Aproximación a las Funciones Ecológicas de la Infraestructura Verde Residencial: Estudio Comparativo entre los Barrios Santa Ana y Fray Luís Amigó de Palmira (Colombia)

Reynaldo Aparicio-Rengifo[1], Stefania Arango-Cuartas[2], Jader Muñoz-Ramos[3]

RESUMEN

En los barrios Santa Ana y Fray Luís Amigó de la ciudad de Palmira (Valle del Cauca, Colombia), se contrastaron algunos indicadores de las funciones ecológicas que desempeña la infraestructura verde residencial (IVR) a escala de barrio, para determinar su contribución al ambiente en cada contexto. Se realizó un análisis ambiental de la IVR en los barrios estudiados durante un período de 10 años, utilizando imágenes satelitales multiespectrales de alta resolución, y se aplicó un instrumento estructurado para entender la percepción de los residentes de dichos barrios sobre algunas variables ambientales. Se encontraron patrones en la relación entre la temperatura superficial del suelo y los factores climáticos y de vegetación que evidenciaron el papel fundamental de la IVR en la percepción ambiental y el bienestar de los residentes. En el barrio Santa Ana, con mayor cobertura vegetal, incluidos los antejardines, la vegetación mejora la calidad del ambiente e influye positivamente en el bienestar humano y la satisfacción general de sus habitantes. En contraste, las limitaciones en la cobertura vegetal en Fray Luís Amigó reflejaron menores beneficios. Todos estos resultados subrayan la necesidad de integrar más IVR en contextos urbanos de baja vegetación.

Palabras clave: antejardín; funciones ecológicas; franja verde; Isla de calor urbano; Palmira.

[1] Doutor em Ciências Ambientais (Universidad del Valle, Colômbia). Mestre em Arquitetura e Urbanismo (Universidad del Valle, Colômbia). Professor efetivo da Universidad del Tolima, Colômbia, vinculado à Faculdade de Ciências do Habitat, Design e Infraestrutura. ORCID: 0000-0002-8380-9280. E-mail: raparicior@ut.edu.co

[2] Doutoranda em Arquitetura, Design e Urbanismo pela Universidad de La Salle (Colômbia). Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidad del Valle (Colômbia). Professora da Universidad del Cauca, Colômbia, vinculada ao curso de Arquitetura. ORCID: 0000-0002-7961-8369. E-mail: stefaniarango@unicauca.edu.co

[3] Doutor em Ciências Agrárias (Universidad Agraria de La Habana, Cuba). Mestre em Geoquímica Ambiental (Universidade Federal do Pará, Brasil). Professor efetivo da Universidad del Tolima, vinculado à Faculdade de Engenharia Florestal. ORCID: 0000-0002-6933-1049. E-mail: jmunozra@ut.edu.co

En el contexto actual de urbanización acelerada que desencadena problemáticas ambientales de gran magnitud e intensidad, la infraestructura verde urbana (IVU) adquiere relevancia como estrategia para mejorar la sostenibilidad de los entornos construidos. Los componentes de la IVU generan nuevas oportunidades y contextos para que la ciudadanía participe en la administración de los servicios ecosistémicos socioecológicos, cuya configuración ha sido responsabilidad de los poderes políticos[4].

Además de mitigar o adaptarse a los efectos negativos de las ciudades, como las islas de calor urbanas (ICU), la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo, la contaminación del aire y del agua, entre otros, las funciones ecológicas de la IVU coadyuvan al fortalecimiento de la cohesión social y el bienestar comunitario[5]. Experiencias como el Proyecto Red Verde y Red Azul territorial de Bruselas (2019), la Malla Verde de Londres (2011), la infraestructura verde Natural de Chicago (2012), la infraestructura verde de Berlín (1990)[6], demuestran la efectividad de este enfoque.

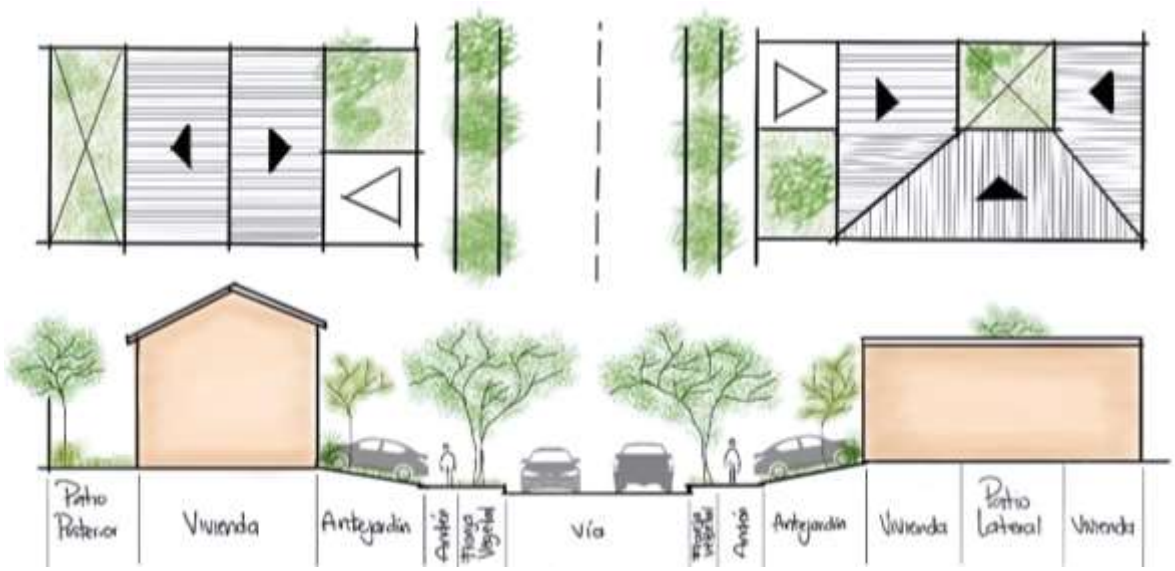
Un aspecto particular de la IVU es la infraestructura verde residencial (IVR), entendida como el conjunto de elementos naturales y seminaturales ubicados en los parques y zonas verdes –en la escala de barrios–, así como los patios posteriores, centrales o laterales, los antejardines (jardines frontales) y la franja verde o ambiental situada entre la acera y el bordillo –en la escala de viviendas– (Figura 1). Aunque la escala de estos últimos es pequeña, la repetición de su patrón espacial conforma corredores ecológicos que facilitan la conectividad entre hábitats urbanos, periurbanos y rurales. Así, la IVR se torna pieza relevante en la configuración de las ciudades sostenibles[7].

La IVR puede considerarse la sucesora del jardín doméstico. Sin embargo, el interés por explorar estas soluciones urbano-arquitectónicas no es equiparable al que ha tenido su

[4]Adamu, Shafi"u, Huang Yong, Ashiru Bello, et al., "Green Infrastructure–Urban Planning Nexus: Role, Discurse and Possibilities in Achieving Socio Ecological Sustainability and Resilience." Cities 171 (2026): 106810.
[5]Yirong Jia & Catalina Turcu, "Climate, Health, and Urban Green Infrastructure: The Evidence Base and Implications for Urban Policy and Spatial Planning," *International Journal of Environmental Research and Public Health* 22, no. 12 (2025): 1842.
[6] Ester Higueras-García, Eliza Pozo-Menéndez et al., "Ordenación territorial desde la infraestructura verde y azul en el Valle de Guatiguará (Colombia)", *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana* 14 (2022): p. 1-18.
[7] Mark A. Goddard, Andrew J. Dougill & Tim G. Benton, "Escalando desde los jardines: conservación de la biodiversidad en entornos urbanos", *Trends in Ecology & Evolution* 25, no. 2 (2010): p. 90-98.

predecesor. De *facto*, a pesar de su histórica presencia en diversas regiones del mundo, parece haber sido un área de investigación desatendida[8].

Figura 1. Elementos de infraestructura verde residencial.



Fuente: Los autores.

Estas infraestructuras "deliberadamente protegían a los acomodados de los transeúntes... [en la ciudad burguesa, y la] clase media manipuló y formó su entorno como un baluarte contra la ciudad"[9]. Algunos ejemplos tangibles se encuentran en urbanizaciones que adoptaron la propuesta teórica de la ciudad jardín[10], como Letchworth Garden City (1905) y los barrios Hampstead Garden Suburb de Londres (1906), Forest Hill Garden de Queens, en Nueva York (1908), Radburn, en Nueva Jersey (1923)[11], Neue Frankfurt, en Frankfurt (1925), Onkel-Toms-Hütte, en Berlín (1926-1931) y Cité Frugès, en Pessac, en Francia (1927)[12].

[8] Jelena Aleksejeva, Gerasimos Voulgaris, et al., "Systematic Review of the Climatic and Non Climatic Benefits of Green Roofs in Urban Areas," *Urban Climate* 58 (2024): 102133.
[9] S. Kleinberg, "Espacio de Género: Vivienda, Privacidad y Domesticidad en los Estados Unidos del siglo XIX", en *Espacio doméstico: lectura del interior del siglo XIX*, editado por I. Bryden y J. Floyd, p. 142-161 (Manchester, Inglaterra: Prensa de la Universidad de Manchester, 1999), p. 147.
[10] Ebenezer Howard, *Ciudades jardín del mañana* (Cambridge, MA: Biblioteca Frances Loeb de la Universidad de Harvard, Escuela de Posgrado de Diseño, 1902).
[11] Reynaldo Aparicio-Rengifo, Juan José Ospina-Tascón & Erick Abdel Figueroa Pereira, "El antejardín en la ciudad: una aproximación histórico-evolutiva", *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales* 56, no. 222 (2024): p. 1113-1132.
[12] Ibid.

América Latina también cuenta con casos notables, como las habitaciones obreras en Santiago de Chile (1906), el Jardim América, en São Paulo (1913), el Tortugas Country Club, en Buenos Aires (1930), la urbanización la Florida, en Caracas (1928), el Chapultepec Heights Country Club y la sección Loma de Bella Vista, en México (1921).[13]

En Colombia, la urbanización El Prado, en Barranquilla (1920), el barrio Teusaquillo, en Bogotá (1927)[14] , la cuarta etapa del barrio Manga, en Cartagena de Indias (1933), los barrios Prado (1926) y Laureles (1943) de Medellín y los barrios El Peñón (1920), Granada (1925) y San Fernando Viejo (1927) de Santiago de Cali[15], por citar algunos ejemplos como soluciones espaciales con "principios de la planeación moderna de salubridad y democracia"[16] para mitigar los problemas ecológicos resultantes de la ciudad industrial.

Algunos de estos referentes continúan vigentes, mientras que otros comienzan a desaparecer debido a las demandas urbanas. Las nuevas propuestas de IVU priorizan el diseño y la materialización de plazas, parques y zonas verdes de gran escala, ante las problemáticas ambientales contemporáneas, y tienden a subestimar los beneficios de la IVR a escala de barrios al considerar que estos presentan dos denominadores comunes: i) una planificación urbana que no contempló desde el inicio la incorporación de estas soluciones basadas en la naturaleza (SBN)[17], y ii) la transformación del antejardín y la franja verde para usos comerciales o parqueaderos[18].

