Investigaciones Geográficas • Instituto de Geografía • UNAM
eISSN: 2448-7279 • DOI: https://doi.org/10.14350/rig.61113 • ARTÍCULOS
Núm. 120 • Agosto • 2026 • e61113
www.investigacionesgeograficas.unam.mx

Análisis espacial de cobertura vegetal de una ciudad semiárida del noroeste de México

Spatial Analysis of the Vegetation Cover in a Semiarid City in Northwest Mexico

Masuly G. Vega-Puga,* Jaime Garatuza-Payán,** Francisco Elías González-Castro,*** Miriam A. Casillas-López;‡ Martha L. Vargas-Terminel,§ José Raúl Romo-León¶ y Enrico A. Yépez#

Recibido: 14/11/2025 Aceptado: 30/06/2026 Publicado: 5/07/2026

Resumen. La cobertura vegetal desempeña un papel importante en las ciudades, ya que brinda múltiples bienes y servicios a la población, los cuales, tienen implicaciones ambientales, económicas y sociales. La disponibilidad de información sobre los ecosistemas urbanos y su cobertura vegetal es esencial para desarrollar estrategias orientadas a la transición hacia infraestructura verde. Este estudio busca analizar espacialmente la cobertura vegetal de una localidad semiárida del Noroeste de México, Ciudad Obregón, mediante censos de vegetación e imágenes satelitales, con el fin de diagnosticar su estado actual y generar insumos para la conservación y mejora de los ecosistemas urbanos. Los censos de vegetación se llevaron a cabo en tres espacios urbanos recreativos durante 2023-2024. La cobertura vegetal total de la ciudad se estimó mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) a partir de imágenes satelitales de Sentinel-2. Los resultados muestran que la ciudad presenta una cobertura vegetal < 15 %, distribuida de manera heterogénea. Asimismo, la dinámica temporal de los últimos ocho años (2016-2023) evidenció una disminución de 8.01 %. La composición florística registrada de los espacios recreativos urbanos muestra una alta dependencia de especies no nativas, siendo *Terminalia buceras* la especie dominante según el índice de valor de importancia.

* Instituto Tecnológico de Sonora. Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, 5 de febrero 818 sur, 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-2605-6913). Email: mazuly_88@hotmail.com
** Instituto Tecnológico de Sonora. Sede Regional Sur de Sonora, Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM). 5 de febrero 818 sur, 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2357-910X). Email: garatuza1@gmail.com. Autor de correspondencia.
*** Instituto Tecnológico de Sonora. Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, 5 de febrero 818 sur, 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-4697-3114. Email: francisco.elias17281@potros.itson.edu.mx
‡ Instituto Tecnológico de Sonora. Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, 5 de febrero 818 sur, 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8367-5692. Email: miriam.casillas217439@potros.itson.edu.mx
§ Instituto Tecnológico de Sonora. Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, 5 de febrero 818 sur, 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8946-9005. Email: vargastml@gmail.com
¶ Universidad de Sonora, Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Avenida Luis Donaldo Colosio s/n, Centro, 83000, Hermosillo, Sonora, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4746-573X. Email: jose.romo@unison.mx
# Instituto Tecnológico de Sonora. Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, 5 de febrero 818 sur, 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México. Email: yepezglz@gmail.com

Además, la distribución de espacios recreativos urbanos es inequitativa, con mayor concentración en el cuadrante con mayor valor catastral. Estos hallazgos evidencian la necesidad de implementar estrategias que promuevan una cobertura vegetal más equitativa, garantizando una distribución más uniforme de los servicios ecosistémicos relacionados con la vegetación.

Palabras clave: ecosistema urbano, espacios recreativos urbanos, condición socioeconómica, composición florística, imágenes satelitales.

Abstract. Vegetation cover plays an essential role in cities, providing numerous wellness and services to the population, which have environmental, economic, and social implications. The availability of information on urban ecosystems and their vegetation cover is essential for developing strategies aimed at transitioning to green infrastructure. This study spatially analyzes the vegetation cover of Ciudad Obregon, a semi-arid city in Northwest Mexico, using vegetation censuses and satellite imagery, to assess its current condition and provide information to support the conservation and improvement of urban ecosystems. Vegetation censuses were conducted in three urban recreational areas during 2023–2024. City-wide vegetation cover was estimated using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) derived from Sentinel-2 satellite imagery. The results indicate that vegetation cover is < 15 % and is heterogeneously distributed across the city. Furthermore, analysis of temporal dynamics over the last eight years (2016-2023) revealed a decrease of 8.01% in vegetation cover. Floristic composition recorded in urban recreational areas showed a strong dependence on non-native species, with *Terminalia buceras* identified as the dominant species according to the Importance Value Index. In addition, the distribution of urban recreational areas is unequal, with a higher concentration in sectors characterized by higher cadastral value. These findings highlight the need to implement strategies that promote more equitable vegetation cover and, consequently, a more uniform provision of the ecosystem services associated with this vegetation.

Keywords: Urban ecosystem, Urban recreational areas, Socioeconomic condition, Floristic composition, Remote sensing.

INTRODUCCIÓN

La cobertura vegetal desempeña un papel esencial en las ciudades, debido a que brinda múltiples bienes y servicios ecosistémicos a la población, los cuales tienen alcances ambientales, económicos y sociales. Entre los beneficios sociales destaca la promoción de la actividad física y de diversas actividades recreativas, las cuales impactan de manera positiva en la salud física y mental. A su vez, ello contribuye a la reducción de los índices delictivos, lo que se traduce en una disminución de los costos asociados a la salud y a la seguridad pública (Lee *et al.*, 2011; Maldonado-Bernabé *et al.*, 2019; Luneke, 2021; Li *et al.*, 2022).

Desde una perspectiva ambiental, la vegetación permite la captura de carbono atmosférico, la generación de zonas de recarga hídrica, el aumento de la biodiversidad y el amortiguamiento de altas temperaturas, lo que mitiga el efecto de isla de calor. Este último servicio resulta especialmente relevante en regiones áridas y semiáridas (Velasco *et al.*, 2016; Sahagún *et al.*, 2020; Santamouris *et al.*, 2020; Ojeda-Revah, 2021).

Debido al cambio climático y a la naturaleza de los materiales de construcción predominantes en México (i.e., casas, equipamiento urbano, caminos y carreteras), el incremento de la temperatura ya es una realidad, y las zonas áridas y semiáridas son las más afectadas. Sus efectos abarcan desde el aumento en los costos derivados del uso de equipos de refrigeración hasta fallecimientos por golpes de calor (Wong y Yu, 2005; Díaz-Caravantes *et al.*, 2014; Santamouris *et al.*, 2020). Por ello, una de las opciones más viables y de menor costo para amortiguar el incremento de las temperaturas es aumentar estratégicamente la cobertura vegetal dentro de las ciudades (Santamouris *et al.*, 2020).

La cobertura vegetal en las ciudades no solo se encuentra en áreas diseñadas como parques, camellones y unidades deportivas, denominadas en este estudio "espacios recreativos urbanos", sino también en áreas verdes informales, como lotes baldíos, lo que tiene implicaciones en la duración y magnitud de los servicios ecosistémicos (Rupprecht y Byrne, 2014; Rigolon *et al.*, 2018). Además, dichos beneficios pueden maximizarse cuando la vegetación se concibe bajo el enfoque de infraestructura verde, entendida como la planificación estratégica de una red de áreas naturales y seminaturales que permite ofrecer una amplia gama de servicios ecosistémicos (Jato-Espino *et al.*, 2023).

No obstante, para que la infraestructura verde mantenga sus beneficios a largo plazo, es indispensable implementar estrategias de conservación y manejo responsable de los ecosistemas que la integran (Evans *et al.*, 2022). Sin embargo, para llegar a ese escenario, es necesaria la generación de conocimiento que permita, en primera instancia, construir una propuesta eficiente, debido a que los esfuerzos se han enfocado principalmente en ecosistemas naturales y agroecosistemas, aun cuando en la actualidad se observa la necesidad de contar también con información acerca de los ecosistemas urbanos, a fin de guiarlos hacia un funcionamiento eficiente y sostenible (Tan *et al.*, 2020).

El conocimiento sobre el estado, la extensión y la distribución de la cobertura vegetal constituye uno de los primeros pasos para incorporar esta información en estrategias formales de planeación urbana sostenible. Entre estas destaca la identificación de áreas prioritarias para incrementar la vegetación y la selección de especies adecuadas que favorezcan un mantenimiento sostenible a largo plazo. De esta manera, se busca garantizar que la población de la localidad reciba los servicios ecosistémicos de forma equitativa (López-Torrero y Navarro-Navarro, 2023).

Para lograrlo, se requieren técnicas que permitan sostener un monitoreo espacio-temporal a gran escala, como la percepción remota.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo analizar espacialmente la cobertura vegetal de una localidad semiárida del noroeste de México, Ciudad Obregón, mediante censos de vegetación e imágenes satelitales, con el fin de diagnosticar su estado actual y generar insumos para la conservación y mejora de los ecosistemas urbanos.

