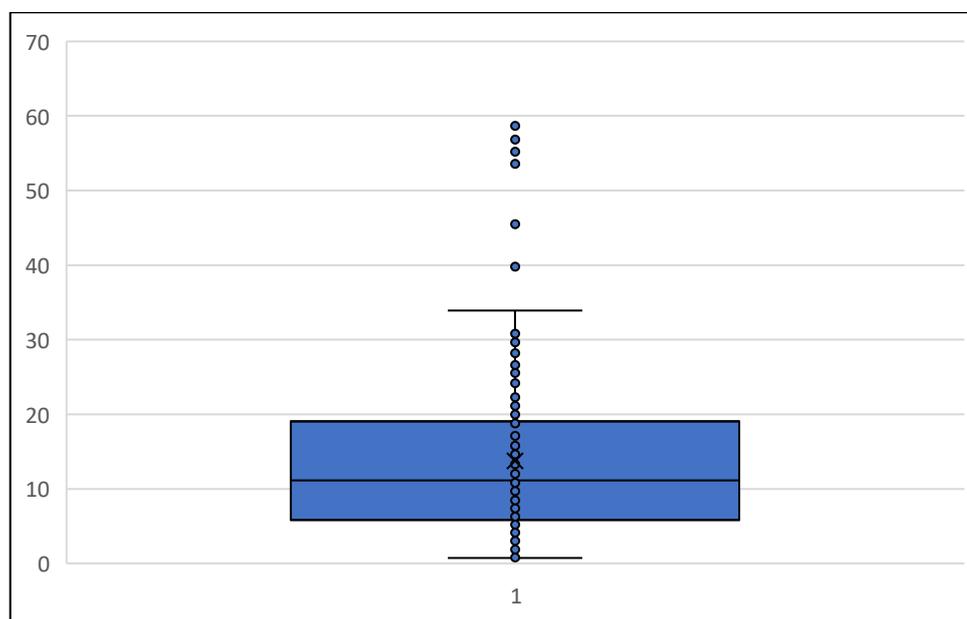
Figura 9. Distribución espacial de IPM por barrio



* Nota. Elaborado en: QGIS.

En la división realizada, se observa una amplia variación entre los rangos. En la figura 10, se puede identificar que algunos barrios tienen un IPM bajo, mientras que otros alcanzan valores más altos. Además, los puntos fuera de los bigotes indican barrios con un IPM extremadamente alto, considerados como valores atípicos. Estos valores sugieren que, aunque la mayoría de los barrios presentan niveles de pobreza moderados, hay algunos barrios con una concentración significativamente mayor de pobreza.

Figura 10. Gráfico de bigotes IPM por barrio.

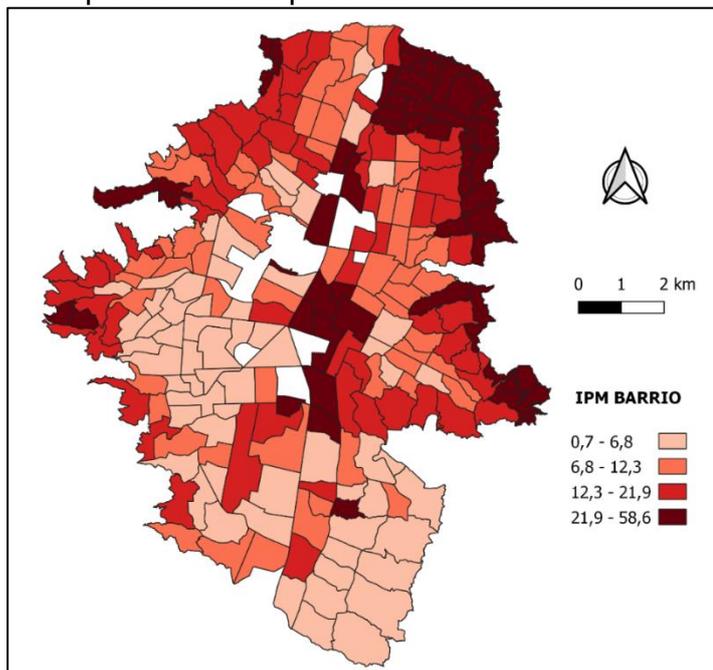


* Nota. Elaborado en: Excel.

Como se mencionó anteriormente, para el análisis de datos excluimos algunos barrios por falta de información en la variable de áreas verdes, reduciendo el número de barrios de 249 a 195. Sin embargo, en la figura 11 se muestra la distribución del IPM sin haber aplicado esta exclusión.

En la figura 11 se observa una marcada desigualdad socioeconómica entre barrios. Las zonas más afectadas por la pobreza están concentradas principalmente en la parte central y nororiental de la ciudad, destacadas en rojo oscuro, mientras que los barrios con menor pobreza, en tonos claros, se concentran en el suroriente y suroccidente. Esta distribución evidencia una clara segregación espacial de la pobreza en la ciudad de Medellín.

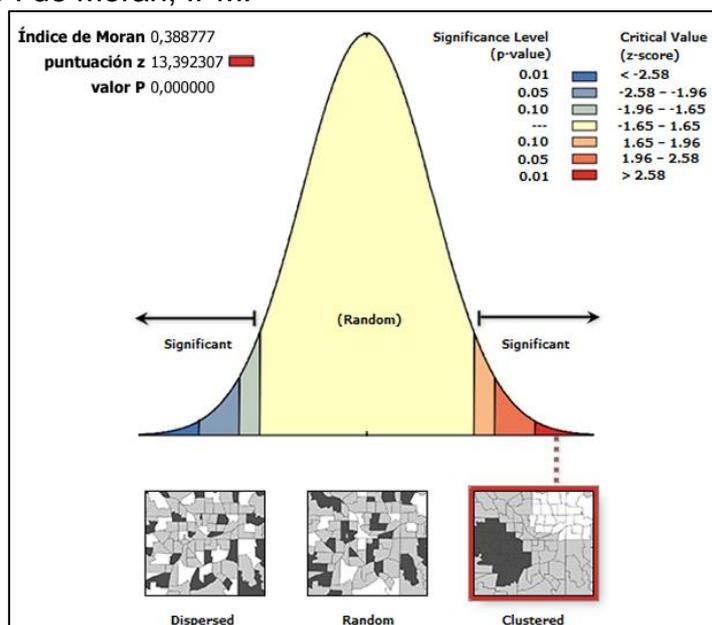
Figura 11. Distribución espacial de IPM por barrio sin exclusión.



* Nota. Elaborado en: QGIS.

Al realizar el análisis de autocorrelación espacial mediante la estimación del índice I de Moran se obtuvo un resultado de 0.388777 que sugiere una autocorrelación espacial positiva, es decir, que la distribución observada no es aleatoria debido a que los barrios con un IPM alto tienden a estar cerca de otros barrios con altos IPM, y lo mismo para barrios con bajos índices de pobreza.

Figura 12. Índice I de Moran, IPM.



* Nota. Elaborado en: ArcGIS.

10.1.2 Áreas verdes

En cuanto la distribución de áreas verdes, la distribución de los datos en el mapa de calor permite identificar una variación significativamente entre barrios, lo que señala las desigualdades en la disponibilidad de espacios verdes anteriormente descritas.

Esta representación espacial permitió identificar que los barrios con un bajo porcentaje de área verde varían entre valores de 0,1% a 4,1%, estos se encuentran localizados más hacia la zona centro de la ciudad, que hacía las periferias. Dentro del grupo de barrios que presentan este porcentaje de área verde, quienes revelan los valores bajos extremos son: El Pinal, La Libertad, La Esperanza, Miranda, Bermejál – Los Álamos, Los Ángeles, y Juan XXIII La Quiebra.

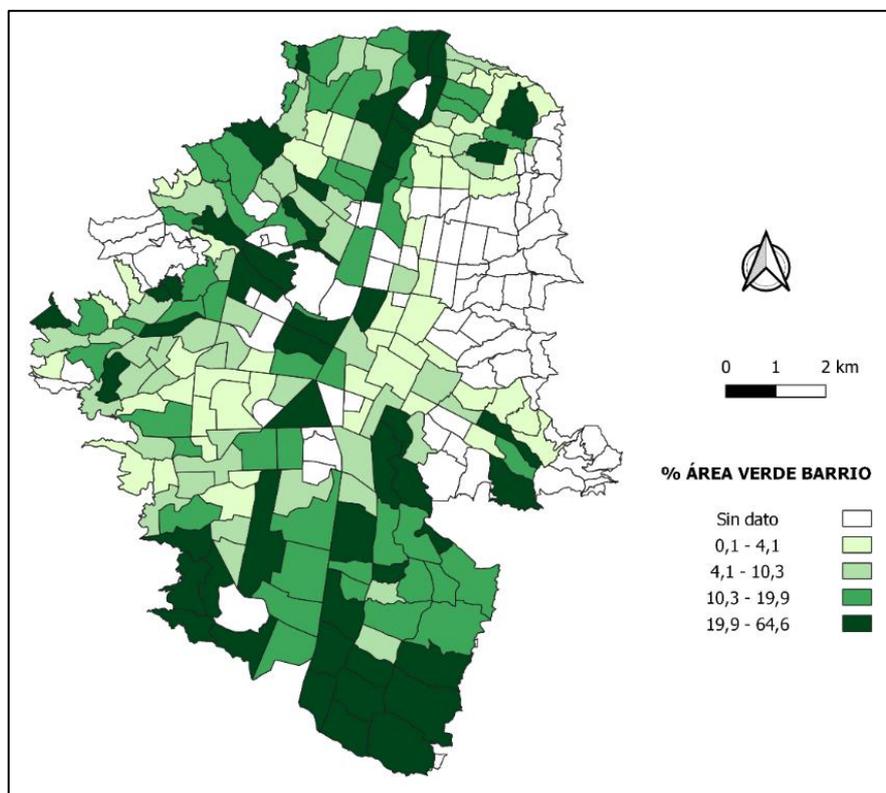
Hacia la zona occidental de la ciudad, con un color verde más notorio se puede evidenciar mayor concentración de aquellos barrios que presentan un porcentaje de área verde más alto que el analizado anteriormente, con valores que varían entre 4,1% y 10,3%. Por otro lado, los barrios con porcentajes de áreas verdes que oscilan entre el 10,3% y el 19,9%, están representados con un verde más intenso y muestran una distribución más dispersa en la zona occidental de la ciudad con representación tanto en el centro cómo en las periferias. Además, se observa una leve concentración hacia la zona suroriental.