De esta manera, el problema de investigación se centró en la importancia de las funciones ecológicas proporcionadas por la IVR a escala de barrios. Se planteó como caso de estudio los barrios Santa Ana y Fray Luís Amigó de la ciudad de Palmira (Valle

[13] Ibid.
[14] Alcaldía Local de Teusaquillo, *Historia de Teusaquillo* (Bogotá, Colombia: Alcaldía Local de Teusaquillo, 2021).
[15] Aparicio-Rengifo, Ospina-Tascón y Figueroa Pereira, "El antejardín en la ciudad," p 1113-1132.
[16] Fernando Winfield Reyes y Daniel Martí, "Urbanismo y Modernidad: La Influencia de las Ciudades Jardín en México: 1921-1930", Arquitecturas del Sur 31, no. 44 (2013): p. 40.
[17] Fundación Grupo HTM, *Soluciones basadas en la naturaleza para la resiliencia urbana en Colombia* (Grupo HTM, accedido el 8 de septiembre de 2024); Carolina Figueroa Arango, *Guía para la integración de soluciones basadas en la naturaleza en la planificación urbana: Primera aproximación para Colombia* (Berlín: Alexander von Humboldt Stiftung, Ecologic Institute, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2020).
[18] Redacción Ibagué, "Ibagué sin ley ni orden: hasta las construcciones le quitan los andenes a los peatones", *El Olfato* , 8 de septiembre de 2023; Andrés Rodríguez Jaramillo, "El norte de Armenia perdió su norte", *Eje21*, 27 de septiembre de 2023; *Semana* , "¿Qué se viene para los antejardines en Bogotá con la nueva normativa del POT?" *Semana* , 16 de julio de 2023; Luís Fernando Solarte Nates, "Popayán, una de las ciudades más apeñuscadas del mundo", *Las2orillas* , 21 de febrero de 2017; Redacción, "Antejardines no son para estacionar: Secretaría de Movilidad", *Vivir en el Poblado* , 17 de mayo de 2019; El País, "Caleños se quejan de las constantes invasiones en andenes y antejardines," *El País*, 2 de mayo de 2023.

del Cauca, Colombia), en virtud de que estos dos barrios están yuxtapuestos pero son divergentes: el primero con un diseño de IVR más consolidado que el segundo.

El objetivo de investigación consistió en contrastar las funciones ecológicas de la IVR en los barrios seleccionados, bajo la hipótesis de que la IVR en estos barrios presentan funciones ecológicas diferenciadas por variaciones en el diseño urbano, la densidad de las zonas verdes y la cantidad de individuos arbóreos. En ese sentido, se plantearon las siguientes preguntas de investigación: ¿en qué difieren las funciones ecológicas de la IVR entre los barrios Santa Ana y Fray Luís Amigó de la ciudad de Palmira? y ¿Cómo afectan estas discrepancias el ambiente en cada contexto?

INFRAESTRUCTURA VERDE EN LA CONFIGURACIÓN URBANA

La IVU es un enfoque estratégico centrado en la creación y manejo de redes de espacios verdes y azules interconectados, que se originó en la década de 1990 en los Estados Unidos como *Green Infrastructure* con el objetivo de promover la salud ecológica y el bienestar humano[19]. Aunque este enfoque resalta su aplicación en grandes zonas verdes y parques, también hace referencia a elementos vegetales dentro de predios privados; es decir, cualquier solución que permita mantener la conectividad ecológica dentro de las zonas urbanas[20].

Su implementación va más allá de la función ecológica relacionada con la conservación del paisaje y de regulación de impactos generados por la acción humana[21]. Desde la perspectiva ambiental, la IVU contribuye a la mitigación de los efectos del cambio climático, mejora la calidad del aire y del agua, y fomenta la biodiversidad. A nivel social, promueve espacios públicos accesibles que fortalecen la cohesión comunitaria y el bienestar de los ciudadanos. En el ámbito económico, la IVU puede

[19] Renato Monteiro, José C. Ferreira, y Paula Antunes, "Principios de planificación de infraestructura verde: una revisión integrada de la literatura", *Land* 9, no. 12 (2020): p. 525.
[20] Ibid.
[21] AECT ESPON, *Resumen de Políticas: Infraestructura verde en zonas urbanas* (Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [MITECO], 2020).

aumentar el valor de las propiedades, reducir costos asociados a la gestión del agua y minimizar los riesgos y consecuencias de los desastres naturales[22].

La IVU ha sido objeto de diseño y planificación dentro de la gestión urbana de algunas ciudades[23], pero puede ser escasa en el contexto latinoamericano, debido a crecimientos urbanos sin planificación, o espontáneos[24], que surgieron hacia finales del siglo XX[25] y afectaron, principalmente, ciudades intermedias con menos de 2.000.000 de habitantes[26].

En el marco colombiano, la implementación y recuperación de la IVU se presenta como oportunidad clave en momentos de transición que comienzan a superar el paradigma del urbanismo del siglo XX el cual consideraba el desarrollo dependiente de la expansión de zonas urbanas densamente construidas, lo que generó la impermeabilización de grandes superficies y la alteración del ciclo natural del agua[27].

Hoy, el enfoque se ha desplazado hacia la restauración de la estructura ecológica de las ciudades, con el objetivo de mitigar los efectos negativos del cambio climático[28].

La IVU contribuye a restablecer los ciclos naturales interrumpidos por la urbanización y tiene un impacto relevante en la salud y el bienestar social, al mejorar la calidad visual del entorno urbano. Todo esto se traduce en mejor calidad de vida para los urbanitas[29]. Por ello, la percepción de los ciudadanos ante estos cambios resulta clave, ya que el éxito de la IVU depende de la forma como las personas valoran e interactúan con estos espacios. Además, involucrar la comunidad en su planeación y cuidado fortalece su compromiso y asegura un uso responsable, hecho que refuerza también la percepción positiva del usuario sobre la funcionalidad y el impacto visual de

[22] Prabhasri Herath & Xue Mei Bai, "Benefits and Co benefits of Urban Green Infrastructure for Sustainable Cities: Six Current and Emerging Themes," *Sustainability Science* 19 (2024), p. 1039-1063.
[23] Adamu et al., "Green Infrastructure–Urban Planning Nexus," 106812.
[24]Sofia Flores, Carmen Van Mechelen, et al., "Trends and Status of Urban Green and Urban Green Research in Latin America," *Landscape and Urban Planning* 227 (2022): 104536.
[25] Sonia Reyes Päcke y Isabel Figueroa-Aldunce, "Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile," *Eure* 36, no. 109 (2010): p. 89-110.
[26] Anna Risi Vianna Crespo y Juan Manuel Puerta, *Documento de enfoque: evaluación de la iniciativa ciudades emergentes y sostenibles del BID* (2016) (BID).
[27] Alfonso P, William H. «El concepto de hábitat en medios urbanos: una transición del pensamiento urbano del siglo XX». Ciencia Unisalle, 2010.
[28]Herath & Bai, "Benefits and Co benefits of Urban Green Infrastructure,", p. 1045.
[29] Pedro Calaza, *Infraestructura verde. Sistema natural de salud pública* (Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2016).

la IVU y consolida el sentido de pertenencia y el apoyo necesario para su conservación[30].

En consecuencia, la recuperación y mantenimiento de la IVR es esencial para restaurar la cobertura vegetal y asegurar la provisión de los servicios ecosistémicos asociados. Adicionalmente, estos espacios pueden servir también para la producción de alimentos mediante la incorporación de árboles frutales, hecho que promueve la seguridad y sostenibilidad alimentaria local[31].

Por tanto, la inversión en IVR embellece los entornos urbanos y coadyuva al fomento de ciudades resilientes, sostenibles y habitables, donde la implementación de SBN mejora la calidad de vida de los habitantes y traza un camino hacia un futuro urbano más equilibrado y saludable. Asimismo, maximiza los beneficios derivados de los ecosistemas, lo que contribuye a un crecimiento inteligente que reduce la dependencia de infraestructuras costosas, optimiza el uso del espacio *per cápita* y genera retornos económicos relevantes[32].

INFRAESTRUCTURA VERDE Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS URBANOS

La IVU[33] –también llamada infraestructura ecológica[34]– contiene una biodiversidad conformada por el conjunto de organismos vivos y hábitats terrestres y acuáticos que se pueden encontrar dentro de las áreas urbanas[35]. A su vez, la biodiversidad dentro de las ciudades tiene patrones distintivos y cumple funciones particulares según sus interrelaciones con el escenario urbano en que se encuentra inmersa[36], hecho que permite configurar los denominados ecosistemas urbanos,

[30] Wang, Dong, Pei-Yuan Xu, et al., "Urban Green Infrastructure: Bridging Biodiversity Conservation and Sustainable Urban Development through Adaptive Management Approach." *Frontiers in Ecology and Evolution* 12 (2024): 1440477.
[31] Herath & Bai, "Benefits and Co benefits of Urban Green Infrastructure,", p. 1045.
[32] Fang, Xuening, Jingwei Li, et al., "Integrating Green Infrastructure, Ecosystem Services and Nature-based Solutions for Urban Sustainability: A Comprehensive Literature Review." *Sustainable Cities and Society* 98 (2023): 104843; Herath and Bai, "Benefits and Co benefits of Urban Green Infrastructure," p. 1046.
[33] Mark A. Benedict & Edward T. McMahon, "Infraestructura verde: conservación inteligente para el siglo XXI", *Renewable Resources Journal* 20, no. 3 (2022): p. 12-17.
[34] Erik Gómez-Baggethun et al., "Urban Ecosystem Services", en *Urbanización, biodiversidad y servicios ecosistémicos: desafíos y oportunidades* , ed. Thomas Elmqvist et al. (Dordrecht: Springer, 2013), p. 175-251.
[35] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAVH), *Biodiversidad y servicios ecosistémicos en la planificación y gestión ambiental urbana*, 2017.
[36]Ibid..

caracterizados por la existencia de grandes áreas construidas, o por contener alta densidad de población humana[37].

Por su parte, la relación entre la estructura, función y composición de la biodiversidad, y los sistemas sociales, ocurre mediante procesos ecológicos benéficos para el ser humano conocidos como servicios ecosistémicos[38].

Un caso concreto son los servicios ecosistémicos urbanos (SEU), entendidos como los beneficios que reciben los sistemas sociales de los ecosistemas que se desarrollan en las ciudades[39]. Los SEU pueden ser: i) de aprovisionamiento o suministro: productos que se obtienen de los ecosistemas, como el agua y los alimentos, ii) de regulación: beneficios derivados de los procesos mediante los cuales los ecosistemas modulan el clima y otros factores ambientales, y iii) culturales: beneficios percibidos por intangibles que reciben las personas, como la tranquilidad, el placer, la espiritualidad, la contemplación, entre otros[40].

La relación entre la IVU y su correspondiente provisión de servicios ecosistémicos cobra mayor relevancia en el estudio de la sostenibilidad de las ciudades[41] y su adaptación y mitigación al cambio climático[42].

INDICADORES DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS URBANOS

En el contexto de ciudades y comunidades sostenibles contemplado en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas[43], se torna necesario el seguimiento a la información ambiental con base en evidencias[44] o indicadores.

[37] S.T.A. Pickett et al., "Sistemas ecológicos urbanos: vinculación de componentes ecológicos, físicos y socioeconómicos terrestres de las áreas metropolitanas", *Revisión anual de ecología y sistemática* 32 (2001): p. 127-157.
[38] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Biodiversidad y servicios ecosistémicos en la planificación y gestión ambiental urbana* (Bogotá: Gobierno de Colombia, 2021),
[39] Wang et al., "Urban Green Infrastructure," 1440479; Alessio Russo and Giuseppe T. Cirella, "Urban Ecosystem Services: Advancements in Urban Green Development," *Land* 12, no. 3 (2023): p. 522.
[40] Roy Haines-Young & Marion Potschin, *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. European Environment Agency: Fabis Consulting. 2018.
[41] Clara María Karis & Rosana Ferraro, "Identificación de la estructura verde y azul de Mar del Plata", *Investigación + Acción* 20, no. 19 (2017): p. 187-206.
[42] Krishna Mondal, Sudhakar Rawat, et al., "Urban Green Infrastructure for Climate Change Adaptation and Mitigation: Roles, Innovations, and Challenges in Sustainable Cities," *International Journal of Environment and Climate Change* 15, no. 13008 (2025).
[43] UN *(United Nations)*, "*La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*", ODS, 2015.
[44] Karis & Ferraro, "Identificación de la estructura verde y azul de Mar del Plata,", p. 200.