METODOLOGÍA

Sitio de estudio

Ciudad Obregón se ubica al sur del estado de Sonora, en el municipio de Cajeme (Figura 1). Esta localidad presenta un clima semiárido, con una temperatura media anual de 24 °C, temperaturas máximas de hasta 42 °C y una precipitación media anual de 317 mm (Navarro-Estupiñán *et al.*, 2018; Torres-Cruz *et al.*, 2021).

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020, Ciudad Obregón cuenta con 329 404 habitantes (INEGI).

La composición florística nativa de esta región está dominada por *Prosopis glandulosa*, *Cercidium floridum*, *Vallesia glabra*, *Opuntia thurberi*, *Bursera hindinsiana* y *Vachellia campechiana*. Asimismo, la estructura de la comunidad vegetal está constituida principalmente por árboles y cactáceas, que representan el 38 % y el 29 %, respectivamente (Sánchez-Mejía *et al.*, 2007).

Obtención de capas vectoriales

Para evaluar la cobertura vegetal en función de su ubicación en la localidad, considerando la influencia de los estratos socioeconómicos (Zamudio-Sánchez *et al.*, 2018), la mancha urbana se segmentó en dos escalas espaciales: colonias y cuatro cuadrantes: a) noroeste, b) noreste, c) sureste y d) suroeste, como se muestra en la Figura 1.

En la Figura 2 se presenta la distribución de los valores catastrales por colonia para el año 2022, los cuales se utilizaron como un indicador indirecto del nivel socioeconómico urbano. Estos muestran un patrón claro de agrupación, con los sectores de mayor valor catastral localizados al norte de la ciudad.

Los datos geoespaciales, tanto de la capa de las colonias como los correspondientes a los valores catastrales, fueron obtenidos del Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Cajeme, (IMIP; https://www.imipcajeme.org/programa-de-desarrollo-urbano-de-centros-de-poblacion/). Asimismo, se utilizó el complemento QuickOSM de QGIS (versión 3.28.12), un Sistema de Información Geográfica de código abierto para consultar la categoría 'hiking' de OpenStreetMap, donde se encuentra disponible la capa vectorial correspondiente a los espacios recreativos urbanos. Esta categoría agrupa capas donde se encuentra información relacionada a senderos y espacios para llevar actividades al aire libre, como espacios recreativos urbanos, en diversas localidades del mundo. Finalmente, se cuantificó la distribución y frecuencia de estos espacios en la ciudad.

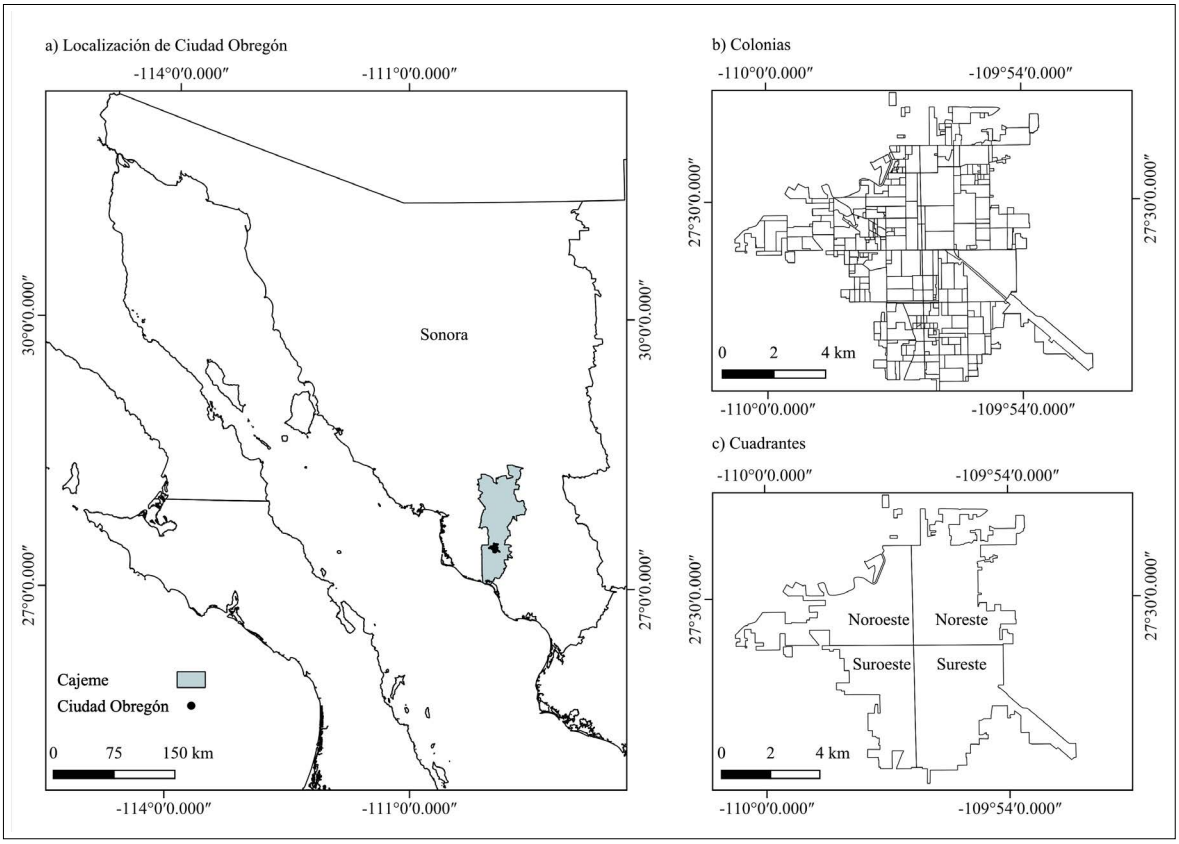

Figura 1. Sitio de estudio, a) localización del Municipio de Cajeme y Cd. Obregón en el estado de Sonora, b) colonias de la localidad y c) agrupación de la localidad en cuadrantes para su estudio.

Obtención de imágenes satelitales

Para analizar espacialmente la cobertura vegetal de Ciudad Obregón, en el estado de Sonora, se utilizaron imágenes satelitales de alta resolución espacial (10 m) de los años 2016 y 2023 para el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el cual es un indicador de la cobertura y el estado de la vegetación.

Específicamente, se emplearon imágenes de la misión European Space Agency Sentinel-2 (Segarra *et al.*, 2020), obtenidas del portal "https://browser.dataspace.copernicus.eu/". Los criterios de búsqueda consideraron: a) extensión del terreno: la mancha urbana de Ciudad Obregón; b) misión: Sentinel-2; c) nivel de corrección atmosférica: Nivel 2A, con imágenes ortorrectificadas y niveles de reflectancia de superficie; y d) fecha: otoño (4 de octubre de 2016 y 28 de octubre de 2023), con el fin de asegurar la presencia de vegetación activa y minimizar el estrés hídrico asociado a la temporada seca, así como la presencia de nubosidad.

Por otra parte, para explorar la relación entre la temperatura de superficie (LST, por sus siglas en inglés) y la cobertura vegetal, también se obtuvo una imagen satelital térmica del sensor infrarrojo térmico (TIRS), montado en el satélite Landsat 8. La imagen fue descargada del portal gestionado por el United States Geological Survey (USGS), correspondiente a la Colección 2, Nivel 1, con resolución espacial de 30 m y para la fecha más cercana a las imágenes utilizadas en la estimación de la cobertura vegetal (31 de octubre de 2023). Adicionalmente, se verificó la ausencia de nubosidad sobre la zona de estudio.

