

Escasez de **INFRAESTRUCTURA VERDE EN SEIS CIUDADES MEXICANAS**

Scarcity of green infrastructure in six Mexican cities

JAIRO AGUSTÍN REYES-PLATA*, RAFAEL ARTURO MUÑOZ-MÁRQUEZ TRUJILLO**,
MICHELLE FARFÁN-GUTIÉRREZ***, ADÁN L. MARTÍNEZ-CRUZ****

Fecha de recibido:
31 Mayo 2024
Fecha de aceptado:
22 Junio 2024

***Universidad Nacional
Autónoma de México,
México**

jreyes@enes.unam.mx

****Colegio de
Postgraduados, Campus
Córdoba, México**

arturom@colpos.mx

*****Universidad de
Guanajuato, México**

farfanmichel@gmail.com

******Swedish University
of Agricultural Sciences,
Suecia**

adan.martinez.cruz@slu.se

RESUMEN. La infraestructura verde urbana puede mejorar la resiliencia a cambio climático con equidad. Sin embargo, la diferencias ambientales y humanas de cada ciudad plantean consideraciones técnicas y de política pública urbana para lograr la conectividad de las áreas verdes y generar beneficios para la población. Esta investigación documenta la disponibilidad de áreas verdes urbanas en seis localidades urbanas de México. Se realizó el análisis de la conectividad de la cobertura vegetal urbana a partir del cálculo y validación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), así como de la distribución de los espacios verdes públicos y la localización de grupos de población vulnerable al cambio climático, considerando las variables de distribución, cobertura y proximidad. Los resultados muestran una escasez de vegetación mayor en las ciudades del norte de México y una disponibilidad de espacios verdes públicos de servicios recreativos más agrupada que en las ciudades del sur. Esto añade una capa de desigualdad con implicaciones prácticas en el proceso de transformación de las áreas verdes a infraestructura verde urbana y con ello, las oportunidades para escalar la adaptación al cambio climático con equidad. Se concluye la necesidad de adoptar principios de política urbana que guíen la transformación de infraestructura verde en una ventaja de la urbanización y las personas.

Palabras clave: áreas verdes, inequidad, infraestructura verde.

ABSTRACT. Urban green infrastructure can improve resilience to climate change with equity. However, the environmental and human differences of each city raise technical and urban public policy considerations to achieve the connectivity of green areas and generate benefits for people. This research documents the availability of urban green areas in six urban locations in Mexico. The analysis of the connectivity of the urban vegetation cover was carried out based on the calculation and validation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), as well as the distribution of public green spaces and the location of population groups vulnerable to climate change, considering the variables of distribution, coverage and proximity. The results show a greater scarcity of vegetation in the cities of northern Mexico and a more clustered availability of public green spaces for recreational services than in the cities of the south. This condition adds a layer of inequality with practical implications in the process of transforming green areas into urban green infrastructure and with it, the opportunities to scale adaptation to climate change with equity. It concludes the need to adopt urban policy principles that guide the transformation of green infrastructure into an advantage of urbanization and people.

Key words: green areas, inequity, green infrastructure.

L

a urbanización ha significado la pérdida de la conectividad de las áreas verdes y el contacto de la gente con la naturaleza, a la vez que un aumento en la demanda de servicios ecosistémicos. Para México, el reto no es menor; casi el 80% de la población vive en ciudades (INEGI, 2020). Además, distintos estudios han documentado la existencia de patrones espaciales de inequidad en la dotación y acceso a las áreas verdes en distintas ciudades del país (Casillas, 2023; Carmona-Ortega *et al.*, 2022; Farfán Gutiérrez *et al.*, 2021; Núñez, 2021, Moreno-Mata, 2018).

Los factores que explican esta inequidad son de origen histórico, legal, administrativo y de incumplimiento de la ley (Ojeda-Revah, 2021). Diferentes estudios muestran una correlación entre las características de raza, estrato socioeconómico y antecedentes educativos de las personas y la carencia de áreas verdes urbanas (Reyes y Vargas, 2022; Herrera y Romo, 2021), sugiriendo que una privación sesgada y persistente de estos espacios es un síntoma estructural de injusticia ambiental (Fernández-Álvarez, 2017). Consecuentemente, la inequidad en la dotación y el acceso a las áreas verdes tiene implicaciones en el desarrollo humano, la justicia social y la sostenibilidad ambiental de las ciudades.

Dentro de las ciudades, la infraestructura verde es una solución basada en la naturaleza que puede mejorar la conectividad de las áreas verdes, sus servicios ecosistémicos y reducir la inequidad. Salgado-López y Galván-Benítez (2022) explican que la infraestructura verde implica la creación de una red espacial que potencia una multitud de funciones de los espacios naturales, entretejiendo intervenciones en distintas escalas del territorio, donde la planeación participativa es clave para generar

un espacio de inclusión social. La conectividad es una cualidad fundamental que da coherencia a los ecosistemas urbanos para mitigar las temperaturas y la escasez del agua relacionados con el cambio climático y reencauzar las ciudades y sus poblaciones hacia trayectorias más resilientes (IPCC, 2023). A su vez la integridad ecológica refiere a las acciones de conservación de la naturaleza y de la planificación de los usos de suelo urbanos con el propósito de vincular las esferas de la vida comunitaria y del sistema ecológico de la ciudad y asegurar la provisión de bienes naturales según las necesidades de la población actual y futura.