Los indicadores son instrumentos que permiten transformar los procesos ambientales en conocimiento social[45], porque simplifican la información ambiental para que sea fácilmente comunicada y entendida. De esta forma, los planificadores y tomadores de decisión podrán fundamentar sus actividades en evidencias concretas a la hora de identificar, priorizar, hacer seguimiento, evaluar y proponer acciones correctivas[46].

Existen bancos y revisiones de indicadores propuestos, caracterizados y evaluados en estudios a nivel gubernamental[47]. Sin embargo, para evaluar los servicios ecosistémicos urbanos se prefieren los indicadores ambientales[48], cuya valoración depende de procesos que se pueden cuantificar según la estructura ecológica que los provee, o de las funciones ecológicas que cumplen[49]. Es decir, se puede cuantificar la IVU y otros espacios verdes, como la IVR, que, en conjunto, pueden llegar a ser los principales proveedores de servicios ecosistémicos en las ciudades[50].

METODOLOGÍA

La metodología adoptada se basa en un enfoque mixto, con alcance exploratorio y correlacional. Se emplea un conjunto específico de técnicas y herramientas de recolección y análisis de información cuantitativa y cualitativa aplicadas a dos barrios de la ciudad de Palmira (Valle del Cauca, Colombia).

ÁREA DE ESTUDIO

Palmira es un municipio colombiano con población estimada de 359.549 habitantes en 2024[51], localizado en el departamento de Valle del Cauca (Figura 2), entre

[45] Rayen Quiroga Martínez, *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe* (Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL, Serie Manuales-CEPAL, 2009).
[46] Laura Nahuelhual, Pedro Laterra & José Barrena, *Indicadores de servicios ecosistémicos: una revisión y análisis de su calidad* (Ministerio del Medio Ambiente, Chile, 2016).
[47] Ibid;MADS e IAVH, *Biodiversidad y servicios ecosistémicos en la planificación y gestión ambiental urbana*, 2017.
[48] Clara María Karis, Camila Magalí Mujica y Rosana Ferraro, "Indicadores ambientales y gestión urbana: relaciones entre servicios ecosistémicos urbanos y sustentabilidad", *Cuaderno Urbano* 27 (2019).
[49] Francisco De la Barrera, Sonia Reyes-Päcke y Ellen Banzhaf, "Indicadores de espacios verdes en entornos urbanos contrastantes", *Ecological Indicators* 62 (2016): p. 212–219.
[50] Jürgen Breuste, Dagmar Haase, et al.,"Urban Landscapes and Ecosystem Services", en *Ecosystem Services in Agriculture and Urban Landscapes*, ed. Steve Wratten, Harpinder Sandhu, Ross Cullen & Robert Costanza (Wiley, 2013), cap. 6; Alison Loram, Jaime Tratalos, et al.,"Huertos domésticos urbanos (X): la extensión y estructura del recurso en cinco grandes ciudades", *Landscape Ecology* 22, no. 4 (2007): p. 601–615.
[51] Telencuestas, "Cuántos habitantes tiene Palmira, Valle del Cauca en 2024", *Telencuestas* , sf, accedido el 17 de septiembre de 2024.

las coordenadas 3°32'05" de latitud norte y 76°17'44" de longitud oeste[52]. Limita al norte con el municipio El Cerrito, al este con el departamento de Tolima, al sur con los municipios Pradera y Candelaria, y al oeste con los municipios Santiago de Cali, Yumbo y Vijes[53]. Su cabecera urbana tiene una extensión aproximada de 20.49 km², y una altitud de 1,001 msnm[54]. La temperatura media anual es 23,9 °C, con promedio máximo de 30,7 °C y mínimo de 18,4 °C. La precipitación anual alcanza los 888,2 mm.

El estudio se realizó en los barrios Santa Ana y Fray Luís Amigó, pertenecientes a la comuna 3 de la ciudad de Palmira (Figura 2).

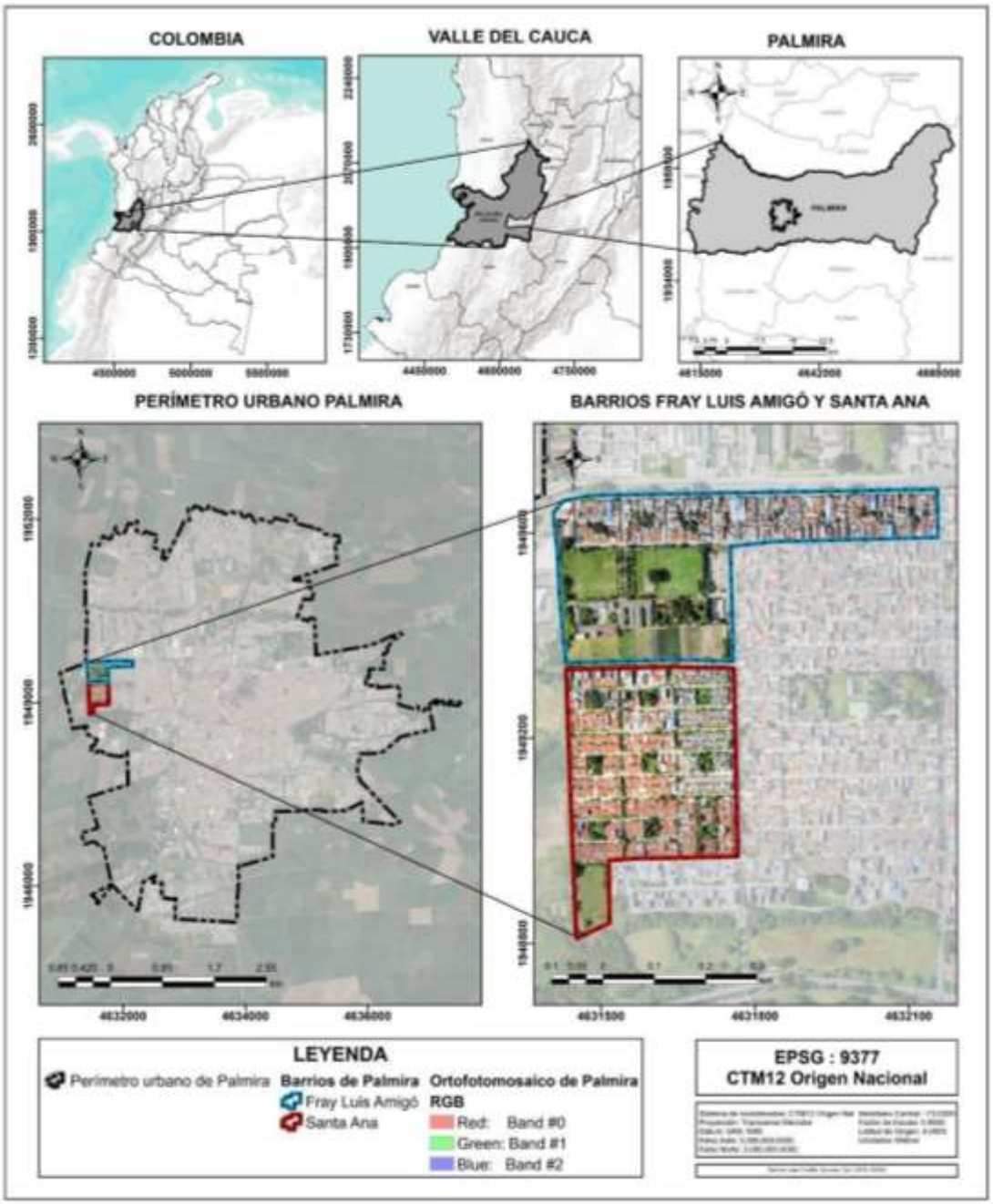
El barrio Santa Ana, con estratos socioeconómicos 3 y 4, tiene forma casi rectangular, con extremo suroccidental acentuado por un predio polideportivo. Su diseño geométrico en damero incluye 18 manzanas alargadas y nueve fragmentadas por micro parques que albergan 2,260 personas, aproximadamente, distribuidas en 788 predios[55]. La construcción de la primera etapa (252 casas unifamiliares sobre predios de 6.5 m x 16.10 m), comenzó en 1982 por la Fundación Santa Ana, adscrita a la Diócesis de Palmira [56].

Por su parte, el barrio Fray Luís Amigó es uno de los más antiguos de Palmira, materializado a mediados de los años 60. Presenta un diseño geométrico en "L" (Figura 2), resultado de un terreno rectangular (donde se encuentra el Instituto Técnico Industrial Fray Luís Amigó –del cual tomó su denominación[57]–, construido en 1957 por una comunidad de Terciarios Capuchinos) y una estructura adosada de manzanas dispuestas linealmente con viviendas unifamiliares. El barrio es de estrato socioeconómico 2, con población alrededor de 2,501 habitantes que residen en 539 predios[58], los más antiguos tienen alrededor de 15 m x 25 m. Al crecer el barrio, las

[52] Cámara de Comercio de Palmira, *Anuario Estadístico de Palmira 2019* (Palmira: Alcaldía de Palmira y Cámara de Comercio de Palmira, 2019), accedido el 17 de septiembre de 2024.
[53] Alcaldía Municipal de Palmira, *Información general de Palmira* (2012), accedido el 17 de septiembre de 2024.
[54] Cámara de Comercio de Palmira, *Anuario Estadístico de Palmira 2019*
[55] Cámara de Comercio de Palmira, *Anuario Estadístico de Palmira 2021*, accedido 17 de septiembre de 2024.
[56] Oscar Manrique Flórez, *Palmira, morfología urbana. Valle geográfico del río Cauca - Siglo XX (1960 - 1997)* (Santiago de Cali: POEMIA, 2021).
[57] Instituto Técnico Industrial Fray Luís Amigó, *Recorrido Histórico* (Fray Luís Amigó, sf), accedido el 21 de septiembre de 2024.
[58] Cámara de Comercio de Palmira, *Anuario Estadístico de Palmira 2021*.

dimensiones iniciales de los predios se han subdividido hasta en tres partes, para dejar casas con fachadas hasta de 4,85 m.

Figura 2. Localización del área de estudio.



Fuente: cartografía elaborada por Luís Miguel Caicedo Campos (2024).

La selección de los barrios se realizó mediante identificación cartográfica basada en tres criterios: a) proximidad físico-espacial en virtud de facilitar el análisis comparativo directo, b) similitud en su área, para evitar que las comparaciones fueran

afectadas por grandes variaciones en la escala territorial, y c) diferencias marcadas en su calidad ambiental (presencia o ausencia de IVR).

Ambos barrios son contiguos (Figura 2). Los barrios Santa Ana y Fray Luís Amigó tienen extensión aproximada de 134,463.98 m² (13.5 ha) y 144,298.62 m² (14.4 ha), respectivamente, con una diferencia resultante de 6.82 %. En cuanto a su calidad ambiental, el barrio Santa Ana posee una IVR consolidada, que incluye vegetación arbustiva, pastos, gramíneas y algunas flores en sus antejardines, e individuos arbóreos en la franja verde. En contraste, la IVR del barrio Fray Luís Amigó es escasa; su presencia es prácticamente nula en la parte externa de algunas manzanas (Figura 3), sin embargo, algunas viviendas tienen patios posteriores, centrales o laterales con individuos arbóreos de mediano porte.

Figura 3. Infraestructura verde residencial en los barrios Santa Ana, a la izquierda, y Fray Luís Amigó, a la derecha, en la ciudad de Palmira.