Los barrios que cuentan con mayores porcentajes de área verde, que oscilan entre 19,9% y 64,6%, se muestran con un verde oscuro. Estos valores se localizan mayoritariamente en la zona suroriental y hacia las periferias de esta zona. Sin embargo, también hay cierta dispersión de barrios con altos porcentajes de área verde hacia la zona centrooccidental y noroccidental. Dentro del grupo de barrios que presentan este porcentaje de área verde, quienes tienen los valores altos extremos son: El castillo, Asomadera No.3, San Lucas y Santa Rosa de Lima.

Finalmente, teniendo en cuenta que el mapa presenta la distribución del porcentaje de áreas verdes en los barrios de Medellín. Las zonas que aparecen en

color blanco hacen referencia aquellos barrios que fueron excluidos del estudio, ya que no disponían de información sobre el porcentaje de áreas verdes.

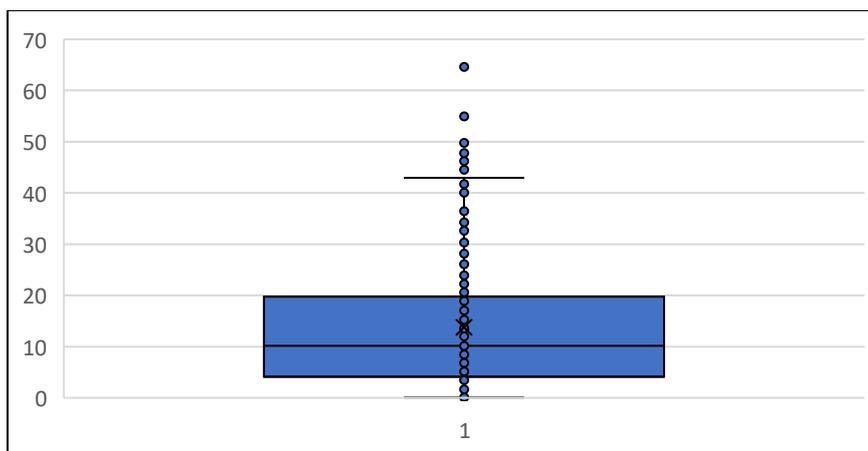
Figura 13. Distribución espacial del % de área verde por barrio



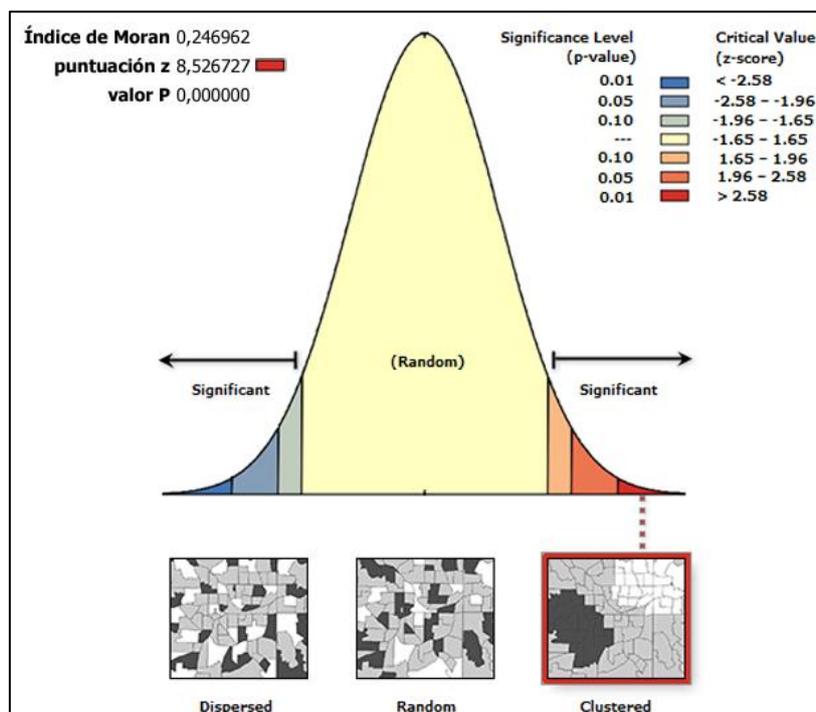
* Nota. Elaborado en: QGIS.

El gráfico de caja y bigotes soporta lo observado en la figura 13, al revelar la distribución de los datos del porcentaje de área verde en los barrios de Medellín. Aproximadamente el 60% de los barrios presenta un porcentaje de área verde que oscila entre el 0,051% y el 13,767%, con una mediana entorno al 10,16%, lo que sugiere que el 40% de los barrios tienen un porcentaje de áreas verdes superior a ese valor.

Los bigotes del gráfico indican que, si bien la mayoría de los barrios se encuentra dentro de ese rango intercuartílico, hay varios barrios que se destacan con porcentajes de área verde considerablemente más altos. En particular, los valores atípicos se extienden hasta más del 50% de área verde, lo que refleja una distribución desigual de las áreas verdes en la ciudad, con una concentración significativa de espacios verdes en algunos barrios en específicos.

Figura 14. Gráfico de bigotes, % de área verde por barrio.

Realizando el análisis de autocorrelación espacial del porcentaje de área verde por barrio mediante la estimación del índice I de Moran obtuvimos como resultado un valor de 0.246962, el cual indica una autocorrelación espacial positiva, es decir, que la distribución observada no es aleatoria, teniendo un resultado en la misma dirección del IPM.

Figura 15. Índice de I de Moran, % de área verde.

* Nota. Elaborado en: ArcGIS.

10.2 Análisis bivariado

10.2.1 Prueba de normalidad

Previo a la aplicación de los métodos estadísticos, verificamos inicialmente si los datos del IPM y del porcentaje de área verde por barrio realmente se ajustan a una distribución normal, a través de un contraste de hipótesis que da como resultado final una probabilidad (valor p) correspondiente a una significancia estadística. Esta verificación fue crucial para establecer una base sólida y así tomar decisiones informadas sobre el análisis estadístico subsiguiente, asegurando así la validez de los resultados obtenidos.

Para evaluar la normalidad de los datos, se realizaron dos pruebas estadísticas: la prueba de Komogorov-Smirnov y la prueba de Shapiro-Wilk. Ambas prueban se utilizan para determinar si una muestra de datos sigue una distribución normal. Teniendo en cuenta que los resultados tanto para el IPM y el porcentaje de área verde por barrio (tabla 7), arrojaron un valor de significancia estadística de $<0,001$, menor al nivel de significancia predefinido 0,05; se rechaza la hipótesis nula de normalidad, es decir, que los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 7. Prueba de normalidad IPM y % área verde por barrio.

Variables	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
IPM	0,122	195	<0,001	0,855	195	<0,001
% área verde por barrio	0,139	195	<0,001	0,861	195	<0,001

Además de las pruebas estadísticas se utilizó el método gráfico cuantil-cuantil (QQ) para valorar dicha normalidad en ambas variables. Este gráfico permitió comparar los valores observados (eje X) con respecto a los valores esperados (eje Y), que corresponderían a esas observaciones si la variable siguiese la distribución normal. En este caso, los resultados para el IPM y el porcentaje de área verde por barrio indican que los datos no se adaptan bien a la diagonal; es decir que existe

alejamiento de la normalidad evidenciado en el distanciamiento de los puntos con respecto a la diagonal (ver anexo 1).