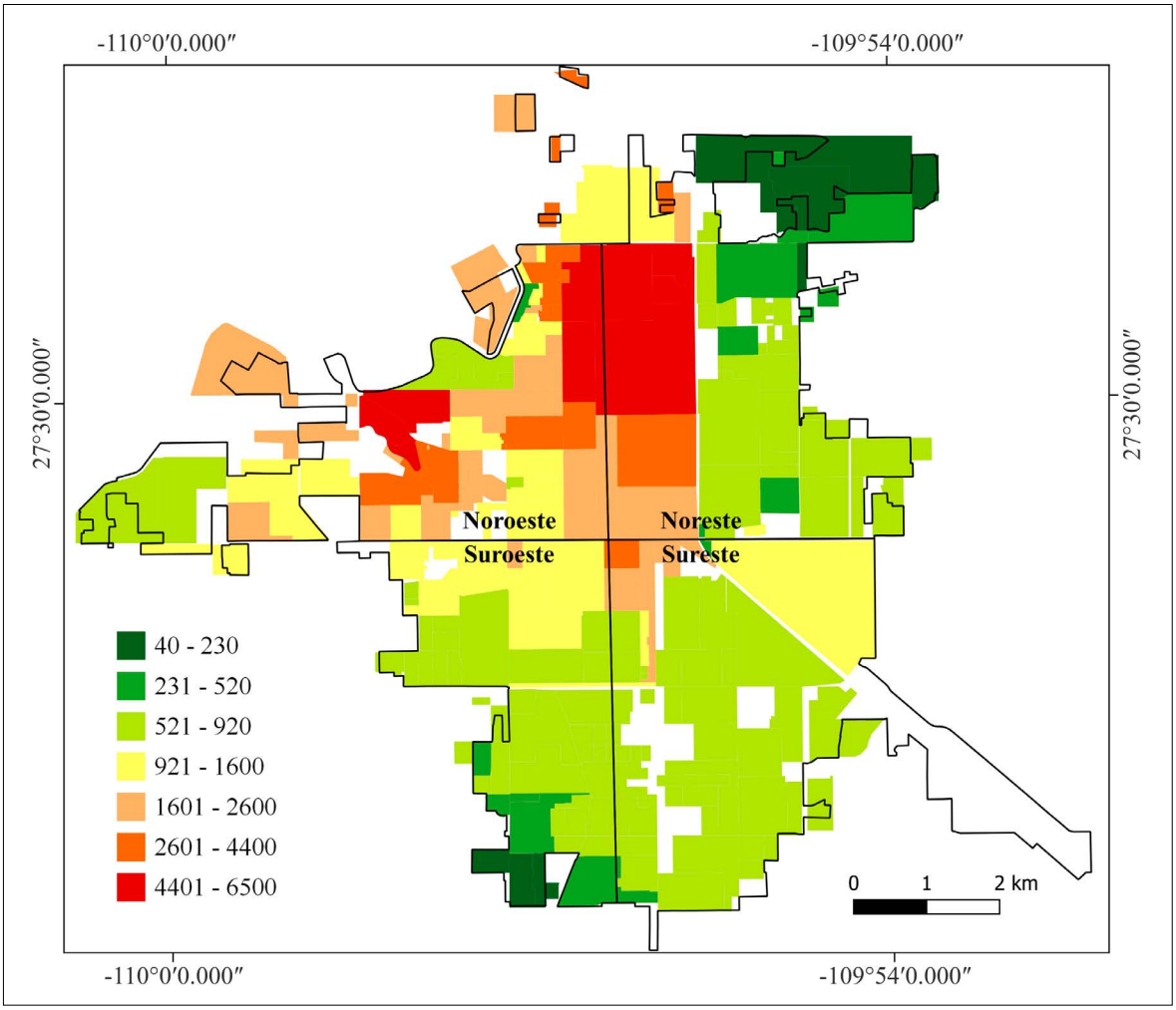

Figura 2. Valores catastrales promedio por colonia, en pesos por metro cuadrado, dentro de la mancha urbana de Ciudad Obregón, Sonora para el año 2022. Fuente: Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Cajeme (IMIP).

Procesamiento de imágenes satelitales y estimación de NDVI y LST

Se utilizó QGIS para ejecutar la ecuación 1 y obtener el NDVI, la cual requiere reflectancias en las regiones del espectro electromagnético correspondientes al infrarrojo cercano y al rojo (Jiang *et al.*, 2006; Ozyavuz *et al.*, 2015). En el caso de Sentinel-2, estas corresponden a las bandas 8 y 4, respectivamente.

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{Infrarrojo cercano} - \text{Rojo})}{(\text{Infrarrojo cercano} + \text{Rojo})} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

NDVI es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, Infrarrojo cercano es la reflectancia en las longitudes de onda entre 0.78 a 0.90 µm y Rojo es la reflectancia en las longitudes de onda entre 0.65 y 0.68 µm.

En QGIS se procedió a recortar las imágenes satelitales al tamaño de Ciudad Obregón, usando el polígono de la mancha urbana de esta localidad como capa máscara, obtenido de la Plataforma de Información Geoespacial del Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial

(https://idegeo.centrogeo.org.mx/), particularmente, del mapa temático de localidades Urbanas Geoestadísticas de México.

Una vez obtenidas las imágenes recortadas, se procedió al cálculo del NDVI. Posteriormente, el índice fue reclasificado para agrupar la cobertura superficial en las siguientes categorías: categoría 0 ($-1 \leq NDVI < 0.2$), correspondiente a cuerpos de agua, suelo desnudo y construcciones; categoría 1 ($0.2 \leq NDVI < 0.3$), correspondiente a vegetación poco densa; y categoría 2 ($0.3 \leq NDVI \leq 1$), correspondiente a vegetación densa (Ozyavuz *et al.*, 2015). Finalmente, se calcularon las áreas correspondientes a cada categoría.

Asimismo, para evaluar la cobertura vegetal por colonias y sectores, se construyó una base de datos integrada por el área de cada polígono clasificado en las categorías 1 y 2 (presencia de vegetación). Posteriormente, la cobertura vegetal se agrupó por colonia y cuadrante. Además, se exploró la relación entre LST y el porcentaje de cobertura vegetal por colonia.

Para la estimación de la LST se siguieron los siguientes pasos: a) conversión de la banda térmica de Landsat 8 (B10) a radiancia espectral; b) estimación del brillo espectral a partir de la radiancia espectral y de los factores de reescalamiento multiplicativo (ML) y aditivo (AL); c) estimación de la emisividad a partir del NDVI; y d) cálculo de la LST mediante la aplicación de la emisividad al brillo espectral, obteniendo como resultado final la temperatura de superficie expresada en grados Celsius. Esta metodología se basó en el procedimiento propuesto por Jumari *et al.* (2023).

En cuanto al análisis estadístico, a los datos de cobertura vegetal por colonia se les aplicó estadística descriptiva. Para la cobertura vegetal por cuadrantes, se analizó la distribución de los datos y su homocedasticidad con el fin de seleccionar la prueba paramétrica o no paramétrica adecuada y evaluar diferencias significativas entre cuadrantes (Marozzi, 2011; Flores-Ruiz *et al.*, 2017). Todas las pruebas estadísticas se realizaron en el programa RStudio.

Censo del estrato arbóreo de tres espacios recreativos urbanos de Ciudad Obregón

Previo al análisis a escala de localidad mediante percepción remota, se realizaron censos del estrato arbóreo en espacios recreativos urbanos localizados en distintos puntos de la ciudad, como parte de la primera fase del inventario forestal de Ciudad Obregón, desarrollado por el Instituto Tecnológico de Sonora en colaboración con autoridades municipales. Este esfuerzo destacó la importancia de conocer la composición y diversidad de la vegetación urbana.

Para ello, se llevaron a cabo muestreos entre 2023 y 2024 en las áreas verdes públicas de mayor extensión y antigüedad (Tabla 1). Los muestreos consistieron en el censo de individuos arbóreos, la identificación de especies y la medición de características morfológicas, como altura y área de copa.

Con la información recabada en las áreas verdes, se generó una base de datos para calcular el índice de valor de importancia (IVI), así como el índice de diversidad de Shannon (IDSS), un indicador ampliamente utilizado en ecología para medir la diversidad de especies dentro de una comunidad (Moreno, 2001; Zarco-Espinosa *et al.*, 2010; Jiao y Han, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución espacial de la vegetación

Ciudad Obregón tiene aproximadamente 6000 hectáreas de extensión total y tan solo 859.52 presen-

Tabla 1. Espacios recreativos urbanos de Ciudad Obregón, Sonora.

Nombre	Coordenada central X	Coordenada central Y	Cuadrante	Edad (Años)	Área (hectáreas)
Bulevar Ramírez	-109.942715°	27.473955°	Sureste	>30	4.19
Laguna de Náinari	-109.970271°	27.497449°	Noroeste	>40	34.14
Parque los Pioneros	-109.938462°	27.502393°	Noreste	>40	1.96

tan cobertura vegetal, lo que indica que únicamente el 14 % de la localidad cuenta con este tipo de cobertura. Al categorizar la vegetación en densa y no densa, se registraron 252.58 y 606.94 hectáreas, respectivamente. En la Figura 3 se observa la distribución espacial de estos dos tipos de cobertura vegetal y se aprecia una concentración de parches de vegetación densa en los cuadrantes del norte.

La cobertura vegetal total fue de 230.84, 255.21, 200.58 y 172.88 hectáreas para los cuadrantes noreste, noroeste, sureste y suroeste, respectivamente. La prueba de Wilcoxon mostró que no existen diferencias significativas entre los cuadrantes del norte (noreste y noroeste; $p = 0.4201$), ni entre los cuadrantes del sur (sureste y suroeste; $p = 0.2817$). Sin embargo, las comparaciones entre cuadrantes del norte y del sur presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$ en todos los casos), lo que indica una mayor cobertura vegetal en la porción norte de la ciudad.

La cobertura vegetal de las colonias varió entre 1.33 y 49.84 hectáreas, lo que evidencia una alta heterogeneidad espacial. En promedio, las colonias presentaron una cobertura vegetal del 13.91 %. Del total de colonias analizadas, el 46.87 % presenta menos del 10 % de cobertura vegetal; el 37.19 % tiene entre 10 % y 19 %; y únicamente el 15.94 % supera el 20 % de cobertura vegetal (Figura 4). Estos porcentajes consideran tanto los espacios recreativos urbanos como las áreas verdes informales.