Sin embargo, la infraestructura verde es un enfoque reciente en México. Además, las diferencias climáticas, ecológicas y poblacionales, característicos de cada ecosistema urbano, tienen implicaciones técnicas y de política pública urbana para lograr la conectividad y conservación de las áreas verdes y, con ello, lograr que una red de infraestructura verde que acerque a las personas a la naturaleza, especialmente las marginadas económica y socialmente.

Con base en lo anterior, esta investigación documenta la disponibilidad de áreas verdes urbanas en seis localidades urbanas de México a partir del análisis de la conectividad de la vegetación urbana, la distribución de los espacios verdes públicos y la localización de grupos de población vulnerable a cambio climático. Partimos de la premisa de que la transformación de un área verde en infraestructura verde urbana parte del reconocimiento de la prestación de un servicio ecosistémico específico para la población.

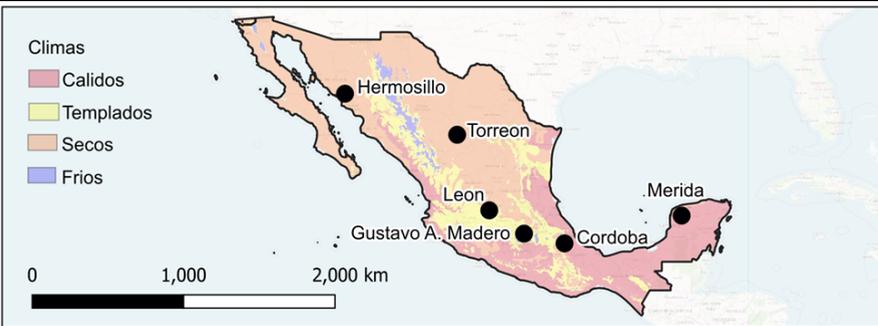
METODOLOGÍA

Áreas de estudio

Las áreas de estudio comprenden seis localidades urbanas de México, vulnerables al cambio climático (INECC, 2023) y con planes, programas o estudios de infraestructura verde en diferentes condiciones geográficas del país: Hermosillo, Torreón, León, Gustavo A. Madero, Córdoba y Mérida. El mapa de la tabla 1 ilustra que Hermosillo y Torreón están en el norte del país; se caracterizan por un clima seco a muy seco y

con vegetación de matorrales. León y Gustavo A. Madero se localizan en el centro. El clima de León es semiseco, templado y semicálido con vegetación de pastizales y selva. En Gustavo A. Madero el clima es templado. Córdoba y Mérida se localizan en el sur de México, con climas cálidos y vegetación de selva. La vulnerabilidad a cambio climático es diversa.

TABLA 1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS LOCALIDADES URBANAS



Localidad	Área municipal (Km ²)	Proporción localidad urbana (%)	Climas predominantes	Vegetación dominante	Vulnerabilidad *
Hermosillo	169.08	0.01	Muy seco semicálido (51.29%), muy seco muy cálido y cálido (43.38%)	Matorral (77.93%), pastizal (8.31%),	Bajo
Torreón	126.84	0.12	Muy seco semicálido (89%) y Seco templado (11%)	Matorral (77.8%)	Muy bajo
León	1210.43	0.19	Semiseco semicálido (46.03%), templado subhúmedo (23.92%),	Pastizal (18.95%), Selva Baja Caducifolia (16.05%)	Muy alto
Gustavo A. Madero	87.37	1.00	Templado subhúmedo (72.80%) Seco semiseco templado (27.20%)	No aplicable	Muy bajo
Córdoba	159.12	0.15	Semicálido húmedo (87%), cálido húmedo (8%)	Selva húmeda	Muy bajo
Mérida	848.01	0.29	Cálido subhúmedo (69.08%) y semiseco muy cálido y cálido (30.92%)	Selva húmeda (67.63%)	Alto

*LAS CATEGORÍAS PROPUESTAS POR INECC 2023 INCLUYEN CRITERIOS DE VULNERABILIDAD DE LA POBLACIÓN AL INCREMENTO DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL DENGUE Y LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS VULNERABLES A DESLAVES E INUNDACIONES.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN INEGI (2010A, B, C, D, E Y 2020), SEMARNAT-INECC (2023).

Evaluación de la conectividad de la vegetación urbana y los espacios verdes públicos

Se realizó una evaluación en dos niveles: ciudad y manzana (tabla 2). El primero se centró en el análisis de la conectividad de la vegetación urbana a partir de la cobertura y distribución de las áreas verdes urbanas en las seis localidades de estudio, lo cual permitió reconocer

la integridad espacial del total de la superficie urbana con potencial fotosintético. A nivel de manzana, se realizó un análisis de la conectividad funcional de los espacios verdes públicos (jardines y parques) y la población en tres ciudades, a partir del estudio de la distribución, la cobertura de servicio y la proximidad peatonal a estos espacios.