10.2.2 Estimación del coeficiente de correlación

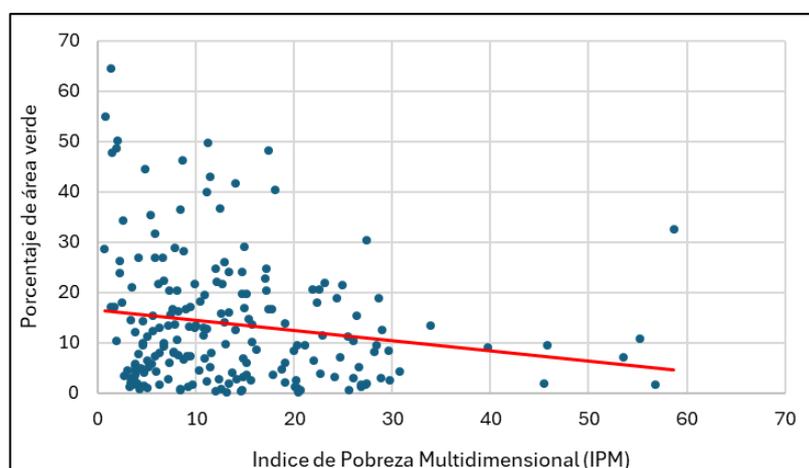
Considerando que las variables de interés no siguen una distribución normal, se estimó el coeficiente de correlación de Spearman para evaluar la relación entre ellas. Como resultado se obtuvo una correlación negativa de -0,148, indicando una asociación inversa. La significancia obtenida fue de 0,039, lo que demuestra que la correlación observada es estadísticamente significativa; además, el intervalo de confianza del 95% para la correlación se sitúa entre -0,287 y -0,004, sugiriendo que la verdadera correlación se encuentra dentro de este rango. En la tabla 8 se resumen los resultados obtenidos en la prueba de correlación y en la figura 16 se representa visualmente:

Tabla 8. Correlación, IPM y % de área verde por barrio

	Rho de Spearman	Significancia (2-tailed)	95% de intervalos de confianza (bilateral) ^{a,b}	
			Inferior	Superior
IPM – Área verde por barrio (%)	- 0,148	0,039	-0,287	-0,004

*Nota * a.* La estimación se basa en la transformación de raz de Fisher.

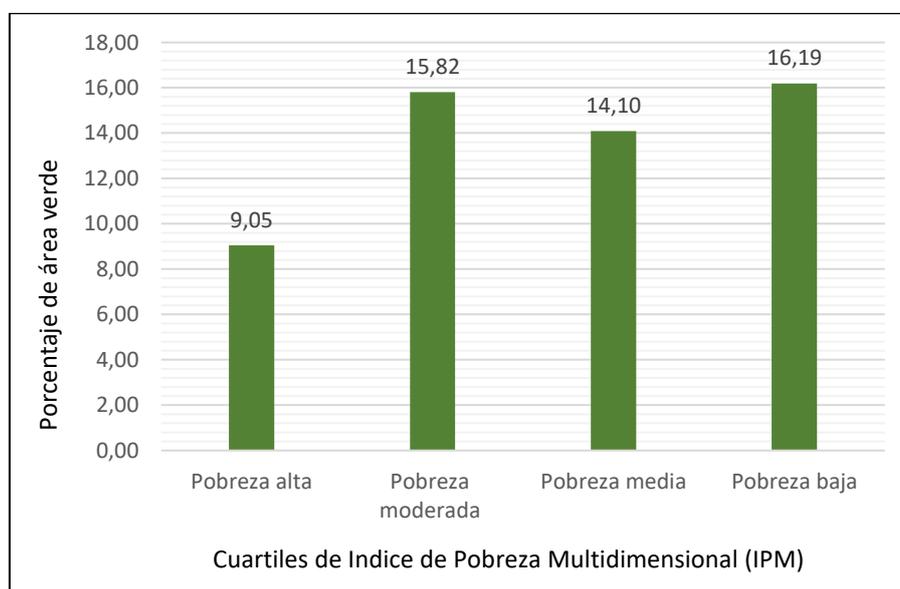
Figura 16. Gráfico de nubes de puntos entre el área verde y el IPM



10.2.3 Áreas verdes según cuartiles de pobreza

Teniendo en cuenta la relación entre las variables de interés, se puede identificar que, a mayor pobreza, menor es el porcentaje de área verde en los barrios de Medellín. Esta relación se evidencia al observar la distribución de los datos presentados en el gráfico de barras en la figura 17, donde se observa que los barrios más pobres tienen un promedio de 9.05% de área verde, en comparación con los barrios menos pobres, que tienen un promedio de 16,19% de área verde.

Figura 17. Gráfico de cuartiles de IPM y % de área verde



10.2.4 Regresión lineal simple

En relación con lo anterior procedemos a reportar en la tabla 9 de manera exploratoria el resultado del modelo de regresión lineal simple, donde se evidencia un valor de B de -0,205 con un valor de significancia de <0,001, menor al nivel de significancia predefinido de 0,05. Este valor de beta indica que por cada unidad que incrementa el IPM, el porcentaje de área verde por barrio disminuye en 0.205 unidades, es decir, que hay una relación negativa, lo cual es coherente con el resultado del análisis bivariado.

Tabla 9. Regresión lineal simple de IPM y % de área verde por barrio

Modelo	Coeficiente no estandarizado		Coeficiente estandarizado	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	16.594	1.460		11.362	<.001	13.713	19.474
IPM	-.205	.084	-.173	-2.442	.015	-.371	-.039

Nota * a. Variable dependiente: % área verde por barrio.

10.3 Análisis multivariado

Para identificar la relación entre las variables de interés, se elaboró un modelo de regresión lineal múltiple, donde la variable dependiente fue el porcentaje de área verde por barrio, y las variables independientes fueron el índice de pobreza multidimensional y la densidad poblacional. Los resultados indicaron que en el modelo se cumple los supuestos de independencia, homocedasticidad y ausencia de colinealidad, sin embargo, no se cumple con los supuestos de linealidad y normalidad, como se detalla en el anexo 2.

Una vez se realiza el modelo de regresión lineal múltiple, al incorporar la variable de densidad población logramos identificar que el resultado no es coherente con los resultados del análisis bivariado y el análisis de regresión lineal simple, debido a que en la densidad poblacional da un valor de B de 0,00. Este resultado y la desviación de error en 0,00 no representan valores representativos para determinar relación alguna entre las variables.

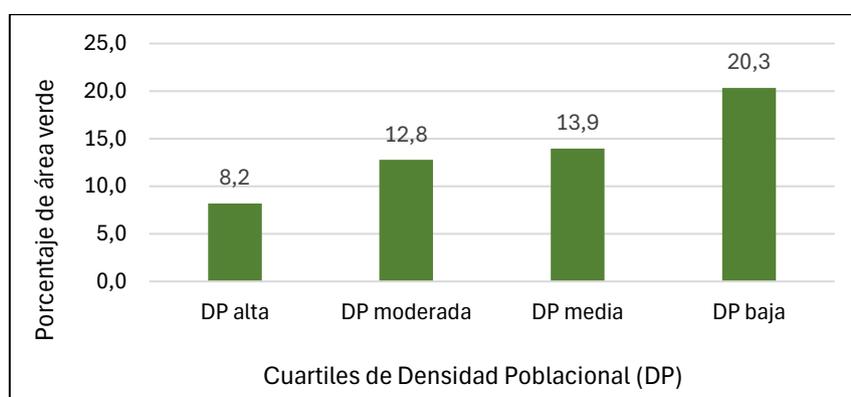
Tabla 10. Regresión lineal múltiple, IPM, % de área verde y densidad poblacional

Modelo	Coeficiente no estandarizado		Coeficiente estandarizado	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	21.424	1.775		12.073	<.001	17.924	24.924
IPM	-.127	.082	-.108	-1.550	.123	-.289	.035
Densidad poblacional	.000	.000	-.306	-4.406	<.001	.000	.000

Nota * a. Variable dependiente: % de área verde por barrio.

La inconsistencia en los resultados observados en la tabla 10 al realizar la regresión lineal múltiple, se fundamentan además en la figura 18 correspondiente al gráfico de cuartiles de densidad poblacional y porcentaje de área verde por barrio. Este gráfico permite observar un resultado opuesto a lo planteado anteriormente, pues sugiere la existencia de relación entre las variables presentadas; ya que los barrios con mayor densidad poblacional el porcentaje de área verde es de 8,2%, mientras que en los barrios con menor densidad poblacional tienen 20,3% de área verde.

Figura 18. Gráfico de cuartiles de densidad poblacional y % de área verde



Además de los resultados anteriores, al analizar la disponibilidad de espacios verdes por habitante en diferentes barrios de la ciudad, se revela una notable disparidad al considerar los estándares internacionales que recomienda un mínimo de 10 metros cuadrados de espacio verde por habitante ($10\text{m}^2/\text{Hab}$). Se observó que los barrios que están considerablemente por debajo de este umbral son: El Pinal ($0,01\text{ m}^2/\text{hab}$), La Libertad ($0,04\text{ m}^2/\text{hab}$), La Esperanza ($0,06\text{ m}^2/\text{hab}$), Bermejál-Los Álamos ($0,10\text{ m}^2/\text{hab}$), y Juan XXIII-La Quiebra ($0,15\text{ m}^2/\text{hab}$). Estos barrios tienen una característica en común en términos socioeconómicos, pues presentan valores de IPM superiores a 12% e inferiores a 21%.

En contraste, algunos barrios superan ampliamente el umbral recomendado, como El Castillo ($240,12\text{ m}^2/\text{hab}$), Oleoducto ($272,55\text{ m}^2/\text{hab}$), Parque Juan Pablo II ($306,24\text{ m}^2/\text{hab}$), Perpetuo Socorro ($579,34\text{ m}^2/\text{hab}$), y Asomadera n°3 ($647,65\text{ m}^2/\text{hab}$). Para estos barrios no se observa una característica en común en términos socioeconómicos, ya que presentan datos extremos de IPM, que van desde 0,8% a 58,65%.

11. Discusión

El primer y segundo objetivo de este estudio ecológico fue describir la distribución espacial del IPM y las áreas verdes por los barrios de la ciudad de Medellín para el año 2018, mediante el análisis de las medidas de tendencia central y dispersión, y la aplicación del Índice de Moran. El análisis mostró que la distribución del IPM y el porcentaje de área verde no es aleatoria debido a que los barrios con altos niveles de IPM y áreas verdes tienden a estar concentrados. El tercer objetivo fue establecer la asociación entre la distribución de las áreas verdes y el índice de pobreza multidimensional. El resultado mostró que un valor de IPM bajo en los barrios se asocia significativamente con mayor disponibilidad de áreas verdes.