Como una primera aproximación al efecto de la cobertura vegetal sobre la temperatura superficial a escala de colonia, la regresión lineal simple mostró una asociación negativa débil entre ambas variables ($R^2 = 0.01$; $p = 0.05$). Aunque la tendencia sugiere una disminución de la temperatura superficial conforme aumenta la cobertura vegetal, la relación no alcanzó significancia estadística con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Esta situación podría estar directamente relacionada tanto con la baja cobertura vegetal y su calidad como con la resolución espacial del producto satelital. Sun *et al.* (2024) señalan que, a medida que aumenta la escala del estudio, la influencia de la calidad de los espacios verdes de alta densidad sobre la temperatura superficial se debilita gradualmente. Asimismo, estos autores establecen que, para lograr una modulación térmica eficiente, se requiere al menos un 35 % de cobertura vegetal.

Al mismo tiempo, el tipo de vegetación y la densidad de construcción en la localidad también tienen un efecto sobre esta relación (Duncan *et al.*, 2019).

La limitada cobertura vegetal observada en Ciudad Obregón también coincide con lo reportado para otras ciudades del noroeste de México caracterizadas por condiciones áridas y semiáridas. En este sentido, el porcentaje de cobertura vegetal registrado en el presente estudio (14 %) es comparable con los valores reportados para Hermosillo (11.93 %) y Mexicali (13.90 %), lo que sugiere patrones regionales similares (Peña-Salmón, 2011; López-González *et al.*, 2021).

Dinámica temporal de la cobertura vegetal

La dinámica temporal de la cobertura vegetal de Ciudad Obregón durante los últimos ocho años (2016-2023) muestra una pérdida neta de 74.88 hectáreas, equivalente al 8.01 %. El análisis por cuadrantes (Tabla 2) indica que los cuadrantes noreste y sureste registraron pérdidas de cobertura vegetal de 15.33 y 77.41 hectáreas, respectivamente. En contraste, los cuadrantes noroeste y suroeste presentaron ganancias de 14.75 y 3.10 hectáreas, respectivamente.

Al clasificar la pérdida de cobertura en función de vegetación densa y no densa, se observó una disminución del 10.65 % y del 7.15 %, respectivamente. Estas pérdidas se relacionan principalmente con el desmonte de terrenos que, en diversos casos, no presentan un uso de suelo definido. Asimismo, parte del desmonte ha estado asociado con actividades de limpieza, apertura de accesos a nuevas colonias y construcción de edificaciones, un patrón similar al reportado por Núñez (2021).

La distribución espacial de los cambios en la cobertura vegetal se presenta en la Figura 5. Las áreas con disminución de vegetación se muestran en color rojo, mientras que aquellas con incremento se representan en color verde. Los resultados evidencian que, durante este periodo de ocho años, la cobertura vegetal total disminuyó y que las ganancias observadas en algunos sectores no compensan las pérdidas registradas en otras zonas.

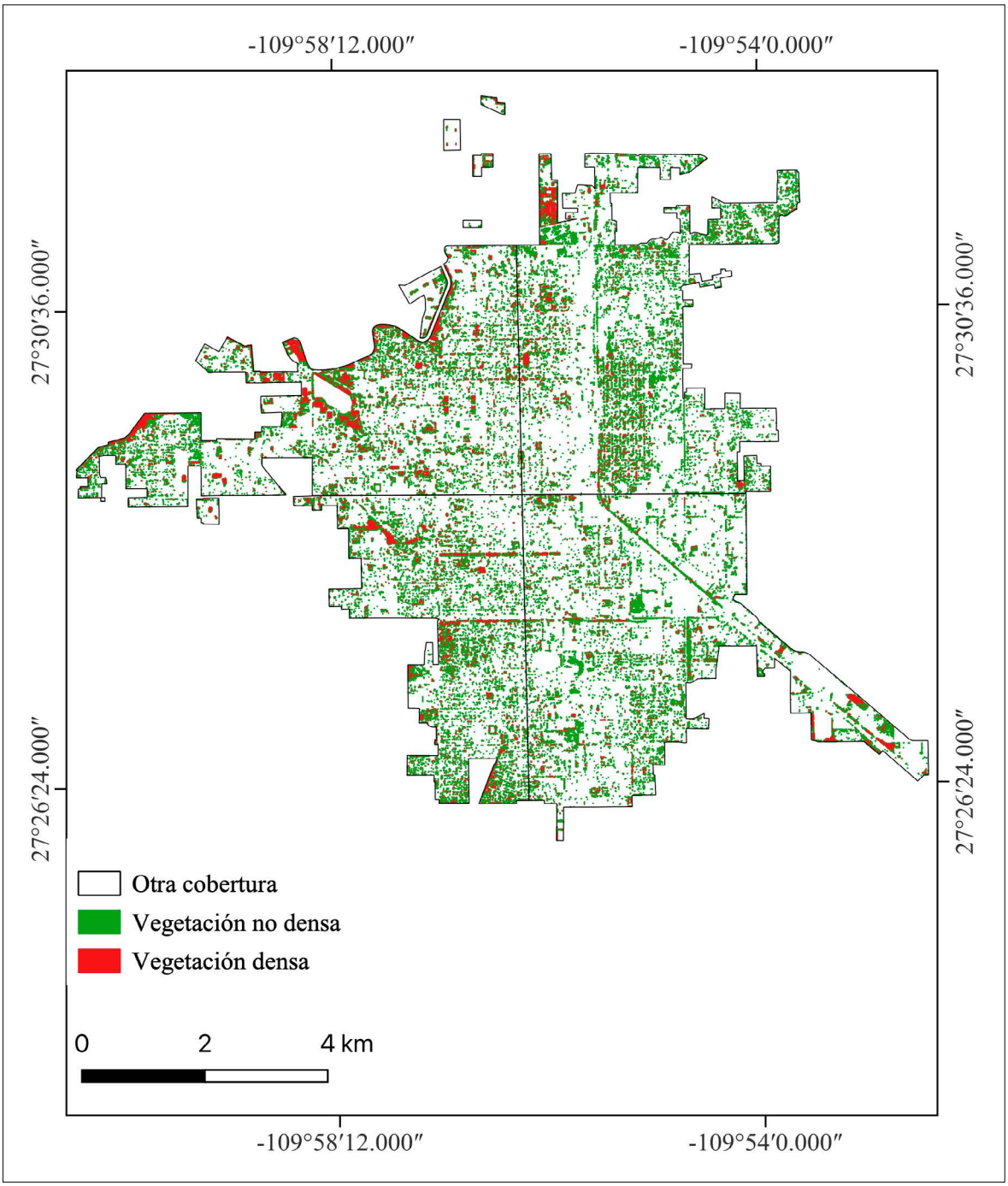

Figura 3. Distribución de cobertura vegetal en Ciudad Obregón, Sonora. *Nota*. La cobertura vegetal está categorizada por vegetación densa (color verde) y no densa (color rojo).