TABLA 2. VARIABLES DE EVALUACIÓN DE LA CONECTIVIDAD

Categoría	Variable	Métrica	Escala geográfica
Conectividad ecológica	Cobertura de vegetación	Superficie con potencial fotosintético (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, NDVI)	Ciudad
	Fragmentación del paisaje	Parches de vegetación	Ciudad
Conectividad funcional	Distribución	Índice de dispersión de los EVP*	Ciudad
	Cobertura	Distancia de servicio del EVP*	Manzana
	Proximidad	Distancia del centroide a EVP*	Manzana
	Densidad poblacional	Número de personas por hectárea	Manzana
	Población por grupos específicos	Porcentaje de personas femeninas, niños (0 a 14 años), adultos mayores (65 años y más), indígenas, afromexicanas y sin servicios de salud.	Manzana
	Escolaridad	Promedio años de escolaridad de las personas.	Manzana

*ESPACIOS VERDES PÚBLICOS (EVP).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Análisis de la cobertura vegetal urbana

Se analizó la distribución y calidad de la cobertura vegetal de las seis ciudades a partir del cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), en el software libre QGIS 3.28 ©. Se utilizaron imágenes satélites Sentinel 2 (bandas 4 y 8, resolución de 10 m y una nubosidad entre 0% y 2%), para el periodo de mayor lluvia comprendido entre el 22 agosto de 2022 y 29 septiembre de 2023. El NDVI se obtuvo con la siguiente fórmula: $NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$. Como resultado se generó una imagen que realizó la Superficie con Potencial Fotosintético (SPF).

El NDVI toma un valor entre -1 y 1. Los valores negativos y cercanos a cero se asocian a superficies de suelo descubierto, rocas, sin rocas, arena o nieve, mientras que los valores de

1 se asocian a bosques templados y tropicales. Partiendo de esto, se realizó una reclasificación de los valores del NDVI, con la extensión *reclassify by table*, considerando las siguientes tres clases: clase 1) $-1 \leq a < 0.1$ → sin vegetación (rocas, arena y nieve); clase 2) $0.1 \geq a < 0.4$ → vegetación intermedia (arbustos y pastizales) y clase 3) $0.4 \geq a < 1$ → vegetación superior (arbórea).

Se realizó una validación independiente para evaluar la precisión de los mapas generados a partir del índice espectral NDVI, siguiendo la metodología descrita por Stehman y Foody (2019). Utilizando un diseño de muestreo aleatorio estratificado, reunimos 65 muestras independientes, las cuales se etiquetaron de acuerdo con las imágenes de alta resolución obtenidas de Google Earth en 2023, lo que permitió identificar las zonas verdes derivadas

del índice NDVI reclasificado. Este proceso dio como resultado 25 puntos de validación para zonas verdes y 40 para zonas no verdes. Calculamos la precisión general, la precisión del productor, la precisión del usuario, así como los errores de omisión y comisión utilizando los métodos propuestos por Olofsson *et al.*, (2013); *et al.*, (2014).

Posteriormente, los mapas ráster de la reclasificación fueron utilizados para llevar a cabo un análisis de la conectividad del paisaje, con la extensión *Landscape statistics*. Se utilizó un criterio de área mínima cartografiada de 5 m x 5 m (0.1 ha) escala 1:15 000 para imágenes satelitales con una resolución espacial de 10 m (Lencinas y Siebert, 2009: 104). Se eliminaron los polígonos inferiores o iguales a 100 m² para obtener los mapas finales de la SPF por cada localidad.

Análisis de la conectividad funcional de los espacios verdes públicos

El análisis de la conectividad funcional inició con el cálculo del índice de dispersión de los espacios verdes públicos para tres localidades con información vectorial disponible: Córdoba, León y Torreón. Se obtuvieron los centroides de los parques y jardines y se utilizó la extensión *Nearest neighbour analysis* del software libre QGIS 3.28 © para establecer el rango de dispersión de los EVP en una escala de 0 a 2.15 puntos, donde 0 refleja un patrón de distribución agrupada; 1 un patrón de distribución dispersa; y 2.15 un patrón de distribución regular (Barcelona Field Studies Centre S.L, 2024).

Para medir la cobertura de los espacios verdes, se aplicaron los estándares de la NOM-001- SEDATU_2021-DOF, la cual considera rangos de servicio recreativo de entre 400 m y 12 km de distancia de acuerdo con el tamaño de estos espacios. Con base en la cobertura de servicio se calculó el total sin cobertura en siete grupos de la población (tabla 2), considerados como vulnerables al cambio climático. Finalmente, se analizó la proximidad a los espacios verdes públicos según la densidad poblacional. Los datos de población se obtuvieron del Censo de población y vivienda en México 2020 (INEGI, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