Este estudio se destaca por ser uno de los primeros en explorar esta relación en Medellín, revelando patrones de desigualdad en la distribución de áreas verdes que reflejan desigualdades socioeconómicas. El análisis a nivel barrial proporciona una visión detallada y contextualizada de la realidad de Medellín, permitiendo identificar con mayor precisión las áreas más afectadas por la falta de áreas verdes. Estos hallazgos subrayan la urgencia de desarrollar políticas públicas que aborden la justicia ambiental, promoviendo una distribución más equitativa de los espacios verdes y mejorando la calidad de vida en las comunidades.

Nuestros hallazgos señalan que existen patrones claros de desigualdad en la distribución de áreas verdes en la ciudad de Medellín para el año 2018, que corresponden a patrones de desigualdad socioeconómica. Esta desigualdad se manifiesta por la existencia de un mayor porcentaje de áreas verdes en los barrios donde se encuentra la población con un IPM bajo. Se observa que los barrios con un IPM bajo tienen aproximadamente un 16,19% de área verde y que a medida que aumenta el IPM en los diferentes barrios, el porcentaje de área verde disminuye gradualmente, alcanzando un 9,05% en los barrios con IPM más elevado (6,31).

Además, la ciudad cuenta con solo cuatro metros cuadrados de área verde por habitante, muy por debajo de los diez metros cuadrados mínimos recomendados por la OMS, lo que implica un déficit de seis metros cuadrados de área verde por

habitante, y al adicionar el análisis desde el nivel socioeconómico se complejiza la situación (8).

La distribución desigual de las áreas verdes puede estar influenciada por las políticas urbanas y prácticas de planificación. Los barrios con altos niveles de pobreza se encuentran en las periferias las cuales históricamente han sido áreas marginadas en términos de inversiones incluyendo la infraestructura verde. Además, la alta densidad poblacional en ciertos barrios podría limitar el espacio disponible para desarrollar nuevas áreas verdes (99).

Los resultados anteriormente descritos están en línea con resultados de otros estudios realizados en Oslo, Noruega (7); Ciudad de Juárez, México (6); Cali, Colombia (12); Santiago de Chile, Chile (31); Lodz, Polonia (29); Berlín, Alemania (30), y China (28), que han evidenciado una relación entre la presencia de áreas verdes y las desigualdades sociales, donde ante un nivel socioeconómico bajo se presenta baja disponibilidad de áreas verdes.

Los resultados de un estudio ecológico realizado en una gran ciudad alemana con más de 1 millón de habitantes revelaron que la baja posición socioeconómica se asocia con una menor disponibilidad de áreas verdes en el vecindario; es decir que hay una asociación negativa entre las dos variables. En Colombia por su parte, se encuentra que las características del modelo urbano de Bogotá presentan una estrecha relación entre los patrones espaciales de segregación socioeconómico de la población con baja calidad de vida y baja distribución de árboles por persona; así se concluye que la ciudad presenta una condición de injusticia ambiental a nivel espacial, en beneficio de poblaciones con mayores condiciones de vida urbanas (13,100).

Un estudio a nivel de distrito urbano en el área del Ruhr, Alemania presenta resultados en la misma línea que las investigaciones anteriores, mostrando claras disparidades en la disponibilidad de áreas verdes y el estatus social entre los distritos urbanos del área de estudio. Se encontraron fuertes correlaciones negativas entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el estatus social, evidenciando en algunas partes una pronunciada injusticia climática en las ciudades

estudiadas, con una mayoría de personas viviendo en condiciones ambientales y socioeconómicas desfavorables (62).

La investigación realizada en Zhengzhou, China muestra que la desigualdad en la exposición a las áreas verdes es evidente entre las comunidades residenciales al comparar dos ciudades. En este estudio los resultados muestran una correlación espacial negativa, pero en una dirección diferente a la realidad de otras investigaciones, pues se encontró que las comunidades más ricas en la nueva zona de desarrollo tienen menos espacios verdes en comparación con las comunidades desfavorecidas en las áreas urbanas antiguas. Además, se observó una asociación espacialmente desigual entre el grado de exposición a las áreas verdes y los precios de la vivienda (63).

Aunque a nivel barrial se esperaba obtener una lectura precisa de la desigualdad en la distribución de las áreas verdes en la ciudad de Medellín para el año 2018; los resultados de los diferentes patrones de desigualdad espacial presentan cierto grado de incertidumbre debido a la exclusión de algunos barrios por falta de datos. De los 249 barrios inicialmente considerados, solo se pudieron analizar 195 tras una depuración necesaria a causa de barrios que carecían de información en las variables de interés principalmente sobre las áreas verdes.

La exclusión de datos afecta la solidez de los resultados obtenidos, ya que los barrios excluidos se concentran principalmente en la zona nororiental, un área caracterizada por altos niveles de pobreza. A pesar de la relevancia de estos barrios para el análisis, la falta de información sobre las áreas verdes impidió su inclusión. Esta ausencia de datos limita la capacidad del estudio para reflejar la desigualdad en la distribución de áreas verdes, lo que podría influir en la interpretación de la relación entre el IPM y la disponibilidad de estos espacios en las áreas más vulnerables de la ciudad.

Sin embargo, a pesar de la exclusión de algunos barrios, los resultados obtenidos siguen siendo relevantes, ya que, como se mencionó anteriormente, se identifican patrones claros de desigualdad en la distribución de áreas verdes que están directamente relacionados con las desigualdades socioeconómicas.

La covariable densidad poblacional describe el número de personas en un área específica, por lo cual es crucial para analizar las variaciones en la distribución de la población. Aunque el modelo de regresión lineal simple reafirma la relación negativa entre pobreza y áreas verdes, la inclusión de la variable de densidad poblacional en el modelo de regresión lineal múltiple no produce resultados coherentes, lo que sugiere la necesidad de una revisión más detallada de la interacción entre estas variables.

Además, en el análisis realizado, solo se consideró la densidad poblacional como covariable, lo cual podría simplificar el estudio. Variables ambientales o urbanas adicionales, como la temperatura, la pluviosidad o la red de transporte, deberían ser consideradas en próximos estudios para obtener una comprensión más completa y precisa.

Finalmente, la desigualdad en la distribución de áreas verdes son temáticas de investigación poco desarrolladas en el ámbito de la justicia ambiental en la ciudad de Medellín. Por tanto, la disponibilidad de información en esta área podría significar el desarrollo y la aplicación de nuevas técnicas, métodos de análisis, o líneas de investigación que previamente no se habían explorado de manera exhaustiva. Esta información resulta ser crucial para desarrollar investigaciones que puedan explicar patrones de desigualdad espacial que sirvan como insumo para la toma de decisiones en la planificación urbana y en la formulación de los diferentes POT.

El porcentaje de área verde puede variar en diferentes escalas espaciales, por tanto, el trabajo realizado intentó ser lo más representativo posible, tomando como unidad de análisis los barrios en vez de las comunas. Sin embargo, aunque los datos presentados a nivel barrial logran revelar la variabilidad de los datos y la evidencia de desigualdades espaciales a pequeña escala; se reconoce la importancia de desarrollar estudios que permitan observar desigualdades presentes a escalas aún más pequeñas para obtener un análisis espacial más detallado. Analizar el acceso a áreas verdes a nivel de manzanas permite detectar desigualdades que no son visibles a escala barrial. Esto facilita una gestión más precisa y equitativa del espacio verde, asegurando que las intervenciones urbanas se ajusten mejor a las necesidades específicas de las comunidades.

Además, el análisis actual consideró aspectos de la disponibilidad de área verde por barrio, pero no tuvo en cuenta la calidad de esos espacios, que también es un dato que podría representar una fuerte correlación espacial con el IPM si tenemos en cuenta que la calidad de las áreas verdes incluye factores como mantenimiento, seguridad, accesibilidad e infraestructura disponible que podrían verse afectados por las condiciones económicas de la zona.

12. Conclusión

Este estudio se propuso describir las disparidades en la distribución de las áreas verdes con respecto a los niveles socioeconómicos de la población en la ciudad de Medellín, para el año 2018. Para esto se analizaron 195 barrios del área urbana, teniendo en cuenta el porcentaje de área verde y el IPM.

La investigación revela una considerable disparidad en los factores socioeconómicos y ambientales. Entre los principales hallazgos, destacamos que el IPM varía marcadamente entre los barrios, reflejando significativas diferencias en los niveles de pobreza, con un IPM que oscila entre 0,73 y 58,65. De manera similar el porcentaje de áreas verdes muestra una distribución desigual, con una gran disparidad entre barrios, desde 0,05% hasta 64,58%. Los mapas de IPM y áreas verdes refuerzan estas observaciones de desigualdad en la ciudad.

El análisis espacial del IPM y el porcentaje de áreas verdes, utilizando el índice de I Moran, evidencia una autocorrelación positiva, lo que sugiere que la distribución de estos factores no es aleatoria; la distribución de IPM muestra barrios pobres cerca de otros barrios pobres y lo mismo para barrios con menor pobreza. Las pruebas de normalidad, por su parte, indicaron que los datos no siguen una distribución normal. La correlación de Spearman reveló una relación inversa significativa (-0,148) entre el IPM y el porcentaje de áreas verdes, indicando que, a mayor pobreza, menor es la cantidad de áreas verdes en los barrios.