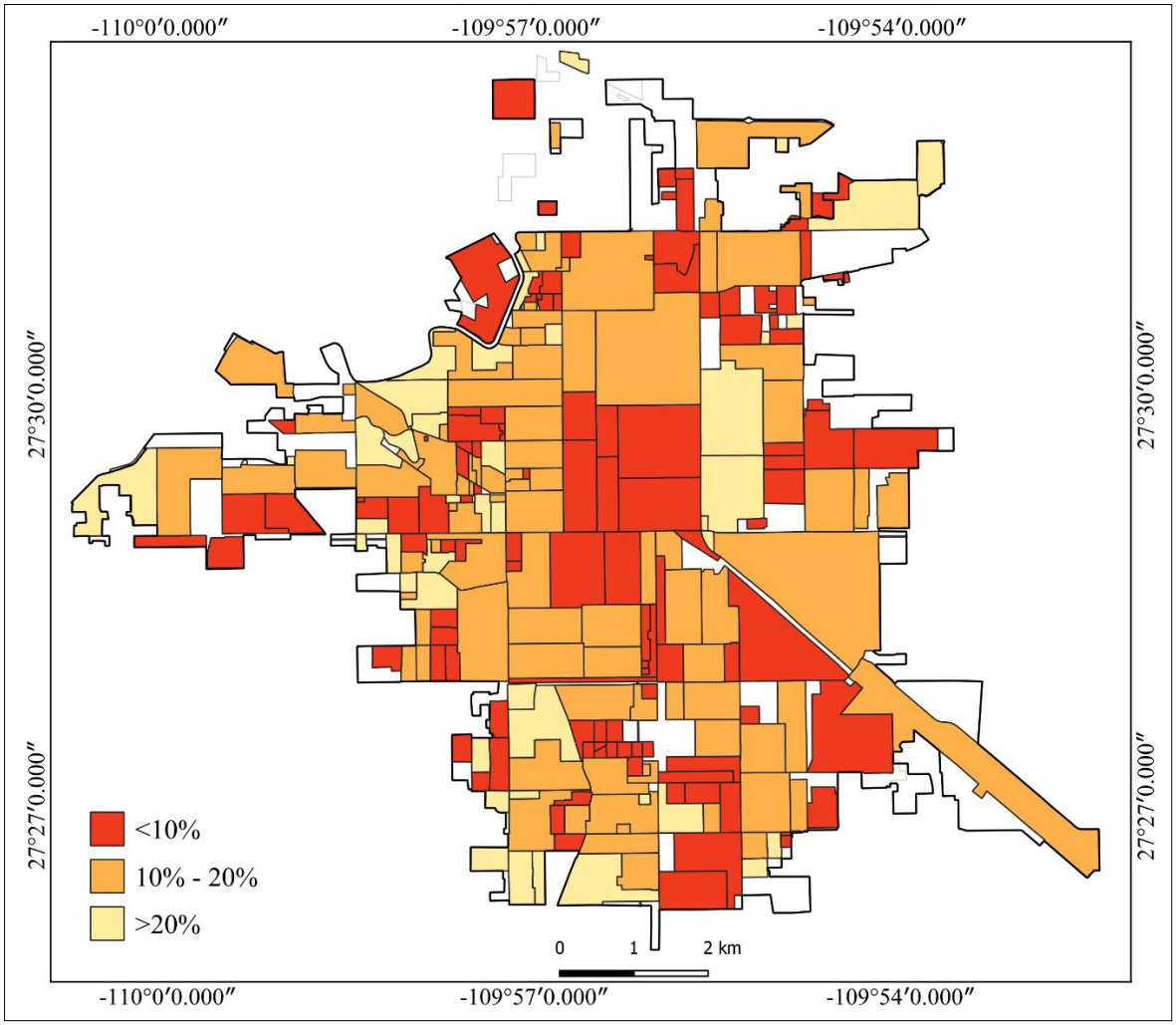

Figura 4. Distribución de cobertura vegetal en Ciudad Obregón por colonias. *Nota:* en el mapa se presentan tres rangos de porcentaje de cobertura.

Tabla 2. Cobertura de vegetación por cuadrantes en Ciudad Obregón, Sonora.

Cuadrante	Cobertura vegetal de 2016 (hectáreas)	Cobertura vegetal de 2023 (hectáreas)	Diferencia (2016-2023)
Noreste	246.17	230.84	15.33
Noroeste	240.47	255.21	-14.75
Sureste	278.00	200.59	77.41
Suroeste	169.78	172.88	-3.10
Total	934.41	859.52	74.88

Nota: los valores positivos en la columna de diferencia representan pérdida, mientras que los valores negativos ganancia de cobertura vegetal.

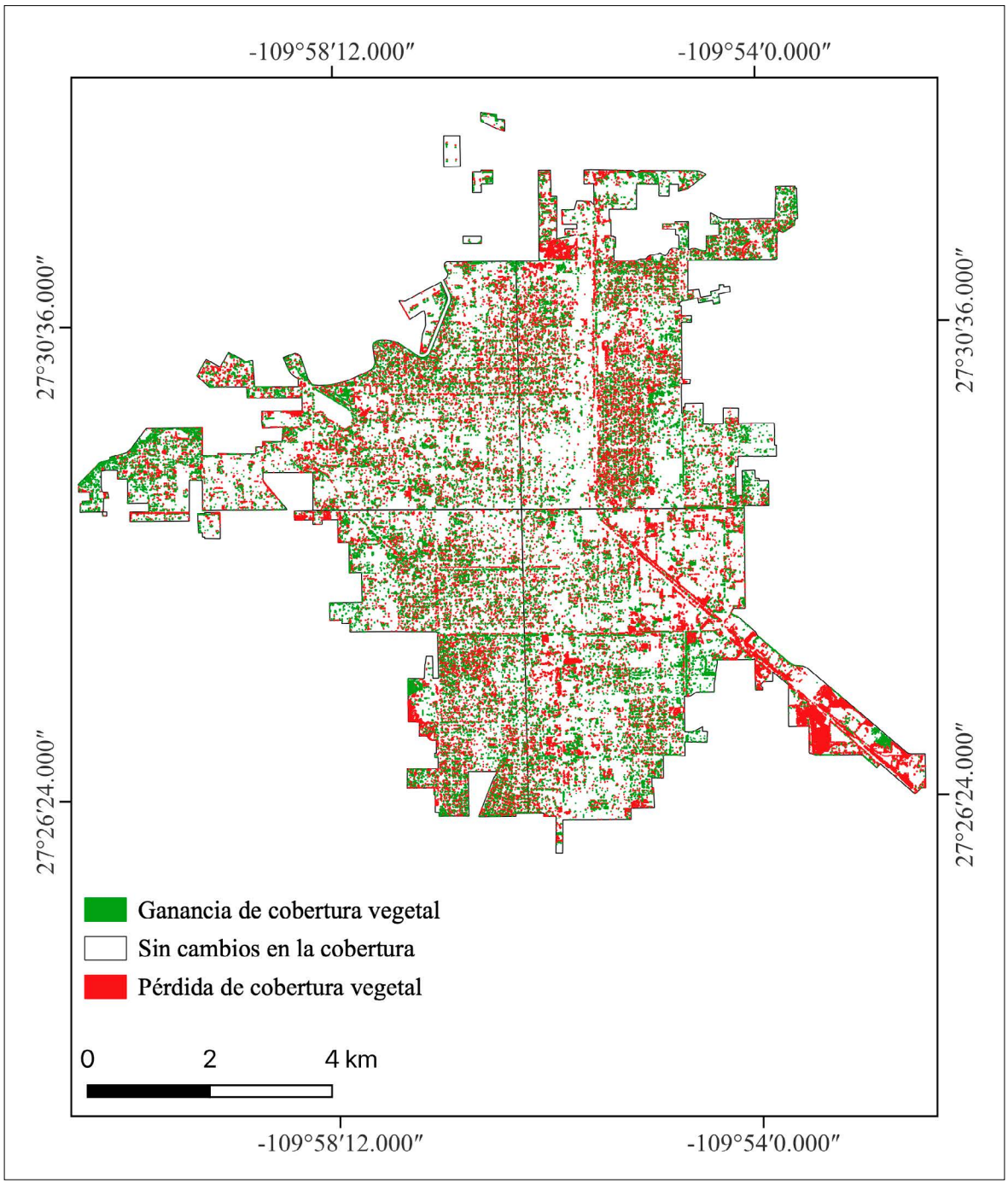

Figura 5. Diferencia de cobertura vegetal entre los años 2016 y 2023 de Ciudad Obregón, Sonora. Nota: el color verde representa ganancia y rojo pérdida de cobertura vegetal.

Es importante destacar la limitada cobertura vegetal existente en Ciudad Obregón. La superficie de vegetación densa disponible por habitante (7.65 m^2 hab^{-1}) es inferior a lo recomendado por la World Health Organization (OMS), que establece un mínimo de 9 m^2 hab^{-1}, aunque algunos autores sugieren valores de entre 9 y 50 m^2 hab^{-1} (Núñez, 2021; Gaikadi y Kumar, 2024).

No solo es importante contar con una amplia extensión de cobertura vegetal; su distribución espacial y las condiciones en las que esta se encuentra también son determinantes para garantizar un abastecimiento equitativo y adecuado de los servicios ecosistémicos en las localidades (Jenerette *et al.*, 2006; Cai *et al.*, 2019).

En este sentido, la regla 3-30-300 ha sido propuesta como una referencia para promover el acceso equitativo y adecuado a los servicios ecosistémicos. Esta establece que cada persona debería poder observar al menos tres árboles desde su casa o lugar de trabajo; que las colonias o áreas circundantes a los hogares y espacios laborales deberían contar con al menos un 30 % de cobertura vegetal; y que toda persona debería vivir o trabajar a no más de 300 metros de un parque, espacio verde o área natural de alta calidad (Konijnendijk, 2023).

Aunque esta regla se ha desarrollado principalmente a partir de información proveniente de ecosistemas templados, es importante señalar que el estudio de Konijnendijk (2023), quien formuló la regla 3-30-300, enfatiza que las métricas para evaluar la cobertura vegetal pueden considerar todas las formas de vida vegetal, como pastos, arbustos y árboles.

Este aspecto resulta particularmente relevante en el contexto de zonas áridas y semiáridas, donde la cobertura vegetal está dominada principalmente por pastos y arbustos, y donde la disponibilidad de agua limita el mantenimiento de coberturas equivalentes a las de regiones templadas. Por ello, resulta esencial conservar la estructura vegetal característica de estos ecosistemas; no obstante, también es deseable incrementar, dentro de los límites ecológicos del sistema, la presencia de árboles (Konijnendijk, 2023; Turner *et al.*, 2023).

Asimismo, conviene destacar que los primeros esfuerzos por adaptar esta regla a ecosistemas áridos ya han sido desarrollados por Manyahuillca *et al.* (2024), quienes señalan que se trata de una metodología flexible y de bajo costo. Esta flexibilidad radica en la posibilidad de incorporar distintas formas de vida vegetal dentro de la evaluación.

Finalmente, en el contexto de Ciudad Obregón, la pérdida del 8.01 % de cobertura vegetal observada durante el periodo de estudio sugiere un alejamiento de las metas propuestas por la regla 3-30-300, particularmente en aquellos sectores donde se concentraron los procesos de desmonte.