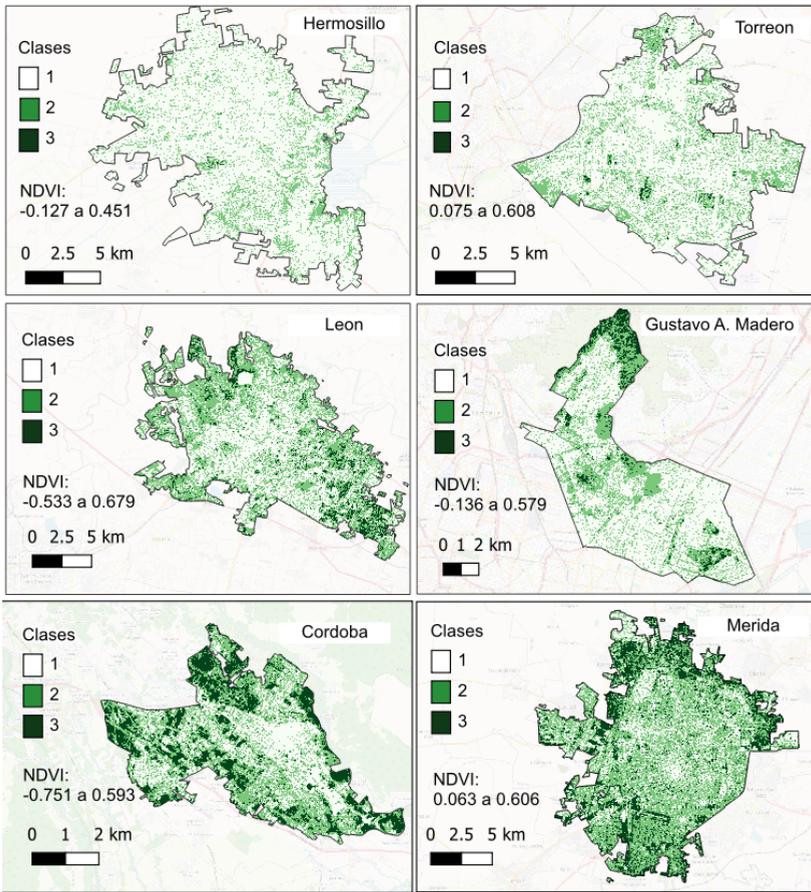
Conectividad y diferenciación de la cobertura vegetal en las seis ciudades

Las evaluaciones de precisión superaron el 80%, con un índice de confianza del usuario del 84% para las zonas verdes identificadas en las seis ciudadanas mexicanas. Es importante mencionar que estas zonas verdes que derivan del índice espectral NDVI, poseen un error de omisión para las ciudades localizadas en zonas semiáridas como Torreón y León, y de comisión para las ciudades como Xalapa y Mérida. Dichos resultados coinciden con la evaluación realizada por Ju *et al.*, (2022) en donde la confiabilidad para detectar áreas verdes fue mayor en ciudades con una vegetación tropical en comparación con las de zonas áridas.

Los cálculos del índice espectral NDVI revelan que el rango de la Superficie con Potencial Fotosintético (SPF) de las seis ciudades se ubica entre los -0.06 y 0.67 puntos (mapas de la tabla 3). Valores de NDVI superiores a 0.6 se asocian con vegetación que posee una buena calidad sanitaria y de vigor de la planta (Moreno *et al.*, 2020). Los valores obtenidos constituyen un rango de referencia que describe las limitaciones en el potencial y los retos que tendrá el manejo de la vegetación urbana de estas ciudades para disminuir las cargas e incrementar los beneficios ambientales en el contexto urbano.

Particularmente, la suma total de la SPF, clases 2 y 3, indica una cobertura vegetal que va del 18% a 80% de la superficie total de las localidades estudiadas (tabla 3). Córdoba y Mérida, localizadas en la región del Golfo y sur del país, cuentan con coberturas de las clases 2 y 3 que superan el 70%, es decir, con más superficies de vegetación intermedia y alta. Le siguen en el centro del país, León y Gustavo A. Madero (G.A.M.) con coberturas que rondan entre el 40 y 50%. Por último, se ubican Torreón y Hermosillo, en el norte, con una extensión total de las clases 2 y 3 por debajo del 26%. De las seis ciudades, Córdoba exhibe la mayor extensión de vegetación alta (clase 3), la última es Hermosillo.

TABLA 3. UBICACIÓN DE LAS LOCALIDADES (LOC.) Y VALORES DEL ESPECTRO NDVI



Loc.	Clase	Cobertura	Parches	Área(ha)*	Loc.	Clase	Cobertura	Parches	Área (ha)*
Hermosillo	1	33.83 %	1570	0.051	Torreón	1	26.42 %	22009	0.029
	2	42.92 %	1580	0.066		2	53.34%	10250	0.127
	3	23.25 %	1457	0.039		3	20.28%	14996	0.033
León	1	45.21 %	11756	0.087	G.A.M	1	60.93%	1655	0.323
	2	46.69%	20369	0.051		2	32.77%	12436	0.023
	3	8.10%	9842	0.018		3	6.30%	1972	0.028
Córdoba	1	73.30 %	2394	0.471	Mérida	1	82.21 %	2334	0.718
	2	25.84%	26340	0.015		2	17.68%	32687	0.011
	3	0.86%	1482	0.008		3	0.11%	273	0.008

*ÁREA PROMEDIO DEL PARCHE.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En cuanto a la fragmentación de la vegetación, las métricas de paisaje muestran un mayor número de parches de las clases 2 y 3 en las ciudades del centro y norte del país: León, Gustavo A. Madero, Torreón y Hermosillo. El área media del parche de la clase 1 registra valores altos (rango entre 0.3 y 0.7) en las ciudades de León, Torreón y Hermosillo, lo que es un indicador de la pulverización de la cobertura vegetal.

Las variaciones descritas arriba indican una disminución de la extensión e integridad de la cobertura vegetal, que corre de las ciudades del sur a las ciudades del norte del país. Esta condición estaría asociada con las características climáticas y los tipos de vegetación de la región, y refleja una mayor cobertura sin vegetación y superficies artificiales de las ciudades, en donde la escasez de vegetación puede tener un mayor impacto en las ciudades con climas secos que con climas cálidos (Ju *et al.*, 2022).