Además, los resultados obtenidos refuerzan aquellos datos que indican que la ciudad de Medellín dispone únicamente de cuatro metros cuadrados de área verde por habitante, estando muy por debajo de los diez metros cuadrados mínimos recomendados por la OMS, lo que supone un déficit de seis metros cuadrados por persona. Este déficit se vuelve aún más complejo al ser evaluado desde una perspectiva socioeconómica, exacerbando la situación de injusticia ambiental en la ciudad.

La principal contribución de este estudio radica en que, hasta donde sabemos, es uno de los primeros en analizar las desigualdades socioeconómicas asociadas a

las áreas verdes urbanas en Medellín. Esto es relevante dado que Medellín es reconocida como una de las ciudades de Colombia que más promueve ser verde y biodiversa. Nuestro estudio evidencia los patrones de desigualdad en la distribución de áreas verdes, vinculándolos directamente con las desigualdades socioeconómicas. Estos hallazgos proporcionan una base empírica crucial para los responsables de la planificación urbana y los formuladores de políticas, quienes pueden utilizar esta información para abordar estas desigualdades en los futuros POT.

Sin embargo, el estudio presenta algunas limitaciones importantes. La exclusión de ciertos barrios por falta de datos o por no ser pertinentes para el análisis, redujo la muestra de 249 a 195 barrios, lo que introduce un grado de incertidumbre en los resultados. Además, el análisis se centró en la disponibilidad de áreas verdes sin considerar la calidad de estos espacios, un aspecto que podría influir significativamente en la relación con el IPM.

En futuros estudios es indispensable incluir todos los barrios de Medellín y considerar tanto la disponibilidad como la calidad de las áreas verdes. Además, sería interesante realizar análisis a escalas más pequeñas, como manzanas, para obtener una visión más detallada de las desigualdades espaciales. También es importante explorar otros factores que podrían influir en la distribución de áreas verdes, como las políticas urbanas, otras variables socioeconómicas y otros factores ambientales, pues los hallazgos subrayan la importancia de políticas públicas que aborden disparidades para mejorar la calidad de vida de los diferentes barrios de Medellín.

13. Referencias

1. Schüle SA, Hilz LK, Dreger S, Bolte G. Social inequalities in environmental resources of green and blue spaces: A review of evidence in the WHO European Region. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2019;16(7):1216. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph16071216>
2. Jiménez AM. Justicia ambiental. Del concepto a la aplicación en análisis de políticas y planificación territoriales. *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales* [Internet]. 2010;14. Disponible en: <https://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-316.html>
3. Organización Panamericana de Salud [OPS]. Determinantes sociales de la salud [Internet]. [consultado 19 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/determinantes-sociales-salud>
4. Finn Diderichsen MD. A conceptual framework for action on the social determinants of health. World Health Organization. 2010.
5. Lorenzetti RL, Lorenzetti P. Justicia y derecho ambiental en las Américas. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos [OEA]; 2023.
6. Herrera Correa VM, Romo Aguilar M. La distribución de las áreas verdes públicas en relación con las características socioeconómicas de la población en Ciudad Juárez, México. *Scielo* [Internet]. 2022;31. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15174/au.2021.3101>
7. Zander S. Venter, Helene Figari, Olve Krange, Vegard Gundersen. Environmental justice in a very green city: Spatial inequality in exposure to urban nature, air pollution and heat in Oslo, Norway. *Science of The Total Environment* [Internet]. 2023;858. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160193>
8. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. [Minvivienda] ¿Cuál es el índice de espacio público por habitante? [Internet]. 2020. Disponible en: <https://www.minvivienda.gov.co/node/1267>
9. Nieuwenhuijsen MJ. Why more green space is essential for cities [Internet]. ISGlobal - Barcelona Institute for Global Health. 2021. Disponible en: <https://www.isglobal.org/en/healthisglobal/-/custom-blog-portlet/why-more-green-space-is-essential-for-cities/4735173/0>
10. R.F. Hunter, C. Cleland a, A. Cleary b, M. Droomers c, B.W. Wheeler d, D. Sinnett e, M.J. Nieuwenhuijsen f g h, M. Braubach. Environmental, health, wellbeing, social and equity effects of urban green space interventions: A meta-narrative evidence synthesis. *Environment International* [Internet]. 2019;130. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2019.104923>
11. UN HABITAT. Temas Hábitat III. 11 - Espacio público. [conferencia]. Quito: III Conferencia de las Naciones Unidas Sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible, Quito, Ecuador; 2016. [Consultado 12 noviembre 2023] Disponible en: https://habitat3.org/wpcontent/uploads/Issue-Paper-11_Public_Space-SP.pdf
12. Hong A, Martinez L, Patino JE, Duque JC, Rahimi K. Neighbourhood green space and health disparities in the global south: evidence from Cali, Colombia. *Health and place*

- [Internet]. 2021;72. [Consultado 12 noviembre 2023] Disponible En: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Healthplace.2021.102690](http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Healthplace.2021.102690)
13. Henao Jmm. Relación entre calidad de vida y distribución del arbolado urbano en Bogotá: una perspectiva desde la justicia ambiental urbana. Scielo [Internet]. 2021;13. [Consultado 25 noviembre 2023] Disponible en: [Http://Dx.Doi.Org/10.12957/Rdc.2021.40272](http://Dx.Doi.Org/10.12957/Rdc.2021.40272)
 14. Restrepo Mesa MP. Plan maestro de espacios públicos verdes urbanos de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá.
 15. Moreno Hurtado F, Hoyos Estrada CH. Guía para el manejo del arbolado urbano en el Valle de Aburrá. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad Nacional de Colombia [2015].
 16. Tamayo Echeverry JD. Medellín: una ciudad de encrucijadas. Pobreza, modelo de ciudad y cambio social en el proyecto cinturón verde. Territorios [Internet]. 2019;40. [Consultado 14 diciembre 2023] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.5535>
 17. Valencia J, Ramírez A, Toledo R, Díez Jd, Bojanini J, Sanín Blair A. Plan director Medellín, Valle De Aburrá. 2011.
 18. Alcaldía de Medellín. Acuerdo 48 de 2014. Medellín; 2014.
 19. Alcaldía de Medellín. Con la sensibilización de 3.000 personas, Medellín avanza en la conservación de espacios verdes en las comunas y corregimientos [Internet]. 2023 [consultado 19 de agosto de 2024]]. Disponible en: <https://tinyurl.com/3bc27u9t>
 20. Alcaldía de Medellín. Plan Desarrollo Medellín 2020-2023. 2020. [Internet] Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/irj/portal/medellin?NavigationTarget=contenido/6899-Plan-de-Desarrollo-2020---2023--Gaceta-oficial---Medellin-Futuro>
 21. Área Metropolitana del Valle de Aburrá [Internet]. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/>.
 22. Área Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA] Espacios públicos verdes urbanos en el Valle de Aburrá: un reto de conservación [Internet]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.5535>
 23. Osorno Álvarez A de las M. Adecuación y conservación de zonas verdes y senderos ecológicos. Medellín; 2021. Disponible en: https://www.medellin.gov.co/ndesarrollo/wp-content/uploads/FICHAS/C80/2020/FP/20_FP_PP_C80_MEDIO%20AMBIENTE_3.pdf
 24. Valencia AG. Estudios de la red Peak Urban aportan a resolver los desafíos urbanos en el contexto del covid-19 [Internet]. Universidad EAFIT. 2020. Disponible en: <https://www.eafit.edu.co/noticias/agenciadenoticias/2020/Estudios-de-la-red-Peak-Urban-aportan-a-resolver-los-desafios-urbanos-en-el-contexto-del-covid-19>
 25. Palmett Plata O. Externalidades ambientales ocasionadas por la urbanización en la ciudad de Medellín: Environmental externalities caused by urbanization in the city of Medellín. Procesos Urbanos [Internet.] [consultado 19 de agosto de 2024]. 2016; 3:38–54. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.21892/2422085x.266>

26. Informe de calidad de vida de Medellín, 2020. Vivienda y servicios públicos. 2021. Disponible en: <https://tinyurl.com/mvfsh5hj>
27. Informe de calidad de vida de Medellín, 2020. Pobreza y equidad. 2021. Disponible en: <https://tinyurl.com/mvfsh5hj>
28. Rao Y, Zhong Y, He Q, Dai J. Assessing the equity of accessibility to urban green space: A study of 254 cities in China. *Environmental Research and Public Health* [Internet]. 2022;19(8):4855. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph19084855>
29. Łaszkiewicz E, Kronenberg J, Marcińczak S. Microscale socioeconomic inequalities in green space availability in relation to residential segregation: The case study of Lodz, Poland. *Cities* [Internet]. 2021;111(103085):103085. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2020.103085>
30. Kabisch N, Haase D. Green justice or just green? Provision of urban green spaces in Berlin, Germany. *Landscape and Urban Planning* [Internet]. 2014;122:129–39. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.016>
31. Reyes Pácke S, Figueroa Aldunce IM. Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *EURE* [Internet]. [consultado 11 de diciembre de 2023] 2010;36(109). Disponible en: <https://www.eure.cl/index.php/eure/article/view/82/522>
32. Gregory D, Johnston R, Pratt G, Watts M, Whatmore S. *The Dictionary of Human Geography*. John Wiley & Sons; 2009.
33. Craig Anthony A. Land use regulation and environmental justice. *Envtl. L. Rep. News & Analysis*, 2000, vol. 30, p. 10395.
34. Shrader-Frechette K. *Environmental justice: Creating equality, reclaiming democracy* [Internet]. Londres, Inglaterra: Oxford University Press New York; 2002 [consultado el 27 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://academic.oup.com/book/6860>
35. United church of christ. 30th Anniversary: The first national people of color environmental leadership summit [Internet]. [consultado 21 de agosto de 2024] 2021. Disponible en: <https://www.ucc.org/30th-anniversary-the-first-national-people-of-color-environmental-leadership-summit/>
36. EPA. Oficina de Justicia Ambiental. [consultado 21 de agosto de 2024]. 2012. Disponible en: <https://tinyurl.com/yzzvu6fz>
37. Clinton President. Federal Actions to Address Environmental Justice in Minority Populations and Low-Income Populations [Internet]. [consultado 21 de agosto de 2024]. 1994. Disponible en: https://www.usccr.gov/files/pubs/2016/Statutory_Enforcement_Report2016.pdf
38. Environmental Protection Agency, United States [EPA, US]. Environmental justice. 2014 [consultado 21 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://www.epa.gov/environmentaljustice>
39. Kuehn RR. Taxonomy of Environmental Justice. 2000 [consultado el 21 agosto de 2024] 307. Disponible en: <https://ir.lib.uwo.ca/aprcihttps://ir.lib.uwo.ca/aprci/307>