Composición florística y estructura ecológica

Los espacios recreativos urbanos analizados —Bulevar Ramírez, Laguna de Náinari y Parque Los Pioneros— presentan una cobertura vegetal de 72.55 %, 55.50 % y 87.75 %, respectivamente, lo que los posiciona entre los espacios con mayor cobertura vegetal de la ciudad. Al comparar la cobertura vegetal entre 2016 y 2023, se observan cambios moderados en el Bulevar Ramírez y el Parque Los Pioneros; sin embargo, en la Laguna de Náinari la cobertura vegetal se triplicó (Tabla 3).

En el estrato arbóreo de estos espacios recreativos urbanos se identificaron 52 especies distribuidas

Tabla 3. Cobertura vegetal de tres espacios recreativos de Ciudad Obregón, Sonora y la diferencia en cobertura vegetal de 2016 y 2023.

Nombre	Cobertura vegetal de 2016 (hectáreas)	Cobertura vegetal de 2023 (hectáreas)	Diferencia en cobertura vegetal de 2016-2023
Bulevar Ramírez	3.55	3.04	0.51
Laguna de Náinari	6.03	18.95	-12.92
Parque los pioneros	1.65	1.72	-0.07

Nota: valores negativos en columna de diferencia representa incremento en la cobertura vegetal, mientras que valores positivos una pérdida.

en 2529 individuos. Destaca que la especie con mayor número de individuos en los tres sitios es el olivo negro (*Terminalia buceras*). Con base en el índice de valor de importancia (IVI), *Terminalia buceras* representa el 20.27 %, 36.49 % y 24.73 % en la Laguna de Náinari, el Parque Los Pioneros y el Bulevar Ramírez, respectivamente, lo que refleja su alta dominancia ecológica en estos espacios (Tabla 4). Es importante subrayar que esta especie dominante no es nativa de la región.

Esta especie es propia de climas subhúmedos (Zamora-Crescencio *et al.*, 2017), por lo que la precipitación a la que está adaptada es superior a la registrada en Ciudad Obregón. En consecuencia, sus requerimientos hídricos podrían ser mayores que los de muchas especies nativas adaptadas a condiciones áridas y semiáridas, lo cual tiene implicaciones para el mantenimiento de estos espacios recreativos a largo plazo, especialmente bajo los escenarios de cambio climático proyecta-

Tabla 4. Índice de Valor de Importancia del estrato arbóreo de las áreas verdes representativas de Ciudad Obregón.

Laguna de Náinari especies	Densidad Relativa (%)	Frecuencia Relativa (%)	Dominancia Relativa (%)	IVI (%)
Terminalia buceras	33.45	13.97	13.39	20.27
Pithecellobium dulce	**3.27**	**7.35**	**25.64**	**12.09**
Neltuma juliflora	**13.76**	**11.03**	**4.41**	**9.73**
Cassia fistula	10.23	5.15	8.38	7.92
Azadirachta indica	7.91	9.93	3.92	7.25
Otras especies	31.42	52.6	44.26	42.75
Total	100	100	100	100
Parque los Pioneros especies	Densidad Relativa (%)	Frecuencia Relativa (%)	Dominancia Relativa (%)	IVI (%)
Terminalia buceras	54.31	15.79	39.36	36.49
Eucalyptus globulus	19.83	15.79	40.14	25.25
Ficus benjamina	3.45	15.79	3.24	7.49
Roystonea regia	7.76	5.26	6.21	6.41
Grevillea robusta	2.59	10.53	1.36	4.82
Otras especies	12.06	36.83	9.7	19.54
Total	100	100	100	100
Bulevar Ramírez especies	Densidad Relativa (%)	Frecuencia Relativa (%)	Dominancia Relativa (%)	IVI (%)
Terminalia buceras	32.06	4.94	37.19	24.73
Azadirachta indica	16.03	4.32	18.17	12.84
Ficus microcarpa	7.33	4.32	8.79	6.81
Lysiloma watsonii	**4.89**	**4.32**	**4.24**	**4.48**
Ehretia tinifolia	4.89	3.7	3.63	4.07
Otras especies	34.84	78.41	27.99	47.04
Total	100	100	100	100

Nota: las especies remarcadas en negro son nativas.

dos para la región (Spinoni *et al.*, 2020; Cavazos *et al.*, 2024).

El Bulevar Ramírez presentó el mayor número de individuos entre los espacios recreativos urbanos analizados, con 1234 individuos arbóreos pertenecientes a 42 especies. Las especies dominantes son *Terminalia buceras* y *Azadirachta indica*, ambas no nativas. En términos generales, el 89 % de los individuos registrados en este espacio corresponde a especies no nativas. En consecuencia, las especies nativas representan únicamente el 11 %, siendo *Neltuma juliflora* la más abundante entre ellas.

Asimismo, el Bulevar Ramírez presentó un índice de diversidad de Shannon de 2.61, valor que indica una diversidad moderada-alta. Esto podría estar asociado con una mayor heterogeneidad espacial y con las estrategias de manejo implementadas en el sitio. Diversos estudios han señalado que este tipo de diseño y gestión contribuye significativamente a la resiliencia ecológica de los ecosistemas urbanos y a su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos clave, como la regulación térmica, el hábitat para fauna urbana, la captación de contaminantes y el valor estético (Sowińska-Świerkosz y Soszyński, 2019; Sahagún *et al.*, 2020; Santamouris *et al.*, 2020).

En la Laguna de Náinari se registraron 1179 individuos pertenecientes a 36 especies. Las especies dominantes en este espacio son *Terminalia buceras*, *Cassia fistula* y *Azadirachta indica*, ninguna de ellas nativa de la región. Esta dominancia se refleja en que el 74 % de los individuos registrados corresponde a especies no nativas. Al igual que en el Bulevar Ramírez, *Neltuma juliflora* es la especie nativa con mayor presencia.

En cuanto a la diversidad de la Laguna de Náinari, el índice de Shannon fue de 2.37, lo que sugiere una diversidad moderada. Esto podría relacionarse con un diseño vegetal mixto o con condiciones edáficas e hídricas que favorecen el establecimiento de distintas especies.

El Parque Los Pioneros fue el espacio recreativo urbano analizado con menor cantidad de individuos y especies. Se registraron 116 individuos distribuidos en 10 especies, de los cuales solo un individuo correspondió a *Pithecellobium dulce*, especie nativa de la región. Esto implica que prácticamente toda la composición florística de este espacio está constituida por especies no nativas.

En cuanto a su diversidad, el índice de Shannon del Parque Los Pioneros fue de 1.52, valor bajo en comparación con la Laguna de Náinari y el Bulevar Ramírez. Este resultado se asocia con una composición vegetal dominada por pocas especies. Threlfall *et al.* (2017) reportan que la vegetación ornamental o simplificada limita la funcionalidad ecológica del espacio, particularmente en relación con servicios ecosistémicos como la regulación térmica.

Es importante destacar que, aunque este espacio recreativo presenta el mayor porcentaje de cobertura vegetal (87.75 %), también exhibe la menor diversidad de especies, lo que indica que una alta cobertura vegetal no constituye necesariamente un indicador de elevada diversidad florística.

Las especies dominantes en los tres espacios recreativos urbanos coinciden con las reportadas por Navarro y Moreno (2016) para espacios recreativos de Hermosillo, localidad situada a 210 km al norte de Ciudad Obregón. Este patrón sugiere una tendencia regional en la selección de especies utilizadas en espacios recreativos urbanos del noroeste de México.

Los resultados sugieren que estos espacios recreativos presentan limitaciones para cumplir plenamente con los principios de infraestructura verde, particularmente debido a su alta dependencia de especies no nativas y a los requerimientos de mantenimiento asociados (Jato-Espino *et al.*, 2023). Estas limitaciones adquieren especial relevancia en un contexto de disponibilidad hídrica restringida y bajo escenarios de cambio climático que proyectan mayores temperaturas y patrones de precipitación más erráticos para la región (Cavazos *et al.*, 2024).

Asimismo, esta composición florística podría ofrecer menos beneficios a la fauna nativa regional (Abdel-Dayem *et al.*, 2022).

Finalmente, los resultados muestran que la cobertura vegetal, por sí sola, no representa adecuadamente la complejidad ecológica de un espacio recreativo urbano, dado que puede estar dominada por pocas especies y por taxones poco adecuados para las condiciones climáticas locales.

Relación entre vegetación y desigualdad socioespacial

La cobertura vegetal de Ciudad Obregón está compuesta por espacios recreativos urbanos y áreas verdes informales. Se considera que los espacios recreativos urbanos suelen presentar mayor estabilidad en su mantenimiento y en la provisión de servicios ecosistémicos debido a su diseño y gestión institucional. Por ello, su presencia es valorada en las colonias e incluso puede incrementar el valor de los inmuebles ubicados en sus proximidades (Manyahuillca *et al.*, 2024).