Estos resultados tienen implicaciones prácticas para establecer una red de infraestructura verde. Cada ciudad parte de una línea base diferente en términos de la abundancia de vegetación urbana disponible y el impacto en la provisión de servicios ecosistémicos. La fragmentación de la vegetación plantea un reto de conectividad diferenciado y una mayor exigencia para mitigar los efectos del cambio climático, debido a las condiciones de escasez características de cada contexto urbano y ambiental, en particular para las ciudades del norte del país con una cobertura vegetal más escasa y pulverizada. Esto es consistente con otras investigaciones que han señalado que las condiciones de verdor tienen implicaciones sobre el aumento en la frecuencia de condiciones húmedas y secas extremas (George, Paul

y Dhawale, 2021) y por tanto en mitigar los efectos de cambio climático.

Distribución de los espacios verdes públicos en Córdoba, León y Torreón

Se detectaron los patrones de distribución de los espacios verdes públicos para las ciudades de Córdoba, León y Torreón. Como se muestra en la tabla 4, los índices de dispersión obtenidos se ubican entre los 0.426 y 1.032 puntos, con una puntuación Z de entre -47 y 0.36. Estos valores revelan una distribución agrupada para León y Torreón, en donde las *distancias medias esperadas* fueron mayores a las *distancias medias observadas* (131.56 a 158.31 m); y una distribución dispersa para Córdoba, ciudad para la cual la diferencia entre las distancias medias presenta valores menores (16 m).

TABLA 4. PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE LOS ESPACIOS VERDES PÚBLICOS (EVP)

Localidad	Número de EVP	Distancia media observada*	Distancia media esperada*	Índice de dispersión	Puntuación Z	Patrón detectado
Córdoba	35	513.548	497.449	1.032	0.3662	Dispersión
León	1350	134.098	292.408	0.458	-38.055	Agrupación
Torreón	1897	97.920	229.480	0.426	-47.768	Agrupación

*UNIDAD EN METROS LINEALES.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Un patrón de distribución agrupada sugiere la existencia de inequidad en la distribución de los espacios verdes públicos. Distintos estudios han observado que la concentración de estos espacios en ciertas zonas crea una condición de desigualdad en las capacidades de la ciudad para mitigar las externalidades (cargas) ambientales sobre la salud humana (Fu *et al.*, 2024). Además, se ha demostrado una asociación negativa de muertes relacionadas con el calor en ciudades secas donde los espacios verdes están menos agrupados (Schinasi *et al.*, 2023).

En términos prácticos, la discontinuidad de las áreas verdes León (centro) y Torreón (norte) son una condición estructurante que derivaría en una falla para que estos espacios funcionen como un sistema interconectado de prestación efectiva de servicios de infraestructura verde y soporte pleno de la vida humana. Esto constituye un reto para lograr una red de infraestructura verde que redistribuya los

beneficios a la población, reduzca las externalidades ambientales, y escale las oportunidades de enfrenar los efectos de cambio climático.

Cobertura y proximidad a espacios verdes públicos en Córdoba, León y Torreón

Los resultados de la dotación de parques y jardines son: León, 3.17 m²/hab. (500.80 ha), Córdoba 1.05 m²/hab., (67.03 ha) y Torreón, 0.21m²/hab. (330.91 ha). El rango de servicio se ubica entre los 400 y 2000 m. La población total sin servicio en las tres ciudades ronda entre el 2 y 13%. León es la ciudad con mayor carencia.

Una característica común en las tres ciudades es que las personas sin cobertura de espacios verdes tienen promedios de escolaridad menores que las personas con cobertura. Esto es consistente con estudios que han mostrado que, a mayor escolaridad, mayor ingreso promedio,

lo cual es una condición para acceder a mejores condiciones de vivienda y entornos verdes (Ju *et al.*, 2021). En cuanto a la dotación por grupos de población, los datos de la tabla 5 muestran que, en León, el grupo de personas indígenas se encuentra dentro de los grupos con mayor carencia, seguido de los afroamericanos y la

gente con discapacidad. En el caso de Torreón, son los indígenas, las personas sin afiliación a un servicio de salud y los grupos infantiles quienes tienen los mayores porcentajes de carencia. Finalmente, para Córdoba, el primer grupo es de los afroamericanos, seguido de los grupos femeninos y de infantes.

TABLA 5. DESGLOSE DE GRUPOS DE POBLACIÓN EN LAS ZONAS DESPROVISTAS DE EVPI

Localidad	León		Torreón		Córdoba	
	Total localidad	Sin cobertura	Total localidad	Sin cobertura	Total localidad	Sin cobertura
Población	1,579,803	13.24%	700,594	2.22%	707,098	3.99%
Femenina	802,039	13.20%	357,314	2.15%	377,123	3.99%
0 a 14	402,742	13.61%	170,281	2.56%	157,923	3.95%
65 y mas	94,625	15.98%	52,490	2.07%	70,464	3.67%
Indígena	6140	19%	1710	5.79%	26,199	3.15%
Afroamericana	41,508	17.30%	8055	0.50%	18,174	4.48%
Con discapacidad	62,379	16.03%	26,552	2.27%	29,949	3.43%
Escolaridad	8.64	6.76	10.85	9.98	9.67	9.63
Sin servicio de salud	346,974	14.39%	150,457	3.74%	231,765	3.59%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DEL INEGI, 2020.