40. Parry ML. Cambio climático 2007: impacto, adaptación y vulnerabilidad [Internet] [consultado 21 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wg2-sum-vol-sp.pdf>
41. Hervé Espejo D. Noción y elementos de la justicia ambiental: Directrices para su aplicación en la planificación territorial y en la evaluación ambiental estratégica. *Rev Derecho* [Internet]. [consultado 11 de diciembre de 2023] 2010;23(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-09502010000100001>
42. Carruthers DV. Environmental justice in Latin America: Problems, promise, and practice [Internet]. The MIT Press; [consultado 21 de agosto de 2024]. 2008. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.7551/mitpress/9780262033725.001.0001>
43. Bullard, R.D. Dismantling Environmental Racism in the USA. *Local Environment* [1999] Vol. 4, Num 1, pp. 5-15.
44. Jiménez AM, Torrecilla MRC. Boletín de la Asociación Española de Geografía. BAGE [Internet]. 2007; Disponible en: <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/619>
45. Sarokin DJ, Schulkin J. Environmental justice: Co-evolution of environmental concerns and social justice. *Environmentalist* [Internet]. [consultado 11 de diciembre de 2023]. 1994;14(2):121–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/bf01901305>
46. Henao JMM. Una revisión de la investigación sobre justicia ambiental urbana en Latinoamérica. *Rev Direito Cid* [Internet]. 2017;9(3). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.12957/rdc.2017.29161>
47. Angulo Salazar CR, Díaz Cuervo Y, Pardo Pinzón R. Índice de Pobreza Multidimensional para Colombia. 2011 [consultado 20 de agosto de 2024]; Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/estudios%20economicos/382.pdf>
48. Multidimensional Poverty Peer Network [MPPN]. Red de Pobreza Multidimensional [Internet]. [consultado 21 de agosto de 2024] Disponible en: <https://www.mppn.org/es/>
49. Departamento Nacional de Planeación [DNP]. Pobreza monetaria y pobreza multidimensional análisis 2008-2018. 2019.
50. Departamento Nacional de Estadística [DANE]. Pobreza multidimensional [Internet]. [consultado 23 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida/pobreza-multidimensional/pobreza-multidimensional-2021>
51. Departamento Nacional de Estadística [DANE]. Pobreza Multidimensional, resultados 2020. 2020.
52. Sorensen M, Barzetti V, Keipi K, Williams J. Manejo de las áreas verdes urbanas [Internet]. 1997. [consultado 11 de diciembre de 2023]. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Manejo-de-las-areas-verdes-urbanas.pdf>
53. Robles M, Näslund-Hadley E, Ramos C, Paredes JR. Áreas verdes de la escuela. 2015.

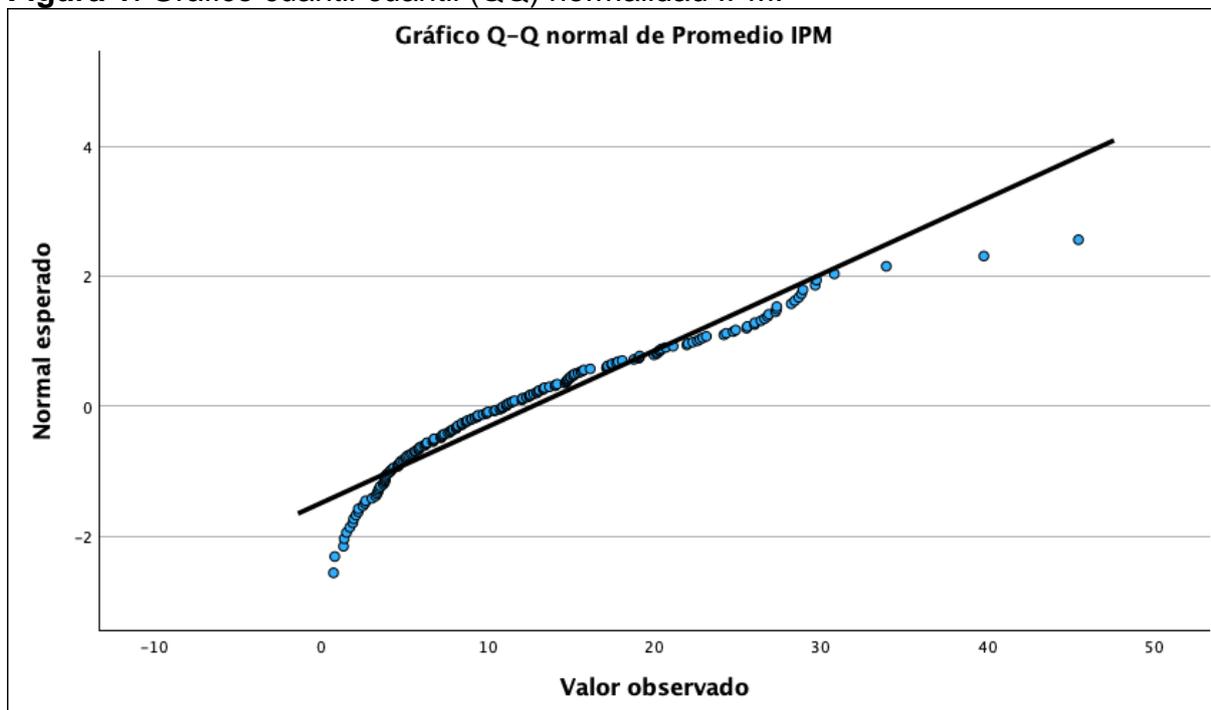
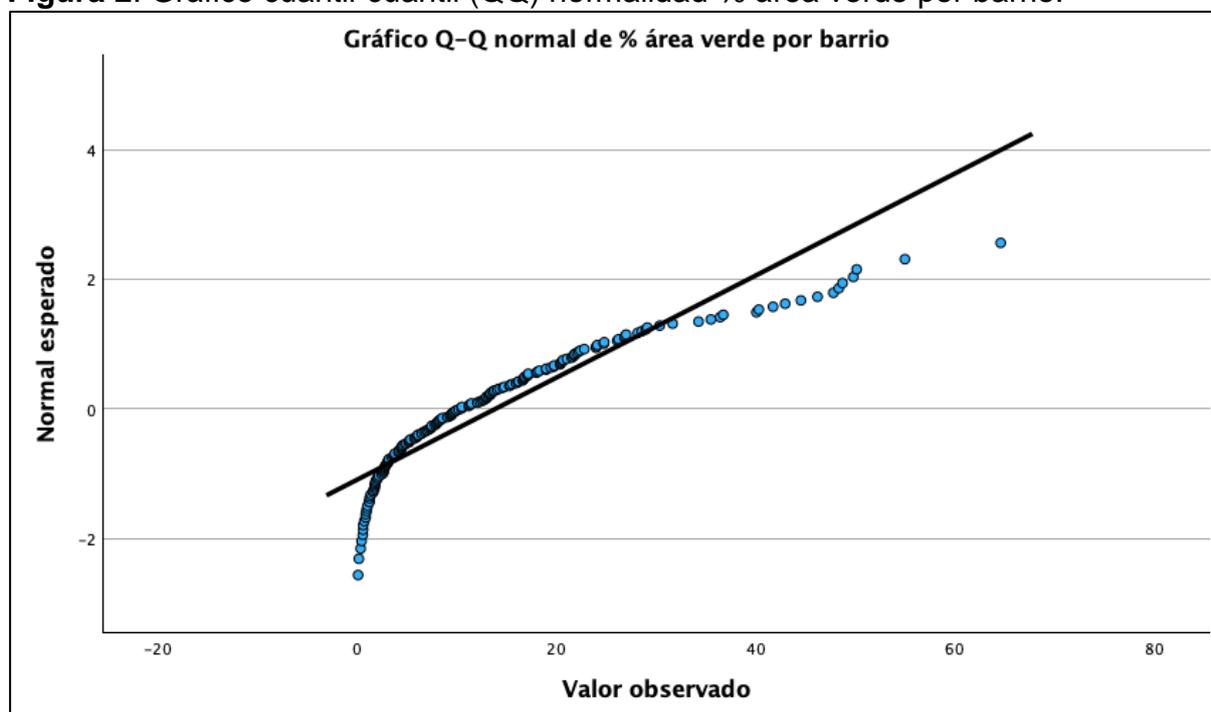
54. United Nations (ONU) Objetivo 11. Las ciudades desempeñarán un papel importante en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible [consultado el 11 de diciembre de 2023]; Disponible en: <https://www.un.org/es/chronicle/article/objetivo-11-las-ciudades-desempenaran-un-papel-importante-en-la-consecucion-de-los-objetivos-d>
55. Taylor L, Hochuli DF. Defining greenspace: Multiple uses across multiple disciplines. *Landsc Urban Plan* [Internet]. 2017; 158:25–38. [consultado el 17 de mayo de 2023] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.09.024>
56. Sistemas de Información Geográfica [SIGSA]. ¿Qué es SIG? [Internet]. [consultado el 22 de agosto de 2024] Disponible en: <https://www.sigsa.info/es-mx/what-is-gis/overview>
57. Longley PA, Goodchild MF, Maguire DJ, Rhind DW. *New developments in geographical information systems: Principles, techniques, management and applications* [Internet]. Ed.ac.uk. [consultado el 22 de agosto de 2024]. Disponible en: https://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/files/pref.pdf
58. Eta JB, Adepoju MO, Halilu SA, Mohammed SO, Adeluyi SA. Geographic information systems (GIS) as an indispensable tool for environmental impact assessment (EIA). *Journal of Environmental Science Toxicology and Food Technology*. [Internet]. 2014;8(12):32–9. [consultado el 13 de junio de 2024] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.9790/2402-081223239>
59. Ascuntar-Tello J, Jaimes F. Ronda clínica y epidemiológica: sistemas de información geográfica (SIG) en salud. *Iatreia* [Internet]. 24 de noviembre de 2015 [citado 6 de noviembre de 2024];29(1):97-103. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/iatreia/article/view/24050>
60. Instituto de Salud Global de Barcelona [ISGLOBAL]. Programas de investigación [Internet]. [consultado el 11 de diciembre de 2023]. Disponible en: <https://www.isglobal.org/en/research-programmes>
61. Instituto de Salud Global de Barcelona [ISGLOBAL]. Medio ambiente y salud a lo largo del ciclo de vida [consultado 11 de diciembre de 2023]. Disponible en: <https://www.isglobal.org/en/environment-and-health-over-the-lifecourse>
62. Klopfer F, Pfeiffer A. Determining spatial disparities and similarities regarding heat exposure, green provision, and social structure of urban areas - A study on the city district level in the Ruhr area, Germany. *Heliyon* [Internet]. 2023;9(6): e16185. [consultado 16 de diciembre de 2023]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16185>
63. Luo J, Zhai S, Song G, He X, Song H, Chen J, et al. Assessing inequity in green space exposure toward a “15-minute city” in Zhengzhou, China: Using deep learning and urban big data. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2022;19(10):5798. [consultado 9 de diciembre de 2023]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph19105798>
64. Alcaldía de Medellín. Informe de Gestión 2022. Medellín; 2022.
65. Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. Diccionario Geográfico de Colombia [Internet]. [consultado el 11 de diciembre de 2023]. Disponible en: https://diccionario.igac.gov.co/?_termino=480399