En este contexto, los resultados muestran que en Ciudad Obregón existen 156 espacios recreativos urbanos que ocupan 77.81 hectáreas de la ciudad. Es importante destacar que esta superficie no necesariamente está cubierta en su totalidad por vegetación. Como se mostró en la sección de composición florística y estructura ecológica, estos espacios presentan coberturas vegetales que oscilan entre 55.50 % y 87.75 %. Incluso bajo el supuesto de una cobertura vegetal total, estos espacios representarían tan solo el 9.05 % de la cobertura vegetal total de Ciudad Obregón.

Por otra parte, se observan diferencias en el número de espacios recreativos urbanos por cuadrante. El cuadrante noroeste presenta la mayor extensión de cobertura vegetal (255.21 hectáreas), así como el mayor número de espacios recreativos urbanos, con un total de 55. Entre ellos destacan, por su infraestructura y mantenimiento: a) las áreas deportivas del Instituto Tecnológico de Sonora, b) el Centro Deportivo Álvaro Obregón, c) la Laguna de Náinari y d) el Parque Infantil Ostimuri.

Los habitantes del cuadrante noroeste tienen acceso a una mayor diversidad de actividades recreativas, culturales y deportivas asociadas a este conjunto de espacios. En contraste, los habitantes de otros cuadrantes probablemente deben recorrer mayores distancias para acceder a este tipo de infraestructura recreativa.

En los cuadrantes sureste y suroeste se registran 37 y 38 espacios recreativos urbanos, respectivamente. En estos sectores destacan dos espacios lineales: el Bulevar Ramírez y la avenida Rodolfo Félix Valdés. Estos espacios poseen un valor importante para los habitantes del sur, ya que en ellos se desarrollan actividades recreativas, pero también económicas, como los mercados ambulantes.

En el cuadrante noreste se observa una menor presencia de vegetación y múltiples terrenos desmontados, debido a la presencia de áreas destinadas a la industria y al comercio, caracterizadas por grandes extensiones edificadas y superficies despejadas para la maniobra de maquinaria industrial. Asimismo, este cuadrante es el que presenta el menor número de espacios recreativos urbanos (29).

Por otro lado, también concentra la mayor cantidad de áreas verdes informales, particularmente lotes baldíos, lo que favorece que estos sean utilizados como sitios de acumulación de residuos o generen percepción de inseguridad en algunos casos (Curzio y Torre, 2021). En este cuadrante destacan las colonias Benito Juárez Norte y Benito Juárez Sur. Las viviendas de estas colonias cuentan con patios amplios y vegetación (cobertura vegetal > 20 %), lo que contribuye a mejorar tanto las percepciones estéticas como las condiciones ambientales, no solo del entorno inmediato, sino también de la ciudad en su conjunto (Cerra, 2017).

Con base en el valor catastral como aproximación para agrupar estratos socioeconómicos, se encontró que el cuadrante noroeste presenta un valor catastral promedio de $2113.29 pesos, mientras que los demás cuadrantes registran valores inferiores a $1500, lo que sugiere una posible asociación con mayor poder adquisitivo.

Este patrón también se observa en el estudio de Ojeda-Revah (2021), quien analizó el acceso a áreas verdes en ciudades mexicanas. En particular, al estudiar Hermosillo, capital de Sonora y con un contexto sociocultural similar al de Ciudad Obregón, encontró que los habitantes de estratos socioeconómicos bajos recorren mayores distancias para acceder a áreas verdes, situación comparable con lo observado en este estudio.

Finalmente, los resultados muestran que en Ciudad Obregón existe una distribución inequitativa de los espacios recreativos urbanos. El cuadrante noroeste, que presenta el valor catastral más alto, concentra la mayor proporción de espacios recreativos de la ciudad, mientras que los cuadrantes con menores valores catastrales cuentan con menos

espacios recreativos urbanos y mayor presencia de áreas verdes informales.

Este comportamiento sugiere una relación potencial entre el nivel socioeconómico y la calidad de los servicios ecosistémicos asociados a la cobertura vegetal, tal como ha sido documentado en estudios previos (Ojeda-Revah, 2021; Manyahuillca *et al.*, 2024). En conjunto, este patrón refleja una desigualdad socioespacial en la distribución de los servicios ecosistémicos urbanos.

CONCLUSIONES

Mediante el uso de imágenes satelitales fue posible mapear la cobertura vegetal de Ciudad Obregón. Los resultados indican que esta representa menos del 15 % del área total de la ciudad. Asimismo, el análisis de la dinámica temporal de los últimos ocho años evidenció una disminución sostenida de dicha cobertura.

En conjunto, la cobertura vegetal de Ciudad Obregón se caracteriza por ser limitada, heterogénea y socialmente desigual, lo que sugiere que los servicios ecosistémicos asociados no se distribuyen de manera equitativa entre la población.

El conocimiento generado en este estudio permite establecer una línea base sobre el estado actual de la cobertura vegetal y su distribución espacial. Esta información puede contribuir al diseño de estrategias orientadas a la transición hacia infraestructura verde y a una distribución más equitativa de los servicios ecosistémicos urbanos.

Se recomienda dar continuidad al censo de vegetación de la localidad, incorporando herramientas como vehículos aéreos no tripulados e inteligencia artificial, con el fin de optimizar, en términos de costo y tiempo, el levantamiento y procesamiento de la información.

Asimismo, la incorporación de estimaciones del almacenamiento de carbono en estos reservorios urbanos podría aportar un valor adicional a las estrategias de mitigación y adaptación frente al cambio climático.

REFERENCIAS

Abdel-Dayem, M. S., Sharaf, M. R., Majer, J. D., Al-Sadoon, M. K., Aldawood, A. S., Aldhafer, H. M., y Orabi, G. M. (2021). Ant diversity and composition patterns along the urbanization gradients in an arid city. *Journal of Natural History*, *55*(39-40), 2521-2547. https://doi.org/10.1080/00222933.2021.2003461

Cai, Y., Chen, Y., y Tong, C. (2019). Spatiotemporal evolution of urban green space and its impact on the urban thermal environment based on remote sensing data: A case study of Fuzhou City, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, *41*, 333-343. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.04.012

Cavazos, T., Bettolli, M. L., Campbell, D., Sánchez Rodríguez, R. A., Mycoo, M., Arias, P. A., Rivera, J., Reboita, M. S., Gulizia, C., Hidalgo, H. G., Alfaro, E. J., Stephenson, T. S., Sörensson, A. A., Cerezo-Mota, R., Castellanos, E., Ley, D., y Mahon, R. (2024). Challenges for climate change adaptation in Latin America and the Caribbean region. In *Frontiers in Climate (Vol. 6)*. Frontiers Media SA. https://doi.org/10.3389/fclim.2024.1392033

Cerra, J. F. (2017). Emerging strategies for voluntary urban ecological stewardship on private property. *Landscape and Urban Planning*, *157*, 586-597. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.06.016

Curzio, C., y Torre, H. D. L. (2021). Vacíos urbanos y desigualdad socioeconómica: temas que convergen en la frontera norte de México. *Frontera Norte, 33*. https://doi.org/10.33679/rfn.v1i1.2174

Díaz-Caravantes, R. E., Castro Luque, A. L., y Aranda Gallegos, P. (2014). Mortalidad por calor natural excesivo en el noroeste de México: Condicionantes sociales asociados a esta causa de muerte. *Frontera Norte, 26(52),* 155-177.

Duncan, J. M. A., Boruff, B., Saunders, A., Sun, Q., Hurley, J., y Amati, M. (2019). Turning down the heat: An enhanced understanding of the relationship between urban vegetation and surface temperature at the city scale. *Science of the Total Environment, 656*, 118-128. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.223

Evans, D. L., Falagán, N., Hardman, C. A., Kourmpetli, S., Liu, L., Mead, B. R., y Davies, J. A. C. (2022). Ecosystem service delivery by urban agriculture and green infrastructure–a systematic review. *Ecosystem Services, 54*, 101405. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101405

Flores-Ruiz, E., Miranda-Novales, M. G., y Villasís-Keever, M. Á. (2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. Es-

tadística inferencial. *Revista Alergia México, 64(3),* 364-370. https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304

Gaikadi, S., y Kumar, S. V. (2024). Is ward-level calculation of urban green space availability important?—A case study on Vellore city, India, using the histogram-based spectral discrimination approach. *Frontiers in Sustainable Cities*, *6*, 1393156. https://doi.org/10.3389/frsc.2024.1393156

Jato-Espino, D., Capra-Ribeiro, F., Moscardo, V., del Pino, L. E. B., Mayor-Vitoria, F., Gallardo, L. O., Carracedo, P., y Dietrich, K. (2023). A systematic review on the ecosystem services provided by green infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening, 86*, 127998. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127998

Jenerette, G. D., Wu, J., Grimm, N. B., y Hope, D. (2006). Points, patches, and regions: scaling soil biogeochemical patterns in an urbanized arid ecosystem. *Global Change Biology*, *12*(8), 1532-1544. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01182.x