Fuente: Julián Felipe González Quintero (2024)

ANÁLISIS AMBIENTAL

En la primera fase del estudio se realizó un análisis ambiental de los barrios objeto de estudio para un período de 10 años, mediante el uso de imágenes satelitales multiespectrales de alta resolución (3m x 3m) de la agencia Planet Scope –que fueron obtenidas a través de la plataforma de acceso abierto Google Earth Engine– e indicadores ambientales obtenidos a partir de diversas fuentes consultadas (Tabla 1). Las imágenes fueron procesadas con el software ArcGis 10.8.

El análisis inició con la utilización del satélite Landsat 9 (USGS/NASA) para analizar los barrios con la banda Nº 10 (Thermal Infrared Sensor). Se midió la superficie verde por habitante, la precipitación promedio anual y la LST, además de parámetros como la humedad relativa y velocidad del viento, y se identificó la IVR a través de los índices NDVI, SAVI y EVI. Adicionalmente, se construyó un mapa de superficie permeable de suelo (zonas verdes y zonas construidas). La incertidumbre de los datos usa márgenes de error considerando la variabilidad de los sensores y la resolución de las imágenes.

Tabla 1. Indicadores ambientales usados para evaluar los servicios ecosistémicos de la infraestructura verde en las ciudades.

Nombre del indicador	**Descripción**	**Fuente**
Superficie verde por habitante	Relaciona la extensión de áreas verdes con el número de habitantes.	Karis y Ferraro (2017)
Superficie permeable del suelo	Porcentaje del suelo funcionalmente sustancial para el desarrollo de plantas y la retención de agua de lluvia	Karis y Ferraro (2017); Karis, Mujica y Ferraro (2019)
Precipitación promedio anual	Promedio de la precipitación registrada en una zona durante muchos años.	González y Buitrago (2012)
Humedad relativa	Relaciona la cantidad de vapor de agua que contiene el aire en un momento dado y la que contendría si estuviera saturado.	Correa y Rodríguez (2017)
Velocidad del viento	Determina el desplazamiento del aire en un tiempo determinado.	UPME e IDEAM (2006)
Temperatura superficial de la tierra (LST)	Evalúa qué tan caliente al tacto se sentiría un lugar particular de la superficie de la Tierra.	NEO (s.f.)
Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)	Evalúa la superficie del suelo cubierta de vegetación en espacios públicos y privados.	Karis, Mujica y Ferraro (2019)
Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)	Índice de vegetación que intenta minimizar las influencias del brillo del suelo mediante el uso de un factor de corrección de brillo del suelo.	ArcGIS Pro (s.f. a)

Índice de vegetación mejorado (EVI)	Índice de vegetación optimizado (tiene en cuenta las influencias atmosféricas y la señal de fondo de la vegetación). Es similar al NDVI, pero menos sensible al ruido de fondo y atmosférico, y a la saturación por áreas con vegetación muy densa.	ArcGIS Pro (s.f. b)

Fuente: elaboración propia (2024), a partir de compilación de literatura de distintos autores[59].

Percepción de los residentes

En la segunda fase se obtuvo información *in situ* mediante la aplicación de un instrumento estructurado (329 encuestas en Santa Ana y 334 en Fray Luís Amigó), con el fin de identificar cómo la IVR impacta diferentes aspectos de la percepción de bienestar. La muestra se calculó según la ecuación estadística para proporciones poblacionales, con base en la población actual de los barrios Santa Ana y Fray Luís Amigó, para un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 5 %.

Análisis de datos

Se realizó un análisis comparativo de las funciones ecológicas de la IVR en los barrios estudiados mediante un modelo de regresión lineal múltiple, con el fin de comprender las relaciones y fluctuaciones entre las variables ambientales y su impacto en las funciones ecológicas observadas. Este análisis tuvo en cuenta variables predictoras y sus efectos tanto individuales como combinados sobre una variable dependiente específica, lo que posibilitó la identificación de patrones y tendencias subyacentes. Finalmente, se llevó a cabo un análisis interpretativo que permitió cruzar los datos cualitativos con los cuantitativos.

[59] Tabla de elaboración propia (2024), a partir de la compilación de información de Karis y Ferraro (2017); Karis, Mujica y Ferraro (2019); Gonzales y Buitrago (2012); Correa y Rodríguez (2017); UPME e IDEAM (2006); NEO (sf) y ArcGIS Pro (sf ayb).

RESULTADOS

ANÁLISIS AMBIENTAL

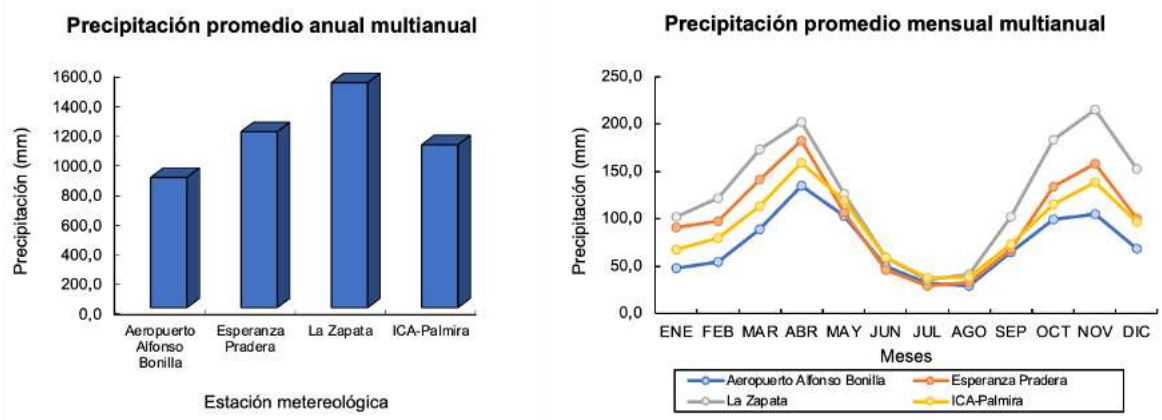
El análisis comparativo de la IVR entre los barrios Santa Ana y Fray Luís Amigó evidenció diferencia en la disponibilidad de superficie verde por habitante. Santa Ana cuenta con superficie verde total de 28,615.30 m², equivalente a 12.66 m^2/hab. Por su parte, Fray Luís Amigó presenta una superficie verde total de 51,344.9 m², que corresponde a 20.53 m^2/hab, es decir, un 62.2 % más que Santa Ana.

En materia de precipitación promedio anual, la estación meteorológica de La Zapata registró los mayores valores, que superan los 1,400 mm/año (Figura 4). Las estaciones Esperanza Pradera e ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) presentaron niveles menores, aunque cercanos, alrededor de 1,200 mm/año. La estación del Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón registró los niveles más bajos, próximos a 1,000 mm/año. Asimismo, se observó un comportamiento anual bimodal, correspondiente a las temporadas de lluvia típicas en Colombia, con mayores precipitaciones entre los meses marzo a mayo y septiembre a noviembre, y precipitaciones bajas entre junio y agosto (Figura 4).

La precipitación promedio anual en los barrios estudiadosmostró valores alrededor de 1,100 mm, con mínimo de 1,095.37 mm y máximo de 1,102.84 mm. Aunque la diferencia entre los valores es pequeña, en el barrio Fray Luís Amigó se presenta un gradiente en sentido oeste-este, con valores más bajos hacia el oeste. Esta variabilidad no se evidencia en el barrio Santa Ana, donde la precipitación promedio tiende a ser estable, con valores cercanos al mínimo (Figura 5).

La temperatura de la superficie terrestre evidenció una marcada disparidad térmica entre ambos barrios. Fray Luís Amigó presentó temperaturas más altas en las áreas densamente edificadas (44.7°C), y temperaturas bajas en el lote propiedad del colegio. En contraste, Santa Ana presentó temperaturas más bajas en las zonas edificadas (alrededor de 35 °C). Es decir, las temperaturas más bajas se encontraron cerca de las zonas verdes, mientras que al alejarse de estas, la temperatura de la superficie terrestre tiende a aumentar (Figura 5).

Figura 4. Precipitación promedio en el área de estudio.



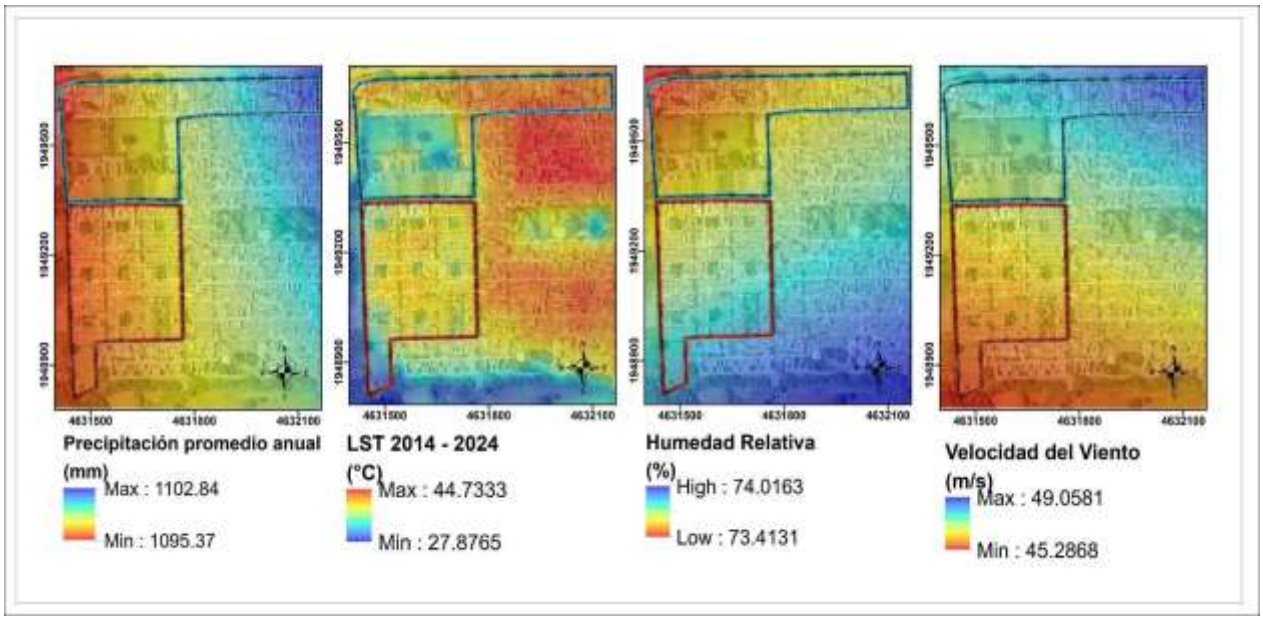
Fuente: elaborada por Luís Miguel Caicedo Campos, a partir de diferentes fuentes de información meteorológica.

Respecto a la humedad relativa, el barrio Santa Ana exhibió un gradiente de humedad con valores medios en la zona norte. La zona central mostró niveles medio-alto y la zona sur se caracterizó por valores altos de humedad relativa. En contraste, Fray Luís Amigó presentó un perfil de humedad relativa baja hacia la zona norte, y media en las zonas centro y sur (Figura 5).

En cuanto a la velocidad del viento, el área estudiada presentó un gradiente de velocidad en sentido suroeste-noreste, con mayores velocidades hacia el noreste, y diferencia entre los valores máximo y mínimo de alrededor de 4 m/s (Figura 5). Este gradiente hace que el barrio Fray Luís Amigó presente más variaciones en la velocidad del viento, con velocidades mayores que las del barrio Santa Ana.