66. Alcaldía de Medellín. Información general de la ciudad. [Internet]. 2023 [consultado el 19 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/es/wp-content/uploads/2024/10/1-Informacion-General-de-Ciudad-1.pdf>
67. Valencia JFZ. Los cerros tutelares reverdecen en medio de sus problemas [Internet]. Elcolombiano.com. 2022 [consultado el 19 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.elcolombiano.com/antioquia/los-cerros-tutelares-de-medellin-HD16370777>
68. Área Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA]. Las Áreas Protegidas [Internet]. [consultado el 11 de diciembre de 2023]. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/planeacion/areas-protegidas/Paginas/contexto/las-areas-protegidas.aspx>
69. Alcaldía de Medellín. Departamento Administrativo de Planeación - Unidad de Planificación Territorial [Internet]. 2014 [consultado el 11 de diciembre de 2023]. Áreas Protegidas. Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/giscatalogacion/srv/api/records/b47b32aa-352d-430d-a4a7-5116d94d0c78>
70. Alcaldía de Medellín. Mapa de los corredores verdes municipio de Medellín - POT 2014-2027, acuerdo 48 de 2014 [Internet]. 2014 [consultado el 5 de enero de 2024]. Disponible en: <https://www.datos.gov.co/Ordenamiento-Territorial/Mapa-de-los-Corredores-Verdes-Municipio-de-Medell-9r9h-a2r7>
71. Informe de Calidad de Vida de Medellín, 2020. Medio ambiente y gestión del riesgo. Disponible en: <https://www.medellincomovamos.org/sectores/medio-ambiente>
72. United Nations [ONU] Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles [Internet] 2015 [consultado el 12 de diciembre de 2023]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
73. United Nations [ONU] Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro, Brasil, 3-14 de junio de 1992 [consultado el 12 de diciembre de 2023]; Disponible en: <https://www.un.org/es/conferences/environment/rio1992>
74. United Nations [ONU] Convenio sobre la Diversidad Biológica [internet] [consultado el 12 de diciembre de 2023]; Disponible en: <https://www.un.org/es/observances/biodiversity-day/convention>
75. Instituto Nacional de Biodiversidad [INABIO] Metas Aichi [internet] [consultado el 12 de diciembre de 2023]. Disponible en: <http://inabio.biodiversidad.gob.ec/metas-aichi/>
76. United Nations [ONU] División de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas [Internet]. [consultado el 9 de enero de 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/>
77. United Nations [ONU] El Acuerdo de París [internet] [consultado 12 de diciembre de 2023] Disponible en: <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>
78. Función Pública. Constitución Política 1 de 1991 Asamblea Nacional Constituyente [internet] [consultado 12 de diciembre de 2023] Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4125>

-
79. Función pública. Ley 99 de 1993 [Internet] [consultado 12 de diciembre de 2023]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339>
 80. Función pública. Ley 388 de 1997 1993 [Internet] [consultado 12 de diciembre de 2023]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339>
 81. Función pública. Decreto 1504 de 1998 [Internet] [consultado 14 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1259>
 82. Alcaldía de Medellín. Áreas Protegidas [internet] 2014 [consultado 14 de diciembre de 2023]. Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/giscatalogacion/srv/api/records/b47b32aa-352d-430d-a4a7-5116d94d0c78>
 83. Alcaldía de Medellín. Decreto 2119 de 2011 [internet] [consultado 14 de diciembre de 2023]. Disponible en: https://www.medellin.gov.co/normograma/docs/astrea/docs/D_ALCAMED_2119_2011.htm
 84. Alcaldía de Medellín. Acuerdo 23 del 2012 [internet] [consultado 14 de diciembre de 2023]. Disponible en: https://www.medellin.gov.co/normograma/docs/astrea/docs/A_CONMED_0023_2012.htm
 85. Alcaldía de Medellín. Acuerdo 47 de 2015. [internet] [consultado 14 de diciembre de 2023]. Disponible en: https://www.medellin.gov.co/normograma/docs/astrea/docs/A_CONMED_0047_2015.htm
 86. Área Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA]. Acuerdo Metropolitano 19 del 2017 [internet] [consultado 14 de diciembre de 2023]. Disponible en: https://www.medellin.gov.co/normograma/docs/astrea/docs/A_AMVA_0019_2017.htm
 87. Alcaldía de Medellín. Acuerdo 106 de 2018 [internet] [consultado 2 de enero de 2024]. Disponible en: https://www.medellin.gov.co/normograma/docs/astrea/docs/A_CONMED_0106_2018.htm
 88. Alcaldía de Medellín. Decreto 0598 del 2019 [internet] [consultado 2 de enero de 2024]. Disponible en: https://www.medellin.gov.co/normograma/docs/astrea/docs/D_ALCAMED_0598_2019.htm
 89. Alcaldía de Medellín. Acuerdo 2 de 2020 [internet] [consultado 2 de enero de 2024].. Disponible en: https://www.medellin.gov.co/normograma/docs/astrea/docs/A_CONMED_0002_2020.htm
 90. Alcaldía de Medellín. División Político-Administrativa Urbana Municipio de Medellín 2023.

91. Alcaldía de Medellín. Estadística de pobreza y desigualdad [internet] [consultado 2 de enero de 2024] Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/es/centro-documental/estadisticas-de-pobreza-y-desigualdad/>
92. Red de pobreza multidimensional. Índice de Pobreza Multidimensional Nacional [Internet]. [consultado 2 de enero de 2024]. Disponible en: https://www.mppn.org/es/paises_participantes/colombia/
93. Área Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA]. Observatorio Inmobiliario Catastral - Área metropolitana del Valle de Aburrá [Internet]. [consultado 2 de enero de 2024]. Disponible en: <https://idem.metropol.gov.co/>
94. Alcaldía de Medellín. Geomedellin, el portal de datos geográficos del Municipio de Medellín.
95. Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. Manual De Procedimientos Generación de Ortofotomosaico, 2017.
96. Alcaldía de Medellín. Geomedellín [Internet]. [consultado 11 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/geomedellin/datosAbiertos/378>
97. Departamento Nacional de Estadística [DANE]. Dirección de Geoestadística y Dirección de Censos y Demografía. Densidad de la población en Colombia.
98. Ministerio de Salud. Resolución número 8430 de 1993. República de Colombia; 1993.
99. Duque J, Fooks L, Keith M, Parnell S, Tucker A. Towards Urban Sustainability in Latin America [Internet]. 2023. Disponible en: https://www.peak-urban.org/sites/default/files/2023-02/towards_urban_sustainability_in_latin_america.pdf
100. Schüle SA, Gabriel KMA, Bolte G. Relationship between neighbourhood socioeconomic position and neighbourhood public green space availability: An environmental inequality analysis in a large German city applying generalized linear models. *Int J Hyg Environ Health* [Internet]. 2017;220(4):711–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.02.006>

ANEXO 1

Figura 1. Gráfico cuantil-cuantil (QQ) normalidad IPM.**Figura 2.** Gráfico cuantil-cuantil (QQ) normalidad % área verde por barrio.