La heterogeneidad de la composición poblacional permite identificar la presencia de diferentes grupos vulnerables, para los cuales se han registrado efectos desproporcionados al cambio climático (IPCC, 2023). Esto tiene implicaciones prácticas sobre la complejidad de priorizar intervenciones que beneficien simultáneamente a grupos específicos con necesidades particulares y explorar sus capacidades de adaptación climática, principalmente en entornos donde existe mayor escasez de espacios verdes.

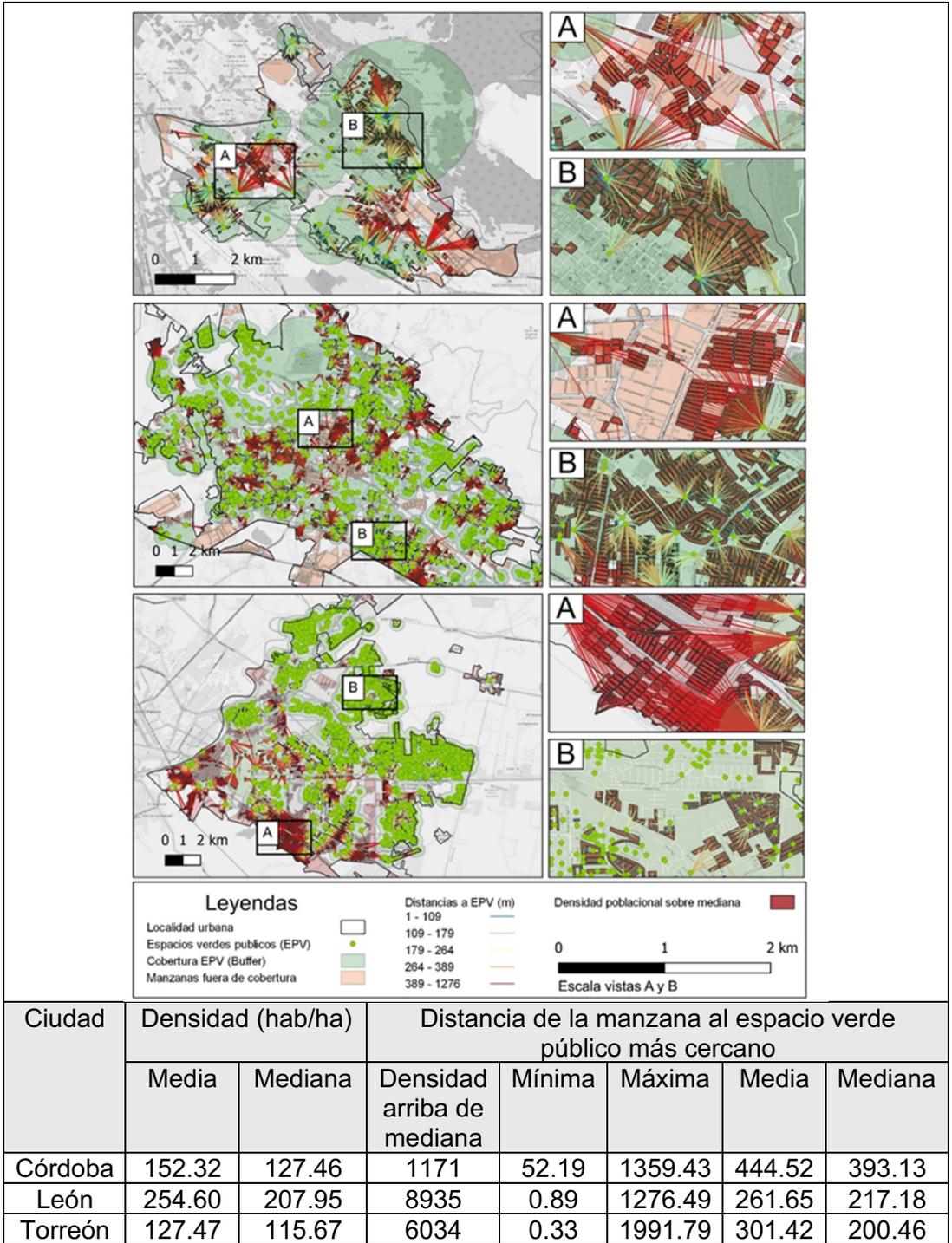
Además, la cobertura de los servicios también fue evaluada a partir de la proximidad y la densidad de población, para lo cual las manzanas fueron clasificadas en dos clases: por arriba y debajo de la densidad. La densidad poblacional de las tres ciudades se sitúa en un intervalo que va de los 115.67 y 207.95 hab. por ha.

Los mapas de la tabla 6 muestran las manzanas de densidad arriba de la mediana que se localizan fuera (A) y dentro (B) de las zonas de cobertura establecidas por la NOM_001_SE-DATU. En las tres ciudades, las manzanas fuera de la cobertura (A) se encuentra entre 1200 y

2000 m del espacio verde más cercano, a una distancia caminable de entre 14 a 24 min, si consideramos que una persona promedio camina 5 km/h. Suárez y Delgado (2015) documentaron que los mexicanos caminan entre 10 y 20 min (entre 800 y 1.6 km), antes de utilizar un medio de transporte, lo cual sugiere que en estas ciudades una proporción de la población es excluida de los beneficios culturales que provienen de la visita y contacto directo de los espacios verdes de infraestructura verde.