En esta línea, el análisis del NDVI presentó en los barrios estudiados un contraste relevante en la distribución y calidad de su IVR, con valores variables entre 0.142857 y 0.86163, que sugieren diferencias en la densidad y el tipo de vegetación que afectan la funcionalidad ecológica de ambos sectores (Figura 6).

Figura 5. Mapas de distribución de precipitación promedio anual, temperatura superficial del suelo (LST), humedad relativa y velocidad del viento en Santa Ana y Fray Luís Amigó.



Fuente: cartografía elaborada por Luís Miguel Caicedo Campos, a partir de datos de IDEAM (2023) y NEO (sf).

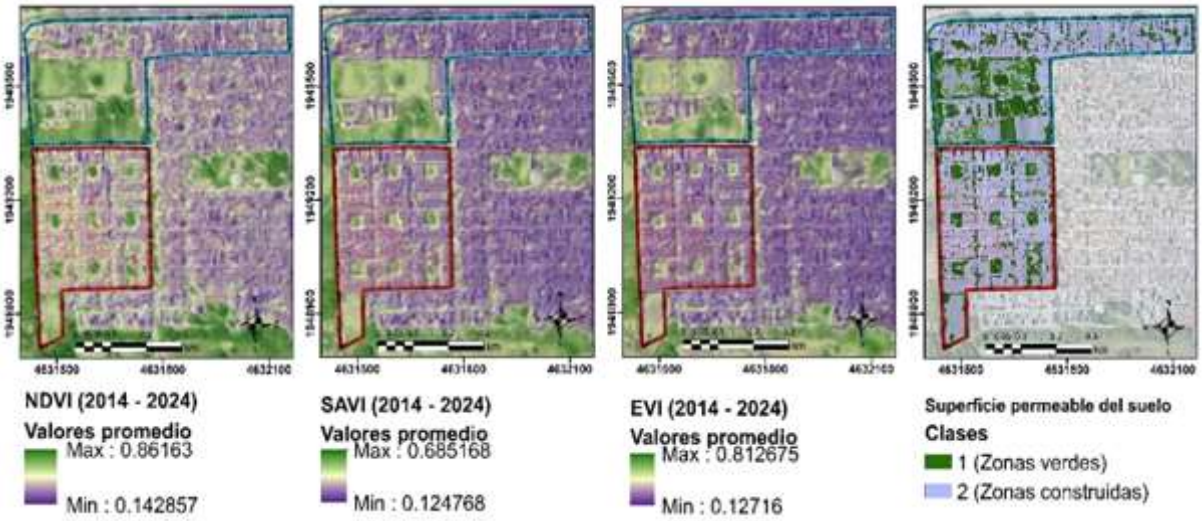
El SAVI destacó el efecto de la vegetación en las condiciones ambientales locales. Los valores más altos de este indicador se observaron en las zonas verdes de Santa Ana y en el lote propiedad del colegio, espacios caracterizados por su vegetación densa y continua. Por el contrario, los valores más bajos de SAVI se concentraron en Fray Luís Amigó, especialmente en áreas densamente edificadas, donde la vegetación es limitada o fragmentada y genera incremento en la acumulación de calor. Incluso, las zonas verdes existentes, como las de la institución educativa, no son suficientes para generar un efecto de enfriamiento importante, debido a su baja continuidad (Figura 6).

Estos resultados se verificaron también en el EVI, donde los mayores valores se encontraron en las áreas que hacen parte de la IVR de los barrios estudiados (Figura 6).

En cuanto a los datos comparativos sobre superficie permeable del suelo (zonas verdes) se encontró que las construcciones ocupan alrededor del 77.74 % (9.9 ha) del área del barrio Santa Ana, es decir, solo un 22.26 % (2.86 ha) del espacio son zonas verdes. Mientras, en el barrio Fray Luís Amigó las áreas construidas y las verdes representan alrededor del 65.8 % (9.9 ha) y 34,2 % (5.1 ha), respectivamente. La disposición de las superficies permeables se distribuyó más homogéneamente en el

barrio Santa Ana, mientras que en el barrio Fray Luís Amigó estaban concentradas predominantemente en la zona sur (Figura 6).

Figura 6. Mapas de índices NDVI, SAVI, EVI, y clasificación de la superficie permeable del suelo en Santa Ana y Fray Luís Amigó.



Fuente: cartografía elaborada por Luís Miguel Caicedo Campos, a partir de datos extraídos del ortofotomosaico de Palmira y de Planet-NICFI.

La síntesis de estas comparaciones se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Matriz comparativa. Indicadores barrios Santa Ana y Fray Luís Amigó Palmira.

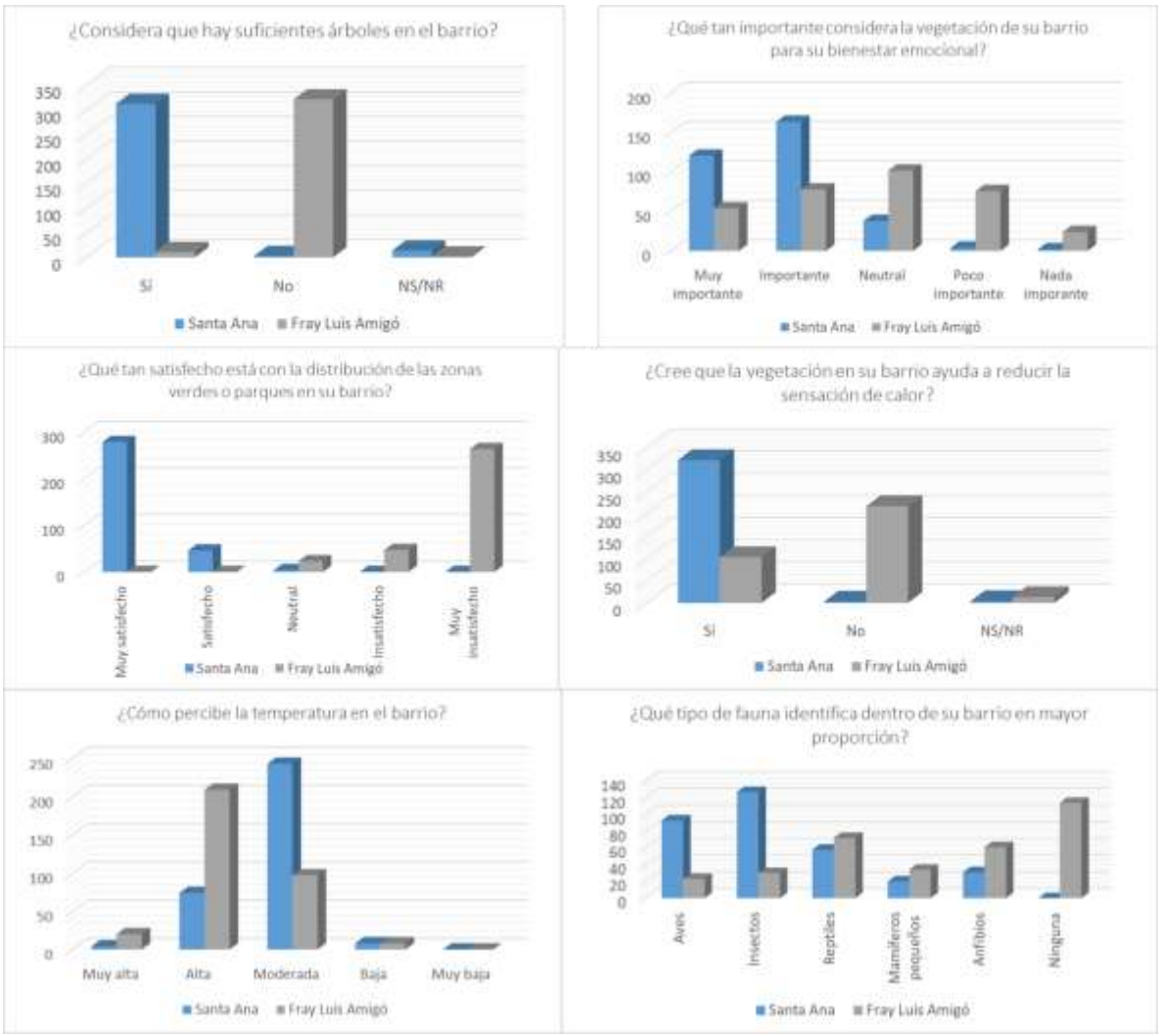
Variable	Barrio Santa Ana								Barrio Fray Luís Amigó							
	Zonas verdes				Zonas construidas				Zonas verdes				Zonas construidas			
	Min	Max	Media	SD	Min	Max	Media	SD	Min	Max	Media	SD	Min	Max	Media	SD
Precipitación	1095.49	1098.09	1096.79	0.72	1095.49	1098.09	1096.74	0.69	1095.40	1102.36	1097.41	1.72	1095.38	1102.67	1097.77	1.68
Hum. Relat.	73.60	73.88	73.76	0.08	73.60	73.88	73.75	0.06	73.46	73.69	73.58	0.06	73.43	73.70	73.57	0.06
Vel. viento	45.42	46.98	46.26	0.36	45.42	46.98	46.29	0.36	46.66	48.96	47.51	0.52	46.80	48.87	47.67	0.49
LST	28.83	41.04	38.42	2.31	29.70	41.04	38.89	2.08	31.03	44.02	37.45	3.53	32.00	44.19	39.09	3.33
NDVI	0.09	0.85	0.51	0.17	0.04	0.63	0.21	0.11	0.17	0.91	0.54	0.15	0.06	0.71	0.29	0.10
SAVI	0.22	0.51	0.33	0.07	0.20	0.48	0.30	0.06	0.16	0.60	0.38	0.11	0.17	0.61	0.32	0.10
EVI	0.23	0.56	0.35	0.08	0.23	0.53	0.32	0.06	0.18	0.69	0.41	0.12	0.19	0.71	0.35	0.12

Fuente: elaboración propia (2024)

PERCEPCIÓN DE LOS RESIDENTES

El 99 % de los habitantes de Santa Ana considera que hay suficientes árboles, mientras que el 98 % en Fray Luís Amigó opina lo contrario (Figura 7), hecho que refleja una diferencia en el acceso a IVR entre los dos barrios que puede estar relacionada con la percepción de otros beneficios ambientales.

Figura 7. Resultados de encuestas de percepción aplicadas a los habitantes de los barrios Santa Ana y Fray Luís Amigó.



Fuente: elaboración propia.

La vegetación también se asocia con el bienestar emocional. En Santa Ana, el 73 % de los habitantes la considera muy importante o importante, mientras que en Fray Luís Amigó este porcentaje disminuye al 39 %. Igualmente, la satisfacción con la distribución de las zonas verdes es alta en Santa Ana (el 95 % está muy satisfecho), mientras que el 85 % de los encuestados en Fray Luís Amigó se declara muy insatisfecho.

Estos resultados reafirman las diferencias en el acceso a espacios verdes entre los barrios y sugieren que los espacios verdes en Santa Ana influyen positivamente en la calidad de vida emocional de sus residentes.

En cuanto a la regulación térmica, en Santa Ana destaca que el 98 % de los encuestados considera que la vegetación ayuda a reducir la sensación de calor, mientras que solo el 31 % en Fray Luís Amigó lo cree. Respecto a la temperatura percibida, el 84 % de los encuestados en Santa Ana considera que es moderada, frente al 28 % en Fray Luís Amigó, donde el 60 % la percibe como alta o muy alta. Estas percepciones sugieren que la mayor cantidad de vegetación en Santa Ana contribuye a la regulación térmica, mitigando el efecto de isla de calor.