Jiang, Z., Huete, A. R., Chen, J., Chen, Y., Li, J., Yan, G., y Zhang, X. (2006). Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment, 101(3),* 366-378. https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.01.003

Jiao, H., y Han, J. (2022). Urban Green Space Planning and Design for Sponge City. *Scientific Programming*, *2022*(1), 5333231. https://doi.org/10.1155/2022/5333231

Konijnendijk, C. C. (2023). Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods: Introducing the 3–30–300 rule. *Journal of Forestry Research*, *34*(3), 821-830. https://doi.org/10.1007/s11676-022-01523-z

Lee, A. C., y Maheswaran, R. (2011). The health benefits of urban green spaces: a review of the evidence. *Journal of Public Health, 33(2),* 212-222. https://doi.org/10.1093/pubmed/fdq068

Li, X., Xia, G., Lin, T., Xu, Z., y Wang, Y. (2022). Construction of Urban Green Space Network in Kashgar City, *China. Land, 11(10*), 1826. https://doi.org/10.3390/land11101826

López González, F. M., Navarro Navarro, L. A., Díaz Caravantes, R. E., y Navarro-Estupiñán, J. (2021). Cobertura vegetal y la distribución de islas de calor/oasis urbanos en Hermosillo, Sonora. *Frontera Norte, 33*. https://doi.org/10.33679/rfn.v1i1.2088

Luneke Reyes, A. (2021). Inseguridad urbana, participación ciudadana y cuidado vecinal: la búsqueda por protección en los barrios. *Revista INVI, 36(102),* 302-327. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582021000200302

Maldonado-Bernabé, G., Chacalo-Hilu, A., Nava-Bolaños, I., Meza-Paredes, R. M., y Zaragoza-Hernández, A. Y. (2019). Cambios en la superficie de áreas verdes urbanas en dos alcaldías de la Ciudad de México entre 1990-2015. *Polibotánica, (48),* 205-230. https://doi.org/10.18387/polibotanica.48.15

Manyahuillca, C. A., Manta, M. I., y Negrin Marques, T. H. (2024). 3-30-300 Rule: adaptation to a peruvian coastal desert city. *Floresta*, *54*(1). https://doi.org/10.5380/rf.v54i1.88993

Marozzi, M. (2011). Levene type tests for the ratio of two scales. *Journal of Statistical Computation and Simulation, 81(7),* 815-826. https://doi.org/10.1080/00949650903499321

Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T–Manuales y Tesis SEA.

Navarro Navarro, L. A., y Moreno Vázquez, J. L. (2016). Cambios en el paisaje arbolado en Hermosillo: escasez de agua y plantas nativas. *Región y Sociedad, 28(67),* 79-120.

Navarro-Estupiñan, J., Robles-Morua, A., Vivoni, E. R., Zepeda, J. E., Montoya, J. A., y Verduzco, V. S. (2018). Observed trends and future projections of extreme heat events in Sonora, Mexico. *International Journal of Climatology, 38(14),* 5168-5181. https://doi.org/10.1002/joc.5719

Núñez, J. M. (2021). Análisis espacial de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México. *Economía, Sociedad y Territorio, 21(67),* 803-833. https://doi.org/10.22136/est20211661

Ojeda-Revah, L. (2021). Equidad en el acceso a las áreas verdes urbanas en México: revisión de literatura. *Sociedad y Ambiente, (24),* 1-28. https://doi.org/10.31840/sya.vi24.2341

Ozyavuz, M., Bilgili, B. C., y Salici, A. (2015). Determination of vegetation changes with NDVI method. *Journal of Environmental Protection and Ecology, 16(1),* 264-273.

Peña-Salmón, C. Á. (2011). *Metodología para la planificación de áreas verdes urbanas: El caso de Mexicali, Baja California* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California].

Rigolon, A., Browning, M. H., Lee, K., y Shin, S. (2018). Access to urban green space in cities of the Global South: A systematic literature review. *Urban Science*, *2*(3), 67. https://doi.org/10.3390/urbansci2030067

Rupprecht, C. D., y Byrne, J. A. (2014). Informal urban green-space: comparison of quantity and characteristics in Brisbane, Australia and Sapporo, Japan. *PloS One*, *9*(6), e99784. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099784

Sahagún Sánchez, F. J., Aceves Sánchez, J., Sánchez Romero, E., y Plazola Zamora, L. (2020). Valoración de los servicios ecosistémicos en áreas verdes. El caso del Parque Metropolitano de Guadalajara, México.

Acta Universitaria, 30. https://doi.org/10.15174/au.2020.2635

Sánchez-Mejía, Z. M., Serrano-Grijalva, L., Peñuelas-Rubio, O., Pérez-Ruiz, E. R., Sequeiros-Ruvalcaba, E., y García-Calleja, M. T. (2007). Composición florística y estructura de la comunidad vegetal del límite del desierto de Sonora y la selva baja caducifolia (Noroeste de México). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 3(1),* 74-83.

Santamouris, M., y Osmond, P. (2020). Increasing green infrastructure in cities: impact on ambient temperature, air quality and heat-related mortality and morbidity. *Buildings, 10(12),* 233. https://doi.org/10.3390/buildings10120233

Segarra, J., Buchaillot, M. L., Araus, J. L., y Kefauver, S. C. (2020). Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications. *Agronomy, 10(5)*, 641. https://doi.org/10.3390/agronomy10050641

Sowińska-Świerkosz, B., y Soszyński, D. (2019). The index of the Prognosis Rural Landscape Preferences (IPRLP) as a tool of generalizing peoples' preferences on rural landscape. *Journal of Environmental Management*, *248*, 109272. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109272

Spinoni, J., Barbosa, P., Bucchignani, E., Cassano, J., Cavazos, T., Christensen, J. H., Christensen, O. B., Coppola, E., Evans, J., Geyer, B., Giorgi, F., Hadjinicolaou, P., Jacob, D., Katzfey, J., Koenigk, T., Laprise, R., Lennard, C. J., Kurnaz, M. L., Delei, L. I., … Dosio, A. (2020). Future global meteorological drought hot spots: A study based on CORDEX data. *Journal of Climate, 33(9),* 3635–3661. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0084.1

Sun, L., Xie, C., Qin, Y., Zhou, R., Wu, H., y Che, S. (2024). Study on temperature regulation function of green spaces at community scale in high-density urban areas and planning design strategies. *Urban Forestry & Urban Greening*, *101*, 128511. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128511

Tan, P. Y., Zhang, J., Masoudi, M., Alemu, J. B., Edwards, P. J., Grêt-Regamey, A., Richards, D. R., Saunders, J., Song, X. P., y Wong, L. W. (2020). A conceptual framework to untangle the concept of urban ecosystem services. *In Landscape and Urban Planning (Vol. 200).* Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103837

Threlfall, C. G., Mata, L., Mackie, J. A., Hahs, A. K., Stork, N. E., Williams, N. S., y Livesley, S. J. (2017). Increasing biodiversity in urban green spaces through simple vegetation interventions. *Journal of Applied Ecology*, *54*(6), 1874-1883. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12876

Torres-Cruz, M. M., Castro-Quiroa, L. A., Fuentes-Dávila, G., y Félix-Valencia, P. (2021). Determination of climatic zones of influence in the Yaqui and Mayo Valleys, Mexico. International Journal of Agriculture, *Environment and Bioresearch, 6(4),* 44-56. https://doi.org/10.35410/IJAEB.2021.5650

Turner, M. D., Davis, D. K., Yeh, E. T., Hiernaux, P., Loizeaux, E. R., Fornof, E. M., Rice, A. M., y Suiter, A. K. (2023). Great green walls: hype, myth, and science. *Annual Review of Environment and Resources*, *48*(1), 263-287. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112321-111102

Velasco, E., Roth, M., Norford, L., y Molina, L. T. (2016). Does urban vegetation enhance carbon sequestration? *Landscape and Urban Planning, 148*, 99-107. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.003

Wong, N. H., y Yu, C. (2005). Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat International, 29(3),* 547-558. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2004.04.008

Zamora-Crescencio, P., Rico-Gray, V., Barrientos-Medina, R. C., Puc-Garrido, E. C., Villegas, P., Domínguez-Carrasco, M. D. R., y Gutiérrez-Báez, C. (2017). Estructura y composición florística de la selva mediana subperennifolia en Bethania, Campeche, México. *Polibotánica*, (43), 67-86. https://doi.org/10.18387/polibotanica.43.3

Zamudio-Sánchez, Francisco José, Cosmes-Martínez, Waldenia, Arana-Ovalle, Roxana Ivette, Andrade-Barrera, Marco Antonio, Becerril-González, Geovanni, y Rodríguez-Esparza, Luz Judith. (2018). Una estratificación socioeconómica para comparar dos momentos del desarrollo en México: 1930-2010. *Economía, Sociedad y Territorio, 18(56),* 259-289. http://dx.doi.org/10.22136/est2018982

Zarco-Espinosa, V. M., Valdez-Hernández, J. L., Ángeles-Pérez, G., y Castillo-Acosta, O. (2010). Structure and diversity of arboreal vegetation in the Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia, 26(1),* 1-17.