Además, la proximidad favorece la continuidad y consolidación de la red de infraestructura verde. La cercanía a espacios verdes en zonas densamente pobladas justificaría el desarrollo de estrategias de creación de infraestructura verde, utilizando estos sitios como apoyo para mejorar la prestación de servicios culturales. En el caso contrario, para los sitios sin cobertura se podría priorizar el desarrollo de estrategias de renaturación de núcleos densamente poblados considerando las condiciones de cobertura vegetal presentes en la ciudad.

TABLA 6. DENSIDAD POBLACIONAL Y PROXIMIDAD A LOS ESPACIOS VERDES PÚBLICOS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

CONCLUSIONES

Este estudio documentó que la escasez de vegetación es mayor en las ciudades del norte de México y la disponibilidad de espacios verdes públicos de servicios recreativos está más agrupada que en las ciudades del sur, lo cual añade una capa de inequidad con implicaciones prácticas en el proceso de transformación de los espacios verdes a infraestructura verde urbana. Por lo anterior las oportunidades de escalar la adaptación al cambio climático con equidad parece menor en las ciudades del sur que del norte del país.

Dhiaulhaq *et al.*, (2024) mencionan que disminuir la inequidad en el acceso a los espacios verdes implica la asignación equitativa de los bienes y las cargas ambientales para asegurar la provisión de calidad entre todos grupos de población a los beneficios ambientales, sociales y culturales que proporciona mantener la integridad del ecosistema natural. Por eso, consideramos que la transformación de infraestructura verde de las seis ciudades estudiadas requiere asegurar estándares mínimos de suministro equitativo y conectividad.

Con base en lo anterior, recomendamos tres principios básicos en el proceso de transformación: 1) reconocer la línea base de cobertura vegetal para establecer una red de infraestructura verde adecuada con el contexto local; 2) mitigar los patrones de concentración de espacios verdes recreativos para redistribuir los beneficios de la infraestructura verde; y 3) priorizar el suministro de verde urbano en zonas sin proximidad y sin cobertura de los espacios verdes. La aplicación de estos principios debería ajustarse considerando las limitaciones que existen en las ciudades del norte sobre las del sur del país, en donde las condiciones geográficas imponen una restricción natural y de heterogeneidad poblacional.

Por otra parte, esta investigación abre la posibilidad de discutir en el futuro la adopción de una política de desarrollo urbano a escalas locales para alinear los planes y los programas de infraestructura existentes dentro de proceso de transformación de los espacios verdes públicos a infraestructura verde y en una ventaja

de la urbanización para vincular la naturaleza con las personas.

Por último, los resultados de esta investigación plantean retos y limitaciones sobre el estudio de la conectividad de las redes de infraestructura verde que deberán ser abordadas en el futuro. Entre otros, el impacto de la conectividad en la prestación de los servicios ecosistémicos de regulación, sostenimiento y abastecimiento de la infraestructura verde, así como la integración de las diferencias climáticas, ecológicas y humanas en la delimitación de la política pública local y nacional sobre infraestructura verde urbana.

AGRADECIMIENTOS

UNAM-DGAPA-PASPA 2023. Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Institutos de Planeación de León y Torreón por la información geográfica de áreas verdes.

FUENTES DE CONSULTA

Barcelona Field Studies Centre S.L. (2024), Fieldwork technology. Disponible [geographyfieldwork.com](https://www.fieldwork.com).

Carmona-Ortega, M., Falfán, I., Lascrain-Rangel, M. and Benítez-Badillo, G. (2022), "Distribución espacial de las áreas verdes urbanas en Xalapa, México: un caso de inequidad", *Sociedad y Ambiente*, núm. 25, pp.1-32.

Casillas Zapata, A. M. (2023), "Desigualdad en la dotación de áreas verdes en el municipio de Monterrey: una injusticia ambiental", *Región y sociedad*, año 35, e1784. doi: <https://doi.org/10.22198/rys2023/35/1784>.

Dhiaulhaq, A., Hepp, C., Adjoffoin, C., Ehowe, C., Assembe-Mvondo, S. y Wong, G. (2024), "Environmental justice and human well-being bundles in protected areas: An assessment in Campo Ma'an landscape, Cameroon", *Forest Policy and Economics*, vol. 159, 103137, <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.103137>.

Farfán Gutiérrez, M., Boni Noguez, A., Flamenco-Sandoval, A., Martínez Serrano, A., Flores-Torres, A., Godínez Ramírez, A. K. & Alcántara, C. (2021), "Availability and accessibility of urban green spaces: the case of the urban zone of Queretaro Metropolitan Area, Mexico", *Journal of Maps*, vol. 17, issue 1, pp. 101-105. <https://doi.org/10.1080/17445647.2021.1927867>.

Fernández-Álvarez, R. (2017), "Distribución inequitativa del espacio público verde en Ciudad de México: un caso de injusticia ambiental", *Econ. soc. territ.*, vol.17, núm. 54, pp. 399-428. <https://doi.org/10.22136/est002017697>.