Finalmente, respecto a la fauna, el gráfico revela que en Santa Ana se identifica un 62 % más de insectos y un 75 % más de aves que en Fray Luís Amigó. Además, mientras que en Santa Ana el 100 % de los encuestados percibe fauna, en Fray Luís Amigó un 32 % no identifica ninguna especie, lo que evidencia que la vegetación incrementa la biodiversidad y mejora la percepción de los ecosistemas urbanos y su importancia para la vida silvestre y el bienestar comunitario.

Análisis de datos

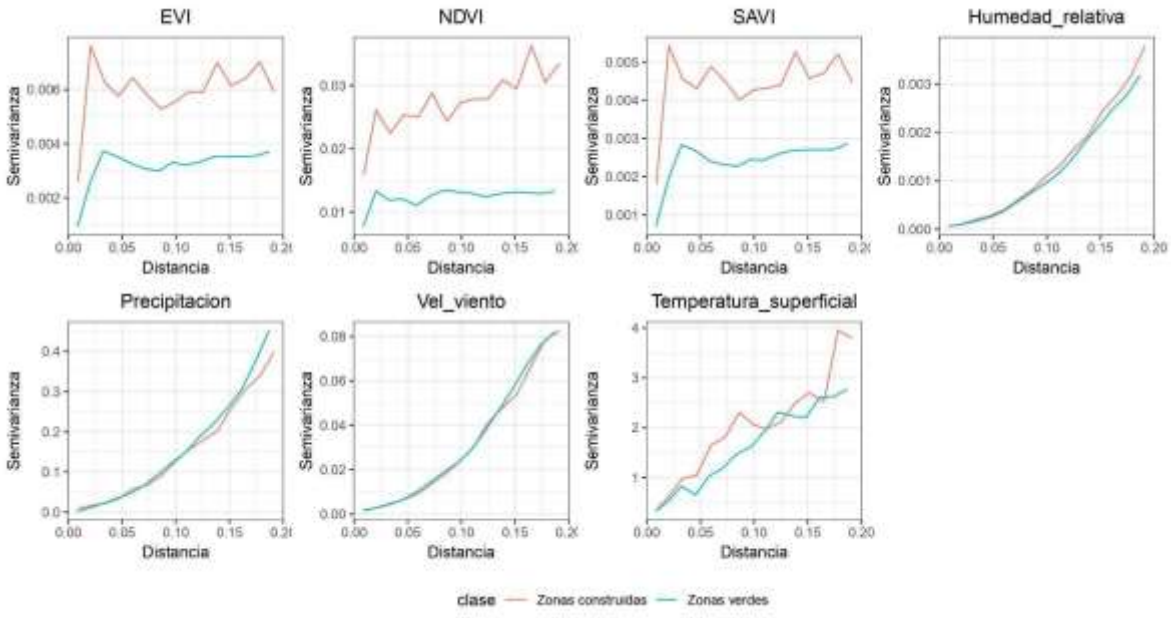
Variogramas

Las Figuras 8 y 9 ilustran la relación entre la distancia y la semivarianza, representada mediante variogramas construidos al graficar el eje Y contra el eje X. En este contexto, el eje X representa la distancia espacial entre los puntos observados, y el eje Y la semivarianza calculada a medida que aumenta dicha distancia. Este análisis se basa en un muestreo aleatorio estratificado, en el que los estratos corresponden a dos tipos de cobertura: zonas verdes y áreas no construidas.

El eje X permite evaluar cómo varían las similitudes entre los puntos en función de su separación espacial, analizando si estos mantienen valores similares en términos de la presencia o ausencia de vegetación. Por otro lado, el eje Y muestra la semivarianza

promedio, que refleja las diferencias en los valores de las variables del conjunto de datos de entrada, como los índices espectrales y los datos climáticos.

Figura 8. Variogramas del caso barrio Santa Ana.

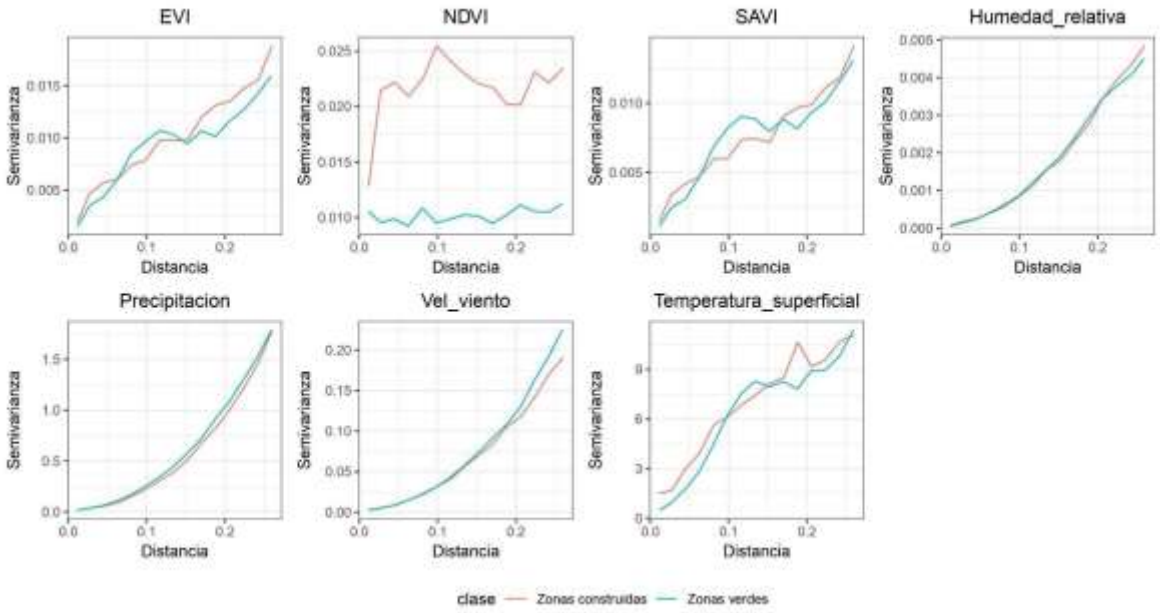


Fuente: elaborados por Luís Miguel Caicedo Campos (2024).

Conforme aumenta la distancia, la semivarianza tiende a incrementarse, lo que indica una disminución en la similitud espacial entre los puntos. Los valores bajos de semivarianza sugieren una alta similitud espacial y, por ende, una fuerte autocorrelación. En contraste, valores altos reflejan una mayor diferencia entre los puntos.

En el barrio Santa Ana, las zonas construidas, representadas por la línea roja, presentan valores de semivarianza relativamente bajos en los índices de vegetación (NDVI, SAVI y EVI). Estos valores aumentan gradualmente con la distancia, lo que evidencia una menor variación espacial en las variables de vegetación, probablemente debido a la homogeneidad y la limitada cobertura vegetal en estas áreas.

Figura 9. Variogramas del caso barrio Fray Luís Amigó



Fuente: elaborados por Luís Miguel Caicedo Campos (2024)

De manera complementaria, las variables relacionadas con precipitación, LST, humedad relativa y velocidad del viento muestran semivarianza elevada en las zonas construidas, que incrementa de manera constante con la distancia. Esto refleja una conexión con fenómenos como las ICU y la reflectancia, derivada de las características materiales de las edificaciones y del espacio público.

Por otro lado, en las zonas verdes, representadas por la línea azul en los variogramas, la semivarianza aumenta rápidamente con la distancia y alcanza valores más altos. Esto evidencia una mayor heterogeneidad en la cobertura vegetal, asociada a la diversidad de especies y estructuras presentes en estas áreas. Así, las zonas construidas muestran una menor variabilidad en los índices de vegetación, pero mayor en las variables climáticas. Y en las zonas verdes muestra un patrón opuesto, es mayor variabilidad en vegetación y menor en las variables climáticas (Figura 8).

En el análisis de Fray Luís Amigó, las áreas urbanizadas presentan valores más altos de semivarianza para los índices de vegetación EVI y SAVI, en virtud de la

distribución de parches vegetativos fragmentados. Las zonas verdes muestran valores de NDVI más bajos, lo que podría atribuirse a la estructura urbana del barrio, donde predominan las zonas duras.

Respecto a las variables climáticas, las curvas de semivarianza de la precipitación son similares en las áreas urbanizadas y en las zonas verdes, lo que indica una distribución uniforme del régimen de lluvias. En cuanto a la LST, las zonas urbanizadas presentan una mayor variación espacial, asociada igualmente a los efectos de ICU.

La semivarianza de la humedad relativa presenta un aumento similar con la distancia en ambos sitios, lo que sugiere que esta variable presenta una estructura espacial comparable. Sin embargo, las curvas en las gráficas de Fray Luís Amigó revelan menor influencia del urbanismo en los microclimas locales.

En relación con la velocidad del viento, las zonas verdes de Fray Luís Amigó muestran mayor variación espacial que las de Santa Ana, lo que podría deberse a su proximidad a cultivos de caña y a campos abiertos (Figura 9).

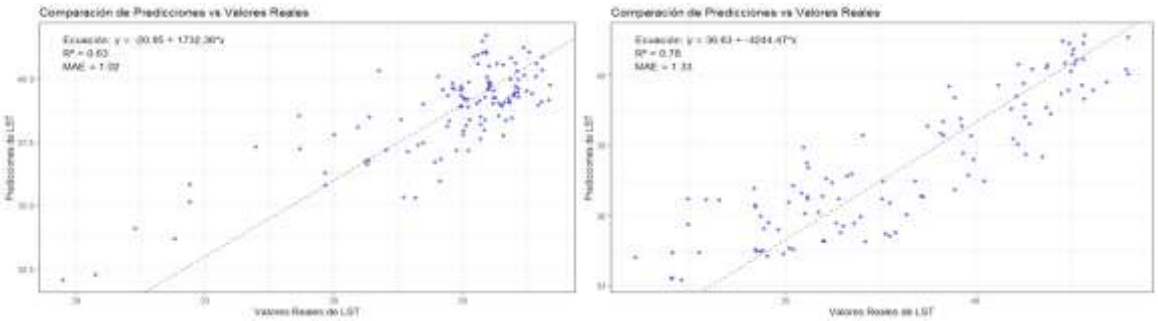
ANÁLISIS MULTIVARIADO

Los modelos lineales multivariados elaborados para revisar la predictibilidad de la LST en los dos barrios estudiados, con base en los índices climatológicos y de vegetación usados en el estudio, mostraron varianzas explicadas (R^2) aceptables, no muy lejanas entre sí y con error absoluto medio (MAE) bastante bajo en cada caso (Figura 10, Tabla 3, Tabla 4). Esto puede interpretarse como un buen punto de partida, debido a que los indicadores usados como variables independientes consiguen explicar en forma aceptable, y con un error bajo, la LST.

No obstante, la modelación para el barrio Santa Ana muestra una notoria agrupación hacia valores altos de temperatura (Figura 10a) que se puede atribuir a una interrupción de la continuidad de la temperatura causada por mayor presencia de espacios verdes. Por el contrario, la modelación del barrio Fray Luís Amigó mostró

resultados más distribuidos (Figura 10b), que se pueden interpretar como poca interrupción de la continuidad de la temperatura, debido a la poca IVR en el barrio.

Figura 10. Modelo lineal multivariado de la temperatura superficial de la tierra (LST), a partir de índices de vegetación y datos climatológicos. (a): caso barrio Santa Ana. (b): caso barrio Fray Luís Amigó.



Fuente: elaborada por Luís Miguel Caicedo Campos (2024).

Tabla 3. Resumen comparativo de los resultados del modelamiento

Aspecto	Barrio Santa Ana	Barrio Fray Luís Amigó
Calidad del Ajuste	R^2=0.6674; error menor	R^2=0.7895; error mayor
Variables significativas	Humedad Relativa, Precipitación, Velocidad del viento	EVI, SAVI, Precipitación, Velocidad del viento
Tamaño de residuos	Menor (-3.43 a 3.53)	Mayor (-4.50 a 4.49)
Efectos principales	Más consistentes con teorías climáticas	Contradictorios en algunos casos (p. ej. viento positivo).