ANEXO 2

Figura 1. Gráfico supuesto de linealidad.

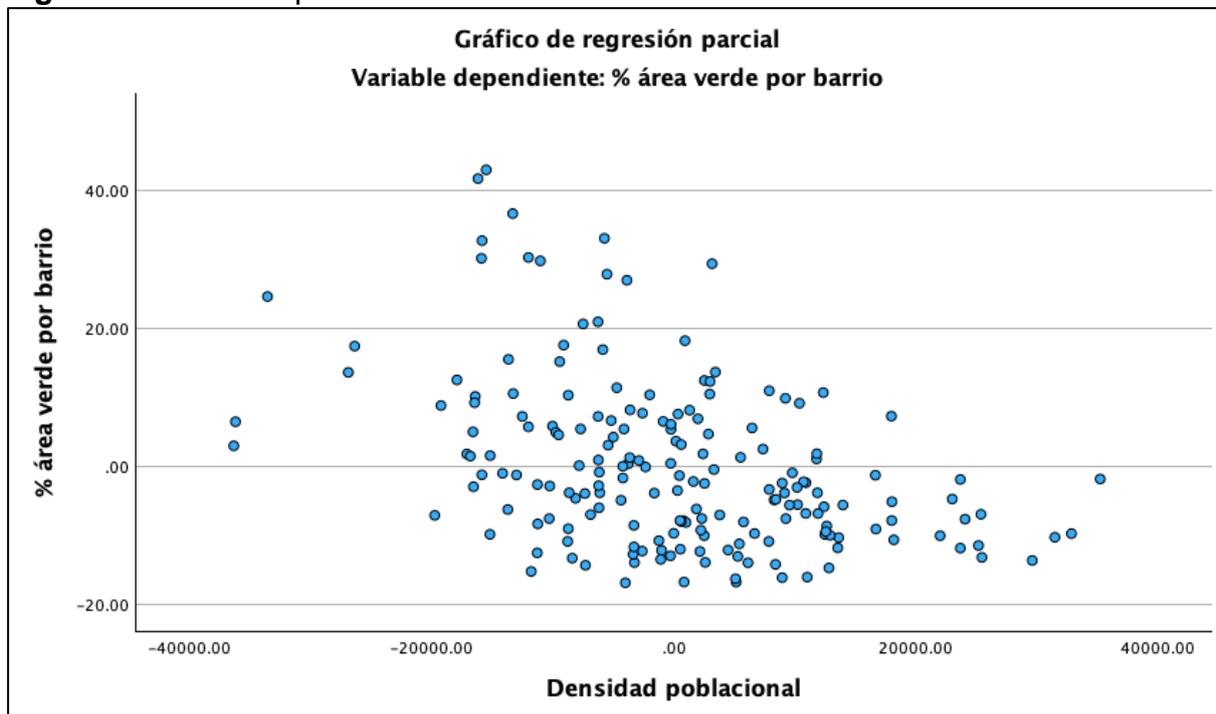


Figura 2. Gráfico supuesto de homocedasticidad.

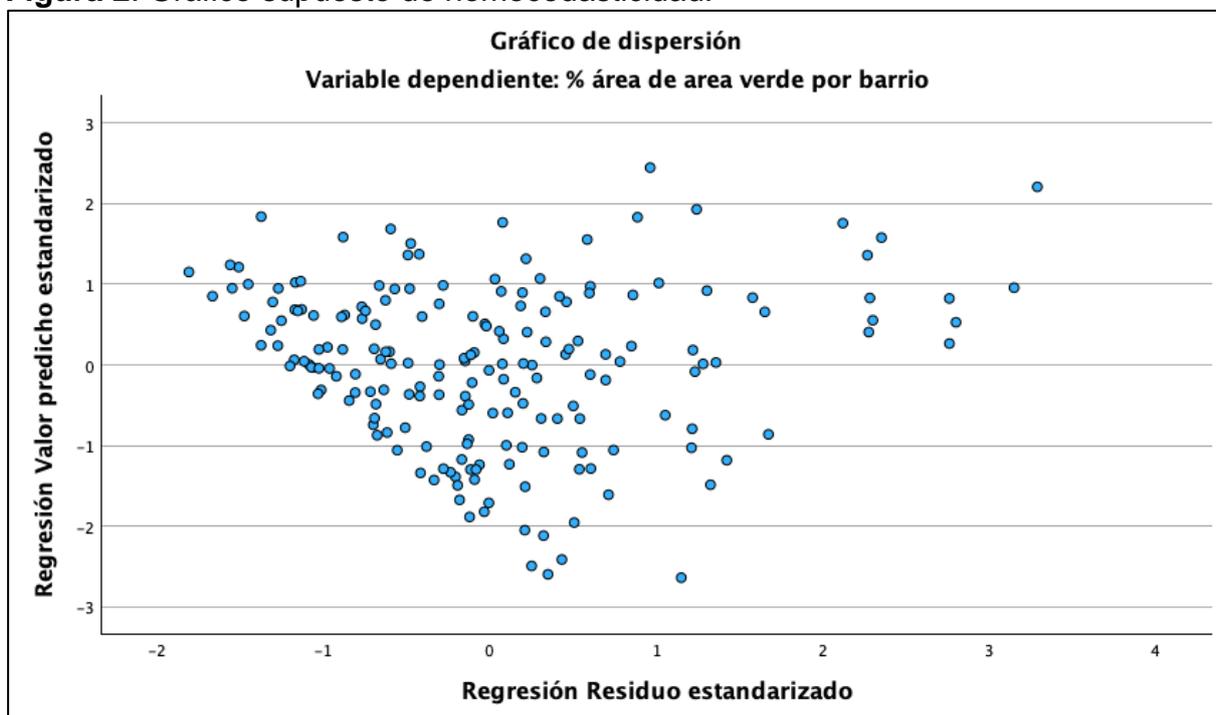
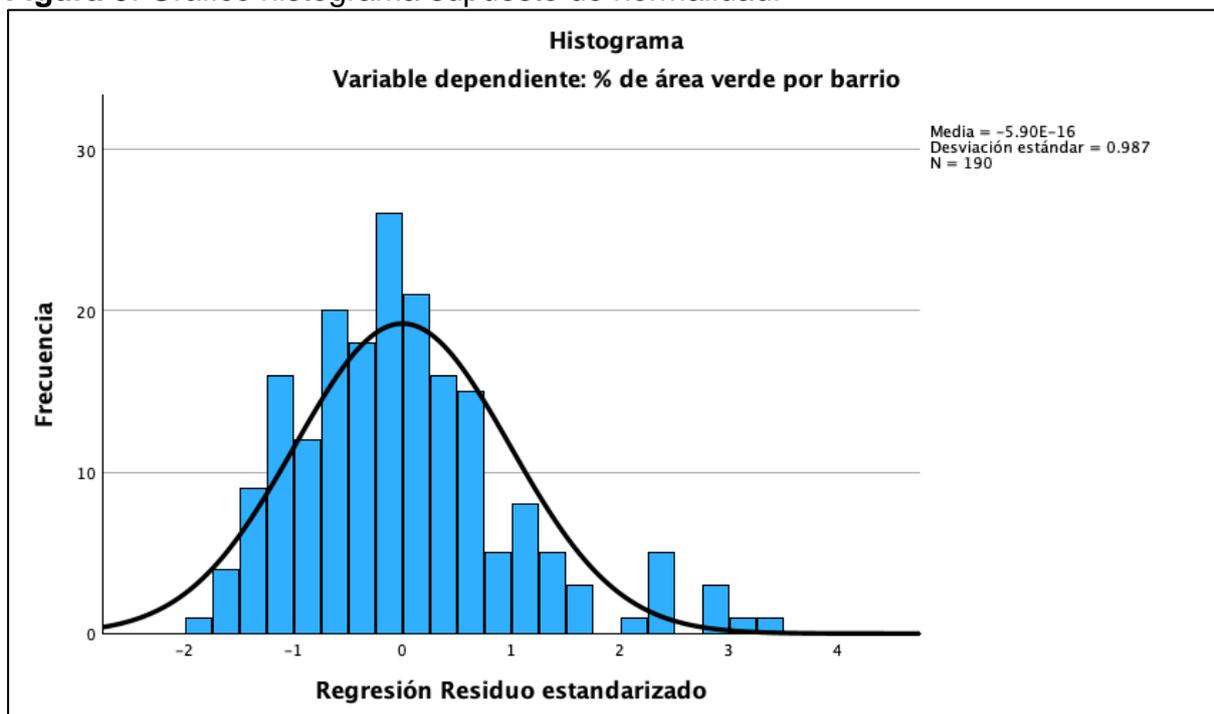


Figura 3. Gráfico histograma supuesto de normalidad.**Figura 4.** Gráfico P-P supuesto de normalidad.