Fu, J., Fu, Z., Zhu, Ch., Sun, Y. y Cao, H. (2024), "Assessing the health risk impacts of urban green spaces on air pollution - Evidence from 31 China's provinces", *Ecological Indicators*, vol. 159, 111725.

George, J., Paul, S. y Dhawale, R. (2021), "Contrasting urban greenness across cities with varying trends in above-normal weather events", *Nature-Based Solutions*, vol 1, 100008.

Herrera, V. y Romo, M. (2021), "La distribución de las áreas verdes públicas en relación con las características socioeconómicas de la población en Ciudad Juárez, México", *Acta univ.*, vol. 31, e3101. <https://doi.org/10.15174/au.2021.3101>.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2010a), Compendio de información geográfica municipal 2010. Hermosillo, Sonora. Disponible en https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/26/26030.pdf, consultado el 3 de febrero de 2024.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2010b), Compendio de información geográfica municipal 2010. Mérida, Yucatán. Disponible en https://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/31/31050.pdf, consultado el 3 de febrero de 2024.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2010c), Compendio de información geográfica municipal 2010. León, Guanajuato. Disponible en inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/11/11015.pdf, consultado el 3 de febrero de 2024.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2010d), Compendio de información geográfica municipal 2010. Torreón, Coahuila de Zaragoza. Disponible en inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/05/05035.pdf, consultado el 3 de febrero de 2024.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2010e), Compendio de información geográfica municipal 2010. Gustavo A. Madero. Distrito Federal. Disponible en inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/09/09005.pdf, consultado el 3 de febrero de 2024.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2020), Censo de población y Vivienda. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html>, consultado el 20 de octubre de 2023.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2021), Censo de población y Vivienda. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#tabulados>, consultado el 20 de octubre de 2023.

IPCC (2023), Summary for Policymakers. In *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero

(eds.]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.

Ju, Y., Dronova, I. & Delclòs-Alió, X. (2022), "A 10 m resolution urban green space map for major Latin American cities from Sentinel-2 remote sensing images and OpenStreetMap", *Scientific Data*, vol. 9, núm. 1, 586.

Lencinas, J.D. & Siebert, A. (2009), "Forest Survey Based on Satellite Imagery: Spatial Resolution and Scale", *Revista de Ciencias Forestales*, vol. 17, pp. 101-105.

Moreno, R., Ojeda, N., Azocar, Venega, C. y Inostroza, L. (2020), "Application of NDVI for identify potentiality of the urban forest for the design of a green corridors system in intermediary cities of Latin America: Case study, Temuco, Chile", *Urban Forestry and Urban Greening*, vol. 55, pp.126821.

Moreno-Mata, A. (2018), "Urban Sprawl, Environmental Justice and Equity in the Access to Green Spaces in the Metropolitan Area of San Luis Potosí, Mexico". In Leal Filho, W., Noyola-Cherpitel, R., Medellín-Milán, P., Ruiz Vargas, V. (eds.), *Sustainable Development Research and Practice in Mexico and Selected Latin American Countries. World Sustainability Series*. Springer, Cham. pp. 499-516. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70560-6_32.

Núñez, J. M. (2021), "Análisis espacial de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México", *Economía, sociedad y territorio*, vol. 21, núm. 67, pp. 803-833. <https://doi.org/10.22136/est20211661>.

Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E. & Wulder, M. A. (2014), "Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change", *Remote Sensing of Environment*, vol. 148, pp. 42-57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>.

Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V. & Woodcock, C. E. (2013), "Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation", *Remote Sensing of Environment*, vol. 129, pp. 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.031>.

Ojeda-Revah, L. (2021), "Equidad en el acceso a las áreas verdes urbanas en México: revisión de literatura", *Sociedad y Ambiente*, vol. 24, pp. 1-28.

Reyes Plata, J. A. y Vargas Robledo, L. A. (ed.) (2022), *Infraestructura verde y sostenibilidad urbana. Contribuciones interdisciplinarias*, UNAM y Universidad Iberoamericana, México.

Salgado-López, J. A. & Galván-Benítez, R. (2022), "Infraestructura verde. Conceptualización y análisis normativo de México", *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, vol. 24, núm. 1, pp. 105-128. <https://doi.org/10.36677/qret.v24i1.16602>.

SEDATU (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano) (2022), Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021, Espacios Públicos en los Asentamientos Humanos. Diario Oficial de la Federación, 22 de febrero de 2022.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) e INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) (2023), Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático México. Disponible en <https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/atlas/mapa>, consultado el 16 de diciembre de 2024.

Schinasi, L.H., Kondo, M.C., Edwards, J., Clougherty, J. E., De Roos, A.J., Bilal, U. (2023), "Does Urban Greenspace Reduce Mortality Inequalities Based on Poverty, Race, or Both in Philadelphia, PA?", *J Urban Health*, vol. 100, núm. 4, pp. 686-695. <https://doi.org/10.1007/s11524-023-00748-5>.

Stehman, S. V. & Foody, G. M. (2019), "Key issues in rigorous accuracy assessment of land cover products", *Remote Sensing of Environment*, 231, 111199. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.05.018>.

Suárez, M. y Delgado, G. (2015), *Entre mi casa y mi destino. Movilidad y transporte en México. Encuesta Nacional de Movilidad y Transporte*, UNAM, México.