Fuente: elaborada por Luís Miguel Caicedo Campos (2024)

Tabla 4. Coeficientes de los indicadores usados como variables independientes en los modelos multivariados para calcular la temperatura superficial de la tierra.

Variable	Barrio Santa Ana	Barrio Fray Luís Amigó	Observaciones
Intercepto	1732.36 (p<0.001)	-4244.47 (p<0.001)	Valores muy diferentes; dependen de las variables.
Humedad relativa	-377.87 (p<0.001)	313.83 (p<0.001)	Efectos opuestos; podría deberse a diferencias climáticas.

Precipitación	26.93 (p<0.001)	-19.37 (p<0.001)	Efectos opuestos; posiblemente relacionados con la influencia local del clima.
Velocidad del viento	-72.59 (p<0.001)	51.88 (p<0.001)	Signos opuestos; la velocidad del viento podría tener diferentes impactos en cada sitio.
NDVI	-0.77 (p=0.065, marginal)	-0.83 (p=0.134, no significativo)	NDVI no es significativo en ninguno de los sitios.
EVI	-20.95 (p=0.011)	36.63 (p<0.001)	Efectos opuestos; su interpretación depende del contexto físico local.
SAVI	16.69 (p=0.078, marginal)	-53.94 (p<0.001)	Relación positiva en Santa Ana, negativa en Fray Luís Amigó.

Fuente: elaborada por Luís Miguel Caicedo Campos (2024)

ANÁLISIS INTERPRETATIVO DE DATOS

Los resultados obtenidos en los barrios Santa Ana y Fray Luís Amigó muestran diferencias en la percepción y los efectos de la IVR sobre el bienestar de sus habitantes.

En Santa Ana, la percepción de la cantidad de vegetación es positiva (99 % de los encuestados que consideran que hay suficientes árboles), lo que se correlaciona con una alta satisfacción con la distribución de las zonas verdes y la regulación térmica proporcionada por la vegetación. En contraste, la escasez de vegetación en Fray Luís Amigó es evidente (solo 2 % de los encuestados perciben suficiente cantidad de árboles), y una percepción de mayor calor y menor bienestar emocional, lo que da cuenta de una disparidad en el acceso a los beneficios ambientales de la IVR.

Esta diferencia también se observa en los resultados del análisis multivariado, donde el modelo para Santa Ana muestra mayor consistencia en la predicción de la LST, atribuible a la presencia continua de espacios verdes. En cambio, la falta de vegetación en Fray Luís Amigó genera mayor variabilidad en los resultados, que indican ausencia de una IV continua.

El análisis de los variogramas y modelos multivariados resalta las diferencias en la cobertura vegetal y sus efectos climáticos en los barrios Santa Ana y Fray Luís Amigó.

En Santa Ana, las zonas verdes manifiestan alta heterogeneidad en la vegetación, con variogramas que indican mayor diversidad en las áreas verdes en comparación con las urbanizadas. En Fray Luís Amigó, tanto las zonas urbanizadas como las verdes presentan una vegetación más homogénea, pero con mayor variabilidad en variables climáticas como LST y velocidad del viento.

El análisis multivariado confirma que en Santa Ana hay mayor consistencia en los efectos climáticos, mientras que los efectos contradictorios del viento y la precipitación en Fray Luís Amigó sugieren una relación más compleja entre la IV y el clima local. Estas diferencias muestran cómo la IV impacta el bienestar y el entorno técnico y ambiental de acuerdo con su distribución y cantidad.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis ambiental comparativo develó una relación simbiótica mutualista entre la IVR, las dinámicas térmicas y las condiciones microclimáticas locales de los barrios Santa Ana y Fray Luís Amigó.

Aunque Fray Luís Amigó presenta una mayor superficie verde total y per cápita, su distribución fragmentada y baja continuidad limitan su capacidad para mitigar el efecto de ICU, como lo demuestra la concentración de altas temperaturas en las áreas densamente edificadas. Por el contrario, Santa Ana logra un impacto positivo más relevante en la regulación térmica, aunque cuenta con menor superficie verde, debido a una distribución más homogénea de sus espacios vegetados. Además, el comportamiento del NDVI, SAVI y EVI denota la importancia de la calidad y continuidad de la vegetación, destacando cómo estos atributos potencian las funciones ecológicas. De igual forma, las variaciones en la precipitación, velocidad del viento y humedad relativa entre ambos barrios refuerzan la influencia de la configuración espacial y morfológica urbana en los procesos ambientales.

En materia de percepción, el caso de Santa Ana, con una cobertura verde diversificada y bien distribuida, evidencia cómo estas características fortalecen la resiliencia urbana frente a problemas como el efecto de ICU, al tiempo que promueven

un entorno más habitable y equilibrado. Por otro lado, las carencias de IVR en Fray Luís Amigó resaltan la vulnerabilidad frente al efecto ICU de sectores urbanos que no cuentan con una planificación adecuada de estos recursos y acentúa desigualdades en la percepción del bienestar ambiental. Ello torna imperativo priorizar la implementación de IVR a escala de barrios, y aporta evidencia para orientar políticas públicas y estrategias de diseño urbano enfocadas en la sostenibilidad en contextos similares

Los resultados de los variogramas proporcionan una visión más amplia de la relación entre la configuración espacial y las dinámicas ambientales en los barrios estudiados. En Santa Ana, la baja variabilidad en los índices de vegetación en zonas urbanizadas exhibe una cobertura vegetal homogénea, mientras que la alta variabilidad de las variables climáticas destaca el impacto de las infraestructuras urbanas y la reflectancia de los materiales. Las zonas verdes presentan mayor heterogeneidad debido a la diversidad de especies. En contraste, estos índices muestran fragmentación y menor continuidad en Fray Luís Amigó, hecho que da lugar a un patrón de urbanismo disruptivo, mientras que las variables climáticas son menos sensibles al urbanismo, posiblemente por la influencia de áreas periurbanas.

Por su parte, el análisis multivariado expuso patrones en la relación entre la LST y los factores climáticos y de vegetación. En general, los modelos lineales multivariados presentaron una capacidad predictiva aceptable, con varianzas explicadas que, aunque cercanas, muestran diferencias notables en el comportamiento de los barrios estudiados. El barrio Santa Ana, con mayor presencia de espacios verdes, exhibe una agrupación de temperaturas más altas, lo que sugiere que la vegetación interrumpe la continuidad térmica y modera las temperaturas superficiales. Por el contrario, el barrio Fray Luís Amigó, con menor cantidad de vegetación, presenta una distribución más homogénea de temperaturas, lo que refleja menor intervención de la vegetación en el control térmico.

En este sentido, los efectos de variables como humedad relativa, precipitación y velocidad del viento fueron relevantes, pero sus impactos fueron contradictorios en algunos casos, lo que puede estar relacionado con las diferencias microclimáticas y las

características particulares de cada lugar de estudio. Además, la presencia de vegetación, medida con índices como EVI y SAVI, mostró efectos opuestos en ambos barrios, lo que destaca la importancia del contexto físico local en la interpretación de estos indicadores.

De esta manera se contrastan las funciones ecológicas de la IVR en los barrios seleccionados y se responden las preguntas sobre las diferencias entre dichas funciones y cómo estas discrepancias afectan el ambiente en cada contexto. Así pues, este estudio aporta evidencia sobre la interacción entre el diseño urbano y las condiciones ambientales de barrios residenciales. Además, pone de manifiesto una estrategia clave para adaptarse a las condiciones climáticas en los entornos construidos dejando a la luz la IVU como un paradigma transformador en la planificación, la gestión de las ciudades y la generación de mejores condiciones de habitabilidad.

REFERENCIAS

Adamu, Shafi"u, Huang Yong, Ashiru Bello, et al., "Green Infrastructure–Urban Planning Nexus: Role, Discourse and Possibilities in Achieving Socio Ecological Sustainability and Resilience." Cities 171 (2026): 106810. https://doi.org/10.1016/j.cities.2026.106810.

AECT ESPON. *Resumen de Políticas: Infraestructura verde en zonas urbanas*. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), 2020. https://n9.cl/0sypm7

Alcaldía Local de Teusaquillo. *Historia de Teusaquillo*. Bogotá, Colombia: Alcaldía Local de Teusaquillo, 2021. https://n9.cl/jpqha

Alcaldía Municipal de Palmira. *Información general de Palmira*. 2012. Accedido 17 de septiembre de 2024. https://oldpage.palmira.gov.co/index.php/enlaces-de-interes/informacion-general-de-palmira.

Aleksejeva, Jelena, Gerasimos Voulgaris, et al., "Systematic Review of the Climatic and Non-Climatic Benefits of Green Roofs in Urban Areas." Urban Climate 58 (2024): 102133. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102133.

Alfonso Pina, William H. "El concepto de hábitat en medios urbanos: una transición del pensamiento urbano del siglo XX". *Traza* 1, no. 2 (2010). https://revistas.lasalle.edu.co/files-articles/tr/vol1/iss2/3/fulltext.pdf.

Aparicio Rengifo, Reynaldo; Erick Adbel Figueroa Pereira y Juan José Ospina Tascón. "El antejardín en la ciudad: una aproximación histórico-evolutiva". *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales* 56 no. 222 (2024): 1113-1132.

ArcGIS Pro. EVI. Esri. s.f. https://tinyurl.com/2yasklbp.

ArcGIS Pro. SAVI. Esri, s.f. https://tinyurl.com/2c62wha5.

Benedict, Mark A & Edward T. McMahon, "Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century". *Renewable Resources Journal* 20, no. 3 (2022): 12-17. https://www.merseyforest.org.uk/files/documents/1365/2002+Green+Infrastructure+Smart+Conservation+for+the+21st+Century..pdf.

Breuste, Jürgen; Dagmar Haase & Thomas Elmqvist. "Urban Landscapes and Ecosystem Services". *Ecosystem Services in Agricultural and Urban Landscapes*. Editado por Steve Wratten, Harpinder Sandhu, Ross Cullen, Robert Costanza. Cap. 6. Wiley, 2013 https://doi.org/10.1002/9781118506271.ch6.

Calaza, Pedro. "Infraestructura verde. Sistema natural de salud pública (2016)". Ediciones Mundi-Prensa. 2016. https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484767138/infraestructura-verde--sistema-natural-de-salud-publica.

Cámara de Comercio de Palmira. *Anuario Estadístico de Palmira 2019*. Palmira: Alcaldía de Palmira y Cámara de Comercio de Palmira. 2019. Accedido 17 de septiembre de 2024. https://ccpalmira.org.co/anuarios_estadisticos/palmira/anuario_2019/

_____. *Anuario Estadístico de Palmira 2021*. Palmira: Alcaldía de Palmira y Cámara de Comercio de Palmira. 2021. Accedido 17 de septiembre de 2024. https://ccpalmira.org.co/anuarios_estadisticos/palmira/anuario_2021/inicio.html.

Correa, R.L. y C.P Rodríguez. *Hoja metodológica de la variable humedad relativa*. Versión 1.1. Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM, 2017. https://bart.ideam.gov.co/indiecosistemas/ind/clima/hm/HM_humedad_relativa.pdf.

Crespo, Anna Risi Vianna y Juan Manuel Puerta. "Documento de enfoque: evaluación de la iniciativa ciudades emergentes y sostenibles del BID (2016)". BID. http://dx.doi.org/10.18235/0010668.

De la Barrera, Francisco; Sonia Reyes-Päcke & Ellen Banzhaf. "Indicators for green spaces in contrasting urban settings". *Ecological Indicators*, 62 (2016): 212-219. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.027.

Echeverry, Luisa María. "Entre el verde y el gris". *Universitas Científica* 21 (2018): 26-31. https://revistas.upb.edu.co/index.php/universitas/article/view/901.

El País. "Caleños se quejan de las constantes invasiones en andenes y antejardines." *El País*, 2 de mayo de 2023. https://www.elpais.com.co/cali/calenos-se-quejan-de-las-constantes-invasiones-en-andenes-y-antejardines.html.

Fang, Xuening, Jingwei Li, et al., "Integrating Green Infrastructure, Ecosystem Services and Nature-based Solutions for Urban Sustainability: A Comprehensive Literature Review." Sustainable Cities and Society 98 (2023): 104843. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104843.

Figueroa Arango, Carolina. *Guía para la integración de soluciones basadas en la naturaleza en la planificación urbana: Primera aproximación para Colombia*. Berlín: Alexander von Humboldt Stiftung, Ecologic Institute, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2020. https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2020/figueroa-20guia-planificacion-urbana-b33_s_c5-1final_en-baja.pdf.

Flores, Sofia, Carmen Van Mechelen, et al., "Trends and Status of Urban Green and Urban Green Research in Latin America." Landscape and Urban Planning 227 (2022): 104536. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104536.

Fundación Grupo HTM, *Soluciones basadas en la naturaleza para la resiliencia urbana en Colombia*. Grupo HTM, accedido el 8 de septiembre de 2024, https://grupohtm.org/soluciones-basadas-en-la-naturaleza-para-la-resiliencia-urbana-en-colombia/.

Goddard, Mark A.; Andrew J. Dougill & Tim. G. Benton. "Scaling Up from Gardens: Biodiversity Conservation in Urban Environments." *Trends in Ecology & Evolution* 25, no. 2 (2010): 90-98. https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347(09)00246-8?cc=y.

Gómez-Baggethun, Erik & David N. Barton. "Classifying and valuing ecosystem services for urban planning". *Ecological Economics* 86, (2013): 235-245. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019.

González, O. C. y C.E. Buitrago, C.E. *Hoja metodológica del indicador Anomalía de precipitación (Versión 1,0)*. Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Servicio de Información Ambiental. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2012. https://bart.ideam.gov.co/indiecosistemas/ind/clima/hm/HM_indice_de_precipitacion.pdf.

Haines-Young, Roy & Marion Potschin. *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. European Environment Agency: Fabis Consulting. 2018. https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf.

Herath, Prabhasri, & Xue Mei Bai. "Benefits and Co-benefits of Urban Green Infrastructure for Sustainable Cities: Six Current and Emerging Themes." Sustainability Science 19 (2024): 1039–63. https://doi.org/10.1007/s11625-024-01475-9.

Higueras-García, Ester; Elisa Pozo-Menéndez; Belén Moneo-Feduchi y Jeffrey Brock. "Ordenación territorial desde la infraestructura verde y azul en el Valle de Guatiguará (Colombia)." *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana* 14, (2022): 1–18. https://doi.org/10.1590/2175-3369.014e20220284.

Howard, Ebenezer. *Garden Cities of To-Morrow*. Cambridge, MA: Harvard University Frances Loeb Library, Graduate School of Design, 1902.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). *Normales climatológicas 1981-2010*. 2023. http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima.

Instituto Técnico Industrial Fray Luís Amigó. *Recorrido Histórico*. Fray Luís Amigó. Sf. Accedido el 21 de septiembre de 2024. https://frayluisamigo.edu.co/recorrido-historico/.

Jia, Yirong, and Catalina Turcu. "Climate, Health, and Urban Green Infrastructure: The Evidence Base and Implications for Urban Policy and Spatial Planning." International Journal of Environmental Research and Public Health 22, no. 12 (2025): 1842. https://doi.org/10.3390/ijerph22121842.

Karis, Clara María y Rosana Ferraro. "Identificación de la estructura verde y azul en la ciudad de Mar del Plata." *Investigación + Acción* 20, no. 19 (2017): 187–206. https://revistasfaud.mdp.edu.ar/ia/article/view/IA19-11.

Karis, Clara María, Camila Magalí Mujica y Rosana Ferraro. "Indicadores ambientales y gestión urbana: relaciones entre servicios ecosistémicos urbanos y sustentabilidad". *Cuaderno Urbano* 27 (2019). https://www.arq.unne.edu.ar/cuaderno-urbano-nro-27-1/ .

Kleinberg, S. "Espacio de Género: Vivienda, Privacidad y Domesticidad en el Estados Unidos del siglo XIX," en *Espacio doméstico: lectura del interior del siglo* XIX, ed. I. Bryden y J. Floyd, 142-161. Manchester, Inglaterra: Prensa de la Universidad de Manchester, 1999.

Loram, Alison; Jaime Tratalos; Philip Warren & Kevin Gastón. "Urban Domestic Gardens (X): The Extent & Structure of the Resource in Five Major Cities. *Landscape Ecology* 22, no. 4 (2007): 601– 615. https://doi.org/10.1007/s10980-006-9051-9 .

MADS e IAVH (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). *Biodiversidad y servicios ecosistémicos en la planificación y gestión ambiental urbana*. MADS e IAvH, 2017. https://www.minambiente.gov.co/wp-

content/uploads/2021/06/BIODIVERSIDAD_Y_SERVICIOS_ECOSISTEMICOS_EN_LA_PLANIFICACION_Y_GESTION_AMBIENTAL_URBANA.pdf.

Manrique Flórez, Oscar. *Palmira, morfología urbana. Valle geográfico del río Cauca - Siglo XX (1960 - 1997)*. Santiago de Cali: POEMIA, 2021.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Biodiversidad y servicios ecosistémicos en la planificación y gestión ambiental urbana. Bogotá: Gobierno de Colombia, 2021. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/BIODIVERSIDAD_Y_SERVICIOS_ECOSISTEMICOS_EN_LA_PLANIFICACION_Y_GESTION_AMBIENTAL_URBANA.pdf.

Mondal, Krishna, Sudhakar Rawat, et al., "Urban Green Infrastructure for Climate Change Adaptation and Mitigation: Roles, Innovations, and Challenges in Sustainable Cities." International Journal of Environment and Climate Change 15, no. 13008 (2025). https://doi.org/10.9734/ijecc/2025/v15i125144

Monteiro, Renato; José C. Ferreira, & Paula Antunes. "Green Infrastructure Planning Principles: An Integrated Literature Review". *Land* 9, no. 12 (2020): 525. https://doi.org/10.3390/land9120525.

Nahuelhual, Laura; Pedro Laterra, y José Barrena. *Indicadores de servicios ecosistémicos: una revisión y análisis de su calidad*. Ministerio del Medio Ambiente, Chile, 2016 https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26830.46403.

NEO (NASA Earth Observatory). *Land Surface Temperature*. NASA Earth Observatory, sf. https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MOD_LSTD_M.

Pickett, S. T. A; M. L. Cadenasso; J. M. Grove; C. H. Nilon; R. V. Pouyat; W. C. Zipperer & R. Costanza. "Urban Ecological Systems: linking Terrestrial Ecological, Physical, and Socioeconomic Components of Metropolitan Areas." *Annual Review of Ecology and Systematics* 32, (2001): 127-157. http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114012

Quiroga Martínez, Rayen. *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL. Serie Manuales-CEPAL, 2009. https://tinyurl.com/2dnk3ytr.

Redacción Ibagué. "Ibagué sin ley ni orden: hasta las construcciones le quitan los andenes a los peatones." *El olfato*, 8 de septiembre de 2023. https://www.elolfato.com/ibague/ibague-sin-ley-ni-orden-hasta-las-construcciones-le-quitan-los-andenes-a-los-peatones.

Redacción. "Antejardines no son para estacionar: Secretaría de Movilidad." *Vivir en el Poblado*, 17 de mayo de 2019. https://vivirenelpoblado.com/antejardines-no-son-para-estacionar-secretaria-de-movilidad/.

Reyes Päcke, Sonia y Isabel Figueroa-Aldunce. "Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile". *Eure* 36, no. 109 (2010): 89-110. https://doi.org/10.4067/S0250-71612010000300004.

Rodríguez Jaramillo, Andrés. "El norte de Armenia perdió su norte." *Eje21*. 27 de septiembre de 2023. https://www.eje21.com.co/2023/09/el-norte-de-armenia-perdio-su-norte/.Russo, Alessio, & Giuseppe T. Cirella. "Urban Ecosystem Services: Advancements in Urban Green Development." Land 12, no. 3 (2023): 522. https://doi.org/10.3390/land12030522.

Semana. "¿Qué se viene para los antejardines en Bogotá con la nueva normativa del POT?" *Semana*, 16 de julio de 2023. https://www.semana.com/nacion/bogota/articulo/que-se-viene-para-los-antejardines-en-bogota-con-la-nueva-normativa-del-pot/202326/.

Solarte Nates, Luís Fernando. "Popayán, una de las ciudades más apeñuscadas del mundo." *Las2orillas*, 21 de febrero de 2017. https://www.las2orillas.co/popayan-una-las-ciudades-mas-apenuscadas-del-mundo/.

Telencuestas. "Cuántos habitantes tiene Palmira, Valle del Cauca en 2024." *Telencuestas*. sf. Accedido el 17 de septiembre de 2024. https://telencuestas.com/censos-de-poblacion/colombia/2024/valle-del-cauca/palmira.

UN (*United Nations*). "*La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.*" *Objetivos de Desarrollo Sostenible*, 25 de septiembre de 2015. https://tinyurl.com/y56o9xhc

UPME e IDEAM (Unidad de Planeación Minero Energética e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). *Atlas de viento y energía eólica de Colombia*. Imprenta Nacional, 2006. https://repositoriobi.minenergia.gov.co/handle/123456789/2249.

Wang, Dong, Pei-Yuan Xu, et al., "Urban Green Infrastructure: Bridging Biodiversity Conservation and Sustainable Urban Development through Adaptive Management Approach." Frontiers in Ecology and Evolution 12 (2024): 1440477. https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1440477.

Winfield Reyes, Fernando y Daniel Martí. "Urbanismo y Modernidad: La Influencia de las Ciudades Jardín en México: 1921-1930". Arquitecturas del Sur 31, núm. 44, (2013): 34–47. https://revistas.ubiobio.cl/index.php/AS/article/view/755/716 .

An Approach to the Ecological Functions of Residential Green Infrastructure: A Comparative Study Between the Santa Ana and Fray Luís Amigó Neighborhoods in Palmira, Colombia

ABSTRACT

In the Santa Ana and Fray Luís Amigó neighborhoods of Palmira city (Valle del Cauca, Colombia), some indicators of the ecological functions performed by residential green infrastructure (RGI) at the neighborhood scale were contrasted to determine its contribution to the environment in each context. An environmental analysis of the IVR was carried out in the studied neighborhoods for a 10-year period, using high-resolution multispectral satellite images, and a structured instrument was applied to understand the residents' perception in the studied neighborhoods on some environmental variables. Patterns were found in the relationship between soil surface temperature and climatic and vegetation factors, which evidenced the essential role of RGI in environmental perception and the well-being of residents. In the Santa Ana neighborhood, with greater vegetation cover, including front gardens, vegetation improves the quality of the environment and positively influences human well-being and the general satisfaction of its inhabitants. In contrast, limitations in vegetation cover in Fray Luís Amigó showed lower benefits. All these results underline the need to integrate more RGI in low-vegetation urban contexts.

Keywords: ecological functions; front yard; green strip; Palmira; Urban heat island.

Recibido: 03/10/2025
Aprobado: 09/04/2026